

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



## ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ηλία Μ. Παπασταματίου

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και  
Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων»  
με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Ψαρράς

Αθήνα, Απρίλιος 2018





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και  
Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια «Εξυπνων Πόλεων»  
με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**του**

***Ηλία Μ. Παπασταματίου***

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Ψαρράς

*Αθήνα, Απρίλιος 2018*





## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

### Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια «Εξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

#### ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ του *Ηλία Μ. Παπασταματίου*

#### Συμβουλευτική Επιτροπή:

Ιωάννης Ψαρράς, Καθηγητής Ε.Μ.Π. (επιβλέπων)

Βασίλειος Ασημακόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δημήτριος Ασκούνης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την επιταμελή εξεταστική επιτροπή την Τρίτη, 3 Απριλίου 2018.

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Βασίλειος Ασημακόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Δημήτριος Ασκούνης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Χρυσόστομος Δούκας  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Αλέξανδρος Φλάμος  
Αναπ. Καθηγητής Παν.  
Πειραιώς

.....  
Γρηγόρης Μέντζας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γεώργιος Τσιχριντζής  
Καθηγητής Παν. Πειραιώς

Αθήνα, Απρίλιος 2018



Ηλίας Μ. Παπασταματίου

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ηλίας Μ. Παπασταματίου, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

*Στους γονείς μου Μιλτιάδη και Σταυρούλα*

*Στη γυναίκα μου Νάγια*





# Πρόλογος

---

Η διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης (ΕΣΑΔ). Η διατριβή ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2012 και ολοκληρώθηκε τον Απρίλιο του 2018.

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υποστήριξης αποφάσεων για την εξοικονόμηση και την διαχείριση ενέργειας στα κτίρια των «Έξυπνων Πόλεων». Τα ζητήματα της ενεργειακής βελτίωσης και της μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων στις πόλεις που πραγματεύεται η διατριβή είναι καιρία και η ανάγκη για τη δημιουργία Ενεργειακών «Έξυπνων Πόλεων» είναι περισσότερο από ποτέ επιτακτική. Οι ενεργειακές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα αστικά κέντρα και η μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού σε αυτά, συνεπάγονται αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των αερίων ρύπων. Η μετάβασή τους σε «Ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις» θα συμβάλλει στην αναβάθμιση του επιπέδου διαβίωσης των πολιτών και στη διασφάλιση της αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης, αντιμετωπίζοντας παράλληλα το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία που προτείνεται στη διατριβή δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Energy Procedia, Elsevier και απέσπασε τη διάκριση «Key Scientific Article Contributing to Research Excellence in Science and Engineering» του καναδικού οργανισμού «Advances In Engineering - ΑΙΕ». Επίσης, μέρος της προτεινόμενης μεθοδολογίας και συγκεκριμένα η παρουσίαση του εργαλείου ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων «BEMAT – Building Energy Management Tool» βραβεύτηκε ως η καλύτερη εργασία στο 6ο Διεθνές Συνέδριο της IEEE για την Πληροφορική, τα Ευφυή Συστήματα και τις Εφαρμογές. Τέλος, η δημοσιευμένη εργασία στο περιοδικό Information Fusion, Elsevier για το εργαλείο ενεργειακής αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων «e-SCEAF - Smart City Energy Assessment Framework Tool», απέσπασε το «Θωμαΐδειο Βραβείο για την Πρόοδο Επιστημών και Τεχνών» του ΕΜΠ.

Η διατριβή πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη, τη συνεχή καθοδήγηση και την ανεκτίμητη συμβολή του Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες, όχι μόνο για την εκπόνηση της διατριβής αλλά και για τη στήριξή του όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες για τις πολύτιμες υποδείξεις τους στον Καθηγητή κ. Βασίλειο Ασημακόπουλο, στον Καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη, στον Καθηγητή κ. Γρηγόρη Μέντζα, στον Καθηγητή κ. Γεώργιο Τοιχριντζή και στον Αναπ. Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Φλάμο. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος για την ουσιαστική συμβολή τους τον Επικ. Καθηγητή κ. Χάρη Δούκα καθώς και τον Δρ. Ευάγγελο Μαρινάκη με τους οποίους είχα τη χαρά και την τιμή να συνεργάζομαι αυτά τα χρόνια. Χωρίς αυτούς η ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής θα ήταν αδύνατη. Ευχαριστώ, επίσης, θερμά όλους τους συνεργάτες μου στο Εργαστήριο ΕΣΑΔ, στο Υπουργείο Εξωτερικών, στο Υπουργείο Εθνικής Άμυνας και στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, για τη συμβολή τους στην εκπόνηση της διατριβής.

Κλείνοντας, οφείλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και το μεγαλύτερο ευχαριστώ στη γυναίκα μου Νάγια, στους γονείς μου Μιλτιάδη και Σταυρούλα καθώς και στα αδέρφια μου Γιάννη και Θεοδώρα για την αμέριστη συμπαράσταση, την κατανόηση και την αγάπη τους όλο αυτό το διάστημα.

Αθήνα-Βρυξέλλες, Απρίλιος 2018  
*Ηλίας Παπασταματίου*



# Περίληψη

---

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υποστήριξης αποφάσεων για την εξοικονόμηση και την διαχείριση ενέργειας στα κτίρια των «Έξυπνων Πόλεων». Η διατριβή έχει ως στόχο να συμβάλλει στην κάλυψη του επιστημονικού «κενού» που εντοπίστηκε σχετικά με την προώθηση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) και της αξιοποίησης των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την δημιουργία των ενεργειακά βιώσιμων και «Έξυπνων Πόλεων». Μέσα από την εμπειριστατωμένη ανάλυση των βασικών παραμέτρων του προβλήματος και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου και συνεπούς πλαισίου υποστήριξης των τελικών αποφαιζόντων.

Σε πρώτο επίπεδο, η διατριβή συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας με στόχο την υποστήριξη των τοπικών και περιφερειακών αρχών προς την κατεύθυνση των Ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία στοχεύει στην ενεργειακή εξοικονόμηση και διαχείριση της ενέργειας στις κτιριακές υποδομές των πόλεων, ώστε να επιτευχθεί σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και την εκπομπή ρυπογόνων αερίων. Το πρωτότυπο πλαίσιο που προτείνεται περιλαμβάνει δύο πυλώνες: την «Αξιολόγηση» (Assessment) και τη «Διαχείριση» (Management). Ο πυλώνας «Αξιολόγηση» επισημαίνει τα ισχυρά σημεία, τους τομείς χαμηλής απόδοσης και τις δυνατότητες μιας πόλης για ενεργειακή βελτίωση. Αφού οι τοπικές αρχές της πόλης διακρίνουν τους τομείς χαμηλής απόδοσης της πόλης, που επισημαίνονται στο στάδιο της «Αξιολόγησης», συνεχίζουν με το επόμενο στάδιο της «Διαχείρισης» όπου και επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις. Οι προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας προκύπτουν από δύο ΣΥΑ που έχουν αναπτυχθεί: Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιλαμβάνει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιλαμβάνει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας.

Σε δεύτερο επίπεδο, η διατριβή συμβάλλει στην ανάπτυξη πρότυπων διαδικτυακών εργαλείων, που έγκεινται στο ευρύτερο επιστημονικό πεδίο της υποστήριξης αποφάσεων και είναι προσαρμοσμένα κατάλληλα στο τρέχον πρόβλημα. Συγκεκριμένα για την υλοποίηση του πυλώνα «Αξιολόγηση» αναπτύχθηκε το διαδικτυακό εργαλείο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις «e-SCEAF-Smart City Energy Assessment Framework tool», και για την υλοποίηση του πυλώνα «Διαχείριση» αναπτύχθηκαν το διαδικτυακό εργαλείο αξιολόγησης θερμικής άνεσης «TCV -Thermal Comfort Validator» και το διαδικτυακό εργαλείο ενεργειακής εξοικονόμησης κτιρίων «BEMAT - Building Energy Management Tool».

Ως πεδίο εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των πληροφοριακών συστημάτων επιλέχθηκαν τρεις αντιπροσωπευτικές ευρωπαϊκές πόλεις: η Σαβόνα στην Ιταλία, το Σαν Κουγκάτ στην Ισπανία και το Ζάανσταντ στην Ολλανδία. Τα αποτελέσματα αφορούν πέντε δημοτικά κτίρια: το Σχολείο «Savona Colombo-Pertini» και η Πανεπιστημιούπολη «Savona Campus» στη Σαβόνα, το Δημαρχείο και το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ και το Δημαρχείο στο Ζάανσταντ.

**Λέξεις κλειδιά:** Έξυπνες Πόλεις, Υποστήριξη Αποφάσεων, Ενεργειακή Διαχείριση & Εξοικονόμηση, Ενεργειακή Αξιολόγηση Πόλεων & Κτιρίων, Πολυκριτήρια Ανάλυση, Εργαλεία ΤΠΕ, Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας στον Κτιριακό Τομέα.



# Abstract

---

Cities are becoming more and more focal points of our economies and societies. Energy is an essential component of life in cities, as it supports the whole spectrum of their economic activities and secures a certain level of quality of life. Climate change and the subsequent problems, caused by the on-going urbanization of cities, require urgent actions. To meet their public policy objectives under these circumstances, cities need to change and develop in a smart way, taking into account the issues of energy efficiency and sustainability. The proposed Framework and the novel Decision Support Tools for Cities' Energy Assessment and Optimization contribute to the transition from "Traditional Cities" to Smart "Energy Cities". In this context the main objective of this doctoral thesis is to present a Decision Support Framework able to assess and optimize the energy use in Smart Cities.

The proposed methodology is addressed to the local authorities of the cities, so as to optimize the energy use in their premises and achieve significant reduction in CO<sub>2</sub> emissions. In particular, this thesis contributes to the development of the proposed novel Framework based on two pillars: "Assessment" and "Management". The 'Assessment' pillar highlights the strengths, the underperforming sectors and the potentials of a city in terms of energy optimization. The 'Management' pillar includes a number of targeted action plans that can be used by the energy managers of a city. The proposed actions in this pillar derive from the DSS for Energy Management component of the Framework that offers short-term scenarios on a weekly basis, and from the DSS for Energy Efficiency component that offers long-term scenarios on a yearly basis.

Moreover, this thesis contributes to the development of a number of web based components. The 'Assessment' pillar makes use of the Smart City Energy Assessment Framework tool (e-SCEAF), which can provide fruitful results for the assessment of the energy behavior and performance of a city. The 'Management' pillar makes use of the Thermal Comfort Validator (TCV) with the relevant action plan for temperature control of buildings and the Building Energy Management software (BEMAT). TCV software can assist energy managers in adjusting thermal comfort parameters in order to optimize energy use and maintain comfort levels in acceptable ranges. BEMAT software is able to collect real energy consumption data and calculate automatically the energy savings from a list of improvement scenarios. The novelty of the proposed Framework lies on the merging of multidisciplinary data sources from the following domains: weather, building monitoring, users' feedback, energy prices and energy production.

The pilot application of the proposed methodology (through the support of the information systems developed) in a real problem (three representative European cities) provided the possibility to evaluate its completeness and the reliability of the results. The cities selected were: Savona in Italy, Sant Cugat in Spain and Zaanstad in the Netherlands. Five municipal buildings were examined: the Colombo-Pertini School and the Campus in Savona, the City Hall and the Theater in Sant Cugat, and the Town Hall in Zaanstad.

**Keywords:** Smart Cities, Decision Support Systems, Energy Management, Energy Efficiency, Energy Assessment of Cities and Buildings, Multi-Criteria Analysis, ICT web based tools, Building Sector Energy Management and Efficiency.



# Περιεχόμενα

---

## ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
1.1 Το Πρόβλημα .....	3
1.2 Αντικείμενο και Στόχος Διατριβής .....	5
1.3 Συμβολή Διατριβής.....	6
1.4 Δομή Έκθεσης Διδακτορικής Διατριβής.....	8
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	
2.1 Εισαγωγή .....	9
2.2 Αειφόρος Ανάπτυξη & Ενεργειακή Πολιτική.....	9
2.3 Τοπικός Ενεργειακός Σχεδιασμός.....	9
2.4 Ανάγκη για Ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις.....	10
2.5 Συμπεράσματα .....	10
3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ	
3.1 Εισαγωγή .....	12
3.2 Μεθοδολογίες και Εργαλεία Έξυπνων Πόλεων.....	12
3.3 Πολυκριτήρια Ανάλυση .....	15
3.4 Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων.....	16
3.5 Συμπεράσματα.....	18
4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	
4.1 Εισαγωγή .....	19
4.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο .....	19
4.3 Συνιστώσα I: «Assessment» (Αξιολόγηση).....	20
4.4 Συνιστώσα II: «Management» (Διαχείριση) .....	25
4.5 Συμπεράσματα.....	31

5. ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	
5.1 Εισαγωγή .....	32
5.2 Συνιστώσα I «Ex-Ante Assessment» (Εκ των προτέρων Αξιολόγηση).....	32
5.3 Συνιστώσα II «Management» (Διαχείριση).....	35
5.4 Συνιστώσα I «Ex-Post Assessment» (Εκ των υστέρων Αξιολόγηση) .....	36
5.5 Συμπεράσματα.....	40
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	
6.1 Συμπεράσματα.....	41
6.2 Προοπτικές .....	45
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	46

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ I: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

I.1 Το Πρόβλημα .....	I.3
I.2 Αντικείμενο και Στόχος Διατριβής.....	I.13
I.3 Συμβολή Διατριβής.....	I.14
I.4 Δομή Έκθεσης Διδακτορικής Διατριβής .....	I.22

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ II: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

II.1 Εισαγωγή .....	II.3
II.2 Αειφόρος Ανάπτυξη & Ενεργειακή Πολιτική.....	II.4
II.2.1 Αειφόρος Ανάπτυξη .....	II.4
II.2.2 Βασικές Αρχές.....	II.5
II.2.3 Ευρωπαϊκή Πολιτική για το 2020.....	II.6
II.2.4 Ευρωπαϊκή Πολιτική έως το 2050 .....	II.7
II.3 Τοπικός Ενεργειακός Σχεδιασμός.....	II.9
II.3.1 Ρόλος Τοπικών & Περιφερειακών Αρχών .....	II.9
II.3.2 Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες .....	II.9
II.4 Ανάγκη για Ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις.....	II.14



Π.4.1 Αστικοποίηση .....	Π.14
Π.4.2 Ορισμός της Έξυπνης Πόλης.....	Π.15
Π.4.3 Προκλήσεις για τη μετάβαση στις Έξυπνες Πόλεις.....	Π.18
Π.4.4 Σχεδιασμός των Έξυπνων Πόλεων.....	Π.22
Π.4.5 Μετάβαση στις Ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις .....	Π.24
Π.5 Συμπεράσματα .....	Π.36

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ**

ΙΙΙ.1 Εισαγωγή .....	ΙΙΙ.3
ΙΙΙ.2 Μεθοδολογίες και Εργαλεία στα κτίρια των «Έξυπνων Πόλεων» .....	ΙΙΙ.4
ΙΙΙ.2.1 Γενική Περιγραφή .....	ΙΙΙ.4
ΙΙΙ.2.2 Εργαλεία διαχείρισης & εξοικονόμησης ενέργειας.....	ΙΙΙ.4
ΙΙΙ.2.3 Διαχείριση & εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα.....	ΙΙΙ.7
ΙΙΙ.2.4 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) .....	ΙΙΙ.10
ΙΙΙ.2.5 Υφιστάμενες μεθοδολογίες και εργαλεία .....	ΙΙΙ.12
ΙΙΙ.2.6 Αξιολόγηση .....	ΙΙΙ.29
ΙΙΙ.3 Πολυκριτήρια Ανάλυση.....	ΙΙΙ.30
ΙΙΙ.3.1 Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων .....	ΙΙΙ.30
ΙΙΙ.3.2 Εφαρμογές Βασικών Πολυκριτηριακών Μεθόδων .....	ΙΙΙ.32
ΙΙΙ.4 Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων .....	ΙΙΙ.36
ΙΙΙ.4.1 Εισαγωγή .....	ΙΙΙ.36
ΙΙΙ.4.2 Γλωσσική Ανάλυση .....	ΙΙΙ.37
ΙΙΙ.4.3 Διαχείριση Ετερογενών Πληροφοριών.....	ΙΙΙ.49
ΙΙΙ.4.4 Αξιολόγηση .....	ΙΙΙ.56
ΙΙΙ.5 Συμπεράσματα .....	ΙΙΙ.57

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙV: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

ΙV.1 Εισαγωγή .....	ΙV.3
ΙV.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο .....	ΙV.4
ΙV.2.1 Φιλοσοφία Προτεινόμενης Προσέγγισης.....	ΙV.4
ΙV.2.2 Συνολική Διαδικασία.....	ΙV.5
ΙV.2.3 Διάγραμμα Ροής .....	ΙV.6

IV.3	Συνιστώσα I: «Assessment» (Αξιολόγηση).....	IV.7
IV.3.1	Διαδικασία προσέγγισης.....	IV.7
IV.3.2	Μεθοδολογία Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF».....	IV.7
IV.3.3	Λογισμικό Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «e-SCEAF» .....	IV.26
IV.4	Συνιστώσα II: «Management» (Διαχείριση) .....	IV.50
IV.4.1	Διαδικασία προσέγγισης.....	IV.50
IV.4.2	Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης Ενέργειας.....	IV.51
IV.4.3	Λογισμικό Thermal Comfort Validator (TCV) .....	IV.64
IV.4.4	Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων Εξοικονόμησης Ενέργειας .....	IV.67
IV.4.5	Λογισμικό Building Energy Management Tool (BEMAT).....	IV.68
IV.5	Συμπεράσματα.....	IV.83

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ V: ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ**

V.1	Εισαγωγή.....	V.3
V.2	Συνιστώσα I «Ex-Ante Assessment» (Εκ των προτέρων Αξιολόγηση) .....	V.5
V.2.1	Εφαρμογή e-SCEAF στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini».....	V.5
V.2.2	Εφαρμογή e-SCEAF στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus».....	V.8
V.2.3	Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ.....	V.11
V.2.4	Εφαρμογή e-SCEAF στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ .....	V.13
V.2.5	Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Ζάανσταντ .....	V.16
V.2.6	Συνολικά Αποτελέσματα Ex-Ante Assessment .....	V.18
V.3	Συνιστώσα II «Management» (Διαχείριση).....	V.23
V.3.1	Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini» ....	V.26
V.3.2	Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus» .....	V.35
V.3.3	Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ .....	V.40
V.3.4	Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ.....	V.47
V.3.5	Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Ζάανσταντ.....	V.54
V.3.6	Συνολικά αποτελέσματα Συνιστώσας II «Management».....	V.58
V.4	Συνιστώσα I «Ex-Post Assessment (Εκ των υστέρων Αξιολόγηση)».....	V.64
V.4.1	Εφαρμογή e-SCEAF στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini .....	V.64
V.4.2	Εφαρμογή e-SCEAF στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus».....	V.67
V.4.3	Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ.....	V.70
V.4.4	Εφαρμογή e-SCEAF στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ .....	V.72

V.4.5 Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Ζάανσταντ .....	V.75
V.4.6 Συνολικά Αποτελέσματα Ex-Post Assessment.....	V.77
V.5 Συμπεράσματα .....	V.83

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**

VI.1 Συμπεράσματα.....	VI.3
VI.2 Προοπτικές .....	VI.11

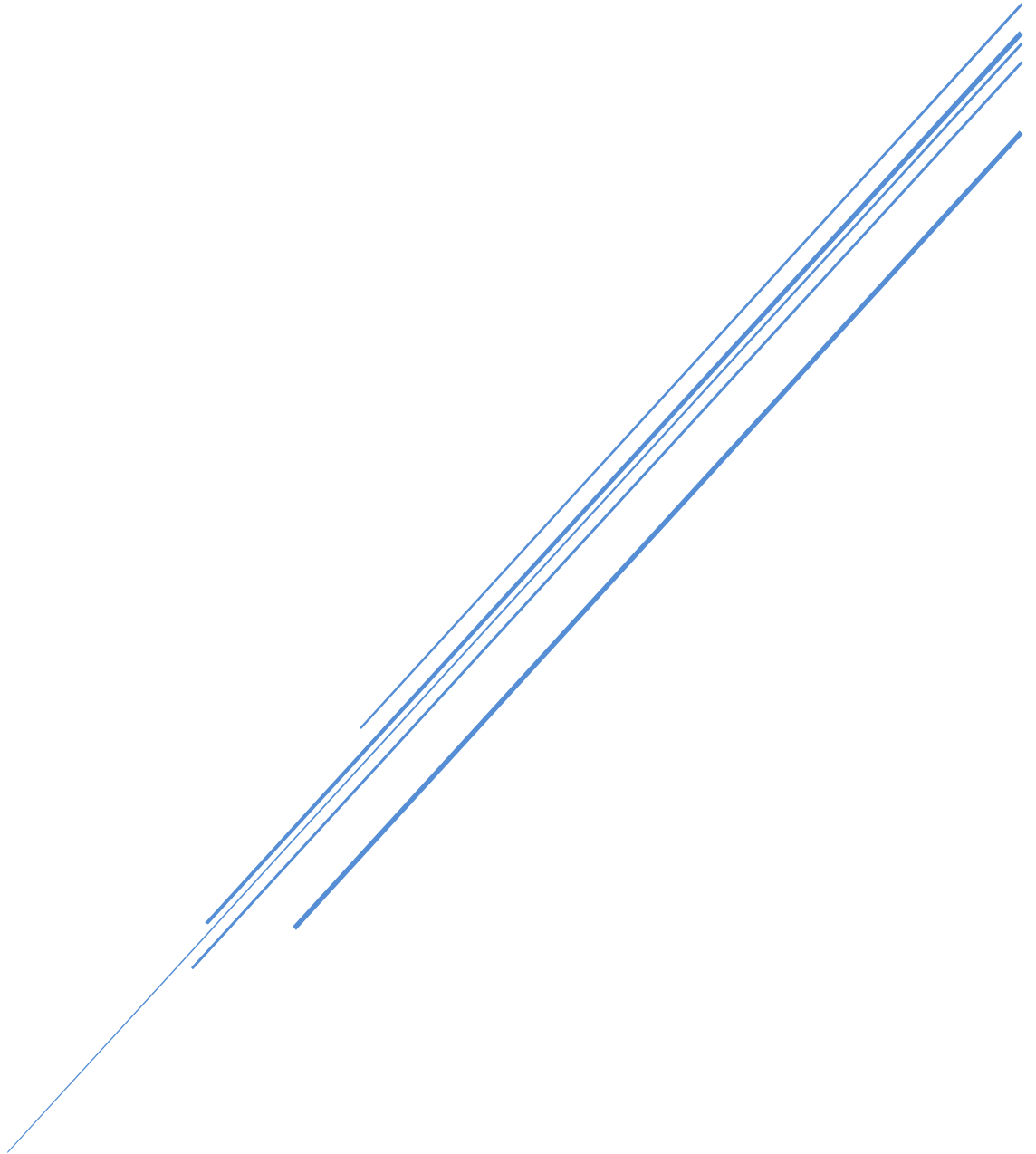
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>B.3</b>
---------------------------	------------

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

I. Δημοσιεύσεις .....	Π.3
II. Διακρίσεις Δημοσιεύσεων.....	Π.6
III. Ενδεικτικά Τμήματα Κώδικα .....	Π.8
IV. Πρακτικό Εξέτασης.....	Π.19



# Ευρεία Περίληψη



## **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

*Ηλίας Μ. Παπασταματίου*



# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Το Πρόβλημα

**Αστικοποίηση** Οι πόλεις αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα για την αντιμετώπιση των βασικών προκλήσεων της κοινωνίας και της οικονομίας στην Ευρώπη. Σύμφωνα με τον οδικό χάρτη του 2016 της Ευρωπαϊκής Σύμπραξης Καινοτομίας για τις Έξυπνες Πόλεις και τις Κοινότητες, το 78% των ευρωπαίων πολιτών ζει στις πόλεις και το 85% του ΑΕΠ της ΕΕ παράγεται σε αυτές (EIP, 2016). Οι πόλεις ευθύνονται για τα 2/3 περίπου της ενεργειακής κατανάλωσης, το 60% της υδάτινης κατανάλωσης και το 70% των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται σε όλο τον κόσμο (UN, 2016).

Η διαρκώς αυξανόμενη τάση αστικοποίησης που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια γεννά σοβαρά προβλήματα στη δομή και τη λειτουργία των σύγχρονων πόλεων. Πρόκειται για μία τεράστια πρόκληση, καθώς τόσο οι υπάρχουσες όσο και οι νέες πόλεις που θα δημιουργηθούν θα πρέπει να διακρίνονται από τα χαρακτηριστικά της βιωσιμότητας, της ενεργειακής αποδοτικότητας αλλά και της αρτιότητας των υποδομών, ώστε να προσφέρουν ένα ιδανικό περιβάλλον διαβίωσης για τους κατοίκους τους (Papastamatiou et al., 2014a).

Σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο πολιτικοοικονομικό περιβάλλον, οι δυνατότητες που προσφέρει η εφαρμογή διαρκώς εξελισσόμενων τεχνολογικών εφαρμογών δύνανται να συμβάλλουν καθοριστικά στην αναβάθμιση της διαχειριστικής ικανότητας και αποτελεσματικότητας της πολιτείας και των τοπικών και περιφερειακών αρχών σε ό,τι αφορά στον εκουγχρονισμό και την αειφορία των πόλεων.

**Ευρωπαϊκή και παγκόσμια Ενεργειακή Πολιτική για την Κλιματική Αλλαγή** Η αλλαγή του κλίματος αποτελεί σημαντικό παγκόσμιο φαινόμενο. Χωρίς την ανάληψη δράσης για τη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία του πλανήτη είναι πιθανόν να αυξηθεί πάνω από 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα και η αύξηση θα μπορούσε να φθάσει και τους 5°C έως το τέλος του αιώνα. Αυτό θα είχε τεράστιο αντίκτυπο στο τοπίο και στη στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως.

Η δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί ως εκ τούτου προτεραιότητα για την ΕΕ. Η ΕΕ έθεσε επίσης ως στόχο να μειώσει έως το 2050 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η ΕΕ και τα 28 κράτη μέλη της έχουν υπογράψει τόσο τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) όσο και το Πρωτόκολλο του Κιότο

και τη νέα Συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή. Η πρώτη δέσμη μέτρων της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια έθετε τρεις βασικούς στόχους για το 2020 (EC, 2008):

1. Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%,
2. Αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20%,
3. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%.

Το πλαίσιο 2030 προτείνει νέους στόχους και μέτρα για να καταστούν η οικονομία και το ενεργειακό σύστημα της ΕΕ περισσότερο ανταγωνιστικά, ασφαλή και βιώσιμα. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τους ακόλουθους στόχους (EC, 2014b, 2016):

- ▲ μείωση τουλάχιστον 40% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα επίπεδα του 1990,
- ▲ συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας κατά τουλάχιστον 27%,
- ▲ τουλάχιστον 30% εξοικονόμηση ενέργειας.

**Πρόβλημα  
Απόφασης και  
Εμπλεκόμενοι  
φορείς**

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, οι σύγχρονες μεγαλουπόλεις αντιμετωπίζουν μεγάλες προκλήσεις. Η κλιματική αλλαγή, ο αυξανόμενος πληθυσμός, η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο παγκόσμιος ανταγωνισμός και η οικονομική κρίση, αποτελούν μόνο μερικές από αυτές. Οι προκλήσεις αυτές σε συνδυασμό με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και τις Εθνικές Νομοθεσίες ωθούν τις πόλεις να προσαρμοστούν σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο και πολύπλοκο περιβάλλον. Όμως, παρόλο που υπάρχουν αρκετά εργαλεία πληροφορικής που υποστηρίζουν τις πόλεις καθώς και μεθοδολογίες για την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας, από τη μέχρι τώρα έρευνα καταδεικνύεται η απουσία μιας σειράς από σημαντικές συνιστώσες που αφορούν τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας στο επίπεδο της κτιριακής υποδομής. Μέσα από τη μελέτη και αξιολόγηση των μεθοδολογιών και εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για υποστήριξη των έξυπνων πόλεων προκύπτει ότι τα περισσότερα από αυτά (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017):

- ▲ Δεν αποτυπώνουν την τρέχουσα απόδοση της πόλης ως προς συγκεκριμένους άξονες αναδεικνύοντας τα δυνατά και αδύνατα σημεία της,
- ▲ Δεν εστιάζουν την πορεία αλλαγής σε έξυπνη πόλη ελέγχοντας την αποδοτικότητα της πόλης στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί,
- ▲ Δεν αξιολογούν το πόσο έξυπνη είναι η πόλη με βάση αντικειμενικούς δείκτες,
- ▲ Δεν επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ έξυπνων πόλεων και ενδεχομένως ταξινόμηση τους,
- ▲ Δεν προτείνουν λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας,



- ▲ Δε συνδυάζουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές και συνήθως δεν λαμβάνουν υπόψη στους υπολογισμούς τους τα δεδομένα των χρηστών.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός εύχρηστου εργαλείου που θα συνδυάζει τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας, χρησιμοποιώντας πρωτότυπα και πρακτικά εργαλεία, που θα αντιμετωπίζουν με έναν ολιστικό τρόπο τα προβλήματα αυτά αναλύοντας τους σχετιζόμενους παράγοντες και τις επαγόμενες αλληλεπιδράσεις.

## 1.2 Αντικείμενο και Στόχος Διατριβής

### *Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων*

Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την υποστήριξη αποφάσεων σε επίπεδο Έξυπνων Πόλεων θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από σαφήνεια και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του αποφασίζοντα και να στοχεύει στο να υποστηριχθεί έμπρακτα η προώθηση των ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων. Επιπλέον, θα πρέπει να δίνει απαντήσεις στις βασικές ανάγκες του συγκεκριμένου προβλήματος, όπως περιγράφονται ακολούθως:

- ▲ Πλήρης αποτύπωση της παρούσας κατάστασης και του «δυναμικού» των πόλεων και των κτιρίων τους,
- ▲ Δυνατότητα ενεργειακής αξιολόγησης των πόλεων και παρακολούθηση της πορείας τους σε διάφορους τομείς,
- ▲ Ευέλικτο μεθοδολογικό πλαίσιο, ώστε να συνδυάζει τόσο τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και τους εμπλεκόμενους φορείς στη διαδικασία λήψης αποφάσεων,
- ▲ Επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού δράσεων και μέτρων για την ενεργειακή εξοικονόμηση λαμβάνοντας υπόψη την πολυκριτηριακή φύση του προβλήματος, και τα οποία συνάδουν με τους στόχους που θέτει η πόλη για κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική αειφόρο ανάπτυξη,
- ▲ Συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση της πορείας υλοποίησης των δράσεων και συμμετοχή των χρηστών για τη διαμόρφωση των ενεργειακών βελτιωτικών δράσεων.

Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την εξοικονόμηση ενέργειας θα συμβάλλει στην άμεση υποστήριξη των τοπικών αρχών των πόλεων με στόχο τη δημιουργία ενεργειακών βιώσιμων κοινοτήτων και Έξυπνων Πόλεων.

**Αντικείμενο και Στόχος** Το αντικείμενο της Διδακτορικής Διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση ενέργειας σε έξυπνες πόλεις.

Στόχος της διατριβής, στην οποία βασίζεται η μεθοδολογία και τα σχετιζόμενα συστήματα που αναπτύσσονται, είναι η συμβολή στην κάλυψη του επιστημονικού «κενού» που εντοπίστηκε σχετικά με την προώθηση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) και της αξιοποίησης των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την δημιουργία των ενεργειακά βιώσιμων και Έξυπνων Πόλεων.

### 1.3 Συμβολή Διατριβής

**Συμβολή** Η συμβολή της Διδακτορικής Διατριβής συνίσταται στη διατύπωση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας σε επίπεδο πόλεων με την ανάπτυξη και τη χρήση επιμέρους εργαλείων πληροφορικής.

Η συμβολή της Διδακτορικής Διατριβής διακρίνεται σε δυο (2) επίπεδα, τα οποία αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

#### 1ο Επίπεδο Συμβολής

#### ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Σε πρώτο επίπεδο, η Διατριβή συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας με στόχο την υποστήριξη των τοπικών και περιφερειακών αρχών προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και των ενεργειακά έξυπνων πόλεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία απευθύνεται στις τοπικές αρχές πόλεων, για να βελτιστοποιηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις τους και να επιτευχθεί σημαντική μείωση των ρυπογόνων εκπομπών.

Το πρωτότυπο πλαίσιο που προτείνεται περιλαμβάνει δύο πυλώνες: την «Αξιολόγηση» (Assessment) και την «Διαχείριση» (Management) και έχει περιγραφεί από τον γράφοντα Papastamatiou et al. (2017). Αφού οι αρμόδιες αρχές της πόλης καθορίσουν τους ενεργειακούς στόχους για την πόλη, το προτεινόμενο πλαίσιο αρχίζει με την αξιολόγηση της πόλης. Ο πυλώνας «Αξιολόγηση» επισημαίνει τα δυνατά σημεία, τους τομείς χαμηλής απόδοσης και τις δυνατότητες μιας πόλης για ενεργειακή βελτίωση. Είναι πολύ σημαντικό να έχουμε μια λεπτομερή αξιολόγηση της κατάστασης σε διάφορους τομείς της πόλης πριν από την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων έτσι ώστε να διακρίνουμε ποιος τομέας της πόλης χρειάζεται βελτίωση (Papastamatiou et. al.,

2016, 2017; Marinakis et al., 2017). Ο πυλώνας αυτός χρησιμοποιεί το Ενεργειακό Πλαίσιο Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF» (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016) και το διαδικτυακό εργαλείο e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2014a, 2016).

Αφού οι τοπικές αρχές της πόλης έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσής της, που επισημαίνονται στο στάδιο της «Αξιολόγησης», συνεχίζουν με το επόμενο στάδιο της «Διαχείρισης» όπου και επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για την πόλη τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις. Οι προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας προκύπτουν από τον πυλώνα «Διαχείρισης» και προέρχονται από δύο (2) ΣΥΑ. Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιλαμβάνει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιλαμβάνει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας.

## **2ο Επίπεδο Συμβολής**

### **SMART CITY ENERGY ASSESSMENT FRAMEWORK (SCEAF) THERMAL COMFORT VALIDATOR (TCV) BUILDING ENERGY MANAGEMENT TOOL (BEMAT)**

Η Διδακτορική Διατριβή συμβάλλει σε δεύτερο επίπεδο στην ανάπτυξη πρότυπων διαδικτυακών εργαλείων, που τοποθετούνται στο ευρύτερο επιστημονικό πεδίο της υποστήριξης αποφάσεων και είναι προσαρμοσμένα κατάλληλα στο τρέχον πρόβλημα. Στη συνέχεια περιγράφονται τα τρία (3) διαδικτυακά εργαλεία που χρησιμοποιεί η προτεινόμενη μεθοδολογία. Σημειώνεται ότι τα εργαλεία αυτά έχουν υλοποιηθεί εξ ολοκλήρου από τον γράφοντα της διατριβής.

Ο πυλώνας της «Αξιολόγησης» χρησιμοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις Smart City Energy Assessment Framework tool (e-SCEAF) (Papastamatiou et al., 2016, 2017). Ο πυλώνας της «Διαχείρισης» χρησιμοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017) και το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT) (Papastamatiou et al., 2015).

## **Καινοτομία προτεινόμενης μεθοδολογίας**

Η προτεινόμενη μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα για ενεργειακή αξιολόγηση της πόλης και των κτιρίων της, πριν και μετά την εφαρμογή των δράσεων διαχείρισης ενέργειας που προτείνονται. Επίσης, για πρώτη φορά συνδυάζονται ΣΥΑ Ενεργειακής Διαχείρισης και

Ενεργειακής Εξοικονόμησης στο επίπεδο της Ενεργειακά Έξυπνης Πόλης (Papastamatiou et al. 2015, 2016, 2017; Marinakis et al., 2017).

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία λαμβάνεται για πρώτη φορά υπόψη η συγχώνευση πολλαπλών πηγών δεδομένων από τέσσερις (4) διαφορετικούς τομείς: τις καιρικές συνθήκες, τα δεδομένα από τους αισθητήρες του κτιρίου, την ανατροφοδότηση και τα σχόλια των χρηστών και τις τιμές της ενέργειας. Επίσης, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο είναι πλήρως επεκτάσιμο. Αποτελείται από εργαλεία ανοικτού κώδικα και μπορούν να ενσωματωθούν επιπλέον εργαλεία ΤΠΕ και ΣΥΑ

## 1.4 Δομή Έκθεσης Διδακτορικής Διατριβής

Η Διδακτορική Διατριβή αποτελείται από έξι (6) Κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1ο**  
**Εισαγωγή** Αποτελεί το Κεφάλαιο στο οποίο παρουσιάζεται συνοπτικά το πρόβλημα και στηρίζεται η ανάγκη ανάπτυξης μιας μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων των τοπικών και περιφερειακών αρχών προς την κατεύθυνση των ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων και έξυπνων πόλεων.
- Κεφάλαιο 2ο**  
**Περιγραφή Προβλήματος** Σε συνέχεια της σύντομης παρουσίασης του προβλήματος στην Εισαγωγή, το 2ο Κεφάλαιο αναλύει διεξοδικά το πρόβλημα της υποστήριξης αποφάσεων που εξετάζεται στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή. Συγκεκριμένα, διερευνώνται διεξοδικά όλες οι ευκαιρίες και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι τοπικές αρχές προς την κατεύθυνση των ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων.
- Κεφάλαιο 3ο**  
**Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών** Στο 3ο Κεφάλαιο περιγράφονται, αρχικά, οι επιστημονικές περιοχές υποστήριξης αποφάσεων, στις οποίες έγκειται η προτεινόμενη μεθοδολογία. Το Κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την υποστήριξη της καινοτομίας της προτεινόμενης μεθοδολογίας, όσον αφορά στη χρήση των προσεγγίσεων αυτών στο παρόν πρόβλημα υποστήριξης αποφάσεων.
- Κεφάλαιο 4ο**  
**Επόμενα Βήματα** Στο 4ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η συνολική φιλοσοφία της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης. Αναλύονται όλα τα επιμέρους στάδια του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε για τις επιμέρους συνιστώσες της προτεινόμενης προσέγγισης.
- Κεφάλαιο 5ο**  
**Πιλοτική Εφαρμογή** Στο 5ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των πληροφοριακών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί σε τρεις (3) αντιπροσωπευτικές ευρωπαϊκές πόλεις: Σαβόνα (Savona) στην Ιταλία, Σαν Κουγκάτ (Sant Cugat) στην Ισπανία, Ζάανσταντ (Zaanstad) στην Ολλανδία.
- Κεφάλαιο 6ο**  
**Συμπεράσματα- Προοπτικές** Το τελευταίο κεφάλαιο της Διατριβής παρουσιάζει τα επιτεύγματα της προτεινόμενης προσέγγισης, που απορρέουν τόσο από την ανάλυση των αρχικών Κεφαλαίων όσο και από τα εμπειρικά αποτελέσματα κατά την εφαρμογή σε πραγματικό πρόβλημα.

## 2. Περιγραφή Προβλήματος

### 2.1 Εισαγωγή

**Στόχος** Παρά τις προσπάθειες που γίνονται τα τελευταία χρόνια για τη μετάβαση προς τις Έξυπνες Πόλεις, ολοένα και περισσότερο διαφαίνεται η ανάγκη για ουσιαστική και αποτελεσματική υποστήριξη των τοπικών αρχών. Κύριος στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η αναλυτική περιγραφή του προβλήματος και η ανάδειξη της ανάγκης για την υποστήριξη των τοπικών αρχών για τη μετάβαση προς τις Έξυπνες Πόλεις.

### 2.2 Αειφόρος Ανάπτυξη & Ενεργειακή Πολιτική

**Περιγραφή της Ιδέας** Τις τελευταίες δεκαετίες η αειφόρος ανάπτυξη (ή βιώσιμη ανάπτυξη) αποτέλεσε ένα βασικό πρόσταγμα στον σχεδιασμό πολιτικής. Αποτέλεσε ένα αναλυτικό εργαλείο που προσπάθησε να συνδέσει οικολογικά και κοινωνικοοικονομικά προβλήματα και να συμφιλιώσει την αναπτυξιακή στρατηγική με την περιβαλλοντική προστασία, ως πρακτικές που υπό προϋποθέσεις μπορούσαν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά (Baker et al., 1997; Gidding et al., 2002; Horwood et al., 2005).

### 2.3 Τοπικός Ενεργειακός Σχεδιασμός

**Τοπικές Αρχές & Ενεργειακή Πολιτική** Η προσαρμογή στα δεδομένα της κάθε χώρας, καθώς και το γεγονός ότι σε πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αρμόδιες για τομείς πολιτικής που συνδέονται με τη στρατηγική «Ευρώπη 2020» είναι οι περιφερειακές και οι τοπικές αρχές, οδήγησε στην υιοθέτηση μίας περιφερειακής προσέγγισης για την επίτευξη των στόχων. Οι τοπικές αρχές αποτελούν τον πιο σημαντικό μοχλό άσκησης ενεργειακής πολιτικής, όχι μόνο γιατί έχουν καλύτερη γνώση επί των ιδιαιτεροτήτων της περιοχής τους αλλά επίσης γιατί μπορούν να την υπηρετήσουν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους (Terrados et al., 2007):

- ▲ Οι ίδιες ως καταναλωτές ενέργειας μπορούν να αποτελέσουν παράδειγμα προς μίμηση για τους πολίτες της περιοχής τους.
- ▲ Προσεκτικός σχεδιασμός και στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με την τοπική ανάπτυξη, όπως η δημιουργία σχεδίου βιώσιμης ανάπτυξης για τους πολίτες, αποτελούν τη βάση για μετέπειτα μείωση των καταναλώσεων ενέργειας.

- ▲ Οι τοπικές αρχές αποτελούν, επίσης, την καλύτερη επιλογή για την ενημέρωση, την ευαισθητοποίηση και την θέσπιση κινήτρων για τους πολίτες της περιοχής τους. Η οργάνωση και η πραγματοποίηση σεμιναρίων και ενημερωτικών εκστρατειών σχετικά με θέματα αποδοτικότερης χρήσης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πρωτοβουλίες που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας με σχετικά μικρό κόστος.

## 2.4 Ανάγκη για Ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις

*Εξυπνες Πόλεις και Κοινότητες* Η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα συνεπάγεται σειρά κοινωνικοπολιτικών, οικονομικών, τεχνολογικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η πληθυσμιακή αυτή σφύρα έχει σημαντικό αντίκτυπο σε βασικούς παράγοντες που διαμορφώνουν τις αστικές συνθήκες διαβίωσης όπως η ενέργεια, οι υδάτινοι πόροι, τα κτίρια και οι δημόσιοι χώροι. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας καταγράφεται πλέον στα αστικά κέντρα. Τα δύο τρίτα των εκπομπών αερίων, που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, προέρχονται από τις πόλεις. Για να αντιμετωπιστούν οι σύγχρονες προκλήσεις των αστικών κέντρων, η μετάβαση από τις "παραδοσιακές" πόλεις στις "έξυπνες" καθίσταται περισσότερο από ποτέ αναγκαία.

Κεντρικός άξονας για την εξέλιξη των «παραδοσιακών» πόλεων σε «έξυπνες» είναι η αξιοποίηση των σύγχρονων ΤΠΕ. Η διαρκής ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT) συνιστά σημαντική παράμετρο για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις», καθώς κάθε ηλεκτρονική συσκευή αποκτά δυνατότητα σύνδεσης με το διαδίκτυο. Επίσης, μια ακόμα παράμετρος για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις» είναι τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS) που σημειώνουν ταχύτατη ανάπτυξη σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data) από τους πολυάριθμους αισθητήρες που θα διαθέτουν οι τεχνολογίες των έξυπνων πόλεων. Καθώς όμως οι ανάγκες και οι προκλήσεις για κάθε πόλη είναι διαφορετικές, οι στόχοι θα πρέπει να οριοθετούνται με γνώμονα τις ιδιαίτερες κατά περίπτωση ανάγκες της εκάστοτε πόλης.

## 2.5 Συμπεράσματα

*Γενικά* Συνοψίζοντας, η ανάλυση του κεφαλαίου αυτού οδηγεί σε μια σειρά συμπερασμάτων για τις νέες συνθήκες και τάσεις σχετικά με την επίτευξη του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού σε επίπεδο πόλης:

- ▲ Ο ενεργειακός τομέας αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την επιδίωξη του στόχου της αειφόρου ανάπτυξης, αφού συνδέεται στενά τόσο με την περιβαλλοντική όσο με την κοινωνική και οικονομική διάσταση του εν λόγω στόχου.
- ▲ Οι τοπικές αρχές αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς

μοχλούς άσκησης ενεργειακής πολιτικής, όχι μόνο γιατί έχουν καλύτερη γνώση επί των ιδιαιτεροτήτων της περιοχής τους, αλλά και γιατί μπορούν να προωθήσουν άμεσα αναπτυξιακή πολιτική με πολλούς διαφορετικούς τρόπους.

- ▲ Η ιδέα των ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων και Έξυπνων Πόλεων κερδίζει σταθερά έδαφος τα τελευταία χρόνια. Μέσα από την ολοκληρωμένη αξιοποίηση των διαθέσιμων ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων και την εξοικονόμηση ενέργειας, οι κοινότητες επιδιώκουν τη σταδιακή απεξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα και τη βελτίωση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών μεταβλητών τους.
- ▲ Δεν μπορεί να υπάρξει Έξυπνη Πόλη χωρίς τη χρήση ΤΠΕ. Οι ΤΠΕ είναι βασικοί συντελεστές για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων. Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ μπορεί να αλλάξει το αστικό περιβάλλον και να προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες, μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση των πόλεων και τη λειτουργικότητά τους (Chourabi et al., 2012).

**Ανάγκη** Μέσα από τη μελέτη που διεξήχθη, αναδεικνύεται η σημασία του προβλήματος, όπως περιγράφεται ακολούθως:

---

#### **Ανάγκη υποστήριξης τοπικών αρχών με στόχο τη δημιουργία Ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων**

---

Παρά τις προσπάθειες που γίνονται για την υποστήριξη των τοπικών αρχών για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων, διαφαίνεται η ανάγκη για περισσότερη και αποτελεσματικότερη υποστήριξη και καθοδήγηση προκειμένου οι πόλεις να κινηθούν προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσα από την ουσιαστική υποστήριξή τους, θα μπορούσαν να κινηθούν δυναμικά και αποτελεσματικά προς τη δημιουργία των ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων.

---

#### **Ανάγκη Ολοκληρωμένης Μεθοδολογίας Υποστήριξης Αποφάσεων για τη Διαχείριση και την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Έξυπνες Πόλεις**

---

Προς αυτή την κατεύθυνση, σημαντικό ρόλο έχει η ανάπτυξη ενός Ολοκληρωμένου Μεθοδολογικού Πλαισίου που θα παρέχει υποστήριξη στους τοπικούς φορείς για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ειδικότερα, απαιτείται η χρήση των ΣΥΑ που επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών με τη χρήση ΤΠΕ. Με αυτό το τρόπο, η ανάπτυξη του Μεθοδολογικού Πλαισίου θα μπορούσε να συμβάλει στην υποστήριξη των τοπικών αρχών με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μετάβαση προς τις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις.

## 3. Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών

### 3.1 Εισαγωγή

**Στόχος** Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο 2ο Κεφάλαιο καθίσταται σαφές ότι η υποστήριξη των τοπικών αρχών προς την κατεύθυνση του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού και των Έξυπνων Πόλεων αποτελεί ένα περίπλοκο πρόβλημα απόφασης. Στο πλαίσιο αυτό, αναγνωρίστηκαν δυο διαφορετικά επιστημονικά πεδία υποστήριξης αποφάσεων, τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες του προβλήματος και περιλαμβάνουν:

- ▲ Μεθοδολογίες και Εργαλεία Διαχείρισης & Εξοικονόμησης Ενέργειας,
- ▲ Πολυκριτήρια ανάλυση με Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων και χρήση Γλωσσικής Ανάλυσης.

Απώτερος σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να στηρίζει, πρώτον την καταλληλότητα της χρήσης των παραπάνω πεδίων στην επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος και δεύτερον τα καινοτόμα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

### 3.2 Μεθοδολογίες και Εργαλεία για Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας στα κτίρια των «Έξυπνων Πόλεων»

**Γενική Περιγραφή** Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει διαθέσιμος ένας σημαντικός αριθμός μελετών που παρουσιάζουν μεθοδολογίες και εργαλεία για την Διαχείριση και Εξοικονόμηση ενέργειας στις πόλεις.

Συγκεκριμένα, υπάρχουν αρκετά εργαλεία διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Software - EMS). Τα εργαλεία αυτά παρέχουν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, ελέγχουν τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), καθώς και τον φωτισμό των κτιρίων. Προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα διαχείρισης του εγκατεστημένου εξοπλισμού. Τα εργαλεία αυτά θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια.

Σύμφωνα με την IEEE (IEEE, 2016), τέσσερα (4) είναι τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα εργαλεία διαχείρισης ενέργειας στις Έξυπνες Πόλεις: Συλλογή Δεδομένων, Αναφορά, Εποπτεία, Διαχείριση.



**Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης (EnMS)** Με τον όρο Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης (Energy Management System – EnMS) νοείται κάθε σύστημα που στοχεύει στην αποτελεσματική και αποδοτική χρήση της ενέργειας. Στόχος τους είναι η μεγιστοποίηση της μείωσης του ενεργειακού κόστους με ταυτόχρονη μείωση των διαχειριστικών εξόδων σε κάθε επίπεδο καθώς και η ενίσχυση των ανταγωνιστικών θέσεων μιας επιχείρησης/οργανισμού.

Η εφαρμογή ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης προκαλεί σημαντικά οφέλη, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι τα παρακάτω:

- ▲ Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.
- ▲ Η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και η βελτίωση της ποιότητας του αέρα.
- ▲ Η κατανόηση μιας ορθής και διαφανής επικοινωνίας σε θέματα ενέργειας εντός της επιχείρησης/οργανισμού.
- ▲ Η ανάπτυξη και διατήρηση πρωτίστως ενός αποδοτικού συστήματος παρακολούθησης και καταγραφής των ενεργειακών ροών και εν συνεχεία ενός πλάνου διοίκησης με στόχο την ορθή χρήση της ενέργειας.
- ▲ Η ανεύρεση νέων και καλύτερων πρακτικών για αύξηση των εσόδων μέσω ενεργειακών επενδύσεων.
- ▲ Η επιμόρφωση μέσω της συμμετοχής όλων των εργαζομένων σε ένα δομημένο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης.
- ▲ Η διαμόρφωση κοινωνικής εταιρικής ευθύνης.

**Διαχείριση & εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα**

Σήμερα, ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο (EC, 2012b). Η κατανάλωση αυτή διακρίνεται είτε σε ηλεκτρική, είτε σε θερμική ενέργεια (κυρίως πετρέλαιο και φυσικό αέριο) και ευθύνεται για την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με εκπομπές CO<sub>2</sub>. Για το σκοπό αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει μια σειρά Οδηγιών (2012/27/ΕΕ, 31/2010/ΕΕ και 2002/91/ΕΚ) προωθώντας κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (EC, 2012b, 2010c). Προκειμένου να εναρμονιστεί με τις ευρωπαϊκές οδηγίες και δεσμεύσεις, η Ελλάδα έχει ενσωματώσει στην ελληνική νομοθεσία τους Νόμους 3661/2008 και 4122/2013 (Ελληνικό Δίκαιο, 2013, 2008). Επιπλέον, από το 2010 η Ελλάδα έχει θέσει σε εφαρμογή τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) (Dascalaki et al., 2012).

Οι Μηχανικοί που δραστηριοποιούνται στον χώρο χρειάζονται σύγχρονα ΣΥΑ, που να επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών, μέσα από έξυπνες ΤΠΕ, έτσι ώστε να τους υποβοηθούν στην προσπάθειά τους για ενεργειακή διαχείριση. Η σύγκλιση των ΤΠΕ και της ενέργειας είναι το «κλειδί» για την

ανάπτυξη ολοκληρωμένων ΣΥΑ ενεργειακής διαχείρισης (Doukas et al., 2016).

**Συστήματα  
Υποστήριξης  
Αποφάσεων  
(ΣΥΑ)**

Η εξέλιξη των ΣΥΑ διαχείρισης ενέργειας επηρεάζεται σημαντικά από την τεχνολογική πρόοδο στον τομέα των ΤΠΕ. Λιγότερο περίπλοκα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, λειτουργώντας κυρίως ως συστήματα ελέγχου, ενώ ο βαθμός εξάρτησης από τον ανθρώπινο παράγοντα ήταν πολύ υψηλός (Askounis & Psarras, 1998). Τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη των ΤΠΕ, ευφυή μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων, στοχεύοντας στη διατήρηση των συνθηκών άνεσης και στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας (Doukas et al., 2007; Marinakis et al., 2013). Η γενική τους φιλοσοφία βασίζεται στις αρχές των συστημάτων “Building Energy Management Systems (BEMS)”.

Τα ΣΥΑ είναι ένα επίπεδο πάνω από τα “BEMS”, καθώς στόχο έχουν να αξιοποιήσουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τους καταγραφείς και τους ενεργοποιητές των επιμέρους συστημάτων για να κατευθύνουν τον ενεργειακό διαχειριστή στην ανάπτυξη βραχυπρόθεσμων σχεδίων δράσης. Αυτό προσδίδει και την ευφυΐα στα συστήματα αυτά, από τη στιγμή που δίνουν τη δυνατότητα στον διαχειριστή να αξιοποιήσει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να εξισορροπήσουν αναλόγως τις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος εξασφαλίζοντας αδιαλείπτως θερμική άνεση και εξοικονόμηση ενέργειας (Doukas et al., 2016).

Πιο συγκεκριμένα, η καινοτομία τους έγκειται στη δυνατότητα τους (Doukas et al., 2016):

- ▲ Να συλλέγουν πολυδιάστατα δεδομένα, όπως καιρικών συνθηκών, ενεργειακών προφίλ των υπό εξέταση κτιρίων (από τα “BEMS”), τιμών ενέργειας, δεδομένων παραγωγής ενέργειας (από ανανεώσιμες), ακόμα και δεδομένων από μέσα κοινωνική δικτύωσης.
- ▲ Να οργανώνουν τα δεδομένα αυτά μέσω της χρήσης σημασιολογικών τεχνολογιών (“semantic technologies”) για να δημιουργούν τάσεις, πρότυπα κλπ.
- ▲ Να ενσωματώνουν ευφυείς κανόνες για να προτείνουν σχέδια ενεργειακής βελτιστοποίησης.

Στο πλαίσιο αυτό, ολοκληρωμένες πλατφόρμες μπορούν να αναπτυχθούν, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του διαδικτύου, που βασίζονται σε αυτές τις τρεις (3) συνιστώσες. Με βάση την ανάλυση των υφιστάμενων μεθοδολογιών και εργαλείων παρατηρείται ότι υπάρχουν μεθοδολογίες που δίνουν έμφαση στην ανταλλαγή πληροφοριών και τη συμμετοχή των φορέων, ενώ λίγες χρησιμοποιούν ΣΥΑ και ΤΠΕ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1. Υφιστάμενες Μεθοδολογίες & Εργαλεία Διαχείρισης και Εξοικονόμηση ενέργειας**

Υφιστάμενες Μεθοδολογίες και Εργαλεία	ΣΥΑ	ΤΠΕ	Συμμετοχή φορέων	Έξυπνα Δίκτυα	Ανταλλαγή πληροφοριών	Υποστήριξη
Attune™		✓		✓	✓	✓
BELIEF			✓		✓	
Energy Manager		✓	✓	✓		✓
EBI	✓	✓	✓	✓		✓
LEAP		✓			✓	✓
MODEST	✓			✓		✓
European Energy Award	✓	✓	✓		✓	✓
OSeMOSYS		✓	✓		✓	
MAKE-IT- BE	✓		✓		✓	✓
MODEL			✓		✓	✓
REAP		✓				✓
MUSEC		✓	✓			
SEC Tools			✓			
Markal		✓			✓	
TERMIS		✓		✓		✓
StruxureWare™	✓	✓		✓	✓	✓
SEMANCO		✓		✓		✓
CitInES	✓			✓		✓
ICT 4 E2B		✓	✓	✓	✓	✓
IREEN		✓	✓	✓	✓	✓
NiCE		✓	✓	✓	✓	
FINSENY		✓		✓		✓
EnPROVE		✓	✓	✓		
INTENSE			✓	✓	✓	✓
i-SCOPE		✓		✓		
MEDBUILD				✓		
EnRiMa	✓	✓	✓	✓	✓	
TRACE	✓	✓		✓		✓

### 3.3 Πολυκριτήρια Ανάλυση

Η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας στο επίπεδο της ενεργειακά Έξυπνης Πόλης, αποτελεί ένα πρόβλημα απόφασης. Για να προσεγγιστεί επιστημονικά ένα πρόβλημα απόφασης, η πολυκριτήρια ανάλυση (αγγλ. multicriteria analysis) αποτελεί μονόδρομο. Η λήψη απόφασης γίνεται μέσα από συνεχείς

κύκλους μελέτης των δεδομένων, των εναλλακτικών λύσεων ή ακόμη και του ίδιου του αντικειμένου της απόφασης (Σίσκος, 2008). Η διαμόρφωση και ανάπτυξη ενός συστήματος είναι μια εξελικτική διαδικασία που εκδηλώνεται με μια ανακύκλωση τριών βασικών σταδίων, Σχεδιασμός - Εφαρμογή/Χρήση - Αξιολόγηση (Σίσκος, 2008). Οι κυριότερες κατηγορίες πολυκριτήριας ανάλυσης είναι οι ακόλουθες τρεις (Σίσκος, 2008):

- ▲ Συναρτησιακές Μέθοδοι: Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων συναρτήσεων αξίας ή χρησιμότητας.
- ▲ Σχισιακές Μέθοδοι: Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων σχέσεων υπεροχής. Οι κύριες μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι η ELECTRE ((ELimination Et Choix Traduisant la REalite)) και η PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations).
- ▲ Αναλυτικές Μέθοδοι: Το μοντέλο σύνθεσης των κριτηρίων συμπεραίνεται έμμεσα από δεδομένα ολικής προτίμησης του αποφασίζοντος. Οι κύριες μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι οι μέθοδοι της UTA (Utilités Additives) και MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique).

Στην Ευρώπη, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ενεργειακές πολιτικές για τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας, την αειφορία και την αύξηση της ανταγωνιστικότητας στον τομέα της ενέργειας. Οι δράσεις αυτές έχουν ως κύριο στόχο την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και λαμβάνουν υπόψη πολλαπλά εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων, αναλύοντας όλα τα κριτήρια που παίζουν ρόλο για τον ενεργειακό σχεδιασμό σε ένα πολυκριτηριακό πλαίσιο λήψης αποφάσεων (Pohekar & Ramachandran, 2004; EC, 2005). Γεγονός όμως αποτελεί, ότι στο πεδίο της αξιολόγησης των ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων, όπως αυτό ορίζεται στο συγκεκριμένο πρόβλημα, δε φαίνεται να έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση από τους ερευνητές.

### 3.4 Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων

Στα προβλήματα λήψης αποφάσεων είναι πολύ συνηθισμένη η χρήση μη-ομοιογενών πληροφοριών στη βιβλιογραφία (Tian et al., 2002; Li et al., 2008; Martinez et al., 2007) εξαιτίας κυρίως της φύσης των εναλλακτικών λύσεων:

- ▲ Όταν οι εναλλακτικές είναι ποσοτικές από τη φύση τους, αξιολογούνται με ακριβείς αριθμητικές τιμές.
- ▲ Όταν όμως οι εναλλακτικές έχουν ποιοτικό χαρακτήρα είναι δύσκολο να αξιολογηθούν με αριθμητικές τιμές.

- ▲ Συνήθως, τέτοιου είδους εναλλακτικές δεν είναι ακριβείς και παρουσιάζουν αβεβαιότητες. Μέχρι στιγμής αυτή η αβεβαιότητα εκφράζεται στις πληροφορίες με τη βοήθεια πραγματικών τιμών που αξιολογούνται σε ένα προκαθορισμένο εύρος, καθώς επίσης και σε άλλες πρόσφατες μεθόδους που βασίζονται σε διαστήματα και σε γλωσσικές προσεγγίσεις.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, διαφορετικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση ετερογενών πληροφοριών (Kundu, 1997; Herrera & Martinez, 2000, 2001a; Herrera et al., 2005; Baležentis & Baležentis, 2011; Atanassov, 1986; Lawry, 2004; Li et al., 2010; Espinilla et al., 2012). Γι' αυτούς τους λόγους, κρίνεται απαραίτητη η χρήση των γλωσσικών μεταβλητών και η διαχείριση των ετερογενών πληροφοριών (Papastamatiou et al., 2014a, 2014b, 2016, 2017; Marinakis et al., 2017). Μια από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες για τη διαχείριση των ετερογενών πληροφοριών είναι των Herrera et al. (2005). Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πρόβλημα καθώς είναι κατάλληλη στο επίπεδο της ενεργειακά Έξυπνης Πόλης και συνδυάζει δυο (2) σημαντικά πλεονεκτήματα:

- ▲ Μπορεί να αντιμετωπίσει με επιτυχία τα ετερογενή κριτήρια (ποσοτικά και ποιοτικά),
- ▲ Μπορεί να έχει ακριβή αποτελέσματα κάνοντας χρήση του μοντέλου διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple».

Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία των Herrera et al. (2005) αποτελείται από τις ακόλουθες τρεις φάσεις:

- ▲ Ομογενοποίηση των πληροφοριών
- ▲ Συνάθροιση των τιμών προτίμησης
- ▲ Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple»

Το μοντέλο διπλής γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple» (Herrera & Martinez, 2000; Herrera & Martinez, 2001a) είναι μια εξέλιξη του συμβολικού μοντέλου (Delgado et al., 1993). Συγκεκριμένα, προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια, το μοντέλο εισάγει μια καινούρια παράμετρο, τη συμβολική μετάφραση, η οποία αντιμετωπίζει τη γλωσσική περιοχή ως συνεχή, καθώς στο συμβολικό μοντέλο αντιμετωπίζεται ως διακριτή, και φέρνει εις πέρας τη διεργασία του υπολογισμού με λέξεις εύκολα και χωρίς απώλεια πληροφορίας. Αυτό το μοντέλο αναπαριστά τη γλωσσική πληροφορία με ένα γλωσσικό «2-tuple» που αποτελείται από ένα ζεύγος τιμών, δηλαδή ορίζεται ως:  $(s_i, a) \in S \times [-0.5, 0.5)$  όπου  $(s_i, a) \in S$  είναι γλωσσικός όρος και το  $(s_i, a) \in [-0.5, 0.5)$  είναι μια αριθμητική τιμή που αναπαριστά τη συμβολική μετάφραση.

### 3.5 Συμπεράσματα

Από την επισκόπηση των σχετιζόμενων μεθοδολογιών προκύπτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για την επίλυση του προβλήματος που εξετάζεται στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή:

Μέσα από τη μελέτη και αξιολόγηση αυτών των μεθοδολογιών και εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα προκύπτει ότι οι περισσότερες από αυτές:

- ▲ Δεν αξιολογούν την ενεργειακή απόδοση της πόλης ή των κτιρίων της πριν και μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας,
- ▲ Δεν αξιοποιούν ΣΥΑ και ΤΠΕ,
- ▲ Δε συνδυάζουν τη Διαχείριση Ενέργειας και την Εξοικονόμηση Ενέργειας,
- ▲ Δε λαμβάνουν υπόψιν τους χρήστες των κτιρίων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης,
- ▲ Δεν υπάρχει ένα ολιστικό πλαίσιο ενεργειακής αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων σε όλους τους τομείς τους και ως εκ τούτου δεν παρέχεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη Διαχείριση και την Εξοικονόμηση στις Έξυπνες Πόλεις.
- ▲ Οι περισσότερες λύσεις είναι εμπορικές και όχι επεκτάσιμες και προσαρμόσιμες στις ανάγκες τις εκάστοτε πόλης.

Η μελέτη της βιβλιογραφίας δείχνει ότι επιμέρους τεχνολογίες υποστήριξης αποφάσεων (πολυκριτήρια ανάλυση, γλωσσική ανάλυση, διαχείριση ετερογενών πληροφοριών) έχουν εφαρμοσθεί εδώ και πολλά χρόνια σε ενεργειακά προβλήματα, οδηγώντας στην εξαγωγή των ακόλουθων συμπερασμάτων:

- ▲ Οι ερευνητικές προσπάθειες για την υποστήριξη αποφάσεων στις Έξυπνες Πόλεις και η εφαρμογή των πολυκριτηριακών συστημάτων φαίνεται να είναι εξαιρετικά περιορισμένη και να αφορά επιμέρους μόνο χαρακτηριστικά.
- ▲ Η εφαρμογή της γλωσσικής ανάλυσης είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τις Έξυπνες Πόλεις, παρ' όλο που δεν χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.
- ▲ Ενώ στα προβλήματα λήψης αποφάσεων είναι συχνή η χρήση μη-ομοιογενών πληροφοριών εξαιτίας κυρίως της φύσης των εναλλακτικών λύσεων, η εφαρμογή τους στο επίπεδο της πόλης και της αξιολόγησης των δράσεων ενεργειακής Διαχείρισης φαίνεται να είναι πολύ περιορισμένη.

Από την σύγκριση των επιμέρους πολυκριτηριακών μεθόδων, αποδεικνύεται ότι το μοντέλο της διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple» είναι το κατάλληλο μέσο για την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

## 4. Προτεινόμενη Μεθοδολογία

### 4.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση που παρατέθηκε στα προηγούμενα Κεφάλαια, καθιστά σαφή την ανάγκη για ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων διαχείρισης ενέργειας σε έξυπνες πόλεις. Στο πλαίσιο αυτό, στόχος του Κεφαλαίου είναι η αναλυτική παρουσίαση της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης.

### 4.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

#### *Φιλοσοφία Προτεινόμενης Προσέγγισης*

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η φιλοσοφία ανάπτυξης του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο έχει ως στόχο να υποστηρίξει τις τοπικές αρχές προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και των έξυπνων πόλεων. Πιο συγκεκριμένα, η προτεινόμενη προσέγγιση περιλαμβάνει τις ακόλουθες δυο (2) συνιστώσες:

- ▲ *Συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση):* Η συνιστώσα αυτή αποτελεί το σημείο εκκίνησης της μεθοδολογίας. Αφορά στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάστασης του ενεργειακού δυναμικού της πόλης και στην αξιολόγησή της. Στο στάδιο αυτό επισημαίνονται τα δυνατά σημεία, οι τομείς χαμηλής απόδοσης και οι δυνατότητες της πόλης για ενεργειακή βελτίωση. Τα αποτελέσματα αυτής της συνιστώσας αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης, καθώς και την παρακολούθηση των στόχων που έχουν τεθεί από τις τοπικές αρχές.
- ▲ *Συνιστώσα «Management» (Διαχείριση):* Στη συνέχεια και αφού οι τοπικές αρχές έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσης της πόλης, η μεθοδολογία συνεχίζει με τη συνιστώσα «Management». Στο στάδιο αυτό, οι τοπικές αρχές επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις. Μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης, η μεθοδολογία συνεχίζει με την εκ νέου εφαρμογή της συνιστώσας Αξιολόγηση (Ex-Post «Assessment»).

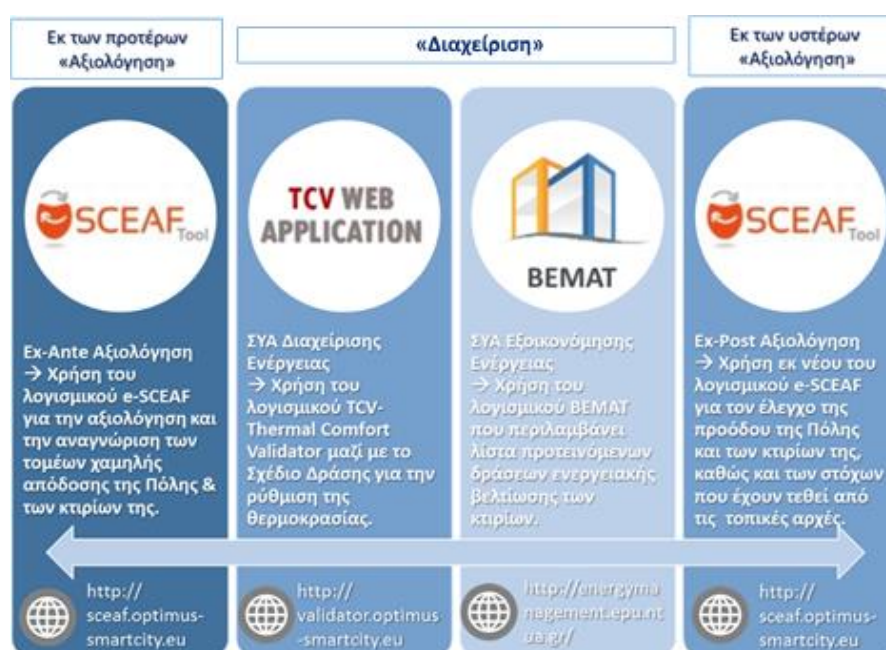
Στη συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση) χρησιμοποιείται το πρωτότυπο διαδικτυακό εργαλείο e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (Smart City

Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων.

Οι προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας προκύπτουν από τη συνιστώσα «Management» και προέρχονται από δύο (2) ΣΥΑ:

- ▲ Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakis et al., 2017) και υλοποιείται με την βοήθεια του διαδικτυακού εργαλείου TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017).
- ▲ Το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιέχει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας. Τα σενάρια αυτά προέρχονται από το διαδικτυακό εργαλείο διαχείρισης ενέργειας κτιρίων Building Energy Management Tool – BEMAT (Papastamatiou et al., 2015)

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση.



Σχήμα 1: Μεθοδολογική Προσέγγιση (Papastamatiou et al., 2017)

### 4.3 Συνιστώσα I: «Assessment»

#### Μεθοδολογία Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF»

Παρά τις έντονες προσπάθειες που έχουν γίνει διεθνώς, η ανάπτυξη μιας ενιαίας μεθοδολογίας για την αξιολόγηση της απόδοσης των πόλεων παραμένει ακόμη μια πρόκληση. Έως τώρα δεν υπάρχει ένα σύνολο δεικτών, ποσοτικών και ποιοτικών, που θα μπορεί να μετρά την απόδοση των πόλεων και να ισχύει για κάθε διαφορετικό πλαίσιο και για διαφορετικούς σκοπούς.



Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται λεπτομερώς μια νέα μεθοδολογία για την αξιολόγηση των πόλεων. Η μεθοδολογία αυτή δίνει έμφαση στην κατανάλωση και στη διαχείριση ενέργειας με στόχο να καλυφθεί το κενό που παρατηρήθηκε στην πλειοψηφία των διαθέσιμων μοντέλων που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, αναπτύχθηκε το Ενεργειακό Πλαίσιο Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF» (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016).

Μια Έξυπνη Πόλη είναι απαραίτητο να διαθέτει ένα σύνολο δεικτών αξιολόγησής της απόδοσής της σε διάφορους τομείς. Με αυτόν τον τρόπο, οι διαχειριστές της θα μπορούν να διαμορφώνουν συγκεκριμένες δράσεις, προκειμένου να βελτιώσουν τους τομείς όπου εμφανίζεται η πόλη τους πιο «αδύναμη». Η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιολόγησης πόλεων χωρίζεται σε τρεις κύριους πυλώνες: 1.Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας, 2.Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ και 3.Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ. Κάθε πυλώνας με τη σειρά του χωρίζεται σε άξονες.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι εικοσιένα (21) δείκτες της μεθοδολογίας ανά πυλώνα.

*Πίνακας 2. Δείκτες της Μεθοδολογίας Αξιολόγησης «Έξυπνων Πόλεων»*

<b>1. Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας</b>	
1.1	Στόχος μείωσης των εκπομπών CO <sub>2</sub> σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % των συνολικών εκπομπών
1.2	Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)
1.3	Στόχος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε τελική χρήση σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)
1.4	Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub>
1.5	Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης
1.6	Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ
1.7	Συνολικές χρηματικές δαπάνες για ενέργεια
<b>2. Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ</b>	
2.1	Ενεργειακή Κατανάλωση / κάτοικο
2.2	Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020
2.3	Ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020
2.4	Ένταση παραγωγής από ΑΠΕ
2.5	Ικανότητα Αποθήκευσης της Παραγόμενης Ενέργειας (ηλεκτρική/θερμική)
2.6	Συμπαράγωγή θερμότητας/ ηλεκτρισμού
2.7	Αξιοποίηση των καιρικών συνθηκών για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης
<b>3. Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ</b>	
3.1	Ενεργειακά Συστήματα Εποπτείας BEMS και BACS

3.2	Βαθμός διείσδυσης ΤΠΕ, Αυτοματισμών και Συστημάτων Εποπτείας Ενέργειας
3.3	Συστήματα Πρόβλεψης
3.4	Ευελιξία και δυνατότητα εναλλαγής παρόχων ενέργειας
3.5	Μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στα δημοτικά κτίρια
3.6	Αξιοποίηση των κοινωνικών δικτύων (Facebook, Twitter κ.α.)
3.7	Αξιοποίηση της άποψης των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των σεναρίων

Για την αξιολόγηση της πόλης στο σύνολο της ή ανά άξονα, αρχικά οι δείκτες του Πίνακα 2 ομογενοποιούνται, σύμφωνα με την μεθοδολογία του Herrera et al. (2005), και εκφράζονται σε μια κοινή βάση που καλείται BLTS. Με αυτόν τον τρόπο, οι δείκτες του κάθε άξονα, εάν και ετερογενείς, μπορούν εύκολα να συναθροιστούν με τη χρήση ενός συστήματος προστιθέμενης αξίας και να καταλήξουμε σε αποτελέσματα στον κάθε άξονα και κατ' επέκταση στην πόλη. Όλα τα κριτήρια είναι αυστηρά αυξανόμενης προτίμησης. Επιπλέον, χάριν απλούστευσης, θεωρείται ότι δεν υπάρχει καμία ισχυρή ένδειξη σημασίας μεταξύ του βαθμού κάθε άξονα και των ξεχωριστών τιμών του αντιστοιχού δείκτη. Συνεπώς, όλα τα κριτήρια συνεισφέρουν ισοδύναμα στο σύστημα προστιθέμενης αξίας, έτσι ώστε όσο μεγαλύτερες οι τιμές τους, τόσο καλύτερος ο βαθμός του άξονα. Με βάση τα παραπάνω, η Ενεργειακή Απόδοση Έξυπνης Πόλης (ΕΑΕΠ) μπορεί να αξιολογηθεί ως το σταθμισμένο άθροισμα της απόδοσης της πόλης για κάθε έναν από τους τρεις άξονες: Πεδίο Πολιτικών Δράσεων (ΠΠΔ), Ενέργεια και Περιβαλλοντικό Προφίλ (ΕΠΠ) και Σχετικές Υποδομές και ΤΠΕ (ΣΥ&ΤΠΕ)

$$ΕΑΕΠ(ΠΠΔ, ΕΠΠ, ΣΥ&ΤΠΕ) = w_{ΠΠΔ} * ΠΠΔ + w_{ΕΠΠ} * ΕΠΠ + w_{ΣΥ&ΤΠΕ} * ΣΥ&ΤΠΕ$$

Τα βάρη  $w_{ΠΠΔ}, w_{ΕΠΠ}, w_{ΣΥ&ΤΠΕ}$  πρέπει να έχουν άθροισμα ίσο με τη μονάδα και καθορίζονται από τον αποφασίζοντα, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Όμοια, η απόδοση της πόλης σε κάθε έναν άξονα (ΠΠΔ, ΕΠΠ, ΣΥ & ΤΠΕ) είναι μια συνάρτηση των αντιστοιχών δεικτών και υπολογίζεται ως εξής (Androulaki et al., 2014, 2016; Papastamatiou et al. 2015, 2016):

$$ΠΠΔ(I_{1,1}, I_{1,2}, \dots, I_{1,x}) = w_{P_{1,1}} * I_{1,1} + w_{P_{1,2}} * I_{1,2} + \dots + w_{P_{1,x}} * I_{1,x}$$

$$ΕΠΠ(I_{2,1}, I_{2,2}, \dots, I_{2,x}) = w_{P_{2,1}} * I_{2,1} + w_{P_{2,2}} * I_{2,2} + \dots + w_{P_{2,x}} * I_{2,x}$$

$$ΣΥ&ΤΠΕ(I_{3,1}, I_{3,2}, \dots, I_{3,x}) = w_{P_{3,1}} * I_{3,1} + w_{P_{3,2}} * I_{3,2} + \dots + w_{P_{3,x}} * I_{3,x}$$

Οι παραπάνω σχέσεις  $I_{1,1}, I_{1,2}, \dots, I_{1,x}, I_{2,1}, I_{2,2}, \dots, I_{2,x}, I_{3,1}, I_{3,2}, \dots, I_{3,x}$  αντιπροσωπεύουν την απόδοση της πόλης σε καθέναν από τους δείκτες. Τα βάρη σε κάθε σχέση καθορίζονται από τον αποφασίζοντα σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Η πιο γενική εικόνα της κατάστασης της πόλης προκύπτει από ίσα σταθμισμένα κριτήρια σε κάθε σχέση. Σύμφωνα με

το καθορισμένο πλαίσιο αξιολόγησης μια OPTIMUS πόλη είναι μια ιδανική πόλη γιατί πετυχαίνει τα υψηλότερα σκορ σε καθένα από τους τρεις άξονες αξιολόγησης και συνεπώς και στη συνάρτηση συγκέντρωσης.

$$ΠΠΔ(I_{1,1}, I_{1,2}, \dots, I_{1,x}) = 1$$

$$ΕΠΠ(I_{2,1}, I_{2,2}, \dots, I_{2,x}) = 1$$

$$ΣΥ&ΤΠΕ(I_{3,1}, I_{3,2}, \dots, I_{3,x}) = 1$$

$$ΕΑΕΠ(ΠΠΔ, ΕΠΠ, ΣΥ&ΤΠΕ) = 1$$

Η «OPTIMUS» πόλη (OPTIMUS, 2016) εκφράζει την Ιδανική Πόλη και μπορεί να αποτελέσει ορόσημο για κάθε πόλη. Αυτό εξασφαλίζει την παρακολούθηση της απόδοσής της, εστιάζοντας σε συγκεκριμένους άξονες απόδοσης. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να αξιοποιηθεί για τη σύγκριση πόλεων. Για τον σωστό καθορισμό των σταθμίσεων των δεικτών, οι οποίοι είναι ουσιαστικά τα κριτήρια αξιολόγησης της κάθε πόλης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια από τις μεθόδους πολυκριτήριας υποστήριξης απόφασης που αναπτύχθηκαν στο Κεφαλαίο 2.

**Λογισμικό  
Αξιολόγησης  
Έξυπνων  
Πόλεων «e-  
SCEAF»**

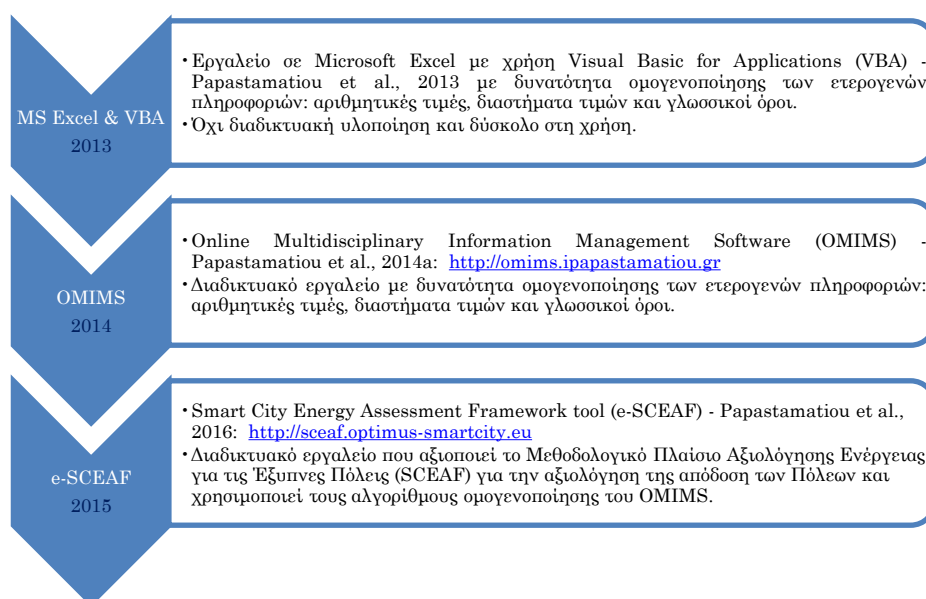
Το e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) είναι το διαδικτυακό εργαλείο που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (SCEAF) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων. Κάνοντας χρήση του e-SCEAF και μέσα από μια απλοποιημένη διαδικασία, οι τοπικές αρχές μπορούν να εντοπίσουν εύκολα τους τομείς της πόλης που δεν έχουν καλή απόδοση να διευκολυνθεί η επιλογή των δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας και να υποδειχθούν τα πιθανά σχέδια δράσης προκειμένου η πόλη να γίνει πιο “έξυπνη” και τα κτιριά της πιο αποδοτικά.

Το εργαλείο e-SCEAF έχει αναπτυχθεί σε PHP, MySQL και JavaScript και προσφέρει έναν ευέλικτο, αξιόπιστο και διαφανή τρόπο εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης μιας πόλης. Το e-SCEAF αποτελεί ανάπτυξη δυο προηγούμενων λογισμικών που θα αναλυθούν στη συνέχεια: το εργαλείο σε Microsoft Excel και Visual Basic for Applications (VBA) (Papastamatiou et al., 2013) καθώς και το λογισμικό OMIMS: Online Multidisciplinary Information Management Software (Papastamatiou et al., 2014a: <http://omims.ipapastamatiou.gr>).

Το e-SCEAF υποστηρίζει με απλό και γρήγορο τρόπο τις τοπικές αρχές για την αξιολόγηση της απόδοσης των πόλεων τους, με βάση το μεθοδολογικό πλαίσιο SCEAF, που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Το λογισμικό e-SCEAF αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία ανοιχτού κώδικα και περιέχει ένα σύνολο δυναμικών

ιστοσελίδων, φόρμες, μηχανισμούς απεικόνισης και παρουσίασης αποτελεσμάτων και MySQL βάση δεδομένων. Οι ιστοσελίδες αναπτύχθηκαν με τη χρήση γλώσσας προγραμματισμού PHP και ενσωματώνουν τη χρήση JavaScript προκειμένου να παρέχουν διαδραστικό περιβάλλον.

Αρχικά, το 2013, για την υλοποίηση της μεθοδολογίας ομογενοποίησης των ετερογενών πληροφοριών (αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικοί όροι) του Herrera et al. (2005), αναπτύχθηκε ένα φύλλο εργασίας σε Microsoft Excel (Papastamatiou et al., 2013), όπου με τη χρήση πρωτότυπων αλγόριθμων σε Visual Basic for Applications - VBA επιτεύχθηκε η διαδικασία ομογενοποίησης των ετερογενών μεταβλητών. Στη συνέχεια, το 2014, για τη διευκόλυνση των χρηστών και για την ευρύτερη χρήση από την ερευνητική κοινότητα, αναπτύχθηκε το διαδικτυακό εργαλείο OMIMS - Online Multidisciplinary Information Management Software (Papastamatiou et al., 2014a: <http://omims.ipapastamatiou.gr>). Το 2015 και στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Έργου «OPTIMUS», αναπτύχθηκε το διαδικτυακό εργαλείο e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας Πόλεων (SCEAF), αξιοποιώντας τους αλγόριθμους του OMIMS για την ομογενοποίηση των αριθμητικών τιμών και των γλωσσικών όρων. Στο Σχήμα 2, περιγράφονται συνοπτικά τα στάδια εξέλιξης του e-SCEAF, ενώ στον Πίνακα 3 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα εργαλεία και απεικονίζονται με εύκολο τρόπο οι διαφορές τους.



**Σχήμα 2. Στάδια Εξέλιξης e-SCEAF**

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά εργαλείων MS EXCEL-VBA, OMIMS &amp; e-SCEAF

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ	1Η ΈΚΔΟΣΗ	2Η ΈΚΔΟΣΗ		3Η ΈΚΔΟΣΗ
	MS EXCEL - VBA	OMIMS MYSQL	PHP -	e-SCEAF PHP-MYSQL DRUPAL
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ	✓	✓		✓
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΟΡΩΝ	✓	✓		✓
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΙΜΩΝ	✓	✓		✗
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ SCEAF	✗	✗		✓
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ FRAMEWORK	✗	✗		✓
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ ΧΡΗΣΤΗ	✗	✓		✓
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	✗	✓		✓
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	✗	✓		✓
ΑΠΟΣΦΑΛΜΑΤΩΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ	✗	✓		✓
ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΙΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	✗	✓		✓
ΑΣΦΑΛΕΙΑ	✗	✓		✓
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΩΔΙΚΑ	✗	✓		✓
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ	✗	✓		✓
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	✗	✓		✓
ΕΥΚΟΛΗ ΧΡΗΣΗ	✗	✓		✓
ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟ	✗	✓		✓

#### 4.4 Συνιστώσα II: «Management»

Αφού οι τοπικές αρχές της πόλης έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσής της, που επισημαίνονται στο στάδιο της «Αξιολόγησης», συνεχίζουν με το επόμενο στάδιο της «Διαχείρισης» όπου και επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για την πόλη τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις. Η συνιστώσα αυτή περιέχει δύο (2) ΣΥΑ. Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιέχει μακροπρόθεσμα σενάρια

εξοικονόμησης ενέργειας.

- Επαγωγικός Κανόνας - Επικύρωση Θερμικής Άνεσης (Thermal Comfort Validation)**
1. **Υπολογισμός προβλεπόμενης μέσης αίσθησης PMV:** Οι προβλεπόμενες τιμές της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται στην εξίσωση “PMV”, προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή του “Predicted Mean Vote” για την επόμενη εβδομάδα. Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε ωριαία χρονικά διαστήματα. Η τιμή της θερμοκρασίας αέρα παρέχεται από το μοντέλο πρόβλεψης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου (“Indoor Temperature Prediction Model”), η τιμή της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας λαμβάνεται ίση με την θερμοκρασία αέρα, η σχετική ταχύτητα αέρα, το επίπεδο ρουχισμού και ο μεταβολικός ρυθμός λαμβάνονται σε πρώτο στάδιο ως σταθερές τιμές που καθορίζονται με βάση τη βιβλιογραφία, ενώ η σχετική υγρασία παρέχεται από τον χρήστη.
  2. **Υπολογισμός πραγματικής μέσης αίσθησης AMV με δεδομένα από το διαδικτυακό εργαλείο TCV** (Papastamatiou et al., 2017): Η ανατροφοδότηση από τους χρήστες του κτιρίου καταγράφεται μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής TCV. Οι χρήστες συμπληρώνουν ένα σύντομο διαδικτυακό ερωτηματολόγιο στο εργαλείο TCV (<http://validator.optimus-smartcity.eu/>) και σημειώνουν την θερμική τους άνεση σε μια 7-βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης που βαθμολογεί με 0 την ουδέτερη θερμική αίσθηση από -3 έως 3 τις τιμές κρύου και ζέστης αντιστοίχα. Ενδιάμεσες τιμές σημαίνουν ενδιάμεσα στάδια θερμικής άνεσης.
  3. **Φιλτράρισμα AMV:** Στο τρίτο βήμα εφαρμόζεται το φιλτράρισμα των τιμών του AMV αποκλείοντας δεδομένα για τα οποία υπάρχουν λιγότερες από τρεις εγγραφές ή για δεδομένα που αφορούν ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου. Μετά τη διαδικασία φιλτραρίσματος ολοκληρώνεται η διαδικασία υπολογισμού των ωριαίων τιμών του AMV.
  4. **Υπολογισμός παρατηρούμενης μέσης αίσθησης OMV:** Ο δείκτης παρατηρούμενης μέσης αίσθησης (Observed Mean Vote - OMV) υπολογίζεται από τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες του κτιρίου (θερμοκρασίας και υγρασίας) με τις ίδιες εξισώσεις με τις οποίες υπολογίζεται και ο δείκτης PMV.
  5. - 6. **Υπολογισμός συσχέτισης μεταξύ AMV-OMV:**  
Για τον υπολογισμό της συσχέτισης μεταξύ των τιμών AMV και OMV δημιουργείται ένα γράφημα, με τις τιμές του AMV στον x άξονα και τις τιμές του OMV στον y άξονα, χρησιμοποιώντας τα ζευγάρια των φιλτραρισμένων τιμών του AMV (όπου έχουμε αποκλείσει τις ώρες μη λειτουργίας και τις ώρες με ανεπαρκές “feedback”) και του OMV των αντιστοιχων ωριαίων χρονικών διαστημάτων. Στη συνέχεια υπολογίζεται η γραμμική εξίσωση AMV-OMV που περιγράφει τη συσχέτισή τους. Ο υπολογισμός της

γραμμικής συσχέτισης πραγματοποιείται με τις ακόλουθες εξισώσεις:  $OMV = a + b * AMV$ ,  $b = \frac{OMV * AMV - \overline{AMV} * \overline{AMV}}{AMV^2 - (\overline{AMV})^2}$   $a = \overline{OMV} - b * \overline{AMV}$

**7. Προσδιορισμός της τιμής του OMV που αντιστοιχεί σε AMV = 0.** Με βάση την διαφορά που παρατηρήθηκε μεταξύ της πραγματικής και της παρατηρούμενης θερμικής άνεσης των χρηστών στο προηγούμενο βήμα γίνεται σαφές ότι για να έχουν οι χρήστες ουδέτερη θερμική άνεση, η εσωτερική θερμοκρασία θα πρέπει να προσαρμοστεί ώστε η τιμή του AMV να ισούται με μηδέν (0).

**8. Προσδιορισμός της τιμής θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε αυτή του “OMV” (ή “PMV):** Για την τιμή του “OMV” που καθορίστηκε στο προηγούμενο βήμα, επλύεται η αντίστροφη εξίσωση προκειμένου να βρεθεί η θερμοκρασία που την προκαλεί, δεδομένου ότι οι υπόλοιπες τιμές θεωρούνται ίσες με τις μέσες εβδομαδιαίες τιμές. Αυτή η τιμή θερμοκρασίας είναι το κύριο αποτέλεσμα του κανόνα επαγωγής: αποτελεί την πρόταση για το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας κατά την επόμενη εβδομάδα.

**9. Επικύρωση AMV:** Στο τελευταίο βήμα, τα αποτελέσματα επικυρώνονται. Όταν ο PMV ισούται με τον δείκτη OMV, η πραγματική θερμική άνεση των χρηστών είναι αποδεκτή. Αυτό σημαίνει ότι θέτοντας  $PMV = OMV$  στην προαναφερθείσα γραμμική εξίσωση, το AMV θα έπρεπε να ανήκει στο διάστημα [-0.5, 0.5] προκειμένου να συμμορφώνεται με τα Πρότυπα “ASHRAE”. Με αυτό το βήμα ολοκληρώνεται η διαδικασία με τελικό αποτέλεσμα την δημιουργία ενός σχεδίου δράσης για την ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας και κατ’ επέκταση των εσωτερικών συνθηκών του χώρου για τις οποίες επικρατεί η κατάλληλη θερμική άνεση για τους χρήστες.

*Λογισμικό  
Thermal  
Comfort  
Validator  
(TCV)*

Το Διαδικτυακό Εργαλείο TCV (Papastamatiou et al., 2017) έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη των διαχειριστών των πόλεων ώστε να εντοπίζουν τα πραγματικά επίπεδα θερμικής άνεσης των χρηστών στα κτίριά τους.

Το εργαλείο, μέσα από τα αποτελέσματα που προσφέρει, από την ανατροφοδότηση (feedback) των χρηστών, επικυρώνει την θερμική τους άνεση. Με τον τρόπο αυτό οι διαχειριστές των κτιρίων έχουν την δυνατότητα να διατηρήσουν την θερμοκρασία σε αποδεκτά επίπεδα άνεσης και να βελτιώσουν παράλληλα την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων τους. Τα αποτελέσματα του εργαλείου TCV αξιοποιούνται από το σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakis et al., 2017) όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Το TCV περιέχει ένα διαδικτυακό ερωτηματολόγιο, όπου οι χρήστες καλούνται να απαντήσουν εύκολα και σύντομα σε λίγες ερωτήσεις

σχετικές με την αίσθηση που έχουν για τη θερμοκρασία, τον αέρα και τον ήλιο στον εσωτερικό χώρο. Οι απαντήσεις τους αναλύονται και παρέχονται στο σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» για τον υπολογισμό του AMV (Actual Mean Vote), της πραγματικής αίσθησης δηλαδή των χρηστών. Έπειτα, οι καταχωρήσεις μεταφράζονται σε αριθμητικές τιμές 7-βάθμιας κλίμακας σύμφωνα με το δείκτη προβλεπόμενης μέσης αίσθησης PMV (Predicted Mean Voted) που ορίζεται από το πρότυπο ISO 7730:2006, όπως έχει ήδη περιγραφεί. Οι αριθμητικές τιμές φιλτράρονται περαιτέρω και αναλύονται προκειμένου να εισαχθούν στο σχέδιο δράσης του ΣΥΑ.

**Σύστημα  
Υποστήριξης  
Αποφάσεων  
Εξοικονόμησης  
της Ενέργειας**

Στο δεύτερο μέρος της συνιστώσας αυτής, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του ΣΥΑ Εξοικονόμησης Ενέργειας και υλοποιείται από το Εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων – BEMAT Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015).

Στο πρώτο στάδιο της «Διαχείρισης», οι διαχειριστές των κτιρίων καλούνται να ακολουθήσουν το ΣΥΑ για την Διαχείριση Ενέργειας και να εφαρμόσουν το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο ένα βραχυπρόθεσμο σενάριο διαχείρισης ενέργειας σε εβδομαδιαία βάση. Στην συνέχεια, η μεθοδολογία συνεχίζει με το δεύτερο στάδιο της «Διαχείρισης», το ΣΥΑ για την εξοικονόμηση ενέργειας. Στο ΣΥΑ αυτό, ο διαχειριστής της πόλης εισάγει τα δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης των κτιριακών του εγκαταστάσεων, και μέσω του διαδικτυακού λογισμικού BEMAT τα δεδομένα αναλύονται και στη συνέχεια προτείνονται έντεκα (11) δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Οι δράσεις εξοικονόμησης που προτείνονται είναι οι εξής:

- ▲ Εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας,
- ▲ Εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής,
- ▲ Αντικατάσταση των παλαιών υαλοπινάκων και κουφωμάτων,
- ▲ Αντικατάσταση παλαιών κλιματιστικών,
- ▲ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος (PV),
- ▲ Εγκατάσταση φυσικού αερίου,
- ▲ Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX),
- ▲ Εγκατάσταση εξωτερικών περσίδων,
- ▲ Εγκατάσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου τεχνητού φωτισμού,
- ▲ Αντικατάσταση παλαιών λαμπτήρων φωτισμού,
- ▲ Αντικατάσταση Λέβητα.

Ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να επιλέξει να εφαρμόσει όσα σενάρια επιθυμεί. Μετά, την επιλογή του κάθε σεναρίου, το λογισμικό κάνει αυτόματα τους υπολογισμούς και αξιολογεί τη βιωσιμότητα των προτεινόμενων ενεργειών με τη χρήση τριών οικονομικών δεικτών: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) και Discounted Payback Period (DPP).



**Λογισμικό Building Energy Management Tool (BEMAT)** Στο δεύτερο μέρος του πυλώνα «Διαχείρισης» βρίσκεται το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας υλοποιείται από το διαδικτυακό Εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων - Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015 - <http://energymanagement.epu.ntua.gr>).

Το εργαλείο έχει υλοποιηθεί σε Python/Django και χρησιμοποιείται επίσης, στο πλαίσιο της εργαστηριακής άσκησης στο προπτυχιακό μάθημα του 9ου Εξαμήνου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ: «Διαχείριση Ενέργειας & Περιβαλλοντική πολιτική». Οι αρμόδιες αρχές της πόλης, καταχωρούν τα γενικά χαρακτηριστικά των κτιριακών εγκαταστάσεων και στη συνέχεια το εργαλείο προτείνει μια σειρά δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να εφαρμόσει όσα σενάρια θέλει. Μετά την επιλογή του κάθε σεναρίου, το λογισμικό κάνει αυτόματα τους υπολογισμούς και αξιολογεί τη βιωσιμότητα των προτεινόμενων ενεργειών με τη χρήση τριών οικονομικών δεικτών: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) και Discounted Payback Period (DPP). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τις διαδικασίες που παρουσιάζονται στην τεχνική οδηγία 20701 από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας που βασίζεται στην «Ένεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EC, 2010c) και την «Οδηγία Ενεργειακής Αποδοτικότητας (2012/27 / ΕΕ)» (EC, 2012b) της ΕΕ.

Το BEMAT αποτελεί συνέχεια και εξέλιξη δύο προηγούμενων εκδόσεων: Η πρώτη έκδοση του εργαλείου αναπτύχθηκε το 2014 και ήταν σε Microsoft Access (Papastamatiou et al., 2014). Στη συνέχεια αντικαταστάθηκε με την δεύτερη έκδοση που αναπτύχθηκε το 2015 σε PHP και MySQL (Papastamatiou et al., 2015). Το 2017 αναπτύχθηκε η τρίτη έκδοση του λογισμικού που ονομάστηκε BEMAT (Papastamatiou et al., 2017).

Το τρέχον λογισμικό έχει τα εξής κύρια πλεονεκτήματα:

- ▲ Είναι διαδικτυακό: Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο λογισμικό από οπουδήποτε και χρησιμοποιώντας ό,τι συσκευή επιθυμεί (pc, notebook, tablet, smartphone). Αρκεί μόνον σύνδεση στο Διαδίκτυο.
- ▲ Είναι φιλικό και εύκολο προς τον χρήστη.
- ▲ Είναι σύγχρονο: Στο λογισμικό είναι ενσωματωμένες προηγμένες διαδικτυακές τεχνολογίες και χρησιμοποιούνται σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού.
- ▲ Είναι επεκτάσιμο: Μπορούν να προστεθούν εύκολα και γρήγορα καινούρια κομμάτια κώδικα που θα βελτιώνουν, αλλά και θα προσθέτουν νέα χαρακτηριστικά στο λογισμικό.

- ▲ Είναι εύκολο στην αποσφαλμάτωση: Εάν παρατηρηθούν κάποια σφάλματα, διορθώνονται γρήγορα και χωρίς μεγάλες αλλαγές στη δομή του κώδικα.
- ▲ Είναι γρήγορο ακόμη και με πολλούς συνδεδεμένους χρήστες ταυτόχρονα.
- ▲ Είναι ασφαλές: Περιλαμβάνει σημαντικά χαρακτηριστικά ασφαλείας καθώς είναι ανεπτυγμένο με framework και όχι με το χέρι - by hand όπως οι δυο προηγούμενες εκδόσεις.
- ▲ Είναι αξιόπιστο: Το τρέχον λογισμικό είναι σταθερό και οι ενημερώσεις πραγματοποιούνται πολύ εύκολα καθώς υποστηρίζεται από την κοινότητα χρηστών του Django.
- ▲ Η διαχείριση του κώδικα του λογισμικού γίνεται διαδικτυακά, με τον πλέον σύγχρονο τρόπο, από το Bitbucket. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα έλεγχος και αποσφαλμάτωση του λογισμικού γρήγορα και εύκολα από όλους τους διαχειριστές της πλατφόρμας.

Στον Πίνακα 4 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαφορές στις λειτουργίες των τριών εκδόσεων του λογισμικού.

**Πίνακας 4. Σύγκριση των εκδόσεων του λογισμικού διαχείρισης ενέργειας**  
**1. Microsoft Access (Papastamatiou et al., 2014), 2. PHP και MySQL (Papastamatiou et al., 2015), 3. BEMAT (Papastamatiou et al., 2017).**

Λειτουργίες	1η Έκδοση Microsoft Access - Visual Basic	2η Έκδοση PHP - Mysql	3η Έκδοση Django - Python
Εισαγωγή ενεργειακών δεδομένων	✓	✓	✓
Εφαρμογή δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας	✓	✓	✓
Τεχνοοικονομικός έλεγχος	✓	✓	✓
Έλεγχος των δεδομένων	✓	✓	✓
Διαδικτυακό	✗	✓	✓
Λογαριασμός διαχειριστή	✗	✓	✓
Συλλογή και διαχείριση αποτελεσμάτων	✗	✓	✓
Αποσφαλμάτωση σε πραγματικό χρόνο	✗	✓	✓
Υποστήριξη framework	✗	✗	✓
Προσαρμόσιμη ανάλυση οθόνης σε όλες τις συσκευές	✗	✗	✓
Online κώδικας - Bitbucket	✗	✗	✓

Ασφάλεια	×	×	✓
Απόδοση κώδικα	×	×	✓
Αξιοπιστία	×	×	✓
Ταχύτητα	×	×	✓
Εύκολη χρήση	×	×	✓
Επεκτάσιμο	×	×	✓
Ταυτόχρονη χρήση μεγάλου αριθμού χρηστών	×	×	✓

#### 4.5 Συμπεράσματα

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο ενσωματώνει δυο συνιστώσες («Assessment, Management»), που αφορούν στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάστασης, τον σχεδιασμό εναλλακτικών δράσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας και την υποστήριξη αποφάσεων, τόσο κατά τη φάση ανάπτυξης των δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης, όσο και κατά την παρακολούθηση και τον έλεγχο των στόχων που έχουν τεθεί. Η συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση) αποτελεί το σημείο εκκίνησης και τερματισμού της μεθοδολογίας. Η «**Ex-Ante Assessment**» αφορά στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάστασης του ενεργειακού δυναμικού της πόλης και στην αξιολόγησή της. Στο στάδιο της «Εκ των προτέρων Αξιολόγησης», της αξιολόγησης δηλαδή πριν την εφαρμογή των δράσεων, επισημαίνονται τα δυνατά σημεία, οι τομείς χαμηλής απόδοσης και οι δυνατότητες της πόλης για ενεργειακή βελτίωση. Τα αποτελέσματα αυτής της συνιστώσας αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης, καθώς και την παρακολούθηση των στόχων που έχουν τεθεί από τις τοπικές αρχές.

Η μεθοδολογία συνεχίζει με την συνιστώσα «**Management**» (Διαχείριση). Κατά το στάδιο αυτό, και αφού οι τοπικές αρχές των πόλεων έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσης, οι διαχειριστές επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις. Μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης, η μεθοδολογία ολοκληρώνεται με την εκ νέου εφαρμογή της συνιστώσας «Assessment» που σε αυτό το στάδιο καλείται «**Ex-Post Assessment**». Κατά την διάρκεια της «Εκ των υστέρων Αξιολόγησης», η πόλη αξιολογείται εκ νέου με βάση τους ίδιους δείκτες και τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της προηγούμενης εφαρμογής. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η πρόοδος της πόλης και οι στόχοι που έχουν θέσει οι τοπικές αρχές των πόλεων. Ο ενεργειακός διαχειριστής, ανάλογα με τα αποτελέσματα, μπορεί να ξεκινήσει εκ νέου την προτεινόμενη μεθοδολογία προκειμένου να βελτιώσει όλους τους δείκτες και να φτάσει όσο πιο κοντά μπορεί στην «OPTIMUS» (ιδανική) πόλη που έχει άριστα αποτελέσματα σε όλους τους δείκτες.

## 5. Πιλοτική Εφαρμογή

### 5.1 Εισαγωγή

**Στόχος** Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στην πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, μέσω των δύο συνιστωσών «Assessment» και «Management», καθώς και των υποστηρικτικών πληροφοριακών συστημάτων («e-SCEAF», «TCV-Thermal Comfort Validator» και «BEMAT-Buiding Energy Management Tool»).

### 5.2 Ex-Ante Assessment (Εκ των προτέρων Αξιολόγηση)

#### Συνολικά Αποτελέσματα Ex-Ante Assessment

Στο Σχήμα 3, απεικονίζονται τα συνολικά αποτελέσματα των πέντε κτιρίων. Το λογισμικό απεικονίζει σε φθίνουσα σειρά την απόδοση των κτιρίων (από το καλύτερο προς το χειρότερο). Παρατηρούμε ότι το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση και στην συνέχεια ακολουθούν τα υπόλοιπα κτίρια με μικρές διαφορές. Αξίζει να αναφέρουμε ότι παρόλο που τέσσερα κτίρια έχουν παρόμοιες αποδόσεις («Χαμηλή-Low» και «Πολύ Χαμηλή-Very Low»), μπορούμε να τα κατατάξουμε. Αυτό οφείλεται στην σωστή επιλογή του πολυκριτηριακού μοντέλου που έχει χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, το μοντέλο της διπλής γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple» (Herrera & Martinez, 2000; Herrera & Martinez, 2001a) που χρησιμοποιήθηκε συνδυάζει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: Αφενός, η γλωσσική πληροφορία καθιστά εύκολο στον ενεργειακό υπεύθυνο των πόλεων να διακρίνει την απόδοση του εκάστοτε κτιρίου, και αφετέρου με την χρήση της αριθμητικής τιμής που ακολουθεί δεν χάνεται η πληροφορία και υπάρχει ακρίβεια στο αποτέλεσμα.

Sant Cugat-Town Hall	Low	-0.35
Zaanstad-Town Hall	Very Low	0.29
Savona-Campus	Very Low	0.14
Savona-School	Very Low	-0.04
Sant Cugat-Theatre	Very Low	-0.2

Σχήμα 3. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται η απόδοση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 1<sup>ο</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και ακολουθούν το Σχολείο στη Σαβόνα και το Δημαρχείο του Ζάανσταντ. Συγκεκριμένα και τα πέντε κτίρια εμφανίζουν «Αμελητέα (Insignificant)», «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» και «Χαμηλή (Low)» απόδοση στους δείκτες από τον 1.1 έως τον 1.4 και στον δείκτη 1.6, στους δείκτες δηλαδή που αφορούν στους στόχους μείωσης των

εκπομπών CO<sub>2</sub> και κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2020, στην συμμετοχή των ΑΠΕ μέχρι το 2020 και στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>. Συμπερασματικά παρατηρούμε αφενός ότι τα κτίρια που ανήκουν στην ίδια πόλη παρουσιάζουν παραπλήσιες αποδόσεις στον 1<sup>ο</sup> πυλώνα και αφετέρου ότι υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης και των πέντε κτιρίων στον πυλώνα για την στρατηγική και το πολιτικό βαθμό φιλοδοξίας της κάθε πόλης.

#### Political field of action

Indicator	Savona-School	Savona-Campus	Sant Cugat-Town Hall	Sant Cugat-Theatre	Zaanstad-Town Hall
1.1	0.12	0.12	0.2	0.2	0.2
1.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1.3	0.29	0.29	0.2	0.2	0.2
1.4	0.16	0	0.24	0.06	0.27
1.5	0.29	0	0.24	0.29	0.61
1.6	0.11	0.12	0.09	0	0
1.7	0.75	1	0.03	0.07	0.18

**Σχήμα 4. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 1<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας».**

Στο Σχήμα 5 απεικονίζεται η απόδοση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 2<sup>ο</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Δημαρχείο του Ζάανσταντ και ακολουθούν τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα, και τα πέντε κτίρια εμφανίζουν «Αμελητέα (Insignificant)» απόδοση στον δείκτη 2.1 και στους δείκτες από 2.4 έως τον 2.6, δηλαδή στους δείκτες που αφορούν στην ενεργειακή κατανάλωση ανά κάτοικο, στην παραγωγή από ΑΠΕ, στην ικανότητα

#### Energy and Environmental Profile

Indicator	Savona-School	Savona-Campus	Sant Cugat-Town Hall	Sant Cugat-Theatre	Zaanstad-Town Hall
2.1	0.06	0	0.05	0.06	0.12
2.2	0.06	0	0	0.12	0.21
2.3	0.6	0.35	0	0.37	0.22
2.4	0.03	0.02	0.01	0	0
2.5	0	0	0	0	0
2.6	0	0.04	0	0	0
2.7	Very Low	Insignificant	Medium	Low	Optimus

**Σχήμα 5. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ»**

αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρική/θερμική) και στην συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού.

Στο Σχήμα 6 απεικονίζεται η απόδοση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 3<sup>ο</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε

αυτό τον τομέα έχει το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ και ακολουθεί το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και το Δημαρχείο του Ζάανσταντ.. Συγκεκριμένα, το Σχολείο της Σαβόνα λαμβάνει σε όλους τους δείκτες την χαμηλότερη βαθμολογία («Αμελητέα-Insignificant»). Το Θέατρο του Σαν Κουγκάτ λαμβάνει σε όλους τους δείκτες την χαμηλότερη βαθμολογία («Αμελητέα-Insignificant») εκτός του δείκτη 3.4. που λαμβάνει «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» απόδοση και αφορά στην ευελιξία και τη δυνατότητα εναλλαγής παρόχων ενέργειας. Το Δημαρχείο του Ζάανσταντ, λαμβάνει την χαμηλότερη βαθμολογία («Αμελητέα-Insignificant») σε όλους τους δείκτες εκτός των δεικτών 3.1 και 3.4. που λαμβάνει «Χαμηλή (Low)» απόδοση.

Related Infrastructures and ICT

Indicator	Savona-School	Savona-Campus	Sant Cugat-Town Hall	Sant Cugat-Theatre	Zaanstad-Town Hall
3.1	Insignificant	Insignificant	High	Insignificant	Low
3.2	0	0	0	0	0
3.3	Insignificant	High	Low	Insignificant	Insignificant
3.4	0.17	0.17	0.33	0.25	0.33
3.5	0.13	0	0	0	0
3.6	Insignificant	Insignificant	Optimus	Insignificant	Insignificant
3.7	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Insignificant

**Σχήμα 6. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 3<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ»**

Τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από την εφαρμογή του πρώτου σταδίου της μεθοδολογίας και συγκεκριμένα της «Έκ των προτέρων Αξιολόγησης (Ex-Ante Assessment)» για τα πέντε κτίρια είναι τα εξής:

1. Το λογισμικό e-SCEAF που χρησιμοποιείται στο πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας υποστηρίζει σημαντικά την δουλειά των ενεργειακών διαχειριστών των κτιρίων της πόλης με τους τρόπους αναπαράστασης των αποτελεσμάτων και δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των κτιρίων.
2. Από τα αποτελέσματα του πρώτου σταδίου φαίνεται ότι τα κτίρια έχουν μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης και στους τρεις πυλώνες. Από τα αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε έναν από τους 21 δείκτες, οι αρχές της πόλης μπορούν να διακρίνουν εύκολα τους τομείς που δεν αποδίδουν και να εφαρμόσουν κατάλληλες δράσεις για την ενεργειακή βελτίωση των κτιρίων.

Από τα αποτελέσματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα κτίρια που ανήκουν στην ίδια πόλη παρουσιάζουν παρόμοιες αποδόσεις στον πρώτο πυλώνα που αφορά στην στρατηγική και το πολιτικό βαθμό φιλοδοξίας της κάθε πόλης.

### 5.3 Συνιστώσα II «Management» (Διαχείριση)

Αφού οι τοπικές αρχές της πόλης έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσής της, που επισημαίνονται στο στάδιο της «Αξιολόγησης», συνεχίζουν με το επόμενο στάδιο της «Διαχείρισης» όπου επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για την πόλη τους,

ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις.

**ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας** Στο ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας χρησιμοποιείται το διαδικτυακό εργαλείο TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017) και το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakakis et al., 2017). Το εργαλείο TCV έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη των διαχειριστών των πόλεων ώστε να εντοπίζουν τα πραγματικά επίπεδα θερμικής άνεσης των χρηστών στα κτίριά τους. Το εργαλείο από τα αποτελέσματα που προσφέρει μέσω της ανατροφοδότησης (feedback) των χρηστών επικυρώνει την θερμική άνεση των χρηστών. Με τον τρόπο αυτό οι διαχειριστές των κτιρίων έχουν την δυνατότητα να διατηρήσουν την θερμοκρασία σε αποδεκτά επίπεδα άνεσης και να βελτιώσουν παράλληλα την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων τους.

Ουσιαστικά υπολογίζονται οι εξής τρεις βασικές τιμές: PMV (Predicted Mean Vote – Προβλεπόμενη μέση ψήφος), AMV (Actual Mean Vote – Πραγματική μέση ψήφος) και OMV (Observed Mean Vote – Παρατηρούμενη μέση ψήφος).

**ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας** Ο ενεργειακός υπεύθυνος της πόλης και των κτιρίων της εισάγει στο διαδικτυακό εργαλείο BEMAT - Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015) τα δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης των κτιριακών εγκαταστάσεων και μέσω του λογισμικού τα δεδομένα αναλύονται και στη συνέχεια προτείνονται έντεκα (11) δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

**Συνολικά Αποτελέσματα** Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα και για τα 5 κτίρια. Συγκεκριμένα επιτυγχάνεται μέσω του ΣΥΑ για την διαχείριση ενέργειας που αφορά στο Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και τη χρήση του λογισμικού TCV μέσος όρος βελτίωσης θερμικής άνεσης των χρηστών κατά 38%. Επίσης, σε ό,τι αφορά την ενεργειακή κατανάλωση επιτυγχάνεται εξοικονόμηση από 4% έως 6,6% στις περισσότερες εγκαταστάσεις εκτός από το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ που επιτυγχάνεται ένα πολύ σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας τους χειμερινούς μήνες κατά 21% και τους θερινούς κατά 45%. Συνολικά και τα δύο ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν κατά μέσο όρο σε περιορισμό κατά 19% της κατανάλωσης του φυσικού αερίου και κατά 30% της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το μέσο ετήσιο κέρδος ανέρχεται στα 23.500€. Ένα ακόμη σημαντικό σημείο που θα πρέπει να σημειωθεί είναι η δυνατότητα προσαρμογής των λογισμικών TCV και BEMAT σε τρεις (3) διαφορετικές χώρες και πέντε (5) διαφορετικά κτίρια.

Πίνακας 5. Συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στα πέντε πιλοτικά κτίρια

		Ποσοστό βελτίωσης θερμικής άνεσης χρηστών	Ποσοστό εξοικονόμησης Φυσικού Αερίου	Ποσοστό εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας	Κέρδος σε €
SAVONA SCHOOL	TCV	50%	4%	-	1.656,7
	BEMAT	-	28%	55%	41.309,8
SAVONA CAMPUS	TCV	-	-	-	-
	BEMAT	-	44,29%	44,29%	30.327,4
SANT CUGAT TOWNHALL	TCV	46%	-	6,6%	12.688,0
	BEMAT	-	-	-	-
SANT CUGAT THEATRE	TCV	44,50%	21,0%	45%	42.439,9
	BEMAT	-	6,2%	21%	16.558,2
ZAAANSTAD TOWNHALL	TCV	12%	-	-	-
	BEMAT	-	10%	10%	17.765,96
Μέσος όρος		38%	19%	30%	23.249,4

#### 5.4 Συνιστώσα I «Ex-Post Assessment» (Εκ των υστέρων Αξιολόγηση)

Αποτελέσματα Ex-Post Assessment από την εφαρμογή e-SCEAF

Στα σχήματα που ακολουθούν, απεικονίζονται τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά και για τα πέντε κτίρια από το λογισμικό e-SCEAF. Η δυνατότητα που έχει το λογισμικό να συγκρίνει κτίρια, είναι πολύ σημαντική για τον ενεργειακό υπεύθυνο των πόλεων ώστε να μπορεί εύκολα να διακρίνει τους τομείς που το κάθε κτίριο αποδίδει ή δεν αποδίδει και να προβαίνει στις κατάλληλες παρεμβάσεις για καλύτερη ενεργειακή διαχείριση και ενεργειακή εξοικονόμηση. Στο Σχήμα 7, απεικονίζονται τα συνολικά αποτελέσματα των πέντε κτιρίων από την Ex-Ante και την Ex-Post αξιολόγηση.

All Three - Comparison of each building in year 2017

Savona School 2017	Medium	-0.48	2.52
Zaanstad Town Hall 2017	Low	0.21	2.21
Savona Campus 2017	Low	0.1	2.1
Sant Cugat Town Hall 2017	Low	-0.06	1.94
Sant Cugat Theatre 2017	Low	-0.24	1.76

Σχήμα 7. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Συνολικά αποτελέσματα Ex-Ante και την Ex-Post αξιολόγησης

Παρατηρούμε ότι το Σχολείο στη Σαβόνα στην Ex-Post αξιολόγηση περνάει πρώτο σε απόδοση και καταλαμβάνει την θέση που είχε το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ στην Ex-Ante. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μετά από την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της



θερμοκρασίας μέσω του λογισμικού TCV και των βελτιωτικών σεναρίων θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας, θερμομόνωσης οροφής και αντικατάστασης παλαιών υαλοπινάκων μέσω του λογισμικού BEMAT προέκρινε πολύ σημαντική ενεργειακή εξοικονόμηση που οδήγησε το Σχολείο στην Σαβόνα στην κορυφή της κατάταξης με απόδοση «Μέτρια-Medium». Ακολουθούν με μικρές διαφορές και με απόδοση «Χαμηλή-Low» το Δημαρχείο του Ζάανσταντ, το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα, το Δημαρχείο στο Σαν Κουγκάτ και τέλος το θέατρο του Σαν Κουγκάτ.

**Συνολικά  
Αποτελέσματα  
1<sup>ου</sup> πυλώνα  
μεθοδολογίας:  
Στρατηγική -  
Πολιτικός  
Βαθμός  
Φιλοδοξία».**

Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Σχολείο στη Σαβόνα, ακολουθεί το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και το Δημαρχείο στο Σαν Κουγκάτ. Συγκεκριμένα σε σχέση με την Ex-Ante αξιολόγηση, οι δείκτες 1.4, 1.5 και 1.7 που αφορούν στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και τις συνολικές χρηματικές δαπάνες για την βελτίωση της ενέργειας μέχρι το 2020 αντίστοιχα βελτιώνονται σε όλα τα κτίρια σημαντικά. Αυτό οφείλεται στην ενεργειακή εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την χρήση των ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μέσω των εφαρμογών BEMAT και TCV. Το Σχολείο της Σαβόνα και το Πανεπιστήμιο της Σαβόνα έχουν την καλύτερη απόδοση στους δείκτες αυτούς και ακολουθούν το Δημαρχείο του Ζάανσταντ, το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ και στο τέλος το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ. Αντιθέτως, οι δείκτες 1.1, 1.2, 1.3 παραμένουν αμετάβλητοι. Παρατηρούμε ότι τα κτίρια που ανήκουν στην ίδια πόλη παρουσιάζουν και την ίδια απόδοση. Τέλος, σε ότι αφορά τον δείκτη 1,6 που αφορά στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ, εξαρτάται από τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ που διαθέτουν τα κτίρια. Στην περίπτωση των υπό μελέτη κτιρίων, 3 από αυτά διαθέτουν εγκατάσταση Φ/Β. Η βελτίωση των δεικτών 1.4 έως 1.7 μεταξύ της Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης, μέσω της χρήσης των λογισμικών TCV και BEMAT, παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.

Political field of action

Indicator	2014	2017
1.1	0.16	0.16
1.2	0.2	0.2
1.3	0.24	0.24
1.4	0.14	0.45
1.5	0.28	0.64
1.6	0.07	0.1
1.7	0.51	0.6

**Σχήμα 8. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 1<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας».**  
**Σύγκριση μεταξύ Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης**

**Συνολικά  
Αποτελέσματα  
2<sup>ου</sup> πυλώνα της  
μεθοδολογίας:  
Ενεργειακό &  
Περιβαλλοντι-  
κό Προφίλ**

Καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Σχολείο στη Σαβόνα, ακολουθεί το Δημαρχείο στο Ζάανσταντ και το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ και ακολουθούν τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα σε σχέση με την Ex-Ante αξιολόγηση η απόδοση των δεικτών που παρουσιάζει σημαντική βελτίωση αφορούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020. Η βελτίωση σε αυτούς τους δείκτες οφείλεται στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων ύστερα από την εφαρμογή των δράσεων μέσω του BEMAT καθώς και την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, μέσω του λογισμικού TCV. Η βελτίωση των δεικτών 2.1 έως 2.4 μεταξύ της Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης, μέσω της χρήσης των λογισμικών TCV και BEMAT, παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.

**Energy and Environmental Profile**

Indicator	2014	2017
2.1	0.06	0.16
2.2	0.08	0.16
2.3	0.29	0.29
2.4	0.01	0.02
2.5	0	0
2.6	0.02	0.02
2.7	Medium	Medium

**Σχήμα 9. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ». Σύγκριση μεταξύ Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης**

**Συνολικά  
Αποτελέσματα  
3<sup>ου</sup> πυλώνα της  
μεθοδολογίας:  
Σχετικές  
Υποδομές  
Ενέργειας &  
ΤΠΕ**

Καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ και ακολουθεί το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και το Δημαρχείο του Ζάανσταντ. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την Ex-Ante αξιολόγηση παρατηρούμε ότι οι δείκτες που σημείωσαν σημαντική πρόοδο αφορούν στην εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά συστήματα εποπτείας. Η βελτίωση αυτή στους δείκτες οφείλεται στο γεγονός ότι και τα πέντε κτίρια πλέον αξιοποιούν τα διαδικτυακά λογισμικά e-SCEAF, TCV και BEMAT. Η σημαντική βελτίωση των δεικτών 3.1, 3.3, 3.5, 3.6 και 3.7 μεταξύ της Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης, μέσω της χρήσης των λογισμικών TCV και BEMAT, παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.

**Related Infrastructures and ICT**

Indicator	2014	2017
3.1	Low	High
3.2	0	0
3.3	Low	High
3.4	0.25	0.25
3.5	0.01	0.04
3.6	Insignificant	Medium
3.7	Insignificant	High

**Σχήμα 10. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 3<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ»**

**Συμβολή των ΣΥΑ Διαχείρισης & εξοικονόμησης ενέργειας στο e-SCEAF** Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται η συμβολή του ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας που αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο TCV και του ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας που αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων BEMAT. Από τον Πίνακα 6 παρατηρούμε πως τα δυο λογισμικά βελτιώνουν την απόδοση 14 από τους 21 δείκτες του πλαισίου αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων SCEAF.

**Πίνακας 6. Συμβολή των ΣΥΑ Διαχείρισης & εξοικονόμησης ενέργειας στους δείκτες του e-SCEAF**

Περιγραφή	Δείκτες	TCV	BEMAT
Στόχος μείωσης των εκπομπών CO <sub>2</sub> σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % των συνολικών εκπομπών	1.1	✗	✗
Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)	1.2	✗	✗
Στόχος ΑΠΕ σε τελική χρήση σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)	1.3	✗	✗
Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub>	1.4	✓	✓
Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης	1.5	✓	✓
Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ	1.6	✗	✓
Συνολικές χρηματικές δαπάνες για ενέργεια	1.7	✓	✓
Ενεργειακή κατανάλωση / κάτοικο	2.1	✓	✓
Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020	2.2	✓	✓
Μέσος συντελεστής εκπομπών CO <sub>2</sub>	2.3	✓	✓
Ένταση παραγωγής από ΑΠΕ	2.4	✗	✓
Ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρική/θερμική)	2.5	✗	✗
Συμπαράγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού	2.6	✗	✗
Ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους	2.7	✗	✓
Συστήματα Αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας και Περιβαλλοντικά Συστήματα Εποπτείας	3.1	✓	✓
Ενεργειακά Συστήματα Εποπτείας	3.2	✗	✗
Συστήματα Πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης	3.3	✓	✗
Ευελιξία και δυνατότητα εναλλαγής παρόχων ενέργειας	3.4	✗	✗

Μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών	3.5	✓	✓
Αξιοποίηση των κοινωνικών δικτύων (Facebook, Twitter κ.α.)	3.6	✓	✗
Αξιοποίηση της άποψης των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των σεναρίων	3.7	✓	✗

## 5.5 Συμπεράσματα

**Πιλοτική Εφαρμογή** Η παραπάνω εφαρμογή παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής των εξής συμπερασμάτων:

- ▲ Η χρήση των πληροφοριακών συστημάτων, που ενσωματώνονται στην προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ευέλικτη, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής. Συγκεκριμένα τα λογισμικά e-SCEAF, TCV και BEMAT προσαρμόστηκαν επιτυχώς σε δήμους διαφορετικών χωρών.
- ▲ Η προτεινόμενη μεθοδολογία παρέχει άμεσο και σαφή καθορισμό όλων των παραμέτρων του προβλήματος και εμπειριστατωμένη ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της αξιολόγησης των εναλλακτικών Σεναρίων Δράσης από τους αποφασίζοντες.
- ▲ Το λογισμικό e-SCEAF υποστηρίζει σημαντικά το έργο των ενεργειακών υπευθύνων των κτιρίων της πόλης. Στην πρώτη εφαρμογή του e-SCEAF οι υπεύθυνοι μπορούν να διακρίνουν γρήγορα και εύκολα τους τομείς που τα κτίρια τους έχουν καλή απόδοση ή δεν έχουν. Στην δεύτερη εφαρμογή του e-SCEAF, οι διαχειριστές των πόλεων και των κτιρίων κατ' επέκταση μπορούν να διαπιστώσουν την ενεργειακή πρόοδο και βελτίωση των κτιρίων τους. Επίσης, διαπιστώνουν ποιοι τομείς τώρα αποδίδουν καλά, και ποιοι τομείς θα πρέπει επίσης να βελτιωθούν.
- ▲ Από τα αποτελέσματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας φαίνεται ότι τα πιλοτικά κτίρια βελτίωσαν την απόδοση στους περισσότερους από τους 21 δείκτες (συγκεκριμένα σε 14 δείκτες) του SCEAF. Βάσει των αποτελεσμάτων, οι ενεργειακοί διαχειριστές μπορούν να ξεκινήσουν εκ νέου την διαδικασία και να βελτιώσουν περαιτέρω τα κτίρια και τις πόλεις τους.
- ▲ Επίσης, παρατηρούμε την σημαντική συμβολή των ΣΥΑ για τη Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας. Συγκεκριμένα μέσω του ΣΥΑ για την διαχείριση ενέργειας που αφορά στο Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και τη χρήση του λογισμικού TCV επιτυγχάνεται μέσος όρος βελτίωσης θερμικής άνεσης των χρηστών κατά 38% και ενεργειακή εξοικονόμηση από 4% έως 6,6% στις περισσότερες εγκαταστάσεις. Συνολικά και τα δύο ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν κατά μέσο όρο σε περιορισμό κατά 19% της κατανάλωσης του φυσικού αερίου και κατά 30% της ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος.
- ▲ Ακόμη, η δυνατότητα επέκτασης του μεθοδολογικού πλαισίου είναι πολύ σημαντική.

## 6. Συμπεράσματα - Προοπτικές

### 6.1 Συμπεράσματα

**Στόχος** Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων σε ό,τι αφορά την εξοικονόμηση και τη διαχείριση ενέργειας σε Έξυπνες Πόλεις. Οι ενεργειακές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα αστικά κέντρα και η μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού σε αυτά συνεπάγονται αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των αέριων ρύπων. Η μετάβαση των παραδοσιακών πόλεων σε «Έξυπνες Πόλεις» θα συμβάλλει στην αναβάθμιση του επιπέδου διαβίωσης των πολιτών και στη διασφάλιση της αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης, αντιμετωπίζοντας παράλληλα το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Στόχος της διατριβής είναι η συμβολή στην κάλυψη του επιστημονικού «κενού» που εντοπίστηκε σχετικά με την προώθηση των ΣΥΑ και την αξιοποίηση των ΤΠΕ για την δημιουργία των ενεργειακά βιώσιμων και Έξυπνων Πόλεων.

**Συμπεράσματα** Συνοπτικά, τα γενικά συμπεράσματα είναι τα εξής:

#### Υποστήριξη Τοπικών Αρχών με στόχο τη δημιουργία Ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων

Ο ενεργειακός τομέας αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την επιδίωξη του στόχου της αειφόρου ανάπτυξης, αφού συνδέεται στενά τόσο με την περιβαλλοντική όσο με την κοινωνική και οικονομική διάσταση του εν λόγω στόχου. Οι τοπικές αρχές αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς μοχλούς άσκησης ενεργειακής πολιτικής, όχι μόνο γιατί έχουν καλύτερη γνώση επί των ιδιομορφιών της περιοχής τους, αλλά και γιατί μπορούν να προωθήσουν άμεσα αναπτυξιακή πολιτική με πολλούς διαφορετικούς τρόπους.

Μέσα από την ουσιαστική υποστήριξή τους, οι δήμοι θα μπορέσουν να κινηθούν δυναμικά και αποτελεσματικά προς την κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης και τη δημιουργία των Έξυπνων Πόλεων.

#### Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων για Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας σε κτίρια των «Έξυπνων Πόλεων»

Προς την κατεύθυνση των Ενεργειακά «Έξυπνων Πόλεων», σημαντικό ρόλο έχει η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου που θα παρέχει υποστήριξη στους τοπικούς φορείς για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ειδικότερα, απαιτείται η χρήση των ΣΥΑ που επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών με τη χρήση ΤΠΕ. Με αυτό το τρόπο, η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού Πλαισίου με δυνατότητα αξιολόγησης του συνόλου της πόλης αλλά και των επιμέρους κτιρίων της με ταυτόχρονη αξιοποίηση των ΣΥΑ ενεργειακής διαχείρισης και εξοικονόμησης, μπορεί να συμβάλλει στην υποστήριξη των τοπικών αρχών με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μετάβαση προς τις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις. Από την επισκόπηση των σχετιζόμενων μεθοδολογιών προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ▲ Υπάρχουν περιορισμένες ερευνητικές προσπάθειες σε επιμέρους τεχνολογίες Υποστήριξης Αποφάσεων και στη διαδικασία ενσωμάτωσής τους σε ένα ενιαίο πλαίσιο σε ότι αφορά την ενεργειακή βελτίωση των πόλεων και την μετάβαση τους σε ενεργειακά έξυπνες.
- ▲ Η εφαρμογή των πολυκριτηριακών συστημάτων φαίνεται να είναι εξαιρετικά περιορισμένη στις ενεργειακές εφαρμογές των Έξυπνων Πόλεων και αφορούν μόνο επιμέρους χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, η εφαρμογή της γλωσσικής ανάλυσης εάν και είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, δεν χρησιμοποιείται επαρκώς μέχρι σήμερα στις εφαρμογές των έξυπνων πόλεων. Όπως παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή η προσέγγιση της διπλής αναπαράστασης μπορεί να έχει πραγματικά σημαντική συνεισφορά στην υποστήριξη αποφάσεων για τις Έξυπνες Πόλεις.
- ▲ Δεν υπάρχει ένα ολιστικό πλαίσιο ενεργειακής αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων στους διάφορους τομείς τους και ως εκ τούτου δεν παρέχεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας στις Έξυπνες Πόλεις και στα κτίρια αυτών. Επίσης, δεν υπάρχει μεθοδολογία και εργαλεία για την σύγκριση της απόδοσης της πόλης στους διάφορους τομείς της αλλά και των επιμέρους κτιρίων της πριν και μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων ενεργειακής βελτίωσης.
- ▲ Οι δήμοι δεν αξιοποιούν στον βαθμό που θα έπρεπε ΣΥΑ και ΤΠΕ για την ενεργειακή αναβάθμιση των περιοχών τους και την βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών,
- ▲ Οι υπάρχουσες μεθοδολογίες και τα εργαλεία ΤΠΕ δεν συνδυάζουν μεθοδολογίες διαχείρισης ενέργειας και εξοικονόμησης και δεν λαμβάνουν υπόψη τους την συνεισφορά και την άποψη των χρηστών των κτιρίων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης.

Τα παραπάνω γνωρίσματα οδήγησαν στην ανάγκη για την εισαγωγή ενός ευέλικτου μεθοδολογικού πλαισίου, με θεωρητικές καινοτομίες, πρωτότυπες τεχνικές και πρακτικά εργαλεία για τους ενεργειακούς διαχειριστές των πόλεων. Αναλύοντας τους σχετιζόμενους παράγοντες και τις επαγόμενες αλληλεπιδράσεις, θα πρέπει να αντιμετωπίζουμε με ένα συνεκτικό και ολοκληρωμένο τρόπο το πρόβλημα του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού στις εξελισσόμενες Έξυπνες Πόλεις.

### **Αξιολόγηση της Προτεινόμενης Μεθοδολογίας Υποστήριξης Αποφάσεων και Αποτελέσματα Πιλοτικής Εφαρμογής**

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των αντίστοιχων πληροφοριακών συστημάτων σε τρεις αντιπροσωπευτικούς δήμους στην Ευρώπη (Σαβόνα-Ιταλία, Σαν Κουγκάτ-Ισπανία, Ζάανσταντ-Ολλανδία), έδωσε τη δυνατότητα για την αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που παρέχει. Συγκεκριμένα, τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των πληροφοριακών συστημάτων περιλαμβάνουν τα εξής:

- ▲ Η προτεινόμενη μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα για αξιολόγηση της πόλης και των κτιρίων της, πριν και μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης που προτείνονται. Η δυνατότητα αυτή δεν υπήρχε μέχρι σήμερα. Επίσης, για πρώτη φορά συνδυάζονται ΣΥΑ Ενεργειακής Διαχείρισης και Ενεργειακής Εξοικονόμησης στο επίπεδο της Έξυπνης Πόλης.
- ▲ Επίσης, λαμβάνεται για πρώτη φορά υπόψη σε μεθοδολογία η συγχώνευση πολλαπλών πηγών δεδομένων από τέσσερις (4) διαφορετικούς τομείς: καιρικές συνθήκες, δεδομένα από τους αισθητήρες του κτιρίου, ανατροφοδότηση και σχόλια των χρηστών και τις τιμές της ενέργειας.
- ▲ Με την προτεινόμενη μεθοδολογία παρέχεται άμεσος και σαφής καθορισμός όλων των παραμέτρων του προβλήματος και εμπειριστωμένη ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της αξιολόγησης των εναλλακτικών Σεναρίων Δράσης από τους αποφασίζοντες.
- ▲ Η χρήση των πληροφοριακών συστημάτων, που ενσωματώνονται στην προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ευέλικτη, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής. Συγκεκριμένα τα πληροφοριακά συστήματα e-SCEAF, TCV και BEMAT προσαρμόστηκαν επιτυχώς σε δήμους διαφορετικών χωρών.
- ▲ Το λογισμικό e-SCEAF που χρησιμοποιείται για το πρώτο και τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας υποστηρίζει σημαντικά το έργο των ενεργειακών υπευθύνων της πόλης και των κτιρίων αυτής. Στην πρώτη εφαρμογή του λογισμικού e-SCEAF οι υπεύθυνοι

μπορούν να διακρίνουν γρήγορα και εύκολα τους τους τομείς που δεν αποδίδουν στην πόλη και στα κτίρια αυτής και να προβούν σε κατάλληλες δράσεις ενεργειακής διαχείρισης. Ταυτόχρονα, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα στις αρχές της πόλης να συγκρίνουν τα κτίρια μεταξύ τους. Στην δεύτερη εφαρμογή του e-SCEAF και μετά την εφαρμογή των δράσεων, οι διαχειριστές των πόλεων και των κτιρίων μπορούν να διαπιστώσουν την ενεργειακή πρόοδο και βελτίωση των κτιρίων τους. Επίσης, μέσω των διαφορετικών και πρωτότυπων τρόπων παρουσίασης των αποτελεσμάτων με πίνακες, άξονες ταξινόμησης και πολύγωνα, οι ενεργειακοί διαχειριστές διαπιστώνουν πολύ εύκολα και γρήγορα τους τομείς που αποδίδουν καλά και τους τομείς που χρειάζεται να βελτιωθούν περαιτέρω.

- ▲ Η συμβολή των ΣΥΑ για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας αποδεικνύεται πολύ σημαντική. Συγκεκριμένα, μέσω του ΣΥΑ για την διαχείριση ενέργειας που αφορά στο Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και τη χρήση του λογισμικού TCV επιτυγχάνεται μέσος όρος βελτίωσης θερμικής άνεσης των χρηστών κατά 38% και ενεργειακή εξοικονόμηση που κυμαίνεται από 4% έως 6,6% στα περισσότερα κτίρια εκτός από το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ που επιτυγχάνεται ένα πολύ σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας τους χειμερινούς μήνες κατά 21% και τους θερινούς κατά 45%. Συνολικά τα ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν, κατά μέσο όρο, σε περιορισμό 19% της κατανάλωσης του φυσικού αερίου τους χειμερινούς μήνες και κατά 30% της ηλεκτρικής ενέργειας του θερινούς μήνες ανά έτος.
- ▲ Από τα αποτελέσματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας φαίνεται ότι τα πιλοτικά κτίρια βελτίωσαν την απόδοση τους σε 14 από τους 21 δείκτες του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων SCEAF. Βάσει των αποτελεσμάτων, οι ενεργειακοί διαχειριστές μπορούν να ξεκινήσουν εκ νέου την διαδικασία και να βελτιώσουν ενεργειακά περαιτέρω τα κτίρια και τις πόλεις τους.
- ▲ Τέλος, η δυνατότητα επέκτασης του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου είναι πολύ σημαντική. Υπάρχει η δυνατότητα στην προτεινόμενη μεθοδολογία να εισαχθούν επιπλέον εργαλεία και ΣΥΑ για την διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι αρθρωτή και παρέχει την δυνατότητα να ενταχθούν και άλλα εργαλεία διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας.



## 6.2 Προοπτικές

### *Προτάσεις Ενίσχυσης της Προτεινόμενης Προσέγγισης*

#### ▲ *Επέκταση Προτεινόμενης Μεθοδολογίας:*

Ενσωμάτωση επιπλέον ΣΥΑ και δράσεων εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας στην 2<sup>η</sup> συνιστώσα της μεθοδολογίας «Management» (Διαχείρισης). Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι πλήρως επεκτάσιμη και μπορούν να προστεθούν ΣΥΑ και εργαλεία διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας.

#### ▲ *Επέκταση Εφαρμογής Προτεινόμενης Μεθοδολογίας:*

Μετά την επιτυχή πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε αντιπροσωπευτικούς δήμους από τρεις διαφορετικές χώρες της Ευρώπης, είναι δυνατή η περαιτέρω εφαρμογή της και σε άλλους δήμους, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Μέσα από αυτή τη διαδικασία θα εξαχθούν περισσότερα συμπεράσματα για τις δυνατότητες σχετικά με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο μπορούν να πραγματοποιηθούν συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ περιοχών και να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την προώθηση του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού στις έξυπνες πόλεις. Η δυνατότητα, επίσης, που προσφέρει η μεθοδολογία για σύγκριση της απόδοσης μεταξύ των πόλεων θα οδηγήσει σε γόνιμη ανταλλαγή πληροφοριών και βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των ενεργειακών τους υπευθύνων.

#### ▲ *Επέκταση Πληροφοριακών Συστημάτων:*

Επέκταση των τριών βασικών πληροφοριακών συστημάτων, μέσω του αναλυτικότερου σχεδιασμού και ανάπτυξης των επιμέρους συνιστωσών. Σε ότι αφορά το πρωτότυπο λογισμικό αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων e-SCCAF μπορεί να προστεθούν επιπλέον δείκτες αξιολόγησης (όπως για παράδειγμα υποδομές για έξυπνες μετακινήσεις, σταθμούς φόρτισης για ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα κλπ.) και να γίνεται αυτόματη η ενημέρωση των παραμέτρων του λογισμικού βάσει των εθνικών και ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών στόχων.

Επίσης, σε ότι αφορά το λογισμικό ενεργειακής εξοικονόμησης των κτιρίων μέσω των προτεινόμενων δράσεων BEMAT μπορεί να προστεθούν επιπλέον δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης που θα ανταποκρίνονται στις συνεχώς εξελισσόμενες λύσεις ενεργειακής βελτίωσης των κτιρίων.

Ακόμη, σε ότι αφορά το λογισμικό TCV να ενσωματωθεί σε μια ενιαία πλατφόρμα με το Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα διαθέσιμα από τους ενεργειακούς υπευθύνους.

Τέλος, θα μπορούσε να δημιουργηθεί μια ενιαία πλατφόρμα όπου θα συγκεντρώνει τις δύο συνιστώσες της προτεινόμενης μεθοδολογίας «Αξιολόγηση» (Assessment) και «Διαχείριση» (Management), θα περιέχει τα διαφορετικά λογισμικά και θα επιτρέπει την ενσωμάτωση περισσότερων ΣΥΑ, εργαλείων και Σχεδίων Δράσης κυρίως στην συνιστώσα «Διαχείριση» (Management).

## 7 Βιβλιογραφία

- ▲ Androulaki S., Doukas H., Spiliotis E., Papastamatiou I., Psarras J. (2016). A Framework to Assess the Behavior and Performance of a City Towards Energy Management. *Intelligent Computing Systems*, pp. 189-205.
- ▲ Androulaki S., Spiliotis E., Doukas H., Papastamatiou I., Psarras J. (2014). Proposing a Smart City Energy Assessment Framework linking local vision with data sets. *IISA 2014, The 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*.
- ▲ Askounis D., Psarras J. (1998). Information system for monitoring and targeting (M&T) of energy consumption in breweries. *Energy*, 23(5), pp.413-419.
- ▲ Atanassov K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), pp.87-96.
- ▲ Baker S., Kousis M, Richardson D., Young S. (1997). Introduction: The Theory and Practice of Sustainable Development in EU Perspective, in S. Baker, M. Kousis, D. Richardson and S. Young (eds). *The Politics of Sustainable Development: Theory, Policy and Practice in the European Union*, London: Routledge.
- ▲ Baležentis A., Baležentis T. (2011). An innovative multi-criteria supplier selection based on two-tuple multimooora and hybrid data (Article). *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 2, pp.1-20.
- ▲ Chourabi H., Nam T., Walker S., Gil-Garcia J., Mellouli S., Nahon K., Pardo T., Scholl,H. (2012). Understanding Smart Cities: An Integrative Framework. *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- ▲ Dascalaki E., Balaras C., Gaglia A., Droutsa K., Kontoyiannidis S. (2012). Energy performance of buildings—EPBD in Greece. *Energy Policy*, 45, pp.469-477.
- ▲ Delgado M., Verdegay J., Vila M. (1993). On aggregation operations of linguistic labels. *International Journal of Intelligent Systems*, 8(3), pp.351-370.
- ▲ Doukas H., Marinakis V., Papastamatiou I. (2016), Magazine *Building Green*. Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων διαχείρισης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Available at: <http://buildinggreen.gr/sistimata-ypostirixis-apofaseon-diaxeirisis-energeias-ston-ktiriako-tomea/>
- ▲ Doukas H., Patlitzianas K., Iatropoulos K., Psarras J. (2007). Intelligent building energy management system using rule sets. *Building and Environment*, 42(10), pp.3562-3569.
- ▲ EC - European Commission. (2008). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: 20 20 by 2020 Europe's climate change opportunity; 2008; COM (2008) 30 final.
- ▲ EC - European Commission. (2010c). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
- ▲ EC - European Commission. (2012b). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency,

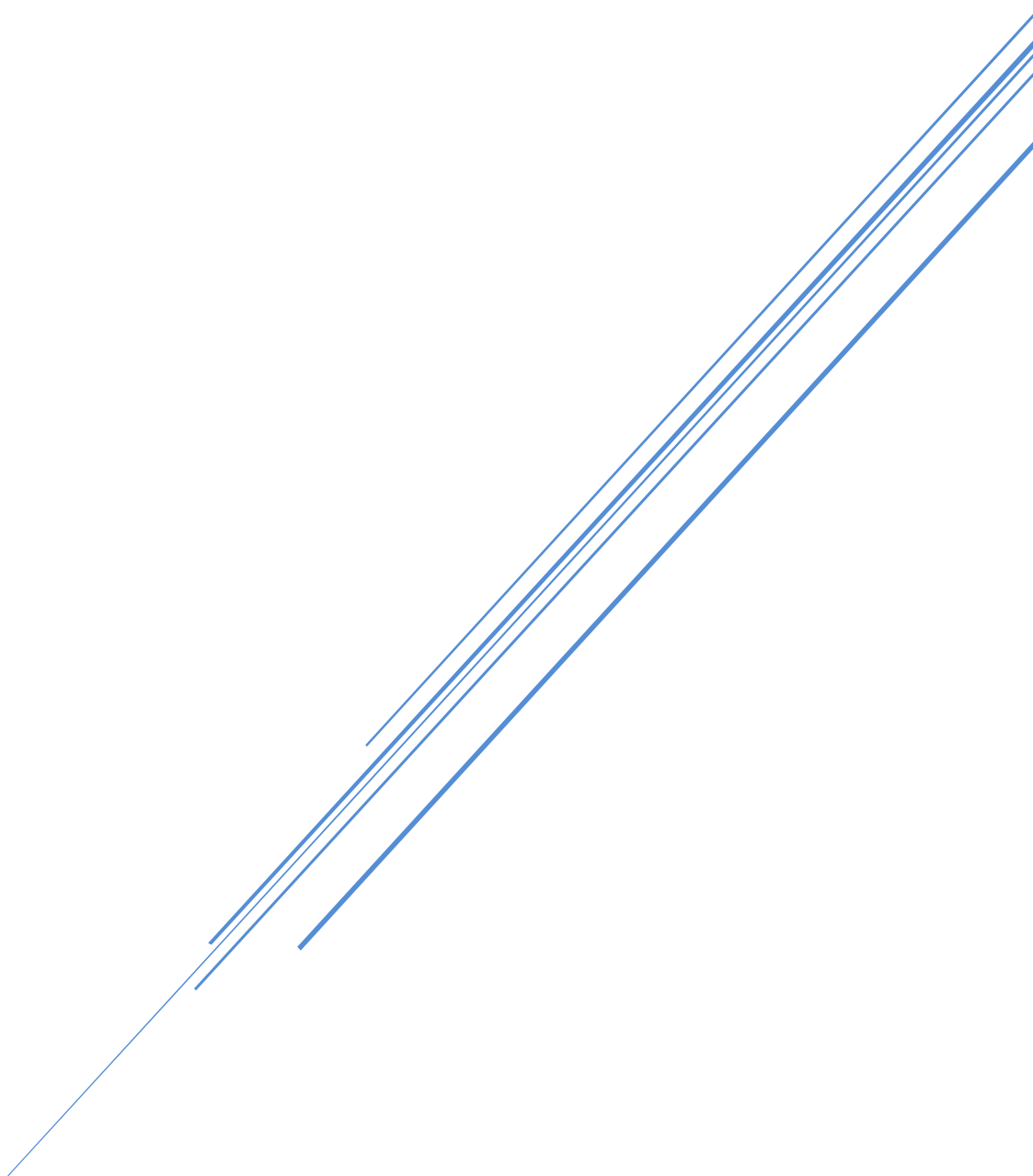
amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.

- ▲ EC - European Commission. (2014b). 2030 Framework for Climate and Energy. Outcome of the October 2014 European Council. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy>
- ▲ EC - European Commission. (2016). Digital Single Market - Smart Cities. Available at: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/smart-cities>
- ▲ EIP - European Innovation Partnership. (2016). The EIP-SCC Roadmap 2016 | EIP - Smart Cities and Communities Market Place. Available at: <https://eu-smartcities.eu/content/eip-scc-roadmap-2016>.
- ▲ Espinilla M., Palomares I., Martinez L., Ruan D. (2012). A comparative study of heterogeneous decision analysis approaches applied to sustainable energy evaluation. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 20(supp01), pp.159-174.
- ▲ Giddings B., Hopwood B., O'Brien G. (2002). Environment, Economy and Society: Fitting them together into Sustainable Development. *Sustainable Development*, 10, pp.187–196.
- ▲ Herrera F., Martinez L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), pp.746-752.
- ▲ Herrera F., Martinez L. (2001a). The 2-Tuple Linguistic Computational Model. Advantages of Its Linguistic Description, Accuracy and Consistency. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 09(supp01), pp.33-48.
- ▲ Herrera F., Martinez L., Sánchez P. (2005). Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166(1), pp.115-132.
- ▲ Hopwood B., Mellor M., O'Brien G. (2005). Sustainable Development: Mapping Different Approaches. *Sustainable Development*, 13(1):38-5.
- ▲ Kundu S. (1997). Min-transitivity of fuzzy leftness relationship and its application to decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 86(3), pp.357-367.
- ▲ Lawry J. (2004). A framework for linguistic modelling. *Artificial Intelligence*, 155(1-2), pp.1-39.
- ▲ Li D., Huang Z., Chen G. (2010). A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), pp.561-572.
- ▲ Marinakis V., Doukas H., Spiliotis E., Papastamatiou I. (2017). Decision Support for Intelligent Energy Management in Buildings Using the Thermal Comfort Model. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 10, pp.882-893
- ▲ Marinakis V., Karakosta C., Doukas H., Androulaki S., Psarras J. (2013). A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption. *Sustainable Cities and Society*, 6(1):11-15.
- ▲ Martinez L., Liu J., Ruan D., Yang J. (2007). Dealing with heterogeneous information in engineering evaluation processes. *Information Sciences*, 177(7), pp.1533-1542.

- 
- ▲ OPTIMUS - OPTIMising energy Use in cities through smart decision support systems. (2016). Project reference: 608703, FP7-ICT. Available at: <http://www.optimus-smartcity.eu>
  - ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Psarras J. (2013). Heterogeneous management information software for supporting energy-related decision making problems. Second International Symposium and 24th National Conference on Operational Research, pp.373-392.
  - ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Psarras J. (2014a). An Information Management Software for assessing smart energy systems exploiting cities' multidisciplinary data, Proceedings of the 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2014), 7 – 9 July 2014, Chania Crete, Greece.
  - ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Psarras J. (2014b). A Holistic Approach for Smart Cities Energy Assessment, Proceedings of the 3rd International Symposium and 25th National Conference on Operational Research, pp. 35–36, 26-28 June 2014, University of Thessaly, Volos, Greece.
  - ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Spiliotis E., Psarras J. (2016). How “OPTIMUS” is a city in terms of energy Management? e-SCEAF: A web based decision support tool for local authorities. Information Fusion, 29, pp. 149-161.
  - ▲ Papastamatiou I., Marinakis V., Doukas H., Psarras J. (2015). A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece: First results from real life application, Proceedings of the 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2015), 6-8 July 2015, Ionian University, Corfu, Greece.
  - ▲ Papastamatiou I., Marinakis V., Doukas H., Psarras J. (2017). A Decision Support Framework for Smart Cities Energy Assessment and Management. Energy Procedia, 111, pp.800-809.
  - ▲ Pohekar S., Ramachandran M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8(4), pp.365-381.
  - ▲ Terrados J., Almonacid G., Hontoria L. (2007). Regional Energy Planning through SWOT Analysis and Strategic Planning Tools. Impact on Renewables Development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(6), pp.1275-1287.
  - ▲ UN - United Nations. (2016). World Cities Report 2016: Urbanization and Development – Emerging Futures. <http://unhabitat.org/books/world-cities-report/>
  - ▲ Σίκογ I. (2008). Μοντέλα Αποφάσεων – Μεθοδολογία Επιχειρησιακής Έρευνας, Θεωρία Πολυκριτήριας Ανάλυσης, Εφαρμογές σε Επιχειρήσεις και Οργανισμούς. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών. Σελίδες 479, Αθήνα, Ελλάδα (ISBN: 978-960-6759-10-9).

# Κεφάλαιο Ι

## Εισαγωγή



### **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

*Ηλίας Μ. Παπασταματίου*



## I.1 Το Πρόβλημα

**Αστικοποίηση** Οι πόλεις αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα για την αντιμετώπιση των βασικών προκλήσεων της κοινωνίας και της οικονομίας στην Ευρώπη. Σύμφωνα με τον οδικό χάρτη του 2016 της Ευρωπαϊκής Σύμπραξης Καινοτομίας για τις Έξυπνες Πόλεις και τις Κοινότητες, το 78% των ευρωπαίων πολιτών ζει στις πόλεις και το 85% του ΑΕΠ της ΕΕ παράγεται σε αυτές (EIP, 2016). Οι πόλεις ευθύνονται για τα 2/3 περίπου της ενεργειακής κατανάλωσης, το 60% της υδάτινης κατανάλωσης και το 70% των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται σε όλο τον κόσμο (UN, 2016).

Στην επιφάνεια της γης προστίθενται κάθε εβδομάδα κτίρια που έχουν έκταση ίση με το Παρίσι. Το συνολικό εμβαδόν του δαπέδου ανήλθε σε περίπου 235 δισεκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα το 2016. Ο αριθμός αυτός θα διπλασιαστεί τα επόμενα 40 χρόνια· θα κατασκευαστούν νέα κτίρια με συνολική επιφάνεια 230 δισεκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα - το ισοδύναμο της προσθήκης της επιφάνειας της Ιαπωνίας στον πλανήτη κάθε έτος μέχρι το 2060 (Global Status Report, 2017)

Μεταξύ 2010-2016 η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, της δομημένης έκτασης ανά άτομο και της ζήτησης για ενέργεια συνέβαλαν από κοινού, ώστε να αυξηθεί η κατανάλωση ενέργειας από τα κτίρια διεθνώς τόσο όσο ήταν η συνολική ενεργειακή κατανάλωση της Γερμανίας κατά την ίδια περίοδο. Μεταξύ 2010-2016 οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα κτίρια και τις άλλες κατασκευές παγκοσμίως αυξήθηκαν κατά σχεδόν 1%, απελευθερώνοντας συνολικά 76 γιγατόνους διοξειδίου.

Η διαρκώς αυξανόμενη τάση αστικοποίησης που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, γεννά σοβαρά προβλήματα στη δομή και τη λειτουργία των σύγχρονων πόλεων. Πρόκειται για μία τεράστια πρόκληση, καθώς τόσο οι υπάρχουσες όσο και οι νέες πόλεις που θα δημιουργηθούν θα πρέπει να διακρίνονται από τα χαρακτηριστικά της βιωσιμότητας, της ενεργειακής αποδοτικότητας αλλά και της αρτιότητας των υποδομών, ώστε να προσφέρουν ένα ιδανικό περιβάλλον διαβίωσης για τους κατοίκους τους (Papastamatiou et al., 2014a).

Η μεγάλη συγκέντρωση του παγκόσμιου πληθυσμού στα αστικά κέντρα δημιουργεί πολλά προβλήματα και προκλήσεις τα οποία οι κυβερνήσεις των χωρών καλούνται να αντιμετωπίσουν. Η αύξηση του πληθυσμού συνεπάγεται αύξηση της ζήτησης ενέργειας στα αστικά κέντρα, ενώ παράλληλα οι αρμόδιοι φορείς παγκοσμίως και τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλούνται να τηρήσουν τις δεσμεύσεις τους για

μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και περιορισμό των εκπομπών ρύπων (Papastamatiou et al., 2014b).

Οι πόλεις πλέον είναι αυτές που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλώσεων ενέργειας και θα πρέπει να γίνουν ενεργειακά αποδοτικές και διασυνδεδεμένες με τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών. Οι έξυπνες πόλεις του αύριο θα αναβαθμίσουν το επίπεδο διαβίωσης και θα διασφαλίσουν την αειφόρο ανάπτυξη (Papastamatiou et al., 2014a).

Σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο πολιτικοοικονομικό περιβάλλον, οι δυνατότητες που προσφέρει η εφαρμογή διαρκώς εξελισσόμενων τεχνολογικών εφαρμογών δύνανται να συμβάλλουν καθοριστικά στην αναβάθμιση της διαχειριστικής ικανότητας και αποτελεσματικότητας της πολιτείας και των τοπικών και περιφερειακών αρχών σε ό,τι αφορά στον εκσυγχρονισμό και την αειφορία των πόλεων.

*Ευρωπαϊκή  
και παγκόσμια  
Ενεργειακή  
Πολιτική για  
την Κλιματική  
Αλλαγή*

Η αλλαγή του κλίματος αποτελεί σημαντικό παγκόσμιο φαινόμενο. Χωρίς την ανάληψη δράσης για τη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία του πλανήτη είναι πιθανόν να αυξηθεί πάνω από 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα και η αύξηση θα μπορούσε να φθάσει και τους 5°C έως το τέλος του αιώνα. Αυτό θα είχε τεράστιο αντίκτυπο στο τοπίο και στη στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως.

Η δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί ως εκ τούτου προτεραιότητα για την ΕΕ. Συγκεκριμένα, οι ηγέτες της ΕΕ δεσμεύτηκαν να μετατρέψουν την Ευρώπη σε μια οικονομία υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η ΕΕ έθεσε επίσης ως στόχο να μειώσει έως το 2050 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

Η πρώτη δέσμη μέτρων της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια εγκρίθηκε το 2008 και έθετε στόχους για το 2020. Η ΕΕ σημειώνει ικανοποιητική πρόοδο όσον αφορά την επίτευξη αυτών των στόχων, αλλά για να υπάρξει μεγαλύτερη ασφάλεια για τους επενδυτές χρειάζεται ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που θα καλύπτει το χρονικό διάστημα έως το 2030. Η ΕΕ ενέκρινε λοιπόν το πλαίσιο για το κλίμα και την ενέργεια με ορίζοντα το 2030, το οποίο καθορίζει ορισμένους βασικούς στόχους και μέτρα πολιτικής για την περίοδο 2020-2030.

Η ΕΕ και τα 28 κράτη μέλη της έχουν υπογράψει τόσο τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) όσο και το Πρωτόκολλο του Κιότο και τη νέα συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή.



Τα τελευταία χρόνια, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει ένα ρόλο πρωτοπόρου στον τομέα της ενέργειας και του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει ασκήσει μεγάλη πίεση για την υιοθέτηση συγκεκριμένων και φιλόδοξων στόχων.

Η πρώτη δέσμη μέτρων της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια έθετε τρεις βασικούς στόχους για το 2020 (EC, 2008):

1. Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%,
2. Αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20%,
3. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%.

Το πλαίσιο 2030 προτείνει νέους στόχους και μέτρα για να καταστούν η οικονομία και το ενεργειακό σύστημα της ΕΕ περισσότερο ανταγωνιστικά, ασφαλή και βιώσιμα. Περιλαμβάνει στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, την αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προτείνει ένα νέο σύστημα διακυβέρνησης και δείκτες επιδόσεων. Ειδικότερα, προτείνει τις ακόλουθες δράσεις (EC, 2014b):

1. Δέσμευση για τη συνέχιση της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ορίζοντας ένα στόχο μείωσης κατά 40 % μέχρι το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990,
2. Στόχο που συνιστάται στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά ποσοστό 27% τουλάχιστον της κατανάλωσης ενέργειας, με παροχή ευελιξίας στα κράτη μέλη για τον καθορισμό εθνικών στόχων,
3. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέσω ενδεχόμενων τροποποιήσεων της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση,
4. Μεταρρύθμιση του συστήματος εμπορίας εκπομπών της ΕΕ ώστε να συμπεριληφθεί ένα αποθεματικό για τη σταθερότητα της αγοράς,
5. Βασικούς δείκτες - σχετικά με τις ενεργειακές τιμές, τη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού, τις διασυνδέσεις μεταξύ των κρατών μελών και τις τεχνολογικές εξελίξεις - για τη μέτρηση της πρόόδου προς την κατεύθυνση ενός πιο ανταγωνιστικού, ασφαλούς και βιώσιμου ενεργειακού συστήματος,
6. Νέο πλαίσιο διακυβέρνησης για την υποβολή εκθέσεων από τα κράτη μέλη, με βάση τα εθνικά σχέδια που συντονίζονται και αξιολογούνται σε επίπεδο ΕΕ.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, από τις 30 Νοεμβρίου έως τις 12 Δεκεμβρίου 2015, πραγματοποιήθηκε η Διάσκεψη του Παρισιού για το κλίμα. Πρόκειται για την 21η σύνοδο της Διάσκεψης των Μερών (COP 21) της Σύμβασης Πλαισίου του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) και την 11η σύνοδο της Διάσκεψης των Μερών του Πρωτοκόλλου του Κιότο (CMP 11). Αντιπροσωπίες από 150 περίπου χώρες συμμετέχουν στις

διαπραγματεύσεις για μια νέα, παγκόσμια και νομικώς δεσμευτική συμφωνία σχετικά με την κλιματική αλλαγή.

Στις 12 Δεκεμβρίου 2015, επιτυγχάνεται νέα παγκόσμια συμφωνία για την αλλαγή του κλίματος. Η συμφωνία περιλαμβάνει σχέδιο δράσης, στόχος του οποίου είναι να διατηρηθεί η υπερθέρμανση του πλανήτη «πολύ κάτω» των 2°C και να συνεχιστούν οι προσπάθειες ώστε να περιοριστεί στους 1,5°C. Στις 7 Οκτωβρίου του 2016, η ΕΕ προσχωρεί επίσημα στη Συμφωνία του Παρισιού ενεργοποιώντας την έναρξη ισχύος της σε επίσημη τελετή στην έδρα των Ηνωμένων Εθνών στη Νέα Υόρκη.

Δυστυχώς την 1<sup>η</sup> Ιουνίου 2017 ο Αμερικανός πρόεδρος Ντόναλντ Τραμπ αποσύρει την "υπογραφή" των ΗΠΑ από τη συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή, και όπως είναι αναμενόμενο προκαλεί θύελλα αντιδράσεων από την κοινή γνώμη και φυσικά την παρέμβαση του ΟΗΕ. Ο νομικός μηχανισμός της Συμφωνίας, στην οποία έχουν δεσμευτεί όλες οι χώρες του κόσμου εκτός από τη Συρία, τη Νικαράγουα και τώρα τις ΗΠΑ, προβλέπει ότι καμία κυβέρνηση δεν μπορεί να αποσυρθεί σε λιγότερο από τρία χρόνια μετά την ενεργοποίηση της συμφωνίας, ενώ για την ολοκλήρωση της διαδικασίας αποχώρησης απαιτείται τουλάχιστον ένα επιπλέον έτος.

Οι νομικοί περιορισμοί σημαίνουν ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες δεν μπορούν να ολοκληρώσουν την αποχώρηση από τη Συμφωνία του Παρισιού πριν από τις 5 Νοεμβρίου 2020, μία μέρα μετά τις επόμενες προεδρικές εκλογές. Επομένως ο κ. Τραμπ δεν θα έχει αποσυρθεί από τη συμφωνία στη διάρκεια αυτής της προεδρικής θητείας και σύμφωνα με το περιοδικό Nature, η τελευταία λέξη για την αποχώρηση των ΗΠΑ ίσως έρθει από τον νικητή των επόμενων εκλογών.

Στην πρώτη κοινή τους ανακοίνωση στα χρονικά της διεθνούς διπλωματίας, Ευρωπαϊκή Ένωση και Κίνα δηλώνουν ότι το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι «πιο επιτακτικό από ποτέ», και δεσμεύονται να εφαρμόσουν τη Συμφωνία του Παρισιού. Οι θέσεις του Αμερικανού προέδρου Ντόναλντ Τραμπ για το κλίμα και το διεθνές εμπόριο φαίνεται να οδηγεί σε μια απίθανη συμμαχία ανάμεσα στην Ευρώπη και την Κίνα. Στην κοινή τους δήλωση, Ευρώπη και Κίνα επισημαίνουν ότι «η δράση κατά της κλιματικής αλλαγής και η μετάβαση σε λύσεις καθαρής ενέργειας είναι πιο επιτακτικές από ποτέ». ΕΕ και Κίνα αναμένεται επίσης να δεσμευτούν για την ενίσχυση του διμερούς εμπορίου, απαντώντας έτσι στην απόφαση του Αμερικανού Προέδρου.

Η 23<sup>η</sup> διάσκεψη των μερών της σύμβασης-πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (COP 23), στην οποία προέδρευαν οι Φίτζι, έλαβε χώρα από τις 6 έως τις 17 Νοεμβρίου 2017 στη Βόννη της

Γερμανίας. Στο πλαίσιο της διάσκεψης συναντήθηκαν υπουργοί και κυβερνητικοί αξιωματούχοι, καθώς και ευρύ φάσμα εκπροσώπων της κοινωνίας των πολιτών και των επιχειρήσεων.

Στη διάσκεψη παρουσιάστηκε σαφής πρόοδος σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη των τεχνικών κανόνων και κατευθυντήριων γραμμών για την εφαρμογή των διατάξεων της συμφωνίας του Παρισιού, για παράδειγμα ως προς το πλαίσιο διαφάνειας και τον πενταετή κύκλο φιλοδοξίας, που αποσκοπούν στο να βοηθηθούν οι χώρες να κάνουν σταδιακά ολοένα και περισσότερο φιλόδοξες συνεισφορές. Το πρόγραμμα εργασίας αναμένεται να εγκριθεί στη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή του 2018 (COP 24), η οποία θα πραγματοποιηθεί στο Κατοβίτσε της Πολωνίας.

Η ΕΕ σημειώνει σταθερή πρόοδο ως προς την ολοκλήρωση νομοθετικού πλαισίου για την επίτευξη του στόχου της στο πλαίσιο της συμφωνίας του Παρισιού —της συλλογικής εθνικά καθορισμένης συνεισφοράς της— που αφορούν τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030. Αυτό περιλαμβάνει την αναθεώρηση του συστήματος εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (ΣΕΔΕ) για την περίοδο μετά το 2020, θέτοντας στόχους μείωσης των εκπομπών για το 2030, σχετικά με τους τομείς που δεν υπάγονται στο ΣΕΔΕ, όπως οι μεταφορές, τα κτίρια, η γεωργία, η ενσωμάτωση και η αλλαγή της χρήσης γης και η δασοκομία, στο νομικό πλαίσιο της ΕΕ για τη δράση για το κλίμα.

Η ΕΕ παραμένει προσηλωμένη στον συλλογικό παγκόσμιο στόχο της κινητοποίησης 100 δισ. δολαρίων ΗΠΑ ετησίως, με ορίζοντα το 2020 και έως το 2025, για τη χρηματοδότηση δράσεων για το κλίμα στις αναπτυσσόμενες χώρες, από διάφορες πηγές, και της συνεχούς σημαντικής αύξησης της χρηματοδότησης για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Το 2016, η ΕΕ και τα κράτη μέλη της συνεισέφεραν συνολικά 20,2 δισ. ευρώ ως χρηματοδότηση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, αύξηση μεγαλύτερη του 10% από τα 17,6 δισεκατομμύρια ευρώ που διατέθηκαν το 2015.

Τέλος, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη (Global Status Report, 2017), η κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο δόμησης πρέπει να βελτιωθεί κατά 30% έως το 2030, αν ο κατασκευαστικός τομέας θέλει να συμβαδίσει με τους στόχους της διεθνούς συμφωνίας του Παρισιού για το κλίμα. Γύ αυτό προτείνεται η αυξανόμενη χρήση «έξυπνων» ελέγχων και συσκευών σε ολοένα πιο «έξυπνα» σπίτια, τα οποία θα είναι διαδικτυακά συνδεδεμένα, κάτι που μπορεί να μειώσει κατά 10% την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας.

*Ενεργειακά  
Βιώσιμες και  
Έξυπνες Πόλεις*

Στις «έξυπνες» πόλεις τα παραδοσιακά δίκτυα και υπηρεσίες γίνονται αποτελεσματικότερα με τη χρήση ψηφιακών και τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών. Η ιδέα της έξυπνης πόλης υπερβαίνει τη χρήση των ΤΠΕ για καλύτερη χρήση των πόρων και λιγότερες εκπομπές ρύπων. Βασικές παράμετροι των επιδόσεων μιας «έξυπνης πόλης» (B. Cohen) αποτελούν:

- ▲ Η «**Έξυπνη Οικονομία**» αναφέρεται σε παράγοντες όπως η ανταγωνιστικότητα, η καινοτομία, η επιχειρηματικότητα, η παραγωγικότητα, η ευελιξία στην αγορά εργασίας, καθώς και ενσωμάτωση στη διεθνή και τοπική αγορά.
- ▲ Οι «**Έξυπνοι Πολίτες**» προσδιορίζονται όχι μόνο από τα προσόντα ή την εκπαίδευσή τους αλλά και από την ποιότητα των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων σε ότι αφορά την ενσωμάτωσή τους και τη συμμετοχή τους στη δημόσια ζωή. Αναπτύσσουν και αποκτούν τις κατάλληλες δεξιότητες ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του «έξυπνου» περιβάλλοντός τους, έχοντας πρόσβαση σε εκπαιδευτικά προγράμματα και εκμάθηση.
- ▲ Η «**Έξυπνη Διακυβέρνηση**» διαμορφώνει το περιβάλλον αλληλεπίδρασης του πολίτη με τις δημόσιες αρχές, αναβαθμίζοντας τη συμμετοχή του στη δημόσια ζωή, τις παρεχόμενες προς αυτόν υπηρεσίες, καθώς και τη διασύνδεση των διάφορων βαθμίδων και τομέων της δημόσιας διοίκησης.
- ▲ Το «**Έξυπνο Περιβάλλον**» αποτελεί ένα χώρο που χαρακτηρίζεται από ελκυστικές και υψηλού επιπέδου περιβαλλοντικές συνθήκες (κλίμα, πράσινο, κλπ.), χρήσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας, παρακολούθησης και ελέγχου της ρύπανσης, αειφόρου διαχείρισης των υποδομών, «πράσινης» αστικής ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος.
- ▲ Η «**Έξυπνη Διαβίωση**» αφορά στην αναβαθμισμένη ποιότητα διαβίωσης του πολίτη, στην καθημερινότητά του, στην επαγγελματική και κοινωνική δραστηριότητά του, σε τομείς όπως ο πολιτισμός, η άθληση, η υγεία, η ασφάλεια, η στέγαση, ο τουρισμός, προωθώντας την κοινωνική συνοχή και την επένδυση στο κοινωνικό κεφάλαιο.
- ▲ Τέλος, η έννοια της «**Έξυπνης Κινητικότητας**» δίνει προτεραιότητα στις καθαρές και αυτοματοποιημένες μετακινήσεις (πχ. ηλεκτροκίνητα οχήματα), στην έξυπνη στάθμευση, στη διαχείριση της κυκλοφορίας, καθώς και στα ασφαλή και διασυνδεδεμένα συστήματα μετακίνησης που περιλαμβάνουν τραμ, λεωφορεία, μετρό, αυτοκίνητα και ποδήλατα.

Κεντρικός άξονας για την εξέλιξη των «παραδοσιακών» πόλεων σε «έξυπνες» είναι η αξιοποίηση των σύγχρονων Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Η διαρκής ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT) συνιστά σημαντική

παράμετρο για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις», καθώς κάθε ηλεκτρονική συσκευή αποκτά δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο. Υπολογίζεται πως ήδη παγκοσμίως, περίπου 18 δισεκατομμύρια συσκευές είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο και αναμένεται να φτάσουν στις 50 δισεκατομμύρια, μέχρι το 2020. Επίσης, μια ακόμα παράμετρος για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις» είναι τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS) που σημειώνουν ταχύτερη ανάπτυξη σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data) από τους πολυάριθμους αισθητήρες που θα διαθέτουν οι τεχνολογίες των έξυπνων πόλεων.

Καθώς όμως οι ανάγκες και οι προκλήσεις για κάθε πόλη είναι διαφορετικές, οι στόχοι θα πρέπει να οριοθετούνται με γνώμονα τις ιδιαίτερες κατά περίπτωση ανάγκες και συνθήκες μέσω της βέλτιστης αξιοποίησης των προσφερόμενων τεχνολογικά ευφυών λύσεων και εφαρμογών.

- ▲ Στον **τομέα της ενέργειας**, η έξυπνη πόλη διαθέτει σύγχρονα και διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής, διαχείρισης, μεταφοράς, κατανάλωσης και εξοικονόμησης ενέργειας· αξιοποιεί εναλλακτικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιοκαύσιμα, ηλιακή - αιολική – θερμοδυναμική – υδάτινη)· διαθέτει εφαρμογές έξυπνου φωτισμού, κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (με σύγχρονα συστήματα θέρμανσης και ψύξης) και έξυπνα δίκτυα ενέργειας.
- ▲ Στον **τομέα του περιβάλλοντος**, η έξυπνη πόλη εφαρμόζει προηγμένες πολιτικές και τεχνολογίες ανακύκλωσης, ορθής διαχείρισης αστικών λυμάτων και αποβλήτων, προστασίας του πρασίνου, καθώς και ορθολογικοποίησης της κατανάλωσης.
- ▲ Στον **τομέα της υγείας**, η «έξυπνη πόλη» διαθέτει εξελιγμένες εφαρμογές πρωτοβάθμιας υγείας, τηλεϊατρικής, πρώτων βοηθειών, υποστήριξης ευπαθών κοινωνικών ομάδων,
- ▲ Στον **τομέα των μεταφορών**, η «έξυπνη πόλη» επενδύει στη διαχείριση σύγχρονων, φιλικών προς το περιβάλλον μεταφορικών μέσων, σε αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα, αυτοματοποιημένα συστήματα μέσων μαζικής μεταφοράς, καθώς και στην έξυπνη διαχείριση θέσεων στάθμευσης.
- ▲ Στον **τομέα των υποδομών**, η έξυπνη πόλη διαθέτει συστήματα ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο, ηλεκτρονικές υπηρεσίες για πολίτες και επιχειρήσεις και αξιοποιεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).
- ▲ Στον **τομέα του τουρισμού, του πολιτισμού και της εκπαίδευσης**, η «έξυπνη πόλη» χρησιμοποιεί εφαρμογές προβολής

και διαχείρισης του τουριστικού και πολιτισμικού «προϊόντος», καθώς και εκπαιδευτικές εφαρμογές δια βίου μάθησης, ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες κ.α..

- ▲ **Στον τομέα της συμμετοχής των πολιτών στη διακυβέρνηση**, η «έξυπνη πόλη» συμβάλλει στην προώθηση της διαφάνειας και της λογοδοσίας, της συμμετοχικής λήψης αποφάσεων, της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, της εξ αποστάσεως και αυτοματοποιημένης εξυπηρέτησης του πολίτη, και των ανοικτών δεδομένων.
- ▲ **Στον τομέα της ανάπτυξης και της απασχόλησης**, η «έξυπνη πόλη» προωθεί την ανάπτυξη και τη στήριξη της επιχειρηματικότητας μέσω ηλεκτρονικών πλατφορμών και εργαλείων one-stop-shop, της καινοτομίας, της εύρεσης εργασίας, των ηλεκτρονικών πληρωμών, της συμμετοχικής χρηματοδότησης, των ηλεκτρονικών υπηρεσιών προς τις επιχειρήσεις και τους πολίτες, της στήριξης της νεοφυούς επιχειρηματικότητας.
- ▲ Τέλος στον **τομέα της ασφάλειας**, η «έξυπνη πόλη» οφείλει να μεριμνά για την ασφάλεια των πολιτών, να διαφυλάσσει την ιδιωτικότητα των προσωπικών δεδομένων, και να εξασφαλίζει την προστασία των συστημάτων διαχείρισης των κρίσιμων υποδομών και πόρων.

Για τη μετάβαση προς τις έξυπνες πόλεις, είναι επομένως απαραίτητη η στροφή προς Έξυπνα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support System – DSS), με σκοπό τη:

1. Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης,
2. Μείωση του ενεργειακού κόστους,
3. Μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>,
4. Αύξηση της συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ),
5. Καλύτερη διαχείριση της Ενέργειας σε διάφορους τομείς της πόλης,
6. Βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών με καθαρότερο περιβάλλον και καλύτερες υπηρεσίες.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει επίσης αναγνωρίσει τη σημασία της μετάβασης των «παραδοσιακών» πόλεων σε «έξυπνες» και έχει ξεκινήσει, στο πλαίσιο της στρατηγικής «Ευρώπη 2020», το πρόγραμμα «Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες» (Smart Cities and Communities, SCC) και την Ευρωπαϊκή Σύμπραξη Πρωτοπορίας για τις Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες (European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities, EIP-SCC).

Το πρόγραμμα «Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες» στηρίζει τη συνεργασία στους τομείς της ενέργειας, των μεταφορών και των ΤΠΕ. Σκοπός του προγράμματος είναι να υποστηρίξει την βελτίωση της χρήσης της

ενέργειας σε τομείς, όπου η παραγωγή, διανομή και χρήση της, η κινητικότητα - μεταφορές και οι ΤΠΕ είναι αλληλένδετες και προσφέρουν νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών, μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων ρύπων. Εστιάζει στην καινοτομία ως κινητήρια δύναμη για την επίτευξη οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης στις αστικές περιοχές.

Η «Ευρωπαϊκή Σύμπραξη Πρωτοπορίας για τις Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες (EIP-SCC)» είναι μια πρωτοβουλία που υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και στηρίζει την προσέγγιση των πόλεων, της βιομηχανίας, τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (SMEs), τις τράπεζες, την έρευνα και άλλους φορείς έξυπνων πόλεων. Στο πλαίσιο αυτής της συνεργασίας, στοχεύει στην βελτίωση της ποιότητας διαβίωσης των πολιτών, στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας και των καινοτόμων μικρομεσαίων επιχειρήσεων, και στην ανταλλαγή των βέλτιστων πρακτικών.

Επίσης, τον Μάιο του 2016 υπογράφηκε το Σύμφωνο του Άμστερνταμ (pact of Amsterdam) με σκοπό την ισορροπη αστική ανάπτυξη. Το Σύμφωνο εστιάζει σε 3 πυλώνες: «better regulation, better funding, better knowledge» (καλύτερη νομοθεσία, καλύτερη χρηματοδότηση, καλύτερη γνώση). Περιλαμβάνει επίσης πιλοτικές δράσεις για την αντιμετώπιση της αστικής φτώχειας, προτάσεις για βιώσιμη κινητικότητα και οδικό χάρτη για τη μετάβαση στην ψηφιακή εποχή. Συγκεκριμένα στο πλαίσιο των πρωτοβουλιών της ατζέντας προτείνονται σύμφωνα συνεργασίας εταιρικών σχέσεων μεταξύ των κρατών μελών και των ευρωπαϊκών πόλεων, στα οποία συμμετέχουν θεσμικοί φορείς από τα κράτη μέλη και επιλεγμένες πόλεις. Αναδεικνύονται μέσα από αυτά τα σημαντικότερα προβλήματα που εντοπίζονται στον σύγχρονο αστικό ιστό. Η Ελλάδα συμμετέχει σε δυο σχετικά σύμφωνα εταιρικής σχέσης. Το πρώτο αφορά στην αντιμετώπιση της αστικής φτώχειας (Δήμος Κερατσινίου) και το δεύτερο αφορά στην αντιμετώπιση του προσφυγικού (Δήμος Αθηναίων).

Καθώς όμως οι ανάγκες και οι προκλήσεις για κάθε πόλη είναι διαφορετικές, οι στόχοι θα πρέπει να οριοθετούνται με γνώμονα τις ιδιαίτερες κατά περίπτωση ανάγκες και συνθήκες μέσω της βέλτιστης αξιοποίησης των προσφερόμενων τεχνολογικών ευφυών λύσεων και εφαρμογών.

**Πρόβλημα  
Απόφασης και  
Εμπλεκόμενοι  
φορείς**

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, οι σύγχρονες μεγαλουπόλεις αντιμετωπίζουν μεγάλες προκλήσεις. Η κλιματική αλλαγή, ο αυξανόμενος πληθυσμός, η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο παγκόσμιος ανταγωνισμός και η οικονομική κρίση, αποτελούν μόνο μερικές από αυτές. Οι προκλήσεις αυτές σε συνδυασμό με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες

και τις Εθνικές Νομοθεσίες ωθούν τις πόλεις να προσαρμοστούν σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο και πολύπλοκο περιβάλλον.

Οι πόλεις είναι αυτές που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλώσεων ενέργειας και θα πρέπει να γίνουν ενεργειακά αποδοτικές και διασυνδεδεμένες με τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών προς όφελος της βελτίωσης στην ενεργειακή διαχείριση και την ενεργειακή εξοικονόμηση.

Όμως, παρόλο που υπάρχουν αρκετά εργαλεία πληροφορικής που υποστηρίζουν τις πόλεις καθώς και μεθοδολογίες για την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας, από τη μέχρι τώρα έρευνα καταδεικνύεται η απουσία μιας σειράς από σημαντικές συνιστώσες που αφορούν τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας στο επίπεδο της κτιριακής υποδομής της πόλης.

Μέσα από τη μελέτη και αξιολόγηση των μεθοδολογιών και εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για υποστήριξη των έξυπνων πόλεων προκύπτει ότι τα περισσότερα από αυτά (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017):

- ▲ Δεν αποτυπώνουν την τρέχουσα απόδοση της πόλης ως προς συγκεκριμένους άξονες αναδεικνύοντας τα δυνατά και αδύνατα σημεία της,
- ▲ Δεν εποπτεύουν την πορεία αλλαγής σε έξυπνη πόλη ελέγχοντας την αποδοτικότητα της πόλης στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί,
- ▲ Δεν αξιολογούν το πόσο έξυπνη είναι η πόλη με βάση αντικειμενικούς δείκτες,
- ▲ Δεν επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ έξυπνων πόλεων και ενδεχομένως ταξινόμηση τους,
- ▲ Δεν προτείνουν λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας,
- ▲ Δεν συνδυάζουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές και συνήθως δεν λαμβάνουν υπόψη στους υπολογισμούς τους τα δεδομένα των χρηστών.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός εύχρηστου εργαλείου που θα συνδυάζει τη διαχείριση και την εξοικονόμησης ενέργειας, χρησιμοποιώντας πρωτότυπα και πρακτικά εργαλεία, που αναλύοντας τους σχετιζόμενους παράγοντες και τις επαγόμενες αλληλεπιδράσεις, θα αντιμετωπίζουν με έναν ολιστικό τρόπο τα προβλήματα αυτά.



## I.2 Αντικείμενο και Στόχος Διατριβής

### *Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων*

Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την υποστήριξη αποφάσεων σε επίπεδο Έξυπνων Πόλεων θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από σαφήνεια, να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του αποφασίζοντα και να στοχεύει στο να υποστηριχθεί έμπρακτα η προώθηση των ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων. Επιπλέον, θα πρέπει να δίνει απαντήσεις στις βασικές ανάγκες του συγκεκριμένου προβλήματος, όπως περιγράφονται ακολούθως:

- ▲ Πλήρης αποτύπωση της παρούσας κατάστασης και του «δυναμικού» της πόλης,
- ▲ Δυνατότητα ενεργειακής αξιολόγησης της πόλης και παρακολούθηση της πορείας της σε διάφορους τομείς.
- ▲ Ευέλικτο μεθοδολογικό πλαίσιο, ώστε να συνδυάζει τόσο τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και τους εμπλεκόμενους φορείς στη διαδικασία λήψης αποφάσεων,
- ▲ Επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού δράσεων και μέτρων για την ενεργειακή εξοικονόμηση λαμβάνοντας υπόψη την πολυκριτηριακή φύση του προβλήματος, και τα οποία συνάδουν με τους στόχους που θέτει η πόλη για κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική αειφόρο ανάπτυξη,
- ▲ Συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση της πορείας υλοποίησης των δράσεων και συμμετοχή των χρηστών για τη διαμόρφωση των ενεργειακών βελτιωτικών δράσεων.

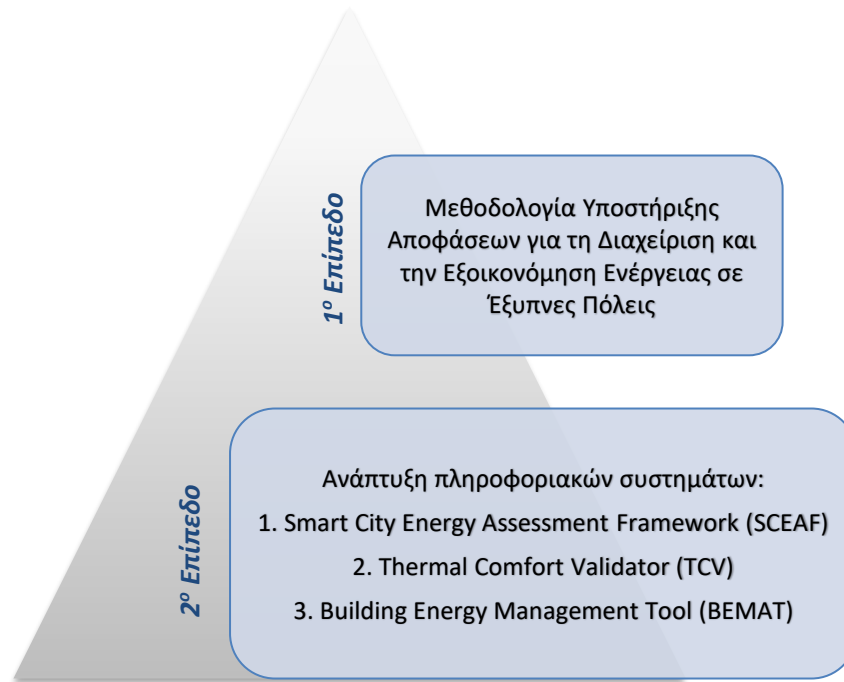
Στο πλαίσιο αυτό, η υποστήριξη αποφάσεων, μέσω των ΣΥΑ, επιτρέπει τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών χρησιμοποιώντας έξυπνες τεχνολογίες πληροφορικής. Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την εξοικονόμηση ενέργειας θα συμβάλλει στην άμεση υποστήριξη των τοπικών αρχών των πόλεων με στόχο τη δημιουργία ενεργειακών βιώσιμων κοινοτήτων και Έξυπνων Πόλεων.

### *Αντικείμενο και Στόχος*

Το αντικείμενο της Διδακτορικής Διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση ενέργειας σε έξυπνες πόλεις. Στόχος της διατριβής, στην οποία βασίζεται η μεθοδολογία και τα σχετιζόμενα συστήματα που αναπτύσσονται, είναι η συμβολή στην κάλυψη του επιστημονικού «κενού» που εντοπίστηκε σχετικά με την προώθηση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) και της αξιοποίησης των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την δημιουργία των ενεργειακά βιώσιμων και Έξυπνων Πόλεων. Μέσα από την εμπεριστατωμένη ανάλυση των βασικών παραμέτρων του προβλήματος και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων, επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου και συνεπούς πλαισίου υποστήριξης των τελικών αποφασιζόντων.

## I.3 Συμβολή Διατριβής

**Συμβολή** Η συμβολή της Διδακτορικής Διατριβής συνίσταται στη διατύπωση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας σε επίπεδο πόλεων με την ανάπτυξη και τη χρήση επιμέρους εργαλείων πληροφορικής.



Σχήμα 1.1. Επίπεδα συμβολής της Διδακτορικής Διατριβής

Η συμβολή της Διδακτορικής Διατριβής, που απεικονίζεται και εποπτικά στο παραπάνω Σχήμα 1.1, διακρίνεται σε δυο (2) επίπεδα, τα οποία αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

### 1ο Επίπεδο Συμβολής

#### ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Σε πρώτο επίπεδο, η Διατριβή συμβάλει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας με στόχο την υποστήριξη των τοπικών και περιφερειακών αρχών προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και των ενεργειακά έξυπνων πόλεων.

Η «συστημική» προσέγγιση, στην οποία βασίζεται η φιλοσοφία της προτεινόμενης μεθοδολογίας, συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός

διαφανούς και συνεπούς μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης των αποφασιζόντων για την αναγνώριση όλων των παραμέτρων και αναγκών του προβλήματος, καθώς και την ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία απευθύνεται στις τοπικές αρχές πόλεων, για να βελτιστοποιηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις τους και να επιτευχθεί σημαντική μείωση των ρυπογόνων εκπομπών.

Το πρωτότυπο πλαίσιο που προτείνεται περιλαμβάνει δύο πυλώνες: την «Αξιολόγηση» (Assessment) και την «Διαχείριση» (Management) όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2. και έχει περιγραφεί από τον γράφοντα Papastamatiou et al. (2017).

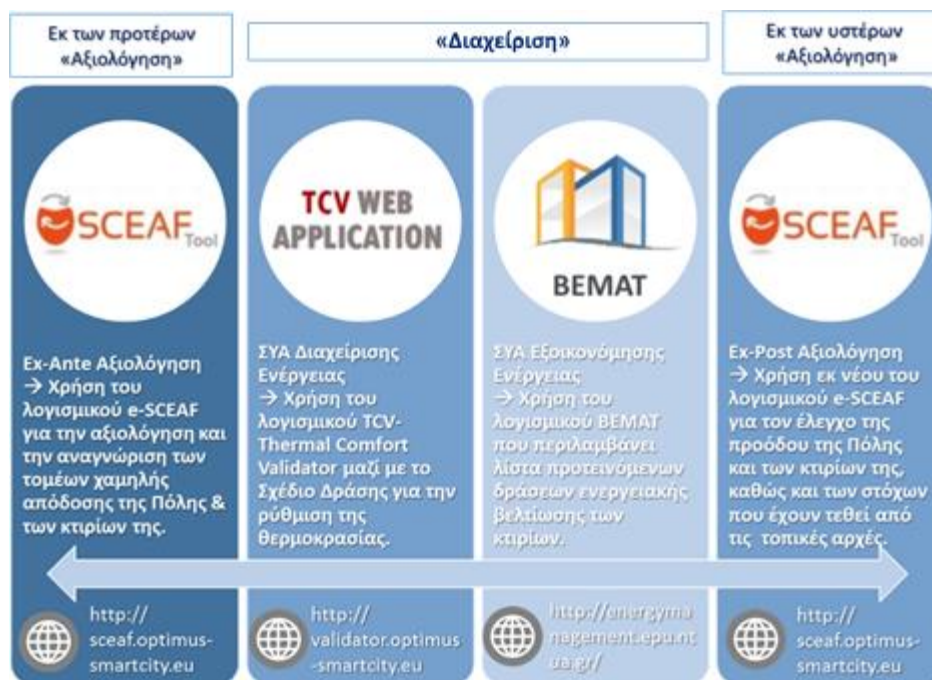
Αφού οι αρμόδιες αρχές της πόλης καθορίσουν τους ενεργειακούς στόχους για την πόλη, το προτεινόμενο πλαίσιο αρχίζει με την αξιολόγηση της πόλης.

Ο πυλώνας «Αξιολόγηση» επισημαίνει τα δυνατά σημεία, τους τομείς χαμηλής απόδοσης και τις δυνατότητες μιας πόλης για ενεργειακή βελτίωση. Είναι πολύ σημαντικό να έχουμε μια λεπτομερή αξιολόγηση της κατάστασης σε διάφορους τομείς της πόλης στην αρχή και πριν από την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων, έτσι ώστε να διακρίνουμε ποιος τομέας της πόλης χρειάζεται βελτίωση (Papastamatiou et al., 2016, 2017; Marinakis et al., 2017).

Ο πυλώνας αυτός χρησιμοποιεί το Ενεργειακό Πλαίσιο Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF» (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016) και το διαδικτυακό εργαλείο e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2014a, 2016).

Με το εργαλείο e-SCEAF, οι τοπικές αρχές εισάγουν διάφορα στοιχεία της πόλης, όπως για παράδειγμα την ενεργειακή στρατηγική και τους στόχους της πόλης, τις ενεργειακές καταναλώσεις από ένα ή περισσότερα κτίρια της πόλης κ.α.. Η εισαγωγή των στοιχείων πραγματοποιείται εύκολα μέσω ενός διαδικτυακού ερωτηματολογίου. Στη συνέχεια, το σύστημα αναλύει τα δεδομένα και παρουσιάζει την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση της πόλης σε τρεις άξονες:

- ▲ Πολιτικό πεδίο δράσης (Political Field of Action),
- ▲ Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ (Energy and Environmental Profile),
- ▲ Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), καθώς και Υποδομές (ICT and Infrastructures).



Σχήμα 1.2. Προτεινόμενη μεθοδολογία

Αφού οι τοπικές αρχές της πόλης έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσής της, που επισημαίνονται στο στάδιο της «Αξιολόγησης», συνεχίζουν με το επόμενο στάδιο της «Διαχείρισης» όπου και επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για την πόλη τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις.

Οι προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας προκύπτουν από τον πυλώνα «Διαχείρισης» και προέρχονται από δύο (2) ΣΥΑ. Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιλαμβάνει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιλαμβάνει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας.

Σημειώνεται ότι οι δυο αυτοί πυλώνες βρίσκονται σε άμεση εξάρτηση μεταξύ τους. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο δίνει στις τοπικές αρχές τη δυνατότητα να συγκρίνουν την απόδοση της πόλης και των κτιρίων πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών δράσεων. Επίσης, μπορούν να συγκρίνουν και να αξιολογήσουν ενεργειακά την πόλη στο σύνολο των τομέων της ή στα κτίρια αυτής με άλλες πόλεις ή άλλα κτίρια αντίστοιχα.

**2<sup>ο</sup> Επίπεδο  
Συμβολής****SMART CITY ENERGY ASSESSMENT FRAMEWORK (SCEAF)  
THERMAL COMFORT VALIDATOR (TCV)  
BUILDING ENERGY MANAGEMENT TOOL (BEMAT)**

Η Διδακτορική Διατριβή συμβάλλει σε δεύτερο επίπεδο στην ανάπτυξη πρότυπων διαδικτυακών εργαλείων, που τοποθετούνται στο ευρύτερο επιστημονικό πεδίο της υποστήριξης αποφάσεων και είναι προσαρμοσμένα κατάλληλα στο τρέχον πρόβλημα.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα τρία (3) διαδικτυακά εργαλεία που χρησιμοποιεί η προτεινόμενη μεθοδολογία. Σημειώνεται ότι τα εργαλεία αυτά έχουν υλοποιηθεί εξολοκλήρου από τον γράφοντα της διατριβής.

Ο πυλώνας της «Αξιολόγησης» χρησιμοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις Smart City Energy Assessment Framework tool (e-SCEAF) (Papastamatiou et al., 2016, 2017 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>).

Ο πυλώνας της «Διαχείρισης» χρησιμοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017 - <http://validator.optimus-smartcity.eu>) και το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT) (Papastamatiou et al., 2015 - <http://energymanagement.epu.ntua.gr>).

**SMART CITY ENERGY ASSESSMENT FRAMEWORK (SCEAF)**

Το SCEAF είναι μια μεθοδολογία Ενεργειακής Αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων που περιλαμβάνει 21 δείκτες και είναι δομημένη σε τρεις ενότητες (άξονες):

- ▲ Πολιτικό πεδίο δράσης (Political Field of Action),
- ▲ Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ (Energy and Environmental Profile),
- ▲ Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), καθώς και Υποδομές (ICT and Infrastructures).

Κάθε άξονας περιγράφεται με έναν ή περισσότερους δείκτες. Οι δείκτες αυτοί καλύπτουν μόνο τον πυλώνα «Αξιολόγηση» στην προτεινόμενη μεθοδολογία. Το e-SCEAF είναι το διαδικτυακό λογισμικό που υλοποιεί το SCEAF και υπολογίζει την απόδοση της πόλης στους διάφορους τομείς. Χρησιμοποιείται στον πυλώνα «Αξιολόγηση» της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017).

**Πίνακας 1.1. Οι τρεις πρώτοι δείκτες του κάθε άξονα του SCEAF**

1. Πολιτικό πεδίο δράσης	
1.	Στόχος μείωσης των εκπομπών CO <sub>2</sub> σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % των συνολικών εκπομπών
2.	Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)
3.	Στόχος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε τελική χρήση σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)
2. Ενεργειακό και περιβαλλοντικό προφίλ	
1.	Μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας σε δημοτικά κτίρια: % της ενέργειας που εξοικονομείται σε σύγκριση με το έτος αναφοράς
2.	Ποσοστό μείωσης των ορυκτών καυσίμων: % μείωση των ορυκτών καυσίμου ενεργειακής κατανάλωσης σε σχέση με το έτος αναφοράς
3.	Μέσος συντελεστής εκπομπών CO <sub>2</sub> : ο μέσος συντελεστής εκπομπών του κτιρίου βασίζεται στο ενεργειακό μείγμα της
3. Υποδομές και ΤΠΕ	
1.	Συστήματα παρακολούθησης, BEMS και BACS: αξιολογούνται με βάση το επίπεδο του αυτοματισμού στο κτίριο σύμφωνα με prEN 15232: 2006
2.	Ενεργειακά Συστήματα Παρακολούθησης: % της κατανάλωσης ενέργειας παρακολουθείται με υπο-μέτρα σε σύγκριση με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας
3.	Συστήματα Πρόβλεψης: ύπαρξη συστημάτων πρόβλεψης κατανάλωσης ενέργειας, παραγωγής ενέργειας και θερμοκρασίας

Οι τρεις πρώτοι δείκτες του κάθε άξονα απεικονίζονται στον Πίνακα 1.1. Ακολουθεί στη συνέχεια μια σύντομη περιγραφή των τριών αξόνων:

- ▲ Ο άξονας «Πολιτικό πεδίο δράσης» αφορά στον βαθμό φιλοδοξίας που έχουν οι τοπικές αρχές της πόλης σχετικά με τις περιβαλλοντικές δεσμεύσεις τους και τους ενεργειακούς στόχους που έχουν θέσει. Το e-SCEAF λαμβάνει υπόψη τόσο τους στόχους αυτούς που έχουν τεθεί από τους δήμους όσο και τις προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα για την επίτευξη αυτών. Τέλος, λαμβάνονται υπόψη οι πόροι που διατίθενται για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και όλες οι δράσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
- ▲ Ο άξονας «Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ» αφορά στην ενεργειακή απόδοση της πόλης και λαμβάνει υπόψη τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), τα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub> και το ενεργειακό μείγμα. Η πόλη αξιολογείται βάσει των ενεργειακών καταναλώσεων και των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η ενέργεια που παράγεται μέσω ΑΠΕ και Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αξιολόγησης, ενώ παράλληλα εξετάζονται οι ικανότητες αποθήκευσης ενέργειας, τα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub> και το ενεργειακό μείγμα.

- ▲ Ο άξονας «Τεχνολογίες Πληροφοριών, Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και Υποδομές» αξιολογεί το επίπεδο διείσδυσης των ΤΠΕ, των αυτοματισμών και των συστημάτων ελέγχου και πρόληψης στα κτίρια της πόλης. Επίσης, εξετάζεται η χρήση των μέσων μαζικής ενημέρωσης στην ανάπτυξη των σχεδίων δράσης και η μείωση του κόστους λόγω καλύτερης διαχείρισης (π.χ. μέσω της επίτευξης χαμηλότερων τιμών ενέργειας και της εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών παροχών ενέργειας).

Το e-SCEAF είναι ένα λογισμικό βασισμένο στο πολυκριτηριακό μοντέλο 2-Tuple. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από ένα γλωσσικό όρο και μια αριθμητική τιμή [-0.5, 0.5] όπως ορίζεται από τους Herrera et al. (2000) και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η προσαρμογή σε ενεργειακά προβλήματα του Doukas et al. (2013). Το εργαλείο e-SCEAF έχει αναπτυχθεί σε PHP, MySQL και JavaScript από τον γράφοντα και προσφέρει έναν ευέλικτο, αξιόπιστο και διαφανή τρόπο εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης μιας πόλης. Οι αλγόριθμοι του εργαλείου e-SCEAF διαχειρίζονται τα μη-ομογενή δεδομένα χρησιμοποιώντας τις τρεις φάσεις της μεθοδολογίας του Herrera et al. (2005):

- ▲ *Ομογενοποίηση των πληροφοριών (Unification of the information)*: Η φάση αυτή ενοποιεί τις ετερογενείς πληροφορίες (αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικούς όρους) σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS – Basic Linguistic Term Set).
- ▲ *Συνάθροιση των τιμών προτίμησης (Aggregation of the preferred values)*: Είναι η φάση υπολογισμού και της συνάθροισης των τιμών προτίμησης.
- ▲ *Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple»*: Είναι η διεργασία που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τα αποτελέσματα με το μοντέλο διπλής αναπαράστασης «2-tuple».

Μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης και της Συνιστώσας «Optimization», η μεθοδολογία ολοκληρώνεται με την εκ νέου εφαρμογή της συνιστώσας «Assessment» που σε αυτό το στάδιο καλείται «Ex-Post Assessment». Κατά την διάρκεια της «Εκ των υστέρων Αξιολόγησης», δηλαδή της αξιολόγησης μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής Διαχείρισης, η πόλη αξιολογείται εκ νέου με βάση τους ίδιους δείκτες και τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της προηγούμενης εφαρμογής. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η πρόοδος της πόλης και οι στόχοι που έχουν θέσει οι τοπικές αρχές των πόλεων.

### **THERMAL COMFORT VALIDATOR (TCV)**

Στο πρώτο μέρος του πυλώνα «Διαχείρισης» βρίσκεται το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας και αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Thermal

Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017 - <http://validator.optimus-smartcity.eu>) για την υλοποίηση του Σχεδίου Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakis et al., 2017).

Κάνοντας χρήση του εργαλείου αυτού, οι ενεργειακοί διαχειριστές έχουν την δυνατότητα να προσαρμόσουν τις παραμέτρους θερμικής άνεσης των κτιρίων, με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιώσουν τη χρήση της ενέργειας και να διατηρήσουν τα επίπεδα άνεσης σε αποδεκτό επίπεδο.

Το εργαλείο TCV αξιοποιεί την ανατροφοδότηση (feedback) των χρηστών. Ουσιαστικά ο χρήστης μέσω ενός διαδικτυακού ερωτηματολογίου αξιολογεί τη θερμική του αίσθηση. Η ανατροφοδότηση των χρηστών αναλύεται και αξιολογείται προκειμένου να υπολογιστεί ο πραγματικός δείκτης AMV (Actual Mean Vote – Πραγματική μέση ψήφος) για να χρησιμοποιηθεί στο Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων».

Το προτεινόμενο σχέδιο δράσης υλοποιήθηκε από τον γράφοντα σε PHP και ενσωματώνεται σε μια εφαρμογή Symfony. Επίσης, το λογισμικό εισάγει τα δεδομένα από εγκατεστημένους αισθητήρες στο κτίριο, όπως για παράδειγμα θερμοκρασίας και υγρασίας.

### **BUILDING ENERGY MANAGEMENT TOOL (BEMAT)**

Στο δεύτερο μέρος του πυλώνα «Διαχείρισης» βρίσκεται το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας υλοποιείται από το διαδικτυακό Εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων - Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015 - <http://energymanagement.epu.ntua.gr>). Το εργαλείο συλλέγει δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας από τις κτιριακές εγκαταστάσεις, αναλύει τα αποτελέσματα και προτείνει δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Το εργαλείο έχει υλοποιηθεί σε Python/Django και χρησιμοποιείται επίσης, στα πλαίσια εργαστηριακής άσκησης στο προπτυχιακό μάθημα του 9<sup>ου</sup> Εξαμήνου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ: «Διαχείριση Ενέργειας & Περιβαλλοντική πολιτική».

Οι αρμόδιες αρχές της πόλης, καταχωρούν τα γενικά χαρακτηριστικά των κτιριακών εγκαταστάσεων και στη συνέχεια το εργαλείο προτείνει μια σειρά δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας όπως για παράδειγμα:

- ▲ Εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας,
- ▲ Αντικατάσταση των παλαιών παραθύρων και κουφωμάτων,
- ▲ Αντικατάσταση παλαιών κλιματιστικών,
- ▲ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος (PV),



- ▲ Εγκατάσταση φυσικού αερίου κ.λπ.

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να εφαρμόσει όσα σενάρια θέλει. Μετά, την επιλογή του κάθε σεναρίου, το λογισμικό κάνει αυτόματα τους υπολογισμούς και αξιολογεί τη βιωσιμότητα των προτεινόμενων ενεργειών με τη χρήση τριών οικονομικών δεικτών: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Discounted Payback Period (DPP). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τις διαδικασίες που παρουσιάζονται στην τεχνική οδηγία 20701 από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας που βασίζεται στην «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EC, 2010c) και την «Οδηγία Ενεργειακής Αποδοτικότητας (2012/27 / ΕΕ)» (EC, 2012b) της ΕΕ.

**Καινοτομία της προτεινόμενης μεθοδολογίας**

Η προτεινόμενη μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα για ενεργειακή αξιολόγηση της πόλης και των κτιρίων της, πριν και μετά την εφαρμογή των δράσεων βελτίωσης που προτείνονται. Επίσης, για πρώτη φορά συνδυάζονται Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) Ενεργειακής Διαχείρισης και Ενεργειακής Εξοικονόμησης στο επίπεδο της Ενεργειακά Έξυπνης Πόλης (Papastamatiou et al. 2015, 2016, 2017; Marinakis et al., 2017).

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία λαμβάνεται για πρώτη φορά υπόψη η συγχώνευση πολλαπλών πηγών δεδομένων από τέσσερις (4) διαφορετικούς τομείς:

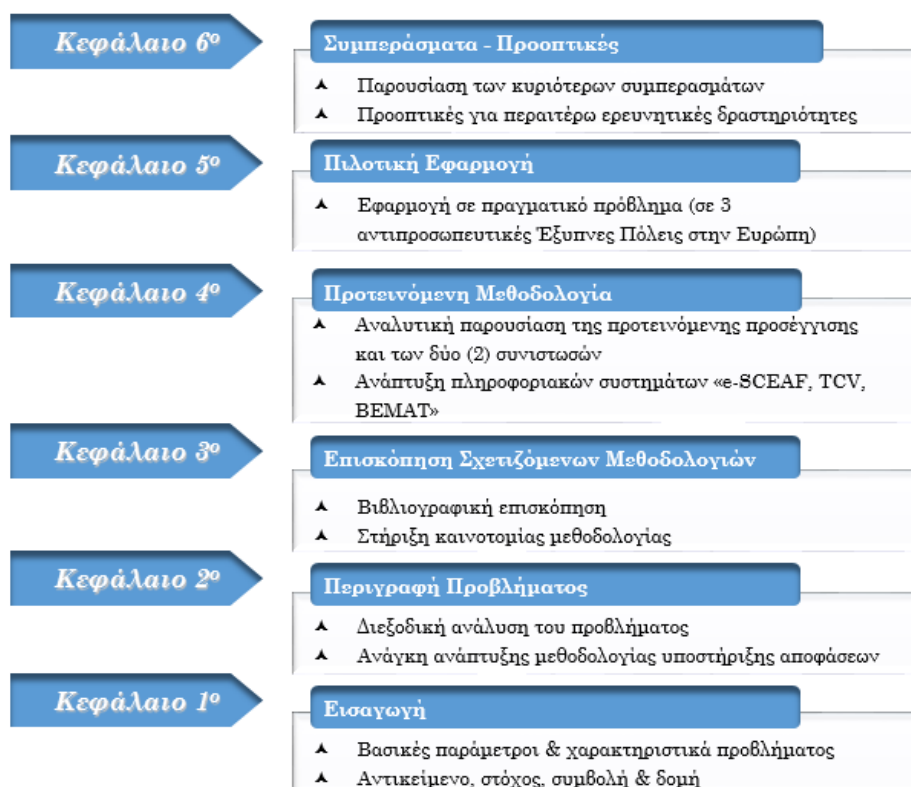
- ▲ τις καιρικές συνθήκες,
- ▲ τα δεδομένα από τους αισθητήρες του κτιρίου,
- ▲ την ανατροφοδότηση και τα σχόλια των χρηστών,
- ▲ τις τιμές της ενέργειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα μέρος της παρούσας διατριβής έγινε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού έργου OPTIMUS: «OPTIMising the energy USe in cities with smart decision support system» (OPTIMUS, 2016) και συγκεκριμένα τα εργαλεία e-SCEAF και TCV.

Επίσης, η δημοσιευμένη εργασία για το λογισμικό ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων BEMAT - Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015) βραβεύτηκε τον Ιούλιο του 2015, μετά χρηματικού επάθλου, ως η καλύτερη εργασία στο 6ο Διεθνές Συνέδριο της IEEE για την Πληροφορική, τα Ευφυή Συστήματα και τις Εφαρμογές στο Ιόνιο Πανεπιστήμιο στην Κέρκυρα. Τέλος, η δημοσιευμένη εργασία στο περιοδικό «Elsevier-Information Fusion» για το εργαλείο ενεργειακής αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων e-SCEAF - Smart City Energy Assessment Framework Tool (Papastamatiou et al., 2016) απέσπασε τον Ιούνιο του 2017 το Θωμαΐδειο Βραβείο από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, μετά χρηματικού επάθλου.

## I.4 Δομή Έκθεσης Διδακτορικής Διατριβής

Η Διδακτορική Διατριβή αποτελείται από έξι (6) Κεφάλαια, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3. Δομή Διδακτορικής Διατριβής

Πιο αναλυτικά το περιεχόμενο καθενός από τα Κεφάλαια της Διδακτορικής Διατριβής περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

**Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Εισαγωγή** Αποτελεί το παρόν Κεφάλαιο της Διδακτορικής Διατριβής, στο οποίο παρουσιάζεται συνοπτικά το πρόβλημα και στηρίζεται η ανάγκη ανάπτυξης μιας μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων των τοπικών και περιφερειακών αρχών προς την κατεύθυνση των ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων και έξυπνων πόλεων. Επιπλέον, στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το αντικείμενο, ο στόχος και η συμβολή της Διδακτορικής Διατριβής.

**Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>  
Περιγραφή  
Προβλήματος** Σε συνέχεια της σύντομης παρουσίασης του προβλήματος στην Εισαγωγή, το 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύει διεξοδικά το πρόβλημα της υποστήριξης αποφάσεων που εξετάζεται στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή. Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η φιλοσοφία της αειφόρου ανάπτυξης και τα κυριότερα σημεία της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής. Έπειτα, διερευνώνται διεξοδικά όλες οι ευκαιρίες και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι τοπικές αρχές προς την κατεύθυνση των Έξυπνων Πόλεων, καταλήγοντας με τη διατύπωση της ανάγκης για δημιουργία νέων ΣΥΑ και εργαλείων πληροφορικής, αξιοποιώντας τις ΤΠΕ.

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>  
Επισκόπηση  
Σχετιζόμενων  
Μεθοδολογιών** Λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση του 2<sup>ου</sup> Κεφαλαίου της Έκθεσης Πρότασης και Προόδου Διατριβής και της ανάγκης που απορρέει για την ανάπτυξη κατάλληλων μεθοδολογιών και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τις Έξυπνες Πόλεις, στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφονται, αρχικά, οι επιστημονικές περιοχές υποστήριξης αποφάσεων, στις οποίες έγκειται η προτεινόμενη μεθοδολογία. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την υποστήριξη της καινοτομίας της προτεινόμενης μεθοδολογίας, όσον αφορά στη χρήση των προσεγγίσεων αυτών στο παρόν πρόβλημα υποστήριξης αποφάσεων.

**Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>  
Επόμενα  
Βήματα** Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η συνολική φιλοσοφία της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης. Αναλύονται όλα τα επιμέρους στάδια του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε για τις επιμέρους συνιστώσες της προτεινόμενης προσέγγισης, περιλαμβάνοντας μεταξύ άλλων, την αρχική αξιολόγηση των πόλεων, τη μοντελοποίηση των δράσεων, το σχεδιασμό των εναλλακτικών Σεναρίων Δράσης και την ενεργειακή αξιολόγηση των πόλεων ύστερα από την εφαρμογή των Σεναρίων Δράσης. Επιπλέον, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα τρία (3) διαδικτυακά εργαλεία που χρησιμοποιεί η προτεινόμενη μεθοδολογία. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται το διαδικτυακό εργαλείο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις Smart City Energy Assessment Framework tool (e-SCEAF) (Papastamatiou et al., 2016, 2017 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>), το διαδικτυακό εργαλείο Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017 - <http://validator.optimus-smartcity.eu>) και το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT) (Papastamatiou et al., 2015 - <http://energymanagement.epu.ntua.gr>).

**Κεφάλαιο 5ο** Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της προτεινόμενης  
**Πιλοτική** μεθοδολογίας και των πληροφοριακών συστημάτων που έχουν  
**Εφαρμογή** αναπτυχθεί σε τρεις (3) αντιπροσωπευτικές ευρωπαϊκές πόλεις:

1. Σαβόνα (Savona) στην Ιταλία,
2. Σαν Κουγκάτ (Sant Cugat) στην Ισπανία,
3. Ζάανσταντ (Zaanstad) στην Ολλανδία.

Και περιλαμβάνει πέντε (5) δημοτικά κτίρια:

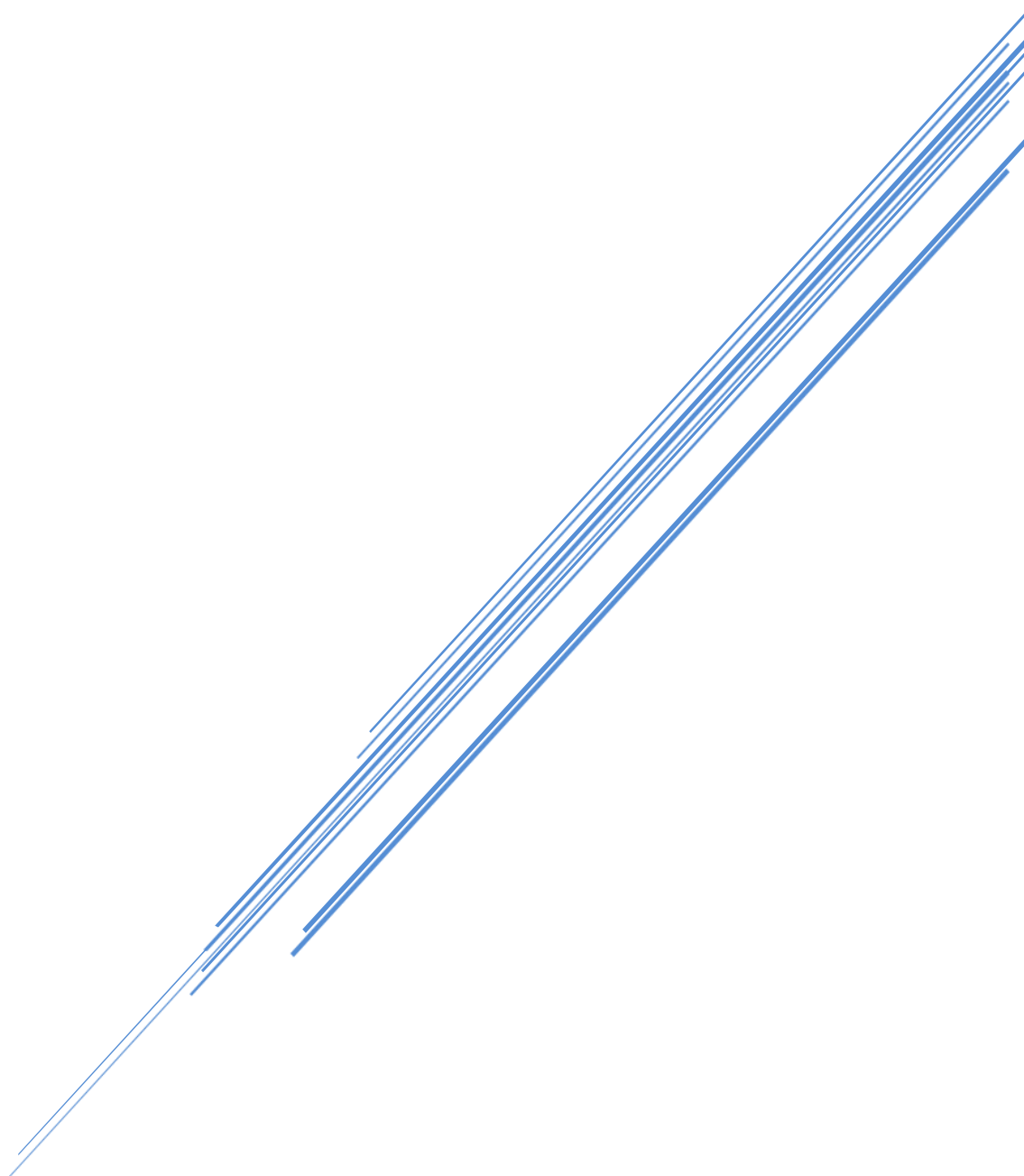
1. Το σχολείο «Savona Colombo-Pertini» στη Σαβόνα,
2. Η πανεπιστημιούπολη «Savona Campus» στη Σαβόνα,
3. Το δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ,
4. Το θέατρο του Σαν Κουγκάτ,
5. Το δημαρχείο του Ζάανσταντ.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή των επιμέρους βημάτων της προτεινόμενης μεθοδολογιακής προσέγγισης.

**Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>** Το τελευταίο κεφάλαιο της Διατριβής παρουσιάζει τα επιτεύγματα της  
**Συμπεράσματα-** προτεινόμενης προσέγγισης, που απορρέουν τόσο από την ανάλυση των  
**Προοπτικές** αρχικών Κεφαλαίων όσο και από τα εμπειρικά αποτελέσματα κατά την εφαρμογή σε πραγματικό πρόβλημα. Τέλος, το Κεφάλαιο αυτό καταλήγει σε μια σειρά από σκέψεις και προτάσεις προοπτικής για περαιτέρω ερευνητικές δραστηριότητες πάνω στο πρόβλημα υποστήριξης αποφάσεων για την πρόωση των Έξυπνων Πόλεων.

# Κεφάλαιο II

## Περιγραφή Προβλήματος



**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

*Ηλίας Μ. Παπασταματίου*



## II.1 Εισαγωγή

**Στόχος** Παρά τις προσπάθειες που γίνονται τα τελευταία χρόνια για τη μετάβαση προς τις Έξυπνες Πόλεις, ολοένα και περισσότερο διαφαίνεται η ανάγκη για ουσιαστική και αποτελεσματική υποστήριξη των τοπικών αρχών. Κύριος στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η αναλυτική περιγραφή του προβλήματος και η ανάδειξη της ανάγκης για την υποστήριξη των τοπικών αρχών για τη μετάβαση προς τις Έξυπνες Πόλεις.

**Δομή Κεφαλαίου** Το Κεφάλαιο αυτό, πέρα από την εισαγωγή, περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες (Σχήμα 2.1):

- ▲ **2<sup>η</sup> Ενότητα:** Παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της αειφόρου ανάπτυξης και οι στόχοι της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής μέχρι το 2020 και μετά το 2020.
- ▲ **3<sup>η</sup> Ενότητα:** Περιγράφεται ο τοπικός ενεργειακός σχεδιασμός σε επίπεδο τοπικών και περιφερειακών αρχών, Έξυπνων Πόλεων και ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων.
- ▲ **4<sup>η</sup> Ενότητα:** Εστιάζεται στην ανάλυση των δυνατοτήτων, και των προκλήσεων για τη μετάβαση από τις «παραδοσιακές» πόλεις σε «έξυπνες» και συγκεκριμένα σε Ενεργειακά «Έξυπνες Πόλεις», αναδεικνύοντας την ανάγκη για υποστήριξη αποφάσεων και χρήση Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ).
- ▲ **5<sup>η</sup> Ενότητα:** Με βάση την παραπάνω διερεύνηση, στην τελευταία ενότητα συνοψίζονται οι διάφορες παράμετροι του προβλήματος που εξετάζονται στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή.



Σχήμα 2.1. Δομή 2<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

## II.2 Αειφόρος Ανάπτυξη & Ενεργειακή Πολιτική

### II.2.1 Αειφόρος Ανάπτυξη

#### Περιγραφή της Ιδέας

Τις τελευταίες δεκαετίες η αειφόρος ανάπτυξη (ή βιώσιμη ανάπτυξη) αποτέλεσε ένα βασικό πρόσταγμα στον σχεδιασμό πολιτικής. Η έννοια εμφανίστηκε στη δεκαετία του 1970, στο πλαίσιο ενός προβληματισμού που είχε αναπτυχθεί σε κύκλους σχεδιαστών πολιτικής και οικολογικών οργανώσεων για τις αρνητικές επιδράσεις της ανάπτυξης στο περιβάλλον.

Σε κάποιον βαθμό η ιδέα της αειφόρου ανάπτυξης ήρθε ως απάντηση σε ριζοσπαστικές εκδοχές του περιβαλλοντικού κινήματος, οι οποίες ζητούσαν να τεθούν όρια στην ανάπτυξη και επιδίωκαν τη λήψη μέτρων που θα απαντούσαν δραστικά στην οικολογική υποβάθμιση.

Αποτέλεσε ένα αναλυτικό εργαλείο που προσπάθησε να συνδέσει οικολογικά και κοινωνικοοικονομικά προβλήματα και να συμφιλιώσει την αναπτυξιακή στρατηγική με την περιβαλλοντική προστασία, ως πρακτικές που υπό προϋποθέσεις μπορούσαν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά (Baker et al., 1997; Gidding et al., 2002; Horwood et al., 2005).

#### Έκθεση Brundtland

Τις τελευταίες δεκαετίες, με αφετηρία την έκθεση Brundtland (1987), στην οποία διατυπώθηκε για πρώτη φορά ως επίσημη αναφορά η έννοια της βιώσιμης (αειφόρου) ανάπτυξης, έχουν διατυπωθεί διάφοροι ορισμοί. Κοινός τόπος όλων των ορισμών είναι πως η βιώσιμη ανάπτυξη εμφορείται από την οικολογική, την κοινωνική και την οικονομική αλληλεξάρτηση.

Ο πλέον χρησιμοποιούμενος ορισμός της βιώσιμης ανάπτυξης είναι ο κλασικός ορισμός που περιέχεται στην έκθεση με τίτλο «Το κοινό μας μέλλον» που συνέταξε η Gro Harlem Brundtland ως πρόεδρος της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (αγγλ.. World Community Environmental Development, WCED)

*«Η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες των σύγχρονων γενεών χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των επόμενων γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες».*

Στη συνήθη χρήση της έννοιας κυριαρχεί η περιβαλλοντική διάσταση, η ανάγκη προστασίας και διαφύλαξης του περιβάλλοντος και ειδικότερα των μη ανανεώσιμων παραγωγικών και ενεργειακών πηγών (πρώτες ύλες, πετρέλαιο). Εντούτοις, η οικονομική, η κοινωνική και κυρίως η πολιτική διάσταση είναι μαζί με την περιβαλλοντική διάσταση οι αναγκαίοι συνθετικοί όροι της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης. Η συνθετική αυτή προσέγγιση ενυπάρχει στο ίδιο κείμενο της έκθεσης Brundtland.



**Διεθνείς  
Περιβαλλοντι-  
κοί Οργανισμοί**

Συμπληρωματικός του προηγούμενου, είναι ο ορισμός που προέρχεται από την κοινή έκδοση της Παγκόσμιας Ένωσης Προστασίας της Φύσης (αγγλ. International Union for Conservation of Nature, IUCN), του Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (αγγλ. United Nations Environment Programme, UNEP) και του Παγκόσμιου Ταμείου για τη Φύση (αγγλ. World Wildlife Fund, WWF) και αναφέρει ότι:

*«Βιώσιμη ανάπτυξη σημαίνει βελτίωση της ποιότητας ζωής στο πλαίσιο της φέρουσας ικανότητας των υποστηρικτικών οικοσυστημάτων».*

Η βιώσιμη ανάπτυξη είναι ευρύτερη έννοια από την προστασία του περιβάλλοντος. Υποδηλώνει το ενδιαφέρον για τις μελλοντικές γενεές και για τη μακροπρόθεσμη υγεία και ακεραιότητα του περιβάλλοντος.

Εμπεριέχει το ενδιαφέρον για την ποιότητα ζωής (όχι μόνο της αύξησης του εισοδήματος), για την ισότητα μεταξύ ανθρώπων σήμερα (μαζί με την πρόληψη της φτώχειας), για τη μεταξύ των γενεών ισότητα (οι άνθρωποι στο μέλλον δικαιούνται ένα περιβάλλον τουλάχιστον τόσο καλό όσο αυτό που εμείς τώρα απολαμβάνουμε αν όχι καλύτερο) και για τις κοινωνικές και ηθικές διαστάσεις της ανθρώπινης ευημερίας. Υποδηλώνει, επίσης, ότι η περαιτέρω ανάπτυξη θα λάβει χώρα μόνο εφόσον είναι μέσα στη φέρουσα ικανότητα των φυσικών και ανθρώπινων συστημάτων.

## II.2.2 Βασικές Αρχές

**Διαστάσεις  
Αειφόρου  
Ανάπτυξης**

Η αειφόρος ανάπτυξη βασίζεται σε τρεις αρχές (Caring for the Earth, 1991). Η πρώτη αναφέρεται στην ανάγκη για ικανοποιητικές συνθήκες ζωής για τις παρούσες και τις μέλλουσες γενιές, η δεύτερη υπογραμμίζει την εξάρτηση της ανθρώπινης κοινωνίας από τους φυσικούς πόρους, και η τρίτη αρχή συνθέτει τις δυο προηγούμενες τονίζοντας, ότι η διατήρηση της ανθρώπινης κοινωνίας προϋποθέτει την κατάλληλη χρήση των φυσικών πόρων στο πλαίσιο μιας βιώσιμης λύσης.

Τέλος, όλα τα παραπάνω τα συνδέει ο πυλώνας των θεσμών, επισημαίνοντας την αναγκαιότητα ενός θεσμικού πλαισίου που θα προτείνει στρατηγικές και θα επιβάλλει μέτρα προκειμένου να εφαρμοστούν στην πράξη και να λειτουργήσουν όλα τα παραπάνω μαζί (UNCED, 1992). Αυτή η συνθετική παρουσίαση επιδιώκει να δείξει ότι (Σχήμα 2.2):

- ▲ Οι οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαδικασίες αλληλοσυνδέονται και υλοποιούνται με τη βοήθεια του θεσμικού πλαισίου. Αυτή την αλληλεξάρτηση θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους οι σχεδιαζόμενες παρεμβάσεις.
- ▲ Η βιώσιμη ανάπτυξη ξεπερνά την απλή περιβαλλοντική προστασία. Η κάλυψη των αναγκών χρειάζεται την οικονομική ευημερία και την κοινωνική αλληλεγγύη.
- ▲ Η βιώσιμη ανάπτυξη απαιτεί μακροχρόνια διαρθρωτική αλλαγή των οικονομικών και κοινωνικών μας συστημάτων, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης των περιβαλλοντικών πόρων σε ένα επιτρεπτό επίπεδο, με διατήρηση του οικονομικού δυναμικού και της

κοινωνικής συνοχής έτσι ώστε οι μελλοντικές συνέπειες των σημερινών ενεργειών να επιτρέπουν στις μελλοντικές γενιές να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες.



Σχήμα 2.2. Διαστάσεις Αειφόρου Ανάπτυξης

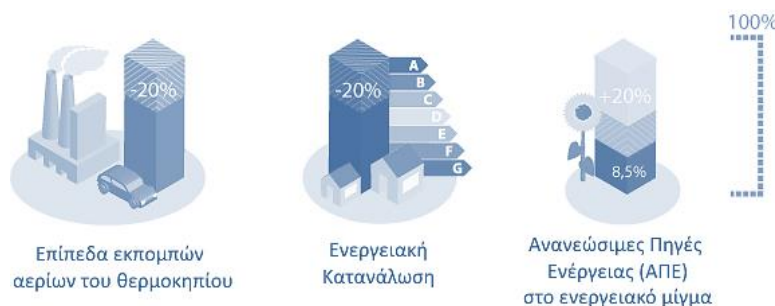
Το ζήτημα της ενέργειας βρίσκεται λοιπόν στην καρδιά του προβληματισμού και της επιδίωξης για την επίτευξη των τριών πυλώνων της βιώσιμης ανάπτυξης, δηλαδή την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη, καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος (Doukas et al., 2008).

### Π.2.3 Ευρωπαϊκή Πολιτική για το 2020

**Σχέδιο 20-20-20**

Τα τελευταία χρόνια η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει αναλάβει ρόλο πρωτοπόρου στον τομέα της ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει ασκήσει μεγάλη πίεση για την υιοθέτηση συγκεκριμένων και φιλόδοξων στόχων. Πιο συγκεκριμένα, για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση της ενεργειακής βιωσιμότητας η ΕΕ έχει θέσει ως στόχο («Σχέδιο 20-20-20», Σχήμα 2.3) να επιτύχει έως το τέλος του 2020 (ΕC, 2008):

- ▲ μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με το 1990.
- ▲ εξασφάλιση του 20% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.
- ▲ αύξηση κατά 20% της ενεργειακής απόδοσης.



Σχήμα 2.3. «Σχέδιο 20-20-20»

**Στρατηγική «Ευρώπη 2020»** Σε συνέχεια της Στρατηγικής της Λισσαβόνας, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο υιοθέτησε και οριστικοποίησε μια νέα στρατηγική «Ευρώπη 2020» (ΕC, 2010a). Η αναπτυξιακή στρατηγική της ΕΕ δεν είναι απλά ένα εργαλείο για την καταπολέμηση της κρίσης που εξακολουθεί να πλήττει πολλές από τις ευρωπαϊκές οικονομίες.

Αντίθετα, στοχεύει στην αντιμετώπιση των ελλείψεων του αναπτυξιακού μοντέλου της Ένωσης και στη δημιουργία των αναγκαίων συνθηκών για πιο έξυπνη ανάπτυξη. Δηλαδή, ανάπτυξη μιας οικονομίας βασισμένης στη γνώση και την καινοτομία· διατηρήσιμη, προώθηση μιας πιο αποδοτικής στη χρήση πόρων, πιο πράσινης και πιο ανταγωνιστικής οικονομίας χωρίς αποκλεισμούς, που θα επιτυγχάνει κοινωνική και εδαφική συνοχή.

Η «Ευρώπη 2020» περιλαμβάνει, επτά «εμβληματικές πρωτοβουλίες» που παρέχουν το πλαίσιο μέσα στο οποίο η ΕΕ και οι εθνικές αρχές αλληλοϋποστηρίζονται σε τομείς που προάγουν τις προτεραιότητες αυτής της στρατηγικής, όπως η καινοτομία, η ψηφιακή οικονομία, η απασχόληση, η νεολαία, η βιομηχανική πολιτική, η φτώχεια και η αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων (ΕC, 2010a).

**Στόχοι Στρατηγικής «Ευρώπη 2020»** Η Ευρωπαϊκή Ένωση συμφώνησε στους στόχους που αναφέρονται στην παρακάτω παράγραφο και οι οποίοι αποτελούν τους κοινούς σκοπούς που καθοδηγούν τη δράση των κρατών μελών και της Ένωσης (ΕC, 2010a).

- ▲ *Απασχόληση*: 75% της ηλικιακής κατηγορίας 20-64 ετών.
- ▲ *Έρευνα και Ανάπτυξη*: 3% του ΑΕΠ της ΕΕ.
- ▲ *Κλιματική αλλαγή και ενεργειακή βιωσιμότητα*:
  - Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% (ή και 30%, εφόσον οι συνθήκες το επιτρέπουν) σε σχέση με το 1990.
  - Εξασφάλιση 20% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
  - Αύξηση κατά 20% της ενεργειακής απόδοσης.
- ▲ *Εκπαίδευση*:
  - Μείωση κάτω από 10% του ποσοστού εγκατάλειψης της σχολικής εκπαίδευσης.
  - Ολοκλήρωση τριτοβάθμιων σπουδών τουλάχιστον για το 40% της ηλικιακής κατηγορίας 30-34 ετών.
- ▲ *Καταπολέμηση Φτώχειας και Κοινωνικού Αποκλεισμού*: Μείωση τουλάχιστον κατά 20 εκατομμύρια των ατόμων που βρίσκονται ή κινδυνεύουν να βρεθούν σε κατάσταση φτώχειας και κοινωνικού αποκλεισμού.

## Π.2.4 Ευρωπαϊκή Πολιτική έως το 2050

**Πλαίσιο για την Ενέργεια με Ορίζοντα το 2030** Το νέο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030 επιδιώκει τη συνεχή πρόοδο προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και ένα ανταγωνιστικό και ασφαλές ενεργειακό σύστημα που εξασφαλίζει ενέργεια σε τιμές προσιτές για όλους τους καταναλωτές, αυξάνει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της

Ευρωπαϊκής Ένωσης, μειώνει την εξάρτησή μας από τις εισαγωγές ενέργειας και δημιουργεί νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη και την απασχόληση, λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές επιπτώσεις στις τιμές μακροπρόθεσμα (COM(2014) 15 τελικό).

Πιο συγκεκριμένα, το Πλαίσιο Πολιτικής για το Κλίμα και την Ενέργεια για το 2030 (αγγλ. 2030 Framework for Climate and Energy Policies) περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τους ακόλουθους στόχους (EC, 2014b):

- ▲ μείωση τουλάχιστον 40% στις εκπομπές αερίων φαινομένου του θερμοκηπίου από τα επίπεδα του 1990,
- ▲ συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας κατά τουλάχιστον 27%,
- ▲ τουλάχιστον 30% εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο στόχος αναθεωρήθηκε στις 30 Νοεμβρίου 2016, όταν η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε την επικαιροποίηση της Οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση που περιλαμβάνει ένα νέο στόχο του 30% της ενεργειακής απόδοσης για το 2030, και μέτρα για την ενημέρωση της Οδηγίας, ώστε ο νέος στόχος να επιτευχθεί. Τα μέτρα περιλαμβάνουν την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στον τομέα των κτιρίων, ιδίως με τη βελτίωση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, και τη βελτίωση των εκπομπών και της απόδοσης των καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζονται οι ενεργειακοί στόχοι της Ένωσης για το 2020, 2030 και 2050.



Σχήμα 2.4. Στόχοι Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2020, 2030 και 2050.

#### Οδικός Χάρτης για το 2050

Στον Οδικό Χάρτη για το 2050 η ΕΕ θέτει ως κεντρικό στόχο να μειώσει έως το 2050 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 80%-95% σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990, μέσω της απανθρακοποίησης του ενεργειακού τομέα, με ταυτόχρονη εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και της ανταγωνιστικότητας της Ευρωπαϊκής οικονομίας (COM (2011) 112 τελικό).

Βασικά εργαλεία για την επίτευξη αυτού του στόχου καθίστανται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ το απαιτούμενο κόστος επενδύσεων για την επίτευξη του στόχου προκύπτει ότι θα είναι χαμηλότερο από το κόστος που θα επιβαρύνει την Ευρωπαϊκή οικονομία αν δε ληφθούν τα απαραίτητα αυτά μέτρα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε τομείς, όπως ο ασφαλής ανταγωνισμός, βιώσιμη κινητικότητα, δομημένο περιβάλλον, βιομηχανικοί κλάδοι και αειφόρος αύξηση της παραγωγικότητας των χρήσεων γης.

## II.3 Τοπικός Ενεργειακός Σχεδιασμός

### II.3.1 Ρόλος Τοπικών & Περιφερειακών Αρχών

#### *Τοπικές Αρχές & Ενεργειακή Πολιτική*

Η προσαρμογή στα δεδομένα της κάθε χώρας, καθώς και το γεγονός ότι σε πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αρμόδιες για τομείς πολιτικής που συνδέονται με τη στρατηγική «Ευρώπη 2020» είναι οι περιφερειακές και οι τοπικές αρχές, οδήγησε στην υιοθέτηση μίας περιφερειακής προσέγγισης για την επίτευξη των στόχων. Οι τοπικές αρχές αποτελούν τον πιο σημαντικό μοχλό άσκησης ενεργειακής πολιτικής, όχι μόνο γιατί έχουν καλύτερη γνώση επί των ιδιομορφιών της περιοχής τους, αλλά επίσης γιατί μπορούν να την υπηρετήσουν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους (Terrados et al., 2007):

- ▲ Οι ίδιες ως καταναλωτές ενέργειας μπορούν να αποτελέσουν παράδειγμα προς μίμηση για τους πολίτες της περιοχής τους, με την προώθηση ενεργειών για εξοικονόμηση σε τομείς που βρίσκονται υπό την αιγίδα της πόλης όπως: δημοτικά κτίρια, δημοτικός φωτισμός, κλπ..
- ▲ Ένας ακόμα ρόλος που μπορούν να διαδραματίσουν οι τοπικές αρχές στην εφαρμογή ενεργειακής πολιτικής είναι αυτός του ρυθμιστή της τοπικής ανάπτυξης. Προσεκτικός σχεδιασμός και στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με την τοπική ανάπτυξη, όπως η δημιουργία σχεδίου βιώσιμης ανάπτυξης για τους πολίτες, αποτελούν τη βάση για μετέπειτα μείωση των καταναλώσεων ενέργειας.
- ▲ Οι τοπικές αρχές αποτελούν, επίσης, την καλύτερη επιλογή για την ενημέρωση, την ευαισθητοποίηση και την θέσπιση κινήτρων για τους πολίτες της περιοχής τους. Η οργάνωση και η πραγματοποίηση σεμιναρίων και ενημερωτικών εκστρατειών σχετικά με θέματα αποδοτικότερης χρήσης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργεια, είναι πρωτοβουλίες που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας με σχετικά μικρό κόστος.
- ▲ Τέλος, οι ίδιες οι τοπικές και περιφερειακές αρχές μπορούν να αναλάβουν τον ρόλο του τοπικού παραγωγού ενέργειας. Κάποιες σχετικές δράσεις που μπορούν να αναλάβουν είναι:
  - Δημιουργία σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας,
  - Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε στέγες δημοτικών κτιρίων,
  - Εφαρμογή τηλεθέρμανσης.

### II.3.2 Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες

#### *Θεμελιώδεις Αρχές*

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών, μέχρι το 2050, το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού θα βρίσκεται στα αστικά κέντρα. Στην ΕΕ, το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 78%, ενώ 85% του Ευρωπαϊκού ΑΕΠ παράγεται στις πόλεις. Στην Ελλάδα, το ποσοστό των κατοίκων που ζει σε αστικές περιοχές ανέρχεται επίσης στο 78%, ενώ προβλέπεται ότι μέχρι το 2050 θα προσεγγίσει το 86% (UN, 2014).

Η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα συνεπάγεται σειρά κοινωνικοπολιτικών, οικονομικών, τεχνολογικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η πληθυσμιακή αυτή ώρευση έχει σημαντικό αντίκτυπο σε βασικούς παράγοντες που διαμορφώνουν τις αστικές συνθήκες διαβίωσης όπως η ενέργεια, οι υδάτινοι πόροι, τα κτίρια και οι δημόσιοι χώροι. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας καταγράφεται πλέον στα αστικά κέντρα. Τα δύο τρίτα των εκπομπών αερίων, που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου προέρχονται από τις πόλεις.

Για να αντιμετωπιστούν οι σύγχρονες προκλήσεις των αστικών κέντρων, η μετάβαση από τις "παραδοσιακές" πόλεις στις "έξυπνες" καθίσταται περισσότερο από ποτέ αναγκαία. Ο όρος «έξυπνη πόλη» χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια πόλη που αξιοποιεί σύγχρονες τεχνολογίες αειφόρου διαχείρισης πόρων και υποδομών θέτοντας στο επίκεντρο τον άνθρωπο και τη βελτίωση της διάδρασής του με το αστικό του περιβάλλον σε όλες τις εκφάνσεις της πολιτικής, οικονομικής και κοινωνικής δραστηριότητάς του.

Κεντρικός άξονας για την εξέλιξη των «παραδοσιακών» πόλεων σε «έξυπνες» είναι η αξιοποίηση των σύγχρονων ΤΠΕ. Η διαρκής ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT) συνιστά σημαντική παράμετρο για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις», καθώς κάθε ηλεκτρονική συσκευή αποκτά δυνατότητα σύνδεσης με το διαδίκτυο. Επίσης, μια ακόμα παράμετρος για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις» είναι τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS) που σημειώνουν ταχύτατη ανάπτυξη σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data) από τους πολυάριθμους αισθητήρες που θα διαθέτουν οι τεχνολογίες των έξυπνων πόλεων.

Στις «έξυπνες» πόλεις τα παραδοσιακά δίκτυα και υπηρεσίες γίνονται αποτελεσματικότερα με τη χρήση ψηφιακών και τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών. Η ιδέα της έξυπνης πόλης υπερβαίνει τη χρήση των ΤΠΕ για καλύτερη χρήση των πόρων και λιγότερες εκπομπές ρύπων. Σύμφωνα με τον B. Cohen βασικές παράμετροι των επιδόσεων μιας «έξυπνης πόλης» (Σχήμα 2.5) αποτελούν:

- ▲ Η «Έξυπνη Οικονομία» αναφέρεται σε παράγοντες όπως η ανταγωνιστικότητα, η καινοτομία, η επιχειρηματικότητα, η παραγωγικότητα, η ευελιξία στην αγορά εργασίας, καθώς και ενσωμάτωση στη διεθνή και τοπική αγορά.
- ▲ Οι «Έξυπνοι Πολίτες» προσδιορίζονται όχι μόνο από τα προσόντα ή την εκπαίδευσή τους αλλά και από την ποιότητα των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων σε ότι αφορά την ενσωμάτωσή τους και τη συμμετοχή τους στη δημόσια ζωή. Αναπτύσσουν και αποκτούν τις κατάλληλες δεξιότητες ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του «έξυπνου» περιβάλλοντός τους, έχοντας πρόσβαση σε εκπαιδευτικά προγράμματα και εκμάθηση.
- ▲ Η «Έξυπνη Διακυβέρνηση» διαμορφώνει το περιβάλλον αλληλεπίδρασης του πολίτη με τις δημόσιες αρχές, αναβαθμίζοντας τη συμμετοχή του στη δημόσια ζωή, τις παρεχόμενες προς αυτόν

υπηρεσίες, καθώς και τη διασύνδεση των διάφορων βαθμίδων και τομέων της δημόσιας διοίκησης.

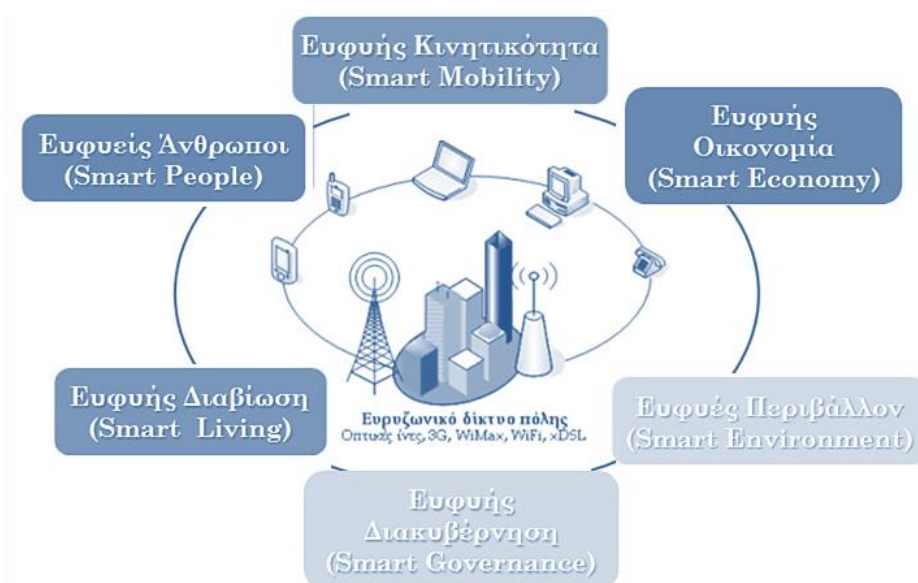
- ▲ Το «Έξυπνο Περιβάλλον» αποτελεί ένα χώρο που χαρακτηρίζεται από ελκυστικές και υψηλού επιπέδου περιβαλλοντικές συνθήκες (κλίμα, πράσινο, κλπ.), χρήσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας, παρακολούθησης και ελέγχου της ρύπανσης, αειφόρου διαχείρισης των υποδομών, «πράσινης» αστικής ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος.
- ▲ Η «Έξυπνη Διαβίωση» αφορά στην αναβαθμισμένη ποιότητα διαβίωσης του πολίτη, στην καθημερινότητά του, στην επαγγελματική και κοινωνική δραστηριότητα του, σε τομείς όπως ο πολιτισμός, η άθληση, η υγεία, η ασφάλεια, η στέγαση, ο τουρισμός, προωθώντας την κοινωνική συνοχή και την επένδυση στο κοινωνικό κεφάλαιο.
- ▲ Τέλος, η έννοια της «Έξυπνης Κινητικότητας» δίνει προτεραιότητα στις καθαρές και αυτοματοποιημένες μετακινήσεις (πχ. ηλεκτροκίνητα οχήματα), στην έξυπνη στάθμευση, στη διαχείριση της κυκλοφορίας, καθώς και στα ασφαλή και διασυνδεδεμένα συστήματα μετακίνησης που περιλαμβάνουν τραμ, λεωφορεία, μετρό, αυτοκίνητα και ποδήλατα.

Καθώς όμως οι ανάγκες και οι προκλήσεις για κάθε πόλη είναι διαφορετικές, οι στόχοι θα πρέπει να οριοθετούνται με γνώμονα τις ιδιαίτερες κατά περίπτωση ανάγκες και συνθήκες μέσω της βέλτιστης αξιοποίησης των προσφερόμενων τεχνολογικά ευφυών λύσεων και εφαρμογών.

- ▲ Στον τομέα της ενέργειας, η έξυπνη πόλη διαθέτει σύγχρονα και διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής, διαχείρισης, μεταφοράς, κατανάλωσης και εξοικονόμησης ενέργειας, αξιοποιεί εναλλακτικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιοκαύσιμα, ηλιακή - αιολική – θερμοδυναμική – υδάτινη), διαθέτει εφαρμογές έξυπνου φωτισμού, κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (με σύγχρονα συστήματα θέρμανσης και ψύξης) και έξυπνα δίκτυα ενέργειας.
- ▲ Στον τομέα του περιβάλλοντος, η έξυπνη πόλη εφαρμόζει προηγμένες πολιτικές και τεχνολογίες ανακύκλωσης, ορθής διαχείρισης αστικών λυμάτων και αποβλήτων, προστασίας του πρασίνου, καθώς και ορθολογικοποίησης της κατανάλωσης.
- ▲ Στον τομέα της υγείας, η «έξυπνη πόλη» διαθέτει εξελιγμένες εφαρμογές πρωτοβάθμιας υγείας, τηλεϊατρικής, πρώτων βοηθειών, υποστήριξης ευπαθών κοινωνικών ομάδων,
- ▲ Στον τομέα των μεταφορών, η «έξυπνη πόλη» επενδύει στη διαχείριση σύγχρονων, φιλικών προς το περιβάλλον μεταφορικών μέσων, σε αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα,

αυτοματοποιημένα συστήματα μέσω μαζικής μεταφοράς, καθώς και στην έξυπνη διαχείριση θέσεων στάθμευσης.

- ▲ Στον τομέα των υποδομών, η έξυπνη πόλη διαθέτει συστήματα διαχείρισης του Δικτύου των Πραγμάτων (IoT), ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο, ηλεκτρονικές υπηρεσίες για πολίτες και επιχειρήσεις.
- ▲ Στον τομέα του τουρισμού, του πολιτισμού και της εκπαίδευσης, η «έξυπνη πόλη» χρησιμοποιεί εφαρμογές προβολής και διαχείρισης του τουριστικού και πολιτισμικού «προϊόντος», καθώς και εκπαιδευτικές εφαρμογές δια βίου μάθησης, ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες κ.α..
- ▲ Στον τομέα της συμμετοχής των πολιτών στη διακυβέρνηση, η «έξυπνη πόλη» συμβάλλει στην προώθηση της διαφάνειας και της λογοδοσίας, της συμμετοχικής λήψης αποφάσεων, της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, της εξ αποστάσεως και αυτοματοποιημένης εξυπηρέτησης του πολίτη, και των ανοικτών δεδομένων.
- ▲ Στον τομέα της ανάπτυξης και της απασχόλησης, η «έξυπνη πόλη» προωθεί την ανάπτυξη και τη στήριξη της επιχειρηματικότητας μέσω ηλεκτρονικών πλατφορμών και εργαλείων one-stop-shop, της καινοτομίας, της εύρεσης εργασίας, των ηλεκτρονικών πληρωμών, της συμμετοχικής χρηματοδότησης, των ηλεκτρονικών υπηρεσιών προς τις επιχειρήσεις και τους πολίτες, της στήριξης της νεοφυούς επιχειρηματικότητας.
- ▲ Τέλος στον τομέα της ασφάλειας, η «έξυπνη πόλη» οφείλει να μεριμνά για την ασφάλεια των πολιτών, να διαφυλάσσει την ιδιωτικότητα των προσωπικών δεδομένων, και να εξασφαλίζει την προστασία των συστημάτων διαχείρισης των κρίσιμων υποδομών και πόρων.



Σχήμα 2.5. Χαρακτηριστικά μιας «Έξυπνης Πόλης»



**Ενωσιακό πλαίσιο** Η ΕΕ επενδύει στην έρευνα και την καινοτομία στον τομέα των ΤΠΕ και αναπτύσσει πολιτικές για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών και της βιωσιμότητας των πόλεων ενόψει του εμβληματικού στόχου: «20/20/20».

Έχει επίσης αναγνωρίσει τη σημασία της μετάβασης των «παραδοσιακών» πόλεων σε «έξυπνες» και έχει ξεκινήσει, στο πλαίσιο της στρατηγικής «Ευρώπη 2020», το πρόγραμμα «Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες» (Smart Cities and Communities, SCC) και την Ευρωπαϊκή Σύμπραξη Πρωτοπορίας για τις Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες (European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities, EIP-SCC).

Το πρόγραμμα «Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες» στηρίζει τη συνεργασία στους τομείς της ενέργειας, των μεταφορών και των ΤΠΕ. Σκοπός του προγράμματος είναι να υποστηρίξει την βελτίωση της χρήσης της ενέργειας σε τομείς, όπου η παραγωγή, διανομή και χρήση της, η κινητικότητα - μεταφορές και οι ΤΠΕ είναι αλληλένδετες και προσφέρουν νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών, μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων ριπών. Εστιάζει στην καινοτομία ως κινητήρια δύναμη για την επίτευξη οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης στις αστικές περιοχές.

Η «Ευρωπαϊκή Σύμπραξη Πρωτοπορίας για τις Έξυπνες Πόλεις και Κοινότητες (EIP-SCC)» είναι μια πρωτοβουλία που υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και στηρίζει την προσέγγιση των πόλεων, της βιομηχανίας, τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (SMEs), τις τράπεζες, την έρευνα και άλλους φορείς έξυπνων πόλεων. Στο πλαίσιο αυτής της συνεργασίας, στοχεύει στην βελτίωση της ποιότητας διαβίωσης των πολιτών, στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας και των καινοτόμων μικρομεσαίων επιχειρήσεων, και στην ανταλλαγή των βέλτιστων πρακτικών.

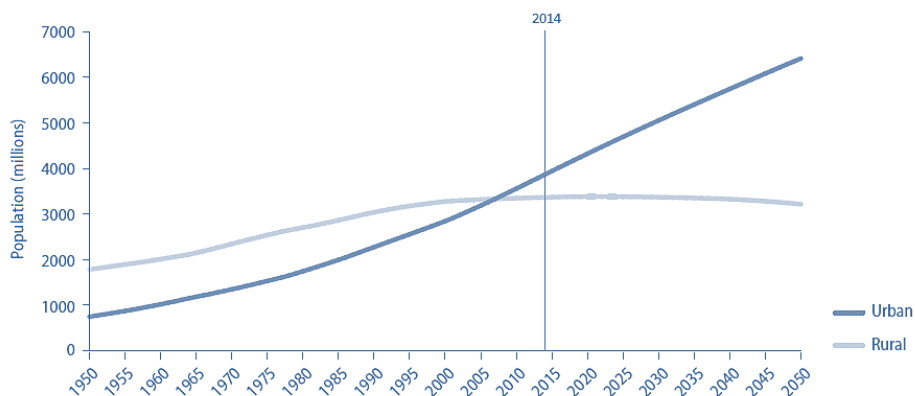
Επίσης, τον Μάιο του 2016 υπογράφηκε το Σύμφωνο του Άμστερνταμ (pact of Amsterdam) με σκοπό την ισορροπη αστική ανάπτυξη. Το Σύμφωνο εστιάζει σε 3 πυλώνες: «better regulation, better funding, better knowledge» (καλύτερη νομοθεσία, καλύτερη χρηματοδότηση, καλύτερη γνώση). Περιλαμβάνει επίσης πιλοτικές δράσεις για την αντιμετώπιση της αστικής φτώχειας, προτάσεις για βιώσιμη κινητικότητα και οδικό χάρτη για τη μετάβαση στην ψηφιακή εποχή. Συγκεκριμένα στο πλαίσιο των πρωτοβουλιών της ατζέντας προτείνονται σύμφωνα συνεργασίας εταιρικών σχέσεων μεταξύ των κρατών μελών και των ευρωπαϊκών πόλεων, στα οποία συμμετέχουν θεσμικοί φορείς από τα κράτη μέλη και επιλεγμένες πόλεις. Αναδεικνύονται μέσα από αυτά τα σημαντικότερα προβλήματα που εντοπίζονται στον σύγχρονο αστικό ιστό. Η Ελλάδα συμμετέχει σε δυο σχετικά σύμφωνα εταιρικής σχέσης. Το πρώτο αφορά στην αντιμετώπιση της αστικής φτώχειας (Δήμος Κερατσινίου) και το δεύτερο αφορά στην αντιμετώπιση του προσφυγικού (Δήμος Αθηναίων).

## ΙΙ.4 Ανάγκη για Ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις

### ΙΙ.4.1 Αστικοποίηση

**Στατιστικά Στοιχεία** Τα τελευταία χρόνια, περισσότερο από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού (54%) ζει σε αστικές περιοχές. Παρά τη μεγάλη διαφοροποίηση στα επίπεδα αστικοποίησης από χώρα σε χώρα, τις επόμενες δεκαετίες αναμένονται μεγάλες αλλαγές στο μέγεθος και τη χωρική κατανομή του παγκόσμιου πληθυσμού. Η συνεχής αστικοποίηση και η συνολική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού προβλέπεται να αυξήσει τον πληθυσμό των αστικών περιοχών κατά 2,5 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050. Από την αύξηση αυτή, υπολογίζεται πως το 90% θα συγκεντρωθεί στην Ασία και την Αφρική (UN, 2014). Το 1950, το 30% του παγκόσμιου πληθυσμού ήταν συγκεντρωμένος σε αστικά κέντρα, ενώ έως το 2050 το ποσοστό αυτό αναμένεται να φτάσει στο 66%(UNFPA, 2007). Αυτό σημαίνει πως αναμένεται μια σημαντική αύξηση του πληθυσμού των αστικών κέντρων, όπως αναφέρει σε έκθεσή του ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) (UN, 2014).

Παγκοσμίως, περισσότεροι άνθρωποι ζουν σε αστικές περιοχές παρά σε αγροτικές περιοχές. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.6, μετά το 2007, ο παγκόσμιος αστικός πληθυσμός ξεπέρασε τον παγκόσμιο πληθυσμό που ζει σε αγροτικές περιοχές και η πρόβλεψη δείχνει πως αυτή η διαφορά αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια.



Σχήμα 2.6. Αστικός και αγροτικός παγκόσμιος πληθυσμός, 1950–2050 (UN, 2014)

Οι αναπτυγμένες χώρες (Ευρωπαϊκές χώρες, χώρες της Βορείου Αμερικής και της Ωκεανίας) είναι αυτές που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερα ποσοστά αστικοποίησης ήδη από το 1950 (πάνω από 57%) και σήμερα περίπου το 80% του πληθυσμού τους είναι συγκεντρωμένος σε αστικές περιοχές(UN, 2013), (EP, 2014), (Pellicer et al., 2013).

Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες (π.χ. Βραζιλία, Κίνα, Ιράν, Μεξικό) είχαν ποσοστό αστικοποίησης μόλις 20% το 1950, αλλά έχει παρατηρηθεί ραγδαία αύξηση αστικοποίησης τα τελευταία χρόνια και

περίπου το 63% του πληθυσμού τους βρίσκεται σε αστικές περιοχές (UNFPA, 2007). Οι υποανάπτυκτες χώρες παρά τα μικρά ποσοστά αστικοποίησης, αναμένεται επίσης να παρουσιάσουν τάση αστικοποίησης μέχρι το 2050, σύμφωνα με τον ΟΗΕ.

Η αστικοποίηση δημιουργεί μεγάλες πόλεις, πόλεις που συγκεντρώνουν μερικά εκατομμύρια κατοίκους. Αυτή τη στιγμή, υπάρχουν οι μεγάλες πόλεις, που έχουν περισσότερους από 10 εκατομμύρια κατοίκους, είναι 28 ενώ αναμένεται έως το 2030 να γίνουν 41. Περισσότερες από 1.000 πόλεις παγκοσμίως έχουν πληθυσμό μεγαλύτερο από 500.000 κατοίκους και ο αριθμός αυτός διαρκώς αυξάνεται και αναμένεται να φτάσει περίπου τις 1.500 πόλεις τα επόμενα χρόνια έως το 2030(ΕΡ, 2014). Σε ποσοστά, αυτό σημαίνει πως περίπου το μισό του παγκόσμιου αστικού πληθυσμού ζει σε πόλεις με περισσότερους από 500.000 κατοίκους(UN, 2013).

Από την άλλη πλευρά, ως αρνητικές συνέπειες αναφέρονται η διαβίωση σε τεχνητό περιβάλλον, χωρίς επαφή με τη φύση, η ρύπανση του περιβάλλοντος, η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής λόγω περιβαλλοντικών προβλημάτων και έντονου ρυθμού της καθημερινότητας. Οι μεγάλες πόλεις γεννούν πολλά κοινωνικά προβλήματα, όπως η δυσκολία στην ανάπτυξη κοινωνικών ή προσωπικών σχέσεων, η κοινωνική απομόνωση του πληθυσμού, η αύξηση της εγκληματικότητας. Επίσης, παρατηρείται αύξηση του κόστους διαβίωσης, καθώς απαιτούνται μεγάλα έργα και δαπανηρές υποδομές. Ως συνέπεια αυτών, η αστικοποίηση συνδέεται και με την αύξηση των επιπέδων φτώχειας στα αστικά κέντρα.

Η αστικοποίηση δημιουργεί, επομένως, πολλές ευκαιρίες για ανάπτυξη και ευημερία αλλά παράλληλα γεννά προκλήσεις, τις οποίες οι κυβερνήσεις των ανεπτυγμένων χωρών θα πρέπει να αντιμετωπίσουν τα επόμενα χρόνια. Κύριος στόχος τους είναι η ενίσχυση της αλληλεπίδρασης των κατοίκων των αστικών κέντρων μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους, η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, η διευκόλυνση των μετακινήσεων στα μεγάλα αστικά κέντρα, ο περιορισμός κοινωνικών φαινομένων, όπως η αυξημένη εγκληματικότητα και η βελτίωση της ποιότητας διαβίωσης (ΙΕΕΕ, 2016).

Όλες οι προσπάθειες συγκλίνουν στη δημιουργία πραγματικά Έξυπνων Πόλεων ικανών να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις της αστικοποίησης, μέσα από την εφαρμογή σύγχρονων πρακτικών και την αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών. Έτσι, τα σύγχρονα αστικά κέντρα πρέπει να αποτελούνται από έξυπνα κτίρια, έξυπνες συγκοινωνίες και μεταφορές, έξυπνη ενέργεια, έξυπνες τηλεπικοινωνίες, έξυπνα δίκτυα καθώς επίσης να χαρακτηρίζονται από έξυπνους τρόπους διαβίωσης, οικολογική συνείδηση και περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση (ΙΕΕΕ,2016).

#### II.4.2 Ορισμός της Έξυπνης Πόλης

**Ενέργεια &  
Εκπομπές  
CO<sub>2</sub>**

Η έννοια της έξυπνης πόλης είναι διαφορετική για κάθε άνθρωπο και ο ορισμός της ποικίλει από πόλη σε πόλη, ή από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τον ρυθμό ανάπτυξης, την τάση για αλλαγή και τη δυνατότητα για

εξέλιξη, τους πόρους και την κουλτούρα του κάθε λαού. Σαφής και κοινά αποδεκτός ορισμός για την έννοια της έξυπνης πόλης δεν έχει διατυπωθεί ακόμα. Η έξυπνη πόλη αλλιώς γίνεται αντιληπτή στην Ευρώπη, αλλιώς στην Ασία και αλλιώς στην Αμερική ή την Αυστραλία.

Μια Έξυπνη Πόλη είναι η πόλη στην οποία τα παραδοσιακά δίκτυα και οι υπηρεσίες γίνονται πιο αποδοτικά με τη χρήση ψηφιακών και τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών (EP, 2014), προς όφελος των πολιτών και των επιχειρήσεων. Προς αυτή την κατεύθυνση, η Ευρωπαϊκή Ένωση τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να επενδύει σε έρευνα και καινοτομία στον τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) (Information & Communication Technologies – ICT), αναπτύσσοντας πολιτικές προκειμένου να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των πολιτών και να κάνει τις πόλεις της ενεργειακά αποδοτικές στα πλαίσια των στόχων 20-20-20 που έχει θέσει (EC, 2016).

Η έννοια της Έξυπνης Πόλης δεν περιλαμβάνει μόνο τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορικής αλλά περιλαμβάνει επίσης αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και πολιτικές για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (EC, 2013a).

Έξυπνη Πόλη σημαίνει πιο έξυπνα δίκτυα αστικών συγκοινωνιών, αναβαθμισμένες υποδομές δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης, ενεργειακά αποδοτικά δίκτυα φωτισμού καθώς επίσης και πιο αποδοτικούς τρόπους φωτισμού και θέρμανσης των κτιρίων. Μεταξύ αυτών, μια Έξυπνη Πόλη πρέπει να χαρακτηρίζεται από πιο διαδραστική διαχείριση της πόλης από της τοπικές αρχές, εξασφαλίζοντας ασφάλεια και άνεση για τους πολίτες (EC, 2016).

Μια Έξυπνη Πόλη είναι μια σύνθεση από υποδομές επικοινωνιών, υποδομές εναλλακτικών πηγών ενέργειας, κοινωνικές υποδομές, τεχνολογίες και υπηρεσίες για εύκολη πρόσβαση στη γνώση. Η έννοια της έξυπνης πόλης συνδέεται άμεσα με την έξυπνη ανάπτυξη, η οποία σαν έννοια αναφέρεται στη μετάβαση εκείνη που απαιτείται για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποδοτικότητα συντονίζοντας όλες τις οντότητες που συμμετέχουν στην έξυπνη πόλη για αυτόν τον σκοπό (Batty et al., 2012).



Σχήμα 2.7. Έξυπνη Πόλη

Αξίζει να σημειωθεί πως σαφής διαχωρισμός πρέπει να γίνει ανάμεσα στην έννοια της Ψηφιακής Πόλης και αυτής της Έξυπνης Πόλης. Οι ψηφιακές πόλεις είναι εκείνες που εστιάζουν σε υποδομές επικοινωνιών και πληροφορικής έχοντας ως κύριο σκοπό την ψηφιακή εποχή, ενώ οι Έξυπνες Πόλεις είναι αυτές που εστιάζουν στον τρόπο με

τον οποίο αυτές οι υποδομές χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την κοινωνία και την ποιότητα ζωής των πολιτών (Batty et al., 2012).

Μια πόλη για να χαρακτηριστεί ως έξυπνη δεν αρκεί να είναι έξυπνη μόνο με την οικονομία της και την ενεργειακή της απόδοση, αλλά ως βασική προϋπόθεση, οι τοπικές αρχές και οι κυβερνήσεις θα πρέπει να σέβονται και να αντιλαμβάνονται τις κοινωνικές συνθήκες που επικρατούν στα αστικά κέντρα, προσαρμόζοντας την εξέλιξη της τεχνολογίας στις ανάγκες των κατοίκων τους, διευκολύνοντας την καθημερινότητά τους. Οι συνθήκες αυτές και οι ανάγκες των πολιτών είναι οι κύριες αιτίες που κατευθύνουν τον τρόπο με τον οποίο οι μεγάλες εταιρείες τεχνολογιών επικοινωνιών και πληροφορικής (όπως IBM, CISCO, Microsoft, Oracle, SAP) προσεγγίζουν την αγορά και αναπτύσσουν τα προϊόντα και τις λύσεις τους (IBM, 2009).

Τα βασικά χαρακτηριστικά των σύγχρονων Έξυπνων Πόλεων μπορούν να συνοψιστούν στο Σχήμα 2.7 και στον Πίνακα 2.1, παράλληλα φαίνονται οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο μια πόλη μπορεί να χαρακτηριστεί έξυπνη (Pellicer et al., 2013).

Επομένως η έννοια της έξυπνης πόλης συνδυάζει την τεχνολογία με την κοινωνία και το κράτος, με σκοπό να δημιουργήσει αστικά κέντρα που θα χαρακτηρίζονται από: έξυπνη οικονομία, έξυπνους πολίτες, έξυπνη διακυβέρνηση, έξυπνες μετακινήσεις, έξυπνο περιβάλλον και έξυπνη διαβίωση (IEEE, 2016), (Giffinger et al., 2007). Η στρατηγική και οι στόχοι για την εποχή των έξυπνων πόλεων βασίζεται σε τρεις πυλώνες:

- ▲ βιωσιμότητα,
- ▲ απόδοση,
- ▲ υψηλή ποιότητα ζωής.

Οι κυβερνήσεις και οι τοπικές αρχές, θα πρέπει να επενδύσουν σε νέες υποδομές και να εφαρμόσουν τις σωστές πολιτικές ώστε να διασφαλίσουν επαρκή δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, και σύγχρονες συγκοινωνίες φιλικές προς το περιβάλλον, εκσυγχρονισμένα δίκτυα ύδρευσης και αποδοτική διαχείριση αποβλήτων, σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορικής και τις πράσινες τεχνολογίες που είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Παράλληλα, θα πρέπει να αναβαθμίσουν την ποιότητα διαβίωσης, δημιουργώντας αίσθημα ασφάλειας και άνεσης στους κατοίκους των αστικών κέντρων, εκσυγχρονίζοντας και ψηφιοποιώντας τις δημόσιες υπηρεσίες (ηλεκτρονική διακυβέρνηση), καθώς επίσης διευκολύνοντας την πρόσβαση στην υγεία και την εκπαίδευση.

**Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά έξυπνων πόλεων (Giffinger et al., 2007)**

Έξυπνη οικονομία (ανταγωνιστικότητα)	Καινοτομία και επιχειρηματικότητα Εικόνα οικονομίας & εμπορικά σήματα Παραγωγικότητα Ευελιξία αγοράς εργασίας Διεθνής ενσωμάτωση και δυνατότητα μετατροπής
Έξυπνοι πολίτες (διαδραστική κοινωνία)	Επίπεδο εξειδίκευσης και δια βίου εκπαίδευση Πολυπολιτισμικότητα Ευελιξία και δημιουργικότητα Διευρυμένοι ορίζοντες σκέψης Συμμετοχή στη δημόσια ζωή
Έξυπνη διακυβέρνηση (συμμετοχή των πολιτών)	Συμμετοχή στη διαδικασία λήψης αποφάσεων Δημόσιες και κοινωνικές υπηρεσίες Διακυβέρνηση με διαφάνεια Πολιτικές στρατηγικές & προοπτικές
Έξυπνες μετακινήσεις (Συγκοινωνίες και ΤΠΕ)	Τοπική προσβασιμότητα Διεθνής και εθνική προσβασιμότητα Διαθεσιμότητα υποδομών ΤΠΕ Βιώσιμα, καινοτόμα και ασφαλή συστήματα μεταφορών
Έξυπνο περιβάλλον (Ενέργεια και εναλλακτικές πηγές)	Φυσικοί πόροι Ρύπανση και Προστασία του περιβάλλοντος Βιώσιμη διαχείριση πόρων Ενεργειακή απόδοση και πράσινη ενέργεια
Έξυπνη διαβίωση (ποιότητα ζωής)	Πολιτιστικές εγκαταστάσεις Τομέας υγείας Ατομική ασφάλεια και κοινωνική συνοχή Ποιότητα στέγασης Εγκαταστάσεις εκπαίδευσης Τουρισμός

### Π.4.3 Προκλήσεις για τη μετάβαση στις Έξυπνες Πόλεις

**Γενικά** Καθώς οι πόλεις αναπτύσσονται συνεχώς, οι προκλήσεις που δημιουργούνται πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη, έτσι ώστε η αύξηση του πληθυσμού, η οικονομική ανάπτυξη και η κοινωνική ευημερία να συμβαδίζουν. Το μοντέλο των Έξυπνων Πόλεων μπορεί να οδηγήσει στον καλύτερο σχεδιασμό και την αποτελεσματική διαχείριση των σύγχρονων πόλεων με βιώσιμη ανάπτυξη. Ο εντοπισμός και η ανάλυση των προκλήσεων που γεννιούνται κατά τη μετάβαση στη γενιά των Έξυπνων πόλεων, χρειάζονται ώστε να διευκολύνουν τις επόμενες πολιτικές που

Θα εφαρμοστούν από τις κυβερνήσεις και τις τοπικές αρχές (Monzon, 2015). Στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί συνοψίζονται οι προκλήσεις αυτές, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

**Πίνακας 2.2. Προκλήσεις για τη μετάβαση στη γενιά των έξυπνων πόλεων (Monzon, 2015)**

Κοινωνικοπολιτικές προκλήσεις	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανεργία και φτώχεια</li> <li>• Εγκληματικότητα</li> <li>• Κοινωνική συνοχή και ασφάλεια</li> <li>• Πολυπολιτισμικότητα</li> <li>• Προβλήματα στον τομέα της υγείας και της εκπαίδευσης</li> <li>• Αλλαγή του μοντέλου διακυβέρνησης</li> <li>• Κενό μεταξύ κυβέρνησης και πολιτών</li> <li>• Διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης</li> <li>• Αντικρουόμενα συμφέροντα ενδιαφερόμενων φορέων</li> <li>• Δυσκολία προσαρμογής των πολιτών στις αλλαγές</li> </ul>
Οικονομικές προκλήσεις	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δημοσιονομικοί περιορισμοί</li> <li>• Περιορισμένοι πόροι</li> <li>• Δαπανηρές επενδύσεις στις νέες τεχνολογίες</li> <li>• Νέες τεχνολογίες σε πρώιμο στάδιο – αβεβαιότητα χρόνου απόσβεσης του αρχικού κόστους κτήσης</li> </ul>
Τεχνολογικές προκλήσεις	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποφυγή επένδυσης σε νέες τεχνολογίες χωρίς αντίκρισμα</li> <li>• Ουσιαστική αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών</li> <li>• Έλλειψη πιλοτικών έργων (ή περιορισμένος αριθμός)</li> <li>• Έλλειψη τεχνογνωσίας από τους πολίτες</li> <li>• Προσαρμογή στις πραγματικές ανάγκες των πολιτών για βελτίωση της καθημερινότητάς τους</li> </ul>
Περιβαλλοντικές προκλήσεις	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης</li> <li>• Πραγματικά βιώσιμες δράσεις ενεργειακής απόδοσης</li> <li>• Διαχείριση υδάτινων πόρων</li> <li>• Διαχείριση αστικών απορριμμάτων</li> <li>• Ενημέρωση πολιτών</li> </ul>

#### Κοινωνικο-πολιτικές προκλήσεις

Παρά τις διαφοροποιήσεις στον τρόπο με τον οποίο κάθε χώρα ή πόλη αντιλαμβάνεται την έννοια της Έξυπνης Πόλης, όλες οι κυβερνήσεις αντιμετωπίζουν τις ίδιες κοινωνικοπολιτικές προκλήσεις κατά τη μετάβαση τους στην εποχή των έξυπνων πόλεων. Αυτές οι προκλήσεις εστιάζουν στην κοινωνία, τον άνθρωπο, την ποιότητα διαβίωσης, τη διακυβέρνηση και μπορούν να διατυπωθούν επιγραμματικά ως εξής (Monzon, 2015):

- ▲ Ανεργία και φτώχεια,
- ▲ Εγκληματικότητα,
- ▲ Κοινωνική συνοχή και ασφάλεια,
- ▲ Πολυπολιτισμικότητα,

- ▲ Προβλήματα στον τομέα της υγείας και της εκπαίδευσης,
- ▲ Αλλαγή του μοντέλου διακυβέρνησης,
- ▲ Κενό μεταξύ κυβέρνησης και πολιτών,
- ▲ Διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Εκτός αυτών, οι ενδιαφερόμενες ομάδες (οργανισμοί, κυβερνήσεις, πολίτες, επιχειρήσεις, ΜΚΟ, κατασκευαστές κ.ά.), που συμμετέχουν στην εξέλιξη των πόλεων και τη δημιουργία Έξυπνων Πόλεων, έχουν πολλές φορές αντικρουόμενα συμφέροντα.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων αρκετοί είναι οι οργανισμοί ή οι επιχειρήσεις ή γενικότερα οι ενδιαφερόμενοι που συμμετέχουν σε ένα έργο. Ο καθένας από αυτούς, ωστόσο, έχει διαφορετικές προτεραιότητες, παρά τον κοινό σκοπό για τον οποίο εργάζονται. Όταν μια πόλη κινείται με στόχο την ανάπτυξη και τη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου προφίλ, πολιτικά και ιδιωτικά συμφέροντα πρέπει να παρακάμπτονται.

Κρίσιμη παράμετρος για τις Έξυπνες Πόλεις είναι η αλλαγή συνθηκών και ο βαθμός στον οποίο οι πολίτες μπορούν να προσαρμοστούν στις τεχνολογικές εξελίξεις. Από την άλλη, πόσο ευέλικτες είναι οι κυβερνήσεις στο να υιοθετήσουν νέες τεχνολογίες και πρακτικές για να αλλάξουν τις συνήθειες των πολιτών και να κάνουν τις πόλεις ενεργειακά αποδοτικές, βιώσιμες και φιλικές στο περιβάλλον;

Οι πολίτες πρέπει να είναι πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν τις καινοτόμες τεχνολογίες και να εναρμονιστούν με τις νέες ιδέες της εποχής των Έξυπνων Πόλεων, που είναι φιλικές σε αυτούς και οι οποίες βοηθούν σημαντικά την καθημερινότητά τους. Οι πολίτες πρέπει να θέλουν να βελτιώσουν το περιβάλλον στο οποίο ζουν και δραστηριοποιούνται (Chatterjee, 2015).

Η σημασία της στρατηγικής που θα εφαρμοστεί πρέπει να επισημαίνεται από τους διεθνείς φορείς. Τα απαραίτητα βήματα για μια Έξυπνη Πόλη εξαρτώνται άμεσα από τους στόχους, τους πόρους και τις δυνατότητες κάθε πόλης. Η στρατηγική και το πλάνο που θα ακολουθηθεί για μια Έξυπνη Πόλη απαιτεί λεπτομερή ανάλυση της πόλης και συγκεκριμένα ανάλυση των πόρων που αυτή διαθέτει, των υποδομών, του ενεργειακού της αποτυπώματος, των ενεργειακών της αναγκών και του κοινωνικοπολιτικού της αντικτύπου.

#### **Οικονομικές προκλήσεις**

Οι δημοσιονομικοί περιορισμοί έχουν περιορίσει τις δράσεις για έξυπνες πρωτοβουλίες, ακόμη και αν μπορεί να είναι τελικά πιο αποδοτικές. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, οι αρχές κάθε πόλης, λαμβάνοντας υπόψη τα αναπτυξιακά τους σχέδια, πρέπει να εξερευνήσουν τους διαθέσιμους πόρους τους, να επανασχεδιάσουν τις δράσεις τους και να βρουν νέες πηγές χρηματοδότησης.

Η επένδυση σε νέες τεχνολογίες κρίνεται δαπανηρή εκ των πραγμάτων. Πολλά από τα αστικά κέντρα, κυρίως των αναπτυσσόμενων χωρών, έχουν έλλειψη πόρων και χρηματοδότησης και συνεπώς αδυνατούν να επενδύσουν σε νέες τεχνολογίες και δαπανηρές υποδομές. Αρκούνται σε συμβατικές λύσεις. Προς την κατεύθυνση των έξυπνων πόλεων θα πρέπει να εφαρμοστούν οι κατάλληλες οικονομικές πολιτικές σε



παγκόσμιο επίπεδο, για την ενίσχυση των αναπτυσσόμενων χωρών από τις ήδη αναπτυγμένες οικονομίες.

Οι έξυπνες τεχνολογίες είναι ακόμα σε πρώιμο εμπορικό στάδιο και δεν έχουν διαδοθεί στο ευρύ κοινό. Ως εκ τούτου, υπάρχει αβεβαιότητα για τη χρονική διάρκεια απόσβεσης του κόστους κτήσης και οι αρχές των πόλεων διστάζουν να τις ενσωματώσουν στις υποδομές τους (Chatterjee, 2015).

**Τεχνολογικές προκλήσεις**

Οι ΤΠΕ παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων. Πολλοί πιστεύουν πως πρέπει να δίνεται περισσότερη έμφαση στις τεχνολογίες και όχι σε αυτό που πραγματικά έχει ενδιαφέρον για τις Έξυπνες Πόλεις, δηλαδή στη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης και του περιβάλλοντος. Βασικό ζήτημα είναι πως πολλές φορές ακολουθείται η εξέλιξη της τεχνολογίας χωρίς ουσιαστικό αντίκρισμα, αλλά θα πρέπει να αναζητούνται εκείνες οι τεχνολογίες που είναι οικονομικά προσιτές και συνεισφέρουν με τον πιο αποδοτικό τρόπο στη βελτίωση της ποιότητας ζωής σε ένα αστικό κέντρο (Chourabi et al., 2012).

Οι υποδομές των Έξυπνων Πόλεων πρέπει να συσχετίζονται με την επιχειρησιακή λειτουργία τους και ο σχεδιασμός τους να γίνεται μέσω αποτελεσματικής διαχείρισης, ελέγχου και βελτιστοποίησης. Οι ΤΠΕ ενσωματώνονται γρήγορα στις σύγχρονες πόλεις ως βασικό στοιχείο των υποδομών τους και παράλληλα αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των σύγχρονων πόλεων με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας διαβίωσης.

Οι σύγχρονες πόλεις πρέπει να είναι εργαστήριο καινοτομίας και υλοποίησης νέων πιλοτικών έργων. Οι ΤΠΕ αναπτύσσονται για να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση, να βελτιώσουν την παροχή υπηρεσιών των εταιρειών κοινής ωφέλειας και να βελτιώσουν τις επικοινωνίες και τις συγκοινωνίες. Για τον σωστό σχεδιασμό τους, οι πόλεις και τα κτίρια θα πρέπει να επιτρέπουν την πιλοτική ενσωμάτωσή τους, έτσι ώστε να γίνεται σωστή έρευνα και ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών προσαρμοσμένη στις πραγματικές απαιτήσεις των σύγχρονων αστικών κέντρων (Batty et al., 2012).

Υπάρχει έλλειψη τεχνογνωσίας από τους πολίτες που χρησιμοποιούν τις νέες τεχνολογίες. Συνεπώς, οι νέες τεχνολογίες θα πρέπει να είναι εύκολες και φιλικές προς τους πολίτες, να βελτιώνουν την ποιότητα διαβίωσης και να εξασφαλίζουν την ευρεία συμμετοχή με αλληλεπίδραση των χρηστών, να εξασφαλίζουν και να ενισχύουν την κινητικότητα και την πρόσβαση. Από την άλλη, δεν αρκεί οι νέες τεχνολογίες να είναι κοντά στους ανθρώπους και να βελτιώνουν την καθημερινότητά τους, αλλά οι ίδιοι οι άνθρωποι θα πρέπει να είναι σωστά ενημερωμένοι, ώστε να χρησιμοποιούν σωστά και αποδοτικά τις νέες τεχνολογίες και να αξιοποιούν τις σύγχρονες υποδομές των αστικών κέντρων (Chatterjee, 2015).

**Περιβαλλοντικές προκλήσεις**

Τα αστικά κέντρα, προκειμένου να μετατραπούν σε Έξυπνες Πόλεις θα πρέπει να γίνουν ενεργειακά αποδοτικά. Ωστόσο, η μεγάλη συγκέντρωση του παγκόσμιου πληθυσμού στα αστικά κέντρα έχει ως αποτέλεσμα

μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εκτιμάται πως η αστικοποίηση είναι υπεύθυνη για τα τρία τέταρτα της κατανάλωσης ενέργειας και για το 80% των εκπομπών CO<sub>2</sub> παγκοσμίως (IEA, 2014), (EC, 2013b). Αυτό αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση στην ανεύρεση πραγματικά βιώσιμων δράσεων που θα βοηθήσουν στην αειφόρο ανάπτυξη των σύγχρονων πόλεων, μειώνοντας τις καταναλώσεις ενέργειας και περιορίζοντας τις εκπομπές ρύπων (ΕΕΑ, 2010).

Εκτός από την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, τον οικιακό τομέα και τον βιομηχανικό τομέα, για θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό, όπως και στις μεταφορές και τις συγκοινωνίες, που μολύνουν το περιβάλλον, η μόλυνση των υδάτων και η σπατάλη του νερού αποτελεί μια ακόμα πρόκληση των αστικών περιοχών. Η κακή χρήση των υδάτινων πόρων επιφέρει επιπλέον κατανάλωση ενέργειας για την άντληση νερού και την ύδρευση.

Οι τοπικές αρχές των σύγχρονων αστικών κέντρων, μαζί με τις εκάστοτε κυβερνήσεις ή/και διεθνείς οργανισμούς, θα πρέπει να αναπτύξουν πολιτικές που θα διασφαλίζουν την ανάπτυξη των πόλεων με σεβασμό στο περιβάλλον. Οι δράσεις και οι πολιτικές που θα εφαρμοστούν, πρέπει να εστιάζουν στην ορθή και αποτελεσματική διαχείριση των ενεργειακών πόρων, την ενθάρρυνση χρήσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας, στη διαχείριση των υδάτινων πόρων και τη διαχείριση των απορριμμάτων των αστικών κέντρων.

#### II.4.4 Σχεδιασμός των Έξυπνων Πόλεων

**Γενικά** Ο σχεδιασμός ή ο ανασχεδιασμός των μοντέρνων πόλεων προϋποθέτει την ενσωμάτωση των μοντέρνων ΤΠΕ και θα πρέπει να γίνεται λεπτομερώς με τέτοιο τρόπο που θα διασφαλίζεται η αειφόρος ανάπτυξη, η απόδοση και η υψηλή ποιότητα διαβίωσης. Οι πολιτικές διαχείρισης ενέργειας και οι δράσεις για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των Έξυπνων Πόλεων.

Οι αρμόδιες αρχές και οι αρμόδιοι οργανισμοί θα πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις και να επενδύουν προς την κατεύθυνση των Έξυπνων Πόλεων με φειδώ και έπειτα από ενδελεχή τεχνοοικονομική και κοινωνικοπολιτική μελέτη σκοπιμότητας.

Με αυτό τον τρόπο, οι επενδύσεις θα είναι βιώσιμες και αποδοτικές και θα εστιάζουν στις πραγματικές ανάγκες των πολιτών. Επιπλέον, θα πρέπει αρχικά να αξιολογείται το πόσο «έξυπνη» είναι μια πόλη, ώστε να αποφεύγονται οι ανούσιες παρεμβάσεις και οι περιττές σπατάλες.

**Υποδομές έξυπνων πόλεων** Οι υποδομές των μεγάλων αστικών κέντρων που θα πρέπει να γίνουν έξυπνες και να εκσυγχρονιστούν κυρίως αφορούν στους παρακάτω τομείς:

- ▲ Ενέργεια και περιβάλλον,
- ▲ Μεταφορές και συγκοινωνίες,
- ▲ Επικοινωνίες,

- ▲ Διακυβέρνηση,
- ▲ Υγεία και εκπαίδευση.

Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ σε καθέναν από τους παραπάνω τομείς αναμένεται να αλλάξει ριζικά τον τρόπο λειτουργίας των αστικών κέντρων, κάνοντας τη λειτουργία τους, από παθητική, δυναμική.

#### Συντονισμός Επικοινωνία Διασύνδεση

Οι Έξυπνες Πόλεις πρέπει να αναπτύσσονται έχοντας ως βασικά τους στοιχεία τον συντονισμό, την επικοινωνία, τη διασύνδεση και την ολοκλήρωση υποδομών και υπηρεσιών, έτσι ώστε η πόλη να λειτουργεί με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο. Αυτό μπορεί να απαιτεί νέες μορφές βάσεων δεδομένων, νέες μεθόδους ανάλυσης δεδομένων, την ανάπτυξη νέων λογισμικών που να διασυνδέουν τους τομείς και τα επιμέρους στοιχεία της αστικής λειτουργικότητας. Επίσης, απαιτούνται νέες μορφές οργάνωσης και διακυβέρνησης, που θα επιτρέπουν τη διασύνδεση στα πλαίσια της Έξυπνης Πόλης αποτελεσματικά και δίκαια.

Για να διαχειριστούμε την πολυπλοκότητα της Έξυπνης Πόλης λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που δημιουργείται από τη διαρκή ενσωμάτωση των νέων ΤΠΕ (Molina et al., 2014), θα πρέπει να οικοδομήσουμε ένα εντελώς νέο ολοκληρωμένο σύστημα για την απόκτηση, την αναζήτηση και την εξόρυξη δεδομένων. Προς αυτή την κατεύθυνση, το νέο αυτό ολοκληρωμένο σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει τα ακόλουθα (Batty et al., 2012):

- ▲ Τη συλλογή δεδομένων από πολλαπλές διεσπαρμένες πηγές
- ▲ Τη διαχείριση της ροής των δεδομένων
- ▲ Την ολοκλήρωση ετερογενών δεδομένων σε μια συναφή βάση δεδομένων
- ▲ Τον μετασχηματισμό των δεδομένων και την προετοιμασία αυτών
- ▲ Τον καθορισμό διαδικασιών για την εξαγωγή σχετικών πληροφοριών
- ▲ Μεθόδους για εξόρυξη διεσπαρμένων δεδομένων και δικτυακή ανάλυση
- ▲ Τη διαχείριση των εξαγόμενων μοντέλων και υποδειγμάτων
- ▲ Εργαλεία για την αξιολόγηση της ποιότητας των εξαγόμενων μοντέλων και υποδειγμάτων
- ▲ Οπτική ανάλυση για διερεύνηση της συμπεριφοράς των μοντέλων και των υποδειγμάτων
- ▲ Μεθόδους προσομοίωσης και πρόβλεψης
- ▲ Στρατηγικές για την αντιμετώπιση των θεμάτων επεκτασιμότητας που γεννιούνται εξαιτίας της διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων (Big Data).

#### Σύγχρονη διακυβέρνηση και πολιτική

Η σωστή διακυβέρνηση είναι ζωτικής σημασίας για τον συντονισμό των διαφορετικών επιμέρους τμημάτων που αποτελούν την Έξυπνη Πόλη. Χρειάζεται μια δομή κατάλληλη να φέρει κοντά τις παραδοσιακές λειτουργίες της κυβέρνησης με τις επιχειρήσεις και τους πολίτες. Οι πολίτες πρέπει να ενημερώνονται για τις δράσεις των δημόσιων φορέων και να συμμετέχουν ενεργά στη λήψη αποφάσεων. Έτσι, σε τομείς όπως η ενέργεια, με τις σωστές πολιτικές και τη σωστή ανταπόκριση των καταναλωτών ενέργειας, μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι για μείωση κατανάλωσης ενέργειας και περιορισμό των εκπομπών.

Οι μεγάλες εταιρείες πρέπει να είναι ειδικές στο να παρέχουν τεχνολογικές λύσεις υλικού (hardware), λογισμικού (software) και δεδομένων, επιτρέποντας στις πόλεις να γίνουν πιο έξυπνες και ενεργειακά αποδοτικές, ενώ από την άλλη οι κυβερνήσεις πρέπει να είναι υπεύθυνες ώστε να εφαρμόζουν τις κατάλληλες πολιτικές που θα συμβάλλουν στην αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών, θα θέτουν το ρυθμιστικό πλαίσιο για τις επιχειρήσεις και τους πολίτες και θα βελτιώνουν την ποιότητα διαβίωσης στα αστικά κέντρα. Έτσι θα είναι πιο εύκολη και δυνατή η πρόσβαση των πολιτών σε υπηρεσίες που παρέχονται στα πλαίσια των έξυπνων πόλεων, όπως η πρόσβαση στην υγεία, την εκπαίδευση, στις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, την ενέργεια, τις τηλεπικοινωνίες κ.ά..

**Ενεργή  
συμμετοχή  
και  
διαδικτυακή  
επικοινωνία**

Νέες μορφές συμμετοχής των πολιτών στη διακυβέρνηση και στη λήψη αποφάσεων πρέπει να αναπτυχθούν. Οι πολίτες θα πρέπει να μπορούν εύκολα να επικοινωνούν και να αλληλοεπιδρούν, να ενημερώνονται και να μοιράζονται πληροφορίες.

Παράλληλα, οι επιχειρήσεις και οι τοπικές αρχές μπορούν με αυτόν τον τρόπο να κατανοούν καλύτερα τις ανάγκες των πολιτών προσαρμόζοντας την πολιτική και τη στρατηγική τους. Η εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες παίρνει μεγάλη αξία καθώς οι πολίτες μπορούν να ενημερώνονται μέσω εφαρμογών λογισμικού για την πόλη τους, τις συγκοινωνίες, τις μετακινήσεις τους, την τοπική αγορά, διάφορα γεγονότα κ.ά. και να συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας και στη διαμόρφωση του αστικού περιβάλλοντός τους.

#### II.4.5 Μετάβαση στις Ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις

Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με τη μετάβαση των αστικών κέντρων στην εποχή των έξυπνων πόλεων ποικίλουν και περιλαμβάνουν τεχνολογίες που έχουν ήδη αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμες καθώς επίσης και τεχνολογίες που είναι υπό ανάπτυξη και αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον (IEEE, 2016). Αυτές οι τεχνολογίες σχετίζονται κυρίως με τον τομέα της ενέργειας και του περιβάλλοντος, μιας και γίνεται λόγος για ενεργειακά αποδοτικές έξυπνες πόλεις (Mancarella, 2012).

Επίσης, οι ΤΠΕ παίζουν σημαντικό ρόλο για την εύκολη εφαρμογή και αξιοποίηση των νέων ενεργειακών τεχνολογιών (Papastamatiou et al. 2016, 2017; Marinakis et al., 2017), καθώς και στην αποδοτική λειτουργία υφιστάμενων συμβατικών τεχνολογιών.

Μερικές από τις τεχνολογίες που σχετίζονται άμεσα με τις έξυπνες πόλεις παρουσιάζονται επιγραμματικά ως ακολούθως:

- ▲ Έξυπνα συστήματα διαχείρισης φωτισμού,
- ▲ Φωτισμός με νέες τεχνολογίες LED (διόδων εκπομπής φωτός),
- ▲ Έξυπνος έλεγχος κτιρίων,
- ▲ Συστήματα διαχείρισης υδάτινων πόρων,
- ▲ Συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίων,
- ▲ Αποκρινόμενη ζήτηση (Demand response),

- ▲ Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμων, βιοκαύσιμα),
- ▲ Φυσικό αέριο για ηλεκτρισμό και θέρμανση,
- ▲ Αισθητήρες ενσωματωμένοι στις συγκοινωνίες,
- ▲ Συστήματα διαχείρισης μεταφορών και συγκοινωνιών,
- ▲ Συστήματα διαχείρισης αστικής κινητικότητας,
- ▲ Συστήματα διαχείρισης λυμάτων,
- ▲ Ηλεκτρικά οχήματα και σταθμοί φόρτισης/ εκφόρτισης αυτών,
- ▲ Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Μπαταρίες),
- ▲ Συστήματα διαχείρισης μπαταριών,
- ▲ Τηλεπικοινωνίες με μεγάλη ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων,
- ▲ Προχωρημένα πληροφοριακά συστήματα,
- ▲ Ενοποίηση ετερογενών συστημάτων και διαλειτουργικότητα,
- ▲ Διαχείριση και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων (Big data analytics),
- ▲ Συστήματα διαχείρισης και ανάλυσης ετερογενών δεδομένων,
- ▲ Διαδραστικές εφαρμογές για tablets και κινητά.

#### Σύγχρονες τεχνολογίες και Έξυπνες Πόλεις

Μια Έξυπνη Πόλη βασίζεται, μεταξύ άλλων, σε έξυπνες τεχνολογίες πληροφορικής που εφαρμόζονται σε κρίσιμες υποδομές και σε υπηρεσίες. Η έξυπνη υπολογιστική αναφέρεται στη νέα γενιά ολοκλήρωσης υλικού (hardware), λογισμικού (software) και τεχνολογιών δικτύων που παρέχεται από τις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ). Με αυτές τις τεχνολογίες γίνεται εκτενής ανάλυση που συμβάλλει στις αποφάσεις των ανθρώπων για εναλλακτικές λύσεις και δράσεις προκειμένου αυτοί να βελτιστοποιήσουν τις επιχειρηματικές τους διαδικασίες (Chourabi et al., 2012).

Οι ΤΠΕ είναι βασικοί συντελεστές για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων. Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ στα υπό ανάπτυξη έργα μπορεί να αλλάξει το αστικό περιβάλλον και να προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες, μπορεί να ενισχύσει τη διαχείριση των πόλεων και τη λειτουργικότητά τους (Chourabi et al., 2012). Μια πόλη για να χαρακτηριστεί «έξυπνη», θα πρέπει να είναι και περιβαλλοντικά έξυπνη. Βασικό της χαρακτηριστικό θα πρέπει να είναι η ενεργειακή απόδοση και η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και υποδομών που θα ενισχύουν το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα. Αφενός οι νέες ΤΠΕ θα κάνουν τις πόλεις περισσότερο διαδραστικές και έξυπνες, και αφετέρου, οι πόλεις θα γίνουν περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον. Οι νέες τεχνολογίες αναμένεται να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων, θα εξοικονομήσουν ενέργεια και θα κάνουν τη σύγχρονη πόλη ενεργειακά και περιβαλλοντικά έξυπνη, δίνοντας άλλη διάσταση στην έννοια της έξυπνης πόλης. Οι αρχές οφείλουν να αξιοποιήσουν αποδοτικά τις νέες ΤΠΕ και να τις ενσωματώσουν με τον σωστό τρόπο στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις. Παγκοσμίως έχουν ολοκληρωθεί αρκετά έργα, και άλλα βρίσκονται σε εξέλιξη, τα οποία έχουν ως γνώμονα την παγκόσμια πρωτοβουλία για πραγματικά Έξυπνες Πόλεις. Αυτά τα έργα περιλαμβάνουν μέτρα όπως:

- ▲ Ευρυζωνική και συλλογική συνδεσιμότητα

- ▲ Αισθητήρες για καταγραφή περιβαλλοντικών δεδομένων για ανάλυση στοιχείων όπως η κίνηση των πεζών και των οχημάτων, η ζήτηση ενέργειας
- ▲ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για μείωση των εκπομπών ρύπων
- ▲ Συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας για παροχή ηλεκτρισμού και θερμότητας
- ▲ Αποδοτικά συστήματα φωτισμού και συστήματα τηλεδιαχείρισης φωτισμού πόλεων
- ▲ Έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα
- ▲ Πράσινα κτίρια και βιώσιμες αστικές υποδομές, θα μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων
- ▲ Έξυπνα κτίρια με κεντρικά συστήματα διαχείρισης για έλεγχο της θερμοκρασίας, της φωτεινότητας και άλλων παραμέτρων του κτιρίου
- ▲ Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων
- ▲ Κατασκευή ποδηλατοδρόμων, ως εναλλακτικός τρόπος μετακίνησης για μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές
- ▲ Συστήματα διαχείρισης υδάτινων πόρων και του συστήματος ύδρευσης για αποφυγή σπατάλης του νερού
- ▲ Συστήματα μετακινήσεων και έξυπνη κινητικότητα
- ▲ Πολιτικές ανακύκλωσης

Επιγραμματικά, οι τεχνολογίες που θα αναλυθούν στη συνέχεια φαίνονται στο Σχήμα 2.8



Σχήμα 2.8. Τεχνολογίες και δράσεις ενεργειακής βελτίωσης για Έξυπνες Πόλεις

#### Έξυπνο δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το έξυπνο δίκτυο (smart grid) αποκαλείται αλλιώς έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο (smart electric grid). Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα εξελιγμένο σύστημα που διαχειρίζεται τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας με βιώσιμο, αξιόπιστο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Είναι βασισμένο σε προηγμένες τεχνολογίες και υποδομές που ενσωματώνουν ΤΠΕ (Vasseur & Dunkels, 2010), έτσι ώστε να διευκολύνει τη λειτουργία και τον συντονισμό όλων των μονάδων που το αποτελούν.

Τα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας παρείχαν ενέργεια από τους συγκεντρωμένους σταθμούς παραγωγής προς τους τελικούς

καταναλωτές. Στη γενιά των έξυπνων δικτύων η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μονόπλευρη, είναι δυναμική και αυτοματοποιημένη, ενώ όλα τα επιμέρους στοιχεία του δικτύου από την παραγωγή ως την κατανάλωση είναι διασυνδεδεμένα και επικοινωνούν με τις προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών (Mahmood et al., 2015).

Τα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα θα παρέχουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τη συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση, θα αυξήσουν την αξιοπιστία και την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος, θα αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση και θα είναι ικανά να φιλοξενήσουν νέες τεχνολογίες ήπιων μορφών ενέργειας (Farhangi, 2010).

Επομένως, τα έξυπνα δίκτυα κινούνται σε τρεις άξονες, τα χαρακτηριστικά των οποίων και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, αναλύονται στον Πίνακα 2.3.

**Πίνακας 2.3. Σύνοψη επισκόπηση της ιδέας των έξυπνων δικτύων (NIST, 2010)**

<b>Έξυπνα συστήματα προστασίας</b>	
<i>Αξιοπιστία και προστασία συστήματος</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Αξιοπιστία συστήματος</li> <li>▲ Μηχανισμοί προστασίας από σφάλματα               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Πρόβλεψη και αποφυγή σφαλμάτων</li> <li>• Ανίχνευση, διάγνωση και επιδιόρθωση σφαλμάτων</li> <li>• Αυτό-ίαση δικτύου</li> </ul> </li> <li>▲ Προστασία μικροδικτύων</li> </ul>
<i>Ασφάλεια και ιδιωτικότητα</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Μετρήσεις και πληροφορίες</li> <li>▲ Μεταφορά δεδομένων</li> </ul>
<b>Έξυπνα συστήματα διαχείρισης</b>	
<i>Στόχοι διαχείρισης</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Ενεργειακή απόδοση</li> <li>▲ Αποτελεσματική διαχείριση ζήτησης</li> <li>▲ Μείωση απωλειών ενέργειας</li> <li>▲ Μείωση κόστους</li> <li>▲ Τιμολόγηση ενέργειας</li> <li>▲ Μείωση εκπομπών</li> </ul>
<i>Μέθοδοι και εργαλεία διαχείρισης</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Βελτιστοποίηση               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Γραμμικός και μη-γραμμικός προγραμματισμός</li> <li>• Δυναμικός προγραμματισμός</li> <li>• Στοχαστικός προγραμματισμός</li> <li>• Ευριστικές μέθοδοι βελτιστοποίησης</li> </ul> </li> <li>▲ Τεχνητή νοημοσύνη</li> <li>▲ Θεωρία παιγνίων</li> <li>▲ Επιθεώρηση</li> </ul>
<b>Έξυπνα συστήματα υποδομών</b>	
<i>Έξυπνα υποσυστήματα ενέργειας</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Παραγωγή ενέργειας</li> <li>▲ Δίκτυο μεταφοράς</li> <li>▲ Δίκτυο διανομής</li> <li>▲ Μικροδίκτυα</li> <li>▲ Αυτόνομα δίκτυα</li> </ul>

Έξυπνα υποσυστήματα πληροφοριών	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Έξυπνοι μετρητές</li> <li>▲ Αισθητήρες</li> <li>▲ Μοντελοποίηση δεδομένων</li> <li>▲ Ανάλυση πληροφοριών, ολοκλήρωση και βελτιστοποίηση</li> </ul>
Έξυπνα υποσυστήματα επικοινωνιών	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Ασύρματα <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ασύρματα βροχοειδή δίκτυα</li> <li>• Συστήματα κινητών επικοινωνιών</li> <li>• Δίκτυα ραδιογνώσης</li> <li>• Ασύρματες επικοινωνίες βασισμένες στο 802.15.4</li> <li>• Δορυφορικές επικοινωνίες</li> <li>• Επικοινωνίες μικροκυμάτων και οπτικής κενού χώρου</li> </ul> </li> <li>▲ Ενσύρματα <ul style="list-style-type: none"> <li>• Επικοινωνίες οπτικών ινών</li> <li>• Επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος</li> </ul> </li> <li>▲ Διαχείριση επικοινωνιών απ' άκρη σ' άκρη</li> </ul>

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται τα επόμενα χρόνια να αλλάξουν ριζικά, με στόχο τη μείωση των απωλειών και τη μείωση του κόστους επένδυσης και συντήρησης. Με τις νέες μεθόδους ευέλικτης διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνει πιο αποδοτική διαχείριση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και θα αποφευχθούν δαπανηρές επενδύσεις που δε χρειάζονται άμεσα. Για την καλύτερη δυνατή διαχείριση των νεοφυών δικτύων θα πρέπει να μελετηθούν μέθοδοι για τον συντονισμένο έλεγχο των επιμέρους διεσπαρμένων πηγών ενέργειας που χαρακτηρίζουν τα νεοφυή δίκτυα και αυτές είναι:

- ▲ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- ▲ Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας
- ▲ Ηλεκτρικά Οχήματα
- ▲ Διαχείριση της ζήτησης των καταναλωτών (Demand Side Management)

Για τη διασύνδεση και τη συντονισμένη λειτουργία όλων των επιμέρους στοιχείων του έξυπνου δικτύου, οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) αναμένεται να συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό.

#### Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) (ΥΠΕΚΑ, 2015) και το νόμο Ν 2773/1999, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) θεωρείται η ηλεκτρική ενέργεια παρεχόμενη από:

- i) Την εκμετάλλευση Αιολικής ή Ηλιακής Ενέργειας ή βιομάζας ή Βιοαερίου,
- ii) Την εκμετάλλευση Γεωθερμικής Ενέργειας, εφόσον το δικαίωμα εκμετάλλευσης του σχετικού Γεωθερμικού Δυναμικού έχει παραχωρηθεί στον ενδιαφερόμενο, σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις,
- iii) Την εκμετάλλευση της Ενέργειας από την Θάλασσα,
- iv) Την εκμετάλλευση Υδάτινου Δυναμικού με Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς μέχρι 10 MW,
- v) Συνδυασμό των ανωτέρω,



vi) Τη Συμπαράγωγή, με χρήση των Πηγών Ενέργειας (i) και (ii) και συνδυασμό τους.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/ΕΚ θέτει τους στόχους για επίτευξη της συμβολής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020. Η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ θα συμβάλλει σημαντικά και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Στόχος είναι να μειωθούν κατά 20% και να φτάσουν τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ.

Οι ΑΠΕ στον οικιακό και τον εμπορικό τομέα, δηλαδή κοντά στον καταναλωτή, θα συμβάλλουν στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος των σύγχρονων μεγαλουπόλεων. Οι Έξυπνες Πόλεις θα γίνουν πιο «πράσινες» και ενεργειακά αποδοτικές. Μεγάλη πρόκληση στη διασύνδεση των ΑΠΕ, είναι η έξυπνη διαχείρισή τους με συστήματα εποπτείας και παρακολούθησης, καθώς και με συστήματα επικοινωνιών για την ενσύρματη ή ασύρματη τηλεδιαχείρισή τους.

#### Ηλεκτρικά Οχήματα

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι το επόμενο μεγάλο βήμα που αναμένεται να πραγματοποιηθεί στον τομέα της αστικής κινητικότητας. Η έννοια των Έξυπνων Πόλεων θα πρέπει τα επόμενα χρόνια να διευκολύνει την ένταξη ηλεκτρικών οχημάτων στους αστικούς δρόμους με κύριο στόχο τη μείωση των εκπομπών ρύπων στον τομέα των μετακινήσεων και των μεταφορών.

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να κινηθούν είτε με ηλεκτρική ενέργεια, είτε με καύσιμα, είτε με συνδυασμό αυτών. Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος είναι το Toyota Prius. Άλλα παραδείγματα ηλεκτρικών οχημάτων ή υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων είναι το Chevy Volt, το Mini Cooper E, το Fisker Karma, το Nissan LEAF, το Tesla Roadster κ.ά.

Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων τα έχουν κάνει μια αναδυόμενη τεχνολογία που πρόκειται να παίξει σημαντικό ρόλο προς την εξέλιξη των πόλεων σε Έξυπνες Πόλεις και ενεργειακά έξυπνες πόλεις. Αναμένεται πως η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά 50 εκατομμύρια έως το 2030 (IEEE USA, 2007). Αυτό σημαίνει πως το 25% των νέων αυτοκινήτων θα είναι ηλεκτροκίνητα (IEEE USA, 2007).

Τα ηλεκτρικά οχήματα θέλουν ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο που επηρεάζουν το ηλεκτρικό δίκτυο και απαιτούν την ενσωμάτωση σταθμών φόρτισης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας των σύγχρονων πόλεων και χαρακτηρίζονται ως πράσινη τεχνολογία εξαιτίας των μηδενικών εκπομπών ρύπων. Για την ένταξή τους στις Έξυπνες Πόλεις θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στα παρακάτω:

- ▲ Οδηγική συμπεριφορά
- ▲ Χαρακτηριστικά φόρτισης
- ▲ Ώρες φόρτισης
- ▲ Χρονική διάρκεια φόρτισης
- ▲ Διαθεσιμότητα σταθμών φόρτισης
- ▲ Κόστος επένδυσης σε νέους σταθμούς φόρτισης

- ▲ Κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων
- ▲ Ηλεκτρικά οχήματα στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς

Συνεπώς, οι ερευνητές και οι αρμόδιες αρχές θα πρέπει να σχεδιάσουν αποδοτικά και αξιόπιστα τα σημεία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τη στοχαστική φύση της φόρτισης, τη δυναμική τιμολόγηση (σε περίπτωση απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας), τις συνήθειες των πολιτών και τον τρόπο που αυτοί μετακινούνται μέσα στην πόλη, καθώς και τη δυνατότητα ένταξης ηλεκτρικών οχημάτων σε δημόσια οχήματα.

#### **Έξυπνα Κτίρια**

Ένα από τα πιο βασικά στοιχεία των πόλεων είναι τα κτίρια (γραφεία εταιρειών, δημόσιες υπηρεσίες, δημόσιοι οργανισμοί, εμπορικά καταστήματα και κατοικίες) και προκειμένου να γίνει η μετάβαση στη γενιά των Έξυπνων Πόλεων, τα κτίρια θα πρέπει να γίνουν και αυτά έξυπνα.

Τα κτίρια του μέλλοντος θα πρέπει να διασυνδέουν τα επιμέρους στοιχεία τους με έναν ολοκληρωμένο, δυναμικό και λειτουργικό τρόπο. Παράλληλα, θα πρέπει να ελαχιστοποιούν τα ενεργειακά τους κόστη, διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου τους και περιορίζοντας τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

Τα έξυπνα κτίρια παρέχουν υποδομές και χρήσιμες υπηρεσίες στους χρήστες τους, συμβάλλοντας στην παραγωγικότητά τους με το χαμηλότερο κόστος και τη μικρότερη περιβαλλοντική επίπτωση. Μερικές από τις υπηρεσίες που παρέχουν τα έξυπνα κτίρια στους χρήστες τους είναι:

- ▲ Φωτισμός,
- ▲ Άνετο περιβάλλον στη σωστή θερμοκρασία,
- ▲ Ποιότητα αέρα,
- ▲ Φυσική ασφάλεια,
- ▲ Υγιεινή.

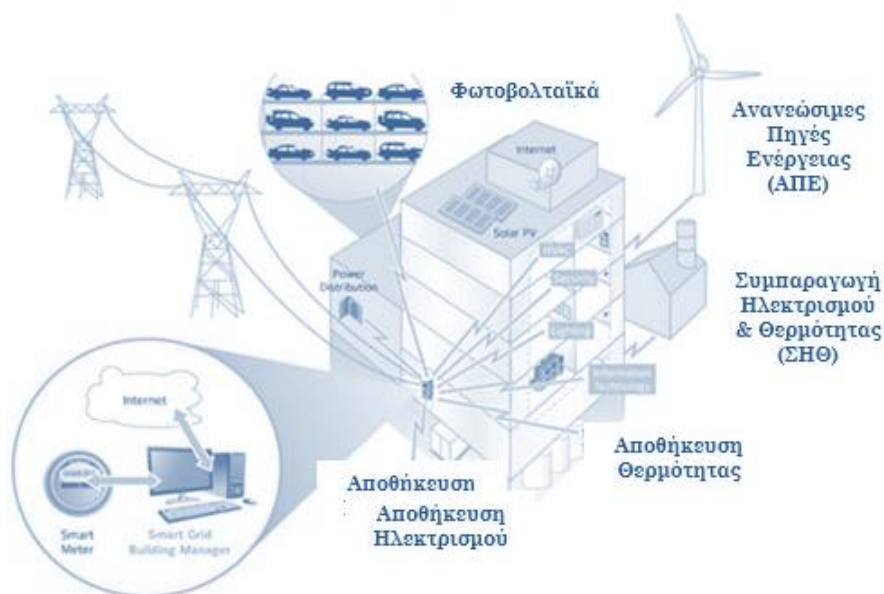
Για τον σκοπό αυτό, τα έξυπνα κτίρια χρησιμοποιούν ΤΠΕ κατά τη λειτουργία τους για τη διασύνδεση διαφόρων υποσυστημάτων που τυπικά λειτουργούν ανεξάρτητα. Με τη διασύνδεση αυτή τα υποσυστήματα του κτιρίου μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες για να βελτιστοποιούν τη συνολική απόδοση του κτιρίου. Τα έξυπνα κτίρια δεν είναι πλέον παθητικά, αλλά είναι διασυνδεδεμένα και δυναμικά επιτρέποντας στους χρήστες και τους διαχειριστές τους να έχουν καλύτερη εποπτεία και περισσότερες πληροφορίες. Η έννοια των έξυπνων κτιρίων έχει ως βασικό στόχο (Σχέδιο 2.14):

- ▲ Τη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης των πολιτών,
- ▲ Την ενεργειακή απόδοση,
- ▲ Τη βελτίωση του περιβαλλοντικού προφίλ.

Τα σύγχρονα κτίρια περιλαμβάνουν σύνθετες συσκευές ελέγχου, προηγμένα συστήματα ελέγχου και ένα σύνολο από χαρακτηριστικά που βελτιώνουν την ασφάλεια, την άνεση και την παραγωγικότητα των χρηστών τους. Τα έξυπνα κτίρια περιλαμβάνουν επικοινωνία μεταξύ των μηχανών (machine-to-machine communication) και απαιτούν τη διασύνδεση μεταξύ του εξοπλισμού και των συστημάτων μέσα σε ένα κτίριο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι η χρήση των

απαραίτητων δεδομένων για τη ενεργειακή βελτίωση και ασφάλεια του κτιρίου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το αυτόματο οδήγηση του φωτισμού και της θέρμανσης, όταν οι ένοικοι απουσιάζουν.

Τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικές συσκευές, και οι οποίες προορίζονται και για διαφορετική χρήση. Σαν αποτέλεσμα έχουμε τη χρήση ετερογενών δεδομένων. Στην εποχή των έξυπνων κτιρίων, τα συστήματα αυτοματισμού κτιρίων (Building Automation Systems – BAS) ή/και τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου (Building Energy Management Systems – BEMS) διασυνδέουν και ελέγχουν τις συσκευές και τα υποσυστήματα του κτιρίου λειτουργώντας τα συντονισμένα, όπως ενδεικτικά απεικονίζεται στο Σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9. Απεικόνιση επιμέρους τμημάτων και λειτουργιών των έξυπνων κτιρίων

Τα BEMS είναι συστήματα βασισμένα σε αυτοματισμούς και Η/Υ και οι λειτουργίες τους είναι οι εξής:

- ▲ Διευκολύνουν τη διαχείριση, τον έλεγχο και την εποπτεία των τεχνικών υπηρεσιών που παρέχουν τα κτίρια, όπως ο φωτισμός και τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (Heating, Ventilating and Air Conditioning – HVAC).
- ▲ Διαχειρίζονται την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων συντονίζοντας την κατανάλωση με την παραγωγή από ΑΠΕ του κτιρίου (συνήθως φωτοβολταϊκά) και τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας.
- ▲ Διασφαλίζουν άνεση και ασφάλεια για τους χρήστες των κτιρίων με ταυτόχρονη εξοικονόμηση πόρων.

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες, οι συνεργασίες μεγάλων κατασκευαστών για τα έξυπνα κτίρια δημιούργησαν τα πρωτόκολλα BACnet®, Modbus® και LonWorks® τα οποία επιτρέπουν την κατάλληλη επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων συσκευών του κτιρίου. Το BACnet είναι το σήμα κατατεθέν του Αμερικάνικου Συλλόγου Μηχανικών Θέρμανσης, Εξαερισμού και Κλιματισμού (BACNET, 2015). Το Modbus αναπτύχθηκε από τη Schneider Electric (MODBUS, 2015) και το

LonWorks από την Echelon (LONMARK, 2015). Και τα τρία αυτά πρωτόκολλα είναι κυρίως ενσύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας για κτιριακούς αυτοματισμούς. Την τελευταία δεκαετία έχει γίνει ευρέως γνωστό στην αγορά των τεχνολογιών BEMS το ασύρματο πρωτόκολλο Zigbee που λειτουργεί στην αδεσμοποίητη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz σύμφωνα με το πρότυπο της IEEE 802.15.4 (ZIGBEE, 2015; Han & Lim, 2010). Το Zigbee είναι συμβατό με το ενσύρματο πρωτόκολλο BACnet, είναι αξιόπιστο και σταθερό, έχει χαμηλή κατανάλωση ισχύος και μπορεί να καλύψει απόσταση έως 70m σε εσωτερικούς χώρους. Το KNX είναι επίσης ένα πρότυπο για αυτοματισμούς κτιρίων που δημιουργήθηκε από τη συνεργασία τριών ενώσεων (EIBA, EHSΑ και BCI) και είναι ενσύρματο (καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους αγωγών, γραμμές ισχύος, Ethernet) αλλά και ασύρματο (ραδιοσυχνότητες μικρής εμβέλειας των 868Hz) (KNX, 2015).

### **Έξυπνος Φωτισμός**

Ο φωτισμός αντιπροσωπεύει το 19% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ευθύνεται για το 6% των συνολικών εκπομπών ρύπων του φαινομένου του θερμοκηπίου (KNX, 2015). Με την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας περίπου στο 40% της ενέργειας που χρησιμοποιείται για φωτισμό, θετικός θα είναι ο αντίκτυπος στη μείωση των εκπομπών από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

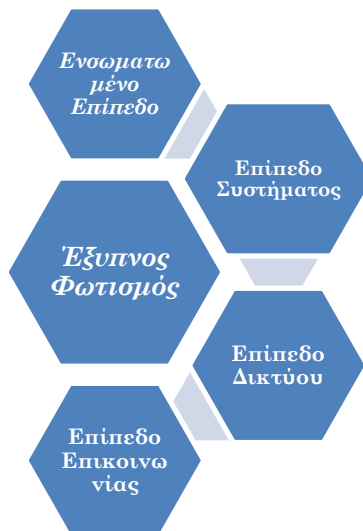
Ο έξυπνος φωτισμός (smart lighting) είναι η αρχή και μπορεί να δώσει νέα πνοή στα σύγχρονα αστικά κέντρα. Ο έξυπνος φωτισμός είναι δυναμικός και συνδυάζει την τεχνογνωσία και την τεχνολογία από διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς. Η δυνατότητα για ενσωμάτωση ενός μεγάλου εύρους αισθητήρων και συσκευών ελέγχου, σε συνδυασμό με τις ΤΠΕ, μπορούν να συμβάλλουν στην επίτευξη μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης και λιγότερων αρνητικών επιπτώσεων, ενώ ταυτόχρονα θα δώσουν δυναμικό χαρακτήρα στον φωτισμό και πολλαπλά οφέλη θα προκύψουν για τον άνθρωπο και τις σύγχρονες πόλεις (IEA, 2006), (Sanseverino et al., 2015).

Ένας από τους βασικούς συντελεστές του έξυπνου φωτισμού είναι οι νέες τεχνολογίες φωτισμού, που αρχίζουν να εξαπλώνονται χάρη στην εξέλιξη των ημιαγωγών και τη δημιουργία φωτεινών πηγών, όπως οι φωτοεκπέμπουσες διόδοι (Light Emitting Diode – LED), τα οργανικά LED (Organic LED – OLED) και οι πηγές φωτός στερεάς κατάστασης (Solid State Light – SSL). Με τις τεχνολογίες αυτές, ο τομέας του φωτισμού σημειώνει τη μεγαλύτερη μετάβαση από την εποχή της δημιουργίας του πρώτου λαμπτήρα το 19ο αιώνα (Novak et al., 2014).

Η έννοια των Έξυπνων Πόλεων είναι στενά συνδεδεμένη με την έννοια του έξυπνου φωτισμού. Ο σωστός φωτισμός μπορεί να αλλάξει ριζικά μια πόλη, να δημιουργήσει αίσθημα ασφάλειας και άνεση για τους πολίτες, μπορεί να διευκολύνει την κινητικότητα μέσα στις πόλεις και να βελτιώσει την εικόνα μιας υποβαθμισμένης περιοχής. Έξυπνη πόλη δε σημαίνει μόνο εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά εξοικονόμηση ενέργειας σε συνδυασμό με τη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης των πολιτών. Οι νέες τεχνολογίες φωτισμού και οι αυτοματισμοί θα βοηθήσουν σημαντικά για

τη μετάβαση στην εποχή των Έξυπνων Πόλεων (Sanseverino et al., 2015).

Ο έξυπνος φωτισμός ολοκληρώνει τις λειτουργίες του σε τέσσερα (4) αλληλένδετα επίπεδα τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10. Επίπεδα ολοκλήρωσης έξυπνου φωτισμού (Novak et al., 2014)  
Τα επίπεδα μπορούν να αναλυθούν επιγραμματικά ως ακολούθως:

- ▲ **Πρώτο επίπεδο ή ενσωματωμένο επίπεδο (Embedded Level).** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει την οπτική μονάδα ή τη φωτεινή πηγή.
- ▲ **Δεύτερο επίπεδο ή επίπεδο συστήματος (System Level).** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει το σύνολο του φωτιστικού σώματος και είναι το σύστημα φωτισμού που περιλαμβάνει την οπτική μονάδα του προηγούμενου επιπέδου, τα όργανα έναυσης και ελέγχου.
- ▲ **Τρίτο επίπεδο ή επίπεδο δικτύου (Grid Level).** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τις πηγές ενέργειας για την τροφοδότηση των φωτιστικών σωμάτων.
- ▲ **Τέταρτο επίπεδο ή επίπεδο επικοινωνίας (Communication Level).** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει το σύνολο των τεχνολογιών και των πρωτοκόλλων επικοινωνιών (ενούρματη ή ασύρματη επικοινωνία) που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση του δικτύου ηλεκτροφωτισμού.

Πολλές εταιρείες ανάπτυξης συστημάτων ελέγχου, διαχείρισης και εποπτείας έχουν δώσει βάρος στην ανάπτυξη λύσεων εστιασμένες για τον φωτισμό των πόλεων, π.χ. η εταιρεία ECHELON που έχει αναπτύξει και το πρωτόκολλο LonWorks δίνει ξεχωριστή σημασία στον εξωτερικό φωτισμό (ECHELON, 2015). Η ανάπτυξη επικοινωνιών μεταξύ των μηχανών (Machine-to-machine ή M2M) παρέχει τη δυνατότητα για καλύτερο σχεδιασμό και αποτελεσματική λειτουργία των εγκαταστάσεων φωτισμού. Η αξία της πληροφορίας μέσα από συστήματα εποπτείας και διαχείρισης, μαζί με τις νέες τεχνολογίες φωτισμού θα επιφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας και πολλαπλά οφέλη για τις πόλεις και τον άνθρωπο. Παρακάτω, στον Πίνακα 2.4 συγκεντρώνονται τα βασικά χαρακτηριστικά και τα οφέλη του έξυπνου φωτισμού.

**Πίνακας 2.4. Χαρακτηριστικά, επιμέρους στοιχεία και οφέλη του έξυπνου φωτισμού**

<b>Χαρακτηριστικά</b>	<p>Δυναμικός φωτισμός (light on demand)</p> <p>Έλεγχος</p> <p>Απομακρυσμένη διαχείριση</p> <p>Προσαρμογή</p> <p>Διαδραστικός</p> <p>Χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας</p> <p>Μειωμένα κόστη συντήρησης</p>
<b>Επιμέρους στοιχεία</b>	<p>Ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων</p> <p>Πρωτόκολλα επικοινωνιών (π.χ. LonWorks, ZigBee)</p> <p>Αισθητήρες κίνησης και παρουσίας</p> <p>Φωτοκύτταρα</p> <p>Βάσεις δεδομένων</p> <p>Λογισμικό διαχείρισης φωτισμού</p> <p>Φωτοβολταϊκά και μπαταρίες («Πράσινος» φωτισμός)</p>
<b>Οφέλη</b>	<p>Ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας</p> <p>Καλύτερη αξιοποίηση του δικτύου ηλεκτροφωτισμού</p> <p>Βελτίωση αστικού περιβάλλοντος</p> <p>Ασφάλεια και άνεση</p> <p>Αναβάθμιση αστικού κέντρου</p> <p>Αποφυγή υπερβολικού φωτισμού</p> <p>Εποπτεία του δικτύου</p> <p>Γρήγορη διόρθωση σφαλμάτων και βλαβών</p>

**Έξυπνες μετακινήσεις και κινητικότητα**

Ένα επιπλέον βασικό στοιχείο των πόλεων είναι οι μετακινήσεις των πολιτών μέσα στην πόλη. Οι κάτοικοι των μεγάλων αστικών κέντρων, δαπανούν πολύ χρόνο για τις μετακινήσεις τους, πράγμα που δημιουργεί άγχος, στρες και επιπλέον κούραση στην καθημερινότητά τους. Παράλληλα, οι μετακινήσεις τους συνοδεύονται από καυσαέρια και θόρυβο, που αποτελούν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι Έξυπνες Πόλεις θα πρέπει να υιοθετήσουν νέες τεχνολογίες και να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο που θα λύσουν αυτά τα προβλήματα διευκολύνοντας τις μετακινήσεις των ανθρώπων στα αστικά κέντρα και θα περιορίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι Έξυπνες Μετακινήσεις (Smart Transportation) είναι η νέα προσέγγιση στον τομέα των Έξυπνων Πόλεων που θα συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης και θα μειώσει το ανθρακικό αποτύπωμα των μεγαλουπόλεων. Οι λύσεις των έξυπνων μετακινήσεων περιλαμβάνουν (ECHELON, 2015):

- ▲ Πληροφορίες για την κίνηση και τα δημόσια έργα στους δρόμους σε πραγματικό χρόνο,
- ▲ Μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> με καλύτερη διαχείριση της κινητικότητας στα αστικά κέντρα (ηλεκτρικά οχήματα, γρήγορη εύρεση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης),
- ▲ Βελτίωση των υποδομών των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (MMM),

▲ Ασφάλεια στις μετακινήσεις των πολιτών

Για την υλοποίηση των έξυπνων μετακινήσεων, οι οργανισμοί και οι τοπικές αρχές θα πρέπει να επενδύσουν σε προηγμένα συστήματα επικοινωνιών και διαχείρισης των αστικών συγκοινωνιών και της κυκλοφοριακής ροής στα αστικά κέντρα. Παράλληλα, τα MMM θα πρέπει να εκσυγχρονιστούν και να γίνουν πιο φιλικά προς το περιβάλλον, ανανεώνοντας τον στόλο των λεωφορείων με λεωφορεία που θα έχουν μικρότερες εκπομπές ρύπων (π.χ. κίνηση με φυσικό αέριο) ή μηδενικές εκπομπές (π.χ. ηλεκτρικά οχήματα στα MMM) (ARUP and Qualcomm Technologies Inc, 2015).

**ΤΠΕ** Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων και στην επίτευξη των ενεργειακών στόχων για είναι οι Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών – ΤΠΕ (Information Communication Technologies – ICT) (Papastamatiou 2016, 2017; Marinakis et al., 2017). Οι Έξυπνες Πόλεις χρησιμοποιούν ΤΠΕ για τους εξής λόγους:

- ▲ Βελτίωση των υπηρεσιών που υποστηρίζουν κάθε αστικό περιβάλλον, όπως η ασφάλεια, η υγεία και οι μετακινήσεις των πολιτών,
- ▲ Διασφάλιση της καλύτερης απόδοσης στην παροχή ενέργειας στους καταναλωτές (εμπορικούς, βιομηχανικούς και οικιακούς),
- ▲ Δυνατότητα απομακρυσμένης εργασίας και ηλεκτρονικού εμπορίου για τις επιχειρήσεις,
- ▲ Βελτίωση της εκπαίδευσης και της επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων.

Ο ρόλος των ΤΠΕ θεωρείται πολύ σημαντικός για τη δημιουργία βιώσιμων πόλεων, καθώς μπορούν να ενσωματωθούν σε κάθε επίπεδο της διαστρωμάτωσης των Έξυπνων Πόλεων, από τις τοπικές αρχές, τα κτίρια και τις αστικές υποδομές (φωτισμός, αστικές συγκοινωνίες, ύδρευση) μέχρι τον υπολογιστή ή/και το κινητό κάθε πολίτη. Πολύ σημαντικές, επίσης, είναι οι ΤΠΕ για την ενεργειακή διαχείριση είτε σε επίπεδο πόλης, είτε σε επίπεδο κτιρίων, καθώς τα οφέλη από την αξιοποίησή τους είναι πολλαπλά και μπορούν να μετατρέψουν την ενεργειακή απόδοση των πόλεων και των κτιρίων. Η υιοθέτηση σύγχρονων και πιο αποδοτικών τεχνολογιών στον τομέα της ενέργειας δεν αρκεί, αν δε συνοδεύεται από την ενσωμάτωση ΤΠΕ και συστημάτων εποπτείας και διαχείρισης. Οι ΤΠΕ φαίνεται πως θα είναι βασικός παράγοντας των σύγχρονων πόλεων και για τον λόγο αυτό διάφορες μέθοδοι και εργαλεία έχουν προταθεί για τη διαχείριση ενέργειας στις Έξυπνες Πόλεις και τον κτιριακό τομέα. Οι στόχοι τους ποικίλουν από την αξιολόγηση λύσεων ενεργειακής αναβάθμισης έως τη διάγνωση ενεργειακής κατάστασης κτιρίων και ελέγχου.

## ΙΙ.5 Συμπεράσματα

*Γενικά* Συνοψίζοντας, η ανάλυση του κεφαλαίου αυτού οδηγεί σε μια σειρά συμπερασμάτων για τις νέες συνθήκες και τάσεις σχετικά με την επίτευξη του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού σε επίπεδο πόλης:

- ▲ Ο ενεργειακός τομέας αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την επιδίωξη του στόχου της αειφόρου ανάπτυξης, αφού συνδέεται στενά τόσο με την περιβαλλοντική όσο με την κοινωνική και οικονομική διάσταση του εν λόγω στόχου.
- ▲ Οι τοπικές αρχές αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς μοχλούς άσκησης ενεργειακής πολιτικής, όχι μόνο γιατί έχουν καλύτερη γνώση επί των ιδιοτεροτήτων της περιοχής τους, αλλά και γιατί μπορούν να προωθήσουν άμεσα αναπτυξιακή πολιτική με πολλούς διαφορετικούς τρόπους.
- ▲ Η ιδέα των ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων και Έξυπνων Πόλεων κερδίζουν σταθερά έδαφος τα τελευταία χρόνια. Μέσα από την ολοκληρωμένη αξιοποίηση των διαθέσιμων ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων και την εξοικονόμηση ενέργειας, οι κοινότητες επιδιώκουν τη σταδιακή απεξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα και τη βελτίωση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών μεταβλητών τους.
- ▲ Δεν μπορεί να υπάρξει Έξυπνη Πόλη χωρίς τη χρήση ΤΠΕ. Οι ΤΠΕ είναι βασικοί συντελεστές για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων. Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ στα υπό ανάπτυξη έργα μπορεί να αλλάξει το αστικό περιβάλλον και να προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες, μπορεί να ενισχύσει τη διαχείριση των πόλεων και τη λειτουργικότητά τους (Chourabi et al., 2012). Μια πόλη για να χαρακτηριστεί «έξυπνη», θα πρέπει να είναι και «περιβαλλοντικά έξυπνη». Βασικό της χαρακτηριστικό πρέπει να αποτελεί η ενεργειακή απόδοση και η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και υποδομών. Αφενός οι νέες ΤΠΕ θα μετασχηματίσουν τις πόλεις σε περισσότερο «διαδραστικές» και «έξυπνες» με βελτιωμένες υπηρεσίες προς τους πολίτες, και αφετέρου, οι πόλεις θα γίνουν περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον. Τέλος, οι νέες τεχνολογίες αναμένεται να βοηθήσουν στη μείωση των εκπομπών ρύπων CO<sub>2</sub> και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

*Ελλάδα* Σε ό,τι αφορά την Ελλάδα, οι προσπάθειες που παρουσιάστηκαν δεν εντάσσονται σε κάποιο συνολικό σχέδιο και στρατηγική σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο. Από πλευράς πολιτείας, δεν υφίσταται συγκεκριμένη και στοχευμένη στρατηγική, με αποτέλεσμα, η στήριξη να είναι ελλιπής από στρατηγική, διαχειριστική και χρηματοδοτική άποψη.

Είναι ανάγκη να διαμορφωθεί, κατόπιν ανοικτής διαβούλευσης με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (δήμοι, περιφέρειες, ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα, ιδιωτικός τομέας), μια εθνική στρατηγική



βασισμένη σε μια ολιστική προσέγγιση που θα υλοποιηθεί μέσω ενός οδικού χάρτη μετάβασης.

Τα οφέλη για τη χώρα και τους πολίτες θα είναι πολλαπλά καθώς, εκτός από τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών (καθαρότερο περιβάλλον και καλύτερες υπηρεσίες) και τη συμβολή στην επίτευξη των εθνικών στόχων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, θα δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για τόνωση των δημοσίων εσόδων, αύξησης της απασχόλησης, προσέλκυσης επενδυτικών κεφαλαίων καθώς και ενίσχυσης της έρευνας και της καινοτομίας.

Σημαντική παράμετρος είναι η συνδυαστική αξιοποίηση χρηματοδοτικών πόρων από το ΕΣΠΑ, το Σχέδιο Γιούνκερ, ευρωπαϊκών προγραμμάτων (Horizon2020), Διεθνών Χρηματοδοτικών Εργαλείων (EBRD), στο πλαίσιο συνεργιών Δημοσίου και Ιδιωτικού τομέα.

Στο πλαίσιο της σύνταξης ενός νέου εθνικού στρατηγικού πλαισίου για τις έξυπνες πόλεις θα πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- ▲ Η επίτευξη των εθνικών, ευρωπαϊκών και παγκόσμιων κλιματικών στόχων,
- ▲ Η συμμετοχή και ενσωμάτωση πρωτοβουλιών, προγραμμάτων και χρηματοδοτικών εργαλείων της ΕΕ,
- ▲ Η ενδεδειγμένη αξιολόγηση της καταλληλότητας και του αντικτύπου των διαθέσιμων τεχνολογικών λύσεων στη βάση των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και αναγκών της κάθε πόλης,
- ▲ Η αξιοποίηση του σημαντικού εγχώριου ερευνητικού έργου στον τομέα των έξυπνων πόλεων.

**Ανάγκη** Μέσα από τη μελέτη που διεξήχθη, αναδεικνύεται η σημασία του προβλήματος, όπως περιγράφεται ακολούθως:

Παρά τις προσπάθειες που γίνονται για την υποστήριξη των τοπικών αρχών για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων, διαφαίνεται η ανάγκη για περισσότερη και αποτελεσματικότερη υποστήριξη και καθοδήγησή προκειμένου οι πόλεις να κινηθούν προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης και να γίνουν «έξυπνες».

---

### **Ανάγκη ουσιαστικής υποστήριξης τοπικών αρχών με στόχο τη δημιουργία Ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων**

---

Μέσα από την ουσιαστική υποστήριξή τους, θα μπορέσουν να κινηθούν δυναμικά και αποτελεσματικά προς την κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης και τη δημιουργία των Έξυπνων Πόλεων.

Προς αυτή την κατεύθυνση, σημαντικό ρόλο έχει η ανάπτυξη ενός Ολοκληρωμένου Μεθοδολογικού Πλαισίου που θα παρέχει υποστήριξη στους τοπικούς φορείς για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

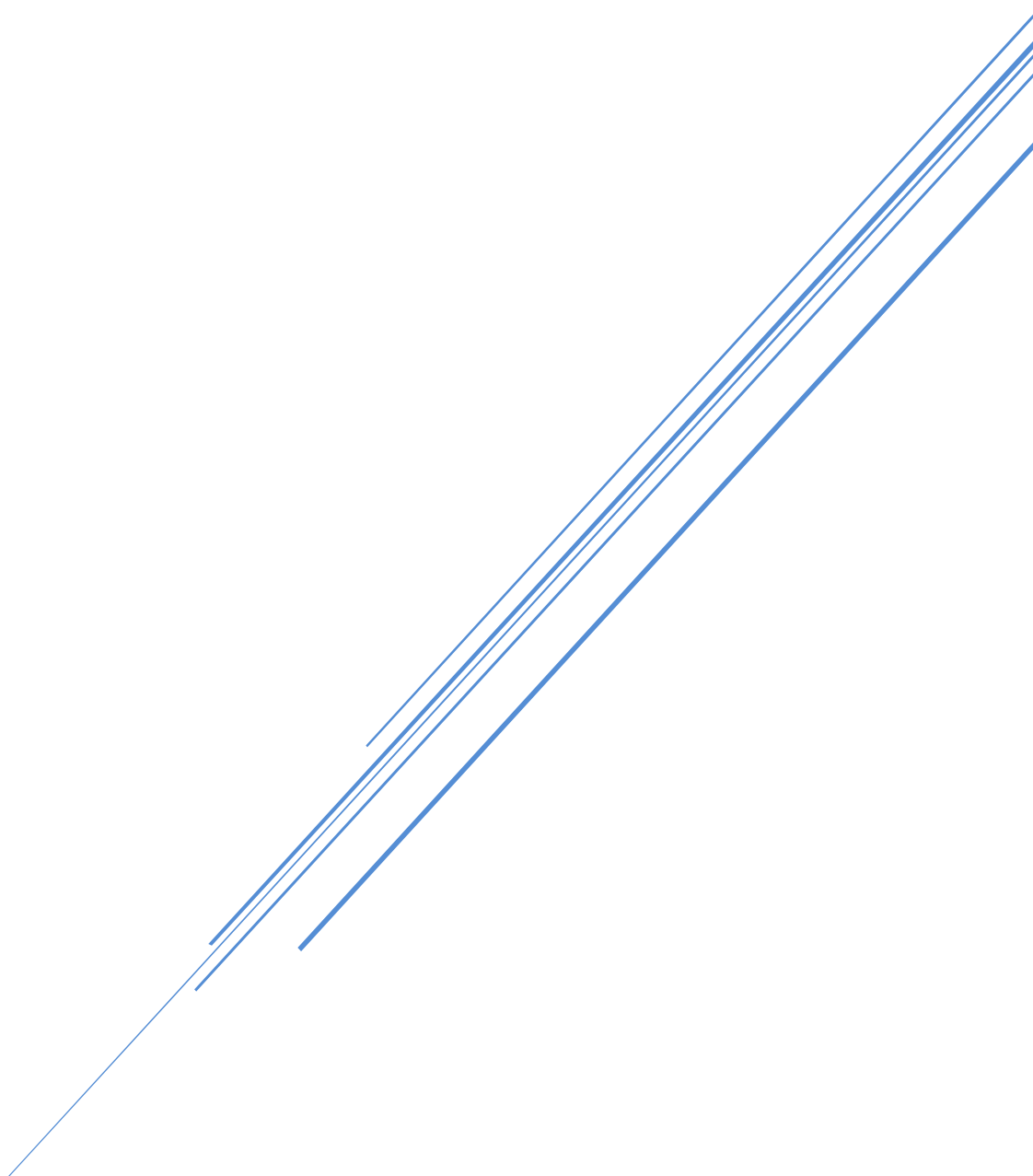
## Ανάγκη Ολοκληρωμένης Μεθοδολογίας Υποστήριξης Αποφάσεων για τη Διαχείριση και την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Έξυπνες Πόλεις

Ειδικότερα, απαιτείται η χρήση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) που επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών με τη χρήση Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ).

Με αυτό το τρόπο, η ανάπτυξη ενός Ολοκληρωμένου Μεθοδολογικού Πλαισίου θα μπορούσε να συμβάλλει στην υποστήριξη των τοπικών αρχών με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μετάβαση προς τις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις.

# Κεφάλαιο III

Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών



**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Εξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

*Ηλίας Μ. Παπασταματίου*



## ΙΙΙ.1 Εισαγωγή

**Στόχος Κεφαλαίου** Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο καθίσταται σαφές ότι η υποστήριξη των τοπικών αρχών προς την κατεύθυνση του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού και των Έξυπνων Πόλεων αποτελεί ένα περίπλοκο πρόβλημα απόφασης. Στο πλαίσιο αυτό, αναγνωρίστηκαν δυο διαφορετικά επιστημονικά πεδία υποστήριξης αποφάσεων, τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες του προβλήματος και περιλαμβάνουν:

- ▲ Μεθοδολογίες και Εργαλεία Διαχείρισης & Εξοικονόμησης Ενέργειας,
- ▲ Πολυκριτήρια ανάλυση με Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων και χρήση Γλωσσικής Ανάλυσης.

Απώτερος σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να στηρίζει, πρώτον την καταλληλότητα της χρήσης των παραπάνω πεδίων στην επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος και δεύτερον τα καινοτόμα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

**Δομή Κεφαλαίου** Το Κεφάλαιο αυτό, εκτός από την Εισαγωγή, δομείται σε τέσσερις (4) ενότητες (Σχήμα 3.1):

- ▲ 2<sup>η</sup> Ενότητα: Συγκριτική ανάλυση των υφιστάμενων μεθοδολογιών και εργαλείων για τη διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας στις πόλεις.
- ▲ 3<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup> Ενότητα: Παρουσιάζονται οι βασικές αρχές των ανωτέρω επιστημονικών πεδίων, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για την εφαρμογή αυτών στον τομέα των Έξυπνων Πόλεων.
- ▲ 5<sup>η</sup> Ενότητα: Συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του παρόντος Κεφαλαίου.



Σχήμα 3.1. Δομή Κεφαλαίου

## ΙΙΙ.2 Μεθοδολογίες και Εργαλεία για Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας στα κτίρια των «Έξυπνων Πόλεων»

### ΙΙΙ.2.1 Γενική Περιγραφή

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει διαθέσιμος ένας σημαντικός αριθμός μελετών που παρουσιάζουν μεθοδολογίες και εργαλεία για την Διαχείριση και Εξοικονόμηση ενέργειας στις πόλεις.

Όπως περιεγράφηκε και αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ΤΠΕ αποτελούν έναν από τους βασικότερους παράγοντες για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων και για το λόγο αυτό διάφορες μέθοδοι και εργαλεία έχουν προταθεί για τη διαχείριση ενέργειας στις πόλεις.

Συγκεκριμένα, υπάρχουν αρκετά εργαλεία διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Software - EMS). Τα εργαλεία αυτά μπορούν και παρέχουν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, ελέγχουν τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), καθώς και τον φωτισμό των κτιρίων. Προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα διαχείρισης του εγκατεστημένου εξοπλισμού. Τα εργαλεία αυτά θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια.

### ΙΙΙ.2.2 Εργαλεία διαχείρισης & εξοικονόμησης ενέργειας

Σύμφωνα με την ΙΕΕΕ (ΙΕΕΕ, 2016), τέσσερα (4) είναι τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα εργαλεία διαχείρισης ενέργειας στις Έξυπνες Πόλεις:

- ▲ Συλλογή Δεδομένων,
- ▲ Αναφορά,
- ▲ Εποπτεία,
- ▲ Διαχείριση.

#### Συλλογή δεδομένων

Τα λογισμικά ενεργειακής διαχείρισης συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, και διατηρούν παράλληλα αρχείο με το ιστορικό των καταναλώσεων. Τα δεδομένα που συλλέγονται προέρχονται από έξυπνους μετρητές, συστήματα αυτοματοποίησης κ.ά. Οι καταναλώσεις που αφορούν την ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, το νερό, ακόμη και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι κάποια από τα στοιχεία που συλλέγονται προς ανάλυση.

#### Αναφορές

Οι αναφορές των εργαλείων αυτών απευθύνονται κυρίως στους διαχειριστές των εγκαταστάσεων και αποτελούν σημαντικό στοιχείο για την παρακολούθηση των ενεργειακών καταναλώσεων και των εκπομπών αερίων. Τα στοιχεία των ενεργειακών καταναλώσεων μπορούν να αθροιστούν και να παρουσιαστούν σε αναφορές.

**Εποπτεία** Τα εργαλεία διαχείρισης ενέργειας συνήθως απεικονίζουν τα δεδομένα που συλλέγουν σε πραγματικό χρόνο και ταυτόχρονα τα αποθηκεύουν για περαιτέρω ανάλυση. Μερικά εργαλεία περιλαμβάνουν επίσης λειτουργίες συγκριτικής αξιολόγησης, όπως της ενεργειακής κατανάλωσης ανά τετραγωνικό μέτρο, κανονικοποίηση καιρικών συνθηκών ή και πιο προηγμένες αναλύσεις χρησιμοποιώντας αλγορίθμους ενεργειακής διαμόρφωσης για να προσδιορίσουν την «ανώμαλη» κατανάλωση.

**Διαχείριση** Ο όρος διαχείριση αναφέρεται σε αυτόματες ή χειροκίνητες λειτουργίες με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται και αναλύονται. Τα συστήματα ελέγχου κτιρίων μπορούν να ανταποκριθούν πολύ καλά σε αυτό. Η απεικόνιση των ενεργειακών καταναλώσεων σε πραγματικό χρόνο βοηθάει την κατανόηση των χρηστών στο ενεργειακό αντίκτυπο της κάθε τους πράξης.

**Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης (EnMS)** Με τον όρο Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης (Energy Management System – EnMS) νοείται κάθε σύστημα που στοχεύει στην αποτελεσματική και αποδοτική χρήση της ενέργειας. Στόχος τους είναι η μεγιστοποίηση της μείωσης του ενεργειακού κόστους με ταυτόχρονη μείωση των διαχειριστικών εξόδων σε κάθε επίπεδο καθώς και η ενίσχυση των ανταγωνιστικών θέσεων μιας επιχείρησης/οργανισμού.

Η εφαρμογή ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης προκαλεί σημαντικά οφέλη, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι τα παρακάτω:

- ▲ Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.
- ▲ Η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και η βελτίωση της ποιότητας του αέρα.
- ▲ Η κατανόηση μιας ορθής και διαφανούς επικοινωνίας σε θέματα ενέργειας εντός της επιχείρησης/οργανισμού.
- ▲ Η ανάπτυξη και διατήρηση πρωτίστως ενός αποδοτικού συστήματος παρακολούθησης και καταγραφής των ενεργειακών ροών και εν συνεχεία ενός πλάνου διοίκησης με στόχο την ορθή χρήση της ενέργειας.
- ▲ Η ανεύρεση νέων και καλύτερων πρακτικών για αύξηση των εσόδων μέσω ενεργειακών επενδύσεων.
- ▲ Η επιμόρφωση μέσω της συμμετοχής όλων των εργαζομένων σε ένα δομημένο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης.
- ▲ Η διαμόρφωση κοινωνικής εταιρικής ευθύνης.

Τον Ιούνιο του 2011 ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) συμπεριέλαβε στην οικογένεια του το πρότυπο της ενεργειακής διαχείρισης ISO 50001:2011 όπου θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για τη δημιουργία ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης.

Σκοπός του συγκεκριμένου Διεθνές προτύπου, σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε για τη δομή κάθε συστήματος ενεργειακής διαχείρισης, είναι να βοηθήσει τους οργανισμούς να καθιερώνουν τα απαραίτητα συστήματα και λειτουργίες για τη βελτίωση της ενεργειακής τους

επίδοσης, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής απόδοσης, χρήσης και κατανάλωσης.

Το συγκεκριμένο πρότυπο δύναται να εφαρμοστεί σε κάθε οργανισμό ανεξαρτήτως τύπου ή μεγέθους ή των γεωγραφικών, πολιτιστικών και κοινωνικών συνθηκών λειτουργίας. Μέσω του (ISO 50001, 2011) καθορίζονται οι απαιτήσεις που πρέπει να τεθούν για το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης (EnMS) ενός οργανισμού ή επιχείρησης προκειμένου να αναπτύξει και να εφαρμόσει την ενεργειακή πολιτική του, να θέσει τους ενεργειακούς σκοπούς, τους στόχους και τα προγράμματα δράσης του, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τις θεσμικές απαιτήσεις και τα δεδομένα που αφορούν τις σημαντικές χρήσεις ενέργειας στην επιχείρηση/οργανισμό.

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο οι πρώτες βάσεις για τη διάδοση των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης τίθενται με την οδηγία 2006/32/EC, η οποία ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία μέσω του Ν.3885/2010. Ως απόρροια του ανωτέρου νόμου εκδόθηκε η ΚΥΑ Α6/Β/ 14826/2008 όπου, μεταξύ άλλων, υποχρεώνει όλα τα κτίρια του δημοσίου και ευρύτερου δημοσίου φορέα να ορίσουν «ενεργειακούς υπεύθυνους», οι οποίοι είναι αρμόδιοι για την καταγραφή και παρακολούθηση των ενεργειακών καταναλώσεων του κάθε κτιρίου, την τήρηση συγκεκριμένου αρχείου καταναλώσεων, την παρακολούθηση των προγραμμάτων συντήρησης και την παροχή οικονομικά βέλτιστων συμβουλών με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.

Στην ουσία, κάθε δημόσιο κτίριο υποχρεούται να ακολουθήσει ένα απλουστευμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας μέσω της καθοδήγησης του ενεργειακού υπεύθυνου. Επίσης, στο πλαίσιο της εφαρμογής του ν. 3855/2010 εκδόθηκε η ΚΥΑ Δ6/Β/οικ.11038/1999 που καθορίζει τις βασικές αρχές και απαιτήσεις για τη διεξαγωγή ενεργειακών ελέγχων. Το 2012 η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω της οδηγίας για την ενεργειακή αποδοτικότητα 27/2012/EU, αυξάνει τις απαιτήσεις για την εφαρμογή των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας. Τονίζεται η υποχρέωση των δήμων να θέσουν σχέδια δράσης για τη βιώσιμη ενέργεια, τα οποία οφείλουν να συνδυάζονται με την εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης ενέργειας.

Επίσης, επιβάλλεται, σε όλες τις μεγάλες επιχειρήσεις να υποβάλλονται σε ενεργειακούς ελέγχους, ενώ συνιστά την εφαρμογή σχεδίων από τα κράτη μέλη για την προτροπή και των μικρομεσαίων επιχειρήσεων να ακολουθήσουν το ίδιο παράδειγμα. Τέλος στη συγκεκριμένη οδηγία περιγράφονται και τα ελάχιστα κριτήρια που πρέπει να πληροί ένας ενεργειακός έλεγχος, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που εφαρμόζονται ως μέρος συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης.

Υπόδειγμα ενσωμάτωσης της συγκεκριμένης οδηγίας αποτελεί το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου τον Ιούνιο του 2014 εφάρμοσε το “Energy Saving Opportunities Scheme” (ESOS). Το ESOS αποτελεί ένα υποχρεωτικό σχήμα επαναλαμβανόμενων ενεργειακών ελέγχων των μεγάλων επιχειρήσεων στην Αγγλία κάθε 4 χρόνια.



Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί ότι στις προδιαγραφές που τίθενται, ένας από τους τρόπους για να εναρμονιστεί μια επιχείρηση με το συγκεκριμένο σχήμα είναι η εφαρμογή του ISO 50001:2011.

### ΙΙΙ.2.3 Διαχείριση & εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα

#### Ευρωπαϊκές και Εθνικές Νομοθεσίες

Σήμερα, ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο (EC, 2012b). Η κατανάλωση αυτή διακρίνεται είτε σε ηλεκτρική, είτε σε θερμική ενέργεια (κυρίως πετρέλαιο και φυσικό αέριο) και ευθύνεται για την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με εκπομπές CO<sub>2</sub>. Για το σκοπό αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει μια σειρά Οδηγιών (2012/27/ΕΕ, 31/2010/ΕΕ και 2002/91/ΕΚ) προωθώντας κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (EC 2012b, 2010c, 2002).

Προκειμένου να εναρμονιστεί με τις ευρωπαϊκές οδηγίες και δεσμεύσεις, η Ελλάδα έχει ενσωματώσει στην ελληνική νομοθεσία τους Νόμους 3661/2008 και 4122/2013 (Ελληνικό Δίκαιο, 2013, 2008). Επιπλέον, από το 2010 η Ελλάδα έχει θέσει σε εφαρμογή τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) (Dascalaki et al., 2012).

Ο ΚΕΝΑΚ θέτει τις βάσεις για μία κοινή μεθοδολογία αξιολόγησης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, χρησιμοποιώντας δεδομένα που αφορούν στο σχεδιασμό του κτιρίου, στο κτιριακό κέλυφος και στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις («asset rating»). Ουσιαστικά, με τον ΚΕΝΑΚ πραγματοποιείται η ενεργειακή προσομοίωση των κτιρίων και η κατηγοριοποίησή τους σε ενεργειακές κλάσεις.

Το ερώτημα όμως που τίθεται πλέον, είναι πώς ακριβώς αξιολογείται ένα κτίριο σήμερα με βάση τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του και την πραγματική τελική κατανάλωση ενέργειας (“operational rating”);

Υπάρχουν Νόμοι και Υπ. Αποφάσεις, που προσδιορίζουν τα εργαλεία για την αποτύπωση των συνθηκών λειτουργίας και για τη μείωση της πραγματικής κατανάλωσης στους μεγάλους καταναλωτές, τα μεγάλα δημόσια κτήρια και τον τριτογενή τομέα.

Ένα τέτοιο εργαλείο είναι οι ενεργειακοί έλεγχοι κατά την τελική χρήση που είναι ήδη σε εφαρμογή από το 1999 (EN16247 – ΦΕΚ1526/1999). Επιπλέον, ο ρόλος του Ενεργειακού Υπεύθυνου με συγκεκριμένα καθήκοντα σε δημόσιες τεχνικές υπηρεσίες προδιαγράφεται ήδη από το 2008 (ΚΥΑ 1122/2008). Σύμφωνα με το Νόμο 3855/2010 ορίζεται επίσης, η σταδιακή εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης σε όλους τους οργανισμούς του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, ώστε να επιτυγχάνεται συστηματική και συνεχής βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Οι αρχές, απαιτήσεις και κατευθυντήριες οδηγίες του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης καθορίζονται βάσει αντίστοιχου Προτύπου (EN 16001).

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2012/27/ΕΕ περιλαμβάνει ακόμα πιο φιλόδοξες δράσεις. Μεταξύ άλλων σημειώνονται τα ακόλουθα:

- ▲ Η ποσότητα νέων εξοικονομήσεων ενέργειας που πραγματοποιείται ετησίως από την 1η Ιανουαρίου 2014 έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020 θα πρέπει να ισοδυναμεί τουλάχιστον με το 1,5% των κατ' όγκο ετήσιων πωλήσεων ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές όλων των διανομέων ενέργειας είτε όλων των επιχειρήσεων λιανικής πώλησης ενέργειας, του μέσου όρου των τριών (3) τελευταίων ετών πριν από την 1η Ιανουαρίου 2013.
- ▲ Από την 1η Ιανουαρίου 2014, το 3% του συνολικού εμβαδού δαπέδου θερμαινόμενων ή / και ψυχόμενων κτιρίων που είναι ιδιόκτητα και καταλαμβανόμενα από την κεντρική δημόσια διοίκησή τους, ανακαινίζεται κάθε χρόνο προκειμένου να εκπληρωθούν τουλάχιστον οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που έχουν τεθεί κατ' εφαρμογή του άρθρου 4 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ.

Το θεσμικό πλαίσιο και οι φιλόδοξοι στόχοι, λοιπόν, υπάρχουν. Παράλληλα, συνεχώς διατυπώνεται η ανάγκη επίτευξης πραγματικής εξοικονόμησης ενέργειας στην τελική χρήση στον κτιριακό τομέα, καθώς μπορεί να συμβάλει στον εξορθολογισμό του λειτουργικού κόστους (ιδιαίτερα στους μεγάλους καταναλωτές του τριτογενούς τομέα).

Οι Μηχανικοί που δραστηριοποιούνται στον χώρο χρειάζονται σύγχρονα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ), που να επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών, μέσα από έξυπνες Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), έτσι ώστε να τους υποβοηθούν στην προσπάθειά τους για ενεργειακή διαχείριση. Η σύγκλιση των ΤΠΕ και της ενέργειας είναι το «κλειδί» για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων ΣΥΑ ενεργειακής διαχείρισης (Doukas et al., 2016). Αυτό απεικονίζεται και στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2. Ολοκληρωμένη Προσέγγιση (Doukas et al., 2016)

Μεθοδολογίες για τη διαχείριση & εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια

Οι Piette et al. (1998, 2000), ανέπτυξαν ένα εργαλείο διαχείρισης ενέργειας κτιρίων, ιδιαίτερος εφαρμόσιμο σε εμπορικά κτίρια και γραφεία εταιρειών. Τα δεδομένα που συλλέγονται αφορούν την ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Δεδομένα συλλέγονται επίσης κατόπιν συνέντευξης για τη χρήση του κτιρίου. Το εργαλείο αυτό αποτελεί ένα

πρωτότυπο πληροφοριακό σύστημα εποπτείας και διάγνωσης που επιτρέπει στους χρήστες τον πιο αποτελεσματικό έλεγχο.

Οι Priyadarsini et al. (2009), προτείνουν ένα σύστημα στο οποίο εισάγονται δεδομένα, όπως έτος κατασκευής, χρήση, εμβαδό ορόφων, ενεργειακή αναβάθμιση και αριθμός χρηστών, καθώς και στοιχεία κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων από τιμολόγια. Το εργαλείο αυτό εφαρμόζεται σε συγκρότημα κτιρίων, ξενοδοχεία, και συσχετίζει την κατανάλωση ενέργειας με την επιφάνεια και την εξωτερική θερμοκρασία.

Οι Figueiredo και Sá da Costa (2012), προτείνουν ένα εργαλείο για τη βελτίωση των προτιμήσεων των χρηστών του κτιρίου και για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για να εφαρμοστεί σε επίπεδο αίθουσας κτιρίου και τα δεδομένα που εισάγονται αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αιθουσών του κτιρίου και οι ιδιότητες των δομικών υλικών (π.χ. τοίχοι). Επίσης, συλλέγονται δεδομένα, όπως θερμότητα, επίπεδα φωτισμού του εσωτερικού χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας, εσωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασία γειτονικής αίθουσας.

Οι Klein et al. (2012), πρότειναν ένα εργαλείο ενεργειακής διαχείρισης ορόφου για κτίρια Πανεπιστημίων και γραφεία εταιρειών. Στο σύστημα εισάγονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αιθουσών, δομικά χαρακτηριστικά (π.χ. τοίχοι), συμπεριφορά χρηστών και συλλέγονται δεδομένα για τη θέρμανση, τον εξαερισμό, τον κλιματισμό (HVAC), τον φωτισμό, τα φορτία των ηλεκτρικών συσκευών και η θερμοκρασία του χώρου και του περιβάλλοντος. Η χρήση του συστήματος που προτείνεται μπορεί να επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι Kanousian et al. (2013), προτείνουν ένα εργαλείο το οποίο επεξεργάζεται διάφορα δεδομένα για την εξαγωγή στατιστικών και συμπερασμάτων. Συλλέγονται δεδομένα για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και την εξωτερική θερμοκρασία και επίσης, εισάγονται στο σύστημα δεδομένα για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, δημογραφικά χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά των χρηστών. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για τη μελέτη πραγματικής περίπτωσης αφορούσαν 1628 κτίρια, ενώ τα δεδομένα είναι διαθέσιμα για έναν χρόνο με χρονικό διάστημα 10 λεπτών.

Οι Braga et al. (2013), προτείνουν ένα πολυεπίπεδο μοντέλο για την εκτίμηση στατιστικών προφίλ ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται εδώ είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και η εβδομαδιαία κίνηση των χρηστών στο κτίριο. Το προτεινόμενο εργαλείο προτάθηκε και εφαρμόστηκε για σχολικά κτίρια.

Οι Trejo-Perea et al. (2013), ανέπτυξαν μια μέθοδο για την αξιοποίηση των διαθέσιμων πληροφοριών για την πρόταση αλλαγών που θα συμβάλλουν σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Τα δεδομένα που

εισάγονται είναι η κατανάλωση ενέργειας και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

Οι O'Donnell et al. (2013), ανέπτυξαν ένα εργαλείο, με το οποίο οι διαχειριστές των κτιρίων μπορούν να έχουν αξιόπιστες πληροφορίες, τις οποίες μπορούν να μοιραστούν με τους υπόλοιπους ενδιαφερόμενους-χρήστες του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να λαμβάνονται αποφάσεις σε σύντομα και τακτά χρονικά διαστήματα για την καλύτερη ενεργειακή διαχείριση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται από το σύστημα συλλέγονται από μετρητές για την ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμότητα και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Οι Kang et al. (2014), έχουν αναπτύξει ένα καινοτόμο εργαλείο που χρησιμοποιεί δεδομένα πρόβλεψης της ζήτησης, του ανέμου, της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και της τιμής της ενέργειας, για τον μακροπρόθεσμο (1 έως 15 μέρες) χρονοπρογραμματισμό της ροής ενέργειας μεταξύ των επιμέρους στοιχείων του κτιρίου. Στο προτεινόμενο εργαλείο πραγματοποιείται επίσης έλεγχος σε πραγματικό χρόνο και ανατροφοδότηση των μετρούμενων μεταβλητών.

Οι Missaoui et al. (2014), προτείνουν ένα εργαλείο για την ανάλυση της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος διαχείρισης της ενέργειας κτιρίου που βασίζεται σε ένα γενικό μοντέλο πρόβλεψης. Το προτεινόμενο εργαλείο βελτιστοποιεί το συμβιβασμό μεταξύ της άνεσης των χρηστών του κτιρίου και του ενεργειακού κόστους λαμβάνοντας υπόψη τις επιθυμίες των χρηστών και φυσικούς περιορισμούς όπως η τιμή της ενέργειας και περιορισμοί ισχύος. Το προτεινόμενο εργαλείο εφαρμόζεται σε επίπεδο οικιακού κτιρίου για τη διαχείριση ηλεκτρικών συσκευών.

### ΙΙΙ.2.4 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ)

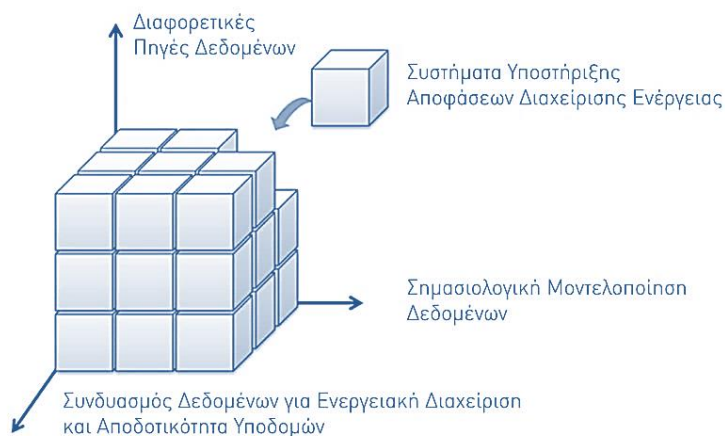
Η εξέλιξη των ΣΥΑ διαχείρισης ενέργειας επηρεάζεται σημαντικά από την τεχνολογική πρόοδο στον τομέα των ΤΠΕ. Λιγότερο περίπλοκα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, λειτουργώντας κυρίως ως συστήματα ελέγχου, ενώ ο βαθμός εξάρτησης από τον ανθρώπινο παράγοντα ήταν πολύ υψηλός (Askounis & Psarras, 1998). Τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη των ΤΠΕ, ευφυή μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων, στοχεύοντας στη διατήρηση των συνθηκών άνεσης και στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας (Doukas et al., 2007; Marinakis et al., 2013). Η γενική τους φιλοσοφία βασίζεται στις αρχές των συστημάτων “Building Energy Management Systems (BEMS)”.

Τα ΣΥΑ είναι ένα επίπεδο πάνω από τα “BEMS”, καθώς στόχο έχουν να αξιοποιήσουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τους καταγραφείς και τους ενεργοποιητές των επιμέρους συστημάτων για να κατευθύνουν τον ενεργειακό διαχειριστή στην ανάπτυξη βραχυπρόθεσμων σχεδίων δράσης. Αυτό προσδίδει και την ευφυΐα στα συστήματα αυτά, από τη στιγμή που δίνουν τη δυνατότητα στον διαχειριστή να αξιοποιήσει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να εξισορροπήσουν αναλόγως τις

συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος εξασφαλίζοντας αδιαλείπτως θερμική άνεση και εξοικονόμηση ενέργειας (Doukas et al., 2016).

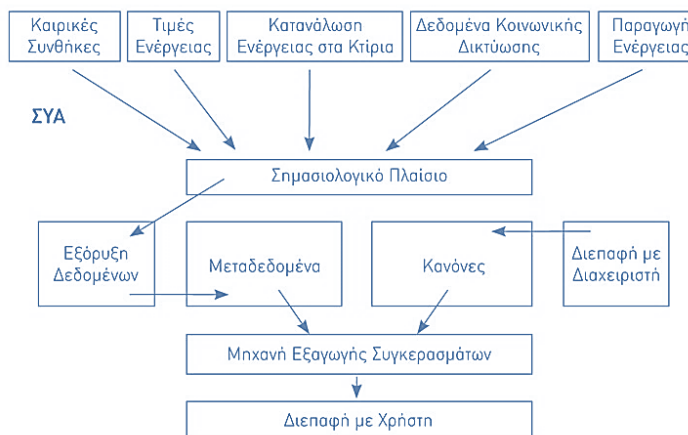
Πιο συγκεκριμένα, η καινοτομία τους (Σχήμα. 3.3.) έγκειται στη δυνατότητα τους να (OPTIMUS, 2016):

- ▲ Συλλέγουν πολυδιάστατα δεδομένα, όπως καιρικών συνθηκών, ενεργειακών προφίλ των υπό εξέταση κτιρίων (από τα “BEMS”), τιμών ενέργειας, δεδομένων παραγωγής ενέργειας (από ανανεώσιμες), ακόμα και δεδομένων από μέσα κοινωνικής δικτύωσης.
- ▲ Οργανώνουν τα δεδομένα αυτά μέσω της χρήσης σημασιολογικών τεχνολογιών (“semantic technologies”)
- ▲ Ενσωματώνουν ευφρείς κανόνες για να προτείνουν σχέδια ενεργειακής βελτιστοποίησης.



Σχήμα 3.3. Ρόλος ΣΥΑ (Doukas et al., 2016)

Στο πλαίσιο αυτό, ολοκληρωμένες πλατφόρμες μπορούν να αναπτυχθούν, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του διαδικτύου, που βασίζονται σε αυτές τις τρεις (3) συνιστώσες, όπως φαίνονται και στο ακόλουθο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4. Αρχιτεκτονική (Doukas et al., 2016)

### ΙΙΙ.2.5 Υφιστάμενες Μεθοδολογίες και Εργαλεία

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται επισκόπηση των σημαντικότερων μεθοδολογιών και των εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για τη διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας στις πόλεις. Σε κάθε μεθοδολογία και εργαλείο υπάρχει η γενική περιγραφή και αξιολόγησή τους.

#### «Attune™ Advisory Services»

##### Γενική Περιγραφή

Οι Συμβουλευτικές Υπηρεσίες «Attune™» είναι μια πλήρης σουίτα υπηρεσιών διαχείρισης κτιρίου. Έχει σχεδιαστεί για την ενεργειακή και λειτουργική παρακολούθηση της αποδοτικότητας των κτιριακών εγκαταστάσεων.

Περιλαμβάνει υποστήριξη από το παγκόσμιο δίκτυο εμπειρογνομώνων ενέργειας αυτοματισμού και προσφέρει ανάλυση των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για να επιτύχει τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής εξοικονόμησης (Attune™ Advisory Services, 2012).

Το λογισμικό προσφέρει τα εξής τρία επίπεδα υπηρεσίας:

- ▲ Ενημέρωση,
- ▲ Βελτίωση,
- ▲ Βελτιστοποίηση.

##### Αξιολόγηση

#### Πίνακας 3.1. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («Attune™ Advisory Services»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Συλλογή ενεργειακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο,</li> <li>▲ Επεξεργασία δεδομένων και πρόταση δράσεων για ενεργειακή βελτίωση,</li> <li>▲ Διαδικτυακό σύστημα παρακολούθησης και αντιμετώπισης προβλημάτων που ελέγχει σε 24-ωρη βάση το σύστημα διαχείρισης του κτιρίου.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εμπορική εφαρμογή,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν αφορά στο επίπεδο πόλης, αλλά αφορά μόνο σε μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις.</li> </ul>

#### «BELIEF»

##### Γενική Περιγραφή

Το «BELIEF» υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «Intelligent Energy Europe». Το 2008 δημοσιεύθηκε ένας οδηγός, με τίτλο «Involve Stakeholders and Citizens in your Local Energy Policy, Turn Over a New LIEF», περιλαμβάνοντας μία μεθοδολογία για την προετοιμασία και υλοποίηση ενός Σχεδίου Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια στις πόλεις (Energie-Cites, 2008).

Οι δυνατότητες που προσφέρει το μεθοδολογικό πλαίσιο είναι οι εξής:

- ▲ Αναγνώριση υπάρχουσας κατάστασης,

- ▲ Ορισμός στόχων και ανάλυση της υπάρχουσας στοχοθεσίας,
- ▲ Υλοποίηση ενός επενδυτικού σχεδίου,
- ▲ Παρακολούθηση επιτυχούς υλοποίησης της διαδικασίας.

**Αξιολόγηση****Πίνακας 3.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («BELIEF»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Ευρύ φάσμα παραδειγμάτων, με δυνατότητα εφαρμογής σε άλλους δήμους και επαρκής επικοινωνία.</li> <li>▲ Στοχευμένη προσέγγιση στον τρόπο απόκτησης στήριξης από τους τοπικούς φορείς.</li> <li>▲ Έμφαση στην επικοινωνία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών και διάδοση των αποτελεσμάτων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Έλλειψη τρόπων συλλογής και παρακολούθησης των δεδομένων.</li> <li>▲ Μη αποδοτική ανάπτυξη σημαντικών πτυχών του σχεδίου δράσης, όπως η διαχείριση οικονομικών θεμάτων και η διαχείριση έργων,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**«Energy Manager»****Γενική Περιγραφή**

Το «Energy Manager» της ABB είναι ένα λογισμικό διαχείρισης ενέργειας που απευθύνεται στις βιομηχανίες και γενικότερα σε μεγάλες & ενεργοβόρες εγκαταστάσεις (ABB, 2017a, 2017b).

Συνοπτικά, οι δυνατότητες που προσφέρει το λογισμικό είναι οι εξής:

- ▲ Αναλύει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από τα συστήματα παρακολούθησης και συνδυάζει τις διαθέσιμες πληροφορίες από τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας,
- ▲ Υποστηρίζει τους ενεργειακούς υπευθύνους όλων των κλάδων στην παρακολούθηση των δεδομένων, στη διαχείρισή και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης των εγκαταστάσεων προς όφελος της μέγιστης αποδοτικότητας και εξοικονόμησης,
- ▲ Παράγει σχέδια ενεργειακής ζήτησης με μεγάλη ακρίβεια για τη βελτίωση του σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης στην παροχή ενέργειας,
- ▲ Σχεδιάζει με ακρίβεια τις ενεργειακές απαιτήσεις παρέχοντας σημαντικά οικονομικά οφέλη,
- ▲ Περιλαμβάνει εργαλεία ανάλυσης και αξιολόγησης δεδομένων από όλες τις διαδικασίες και εντοπίζει τους τομείς προς βελτίωση,
- ▲ Υποδεικνύει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και παρέχει υποστήριξη για να προγραμματιστεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τις ώρες εκτός αιχμής,
- ▲ Είναι πλήρως επεκτάσιμο, λόγο της αρθρωτής (modular) αρχιτεκτονικής. Μπορεί να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει επιπλέον εγκαταστάσεις .

**Πίνακας 3.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («Energy Manager»)****Αξιολόγηση**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
---------------	---------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Συλλογή ενεργειακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο,</li> <li>▲ Επεξεργασία δεδομένων και πρόταση δράσεων για ενεργειακή βελτίωση,</li> <li>▲ Συνδυάζει τις διαθέσιμες πληροφορίες από τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας</li> <li>▲ Είναι πλήρως επεκτάσιμο και προσαρμόσιμο στις εκάστοτε ανάγκες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εμπορική και ακριβή εφαρμογή,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν αφορά στο επίπεδο πόλης, αλλά αφορά μόνο σε μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις.</li> </ul>
--	---

### «Enterprise Buildings Integrator (EBI)»

#### Γενική Περιγραφή

Το εργαλείο «Enterprise Building Integrator (EBI)» της Honeywell είναι ένα διαδικτυακό λογισμικό που βασίζεται στα ευφυή συστήματα αυτοματισμού των κτιρίων. Το σημαντικότερο στοιχείο της πλατφόρμας είναι ότι ενσωματώνει τα υπάρχοντα κτιριακά συστήματα και τη βελτιστοποιεί την ενεργειακή απόδοση.

Το εργαλείο «EBI» ενσωματώνει τα παρακάτω εργαλεία:

- ▲ Building Manager: Αλληλοεπιδρά με τις πιο σύγχρονες λύσεις συστημάτων για να παρέχει παρακολούθηση και έλεγχο των συστημάτων θέρμανσης ψύξης και αερισμού (HVAC), φωτισμού κλπ,
- ▲ Energy Manager: Συλλέγει, αναλύει και επεξεργάζεται τα δεδομένα με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, το κόστος και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε ολόκληρη την εγκατάσταση, Επίσης, παρακολουθεί και βελτιστοποιεί τη χρήση της ενέργειας προς όφελος του περιβάλλοντος και της εξοικονόμησης των χρήματων,
- ▲ Security Manager: Είναι υπεύθυνο για την προστασία των δεδομένων και των εγκαταστάσεων μέσω της παρακολούθησης της ασφάλειας, και τον έλεγχο πρόσβασης των συσκευών παρακολούθησης (Building solutions, 2017).

#### Αξιολόγηση

Πίνακας 3.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («EBI»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Συλλογή Ενεργειακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο,</li> <li>▲ Επεξεργασία δεδομένων και πρόταση δράσεων για ενεργειακή βελτίωση,</li> <li>▲ Συνδυάζει τις διαθέσιμες πληροφορίες από τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας,</li> <li>▲ Είναι πλήρως επεκτάσιμο και προσαρμόσιμο στις εκάστοτε ανάγκες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εμπορική εφαρμογή,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν αφορά στο επίπεδο πόλης, αλλά αφορά μόνο σε μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις.</li> </ul>

### «LEAP-Long-range Energy Alternatives Planning System»

#### Γενική Περιγραφή

Το «LEAP» είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο μοντελοποίησης ενέργειας & περιβάλλοντος. Βασίζεται σε σενάρια που είναι δυνατό να



χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της κατανάλωσης και της παραγωγής της ενέργειας, δίνοντας στους ενεργειακούς υπευθύνους ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών επιλογών. Το «LEAP» δίνει επίσης τη δυνατότητα στους χρήστες να δημιουργήσουν μοντέλα βελτιστοποίησης της ενέργειας με οικονομοτεχνική αξιολόγηση (Energy community, 2016).

#### Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.5. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («LEAP»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δημιουργία μοντέλων βελτιστοποίησης,</li> <li>▲ Οικονομοτεχνική ανάλυση των προτεινόμενων δράσεων,</li> <li>▲ Ενσωματωμένη βάση δεδομένων που περιέχει κόστη, απόδοσης και εκπομπών αέριων ρύπων για πάνω από 1000 ενεργειακές τεχνολογίες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εμπορική εφαρμογή,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν αφορά στο επίπεδο πόλης, αλλά αφορά μόνο κτηριακές εγκαταστάσεις.</li> </ul>

#### **«MODEST - Model for Optimisation of Dynamic Energy Systems with Time»**

#### Γενική Περιγραφή

Το «MODEST» είναι ένα μοντέλο που βασίζεται στο γραμμικό προγραμματισμό και χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων.

Το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης δίνει τον πιο οικονομικά αποδοτικό συνδυασμό του εξοπλισμού και των καυσίμων για όλη τη χρονιά για να ικανοποιηθεί η ενεργειακή ζήτηση. Το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε σύστημα ενέργειας που είναι δυνατό να περιγραφεί από γραμμικές σχέσεις. Περιέχει ακόμα και ένα μοντέλο ενεργειακού συστήματος που αποτελείτε από κόμβους και ροές ενέργειας. Το μοντέλο περιγράφει το σύνολο των συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των εργοστασίων CHP, των συστημάτων μετατροπής, της προμήθειας καυσίμων, της ενεργειακής ζήτησης και των πωλήσεων (Henning, 1997).

**Πίνακας 3.6. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («MODEST»)**

#### Αξιολόγηση

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δημιουργία μοντέλων βελτιστοποίησης με γραμμικό προγραμματισμό,</li> <li>▲ Ενσωματωμένο ενεργειακό μοντέλο με μεγάλη βάση δεδομένων συστημάτων,</li> <li>▲ Χρησιμοποιείται ήδη σε πόλεις.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εμπορική εφαρμογή,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν αφορά στο επίπεδο πόλης, αλλά αφορά μόνο κτηριακές εγκαταστάσεις.</li> </ul>
<b>«European Energy Award»</b>	

**Γενική Περιγραφή** Το «European Energy Award» είναι ένα εξειδικευμένο εργαλείο για την καθοδήγηση και τον έλεγχο της ενεργειακής πολιτικής σε τοπικό επίπεδο, προκειμένου να αναθεωρηθούν συστηματικά όλες οι δραστηριότητες, σχετιζόμενες με τον ενεργειακό κλάδο.

Παρέχει υποστήριξη στις κοινότητες που επιθυμούν να ακολουθήσουν μία βιώσιμη ενεργειακή πολιτική και αστική ανάπτυξη, μέσω της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας και της αυξημένης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Για το σκοπό αυτό, το συγκεκριμένο εργαλείο παρέχει μία μεθοδολογία 6 φάσεων, με στόχο να βελτιώσουν οι κοινότητες την επίδοση των ενεργειακά σχετιζόμενων λειτουργιών τους (European Energy Award, 2007):

- ▲ Καθορισμός μακροπρόθεσμων στόχων και σχηματισμός ενεργειακής ομάδας,
- ▲ Αρχική ενεργειακή έκθεση με συλλογή πληροφοριών και προετοιμασία αρχικής ενεργειακής έκθεσης και ισοζυγίου εκπομπών CO<sub>2</sub>,
- ▲ Καθορισμός μεσοπρόθεσμων στόχων και προετοιμασία του ετήσιου ενεργειακού σχεδίου,
- ▲ Εκτέλεση των μέτρων,
- ▲ Έλεγχος επιτυχίας και προετοιμασία ετήσιας αναφοράς,
- ▲ Πιστοποίηση και εξωτερικός έλεγχος με την ολοκλήρωση του 50% των δράσεων.

#### Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.7. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («European Energy Award»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Υποστήριξη της διαδικασίας από ενεργειακό σύμβουλο,</li> <li>▲ Πλήθος μέτρων,</li> <li>▲ Διαθέσιμα παραδείγματα βέλτιστης πρακτικής,</li> <li>▲ Παροχή τυποποιημένης φόρμας αξιολόγησης.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Κατευθυντήρια εργαλεία και δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα στο ευρύ κοινό,</li> <li>▲ Η συμμετοχή στη διαδικασία περιλαμβάνει πληρωμή ενός αντιτίμου από την κοινότητα.</li> <li>▲ Η διαθεσιμότητα δεδομένων, εργαλείων και βέλτιστων πρακτικών στηρίζεται σημαντικά στη χώρα δραστηριοποίησης και την ομιλούμενη γλώσσα,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

#### «Open Source energy MODELing SYStem (OSeMOSYS)»

**Γενική Περιγραφή** Το ανοιχτού κώδικα σύστημα μοντελοποίησης ενέργειας «OSeMOSYS», είναι ένα απλό και ισχυρό εργαλείο μοντελοποίησης. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη μοντελοποίηση και τη βελτιστοποίηση της ενέργειας. Έχει δημιουργηθεί από το KTH, το Royal Institute of Technology στη Σουηδία και τα SEI, UNIDO, IAEA, και το Κέντρο Ενεργειακής Έρευνας του Ηνωμένου Βασιλείου. Το «OSeMOSYS» παρέχεται ως ένα

απλό αρχείο κειμένου γραμμένο στη γλώσσα «GLPK» και συνεργάζεται με το «LEAP» που περιεγράφηκε νωρίτερα (OSeMOSYS, 2015).

## Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.8. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («OSeMOSYS»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Ανοικτού κώδικα γραμμικός ενεργειακός προγραμματισμός,</li> <li>▲ Δημιουργία μοντέλων βελτιστοποίησης,</li> <li>▲ Συνεργασία με άλλα ενεργειακά συστήματα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Περιορισμένες δυνατότητες,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**«MAKE-IT-BE»**

**Γενική Περιγραφή**

Ο κύριος στόχος του προγράμματος «MAKE-IT-BE» είναι η δημιουργία μιας ευέλικτης και ευκόλως αναπαραγόμενης μεθοδολογίας για την ανάπτυξη της τοπικής πολιτικής και περιφερειακών συνεργασιών στο τομέα της βιοενέργειας, σε συνεργασία με τοπικούς και περιφερειακούς βασικούς παράγοντες και αντίστοιχες τοπικές αρχές. Σε αυτό το πλαίσιο, κατά τη διάρκεια υλοποίησης της δράσης (2008-2011), μία μεθοδολογία δημιουργήθηκε (MAKE-IT-BE, 2011).

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- ▲ Εκτίμηση τρέχουσας ενεργειακής κατάστασης,
- ▲ Υπολογισμός δυνητικών πηγών βιομάζας,
- ▲ Αναγνώριση & Χαρτογράφηση τοπικής αγοράς βιοενέργειας,
- ▲ Αξιολόγηση & Επιλογή Πηγών Βιοενέργειας,
- ▲ Έναρξη και παρακολούθηση πορείας εφαρμογής.

## Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.9. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («MAKE-IT-BE»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Αντιστοίχιση της προσφοράς και ζήτησης βιομάζας σε τοπικό επίπεδο,</li> <li>▲ Χρήση και αξιοποίηση κατάλληλων εργαλείων, όπως η μεθοδολογία πληροφοριακών συστημάτων του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας του Ο.Η.Ε.,</li> <li>▲ Συμμετοχή διαφορετικών εμπλεκόμενων φορέων στη διαδικασία, όπως υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής, ενεργειακοί σύμβουλοι, διαχειριστές, έμποροι, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και τελικοί καταναλωτές,</li> <li>▲ Χρήση ΣΥΑ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Ποικίλα εμπόδια σχετικά με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών δαπανών και κερδών, προερχόμενα από τη ανάπτυξη υποδομών βιοενέργειας.</li> <li>▲ Απουσία κατάλληλων οικονομικών και οργανωτικών μηχανισμών, ακόμα και για περιπτώσεις χαμηλού τζίρου.</li> <li>▲ Είναι προσανατολισμένο κυρίως στη βιοενέργεια και τη χρήση βιομάζας.</li> <li>▲ Αναποτελεσματική ενσωμάτωση του ενεργειακού προγραμματισμού σε τμήματα όπως ο αστικός σχεδιασμός και η διαχείριση της αγροτικής παραγωγής και των υδάτινων πόρων.</li> </ul>

**«MODEL»**

**Γενική Περιγραφή** Το «MODEL» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το πρόγραμμα «Intelligent Energy Europe», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης Τοπικών Κοινοτήτων «Energy Cities». Στοχεύει στη μείωση του ενεργειακού κενού που εντοπίζεται σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης και ευρύτερα, παρέχοντας υποστήριξη σε τοπικές κοινότητες που επιδιώκουν να γίνουν, εθελοντικά, ενεργειακά πρότυπα για τους κατοίκους τους και τις υπόλοιπες κοινότητες. Στο πλαίσιο του έργου MODEL, έχει αναπτυχθεί μία μεθοδολογία, με τίτλο «Common Framework Methodology for Municipal Energy Planning», η οποία έχει υλοποιηθεί σε 43 πιλοτικές πόλεις της Ευρώπης (MODEL, 2008).

**Αξιολόγηση****Πίνακας 3.10. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («MODEL»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Αναλυτική και άρτια δομημένη προσέγγιση,</li> <li>▲ Εκτενής αριθμός από επιτυχημένες εφαρμογές, σε πολυάριθμες Ευρωπαϊκές Κοινότητες,</li> <li>▲ Πλούσιο υλικό για αναζήτηση πόρων σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο,</li> <li>▲ Χρηματοοικονομική ανάλυση,</li> <li>▲ Δυνατότητα αξιολόγησης.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Έλλειψη ανάλυσης σχετικά με παλαιότερες επιτυχημένες εφαρμογές.</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**« REAP - Resources and Energy Analysis Programme »**

Το εργαλείο REAP παρέχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης δεδομένων και σεναρίων και εξειδικεύεται στο οικολογικό αποτύπωμα του άνθρακα και των αερίων του θερμοκηπίου. Καλύπτει επίσης αρκετούς τομείς και συμπεριλαμβάνει τις μεταφορές, τη στέγαση και τον προγραμματισμό.

Το εργαλείο παρέχει, μεταξύ άλλων λειτουργιών, τα ακόλουθα:

- ▲ Αποτύπωμα δεδομένων ανά τομέα παραγωγής,
- ▲ Αποτύπωμα ανά κατηγορία κατανάλωσης των νοικοκυριών,
- ▲ Ένα εργαλείο σύγκρισης δεδομένων σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές,
- ▲ Μία σύνθετη λειτουργία για τη συμμετοχή των τοπικών αρχών,
- ▲ Δημιουργία σεναρίων και ανάλυση τους,
- ▲ Αξιολόγηση σεναρίων και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Οι λειτουργίες για τα προτεινόμενα σενάρια στο REAP επιτρέπουν στις τοπικές αρχές να έχουν γνώση για τον αντίκτυπο της πολιτικής τους στο περιβάλλον βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στη διαμόρφωση των στρατηγικών τους (Sei-international, 2008, 2010).

## Αξιολόγηση

Πίνακας 3.11. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («REAP»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Μοντελοποίηση δεδομένων,</li> <li>▲ Υπολογισμός οικολογικού αποτυπώματος,</li> <li>▲ Προτεινόμενα σενάρια και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

## «MUSEC»

## Γενική Περιγραφή

Η μεθοδολογία «MUSEC» στο πλαίσιο του προγράμματος «Intelligent Energy Europe» υλοποιήθηκε το 2009. Βασικός στόχος της είναι η δημιουργία και υλοποίηση μίας στρατηγικής «Βιώσιμης Ενεργειακής Κοινότητας» σε επτά Ευρωπαϊκές κοινότητες της Ιταλίας, Βουλγαρίας, Γερμανίας, Δανίας και των Κάτω Χωρών (MUSEC, 2007).

Η διαδικασία αποτελείται από τέσσερα (4) στάδια:

1. Έναρξη:
  - ▲ Μακροπρόθεσμη στοχοθεσία από τους ενδιαφερόμενους φορείς,
  - ▲ Δημιουργία βάσης δεδομένων αναφοράς.
2. Ισοζύγιο και Δυνατότητες:
  - ▲ Κατασκευή βάσης αναφοράς,
  - ▲ Ποσοτικοποίηση των δυνητικών βελτιώσεων μέσω μεγάλης κλίμακας έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΕΞΕΝ).
3. Στρατηγική και Στόχοι:
  - ▲ Περιγραφή συγκεκριμένων, μετρήσιμων εφικτών και χρονικά προγραμματισμένων στόχων,
  - ▲ Περιγραφή των πεδίων προτεραιότητας,
  - ▲ Ρύθμιση των δράσεων σύμφωνα με την υπάρχουσα κατάσταση.
4. Έργα:
  - ▲ Βέλτιστες πρακτικές από άλλες κοινότητες,
  - ▲ Οργάνωση έργου με έμφαση στο χρόνο, τη δικτύωση και τους συντελεστές των δράσεων,
  - ▲ Παρακολούθηση.

## Αξιολόγηση

Πίνακας 3.12. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («MUSEC»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Λεπτομερής επεξήγηση των βασικών σταδίων των διαδικασιών,</li> <li>▲ Ο οδηγός προσφέρει λύσεις σε αρκετά προβλήματα των κοινοτήτων και συμβάλλει προς την κατεύθυνση δημιουργίας της δικής τους στρατηγικής,</li> <li>▲ Προτάσεις για βελτιστοποίηση ενέργειας μέσω δράσεων για ΑΠΕ και ΕΞΕΝ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Απουσία επαγγελματικών εργαλείων για παρακολούθηση των αποτελεσμάτων.</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**«SEC Tools»****Γενική Περιγραφή**

Η δράση «Sustainable Energy Communities Tools (SEC Tools)», ενός έργου του προγράμματος «Intelligent Energy Europe», αφορά στην επεξεργασία ενός εργαλείου, «Toolbox», με στόχο να ενθαρρύνει τη βιώσιμη ενεργειακή σκέψη και πρακτική (SEC-Tools, 2008).

Τα κύρια βήματα υλοποίησης του SEC-Toolbox είναι τα ακόλουθα:

- ▲ Αξιολόγηση των δυνατοτήτων,
- ▲ Επιλογή των κατάλληλων λύσεων,
- ▲ Δημιουργία κινήτρων για υλοποίηση των λύσεων,
- ▲ Αναγκαίες δράσεις για την πραγματοποίηση του έργου,
- ▲ Παρακολούθηση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.

**Αξιολόγηση****Πίνακας 3.13. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («SEC Tools»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Επεξεργασία μίας γενικής εργαλειοθήκης με αποδεδειγμένα, άρτια αναλυμένα εργαλεία για ενεργειακά βιώσιμες κοινότητες και αξιοποίηση αυτών σε ευρεία κλίμακα.</li> <li>▲ Ακριβείς δράσεις στους τρεις άξονες των Ενεργειακά Βιώσιμων Κοινοτήτων (τοπικός ενεργειακός προγραμματισμός, ενεργοποίηση της ενεργειακής αγοράς και κινητοποίηση των τελικών χρηστών).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Οι πρακτικές βέλτιστης πολιτικής στηρίζονται σημαντικά στην εκάστοτε χώρα δραστηριοποίησης.</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**«Markal/Times»****Γενική Περιγραφή**

Το «MARKAL (MARket ALlocation)» είναι ένα ενεργειακό περιβαλλοντικό μοντέλο. Αναπτύχθηκε μέσω του Προγράμματος Ενεργειακής Τεχνολογίας και Ανάλυσης Συστημάτων (ETSAP) που ιδρύθηκε από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA). Το MARKAL προσαρμόζεται στα δεδομένα εισόδου και αναπαριστά την εξέλιξη σε μια περίοδο συνήθως 20 με 50 χρόνων ενός συγκεκριμένου ενεργειακού-περιβαλλοντικού συστήματος σε εθνικό, περιφερειακό, ή αστικό επίπεδο. Το «MARKAL» βρίσκει τις καλύτερες ΑΠΕ για κάθε χρονική περίοδο, επιλέγοντας το σύνολο των επιλογών που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος του συστήματος σε όλο το χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού. Το «TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM)» δηλαδή το ολοκληρωμένο σύστημα MARKAL-EFOM στηρίζεται στα καλύτερα χαρακτηριστικά του «MARKAL» και του μοντέλου βελτιστοποίησης ενεργειακής ροής (Energy Flow Optimization Model - EFOM) (PromitheasNet, 2011).

**Αξιολόγηση****Πίνακας 3.14. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («SEC Tools»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Αναπαράσταση όλων των πιθανών ροών ενέργειας,</li> <li>▲ Προσφέρει μοντέλο βελτιστοποίησης της ενεργειακής ροής,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Απευθύνεται κυρίως στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής ροής,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν</li> </ul>

▲ Προτείνει τις καλύτερες ΑΠΕ για χρήση στην ενεργειακή ροή.	συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.
--	---

### «*TERMIS*»

#### Γενική Περιγραφή

«*TERMIS*» είναι μια πλατφόρμα προσομοίωσης ενεργειακού δικτύου για τη βελτίωση του σχεδιασμού και της λειτουργίας του συστήματος. Με τη χρήση απευθείας στοιχείων SCADA, το μοντέλο *TERMIS* μπορεί να λειτουργήσει ως ένα εργαλείο σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- ▲ Βελτίωση της απόδοσης του δικτύου,
- ▲ Πρόβλεψη της ζήτησης,
- ▲ Βελτιωμένος σχεδιασμός.

Το *TERMIS* είναι σε καθημερινή λειτουργία σε περισσότερες από 500 πόλεις σε όλο τον κόσμο, και παρέχει ενέργεια σε περισσότερα από 100 εκατομμύρια νοικοκυριά (Schneider-electric, 2016).

#### Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.15. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («*TERMIS*»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εφαρμογή σε επίπεδο πόλης,</li> <li>▲ Πρόβλεψη της ζήτησης,</li> <li>▲ Ενημέρωση των διαχειριστών σε περίπτωση σφάλματος,</li> <li>▲ Προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εμπορική εφαρμογή,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>
<b>«<i>StruxureWare™</i>»</b>	

#### Γενική Περιγραφή

Το «*StruxureWare™*» είναι ένα διαδικτυακό λογισμικό που παρέχει τη δυνατότητα στους ενεργειακούς διαχειριστές να βελτιστοποιήσουν τη χρήση της ενέργειας και να μειώσουν τα λειτουργικά έξοδα των κτιριακών τους εγκαταστάσεων.

Η Ενεργειακή Λειτουργία (Energy Operation) είναι μια εφαρμογή του *StruxureWare* που προσφέρει δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Αυτό επιτρέπει στους ιθύνοντες να εντοπίσουν τους τομείς που δεν έχουν καλή απόδοση (Forms schneider-electric, 2016).

Οι δυνατότητες που η εφαρμογή παρέχει είναι οι εξής:

- ▲ Πρόσβαση και καλή απεικόνιση των ενεργειακών δεδομένων,
- ▲ Προειδοποίηση σε περίπτωση «λανθάνουσας» κατανάλωσης,
- ▲ Συγκριτική αξιολόγηση και ανάλυση,
- ▲ Υπολογισμός ενεργειακής αποδοτικότητας,
- ▲ Σύγκριση ενεργειακών σεναρίων πριν και μετά την εφαρμογή τους,
- ▲ Οικονομοτεχνική ανάλυση για τα χρήματα που απαιτούνται.

#### Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.16. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («*StruxureWare™*»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
---------------	---------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Μηχανισμός προειδοποίησης σε περίπτωση «ανωμαλίας» ,</li> <li>▲ Αξιολόγηση και ανάλυση των δεδομένων από τους μετρητές,</li> <li>▲ Υπολογισμός ενεργειακής αποδοτικότητας,</li> <li>▲ Προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας,</li> <li>▲ Σύγκριση ενεργειακών σεναρίων πριν και μετά την εφαρμογή τους,</li> <li>▲ Οικονομοτεχνική ανάλυση των δράσεων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Εμπορική εφαρμογή,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>
--	--

### «SEMANTCO»

#### Γενική Περιγραφή

Η ολοκληρωμένη πλατφόρμα «SEMANTCO (Semantic Tools for Carbon Reduction in Urban Planning)» έχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε ενεργειακά δεδομένα των πόλεων που αποθηκεύονται από πολλές πηγές.

Με αυτόν τον τρόπο η πλατφόρμα υποστηρίζει βελτιωμένη ενεργειακή ανάλυση που βασίζεται στην αξιολόγηση των υφιστάμενων δεδομένων και όχι σε εκτιμήσεις.

Σε κάθε ενεργειακό μοντέλο, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να καθορίσουν τους δικούς τους βασικούς δείκτες απόδοσης. Αυτό σε συνδυασμό με την ανοιχτή δομή της πλατφόρμας, προσφέρει τη δυνατότητα να προσαρμόσει τις υπηρεσίες που παρέχει προς τις ανάγκες πολλών πελατών, όπως οι δήμοι και οι αρχές της πόλης, δημόσιες και ιδιωτικές εταιρείες, χρηματοπιστωτικά ιδρύματα (Semanco, 2015).

#### Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.17 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («SEMANTCO»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Απεικόνιση και ανάλυση ενεργειακών δεδομένων,</li> <li>▲ Ανοικτή αρχιτεκτονική λογισμικού,</li> <li>▲ Εισαγωγή δεδομένων και από άλλες εφαρμογές,</li> <li>▲ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο πόλης.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν διαθέτει ΣΥΑ,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

### «CitInES- City and Industry Energy Strategy»

#### Γενική Περιγραφή

Το «CitInES» είναι ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων με στόχο τις βιώσιμες, αξιόπιστες και οικονομικά αποτελεσματικές στρατηγικές ενέργειας σε πόλεις και σε βιομηχανικά συγκροτήματα. Το CitInES ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με τις τοπικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), τη διασύνδεση με τα έξυπνα δίκτυα, καθώς και την αβεβαιότητα των τιμών των καυσίμων. (Page et al., 2013)

Το CitInES περιέχει δύο Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ):



- ▲ Το «Crystal City» που είναι αφιερωμένο στη βοήθεια των τοπικών αρχών για το σχεδιασμό και την παρακολούθηση του ενεργειακού σχεδίου δράσης,
- ▲ το «Crystal Industry» που βελτιστοποιεί την αξία των επενδύσεων και την επιχειρησιακή ευελιξία για πολύπλοκες βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Citines, 2017).

## Αξιολόγηση

Πίνακας 3.18. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («CitInES»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Απεικόνιση και ανάλυση ενεργειακών δεδομένων,</li> <li>▲ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο πόλης.</li> <li>▲ Διαθέτει ΣΥΑ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΤΠΕ,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει ανταλλαγή πληροφοριών.</li> </ul>
<b>«ICT 4 E2B FORUM»</b>	

## Γενική Περιγραφή

Το «ICT 4 E2B FORUM» είναι ένα Ευρωπαϊκό Φόρουμ με στόχο τη διερεύνηση των αναγκών, των προκλήσεων και των ευκαιριών στην ενσωμάτωση των συστημάτων ΤΠΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Ο οδικός χάρτης ολοκληρώθηκε το 2012 και αποτελείται από το Όραμα (Vision), την Ατζέντα Στρατηγικής Έρευνας (Strategic Research Agenda) και παρέχει επίσης προτάσεις και αποτελέσματα της εφαρμογής (Cordis, 2009).

## Αξιολόγηση

Πίνακας 3.19. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («ICT 4 E2B FORUM»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων,</li> <li>▲ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο πόλης,</li> <li>▲ Ανταλλαγή πληροφοριών,</li> <li>▲ Διαθέτει ΤΠΕ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**«IREEN – The ICT Roadmap for Energy-Efficient Neighbourhoods»**

## Γενική Περιγραφή

Το «IREEN» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος του είναι η δημιουργία ένας Χάρτη Πορείας ΤΠΕ για τις Ενεργειακά Αποδοτικές Γειτονιές. Η δράση του Προγράμματος υλοποιείται μέσω της συμμετοχής εμπειρογνομόνων και ενδιαφερόμενων φορέων. Συγκεκριμένα μέσω της συμμετοχής από τους τομείς της ενέργειας, των ΑΠΕ, των ΤΠΕ των κατασκευών, καθώς και των τοπικών και περιφερειακών αρχών (Cordis, 2013).

## Αξιολόγηση

Πίνακας 3.20. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («IREEN»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων και εμπειρογνομώνων,</li> <li>▲ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο πόλης,</li> <li>▲ Ανταλλαγή πληροφοριών,</li> <li>▲ Διαθέτει ΤΠΕ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

### «NiCE – Networking intelligent Cities for Energy Efficiency»

Γενική Περιγραφή

Το «NiCE» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στοιχεί στη δικτύωση των Έξυπνων Πόλεων προς όφελος της ενεργειακής εξοικονόμησης. Μέσω του έργου, υποστηρίζεται και προωθείται η εφαρμογή του Πράσινου Ψηφιακού Χάρτη μέσα από τρεις βασικούς τομείς δράσης:

- ▲ Καταστατικό Πλαίσιο και εργαλεία (Charter Framework and Tools). Ανάπτυξη ενός κοινού πλαισίου εφαρμογής, εργαλείων αναφοράς και πηγών πληροφόρησης για την ταξινόμηση, τη μέτρηση, την υποβολή εκθέσεων και την υποστήριξη των δράσεων της πόλης στο πλαίσιο του Πράσινου Ψηφιακού Χάρτη.
- ▲ Υποστήριξη της Πόλης και Δράση (City Support and Action). Προσφορά μιας σειράς δραστηριοτήτων για υποστήριξη των πόλεων με μια σειρά από στοχευμένες δραστηριότητες ανταλλαγής και μάθησης με τους εμπειρογνώμονες και άλλες πόλεις με σκοπό την ενεργοποίηση της εφαρμογής του Πράσινου Ψηφιακού Χάρτη.
- ▲ Προσέλκυση και εμπλοκή (Outreach and Engagement).

Αξιολόγηση

Πίνακας 3.21. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («NiCE»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων και εμπειρογνομώνων,</li> <li>▲ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο πόλης,</li> <li>▲ Ανταλλαγή πληροφοριών,</li> <li>▲ Διαθέτει ΤΠΕ,</li> <li>▲ Υποστηρίζει την πρωτοβουλία για τον Πράσινο Ψηφιακό Χάρτη (Green Digital Charter) του Δικτύου «EUROCITIES»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη των πολιτικών,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

### «FINSENY - Future Internet for Smart Energy»

Γενική Περιγραφή

Το «FINSENY» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στοιχεί στην ανάπτυξη μελλοντικών διαδικτυακών τεχνολογιών για την υποστήριξη

της Έξυπνης Ενέργειας. Το FINSENY οδήγησε στα ακόλουθα αποτελέσματα:

- ▲ Ανάλυση των σεναρίων, προσδιορισμός των απαιτήσεων,
- ▲ Προσδιορισμός των καταλυτικών γενικών πλατφορμών ΤΠΕ,
- ▲ Επιλεγμένοι καταλυτικοί τομείς,
- ▲ Διεπαγγελματική στρατηγική τυποποίησης (Fi-ppp-finseny, 2011).

Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.22. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («FINSENY»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο πόλης,</li> <li>▲ Διαθέτει ΤΠΕ,</li> <li>▲ Υποστηρίζει την πρωτοβουλία για τον Πράσινο Ψηφιακό Χάρτη (Green Digital Charter) του Δικτύου «EUROCITIES».</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη ανταλλαγής πληροφοριών,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**«EnPROVE - Energy consumption prediction with building usage measurements for software-based decision support»**

Γενική Περιγραφή

Το «EnPROVE» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στοιχείει στην ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων, εφαρμόζοντας διαφορετικά ενεργειακά σενάρια με βάση πραγματικά δεδομένα μετρήσεων απόδοσης και χρήσης από τους μετρητές που είναι τοποθετημένοι στα κτίρια (Cordis, 2010).

Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.23. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («EnPROVE»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε επίπεδο πόλης,</li> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων,</li> <li>▲ Διαθέτει ΤΠΕ,</li> <li>▲ Προτεινόμενες δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη ανταλλαγής πληροφοριών,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη των πολιτικών.</li> </ul>

**« INTENSE – From Estonia till Croatia: Intelligent Energy Saving Measures for Municipal housing in Central and Eastern European Countries»**

Γενική Περιγραφή

Το «INTENSE» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αποσκοπεί στη

μεταφορά ευφυών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας για τη δημοτική στέγαση από «παλαιά» κράτη μέλη της ΕΕ σε «νέα» κράτη μέλη και σε υπό ένταξη χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης.

## Αξιολόγηση

Πίνακας 3.24. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («INTENSE»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων,</li> <li>▲ Προτεινόμενες δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης,</li> <li>▲ Διαθέτει υποστήριξη ανταλλαγής πληροφοριών,</li> <li>▲ Διαθέτει υποστήριξη των πολιτικών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΤΠΕ,</li> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

**«i-SCOPE - Interoperable Smart City services through an Open Platform for urban Ecosystems»**

## Γενική Περιγραφή

Το «i-SCOPE» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Βασίζεται σε τριοδιάστατα μοντέλα πληροφοριών (UIM) (Cordis, 2012).

Μέσω του έργου i-SCOPE υλοποιήθηκε μια ανοιχτή πλατφόρμα λογισμικού που υλοποιεί τρεις (3) υπηρεσίες Έξυπνης Πόλης:

- ▲ Βελτίωση της ένταξης των ηλικιωμένων πολιτών και εξοικείωσής τους με τεχνολογίες ΤΠΕ,
- ▲ Βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω μιας υπηρεσίας ακριβούς εκτίμησης των δυνατοτήτων της χρήσης ηλιακής ενέργειας στον κτιριακό τομέα,
- ▲ Παρακολούθηση του περιβάλλοντος μέσω μιας υπηρεσίας παρακολούθησης περιβαλλοντικών αλλαγών σε πραγματικό χρόνο, και ειδοποίηση των χρηστών μέσω κινητών τηλεφώνων.

## Αξιολόγηση

Πίνακας 3.25. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («i-SCOPE»)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Χρήση ΤΠΕ,</li> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων,</li> <li>▲ Δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα,</li> <li>▲ Ένταξη ηλικιωμένων πολιτών,</li> <li>▲ Παρακολούθηση των περιβαλλοντικών αλλαγών σε πραγματικό χρόνο.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη των πολιτικών,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη ανταλλαγής πληροφοριών.</li> </ul>

**«RESSOL-MEDBUILD – (RESearch Elevation on Integration of SOLar Technologies into MEDiterranean BUILDings)»**

**Γενική Περιγραφή** Το « *RESSOL-MEDBUILD* » είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος του είναι η ενίσχυση της συνεργασίας του Εθνικού Ερευνητικού Κέντρου Ενέργειας – NERC της Ιορδανίας και του Λιβανέζικου Συνδέσμου για την Εξοικονόμηση Ενέργειας και για το Περιβάλλον – ALMEE με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) και το Ινστιτούτο Fraunhofer για Συστήματα Ηλιακής Ενέργειας (ISE) (Eu-jordannet, 2011).

**Αξιολόγηση**

**Πίνακας 3.26. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («RESSOL-MEDBUILD»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Χρήση ΤΠΕ,</li> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Δεν χρησιμοποιεί ΣΥΑ,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη των πολιτικών,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη ανταλλαγής πληροφοριών.</li> </ul>

**«EnRiMa - Energy Efficiency and Risk Management in Public Buildings»**

**Γενική Περιγραφή** Το «*EnRiMa*» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο στόχος του έργου είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα και η διαχείριση του κινδύνου στα δημόσια κτίρια. Το ΣΥΑ ενσωματώνει τις υπάρχουσες ΤΠΕ για τον έλεγχο των ενεργειακών συστημάτων του κάθε κτιρίου. Επίσης, επιτρέπει τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό με στόχο την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας (Cordis, 2014).

**Αξιολόγηση**

**Πίνακας 3.27. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («EnRiMa»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Χρήση ΤΠΕ,</li> <li>▲ Χρήση ΣΥΑ,</li> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Διαθέτει υποστήριξη ανταλλαγής πληροφοριών,</li> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη των πολιτικών.</li> </ul>

**«TRACE - Tool for Rapid Assessment of City Energy»**

**Γενική Περιγραφή** Το «*TRACE*» είναι ένα έργο υποστηριζόμενο από το «Seventh Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)», υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο στόχος του έργου είναι η ταχεία αξιολόγηση της ενέργειας που καταναλώνει η πόλη.

Το εργαλείο αποτελείται από τρεις ενότητες:

- ▲ Ενότητα ενεργειακής αξιολόγησης και σύγκριση δεικτών απόδοσης (KPIs – key performance indicators) μεταξύ των πόλεων,
- ▲ Ενότητα ιεράρχησης τομέα. Η ενότητα αυτή προσδιορίζει τους τομείς που προσφέρουν τις μεγαλύτερες δυνατότητες σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας-κόστους,
- ▲ Ενότητα επιλογής παρέμβασης. Η ενότητα αυτή αποτελείται από προτεινόμενα σενάρια ενεργειακής αποδοτικότητας και βοηθά στην επιλογή των κατάλληλων παρεμβάσεων (Esmar, 2016).

#### Αξιολόγηση

**Πίνακας 3.28. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα («TRACE»)**

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Χρήση ΤΠΕ,</li> <li>▲ Χρήση ΣΥΑ,</li> <li>▲ Σύνδεση με έξυπνα δίκτυα,</li> <li>▲ Προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας,</li> <li>▲ Μεθοδολογία αξιολόγησης δράσεων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων,</li> <li>▲ Δεν διαθέτει υποστήριξη ανταλλαγής πληροφοριών,</li> <li>▲ Οι χρήστες των εγκαταστάσεων δεν συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ενεργειακών δράσεων.</li> </ul>

Με βάση την ανάλυση των υφιστάμενων μεθοδολογιών και εργαλείων παρατηρείται ότι υπάρχουν μεθοδολογίες που δίνουν έμφαση στην ανταλλαγή πληροφοριών και τη συμμετοχή των φορέων, ενώ λίγες χρησιμοποιούν ΣΥΑ και ΤΠΕ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.29.

**Πίνακας 3.29. Σύγκριση υφιστάμενων Μεθοδολογιών & Εργαλείων Διαχείρισης και Εξοικονόμηση ενέργειας**

	ΣΥΑ	ΤΠΕ	Συμμετοχή φορέων	Έξυπνα Δίκτυα	Ανταλλαγή πληροφοριών	Υποστήριξη
Attune™		✓		✓	✓	✓
BELIEF			✓		✓	
Energy Manager		✓	✓	✓		✓
EBI	✓	✓	✓	✓		✓
LEAP		✓			✓	✓
MODEST	✓			✓		✓
European Energy Award	✓	✓	✓		✓	✓
OSeMOSYS		✓	✓		✓	
MAKE-IT-BE	✓		✓		✓	✓
MODEL			✓		✓	✓

REAP		✓				✓
MUSEC		✓	✓			
SEC Tools			✓			
Markal		✓			✓	
TERMIS		✓		✓		✓
StruxureWare™	✓	✓		✓	✓	✓
SEMANTICO		✓		✓		✓
CitInES	✓			✓		✓
ICT 4 E2B		✓	✓	✓	✓	✓
IREEN		✓	✓	✓	✓	✓
NiCE		✓	✓	✓	✓	
FINSENY		✓		✓		✓
EnPROVE		✓	✓	✓		
INTENSE			✓	✓	✓	✓
i-SCOPE		✓		✓		
MEDBUILD		✓		✓		
EnRiMa	✓	✓	✓	✓	✓	
TRACE	✓	✓		✓		✓

### ΙΙΙ.2.6 Αξιολόγηση

**Συμπεράσματα** Μέσα από τη μελέτη και αξιολόγηση αυτών των μεθοδολογιών και εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα προκύπτει ότι οι περισσότερες από αυτές:

- ▲ Δεν αξιολογούν την ενεργειακή απόδοση της πόλης ή των κτιρίων της πριν και μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας,
- ▲ Δεν αξιοποιούν ΣΥΑ και ΤΠΕ,
- ▲ Δεν συνδυάζουν τη Διαχείριση Ενέργειας και την Εξοικονόμηση Ενέργειας,
- ▲ Δεν λαμβάνουν υπόψη τους χρήστες των κτιρίων για τη διαμόρφωση των βελτιωτικών ενεργειακών δράσεων,
- ▲ Δεν υπάρχει ένα ολιστικό πλαίσιο ενεργειακής αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων σε όλους τους τομείς τους και ως εκ τούτου δεν παρέχεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση της ενέργειάς τους.

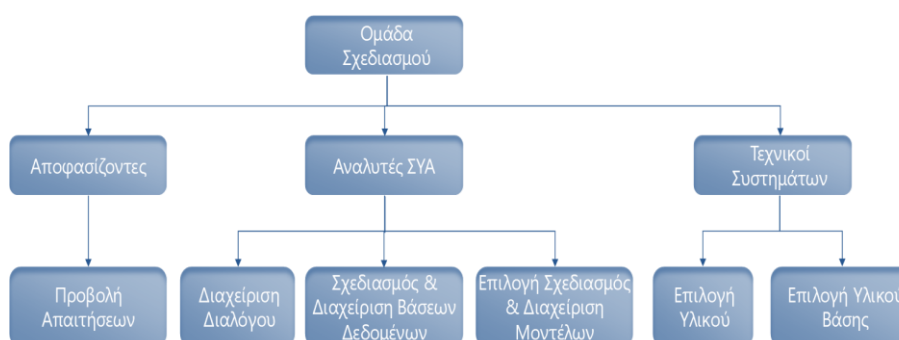
## ΙΙΙ.3 Πολυκριτήρια Ανάλυση

### ΙΙΙ.3.1 Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων

**Θεμελιώδεις Αρχές** Η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας στο επίπεδο της ενεργειακά Έξυπνης Πόλης, αποτελεί ένα πρόβλημα απόφασης. Για να προσεγγιστεί επιστημονικά ένα πρόβλημα απόφασης, η πολυκριτήρια ανάλυση (αγγλ. multicriteria analysis) αποτελεί μονόδρομο. Η λήψη απόφασης γίνεται μέσα από συνεχείς κύκλους μελέτης των δεδομένων, των εναλλακτικών λύσεων ή ακόμη και του ίδιου του αντικειμένου της απόφασης (Σίσκος, 2008).

Η ραγδαία εξέλιξη της πληροφορικής σε συνδυασμό με την αναθεώρηση του τρόπου προσέγγισης των προβλημάτων είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων (αγγλ. decision support systems). Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων είναι αλληλεπιδραστικά συστήματα λογισμικού που αποσκοπούν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών λήψης αποφάσεων σε χώρους προβλημάτων που χαρακτηρίζονται από χαμηλό βαθμό δόμησης.

Η διαμόρφωση και ανάπτυξη ενός συστήματος είναι μια εξελικτική διαδικασία που εκδηλώνεται με μια ανακύκλωση τριών βασικών σταδίων, Σχεδιασμός - Εφαρμογή/Χρήση - Αξιολόγηση (Σίσκος, 2008). Στα πλαίσια ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, ο αποφασίζων υποστηρίζεται από αναλυτικές μεθόδους και μοντέλα για να θέτει στόχους και να ορίζει εναλλακτικά σενάρια, να αναλύει τις επιπτώσεις τους, να αξιολογεί τις εναλλακτικές λύσεις και τελικά να επιλέγει την κατάλληλη λύση που θα εφαρμοσθεί (Σχήμα 3.5).



**Σχήμα 3.5: Σύθεση και Αρμοδιότητες Ομάδας Σχεδιασμού (Σίσκος, 2008)**

**Μέθοδοι** Οι κυριότερες κατηγορίες πολυκριτήριας ανάλυσης είναι οι ακόλουθες τρεις (Σίσκος, 2008):

- ▲ *Συναρτησιακές Μέθοδοι:* Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων συναρτήσεων αξίας ή χρησιμότητας.
- ▲ *Σχεσιακές Μέθοδοι:* Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων σχέσεων υπεροχής. Οι κύριες μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι η ELECTRE ((E)limination



Et Choix Traduisant la REalite)) και η PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations).

- ▲ *Αναλυτικές Μέθοδοι:* Το μοντέλο σύνθεσης των κριτηρίων συμπεραίνεται έμμεσα από δεδομένα ολικής προτίμησης του αποφασίζοντος. Οι κύριες μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι οι μέθοδοι της UTA (Utilités Additives) και MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique).

Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί οι μέθοδοι αναγωγής σε ένα κριτήριο (TOPSIS - Technique For Preference By Similarity To The Ideal Solution, AHP - Analytic Hierarchy Process, MAUT - Multi Attribute Theory), καθώς και μοντέλα αποφάσεων υπό αβεβαιότητα με ένα ή πολλαπλά κριτήρια απόφασης (fuzzy AHP, fuzzy TOPSIS και LOWA - Linguistic Ordered Weighted Averaging).

#### *Αναλυτική - Συνθετική Προσέγγιση*

Τα μοντέλα της πολυκριτηρίας ανάλυσης, στη μεγαλύτερη πλειοψηφία τους, απεικονίζουν μια παραδοσιακή αντίληψη του ορθολογισμού που βασίζεται στις αρχές της γραμμικότητας και της αιτιότητας, δηλαδή στη λογική ότι η απόφαση καθορίζεται από τα κριτήρια (συνθετική προσέγγιση, αγγλ. aggregation approach), όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 3.6. Η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση (αγγλ. aggregation-disaggregation approach), από τη δική της πλευρά, δέχεται ότι η απόφαση και τα κριτήρια επιδέχονται προοδευτική επεξεργασία αλληλοδομούμενα μέσα στο χρόνο, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 3.7 (Jacquet-Lagrèze & Siskos, 1982).



Σχήμα 3.6. Παραδοσιακή Προσέγγιση Προβλημάτων Απόφασης



Σχήμα 3.7. Αναλυτική - Συνθετική Προσέγγιση Προβλημάτων Απόφασης

Η αναλυτική προσέγγιση εστιάζεται στη συσχέτιση των πραγματικών δεδομένων απόφασης και του μοντέλου απόφασης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή συμβατότητα μοντέλου-αποφασίζοντος.

### III.3.2 Εφαρμογές Βασικών Πολυκριτηριακών Μεθόδων

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται σύντομα οι πιο πρόσφατες επιστημονικές εργασίες πολυκριτηρίας ανάλυσης, στο

ευρύτερο συσχετιζόμενο πεδίο της παρούσας διδακτορικής διατριβής (ενεργειακός σχεδιασμός και αιωφόρος ανάπτυξη). Σημειώνεται ότι έμφαση δίνεται στις πιο δημοφιλείς μεθόδους, όπως η AHP, ELECTRE, MAUT, PROMETHEE, TOPSIS, UTA.

### ***AHP - Analytical Hierarchy Process***

**Περιγραφή** Η μέθοδος της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (αγγλ. Analytical Hierarchy Process, AHP) αναπτύχθηκε από τον Saaty (1980). Η μέθοδος AHP είναι από τις πιο διαδεδομένες πολυκριτηριακές μεθόδους σε θέματα ενεργειακής και περιβαλλοντικής διαχείρισης, αιωφόρου ανάπτυξης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 3.30).

#### **Εφαρμογές**

**Πίνακας 3.30. Εφαρμογές AHP**

Μελέτη	Αντικείμενο
Amer & Daim, 2011	Επιλογή τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αναπτυσσόμενη χώρα
Awasthi & Chauhan, 2011	Αξιολόγηση βιωσιμότητας εναλλακτικών προτάσεων για τις μεταφορές
Barin et al., 2011	Επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας
Dytczak & Ginda, 2006	Αξιολόγηση οφελών και κόστους από την επιλογή καυσίμων σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης
Erol & Kilkis, 2012	Εκτίμηση στρατηγικής σχετικά με εναλλακτικές πηγές ενέργειας
Garfi et al., 2011	Περιβαλλοντική αξιολόγηση υδάτινων προγραμμάτων
Kablan, 2004	Προώθηση εξοικονόμησης ενέργειας
Karagiannidis et al., 2010	Αξιολόγηση σεναρίων για θερμική επεξεργασία αποβλήτων στην κεντρική Μακεδονία
Marjan et al., 2011	Προώθηση αιωφόρου αστικής ανάπτυξης
Meyar & Vaez, 2012	Ενεργειακή πολιτική με στόχο την επίτευξη αιωφόρου ανάπτυξης
Nigim et al., 2004	Ιεράρχηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
Ren et al., 2009	Αξιολόγηση ενεργειακών συστημάτων
Shen et al., 2011	Χαρτοφυλάκιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής πολιτικής
Tegou et al., 2010	Πλαίσιο περιβαλλοντικής διαχείρισης για την επιλογή τοποθεσίας αιολικού πάρκου

### ***ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite)***

**Περιγραφή** Οι μέθοδοι ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite) αποτελούν μια από τις πλέον δημοφιλείς προσεγγίσεις στο χώρο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων. Η ανάπτυξη τους ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 από τον Bernard Roy (1968) με τη μέθοδο ELECTRE I και ακολούθησε μια σειρά παραλλαγών ELECTRE II, III, IV, Tri, IS (Roy, 1991) (Πίνακας 3.31).

**Εφαρμογές****Πίνακας 3.31. Εφαρμογές ELECTRE**

Μελέτη	Αντικείμενο
Beccali et al., 2003	Διάδοση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τοπικό επίπεδο
Bojkovic et al., 2010	Αξιολόγηση βιωσιμότητας των μεταφορών
Catalina et al., 2011	Ανάλυση ενεργειακών συστημάτων
Cavallaro, 2010	Συγκριτική εκτίμηση των διεργασιών παραγωγής φωτοβολταϊκών συστημάτων
Georgiou et al., 2008	Δημιουργία οδικού χάρτη για την επιλογή χωρών υποδοχής έργων αιολικής ενέργειας στα πλαίσια του καθαρού μηχανισμού ανάπτυξης
Georgopoulou et al., 2003	Προσδιορισμός εθνικών προτεραιοτήτων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον ενεργειακό τομέα
Gil-de-Castro et al., 2010	Λύση θεμάτων σχετικά με την αειφόρο ανάπτυξη
Haurant et al., 2011	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων σε αγροτικές περιοχές
Özkan et al., 2011	Επιλογή συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων
Neves et al., 2008	Πολυκριτηριακή προσέγγιση διαλογής δραστηριοτήτων για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας
Mróz, 2008	Σχεδιασμός εκσυγχρονισμού και εξέλιξης συστημάτων θέρμανσης
Achillas et al., 2010	Επιλογή τοποθεσίας μονάδας διαχείρισης αποβλήτων
Papadopoulos et., 2008	Βελτιστοποίηση αποκεντρωμένων συστημάτων ενέργειας

**MAUT - Multi Attribute Utility Theory****Περιγραφή**

Η περίπτωση της Πολυκριτηριακής Θεωρίας Χρησιμότητας (αγγλ. Multi Attribute Utility Theory, MAUT) είναι η προσέγγιση του συστήματος αξιών (value system approach) - της Αμερικανικής σχολής (Edwards, 1977; Keeney & Raiffa, 1976; Von Winterfeldt & Edwards, 1986). Η μέθοδος MAUT δε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα όπως οι υπόλοιπες μέθοδοι στην ενεργειακή διαχείριση και πολιτική, σε θέματα ενεργειακά και στην αειφόρο ανάπτυξη (Πίνακας 3.32).

**Εφαρμογές****Πίνακας 3.32. Εφαρμογές MAUT**

Μελέτη	Αντικείμενο
Kambezidis et al., 2011	Αξιολόγηση επιλογών με σκοπό την αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα
Pan & Teklu, 2000	Σχεδιασμός εναλλακτικών επιλογών για τη διαχείριση των πόρων
Voropai, 2002	Σχεδιασμός επέκτασης συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

### ***PROMETHEE - Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations***

**Περιγραφή** Η οικογένεια των μεθόδων PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), που ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων υπεροχής αναπτύχθηκε από τους Brans & Vincke (1985) (Πίνακας 3.33).

**Εφαρμογές**

**Πίνακας 3.33. Εφαρμογές PROMETHEE**

Μελέτη	Αντικείμενο
Beynona et al., 2008	Βελτίωση εκπομπών οχημάτων βασισμένη σε κατάταξη προτίμηση
Cavallaro, 2009	Αξιολόγηση τεχνολογιών ηλιακών θερμικών μονάδων
Diakoulaki et al., 2007	Αξιολόγηση και ανάλυση κόστους-οφέλους εναλλακτικών σεναρίων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα
Doukas et al., 2006	Προώθηση τεχνολογιών για την αιωφόρο ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα
Ghafghazi et al., 2010	Πολυκριτηριακή προσέγγιση αξιολόγησης συστημάτων θέρμανσης
Goumas & Lygerou, 2000	Κατάταξη έργων με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
Haralambopoulos & Politiadis, 2003	Εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων σε νησί
Madlener et al., 2007	Εξεύρεση νέων τρόπων ολοκληρωμένης αξιολόγησης εθνικών ενεργειακών σχεδίων
Polatidis & Haralambopoulos, 2010	Σχεδιασμός και προγραμματισμός παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
Terrados et al., 2009	Σχεδιασμός ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε περιοχή της Ισπανίας
Tsoutsos et al., 2009	Σχέδιο δράσης για την αιωφόρο ενέργεια στο νησί της Κρήτης

### ***TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution***

**Περιγραφή** Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) παρουσιάστηκε από τους Chen & Hwang (1992), με αναφορά στους Hwang & Yoon (1981) για την επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων αποφάσεων (Πίνακας 3.34).

**Εφαρμογές**

**Πίνακας 3.34. Εφαρμογές TOPSIS**

Μελέτη	Αντικείμενο
Aalami et al., 2010	Επιλογή προγραμμάτων ενεργειακής ζήτησης
Boran et al., 2012	Εκτίμηση τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Chamodraskas & Matrakos, 2011	Επιλογή ενεργειακά αποδοτικών δικτύων

Choudhary & Shankar 2012	Αξιολόγηση και επιλογή τοποθεσίας θερμοηλεκτρικού σταθμού
Dai et al., 2010	Αξιολόγηση ασφαλούς συστήματος αποθεμάτων νερού
Doukas et al., 2010;	Αξιολόγηση βιωσιμότητας ανανεώσιμων ενεργειακών επιλογών
Lee et al., 2010	Αξιολόγηση και ιεράρχηση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
Oprićovic & Tzeng, 2007	Αξιολόγηση εναλλακτικών συστημάτων υδροηλεκτρικής ενέργειας
Thomaidis et al., 2008	Κατάταξη των ενεργειακών κοινοτήτων στην Ευρώπη

### **UTA - Utilités Additives**

**Περιγραφή** Η μέθοδος UTA (Utilités Additives), προτάθηκε από τους Jacquet-Lagrèze & Siskos (1982) και έχει στόχο την εκτίμηση (επαγωγή) μίας προσθετικής συνάρτησης αξίας από μία προδιάταξη ενός συνόλου αναφοράς  $A_R$ . Η μέθοδος χρησιμοποιεί ειδικές τεχνικές γραμμικού προγραμματισμού για να καθορίσει τις συγκεκριμένες συναρτήσεις, έτσι ώστε οι κατατάξεις που αποκτώνται μέσω αυτών των συναρτήσεων στο  $A_R$  να είναι όσο το δυνατό πιο συμβατές με την αρχική προδιάταξη. Κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών οι μέθοδοι UTA έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα προβλήματα λήψης αποφάσεων (βλ. Siskos et al. (2005), όπου παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη ανάλυση των μεθόδων UTA και αντίστοιχων εφαρμογών), με τις πιο πρόσφατες έρευνες να επικεντρώνονται σε προβλήματα ηλεκτρονικής διακυβέρνησης (Siskos et al., 2013, 2014) (Πίνακας 3.35).

### **Εφαρμογές**

#### **Πίνακας 3.35. Εφαρμογές UTA**

Μελέτη	Αντικείμενο
Demesouka et al., 2013	Επιλογή τοποθεσίας ανάπτυξης φυσικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων, όπως λίμνες σταθεροποίησης και τεχνητούς υγρότοπους, σε περιφερειακές ενότητες στη Θράκη
Diakoulaki et al., 1999	Δυνατότητες χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για εξοικονόμηση ενέργειας και αποδοτική διαχείριση των ενεργειακών πόρων
Hadzinakos et al., 1991	Διαχείριση περιβάλλοντος όσον αφορά την πρόληψη κατολισθήσεων στην Ελλάδα, υπολογίζοντας την εύνοια των συνθηκών για κατολίθηση σε 23 διαφορετικές περιοχές της χώρας
Kholghi, 2001	Σχεδιασμός διαχείρισης λυμάτων, μέσω της επιλογής της κατάλληλης τεχνικής επεξεργασίας λυμάτων, με χρήση περιβαλλοντικών και οικονομικών κριτηρίων
Siskos & Assimakopoulos, 1989	Περιβαλλοντικά καλύτερη χάραξη και κατασκευή δρόμου στη Γαλλία
Sola & Mota, 2012	Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων των βιομηχανιών, με την αξιολόγηση των βιομηχανικών κινητήρων που θα αντικαταστήσουν τους ενεργοβόρους παλαιότερους

## ΙΙΙ.4 Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων

### ΙΙΙ.4.1 Εισαγωγή

*Ανάγκη για  
χρήση  
γλωσσικών  
μεταβλητών*

Η ενεργειακή αναβάθμιση των Έξυπνων Πόλεων και των υποδομών τους (δημόσια κτίρια, αστικός φωτισμός, διαχείριση ενέργειας κ.ά.), καθώς και τα σχέδια δράσης με στόχο την ενεργειακή απόδοση, είναι προβλήματα που λαμβάνουν υπόψη πολλαπλά κριτήρια και εναλλακτικές. Η εξοικονόμηση ενέργειας δεν είναι το μόνο κριτήριο, αλλά τίθενται και άλλα κριτήρια, όπως η αειφορία, η βιωσιμότητα των επενδύσεων, η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, η λειτουργικότητα των χώρων των κτιρίων κ.ά. Τα κριτήρια δεν αξιολογούνται πάντα με αριθμητικές τιμές αλλά είναι δυνατόν να αξιολογούνται με διαστήματα τιμών ή γλωσσικούς όρους.

Για παράδειγμα, κριτήρια όπως η αξιολόγηση του επιπέδου διαβίωσης των πολιτών σε μια πόλη ή ο βαθμός ενσωμάτωσης ενεργειακών πληροφοριακών συστημάτων στη διαχείριση της ενέργειας ενός κτιρίου, είναι ευκολότερο να αξιολογηθούν από τις τοπικές αρχές με τη χρήση γλωσσικών όρων. Μπορεί εύκολα να χαρακτηριστεί ως «Υψηλό» το επίπεδο διαβίωσης των πολιτών σε μια πόλη και «Χαμηλή» η ένταξη νέων ΤΠΕ στα δημόσια κτίρια.

Γίνεται σαφές ότι οι γλωσσικές πληροφορίες εισάγουν ένα ευέλικτο πλαίσιο εργασίας που επιτρέπουν την αναπαράσταση των πληροφοριών με άμεσο και επαρκή τρόπο όταν δεν μπορούν να καθοριστούν ακριβώς οι ποσοτικές πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, εξαφανίζεται η επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης μιας ποιοτικής έννοιας.

Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό τόσο για τη φύση των κριτηρίων, όσο και για τα αποτελέσματα. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα πρέπει να είναι κατανοητά και άμεσα αντιληπτά στις τοπικές αρχές της πόλης. Για παράδειγμα, δεν μπορεί να παρουσιάζεται στις τοπικές αρχές ως αποτέλεσμα μια αριθμητική τιμή για την απόδοση της πόλης σε έναν τομέα. Είναι πιο εύκολο για τον διαχειριστή της πόλης να έχει ως αποτέλεσμα ότι η πόλη αποδίδει σε έναν τομέα «Καλώς» ή «Πολύ κακώς», από το να έχει σαν αποτέλεσμα μια αριθμητική τιμή.

Για την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων στο επίπεδο της πόλης, η χρήση μη-ομογενών πληροφοριών εξαιτίας της φύσης των εναλλακτικών είναι αναγκαία. Ορισμένα κριτήρια του προβλήματος είναι αδύνατο να περιγραφούν με αριθμητικές τιμές.

Γι' αυτούς τους λόγους, κρίνεται απαραίτητη η χρήση των γλωσσικών μεταβλητών και η διαχείριση των ετερογενών πληροφοριών (Papastamatiou et al., 2014a, 2014b, 2016, 2017; Marinakis et al., 2017). Στη συνέχεια περιγράφονται διεξοδικώς, οι τομείς αυτοί του προβλήματος.

### ΙΙΙ.4.2 Γλωσσική Ανάλυση

**Υπόβαθρο** Η ανάλυση αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών βασίζεται στη χρήση της γλωσσικής προσέγγισης και χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων λήψης απόφασης με τη χρήση γλωσσικών πληροφοριών. Η εφαρμογή τους είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη της θεωρίας και των μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων επειδή εισάγει ένα ευέλικτο πλαίσιο εργασίας το οποίο επιτρέπει την αναπαράσταση των πληροφοριών με πιο άμεσο και επαρκή τρόπο όταν δεν μπορούν να καθοριστούν ακριβώς οι ποσοτικές πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, εξαφανίζεται η επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης μιας ποιοτικής έννοιας.

Στη βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν πολλές εφαρμογές αναλύσεων αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών για τη λύση πραγματικών περιπτώσεων, όπως ομαδική λήψη αποφάσεων (Bordogna et al., 1997; Herrera et al., 1995), πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων (Buckley, 1984; Chang & Chen, 1994; Yager, 1993), σύνολο ενεργειών πώλησης (Yager et al., 1994), ανάπτυξη λογισμικού (Lee, 1996), εκπαίδευση (Law, 1996), υποκειμενική αποτίμηση της αξίας ενός αυτοκινήτου (Levrat et al., 1997), επιλογή υλικών (Shyi-Ming, 1997) και διοίκηση προσωπικού (Herrera et al., 2001).

Συνήθως, σ' όλες τις πραγματικές διαδικασίες λήψης απόφασης υπάρχουν διάφοροι ειδικοί ή αποφασίζοντες οι οποίοι καλούνται να εκφράσουν τις τιμές απόδοσης μιας ομάδας από εναλλακτικές, με σκοπό να επιλεγεί η καλύτερη, σε ένα πολυκριτηριακό περιβάλλον λήψης απόφασης (Chiclana et al., 1998; Herrera et al., 2000). Γενικά, το σχέδιο λύσεων ενός "MCDM" προβλήματος αποτελείται κυρίως από δύο φάσεις (Kacprzyk & Fedrizzi, 1990; Roubens, 1997):

- ▲ Μια φάση άθροισης των τιμών απόδοσης όσον αφορά σ' όλα τα κριτήρια ώστε να προκύψει μια συνολική τιμή απόδοσης για τις εναλλακτικές και έπειτα,
- ▲ Μια φάση επεξεργασίας της συνολικής τιμής απόδοσης ώστε να προκύψει η επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών.

Στην ανάλυση αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών, το σχέδιο λύσης πρέπει να οριστεί από τα ακόλουθα τρία βήματα:

- ▲ Επιλογή ενός συνόλου γλωσσικών όρων και η εννοιολογία τους: Αφορά στον καθορισμό των όρων της γλωσσικής έκφρασης για τις γλωσσικές τιμές απόδοσης των εναλλακτικών που αντιστοιχούν στα διαφορετικά κριτήρια. Για να γίνει αυτό, πρέπει να επιλεγθεί ο αριθμός των βαθμίδων του συνόλου των γλωσσικών όρων, οι ετικέτες και η σημασιολογία τους.
- ▲ Επιλογή του αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας: Αφορά στον καθορισμό του κατάλληλου αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας, ώστε να συνδυαστούν και να αθροιστούν οι παρεχόμενες γλωσσικές τιμές απόδοσης.

- ▲ Επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών: Αφορά στην επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών βάσει των παρεχόμενων γλωσσικών τιμών απόδοσης.

Διεξάγεται σε δυο φάσεις:

- ▲ Αθροιστική φάση της γλωσσικής πληροφορίας: Αφορά στην αποκόμιση της συνολικής γλωσσικής τιμής απόδοσης για τις εναλλακτικές, αθροίζοντας τις παρεχόμενες γλωσσικές τιμές απόδοσης βάσει όλων των κριτηρίων μέσω του επιλεγμένου αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας.
- ▲ Φάση επεξεργασίας: Αφορά στον καθορισμό της κατάταξης των εναλλακτικών ανάλογα με τη συνολική γλωσσική τιμή απόδοσης, ώστε να επιλεχθούν οι καλύτερες.

*Επιλογή  
Συνόλου  
Γλωσσικών  
Όρων*

Η επιλογή του συνόλου των γλωσσικών όρων είναι ο πρώτος στόχος που πρέπει να επιτευχθεί σε μια γλωσσική προσέγγιση και περιλαμβάνει τον καθορισμό της γλωσσικής μεταβλητής (Zadeh, 1975a) ή της γλωσσικής έκφρασης με σκοπό την παροχή των γλωσσικών τιμών απόδοσης.

Ορισμός 1 (Zadeh, 1975b): Η γλωσσική μεταβλητή χαρακτηρίζεται από πέντε μέρη (L, H, U, G, M) όπου το L είναι η μεταβλητή, το H δηλώνει το σύνολο όρων της L, π.χ. το σύνολο των ονομάτων των γλωσσικών τιμών του L, με κάθε του τιμή να είναι μια ασαφής μεταβλητή που δηλώνεται γενικά ως X και έχει ένα εύρος τιμών μέσα σε ένα σύμπαν της ομιλίας U. Το G είναι ένας συντακτικός κανόνας για τη δημιουργία των ονομάτων των τιμών του L και το M είναι ένας σημασιολογικός κανόνας που σχετίζει το νόημά τους με κάθε L.

Ο κύριος στόχος του καθορισμού των γλωσσικών περιγραφητών μιας γλωσσικής μεταβλητής είναι η παροχή στον χρήστη λίγων λέξεων μέσω των οποίων μπορεί με φυσικό τρόπο να εκφράσει τις πληροφορίες του. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, ένα σημαντικό στοιχείο είναι οι βαθμίδες αβεβαιότητας, δηλαδή τα επίπεδα της διάκρισης μεταξύ των διαφορετικών αριθμήσεων της αβεβαιότητας.

Ο αριθμός στοιχείων του συνόλου των όρων πρέπει να είναι αρκετά μικρός ώστε να μην έχει ακρίβεια που δεν χρειάζεται και πρέπει να είναι αρκετά «πλούσιος», ώστε να επιτρέπει τη διαφοροποίηση των αποτιμήσεων σε έναν περιορισμένο αριθμό βαθμίδων.

Τυπικές τιμές του αριθμού στοιχείων που χρησιμοποιούνται είναι περτυτές, όπως 7 ή 9 με ανώτατο όριο το 11 ή το 13, όπου ο μεσαίος όρος υποδηλώνει μια αποτίμηση του «περίπου 0,5», με τους υπόλοιπους όρους να είναι τοποθετημένοι συμμετρικά γύρω από αυτό (Bonissone & Decker, 1986). Αυτές οι τυπικές τιμές του αριθμού στοιχείων φαίνεται να ταιριάζει με την παρατήρηση του Miller (1956), σχετικά με το γεγονός ότι οι άνθρωποι μπορούν να θυμούνται περίπου επτά αντικείμενα.

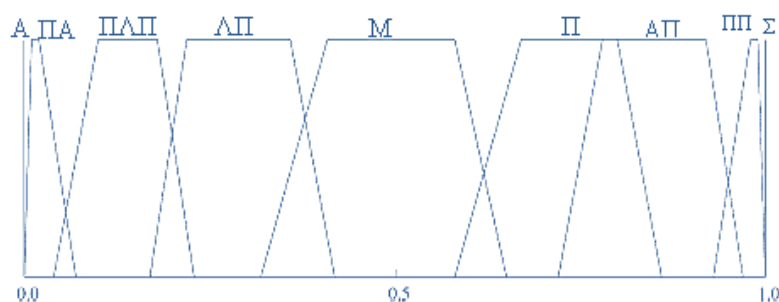
Όσον αφορά στον καθορισμό της σημασίας του συνόλου των γλωσσικών όρων, στη βιβλιογραφία, μπορούν κυρίως να βρεθούν τρεις τρόποι (Herrera et al., 1996):



- ▲ Σημασία βασισμένη σε συναρτήσεις συσχέτισης και σε έναν σημασιολογικό κανόνα.
- ▲ Σημασία βασισμένη σε μια ταξινομημένη δομή ενός συνόλου γλωσσικών όρων.
- ▲ Συνδυαστική σημασία.

Συγκεκριμένα, η πρώτη προσέγγιση θεωρεί ότι το νόημα κάθε γλωσσικού όρου δίνεται μέσω ενός ασαφούς υποσυνόλου ορισμένου στο διάστημα “0 – 1”, το οποίο συνήθως περιγράφεται από συναρτήσεις συσχέτισης (Chang & Chen, 1994; Lee, 1996; Bordogna & Pasi, 1993). Ένας υπολογιστικά αποτελεσματικός τρόπος για το χαρακτηρισμό ενός ασαφούς αριθμού είναι η χρησιμοποίηση αναπαράστασης βασισμένης σε παραμέτρους της αντίστοιχης συνάρτησης συσχέτισης (Bonissone, 1982). Επειδή οι γλωσσικές αποτιμήσεις είναι προσεγγιστικές, αρκετοί αναλυτές θεωρούν ότι οι γραμμικές τραπεζοειδείς συναρτήσεις συσχέτισης είναι αρκετά καλές για να «αιχμαλωτίσουν» την αοριστία αυτών των γλωσσικών αποτιμήσεων (Delgado et al., 1992; Tong & Bonissone, 1980, 1984). Αυτή η αναπαράσταση επιτυγχάνεται με τέσσερις παραμέτρους ( $a_i, b_i, d_i, c_i$ ). Οι δύο πρώτες παράμετροι δείχνουν το διάστημα μέσα στο οποίο η τιμή συσχέτισης είναι 1, η τρίτη και η τέταρτη παράμετρος δείχνουν το αριστερό και το δεξιό εύρος. Παράδειγμα σημασιολογίας για σύνολο εννέα όρων είναι το ακόλουθο, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 3.8:

- ▲  $\Sigma$  = Σίγουρο = (1, 1, 0, 0)
- ▲ ΠΠ = Πολύ Πιθανό = (0.98, 0.99, 0.05, 0.01)
- ▲ ΑΠ = Αρκετά πιθανό = (0.78, 0.92, 0.06, 0.05)
- ▲ Π = Πιθανό = (0.63, 0.80, 0.05, 0.06)
- ▲ Μ = Μπορεί = (0.41, 0.58, 0.09, 0.07)
- ▲ ΛΠ = Λίγο Πιθανό = (0.22, 0.36, 0.05, 0.06)
- ▲ ΠΛΠ = Πολύ λίγο πιθανό = (0.1, 0.18, 0.06, 0.05)
- ▲ ΠΑ = Πολύ Απίθανο = (0.01, 0.02, 0.01, 0.05)
- ▲ Α = Αδύνατο = (0, 0, 0, 0)



Σχήμα 3.8. Σύνολο Εννέα (9) Όρων με τη Σημασιολογία τους (Herrera et al., 1998)

Μια ειδική περίπτωση αυτής της αναπαράστασης είναι η γλωσσική εκτίμηση, όπου οι συναρτήσεις συσχέτισης είναι τριγωνικές, δηλαδή  $b = d$ , οπότε η αναπαράσταση της συνάρτησης συσχέτισης γίνεται με μια τριπλή απεικόνιση (3-tuple), την  $(a, b, c)$ .

Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση παρουσιάζει δύο προβλήματα:

- ▲ Στις αναπαραστάσεις των αρχικών ασαφών συνόλων, το πρόβλημα είναι πώς θα καθοριστούν οι παράμετροι ανάλογα με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα. Μοιάζει αρκετά δύσκολο όλοι οι αποφασίζοντες να συμφωνήσουν στις ίδιες συναρτήσεις συσχέτισης που αντιστοιχούν στους αρχικούς γλωσσικούς όρους και επιπρόσθετα δεν υπάρχει κάποια τυποποιημένη κατανομή που να πρέπει να χρησιμοποιείται υποχρεωτικά (Herrera et al., 2000).
- ▲ Επιπρόσθετα, δεν είναι πάντα δυνατό για τον χρήστη να καθορίσει ένα ασαφές σύνολο για κάθε αρχικό γλωσσικό όρο, διότι απαιτείται αρκετή ακρίβεια που ο χρήστης δεν μπορεί πάντα να παρέχει (Herrera et al., 1995).

Μια εναλλακτική δυνατότητα, που δεν χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα, εισάγει τη σημασιολογία μέσα από τη δομή του συνόλου των γλωσσικών όρων. Ειδικότερα, αυτό συμβαίνει όταν οι αποφασίζοντες παρέχουν τις αξιολογήσεις τους με τη χρησιμοποίηση ενός διατεταγμένου συνόλου γλωσσικών όρων. Κάτω από αυτήν τη σημασιολογική προσέγγιση, ανάλογα με τη διανομή των γλωσσικών όρων σε μια κλίμακα “0 – 1”, υπάρχουν δύο πιθανότητες για τον καθορισμό της σημασιολογίας του συνόλου των γλωσσικών όρων (Bordogna et al., 1997; Buckley, 1984; Yager, 1993):

- ▲ Συμμετρικά διανεμημένοι όροι: Υποθέτει διατεταγμένα γλωσσικά σύνολα όρων, τα οποία διανέμονται σε μια κλίμακα με περιττό αριθμό στοιχείων και το μεσαίο όρο να αντιπροσωπεύει μια αξιολόγηση «περίπου 0,5» και με το υπόλοιπο των όρων να τοποθετούνται συμμετρικά γύρω από αυτόν. Κατόπιν, η σημασιολογία του συνόλου γλωσσικών όρων διαμορφώνεται από τη διατεταγμένη δομή του συνόλου όρων θεωρώντας ότι κάθε γλωσσικός όρος για το ζευγάρι (si, sT-i) είναι εξίσου πληροφοριακός (Torra, 1998). Αυτή η πρόταση μπορεί να καθοριστεί ρητά με την ανάθεση ενός υποτομέα της περιοχής αναφοράς [0, 1] σε κάθε γλωσσικό όρο (βλέπε Σχήμα 3.9α).
- ▲ Μη-συμμετρικά διανεμημένοι όροι: Υποθέτει ότι μια υποπεριοχή της περιοχής αναφοράς μπορεί να περιέχει περισσότερες πληροφορίες από το υπόλοιπο της περιοχής (Torra, 1998). Σε αυτήν την περίπτωση, η πυκνότητα των γλωσσικών όρων σε εκείνη την υποπεριοχή θα ήταν μεγαλύτερη από την πυκνότητα στο υπόλοιπο της περιοχής αναφοράς, δηλαδή το διατεταγμένο σύνολο γλωσσικών όρων δεν θα διανεμόταν συμμετρικά. Τέτοια περίπτωση μπορεί να υπάρξει όταν για παράδειγμα υποτεθεί ότι απαιτείται ένα σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας με μια πολύ ακριβή συμπεριφορά όταν η θερμοκρασία είναι «χαμηλή». Επομένως, το γλωσσικό σύνολο όρου θα είχε μια διανομή πέρα από την περιοχή αναφοράς παρόμοια με αυτήν στο Σχήμα 3.9β, (στο Σχήμα 3.9β, το ΣΚ = Σχεδόν Καθόλου και ΑΧ = Αρκετά χαμηλό).

Για αυτές τις περιπτώσεις, σε μια μέθοδο προτάθηκε ότι επηρεάζεται η σημασία (οι υποπεριοχές) με τη χρησιμοποίηση μιας λειτουργίας “negation” που καθορίζεται από μέρη του συνόλου γλωσσικών όρων

(Torra, 1998). Αυτή η μέθοδος είναι σε θέση να αποδώσει μια σημασία για το σύνολο γλωσσικών όρων εάν ο χρήστης παρέχει τις τιμές της αντίθετης λειτουργίας για κάθε γλωσσικό όρο. Παραδείγματος χάριν, για το σύνολο γλωσσικών όρων στο Σχήμα 3.9, η ακόλουθη λειτουργία άρνησης μπορεί να καθορισθεί (Torra, 1998):

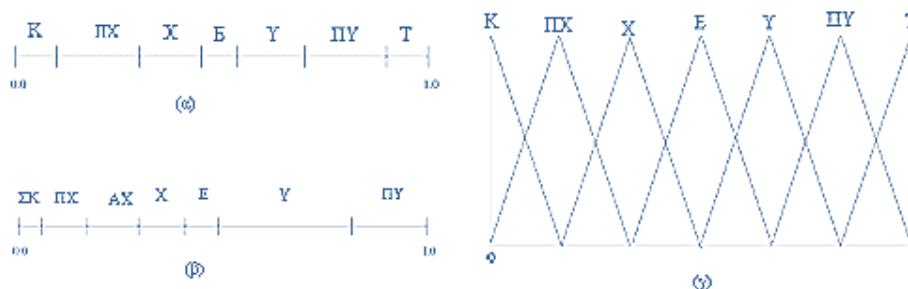
$$\text{Neg}(\Sigma\text{K}) = \text{Neg}(\Pi\Lambda) = \{\text{ΠΥ}\}$$

$$\text{Neg}(\text{ΑΛ}) = \text{Neg}(\Lambda) = \{\text{Υ}\}$$

$$\text{Neg}(\text{Ε}) = \{\text{Ε}\}$$

$$\text{Neg}(\text{Υ}) = \{\text{ΑΛ}, \Lambda\}$$

$$\text{Neg}(\text{ΠΥ}) = \{\text{ΑΛ}, \Pi\Lambda\}$$



**Σχήμα 3.9 (α) Συμμετρικά Κατανομημένο Σύνολο 7 Όρων  
(β) Μη Συμμετρικά Κατανομημένο Σύνολο 7 Όρων  
(γ) Ενιαία Κατανομημένο Σύνολο 7 Όρων (Herrera et al., 1998)**

Στο παραπάνω πλαίσιο, μια δυνατότητα για τη μείωση της πολυπλοκότητας καθορισμού των γλωσσικών όρων είναι η άμεση παροχή του συνόλου των όρων θεωρώντας όλους τους όρους σαν πρωταρχικούς και κατανομημένους σε μια κλίμακα στην οποία καθορίζεται η συνολική διάταξη (Bordogna et al., 1997; Yager, 1993; Delgado et al., 1998; Yager, 1995). Για παράδειγμα ένα σύνολο  $S$  από επτά όρους είναι το ακόλουθο:

$S = \{s_0 = \text{καθόλου}, s_1 = \text{πολύ λίγο}, s_2 = \text{λίγο}, s_3 = \text{ενδιάμεσο}, s_4 = \text{υψηλό}, s_5 = \text{πολύ υψηλό}, s_6 = \text{τέλειο}\}$ , όπου  $s_a < s_b$  αν  $a < b$ .

Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται από το σύνολο γλωσσικών όρων να ικανοποιεί τα παρακάτω επιπρόσθετα χαρακτηριστικά:

- ▲ Να υπάρχει ένας αρνητικός τελεστής π.χ.  $\text{neg}(s_i) = s_j$ .
- ▲  $j = T - i$  ( $T + 1$  είναι ο αριθμός των στοιχείων).
- ▲ Τελεστής μεγιστοποίησης:  $\max(s_i, s_j) = s_i$  αν  $s_i \geq s_j$ .
- ▲ Τελεστής ελαχιστοποίησης:  $\min(s_i, s_j) = s_i$  αν  $s_i \leq s_j$ .

#### **Επιλογή του αθροιστικού τελεστή**

Το επόμενο βήμα της ανάλυσης αποφάσεων με γλωσσικούς όρους είναι η επιλογή του αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας.

Εδώ, εμφανίζεται ένας σημαντικός περιορισμός των σχετιζόμενων προσεγγίσεων εξαιτίας του γεγονότος ότι οι υπολογιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην εξειδικευμένη βιβλιογραφία παρουσιάζουν ένα σύννηθες μειονέκτημα, την «απώλεια δεδομένων», η οποία ουσιαστικά περιλαμβάνει την έλλειψη ακρίβειας στα τελικά αποτελέσματα. Αυτές οι υπολογιστικές τεχνικές είναι οι ακόλουθες (Delgado et al., 1993; Herrera & Martinez, 2000):

- ▲ Προσέγγιση Προέκτασης: Γίνονται πράξεις με ασαφείς αριθμούς που υποστηρίζουν τη σημασιολογία των γλωσσολογικών όρων.

- ▲ Συμβολική Προσέγγιση: Γίνονται υπολογισμοί με τις ετικέτες των γλωσσικών όρων.
- ▲ Προσέγγιση Διπλής Αναπαράστασης: Αφορά σε προσέγγιση που σαν στόχο έχει να ξεπερνά αυτόν τον περιορισμό της έλλειψης ακρίβειας, μέσα από την αντιπροσώπευση της γλωσσολογικής πληροφορίας με ένα ζεύγος τιμών, συντεθειμένο από ένα γλωσσικό όρο και έναν αριθμό. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της αντιπροσώπευσης είναι ότι είναι συνεχής στο πεδίο της και ως εκ τούτου μπορεί να εκφράσει οποιαδήποτε μετρήσιμη πληροφορία μέσα στο σύμπαν της συνομιλίας. Μέσω αυτού του αντιπροσωπευτικού προτύπου, παρουσιάζονται υπολογιστικές τεχνικές που δεν έχουν απώλεια δεδομένων.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν οι γλωσσικές αθροιστικές μέθοδοι, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και θα παρουσιαστούν διαφορετικά είδη από γλωσσικούς αθροιστικούς τελεστές.

#### *Προσέγγιση Προέκτασης*

Η προσέγγιση της προέκτασης έχει εισαχθεί για να μετατρέπει αριθμητικές τιμές σε ασαφή σύνολα. Όμως, είναι γνωστό ότι χρησιμοποιώντας εκτεταμένες αλγεβρικές πράξεις για να χειριστεί κανείς τα ασαφή σύνολα, η ασάφεια των αποτελεσμάτων αυξάνεται βήμα με το βήμα και το σχήμα της συνάρτησης συσχέτισης δεν μένει σταθερό όταν οι γλωσσικές μεταβλητές είναι αλληλοεπιδρούσες. Έτσι, τα τελικά αποτελέσματα αυτών των μεθόδων είναι ασαφή σύνολα τα οποία δεν αντιστοιχούν σε καμία ετικέτα στο αρχικό σύνολο γλωσσικών όρων. Δηλαδή η αρχή της προέκτασης με ασαφή σύνολα έχει σαν αποτέλεσμα ασαφή σύνολα, τα οποία είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητά από τον αποφασίζοντα.

Αν, τελικά, είναι επιθυμητό να υπάρχει μια ετικέτα, απαιτείται μια γλωσσική προσέγγιση. Η γλωσσική προσέγγιση έγκειται στο να βρεθεί μια ετικέτα της οποίας το νόημα είναι το ίδιο με το πιο κοντινό νόημα του ασαφούς συνόλου χωρίς ετικέτα, το οποίο δημιουργείται από το μοντέλο γλωσσικού υπολογισμού. Δεν υπάρχει γενική μέθοδος για τον συσχετισμό μιας ετικέτας με ένα ασαφές σύνολο.

Ουσιαστικά, ένας γλωσσολογικός τελεστής βασισμένος στην αρχή της προέκτασης ορίζεται ως εξής (Degani & Bortolan, 1988; Bonissone & Decker, 1986):

$$S^n \xrightarrow{\bar{F}} F(R) \xrightarrow{app_1(\cdot)} S, \text{ όπου:}$$

- ▲  $S$  είναι το αρχικό σετ γλωσσικών όρων.
- ▲  $S^n$  συμβολίζει το  $n$  Καρτεσιανό γινόμενο του  $S$ .
- ▲  $\bar{F}$  είναι ένας τελεστής συνάθροισης που βασίζεται στην αρχή της προέκτασης.
- ▲  $F(R)$  είναι το σετ των ασαφών συνόλων επάνω από το σετ των πραγματικών αριθμών  $R$ .

- ▲  $\text{app}_1(\cdot)$  είναι η συνάρτηση γλωσσολογικής προσέγγισης που επιστρέφει μία ετικέτα στο σετ γλωσσολογικών όρων  $S$ , του οποίου η σημασία είναι η κοντινότερη στον παραγόμενο ασαφή αριθμό χωρίς ετικέτα.

Μία δεύτερη προσέγγιση που χρησιμοποιείται για να λειτουργήσει με γλωσσικές πληροφορίες είναι η συμβολική, η οποία δρα μέσω άμεσου υπολογισμού στις ετικέτες, λαμβάνοντας υπόψη το νόημα και τα χαρακτηριστικά τέτοιων γλωσσικών μεταβλητών. Υποθέτει ότι το σύνολο γλωσσικών όρων είναι μια διατεταγμένη δομή, ενιαία κατανομημένη σε μια κλίμακα  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  όπου  $s_i < s_j$  εάν  $i < j$ .

Τα ενδιάμεσα αποτελέσματα είναι αριθμητικές τιμές,  $\alpha \in [0, g]$ , τα οποία πρέπει να προσεγγιστούν σε κάθε βήμα της διαδικασίας μέσω της προσεγγιστικής συνάρτησης  $\text{app}_2 : [0, g] \rightarrow \{0, \dots, g\}$ , που παράγει μία αριθμητική τιμή, τέτοια που να υποδηλώνει το δείκτη του σχετικού γλωσσολογικού όρου  $s_{\text{app}_2(\alpha)} \in S$ . Τυπικά, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$S^n \xrightarrow{C} [0, g] \xrightarrow{\text{app}_2(\cdot)} \{0, \dots, g\} \rightarrow S, \text{ όπου:}$$

- ▲  $C$  είναι ο τελεστής συμβολικής γλωσσολογικής προσέγγισης,
- ▲  $\text{app}_2(\cdot)$  είναι η συνάρτηση γλωσσικής προσέγγισης που χρησιμοποιείται για να προκύψει ένας δείκτης  $\{0, \dots, g\}$  σχετιζόμενος με έναν όρο στο  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  από μία τιμή στο  $[0, g]$ .

Μια γλωσσική συνάθροιση βασισμένη στη συμβολική προσέγγιση ενεργεί σύμφωνα με το σχέδιο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10. Διαδικασία Συμβολικής Προσέγγισης (Herrera & Martinez, 1999)

Αυτές οι μέθοδοι φαίνονται αρκετά φυσικές όταν χρησιμοποιείται η γλωσσική προσέγγιση, επειδή οι γλωσσικές αποτιμήσεις είναι απλά προσεγγίσεις οι οποίες δίνονται όταν είναι αδύνατο ή μη απαραίτητο να εξαχθούν πιο ακριβείς τιμές. Έτσι, σ' αυτή την περίπτωση, δεν είναι απαραίτητη η χρήση των συναρτήσεων συσχέτισης. Επιπλέον, από την άποψη του υπολογισμού είναι σχετικά απλές και γρήγορες. Στη διεθνή βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν διάφορα είδη τελεστών συνάθροισης γλωσσικής πληροφορίας, όπως τελεστές μη σταθμισμένης και σταθμισμένης γλωσσικής πληροφορίας (Herrera & Herrera-Viedma, 2000).

Στην πρώτη κατηγορίας ανήκει ο τελεστής LOWA - Linguistic Ordered Weighted Average, (Herrera & Herrera-Viedma, 2000), που συναθροίζει γλωσσικές πληροφορίες με βάση μία δέσημη κριτηρίων ίδιας βαρύτητας και ορίζεται ως ακολούθως:

Έστω ότι  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$  είναι ένα σετ από ετικέτες που πρέπει να αθροιστούν. Τότε ο τελεστής LOWA,  $\Phi$ , ορίζεται ως εξής:

$$\Phi(a_1, \dots, a_m) = W \cdot B^T = \beta^m \{w_k, b_k, k=1, \dots, m\} = w_1 \cdot b_1 + (1 - w_1) \cdot \beta^{m-1} \{b_h, b_h, h=2, \dots, m\}$$

Όπου  $W = [w_1, \dots, w_m]$  είναι το διάνυσμα βαρών τέτοιο ώστε:

$$\blacktriangle w_i \in [0, 1]$$

$$\blacktriangle \sum_i w_i = 1$$

$$\blacktriangle b_h = \frac{w_h}{\sum_{k=1}^m w_k}, \quad h = 2, \dots, m$$

και  $B = \{b_1, \dots, b_m\}$  είναι ένα διάνυσμα σχετισμένο με το  $A$  κατά τέτοιο τρόπο ώστε

$B = \sigma(A) = \{a_{\sigma(1)}, \dots, a_{\sigma(m)}\}$ , όπου:

$$\blacktriangle a_{\sigma(j)} \leq a_{\sigma(i)} \text{ για κάθε } i \leq j \text{ και το } \sigma \text{ είναι μια αντιμετάθεση για το σετ των ετικετών } A.$$

$$\blacktriangle \beta^m \text{ είναι ο κυρτός τελεστής συνδυασμού των } m \text{ ετικετών.}$$

Αν  $m = 2$ , τότε ορίζεται ως εξής:

$$\beta^2 \{w_i, b_i, i = 1, 2\} = w_1 \cdot s_j + (1 - w_1) \cdot s_i = s_k, \quad s_j, s_i \in S(j \geq i), \text{ έτσι ώστε } k = \min\{T, i + \text{round}(w_1 \cdot (j - i))\}, \text{ όπου:}$$

$$\blacktriangle \text{round είναι η συνηθισμένη λειτουργία στρογγυλοποίησης.}$$

$$\blacktriangle b_1 = s_j, \quad b_2 = s_i.$$

Αν  $w_j = 1$  και  $w_i = 0$  με  $j \neq i$  για κάθε  $i$  τότε ο κυρτός συνδυασμός ορίζεται ως:  $\beta^m \{w_i, b_i, i = 1, \dots, m\} = b_j$

Ο υπολογισμός τώρα του διανύσματος βαρών του τελεστή LOWA,  $W$ , είναι ένα βασικό πρόβλημα που πρέπει να λυθεί. Μια πιθανή λύση είναι ότι τα βάρη αντιπροσωπεύουν την έννοια της ασαφούς πλειοψηφίας στη συνάθροιση του τελεστή LOWA χρησιμοποιώντας ένα ασαφή γλωσσικό ποσοτικοποιητή. Ο Yager πρότεινε έναν ενδιαφέροντα τρόπο να υπολογιστούν τα βάρη με τη βοήθεια ενός ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή, ο οποίος, στην περίπτωση του μη-φθίνοντα αναλογικού ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή  $Q$ , δίνεται από αυτήν την έκφραση (Yager, 1988):

$w_i = Q(i/n) - Q((i-1)/n)$ ,  $i=1, \dots, n$ , και

$$Q_{(r)} = \begin{cases} 0, & \text{αν } r < a, \\ (r-a)/(b-a), & \text{αν } a \leq r \leq b, \\ 1, & \text{αν } r > b. \end{cases} \quad \text{με τα } a, b, r \in [0,1].$$

Μερικά παραδείγματα των μη-φθινόντων αναλογικών ασαφών γλωσσικών ποσοτικοποιητών, είναι τα ακόλουθα:

- ▲ “Most” (0.3, 0.8): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις ενδιάμεσες αποδόσεις,
- ▲ “At least half” (0, 0.5): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις υψηλές αποδόσεις,
- ▲ “As many as possible” (0.5, 1): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις χαμηλές αποδόσεις,

Ο πρώτος αριθμός μέσα σε κάθε παρένθεση συμβολίζει το κάτω όριο (a) και ο δεύτερος αριθμός το πάνω όριο (b). Όταν ένας ασαφής γλωσσικός ποσοτικοποιητής,  $Q$ , χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τα βάρη του τελεστή LOWA,  $\Phi$ , τότε συμβολίζεται με  $\Phi_Q$  (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11. Αναλογικοί Ασαφείς Γλωσσικοί Ποσοτικοποιητές (Herrera et al., 1998)

Υπάρχουν όμως και τελεστές γλωσσικής συνάθροισης για κριτήρια διαφορετικής σημαντικότητας, LWA – Linguistic Weighted Average.

Ακολουθώντας τις μελέτες του Cholewa (1985) και το μοντέλο συνάθροισης του Montero (1988), για τη συνάθροιση σταθμισμένης πληροφορίας πρέπει να ορίζονται δύο τελεστές, οι ακόλουθοι:

- ▲ Ο τελεστής συνάθροισης των βαρών της πληροφορίας και
- ▲ Ο τελεστής συνάθροισης της σταθμισμένης πληροφορίας (πληροφορία συνδυασμένη με βάρη).

Η πρώτη πτυχή συνίσταται στην απόκτηση ενός συλλογικού βαθμού σπουδαιότητας από μεμονωμένους βαθμούς σπουδαιότητας, ο οποίος χαρακτηρίζει το τελικό αποτέλεσμα του τελεστή συνάθροισης.

Από την άλλη μεριά, η συνάθροιση σταθμισμένης πληροφορίας εμπλέκει το μετασχηματισμό της σταθμισμένης πληροφορίας με βάση τα βάρη. Η μορφή του μετασχηματισμού εξαρτάται από τον τύπο της συνάθροισης της σταθμισμένης πληροφορίας που επιτελείται. Οι γενικές ιδιότητες

που οποιαδήποτε συνάρτηση μετασχηματισμού οπουδιαιότητας  $g$  που πρέπει να ικανοποιεί για οποιονδήποτε τύπο τελεστή συνάθροισης είναι οι ακόλουθες (Herrera & Herrera-Viedma, 2000):

- ▲ αν  $a > b$  τότε  $g(w, a) \geq g(w, b)$ ,
- ▲ η  $g(w, a)$  είναι μονότονη στο  $w$ ,
- ▲  $g(0, a) = ID$  και
- ▲  $g(1, a) = a$ ,

με τα:

- ▲  $a, b \in [0, 1]$  να εκφράζουν την ικανοποίηση προς το κριτήριο,
- ▲  $w \in [0, 1]$ , το βάρος που σχετίζεται με το κριτήριο, και
- ▲ “ID”, ένα στοιχείο ταυτότητας, που είναι τέτοιο ώστε εάν το προσθέσουμε στις συναθροίσεις δεν αλλάζει την τιμή συνάθροισης.

Σε αυτό το πλαίσιο, παραδείγματα συναρτήσεων σύζευξης των βαρών με τις αποδόσεις είναι οι ακόλουθες (Herrera & Herrera-Viedma, 2000):

- ▲ *Kleene – Dienes’s*:  $LI_1^{\rightarrow} = Max(Neg_{(w,a)})$
- ▲ *Godels*:  $LI_2^{\rightarrow}(w, a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ a, \text{διαφορετικά} \end{cases}$
- ▲ *Fodor’s*:  $LI_3^{\rightarrow}(w, a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ Max(Neg_{(w,a)}), \text{διαφορετικά} \end{cases}$
- ▲ *Lukasiewicz’s*:  $LI_3^{\rightarrow}(w, a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ Neg(w-a), \text{διαφορετικά} \end{cases}$   
όπου  $w-a = s_h e S$ , με  $w=s_l$ ,  $a=s_t$  και  $l=t+h$

#### Προσέγγιση Διπλής Αναπαράστασης

Η γλωσσική ανάλυση σήμερα εστιάζεται στην ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που να είναι ικανά να διαχειριστούν γλωσσολογική πληροφορία μέσα σε πολυκριτηριακά προβλήματα, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την αποφυγή οποιασδήποτε απώλειας πληροφορίας. Αυτός είναι και ο στόχος του μοντέλου διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας των Herrera και Martinez (1999, 2000). Πιο συγκεκριμένα:

- ▲ Έστω  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  ένα σύνολο γλωσσικών στοιχείων. Εάν μια συμβολική μέθοδος, η οποία αθροίζει γλωσσικές πληροφορίες λάβει μια τιμή  $\beta \in [0, g]$ , αλλά ισχύει  $\beta \notin \{0, \dots, g\}$ , τότε χρησιμοποιείται μια προσεγγιστική συνάρτηση  $app_2(\cdot)$  για να εκφράσει το αποτέλεσμα της άθροισης στο σύνολο  $S$ .
- ▲ Έστω  $\beta$  το αποτέλεσμα της άθροισης ενός συνόλου γλωσσικών ορών που έχουν εκφραστεί σε μια γλωσσική κλίμακα  $S$ , για παράδειγμα, έστω  $\beta$  το αποτέλεσμα μιας συμβολικής άθροισης, όπου  $\beta \in [0, g]$ , και  $g+1$  το πλήθος των στοιχείων του  $S$ .
- ▲ Αν  $i = \text{round}(\beta)$  και  $\alpha = \beta - i$  δύο τιμές έτσι, ώστε  $i \in [0, g]$  και  $\alpha \in [-0.5, 0.5)$ , τότε η  $\alpha$  καλείται συμβολική μετάφραση.



Η συμβολική μετάφραση ενός γλωσσικού όρου,  $s_i$ , είναι δηλαδή μια αριθμητική τιμή στο διάστημα  $[-0.5, 0.5)$ , η οποία υποδηλώνει την “διαφοροποίηση της πληροφορίας” ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή  $\beta \in [0, g]$  που λαμβάνεται κατόπιν μιας συμβολικής συνάθροισης, και της πλησιέστερης τιμής στο  $\{0, \dots, g\}$  που δηλώνει το περιεχόμενο του πλησιέστερου γλωσσικού όρου στο  $S$  ( $i = \text{round}(\beta)$ ).

Από την άποψη αυτήν, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο γλωσσικής απεικόνισης, το οποίο απεικονίζει τη γλωσσική πληροφορία μέσω δύο στοιχείων, των  $(s_i, \alpha_i)$ , με  $s_i \in S$  and  $\alpha_i \in [-0.5, 0.5)$ , τέτοια ώστε:

- ▲ Το  $s_i$  αντιπροσωπεύει τη γλωσσική προέλευση της πληροφορίας
- ▲ Το  $\alpha_i$  αποτελεί μια αριθμητική τιμή, η οποία εκφράζει την απόδοση της μετάφρασης από το αρχικό αποτέλεσμα  $\beta$  στο πλησιέστερο όρο  $i$  στο σύνολο γλωσσικών στοιχείων  $(s_i)$ , δηλαδή τη συμβολική μετάφραση.

Το παραπάνω μοντέλο ορίζει ένα σύνολο συναρτήσεων μετάφρασης ανάμεσα σε γλωσσικούς όρους και στη διπλή αναπαράσταση, και ανάμεσα σε αριθμητικές τιμές και στη διπλή αναπαράσταση. Αν  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων και  $\beta \in [0, g]$  μια τιμή που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα μιας συμβολικής συνάθροισης, τότε η διπλή αναπαράσταση που εκφράζει την ισοδύναμη με το  $\beta$  πληροφορία λαμβάνεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

- ▲  $\Delta(\beta) = (s_i, \alpha)$ , με  $\begin{cases} s_i \\ \alpha = \beta - i \end{cases}$ ,  $i = \text{round}(\beta)$ ,  $\alpha_i \in [-0.5, 0.5)$ , όπου  $\text{round}(\cdot)$  η συνήθης συνάρτηση στρογγυλοποίησης, το περιεχόμενο του  $s_i$  είναι το πλησιέστερο στο “ $\beta$ ” και το “ $\alpha$ ” είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.
- ▲ Υπάρχει πάντοτε μια συνάρτηση  $\Delta^{-1}$  τέτοια, ώστε από 2-tuple να επιστρέφει την αντίστοιχη αριθμητική της αξία  $\beta \in [0, g] \subset \mathfrak{R}$ . Υπό αυτό το πρίσμα, δεν είναι μεγάλης σημασίας να οριστεί η ακόλουθη συνάρτηση:

$$\checkmark \quad \Delta^{-1} : S \times [-.5, .5) \rightarrow [0, g]$$

$$\checkmark \quad \Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$$

Επιπλέον, η αντιστροφή της διπλής αναπαράστασης μπορεί να οριστεί σαν  $n(s_i, a) = \Delta[g - \Delta^{-1}(s_i, a)]$ , όπου  $g+1$  είναι το πλήθος της διατεταγμένης γλωσσικής κλίμακας  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ .

Επιπρόσθετα, η σύγκριση δύο γλωσσικών πληροφοριών που απεικονίζονται με τη διπλή αναπαράσταση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη των γλωσσικών μεταβλητών. Έστω  $(s_k, a_1)$  και  $(s_l, a_2)$  δύο

αναπαραστάσεις γλωσσικής πληροφορίας. Η σύγκριση τότε γίνεται ως ακολούθως:

- ▲ Αν  $k < l$  τότε  $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$ .
- ▲ Αν  $k = l$  τότε, τρεις διαφορετικές περιπτώσεις ισχύουν:
  1. Αν  $a_1 = a_2$  τότε  $(s_k, a_1) = (s_l, a_2)$  που σημαίνει ότι αναπαριστούν την ίδια πληροφορία.
  2. Αν  $a_1 < a_2$  τότε  $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$ .
  3. Αν  $a_1 > a_2$  τότε  $(s_k, a_1) > (s_l, a_2)$ .

Ένα παράδειγμα της διπλής αναπαράστασης είναι αν υποθέσουμε τη γλωσσική κλίμακα  $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$  και τον γλωσσικό αθροιστικού τελεστή, με αποτέλεσμα την τιμή  $\beta = 2.8$ . Τότε, η διπλή απεικόνιση της πληροφορίας  $\beta = 2.8$  είναι η  $\Delta(2.8) = (s_3, -0.2)$ .

Με βάση την αρχή ότι η συνάθροιση γλωσσικών πληροφοριών πρέπει να έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη μίας τιμής που αθροίζει τις προηγούμενες, έτσι και στη διπλή απεικόνιση η συνάθροιση μίας ομάδας διπλών αναπαραστάσεων πρέπει να είναι πάλι μια διπλή αναπαράσταση. Κάθε αριθμητικός αθροιστικός τελεστής μπορεί να επεκταθεί ώστε να συνδυάζει διπλές αναπαραστάσεις και να καταλήγει σε ένα αποτέλεσμα διπλής αναπαράστασης, με τη βοήθεια και των συναρτήσεων  $\Delta$  and  $\Delta^{-1}$ , όπως προσδιορίστηκαν παραπάνω.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι τελεστές του αριθμητικού μέσου και του σταθμισμένου μέσου όρου, με βάση τη διπλή αναπαράσταση μπορούν να οριστούν ως εξής:

- ▲ Έστω  $x = \{(x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)\}$  ένα σετ διπλών αναπαραστάσεων. Ο αριθμητικός μέσος διπλής αναπαράστασης ορίζεται ως:

$$M((x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)) = \Delta \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(x_i, a_i) \right] = \Delta \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right]$$

και επιτρέπει να γίνονται υπολογισμοί χωρίς να χάνεται πληροφορία.

- ▲ Έστω  $x = \{(x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)\}$  ένα σετ από διπλές αναπαραστάσεις και  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  με  $w_i \geq 0$  να είναι τα σχετιζόμενα βάρη τους. Ο διπλής αναπαράστασης σταθμισμένος μέσος όρος είναι:

$$M((x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)) = \Delta \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta^{-1}(x_i, a_i)) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] = \Delta \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]$$

Σε αυτό το πλαίσιο, και ο LOWA διπλής αναπαράστασης μπορεί να οριστεί ως ακολούθως (Herrera & Martinez, 1999):

Έστω  $A = \{(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)\}$  ένα σετ γλωσσικών αναπαραστάσεων, τέτοιο ώστε  $(r_i, a_i) \in S \times [-0.5, 0.5]$ . Το διάνυσμα άθροισης για τη διπλή αναπαράσταση γίνεται ως εξής:

$$EC^m\{w_i, (r_{o(j)}, a_{o(j)}), j=1, \dots, m\} = \Delta(w_1 \cdot \Delta^{-1}(r_{o(1)}, a_{o(1)}) + (1-w_1) \Delta^{-1}(EC^{m-1}\{\eta_h, (r_{o(h)}, a_{o(h)}), h=2, \dots, m\}))$$

Με το  $\eta_h = w_h / \sum_{k=2}^m w_k$ ,  $h=2, \dots, m$ , και  $W = [w_1, \dots, w_m]$  να είναι το διάνυσμα βαρών σε σχέση με το  $A$ , τέτοιο ώστε:

- ▲  $w_i \in [0, 1]$
- ▲  $\sum_i w_i = 1$
- ▲  $B = \{(r_{o(1)}, a_{o(1)}), (r_{o(m)}, a_{o(m)})\}$ , είναι ένα διατεταγμένο σετ του  $A$ , τέτοιο ώστε,  $(r_{o(i)}, a_{o(i)}) \leq (r_{o(j)}, a_{o(j)})$ ,  $\forall i \leq j$ .

Με βάση τα παραπάνω, οι υπολογισμοί γίνονται ως ακολούθως:

$$EC^m\{w_i, (r_{o(i)}, a_{o(i)}), j=1, \dots, m\} = \Delta\left(\sum_{i=1}^m w_i \Delta^{-1}((r_{o(i)}, a_{o(i)}))\right) = \Delta\left(\sum_{i=1}^m w_i \beta_{o(i)}\right),$$

όπου  $\beta_{o(i)} = \Delta^{-1}(r_{o(i)}, a_{o(i)})$

Αν  $m=2$ , τότε ορίζεται ως εξής:

$$EC^2\{w_i, (r_{o(i)}, a_{o(i)}), i=1, 2\} = \Delta(w_1 \cdot \Delta^{-1}(r_{o(1)}, a_{o(1)}) + (1-w_1) \Delta^{-1}(r_{o(2)}, a_{o(2)})) = (r_f, a_f),$$

τέτοιο ώστε  $(r_f, a_f) = \Delta(\beta_{o(1)} + w_1(\beta_{o(1)} - \beta_{o(2)}))$

Αν  $w_j=1$  και  $w_i=0$  with  $i \neq j \forall i$ , τότε το διάνυσμα άθροισης ορίζεται ως εξής:  $EC^m\{w_i, (r_{o(i)}, a_{o(i)}), i=1, \dots, m\} = (r_{o(j)}, a_{o(j)})$ .

Με βάση τα παραπάνω, οι προσεγγιστικοί υπολογισμοί ελαχιστοποιούνται. Σε αυτό το πλαίσιο, ο τελεστής LOWA διπλής αναπαράστασης ορίζεται ως ακολούθως:

Έστω  $A = \{(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)\}$  ένα σετ διπλών αναπαραστάσεων που πρέπει να συναθροιστούν, τότε ο αντίστοιχος τελεστής του LOWA,  $\Phi^e$ , ορίζεται ως ακολούθως:

$$\Phi^e[(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)] = W \cdot B^T = EC^m\{w_i, (r_{o(i)}, a_{o(i)}), i=1, \dots, m\}.$$

### III.4.3 Διαχείριση Ετερογενών Πληροφοριών

**Υπόβαθρο** Στα προβλήματα λήψης αποφάσεων είναι πολύ συνηθισμένη η χρήση μη-ομοιογενών πληροφοριών στη βιβλιογραφία (Tian et al., 2002; Li et al., 2008; Martinez et al., 2007) εξαιτίας κυρίως της φύσης των εναλλακτικών λύσεων:

- ▲ Όταν οι εναλλακτικές είναι ποσοτικές από τη φύση τους, αξιολογούνται με ακριβείς αριθμητικές τιμές.
- ▲ Όταν όμως οι εναλλακτικές έχουν ποιοτικό χαρακτήρα είναι δύσκολο να αξιολογηθούν με αριθμητικές τιμές.

Συνήθως, τέτοιου είδους εναλλακτικές δεν είναι ακριβείς και παρουσιάζουν αβεβαιότητες. Μέχρι στιγμής αυτή η αβεβαιότητα εκφράζεται στις πληροφορίες με τη βοήθεια πραγματικών τιμών που αξιολογούνται σε ένα προκαθορισμένο εύρος, καθώς επίσης και σε άλλες πρόσφατες μεθόδους που βασίζονται σε διαστήματα και σε γλωσσικές προσεγγίσεις.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, διαφορετικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση ετερογενών πληροφοριών (Kundu, 1997; Herrera & Martinez, 2000, 2001a; Herrera et al., 2005; Baležentis & Baležentis, 2011; Atanassov, 1986; Lawry, 2004; Li et al., 2010; Espinilla et al., 2012).

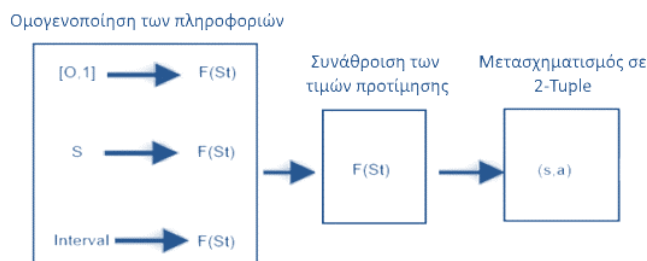
**Μεθοδολογία  
Διαχείρισης  
Ετερογενών  
Πληροφο-  
ριών**

Μια από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες για τη διαχείριση των ετερογενών πληροφοριών είναι των Herrera et al. (2005). Η μεθοδολογία αυτή είναι κατάλληλη για να χρησιμοποιηθεί στο επίπεδο της ενεργειακά Έξυπνης Πόλης καθώς συνδυάζει δυο (2) σημαντικά πλεονεκτήματα:

- ▲ Μπορεί να αντιμετωπίσει με επιτυχία τα ετερογενή κριτήρια (ποσοτικά και ποιοτικά),
- ▲ Μπορεί να έχει ακριβή αποτελέσματα κάνοντας χρήση του μοντέλου διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple».

Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία των Herrera et al. (2005) αποτελείται από τις ακόλουθες τρεις φάσεις (Σχήμα 3.12) :

- ▲ *Ομογενοποίηση των πληροφοριών (Unification of the information):* Η φάση αυτή ενοποιεί τις ετερογενείς πληροφορίες (αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικούς όρους) σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS – Basic Linguistic Term Set).
- ▲ *Συνάθροιση των τιμών προτίμησης (Aggregation of the preferred values):* Είναι η φάση υπολογισμού και της συνάθροισης των τιμών προτίμησης.
- ▲ *Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple»:* Είναι η διεργασία που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τα αποτελέσματα με το μοντέλο διπλής αναπαράστασης «2-tuple».



**Σχήμα 3.12. Μεθοδολογία Διαχείρισης Ετερογενών Πληροφοριών (Herrera et al., 2005)**

**Το μοντέλο  
γλωσσικής  
αναπαράστα-  
σης «2-tuple»**

Το μοντέλο διπλής γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple» (Herrera & Martinez, 2000; Herrera & Martinez, 2001a) είναι μια εξέλιξη του

συμβολικού μοντέλου (Delgado et al., 1993) που επεκτείνει τη χρήση δεικτών τροποποιώντας την ασαφή γλωσσική αναπαράσταση.

Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια, το μοντέλο αυτό εισάγει μια καινούρια παράμετρο, την επονομαζόμενη συμβολική μετάφραση, η οποία αντιμετωπίζει τη γλωσσική περιοχή ως συνεχή, καθώς στο συμβολικό μοντέλο αντιμετωπίζεται ως διακριτή, και φέρνει εις πέρας τη διεργασία του υπολογισμού με λέξεις εύκολα και χωρίς απώλεια πληροφορίας. Αυτό το μοντέλο αναπαριστά τη γλωσσική πληροφορία με ένα γλωσσικό «2-tuple» που αποτελείται από ένα ζεύγος τιμών, δηλαδή ορίζεται ως:  $(s_i, a) \in S \times [-0.5, 0.5)$

όπου  $(s_i, a) \in S$  είναι γλωσσικός όρος και το  $(s_i, a) \in [-0.5, 0.5)$  είναι μια αριθμητική τιμή που αναπαριστά τη συμβολική μετάφραση. Το μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple», χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα λήψης αποφάσεων (Li et al., 2010; Espinilla et al., 2012; Marinakis et al., 2017; Papastamatiou et al., 2015, 2016, 2017).

**Ορισμός 1.** Αυτό το μοντέλο ορίζει ένα σύνολο συναρτήσεων μετασχηματισμού μεταξύ γλωσσικών όρων και γλωσσικών «2-tuple» τιμών, καθώς επίσης και μεταξύ αριθμητικών τιμών και γλωσσικών «2-tuple» τιμών. Έστω  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  το σύνολο των γλωσσικών όρων και  $\beta \in [0, g]$  μια τιμή που αναπαριστά το αποτέλεσμα μιας συμβολικής λειτουργίας συνάθροισης. Η γλωσσική τιμή «2-tuple» εκφράζει την ισοδύναμη πληροφορία του  $\beta$ , το οποίο προκύπτει από την ακόλουθη διαδικασία:

$$\Delta : [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5)$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, a), \quad \text{με} \quad \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0.5, 0.5) \end{cases}$$

όπου  $\text{round}(\ )$  είναι η συνηθισμένη στρογγυλοποίηση,  $s_i$  έχει την κοντινότερη ετικέτα δείκτη στο  $\beta$  και το  $a$  είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.

**Ορισμός 2.** Η σύγκριση της γλωσσικής πληροφορίας που αναπαριστάται από τις γλωσσικές 2-tuple τιμές γίνεται σύμφωνα με ένα κοινό λεξικογραφικό όρο. Έστω  $(s_k, a_1)$  και  $(s_l, a_2)$  δύο γλωσσικές τιμές «2-tuple». Η σύγκριση πραγματοποιείται ως ακολούθως:

- ▲ Αν  $k < l$  τότε  $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$
- ▲ Αν  $k = l$  τότε τρεις περιπτώσεις υπάρχουν:
  1. Αν  $a_1 = a_2$  τότε  $(s_k, a_1)$  και  $(s_l, a_2)$  αναπαριστούν την ίδια πληροφορία
  2. Αν  $a_1 < a_2$  τότε  $(s_k, a_1)$  είναι μικρότερο από  $(s_l, a_2)$
  3. Αν  $a_1 > a_2$  τότε  $(s_k, a_1)$  είναι μεγαλύτερο από  $(s_l, a_2)$

Ας υποθέσουμε ότι χρησιμοποιούμε ένα σύνολο ετικετών με επτά όρους συμμετρικά διανεμημένους  $S = \{s_0: \text{Ασήμαντο}, s_1: \text{Πολύ Χαμηλό}, s_2: \text{Χαμηλό}, s_3: \text{Μεσαίο}, s_4: \text{Υψηλό}, s_5: \text{Πολύ Υψηλό}, s_6: \text{Βέλτιστο}\}$  και  $\beta=2,8$  είναι η τιμή που αναπαριστά το αποτέλεσμα της συμβολικής λειτουργίας συγκέντρωσης στο σύνολο των ετικετών. Τότε, η τιμή «2-tuple» που εκφράζει την ισοδύναμη πληροφορία του  $\beta$  είναι (“Μεσαίο”,

-0.2). Η μετατροπή ενός γλωσσικού όρου σε ένα γλωσσικό «2-tuple» αποτελείται από την προσθήκη μιας μηδενικής τιμής ως συμβολική μετάφραση:  $s_i \in S \Rightarrow (s_i, 0) \in S \times [-0.5, 0.5]$ .

**Σημείωση 1.** Αξιίζει να σημειωθεί ότι η συνάρτηση  $\Delta$  είναι μια αντιστοιχιστική ένα προς ένα. Έτσι η αντίστροφη διαδικασία  $\Delta^{-1}$  επιστρέφει την ισοδύναμη αριθμητική τιμή  $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$ .

**Σημείωση 2.** Στη μετατροπή ενός γλωσσικού όρου σε «2-tuple» γλωσσική αναπαράσταση, προστίθεται η τιμή μηδέν ως συμβολική μετάφραση.

**Σημείωση 3.** Το μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple» χρησιμοποιεί συναρτήσεις συσχέτισης τριγωνικού σχήματος, συμμετρικές και ομοιόμορφα διανεμημένες για την εξαγωγή αποτελεσμάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια (Herrera & Martinez, 2001a). Επιπρόσθετα, έχει συσχετίσει ένα υπολογιστικό μοντέλο όπου ένας συνολικός όρος για γλωσσικά «2-tuple» ορίζεται μαζί με έναν τελεστή άρνησης και μερικές συναρτήσεις συνάθροισης (Herrera & Martinez, 2000).

**Ομογενοποίηση πληροφοριών** Η πρώτη φάση της μεθοδολογίας των Herrera et al. (2005) είναι η «Ομογενοποίηση των πληροφοριών σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS – Basic Linguistic Term Set)».

Συγκεκριμένα, η φάση της ενοποίησης αποτελείται από δύο διεργασίες:

1. Οι ετερογενείς πληροφορίες: αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικοί όροι, ενοποιούνται σε μία ενιαία γλωσσική περιοχή που ονομάζεται Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS - Basic Linguistic Term Set).
2. Αφού επιλεγθεί το Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων, έστω  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ , οι μη ομογενείς πληροφορίες ομογενοποιούνται μέσω συναρτήσεων μετασχηματισμού ανάλογα με το είδος της πληροφορίας.

Κάθε αριθμητική τιμή, διάστημα τιμών και γλωσσικός όρος εκφράζονται σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων BLTS, το  $F(S_T)$ . Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- ▲ Μετατροπή αριθμητικών τιμών (numerical values)  $[0, 1]$  σε  $F(S_T)$ .
- ▲ Μετατροπή γλωσσικών όρων (linguistic terms) σε  $F(S_T)$ .
- ▲ Μετατροπή των διαστημάτων τιμών (interval values) σε  $F(S_T)$ .

Στη συνέχεια περιγράφεται ο διαφορετικός τρόπος μετατροπής ανάλογα με το είδος της πληροφορίας σε ένα ενιαίο BLTS.

## ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΕ $F(S_T)$

Μια αριθμητική τιμή  $\theta \in [0, 1]$  μετασχηματίζεται σε ένα ασαφές σύνολο  $F(S_T)$  υπολογίζοντας την τιμή συμμετοχής του  $\theta$  στον ασαφή αριθμό που σχετίζεται με τους γλωσσικούς όρους του  $S_T$ .

**Ορισμός 3.** Έστω  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  είναι ένα BLTS, τότε η συνάρτηση  $\tau_{NS_T}$  μετασχηματίζει μια τιμή  $\theta \in [0, 1]$  σε ένα ασαφές σύνολο  $S_T$  **Error!**

**Reference source not found.:**

$$\tau_{NS_T} : [0, 1] \rightarrow F(S_T)$$

$$\tau_{NS_T}(\theta) = \sum_{i=0}^g s_i / \gamma_i$$

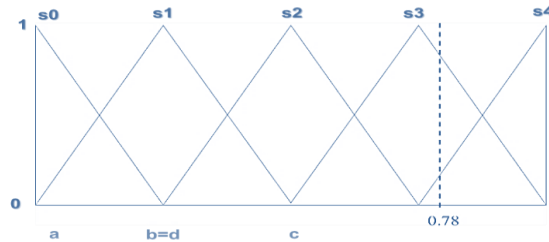
$$\gamma_i = \mu_{s_i}(\theta) = \begin{cases} 0, & \text{αν } \theta \text{ δεν ανήκει } (\mu_{s_i}(x)) \\ \frac{\theta - \alpha_i}{b_i - \alpha_i}, & \text{αν } \alpha_i \leq \theta \leq b_i \\ 1, & \text{αν } b_i \leq \theta \leq d_i \\ \frac{c_i - \theta}{c_i - d_i}, & \text{αν } d_i \leq \theta \leq c_i \end{cases}$$

**Σημείωση 4.** Θεωρείται ότι η συνάρτηση συσχέτισης  $\mu_{s_i}(\cdot)$ , για τις γλωσσικές ετικέτες,  $s_i \in S_T$ , αναπαρίσταται από μια παραμετρική συνάρτηση  $(\alpha_i, b_i, d_i, c_i)$ . Μια ειδική περίπτωση είναι όταν οι γλωσσικές εκτιμήσεις έχουν τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής, δηλαδή  $b_i = d_i$ .

**Παράδειγμα 1.** Έστω  $\theta=0.78$  η αριθμητική τιμή που θα μετατραπεί σε ασαφές σύνολο  $S=\{s_0, \dots, s_4\}$ .

Η σημασιολογία αυτού του όρου είναι:  $s_0=(0,0,0.25)$ ,  $s_1=(0,0.25,0.5)$ ,  $s_2=(0.25,0.5,0.75)$ ,  $s_3=(0.5,0.75,1)$ ,  $s_4=(0.75,1,1)$ .

Οπότε το ασαφές σύνολο που προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.13, είναι το εξής:  $\tau_{NS_T}(0.78) = \{(s_0, 0), (s_1, 0), (s_3, 0.88), (s_4, 0.12)\}$ .



**Σχήμα 3.13.** Μετασχηματίζοντας μια αριθμητική τιμή σε ασαφές σύνολο σε  $F(S_T)$  (Papastamatiou et al., 2013)

## ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΎΡΩΝ ΣΕ $F(S_T)$

**Ορισμός 4.** Αν  $S_i = s_0^i, \dots, s_{g_i}^i$  και  $S_T = s_0^T, \dots, s_{g_T}^T$ , δυο σύνολα γλωσσικών όρων τέτοια ώστε  $g_T \geq g_i$ , τότε ο γλωσσικός μετασχηματισμός  $\tau_{S_i S_T}$  ορίζεται ως **Error! Reference source not found.:**

$$\tau_{S_i S_T} : S_i \rightarrow F(S_T)$$

$$\tau_{S_i S_T}(s_j^i) = \sum_{k=0}^{g_T} S_k^T / \gamma_k^j$$

$$\gamma_i = \mu_{s_i}(\theta) = \max_y \min \{ \mu_{s_j^i}(y), \mu_{s_k^T}(y) \}$$

όπου  $F(S_T)$  είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων που ορίζονται στο  $S_T$  και  $\mu_{s_j^i}(y)$  και  $\mu_{s_k^T}(y)$  είναι οι συναρτήσεις συσχέτισης που σχετίζονται με τους όρους  $s_j^i$  και  $s_k^T$ , αντίστοιχα.

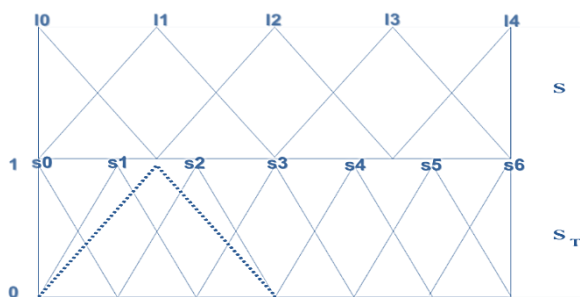
Έτσι, το αποτέλεσμα  $\tau_{S_S T}$  για κάθε γλωσσική τιμή του  $S$  είναι ένα ασαφές σύνολο ορισμένο στο BLTS σε  $F(S_T)$ .

**Παράδειγμα 2.** Έστω σύνολο  $S$  εκφρασμένο με την πενταβάθμια  $(l_0, \dots, l_4)$  γλωσσική τριγωνική κλίμακα και  $S_t$  επιθυμητή γλωσσική κλίμακα η επταβάθμια  $(s_0, \dots, s_6)$ .

$$l_0 = (0,0,0.25), l_1 = (0,0.25,0.5), l_2 = (0.25,0.5,0.75), l_3 = (0.5,0.75,1), l_4 = (0.75,1,1)$$

$$s_0 = (0,0,0.16), s_1 = (0,0.16,0.34), s_2 = (0.16,0.34,0.5), s_3 = (0.34,0.5,0.66), s_4 = (0.5,0.66,0.84), s_5 = (0.66,0.84,1), s_6 = (0.84,1,1)$$

Επομένως το αποτέλεσμα μετά από τον μετασχηματισμό του  $l_1$  στο  $S_t$ , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.14, είναι:  $\tau_{sst}(l_1) = \{(s_0, 0.39), (s_1, 0.85), (s_2, 0.85), (s_3, 0.39), (s_4, 0), (s_5, 0), (s_6, 0)\}$ .



Σχήμα 3.14. Μετασχηματίζοντας μια γλωσσική τιμή σε ασαφές σύνολο σε  $F(S_T)$  (Papastamatiou et al., 2013)

### ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΕ $F(S_T)$

**Ορισμός 5.** Αν  $I \in [a, b]$  ένα διάστημα τιμών και  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  ένα σύνολο γλωσσικών όρων, τότε ο γλωσσικός μετασχηματισμός  $\tau_{IS_T}$  ορίζεται ως **Error! Reference source not found.**:

$$\tau_{S_i S_T} : S_i \rightarrow F(S_T)$$

$$\mu_I(\theta) = \begin{cases} 0, & \text{αν } \theta < a \\ 1, & \text{αν } a \leq \theta \leq b \\ 0, & \text{αν } b \leq \theta \leq g \end{cases}$$

$$\tau_{IS_T}(I) = \{(s_k, \gamma_k^i) / k \in \{0, \dots, g\}\}$$

$$\gamma_k^i = \max_y \min\{\mu_I(y), \mu_{s_k}(y)\}$$

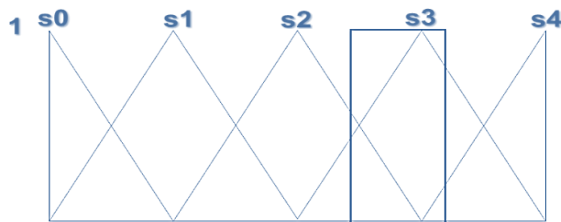
ου  $F(S_T)$  είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων που ορίζονται στο  $S_T$  και  $\mu_I(y)$  και  $\mu_{s_k}(y)$  είναι οι συναρτήσεις συσχέτισης που σχετίζονται με το διάστημα τιμών  $I$  και τους όρους  $s_k$  αντίστοιχα.

**Παράδειγμα 3.** Έστω  $I=[0.7,0.9]$  το διάστημα που θα μετατραπεί σε ασαφές σύνολο  $S_T$ , με πέντε όρους συμμετρικά καταναμημένους. Το



ασαφές σύνολο που προκύπτει αφού εφαρμοστεί η συνάρτηση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.15, είναι:

$$\begin{aligned} & \tau_{IS_T}([0.7, 0.9]) \\ &= \{(s_0, 0), (s_1, 0), (s_2, 0.6), (s_3, 1), (s_4, 0.08), (s_5, 1), (s_6, 0.34)\}. \end{aligned}$$



Σχήμα 3.15. Μετασχηματίζοντας ένα διάστημα τιμών σε ασαφές σύνολο σε  $F(S_T)$  (Papastamatiou et al., 2013)

#### Συνάθροιση τιμών προτίμησης

Έχοντας ολοκληρωθεί η πρώτη φάση της μεθοδολογίας των Herrera et al. (2005) με την ομογενοποίηση των πληροφοριών σε μια περιοχή έκφρασης, σε ένα κοινό BLTS, ακολουθεί η δεύτερη φάση της μεθοδολογίας η «Συνάθροιση των τιμών προτίμησης».

**Ορισμός 6.** Ας θεωρήσουμε ένα ασαφές σύνολο:  $F_{S_T} = \{(s_0, \gamma_0), (s_1, \gamma_1), \dots, (s_g, \gamma_g)\}$ ,  $s_i \in S_T$  και  $\gamma_i \in [0, 1]$ , η διεργασία της συνάθροισης είναι η ακόλουθη:

$$\begin{aligned} & F_{Agg} \\ &= \left\{ \left( s_0, \frac{x_0 + y_0 + \dots + z_0}{n} \right), \left( s_1, \frac{x_1 + y_1 + \dots + z_1}{n} \right), \dots, \left( s_g, \frac{x_g + y_g + \dots + z_g}{n} \right) \right\} \end{aligned}$$

Ουσιαστικά ο υπολογισμός προκύπτει με τη χρήση του αριθμητικού μέσου.

#### Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων σε «2-Tuple»

Έχοντας ολοκληρωθεί η δεύτερη φάση της μεθοδολογίας των Herrera et al. (2005) με τη συνάθροιση των τιμών προτίμησης ακολουθεί η τρίτη και τελευταία φάση της μεθοδολογίας ο «Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple».

**Ορισμός 7.** Μία συνάρτηση  $\chi$  μετασχηματίζει ένα ασαφές σύνολο σε αριθμητική τιμή στο διάστημα διακριτότητας του  $S_T, [0, g]$ :

$$\chi : F(S_T) \rightarrow [0, g]$$

$$\chi(F(S_T)) = \chi\left(\sum_{j=0}^g s_j / \gamma_j\right) = \Delta\left(\frac{\sum_{j=0}^g j \gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j}\right) = \Delta(\beta) = (s, a)$$

Ως εκ τούτου, εφαρμόζοντας τον Ορισμό 1, λαμβάνεται μια σχέση συλλογικής προτίμησης, της οποίας οι τιμές εκφράζονται από «2-tuple»:  $\Delta : [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$

$$\Delta(\beta) = (s_i, a), \quad \mu\epsilon \quad \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0.5, 0.5] \end{cases}$$

### ΙΙΙ.4.4 Αξιολόγηση

Η εφαρμογή της γλωσσικής ανάλυσης είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων προς την κατεύθυνση των έξιπνων πόλεων, παρ' όλο που δεν χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. Μέσω της γλωσσικής ανάλυσης εισάγεται ένα περισσότερο ευέλικτο πλαίσιο εργασίας, το οποίο επιτρέπει την αναπαράσταση των πληροφοριών με έναν πιο άμεσο και επαρκή τρόπο, εξαφανίζοντας έτσι την επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης ποιοτικών από τη φύση τους εννοιών (π.χ. η βελτίωση της ποιότητας των πολιτών, η λειτουργικότητα των χώρων των κτιρίων). Οι τρεις βασικές προσεγγίσεις της γλωσσικής ανάλυσης είναι οι ακόλουθες:

- ▲ Προσέγγιση Προέκτασης: Βασίζεται στις σχετικές συναρτήσεις συσχέτισης των γλωσσικών όρων, μέσα ουσιαστικά από την αναπαράσταση των γλωσσικών όρων με παραμέτρους της αντίστοιχης συνάρτησης συσχέτισης. Η συνάρτηση συσχέτισης συνήθως προέρχεται από υποκειμενικές εκτιμήσεις των αποφασιζόντων είτε από προκαθορισμένες (ad hoc) και απλοποιημένες μορφές, οπότε εισέρχεται αβεβαιότητα στη διαδικασία της απόφασης. Επίσης, οι πράξεις που πρέπει να γίνουν μεταξύ των ασαφών συνόλων είναι πολλές φορές πολύπλοκες και απαιτούν σύνθετα υπολογιστικά εργαλεία.
- ▲ Συμβολική Προσέγγιση: Δρα μέσω άμεσου υπολογισμού στις ετικέτες των γλωσσικών όρων, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση των συναρτήσεων συμμετοχής μαζί με τους γλωσσικούς όρους. Από την άποψη του υπολογισμού, οι πράξεις είναι σχετικά απλές και γρήγορες. Υπάρχει όμως το εγγενές πρόβλημα ότι σε πολλές περιπτώσεις «χάνεται» πληροφορία.
- ▲ Προσέγγιση Διπλής Αναπαράστασης: Είναι μια ικανή προσέγγιση αναπαράστασης και επεξεργασίας της ασαφούς πληροφορίας που εμπεριέχεται σε προβλήματα αποφάσεων στον τομέα των Έξιπνων Πόλεων.

Σημαντικό, επίσης, αποτελεί το γεγονός ότι το μοντέλο της διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple» αποτελεί το κατάλληλο μέσο για την προτεινόμενη μεθοδολογία έναντι των υπόλοιπων μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης. Μπορεί σε διεθνές επίπεδο, η χρήση της γλωσσικής ανάλυσης και η διαχείριση των ετερογενών δεδομένων στην πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων να έχει αποτελέσει ένα αντικείμενο που έχει κεντρίσει το ερευνητικό ενδιαφέρον, ωστόσο ο ρόλος τους στον τομέα των Έξιπνων πόλεων δε φαίνεται να έχει μελετηθεί εκτενώς μέχρι σήμερα.

## ΙΙΙ.5 Συμπεράσματα

**Επισκόπηση Μεθοδολογιών** Από την επισκόπηση των σχετιζόμενων μεθοδολογιών που προηγήθηκε, προκύπτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για την επίλυση του προβλήματος που εξετάζεται στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή:

### **Έλλειψη Ολοκληρωμένης Μεθοδολογικής Προσέγγισης, κατάλληλα προσαρμοσμένης στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων**

Μέσα από τη μελέτη και αξιολόγηση αυτών των μεθοδολογιών και εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα προκύπτει ότι οι περισσότερες από αυτές:

- ▲ Δεν αξιολογούν την ενεργειακή απόδοση της πόλης ή των κτιρίων της πριν και μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας,
- ▲ Δεν αξιοποιούν ΣΥΑ και ΤΠΕ,
- ▲ Δεν συνδυάζουν τη Διαχείριση Ενέργειας και την Εξοικονόμηση Ενέργειας,
- ▲ Δεν λαμβάνουν υπόψη τους χρήστες των κτιρίων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης,
- ▲ Δεν υπάρχει ένα ολιστικό πλαίσιο ενεργειακής αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων σε όλους τους τομείς τους και ως εκ τούτου δεν παρέχετε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη Διαχείριση και την Εξοικονόμηση στις Έξυπνες Πόλεις.

### **Περιορισμένες Ερευνητικές Προσπάθειες σε επιμέρους Τεχνολογίες Υποστήριξης Αποφάσεων & στη Διαδικασία Ενσωμάτωσής τους σε ένα Ενιαίο Πλαίσιο Υποστήριξης σε επίπεδο Έξυπνης Πόλης**

Η μελέτη της βιβλιογραφίας δείχνει ότι επιμέρους τεχνολογίες υποστήριξης αποφάσεων (πολυκριτήρια ανάλυση, γλωσσική ανάλυση, διαχείριση ετερογενών πληροφοριών) έχουν εφαρμοσθεί εδώ και πολλά χρόνια σε ενεργειακά προβλήματα, οδηγώντας στην εξαγωγή των ακόλουθων συμπερασμάτων:

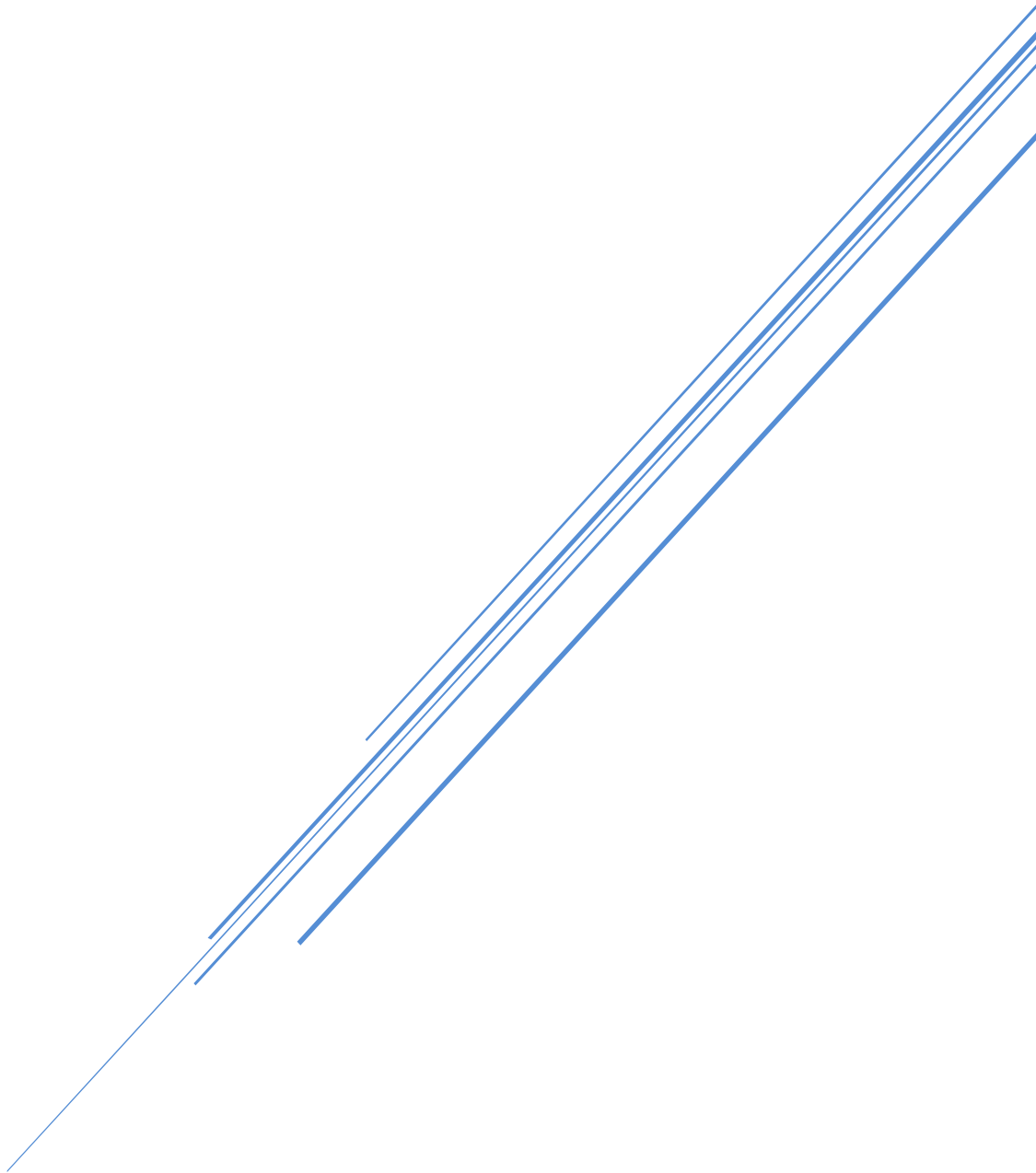
- ▲ Οι ερευνητικές προσπάθειες για την υποστήριξη αποφάσεων στις Έξυπνες Πόλεις και η εφαρμογή των πολυκριτηριακών συστημάτων φαίνεται να είναι εξαιρετικά περιορισμένη και να αφορά επιμέρους μόνο χαρακτηριστικά.
- ▲ Η εφαρμογή της γλωσσικής ανάλυσης είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τις

Έξυπνες Πόλεις, παρ' όλο που δεν χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. Συνοπτικά, η προσέγγιση της διπλής αναπαράστασης μπορεί να έχει πραγματικά σημαντική συνεισφορά στην υποστήριξη αποφάσεων για τις Έξυπνες πόλεις, καθώς:

- Δίνει τη δυνατότητα να εκφράζονται τα βάρη των κριτηρίων και οι αποδόσεις των εναλλακτικών σε διακριτή κλίμακα.
  - Δίνει τη δυνατότητα να γίνονται πράξεις με ασαφείς αριθμούς, αίροντας έτσι τους περιορισμούς της διακριτής κλίμακα.
  - Μέσω αυτής της αναπαράστασης είναι εφικτή η μετάβαση από τη διακριτή κλίμακα στη συνεχή και ξανά στη διακριτή.
  - Δεν υπάρχει το εγγενές πρόβλημα των γλωσσικών προσεγγίσεων (με βάση την αρχή της προέκτασης είτε της συμβολικής προσέγγισης) της απώλειας πληροφορίας και της χαμηλής «διακριτότητας» των εναλλακτικών μεταξύ τους.
- ▲ Ενώ στα προβλήματα λήψης αποφάσεων είναι συχνή η χρήση μη-ομοιογενών πληροφοριών εξαιτίας κυρίως της φύσης των εναλλακτικών λύσεων, η εφαρμογή τους στο επίπεδο της πόλης και της αξιολόγησης των δράσεων ενεργειακής βελτιστοποίησης φαίνεται να είναι πολύ περιορισμένη.
- ▲ Από την σύγκριση των επιμέρους πολυκριτηριακών μεθόδων, αποδεικνύεται ότι το μοντέλο της διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple» είναι το κατάλληλο μέσο για την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

# Κεφάλαιο IV

Προτεινόμενη Μεθοδολογία



**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

*Ηλίας Μ. Παπασταματίου*



## IV.1 Εισαγωγή

**Στόχος** Η ανάλυση που παρατέθηκε στα προηγούμενα Κεφάλαια, καθιστά σαφή την ανάγκη για ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων βελτιστοποίησης ενέργειας σε έξυπνες πόλεις. Στο πλαίσιο αυτό, στόχος του Κεφαλαίου είναι η αναλυτική παρουσίαση της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης.

**Δομή Κεφαλαίου** Το Κεφάλαιο αυτό, πέρα από την εισαγωγή, περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες:

- ▲ **2<sup>η</sup> Ενότητα:** Αναλύεται η φιλοσοφία και η συνολική διαδικασία του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου.
- ▲ **3<sup>η</sup> Ενότητα:** Παρουσιάζονται τα επιμέρους στάδια της συνιστώσας «Assessment», δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο καινοτόμο Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016), καθώς και στο διαδικτυακό λογισμικό e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το SCEAF και αξιολογεί την απόδοση των πόλεων.
- ▲ **4<sup>η</sup> Ενότητα:** Αποτυπώνονται οι διαδικασίες για τη μοντελοποίηση δράσεων, το σχεδιασμό Σεναρίων Δράσης, βάσει των αποτελεσμάτων της προηγούμενης ενότητας, με στόχο την ενεργειακή εξοικονόμηση των «Έξυπνων Πόλεων», στάδια τα οποία διαμορφώνουν τη συνολική προσέγγιση της συνιστώσας «Management». Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα διαδικτυακά εργαλεία Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017) και της Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT) (Papastamatiou et al., 2015).
- ▲ **5<sup>η</sup> Ενότητα:** Στην τελευταία ενότητα παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα.

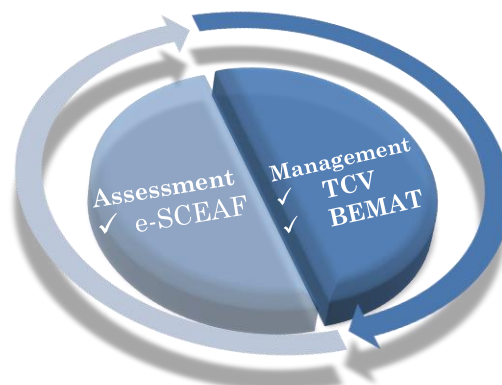


Σχήμα 4.1. Δομή 4ου Κεφαλαίου

## IV.2 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

### IV.2.1 Φιλοσοφία Προτεινόμενης Προσέγγισης

**Γενική Περιγραφή** Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η φιλοσοφία ανάπτυξης του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο έχει ως στόχο να υποστηρίξει τις τοπικές αρχές προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και των έξυπνων πόλεων.



Σχήμα 4.2. Φιλοσοφία Προσέγγισης

Πιο συγκεκριμένα, η προτεινόμενη προσέγγιση περιλαμβάνει τις ακόλουθες δυο (2) συνιστώσες (Σχήμα 4.2):

- ▲ *Συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση)*: Η συνιστώσα αυτή αποτελεί το σημείο εκκίνησης της μεθοδολογίας. Αφορά στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάστασης του ενεργειακού δυναμικού της πόλης και στην αξιολόγησή της. Στο στάδιο αυτό επισημαίνονται τα δυνατά σημεία, οι τομείς χαμηλής απόδοσης και οι δυνατότητες της πόλης για ενεργειακή διαχείριση. Τα αποτελέσματα αυτής της συνιστώσας αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης, καθώς και την παρακολούθηση των στόχων που έχουν τεθεί από τις τοπικές αρχές.
- ▲ *Συνιστώσα «Management» (Διαχείριση)*: Στη συνέχεια και αφού οι τοπικές αρχές έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσης της πόλης, η μεθοδολογία συνεχίζει με τη συνιστώσα «Management». Στο στάδιο αυτό, οι τοπικές αρχές επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις. Μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης, η μεθοδολογία συνεχίζει με την εκ νέου εφαρμογή της συνιστώσας Αξιολόγηση (Ex-Post «Assessment»).

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο δίνει στις τοπικές αρχές τη δυνατότητα να συγκρίνουν την απόδοση της πόλης και των κτιρίων πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης. Επίσης, μπορούν να συγκρίνουν και να αξιολογήσουν



ενεργειακά την πόλη στο σύνολο των τομέων της ή των κτιρίων αυτής με άλλες πόλεις ή άλλα κτίρια αντίστοιχα.

Με αυτό τον τρόπο, η «συστημική» προσέγγιση, στην οποία βασίζεται η φιλοσοφία της προτεινόμενης μεθοδολογίας, συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός διαφανούς και συνεπούς πλαισίου υποστήριξης των αποφασιζόντων για την αναγνώριση όλων των παραμέτρων του προβλήματος και την ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων, προς την κατεύθυνση των ενεργειακά βιώσιμων κοινοτήτων.

## IV.2.2 Συνολική Διαδικασία

Ακολουθώντας τη λογική της προτεινόμενης προσέγγισης, το μεθοδολογικό πλαίσιο περιλαμβάνει επιμέρους στάδια, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στην συνέχεια.

### *Συνιστώσα «Assessment»*

Στη συνιστώσα αυτή χρησιμοποιείται το πρωτότυπο διαδικτυακό εργαλείο e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων. Με το εργαλείο e-SCEAF και μέσα από μια απλοποιημένη διαδικασία, οι τοπικές αρχές μπορούν να εντοπίσουν εύκολα τους τομείς της πόλης που υπολειπούνται και να διευκολυνθεί η επιλογή των βελτιωτικών δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας προκειμένου η πόλη να γίνει πιο “έξυπνη” και ενεργειακά πιο αποδοτική. Το λογισμικό αναλύει τα δεδομένα που εισάγουν οι τοπικές αρχές και αξιολογεί την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση της πόλης βάσει τριών αξόνων:

- ▲ Πολιτικό πεδίο δράσης (Political Field of Action),
- ▲ Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ (Energy and Environmental Profile),
- ▲ Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), καθώς και Υποδομές (ICT and Infrastructures).

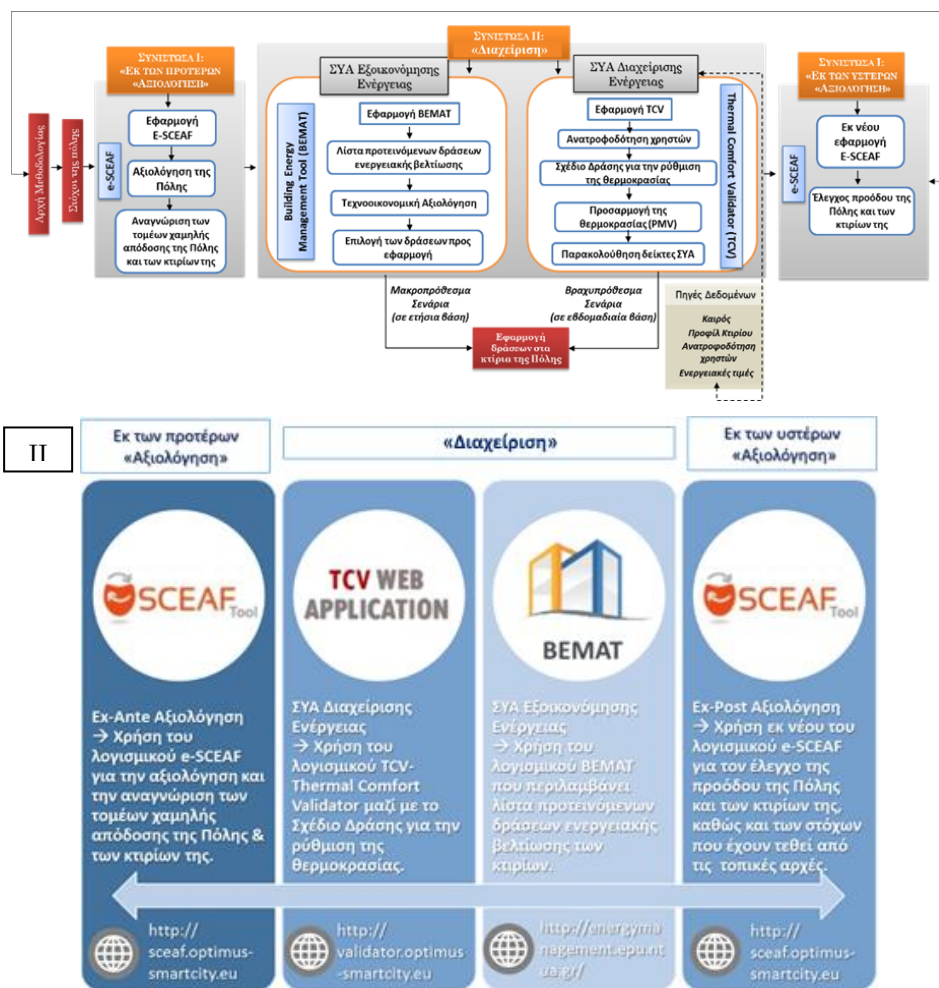
Μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης και της Συνιστώσας «Management», η μεθοδολογία ολοκληρώνεται με την εκ νέου εφαρμογή της συνιστώσας «Assessment» που σε αυτό το στάδιο καλείται «Ex-Post Assessment». Κατά την διάρκεια της «Εκ των υστέρων Αξιολόγησης», δηλαδή της αξιολόγησης μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής βελτιστοποίησης, η πόλη αξιολογείται εκ νέου με βάση τους ίδιους δείκτες και τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της προηγούμενης εφαρμογής. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχετε η πρόοδος της πόλης και οι στόχοι που έχουν θέσει οι τοπικές αρχές των πόλεων. Ο ενεργειακός διαχειριστής της πόλης, ανάλογα με τα αποτελέσματα, μπορεί να ξεκινήσει εκ νέου την προτεινόμενη μεθοδολογία προκειμένου να βελτιώσει όλους τους δείκτες και να φτάσει όσο πιο κοντά μπορεί στην «OPTIMUS» (ιδανική) πόλη που έχει άριστα αποτελέσματα σε όλους τους δείκτες.

**Συνιστώσα «Management»** Οι προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας προκύπτουν από τη συνιστώσα «Management» και προέρχονται από δύο (2) Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ):

- ▲ Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakis et al., 2017) και υλοποιείται με την βοήθεια του διαδικτυακού εργαλείου TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017).
- ▲ Το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιέχει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας. Τα σενάρια αυτά προέρχονται από το διαδικτυακό εργαλείο διαχείρισης ενέργειας κτιρίων Building Energy Management Tool – BEMAT (Papastamatiou et al., 2015)

### IV.2.3 Διάγραμμα Ροής

Η μορφή του διαγράμματος ροής της ακολουθούμενης μεθοδολογικής προσέγγισης του προβλήματος και η απλοποιημένη παρουσίασή του, εμφανίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 4.3. και αναλύεται στις επόμενες ενότητες.

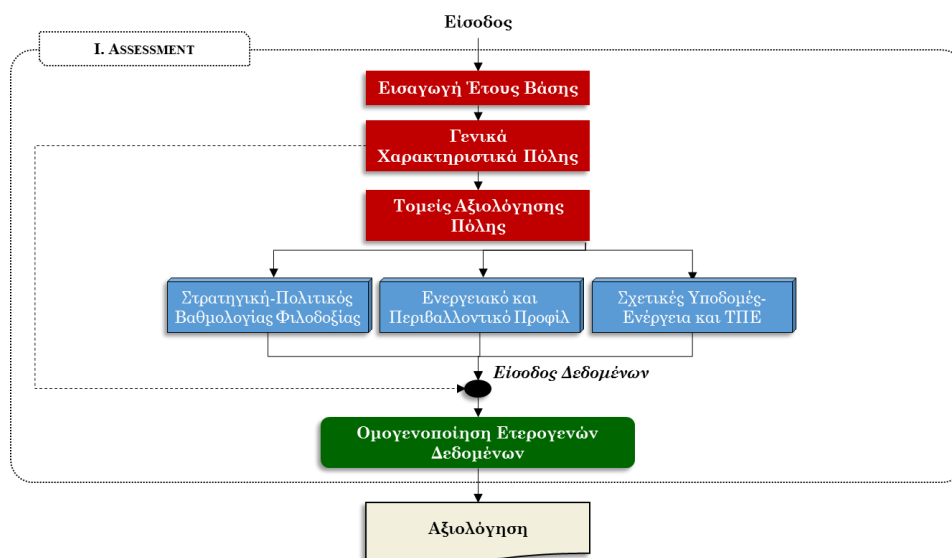


Σχήμα 4.3. I: Διάγραμμα ροής II: Απλοποιημένη παρουσίαση μεθοδολογικής προσέγγισης (Papastamatiou et al., 2017)

## IV.3 Συνιστώσα I: «Assessment»

### IV.3.1 Διαδικασία Προσέγγισης

**Διαδικασία 1<sup>ης</sup> Συνιστώσας** Η συνολική διαδικασία που ακολουθείται για την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του ενεργειακού δυναμικού της πόλης απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4. Διαδικασία προσέγγισης 1<sup>ης</sup> Συνιστώσας

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4, η 1<sup>η</sup> Συνιστώσα ξεκινά από την εισαγωγή του έτους βάσης. Στη συνέχεια οι τοπικές αρχές εισάγουν διάφορα δεδομένα της πόλης που χωρίζονται σε 3 τομείς: Στρατηγική, Ενεργειακό Προφίλ και Σχετικές Υποδομές – ΤΠΕ. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2014a, 2016), ένα διαδικτυακό λογισμικό που υλοποιεί την πρωτότυπη μεθοδολογία Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF» (Smart City Energy Assessment Framework) (Androulaki et al., 2014, 2016), η οποία περιγράφεται, όπως και το λογισμικό, στις επόμενες ενότητες.

### IV.3.2 Μεθοδολογία Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF»

**Ανάγκη για μεθοδολογία αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων**

Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2, η έννοια της «Έξυπνης Πόλης» παραμένει ακόμη ασαφής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυσκολία κατασκευής μιας ενιαίας μεθοδολογίας για την αξιολόγηση ή τη μέτρηση της επίδοσης μιας πόλης ως προς την «ευφυΐα» της. Οι Chourabi et al. (2012) παρουσίασαν ένα ενοποιητικό πλαίσιο για την περαιτέρω κατανόηση των έξυπνων πόλεων εισάγοντας οκτώ κύριες συνιστώσες: διοίκηση και οργανισμοί της πόλης, τεχνολογία, διακυβέρνηση, πλαίσιο πολιτικής, άνθρωποι και κοινότητες, οικονομία, υποδομές και φυσικό περιβάλλον.

Σε μια προσπάθεια να καταδείξουν τη σημασία της διασύνδεσης της έξυπνης πόλης με τη βελτίωση της ζωής των κατοίκων, οι Giffinger et al.

(2007) κατασκεύασαν ένα μοντέλο με άξονες: έξυπνη οικονομία, έξυπνοι άνθρωποι, έξυπνη διακυβέρνηση, έξυπνη μετακίνηση, έξυπνο περιβάλλον και έξυπνη διαβίωση. Τα μοντέλα αυτά ωστόσο κινούνται στις παραδοσιακές συνιστώσες που περιγράφουν μια έξυπνη πόλη αν και το τελευταίο χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο για την κατάταξη ορισμένων Ευρωπαϊκών πόλεων με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ τους για την αναγνώριση των δυνατών και αδύνατων σημείων τους. Παρά τις έντονες προσπάθειες που έχουν γίνει διεθνώς, η ανάπτυξη μιας ενιαίας μεθοδολογίας για την αξιολόγηση της απόδοσης των πόλεων παραμένει ακόμη μια πρόκληση. Για την ακρίβεια, έως τώρα δεν υπάρχει ένα σύνολο δεικτών, ποσοτικών και ποιοτικών, που θα μπορεί να μετρά την απόδοση των πόλεων και να ισχύει για κάθε διαφορετικό πλαίσιο και για διαφορετικούς σκοπούς (Carli et al., 2013). Συχνά οι περισσότερες μελέτες, περιορίζονται στην αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης πόλης και έτσι χάνουν τη γενικότητα που απαιτείται για ένα ενοποιημένο μοντέλο.

**Το πρόβλημα** Από τη μέχρι τώρα έρευνα στις Έξυπνες Πόλεις απουσιάζει μια σημαντική συνιστώσα από τα μοντέλα αξιολόγησης: αυτή της ενέργειας. Πράγματι, η πλειοψηφία των διαθέσιμων μεθοδολογιών τείνουν να δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στον παράγοντα των ΤΠΕ και κατά πόσο οι διάφορες εφαρμογές τους θα μπορούσαν να μετασχηματίσουν εξολοκλήρου τη ζωή στις πόλεις. Αυτό είναι σημαντικό αλλά δεν ενσωματώνουν την έννοια της ενεργειακής διαχείρισης στις πόλεις. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.1 από τα δύο μοντέλα των Chourabi et al. (2012) και Giffinger et al. (2007) απουσιάζει τελείως ο άξονας ενέργεια.

**Πίνακας 4.1. Ο τομέας ενέργεια απουσιάζει εντελώς από τα δύο μοντέλα αξιολόγησης έξυπνων πόλεων**

Άξονες	Μεθοδολογίες	
	Chourabi et al.	Giffinger et al.
Διακυβέρνηση	✓	✓
Οικονομία	✓	✓
Τεχνολογία	✓	X
Άνθρωποι	✓	✓
Υποδομές	✓	X
Περιβάλλον	✓	✓
Μετακίνηση	X	✓
Ενέργεια	X	X

Με δεδομένο ότι οι πόλεις εξελίσσονται σε μεγάλους ενεργειακούς καταναλωτές και συμβάλλουν στο 60 με 80% της ενεργειακής κατανάλωσης παγκοσμίως (EIFER, 2017), είναι αδιανόητο να απουσιάζει ο άξονας ενέργεια. Είναι σαφές ότι οι πόλεις γίνονται πιο ευφυείς, όχι μόνο αναπτύσσοντας αυτοματισμούς, όπως για παράδειγμα στις διοικητικές υπηρεσίες ή στη διαχείριση της κίνησης των οχημάτων στους δρόμους, αλλά και στη διαχείριση ενέργειας της πόλης με σκοπό τη βελτιστοποίηση της. Αυτό καταδεικνύει την ανάγκη ανάπτυξης μεθοδολογιών και τεχνικών αξιολόγησης των συστημάτων των πόλεων που θα ενσωματώνουν και τον άξονα της ενέργειας.

**Παρουσίαση Μεθοδολογίας** Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται λεπτομερώς μια νέα μεθοδολογία για την αξιολόγηση των πόλεων δίνοντας έμφαση στην κατανάλωση και στη διαχείριση ενέργειας με στόχο να καλυφθεί το κενό που παρατηρήθηκε στην πλειοψηφία των διαθέσιμων μοντέλων που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, αναπτύχθηκε το Ενεργειακό Πλαίσιο Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «SCEAF» (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016).

Σε αυτό το πλαίσιο, πρωταρχική σημασία αποδίδεται σε δείκτες που υπολογίζουν την ενεργειακή κατανάλωση των πόλεων (πχ. στα δημόσια κτίρια ή άλλες υποδομές της πόλης) και στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών για την κάλυψη της ενεργειακής κατανάλωσης. Οι δείκτες μπορεί να είναι ποσοτικοί ή ποιοτικοί ανάλογα με αυτό που αντιπροσωπεύουν. Σε κάθε περίπτωση, σκοπός της ανάπτυξης αυτού του ενιαίου συνόλου δεικτών είναι να λειτουργήσουν σαν ένα εργαλείο μέτρησης της επίδοσης των πόλεων. Οι δείκτες αυτοί μπορούν να βοηθήσουν ιδιαίτερα τις τοπικές αρχές μιας πόλης ώστε να λάβουν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο διάθεσης των πόρων της.

Μια Έξυπνη Πόλη είναι απαραίτητο να διαθέτει ένα σύνολο δεικτών αξιολόγησής σε διάφορα πεδία που θα είναι ικανοί να αξιολογούν την απόδοσή της πόλης σε διάφορους τομείς. Με αυτόν τον τρόπο, οι διαχειριστές της, θα μπορούν να διαμορφώνουν συγκεκριμένες δράσεις προκειμένου να βελτιώσουν τους τομείς που εμφανίζεται η πόλη τους πιο «αδύναμη». Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο υποστήριξης διαμόρφωσης της πολιτικής διευκολύνοντας την επιλογή των κατάλληλων δράσεων προς τη μετάβαση στις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις. Αρχικά είναι ιδιαίτερα σημαντικό, οι δείκτες να ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια που αποκαλούνται στη διεθνή βιβλιογραφία ως αρχές SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant and Time-bound) (Schomaker, 1997). Στην παρούσα μεθοδολογία η επιλογή των δεικτών έγινε με κριτήριο ώστε οι δείκτες να είναι εύκολα υπολογίσιμοι, συμπληρωματικοί, και ο καθένας να αποτελεί μια συνεπή ένδειξη της βιωσιμότητας και αειφόρας της πόλης και να υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα. Το μοντέλο που παρουσιάζεται στη διδακτορική διατριβή είναι συνοπτικό, ακριβές και συνεπές και δίνει έμφαση στις υποδομές της πόλης και στη διαχείριση των πόρων της.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιολόγησης πόλεων, η οποία χωρίζεται σε τρεις κύριους πυλώνες: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας, Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ, και Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ (Σχήμα 4.5). Κάθε πυλώνας με τη σειρά του χωρίζεται σε άξονες.



Σχήμα 4.5. Κύριοι πυλώνες μεθοδολογίας

**Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας** – Η μετάβαση προς τις Έξυπνες Πόλεις αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση. Όπως περιεγράφηκε στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν σήμερα οι μεγαλουπόλεις, είναι η αστικοποίηση. Ο θόρυβος, η κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, η κίνηση στους δρόμους, η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και η έλλειψη στρατηγικής σχεδιασμού οδηγούν σε χαμηλότερη ποιότητα ζωής για τους πολίτες.

Ανάμεσα στις κύριες αιτίες που οφείλεται η σημερινή κατάσταση είναι ότι κατά τη λήψη αποφάσεων δεν δίνεται αρκετή βαρύτητα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και δεν υπάρχει συστηματικός σχεδιασμός για ένα αστικό περιβάλλον υψηλής ποιότητας. Αυτά τα προβλήματα καταδεικνύουν τη δυσκολία των πόλεων για να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα προς μια πιο βιώσιμη ανάπτυξη στο μέλλον (Xu et al., 2012). Η διαμόρφωση μιας μακροπρόθεσμης και αποδοτικής στρατηγικής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για την επίτευξη της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης (Xu & Wu, 2012). Η μετάβαση προς τις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις πρέπει να υλοποιηθεί βήμα προς βήμα ώστε οι περιορισμένοι πόροι να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά.

Το «Πολιτικό πεδίο δράσης και η Στρατηγική» αποτελεί τον πρώτο πυλώνα στη μεθοδολογία για την αξιολόγηση των σύγχρονων πόλεων. Όπως και η μεθοδολογία στο σύνολο της, έτσι και ο άξονας αυτός δίνει έμφαση στον παράγοντα ενέργεια. Ο στρατηγικός σχεδιασμός της Έξυπνης Πόλης λαμβάνει υπόψη την κλιματική αλλαγή. Ωστόσο, η στρατηγική μιας πόλης προς τη βιώσιμη ανάπτυξη συνδέεται και με άξονες όπως η οικονομία, η κοινωνία και το περιβάλλον (Xu et al., 2012). Στην προτεινόμενη μεθοδολογία, ο πυλώνας «Στρατηγική» αποτελείται από τρεις άξονες: «Βαθμός Φιλοδοξίας», «Αποδοτικότητα στην Επίτευξη Στόχων» και «Ενεργειακή Οικονομία και Προγραμματισμός» (Σχήμα 4.6). Επιπλέον, ο κάθε άξονας διαθέτει ένα σύνολο δεικτών, ποσοτικών ή ποιοτικών, με βάση τους οποίους γίνεται η αξιολόγηση της πόλης. Ο κάθε άξονας μαζί με τους δείκτες του παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.



**Σχήμα 4.6. Κύριοι άξονες του πυλώνα «Στρατηγική-Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας»**

## Βαθμός φιλοδοξίας

Ο άξονας αυτός στοχεύει στην περιγραφή και στην αξιολόγηση των μακροπρόθεσμων ενεργειακών στόχων της υπό εξέταση πόλης. Καταδεικνύει το μέγεθος της προσπάθειας και των πόρων που είναι διατεθειμένη να καταβάλλει για την επίτευξη των στόχων της.

Επιπλέον, αντικατοπτρίζει τις ενεργειακές και οικολογικές ανησυχίες, το μέγεθος στο οποίο αντιλαμβάνεται τις κλιματικές αλλαγές αλλά και τον βαθμό στον οποίο σέβεται το φυσικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, μια πόλη η οποία έχει ως στόχο να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 10% έως το 2020 δεν μπορεί να λάβει την ίδια βαθμολογία με μια πόλη η οποία στοχεύει να κάνει όλα τα δημόσια κτίρια της μηδενικών εκπομπών έως το 2020, όπως για παράδειγμα είναι η πόλη του Άμστερνταμ. Στον άξονα αυτό έχουν αντιστοιχηθεί τρεις ποσοτικοί δείκτες: «Στόχος μείωσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2020», «Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το 2020» και «Ποσοστό ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020».

Αναλυτικότερα οι δείκτες του άξονα «Βαθμός Φιλοδοξίας» είναι οι εξής:

- ▲ **Στόχος μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub> έως το 2020:** η αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί πλέον αναμφισβήτητο γεγονός. Το CO<sub>2</sub> είναι το κύριο αέριο του θερμοκηπίου ως προς τις ποσότητες συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ο δείκτης αυτός είναι ποσοτικός και αποτιμάται ως ποσοστό των αερίων εκπομπών της πόλης σε σχέση με κάποιο έτος αναφοράς, το οποίο είναι συχνά στην ευχέρεια της ίδιας της πόλης να το εκλέξει.
- ▲ **Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020:** παρότι η επίδραση των πόλεων στο παγκόσμιο κλίμα θεωρείται περίπλοκη και διαφοροποιημένη, η αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου λόγω αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας κατέχει τη μερίδα του λέοντος. Αυτό σημαίνει ότι σε πολλές πόλεις, οι εκπομπές αυξάνονται όχι τόσο λόγω τη βιομηχανικής δραστηριότητας αλλά ως αποτέλεσμα της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης που σχετίζεται με τον φωτισμό, την ψύξη/θέρμανση των κτιρίων αλλά και τα μέσα μεταφοράς. Ως ενεργειακή

---

### Αποδοτικότητα στην επίτευξη στόχων

---

κατανάλωση μιας πόλης ορίζουμε το συνολικό ποσό τελικής ενέργειας που καταναλώνεται εντός των συνόρων της, από όλες τις υποδομές της και σε οποιαδήποτε μορφή. Ο δείκτης αυτός είναι ποσοτικός και θα μπορούσε να αποτιμάται σε μονάδες ενέργειας ή σε ποσοστό ενέργειας με βάση κάποιο έτος αναφοράς.

- ▲ **Ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020:** οι πηγές προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν μεγάλη σημασία. Η επίδραση της ενεργειακής κατανάλωσης στις εκπομπές δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα της καταναλισκόμενης ενέργειας αλλά και από την πηγή προέλευσης της καθώς και από τον τρόπο που αυτή παράγεται. Η στροφή λοιπόν σε πιο καθαρές μορφές ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα,

η επεξεργασία των αστικών λυμάτων (για παραγωγή θερμότητας), η υδροηλεκτρική παραγωγή κ.α. είναι αναπόφευκτη αν μια πόλη θέλει να πετύχει και τους στόχους της στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Αν και οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ αξιοποιούνται στην παραγωγή ηλεκτρισμού, συνεισφέρουν σημαντικά και στην παραγωγή άλλων μορφών ενέργειας όπως η ψύξη/θέρμανση των κτιρίων της πόλης. Επομένως, θα μπορούσε ο δείκτης να έχει δύο τιμές, ανάλογα με το ενεργειακό προφίλ της πόλης: μια τιμή που να αντιπροσωπεύει το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην κατανάλωση ηλεκτρισμού της πόλης (που αποτελεί τελική μορφή ενέργειας) επονομαζόμενο και ως «ποσοστό στο μείγμα ηλεκτρισμού» και μια συνολική τιμή εκφρασμένη πάλι σε ποσοστό, αλλά της προέλευσης από ΑΠΕ της τελικής ενέργειας που καταναλώνεται συνολικά στην πόλη. Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται διότι η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα τεράστιο κεφάλαιο από μόνη της στην τελική κατανάλωση και επομένως θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με ξεχωριστή προσοχή. Με αυτόν τον τρόπο θα αποκτήσουμε αναλυτικότερη εικόνα για την πόλη ως προς την αξιοποίηση των ΑΠΕ, θα αποφευχθεί σημαντική απώλεια πληροφορίας και κατά συνέπεια θα καταστεί ευκολότερος ο εντοπισμός τυχόν αδυναμιών και ελλείψεων.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία στην υλοποίηση της στρατηγικής μιας πόλης είναι η εποπτεία κατά τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων της, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μακροπρόθεσμους στρατηγικούς σχεδιασμούς όπως αυτούς που εξετάσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Η επίτευξη των στόχων που αναφέρθηκαν στον άξονα «Βαθμός φιλοδοξίας» πραγματοποιείται κυρίως μέσω της υλοποίησης έργων από τη διοίκηση της πόλης σε συνεργασία με φορείς του ιδιωτικού τομέα. Έχει λοιπόν μεγάλη σημασία, οι αρχές της πόλης να παρακολουθούν τακτικά τον βαθμό υλοποίησης αυτών των έργων προκειμένου να μπορούν να αξιολογήσουν αν η πορεία της υλοποίησης είναι αποτελεσματική ως προς την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί.

Όμως, ταυτόχρονα με την εποπτεία της υλοποίησης των έργων που έχουν σχεδιαστεί, η πόλη θα πρέπει να επιβλέπει και τις μεταβολές στις τάσεις της ενεργειακής της κατανάλωσης και κατ'επέκταση στις εκπομπές της. Αν λοιπόν δεχτούμε ότι κατά το χρονικό διάστημα από την έναρξη υλοποίησης της στρατηγικής μέχρι το έτος 2020 η ενεργειακή κατανάλωση της πόλης αυξάνεται (πχ. λόγω αύξησης του πληθυσμού των κατοίκων) τότε πιθανώς, αν δεν το λάβουμε αυτό υπόψη, θα οδηγηθούμε σε επίτευξη στόχων χαμηλότερων από αυτούς που είχαν αρχικώς τεθεί. Επομένως, προτείνεται η εποπτεία της επίτευξης των στόχων της πόλης πρέπει να γίνει σε δύο επίπεδα:

- ▲ **Στην επίβλεψη των δράσεων που είναι άμεσα συνδεδεμένες με την εκτέλεση των έργων που έχουν σχεδιαστεί για την επίτευξη των στόχων που έχει θέσει η πόλη.** Με αυτόν τον τρόπο θα αξιολογείται ο βαθμός συμμόρφωσης της πόλης με τις δράσεις που έχει καθορίσει στον στρατηγικό της σχεδιασμό χωρίς να



έχει σημασία το ποιος έχει αναλάβει την υλοποίηση τους (ο δήμος, ιδιωτικές εταιρείες κ.α.). Η επίβλεψη σε αυτό το επίπεδο μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα με τη βοήθεια ποσοτικών δεικτών. Για παράδειγμα, αν μια πόλη έχει θέσει ως στόχο την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ έως μιας συγκεκριμένης τιμής ισχύος, δεν έχει παρά να αυξάνει ή να μειώνει τον αριθμό των πάνελ που θα τοποθετηθούν μέχρι επίτευξης της επιθυμητής τιμής.

- ▲ **Στην παρακολούθηση της εξέλιξης των μακροδεδομένων της πόλης όσον αφορά την ενεργειακή της κατανάλωση και τις εκπομπές αέριων ρύπων.** Η εποπτεία είναι πρακτικά δύσκολη, καθώς υπάρχουν πολλοί εξωγενείς παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν τα πρότυπα και τις τάσεις ενεργειακής κατανάλωσης της πόλης. Στη μεθοδολογία που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο δίνεται έμφαση στην ποσοτική αξιολόγηση των στόχων της πόλης με βάση τα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα των δεικτών που εισήχθησαν στον πρώτο άξονα, αφήνοντας στις αρχές της πόλης την ευελιξία να ενσωματώσουν ή όχι τα εξελικτικά πρότυπα της ενεργειακής της κατανάλωσης (και όχι μόνο) έως το 2020.

Αναλυτικότερα, οι δείκτες του άξονα «Αποδοτικότητα στην Επίτευξη Στόχων» είναι οι εξής:

- ▲ **Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>:** Η παρακολούθηση και η μέτρηση αυτού του δείκτη θα μπορούσε να γίνεται σε περιοδικά διαστήματα του ενός έτους ή μιας πενταετίας ή σε οποιοδήποτε διάστημα εξυπηρετεί τους υπεύθυνους της στρατηγικής της πόλης. Ο δείκτης είναι ποσοτικός, εκφρασμένος σε ποσοστό των εκπομπών CO<sub>2</sub> ως προς το έτος αναφοράς που έχει οριστεί.
- ▲ **Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης:** και σε αυτή την περίπτωση ο δείκτης δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της πορείας επίτευξης του στόχου μείωσης της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της πόλης σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο δείκτης είναι ποσοτικός και αποτιμάται σε μονάδες ενέργειας (Btu, Joules, MWh) ή ως ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης ως προς κάποιο έτος αναφοράς (προτείνεται το έτος αναφοράς να είναι ίδιο και για τους τρεις δείκτες).
- ▲ **Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση:** η φιλοσοφία ύπαρξης αυτού του δείκτη είναι όμοια με τους δύο παραπάνω. Είναι ποσοτικός και αποτιμάται σε ποσοστό επί της συνολικής τελικής καταναλισκόμενης ενέργειας στην πόλη. Προτείνεται η χρονική περίοδος που θα επιλεγεί για την παρακολούθηση και μέτρηση των τριών δεικτών αυτού του άξονα να είναι ίδια και για τους τρεις για λόγους συνοχής των αποτελεσμάτων και εξαγωγής καλύτερων συμπερασμάτων.

## Ενεργειακή οικονομία & προγραμματισμός

Ο συγκεκριμένος άξονας αποδεικνύει ότι η ενεργειακή στρατηγική μιας πόλης συνδέεται άμεσα με την οικονομική της στρατηγική. Είναι πολύ σημαντικό, κάθε πόλη που σχεδιάζει τη μετάβασή της σε «έξυπνη», να καταστρώνει μια ανάλυση του συνολικού κόστους που θα έχει η υλοποίηση της στρατηγικής της αλλά και το οικονομικό όφελος που θα προκύψει. Επιπροσθέτως, η υλοποίηση της έξυπνης πόλης εκτός από οικονομικά οφέλη έχει και κοινωνικά, που θα προκύψουν από τη μείωση των εκπομπών και συνεπώς τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα της ατμόσφαιρας στην πόλη. Η ποσοτικοποίηση αυτών των οφελών είναι δύσκολη καθώς αυτά δεν αποτιμώνται με χρηματοοικονομικούς όρους αλλά κυρίως με όρους κοινωνικής ευημερίας. Με τη βοήθεια των δεικτών αυτού του άξονα επιτυγχάνεται η καταγραφή του κόστους της τρέχουσας ενεργειακής κατανάλωσης της πόλης, το επίπεδο του ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων ενέργειας και το μέγεθος των επενδύσεων που διατίθεται να πραγματοποιήσει η πόλη για να αξιοποιήσει τις ΑΠΕ και να βελτιώσει την ενεργειακή της απόδοση.

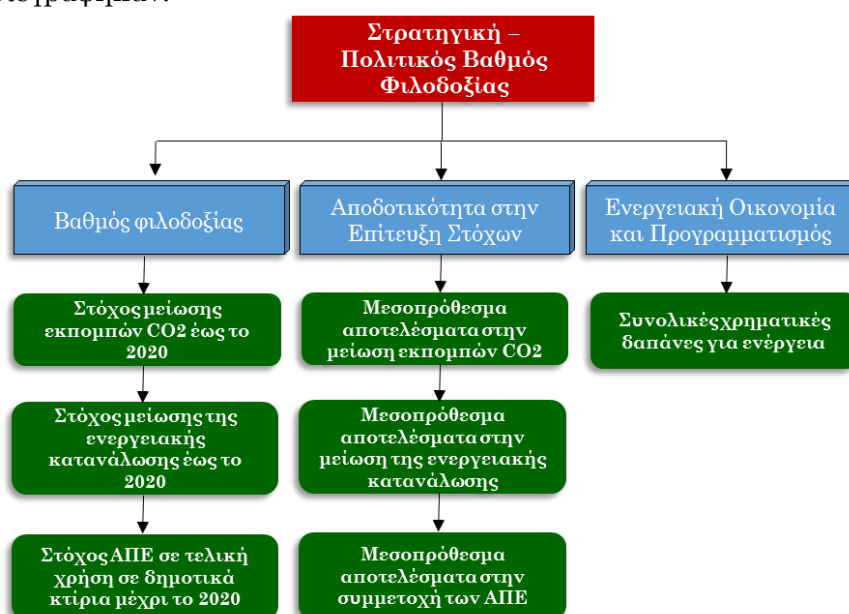
Συγκεκριμένα οι δείκτες του άξονα «Ενεργειακή Οικονομία & Προγραμματισμός» είναι οι εξής:

- ▲ **Συνολικές χρηματικές δαπάνες για ενέργεια** (φυσικό αέριο, πετρέλαιο και ηλεκτρισμός): για την αξιολόγηση μιας πόλης ως προς το ενεργειακό της προφίλ είναι σημαντικό να έχουμε μια εικόνα για το ποσό που δαπανά η πόλη για να καλύψει τις ενεργειακές τις ανάγκες. Ο δείκτης είναι ποσοτικός και αποτιμάται σε εθνικό νόμισμα (\$,€ κ.α.). Πρέπει να τονιστεί ότι ενδεχομένως οι δαπάνες να αφορούν στις περισσότερες περιπτώσεις κυρίως τον δημόσιο τομέα (δημόσια κτίρια, αεροδρόμια, λιμάνια, μεταφορές, δημόσιος φωτισμός κτλ.) και όχι τόσο τον ιδιωτικό. Αυτό διότι συχνά η ύπαρξη δεδομένων ή η πρόσβαση σε διαθέσιμα δεδομένα για την ιδιωτική κατανάλωση είναι αρκετά δύσκολη.
- ▲ **Βαθμός εναλλαγής μεταξύ παρόχων ενέργειας** (φυσικού αερίου, ηλεκτρισμού). Η δυνατότητα επιλογής των καταναλωτών από πολλούς διαφορετικούς παρόχους ενέργειας (αν και σε ορισμένες χώρες της ΕΕ δεν έχει προχωρήσει πολύ αυτό το μοντέλο) πέτυχε να μειώσει τις τιμές σε επίπεδα λίγο πάνω από το κόστος και ταυτόχρονα να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος αλλά και της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας. Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις οι αρχές της πόλης δεν συμμετέχουν στην παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας (αφού αυτή μπορεί να λαμβάνει χώρα πολύ μακριά από την πόλη), ωστόσο θα ήταν καλό να συμμετέχουν στις επιτροπές που επιβλέπουν την υλοποίηση επενδύσεων σχετικών με το ηλεκτρικό δίκτυο, διότι έχουν άμεσο αντίκτυπο στην αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού της πόλης. Τα ίδια ισχύουν σε μεγάλο βαθμό και για το φυσικό αέριο, το οποίο μεταφέρεται μέσω αγωγών υπό πίεση. Ωστόσο, οι συμφωνίες εδώ με τους ενεργειακούς

παρόχους, καθώς και ο έλεγχος της αξιοπιστίας του συνεχούς εφοδιασμού με προϊόν συγκεκριμένης ποιότητας, είναι κάτι που σχεδιάζεται κεντρικά και ξεφεύγει των αρμοδιοτήτων των αρχών της πόλης. Ο δείκτης αυτός επιχειρεί να αποτιμήσει ποιοτικά τον βαθμό πρόσβασης των κατοίκων της πόλης σε ενέργεια διαφοροποιημένης προέλευσης ή σε τι βαθμό είναι εξαρτώμενοι από ενεργειακά μονοπώλια και άρα εκτεθειμένοι σε αυξήσεις των τιμών που συχνά έχουν πολύ αρνητικό αντίκτυπο στο δημόσιο αλλά και στον ιδιωτικό προϋπολογισμό της πόλης. Επομένως ο δείκτης δεν αποτιμάται αριθμητικά αλλά γλωσσικά.

- ▲ **Συνολικό κεφάλαιο που διατίθεται για ΑΠΕ και ενεργειακή απόδοση:** οι δαπάνες αυτής της κατηγορίας μπορεί να αφορούν εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών πάνελ σε ταράτσες δημοσίων κτιρίων, τοποθέτηση ανεμογεννητριών, έκδοση χαμηλότοκων δανείων στους κατοίκους για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στα σπίτια τους (Ολλανδία), ανακαίνιση των δημοσίων κτιρίων, αντικατάσταση στόλου οχημάτων μέσω μεταφοράς με ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αντικατάσταση λαμπτήρων δημοσίου φωτισμού με αυτόματα συστήματα (τεχνολογία αισθητήρων), παροχή φορολογικών κινήτρων στους κατοίκους για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου ή για την ενεργειακή ανακαίνιση του σπιτιού τους, διοργάνωση σεμιναρίων και εκστρατειών ενημέρωσης των πολιτών για το περιβάλλον και για την ενίσχυση της οικολογικής τους συνείδησης. Όλα αυτά και πολλά άλλα ακόμη αποτελούν είδη επενδύσεων που σχεδιάζει να πραγματοποιήσει η πόλη το κόστος των οποίων αποτυπώνει ο δείκτης. Ο δείκτης είναι ποσοτικός/αριθμητικός και αποτιμάται σε εθνικό νόμισμα (\$, € κ.α.).

Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζεται το σύνολο των δεικτών που αποτελούν τον πυλώνα «Στρατηγική» καθώς και οι δείκτες του κάθε άξονα που περιεγράφηκαν.



Σχήμα 4.7. Ανάλυση του πυλώνα: «Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας»

**Ενεργειακό προφίλ** Το ενεργειακό προφίλ της πόλης είναι ο πυλώνας-κλειδί προς την εξοικονόμηση ενέργειας. Η σημασία του στη μεθοδολογία που προτείνεται είναι προφανής: μας δίνει μια άμεση και απτή εικόνα, σε αριθμούς, της ενεργειακής κατανάλωσης και παραγωγής της πόλης και της διείσδυσης των ΑΠΕ και εναλλακτικών μορφών ενέργειας στα διάφορα αστικά συστήματα. Επιπλέον, μέσω αυτού του πυλώνα προσπαθούμε να αποτυπώσουμε κατά πόσο, το ενεργειακό μοντέλο που έχει αναπτύξει η υπό εξέταση πόλη μπορεί να της εξασφαλίσει την πολυπόθητη βιωσιμότητα, εξετάζοντας την ικανότητά της να αποθηκεύει την ενέργεια που παράγει, να εκμεταλλεύεται τις καιρικές συνθήκες για να βελτιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια της και να κάνει συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Για την επιτυχή εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας θα πρέπει να προσδιορισθούν με σαφήνεια τα όρια του συστήματος και στην προκειμένη περίπτωση τα γεωγραφικά σύνορα της εκάστοτε πόλης. Για παράδειγμα όταν γίνεται αναφορά στην ενεργειακή κατανάλωση της πόλης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η κατανάλωση από παραγωγή εκτός των συνόρων της πόλης ενώ όταν γίνεται αναφορά σε παραγωγή ενέργειας εννοούνται όλες οι σχετιζόμενες δραστηριότητες εντός των γεωγραφικών συνόρων της πόλης. Στο Σχήμα 4.8 που ακολουθεί αναπτύσσονται οι τρεις συνιστώσες του δεύτερου πυλώνα του πλαισίου αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων «Ενεργειακό Προφίλ» (Σχήμα 4.5) οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.



Σχήμα 4.8. Κύριοι άξονες του πυλώνα «Ενεργειακό Προφίλ»

## Ένταση Ενεργειακής Κατανάλωσης

Με τον όρο ενεργειακή κατανάλωση εννοούμε την κατανάλωση της τελικής μορφής ενέργειας (πχ. ηλεκτρισμός) εντός των γεωγραφικών συνόρων της πόλης. Ωστόσο, η κατανάλωση πρωταρχικής μορφής ενέργειας (πχ. λιγνίτης, βιομάζα, βιομηχανικά απόβλητα κτλ.) για την παραγωγή της συνολικής τελικής ενέργειας που καταναλώνεται, θα ήταν μια πολύ χρήσιμη πληροφορία, γιατί θα βοηθούσε στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας του ενεργειακού συστήματος της πόλης μέσω του υπολογισμού των απωλειών κατά τη διαδικασία του μετασχηματισμού ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης απόδοσης συστήματος θα μπορούσε να οριστεί ως:

$$\text{Απόδοση Συστήματος} = \frac{\text{Τελική Κατανάλωση Ενέργειας}}{\text{Αρχική Κατανάλωση Ενέργειας}}$$

Η παρακολούθηση αυτού του δείκτη σε μακροχρόνιο ορίζοντα θα μας έδινε πρόσβαση σε μια ενδιαφέρουσα πτυχή των ενεργειακών συστημάτων της πόλης, όπως είναι η απόδοση τους στον μετασχηματισμό μιας μορφής ενέργειας σε άλλη με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες. Αν η πόλη X έχει πετύχει βελτιώσεις στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού της με την αντικατάσταση συμβατικών μονάδων παραγωγής στους θερμικούς σταθμούς με μονάδες συνδυασμένου κύκλου (που είναι πιο αποδοτικές από τις πρώτες) τότε ο δείκτης απόδοσης συστήματος θα κατέγραφε αυτό το σημαντικό χαρακτηριστικό της πόλης X και άρα η βαθμολογία της θα έπρεπε να είναι τελείως διαφορετική συγκρινόμενη με μια πόλη Y που δεν έχει προχωρήσει σε ανάλογες ενέργειες και η οποία μπορεί να είχε την ίδια κατανάλωση ανά κάτοικο με την X. Προς αποφυγή όμως δημιουργίας ενός περίπλοκου και δύσκολου στην εφαρμογή συνόλου δεικτών για την αξιολόγηση μιας έξυπνης πόλης, ο άξονας που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο περιορίζεται μόνο στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Η παραπάνω παρατήρηση θα μπορούσε να αποτελέσει κατεύθυνση προς διεύρυνση και βελτίωση του υπό παρουσίαση μοντέλου στο μέλλον. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι είναι πολύ σημαντικό οι πόλεις να χρησιμοποιούν μια ενιαία μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενεργειακής τους κατανάλωσης γιατί χωρίς αυτό τα δεδομένα που θα διαθέτουν θα εκπροσωπούν διαφορετικά μεγέθη σε κάθε περίπτωση γεγονός που δυσχεραίνει την επεξεργασία των δεδομένων και την επιτυχή εφαρμογή ενός ενιαίου μοντέλου αξιολόγησης.

Η μακροχρόνια παρακολούθηση των τάσεων του άξονα καταδεικνύει πόσο αποτελεσματικά είναι τα μέτρα που λαμβάνονται από τις αρχές της πόλης και κατά πόσο επιτυγχάνονται οι στόχοι που έχουν τεθεί. Επίσης χρησιμεύει στη σύγκριση των προφίλ διαφορετικών πόλεων μεταξύ τους. Η έννοια της εξοικονόμησης ενέργειας και βελτιστοποίησης έχει τόσο πολύ συνδεθεί με την έννοια της έξυπνης πόλης, που δεν νοείται ο χαρακτηρισμός της ως έξυπνη όταν έχει τεράστια ενεργειακή κατανάλωση ανά κάτοικο, δηλαδή είναι «σπάταλη». Οι συνιστώσες/δείκτες του άξονα «Ένταση Ενεργειακής Κατανάλωσης» αναλύονται στη συνέχεια.

- ▲ **Ενεργειακή κατανάλωση ανά κάτοικο:** ο δείκτης αυτός είναι ποσοτικός και μετρά σε MWh/κάτοικο την κατανάλωση της τελικής μορφής ενέργειας εντός της γεωγραφικής περιοχής μιας πόλης. Ο λόγος που διαιρούμε τη συνολική κατανάλωση με τον πληθυσμό της πόλης είναι για να εξαλείψουμε αυτόν τον παράγοντα προκειμένου να κάνουμε καλύτερες εκτιμήσεις για το προφίλ της πόλης και για να μπορούμε να κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ πόλεων με διαφορετικούς πληθυσμούς.

Καθώς ο δείκτης αυτός είναι αρκετά γενικός, για την απόκτηση περισσότερης πληροφορίας για το ενεργειακό προφίλ της πόλης θα μπορούσαμε σε αυτόν τον άξονα να εισάγουμε δείκτες όπως η ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα (μεταφορές, βιομηχανίες, οικιακός τομέας, τριτογενής τομέας κτλ.). Με αυτόν τον τρόπο θα εντοπιζόνταν ευκολότερα οι πιο «σπάταλοι» τομείς της πόλης και θα

λαμβάνονταν τα ανάλογα μέτρα βελτίωσης της αποδοτικότητας τους (πχ. ανανέωση του στόλου οχημάτων μεταφορών της πόλης με νεότερα οχήματα που θα διαθέτουν καλύτερους κινητήρες εσωτερικής καύσης). Ένας άλλος ενδιαφέρον δείκτης θα ήταν και η λεγόμενη ενεργειακή ένταση που μετρά το ποσό της ενέργειας που καταναλώνει μια πόλη για την παραγωγή μιας μονάδας προϊόντος ή υπηρεσίας. Ο δείκτης αυτός αντανακλά ξεκάθαρα τον βαθμό της αποδοτικότητας στην αξιοποίηση ενέργειας που έχουν πετύχει οι οικονομικοί τομείς της πόλης (πχ. βιομηχανικός, κατασκευαστικός κλάδος, υπηρεσίες κτλ.).

- ▲ **Ποσοστό αερίου/πετρελαίου στο ενεργειακό μείγμα:** με τον όρο ενεργειακό μείγμα της πόλης εννοούμε το σύνολο των διαφορετικών πηγών ενέργειας, οι οποίες συνιστούν τη συνολικά καταναλισκόμενη τελική ενέργεια εντός των συστημάτων της πόλης. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι από τις σπουδαιότερες μορφές και εξετάζεται ξεχωριστά στον τρίτο δείκτη. Οι αμέσως πιο σημαντικές, ως προς το μέρος της τελικής κατανάλωσης που καλύπτουν στην πλειοψηφία των σύγχρονων αστικών συστημάτων, αποτελούν το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Ο δείκτης αυτός είναι αριθμητικός και αποτιμάται ως ποσοστό επί της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας στην πόλη (ο πρώτος δείκτης πολλαπλασιασμένος επί τον πληθυσμό). Επιπρόσθετα θα μπορούσαμε να επεκτείνουμε το σύνολο δεικτών και να υπολογίσουμε και δείκτες όπως η κατανάλωση φυσικού αερίου ανά κάτοικο ή ανά τομέα, αλλά αυτό αφήνεται στην ευχέρεια και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.
- ▲ **Ποσοστό ηλεκτρισμού στο ενεργειακό μείγμα:** η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει παρουσιάσει μεγάλη αύξηση, ιδιαίτερα στον οικιακό και τριτογενή τομέα κυρίως λόγω της τεχνολογικής προόδου η οποία οδήγησε στον πολλαπλασιασμό των ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών συσκευών που διαθέτει σήμερα μια μέση οικία ή γραφείο. Ένας άλλος λόγος που η ηλεκτρική κατανάλωση έχει είναι γιατί χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο άλλων ακριβότερων (συχνά και λιγότερο αποδοτικών) μορφών ενέργειας (πχ. θέρμανση με ηλεκτρισμό αντί για πετρέλαιο ή φυσικό αέριο). Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ηλεκτρικών συσκευών θα μπορούσε να επιφέρει σημαντική μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρισμού τα επόμενα χρόνια. Συχνά το οικονομικό προφίλ της πόλης καταδεικνύει και το ενεργειακό της προφίλ. Πόλεις οι οποίες έχουν ανεπτυγμένο κυρίως τον εμπορικό τους τομέα έχουν και μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρισμού ανά κάτοικο. Ο δείκτης που εισάγεται σε αυτή την παράγραφο είναι αριθμητικός και αποτιμάται σε ποσοστό επί της συνολικής τελικής καταναλισκόμενης ενέργειας της πόλης. Στόχος του είναι να συλλάβει την απαραίτητη πληροφορία για μια πολύ σημαντική πτυχή του ενεργειακού προφίλ μιας πόλης όπως είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

## Ένταση Παραγωγής μέσω ΑΠΕ

Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) ορίζεται ως η ενέργεια που προέρχεται από πηγές που αναπληρώνονται φυσικά όπως η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα, και η γεωθερμία. Οι ανανεώσιμες πηγές αντικαθιστούν τα συμβατικά καύσιμα σε τέσσερις ξεχωριστούς τομείς: παραγωγή ηλεκτρισμού, θέρμανση χώρου/νερού, καύσιμα κινητήρων και σε αγροτικές (εκτός δικτύου) υπηρεσίες.

▲ **Ένταση παραγωγής από ΑΠΕ:** Σε αυτόν τον δείκτη συμπεριλαμβάνονται όλα τα έργα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνελ εντός της πόλης, μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά, εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες, σταθμοί διαχείρισης απορριμμάτων και άλλα. Η αποτίμηση τους στον δείκτη μπορεί να γίνει είτε ποσοτικά υπολογίζοντας τη συνεισφορά τους στη συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια της πόλης είτε μέσω της ποσότητας της εγκατεστημένης ισχύος που αντιπροσωπεύουν (για τα φωτοβολταϊκά, αιολικά, υδροηλεκτρικά). Είναι αναμενόμενο ότι η γεωγραφία και το κλίμα της κάθε πόλης θα επηρεάζει και το προφίλ της στη διείσδυση των ΑΠΕ για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της. Επιπλέον θα πρέπει να επισημανθεί ότι στον υπολογισμό του ποσοστού συνεισφοράς των ΑΠΕ θα συμπεριληφθούν και τα έργα που έχουν υλοποιηθεί από τον δήμο αλλά και αυτά που ανήκουν σε ιδιώτες επενδυτές.

## Βιωσιμότητα

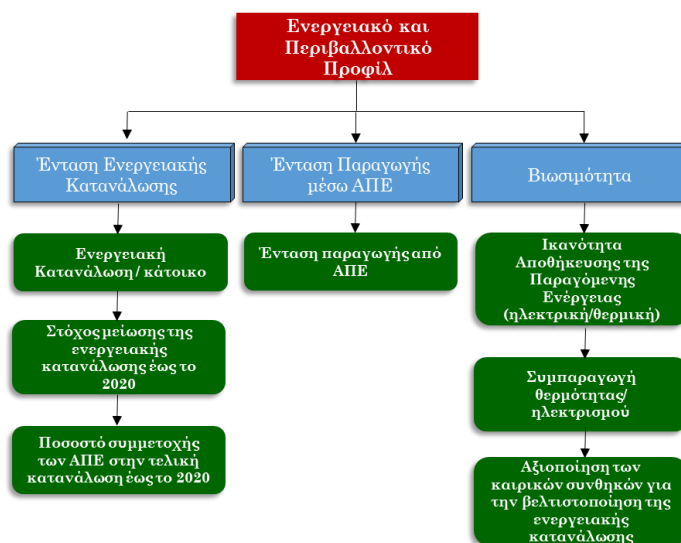
Όπως έχει αναφερθεί για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας του προτεινόμενου μοντέλου αξιολόγησης της πόλης απαιτούνταν περισσότεροι δείκτες από αυτούς που έχουμε συμπεριλάβει στο μοντέλο, καθώς ο ορισμός της βιωσιμότητας είναι αρκετά γενικός και δεν περιορίζεται μόνο στον τομέα της ενέργειας. Το γεγονός αυτό καθιστά πρόκληση τη δημιουργία μιας ενιαίας μεθοδολογίας αξιολόγησης η οποία θα μπορεί να συμπεριλάβει όλες τις πτυχές του ορισμού της βιώσιμης πόλης. Στην παρούσα μεθοδολογία δίδεται έμφαση στον τομέα της ενέργειας μέσω της εισαγωγής των εξής δεικτών: ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (θερμική/ηλεκτρική), συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού και αξιοποίηση των καιρικών συνθηκών για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης.

▲ **Ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρική/θερμική):** η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας η οποία πρέπει να καταναλώνεται άμεσα μόλις παράγεται. Προκειμένου να μπορεί να αποθηκευτεί θα πρέπει άμεσα να μετατραπεί σε μια άλλη μορφή ενέργειας συνήθως, δυναμική, κινητική ή χημική. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος σήμερα για την

αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μέσω αντλιών αποθήκευσης νερού στις υδροηλεκτρικές μονάδες. Στόχος αυτού του δείκτη είναι να αποτυπώσει το εύρος της διείσδυσης αυτών των τεχνολογιών στο ενεργειακό σύστημα της πόλης. Ο δείκτης είναι ποιοτικός, που σημαίνει ότι βαθμολογεί την πόλη σε κλίμακα της μορφής: «χαμηλή», «μέτρια» και «υψηλή» ικανότητα αποθήκευσης. Αντίστοιχα η πόλη μπορεί να διαθέτει συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, η οποία επιτρέπει τη συλλογή περίσσειας θερμικής ενέργειας και την αξιοποίηση της ώρες, μέρες ακόμη και μήνες αργότερα.

- ▲ **Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού:** η συμπαραγωγή αναφέρεται στην ταυτόχρονη και αποδοτική παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Η τεχνολογία αυτή είναι η πιο αποδοτική από όλα τα συστήματα παραγωγής που βασίζονται σε καύσιμα και χρησιμοποιεί αέρια (φυσικό αέριο, βιοαέριο), υγρά καύσιμα (μαζούτ), ή στερεά (βιομάζα, αστικά απορρίμματα, γαιάνθρακας). Ο δείκτης αυτός είναι επίσης ποσοτικός και αποτιμάται σε συνολική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει σε MWh/έτος.
- ▲ **Αξιοποίηση των καιρικών συνθηκών για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης:** σε αυτή την κατηγορία ανήκει για παράδειγμα η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για την παροχή ζεστού νερού στα κτίρια της πόλης (δημοτικά κτίρια, καταστήματα, εταιρείες, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και κατοικίες). Το εύρος της διάδοσης αυτής της τεχνολογίας σε μια πόλη αποτιμάται σε συνολική επιφάνεια των εγκατεστημένων συλλεκτών (m<sup>2</sup>) και η συνεισφορά της σε MWh ενέργειας που εξοικονομούνται ανά έτος. Ο δείκτης αυτός είναι ποιοτικός λαμβάνοντας υπόψη του αριθμητικά δεδομένα όπως αυτά που προαναφέραμε για την αξιολόγηση της πόλης.

Στο Σχήμα 4.9 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι δείκτες του κάθε άξονα του πυλώνα «Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό Προφίλ».



Σχήμα 4.9. Ανάλυση του πυλώνα: «Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό Προφίλ»



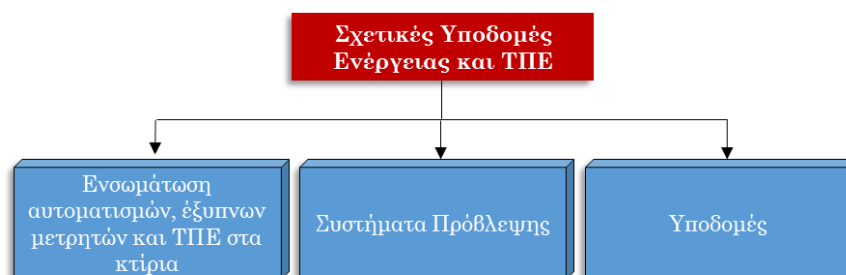
**Σχετικές  
υποδομές-  
Ενέργειας και  
ΤΠΕ**

Η εφαρμογή των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στις πόλεις μπορεί αδιαμφισβήτητα να αλλάξει το αστικό τοπίο και να αποτελέσει μέρος της λύσης για την επίτευξη βιώσιμης αστικής ανάπτυξης (Parastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017).

Οι ΤΠΕ θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε πάρα πολλούς τομείς σε μια πόλη. Από τις υπηρεσίες υποδομών όπως, ενέργεια/ηλεκτρισμός, υδάτινοι πόροι, κτίρια, μεταφορές, διαχείριση απορριμμάτων, μέχρι κοινοτικές υπηρεσίες όπως υγειονομική περίθαλψη, εκπαίδευση, εμπόριο, υπηρεσίες αναψυχής καθώς και μη κοινοτικές υπηρεσίες όπως χρηματοοικονομικά, χώροι εργασίας κ.α. (Lovehagen & Bondesson, 2013). Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο εστιάζει κυρίως στις υπηρεσίες υποδομών και στον ενεργειακό τομέα.

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι άξονες και οι δείκτες για την αξιολόγηση της ενεργειακής «ευφυίας» της πόλης με βάση τον βαθμό διεύδυσης των ΤΠΕ στα διάφορα αστικά συστήματα. Τονίζεται ότι δεν γίνεται προσπάθεια αξιολόγησης της επίδρασης της λειτουργίας μιας εφαρμογής ΤΠΕ σε κάποιο σύστημα της πόλης, λόγω χάρη μέσω της σύγκρισης δεδομένων ή μετρήσεων πριν την υλοποίηση της εφαρμογής και έπειτα, δηλαδή δεν γίνεται αξιολόγηση της εφαρμογής αυτής καθαυτής.

Η παρούσα μεθοδολογία εστιάζει στην αξιολόγηση της χρήσης ΤΠΕ εφαρμογών σε μια πόλη βασισμένη σε συλλογή δεδομένων για υπάρχουσες και μελλοντικές ΤΠΕ λύσεις χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών. Αρχικά προσδιορίζονται οι διάφορες ΤΠΕ λύσεις που είναι επιθυμητό να διαθέτει μια πόλη με σκοπό πάντα την ενεργειακή της βελτιστοποίηση, και στη συνέχεια αντιστοιχίζεται σε κάθε μια ένα σύνολο δεικτών για τη βαθμολόγηση της επίδοσης της πόλης σε κάθε δείκτη. Η βαθμολογία της πόλης δεν είναι αριθμητική αλλά γλωσσική και αποτελείται από τρεις βαθμίδες: «χαμηλή», «μεσαία» και «υψηλή» διεύδυση των ΤΠΕ για ενεργειακή βελτιστοποίηση της πόλης. Οι τρεις άξονες που αποτελούν τον πυλώνα Σχετικές Υποδομές-Ενέργεια & ΤΠΕ είναι: Βαθμός ενσωμάτωσης αυτοματισμών, έξυπνων μετρητών και ΤΠΕ στα κτίρια, Συστήματα Πρόβλεψης και Υποδομές. Στο Σχήμα 4.10 παρουσιάζεται η ανάλυση του πυλώνα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ».



**Σχήμα 4.10. Κύριοι άξονες του πυλώνα: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ»**

## Ενσωμάτωση αυτοματισμών, έξυπνων μετρητών και ΤΠΕ στα κτίρια

Ο όρος έξυπνα κτίρια έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα για να εισάγει μια καινούργια αντίληψη η οποία βλέπει το κτίριο όχι πλέον ως παθητικό καταναλωτή αλλά ως ένα σύστημα κατάλληλα εξοπλισμένο για να μπορεί να έχει τη δική του παραγωγή ηλεκτρισμού (κυρίως από ΑΠΕ) την οποία μπορεί να διαχειρίζεται και να ελέγχει καθώς και να εποπτεύει την ενεργειακή του κατανάλωση και τη λειτουργία των οικιακών συσκευών μέσω τεχνολογίας ασύρματης επικοινωνίας. Οι αξιοποίηση των ΤΠΕ λοιπόν θα δώσει τη δυνατότητα στο κτίριο να μπορεί να επικοινωνεί με τις συσκευές στο εσωτερικό του (Internet of Things) αλλά και με άλλα κτίρια προς επίτευξη μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης, δημιουργώντας έτσι μια εικονική εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής (virtual power plant).

Προϋπόθεση αποτελεί αυτός ο νέος σχεδιασμός των κτιρίων να λαμβάνει υπόψη του, τους περιορισμούς που θέτει ένα υψηλό επίπεδο άνετης διαβίωσης στο εσωτερικό τους. Ο στόχος λοιπόν των συστημάτων αυτοματισμού στα κτίρια μιας πόλης είναι η σύνδεση και η βελτιστοποίηση φυσικών διαδικασιών όπως ο φωτισμός, η ηλιακή ακτινοβολία, η θέρμανση και ο εξαερισμός προκειμένου να μειωθεί η ζήτηση ενέργειας και να αυξηθεί η άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου. Για να αποτυπώσουμε τον βαθμό διείσδυσης τεχνολογιών αυτοματισμού στα κτίρια προτείνεται ο ακόλουθος δείκτης:

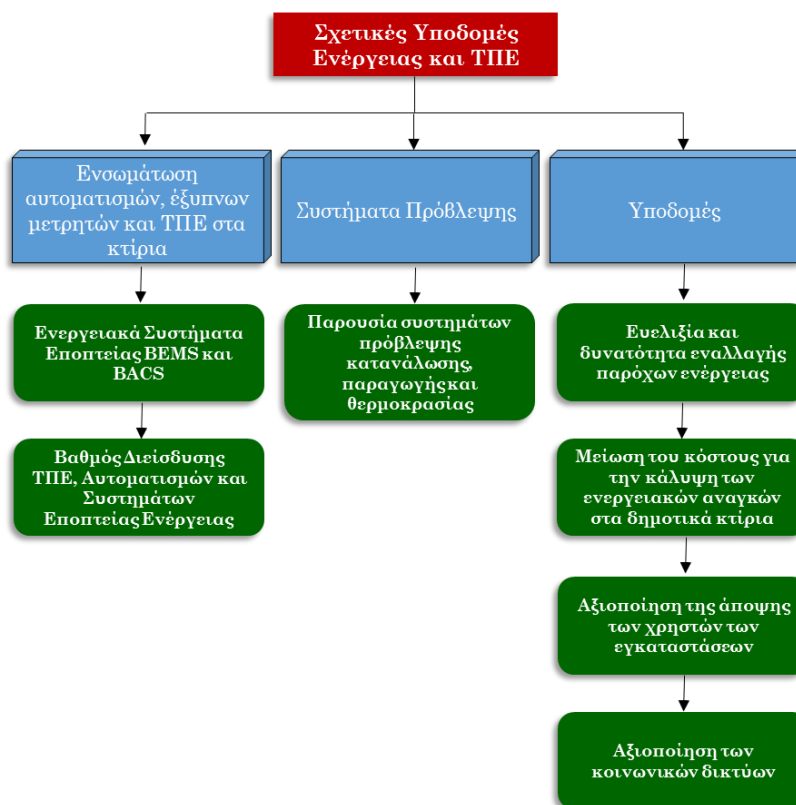
- ▲ **Συστήματα εποπτείας και BEMS:** τα συστήματα BEMS (Building Energy Management Systems) είναι τεχνολογίες που επιτρέπουν την εποπτεία και τον έλεγχο συσκευών θέρμανσης, εξαερισμού, κλιματισμού (HVAC – Heating, Ventilating, Air Conditioning) με σκοπό τη μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης και των εκπομπών CO<sub>2</sub> (Hong et al., 2012). Αντίστοιχα, τα συστήματα ενεργειακής επίτευξης των κτιρίων (Building Energy Monitoring Systems) αποτελούνται τυπικά από ένα ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο αισθητήρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κατάλληλες θέσεις όπου μπορούν να λαμβάνουν και να συλλέγουν μετρήσεις για τη θερμοκρασία, την υγρασία και τον φωτισμό του χώρου και έπειτα να τις αποστέλλουν για επεξεργασία στην κεντρική μονάδα επίτευξης του κτιρίου (Cho et al., 2011). Στόχος της συλλογής αυτών των δεδομένων για τις συνθήκες εσωτερικού χώρου είναι η επίτευξη προσαρμοστικού ελέγχου των συστημάτων HVAC τα οποία αποτελούν και τις κυριότερες συνιστώσες στο ενεργειακό κόστος των κτιρίων. Ο τρόπος βαθμολογίας και αξιολόγησης αποτελείται από τρεις βαθμίδες: «χαμηλή», «μέτρια» και «υψηλή». Τέλος, αναφέρεται ότι ως κτίρια θεωρούνται όλα τα κτίρια εντός των γεωγραφικών συνόρων της πόλης, δημοτικά, εμπορικά, κατοικίες, βιομηχανίες και ότι για την αξιολόγηση της πόλης έχουν ληφθεί υπόψη και μελλοντικά σχέδια της πόλης για εγκατάσταση ΤΠΕ λύσεων στα κτίρια της. Να

σημειωθεί ότι τα συστήματα παρακολούθησης, BEMS και BACS αξιολογούνται με βάση το επίπεδο του αυτοματισμού στο κτίριο σύμφωνα με prEN 15232: 2006.

- ▲ **Συστήματα πρόβλεψης:** Από τα πιο διαδεδομένα συστήματα πρόβλεψης, είναι αυτά των καιρικών συνθηκών. Οι καιρικές συνθήκες έχουν τη μεγαλύτερη εξωτερική επίδραση στην απόδοση και επίδοση των αστικών υποδομών. Από τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, τη διαχείριση της οδικής κυκλοφορίας έως τη λειτουργία των αεροδρομίων και τη δημόσια ασφάλεια. Οι ακριβείς προβλέψεις για παράδειγμα της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμες καθώς οι ακραίες τιμές της αποτελούν τη νούμερο ένα αιτία για την κατανάλωση ενέργειας. Συνεπώς σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (που βρίσκεται εντός των γεωγραφικών συνόρων της πόλης) είναι απαραίτητες αυτές οι προβλέψεις για τον σωστό σχεδιασμό του ενεργειακού φορτίου και της απαιτούμενης παραγωγής για την κάλυψη του. Άλλο ένα παράδειγμα αποτελεί η ημερήσια πρόβλεψη του φορτίου κυκλοφορίας για τον αποδοτικότερο σχεδιασμό των αστικών μέσων μεταφοράς. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι πρόβλεψης της ζήτησης για τα μεταφορικά μέσα αλλά ο πιο διαδεδομένος είναι μέσω των ηλεκτρονικών εισιτηρίων (e-ticketing system) τα οποία μπορούν να αναπαραστήσουν πολύ λεπτομερή και ακριβή χρονομεταβλητά δεδομένα μέρα με τη μέρα (Horvath, 2012). Επιπροσθέτως, τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη προσπάθεια για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Αυτά αποτελούν ορισμένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα πρόβλεψης που έχουν υιοθετήσει πολλές σύγχρονες έξυπνες πόλεις. Ο άξονας συστήματα πρόβλεψης περιλαμβάνει μόνο έναν ομώνυμο δείκτη για τη βαθμολόγηση της πόλης σε κλίμακα τριών βαθμίδων («χαμηλή», «μεσαία», «υψηλή») ανάλογα με τον βαθμό διείσδυσης και αξιοποίησης ανάλογων συστημάτων.
- ▲ **Υποδομές:** Σε αυτόν τον άξονα ελέγχεται η ευελιξία και η εναλλαγή μεταξύ παρόχων ενέργειας με βάση την τιμή και τις καταναλώσεις αιχμής. Επίσης, ελέγχεται η ποσοστιαία μείωση του κόστους ενέργειας συγκριτικά με την ενέργεια αναφοράς των λογαριασμών. Από την επεξεργασία τους μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα όπως για παράδειγμα η πραγματική θερμική τους άνεση, ο τρόπος που αντιμετωπίζουν το θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας. Επιπλέον από τη συμμετοχή των χρηστών στα κοινωνικά δίκτυα (όπως Facebook και Twitter) και τις συζητήσεις μπορούν να ευαισθητοποιηθούν στις αρχές και τις δράσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας. Ο άξονας αξιοποίηση των χρηστών των εγκαταστάσεων περιλαμβάνει έναν ομώνυμο δείκτη, ο οποίος είναι ποιοτικός και αξιολογεί την πόλη σε μια κλίμακα τριών βαθμίδων: «χαμηλή», «μέτρια» και «υψηλή» ανάλογα με τον βαθμό διείσδυσης αυτής της πρακτικής για την ενεργειακή βελτιστοποίηση της πόλης.

Στο Σχήμα 4.11 απεικονίζεται το σύνολο των δεικτών που αποτελούν τον

πυλώνα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ» καθώς και οι δείκτες του κάθε άξονα που περιεγράφηκαν.



Σχήμα 4.11. Ανάλυση του πυλώνα: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ»

Στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι εικοσιένα (21) δείκτες της μεθοδολογίας.

Πίνακας 4.2. Δείκτες της Μεθοδολογίας Αξιολόγησης «Έξυπνων Πόλεων»

1. Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας	
1.1	Στόχος μείωσης των εκπομπών CO <sub>2</sub> σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % των συνολικών εκπομπών
1.2	Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)
1.3	Στόχος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε τελική χρήση σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)
1.4	Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub>
1.5	Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης
1.6	Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ
1.7	Συνολικές χρηματικές δαπάνες για ενέργεια
2. Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ	
2.1	Ενεργειακή Κατανάλωση / κάτοικο
2.2	Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020
2.3	Ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020
2.4	Ένταση παραγωγής από ΑΠΕ
2.5	Ικανότητα Αποθήκευσης της Παραγόμενης Ενέργειας (ηλεκτρική/θερμική)

2.6	Συμπαράγωγή θερμότητας/ ηλεκτρισμού
2.7	Αξιοποίηση των καιρικών συνθηκών για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης
<b>3. Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ</b>	
3.1	Ενεργειακά Συστήματα Εποπτείας BEMS και BACS
3.2	Βαθμός διείσδυσης ΤΠΕ, Αυτοματισμών και Συστημάτων Εποπτείας Ενέργειας
3.3	Συστήματα Πρόβλεψης
3.4	Ευελξία και δυνατότητα εναλλαγής παρόχων ενέργειας
3.5	Μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στα δημοτικά κτίρια
3.6	Αξιοποίηση των κοινωνικών δικτύων (Facebook, Twitter κ.α.)
3.7	Αξιοποίηση της άποψης των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των σεναρίων

#### Διαδικασία Αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση της πόλης στο σύνολο της ή ανά άξονα, αρχικά οι δείκτες του Πίνακα 4.2 ομογενοποιούνται, σύμφωνα με την μεθοδολογία του Herrera et al. (2005), και εκφράζονται σε μια κοινή βάση που καλείται BLTS (περιγράφηκε στην Ενότητα 3.4.2 «Γλωσσική Ανάλυση»). Με αυτόν τον τρόπο, οι δείκτες του κάθε άξονα, εάν και ετερογενείς, μπορούν εύκολα να συναθροιστούν με τη χρήση ενός συστήματος προστιθέμενης αξίας και να καταλήξουμε σε αποτελέσματα στον κάθε άξονα και κατ' επέκταση στην πόλη. Όλα τα κριτήρια είναι αυστηρά αυξανόμενης προτίμησης. Επιπλέον, χάριν απλούστευσης, θεωρείται ότι δεν υπάρχει καμία ισχυρή ένδειξη σημασίας μεταξύ του βαθμού κάθε άξονα και των ξεχωριστών τιμών του αντιστοιχού δείκτη. Συνεπώς, όλα τα κριτήρια συνεισφέρουν ισοδύναμα στο σύστημα προστιθέμενης αξίας, έτσι ώστε όσο μεγαλύτερες οι τιμές τους, τόσο καλύτερος ο βαθμός του άξονα.

Με βάση τα παραπάνω, η Ενεργειακή Απόδοση Έξυπνης Πόλης (ΕΑΕΠ) μπορεί να αξιολογηθεί ως το σταθμισμένο άθροισμα της απόδοσης της πόλης για κάθε έναν από τους τρεις άξονες: Πεδίο Πολιτικών Δράσεων (ΠΠΔ), Ενέργεια και Περιβαλλοντικό Προφίλ (ΕΠΠ) και Σχετικές Υποδομές και ΤΠΕ (ΣΥ&ΤΠΕ)

$$ΕΑΕΠ(ΠΠΔ, ΕΠΠ, ΣΥ&ΤΠΕ) = w_{ΠΠΔ} * ΠΠΔ + w_{ΕΠΠ} * ΕΠΠ + w_{ΣΥ&ΤΠΕ} * ΣΥ&ΤΠΕ$$

Τα βάρη  $w_{ΠΠΔ}$ ,  $w_{ΕΠΠ}$ ,  $w_{ΣΥ&ΤΠΕ}$  πρέπει να έχουν άθροισμα ίσο με τη μονάδα και καθορίζονται από τον αποφασίζοντα, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Όμοια, η απόδοση της πόλης σε κάθε έναν άξονα (ΠΠΔ, ΕΠΠ, ΣΥ & ΤΠΕ) είναι μια συνάρτηση των αντιστοιχών δεικτών και υπολογίζεται ως εξής (Androulaki et al., 2014, 2016; Papastamatiou et al. 2015, 2016):

$$ΠΠΔ(I_{1,1}, I_{1,2}, \dots, I_{1,x}) = w_{P_{1,1}} * I_{1,1} + w_{P_{1,2}} * I_{1,2} + \dots + w_{P_{1,x}} * I_{1,x}$$

$$ΕΠΠ(I_{2,1}, I_{2,2}, \dots, I_{2,x}) = w_{P_{2,1}} * I_{2,1} + w_{P_{2,2}} * I_{2,2} + \dots + w_{P_{2,x}} * I_{2,x}$$

$$ΣΥ&ΤΠΕ(I_{3,1}, I_{3,2}, \dots, I_{3,x}) = w_{P_{3,1}} * I_{3,1} + w_{P_{3,2}} * I_{3,2} + \dots + w_{P_{3,x}} * I_{3,x}$$

Οι παραπάνω σχέσεις  $I_{1,1}, I_{1,2}, \dots, I_{1,x}$ ,  $I_{2,1}, I_{2,2}, \dots, I_{2,x}$ ,  $I_{3,1}, I_{3,2}, \dots, I_{3,x}$  αντιπροσωπεύουν την απόδοση της πόλης σε καθέναν από τους δείκτες.

Τα βάρη σε κάθε σχέση καθορίζονται από τον αποφασίζοντα σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Η πιο γενική εικόνα της κατάστασης της πόλης προκύπτει από ίσα σταθμισμένα κριτήρια σε κάθε σχέση. Σύμφωνα με το καθορισμένο πλαίσιο αξιολόγησης μια OPTIMUS πόλη είναι μια ιδανική πόλη που πετυχαίνει τα υψηλότερα σκορ σε καθένα από τους τρεις άξονες αξιολόγησης και συνεπώς και στη συνάρτηση συγκέντρωσης.

$$ΠΠΔ(I_{1,1}, I_{1,2}, \dots, I_{1,x}) = 1$$

$$ΕΠΠ(I_{2,1}, I_{2,2}, \dots, I_{2,x}) = 1$$

$$ΣΥ&ΤΠΕ(I_{3,1}, I_{3,2}, \dots, I_{3,x}) = 1$$

$$ΕΑΕΠ(ΠΠΔ, ΕΠΠ, ΣΥ&ΤΠΕ) = 1$$

Η «OPTIMUS» πόλη (OPTIMUS 2016) εκφράζει την Ιδανική Πόλη και μπορεί να αποτελέσει ορόσημο για κάθε πόλη. Αυτό εξασφαλίζει την παρακολούθηση της απόδοσής της, εστιάζοντας σε συγκεκριμένους άξονες απόδοσης. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να αξιοποιηθεί για να συγκρίνει πόλεις μεταξύ τους. Για το σωστό καθορισμό των σταθμίσεων των δεικτών, οι οποίοι είναι ουσιαστικά τα κριτήρια αξιολόγησης της κάθε πόλης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια από τις μεθόδους πολυκριτήριας υποστήριξης απόφασης που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 2. Με την εφαρμογή αυτών των μεθόδων λαμβάνεται υπόψη η σχέση μεταξύ των κριτηρίων στις προτιμήσεις του αποφασίζοντα και αναλύεται πιο εμπεριστατωμένα η οπουδαιότητα κάθε δείκτη.

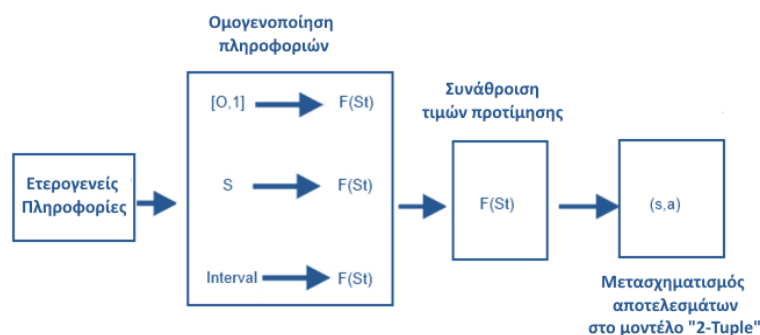
### IV.3.3 Λογισμικό Αξιολόγησης Έξυπνων Πόλεων «e-SCEAF»

Το e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) είναι το διαδικτυακό εργαλείο που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (SCEAF) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων. Κάνοντας χρήση του e-SCEAF και μέσα από μια απλοποιημένη διαδικασία, οι τοπικές αρχές μπορούν να εντοπίσουν εύκολα τους τομείς της πόλης που υπολειτουργούν και να διευκολυνθεί η επιλογή των δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας και για να υποδειχθούν τα πιθανά σχέδια δράσης προκειμένου η πόλη να γίνει πιο “έξυπνη” και ενεργειακά πιο αποδοτική.

Για την πρόσβαση στο e-SCEAF απαιτείται σύνδεση στο διαδίκτυο, ανεξαρτήτως λειτουργικού συστήματος: Microsoft, Macintosh, Linux, Android, και ανεξαρτήτως τύπου συσκευής: Προσωπικός Υπολογιστής (PC) είτε κινητή συσκευή (Tablet ή κινητό τηλέφωνο).

Το εργαλείο e-SCEAF έχει αναπτυχθεί σε PHP, MySQL και JavaScript και προσφέρει έναν ευέλικτο, αξιόπιστο και διαφανή τρόπο εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης μιας πόλης. Το e-SCEAF αποτελεί ανάπτυξη δυο προηγούμενων λογισμικών που θα αναλυθούν στη συνέχεια: Το εργαλείο σε Microsoft Excel και Visual Basic for Applications (VBA) (Papastamatiou et al., 2013), καθώς και το λογισμικό OMIMS: Online Multidisciplinary Information Management Software (Papastamatiou et al., 2014a: <http://omims.ipapastamatiou.gr>).

Το e-SCEAF υποστηρίζει με απλό και γρήγορο τρόπο τις τοπικές αρχές για την αξιολόγηση της απόδοσης των πόλεων τους, με βάση το μεθοδολογικό πλαίσιο SCEAF, που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Το λογισμικό e-SCEAF αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία ανοιχτού κώδικα και περιέχει ένα σύνολο δυναμικών ιστοσελίδων, φόρμες, μηχανισμούς απεικόνισης και παρουσίασης αποτελεσμάτων, και MySQL βάση δεδομένων. Οι ιστοσελίδες αναπτύχθηκαν με τη χρήση γλώσσας προγραμματισμού PHP και ενσωματώνουν τη χρήση JavaScript προκειμένου να παρέχουν διαδραστικό περιβάλλον.



Σχήμα 4.12. Οι τρεις φάσεις της μεθοδολογίας του Herrera et al. (2005)

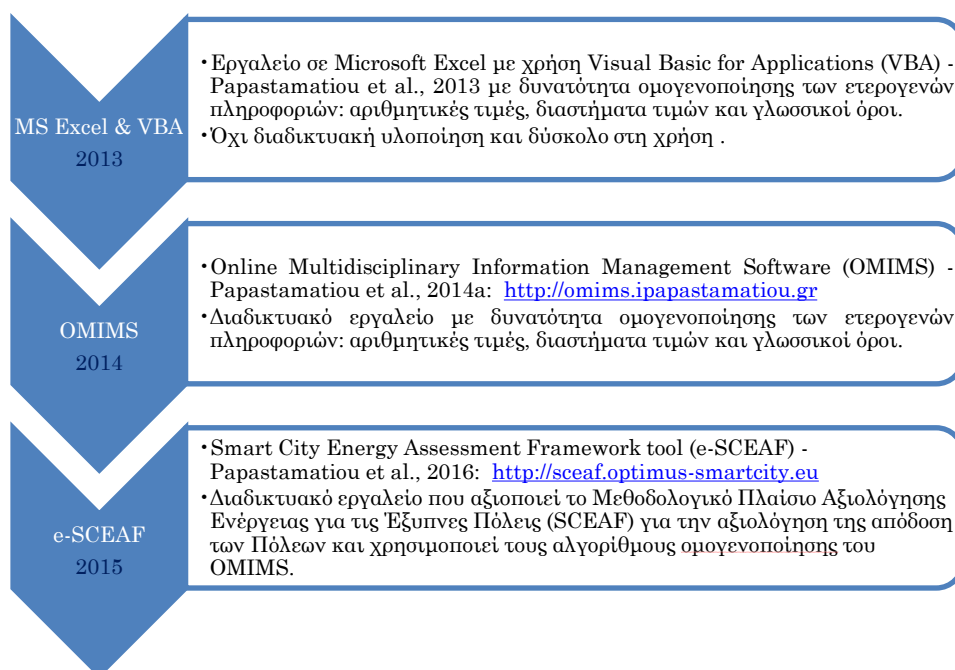
Το e-SCEAF βασίζεται στο πολυκριτηριακό μοντέλο 2-Tuple. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από ένα γλωσσικό όρο και μια αριθμητική τιμή  $[-0.5, 0.5]$  όπως ορίζεται από τους Herrera et al. (2000) και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η προσαρμογή σε ενεργειακά προβλήματα του Doukas et al. (2013). Οι αλγόριθμοι του εργαλείου e-SCEAF διαχειρίζονται τα μη-ομογενή δεδομένα χρησιμοποιώντας τις τρεις φάσεις της μεθοδολογίας του Herrera et al. (2005), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.12:

1. Ομογενοποίηση των πληροφοριών (Unification of the information): Η φάση αυτή ενοποιεί τις ετερογενείς πληροφορίες (αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικούς όρους) σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS – Basic Linguistic Term Set).
2. Συνάθροιση των τιμών προτίμησης (Aggregation of the preferred values): Είναι η φάση υπολογισμού και της συνάθροισης των τιμών προτίμησης (ομογενοποιημένων τιμών).
3. Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple» (Transformation): Είναι η διεργασία που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τα αποτελέσματα με το μοντέλο διπλής αναπαράστασης «2-tuple».

#### Στάδια Εξέλιξης e-SCEAF

Αρχικά, το 2013, για την υλοποίηση της μεθοδολογίας ομογενοποίησης των ετερογενών πληροφοριών (αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικοί όροι) του Herrera et al. (2005), αναπτύχθηκε ένα φύλλο εργασίας σε Microsoft Excel (Papastamatiou et al., 2013), που με τη χρήση πρωτότυπων αλγόριθμων σε Visual Basic for Applications - VBA επιτεύχθηκε η διαδικασία ομογενοποίησης των ετερογενών μεταβλητών. Στη συνέχεια, το 2014, για τη διευκόλυνση των χρηστών και για την ευρύτερη χρήση από την ερευνητική κοινότητα, αναπτύχθηκε το

διαδικτυακό εργαλείο OMIMS - Online Multidisciplinary Information Management Software (Papastamatiou et al., 2014a: <http://omims.ipapastamatiou.gr>). Το OMIMS, που είναι διαθέσιμο μέχρι και σήμερα, εξίσου ομογενοποιεί τις ετερογενείς πληροφορίες και διαθέτει επιπλέον σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως την δυνατότητα δημιουργίας χρηστών, την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των έργων του ίδιου χρήστη ή και διαφορετικών χρηστών και την εμφάνιση των αποτελεσμάτων. Το 2015 και στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Έργου «OPTIMUS», αναπτύχθηκε το διαδικτυακό εργαλείο e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας Πόλεων (SCEAF), αξιοποιώντας τους αλγόριθμους του OMIMS για την ομογενοποίηση των αριθμητικών τιμών και των γλωσσικών όρων. Στο Σχήμα 4.13, περιγράφονται συνοπτικά τα στάδια εξέλιξης του e-SCEAF, ενώ στον Πίνακα 4.3 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα εργαλεία και απεικονίζονται με εύκολο τρόπο οι διαφορές τους.



Σχήμα 4.13 Στάδια Εξέλιξης e-SCEAF

Πίνακας 4.3. Χαρακτηριστικά εργαλείων MS EXCEL-VBA, OMIMS & e-SCEAF

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ	1 <sup>Η</sup> ΈΚΔΟΣΗ MS EXCEL - VBA	2 <sup>Η</sup> ΈΚΔΟΣΗ OMIMS PHP - MYSQL	3 <sup>Η</sup> ΈΚΔΟΣΗ e-SCEAF PHP-MYSQL DRUPAL
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ	✓	✓	✓
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΟΡΩΝ	✓	✓	✓
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΙΜΩΝ	✓	✓	✗



ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ SCEAF	×	×	✓
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ FRAMEWORK	×	×	✓
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ ΧΡΗΣΤΗ	×	✓	✓
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	×	✓	✓
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	×	✓	✓
ΑΠΟΣΦΑΛΜΑΤΩΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ	×	✓	✓
ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΙΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	×	✓	✓
ΑΣΦΑΛΕΙΑ	×	✓	✓
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΩΔΙΚΑ	×	✓	✓
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ	×	✓	✓
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	×	✓	✓
ΕΥΚΟΛΗ ΧΡΗΣΗ	×	✓	✓
ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟ	×	✓	✓

*Εργαλείο σε  
Microsoft  
Excel και  
χρήση VBA*

## MICROSOFT EXCEL ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ VBA

Η εφαρμογή για την ομογενοποίηση των ετερογενών δεδομένων, αρχικά αναπτύχθηκε σε πρώιμο στάδιο σε φύλλο εργασίας του Microsoft Excel με χρήση κώδικα σε VBA (Visual Basic for Applications) (Papastamatiou et al., 2013). Στη συνέχεια περιγράφονται οι αλγόριθμοι με τους οποίους σε VBA ομογενοποιούσε τις ετερογενείς πληροφορίες υλοποιώντας τη μεθοδολογία του Herrera et al. (2005) και παρουσιάζεται η αλγοριθμική διαδικασία για την ομογενοποίηση των ετερογενών πληροφοριών που αποτέλεσαν την πρώιμη ανάπτυξη των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται πλέον στο e-SCEAF.

### Μετατρέποντας αριθμητικές τιμές που ανήκουν στο [0,1] σε F(ST)

**Παράδειγμα 1.** Έστω  $\theta=0.78$  η αριθμητική τιμή που θα μετατραπεί σε ασαφές σύνολο  $S=\{s_0, \dots, s_4\}$ .

Η σημασιολογία αυτού του όρου είναι  $s_0=(0,0,0.25)$ ,  $s_1=(0,0.25,0.5)$ ,  $s_2=(0.25,0.5,0.75)$ ,  $s_3=(0.5,0.75,1)$ ,  $s_4=(0.75,1,1)$ .

Οπότε το ασαφές σύνολο που προκύπτει είναι το  $\tau_{((NS)]_T} (0.78)=\{[(s)]_0,0),(s_1,0),(s_3,0.88),(s_4,0.12)\}$ .

Τα βήματα εκτέλεσης απεικονίζονται στο Σχήμα 4.14. Ο χρήστης εισάγει το πλήθος του St στο 1ο βήμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλέξει την 5βάθμια γλωσσική κλίμακα, και εισάγει στο κατάλληλο

κελί την αριθμητική τιμή. Ο υπολογισμός εκτελείται αυτόματα και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στο τελευταίο βήμα (5ο). Στο 2ο βήμα υπολογίζεται κάθε τριγωνικό πολυδιάνυσμα (a,b και c), και στο 3ο βήμα, ανάλογα με το διάστημα που βρίσκεται η αριθμητική τιμή, εφαρμόζουμε τον κατάλληλο μαθηματικό τύπο. Στο 4ο βήμα κρατάμε τη σωστή τιμή και στο 5ο εμφανίζεται το τελικό διάνυσμα της αριθμητικής τιμής που εισήχθη στο FS στο BLTS.



Σχήμα 4.14. Screenshot από το Εργαλείο σε Microsoft (MS) Excel και Visual Basic for Applications (VBA) - Papastamatiou et al., 2013 Μετασχηματίζοντας την αριθμητική τιμή (0,78) σε FS στο BLTS

**Μετατρέποντας γλωσσικούς όρους από το S στο F(ST)**

**Παράδειγμα 2.** Έστω σύνολο S εκφρασμένο με την 5βάθμια κλίμακα (10,...14) γλωσσική τριγωνική κλίμακα και St επιθυμητή γλωσσική κλίμακα η 7βάθμια (s0,...,s6).

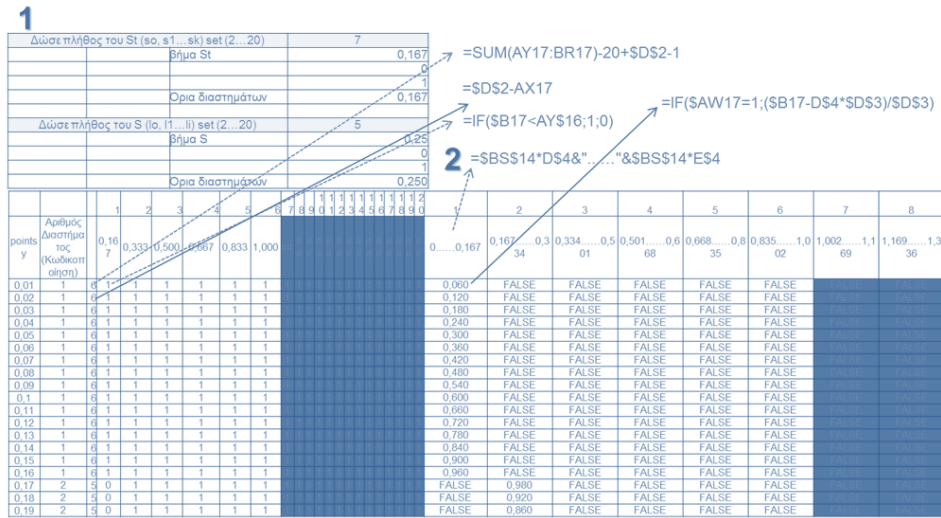
$$10 = (0,0,0.25), 11 = (0,0.25,0.5), 12 = (0.25,0.5,0.75), 13 = (0.5,0.75,1), 14 = (0.75,1,1)$$

$$s0 = (0,0,0.16), s1 = (0,0.16,0.34), s2 = (0.16,0.34,0.5), s3 = (0.34,0.5,0.66), s4 = (0.5,0.66,0.84), s5 = (0.66,0.84,1), s6 = (0.84,1,1)$$

Το αποτέλεσμα λοιπόν μετά από τον μετασχηματισμό του 11 πάνω στο St είναι:  $tsst(11) = \{(s0,0.39), (s1, 0.85), (s2,0.85), (s3,0.39), (s4,0), (s5, 0), (s6,0)\}$ .

Το εργαλείο για τον συγκεκριμένο υπολογισμό είναι πολύπλοκο και η διαδικασία απεικονίζεται στο Σχήμα 4.15. Ο χρήστης εισάγει στο 1ο βήμα την κλίμακα στο S και την κλίμακα στο St. Στη συνέχεια, για την επίλυση έχει κατασκευασθεί ένας αλγόριθμος, βάσει του οποίου τα πολυδιανύσματα των συνόλων St και S1 χωρίζονται σε τέσσερα αυτοτελή ευθύγραμμα τμήματα, με αποτέλεσμα να χωρίζεται ο τρόπος υπολογισμού σε τέσσερις διαφορετικές καμπύλες. Στο 2ο βήμα χωρίζεται ο άξονας y σε σημεία με βήμα 0,01 και υπολογίζουμε σε πο

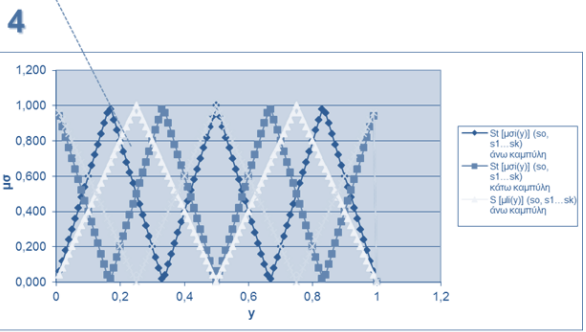
σημείο αντιστοιχεί το κάθε ευθύγραμμο τμήμα μοι του συνόλου St. Με αυτόν τον τρόπο έχουν βρεθεί όλα τα σημεία τομής.



3

points y	St [μσι(y)] (so, s1...sk) άνω καρπούλη	St [μσι(y)] (so, s1...sk) κάτω καρπούλη	S [μσι(y)] (so, s1...sk) άνω καρπούλη	S [μσι(y)] (so, s1...sk) κάτω καρπούλη
0,01	0,060	0,940	0,040	0,960
0,02	0,120	0,880	0,080	0,920
0,03	0,180	0,820	0,120	0,880
0,04	0,240	0,760	0,160	0,840
0,05	0,300	0,700	0,200	0,800
0,06	0,360	0,640	0,240	0,760
0,07	0,420	0,580	0,280	0,720
0,08	0,480	0,520	0,320	0,680
0,09	0,540	0,460	0,360	0,640
0,1	0,600	0,400	0,400	0,600
0,11	0,660	0,340	0,440	0,560
0,12	0,720	0,280	0,480	0,520
0,13	0,780	0,220	0,520	0,480
0,14	0,840	0,160	0,560	0,440
0,15	0,900	0,100	0,600	0,400
0,16	0,960	0,040	0,640	0,360
0,17	0,980	0,020	0,680	0,320
0,18	0,920	0,080	0,720	0,280
0,19	0,860	0,140	0,760	0,240
0,2	0,800	0,200	0,800	0,200
0,21	0,740	0,260	0,840	0,160
0,22	0,680	0,320	0,880	0,120
0,23	0,620	0,380	0,920	0,080
0,24	0,560	0,440	0,960	0,040
0,25	0,500	0,500	1,000	0,000

=SERIES(linguistic!\$E\$16;linguistic!\$B\$17:\$B\$116;linguistic!\$E\$17:\$E\$116;3)



5

```

Private Sub CommandButton1_Click()
Dim a1_ano_klisis() As Double
Dim a1_ano_stathis() As Double
Dim a1_ano_klisis1() As Double
Dim a1_ano_stathis1() As Double
Dim a1_ano_klisis2() As Double
Dim a1_ano_stathis2() As Double
Dim a1_ano_klisis3() As Double
Dim a1_ano_stathis3() As Double
Dim a1_ano_klisis4() As Double
Dim a1_ano_stathis4() As Double
Dim a1_ano_klisis5() As Double
Dim a1_ano_stathis5() As Double
Dim a1_ano_klisis6() As Double
Dim a1_ano_stathis6() As Double
Dim a1_ano_klisis7() As Double
Dim a1_ano_stathis7() As Double
Dim a1_ano_klisis8() As Double
Dim a1_ano_stathis8() As Double
Dim a1_ano_klisis9() As Double
Dim a1_ano_stathis9() As Double
Dim a1_ano_klisis10() As Double
Dim a1_ano_stathis10() As Double
Dim a1_ano_klisis11() As Double
Dim a1_ano_stathis11() As Double
Dim a1_ano_klisis12() As Double
Dim a1_ano_stathis12() As Double
Dim a1_ano_klisis13() As Double
Dim a1_ano_stathis13() As Double
Dim a1_ano_klisis14() As Double
Dim a1_ano_stathis14() As Double
Dim a1_ano_klisis15() As Double
Dim a1_ano_stathis15() As Double
Dim a1_ano_klisis16() As Double
Dim a1_ano_stathis16() As Double
Dim a1_ano_klisis17() As Double
Dim a1_ano_stathis17() As Double
Dim a1_ano_klisis18() As Double
Dim a1_ano_stathis18() As Double
Dim a1_ano_klisis19() As Double
Dim a1_ano_stathis19() As Double
Dim a1_ano_klisis20() As Double
Dim a1_ano_stathis20() As Double
Dim a1_ano_klisis21() As Double
Dim a1_ano_stathis21() As Double
Dim a1_ano_klisis22() As Double
Dim a1_ano_stathis22() As Double
Dim a1_ano_klisis23() As Double
Dim a1_ano_stathis23() As Double
Dim a1_ano_klisis24() As Double
Dim a1_ano_stathis24() As Double
Dim a1_ano_klisis25() As Double
Dim a1_ano_stathis25() As Double
Dim a1_ano_klisis26() As Double
Dim a1_ano_stathis26() As Double
Dim a1_ano_klisis27() As Double
Dim a1_ano_stathis27() As Double
Dim a1_ano_klisis28() As Double
Dim a1_ano_stathis28() As Double
Dim a1_ano_klisis29() As Double
Dim a1_ano_stathis29() As Double
Dim a1_ano_klisis30() As Double
Dim a1_ano_stathis30() As Double
Dim a1_ano_klisis31() As Double
Dim a1_ano_stathis31() As Double
Dim a1_ano_klisis32() As Double
Dim a1_ano_stathis32() As Double
Dim a1_ano_klisis33() As Double
Dim a1_ano_stathis33() As Double
Dim a1_ano_klisis34() As Double
Dim a1_ano_stathis34() As Double
Dim a1_ano_klisis35() As Double
Dim a1_ano_stathis35() As Double
Dim a1_ano_klisis36() As Double
Dim a1_ano_stathis36() As Double
Dim a1_ano_klisis37() As Double
Dim a1_ano_stathis37() As Double
Dim a1_ano_klisis38() As Double
Dim a1_ano_stathis38() As Double
Dim a1_ano_klisis39() As Double
Dim a1_ano_stathis39() As Double
Dim a1_ano_klisis40() As Double
Dim a1_ano_stathis40() As Double
Dim a1_ano_klisis41() As Double
Dim a1_ano_stathis41() As Double
Dim a1_ano_klisis42() As Double
Dim a1_ano_stathis42() As Double
Dim a1_ano_klisis43() As Double
Dim a1_ano_stathis43() As Double
Dim a1_ano_klisis44() As Double
Dim a1_ano_stathis44() As Double
Dim a1_ano_klisis45() As Double
Dim a1_ano_stathis45() As Double
Dim a1_ano_klisis46() As Double
Dim a1_ano_stathis46() As Double
Dim a1_ano_klisis47() As Double
Dim a1_ano_stathis47() As Double
Dim a1_ano_klisis48() As Double
Dim a1_ano_stathis48() As Double
Dim a1_ano_klisis49() As Double
Dim a1_ano_stathis49() As Double
Dim a1_ano_klisis50() As Double
Dim a1_ano_stathis50() As Double
Dim a1_ano_klisis51() As Double
Dim a1_ano_stathis51() As Double
Dim a1_ano_klisis52() As Double
Dim a1_ano_stathis52() As Double
Dim a1_ano_klisis53() As Double
Dim a1_ano_stathis53() As Double
Dim a1_ano_klisis54() As Double
Dim a1_ano_stathis54() As Double
Dim a1_ano_klisis55() As Double
Dim a1_ano_stathis55() As Double
Dim a1_ano_klisis56() As Double
Dim a1_ano_stathis56() As Double
Dim a1_ano_klisis57() As Double
Dim a1_ano_stathis57() As Double
Dim a1_ano_klisis58() As Double
Dim a1_ano_stathis58() As Double
Dim a1_ano_klisis59() As Double
Dim a1_ano_stathis59() As Double
Dim a1_ano_klisis60() As Double
Dim a1_ano_stathis60() As Double
Dim a1_ano_klisis61() As Double
Dim a1_ano_stathis61() As Double
Dim a1_ano_klisis62() As Double
Dim a1_ano_stathis62() As Double
Dim a1_ano_klisis63() As Double
Dim a1_ano_stathis63() As Double
Dim a1_ano_klisis64() As Double
Dim a1_ano_stathis64() As Double
Dim a1_ano_klisis65() As Double
Dim a1_ano_stathis65() As Double
Dim a1_ano_klisis66() As Double
Dim a1_ano_stathis66() As Double
Dim a1_ano_klisis67() As Double
Dim a1_ano_stathis67() As Double
Dim a1_ano_klisis68() As Double
Dim a1_ano_stathis68() As Double
Dim a1_ano_klisis69() As Double
Dim a1_ano_stathis69() As Double
Dim a1_ano_klisis70() As Double
Dim a1_ano_stathis70() As Double
Dim a1_ano_klisis71() As Double
Dim a1_ano_stathis71() As Double
Dim a1_ano_klisis72() As Double
Dim a1_ano_stathis72() As Double
Dim a1_ano_klisis73() As Double
Dim a1_ano_stathis73() As Double
Dim a1_ano_klisis74() As Double
Dim a1_ano_stathis74() As Double
Dim a1_ano_klisis75() As Double
Dim a1_ano_stathis75() As Double
Dim a1_ano_klisis76() As Double
Dim a1_ano_stathis76() As Double
Dim a1_ano_klisis77() As Double
Dim a1_ano_stathis77() As Double
Dim a1_ano_klisis78() As Double
Dim a1_ano_stathis78() As Double
Dim a1_ano_klisis79() As Double
Dim a1_ano_stathis79() As Double
Dim a1_ano_klisis80() As Double
Dim a1_ano_stathis80() As Double
Dim a1_ano_klisis81() As Double
Dim a1_ano_stathis81() As Double
Dim a1_ano_klisis82() As Double
Dim a1_ano_stathis82() As Double
Dim a1_ano_klisis83() As Double
Dim a1_ano_stathis83() As Double
Dim a1_ano_klisis84() As Double
Dim a1_ano_stathis84() As Double
Dim a1_ano_klisis85() As Double
Dim a1_ano_stathis85() As Double
Dim a1_ano_klisis86() As Double
Dim a1_ano_stathis86() As Double
Dim a1_ano_klisis87() As Double
Dim a1_ano_stathis87() As Double
Dim a1_ano_klisis88() As Double
Dim a1_ano_stathis88() As Double
Dim a1_ano_klisis89() As Double
Dim a1_ano_stathis89() As Double
Dim a1_ano_klisis90() As Double
Dim a1_ano_stathis90() As Double
Dim a1_ano_klisis91() As Double
Dim a1_ano_stathis91() As Double
Dim a1_ano_klisis92() As Double
Dim a1_ano_stathis92() As Double
Dim a1_ano_klisis93() As Double
Dim a1_ano_stathis93() As Double
Dim a1_ano_klisis94() As Double
Dim a1_ano_stathis94() As Double
Dim a1_ano_klisis95() As Double
Dim a1_ano_stathis95() As Double
Dim a1_ano_klisis96() As Double
Dim a1_ano_stathis96() As Double
Dim a1_ano_klisis97() As Double
Dim a1_ano_stathis97() As Double
Dim a1_ano_klisis98() As Double
Dim a1_ano_stathis98() As Double
Dim a1_ano_klisis99() As Double
Dim a1_ano_stathis99() As Double
Dim a1_ano_klisis100() As Double
Dim a1_ano_stathis100() As Double
End Sub
    
```

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Κλίση	6,0	-6,0	6,0	-6,0	6,0	-6,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Στοίβη													
Ρό	0,0	2,0	-2,0	4,0	-4,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ρω													

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Κλίση	-6,0	6,0	-6,0	6,0	-6,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Στοίβη													
Ρό	1,0	-1,0	3,0	-3,0	5,0	-5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ρω													

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Κλίση	4,0	-4,0	4,0	-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Στοίβη													
Ρό	0,0	2,0	-2,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ρω													

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Κλίση	-4,0	4,0	-4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Στοίβη													
Ρό	1,0	-1,0	3,0	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ρω													

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Κλίση	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Στοίβη													
Ρό	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ρω													

Σχήμα 4.15. Screenshots από το Εργαλείο σε Microsoft (MS) Excel και Visual Basic for Applications (VBA) - Papastamatiou et al., 2013  
Μετασχηματίζοντας την 5βάθμια γλωσσική κλίμακα σε 7βάθμια στο FS στο BLTS

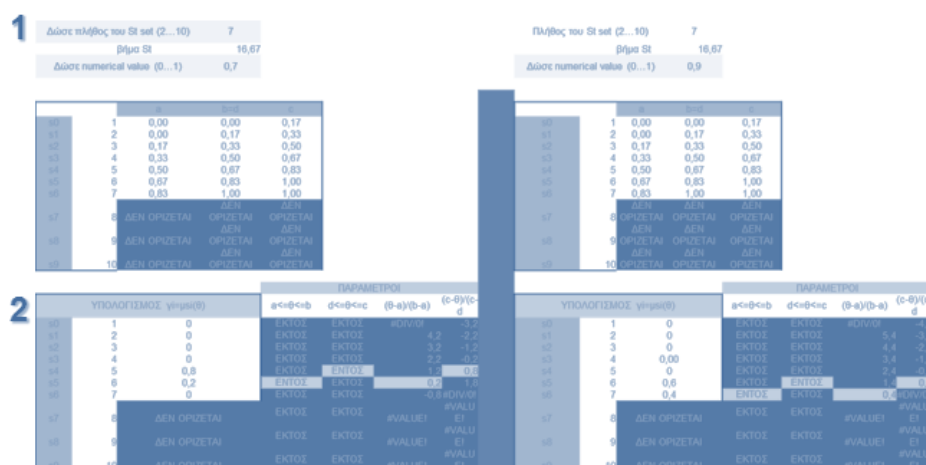
Ο χρήστης εισάγει στο 1ο βήμα την κλίμακα στο S και την κλίμακα στο St. Το αποτέλεσμα όπως αναφέραμε εμφανίζεται αυτόματα στο τελευταίο βήμα. Για να γίνουν τα παρακάτω βήματα καλύτερα αντιληπτά, η επίλυση έχει δομηθεί κατασκευάζοντας έναν αλγόριθμο, βάσει του οποίου: Τα πολυδιανύσματα των συνόλων St και SI χωρίζονται σε τέσσερα αυτοτελή ευθύγραμμα τμήματα, με αποτέλεσμα να χωρίζεται ο τρόπος υπολογισμού σε τέσσερις διαφορετικές καμπύλες. Στο 2ο βήμα χωρίζεται ο άξονας y σε σημεία με βήμα 0,01 και υπολογίζουμε σε πιο σημείο αντιστοιχεί το κάθε ευθύγραμμο τμήμα μισί του συνόλου St. Με αυτόν τον τρόπο έχουν βρεθεί όλα τα σημεία τομής. Στο 3ο βήμα συγκεντρώνονται όλα τα σημεία τομής και των τεσσάρων γραφικών παραστάσεων και απεικονίζονται γραφικά με τη συνάρτηση series του excel (βήμα 4ο). Θα μπορούσε η επίλυση να τελειώνει σε αυτό το σημείο, αλλά για την ευκολία εύρεσης των σημείων τομής και την απ' ευθείας απεικόνισή τους χρησιμοποιήθηκε Visual Basic. Στο 5ο και τελευταίο βήμα χρησιμοποιήθηκε Visual Basic για την άμεση και ευκολότερη απεικόνιση των σημείων. Ουσιαστικά ο κώδικας διαβάσει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τους πίνακες και βρίσκει τα σημεία τομής, που εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα μόλις ο χρήστης πατήσει το κουμπι «Εκτέλεση».

**Μετατροπή των διαστημάτων σε F(St )**

**Παράδειγμα 3.** Έστω  $I=[0.7,0.9]$  το διάστημα που θα μετατραπεί σε ασαφές σύνολο St, με πέντε όρους συμμετρικά καταναμημένους. Το ασαφές σύνολο που προκύπτει αφού εφαρμοστεί η συνάρτηση (βλ. Γράφημα 8)

$$\tau_{IS_T}([0.7,0.9]) = \{(s_0, 0), (s_1, 0), (s_2, 0.6), (s_3, 1), (s_4, 0.08), (s_5, 1), (s_6, 0.34)\}.$$

Το εργαλείο υπολογισμού σε excel απεικονίζεται στο Σχήμα 4.16



**Σχήμα 4.16. Screenshots από το Εργαλείο σε Microsoft (MS) Excel και Visual Basic for Applications (VBA) - Papastamatiou et al., 2013**  
**Μετασχηματίζοντας το διάστημα τιμών ([0.7, 0.9]) στο FS στο BLTS**

Αναλύοντας τη μέθοδο υπολογισμού του εν λόγω μετασχηματισμού, στο Σχήμα 4.16, ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή γλωσσική κλίμακα και το διάστημα της αριθμητικής τιμής, το αποτέλεσμα εμφανίζεται αμέσως στο 5ο βήμα. Εν συντομία, αφού ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα στο 1ο βήμα, στο 2ο βήμα υπολογίζεται το κάθε τριγωνικό πολυδιάνυσμα (a,b και c) και ανάλογα με το διάστημα που βρίσκεται η αριθμητική τιμή, εφαρμόζεται ο κατάλληλος μαθηματικός τύπος, με τον ίδιο τρόπο όπως συνέβη και στον μετασχηματισμό αριθμητικής τιμής. Στο 3ο βήμα υπολογίζονται τα σημεία τομής των αριθμητικών τιμών με τις τριγωνικές μεταβλητές με τον ίδιο τρόπο αλλά για δύο αριθμητικές τιμές. Το επιπλέον σημείο στον αλγόριθμο είναι στον ακόλουθο υπολογισμό: εάν ο «τετραγωνικός» παλμός περιλαμβάνει κάποια τριγωνική κορυφή με αποτέλεσμα το μέγιστο των σημείων τομής να είναι το 1. Στο 4ο βήμα λοιπόν ελέγχουμε εάν το κάτω όριο βρίσκεται αριστερά μιας κορυφής και ταυτόχρονα το πάνω όριο να βρίσκεται δεξιά της ίδιας κορυφής. Σε αυτή τη περίπτωση, υπάρχει 1 οίγουρα και είναι και το μέγιστο των υπολοίπων τιμών.

*Εργαλείο  
OMIMS*

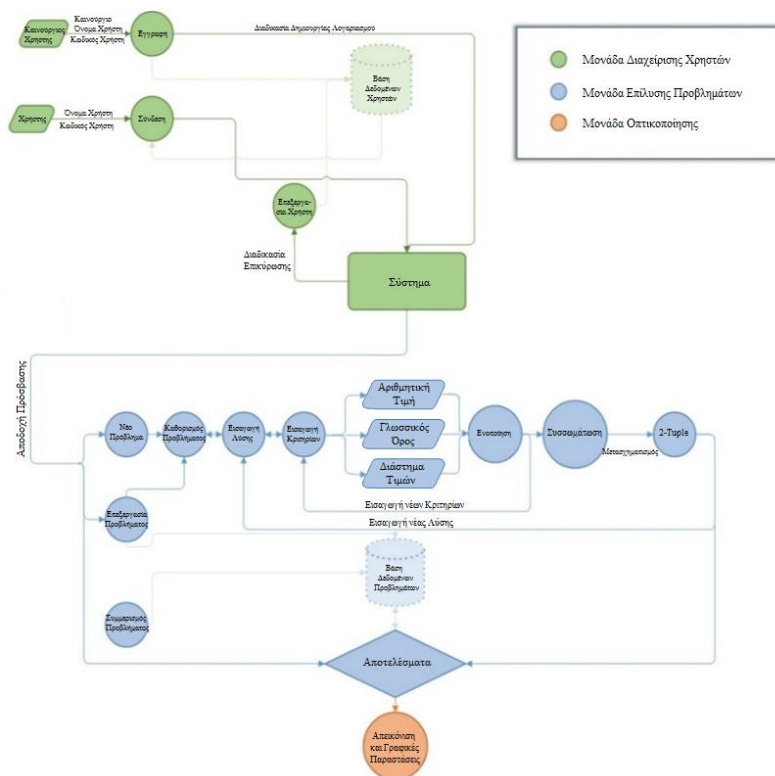
## OMIMS - ONLINE MULTIDISCIPLINARY INFORMATION MANAGEMENT SOFTWARE

Στη συνέχεια, το εργαλείο σε Excel και VBA εξελίχθηκε στο διαδικτυακό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων OMIMS (Online Multidisciplinary Information Management Software) (Papastamatiou et al., 2014a). Το OMIMS αποτελεί μια σημαντική εξέλιξη του προηγούμενου εργαλείου. Είναι διαδικτυακό, εύκολο στη χρήση, διαθέτει δυνατότητα παρουσίασης των αποτελεσμάτων και είναι ικανό να χειριστεί πολλαπλούς χρήστες και πολλαπλά προβλήματα ανά χρήστη.

Για την πρόσβαση στο OMIMS απαιτείται σύνδεση στο διαδίκτυο, ανεξαρτήτως λειτουργικού συστήματος: Microsoft, Macintosh, Linux, Android, και ανεξαρτήτως τύπου συσκευής: Προσωπικός Υπολογιστής (PC) είτε κινητή συσκευή (Tablet ή κινητό τηλέφωνο). Το OMIMS είναι διαθέσιμο στην ακόλουθη διεύθυνση: <http://omims.ipapastamatiou.gr>,

Η δομή του λογισμικού αποτελείται από τρεις βασικές μονάδες όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 4.17. Οι μονάδες είναι οι εξής:

- ▲ Η μονάδα διαχείρισης χρηστών, που είναι υπεύθυνη για την δημιουργία και τη διαχείριση λογαριασμών,
- ▲ Η μονάδα διαχείρισης προβλημάτων, που είναι υπεύθυνη για την δημιουργία, αποθήκευση, επεξεργασία και διαμοιρασμό των διαφόρων προβλημάτων,
- ▲ Η μονάδα παρουσίασης των αποτελεσμάτων (οπτικοποίησης), που εμφανίζει τα αποτελέσματα σε γραφικές παραστάσεις για τις διάφορες λύσεις και συγκρίσεις για τις λύσεις αυτές του εκάστοτε προβλήματος.



Σχήμα 4.17. Διάγραμμα ροής λειτουργίας λογισμικού OMIMS (Papastamatiou et al., 2014a)

### I. Μονάδα Διαχείρισης Χρηστών

Για την πρόσβαση στο λογισμικό OMIMS, η εγγραφή του χρήστη είναι υποχρεωτική. Ο χρήστης αφού εισάγει την διεύθυνση του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (mail), το επιθυμητό όνομα χρήστη (user name) και τον κωδικό (password) είναι σε θέση να δημιουργήσει νέα προβλήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κωδικός πρόσβασης που επιλέγει ο χρήστης, κατακερματίζεται χρησιμοποιώντας την παραλλαγή sha256 του αλγόριθμου sha2. Αφού δημιουργηθεί ο λογαριασμός, ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί στο σύστημα, χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και τον κωδικό πρόσβασης. Ένας χρήστης που έχει συνδεθεί, έχει πρόσβαση σε όλες τις σελίδες του εργαλείου. Στη σελίδα "Επιλογές λογαριασμού", ο χρήστης μπορεί να δει λεπτομέρειες σχετικά με το λογαριασμό του και να προβεί σε ενέργειες όπως επαναφορά του κωδικού πρόσβασης. Μετά την είσοδο στο λογισμικό, ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στην σελίδα των προβλημάτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.18.

Welcome back, ipapastamatiou.

**Sharing offers**

From user	Problem name	Created on	Rights	Action
h.dukas	General Strategy (2)	2014-02-25 15:02:51	View, edit, delete, share	Accept Decline
h.dukas	Related Infrastructures-Energy and ICT (2)	2014-02-25 15:03:25	View, edit, delete.	Accept Decline

**Your problems**

Below you can see a list of all the problems that you have created in the past. For any of this problems, you can view the results, edit or delete the problem.

Energy Profile

Created: 1 hours ago  
3 different solutions  
7 problem variables

Total Problem

Created: 1 hours ago  
3 different solutions  
19 problem variables

**Problems shared with you**

Here you can view all the problems that are shared with you by other users. According to your rights, you may view, edit, delete or share those problems.

General Strategy

Owner: h.dukas  
Created: 1 hours ago  
3 different solutions  
9 problem variables

Related Infrastructures-  
Energy and ICT

Owner: h.dukas  
Created: 1 hours ago  
3 different solutions  
3 problem variables

**Step 1 - Describe your problem**

To begin with, please give a name for your problem:

**Decision Variables**

Please give the linguistic scale (BLTS) in which you want this problem to be solved:  
For example: give "VLL,M,HVH" for a scale with 5 possible values from VL (Very Low) to VH (Very High)

Now, specify all the decision variables of your problem. Each variable can have a name and a type (Numerical, Linguistic or Range).

C1 name:  Type:

C2 name:  Type:

C3 name:  Type:

C4 name:  Type:

C5 name:  Type:

C6 name:  Type:

C7 name:  Type:  Linguistic scale:

**Solutions**

Also, please specify all the possible solutions to your problem.

A1 name:

A2 name:

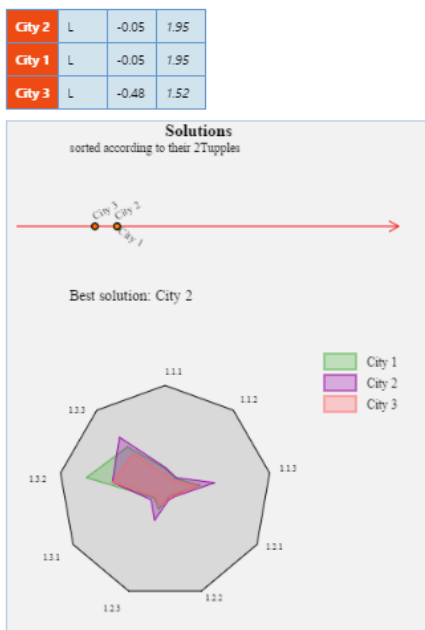
A3 name:

Next

**Σχήμα 4.18. Screenshots από την σελίδα «Προβλημάτων» του OMIMS. Αριστερά διακρίνεται η επιλογή διαμοιρασμού των προβλημάτων με άλλους χρήστες, ενώ δεξιά η διαδικασία δημιουργίας νέου προβλήματος—Papastamatiou et al., 2014<sup>a</sup>**

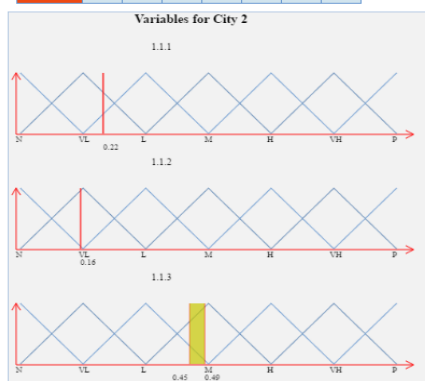
## II. Μονάδα Διαχείρισης Προβλημάτων

Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει τις πιο σημαντικές λειτουργίες του λογισμικού, όπως την δημιουργία, την επεξεργασία και τον διαμοιρασμό των προβλημάτων. Στη μονάδα διαχείρισης προβλημάτων, ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί όλα τα προβλήματα που έχει δημιουργήσει και να δει αυτά που του έχουν κοινοποιήσει άλλοι χρήστες της πλατφόρμας. Για την δημιουργία του προβλήματος υπάρχει μια διαδικασία που αποτελείται από τρία (3) στάδια όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.19. Το πρώτο βήμα είναι ο ορισμός των μεταβλητών και των διαφόρων λύσεων του προβλήματος. Στην αρχή, ο χρήστης αφού δώσει ένα όνομα στο πρόβλημα, ορίζει τη γλωσσική κλίμακα. Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των γλωσσικών όρων που μπορούν να καθοριστούν. Στη συνέχεια, ορίζονται οι μεταβλητές του προβλήματος. Σε κάθε μεταβλητή μπορεί να οριστεί το όνομα, ο τύπος και, προαιρετικά, το γλωσσικό σύνολο. Υπάρχουν τρεις τύποι που υποστηρίζονται από το σύστημα: Αριθμητικές τιμές, γλωσσικές μεταβλητές και διαστήματα τιμών. Μια αριθμητική τιμή μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή στην περιοχή  $[0, 1]$ . Μια γλωσσική μεταβλητή μετά τη δήλωση της κλίμακας μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή από την κλίμακα αυτή, ενώ ένα διάστημα τιμών ορίζεται από το κατώτερο και το ανώτερο όριο, όπου τα δύο αυτά όρια είναι επίσης αριθμητικές τιμές στην κλίμακα  $[0,1]$ . Στο δεύτερο βήμα, ο χρήστης ορίζει τις τιμές όλων των μεταβλητών για κάθε μια από τις καθορισμένες λύσεις αυτού του προβλήματος. Η εισαγωγή των δεδομένων, τόσο στο 1<sup>ο</sup> όσο και στο 2<sup>ο</sup> βήμα, ελέγχεται αυτόματα από το σύστημα. Στο τρίτο βήμα, δημιουργούνται τα 2-Tuples για το εκάστοτε πρόβλημα και υλοποιείται επιτυχώς η εφαρμογή των βημάτων της μεθοδολογίας του Herrera et.al. Οι διάφορες δράσεις έχουν πολυπλοκότητα της κλίμακας  $O(n*m)$ , όπου  $n$  είναι ο αριθμός των λύσεων και  $m$  είναι ο αριθμός των διαφορετικών μεταβλητών του προβλήματος. Η δημιουργία των 2-Tuples, η



Σχήμα 4.19. Screenshot από το λογισμικό OMIMS - Παρουσίαση αποτελεσμάτων του προβλήματος - Papastamatiou et al., 2014a

1.1.1	0	0.68	0.32	0	0	0	0
1.1.2	0.04	0.96	0	0	0	0	0
1.1.3	0	0	0.3	0.94	0	0	0
1.2.1	0.46	0.54	0	0	0	0	0
1.2.2	0.52	0.48	0	0	0	0	0
1.2.3	0	0.32	0.68	0	0	0	0
1.3.1	0.22	0.96	0	0	0	0	0
1.3.2	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0
1.3.3	0	0	0	0.1	1	0.08	0
Aggregate	0.14	0.46	0.21	0.23	0.18	0.03	0



Σχήμα 4.20. Screenshot από το λογισμικό OMIMS - Παρουσίαση αποτελεσμάτων της μετατροπής ετερογενών πληροφοριών - Papastamatiou et al., 2014a

τρόπο, ώστε ο χρήστης να μπορεί εύκολα να διακρίνει την καλύτερη λύση και σε ποια μεταβλητή οι λύσεις αποδίδουν καλύτερα ή χειρότερα από άλλες. Αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 4.20. Ακόμη, οι διαφορετικές λύσεις κατατάσσονται σε μία κλίμακα που απεικονίζει γραφικά τις αποστάσεις μεταξύ των τιμών των λύσεων.

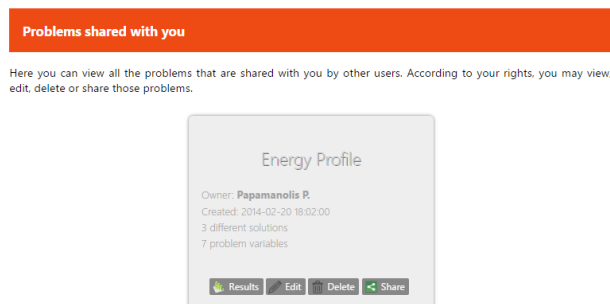
αξιολόγησή τους και η διαλογή των διαφορετικών λύσεων κάθε προβλήματος εκτελούνται από την πλευρά του χρήστη, χρησιμοποιώντας JavaScript, ενώ η δημιουργία του κώδικα συμβαίνει στην πλευρά του διακομιστή.

### III. Μονάδα Οπτικοποίησης - παρουσίασης των αποτελεσμάτων

Η Μονάδα Οπτικοποίησης, είναι υπεύθυνη για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και την αξιολόγηση των διαφορετικών λύσεων. Για την υλοποίηση της μονάδας αυτής, έχει αναπτυχθεί κώδικας σε JavaScript, ώστε να παρουσιάζονται γρήγορα και με κατανοητό τρόπο προς τον χρήστη, όλα τα ασαφή σύνολα για κάθε μια από τις μεταβλητές, καθώς και οι τιμές των 2-Tuple του μοντέλου διπλής αναπαράστασης για την κάθε λύση. Κάθε ασαφή σύνολο, και κάθε λύση ο χρήστης μπορεί να δει γραφικά τη μετατροπή των αριθμητικών τιμών, των γλωσσικών τιμών και των τιμών διαστήματος στην τελική γλωσσική κλίμακα που έχει επιλεγεί, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.19.

Επίσης, οι τιμές των 2-Tuples του μοντέλου της διπλής αναπαράστασης, απεικονίζονται με μια πρωτότυπη μέθοδο ως πολύγωνα, όπου κάθε μία από τις άκρες των πολυγώνων αντιπροσωπεύει την τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής στην λύση. Το συνολικό εμβαδόν του πολυγώνου είναι ανάλογο προς την τιμή αυτή. Τα διάφορα πολύγωνα τοποθετούνται μεταξύ τους με τέτοιο





**Σχήμα 4.21. Screenshot από το λογισμικό OMIMS - Παρουσίαση αποτελεσμάτων του προβλήματος - Papastamatiou et al., 2014a**

Μια σημαντική λειτουργία του λογισμικού είναι ότι διαθέτει δυνατότητα ανταλλαγής προβλημάτων μεταξύ των χρηστών του OMIMS. Στο Σχήμα 4.21 απεικονίζεται ο τρόπος που εμφανίζεται το πρόβλημα που έχει κοινοποιηθεί.

Η επιλογή των δικαιωμάτων που είναι διαθέσιμα είναι η προβολή και η επεξεργασία των προβλημάτων. Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης μπορεί να δει το πρόβλημα άλλου χρήστη ή και να το επεξεργαστεί, φυσικά ύστερα από παραχώρηση του βασικού διαχειριστή.

Το σύστημα στο σύνολό του προσφέρει στους χρήστες όλα τα απαιτούμενα εργαλεία και μεθόδους για την αντιμετώπιση διαφορετικών προβλημάτων, εφαρμόζοντας τη μέθοδο 2-Turple για να βρεθεί η βέλτιστη λύση για προβλήματα με ετερογενείς πληροφορίες. Η δυνατότητα διαμοιρασμού και κοινής επεξεργασίας των προβλημάτων σημαίνει ότι μπορούν διαφορετικοί χρήστες ή και ομάδες να συνεργαστούν για να την επεξεργαστεί και την λύση των προβλημάτων. Παράλληλα, η γραφική απεικόνιση των λύσεων βοηθά στη ταχύτερη λήψη αποφάσεων.

Η ομογενοποίηση των ετερογενών δεδομένων βασίζεται στην μεθοδολογία του Herrera et al. (2005). Σε ό,τι αφορά την αλγοριθμική διαδικασία που ακολουθείται στο OMIMS περιγράφεται στην επόμενη ενότητα που παρουσιάζεται το e-SCEAF, καθώς ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία.

### **E-SCEAF: SMART CITY ENERGY ASSESSMENT FRAMEWORK**

Το e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) είναι το διαδικτυακό εργαλείο που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (SCEAF) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων.

Το e-SCEAF αποτελεί μια ειδικά διαμορφωμένη έκδοση του OMIMS (Online Multidisciplinary Information Management Software – <http://omims.ipapastamatiou.gr>) (Papastamatiou, 2014a). Παρέχει κατάλληλα προσαρμοσμένους αλγόριθμους που εστιάζουν στην εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου SCEAF και στη διευκόλυνση των τοπικών αρχών για την αξιολόγηση των πόλεών τους.

Στο e-SCEAF χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι του OMIMS για την ομογενοποίηση των αριθμητικών τιμών και των γλωσσικών όρων. Γι' αυτό το λόγο και η παρουσίαση της αλγοριθμικής διαδικασίας για την

μετατροπή των ετερογενών πληροφοριών είναι κοινή και για τα δυο εργαλεία και περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

*Υλοποίηση  
μοντέλου  
γλωσσικής  
αναπαράστα-  
σης «2-tuple»  
από το e-  
SCEAF*

Το εργαλείο συλλέγει δεδομένα που σχετίζονται με τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης, τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και την εξοικονόμηση κεφαλαίων και τα αναλύει προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση της πόλης σε τρεις βασικούς άξονες, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλές ετερογενείς μεταβλητές και χαρακτηριστικά. Η αξιολόγηση βασίζεται στους δείκτες του SCEAF όπως παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Συνοπτικά οι πυλώνες του SCEAF είναι οι εξής:

1. Ο πυλώνας **«Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας»** αξιολογεί τον βαθμό φιλοδοξίας που έχει η πόλη σε ό,τι αφορά την ενέργεια της στρατηγική, τους περιβαλλοντικούς στόχους που έχει θέσει και την αποτελεσματικότητα στην εκπλήρωση της στρατηγικής και των στόχων της. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι η πόλη θα αξιολογηθεί όχι μόνο ως προς τους στόχους που έχει θέσει, αλλά και ως προς την πρόοδο επίτευξή τους. Τέλος, λαμβάνονται υπόψη οι πόροι που διατίθενται για ΑΠΕ.
2. Ο πυλώνας **«Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ»** αξιολογεί την ενεργειακή αποδοτικότητα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση των ΑΠΕ, των εργοστάσια ΣΗΘ, την αποθήκευση ενέργειας, τα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub> και το ενεργειακό μείγμα. Επίσης, η πόλη αξιολογείται και σύμφωνα με τα επίπεδα των ενεργειακών καταναλώσεων και των εκπομπών CO<sub>2</sub>.
3. Ο πυλώνας **«Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ»** αξιολογεί το επίπεδο διείσδυσης των λύσεων ΤΠΕ, των συστημάτων αυτοματισμών και των συστημάτων παρακολούθησης και πρόληψης στα κτίρια του δήμου. Επίσης εξετάζεται η εκμετάλλευση των καιρικών συνθηκών και η πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης και η χρήση των μέσων μαζικής ενημέρωσης στην ανάπτυξη των σχεδίων δράσης και η μείωση του κόστους λόγω καλύτερης διαχείρισης (π.χ. μέσω της επίτευξης χαμηλότερων τιμών ενέργειας και της εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών παροχών ενέργειας).

Για την εφαρμογή του e-SCEAF, και κατ' επέκταση του OMIMS, επιλέχθηκε το πολυκριτηριακό μοντέλο 2-Tuple. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από ένα γλωσσικό όρο και μια αριθμητική τιμή [-0.5, 0.5] όπως ορίζεται από τους Herrera et al. (2000) και συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η προσαρμογή σε ενεργειακά προβλήματα του Doukas et al. (2013). Οι αλγόριθμοι των εργαλείων e-SCEAF και OMIMS διαχειρίζονται τα μη-ομογενή δεδομένα χρησιμοποιώντας τις τρεις φάσεις της μεθοδολογίας του Herrera et al. (2005):

- ▲ Ομογενοποίηση των πληροφοριών (Unification of the information)
- ▲ Συνάθροιση των τιμών προτίμησης (Aggregation of the preferred values)
- ▲ Μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple»

Το μοντέλο έχει περιγράψει αναλυτικά στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο στην Ενότητα 3.4.2 «Γλωσσική Ανάλυση». Στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος που το λογισμικά OMIMS (Papastamatiou et al., 2014a) e-SCEAF

(Papastamatiou et al., 2016) υλοποιεί το μοντέλο αυτό.

Το μοντέλο αναπαριστά τη γλωσσική πληροφορία με ένα γλωσσικό «2-tuple» που αποτελείται από ένα ζεύγος τιμών, δηλαδή ορίζεται ως:

$(s_i, a) \in S \times [-0.5, 0.5)$  όπου  $(s_i, a) \in S$  είναι γλωσσικός όρος και το  $(s_i, a) \in [-0.5, 0.5)$  είναι μια αριθμητική τιμή που αναπαριστά τη συμβολική μετάφραση.

Το μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple», χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα λήψης αποφάσεων (Li et al., 2010; Espinilla et al., 2012; Papastamatiou et al., 2015, 2016).

Αυτό το μοντέλο ορίζει ένα σύνολο συναρτήσεων μετασχηματισμού μεταξύ γλωσσικών όρων και γλωσσικών «2-tuple» τιμών, καθώς επίσης και μεταξύ αριθμητικών τιμών και γλωσσικών «2-tuple» τιμών. Έστω  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  το σύνολο των γλωσσικών όρων και  $\beta \in [0, g]$  μια τιμή που αναπαριστά το αποτέλεσμα μιας συμβολικής λειτουργίας συνάθροισης. Η γλωσσική τιμή «2-tuple» εκφράζει την ισοδύναμη πληροφορία του  $\beta$ , το οποίο προκύπτει από την ακόλουθη διαδικασία:

$$\Delta : [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5)$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, a), \quad \text{με} \quad \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ a = \beta - i, & a \in [-0.5, 0.5) \end{cases}$$

όπου  $\text{round}(\ )$  είναι η συνηθισμένη στρογγυλοποίηση,  $s_i$  έχει την κοντινότερη ετικέτα δείκτη στο  $\beta$  και το  $a$  είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.

Η σύγκριση της γλωσσικής πληροφορίας που αναπαρίσταται από τις γλωσσικές 2-tuple τιμές γίνεται σύμφωνα με ένα κοινό λεξικογραφικό όρο. Έστω  $(s_k, a_1)$  και  $(s_l, a_2)$  δύο γλωσσικές τιμές «2-tuple». Η σύγκριση πραγματοποιείται ως ακολούθως:

- ▲ Αν  $k < l$  τότε  $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$
- ▲ Αν  $k = l$  τότε τρεις περιπτώσεις υπάρχουν:
  1. Αν  $a_1 = a_2$  τότε  $(s_k, a_1)$  και  $(s_l, a_2)$  αναπαριστούν την ίδια πληροφορία
  2. Αν  $a_1 < a_2$  τότε  $(s_k, a_1)$  είναι μικρότερο από  $(s_l, a_2)$
  3. Αν  $a_1 > a_2$  τότε  $(s_k, a_1)$  είναι μεγαλύτερο από  $(s_l, a_2)$

**Ομογενο-  
ποίηση  
πληροφοριών**

Η πρώτη φάση της μεθοδολογίας των Herrera et al. (2005) είναι η «Ομογενοποίηση των πληροφοριών σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS – Basic Linguistic Term Set)».

Συγκεκριμένα, η φάση της ενοποίησης αποτελείται από δύο διεργασίες:

1. Οι ετερογενείς πληροφορίες: αριθμητικές τιμές, διαστήματα τιμών και γλωσσικοί όροι, ενοποιούνται σε μία ενιαία γλωσσική περιοχή που ονομάζεται Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων (BLTS - Basic Linguistic Term Set).

2. Αφού επιλεγθεί το Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων, έστω  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ , οι μη ομογενείς πληροφορίες ομογενοποιούνται μέσω συναρτήσεων μετασχηματισμού ανάλογα με το είδος της πληροφορίας.

Κάθε αριθμητική τιμή, διάστημα τιμών και γλωσσικός όρος εκφράζονται σε ένα Σύνολο Βασικών Γλωσσικών Όρων BLTS, το  $F(S_T)$ . Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- ▲ Μετατροπή αριθμητικών τιμών (numerical values)  $[0, 1]$  σε  $F(S_T)$ .
- ▲ Μετατροπή γλωσσικών όρων (linguistic terms) σε  $F(S_T)$ .
- ▲ Μετατροπή των διαστημάτων τιμών (interval values) σε  $F(S_T)$ .

Στη συνέχεια περιγράφεται ο διαφορετικός τρόπος μετατροπής ανάλογα με το είδος της πληροφορίας σε ένα ενιαίο BLTS.

### ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΕ $F(S_T)$

Μια αριθμητική τιμή  $\theta \in [0, 1]$  μετασχηματίζεται σε ένα ασαφές σύνολο  $F(S_T)$  υπολογίζοντας την τιμή συμμετοχής του  $\theta$  στον ασαφή αριθμό που σχετίζεται με τους γλωσσικούς όρους του  $S_T$ .

Έστω  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  είναι ένα BLTS, τότε η συνάρτηση  $\tau_{NS_T}$  μετασχηματίζει μια τιμή  $\theta \in [0, 1]$  σε ένα ασαφές σύνολο  $S_T$ :

$$\tau_{NS_T} : [0, 1] \rightarrow F(S_T)$$

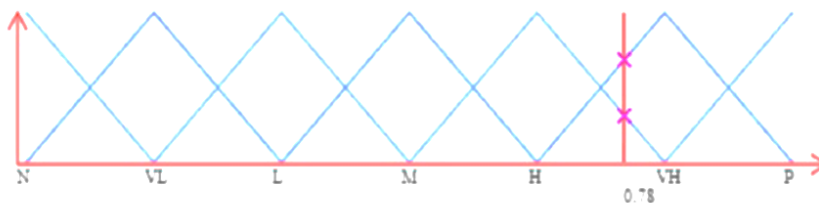
$$\tau_{NS_T}(\theta) = \sum_{i=0}^g s_i / \gamma_i$$

$$\gamma_i = \mu_{s_i}(\theta) = \begin{cases} 0, & \text{αν } \theta \text{ δεν ανήκει } (\mu_{s_i}(x)) \\ \frac{\theta - \alpha_i}{b_i - \alpha_i}, & \text{αν } \alpha_i \leq \theta \leq b_i \\ 1, & \text{αν } b_i \leq \theta \leq d_i \\ \frac{c_i - \theta}{c_i - d_i}, & \text{αν } d_i \leq \theta \leq c_i \end{cases}$$

Θεωρείται ότι η συνάρτηση συσχέτισης  $\mu_{s_i}(\cdot)$ , για τις γλωσσικές ετικέτες,  $s_i \in S_T$ , αναπαρίσταται από μια παραμετρική συνάρτηση  $(\alpha_i, b_i, d_i, c_i)$ . Μια ειδική περίπτωση είναι όταν οι γλωσσικές εκτιμήσεις έχουν τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής, δηλαδή  $b_i = d_i$ .

**Υλοποίηση OMIMS/e-SCEAF.** Για την εκτέλεση του συγκεκριμένου μετασχηματισμού, έχει αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος που υπολογίζει το αποτέλεσμα μέσω γεωμετρικής προσέγγισης. Συγκεκριμένα, λαμβάνει υπόψη το γράφημα του επιλεγμένου BLTS και τους τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς. Η τιμή κάθε πραγματικού αριθμού  $\gamma_i$  για κάθε όρο του ασαφούς συνόλου προκύπτει από το σημείο τομής της ευθείας  $x=\theta$  και της ακμής κάθε τριγώνου που καθορίζεται από τους παραπάνω

τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.22 όπως παρουσιάζεται στα λογισμικά OMIMS και e-SCEAF.



Σχήμα 4.22. Μετασχηματίζοντας μια αριθμητική τιμή σε ασαφές σύνολο σε  $F(S_T)$  - Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2016)

## ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΌΡΩΝ ΣΕ $F(S_T)$

Αν  $S_i = s_0^i, \dots, s_{g_i}^i$  και  $S_T = s_0^T, \dots, s_{g_T}^T$ , δυο σύνολα γλωσσικών όρων τέτοια ώστε  $g_T \geq g_i$ , τότε ο γλωσσικός μετασχηματισμός  $\tau_{S_i S_T}$  ορίζεται ως εξής:

$$\tau_{S_i S_T} : S_i \rightarrow F(S_T)$$

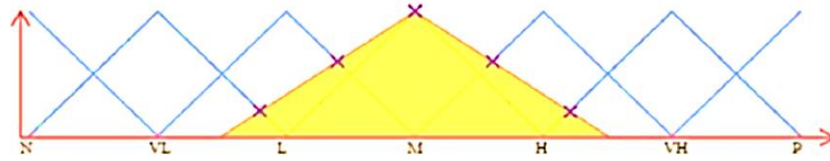
$$\tau_{S_i S_T}(s_j^i) = \sum_{k=0}^{g_T} S_k^T / \gamma_k^j$$

$$\gamma_i = \mu_{s_i}(\theta) = \max_y \min \{ \mu_{s_j^i}(y), \mu_{s_k^T}(y) \}$$

όπου  $F(S_T)$  είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων που ορίζονται στο  $S_T$  και  $\mu_{s_j^i}(y)$  και  $\mu_{s_k^T}(y)$  είναι οι συναρτήσεις συσχέτισης που σχετίζονται με τους όρους  $s_j^i$  και  $s_k^T$ , αντίστοιχα.

Έτσι, το αποτέλεσμα  $\tau_{S_i S_T}$  για κάθε γλωσσική τιμή του S είναι ένα ασαφές σύνολο ορισμένο στο BLTS σε  $F(S_T)$ .

**Υλοποίηση OMIMS/e-SCEAF.** Σε ότι αφορά την εκτέλεση του αλγορίθμου, για κάθε γλωσσική μεταβλητή, το πρόγραμμα δέχεται δυο εισόδους. Η πρώτη είσοδος είναι ένας όρος  $g_T$  ασαφούς συνόλου (όπου  $g_T \geq g_i$ ) και η δεύτερη είσοδος είναι μια γλωσσική τιμή της μεταβλητής που ανήκει στο δηλωμένο σύνολο. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παραπάνω ανάλυση είναι παρόμοια με αυτή των αριθμητικών τιμών. Πιο συγκεκριμένα, αντί να αναζητηθούν τα σημεία τομής μιας ευθείας γραμμής με τις ακμές του κάθε τριγώνου, το λογισμικό αναζητάει τα σημεία τομής του επιλεγμένου τριγώνου, του όρου  $g_T$  του ασαφούς συνόλου και των ακμών κάθε τριγώνου του όρου  $g_i$  του BLTS. Αυτό γίνεται εξισώνοντας την αύξουσα ακμή του παλιού τριγώνου με την αύξουσα και τη φθίνουσα ακμή κάθε καινούριου τριγώνου, και το ίδιο και για τη φθίνουσα ακμή του παλιού τριγώνου. Για κάθε τρίγωνο τα κοινά σημεία μπορούν να ποικίλουν από 0 έως 2. Στην τελευταία περίπτωση που υπάρχουν 2 κοινά σημεία, το λογισμικό κρατάει στο ασαφές σύνολο το μέγιστο των υπολογισμένων τιμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.23.



Σχήμα 4.23. Μετασχηματίζοντας μια γλωσσική τιμή σε ασαφές σύνολο σε  $F(S_T)$   
Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2016)

### ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΕ $F(S_T)$

Αν  $I \in [a, b]$  ένα διάστημα τιμών και  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  ένα σύνολο γλωσσικών όρων, τότε ο γλωσσικός μετασχηματισμός  $\tau_{IS_T}$  ορίζεται ως ακολούθως:

$$\tau_{S_i S_T} : S_i \rightarrow F(S_T)$$

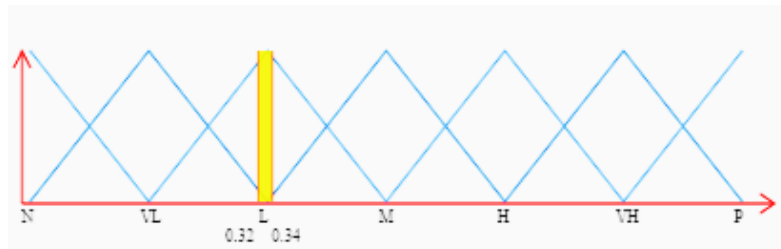
$$\mu_I(\theta) = \begin{cases} 0, & \text{αν } \theta < a \\ 1, & \text{αν } a \leq \theta \leq b \\ 0, & \text{αν } b \leq \theta \leq \end{cases}$$

$$\tau_{IS_T}(I) = \{(s_k, \gamma_k^i) / k \in \{0, \dots, g\}\}$$

$$\gamma_k^i = \max_y \min\{\mu_I(y), \mu_{s_k}(y)\}$$

ου  $F(S_T)$  είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων που ορίζονται στο  $S_T$  και  $\mu_I(y)$  και  $\mu_{s_k}(y)$  είναι οι συναρτήσεις συσχέτισης που σχετίζονται με το διάστημα τιμών  $I$  και τους όρους  $s_k$  αντίστοιχα.

**Υλοποίηση OMIMS.** Τέλος, σε ότι αφορά τα διαστήματα τιμών (μόνο στην περίπτωση του OMIMS και όχι στου e-SCEAF), ο αλγόριθμος εντοπίζει τα σημεία τομής των δύο ευθειών με κάθε τρίγωνο του BLTS με παρόμοιο τρόπο όπως στις αριθμητικές τιμές. Το λογισμικό ελέγχει σε περίπτωση που οι τιμές του διαστήματος περιέχουν ένα ολόκληρο τρίγωνο του BLTS. Σε αυτή την περίπτωση, το τρίγωνο δεν θα έχει κοινά σημεία με τις δύο ευθείες και η τιμή του συγκεκριμένου όρου του ασαφούς συνόλου θα είναι 1, ενώ σε αντίθετη περίπτωση, όπου τα σημεία βάσης του τριγώνου θα είναι εκτός των τιμών του διαστήματος, η τιμή θα είναι 0. Αυτό εντοπίζεται εύκολα από τον αλγόριθμο καθώς συγκρίνει τα δύο σημεία βάσης του τριγώνου με τις τιμές διαστήματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.24.



Σχήμα 4.24. Μετασχηματίζοντας μια γλωσσική τιμή σε ασαφές σύνολο σε  $F(S_T)$   
Screenshot από το λογισμικό OMIMS (Papastamatiou et al., 2014a)

Συνά-  
θροιση τιμών  
προτίμησης

Έχοντας ολοκληρωθεί η πρώτη φάση της μεθοδολογίας των Herrera et al. (2005) με την ομογενοποίηση των πληροφοριών σε μια περιοχή

έκφρασης, σε ένα κοινό BLTS, ακολουθεί η δεύτερη φάση της μεθοδολογίας: η «Συνάθροιση των τιμών προτίμησης».

Ας θεωρήσουμε ένα ασαφές σύνολο:  $F_{S_T} = \{(s_0, \gamma_0), (s_1, \gamma_1), \dots, (s_g, \gamma_g)\}$ ,  $s_i \in S_T$  και  $\gamma_i \in [0, 1]$ , η διεργασία της συνάθροισης είναι η ακόλουθη:

$$F_{Agg} = \left\{ \left( s_0, \frac{x_0 + y_0 + \dots + z_0}{n} \right), \left( s_1, \frac{x_1 + y_1 + \dots + z_1}{n} \right), \dots, \left( s_g, \frac{x_g + y_g + \dots + z_g}{n} \right) \right\}$$

Ο υπολογισμός προκύπτει με τη χρήση του αριθμητικού μέσου και τα λογισμικά e-SCEAF και OMIMS ακολουθούν την ίδια λογαριθμική διαδικασία.

*Μετα-  
σηματισμός  
των  
αποτελεσμά-  
των σε  
«2-Tuple»*

Έχοντας ολοκληρωθεί η δεύτερη φάση της μεθοδολογίας των Herrera et al. (2005) με τη συνάθροιση των τιμών προτίμησης ακολουθεί η τρίτη και τελευταία φάση της μεθοδολογίας ο «Μετασηματισμός των αποτελεσμάτων στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας «2-Tuple».

Μία συνάρτηση  $\chi$  μετασηματίζει ένα ασαφές σύνολο σε αριθμητική τιμή στο διάστημα διακριτότητας του  $S_T, [0, g]$ :

$$\chi : F(S_T) \rightarrow [0, g]$$

$$\chi(F(S_T)) = \chi\left(\sum_{j=0}^g s_j/\gamma_j\right) = \Delta\left(\frac{\sum_{j=0}^g j\gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j}\right) = \Delta(\beta) = (s, a)$$

Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνεται μια σχέση συλλογικής προτίμησης, της οποίας οι τιμές εκφράζονται από «2-tuple»:

$$\Delta : [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, a), \quad \mu\epsilon \quad \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0.5, 0.5] \end{cases}$$

Τα λογισμικά e-SCEAF και OMIMS υλοποιούν τη διαδικασία και εμφανίζουν τα αποτελέσματα αυτόματα.

*e-SCEAF: ένα  
εργαλείο  
ενεργειακής  
αξιολόγησης  
Εξυπνων  
Πόλεων*

Αφού είδαμε την λογαριθμική διαδικασία της υλοποίησης της για την ομογενοποίηση των ετερογενών μεταβλητών, η ενότητα που ακολουθεί υπογραμμίζει τις σημαντικές δυνατότητες που έχει το εργαλείο.

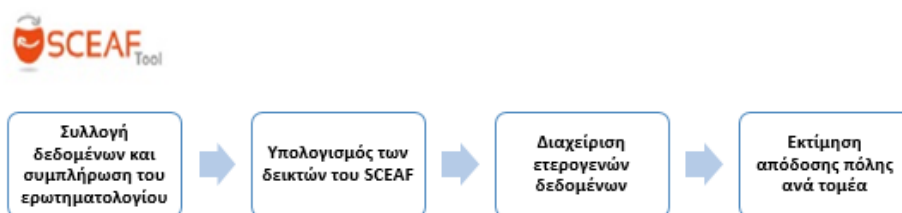
Το e-SCEAF είναι ένα διαδικτυακό λογισμικό που ειδικεύεται στην εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς και την απόδοση μιας πόλης, διευκολύνοντας τον υπολογισμό των δεικτών του SCEAF που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη Ενότητα. Το e-SCEAF, επίσης, αυτοματοποιεί τη διαδικασία αξιολόγησης και ο κύριος στόχος του εργαλείου είναι να βοηθήσει τις τοπικές αρχές των πόλεων να αξιολογήσουν τις πόλεις και να διακρίνουν τους τομείς που χρειάζονται βελτίωση ώστε να γίνουν πιο έξυπνες και ενεργειακά πιο αποδοτικές. Το λογισμικό e-SCEAF αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία

ανοιχτού κώδικα και περιέχει ένα σύνολο δυναμικών ιστοσελίδων, φόρμες, μηχανισμούς απεικόνισης, και MySQL βάση δεδομένων. Οι ιστοσελίδες αναπτύχθηκαν με τη χρήση γλώσσας προγραμματισμού PHP και ενσωματώνουν τη χρήση JavaScript προκειμένου να παρέχουν διαδραστικό περιβάλλον.

Μέσα από μια καινούρια διαδικασία αξιολόγησης τεσσάρων επιπέδων, που φαίνεται στο Σχήμα 4.25, οι τοπικές αρχές έχουν τη δυνατότητα να εκτιμήσουν την ενεργειακή απόδοση με γρήγορο και ακριβή τρόπο.

Η διαδικασία αυτή των τεσσάρων φάσεων έχει τα εξής βήματα:

- 1. Συλλογή δεδομένων και συμπλήρωση του ερωτηματολογίου:** Σε αυτό το στάδιο, ο διαχειριστής συμπληρώνει όλα τα δεδομένα που αφορούν στο ενεργειακό προφίλ όλων των κτιρίων των πόλεων,
- 2. Υπολογισμός των δεικτών του SCEAF:** Από τις καταχωρήσεις του χρήστη υπολογίζονται αυτόματα από το λογισμικό και αποστέλλονται στη βάση δεδομένων οι κατάλληλες έτοιμες ώστε να χρησιμοποιηθούν από τα αρχεία JavaScript στο επόμενο στάδιο,
- 3. Διαχείριση ετερογενών δεδομένων:** Όλα τα ετερογενή δεδομένα που εισήχθησαν, και αποτελούν τους δείκτες του SCEAF, επεξεργάζονται και μετασχηματίζονται στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης 2-tuple (Herrera & Martinez, 2000) από το λογισμικό αυτόματα,
- 4. Εκτίμηση απόδοσης πόλης ανά τομέα:** Στο τελευταίο στάδιο, το λογισμικό παρουσιάζει τα αποτελέσματα με την απόδοση της πόλης μέσα από πίνακες και γραφικές απεικονίσεις που παρουσιάζουν τις τιμές των δεικτών του κάθε άξονα του SCEAF, και με πολύγωνα για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων και την διευκόλυνση του χρήστη.



*Σχήμα 4.25. Διαδικασία αξιολόγησης τεσσάρων επιπέδων του e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2016)*

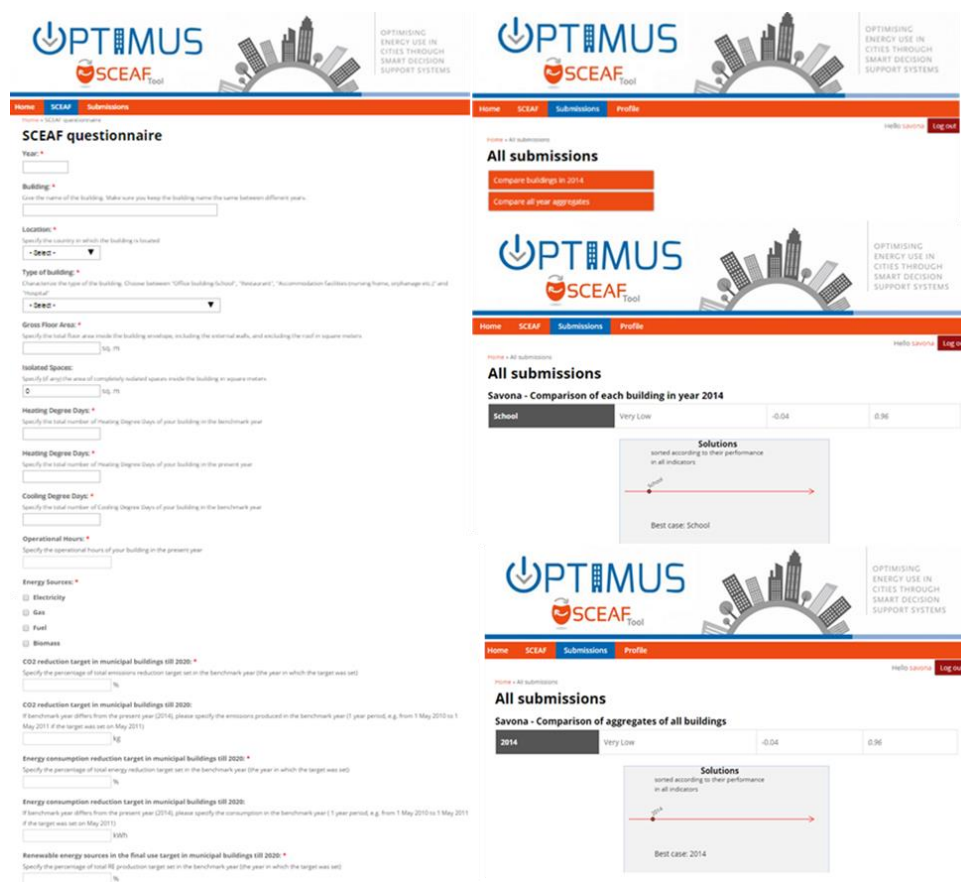
Συγκεκριμένα, το εργαλείο αποτελείται από τρεις κύριες σελίδες όπως περιγράφονται στη συνέχεια (Σχήμα 4.26):

- 1. «Αρχική - Home»:** Στην πρώτη σελίδα του λογισμικού περιέχεται μια μικρή περιγραφή του μεθοδολογικού πλαισίου SCEAF και των στόχων του εργαλείου που έχει αναπτυχθεί προκειμένου να ενημερωθούν οι επισκέπτες της ιστοσελίδας και οι τοπικές αρχές των πόλεων. Στην Αρχική σελίδα του λογισμικού μπορεί να



πραγματοποιηθεί η είσοδος του χρήστη (log in), καθώς και η εγγραφή του στο σύστημα (registration).

2. «SCEAF»: Η δεύτερη σελίδα περιλαμβάνει το ερωτηματολόγιο των 21 δεικτών του μεθοδολογικού πλαισίου SCEAF. Στη σελίδα αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει δεδομένα για όσα δημοτικά κτίρια επιθυμεί, για ένα συγκεκριμένο έτος.
3. «Υποβολές - Submissions»: Στη σελίδα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συγκρίνει τα αποτελέσματα τόσο μεταξύ των κτιρίων για ένα συγκεκριμένο έτος, όσο και για κάθε κτίριο ανά έτος. Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται βάσει των τριών αξόνων του SCEAF.



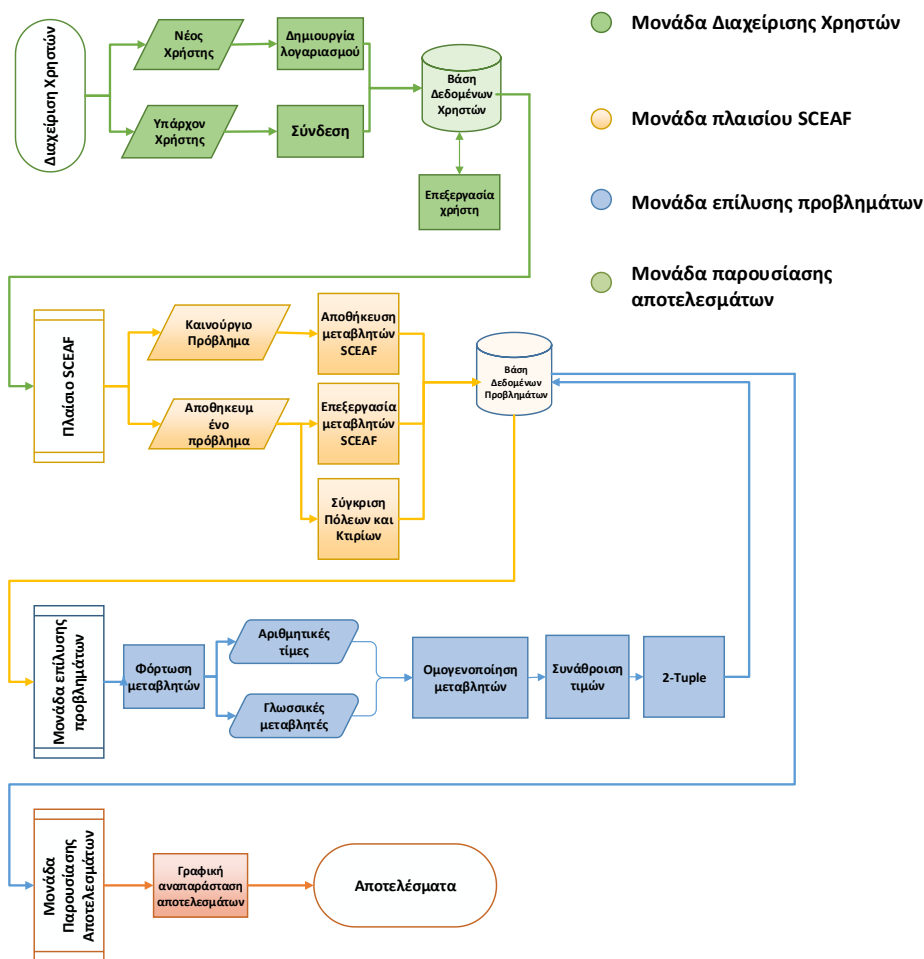
Σχήμα 4.26. Screenshots από το λογισμικό e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2016)

#### Αρχιτεκτονική Συστήματος e-SCEAF

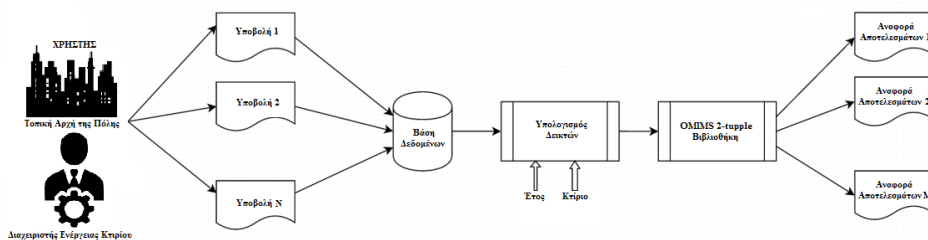
Η αρχιτεκτονική του e-SCEAF αποτελείται από τέσσερις μονάδες:

1. Μονάδα Διαχείρισης Χρηστών,
2. Μονάδα Πλαισίου SCEAF,
3. Μονάδα επίλυσης προβλημάτων,
4. Μονάδα παρουσίασης αποτελεσμάτων.

Οι μονάδες απεικονίζονται στο Σχήμα 4.27, που αποτελεί την αρχιτεκτονική του e-SCEAF και περιγράφονται στη συνέχεια. Στο Σχήμα 4.28 παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής.



Σχήμα 4.27. Αρχιτεκτονική Συστήματος e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2016)



Σχήμα 4.28. Διάγραμμα ροής λογισμικού e-SCEAF (Papastamatiou et al., 2016)

**Μονάδα διαχείρισης χρηστών**

Η μονάδα διαχείρισης χρηστών είναι υπεύθυνη για την δημιουργία νέων λογαριασμών, την αποθήκευση και την διαχείριση των δεδομένων των χρηστών, καθώς και για την σύνδεση τους στο λογισμικό. Για την υλοποίηση αυτής της μονάδας χρησιμοποιήθηκε το Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (ΣΔΠ, Content Management Systems, CMS) Drupal (Mercer, 2006). Το Drupal βασίζεται σε PHP, αναπτύχθηκε το 2000 και κυκλοφόρησε το 2001 ως ΣΔΠ ανοιχτού κώδικα GNU. Είναι αρθρωτό, εύκολα επεκτάσιμο και με μεγάλες δυνατότητες παραμετροποίησης. Χρησιμοποιώντας το Drupal, λειτουργίες όπως η διαχείριση χρηστών και η διαχείριση περιεχομένου προσφέρονται μέσα από ένα αξιόπιστο σύστημα, με πληθώρα χαρακτηριστικών ασφάλειας, και με την δυνατότητα συνεχών ενημερώσεων από την κοινότητα του

Drupal. Στο λογισμικό του e-SCEAF, το Drupal χρησιμοποιείται για την εγγραφή λογαριασμού και την εξουσιοδότηση χρηστών.

**Μονάδα  
πλαisiού  
SCEAF**

Η μονάδα πλαισίου SCEAF είναι υπεύθυνη για τη συλλογή των δεδομένων, την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, καθώς και για τον υπολογισμό των δεικτών του SCEAF, δηλαδή για την πρώτη και δεύτερη φάση της διαδικασίας αξιολόγησης του e-SCEAF, όπως αναλύθηκε προηγουμένως και απεικονίζεται στο Σχήμα 4.25. Οι χρήστες μετά την επιτυχή σύνδεσή τους καλούνται να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο του SCEAF, παρέχοντας πληροφορίες για τα κτίρια της πόλης τους. Όλα τα κτίρια μιας πόλης συγκεντρώνονται αυτόματα από το λογισμικό, και στη συνέχεια υπολογίζεται και παρουσιάζεται το ενεργειακό προφίλ της πόλης συνολικά.

Ο χρήστης μπορεί να καταχωρίσει δεδομένα για όσα κτίρια επιθυμεί ανά έτος. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, οι δείκτες του SCEAF υπολογίζονται σε ετήσια βάση. Το e-SCEAF συγκρίνει αυτόματα τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης για το κάθε κτίριο ανά έτος. Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολο για τον ενεργειακό διαχειριστή της πόλης, τη συνολική πρόοδο της ενεργειακής απόδοσης τόσο στο επίπεδο πόλης όσο και στο κτιριακό επίπεδο.

Για την υλοποίηση της δεύτερης μονάδας έχει παραμετροποιηθεί κατάλληλα η μονάδα (module) του Drupal “Webform” (Denny, 2012). Παράλληλα με την μονάδα Webform χρησιμοποιείται και κώδικας σε jQuery (Chaffer & Swedberg, 2009), επιτρέποντας δυναμικές αλλαγές στην ιστοσελίδα για την διευκόλυνση των χρηστών και για αυτόματους υπολογισμούς κατά την διάρκεια που ο χρήστης συμπληρώνει το ερωτηματολόγιο και πριν τα δεδομένα σταλούν στην βάση δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία.

Πριν γίνει ανάλυση και παρουσίαση των καταχωρήσεων σε «2-tuple», πρέπει να υπολογιστούν οι τιμές των μεταβλητών από την αντίστοιχη μονάδα υπολογισμών των δεικτών. Η εξαγωγή των τιμών των δεικτών, που βασίζονται στις εισόδους των ερωτήσεων, περιγράφεται από τον Αλγόριθμο 4.1.

**Αλγόριθμος 4.1: Υπολογισμός των τιμών των δεικτών**

```
Require: submission_values; variables;
Ensure: indicator_values;
constants = load_constants
foreach variable in variables
formula = transformations[variable].formula
value = apply(formula,submission_values,constants)
indicator_values[variable] = value
end foreach
```

**Μονάδα  
επίλυσης  
προβλήματος**

Η μονάδα αυτή είναι υπεύθυνη για την διαχείριση των ετερογενών πληροφοριών και υλοποιεί την τρίτη φάση της διαδικασίας αξιολόγησης του e-SCEAF. Σε αυτή τη μονάδα, τα ετερογενή δεδομένα που εισήγαγε ο χρήστης στο προηγούμενο βήμα επεξεργάζονται και μετασχηματίζονται στο μοντέλο διπλής αναπαράστασης 2-tuple (Herrera & Martinez, 2000). Ο μετασχηματισμός των ετερογενών

δεδομένων σε 2-tuple , η αξιολόγησή των λύσεων και η ταξινόμηση τους γίνεται μέσω JavaScript. Χρησιμοποιήθηκε κώδικας JavaScript ώστε η επίλυση των αλγορίθμων να γίνεται στο τερματικό του χρήστη και όχι στον εξυπηρετητή. Επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος ώστε να μπορεί η πλατφόρμα να ανταπεξέρχεται με ευκολία όταν υπάρχουν αρκετοί ταυτόχρονα συνδεδεμένοι χρήστες. Ο εξυπηρετητής παρέχει στα τερματικά των χρηστών όλα τα απαραίτητα δεδομένα και τις μεθόδους που χρειάζονται για την δημιουργία και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων εκφρασμένα στο μοντέλο της γλωσσικής αναπαράστασης 2-tuple. Σε ό,τι αφορά την λογαριθμική επίλυση, όλες οι μεταβλητές εισάγονται ως είσοδοι στο κυρίως πρόβλημα και έπειτα χωρίζονται σε  $N$  διαφορετικά τμήματα, πιθανώς επικαλυπτόμενα, και εισάγονται ως είσοδοι σε διαφορετικά υπο-προβλήματα του βασικού προβλήματος. Με αυτό τον τρόπο, είναι εφικτή η σύγκριση των λύσεων σε διαφορετικές ομάδες μεταβλητών και συνολικά. Η μεθοδολογία αυτή παρουσιάζεται στον Αλγόριθμο 4.2.

**Αλγόριθμος 4.2: Δημιουργία γλωσσικών λύσεων 2-tuple ανά κτίριο ή ανά έτος.**

```
Require: webform; year; user
Ensure: Solutions
submissions = webform.load(form = SCEAF, submitted_by = user)
if (year = 'all')
    submissions = submissions.filter(submission_year = year)
end if
foreach submission in submissions
    ExcelData[N][M] = transform(submissions)
    Indicators = [ ]
    for i = 1 to NumberOfIndicators
        Indicators[i] = calculate_from(ExcelData,i)
    if (year!='all')
        Solutions[submission.building] = Indicators
    else
        Solutions[year]+= Indicators
    end if
end foreach
```

**Μονάδα  
παρουσίασης  
αποτελεσμάτων**

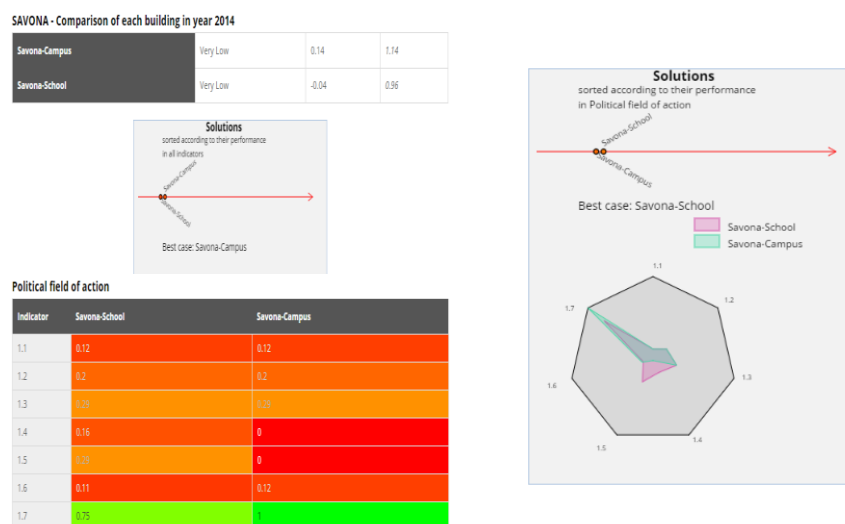
Η Μονάδα παρουσίασης των αποτελεσμάτων είναι υπεύθυνη για την αξιολόγηση και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του προβλήματος. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην σελίδα «Submissions».

Τα αποτελέσματα εκφράζονται στο μοντέλο της γλωσσικής αναπαράστασης 2-tuple και υπάρχουν τρεις τρόποι απεικόνισης τους:

- 1. Μέσω των πινάκων**, που περιέχουν τόσο τα τελικά αποτελέσματα, όσο και τα επιμέρους αποτελέσματα των δεικτών, εκφρασμένα σε 2-tuple. Επίσης, τα αποτελέσματα ανά δείκτη έχουν χρωματική διαβάθμιση ανάλογα με την αποδοτικότητα τους.
- 2. Μέσω του άξονα ταξινόμησης**, όπου τα κτίρια και οι πόλεις ταξινομούνται ανάλογα με την τελική τους απόδοση. Κάτω από τον άξονα αναφέρεται και το αποτέλεσμα της καλύτερης λύσης.
- 3. Μέσω των πολυγώνων**, όπου κάθε ακμή του πολυγώνου αναπαριστά την τιμή του συγκεκριμένου δείκτη του κτιρίου σε έναν άξονα για ένα συγκεκριμένο έτος. Συγκεκριμένα, για τον καινοτόμο τρόπο απεικόνισης των αποτελεσμάτων με πολύγωνα, σε κάθε ακμή

του πολυγώνου αναπαρίσταται η τιμή του συγκεκριμένου δείκτη του κτιρίου για ένα συγκεκριμένο έτος. Το συνολικό εμβαδόν του πολυγώνου είναι ανάλογο της τιμής του κτιρίου για το έτος που γίνεται η αξιολόγηση. Τα διάφορα πολύγωνα τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης να διακρίνει εύκολα σε ποιους δείκτες το κτίριο είναι αποδίδει καλύτερα και ποιους δείκτες πρέπει να βελτιώσει.

Οι τρεις τρόποι απεικόνισης των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.29.



Σχήμα 4.29. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Παρουσίαση αποτελεσμάτων

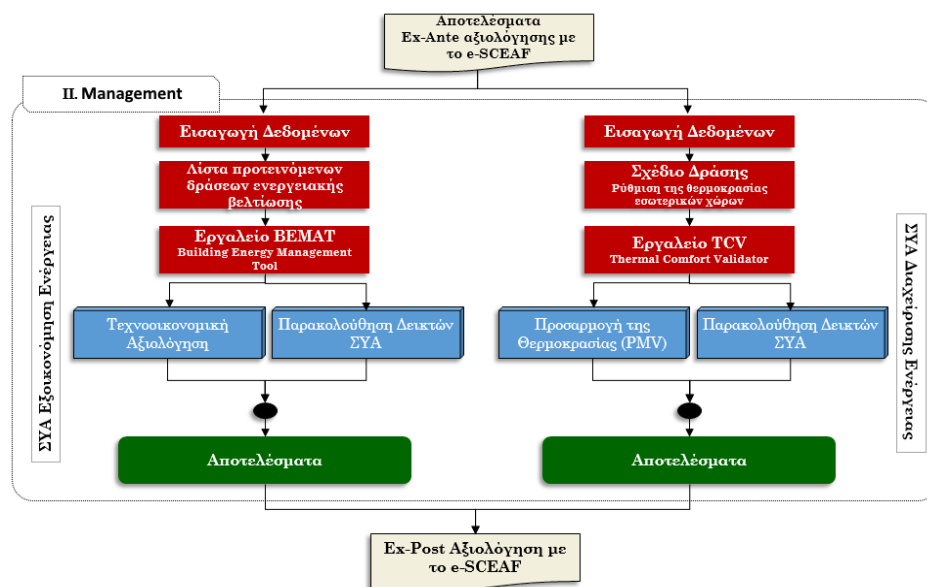
Με αυτούς τους τρόπους απεικόνισης οι διαχειριστές των πόλεων μπορούν με πολύ εύκολο και γρήγορο τρόπο να αξιολογήσουν την απόδοση της πόλης τους σε διάφορους τομείς αλλά και να διαπιστώσουν την πρόοδο μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών δράσεων. Για την υλοποίηση αυτής της μονάδας χρησιμοποιήθηκε, επίσης, κώδικας σε JavaScript (Flanagan, 2002), (Richards et al., 2010). Οι επιμέρους μονάδες και ειδικά η μονάδα πλαισίου του SCEAF αλληλοεπιδρούν με το Webform API (Tomlinson & VanDyk, 2010). Το Webform API επεκτείνει τις λειτουργίες του Drupal API για τον χειρισμό των καταχωρήσεων του ερωτηματολογίου μέσω γλώσσας PHP. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα αποτελέσματα το e-SCEAF χρησιμοποιεί επιταβάθμια κλίμακα με τους εξής γλωσσικούς όρους (και σε παρένθεση το αντίστοιχο διάστημα από 0-1): Αμελητέα-Insignificant (0-0,14), Πολύ Χαμηλή-Very Low (0,14-0,28), Χαμηλή-Low (0,28-0,42), Μέτρια-Medium (0,42-0,56), Υψηλή-High (0,56-0,70), Πολύ Υψηλή- Very High (0,70-0,84), Ιδανική-Optimus (0,84-1).

## IV.4 Συνιστώσα II: «Management»

### IV.4.1 Διαδικασία Προσέγγισης

**Διαδικασία 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας** Αφού οι τοπικές αρχές της πόλης έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσης της πόλης, που επισημαίνονται στο στάδιο της «Αξιολόγησης», συνεχίζουν με το επόμενο στάδιο της «Διαχείρισης» όπου και επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις.

Στο Σχήμα 4.30 απεικονίζεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για την υλοποίηση της 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας: «Διαχείρισης-Management». Η συνιστώσα αυτή περιέχει δύο (2) Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ). Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιέχει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας. Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017 - <http://validator.optimus-smartcity.eu>) και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT) (Papastamatiou et al., 2015 - <http://energymanagement.epu.ntua.gr>).

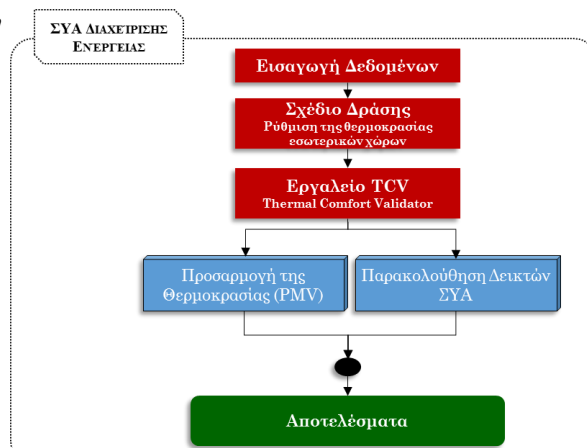


Σχήμα 4.30. Διαδικασία προσέγγισης 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας «Management»

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιμέρους βήματα της προτεινόμενης προσέγγισης.

## IV.4.2 Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης Ενέργειας

Περιγραφή



Σχήμα 4.31. Διαδικασία προσέγγισης ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας

Στο πρώτο μέρος της συνιστώσας αυτής, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του Σχεδίου Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» Marinakis et al., 2017 και το Διαδικτυακό Εργαλείο TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017) όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.31.

### Θερμική Άνεση (Thermal Comfort)

Με τον όρο «Θερμική άνεση» εννοούμε την κατάσταση του νου που εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον και αξιολογείται υποκειμενικά (“ANSI/ASHRAE Standard 55”). Κατά τη σχεδίαση συστημάτων “HVAC” (Συστήματα Θέρμανσης, Εξαερισμού και Κλιματισμού) βασικός στόχος είναι η διατήρηση του προτύπου θερμικής άνεσης για τους ενοίκους. Πέρα από το Πρότυπο “ASHRAE 55” υπάρχουν και άλλα πρότυπα άνεσης όπως το “EN 15251” και το πρότυπο “ISO 7730” (Wikipedia, 2016).

Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση είναι αυτοί που επηρεάζουν την πρόσληψη και την απώλεια θερμότητας. Τέτοιοι παράγοντες είναι ο μεταβολικός ρυθμός, ο ρουχισμός, η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα του αέρα και η σχετική υγρασία. Σε μικρότερο βαθμό επηρεάζουν και άλλες ψυχολογικές παράμετροι, όπως οι ατομικές προσδοκίες.

### Βασικοί Παράγοντες Θερμικής Άνεσης

Η θερμική άνεση επηρεάζεται από έξι βασικούς παράγοντες, που μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

- ▲ τους προσωπικούς παράγοντες, που είναι τα προσωπικά χαρακτηριστικά των ενοίκων και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, που είναι συνθήκες του θερμικού περιβάλλοντος. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν ο μεταβολικός ρυθμός και η ένδυση,
- ▲ ενώ στη δεύτερη η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα του αέρα και η υγρασία.

Παρότι οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να μεταβληθούν με την πάροδο του χρόνου, τα πρότυπα συνήθως αναφέρονται σε μία σταθερή κατάσταση για τη μελέτη της θερμικής άνεσης, επιτρέποντας απλά περιορισμένες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας (Σκονδρογιάννη, 2016).

### Μεταβολικός Ρυθμός (Metabolic Rate)

Κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικό μεταβολικό ρυθμό, που μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας και τις

περιβαλλοντικές συνθήκες. Με βάση το πρότυπο “ASHRAE 55-2010”, ο μεταβολικός ρυθμός είναι το επίπεδο μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο μέσω μεταβολικών δραστηριοτήτων εντός ενός οργανισμού. Μονάδα μέτρησης του μεταβολικού ρυθμού είναι οι “met”. Οι met ορίζονται ως εξής:  $1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2$  ( $18.4 \text{ Btu/h}$ ), και είναι ίση με την ενέργεια που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας (η επιφάνεια του μέσου ανθρώπου είναι  $1,8 \text{ m}^2$  ( $19 \text{ ft}^2$ )) ενός μέσου ατόμου που κάθεται σε ανάπαυση. Το πρότυπο “ASHRAE 55” παρέχει έναν πίνακα τιμών “met” για έναν αριθμό βασικών δραστηριοτήτων. Για μη συνεχόμενες δραστηριότητες, το Πρότυπο τονίζει ότι είναι οι άνθρωποι εκτελούν διαφορετικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια περιόδου μικρότερης ή ίσης της μίας ώρας. Αντίθετα για μεγαλύτερες περιόδους, πρέπει να θεωρηθούν διαφορετικοί μεταβολικοί ρυθμοί. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι άτομα μεγαλύτερης ηλικίας εμφανίζουν συνήθως ηπιότερη δραστηριότητα σε σχέση με τα νεότερα.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον μεταβολικό ρυθμό είναι οι συνήθειες του φαγητού και ποτού, καθώς αυτές επηρεάζουν έμμεσα τις θερμικές προτιμήσεις, καθώς και ο σωματότυπος. Για τον τελευταίο έχει παρατηρηθεί ότι άνθρωποι με λιγότερο στρογγυλό σωματότυπο, όπως ένας ψηλός και αδύνατος άνθρωπος, μπορούν να αντέξουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας προς όγκο που παρουσιάζουν σε σχέση με ένα άτομο με πιο στρογγυλό σωματότυπο.

#### **Θερμοκρασία αέρα (Air Temperature)**

Η θερμοκρασία αέρα δεν είναι τίποτα άλλο από τη μέση θερμοκρασία αέρα που περιβάλλει έναν ένοικο σε συγκεκριμένο χώρο και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με το πρότυπο “ASHRAE 55”, μέσος όρος που αφορά τον χώρο λαμβάνει υπόψη τα επίπεδα του αστράγαλου, της μέσης και του κεφαλιού, που διαφέρουν για καθιστούς και όρθιους ενοίκους. Ο μέσος όρος που αφορά τον χρόνο, βασίζεται σε 30-λεπτα διαστήματα με τουλάχιστον 18 ισοπέχοντα σημεία στο χρόνο.

#### **Ένδυση (Clothing)**

Η ένδυση που φοράει ένα άτομο έχει σημαντική επίδραση στη θερμική άνεση, καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απώλεια θερμότητας και έτσι τη θερμική ισορροπία του ατόμου. Εάν τα ρούχα περιέχουν μονωτικά υλικά, βοηθούν στη διατήρηση της θερμότητας του σώματος. Όσο πιο παχύ είναι ένα ένδυμα, τόσο μεγαλύτερη μονωτική ικανότητα έχει. Η μόνωση ένδυσης μετριέται σε “CLO”. Πιο συγκεκριμένα: 1 CLO είναι ίσο με  $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  ( $0,88 \text{ }^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h/Btu}$ ). Η μόνωση ένδυσης (Icl) μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα για τυπικούς συνδυασμούς ενδυμάτων (οι τιμές είναι για στατική θερμική μόνωση), ή έμμεσα, μέσω άθροισης των επιμέρους τιμών μόνωσης για κάθε ρούχο,  $I_{cl}$ .

#### **Θερμοκρασία λειτουργίας (Operation Temperature)**

Η θερμοκρασία λειτουργίας έχει στόχο να ενσωματώσει τις επιδράσεις των θερμοκρασιών αέρα και της μέσης ακτινοβολίας σε μία μετρική. Συχνά προκύπτει ως ο μέσος όρος της θερμοκρασίας αέρα ξηρού βολβού και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη θέση του δωματίου. Στην περίπτωση δωματίων με χαμηλή θερμική μάζα,



η θερμοκρασία λειτουργίας καταλήγει κάποιες φορές να είναι απλά η θερμοκρασία αέρα.

### **Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature)**

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας έχει να κάνει με την ποσότητα θερμότητας ακτινοβολίας που μεταφέρεται από μία επιφάνεια, και εξαρτάται από την ικανότητα του υλικού να απορροφά ή να εκπέμπει θερμότητα. Εξαρτάται από τις θερμοκρασίες και την ικανότητα των περιβαλλουσών επιφανειών να απορροφούν ή να εκπέμπουν θερμότητα, καθώς επίσης και από το ποσοστό του αντικειμένου που είναι “ορατό”. Έτσι, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας που δέχεται ένας άνθρωπος, ο οποίος βρίσκεται σε ένα χώρο στον οποίο υπάρχει συνεχής ροή της ακτινοβολίας του ηλίου, διαφέρει ανάλογα με το ποσοστό του σώματός του που βρίσκεται εκτεθειμένο στον ήλιο.

### **Σχετική υγρασία (Relative Humidity)**

Η σχετική υγρασία ορίζεται ως η αναλογία των υδρατμών στον αέρα σε σχέση με τους υδρατμούς που θα μπορούσε κανονικά να κρατήσει ο αέρας στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση. Για την ανίχνευση της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιούνται έμμεσοι μηχανισμοί. Για παράδειγμα η εφίδρωση αποτελεί έναν μηχανισμό απώλειας θερμότητας που βασίζεται στην εξάτμιση από το δέρμα. Σε κλιματιζόμενα κτίρια το επίπεδο εσωτερικής υγρασίας που συνιστάται κυμαίνεται μεταξύ 30 και 60%. Ωστόσο τα νέα πρότυπα, όπως το προσαρμοστικό μοντέλο, επιτρέπουν τιμές υγρασίας εκτός του παραπάνω εύρους, σε αναλογία με τους υπόλοιπους παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση.

Ακόμα η αντιληπτή θερμική άνεση επηρεάζεται από την υγρασία του δέρματος σε διαφορετικές περιοχές του σώματος. Η εξωτερική υγρασία μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της υγρασίας του δέρματος σε διαφορετικές περιοχές του σώματος, προκαλώντας έτσι την αντίληψη τοπικής δυσφορίας. Τα τοπικά όρια θερμικής άνεσης διαφέρουν για τις διαφορετικές περιοχές του σώματος. Πιο συγκεκριμένα, τα άκρα είναι περισσότερο ευαίσθητα στη θερμική δυσφορία από υγρότητα σε σχέση με τον κορμό. Παρότι η τοπική θερμική δυσφορία μπορεί να επηρεαστεί από την υγρασία, η θερμική άνεση του σώματος στο σύνολό του, δεν θα επηρεαστεί από την υγρασία ορισμένων περιοχών.

### **Ταχύτητα αέρα (Air Velocity)**

Με τον όρο ταχύτητα αέρα ορίζουμε τον ρυθμό κίνησης αέρα σε ένα σημείο, αγνοώντας την κατεύθυνση. Σύμφωνα με το Πρότυπο “ANSI/ASHRAE 55”, είναι η μέση ταχύτητα του αέρα στον οποίο εκτίθεται το σώμα, σε σχέση με το χρόνο και την τοποθεσία. Ο χρονικός μέσος όρος είναι το ακριβώς ίδιο με την θερμοκρασία αέρα, ενώ ο χωρικός βασίζεται στην υπόθεση ότι το σώμα έρχεται σε επαφή με μία ομοιόμορφη ταχύτητα αέρα, σύμφωνα με το θερμο-φυσιολογικό μοντέλο “SET”. Παρ’ όλα αυτά, σε κάποιους χώρους είναι πιθανό να υπάρχουν ισχυρά ανομοιόμορφα πεδία ταχύτητας αέρα και συνεπώς απώλειες θερμότητας μέσω του δέρματος, τις οποίες δεν μπορούμε να τις θεωρήσουμε ομοιόμορφες.

**Μοντέλα  
Θερμικής Άνεσης** Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1970 εκτελέστηκαν πολλές μελέτες γύρω από τους παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση. Όπως αποδείχθηκε, η αντιληπτή θερμική άνεση είναι συνάρτηση των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Όπως προέκυψε, για την ικανοποίηση των περισσότερων ανθρώπων θα πρέπει η αντιληπτή θερμική άνεση να είναι εντός ορισμένων ορίων. Όσο απομακρυνόμαστε από αυτά τα όρια τόσο μεγαλύτερη δυσφορία προκαλείται στο άτομο. Η παρατήρηση αυτή θα μπορούσε να εκφραστεί ως το ποσοστό των ατόμων που εξέφρασαν ικανοποίηση από τις συνθήκες άνεσης και ως το “predicted mean vote (PMV)”. Το παραπάνω μοντέλο αμφισβητήθηκε έντονα από το προσαρμοστικό μοντέλο (Adaptive Comfort Model) που αναπτύχθηκε κατά το έργο “ASHRAE 884”, και έδειξε ότι οι ένοικοι ήταν ικανοποιημένοι με ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Την τελευταία εικοσαετία, αναπτύχθηκαν μοντέλα θερμικής άνεσης που μελετούν το ανθρώπινο σώμα σε πολλά ξεχωριστά τμήματα, προβλέποντας την τοπική θερμική δυσφορία θεωρώντας τη θερμική ισορροπία. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας νέας κατηγορίας μοντέλων θερμικής άνεσης που στόχο έχουν την θέρμανση/ψύξη συγκεκριμένων μερών του σώματος. Σήμερα τα δύο επικρατέστερα μοντέλα θερμικής άνεσης είναι το στατικό μοντέλο (“PMV/PPD”) και το προσαρμοστικό μοντέλο.

Το στατικό μοντέλο, “Predicted Mean Vote (PMV)”, αναπτύχθηκε βασίζόμενο στις αρχές της ισορροπίας θερμότητας και σε μετρήσεις που συλλέγονται σε ένα θάλαμο ελεγχόμενου κλίματος υπό κανονικές συνθήκες. Το προσαρμοστικό μοντέλο, από την άλλη, αναπτύχθηκε στηριζόμενο σε εκατοντάδες μελέτες έχοντας ως κεντρική ιδέα ότι οι ένοικοι μπορούν να αλληλεπιδρούν δυναμικά με το περιβάλλον τους. Οι ένοικοι ελέγχουν το θερμικό περιβάλλον τους, μέσω παραγόντων όπως, η ένδυση, τα ανοιγόμενα παράθυρα, οι ανεμιστήρες κ.τ.λ. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δύο αυτά βασικά μοντέλα θερμικής άνεσης.

**Μοντέλο  
“PMV/PPD”** Η μέθοδος αναπτύχθηκε από τον P. O. Fanger. Ο Fanger χρησιμοποίησε εξισώσεις θερμικής ισορροπίας και διάφορες εμπειρικές μελέτες σχετικά με τη θερμοκρασία του δέρματος, για να προσδιορίσει την θερμική άνεση. Στις τυπικές έρευνες θερμικής άνεσης, τα υποκείμενα ρωτιούνται σχετικά με τη θερμική τους αίσθηση σε μία 7-βάθμια κλίμακα από το πολύ κρύο (-3) έως το πολύ ζεστό (+3). Οι εξισώσεις του Fanger χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη “Predicted Mean Vote (PMV)” για μία μεγάλη ομάδα ατόμων για έναν συγκεκριμένο συνδυασμό θερμοκρασίας αέρα, μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας αέρα, μεταβολικού ρυθμού και μόνωσης ρουχισμού. Ιδανικά η τιμή αυτού του δείκτη είναι μηδέν, μια τιμή που αντιπροσωπεύει τη θερμική ουδετερότητα.

Η ζώνη άνεσης προσδιορίζεται από τους συνδυασμούς εκείνους των έξι παραμέτρων που το “PMV” είναι εντός των προτεινόμενων ορίων ( $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$ ). Για να καθορίσουμε τις συνθήκες άνεσης, ένα πρώτο βήμα είναι η πρόβλεψη της θερμικής αίσθησης του πληθυσμού. Παρόλο αυτά, είναι περισσότερο σημαντικό να λάβουμε υπόψη το κατά πόσο οι άνθρωποι θα είναι ικανοποιημένοι ή όχι στις συγκεκριμένες συνθήκες.

Έτσι ο Fanger ανέπτυξε μία ακόμη εξίσωση για τον συσχετισμό του “PMV” και του “Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)”. Η σχέση αυτή μεταξύ των δύο δεικτών στηρίχτηκε σε έρευνες που ρωτούσαν υποκείμενα σε ένα δωμάτιο όπου οι συνθήκες εσωτερικού χώρου μπορούν να ελέγχονται με ακρίβεια. Το Πρότυπο “ASHRAE 55-2010” χρησιμοποιεί το μοντέλο “PMV” προκειμένου να θέσει απαιτήσεις για θερμικές συνθήκες εσωτερικού χώρου. Απαιτεί ότι τουλάχιστον το 80% των ενοίκων θα είναι ικανοποιημένοι.

*Επαγωγικοί  
Κανόνες  
Inference Rules)*

Το Σχέδιο Δράσης του ΣΥΑ για την διαχείριση της ενέργειας: «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» έχει ως βασικούς του στόχους την βελτίωση της θερμικής άνεσης των χρηστών των εγκαταστάσεων, καθώς και την εξοικονόμηση ενέργειας. Το σχέδιο δράσης που προτείνεται για την ρύθμιση της θερμοκρασίας αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τους ενεργειακούς διαχειριστές των κτιρίων ώστε να ρυθμίσουν τις θερμοκρασίες θέρμανσης και ψύξης για να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή απόδοση αλλά παράλληλα να διατηρήσουν και την θερμική άνεση σε συγκεκριμένα αποδεκτά επίπεδα.

Κάθε σχέδιο δράσης βασίζεται σε συγκεκριμένους επαγωγικούς κανόνες. Με τον όρο επαγωγικό κανόνα (“inference rule”) εννοούμε μία γνώση βασισμένη σε οδηγίες που μπορούν να εκφραστούν στη λογική μορφή «αν-τότε», με γραφικό τρόπο (διάγραμμα ροής, πίνακας κλπ) ή ως μαθηματική εξίσωση. Σαν πρώτο βήμα προσδιορίζουμε επακριβώς τους επαγωγικούς κανόνες που είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη και υλοποίηση του εκάστοτε σχεδίου δράσης. Εν συνεχεία αναπτύσσουμε όλους εκείνους τους κανόνες κάνοντας χρήση των διαθέσιμων δεδομένων που προέρχονται από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων. Τέλος υλοποιούμε τους κανόνες επαγωγής που περιγράφονται τεχνικά ως “RHR” κλάσεις. Για το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης, οι επαγωγικοί κανόνες που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται στο μοντέλο πρόβλεψης για τον υπολογισμό και την πρόβλεψη της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου.

Ο πρώτος κανόνας δέχεται σαν είσοδο την ανατροφοδότηση των χρηστών, μέσω ενός ερωτηματολογίου που επικυρώνει την θερμική άνεση, για τον υπολογισμό του δείκτη “Actual Mean Vote – AMV”, τις προβλεπόμενες τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας για την επόμενη εβδομάδα για τον υπολογισμό του δείκτη “Predicted Mean Vote – PMV” και τις παρατηρούμενες σε πραγματικό χρόνο τιμές της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου και της υγρασίας με βάση τους αισθητήρες (για τον υπολογισμό του “Observed Mean Vote – OMV”).

Ο δεύτερος επαγωγικός κανόνας λαμβάνει ως είσοδο τις εκτιμώμενες τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας για την επόμενη εβδομάδα όπως προκύπτουν από το αντίστοιχο μοντέλο πρόβλεψης και τον δείκτη μόνωσης ρουχισμού των ενοίκων. Οι προτεινόμενες δράσεις και τα δεδομένα εισόδου, απεικονίζονται στο Σχήμα 4.32.

Suggested actions			Input data																			
			Weather forecasting				De-centralized															
Building technical management	Occupant behaviour optimisation	Building maintenance	Outdoor air temperature	Solar radiation	Wind speed/direction	Outdoor humidity	E.C. for heating/cooling	E.C. for ventilation	E.C. for DHW	E.C. for air conditioning	E.C. for lighting	Indoor air temp	Indoor humidity	CO <sub>2</sub> concentration	Occupancy	Illuminance	Supply temp.	Set point temp	Air flow rate	Social media	Energy prices	RES production
Schedule the indoor set point temperature according to - occupancy/ occupied space - climatic data (adaptive comfort) - standard level - feedback from social media	Set the indoor set point temperature according to - occupancy/occupied space - climatic data - feedback from social media	Check heating/cooling system	x	x			x					x		x			x	x		x		

Σχήμα 4.32: Προτεινόμενες δράσεις και δεδομένα εισόδου

**Επαγωγικός Κανόνας - Επικύρωση Θερμικής Άνεσης (Thermal Comfort Validation)**

Ο πρώτος επαγωγικός κανόνας σχετίζεται, με την επικύρωση της θερμικής άνεσης (“Thermal Comfort Validation – TCV”) και στηρίζεται στη Θεωρία Θερμικής Άνεσης “PMV”, σύμφωνα με την οποία η θερμική άνεση υπολογίζεται με χρήση του δείκτη “Predicted Mean Vote (PMV)”, μία 7-βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης που βαθμολογεί με 0 την ουδέτερη θερμική αίσθηση από -3 έως 3 τις τιμές κρύου και ζέστης αντίστοιχα. Ενδιάμεσες τιμές σημαίνουν ενδιάμεσα στάδια θερμικής άνεσης. Η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος επιτυγχάνεται όταν η εσωτερική θερμική παραγωγή του σώματος ισούται με την απώλεια θερμοκρασίας προς το περιβάλλον. Σε ένα μέσο περιβάλλον, το ανθρώπινο σύστημα ρύθμισης θερμοκρασίας προσπαθεί αυτόματα να τροποποιήσει τη θερμοκρασία του για να διατηρήσει τη θερμική ισορροπία.

Ο δείκτης “PMV” μπορεί να υπολογιστεί με χρήση ενός αριθμού μεταβλητών, που αφορούν τόσο σε συνθήκες εσωτερικού χώρου, όπως θερμοκρασία αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, σχετική υγρασία και ταχύτητα αέρα, όσο και σε παραμέτρους εξαρτώμενες από τα προφίλ των ενοίκων, όπως ο μεταβολικός ρυθμός και το επίπεδο ένδυσης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις υπολογισμού του δείκτη PMV όπως ορίζονται από το πρότυπο ISO 7730:2005:

$$1. PMV = [0.303 * (\exp(-0,036 * M) + 0,028) * (M - W) - 3,05 * 10^{-3} * [5,733 - 6,99 * (M - W) - p_a] - 0.42 * [(M - W) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} * M * (5,867 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)$$

$$2. t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\}$$

$$3. h_c = \begin{cases} 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$4. f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 * K/W \\ 1,05 + 0,645 * I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 * K/W \end{cases}$$

Όπου:

- ▲ M είναι ο μεταβολικός ρυθμός (W/m<sup>2</sup>).
- ▲ W είναι η ενεργή μηχανική ισχύς (W/m<sup>2</sup>).
- ▲ I<sub>cl</sub> είναι η μόνωση του ρουχισμού (m<sup>2</sup>K/W).

- ▲  $f_{cl}$  είναι ο παράγοντας επιφάνειας ρουχιsmού.
- ▲  $t_a$  είναι η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος (°C).
- ▲  $\bar{t}_r$  είναι η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C).
- ▲  $v_{ar}$  είναι η σχετική ταχύτητα του αέρα (m/s).
- ▲  $p_a$  είναι η μερική πίεση υδρατμού (Pa).
- ▲  $h_c$  είναι ο συντελεστής συναγωγής μεταφοράς θερμότητας [(W/m<sup>2</sup>K)].
- ▲  $t_{cl}$  είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας ρουχιsmού (°C).

Ο δείκτης “PMV” προκύπτει από σταθερές συνθήκες αλλά μπορεί να εφαρμοστεί με καλή προσέγγιση κατά τη διάρκεια μικρών διακυμάνσεων μιας ή περισσότερων μεταβλητών, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζονται οι σταθμισμένες χρονικά μέσες τιμές των μεταβλητών κατά τη διάρκεια της προηγούμενης μιας ώρας. Για το θερμικό περιβάλλον, τα σχεδιαστικά κριτήρια για τη θερμοκρασία λειτουργίας βασίζονται σε τυπικά επίπεδα δραστηριότητας, για ρουχιsmό της τάξης του 0,5 clo κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού («περίοδος ψύξης») και 1,0 clo κατά τη διάρκεια του χειμώνα («περίοδος θέρμανσης»). Τα κριτήρια για τη μέση ταχύτητα αέρα ισχύουν για ένταση τύρβης περίπου 40% (μικτός εξαιρεισμός).

Η υγρασία μπορεί να εκφραστεί ως σχετικό ή απόλυτο μέγεθος (βλ. “ISO 7726”). Η απόλυτη υγρασία, εκφρασμένη ως πίεση υδρατμών στον αέρα, επηρεάζει την εξατμιστική απώλεια θερμότητας από ένα άτομο, γεγονός που επιδρά στη γενική θερμική άνεση του σώματος (θερμική ισορροπία). Υποθέτουμε ότι η σχετική υγρασία ισούται με 50%, ωστόσο σε μέτρια περιβάλλοντα (θερμοκρασίες < 26 °C και επίπεδα μέτριας δραστηριότητας) η υγρασία του αέρα έχει μόνο μία ελαφριά επιρροή στη θερμική αίσθηση, άρα και στα βέλτιστα και αποδεκτά θερμοκρασιακά εύρη. Σημειώνουμε ότι ο μεταβολικός ρυθμός μπορεί να εκτιμηθεί με χρήση του προτύπου “ISO 8996”, λαμβάνοντας υπόψη το είδος της εργασίας. Για διάφορους μεταβολικούς ρυθμούς, θα πρέπει να εκτιμηθεί ο σταθμισμένος χρονικά μέσος όρος κατά τη διάρκεια της προηγούμενης μιας ώρας. Η θερμική αντίσταση του ρουχιsmού και της καρέκλας μπορούν να προσεγγιστούν με χρήση του προτύπου “ISO 9920”, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο του χρόνου.

Ο δείκτης “PMV” μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει το εάν ένα δοσμένο θερμικό περιβάλλον συμμορφώνεται στα κριτήρια άνεσης, και να εγκαθιδρύσει απαιτήσεις για διαφορετικά επίπεδα αποδοχής. Προφανώς, ο στόχος είναι να έχουμε PMV = 0 (ουδέτερη θερμική αίσθηση), ώστε να έχουμε όλους τους ενοίκους ικανοποιημένους από την άποψη της θερμικής άνεσης, αλλά και αντίστροφα, θέτοντας PMV=0, προκύπτει μία εξίσωση που προβλέπει τους συνδυασμούς δραστηριότητας, ρουχιsmού και περιβαλλοντικών παραμέτρων που θα παρέχουν κατά μέσο όρο μία θερμικώς ουδέτερη αίσθηση.

Όπως προαναφέρθηκε, ο δείκτης “PMV” προβλέπει τη μέση τιμή των θερμικών ψήφων μιας μεγάλης ανθρώπων που εκτίθενται στο ίδιο περιβάλλον. Αλλά οι ατομικές ψήφοι είναι διάσπαρτες γύρω από αυτήν τη μέση τιμή και είναι χρήσιμο να μπορεί να προβλεφθεί ο αριθμός των

ατόμων που ενδέχεται να αισθάνονται άβολα λόγω ζέστης ή κρύου. Ο δείκτης “PPD” καθορίζει μία ποσοτική πρόβλεψη του ποσοστού των θερμικά δυσαρεστημένων ανθρώπων που αισθάνονται υπερβολικό κρύο ή ζέστη.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)$$

Ο ατομικός έλεγχος της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ή της ταχύτητας του αέρα μπορεί να συνεισφέρει στην εξισορρόπηση των αρκετά μεγάλων διαφορών μεταξύ των ατομικών απαιτήσεων και, κατά συνέπεια, μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερους δυσαρεστημένους. Μεταβολή του ρουχισμού μπορεί επίσης να συνεισφέρει στην εξισορρόπηση των μεμονωμένων διαφορών.

Η θερμοκρασία λειτουργίας σε όλες τις περιοχές μέσα στην κατειλημμένη ζώνη ενός χώρου θα έπρεπε σε κάθε στιγμή να βρίσκεται εντός αποδεκτών ορίων. Αυτό σημαίνει ότι το αποδεκτό εύρος θα πρέπει να καλύπτει τόσο χωρικές όσο και χρονικές διακυμάνσεις, συμπεριλαμβανομένων των διακυμάνσεων που προκαλούνται από το σύστημα ελέγχου. Συνεπώς, ο εν λόγω κανόνας επαγωγής αξιολογεί την ανατροφοδότηση των ενοίκων και εάν για το προβλεπόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας ο δείκτης “PMV” βρίσκεται εκτός των αποδεκτών ορίων θερμικής άνεσης [-0.5, 0.5], αναπροσαρμόζει το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες ελαχιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης που θα διασφαλίζουν παράλληλα τη θερμική άνεση των χρηστών. Για έναν δεδομένο χώρο υπάρχει μία βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας που αντιστοιχεί σε  $PMV = 0$ , ανάλογα με τη δραστηριότητα και το ρουχισμό των ενοίκων. Η βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας και η επιτρεπόμενη περιοχή θερμοκρασίας, που ποικίλλει ανάλογα με την κατηγορία του θερμικού περιβάλλοντος, είναι συνάρτηση των ειδών ένδυσης και της δραστηριότητας.

Εξαιτίας μεμονωμένων διαφοροποιήσεων, είναι πιθανό να καθοριστει ένα θερμικό περιβάλλον που να μην τους ικανοποιεί όλους. Θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό δυσαρεστημένων ενοίκων. Αλλά είναι δυνατό να προσδιοριστούν περιβάλλοντα που να είναι αποδεκτά από ένα συγκεκριμένο ποσοστό των ενοίκων. Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο “ISO 10551”, για τη λήψη ανατροφοδότησης από τους δυσαρεστημένους χρήστες προτείνεται η χρήση υποκειμενικών ερωτηματολογίων σε έρευνες πεδίου. Η ανάδραση του χρήστη μπορεί να προέλθει είτε από την εκμετάλλευση σχετικών δεδομένων από λογαριασμούς κοινωνικής δικτύωσης (“Twitter”, “Facebook”) και μία διαδικασία ανάλυσης προτύπων προκειμένου να αναγνωριστει η συναισθηματική κατάσταση του χρήστη αναφορικά με τη θερμική του αίσθηση (“sentimental analysis”), είτε από μία διαδικτυακή εφαρμογή, που είναι επίσης διαθέσιμο σε «έξυπνα» τηλέφωνα» και φορητές συσκευές, και ονομάζεται “Thermal Comfort Validator (TCV)”. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα ερωτηματολόγιο που ελέγχει τις παραμέτρους θερμικής άνεσης των ενοίκων. Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου κανόνα επαγωγής, υπολογίζονται και εξετάζονται οι εξής τρεις κύριες τιμές:

- ▲ **PMV (Predicted Mean Vote – Προβλεπόμενη μέση αίσθηση):** Αυτή η τιμή εξαρτάται από έξι μεταβλητές, δηλαδή τη θερμοκρασία αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, τη σχετική ταχύτητα αέρα, τη σχετική υγρασία, τη μόνωση του ρουχισμού, το μεταβολικό ρυθμό και υπολογίζεται από τις εξισώσεις (1)-(4), σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο “ISO 7730:2005”. Μέσα στο πλαίσιο αυτού του κανόνα επαγωγής, οι προβλεπόμενες συνθήκες εσωτερικού χώρου για μία εβδομάδα μπροστά χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπολογιστεί το “PMV” σε μία ωριαία βάση.
- ▲ **AMV (Actual Mean Vote – Πραγματική μέση αίσθηση):** Αυτή η τιμή δεν υπολογίζεται, αλλά παρέχεται στο σύστημα μέσω του TCV - Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017), μίας διαδικτυακής εφαρμογής που είναι προσβάσιμη μέσω υπολογιστών ή κινητών τηλεφώνων, όπου οι χρήστες του κτιρίου ενθαρρύνονται να υποβάλλουν ανατροφοδότηση αναφορικά με τη θερμική τους αίσθηση. Κατόπιν, αυτή η ανάδραση αναλύεται και αξιολογείται προκειμένου να υπολογιστεί ο πραγματικός δείκτης “PMV” βάσει των εμπειριών χρήστη. Ο δείκτης “AMV” είναι το άμεσο αποτέλεσμα του “TCV” κατά τη διάρκεια των ημερών της εβδομάδας υπό εξέταση.
- ▲ **OMV (Observed Mean Vote – Παρατηρούμενη μέση αίσθηση):** Η τιμή του “OMV” υπολογίζεται από τις εξισώσεις του “PMV”, κατά τη διάρκεια της υπό εξέτασης εβδομάδας, με τη χρήση παρατηρούμενων, και όχι προβλεπόμενων τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας, όπως μετρούνται από τους αισθητήρες του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο. Οι υπόλοιπες μεταβλητές της εξίσωσης θεωρούνται ίδιες, καθώς δεν μπορούν να ελεγχθούν.

Η μεθοδολογία του Επαγωγικού Κανόνα «Επικύρωση Θερμικής Άνεσης» και του αντίστοιχου σχεδίου δράσης περιγράφεται στην συνέχεια. Σημειώνεται ότι τα σχήματα που ακολουθούν προέρχονται από το λογιστικό φύλλο σε Microsoft Excel (Marinakis et al., 2017) που υπολογίζει όλα τα στάδια της μεθοδολογίας αυτής και υλοποιεί το Σχέδιο Δράσης.

1. **Υπολογισμός προβλεπόμενης μέσης αίσθησης PMV:** Οι προβλεπόμενες τιμές της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται στην εξίσωση “PMV”, προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή του “Predicted Mean Vote” για την επόμενη εβδομάδα. Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε ωριαία χρονικά διαστήματα. Η τιμή της θερμοκρασίας αέρα παρέχεται από το μοντέλο πρόβλεψης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου (“Indoor Temperature Prediction Model”), η τιμή της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας λαμβάνεται ίση με την θερμοκρασία αέρα, η σχετική ταχύτητα αέρα, το επίπεδο ρουχισμού και ο μεταβολικός ρυθμός λαμβάνονται σε πρώτο στάδιο ως σταθερές τιμές που καθορίζονται με

Step 1: PMV Calculation										
Time	Air Temperature		Mean Radiant Temperature		Relative Air Velocity		Relative Humidity		Clothing	Metabolic Rate
	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]				
0	1	18.64	18.64	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.39		
1	2	18.45	18.45	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.42		
2	3	18.30	18.30	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.46		
3	4	17.25	17.25	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.67		
4	5	22.56	22.56	0.15	60.00	1.20	1.20	0.43		
5	6	23.12	23.12	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55		
6	7	23.23	23.23	0.15	60.00	1.20	1.20	0.57		
7	8	22.98	22.98	0.15	60.00	1.20	1.20	0.52		
8	9	23.12	23.12	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55		
9	10	23.08	23.08	0.15	60.00	1.20	1.20	0.54		
10	11	23.15	23.15	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55		
11	12	23.20	23.20	0.15	60.00	1.20	1.20	0.56		
12	13	23.14	23.14	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55		
13	14	23.21	23.21	0.15	60.00	1.20	1.20	0.57		

Σχήμα 4.33: Υπολογισμός PMV του Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017)

βάση τη βιβλιογραφία, ενώ η σχετική υγρασία παρέχεται από τον χρήστη. Ο υπολογισμός του PMV απεικονίζεται στο Σχήμα 4.33. Τα σχήματα αποτελούν screenshot από το λογισμικό (λογισμικό φύλο σε Microsoft Excel) που επεξεργάζεται τα δεδομένα που εισάγονται από το λογισμικό TCV.

**2. Υπολογισμός πραγματικής μέσης αίσθησης AMV με δεδομένα από το διαδικτυακό εργαλείο TCV - Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017):**

Step 2: AMV Definition: Feedback from TCV Web App																					
Time	ACTUAL (AMV)																				
	User 1	User 2	User 3	User 4	User 5	User 6	User 7	User 8	User 9	User 10	User 11	User 12	User 13	User 14	User 15	User 16	User 17	User 18	User 19	User 20	
0	1	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-2.0	-3.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	2.0	
1	2	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	2.0
2	3	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	2.0
3	4	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	2.0
4	5	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	2.0
5	6	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-1.0	-3.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-3.0	-1.0	2.0
6	7	-2.0	0.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	0.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	2.0
7	8	-2.0	-1.0	-2.0	-3.0	-2.0	-1.0	-3.0	-1.0	-2.0	-3.0	-2.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	2.0
8	9	-3.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-3.0	-2.0	-3.0	-2.0	-3.0	-1.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	-2.0	2.0
9	10	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	2.0

Σχήμα 4.34: Υπολογισμός PMV του Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017)

Η ανατροφοδότηση από τους χρήστες του κτιρίου καταγράφεται μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής TCV. Οι χρήστες συμπληρώνουν ένα σύντομο διαδικτυακό ερωτηματολόγιο στο εργαλείο TCV

(<http://validator.optimus-smartcity.eu/>) και σημειώνουν την θερμική τους άνεση σε μια 7-βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης που βαθμολογεί με 0 την ουδέτερη θερμική αίσθηση από -3 έως 3 τις τιμές κρύου και ζέστης αντίστοιχα. Ενδιάμεσες τιμές σημαίνουν ενδιάμεσα στάδια θερμικής άνεσης.

**3. Στη συνέχεια προκύπτουν αποτελέσματα σχετικά με το εάν ο χρήστης νιώθει καλά ή άβολα σχετικά με την θερμοκρασία του χώρου που βρίσκεται.**



Τα δεδομένα αυτά μεταφράζονται από το πρόγραμμα σε τιμές 7-βάθμιας κλίμακας που ορίζουν και τον δείκτη AMV, δηλαδή από -3 έως +3. Θεωρείται ότι τα δεδομένα που εισάγονται αφορούν ένα χρονικό διάστημα πολύ κοντά στη στιγμή που συμπληρώνεται το ερωτηματολόγιο. Για το λόγο αυτό επεκτείνεται η ανάδραση των χρηστών μια ώρα πριν και μια ώρα μετά τον πραγματικό χρόνο υποβολής των δεδομένων. Η επέκταση των δεδομένων πραγματοποιείται με την μείωση κατά 0,5 μονάδες έως ότου φτάσει το μηδέν. Ο υπολογισμός του AMV απεικονίζεται στο Σχήμα 4.34.

**4. Φιλτράρισμα AMV:** Στο τρίτο βήμα εφαρμόζεται το φιλτράρισμα των τιμών του AMV αποκλείοντας δεδομένα για τα οποία υπάρχουν λιγότερες από τρεις εγγραφές ή για δεδομένα που αφορούν ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου. Μετά τη διαδικασία φιλτραρίσματος ολοκληρώνεται η διαδικασία υπολογισμού των ωριαίων τιμών του AMV.

**5. Υπολογισμός παρατηρούμενης μέσης αίσθησης OMV:** Ο δείκτης παρατηρούμενης μέσης αίσθησης (Observed Mean Vote - OMV) υπολογίζεται από τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες του κτιρίου (θερμοκρασίας και υγρασίας) με τις ίδιες εξισώσεις με τις οποίες υπολογίζεται και ο δείκτης PMV.

**5. - 6. Υπολογισμός συσχέτισης μεταξύ AMV-OMV:** Για τον υπολογισμό της συσχέτισης μεταξύ των τιμών AMV και OMV δημιουργείται ένα γράφημα, με τις τιμές του AMV στον x άξονα και τις τιμές του OMV στον y άξονα, χρησιμοποιώντας τα ζευγάρια των φιλτραρισμένων τιμών του AMV (όπου έχουμε αποκλείσει τις ώρες μη λειτουργίας και τις ώρες με ανεπαρκές “feedback”) και του OMV των αντίστοιχων ωριαίων χρονικών διαστημάτων. Στη συνέχεια υπολογίζεται η γραμμική εξίσωση AMV-OMV που περιγράφει τη συσχέτισή τους. Ο υπολογισμός της γραμμικής συσχέτισης πραγματοποιείται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$OMV = a + b * AMV,$$

$$b = \frac{\overline{OMV * AMV} - \overline{AMV} * \overline{AMV}}{\overline{AMV^2} - (\overline{AMV})^2}$$

$$a = \overline{OMV} - b * \overline{AMV}$$

Όπου  $\overline{OMV}$  και  $\overline{AMV}$  αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο των τιμών OMV και AMV σε ένα δεδομένο δείγμα. Στην πράξη, η εξίσωση υπολογίζει την πραγματική θερμική άνεση των χρηστών σε σύγκριση με την αίσθηση που θα είχαν θεωρητικά οι χρήστες του εσωτερικού χώρου.

**7. Προσδιορισμός της τιμής του OMV που αντιστοιχεί σε AMV = 0.** Με βάση την διαφορά που παρατηρήθηκε μεταξύ της πραγματικής και της παρατηρούμενης θερμικής άνεσης των χρηστών στο προηγούμενο βήμα γίνεται σαφές ότι για να έχουν ουδέτερη θερμική άνεση, η εσωτερική θερμοκρασία θα πρέπει να προσαρμοστεί ώστε η τιμή του AMV να ισούται με μηδέν (0) που αποτελεί την ιδανική θερμική αίσθηση για τον χρήστη.

**8. Προσδιορισμός της τιμής θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε αυτή του “OMV” (ή “PMV”):** Για την τιμή του “OMV” που καθορίστηκε

στο προηγούμενο βήμα, επιλύεται η αντίστροφη εξίσωση προκειμένου να βρεθεί η θερμοκρασία που την προκαλεί, δεδομένου ότι οι υπόλοιπες τιμές θεωρούνται ίσες με τις μέσες εβδομαδιαίες τιμές. Αυτή η τιμή θερμοκρασίας είναι το κύριο αποτέλεσμα του κανόνα επαγωγής: αποτελεί την πρόταση για το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας κατά την επόμενη εβδομάδα.

**9. Επικύρωση AMV:** Στο τελευταίο βήμα, τα αποτελέσματα επικυρώνονται. Όταν ο PMV ισούται με τον δείκτη OMV, η πραγματική θερμική άνεση των χρηστών είναι αποδεκτή. Αυτό σημαίνει ότι θέτοντας  $PMV = OMV$  στην προαναφερθείσα γραμμική εξίσωση, το AMV θα έπρεπε να ανήκει στο διάστημα  $[-0.5, 0.5]$  προκειμένου να συμμορφώνεται με τα Πρότυπα “ASHRAE”. Στο Σχήμα 4.35 απεικονίζεται το τελευταίο βήμα της διαδικασίας. Στην τελευταία στήλη επικυρώνεται η τιμή του AMV. Με αυτό το βήμα ολοκληρώνεται η διαδικασία με τελικό αποτέλεσμα την δημιουργία ενός σχεδίου δράσης για την ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας και κατ’ επέκταση των εσωτερικών συνθηκών του χώρου για τις οποίες επικρατεί η κατάλληλη θερμική άνεση για τους χρήστες.

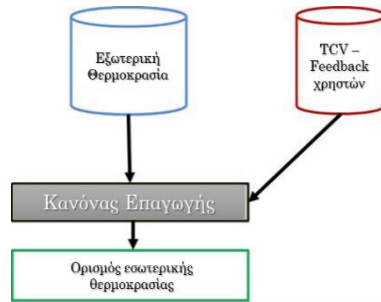
Step 1: PMV Calculation											Step 9: AMV Validation	
Time	PREDICTED (PMV)											ASHRAE Filter (Category B: -0.5 ≤ PMV ≤ 0.5)
	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		PMV	AMV for this PMV			
0	1	18.64	18.64	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.39	-2.12	Change set point		
1	2	18.45	18.45	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.42	-2.23	Change set point		
2	3	18.30	18.30	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.46	-2.31	Change set point		
3	4	17.25	17.25	0.15	60.00	1.20	1.20	-0.67	-2.90	Change set point		
4	5	22.56	22.56	0.15	60.00	1.20	1.20	0.43	0.11	Acceptable		
5	6	23.12	23.12	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55	0.43	Acceptable		
6	7	23.23	23.23	0.15	60.00	1.20	1.20	0.57	0.49	Acceptable		
7	8	22.98	22.98	0.15	60.00	1.20	1.20	0.52	0.35	Acceptable		
8	9	23.12	23.12	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55	0.43	Acceptable		
9	10	23.08	23.08	0.15	60.00	1.20	1.20	0.54	0.41	Acceptable		
10	11	23.15	23.15	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55	0.45	Acceptable		
11	12	23.20	23.20	0.15	60.00	1.20	1.20	0.58	0.48	Acceptable		
12	13	23.14	23.14	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55	0.44	Acceptable		
13	14	23.21	23.21	0.15	60.00	1.20	1.20	0.57	0.48	Acceptable		
14	15	23.24	23.24	0.15	60.00	1.20	1.20	0.57	0.50	Acceptable		
15	16	23.22	23.22	0.15	60.00	1.20	1.20	0.57	0.49	Acceptable		
16	17	23.15	23.15	0.15	60.00	1.20	1.20	0.55	0.45	Acceptable		
17	18	23.45	23.45	0.15	60.00	1.20	1.20	0.82	0.82	Change set point		
18	19	23.17	23.17	0.15	60.00	1.20	1.20	0.58	0.48	Acceptable		
19	20	21.94	21.94	0.15	60.00	1.20	1.20	0.30	0.25	Acceptable		

Σχήμα 4.35. Επικύρωση AMV

**Επαγωγικός Κανόνας - Προσαρμοστική Αντίληψη Θερμικής Άνεσης (Adaptive Comfort Model)**

Η γενική δομή της προσομοίωσης του δεύτερου Επαγωγικού Κανόνα φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4.36. Σε αυτόν τον επαγωγικό κανόνα εμπλέκονται οι ακόλουθες μονάδες καταγραφής δεδομένων: η πρόγνωση καιρού και το εργαλείο TCV που προσφέρει την ανατροφοδότηση των χρηστών. Η διαδικασία του κανόνα επαγωγής συνίσταται από λογικούς κανόνες που συνδέουν το προβλεπόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας με την έξοδο από τα αποτελέσματα του TCV.

Η εξαγωγή του προβλεπόμενου σημείου γίνεται σύμφωνα με το “adaptive comfort concept”. Σύμφωνα με τη θεωρία της προσαρμοστικής άνεσης και τα αποτελέσματα διεθνών ερευνών, προτείνεται μία εξίσωση παλινδρόμησης που στοχεύει στον προγραμματισμό του σημείου



**Σχήμα 4.36. Μοντέλο επαγωγικού κανόνα για την προσαρμοστική αντίληψη θερμικής άνεσης**

ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ως συνάρτηση της μέσης τρέχουσας θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου.

Στην προσαρμοστική προσέγγιση ο χρήστης (ένοικος της εγκατάστασης) θεωρείται ως ένα ενεργό υποκείμενο που αλληλεπιδρά με το περιβάλλον και συνεισφέρει στον καθορισμό των συνθηκών άνεσης, μέσω συνεχόμενων ανατροφοδοτήσεων. Οι θερμικές προτιμήσεις εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο οι ένοικοι μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το περιβάλλον τους,

αλλάζοντας τη συμπεριφορά τους και ρυθμίζοντας τις προσδοκίες τους. Συνεπώς, οι δείκτες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) προς Διαχείριση είναι οι εξής: ενεργειακή κατανάλωση, εκπομπές CO<sub>2</sub> και η θερμική άνεση. Η διαδικασία του εν λόγω κανόνα επαγωγής συνίσταται στον προσδιορισμό μιας γραμμικής παλινδρόμησης της θερμοκρασίας λειτουργίας που παρέχει άνεση εσωτερικού χώρου ως συνάρτηση ενός δείκτη της εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα, που ονομάζεται “running mean outside temperature”. Υποθέτοντας ότι η μέση εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας είναι περίπου ίση με το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας και θεωρώντας τις μελέτες πάνω στη σχέση μεταξύ της τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας ουδέτερης άνεσης, εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος με καμπύλη παλινδρόμησης για τα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας σε περιβάλλοντα με μηχανικό έλεγχο, ως μία εναλλακτική στο σταθερό σημείο ρύθμισης.

Η βασική μεθοδολογία για τον συγκεκριμένο επαγωγικό κανόνα συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Η προβλεπόμενη ωριαία εξωτερική θερμοκρασία αέρα καταγράφεται για 8 ημέρες.
2. Υπολογίζεται η μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία.
3. Η τρέχουσα μέση εξωτερική θερμοκρασία (“running mean outside temperature –  $\theta_{RM}$ ”) υπολογίζεται εφαρμόζοντας την παρακάτω εξίσωση, όπου θεωρείται η μέση ημερήσια θερμοκρασία κατά την ημέρα n (για n=6)

$$\theta_{RMn} = (1 - c) \cdot [\theta_{DM(n-1)} + c\theta_{DM(n-2)} + c^2\theta_{DM(n-3)} + \dots], \text{ όπου } c \text{ σταθερά με τιμή } 0,8.$$

4. Το ημερήσιο προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου υπολογίζεται συναρτήσει της αντίστοιχης τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας από την εξής γραμμική παλινδρομική σχέση:

$$\text{Εάν } \theta_{RMn} < 14^\circ\text{C} \rightarrow \theta_{set, po\ int} = 21,5^\circ\text{C}$$

$$\text{Εάν } 14^\circ\text{C} < \theta_{RMn} < 22,5^\circ\text{C} \rightarrow \theta_{set, po\ int} = 0,5861 \theta_{RMn} + 12,531^\circ\text{C}$$

$$\text{Εάν } \theta_{RMn} > 22,5^\circ\text{C} \rightarrow \theta_{set, po\ int} = 26^\circ\text{C}$$

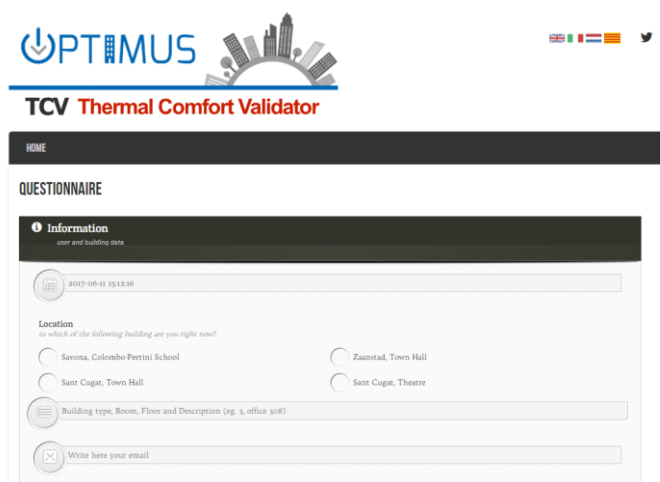
**Επιλογή Κατάλληλου Επαγωγικού Κανόνα** Κατά την διαδικασία υλοποίησης του σχεδίου δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» εφαρμόζονται ταυτόχρονα και οι δύο προαναφερθέντες κανόνες, λαμβάνοντας σαν είσοδο τις απαραίτητες παραμέτρους.

Για την εκάστοτε ημέρα που εξετάζουμε επιλέγεται ο κανόνας αναφοράς που έχει το βέλτιστο αποτέλεσμα για το υπό εξέταση δημοτικό κτίριο. Ως βέλτιστο αποτέλεσμα ορίζουμε εκείνο που η ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας προσφέρει ανεκτά επίπεδα θερμικής άνεσης αλλά και παράλληλα μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Το προτεινόμενο σχέδιο δράσης στοχεύει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και το ενεργειακό κόστος.

#### IV.4.3 Λογισμικό Thermal Comfort Validator (TCV)

**Γενική Περιγραφή** Το Διαδικτυακό Εργαλείο TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017) έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη των διαχειριστών των πόλεων ώστε να εντοπίζουν τα πραγματικά επίπεδα θερμικής άνεσης των χρηστών στα κτίριά τους.



**Σχήμα 4.37. Screenshot από το λογισμικό TCV - Εισαγωγή γενικών πληροφοριών. (Papastamatiou et al., 2017)**

άνεσης και να βελτιώσουν παράλληλα την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων τους. Τα αποτελέσματα του εργαλείου TCV αξιοποιούνται από το σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakakis et al., 2017), όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την πρόσβαση στο εργαλείο TCV απαιτείται σύνδεση στο διαδίκτυο, ανεξαρτήτως λειτουργικού συστήματος: Microsoft, Macintosh, Linux, Android, και ανεξαρτήτως τύπου συσκευής: Προσωπικός Υπολογιστής, Tablet ή κινητό τηλέφωνο. Η εφαρμογή έχει αναπτυχθεί ειδικά για να διευκολύνει τους χρήστες των κινητών συσκευών, μιας και οι κινητές συσκευές αποτελούν τον πιο εύκολο τρόπο ώστε οι χρήστες των εγκαταστάσεων να αξιολογήσουν την θερμική τους άνεση.

Το εργαλείο, μέσα από τα αποτελέσματα που προσφέρει, από την ανατροφοδότηση (feedback) των χρηστών, επικυρώνει την θερμική τους άνεση. Με τον τρόπο αυτό οι διαχειριστές των κτιρίων έχουν την δυνατότητα να διατηρήσουν την θερμοκρασία σε αποδεκτά επίπεδα

Το TCV περιέχει ένα διαδικτυακό ερωτηματολόγιο, όπου οι χρήστες καλούνται να απαντήσουν εύκολα και σύντομα σε λίγες ερωτήσεις σχετικές με την αίσθηση που έχουν για τη θερμοκρασία, τον αέρα και τον ήλιο στον εσωτερικό χώρο. Οι απαντήσεις τους αναλύονται και παρέχονται στο σχέδιο δράσης «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» για τον υπολογισμό του AMV (Actual Mean Vote), της πραγματικής αίσθησης δηλαδή των χρηστών. Το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο του TCV περιλαμβάνει ερωτήσεις για την εκτίμηση της αίσθησης της θερμοκρασίας από τους χρήστες του κτιρίου. Έπειτα, οι καταχωρήσεις μεταφράζονται σε αριθμητικές τιμές 7-βάθμιας κλίμακας σύμφωνα με το δείκτη προβλεπόμενης μέσης αίσθησης PMV (Predicted Mean Voted) που ορίζεται από το πρότυπο ISO 7730:2006, όπως έχει ήδη περιγραφεί. Οι αριθμητικές τιμές φιλτράρονται περαιτέρω και αναλύονται προκειμένου να εισαχθούν στο σχέδιο δράσης του ΣΥΑ.

Το διαδικτυακό περιβάλλον του TCV παρουσιάζεται στο Σχήματα 4.38. Στο Σχήμα 4.37 φαίνεται η καρτέλα με τις γενικές πληροφορίες που πρέπει να εισάγει ο χρήστης, όπως να επιλέξει το κτίριο που βρίσκεται και την ακριβή θέση του σε αυτό. Σημειώνεται επίσης ότι το εργαλείο TCV είναι μεταφρασμένο σε τέσσερις γλώσσες: Αγγλικά, Ιταλικά, Ολλανδικά και Καταλανικά. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.38, επάνω αριστερά, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την γλώσσα που επιθυμεί επιλέγοντας την αντίστοιχη σημαία.

**Δεδομένα Εισόδου** Ο χρήστης αφού εισέλθει στην ιστοσελίδα του TCV (<http://validator.optimus-smartcity.eu/>), θα πρέπει να καταχωρήσει μια σειρά δεδομένων για να συμπληρώσει το ερωτηματολόγιο και να ενεργοποιήσει τη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη της πραγματικής μέσης αίσθησης (AMV indicator). Ένα σύνολο μεταβλητών ορίζονται ως εισοδοί του TCV. Μια συνοπτική περιγραφή των επιμέρους κατηγοριών παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.4.

Μετά την καταχώρηση των πληροφοριών που αφορούν την εκτίμηση του χρήστη για τη θερμοκρασία του χώρου, δίνεται η δυνατότητα για να κοινοποιήσει στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (Facebook, Twitter, Google+) την φόρμα υποβολής ώστε και άλλοι χρήστες να υποβάλλουν στο σύστημα τις απαντήσεις τους.

**Πίνακας 4.4. Δεδομένα εισόδου εργαλείου TCV (Papastamatiou et al., 2017)**

Κατηγορία Δεδομένων Εισόδου	Δεδομένα Εισόδου
<i>Γενικές πληροφορίες</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ημερομηνία &amp; ώρα,</li> <li>• Επιλογή κτιρίου (έτοιμη λίστα),</li> <li>• Ακριβής θέση χρήστη στο κτίριο (π.χ. όροφος &amp; γραφείο),</li> <li>• E-mail του χρήστη (όχι υποχρεωτικό).</li> </ul>
<i>Θερμοκρασία</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αίσθηση και αντίληψη της θερμοκρασίας,</li> <li>• Προτίμηση χρήστη για υψηλότερη ή χαμηλότερη θερμοκρασία</li> </ul>

<b>Αέρας</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προτίμηση χρήστη για αερισμό (περισσότερο, λιγότερο ή καμία αλλαγή)</li> </ul>
<b>Ήλιος</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προτίμηση χρήστη για την ηλιοφάνεια (περισσότερη, λιγότερη ή καμία αλλαγή. Κυρίως για κτίρια με σκίαστρα).</li> </ul>
<b>Ένδυση</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Είδος και χρώμα ρουχισμού του χρήστη.</li> </ul>
<b>Δραστηριότητα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δήλωση δραστηριότητας του χρήστη την τελευταία μισή ώρα.</li> </ul>

Σχεδιασμός Το TCV είναι σχεδιασμένο ώστε να ενθαρρύνει τους χρήστες των εγκαταστάσεων να υποβάλλουν δεδομένα μέσα από ένα φιλικό και εύκολο περιβάλλον. Η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου είναι απλή και γρήγορη. Η απλότητα του TCV είναι βασικό χαρακτηριστικό του λογισμικού ώστε να μειώνει τον απαιτούμενο χρόνο για τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου και για να επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να στείλουν πληροφορίες για περισσότερες φορές μέσα σε μια ημέρα.

Μεγαλύτερος αριθμός αποτελεσμάτων θα βοηθήσει ώστε να είναι πιο ακριβής ο υπολογισμός του AMV (Actual Mean Vote), με αποτέλεσμα τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από το σχέδιο δράσης του ΣΥΑ για την Διαχείριση Ενέργειας να είναι πιο αποδοτικά, τόσο για τους χρήστες όσο και για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Αρχιτεκτονική Το TCV έχει υλοποιηθεί με HTML για την πλευρά του χρήστη και το γραφικό του περιβάλλον και τα δεδομένα εισόδου στέλνονται στον διακομιστή (server) Apache. Το TCV είναι ένα πλήρως αποκρινόμενο στις ανάγκες του και cross-platform διαδικτυακό εργαλείο που προσαρμόζεται αυτόματα σε κάθε ανάλυση οθόνης, ανεξάρτητα από το σύστημα και τον τύπο της συσκευής. Το TCV έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας PHP, MySQL και JavaScript γλώσσες προγραμματισμού.

		Mon 05-12	Tue 06-12	Wed 07-12	Thu 08-12	Fri 09-12	Sat 10-12	Sun 11-12
<b>TOWN HALL</b>								
Scheduling the set-point temperature								
Support of the energy manager in adjusting the temperature set-point, taking into consideration thermal comfort parameters. The target is to optimize energy use, while maintaining comfort levels in accepted ranges (using the Predicted Mean Vote - PMV - index and the Adaptive Comfort Concept).								
2016-12-05 / 2016-12-11								
Building								
<b>Floor 2</b>								
▶ C1 A07	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 A08	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 B07	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 B08	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 C07	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 C08	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
<b>Floor 3</b>								
▶ C1 A09	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 A10	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 B09	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 B10	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 C09	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
▶ C1 C10	Set-point suggestion (°C)	22.5	22.7	22.8	22.8	22.7		
Please confirm the action plan								
		<input type="checkbox"/> Unknown <input checked="" type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Declined	<input type="checkbox"/> Unknown <input checked="" type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Declined	<input type="checkbox"/> Unknown <input checked="" type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Declined	<input type="checkbox"/> Unknown <input checked="" type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Declined	<input type="checkbox"/> Unknown <input checked="" type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Declined	<input type="checkbox"/> Unknown <input checked="" type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Declined	<input type="checkbox"/> Unknown <input checked="" type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Declined

Σχήμα 4.38. Screenshot από το OPTIMUS DSS – Αποτελέσματα TCV. (OPTIMUS, 2016)

Η διαδικτυακή εφαρμογή χρησιμοποιεί σύστημα διαχείρισης περιεχομένου Yii framework CMS (Yiiframework, 2016) για το σύστημα διαπίστευσης χρήστη και διασφαλίζει τη λειτουργία με όλες τις συσκευές. Το Yii framework είναι ένα εργαλείο ανοικτού κώδικα που βασίζεται σε PHP και είναι ιδανικό για ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών και API.

Επιτρέπει ενοποιημένη πρόσβαση σε δεδομένα με βάσεις δεδομένων όπως η MySQL που χρησιμοποιείται για το TCV. Το TCV χρησιμοποιεί αυτή τη στιγμή στην έκδοση Yii framework 1.1.17. Το Yii framework είναι ένα γενικού σκοπού εργαλείο διαδικτυακού προγραμματισμού που χρησιμοποιεί PHP.

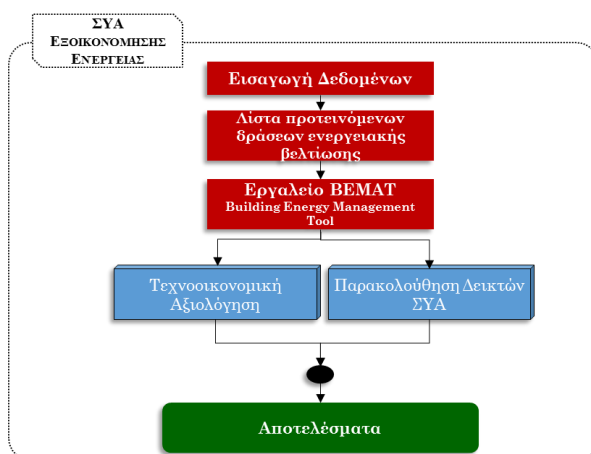
Χάρη στην τμηματική του αρχιτεκτονική και στην προηγμένη υποστήριξη αποθήκευσης δεδομένων προσωρινά για μεταγενέστερη χρήση (caching), το Yii framework είναι κατάλληλο για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Η διαδικτυακή εφαρμογή εκτελείται στο διακομιστή που φιλοξενεί το , που πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις: PHP έκδοση: 5.4.0

ή νεότερη, όριο PHP Μνήμης: 96 MB ή περισσότερη, MySQL έκδοση: 5+, MCrypt βιβλιοθήκη. Τα παρακάτω εργαλεία έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη και την επιτυχή υλοποίηση του online ερωτηματολογίου: jQuery UI & jQuery, WebFonts Google, IcoMoon Font Βιβλιοθήκη, Yii framework, jQuery File Upload, blueimp Gallery, και FSQM module. Σημειώνεται ότι τα δεδομένα του TCV, όπως και του e-SCEAF, αποστέλλονται στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) του Ευρωπαϊκού έργου OPTIMUS: «OPTIMising the energy USe in cities with smart decision support system» (<http://www.optimus-smartcity.eu>) (OPTIMUS, 2016). Στο Σχήμα 4.38 απεικονίζονται τα δεδομένα του TCV στο ΣΥΑ του OPTIMUS.

Μια σημαντική τεχνική λειτουργία του λογισμικού είναι ότι χρησιμοποιεί επικύρωση των δεδομένων που ο χρήστης εισάγει μέσω Javascript. Η μορφή των δεδομένων εισόδου ελέγχεται και δεν επιτρέπονται τα λάθη. Το σύστημα, επίσης, αποτρέπει την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου από αυτοματοποιημένα scripts που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα.

#### IV.4.4 Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων Εξοικονόμησης Ενέργειας

Περιγραφή



Σχήμα 4.39. Διαδικασία προσέγγισης ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας

Στο δεύτερο μέρος της συνιστώσας αυτής, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του ΣΥΑ Εξοικονόμησης Ενέργειας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.39 και υλοποιείται από το Εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων – BEMAT Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015).

Στο πρώτο στάδιο της «Διαχείρισης», οι διαχειριστές των κτιρίων καλούνται να ακολουθήσουν το ΣΥΑ για την Διαχείριση Ενέργειας και να εφαρμόσουν το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο ένα βραχυπρόθεσμο σενάριο διαχείρισης ενέργειας σε εβδομαδιαία βάση. Στην συνέχεια, η μεθοδολογία συνεχίζει με το δεύτερο στάδιο της «Διαχείρισης», το ΣΥΑ για την εξοικονόμηση ενέργειας. Στο ΣΥΑ αυτό, ο διαχειριστής της πόλης εισάγει τα δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης των κτιριακών του εγκαταστάσεων, και μέσω του διαδικτυακού λογισμικού BEMAT τα δεδομένα αναλύονται και στη συνέχεια προτείνονται έντεκα (11) δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Οι δράσεις εξοικονόμησης που προτείνονται είναι οι εξής:

- ▲ Εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας,
- ▲ Εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής,
- ▲ Αντικατάσταση των παλαιών υαλοπινάκων και κουφωμάτων,
- ▲ Αντικατάσταση παλαιών κλιματιστικών,
- ▲ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος (PV),
- ▲ Εγκατάσταση φυσικού αερίου,
- ▲ Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX),
- ▲ Εγκατάσταση εξωτερικών περιόδων,
- ▲ Εγκατάσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου τεχνητού φωτισμού,
- ▲ Αντικατάσταση παλαιών λαμπτήρων φωτισμού,
- ▲ Αντικατάσταση Λέβητα.

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να εφαρμόσει όσα σενάρια επιθυμεί. Μετά, την επιλογή του κάθε σεναρίου, το λογισμικό κάνει αυτόματα τους υπολογισμούς και αξιολογεί τη βιωσιμότητα των προτεινόμενων ενεργειών με τη χρήση τριών οικονομικών δεικτών: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) και Discounted Payback Period (DPP). Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι λειτουργίες και οι δυνατότητες του διαδικτυακού Εργαλείου Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων - Building Energy Management Tool (<http://energymanagement.epu.ntua.gr>).

#### IV.4.5 Λογισμικό Building Energy Management Tool (BEMAT)

*Γενική Περιγραφή* Στο δεύτερο μέρος του πυλώνα «Διαχείρισης» βρίσκεται το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας υλοποιείται από το διαδικτυακό Εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων - BEMAT Το εργαλείο συλλέγει δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας από τις κτιριακές εγκαταστάσεις, αναλύει τα αποτελέσματα και προτείνει δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Το εργαλείο έχει υλοποιηθεί σε Python/Django και χρησιμοποιείται επίσης, στο πλαίσιο της εργαστηριακής άσκησης στο προπτυχιακό μάθημα του 9ου Εξαμήνου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ: «Διαχείριση Ενέργειας & Περιβαλλοντική πολιτική».

Οι αρμόδιες αρχές της πόλης, καταχωρούν τα γενικά χαρακτηριστικά των κτιριακών εγκαταστάσεων και στη συνέχεια το εργαλείο προτείνει μια σειρά δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να εφαρμόσει όσα σενάρια θέλει. Μετά, την επιλογή του κάθε

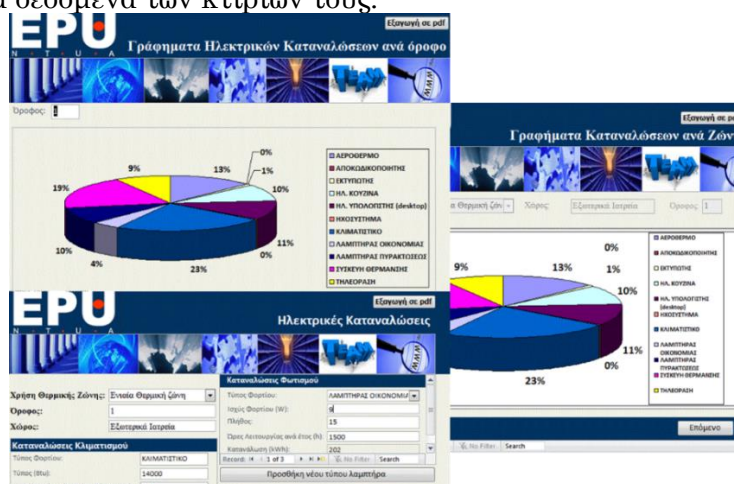


σεναρίου, το λογισμικό κάνει αυτόματα τους υπολογισμούς και αξιολογεί τη βιωσιμότητα των προτεινόμενων ενεργειών με τη χρήση τριών οικονομικών δεικτών: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Discounted Payback Period (DPP). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τις διαδικασίες που παρουσιάζονται στην τεχνική οδηγία 20701 από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας που βασίζεται στην «Ένεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EC, 2010c) και την «Οδηγία Ενεργειακής Αποδοτικότητας (2012/27 / ΕΕ)» (EC, 2012b) της ΕΕ.

#### Εξέλιξη του εργαλείου

Το ΒΕΜΑΤ αποτελεί συνέχεια και εξέλιξη δύο προηγούμενων εκδόσεων: Η πρώτη έκδοση του εργαλείου αναπτύχθηκε το 2014 και ήταν σε Microsoft Access (Papastamatiou et al., 2014). Στη συνέχεια αντικαταστάθηκε με την δεύτερη έκδοση που αναπτύχθηκε το 2015 σε PHP και MySQL (Papastamatiou et al., 2015). Το 2017 αναπτύχθηκε η τρίτη έκδοση του λογισμικού που ονομάστηκε ΒΕΜΑΤ (Papastamatiou et al., 2017).

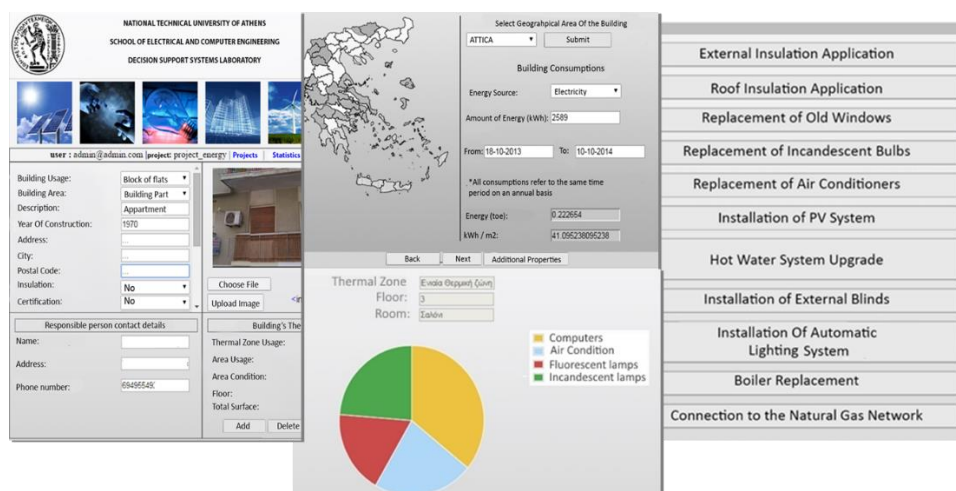
Στην πρώτη έκδοση της εφαρμογής, που αναπτύχθηκε το 2014 σε Microsoft Access, το εργαλείο είχε την δυνατότητα για εισαγωγή ενεργειακών δεδομένων, εφαρμογή δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας και προέβαινε σε τεχνοοικονομικό έλεγχο για την κάθε δράση που επιλεγόταν. Μερικά screenshots από την πρώτη έκδοση του λογισμικού απεικονίζονται στο Σχήμα 4.40. Ωστόσο, λόγω της Microsoft Access, το εργαλείο είχε μια σειρά από περιορισμούς. Αρχικά, ο μεγαλύτερος περιορισμός του λογισμικού ήταν ότι δεν ήταν διαδικτυακό, και απαιτούνταν ο χρήστης να έχει εγκατεστημένο ειδικό λογισμικό και συγκεκριμένα την Microsoft Access. Επίσης, δεν ήταν εύκολη η συλλογή και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Έπρεπε για παράδειγμα οι χρήστες του λογισμικού, και εν προκειμένου οι φοιτητές, να στέλνουν ολόκληρο το αρχείο της Access στους εξεταστές. Ακόμη, η αποσφαλμάτωση σε πραγματικό χρόνο δεν ήταν δυνατή κάτι που αποτελούσε ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα. Εάν για παράδειγμα διαπιστωνόταν μια δυσλειτουργία στην πλατφόρμα, θα έπρεπε οι χρήστες να κατεβάσουν την καινούργια έκδοση και να περάσουν από την αρχή τα δεδομένα των κτιρίων τους.



Σχήμα 4.40. Screenshots από το εργαλείο εξοικονόμησης ενέργειας σε Microsoft Access (Papastamatiou et al., 2014)

Μετά από την πρώτη έκδοση και αφού διαπιστώθηκαν τα σημαντικά πλεονεκτήματα της εφαρμογής από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του λογισμικού, αναπτύχθηκε πολύ σύντομα η δεύτερη έκδοσή του το 2015, η οποία ήταν υλοποιημένη διαδικτυακά (σε PHP και MySQL) λύνοντας με αυτόν τον τρόπο τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της προηγούμενης έκδοσης. Η νέα εφαρμογή ήταν πλέον διαδικτυακή και δεν απαιτούνταν η χρήση ειδικού λογισμικού· αρκούσε μόνο η πρόσβαση στο διαδίκτυο και οποιοσδήποτε περιηγητής (browser). Η νέα έκδοση του λογισμικού περιελάμβανε επιπλέον πλεονεκτήματα όπως: αποσφαλμάτωση σε πραγματικό χρόνο, εύκολη δημιουργία και επεξεργασία των έργων και ευκολότερη συλλογή και διαχείριση περιεχομένου καθώς υπήρχε ένας λογαριασμός διαχειριστή (administrator) με αυξημένα προνόμια (privileges) σε σχέση με τους άλλους χρήστες, που είχε πρόσβαση στη βάση δεδομένων και μπορούσε να δει γρήγορα και συγκεντρωμένα όλα τα αποτελέσματα.

Τέλος, στο περιεχόμενο του εργαλείου προστέθηκαν χρήσιμα πεδία στις ήδη υπάρχουσες καρτέλες σχετικά με το σύστημα ψύξης, το σύστημα ζεστού νερού χρήσης και τους ηλιακούς συλλέκτες του κτιρίου. Το λογισμικό που είχε δημιουργηθεί αποτελούσε μια ολοκληρωμένη επιλογή για την διεξαγωγή ενεργειακών μελετών σε κτίρια. Όμως ακόμη και στη δεύτερη έκδοση υπήρχαν θέματα απόδοσης και μερικοί περιορισμοί. Για παράδειγμα όταν υπήρχαν αρκετοί χρήστες συνδεδεμένοι στην πλατφόρμα δημιουργούνταν καθυστέρηση στον server. Επίσης, το σημαντικότερο μειονέκτημα ήταν η ασφάλεια. Το σύστημα διαχείρισης χρηστών και η διαχείριση ήταν υλοποιημένα χωρίς την υποστήριξη κάποιου framework. Συνεπώς, η πλατφόρμα χρειαζόταν συνεχείς αναβαθμίσεις από τον διαχειριστή, σε καμία όμως περίπτωση δεν θα μπορούσε το επίπεδο ασφάλειας να ήταν καλύτερο εάν το διαχειριστικό υποστηρίζονταν από κάποιο framework. Μερικά screenshots από την δεύτερη έκδοση του λογισμικού απεικονίζονται στο Σχήμα 4.41.



Σχήμα 4.41. Screenshots από το εργαλείο εξοικονόμησης ενέργειας σε PHP και MySQL (Papastamatiou et al., 2015)

Να σημειωθεί ότι η δεύτερη έκδοση του λογισμικού παρουσιάζεται σε δημοσιευμένη εργασία με τίτλο: "Ένα διαδικτυακό εργαλείο για την αξιολόγηση της χρήσης της ενέργειας των κτιρίων στην Ελλάδα" (Papastamatiou et al. (2015)). Τον Ιούλιο του 2015, η δημοσίευση αυτή έλαβε το βραβείο καλύτερης ερευνητικής εργασίας, μετά χρηματικού επάθλου, στο 6ο Διεθνές Συνέδριο της ΙΕΕΕ για την Πληροφορική, τα Ευφυή Συστήματα και τις Εφαρμογές (IISA 2015) στο Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Κέρκυρα, Ελλάδα.

Για να την περαιτέρω βελτίωση του λειτουργικού και συγκεκριμένα για την καλύτερη απόδοση, αξιοπιστία και ασφάλεια αναπτύχθηκε η τρίτη, και τρέχουσα, έκδοση του λογισμικού με την χρήση του εργαλείου Django, το οποίο είναι ένα framework ανοιχτού κώδικα σε Python.

Το τρέχον λογισμικό έχει τα εξής κύρια πλεονεκτήματα:

- ▲ Είναι διαδικτυακό: Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο λογισμικό από οπουδήποτε και χρησιμοποιώντας ό,τι συσκευή επιθυμεί (pc, notebook, tablet, smartphone). Αρκεί μόνον σύνδεση στο Διαδίκτυο.
- ▲ Είναι φιλικό και εύκολο προς τον χρήστη.
- ▲ Είναι σύγχρονο: Στο λογισμικό είναι ενσωματωμένες προηγμένες διαδικτυακές τεχνολογίες και χρησιμοποιούνται σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού.
- ▲ Είναι επεκτάσιμο: Μπορούν να προστεθούν εύκολα και γρήγορα καινούρια κομμάτια κώδικα που θα βελτιώνουν, αλλά και θα προσθέτουν, νέα χαρακτηριστικά στο λογισμικό.
- ▲ Είναι εύκολο στην αποσφαλμάτωση: Εάν παρατηρηθούν κάποια σφάλματα, διορθώνονται γρήγορα και χωρίς μεγάλες αλλαγές στη δομή του κώδικα.
- ▲ Είναι γρήγορο ακόμη και με πολλούς συνδεδεμένους χρήστες ταυτόχρονα.
- ▲ Είναι ασφαλές: Περιλαμβάνει σημαντικά χαρακτηριστικά ασφαλείας καθώς είναι ανεπτυγμένο με framework και όχι με το χέρι - by hand όπως οι δυο προηγούμενες εκδόσεις.
- ▲ Είναι αξιόπιστο: Το τρέχον λογισμικό είναι σταθερό και οι ενημερώσεις πραγματοποιούνται πολύ εύκολα καθώς υποστηρίζεται από την κοινότητα χρηστών του Django.
- ▲ Η διαχείριση του κώδικα του λογισμικού γίνεται διαδικτυακά, με τον πλέον σύγχρονο τρόπο, από το Bitbucket. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα έλεγχος και αποσφαλμάτωση του λογισμικού γρήγορα και εύκολα από όλους τους διαχειριστές της πλατφόρμας.

Στον Πίνακα 4.5. που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαφορές στις λειτουργίες των τριών εκδόσεων του λογισμικού.

**Πίνακας 4.5: Σύγκριση των εκδόσεων του λογισμικού διαχείρισης ενέργειας**  
**1. Microsoft Access (Papastamatiou et al., 2014), 2. PHP και MySQL**  
**(Papastamatiou et al., 2015), 3. BEMAT (Papastamatiou et al., 2017).**

Λειτουργίες	1η Έκδοση Microsoft Access - Visual Basic	2η Έκδοση PHP - Mysql	3η Έκδοση Django - Python
Εισαγωγή ενεργειακών δεδομένων	✓	✓	✓
Εφαρμογή δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας	✓	✓	✓
Τεχνοοικονομικός έλεγχος	✓	✓	✓
Έλεγχος των δεδομένων	✓	✓	✓
Διαδικτυακό	✗	✓	✓
Λογαριασμός διαχειριστή	✗	✓	✓
Συλλογή και διαχείριση αποτελεσμάτων	✗	✓	✓
Αποσφαλμάτωση σε πραγματικό χρόνο	✗	✓	✓
Υποστήριξη framework	✗	✗	✓
Προσαρμόσιμη ανάλυση οθόνης σε όλες τις συσκευές	✗	✗	✓
Online κώδικας - Bitbucket	✗	✗	✓
Ασφάλεια	✗	✗	✓
Απόδοση κώδικα	✗	✗	✓
Αξιοπιστία	✗	✗	✓
Ταχύτητα	✗	✗	✓
Εύκολη χρήση	✗	✗	✓
Επεκτάσιμο	✗	✗	✓
Ταυτόχρονη χρήση μεγάλου αριθμού χρηστών	✗	✗	✓

Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται περαιτέρω ανάλυση της τελευταίας έκδοσης του λογισμικού BEMAT καθώς και γιατί επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες τεχνολογίες συγκριτικά με τις υπόλοιπες.

**MVC – MVT Django Framework** Το Django framework ακολουθεί το μοντέλο αρχιτεκτονικής λογισμικού MVT (model-view-template), το οποίο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία περιβαλλόντων αλληλεπίδρασης χρήστη. Είναι μία παραλλαγή του MVC (model-view-controller), που στο μοντέλο αυτό η εφαρμογή διαιρείται σε τρία διασυνδεδεμένα μέρη ώστε να διαχωριστεί η παρουσίαση της πληροφορίας στον χρήστη από την μορφή που έχει αποθηκευτεί στο σύστημα. Το κύριο μέρος του μοντέλου είναι το αντικείμενο Model το οποίο διαχειρίζεται την ανάκτηση/αποθήκευση των δεδομένων στο σύστημα. Το αντικείμενο View χρησιμοποιείται μόνο για να παρουσιάζεται η πληροφορία στον χρήστη (π.χ. με γραφικό τρόπο). Το τρίτο μέρος είναι ο Controller ο οποίος δέχεται την είσοδο και στέλνει εντολές στο αντικείμενο Model και στο View (Wikipedia, 2016).

Στο Django ένα μοντέλο (model) περιγράφει τι είδους δεδομένα αποθηκεύονται στον εξυπηρετητή (server). Έτσι, αυτό είναι παρόμοιο με το μοντέλο στο πρότυπο MVC. Η όψη (view) περιγράφει ποια δεδομένα επιστρέφονται στους χρήστες. Ενώ η όψη ενός προτύπου MVC περιγράφει πώς παρουσιάζονται τα δεδομένα. Το template περιγράφει πώς τα δεδομένα παρουσιάζονται στους χρήστες. Έτσι, αυτό είναι παρόμοιο με την όψη του πρότυπου MVC. Ο ελεγκτής (controller) καθορίζει το μηχανισμό που παρέχεται από το πλαίσιο: ο κώδικας που ορίζει το δρόμο σε μια εισερχόμενη αίτηση προς την κατάλληλη όψη. Έτσι, αυτό είναι παρόμοιο με τον ελεγκτή του πρότυπου MVC. Λόγω αυτών των διαφορών του σχεδιασμού του django σε σύγκριση με το πρότυπο MVC, συνήθως αποκαλείται ο σχεδιασμός του django Model-View-Template + Controller όπου ο Controller συχνά παραλείπεται επειδή είναι μέρος του framework. Ως εκ τούτου, οι περισσότεροι αποκαλούν το πρότυπο σχεδιασμού του django MVT ή MTV (Python Central, 2017).

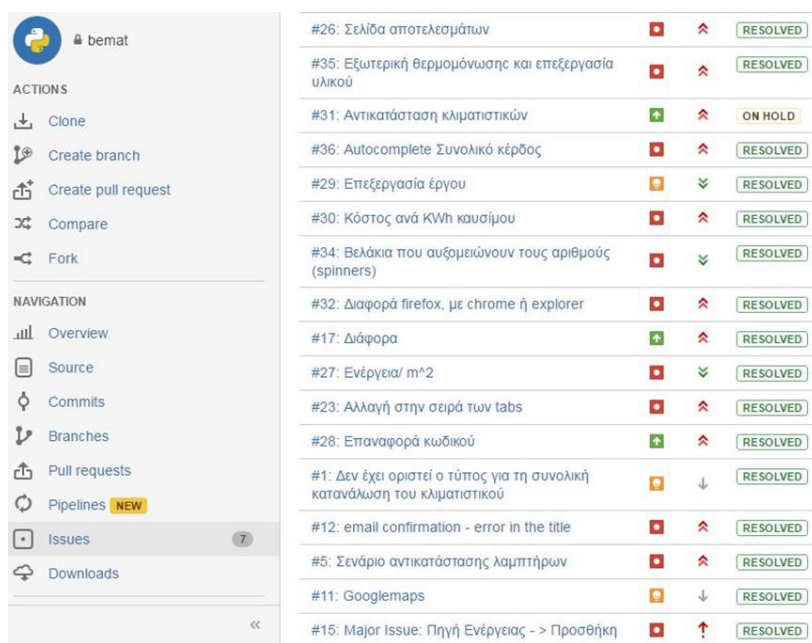
**Python vs. PHP** Η PHP είναι γρήγορη, ευέλικτη, ευρέως χρησιμοποιούμενη γλώσσα προγραμματισμού για τα πάντα, από ένα απλό blog ως τις πιο δημοφιλείς και δυναμικές ιστοσελίδες στον κόσμο. Μαθαίνεται εύκολα, χρησιμοποιείται από μεγάλη κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών, παρέχει εκτεταμένη υποστήριξη και διαθέτει μεγάλο αριθμό διαθέσιμων επεκτάσεων και πηγαίου κώδικα, μπορεί να αναπτυχθεί στους περισσότερους Web Servers και λειτουργεί σχεδόν σε κάθε λειτουργικό σύστημα και πλατφόρμα.

Η Python επίσης είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη υψηλού επιπέδου γλώσσα για προγραμματιστές που εκφράζει έννοιες με λιγότερες γραμμές κώδικα. Είναι εύκολη και μαθαίνεται γρήγορα, τρέχει σε πολλαπλά συστήματα και πλατφόρμες, έχει οργανωμένη και ευκολοδιάβαστη σύνταξη, παρέχει γρήγορη δημιουργία εφαρμογών ελέγχοντας και εισάγοντας σημαντικές συναρτήσεις, είναι επαναχρησιμοποιήσιμη μέσω των packages και modules που διαθέτει. Όμως υπάρχουν λιγότεροι προγραμματιστές Python σε σχέση με την PHP, αν και έχει αρκετά καλό documentation.

**Περιγραφή και Ανάπτυξη του Λογισμικού** Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα της δεύτερης έκδοσης όπως η απόδοση, η αξιοπιστία, η ασφάλεια και η επεκτασιμότητα, δημιουργήθηκε το ΒΕΜΑΤ. Φυσικά στην νέα έκδοση προστέθηκαν

επιπλέον χαρακτηριστικά και βελτιώθηκαν τα ήδη υπάρχοντα. Για την υλοποίηση της τρίτης έκδοσης του λογισμικού χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι και οι μαθηματικοί τύποι – με τις κατάλληλες διορθώσεις και προσθήκες από την προηγούμενη έκδοση. Η υλοποίηση του λογισμικού πραγματοποιήθηκε από την αρχή, κυρίως χρησιμοποιώντας Python 3 και το framework Django λόγω των πλεονεκτημάτων όπως αναφέρθηκαν παραπάνω. Δεδομένου ότι η ασφάλεια είναι μεγάλης σημασίας για τις web-εφαρμογές, έγινε προσπάθεια να καταστεί το λογισμικό όσο πιο ασφαλές γίνεται. Υπάρχει προστασία απέναντι σε XSS και CSRF επιθέσεις.

Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, το Bitbucket για τη διαχείριση του κώδικα και το debugging. Το Bitbucket είναι μια web-based υπηρεσία φιλοξενίας για έργα που χρησιμοποιούν ως συστήματα ελέγχου εκδόσεων (VCS – Version Control Systems) είτε το Mercurial ή το Git (στη συγκεκριμένη περίπτωση). Το Bitbucket προσφέρει δωρεάν λογαριασμούς με απεριόριστο αριθμό ιδιωτικών αποθετηρίων (repositories) που μπορούν να έχουν έως και πέντε χρήστες στην περίπτωση των δωρεάν λογαριασμών. Επίσης και το Bitbucket είναι γραμμένο σε python χρησιμοποιώντας το framework Django. Το Bitbucket είναι χρήσιμο εργαλείο ιδιαίτερα για συνεργατικά projects, γιατί εκεί είναι ανεβασμένος ο κώδικας του εργαλείου, οπότε όλοι οι εμπλεκόμενοι (ανάλογα με τα δικαιώματά τους) μπορούν να δουν online την πιο ανανεωμένη έκδοση του κώδικα, να πραγματοποιήσουν αλλαγές βλέποντας παράλληλα τι έχουν προσθέσει και τι αφαιρέσαν για καλύτερη κατανόηση μελλοντικά, να σχολιάσουν πάνω σε συγκεκριμένα μέρη του κώδικα, να παρακολουθήσουν την εξέλιξη του κώδικα να προσθέσουν issues (πιθανά bugs, προτάσεις κ.α.) για να τα λύσουν οι ίδιοι αργότερα ή οι συνεργάτες τους όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 4.42 από τον λογαριασμό Bitbucket του λογισμικού BEMAT .



Σχήμα 4.42. Screenshot από το από τον λογαριασμό Bitbucket του λογισμικού BEMAT

Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται αμέσως αντιληπτό ανά πάσα στιγμή εάν κάποιος από την ομάδα υλοποίησης της εφαρμογής άλλαξε κάτι, τότε έγινε η αλλαγή στον κώδικα, γιατί κ.α. Όλα αυτά βοηθούν στο να υπάρχει μια συνολική άποψη για τον κώδικα, ώστε να μη χάνεται χρόνος για εξηγήσεις, αφού υπάρχουν όλα διαδικτυακά και απεικονίζονται με πολύ εύκολο τρόπο.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το PyCharm το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE – Integrated Development Environment) που βοήθησε στην ανάπτυξη του εργαλείου. Για βάση δεδομένων επιλέχθηκε η PostgreSQL η οποία είναι μια σχεσιακή βάση δεδομένων ανοικτού κώδικα με πολλές δυνατότητες. Ως δοκιμαστικός server χρησιμοποιήθηκε ο server του Django ο οποίος ξεκινά με την εντολή runserver (Djangoproject, 2017).

Για το deployment του εργαλείου (ανέβασμα του εργαλείου στο διαδίκτυο για το ευρύ κοινό) το Heroku,. Το Heroku είναι μια πλατφόρμα που υποστηρίζει διάφορες γλώσσες προγραμματισμού και χρησιμοποιείται ως μοντέλο ανάπτυξης web εφαρμογών. Είναι αξιόπιστο και σταθερό, έχει εύκολη εγκατάσταση και γρήγορη διαχείριση, είναι εύκολο στην επεκτασιμότητα, η ενσωμάτωση της βάσης δεδομένων είναι αρκετά απλή με την PostgreSQL, έχει μεγάλη υποστήριξη plugin για εφαρμογές από τρίτους. Επίσης, εκτός των λογαριασμών των χρηστών υπάρχει και ένας λογαριασμός που είναι διαχειριστικός (administrator), μέσω του οποίου μπορεί να δει κανείς όλα τα έργα και γενικότερα οτιδήποτε έχει υλοποιηθεί από τους χρήστες. Τα αρχικά αρχεία του Django είναι το models.py, το urls.py και το views.py. Το models.py ορίζει το μοντέλο δεδομένων, δηλαδή τους πίνακες στη βάση δεδομένων. Το urls.py περιλαμβάνει τους ορισμούς των urls του project, μέσα από τους οποίους οδηγούμαστε στις κατάλληλες views. Στο views.py περιλαμβάνεται ο κώδικας που ορίζει τι θα πραγματοποιηθεί.

#### **Δομική Σχεδίαση του λογισμικού**

Το εργαλείο υλοποιήθηκε αρχικά για το εργαστήριο του μαθήματος «Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική» της Ροής Ε που διδάσκεται στο 9ο Εξάμηνο της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ. Το ΒΕΜΑΤ υποστηρίζει, επίσης, το ΣΥΑ για την εξοικονόμηση ενέργειας του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την ενεργειακή διαχείριση των κτιρίων.

Μερικές λειτουργίες και δυνατότητες του λογισμικού είναι:

- ▲ Δημιουργία λογαριασμού χρήστη ώστε να έχει τη δυνατότητα ο χρήστης να διαχειρίζεται το λογαριασμό του όποτε επιθυμεί.
- ▲ Έλεγχος των δεδομένων που εισάγονται από το χρήστη και εμφάνιση κατάλληλου μηνύματος σε περίπτωση λανθασμένης εισαγωγής δεδομένων, έτσι ώστε να αποτρέπει παράλογα και ανεφάρμοστα αποτελέσματα.
- ▲ Παρουσίαση διαγραμμάτων που επιτρέπει στο χρήστη να έχει εποπτική εμφάνιση των δεδομένων που εισάγει αλλά και των αποτελεσμάτων που εξάγει το λογισμικό.
- ▲ Ασφάλεια των δεδομένων που παρέχει οι χρήστης.

Συνοπτικά στο λογισμικό που δημιουργήθηκε, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν τον προσωπικό τους λογαριασμό, στον οποίο μπορούν να προσθέσουν έργα και μέσα στα έργα τα κτίρια της αρεσκείας τους. Μπορούν να προσθέσουν πληροφορίες για το κτίριο, όπως αν είναι μονωμένο, τα τετραγωνικά, τη διεύθυνσή του κ.α. Μέσα από τη διεύθυνση του κτιρίου υπολογίζεται από το εργαλείο η κλιματική ζώνη (Α, Β, Γ ή Δ) που βρίσκεται το κτίριο, στοιχείο βασικό για τον υπολογισμό του μέγιστου συντελεστή θερμοπερατότητας και των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης (εσωτερικά και εξωτερικά) ανάλογα με την κλιματική ζώνη.

Στην συνέχεια ο χρήστης προσθέτει τις καταναλώσεις του κτιρίου (ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο θέρμανσης, φυσικό αέριο, βιομάζα) για τη χρονική περίοδο που επιθυμεί και εμφανίζεται το σχετικό διάγραμμα. Μπορεί να προσθέσει στοιχεία για τα συστήματα του κτιρίου (π.χ. στοιχεία λέβητα, σύστημα ψύξης κ.α.) και επίσης να εισάγει στοιχεία σχετικά με τις θερμικές ζώνες και τις καταναλώσεις του κτιρίου σε αυτές.

Επιπλέον, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα υλοποίησης έντεκα δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας (π.χ. εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας, αντικατάσταση λαμπτήρων πυρακτώσεως, εγκατάσταση φωτοβολταϊκών). Αφού ο χρήστης εισαγάγει τα κατάλληλα στοιχεία στη δράση υπολογίζονται από το λογισμικό τα εξής οικονομικά μεγέθη:

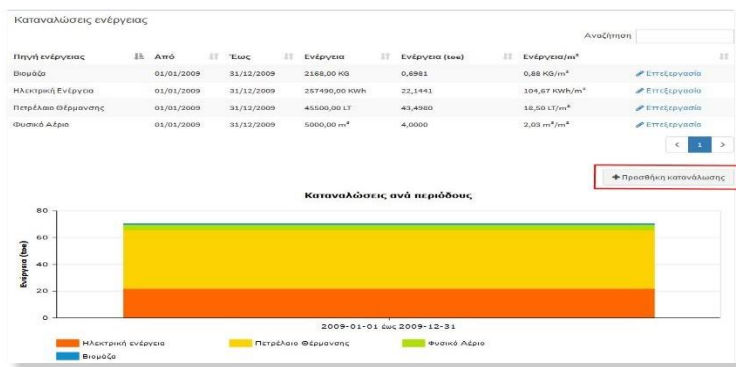
- ▲ Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ): συνολικό καθαρό όφελος της επένδυσης
- ▲ Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (ΕΒΑ): επιτόκιο που μηδενίζει την ΚΠΑ
- ▲ Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ): απαιτούμενο χρονικό διάστημα για την αποπληρωμή της επένδυσης

Ο χρήστης έχει κέρδος από την επένδυση στη δράση αν  $ΚΠΑ > 0$ , ζημία αν  $ΚΠΑ < 0$  και δεν έχει ούτε κέρδος, ούτε ζημία όταν  $ΚΠΑ = 0$ . Αν η ΚΠΑ προκύψει αρνητική, τότε εμφανίζεται στο χρήστη προειδοποιητικό μήνυμα ότι η δράση δεν είναι βιώσιμη. Τέλος, παρουσιάζεται διάγραμμα ανάλογα με το ύψος της επένδυσης στη δράση και την ΚΠΑ της δράσης, ώστε ο χρήστης να μπορεί να αξιολογήσει συγκεντρωτικά τις δράσεις που έχει επιλέξει.



**Ενεργειακό  
προφίλ κτιρίου**

Στην καρτέλα «Ενεργειακό προφίλ», ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει τις καταναλώσεις του κτιρίου επιλέγοντας το κουμπί «Προσθήκη κατανάλωσης» όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.51. Κατόπιν ανοίγει η καρτέλα για την εισαγωγή των στοιχείων και ο χρήστης επιλέγει την πηγή ενέργειας, το χρονικό διάστημα και το ποσό της ενέργειας και αποθηκεύει. Ο χρήστης αν επιθυμεί, έχει τη δυνατότητα να προσθέσει επιπλέον καταναλώσεις, μέσω της επιλογής «Προσθήκη κατανάλωσης». Το εργαλείο παρουσιάζει σε διάγραμμα όλες τις καταναλώσεις που προστέθηκαν όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.46.



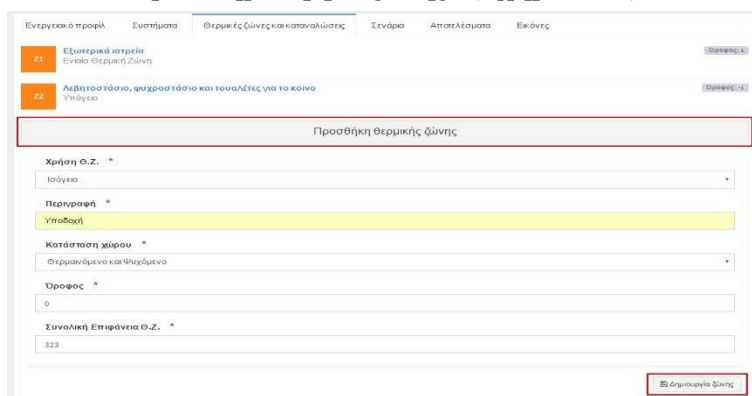
**Σχήμα 4.46: Screenshot από το λογισμικό BEMAT - Καταναλώσεις ενέργειας**

**Κτιριακά  
συστήματα**

Επιλέγοντας την καρτέλα «Συστήματα» από την σελίδα «Προφίλ κτιρίου», ο χρήστης βλέπει τα ενεργειακά συστήματα του κτιρίου που έχει τη δυνατότητα να προσθέσει. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν το λέβητα, το σύστημα ψύξης, το σύστημα θέρμανσης, το σύστημα ζεστού νερού χρήσης και τους ηλιακούς συλλέκτες. Για την εισαγωγή δεδομένων για κάθε ενεργειακό κτιριακό σύστημα, ο χρήστης επιλέγει τον υπερσύνδεσμο «Εισαγωγή». Μετά την εισαγωγή του κάθε κτιριακού συστήματος, ο χρήστης έχει την δυνατότητα της επεξεργασίας των στοιχείων που έχει προσθέσει, επιλέγοντας τον υπερσύνδεσμο «Επεξεργασία».

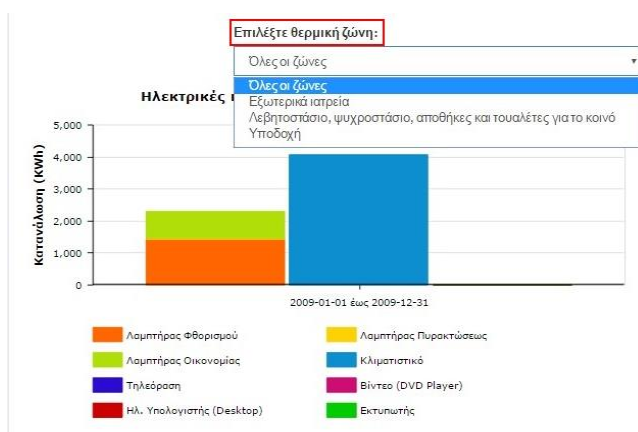
**Θερμικές ζώνες  
και  
καταναλώσεις**

Οι θερμικές ζώνες (ομάδες χώρων με ομοιόμορφη συμπεριφορά φορτίων και ομοιόμορφη απαίτηση συνθηκών αέρα) εισάγονται από το χρήστη όταν επιλέξει από την σελίδα «Προφίλ κτιρίου», την καρτέλα «Θερμικές ζώνες και καταναλώσεις». Για να προσθέσει θερμική ζώνη, ο χρήστης επιλέγει το πεδίο «Προσθήκη θερμικής ζώνης», εισάγει τα απαραίτητα στοιχεία και επιλέγει «Δημιουργία ζώνης» (Σχήμα 4.47).



**Σχήμα 4.47: Screenshot από το λογισμικό BEMAT – Θερμικές ζώνες**

Αφότου ο χρήστης καταχωρήσει τις θερμικές ζώνες (ή τη θερμική ζώνη ανάλογα με το χώρο του χρήστη), έχει τη δυνατότητα να προσθέσει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτιρίου -οι οποίες είναι είτε φωτισμού, είτε κλιματισμού ή άλλες ηλεκτρικές συσκευές- μέσω της επιλογής «Προσθήκη κατανάλωσης». Είναι απαραίτητο (για την προσθήκη κατανάλωσης), ο χρήστης να έχει ήδη δημιουργήσει στο «Ενεργειακό προφίλ» μία τουλάχιστον κατανάλωση με πηγή ενέργειας την ηλεκτρική. Επίσης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα μέσω των αντίστοιχων εικονιδίων να επεξεργαστεί ή και να διαγράψει τις αποθηκευμένες καταναλώσεις (Σχήμα 4.48).



Σχήμα 4.48: Screenshot από το λογισμικό BEMAT – Καταναλώσεις στις θερμικές ζώνες

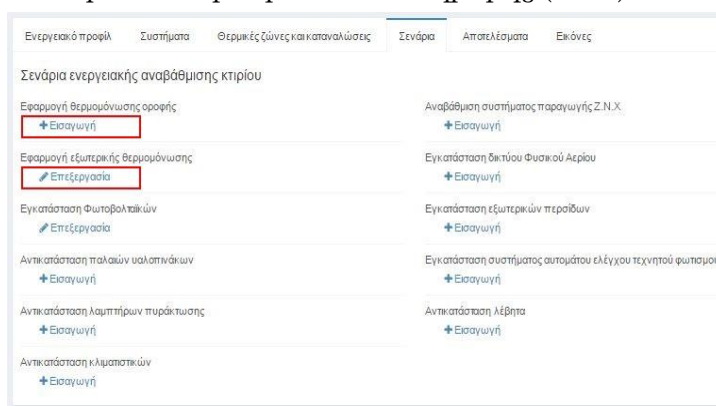
Αν κάποια κατανάλωση έχει δημιουργηθεί – δηλαδή υπάρχει κάτω από το διάγραμμα, αλλά δε φαίνεται στο διάγραμμα λόγω μικρού μεγέθους (π.χ. εκτυπωτής, βίντεο όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.50), ο χρήστης πατώντας κλικ πάνω στις καταναλώσεις κάτω από το διάγραμμα (κάνοντας τις γκρι), τις κάνει να μην εμφανίζονται στο διάγραμμα, οπότε φαίνονται και οι υπόλοιπες καταναλώσεις αφού η κλίμακα αλλάζει αυτόματα.

**Προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας - Ενεργειακά σενάρια**

Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης καλείται να επιλέξει συγκεκριμένα ενεργειακά σενάρια για την ενεργειακή διαχείριση και την εξοικονόμηση του υπό εξέταση κτιρίου. Τα διαθέσιμα σενάρια παρουσιάζονται στην λίστα που φαίνεται στο Σχήμα 4.49. Για την εισαγωγή δεδομένων σε κάθε σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας, ο χρήστης επιλέγει τον υπερσύνδεσμο «Εισαγωγή». Μετά την εισαγωγή δεδομένων στο κάθε σενάριο, ο χρήστης έχει την δυνατότητα επεξεργασίας των στοιχείων που έχει προσθέσει, επιλέγοντας τον υπερσύνδεσμο «Επεξεργασία».

Το εργαλείο προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη, αφού επιλέξει το σενάριο που επιθυμεί, να συμπληρώσει συγκεκριμένα πεδία σχετικά με το κάθε σενάριο όπως το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, την επιφάνεια, την ισχύ των λαμπτήρων κλπ. ανάλογα με το είδος του σεναρίου, καθώς και οικονομικά στοιχεία -σχεδόν σε όλα τα σενάρια είναι κοινά- όπως το συνολικό κόστος της επένδυσης, το χρονικό διάστημα και τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, τα λειτουργικά έξοδα ανά έτος και το επιτόκιο αναγωγής. Ύστερα το εργαλείο υπολογίζει αυτόματα

την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ), τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (ΕΒΑ) και την Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής (ΕΠΑ).



Σχήμα 4.49: Screenshot από το λογισμικό BEMAT –Ενεργειακά σενάρια

### **Εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιία**

Ο χρήστης επιλέγοντας «Εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας» έχει τη δυνατότητα να εισάγει μέσω της επιλογής «Προσθήκη υλικού» τα υλικά της υπάρχουσας εξωτερικής τοιχοποιίας καθώς και τα υλικά της μόνωσης που επιθυμεί να εφαρμόσει. Επίσης, μέσω των αντίστοιχων εικονιδίων, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί και να διαγράψει τα υλικά που έχει ήδη προσθέσει.

### **Εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής**

Ο χρήστης επιλέγοντας την «Εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής», έχει τη δυνατότητα να εισάγει μέσω της επιλογής «Προσθήκη υλικού» τα υλικά της υπάρχουσας οροφής καθώς και τα υλικά της μόνωσης που επιθυμεί να εφαρμόσει. Επίσης, μέσω των αντίστοιχων εικονιδίων, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί και να διαγράψει τα υλικά που έχει ήδη προσθέσει. Το σενάριο έχει την ίδια λογική με το σενάριο Εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας.

### **Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών**

Ο χρήστης εισάγει στοιχεία όπως η ποσότητα-τιμή των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των μεταλλικών βάσεων στήριξης, των σωληνώσεων, των μετατροπέων ισχύος, των καλωδιώσεων και των μεταφορών. Κατόπιν υπολογίζεται το συνολικό κόστος αυτόματα από το εργαλείο και ο χρήστης εισάγει μερικούς ενεργειακούς δείκτες όπως η ισχύς ανά πλαίσιο, ο βαθμός απόδοσής τους, η κλίση τους και άλλα στοιχεία των φωτοβολταϊκών πλαισίων και τους απαραίτητους οικονομικούς δείκτες.

### **Αντικατάσταση παλαιών υαλοπινάκων**

Ο χρήστης εισάγει τα στοιχεία που αφορούν στην αντικατάσταση των υαλοπινάκων όπως τον παλιό και το νέο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των υαλοπινάκων και την επιφάνειά τους. Κατόπιν υπολογίζονται αυτόματα από το εργαλείο οι απώλειες/χρόνο (kWh) πριν και μετά την αλλαγή των υαλοπινάκων τους θερινούς και τους χειμερινούς μήνες, τα ενεργειακά και τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν.

### Αντικατάσταση παλαιών λαμπτήρων

Ο χρήστης εισάγει τα στοιχεία της υπάρχουσας εγκατάστασης φωτισμού αλλά και της νέας εγκατάστασης που θέλει να τοποθετήσει όπως τον τύπο φορτίου, την ισχύ φορτίου, το πλήθος των λαμπτήρων και τις ώρες λειτουργίας ανά έτος κάθε λαμπτήρα. Έπειτα υπολογίζεται αυτόματα η κατανάλωση σε kWh. Κατόπιν ο χρήστης εισάγει το κόστος ανά λαμπτήρα και τυχόν επιπρόσθετα κόστη (π.χ. κόστος για την τοποθέτηση της εγκατάστασης).

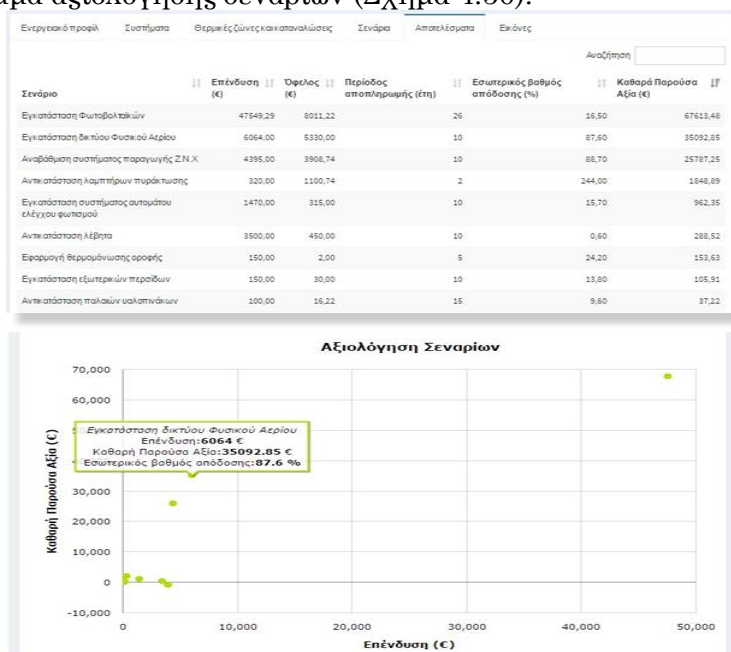
### Αντικατάσταση κλιματιστικών

Ο χρήστης επιλέγοντας την «Αντικατάσταση κλιματιστικών», αφού εισάγει τα στοιχεία για την υπάρχουσα και τη νέα εγκατάσταση κλιματιστικών, όπως: BTU, συντελεστές ισχύος θέρμανσης (COP) και ψύξης (EER), ώρες λειτουργίας ανά έτος, και το πλήθος των κλιματιστικών του ίδιου τύπου, το εργαλείο υπολογίζει αυτόματα την κατανάλωση σε kWh και το ετήσιο οικονομικό όφελος.

### Υπόλοιπα σενάρια

Τα σενάρια «Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής Ζ.Ν.Χ.», «Εγκατάσταση δικτύου φυσικού αερίου», «Εγκατάσταση εξωτερικών περιόδων», «Εγκατάσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου τεχνητού φωτισμού» και «Αντικατάσταση λέβητα» έχουν παρόμοιο τρόπο αντιμετώπισης.

**Αποτελέσματα** Ο χρήστης επιλέγοντας την καρτέλα «Αποτελέσματα» έχει τη δυνατότητα να δει συγκεντρωτικά όλα τα δυνατά σενάρια ενεργειακής εξοικονόμησης, τα οποία έχει συμπληρώσει. Το εργαλείο έχει προεπιλεγμένη την προβολή των σεναρίων ταξινομημένα κατά φθίνουσα σειρά ως προς την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ). Όμως ο χρήστης επιλέγοντας τον τίτλο της αντίστοιχης στήλης, έχει τη δυνατότητα να ταξινομήσει τα σενάρια όπως επιθυμεί, καθώς και να δει εποπτικά στο διάγραμμα αξιολόγησης σεναρίων (Σχήμα 4.50).



Σχήμα 4.50: Screenshot από το λογισμικό BEMAT – Αποτελέσματα Αξιολόγησης Σεναρίων

## IV.5 Συμπεράσματα

---

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο ενσωματώνει δυο συνιστώσες («Assessment, Management»), που αφορούν στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάστασης, το σχεδιασμό εναλλακτικών δράσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας και την υποστήριξη αποφάσεων, τόσο κατά τη φάση ανάπτυξης των δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης, όσο και κατά την παρακολούθηση και τον έλεγχο των στόχων που έχουν τεθεί. Η προτεινόμενη προσέγγιση, αποσκοπεί να υποστηρίξει ουσιαστικά και ρεαλιστικά τις τοπικές και περιφερειακές αρχές. Και οι δύο συνιστώσες είναι άμεσα διασυνδεδεμένες μεταξύ τους, ωστόσο μπορούν να αποτελέσουν ξεχωριστά η κάθε μία επιμέρους εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων.

Η συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση) αποτελεί το σημείο εκκίνησης και τερματισμού της μεθοδολογίας. Η «**Ex-Ante Assessment**» αφορά στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάσταση του ενεργειακού δυναμικού της πόλης και στην αξιολόγησή της. Στο στάδιο της «Εκ των προτέρων Αξιολόγησης», της αξιολόγησης δηλαδή πριν την εφαρμογή των δράσεων, επισημαίνονται τα δυνατά σημεία, οι τομείς χαμηλής απόδοσης και οι δυνατότητες της πόλης για ενεργειακή διαχείριση. Τα αποτελέσματα αυτής της συνιστώσας αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης, καθώς και την παρακολούθηση των στόχων που έχουν τεθεί από τις τοπικές αρχές.

Η μεθοδολογία συνεχίζει με την συνιστώσα «**Management**» (Διαχείριση). Κατά το στάδιο αυτό, και αφού οι τοπικές αρχές των πόλεων έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσης, οι διαχειριστές των πόλεων επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις.

Μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης, η μεθοδολογία ολοκληρώνεται με την εκ νέου εφαρμογή της συνιστώσας «Assessment» που σε αυτό το στάδιο καλείται «**Ex-Post Assessment**». Κατά την διάρκεια της «Εκ των υστέρων Αξιολόγησης», της αξιολόγησης δηλαδή ύστερα από την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής Διαχείρισης, η πόλη αξιολογείται εκ νέου με βάση τους ίδιους δείκτες και τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της προηγούμενης εφαρμογής. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η πρόοδος της πόλης και οι στόχοι που έχουν θέσει οι τοπικές αρχές των πόλεων. Ο ενεργειακός διαχειριστής της πόλης, ανάλογα με τα αποτελέσματα, μπορεί να ξεκινήσει εκ νέου την προτεινόμενη μεθοδολογία προκειμένου να βελτιώσει όλους τους δείκτες και να φτάσει όσο πιο κοντά μπορεί στην «OPTIMUS» (ιδανική) πόλη που έχει άριστα αποτελέσματα σε όλους τους δείκτες.

Στη συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση) χρησιμοποιείται το πρωτότυπο διαδικτυακό εργαλείο **e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool)** (Papastamatiou et al., 2016 <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων. Με το e-SCEAF και μέσα από μια απλοποιημένη διαδικασία, οι τοπικές αρχές μπορούν να εντοπίσουν εύκολα τους τομείς της πόλης που υπολειτουργούν και να διευκολυνθεί η επιλογή των βελτιωτικών δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας προκειμένου η πόλη να γίνει “πιο έξυπνη” και ενεργειακά πιο αποδοτική. Το λογισμικό αναλύει τα δεδομένα που εισάγουν οι τοπικές αρχές και αξιολογεί την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση της πόλης βάσει τριών αξόνων:

- ▲ Πολιτικό πεδίο δράσης
- ▲ Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ
- ▲ Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ)

Οι προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας προκύπτουν από τη συνιστώσα «Assessment» και προέρχονται από δύο (2) Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ):

- ▲ Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakakis et al., 2017) και υλοποιείται με την βοήθεια του διαδικτυακού εργαλείου **TCV - Thermal Comfort Validator** (Papastamatiou et al., 2017).
- ▲ Το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιέχει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας. Τα σενάρια αυτά προέρχονται από το διαδικτυακό εργαλείο διαχείρισης ενέργειας κτιρίων **Building Energy Management Tool – BEMAT** (Papastamatiou et al., 2015).

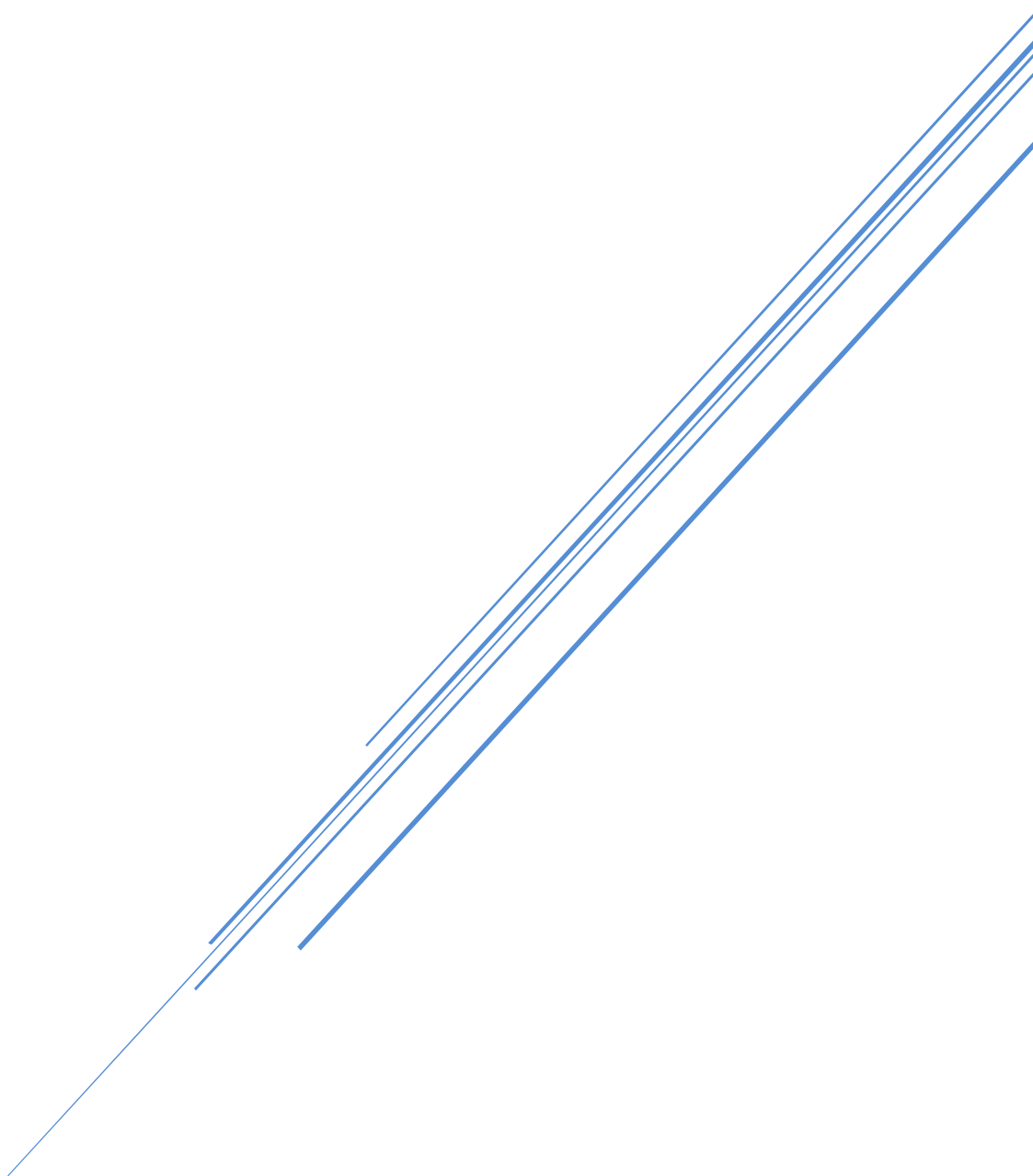
Να σημειωθεί, επίσης, ότι η δεύτερη έκδοση του λογισμικού ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων BEMAT παρουσιάζεται σε δημοσιευμένη εργασία με τίτλο: *"A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece"* (Papastamatiou et al. (2015). Τον Ιούλιο του 2015, η δημοσίευση αυτή έλαβε το βραβείο καλύτερης ερευνητικής εργασίας, μετά χρηματικού επάθλου, στο 6ο Διεθνές Συνέδριο της IEEE για την Πληροφορική, τα Ευφυή Συστήματα και τις Εφαρμογές (IISA 2015) στο Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Κέρκυρα, Ελλάδα.

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο δίνει στις τοπικές αρχές τη δυνατότητα να συγκρίνουν την απόδοση της πόλης και των κτιρίων πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης. Επίσης, μπορούν να συγκρίνουν και να αξιολογήσουν ενεργειακά την πόλη στο σύνολο των τομέων της ή των κτιρίων αυτής με άλλες πόλεις ή άλλα κτίρια αντίστοιχα.

Στο επόμενο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή και η αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε πραγματικό πρόβλημα σε τρεις Ευρωπαϊκές Πόλεις.

# Κεφάλαιο V

Πιλοτική Εφαρμογή



**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Εξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

*Ηλίας Μ. Παπασταματίου*





## V.1 Εισαγωγή

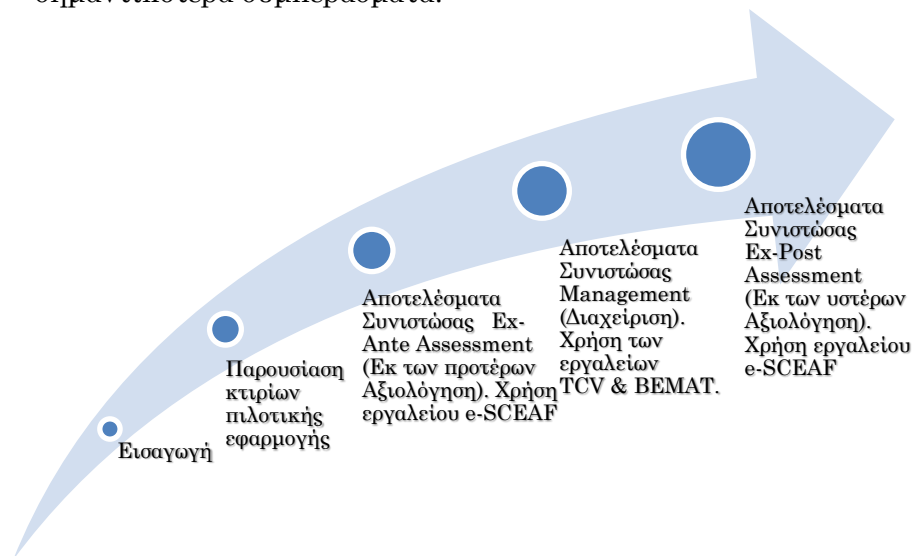
**Στόχος** Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στην πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης **Κεφαλαίου** μεθοδολογίας, μέσω των δύο συνιστωσών «Assessment» και «Management», καθώς και των υποστηρικτικών πληροφοριακών συστημάτων («e-SCEAF», «TCV-Thermal Comfort Validator» και «BEMAT-Buiding Energy Management Tool»). Η μεθοδολογική προσέγγιση εφαρμόστηκε σε τρεις (3) αντιπροσωπευτικές ευρωπαϊκές χώρες: την Ιταλία, την Ισπανία και την Ολλανδία και σε πέντε (5) κτίρια: το Σχολείο «Savona Colombo-Pertini και την Πανεπιστημιούπολη «Savona Campus» στην Ιταλία, το Δημαρχείο και το Θέατρο του Σαν Κουγκάτ στην Ισπανία και το Δημαρχείο Ζάανσταντ στην Ολλανδία.

Άντληση επιμέρους δεδομένων και πληροφοριών, πραγματοποιήθηκε μέσω του Ευρωπαϊκού έργου OPTIMUS: «OPTIMising the energy USE in cities with smart decision support system» (OPTIMUS 2016), καθώς και κατά τη διάρκεια επαφών με τις τοπικές αρχές και εμπειρογνώμονες των πόλεων για την εφαρμογή των δράσεων. Η διαδικασία αυτή οδήγησε στην συγκέντρωση των πραγματικών δεδομένων για την παρούσα κατάσταση, τις ενεργειακές ανάγκες και προτεραιότητες, καθώς και το όραμα των πόλεων αυτών προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και τη μετάβασή τους σε «Εξυπνες Πόλεις». Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδο στα πληροφοριακά συστήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

**Δομή** Το Κεφάλαιο αυτό, πέρα από την εισαγωγή, περιλαμβάνει τις ακόλουθες **Κεφαλαίου** ενότητες:

- ▲ *2<sup>η</sup> Ενότητα:* Παρουσιάζονται τα πέντε κτίρια της πιλοτικής εφαρμογής στις τρεις Ευρωπαϊκές χώρες: Ιταλία, Ισπανία και Ολλανδία.
- ▲ *3<sup>η</sup> Ενότητα:* Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της πρώτης συνιστώσας της προτεινόμενης μεθοδολογίας «Assessment». Συγκεκριμένα της «Ex-Ante Assessment» (Εκ των προτέρων Αξιολόγηση), της αξιολόγησης δηλαδή πριν από την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης. Τα αποτελέσματα από το στάδιο αυτό εξάγονται από το καινοτόμο διαδικτυακό λογισμικό e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016).
- ▲ *4<sup>η</sup> Ενότητα:* Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της δεύτερης συνιστώσας «Management». Τα αποτελέσματα στο στάδιο αυτό εξάγονται από τα διαδικτυακά εργαλεία TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017) και BEMAT - Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015).

- ▲ *5<sup>η</sup> Ενότητα:* Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της συνιστώσας «Assessment» και συγκεκριμένα της «Ex-Post Assessment» (Εκ των υστέρων Αξιολόγηση), της αξιολόγησης δηλαδή μετά από την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης. Τα αποτελέσματα από το στάδιο αυτό εξάγονται, όπως και στην 3<sup>η</sup> Ενότητα, από το διαδικτυακό λογισμικό e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016).
- ▲ *6<sup>η</sup> Ενότητα:* Στην τελευταία ενότητα παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα.



**Σχήμα 5.1. Δομή 5ου Κεφαλαίου**

## V.2 Ex-Ante Assessment (Εκ των προτέρων Αξιολόγηση)

**Γενική περιγραφή** Το e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) είναι το διαδικτυακό εργαλείο που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (SCEAF) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιολόγησης πόλεων, που παρουσιάστηκε στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο χωρίζεται σε τρεις κύριους πυλώνες:

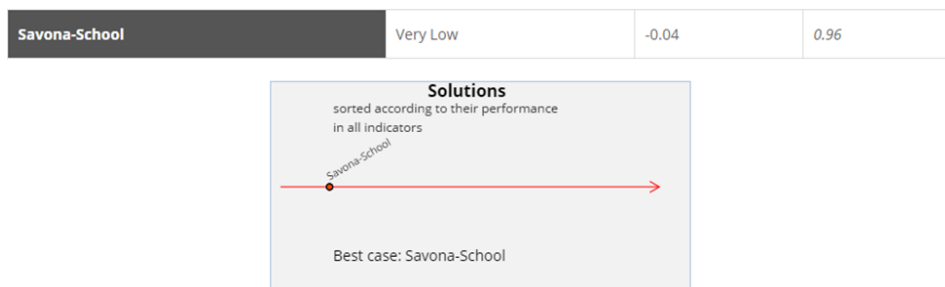
1. Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας,
2. Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ,
3. Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ.

Κάθε πυλώνας με τη σειρά του χωρίζεται σε άξονες και δείκτες, όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Το e-SCEAF ξεκινάει από την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου στην εξής σελίδα: <http://sceaf.optimus-smartcity.eu/sceaf>. Ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα για το κάθε κτίριο της πόλης, και το σύστημα αυτομάτως υπολογίζει την απόδοση σε κάθε έναν από τους 21 δείκτες.

### V.2.1 Εφαρμογή e-SCEAF στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini»

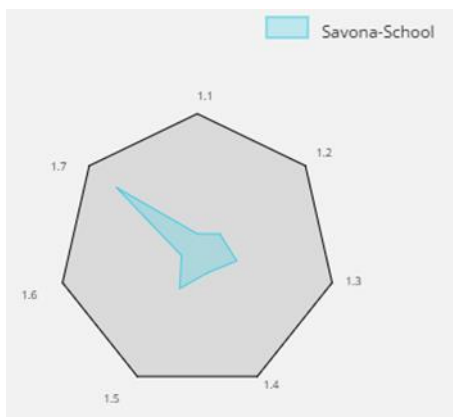
**Συνολικά αποτελέσματα** Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Ex-Ante Assessment (Εκ των προτέρων Αξιολόγησης) του εργαλείου e-SCEAF για το Σχολείο «Savona Colombo-Pertini» στην Ιταλία. Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η συνολική αξιολόγηση του Σχολείου και στους τρεις πυλώνες. Όπως φαίνεται η απόδοση του κτιρίου είναι «Πολύ Χαμηλή» (Very Low).



Σχήμα 5.2. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF - Συνολική αξιολόγηση του Σχολείου «Savona Colombo-Pertini»

Ο ενεργειακός διαχειριστής έχει στην διάθεσή του και τα αναλυτικά αποτελέσματα για τον κάθε δείκτη του κτιρίου που έχει υποβάλλει. Όπως έχει αναφερθεί και στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο ο κάθε δείκτης μπορεί να πάρει τιμές από μηδέν (0) μέχρι ένα (1), όπου μηδέν είναι η χειρότερη απόδοση και ένα η καλύτερη. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα για τον κάθε πυλώνα της μεθοδολογίας αξιολόγησης με screenshots από το λογισμικό e-SCEAF.

**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας**



**Σχήμα 5.3. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα του Σχολείου «Savona Colombo-Pertini» σε μορφή πολυγώνου**

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του πρώτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική-Πολιτικός Βαθμός φιλοδοξίας». Το αποτέλεσμα του κάθε δείκτη είναι χρωματικά διαβαθμισμένο ανάλογα με την απόδοση του. Για παράδειγμα γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι δείκτες 1.1 και 1.6 με κόκκινο έντονο χρώμα παρουσιάζουν την χαμηλότερη απόδοση: «Αμελητέα-Insignificant» (0,12 και 0,11 αντίστοιχα), ενώ ο δείκτης 1.7, που είναι και ο μόνος με πράσινο χρώμα, παρουσιάζει την υψηλότερη απόδοση: «Πολύ υψηλή-Very High» (0,75).

Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας	
Indicator	Savona-School
1.1	0.12
1.2	0.2
1.3	0.29
1.4	0.16
1.5	0.29
1.6	0.11
1.7	0.75

**Σχήμα 5.4. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα του Σχολείου «Savona Colombo-Pertini»**

Για την ευκολία του χρήστη, το λογισμικό παρουσιάζει τα αποτελέσματα και με έναν επιπλέον τρόπο παρουσίασης, μια πρωτότυπη απεικόνιση μέσω πολυγώνων, όπου κάθε ακμή του πολυγώνου αναπαριστά την τιμή του συγκεκριμένου δείκτη. Το συνολικό εμβαδόν του πολυγώνου είναι ανάλογο της τιμής του δείκτη για το έτος που γίνεται η αξιολόγηση. Το πολύγωνο με τα αποτελέσματα των δεικτών για τον πρώτο πυλώνα εμφανίζονται στο Σχήμα 5.4. Στο σχήμα αυτό φαίνεται αμέσως η υπεροχή του δείκτη 1.7 και οι χαμηλές τιμές των δεικτών 1.1 και 1.6. Οι

δείκτες που έχουν αμελητέα και πολύ χαμηλή απόδοση αφορούν κυρίως τον στόχο μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέχρι το 2020, αλλά και τα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή της ενέργειας. Ο μόνος δείκτης, που πετυχαίνει υψηλή βαθμολογία, ο δείκτης 1.7, αφορά τα κεφάλαια, που επενδύονται και διατίθενται για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

**Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα: Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.5. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του δεύτερου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» του Σχολείου «Savona Colombo-Pertini». Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Σχολείο παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση («Αμελητέα- Insignificant» και «Πολύ Χαμηλή-Very Low») σε όλους τους δείκτες του 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας εκτός από τον δείκτη 2.3 που παρουσιάζει καλή απόδοση («Υψηλή-High»).

Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ.

Indicator	Savona-School
2.1	0.06
2.2	0.06
2.3	0.6
2.4	0.03
2.5	0
2.6	0
2.7	Very Low

**Σχήμα 5.5. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα του Σχολείου «Savona Colombo-Pertini»**

Ο χρήστης βλέπει αμέσως την υπεροχή του δείκτη 2.3 σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες που η απόδοσή τους είναι πολύ μικρή. Συγκεκριμένα, ο δείκτης 2.3 αφορά στο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020. Το Σχολείο παρουσιάζει καλή απόδοση στον δείκτη αυτό, καθώς έχει εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στους υπόλοιπους δείκτες παρουσιάζει χαμηλή απόδοση καθώς το κτίριο έχει υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, μικρή παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, δεν διαθέτει ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, δεν διαθέτει υποδομή για συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού και δεν διαθέτει εξωτερική θερμομόνωση.

**Αποτελέσματα δεικτών του 3<sup>ου</sup> πυλώνα: Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του τρίτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» του Σχολείου «Savona Colombo-Pertini». Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Σχολείο παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση («Αμελητέα- Insignificant» και «Πολύ Χαμηλή-Very Low») σε όλους τους δείκτες του 3<sup>ου</sup> πυλώνα.

**Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ**

Indicator	Savona-School
3.1	Insignificant
3.2	0
3.3	Insignificant
3.4	0.17
3.5	0.13
3.6	Insignificant
3.7	Insignificant

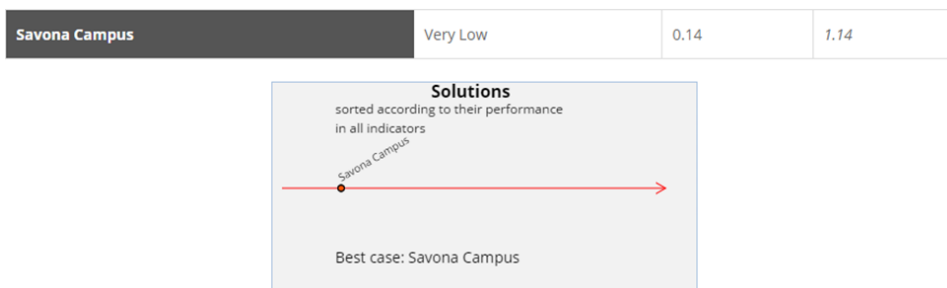
**Σχήμα 5.6. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 3ου πυλώνα του Σχολείου «Savona Colombo-Pertini»**

Συγκεκριμένα, το Σχολείο έλαβε χαμηλή βαθμολογία στους δείκτες 3.4 και 3.5 για την μικρή ευελιξία και δυνατότητα που διαθέτει στην εναλλαγή των παρόχων ενέργειας και για την περιορισμένη μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Στους υπόλοιπους δείκτες έλαβε την χαμηλότερη βαθμολογία (μηδέν) καθώς δεν διαθέτει Συστήματα Αυτοματισμού, δεν αξιοποιεί ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας, δεν διαθέτει συστήματα πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης, δεν χρησιμοποιεί κοινωνικά δίκτυα και δεν λαμβάνει την άποψη των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης.

### V.2.2 Εφαρμογή e-SCEAF στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus»

**Συνολικά αποτελέσματα**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Ex-Ante Assessment (Εκ των προτέρων Αξιολόγησης) του εργαλείου e-SCEAF για το Πανεπιστήμιο «Savona Campus» στην Ιταλία. Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται η συνολική αξιολόγηση του Πανεπιστημίου και στους τρεις πυλώνες. Όπως φαίνεται η απόδοση του κτιρίου είναι «Πολύ Χαμηλή» (Very Low).



**Σχήμα 5.7. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF - Συνολική αξιολόγηση του Πανεπιστημίου «Savona Campus»**

**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας**

Στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του πρώτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική-Πολιτικός Βαθμός φιλοδοξίας». Το αποτέλεσμα του κάθε δείκτη είναι χρωματικά διαβαθμισμένο ανάλογα με την απόδοση του.

Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας

Indicator	Savona Campus
1.1	0.12
1.2	0.2
1.3	0.29
1.4	0
1.5	0
1.6	0.12
1.7	1

**Σχήμα 5.8. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα του Πανεπιστημίου «Savona Campus»**

Για παράδειγμα γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι δείκτες 1.1, 1.4, 1.5 και 1.6 με κόκκινο έντονο χρώμα παρουσιάζουν την χαμηλότερη απόδοση («Αμελητέα-Insigificant») με 0,12, 0, 0, 0,11 αντίστοιχα, ενώ ο δείκτης 1.7, που είναι και ο μόνος με πράσινο χρώμα, παρουσιάζει την υψηλότερη απόδοση («Τέλεια – Optimus»). Οι δείκτες που έχουν χαμηλή απόδοση αφορούν κυρίως τον στόχο μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέχρι το 2020, τα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή της ενέργειας και τα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ο μόνος δείκτης, που πετυχαίνει την υψηλότερη βαθμολογία, ο δείκτης 1.7, αφορά τα κεφάλαια, που επενδύονται και διατίθενται για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

**Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα: Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του δεύτερου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» του Πανεπιστημίου «Savona Colombo-Pertini». Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Σχολείο παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση («Αμελητέα-Insigificant» και «Πολύ Χαμηλή-Very Low») σε όλους τους δείκτες του 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας εκτός από τον δείκτη 2.3 που παρουσιάζει υψηλή απόδοση («Υψηλή-High»).

Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ

Indicator	Savona-School
2.1	0.06
2.2	0.06
2.3	0.6
2.4	0.03
2.5	0
2.6	0
2.7	Very Low

**Σχήμα 5.9. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα του Πανεπιστημίου «Savona Campus»**

Συγκεκριμένα, ο δείκτης 2.3 αφορά το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020 και το Σχολείο παρουσιάζει καλή απόδοση στον δείκτη αυτό καθώς έχει εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στους υπόλοιπους δείκτες έχει χαμηλή απόδοση καθώς το κτίριο έχει υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, μικρή παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, δεν διαθέτει ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, δεν διαθέτει υποδομή για συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού, και λόγω της απουσίας θερμομόνωσης έχει πολύ χαμηλή ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους.

**Αποτελέσματα δεικτών του 3<sup>ου</sup> πυλώνα: Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του τρίτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» του Πανεπιστημίου «Savona Campus». Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Πανεπιστήμιο παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση («Αμελητέα-Insigificant» και «Πολύ Χαμηλή-Very Low») σε όλους τους δείκτες του 3<sup>ου</sup> πυλώνα, εκτός από τον δείκτη 3.3 που παρουσιάζει καλή απόδοση («Υψηλή-High»).

**Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ**

Indicator	Savona Campus
3.1	Insignificant
3.2	0
3.3	High
3.4	0.17
3.5	0
3.6	Insignificant
3.7	Insignificant

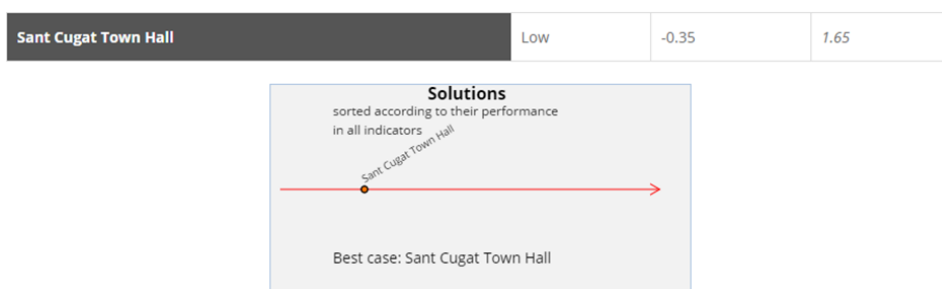
**Σχήμα 5.10. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 3<sup>ου</sup> πυλώνα του Πανεπιστημίου «Savona Campus»**

Ο χρήστης βλέπει αμέσως την πολύ χαμηλή απόδοση σε όλους τους δείκτες εκτός από τον δείκτη 3.3, που έχει υψηλή απόδοση και αφορά τα συστήματα πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης. Σε όλους τους υπόλοιπους δείκτες έλαβε πολύ χαμηλή απόδοση καθώς το Πανεπιστήμιο δεν διαθέτει συστήματα αυτοματισμού, δεν χρησιμοποιεί ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας, δεν διαθέτει ενεργειακά συστήματα εποπτείας, δεν εναλλάσσει τους παρόχους ενέργειας, δεν μειώνει το κόστος, δεν αξιοποιεί τα κοινωνικά δίκτυα και την άποψη των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης.



### V.2.3 Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ

**Συνολικά αποτελέσματα** Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Ex-Ante Assessment (Εκ των προτέρων Αξιολόγησης) του εργαλείου e-SCEAF για το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ στην Ισπανία. Στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζεται η συνολική αξιολόγηση του Δημαρχείου και στους τρεις πυλώνες. Όπως φαίνεται η απόδοση του κτιρίου είναι «Χαμηλή (Low)» και όχι «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» όπως συνέβαινε στα κτίρια της Σαβόνα στην Ιταλία.



Σχήμα 5.11. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF - Συνολική αξιολόγηση του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ

**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας** Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του πρώτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική-Πολιτικός Βαθμός φιλοδοξίας». Το αποτέλεσμα του κάθε δείκτη είναι χρωματικά διαβαθμισμένο ανάλογα με την απόδοση του. Για παράδειγμα γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι δείκτες από τον 1.1 έως και τον 1.5 παρουσιάζουν πολύ χαμηλή απόδοση («Πολύ Χαμηλή – Very Low») με τιμές 0.2, 0.2, 0.2, 0.24 και 0.24 αντίστοιχα, ενώ οι δείκτες 1.6 και 1.7 παρουσιάζουν αμελητέα απόδοση («Αμελητέα-Insignificant») με τιμές 0.09 και 0.03 αντίστοιχα.

Φαίνεται λοιπόν ότι το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ έχει εξαιρετικά χαμηλή απόδοση στον 1<sup>ο</sup> πυλώνα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Συγκεκριμένα, παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση σε ό,τι αφορά στους στόχους μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub>, της ενεργειακής κατανάλωσης και των ΑΠΕ μέχρι το 2020, στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>, στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, και στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Το Δημαρχείο παρουσιάζει αμελητέα απόδοση σε ό,τι αφορά στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ και στα κεφάλαια που επενδύονται και διατίθενται για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φύλοξιας

Indicator	Sant Cugat Town Hall
1.1	0.2
1.2	0.2
1.3	0.2
1.4	0.24
1.5	0.24
1.6	0.09
1.7	0.03

**Σχήμα 5.12. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ**

**Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα: Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του δεύτερου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ. Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Σχολείο παρουσιάζει αμελητέα απόδοση («Αμελητέα-Insignificant») σε όλους τους δείκτες του 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας εκτός από τον δείκτη 2.7 που παρουσιάζει μέτρια απόδοση («Μέτρια-Medium»).

Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ.

Indicator	Sant Cugat Town Hall
2.1	0.05
2.2	0
2.3	0
2.4	0.01
2.5	0
2.6	0
2.7	Medium

**Σχήμα 5.13. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ**

Ο χρήστης βλέπει αμέσως την υπεροχή του δείκτη 2.7 σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες που η απόδοσή τους είναι αμελητέα. Συγκεκριμένα, ο δείκτης 2.7 αφορά την ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους και το Δημαρχείο παρουσιάζει καλή απόδοση στον δείκτη αυτό καθώς είναι μερικώς μονωμένο και διαθέτει ενεργειακούς υαλοπίνακες. Στους υπόλοιπους δείκτες έχει αμελητέα απόδοση.

**Αποτελέσματα δεικτών του 3<sup>ου</sup> πυλώνα: Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του τρίτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» του του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ. Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Δημαρχείο παρουσιάζει υψηλή απόδοση («Υψηλή-High») στον δείκτη 3.1 και άριστη («Ιδανική-Optimus») στον δείκτη 3.6. Στον δείκτη 3.3 παρουσιάζει χαμηλή απόδοση («Χαμηλή-Low»), στον δείκτη 3.4 παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση («Πολύ Χαμηλή-Very Low») και στους δείκτες 3.2, 3.5 και 3.7 αμελητέα απόδοση («Αμελητέα-Insignificant»).

**Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ**

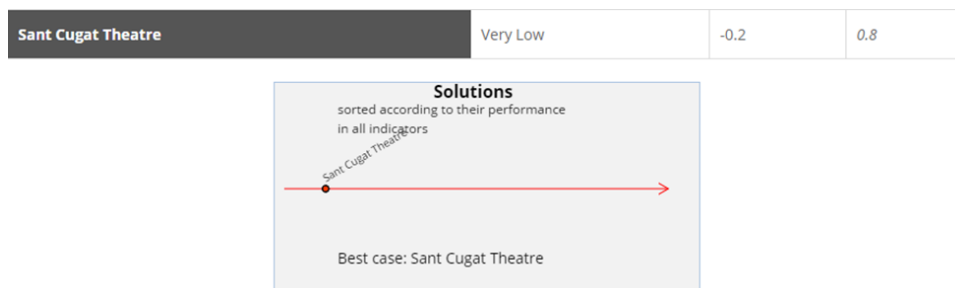
Indicator	Sant Cugat Town Hall
3.1	High
3.2	0
3.3	Low
3.4	0.33
3.5	0
3.6	Optimus
3.7	Insignificant

**Σχήμα 5.14. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 3ου πυλώνα του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ**

Ο χρήστης βλέπει αμέσως την πολύ υψηλή απόδοση των δεικτών 3.1 και 3.6. Ο δείκτης 3.1 αφορά στην αξιοποίηση συστημάτων αυτοματισμού και στη χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας. Ο δείκτης 3.6 αφορά στην αξιοποίηση των κοινωνικών δικτύων για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης. Το Δημαρχείο λοιπόν, αξιοποιεί σε πολύ καλό βαθμό τις τεχνολογίες ΤΠΕ και τα κοινωνικά δίκτυα (πχ Facebook και Twitter). Στους δείκτες 3.3 και 3.4 παρουσιάζει χαμηλή απόδοση, καθώς χρησιμοποιεί ελάχιστα συστήματα πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης και έχει μικρή ευελιξία στην εναλλαγή παρόχων ενέργειας.

### V.2.4 Εφαρμογή e-SCEAF στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ

**Συνολικά αποτελέσματα** Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Ex-Ante Assessment (Εκ των προτέρων Αξιολόγησης) του εργαλείου e-SCEAF για το Θέατρο του Σαν Κουγκάτ στην Ισπανία. Στο Σχήμα 5.15 παρουσιάζεται η συνολική αξιολόγηση του Δημαρχείου και στους τρεις πυλώνες. Όπως φαίνεται η απόδοση του κτιρίου είναι «Πολύ Χαμηλή» (Low) όπως συνέβαινε στα κτίρια της Σαβόνα στην Ιταλία. Η συνολική απόδοση του Θεάτρου είναι χαμηλότερη από την συνολική απόδοση του Δημαρχείου του Σαν Κουγκάτ.



**Σχήμα 5.15. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF - Συνολική αξιολόγηση του Θεάτρου Σαν Κουγκάτ**

**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα:** Στο Σχήμα 5.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του πρώτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική-Πολιτικός Βαθμός φιλοδοξίας». Το αποτέλεσμα του κάθε δείκτη είναι χρωματικά διαβαθμισμένο ανάλογα με την απόδοση του. Για παράδειγμα γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι δείκτες από τον 1.1 έως και τον 1.3 παρουσιάζουν πολύ χαμηλή απόδοση («Πολύ Χαμηλή-Very Low») με τιμή 0.2 και οι τρεις δείκτες, ενώ οι δείκτες 1.4, 1.6 και 1.7, παρουσιάζουν αμελητέα απόδοση («Αμελητέα-Insignificant») με τιμές 0.06, 0 και 0.07 αντιστοιχα). Μόνο ο δείκτης 1.5 παρουσιάζει χαμηλή απόδοση («Χαμηλή-Low») με τιμή 0.29.

Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας

Indicator	Sant Cugat Theatre
1.1	0.2
1.2	0.2
1.3	0.2
1.4	0.06
1.5	0.29
1.6	0
1.7	0.07

**Σχήμα 5.16. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα του Θεάτρου Σαν Κουγκάτ**

Στο σχήμα αυτό διακρίνεται αμέσως ότι οι δείκτες 1.1, 1.2 και 1.3 παρουσιάζουν πολύ χαμηλή απόδοση, ενώ οι δείκτες 1.4, 1.6 και 1.7, παρουσιάζουν αμελητέα απόδοση. Μόνο ο δείκτης 1.5 παρουσιάζει χαμηλή απόδοση. Φαίνεται λοιπόν ότι το Θέατρο του Σαν Κουγκάτ έχει εξαιρετικά χαμηλή απόδοση στον 1<sup>ο</sup> πυλώνα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Συγκεκριμένα, παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση σε ό,τι αφορά στους στόχους μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub>, της ενεργειακής κατανάλωσης και των ΑΠΕ μέχρι το 2020. Το Θέατρο παρουσιάζει αμελητέα απόδοση στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>, στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ και στα κεφάλαια που επενδύονται και διατίθενται για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Μόνο στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, το κτίριο, παρουσιάζει χαμηλή απόδοση.

**Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα:** Στο Σχήμα 5.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του δεύτερου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» του Θεάτρου Σαν Κουγκάτ. Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Θέατρο παρουσιάζει αμελητέα απόδοση («Αμελητέα-Insignificant») σε όλους τους δείκτες του 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας εκτός από τους δείκτες 2.3 και 2.7 που παρουσιάζει χαμηλή απόδοση («Χαμηλή-Low»). Συγκεκριμένα για τους δείκτες 2.4, 2.5, 2.6 το Θέατρο έχει λάβει την

χαμηλότερη δυνατή βαθμολογία (μηδέν-0), στους δείκτες 2.1 και 2.2 παρουσιάζει αμελητέα απόδοση με τιμές 0.06 και 0.12 αντίστοιχα και μόνο στους δείκτες 2.3 και 2.7 παρουσιάζει χαμηλή απόδοση με τιμές 0.37 και Low αντίστοιχα.

Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ

Indicator	Sant Cugat Theatre
2.1	0.06
2.2	0.12
2.3	0.37
2.4	0
2.5	0
2.6	0
2.7	Low

**Σχήμα 5.17. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα του Θεάτρου Σαν Κουγκάτ**

Συγκεκριμένα, ο δείκτης 2.3 αφορά στο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020, ενώ ο δείκτης 2.7 αφορά την ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους. Στους υπόλοιπους δείκτες έχει αμελητέα απόδοση καθώς το κτίριο έχει υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, μικρή παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, δεν διαθέτει ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, δεν διαθέτει υποδομή για συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού και αξιοποιεί πολύ λίγο τις καιρικές συνθήκες για την βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

**Αποτελέσματα δεικτών του 3<sup>ου</sup> πυλώνα: Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του τρίτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» του του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ. Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Θέατρο παρουσιάζει αμελητέα απόδοση («Αμελητέα-Insignificant») σε όλους τους δείκτες εκτός από τον δείκτη 3.4 που παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση («Πολύ Χαμηλή-Very Low») με τιμή 0,25.

Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ

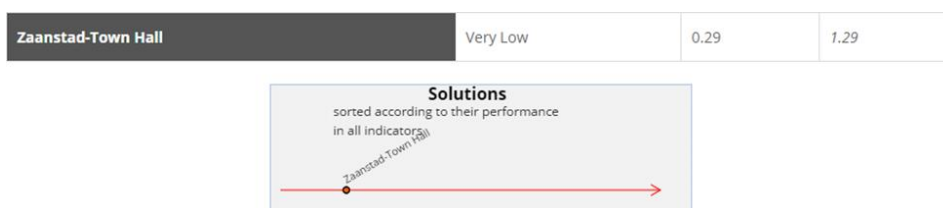
Indicator	Sant Cugat Theatre
3.1	Insignificant
3.2	0
3.3	Insignificant
3.4	0.25
3.5	0
3.6	Insignificant
3.7	Insignificant

**Σχήμα 5.18. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 3<sup>ου</sup> πυλώνα του Θεάτρου Σαν Κουγκάτ**

Ο χρήστης βλέπει αμέσως την αμελητέα απόδοση όλων των δεικτών εκτός του δείκτη 3.4 που αφορά στην ευελιξία και την δυνατότητα εναλλαγής παρόχων ενέργειας. Το Θέατρο λοιπόν, λαμβάνει την χαμηλότερη βαθμολογία αξιολόγησης καθώς δεν αξιοποιεί τις τεχνολογίες ΤΠΕ και τα κοινωνικά δίκτυα (πχ Facebook και Twitter), δεν χρησιμοποιεί τα συστήματα πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης, δεν διαθέτει ενεργειακά συστήματα εποπτείας, δεν μειώνει το κόστος της ενεργειακής κατανάλωσης και δεν αξιοποιεί την άποψη των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης.

### V.2.5 Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Ζάανσταντ

**Συνολικά αποτελέσματα** Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Ex-Ante Assessment (Εκ των προτέρων Αξιολόγησης) του εργαλείου e-SCEAF για το Δημαρχείο του Ζάανσταντ στην Ολλανδία. Στο Σχήμα 5.19 παρουσιάζεται η συνολική αξιολόγηση του Δημαρχείου και στους τρεις πυλώνες. Όπως φαίνεται η απόδοση του κτιρίου είναι «Πολύ Χαμηλή (Very Low)». Όπως και στα υπόλοιπα κτίρια, που αξιολογήθηκαν μέσω του εργαλείου e-SCEAF, έτσι και το δημαρχείο του Zaanstad, υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης. Οι αναλυτικές βαθμολογίες ανά άξονα παρατίθενται παρακάτω.



Σχήμα 5.19. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF - Συνολική αξιολόγηση του Δημαρχείου του Ζάανσταντ

**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας** Στο Σχήμα 5.20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του πρώτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική-Πολιτικός Βαθμός φιλοδοξίας». Το αποτέλεσμα του κάθε δείκτη είναι χρωματικά διαβαθμισμένο ανάλογα με την απόδοση του. Για παράδειγμα γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι όλοι οι δείκτες παρουσιάζουν πολύ χαμηλή απόδοση («Πολύ Χαμηλή-Very Low») εκτός από τον δείκτη 1.5 που παρουσιάζει υψηλή απόδοση («Υψηλή-High»), και τον δείκτη 1,6 αξιολογείται με την χαμηλότερη βαθμολογία-μηδέν («Αμελητέα-Insignificant»).

**Στρατηγική – Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας**

Indicator	Zaanstad-Town Hall
1.1	0.2
1.2	0.2
1.3	0.2
1.4	0.27
1.5	0.61
1.6	0
1.7	0.18

**Σχήμα 5.20. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 1ου πυλώνα του Δημαρχείου του Ζάανσταντ**

Το Δημαρχείο του Ζάανσταντ έχει πολύ χαμηλή απόδοση στον 1ο πυλώνα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Συγκεκριμένα, παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση σε ό,τι αφορά στους στόχους μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub>, της ενεργειακής κατανάλωσης και των ΑΠΕ μέχρι το 2020, ενώ χαμηλή απόδοση παρουσιάζει επίσης στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>, στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ και στα κεφάλαια που επενδύονται και διατίθενται για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Μόνο στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, το κτίριο, παρουσιάζει υψηλή απόδοση.

**Αποτελέσματα δεικτών του 2ου πυλώνα: Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του δεύτερου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» του Θεάτρου Σαν Κουγκάτ. Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Θέατρο παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση («Πολύ Χαμηλή- Very Low» και «Αμελητέα-Insignificant») σε όλους τους δείκτες του 2ου πυλώνα της μεθοδολογίας εκτός από τον δείκτη 2.7 που παρουσιάζει ιδανική («Optimus») απόδοση. Συγκεκριμένα για τους δείκτες 2.1, 2.4, 2.5, 2.6 το Δημαρχείο έχει λάβει την χαμηλότερη δυνατή βαθμολογία: «Αμελητέα-Insignificant», στους δείκτες 2.2 και 2.3 παρουσιάζει «Πολύ Χαμηλή- Very Low» απόδοση με τιμές 0.21 και 0.22 αντίστοιχα.

**Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ**

Indicator	Zaanstad-Town Hall
2.1	0.12
2.2	0.21
2.3	0.22
2.4	0
2.5	0
2.6	0
2.7	Optimus

**Σχήμα 5.21. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 2ου πυλώνα του Δημαρχείου του Ζάανσταντ**

Συγκεκριμένα, ο δείκτης 2.7 αφορά την ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους. Το Δημαρχείο λαμβάνει την υψηλότερη βαθμολογία («Optimus-Ιδανική») σε αυτόν τον δείκτη καθώς διαθέτει επαρκή μόνωση και ενεργειακούς υαλοπίνακες. Στους υπόλοιπους δείκτες έχει πολύ χαμηλή και αμελητέα απόδοση καθώς το κτίριο έχει υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, μικρή παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, δεν διαθέτει ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, δεν διαθέτει υποδομή για συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού και αξιοποιεί πολύ λίγο τις καιρικές συνθήκες για την βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

**Αποτελέσματα δεικτών του 3ου πυλώνα: Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ** Στο Σχήμα 5.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τους δείκτες του τρίτου πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» του Δημαρχείου του Ζάανσταντ. Όπως φαίνεται από το σχήμα, το Δημαρχείο παρουσιάζει αμελητέα και χαμηλή απόδοση στους δείκτες. Συγκεκριμένα το Θέατρο λαμβάνει αμελητέα απόδοση («Αμελητέα- Insignificant») σε όλους τους δείκτες εκτός από τους δείκτες 3.1 και 3.4 που παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση («Χαμηλή-Low»).

Σχετικές Υποδομές Ενέργειας και ΤΠΕ

Indicator	Zaanstad-Town Hall
3.1	Low
3.2	0
3.3	Insignificant
3.4	0.33
3.5	0
3.6	Insignificant
3.7	Insignificant

Σχήμα 5.22. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Αποτελέσματα δεικτών του 3ου πυλώνα του Δημαρχείου του Ζάανσταντ

Ο δείκτης 3.1 αφορά στην αξιοποίηση των Συστημάτων Αυτοματισμού, την χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας και τα περιβαλλοντικά συστήματα εποπτείας. Ο δείκτης 3.4 αφορά στην ευελιξία και την δυνατότητα εναλλαγής παρόχων ενέργειας, αντίστοιχα. Στους υπόλοιπους δείκτες που το Δημαρχείο λαμβάνει χαμηλή απόδοση σημαίνει ότι δεν διαθέτει ενεργειακά συστήματα εποπτείας, δεν μειώνει το κόστος της ενεργειακής κατανάλωσης και δεν αξιοποιεί την άποψη των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης.

### V.2.6 Συνολικά Αποτελέσματα Ex-Ante Assessment

**Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Ex-Ante Assessment** Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της απόδοσης των 21 δεικτών της μεθοδολογίας e-SCEAF για τα πέντε κτίρια που βρίσκονται υπό μελέτη. Όπως φαίνεται, η συνολική απόδοση των κτιρίων είναι «Πολύ Χαμηλή (Very Low)», εκτός από το Δημαρχείο



του Σαν Κουγκάτ που η απόδοση του είναι «Χαμηλή (Low)». Αυτό σημαίνει πως και τα πέντε κτίρια έχουν μεγάλες δυνατότητες ενεργειακής βελτίωσης.

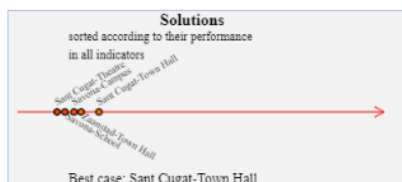
**Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα δεικτών από το e-SCEAF του Δημαρχείου του Ζάανσταντ**

Κτίριο	SAVONA SCHOOL	SAVONA CAMPUS	SANT CUGAT TOWNHALL	SANT CUGAT THEATRE	ZAANSTAD TOWNHALL
<b>Δείκτες</b>	Very Low, -0.04, (0.96)	Very Low, 0.14, (1.14)	Low, -0.35, (1.65)	Very Low, -0.2, (0.8)	Very Low, 0.29, (1.29)
1.1	0.12	0.12	0.2	0.2	0.2
1.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1.3	0.29	0.29	0.2	0.2	0.2
1.4	0.16	0	0.24	0.06	0.27
1.5	0.29	0	0.24	0.29	0.61
1.6	0.11	0.12	0.09	0	0
1.7	0.75	1	0.03	0.07	0.18
2.1	0.06	0	0.05	0.06	0.12
2.2	0.06	0	0	0.12	0.21
2.3	0.6	0.35	0	0.37	0.22
2.4	0.03	0.02	0.01	0	0
2.5	0	0	0	0	0
2.6	0	0.04	0	0	0
2.7	Very Low	Insignificant t	Medium	Low	Optimus
3.1	Insignificant	Insignificant t	High	Insignificant t	Low
3.2	0	0	0	0	0
3.3	Insignificant	High	Low	Insignificant t	Insignificant
3.4	0.17	0.17	0.33	0.25	0.33
3.5	0.13	0	0	0	0
3.6	Insignificant	Insignificant t	Optimus	Insignificant t	Insignificant
3.7	Insignificant	Insignificant t	Insignificant	Insignificant t	Insignificant

**Αποτελέσματα Ex-Ante Assessment από την εφαρμογή e-SCEAF** Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά και για τα πέντε κτίρια από το λογισμικό e-SCEAF. Το λογισμικό απεικονίζει σε φθίνουσα σειρά την απόδοση των κτιρίων (από το καλύτερο προς το χειρότερο). Παρατηρούμε ότι το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση και στην συνέχεια ακολουθούν τα υπόλοιπα κτίρια με μικρές διαφορές. Αξίζει να αναφέρουμε ότι παρόλο που τέσσερα κτίρια έχουν παρόμοιες αποδόσεις («Χαμηλή-Low» και «Πολύ Χαμηλή-Very Low»), μπορούμε να τα κατατάξουμε. Αυτό οφείλεται στην σωστή επιλογή του πολυκριτηριακού μοντέλου που έχει χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, το μοντέλο της διπλής γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple» (Herrera & Martinez, 2000; Herrera & Martinez, 2001a) που χρησιμοποιήθηκε συνδυάζει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: Αφενός, η γλωσσική πληροφορία καθιστά εύκολο στον ενεργειακό υπεύθυνο των πόλεων να διακρίνει την απόδοση του εκάστοτε κτιρίου, και αφετέρου με την χρήση της αριθμητικής τιμής

που ακολουθεί δεν χάνεται η πληροφορία και υπάρχει ακρίβεια στο αποτέλεσμα.

Sant Cugat-Town Hall	Low	-0.35
Zaanstad-Town Hall	Very Low	0.29
Savona-Campus	Very Low	0.14
Savona-School	Very Low	-0.04
Sant Cugat-Theatre	Very Low	-0.2



Σχήμα 5.23. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα

**Συνολικά Αποτελέσματα 1<sup>ου</sup> πυλώνα μεθοδολογίας: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας.**

Στο Σχήμα 5.24 απεικονίζεται η απόδοση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 1<sup>ο</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και ακολουθούν το Σχολείο στη Σαβόνα και το Δημαρχείο του Ζάανσταντ. Συγκεκριμένα και τα πέντε κτίρια εμφανίζουν «Αμελητέα (Insignificant)», «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» και «Χαμηλή (Low)» απόδοση στους δείκτες από τον 1.1 έως τον 1.4 και στον δείκτη 1.6, στους δείκτες δηλαδή που αφορούν στους στόχους μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> και κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2020, στην συμμετοχή των ΑΠΕ μέχρι το 2020 και στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>. Αντίθετα, σε ό,τι αφορά στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης (δείκτης 1.5) το Δημαρχείο του Ζάανσταντ παρουσιάζει «Μέτρια (Medium)» απόδοση. Επίσης, στην Σαβόνα το Σχολείο και το Πανεπιστήμιο εμφανίζουν «Πολύ Υψηλή (Very High)» και «Ιδανική (Optimus)» απόδοση αντιστοίχα στον δείκτη 1.7 που αφορά στις συνολικές χρηματικές δαπάνες για την ενέργεια. Συμπερασματικά παρατηρούμε αφενός ότι τα κτίρια που ανήκουν στην ίδια πόλη παρουσιάζουν παραπλήσιες αποδόσεις στον 1<sup>ο</sup> πυλώνα και αφετέρου ότι υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης και των πέντε κτιρίων στον πυλώνα για την στρατηγική και το πολιτικό βαθμό φιλοδοξίας της κάθε πόλης.

**Political field of action**

Indicator	Savona-School	Savona-Campus	Sant Cugat-Town Hall	Sant Cugat-Theatre	Zaanstad-Town Hall
1.1	0.12	0.12	0.2	0.2	0.2
1.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1.3	0.29	0.29	0.2	0.2	0.2
1.4	0.16	0	0.24	0.06	0.27
1.5	0.29	0	0.24	0.29	0.61
1.6	0.11	0.12	0.09	0	0
1.7	0.75	1	0.03	0.07	0.18

**Σχήμα 5.24. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 1<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας».**

**Συνολικά Αποτελέσματα 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.25 απεικονίζεται η απόδοση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 2<sup>ο</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Δημαρχείο του Ζάανσταντ και ακολουθούν τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα, και τα πέντε κτίρια εμφανίζουν «Αμελητέα (Insignificant)» απόδοση στον δείκτη 2.1 και στους δείκτες από 2.4 έως τον 2.6, δηλαδή στους δείκτες που αφορούν στην ενεργειακή κατανάλωση ανά κάτοικο, στην παραγωγή από ΑΠΕ, στην ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρική/θερμική) και στην συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού. Στον δείκτη 2.3 που αφορά στο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση έως το 2020, το Σχολείο στην Σαβόνα έχει «Υψηλή (High)» απόδοση, το Πανεπιστήμιο στην Σαβόνα και το Θέατρο του Σαν Κουγκάτ «Χαμηλή (Low)» και το Δημαρχείο του Ζάανσταντ «Πολύ Χαμηλή (Very Low)». Τέλος στον δείκτη 2.7 που αφορά στην ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους το Δημαρχείο του Ζάανσταντ λαμβάνει την υψηλότερη απόδοση «Ιδανική (Optimus)» καθώς το κτίριο διαθέτει επαρκή μόνωση στην εξωτερική τοιχοποιία και ενεργειακούς υαλοπίνακες. Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης και των πέντε κτιρίων.

**Energy and Environmental Profile**

Indicator	Savona-School	Savona-Campus	Sant Cugat-Town Hall	Sant Cugat-Theatre	Zaanstad-Town Hall
2.1	0.06	0	0.05	0.06	0.12
2.2	0.06	0	0	0.12	0.21
2.3	0.6	0.35	0	0.37	0.22
2.4	0.03	0.02	0.01	0	0
2.5	0	0	0	0	0
2.6	0	0.04	0	0	0
2.7	Very Low	Insignificant	Medium	Low	Optimus

**Σχήμα 5.25. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ»**

**Συνολικά Αποτελέσματα 3<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: Σχετικές**

Στο Σχήμα 5.26 απεικονίζεται η απόδοση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 3<sup>ο</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ και ακολουθεί το

**Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ** Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και το Δημαρχείου του Ζάανσταντ.. Συγκεκριμένα, το Σχολείο της Σαβόνα λαμβάνει σε όλους τους δείκτες την χαμηλότερη βαθμολογία («Αμελητέα-Insigificant»). Το Δημαρχείο στο Σαν Κουγκάτ που αποδίδει καλύτερα από τα υπόλοιπα κτίρια στον 3<sup>ο</sup> πυλώνα, λαμβάνει την καλύτερη δυνατή απόδοση στον δείκτη 3.6 «Ϊδανική-Optimus» καθώς αξιοποιεί τα κοινωνικά δίκτυα για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης και στον δείκτη 3.1 λαμβάνει «Υψηλή (High)» Απόδοση καθώς αξιοποιεί συστήματα αυτοματισμού και ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας. Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι υπάρχουν και σε αυτόν τον πυλώνα αρκετά περιθώρια βελτίωσης και των πέντε κτιρίων.

Related Infrastructures and ICT

Indicator	Savona-School	Savona-Campus	Sant Cugat-Town Hall	Sant Cugat-Theatre	Zaanstad-Town Hall
3.1	Insignificant	Insignificant	High	Insignificant	Low
3.2	0	0	0	0	0
3.3	Insignificant	High	Low	Insignificant	Insignificant
3.4	0.17	0.17	0.33	0.25	0.33
3.5	0.13	0	0	0	0
3.6	Insignificant	Insignificant	Optimus	Insignificant	Insignificant
3.7	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Insignificant

**Σχήμα 5.26. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 2<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προσfil»**

**Συμπεράσματα** Τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από την εφαρμογή του πρώτου σταδίου της μεθοδολογίας και συγκεκριμένα της «Εκ των προτέρων Αξιολόγησης (Ex-Ante Assessment)» για τα πέντε κτίρια είναι τα εξής:

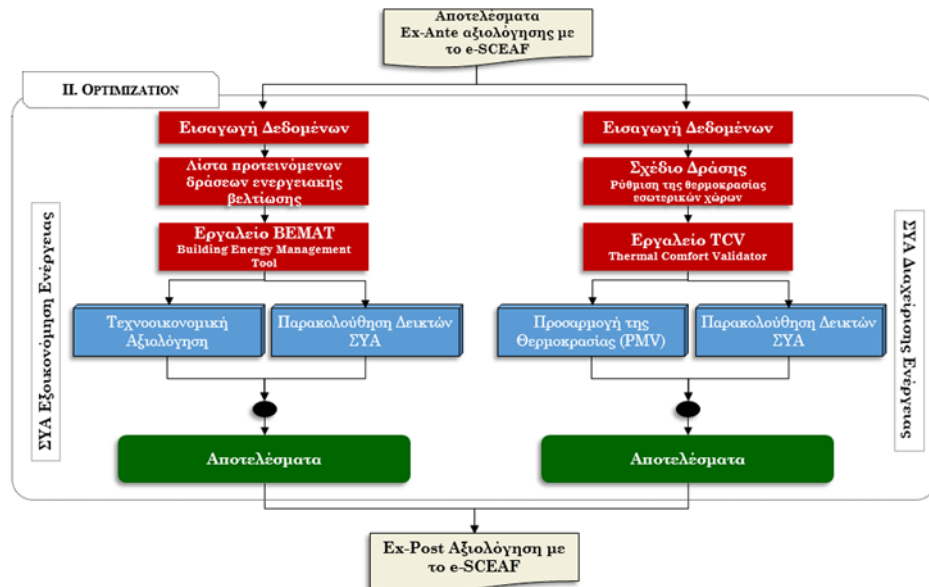
1. Το λογισμικό e-SCEAF που χρησιμοποιείται στο πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας υποστηρίζει σημαντικά την δουλειά των ενεργειακών διαχειριστών των κτιρίων της πόλης με τους τρόπους αναπαράστασης των αποτελεσμάτων: μέσω πινάκων, αξόνων ταξινόμησης και πολυγώνων. Οι υπεύθυνοι μπορούν να διακρίνουν γρήγορα και εύκολα τους τομείς που τα κτίρια τους δεν έχουν καλή απόδοση. Ταυτόχρονα, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα στους ενεργειακούς υπευθύνους της πόλης να συγκρίνουν τα κτίρια μεταξύ τους.
2. Από τα αποτελέσματα του πρώτου σταδίου φαίνεται ότι τα κτίρια έχουν μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης και στους τρεις πυλώνες. Από τα αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε έναν από τους 21 δείκτες, οι αρχές της πόλης μπορούν να διακρίνουν εύκολα τους τομείς που δεν αποδίδουν και να εφαρμόσουν κατάλληλες δράσεις για την ενεργειακή βελτίωση των κτιρίων.
3. Από τα αποτελέσματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα κτίρια που ανήκουν στην ίδια πόλη παρουσιάζουν παρόμοιες αποδόσεις στον πρώτο πυλώνα που αφορά στην στρατηγική και το πολιτικό βαθμό φιλοδοξίας της κάθε πόλης.

## V.3 Συνιστώσα II «Management» (Διαχείριση)

**Γενική Περιγραφή σταδίου «Διαχείρισης»**  
 Αφού οι τοπικές αρχές της πόλης έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσης της πόλης, που επισημαίνονται στο στάδιο της «Αξιολόγησης», συνεχίζουν με το επόμενο στάδιο της «Διαχείρισης» όπου και επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις.

Στο Κεφάλαιο 4.4 περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθείται. Συνοπτικά, η συνιστώσα αυτή περιέχει δύο Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.27. Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιέχει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας.

Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017 - <http://validator.optimus-smartcity.eu>) και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT) (Papastamatiou et al., 2015 - <http://energymanagement.epu.ntua.gr>).



Σχήμα 5.27. Διαδικασία προσέγγισης 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας «Management (Διαχείριση)»

**ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας** Στο ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιγράφεται στην ενότητα 4.4.2, χρησιμοποιείται το διαδικτυακό εργαλείο TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017) και το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakis et al., 2017). Το εργαλείο TCV έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη των διαχειριστών των πόλεων ώστε να εντοπίζουν τα πραγματικά επίπεδα θερμικής άνεσης των χρηστών στα κτίριά τους. Το εργαλείο από τα αποτελέσματα που προσφέρει μέσω της ανατροφοδότησης (feedback) των χρηστών επικυρώνει την θερμική των χρηστών. Με τον τρόπο αυτό οι διαχειριστές των κτιρίων έχουν την δυνατότητα να διατηρήσουν την θερμοκρασία σε αποδεκτά επίπεδα άνεσης και να βελτιώσουν παράλληλα την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων τους.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από το εργαλείο προκύπτουν από την εφαρμογή του TCV και του Σχεδίου Δράσης στα πέντε υπό μελέτη κτίρια που πραγματοποιήθηκε από το διάστημα 01.01.2016 μέχρι και 06.10.2016. Κατά την περίοδο αυτή συλλέχθηκαν μέσω της εφαρμογής TCV πληροφορίες για την θερμική άνεση των χρηστών. Οι πληροφορίες αυτές Η περίοδος αυτή αντιστοιχεί σε 41 εβδομάδες συμπεριλαμβάνοντας συνολικά δεδομένα για 6.688 ώρες. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων με τιμές για την εσωτερική θερμοκρασία, την σχετική ταχύτητα του αέρα, την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, την σχετική υγρασία, τον μεταβολικό ρυθμό που επικρατούν στον υπό μελέτη χώρο και για την θερμική άνεση που αισθάνονται οι χρήστες του κτιρίου. Βάσει αυτών των τιμών και σε συνδυασμό με τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος και τον ρουχισμό των χρηστών έγινε η εφαρμογή του σχεδίου δράσης της εσωτερικής θερμοκρασίας των εξεταζόμενων χώρων για μια εβδομάδα.

Για την παρουσίαση της μεθόδου υπολογισμού του σημείου ρύθμισης της θερμοκρασίας στα πέντε υπό μελέτη κτίρια επιλέχτηκε η 6<sup>η</sup> εβδομάδα του χρόνου, από 31.01.2016 έως 06.02.2016. Το αποτέλεσμα είναι η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας για την εβδομάδα που ακολουθεί, δηλαδή την 7<sup>η</sup> από 07.02.2016 έως 13.02.2016. Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου ΣΥΑ διαχείρισης ενέργειας ακολουθείται η μεθοδολογία του κανόνα επαγωγής όπως έχει περιγραφεί στην ενότητα 4.4.2. Ουσιαστικά υπολογίζονται οι εξής τρεις βασικές τιμές:

- ▲ **PMV (Predicted Mean Vote – Προβλεπόμενη μέση ψήφος):** Αυτή η τιμή εξαρτάται από έξι μεταβλητές, δηλαδή τη θερμοκρασία αέρα, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, τη σχετική ταχύτητα αέρα, τη σχετική υγρασία, τη μόνωση του ρουχισμού και το μεταβολικό ρυθμό που υπολογίζεται σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο “ISO 7730:2005”.
- ▲ **AMV (Actual Mean Vote – Πραγματική μέση ψήφος):** Αυτή η τιμή δεν υπολογίζεται, αλλά παρέχεται στο σύστημα μέσω του TCV - Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017), μίας διαδικτυακής εφαρμογής που είναι προσβάσιμη μέσω υπολογιστών ή κινητών τηλεφώνων, όπου οι χρήστες του κτιρίου ενθαρρύνονται να υποβάλλουν ανατροφοδότηση αναφορικά με τη θερμική τους αίσθηση. Κατόπιν, αυτή η ανάδραση

αναλύεται και αξιολογείται προκειμένου να υπολογιστεί ο πραγματικός δείκτης “PMV” βάσει των εμπειριών χρήστη. Ο δείκτης “AMV” είναι το άμεσο αποτέλεσμα του “TCV” κατά τη διάρκεια των ημερών της εβδομάδας υπό εξέταση.

- ▲ **OMV (Observed Mean Vote – Παρατηρούμενη μέση ψήφος):** Η τιμή του “OMV” υπολογίζεται από τις εξισώσεις του “PMV”, κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση εβδομάδας, με τη χρήση παρατηρούμενων, και όχι προβλεπόμενων, τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας, όπως μετριοούνται από τους αισθητήρες του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο. Οι υπόλοιπες μεταβλητές της εξίσωσης θεωρούνται ότι είναι οι ίδιες, καθώς δεν μπορούν να ελεγχθούν.

Σε όλες τις εφαρμογές θεωρήσαμε σταθερές τιμές για την ελάχιστη και μέγιστη τιμή του ρουχισμού, ίση με 0,5 clo και 1,2 clo αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη την μόνωση τυπικών συνδυασμών ενδυμάτων. Ακόμη θεωρήσαμε σταθερή την ταχύτητα του εσωτερικού αέρα και ίση με 0,15 m/s (ελάχιστα αισθητή). Η σχετική υγρασία θεωρούμε πως ισοδυναμεί με ποσοστό της τάξεως του 60%. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η θερμοκρασία είναι κάτω από 26°C και η δραστηριότητα είναι μέτρια, παρατηρείται πως η υγρασία του αέρα μπορεί να επηρεάσει κατά ένα μικρό βαθμό την θερμική αίσθηση, και κατά συνέπεια το εύρος της θερμοκρασίας που θεωρείται βέλτιστο και κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα. Το ΣΥΑ για την Διαχείριση Ενέργειας επηρεάζει: 1. Την ενεργειακή απόδοση, 2. τις εκπομπές του CO<sub>2</sub>, 3. Το ενεργειακό κόστος και 4. την θερμική άνεση.

**ΣΥΑ για την  
Εξοικονόμηση  
Ενέργειας**

Στο ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιγράφεται στην ενότητα 4.4.4, χρησιμοποιείται το διαδικτυακό εργαλείο BEMAT - Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015). Ο ενεργειακός υπεύθυνος της πόλης και των κτιρίων της εισάγει στο BEMAT τα δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης των κτιριακών εγκαταστάσεων και μέσω του λογισμικού τα δεδομένα αναλύονται και στη συνέχεια προτείνονται έντεκα (11) δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Οι δράσεις εξοικονόμησης που προτείνονται είναι οι εξής:

- ▲ Εφαρμογή θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας,
- ▲ Εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής,
- ▲ Αντικατάσταση των παλαιών υαλοπινάκων και κουφωμάτων,
- ▲ Αντικατάσταση παλαιών κλιματιστικών,
- ▲ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος (PV),
- ▲ Εγκατάσταση φυσικού αερίου,
- ▲ Αναβάθμιση συστήματος παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX),
- ▲ Εγκατάσταση εξωτερικών περσίδων,
- ▲ Εγκατάσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου τεχνητού φωτισμού,
- ▲ Αντικατάσταση παλαιών λαμπτήρων φωτισμού,
- ▲ Αντικατάσταση Λέβητα.

Ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να επιλέξει να εφαρμόσει όσα σενάρια επιθυμεί. Μετά, την επιλογή του κάθε σεναρίου, το λογισμικό κάνει αυτόματα τους υπολογισμούς και αξιολογεί τη βιωσιμότητα των προτεινόμενων ενεργειών με τη χρήση τριών οικονομικών δεικτών: Net

Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) και Payback period.

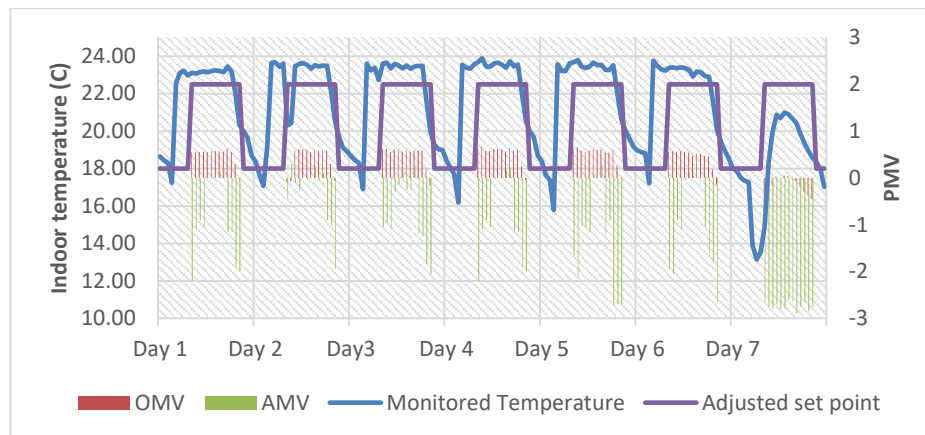
### V.3.1 Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini»

*Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας* Η εφαρμογή του TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο Σχολείο στη Σαβόνα πραγματοποιήθηκε για έξι χώρους. Η εφαρμογή του εργαλείου σε διαφορετικούς χώρους, και όχι επί του συνόλου του, κρίνεται απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Στο παράδειγμα υπολογισμού που ακολουθεί επιλέχθηκε η 6η εβδομάδα του χρόνου, από 31.01.2016 έως 06.02.2016. Το αποτέλεσμα είναι η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας για την εβδομάδα που ακολουθεί, δηλαδή την 7η από 07.02.2016 έως 13.02.2016.

Η εξωτερική θερμοκρασία και η θερμοκρασία λειτουργίας εισάγονται από τον χρήστη ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία υπολογίζονται αυτόματα από το λογιστικό φύλλο (Microsoft Excel) του Σχεδίου Δράσης. Η θερμοκρασία λειτουργίας των χώρων ορίζεται από τον διαχειριστή του κτιρίου και γίνεται σύμφωνα με συγκεκριμένα πρότυπα. Η μόνωση του ρουχιμού, οι δείκτες  $a$  και  $b$ , οι τιμές ελάχιστου και μέγιστου ρουχιμού, οι βαθμομέρες θέρμανσης και οι βαθμομέρες ψύξης υπολογίζονται από το Σχέδιο Δράσης και εμφανίζονται αυτόματα. Το επόμενο μέρος της διαδικασίας αποτελούν τα βήματα υπολογισμού των PMV, OMV και AMV και ο καθορισμός της προτεινόμενης θερμοκρασίας για κάθε ώρα της επόμενης εβδομάδας. Ακολουθεί η μεθοδολογία του Σχεδίου Δράσης με τον αντίστοιχο Κανόνα Επαγωγής «Επικύρωση Θερμικής Άνεσης όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.4.2. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί και τα ακόλουθα screenshots προέρχονται από το λογιστικό φύλλο σε Microsoft Excel (Marinakis et al., 2017) που υπολογίζει όλα τα στάδια της μεθοδολογίας και υλοποιεί το Σχέδιο Δράσης.

Στο τελευταίο βήμα της μεθοδολογίας, τα αποτελέσματα επικυρώνονται όταν ο δείκτης PMV ισούται με τον δείκτη OMV, η πραγματική θερμική άνεση των χρηστών είναι αποδεκτή. Αυτό σημαίνει ότι θέτοντας  $PMV = OMV$  στην προαναφερθείσα γραμμική εξίσωση, το AMV θα έπρεπε να ανήκει στο διάστημα  $[-0.5, 0.5]$  προκειμένου να συμμορφώνεται η μεθοδολογία με τα Πρότυπα “ASHRAE”.





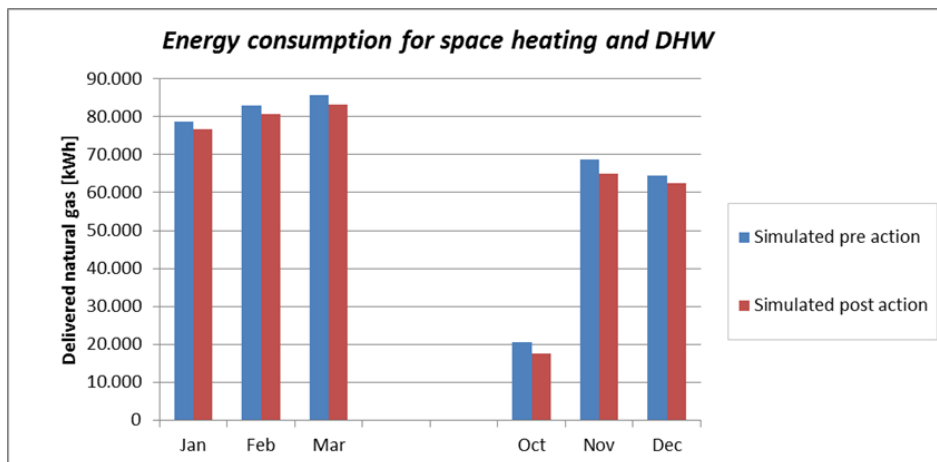
**Σχήμα 5.28. Εφαρμογή του TCV για την 6η εβδομάδα του έτους 2016 στο Σχολείο της Σαβόνα**

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.28, η τελική ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας λειτουργίας (Set Point Temperature) για την επόμενη εβδομάδα προτείνεται στους 22,5°C, μισό βαθμό δηλαδή κάτω από την αρχική ρύθμιση. Αυτό σημαίνει ότι την επόμενη εβδομάδα το Σχολείο στη Σαβόνα θα έχει 4% εξοικονόμηση ενέργειας (OPTIMUS, 2016) για την θέρμανση. Παράλληλα τα επίπεδα της θερμικής άνεσης θα κυμαίνονται σε ιδανικά διαστήματα τιμών ( $0,5 \leq PMV \leq 0,5$ ).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής του ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας για τους χειμερινούς μήνες.

**Πίνακας 5.7. Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας στο Σχολείο της Σαβόνα σε μια τάξη**

Ημερομηνία	Εβδομάδα	Set Point Temperature (°C)	Adjusted Set Point (°C)	Difference (°C)
01/01/2016 - 02/01/2016	1	23	22,5	-0,5
03/01/2016 - 09/01/2016	2	23	22,5	-0,5
10/01/2016 - 16/01/2016	3	23	22,5	-0,5
17/01/2016 - 23/01/2016	4	23	22,5	-0,5
24/01/2016 - 30/01/2016	5	23	22,5	-0,5
31/01/2016 - 06/02/2016	6	23	22,5	-0,5
07/02/2016 - 13/02/2016	7	23	22,5	-0,5
14/02/2016 - 20/02/2016	8	23	22,5	-0,5
21/02/2016 - 27/02/2016	9	23	22,5	-0,5
28/02/2016 - 05/03/2016	10	23	22,5	-0,5
06/03/2016 - 12/03/2016	11	23	22,5	-0,5
13/03/2016 - 19/03/2016	12	23	22,5	-0,5
20/03/2016 - 26/03/2016	13	23	22,5	-0,5
27/03/2016 - 02/04/2016	14	23	22,5	-0,5
03/04/2016 - 09/04/2016	15	23	22,5	-0,5
10/04/2016 - 16/04/2016	16	23	22,5	-0,5



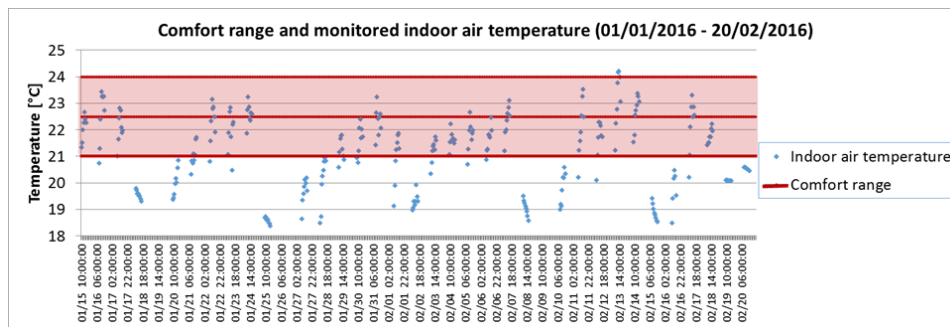
Σχήμα 5.29. Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο Σχολείο της Σαβόνα. Πραγματικά αποτελέσματα (OPTIMUS, 2016)

kWh χειμερινούς μήνες	23.290,6	Κέρδος € χειμερινούς μήνες	1.655,7
-----------------------	----------	----------------------------	---------

Παρατηρούμε ότι με την χρήση του λογισμικού TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας για τους χειμερινούς μήνες (από 15 Οκτωβρίου έως 15 Απριλίου) αλλάζει κατά 0,5°C. Σύμφωνα με πραγματικές μετρήσεις που έγιναν στο κτίριο, η αλλαγή του σημείου ρύθμισης κατά 0,5°C σημαίνει εξοικονόμηση της τάξεως του 4% στην κατανάλωση του Φυσικού Αερίου (OPTIMUS 2016). Στο Σχήμα 5.29 παρουσιάζεται η κατανάλωση του κτιρίου πριν και μετά την εφαρμογή του ΣΥΑ για την Διαχείριση Ενέργειας. Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα εξοικονομούνται 23.291 kWh Φυσικού Αερίου για την θέρμανση που ισοδυναμεί σε κέρδος περίπου 1.656€ (Πίνακας 5.2).

Η εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, δεν επηρεάζει μόνο την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> και το ενεργειακό κόστος, επηρεάζει και την θερμική άνεση. Σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία εφαρμογής στο Σχολείο της Σαβόνα, η θερμική άνεση των χρηστών βελτιώθηκε τους χειμερινούς μήνες κατά 50% (OPTIMUS 2016). Με τα την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας το 100% των ορών που το κτίριο λειτουργεί βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια θερμικής άνεσης των χρηστών. Αυτό απεικονίζεται και στο Σχήμα 5.30 που περιλαμβάνει το εύρος θερμικής άνεσης σε τάξη του Σχολείου της Σαβόνα για το διάστημα 01/01/16 - 20/02/16.

**Σχήμα 5.30. Εύρος θερμικής άνεσης σε τάξη του Σχολείου της Σαβόνα για το διάστημα 01/01/16 - 20/02/16. Πραγματικά αποτελέσματα (OPTIMUS, 2016)**



**Εφαρμογή ΣΥΑ  
Εξοικονόμησης  
Ενέργειας**

Η εφαρμογή του εργαλείου BEMAT -Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015) στο κάθε κτίριο διαφέρει ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα, την χρήση αλλά και την τοποθεσία που βρίσκεται. Για την επιλογή των δράσεων για το κάθε κτίριο, λήφθηκαν υπόψη τα εκ των προτέρων αποτελέσματα του λογισμικού e-SCEAF. Στη συνέχεια μελετήθηκε ενδελεχώς η υφιστάμενη κατάσταση του κάθε κτιρίου μέσω του BEMAT και στο τέλος προτείνονται δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης.

Για την εφαρμογή του εργαλείου BEMAT στο τριώροφο σχολείο της Σαβόνα (κατασκευής 1957), ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: Αρχικά, εισήχθησαν οι γενικές πληροφορίες και τα βασικά στοιχεία του Σχολείου. Τα πιο σημαντικά στοιχεία είναι ότι: δεν διαθέτει θερμομόνωση, ανήκει στην κατηγορία ενεργειακής κλάσης F, ο προσανατολισμός του είναι βορειοδυτικός, η συνολική επιφάνεια είναι 6.092 m<sup>2</sup>, η δόμηση είναι αστική, και έχει ωράριο λειτουργίας τις καθημερινές από τις 6:00 έως τις 20:00.

Σε δεύτερο στάδιο, εισήχθησαν δεδομένα σχετικά με τις ενεργειακές καταναλώσεις του σχολείου για το έτος 2014, στην Καρτέλα «Ενεργειακό Προφίλ» του λογισμικού όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.31. Οι καταναλώσεις αυτές, αφορούν, αφενός, την Ηλεκτρική Ενέργεια, της οποίας η τιμή είναι 42.396 kWh με κόστος 11.371€, και, αφετέρου, το Φυσικό Αέριο, του οποίου η τιμή είναι 52.934 m<sup>3</sup>, με αντίστοιχο κόστος 41.396 €. Από τις τιμές αυτές προκύπτει το κόστος ανά kWh Ηλεκτρικού Ρεύματος ανέρχεται σε 0,268209 € και αντίστοιχα το κόστος ανά kWh Φυσικού Αερίου σε 0,071094 €. Στη συνέχεια το λογισμικό παρουσιάζει τα αποτελέσματα από την εισαγωγή των ενεργειακών δεδομένων υπό μορφή διαγράμματος, ώστε ο διαχειριστής να έχει μια πρώτη εικόνα των βασικών ενεργειακών του καταναλώσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.31.

Η επιλογή των βελτιωτικών σεναρίων αποτελεί το επόμενο βήμα στην διαδικασία του ΣΥΑ για την εξοικονόμηση ενέργειας. Το λογισμικό παρέχει έντεκα (11) διαθέσιμες επιλογές όπως αναλύθηκαν στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο στην Ενότητα IV.4.5. Το σενάριο της “Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών” καθώς και το σενάριο “Εγκατάστασης δικτύου Φυσικού Αερίου” απορρίφθηκαν λόγω της ήδη ύπαρξης φωτοβολταϊκών και

δικτύου φυσικού αερίου στο κτίριο, όποτε και κρίθηκαν ως μη αναγκαίες. Δυστυχώς δεν διαθέτουμε επαρκή στοιχεία για το Φωτισμό, τα Κλιματιστικά, το Σύστημα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (Ζ.Ν.Χ), το Λέβητα και τέλος για την εγκατάσταση Εξωτερικών Περιοίων ή συστήματος Αυτόματου Ελέγχου Τεχνητού Φωτισμού.

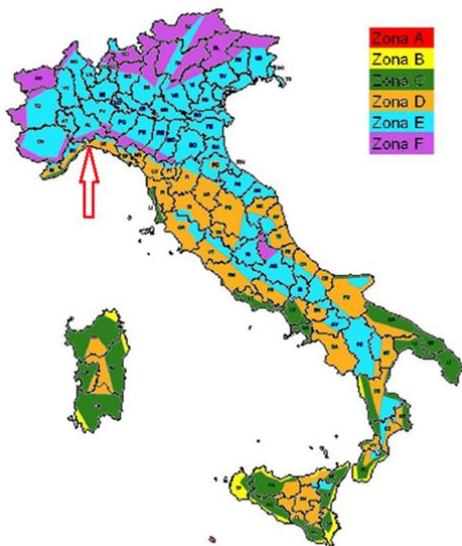
Οι δράσεις, που επιλέχθηκαν προς υλοποίηση, είναι οι εξής:

- η Εφαρμογή Θερμομόνωσης Εξωτερικής Τοιχοποιίας,
- η Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής και
- η Αντικατάσταση Παλαιών Υαλοπινάκων.



Σχήμα 5.31. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Εισαγωγή δεδομένων ενεργειακών καταναλώσεων κτιρίου

### Εφαρμογή Θερμομόνωσης Εξωτερικής Τοιχοποιίας



Σχήμα 5.32. Κλιματικές ζώνες Ιταλίας και με κόκκινο βέλος η τοποθεσία που βρίσκονται το Σχολείο και το Πανεπιστήμιο στην Σαβόνα

Η κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει το κάθε κτίριο καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης, δηλαδή την μέγιστη επιτρεπτή τιμή του συντελεστή U της εξωτερικής τοιχοποιίας, της οροφής αλλά και των ανοιγμάτων. Η Ιταλία χωρίζεται σε 6 κλιματικές ζώνες όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.32 (Moneta, R., et. al., 2014). Το Σχολείο και το Πανεπιστήμιο της Σαβόνα βρίσκονται στη ζώνη D όπως επισημαίνεται με το κόκκινο βέλος.

Για την Εφαρμογή Θερμομόνωσης Εξωτερικής Τοιχοποιίας, τα δεδομένα, που απαιτούνται, είναι τα υλικά της υφιστάμενης τοιχοποιίας, το πάχος και η επιφάνειά τους, καθώς και οι ετήσιες ώρες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Η μόνωση, που θα εφαρμοστεί, θα πρέπει να ικανοποιεί κάποιες ελάχιστες απαιτήσεις, οι

οποίες καθορίζονται από τους ισχύοντες κανονισμούς για θερμομόνωση στην Ιταλία, ανάλογα με την θερμική ζώνη στην οποία βρίσκεται το κτίριο. Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι ελάχιστα επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  ( $W/m^2K$ ) ανάλογα με την κλιματική ζώνη για την Ιταλία. Για το Σχολείο στη Σαβόνα που ανήκει στην κλιματική ζώνη D για την εξωτερική τοιχοποιία ο ελάχιστος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι  $0,36 W/m^2K$ .

**Πίνακας 5.3. Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας στο Σχολείο της Σαβόνα σε μια τάξη**

Κλιματική Ζώνη	Συντελεστής Θερμοπερατότητας $U$ ( $W/m^2K$ )				
	Εξωτερικοί Τοίχοι	Οροφή	Πατώματα	Κουφώματα Ανοιγμάτων	Υαλοπινάκες
A	0.62	0.38	0.65	4.6	3.7
B	0.48	0.38	0.49	3.0	2.7
C	0.40	0.38	0.42	2.6	2.1
D	0.36	0.32	0.36	2.4	1.9
E	0.34	0.30	0.33	2.2	1.7
F	0.33	0.29	0.32	2.0	1.3

Η επιλογή των υλικών για την υφιστάμενη τοιχοποιία βασίστηκε σε μελέτη του Πανεπιστημίου του Τορίνο της Ιταλίας, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Eriscopre (Eriscopre, 2016). Τα υλικά που προέκυψαν από τη μελέτη και αφορούν την εξωτερική τοιχοποιία για κτίρια, τα οποία έχουν χτιστεί το χρονικό διάστημα 1930-1975 στην Ιταλία, είναι Hollow Wall Brick Masonry (40cm) με συντελεστή θερμοπερατότητας  $U=1,10$  (Corrado, V., et al., 2012). Η υφιστάμενη τοιχοποιία, που προστέθηκε στο λογισμικό BEMAT είναι: Αοβεστοσιμεντοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )=0,87 με πάχος 0,03m, δύο φορές Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλινθούς με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )=0,51 με πάχος 0,17m και τέλος, πάλι Αοβεστοσιμεντοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )=0,87 με πάχος 0,03m. Ο συνολικός συντελεστής  $U$  φέρει τελική τιμή 1,10, σύμφωνα με την προβλεπόμενη τυπολογία του κτιρίου.

Επίσης, υπολογίζονται από το σύστημα βάσει της συνολικής επιφάνειας, η οποία είναι  $3.873 m^2$ , οι ωριαίες απώλειες χειμερινών μηνών σε  $307,9131 kW$  και οι ωριαίες απώλειες θερινών μηνών σε  $53,4571 kW$ . Για την μόνωση, που προτείνουμε να εφαρμοστεί, προκύπτει συντελεστής  $U=0,35$ , τιμή που είναι αποδεκτή καθώς είναι μικρότερη από το όριο της ελάχιστα επιτρεπτής τιμής  $0,36$ . Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί, πως για λόγους ελαχιστοποίησης εξόδων, αποφεύγεται η επιλογή μόνωσης με μικρότερο συντελεστή  $U$ , διότι θα είχε σημαντική αύξηση στο κόστος. Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος Google Earth Pro με την χρήση του εργαλείου

Ruler-Polygon. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε πρώτα η περίμετρος και το εμβαδό της οροφής του κτιρίου και προέκυψαν οι εξής τιμές: περίμετρος 310 m. και εμβαδόν 1.500 m<sup>2</sup>. Η συνολική επιφάνεια της εξωτερικής τοιχοποιίας προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της περιμέτρου επί το ύψος, δηλαδή 310m x 14,5m = 4.495 m<sup>2</sup>. Από την τιμή αυτή αφαιρείται η συνολική επιφάνεια των κουφωμάτων ανοιγμάτων, η οποία προέκυψε 621,6 m<sup>2</sup>. Άρα προκύπτει τελική επιφάνεια εξωτερικής τοιχοποιίας 4.495m<sup>2</sup> - 621,6m<sup>2</sup> = 3.873,4 m<sup>2</sup>.

Το κόστος εφαρμογής της μόνωσης προέκυψε από πραγματική προσφορά και ανέρχεται στα 120 €/ m<sup>2</sup>. Συγκεκριμένα, η μόνωση που εφαρμόζεται, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα του προγράμματος, πραγματοποιείται με εξής υλικά: Επίχρισμα εσωτερικό ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)=0,87 με πάχος 0,02m, Επίχρισμα εξωτερικό ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)=0,87 με πάχος 0,02m, Θερμομονωτικό επίχρισμα (σοβά) με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)=0,08 με πάχος 0,03m, Υαλόπλεγμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)=0,05 με πάχος 0,02m, Πλάκες πολυστερίνης με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)=0,04 με πάχος 0,04m και Κόλλα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)=0,19 με πάχος 0,02m. Ο συνολικός συντελεστής U που προκύπτει, συμπεριλαμβανομένης της μόνωσης, είναι 0,35 με ωριαίες απώλειες χειμερινών μηνών σε 98,4705 kW και οι ωριαίες απώλειες θερινών μηνών σε 17,0956 kW.

Για την οικονομική ανάλυση του σεναρίου χρειάστηκε να εισάγουμε τις ετήσιες ώρες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, οι οποίες ορίστηκαν ως εξής: Ώρες θέρμανσης ετησίως= 540 ώρες (8 μήνες) και ώρες ψύξης ετησίως= 200 ώρες (4 μήνες). Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζεται το σύνολο της ετήσιας εξοικονόμησης σε kWh όπως παρουσιάζεται στο λογισμικό.

<i>Πίνακας 5.4. Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Σχολείο της Σαβόνα ύστερα από την δράση Θερμομόνωσης Εξωτερικής Τοιχοποιίας</i>		
kWh χειμερινούς μήνες	113.099,1	Ετήσιο κέρδος σε € 32.284,67
kWh θερινούς μήνες	7.272,3	

Το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι 464.760 € με ετήσιο όφελος 32.284,67 €. Το χρονικό διάστημα της επένδυσης ορίστηκε στα 25 έτη, ενώ η εγγύηση της μόνωσης είναι για 10 χρόνια. Τα λειτουργικά έξοδα ανά έτος θεωρούνται μηδενικά. Το λογισμικό στη συνέχεια υπολογίζει αυτόματα την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) σε ευρώ βάσει μηδενικού επιτοκίου αναγωγής, που ισχύει για την Ευρωπαϊκή Ένωση την δεδομένη χρονική στιγμή (Central Bank News, 2016), είναι θετική με τιμή 342.356,75 €. Το BEMAT κρίνει την δράση βιώσιμη, λόγω της θετικής Καθαρής Παρούσας Αξίας.

### **Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής**

Στο δεύτερο σενάριο, σε ό,τι αφορά την Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα όπως και στην Εφαρμογή Θερμομόνωσης Εξωτερικής Τοιχοποιίας. Τα υλικά της υφιστάμενης οροφής προέκυψαν από τη μελέτη του Πανεπιστημίου του Τορίνο της Ιταλίας για την τυπολογία των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωση (Episcopo, 2016). Τα υλικά της οροφής για κτίρια, τα οποία έχουν κτιστεί το χρονικό διάστημα 1930-1975 στην Ιταλία, είναι Flat Roof with Reinforced Brick-Concrete Slab με συντελεστή  $U=1,85$  (Corrado, V., et al., 2012).

Για την επιλογή της μόνωσης, που θα προστεθεί, λήφθηκαν υπόψη οι κανονισμοί της Ιταλίας, όπως έχουν παρουσιαστεί παραπάνω. Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  ( $W/m^2K$ ) ανάλογα με την κλιματική ζώνη για την Ιταλία. Για το Σχολείο στη Σαβόνα που ανήκει στην κλιματική ζώνη D για την οροφή των κτιρίων ο ελάχιστος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι  $0,32 W/m^2K$ .

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η υφιστάμενη τοιχοποιία της οροφής που προστέθηκε στο πρόγραμμα είναι: Ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,87$  με πάχος  $0,03m$ , Οπλισμένο σκυρόδεμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $2,03$  με πάχος  $0,17m$  και τέλος, Τοιμεντόλιθοι από ασβεστολιθικά αδρανή (πυκν.1600) με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,79$  και πάχος  $0,20m$ . Ο συνολικός συντελεστής  $U$  φέρει τελική τιμή  $1,85$ , όπως προβλέπεται από την τυπολογία του κτιρίου. Οι ωριαίες απώλειες χειμερινών μηνών ανέρχονται σε  $199,4861 kW$  και οι ωριαίες απώλειες θερινών μηνών σε  $34,6330 kW$ , για συνολική επιφάνεια οροφής  $1.500 m^2$ .

Για την μόνωση, που προτείνουμε να εφαρμοστεί, προκύπτει συντελεστής  $U=0,31$ , τιμή η οποία είναι αποδεκτή καθώς είναι μικρότερη από το όριο της μέγιστης επιτρεπτής τιμής  $0,32$  για την θερμική ζώνη D. Αντίστοιχα, για λόγους ελαχιστοποίησης εξόδων αποφεύγεται η επιλογή μόνωσης με μικρότερο συντελεστή  $U$ , αποφεύγοντας σημαντική αύξηση στο κόστος.

Η επιπρόσθετη μόνωση, που εφαρμόζεται στο πρόγραμμα είναι με τα εξής υλικά: Συνθετικά υλικά, ρητίνες, σιλικόνες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,05$  και πάχος  $0,025m$  με τιμή  $3,50 €/m^2$ , Επίχρισμα εξωτερικό ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,87$  και πάχος  $0,02m$  με τιμή  $2,55 €/m^2$ , Υαλόπλεγμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,05$  και πάχος  $0,02m$  με τιμή  $0,84 €/m^2$ , Κόλλα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,19$  με πάχος  $0,02m$  με τιμή  $1,95 €/m^2$  και τελικά Διογκωμένη πολυστερίνη με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,036$  και πάχος  $0,06m$  με τιμή  $66,16 €/m^2$ . Στο κόστος της Διογκωμένης πολυστερίνης προστέθηκαν και τα επιπλέον έξοδα όπως για εργατικά και κόστος εγκατάστασης. Η τελική τιμή της εφαρμογής

θερμομόνωσης οροφής ανέρχεται σε 75 €/m<sup>2</sup> και προέκυψε από πραγματική προσφορά. Ο τελικός συνολικός συντελεστής U που προκύπτει, συμπεριλαμβανομένης της μόνωσης, είναι 0,31 με ωριαίες απώλειες χειμερινών μηνών σε 33,3713 kW και οι ωριαίες απώλειες θερινών μηνών σε 5,7936 kW.

<i>Πίνακας 5.5. Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Σχολείο της Σαβόνα ύστερα από την δράση Θερμομόνωσης Οροφής</i>		
kWh χειμερινούς μήνες	50.685,67	Ετήσιο κέρδος σε € 9.025,13
kWh θερινούς μήνες	16.263,62	

Υπολογίζονται μέσω του BEMAT οι ετήσιες απώλειες σε kWh ανά χρόνο για τους θερινούς και χειμερινούς μήνες, πριν και μετά την εφαρμογή της θερμομόνωσης. Βάσει των στοιχείων αυτών προκύπτουν τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη, που αποδίδονται στην δράση αυτή. Πιο συγκεκριμένα, τα κέρδη ανέρχονται σε 16.263,62 kWh για τους θερινούς μήνες και 50.685,67 kWh για τους χειμερινούς μήνες, με συνολικό όφελος 9.025,13 € ετησίως, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.5.

Το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι 112.500 € ενώ το χρονικό διάστημα της επένδυσης ορίστηκε στα 25 έτη. Τα λειτουργικά έξοδα ανά έτος ορίζονται στα 100 € ετησίως κυρίως για λόγους συντήρησης και ελέγχου. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) σε ευρώ βάσει μηδενικού επιτοκίου αναγωγής, που ισχύει για την Ευρωπαϊκή Ένωση την δεδομένη χρονική στιγμή (Central Bank News, 2016), είναι θετική με τιμή 110.628,25, οπότε και κρίνεται βιώσιμη δράση.

#### **Αντικατάσταση Παλαιών Υαλοπινάκων:**

Η επιλογή των υφιστάμενων υαλοπινάκων βασίστηκε στη μελέτη του Πανεπιστημίου του Τορίνο της Ιταλίας, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου Episcopo. Οι υαλοπίνακες, που προέκυψαν από τη μελέτη, για κτίρια, τα οποία έχουν κτιστεί μέχρι το 1975 στην Ιταλία, είναι Single glass, metal frame without thermal break με συντελεστή  $U=5,7$ , δηλαδή μονός υαλοπίνακας σε μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμομόνωση (Corrado, V., et al., 2012).

Όπως και στα προηγούμενα δύο σενάρια, έτσι και στην επιλογή των καινούργιων υαλοπινάκων, λήφθηκαν υπόψη οι κανονισμοί της Ιταλίας, όπως έχουν παρουσιαστεί παραπάνω. Για το Σχολείο στη Σαβόνα που ανήκει στην κλιματική ζώνη D για τους υαλοπίνακες ο ελάχιστος συντελεστής θερμοπερατότητας είναι 1,9 W/m<sup>2</sup>K.

Ο υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας του κτιρίου πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Google Earth Pro με την χρήση του εργαλείου Ruler-Polygon και με την χρήση του Street View



με σκοπό την καταμέτρηση των παραθύρων κάθε πλευράς του κτιρίου. Συνολικά βρέθηκαν πέντε (5) διαφορετικά μεγέθη υαλοπινάκων στο κτίριο.

Ενεργειακά οφέλη	Οικονομικά οφέλη
Κέρδος σε ενέργεια (kWh) - Θερινοί μήνες	Κέρδος (€) - Θερινοί μήνες
5509.67	1477.74
Κέρδος σε ενέργεια (kWh) - Χειμερινοί μήνες	Κέρδος (€) - Χειμερινοί μήνες
17170.93	1579.73
Συνολικό κέρδος σε ενέργεια (kWh)	Συνολικό κέρδος (€)
22680.6	3057.47

**Σχήμα 5.33. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Ενεργειακά και Οικονομικά οφέλη δράσης αντικατάστασης υαλοπινάκων**

Το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα τις ετήσιες απώλειες σε kWh για τους θερινούς και τους χειμερινούς μήνες, πριν και μετά την αντικατάσταση. Βάσει των στοιχείων αυτών προκύπτουν τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη που επιφέρει η δράση αυτή. Πιο συγκεκριμένα, η εξοικονόμηση ενέργειας για τους θερινούς μήνες ανέρχεται σε 5.509,67 kWh και 17.170,93 kWh για τους χειμερινούς μήνες με συνολική εξοικονόμηση 22.680,6 kWh και αντίστοιχο οικονομικό όφελος 3.057,47 €

Καθαρή παρούσα αξία - ΚΠΑ (€) *	-30982.25
⚠ Μη βιώσιμη δράση!	
Έστωτικός βαθμός απόδοσης - EBA % *	0
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής - ΕΠΑ *	0
⚠ Δε νοείται Έντοκη περίοδος αποπληρωμής όταν η Καθαρή παρούσα αξία είναι αρνητική!	

**Σχήμα 5.34. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης**

ετησίως (Σχήμα 5.33). Στο Σχήμα 5.34 παρουσιάζεται από το λογισμικό BEMAT η οικονομική ανάλυση του σεναρίου αντικατάστασης υαλοπινάκων στο Σχολείο της Σαβόνα. Το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι 107.419 €. Το χρονικό διάστημα της επένδυσης ορίστηκε στα 25 έτη, ενώ η εγγύηση των υαλοπινάκων την οποία δίνει ο κατασκευαστής είναι 10 χρόνια. Τα λειτουργικά έξοδα ανά έτος θεωρούνται μηδενικά. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι αρνητική με τιμή -30.982,25 €.

Το πρόγραμμα κρίνει την δράση μη βιώσιμη, λόγω της αρνητικής Καθαρής Παρούσας Αξίας, και θεωρείται ασύμφορη.

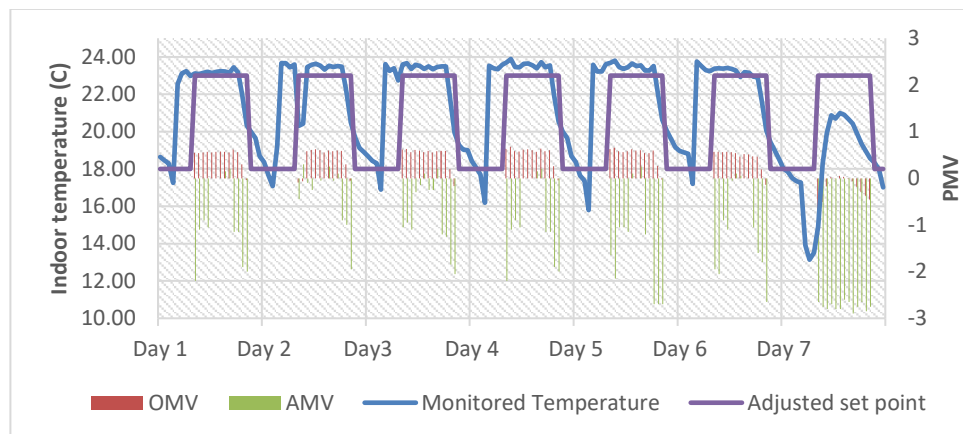
Το λογισμικό έχει την δυνατότητα στη συνέχεια να εμφανίσει στον χρήστη στην καρτέλα «Αποτελέσματα» μια συνολική παρουσίαση των σεναρίων που επιλέχθηκαν με τα οικονομικά στοιχεία της κάθε προτεινόμενης δράσης.

### V.3.2 Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus»

**Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας**

Οι χώροι της Πανεπιστημιούπολης στη Σαβόνα, όπως και του Σχολείου, παρουσιάζουν παρόμοια χρήση. Στην πλειοψηφία τους είναι αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία για τους καθηγητές καθώς και εργαστήρια. Η εφαρμογή του εργαλείου σε διαφορετικούς χώρους, και όχι επί του συνόλου του, κρίνεται απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Στο παράδειγμα υπολογισμού που ακολουθεί

επιλέχτηκε η 6η εβδομάδα του χρόνου, από 31.01.2016 έως 06.02.2016. Το αποτέλεσμα είναι η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας για την εβδομάδα που ακολουθεί, δηλαδή την 7η από 07.02.2016 έως 13.02.2016.



**Σχήμα 5.35. Έφαρμογή του TCV για την 6η εβδομάδα του έτους 2016 στο Πανεπιστήμιο της Σαβόνα**

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.35, η τελική ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας λειτουργίας (Set Point Temperature) για την επόμενη εβδομάδα προτείνεται στους 23,2°C, δηλαδή κατά 0,2°C παραπάνω από την αρχική ρύθμιση του χώρου. Αυτό σημαίνει ότι την επόμενη εβδομάδα το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα εάν αυξήσει την θερμοκρασία θα έχει μια μικρή αύξηση στην ενεργειακή κατανάλωση για την θέρμανση. Σε κάθε περίπτωση, η διαφορά είναι μικρή και εάν εφαρμοστεί θα βελτιωθεί η θερμική άνεση των χρηστών, καθώς θα κυμαίνεται σε ιδανικά διαστήματα τιμών ( $0,5 \leq PMV \leq 0,5$ ).

Δυστυχώς για το Πανεπιστήμιο της Σαβόνα δεν υπήρχαν κατάλληλα αποτελέσματα για την εφαρμογή του TCV για όλο το χρόνο.

**Εφαρμογή ΣΥΑ  
Εξοικονόμησης  
Ενέργειας**

Για την εφαρμογή του BEMAT στην Πανεπιστημιούπολη της Σαβόνα, αρχικά εισήχθησαν δεδομένα όπως το όνομα του έργου, τα κόστη ανά kWh σε € για τις ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων της και στοιχεία που αφορούν τα κτίριά της, όπως το έτος κατασκευής τους (1992), η ύπαρξη μόνωσης (μερική), η ενεργειακή τους κλάση (F), ο προσανατολισμός τους, η συνολική εξεταζόμενη επιφάνεια (21.500 m<sup>2</sup>), η δόμησή τους (ημιαστική) και το ωράριο λειτουργίας τους (καθημερινές 8:00-18:00).

Στη συνέχεια, συμπληρώνουμε στο BEMAT τα στοιχεία για το “Ενεργειακό Προφίλ” των κτιρίων βάσει των ετήσιων καταναλώσεων, οι οποίες χωρίζονται σε Ηλεκτρικές, με 1.173.000 kWh, και σε Φυσικό Αέριο, με ετήσια κατανάλωση 127.273 m<sup>3</sup>. Το κόστος ορίζεται σε 155.000 € για Ηλεκτρική Ενέργεια και 118.000 € για το Φυσικό Αέριο με αντίστοιχες τιμές ανά kWh 0,132139 € και 0,084285 €.

Για την Πανεπιστημιούπολη στη Σαβόνα επιλέχθηκαν για εφαρμογή το Σενάριο της «Θερμομόνωσης Οροφής» και το Σενάριο της «Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών».

### Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής:

Αρχικά, μελετήθηκαν οι οροφές των κτιρίων για το χρονικό διάστημα στο οποίο έχουν κτιστεί τα κτίρια της Πανεπιστημιούπολης “Savona Campus”. Η τελική επιλογή των υφιστάμενων υλικών της οροφής προέκυψαν από τη μελέτη του Πανεπιστημίου του Τορίνο της Ιταλίας για την τυπολογία των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Episcopo, 2016). Τα υλικά της οροφής για κτίρια, τα οποία έχουν κτιστεί το χρονικό διάστημα 1991-2005 στην Ιταλία, είναι Flat Roof with Reinforced Brick-Concrete Slab, medium Insulation με συντελεστή  $U=0,70$  (Corrado, V et al., 2012). Το συνολικό εμβαδόν των οροφών είναι  $8.790 \text{ m}^2$  (Πίνακας 5.6).

**Πίνακας 5.6. Συνολικό εμβαδόν οροφών**

Κτίριο:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Περίμετρος (m)</b>	157	161	161	161	161	125	126	350	102
<b>Εμβαδόν (m<sup>2</sup>)</b>	884	805	805	805	805	802	711	263	541
<b>Συνολικό Εμβαδόν Οροφών (m<sup>2</sup>)</b>	<b>8790</b>								

Η Σαβόνα ανήκει στην κλιματική ζώνη D. Για την συγκεκριμένη ζώνη οι ελάχιστες αποδεκτές τιμές του συντελεστή  $U$ , τις οποίες μπορεί να λάβει η οροφή, είναι  $0,32$ , με αποτέλεσμα την επιλογή της τιμής  $U=0,31$ .

Τα νέα υλικά της οροφής, που προστέθηκαν είναι: Συνθετικά υλικά, ρητίνες, σιλικόνες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,05$  και πάχος  $0,02m$  με τιμή  $3,50 \text{ €/m}^2$ , Επίχρισμα εξωτερικό ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,87$  και πάχος  $0,02m$  με τιμή  $2,55 \text{ €/m}^2$ , Υαλόπλεγμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,05$  και πάχος  $0,02m$  με τιμή  $0,84 \text{ €/m}^2$ , Κόλλα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,19$  με πάχος  $0,02m$  με τιμή  $1,95 \text{ €/m}^2$  και τελικά Διογκωμένη πολυστερίνη με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/mK$ )= $0,036$  και πάχος  $0,03m$  με τιμή  $63,15 \text{ €/m}^2$ . Στο κόστος της Διογκωμένης πολυστερίνης προστέθηκαν και τα επιπλέον έξοδα, όπως για εργατικά και κόστος εγκατάστασης. Η τελική τιμή της εφαρμογής θερμομόνωσης οροφής ανέρχεται σε  $72 \text{ €/m}^2$  και προέκυψε από πραγματική προσφορά. Ο τελικός συνολικός συντελεστής  $U$ , που προκύπτει, συμπεριλαμβανομένης της μόνωσης, είναι  $0,31$  με ωριαίες απώλειες χειμερινών μηνών σε  $kW$   $198,1909$  και οι ωριαίες απώλειες θερινών μηνών σε  $kW$   $34,4081$ . Αφού τα υλικά έχουν προστεθεί στην πλατφόρμα, το BEMAT υπολογίζει αυτόματα τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη. Από τις τιμές αυτές προκύπτουν συνολικά ενεργειακά οφέλη  $259.615,2 \text{ kWh}$  και αντίστοιχο συνολικό οικονομικό όφελος  $26.416,04\text{€}$  (Πίνακας 5.7).

<b>Πίνακας 5.7. Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα ύστερα από την δράση Θερμομόνωσης Οροφής</b>		
kWh χειμερινούς μήνες	196.548,3	Ετήσιο κέρδος σε € 26.416,04
kWh θερινούς μήνες	63.066,3	

Καθαρή παρούσα αξία - ΚΠΑ (€) *	15021
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης - EBA % *	0.2
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής - ΕΠΑ *	23.96

**Σχήμα 5.36. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Οικονομική Ανάλυση του Σεναρίου Εφαρμογής Θερμομόνωσης Οροφής της Πανεπιστημιούπολης στη Σαβόνα**

Τα αποτελέσματα της τελικής οικονομικής ανάλυσης υπολογίζονται αυτόματα μέσω του προγράμματος μετά την εισαγωγή του χρονικού διαστήματος (25 χρόνια) της επένδυσης, των λειτουργικών εξόδων ανά έτος (500 €) και του επιτοκίου αναγωγής (0%) το οποίο ισχύει στην ΕΕ (Central Bank News, 2016). Το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι 632.880€ με ετήσιο όφελος 26.416,04 €. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) της επένδυσης είναι θετική με τιμή 15.021 €, και ως εκ τούτου η δράση κρίνεται βιώσιμη. Η οικονομική ανάλυση παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.36.

**Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών:**

Το δεύτερο σενάριο που επιλέχθηκε να εφαρμοστεί είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 20 kWp. Η Πανεπιστημιούπολη στη Σαβόνα διαθέτει ήδη μια φωτοβολταϊκή μονάδα ισχύος 80 kWp. Η δράση κρίθηκε αναγκαία από τους ενεργειακούς διαχειριστές της Πανεπιστημιούπολης (OPTIMUS 2016), υπάρχει αρκετός χώρος, εύκολα προσβάσιμος με ισχυρά θεμέλια, ώστε να στηριχθούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Για την επιλογή της εγκατάστασης και την οικονομική μελέτη πραγματοποιήθηκε έρευνα αγοράς και τα τελικά δεδομένα προέκυψαν από πραγματική προσφορά. Η εισαγωγή των δεδομένων για την υλοποίηση του σεναρίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.37, όπου παρουσιάζονται οι ενεργειακοί δείκτες του Σεναρίου.

Εγκατάσταση Φ/Β Συστήματος

Εισάγετε τα στοιχεία που αφορούν στην εγκατάσταση του συστήματος Φωτοβολταϊκών:

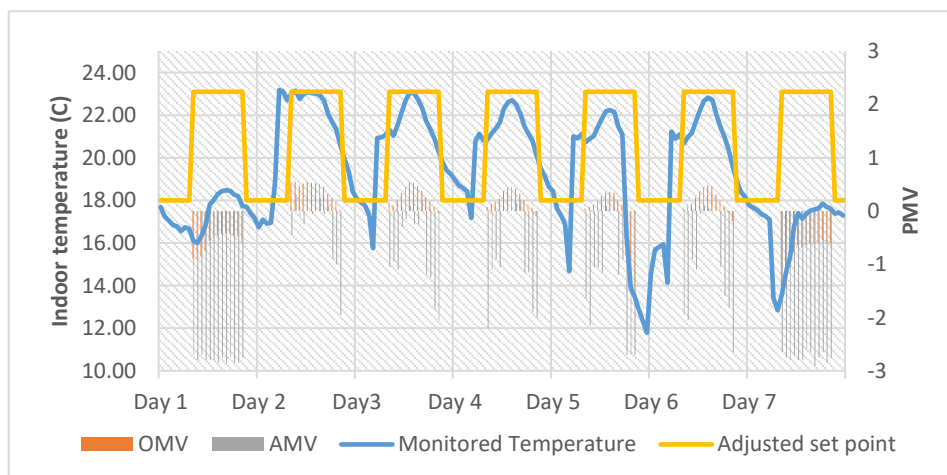
Εγκατάσταση Φ/Β Συστήματος	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας (€)	Δαπάνη (€)
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	67 *	185,0 *	12395
Μεταλλικές βάσεις στήριξης	67 *	120,0 *	8040
Συμπεριλαμβ. κλπ.	0 *	0,0 *	0
Καλωδιώσεις	20 *	20,0 *	400
Μετατροπείς ισχύος	1 *	130,0 *	130
Μεταφορά, εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία	20 *	200,0 *	4000

**Σχήμα 5.37. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος**

Τα Πλαίσια που επιλέχθηκαν έχουν ισχύ 300 W ανά πλαίσιο με Βαθμό απόδοσης 17,89% και κλίση τοποθέτησης 20°. Οι διαστάσεις του κάθε πλαισίου είναι 1,675m x 1,001m και επιφάνεια 1,67 m<sup>2</sup>, οπότε και συνολική επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών περίπου 112 m<sup>2</sup>. Για μια εγκατάσταση 20 kWp με ηλιακούς συλλέκτες των 300 W χρειάζονται συνολικά  $20.000/300 = 66,667$  συλλέκτες, άρα με 67 συλλέκτες καλύπτουμε το επιθυμητό ποσό των 20 kWp. Η τιμή μονάδας για τον κάθε συλλέκτη και τα επιπλέον έξοδα για μεταλλικές βάσεις στήριξης, καλωδιώσεις κλπ. που χρειάζονται για την εγκατάσταση φαίνονται στην παραπάνω εικόνα με τίτλο «Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος». Για τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών απαιτείται η εισαγωγή της τιμής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας σε €/kWh, η οποία τέθηκε ίση με 0,132139 €, όσο δηλαδή είναι και η τιμή αγοράς της. Επιπλέον ορίστηκε το χρονικό διάστημα της επένδυσης ίσο με 25 έτη, όσο είναι δηλαδή και η εγγύηση που δίνεται από τον κατασκευαστή των φωτοβολταϊκών πλαισίων για γραμμική απόδοση, ενώ τα λειτουργικά έξοδα τέθηκαν ίσα με 100 € ετησίως (κυρίως για έξοδα συντήρησης όπως καθαρισμός των πλαισίων). Το επιτόκιο αναγωγής ορίζεται όπως και στις υπόλοιπες δράσεις ίσο με 0 (Central Bank News, 2016). Το εκτιμώμενο κόστος που υπολογίζεται από το πρόγραμμα ανέρχεται σε 24.965€. Μετά την προσθήκη απρόβλεπτων δαπανών και της επιβάρυνσης φόρου προκύπτει το συνολικό εκτιμώμενο κόστος το οποίο ισούται με 33.742,69 €. Το ετήσιο όφελος υπολογίστηκε στα 3.911,36€ βάσει του οποίου υπολογίζεται η ΚΠΑ του σεναρίου η οποία είναι θετική με τιμή 61.541,31 €. Η δράση αυτή κρίνεται από το πρόγραμμα οικονομικά βιώσιμη.

### V.3.3 Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ

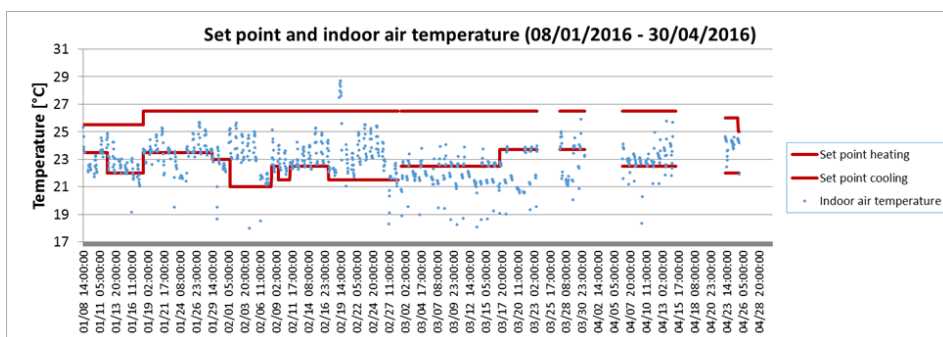
**Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας** Η εφαρμογή του TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ για 33 διαφορετικούς χώρους. Στο παράδειγμα υπολογισμού που ακολουθεί επιλέχτηκε η 6η εβδομάδα του χρόνου, από 31.01.2016 έως 06.02.2016.



Σχήμα 5.38. Εφαρμογή του TCV για την 6η εβδομάδα του έτους 2016 στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ

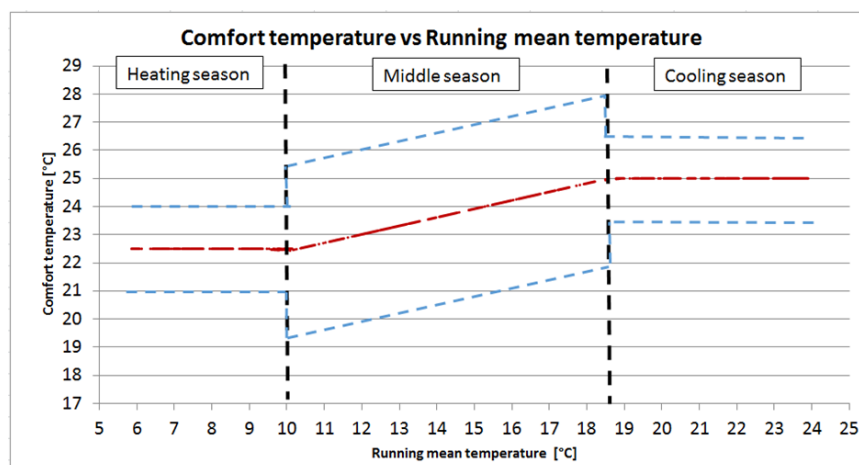
Το αποτέλεσμα είναι η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας για την εβδομάδα που ακολουθεί, δηλαδή την 7η από 07.02.2016 έως 13.02.2016. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.38, η τελική ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας λειτουργίας (Set Point Temperature) για την επόμενη εβδομάδα προτείνεται στους 22,5°C. Δεδομένου, ότι η αρχική ρύθμιση ήταν στους 22,5°C συμπεραίνουμε ότι δεν θα υπάρξει αλλαγή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής του ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας.

Η μέση θερμοκρασία ρύθμισης για το σύστημα θέρμανσης είναι περίπου 22,5 ° C ενώ το μέσο σημείο ρύθμισης για ψύξη είναι περίπου 25,5 ° C. Η θερμοκρασία σημείου αναφοράς και η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα για τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο του 2016 για ένα τυπικό δωμάτιο γραφείων στο Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.39.



Σχήμα 5.39. Ορισμός και παρακολούθηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα σε ένα γραφείο του Δημαρχείου (OPTIMUS, 2016)

Στο Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ το σύστημα κλιματισμού, εξαερισμού, ψύξης και θέρμανσης HVAC έχει μέση θερμοκρασία ρύθμισης για θέρμανση περίπου 22,5 ° C και για ψύξη περίπου 25,5 ° C. Κατά τη διάρκεια των εποχών θέρμανσης και ψύξης, οι θερμοκρασίες άνεσης ρυθμίζονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 7730: 22,5 ° C τη χειμερινή περίοδο και 25 ° C στην ψύξη. Κατά την ενδιάμεση περίοδο (Μάιος, Σεπτέμβριος και Οκτώβριος), η θερμοκρασία άνεσης ρυθμίζεται ανάλογα



Σχήμα 5.40. Εύρος άνεσης για θέρμανση, ψύξη και ενδιάμεσες εποχές σε σχέση με την μέση θερμοκρασία λειτουργίας (OPTIMUS, 2016)

με τη μέση θερμοκρασία εξωτερικού αέρα. Οι αποδεκτές θερμοκρασίες εσωτερικού χώρου για τη θέρμανση και ψύξη ορίζονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 15251. Στο Σχήμα 5.40 οι παραπάνω αναφερόμενες περιόδους, μαζί με το εύρος άνεσης, ορίζονται ως συνάρτηση της μέσης θερμοκρασίας λειτουργίας.

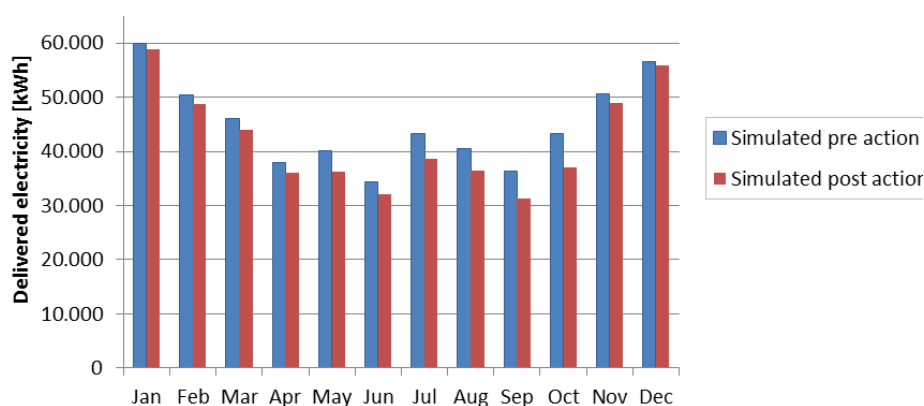
Από τον Πίνακα 5.8 παρατηρούμε ότι με την χρήση του λογισμικού TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας αλλάζει για τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες. Σύμφωνα με πραγματικές μετρήσεις που έγιναν στο κτίριο, από την εφαρμογή του λογισμικού TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας έγινε εξοικονόμηση της τάξεως του 6,6% στην ενεργειακή κατανάλωση (OPTIMUS 2016). Στο Σχήμα 5.41 παρουσιάζεται η κατανάλωση του κτιρίου πριν και μετά την εφαρμογή του ΣΥΑ για την Διαχείριση Ενέργειας. Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα εξοικονομούνται 80.200 kWh ηλεκτρικής ενέργειας που ισοδυναμεί σε κέρδος περίπου 12.688€ (Πίνακας 5.9). Σημειώνεται ότι το Δημαρχείο καταναλώνει μόνο ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση και ψύξη.

**Πίνακας 5.8. Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας στο Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ σε ένα γραφείο**

Ημερομηνία	Εβδομάδα	Set Point Temperature (°C)	Adjusted Set Point (°C)	Difference (°C)
01/01/2016 - 02/01/2016	1	22.5	22.5	0
03/01/2016 - 09/01/2016	2	22.5	22.5	0
10/01/2016 - 16/01/2016	3	22.5	22	-0.5
17/01/2016 - 23/01/2016	4	22.5	22	-0.5
24/01/2016 - 30/01/2016	5	22.5	22.5	0
31/01/2016 - 06/02/2016	6	22.5	22.5	0
07/02/2016 - 13/02/2016	7	22.5	22	-0.5
14/02/2016 - 20/02/2016	8	22.5	22	-0.5
21/02/2016 - 27/02/2016	9	22.5	22.5	0
28/02/2016 - 05/03/2016	10	22.5	21.5	-1
06/03/2016 - 12/03/2016	11	22.5	21.5	-1
13/03/2016 - 19/03/2016	12	22.5	22.5	0
20/03/2016 - 26/03/2016	13	22.5	22.5	0
27/03/2016 - 02/04/2016	14	22.5	21.5	-1
03/04/2016 - 09/04/2016	15	22.5	21	-1.5
10/04/2016 - 16/04/2016	16	22.5	21.5	-1

17/04/2016 - 23/04/2016	17	25.5	25.5	0
24/04/2016 - 30/04/2016	18	25.5	25.5	0
01/05/2016 - 07/05/2016	19	25.5	25.5	0
08/05/2016 - 14/05/2016	20	25.5	26	0.5
15/05/2016 - 21/05/2016	21	25.5	26	0.5
22/05/2016 - 28/05/2016	22	25.5	25.5	0
29/05/2016 - 04/06/2016	23	25.5	26	0.5
05/06/2016 - 11/06/2016	24	25.5	26.5	1

**Σχήμα 5.41. Εφαρμογή Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ. Προβλεπόμενα αποτελέσματα (OPTIMUS, 2016)**

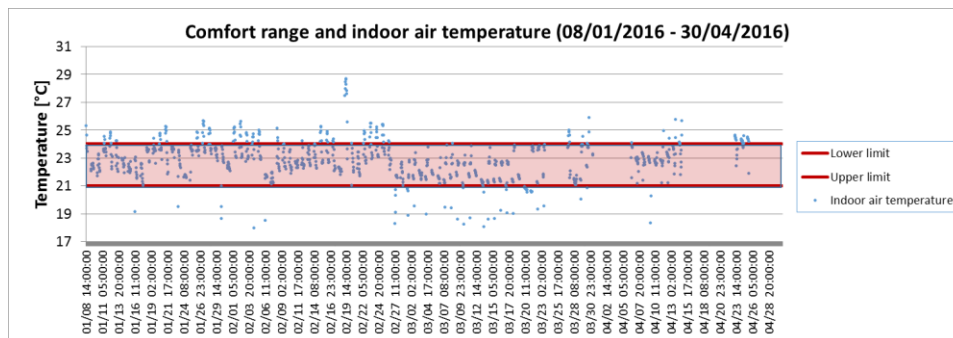


<b>Πίνακας 5.9. Σύνολο εξοικονόμησης σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ</b>			
kWh εξοικονόμησης	80.200	Κέρδος €	12.688

Η εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, δεν επηρεάζει μόνο την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές του CO2 και το ενεργειακό κόστος, επηρεάζει και την θερμική άνεση. Σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία εφαρμογής στο Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ το ποσοστό των ωρών δυσφορίας ήταν 22% κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης και 70% κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης. Μετά την εφαρμογή του σχεδίου δράσης, το 100% των ωρών κατά τη διάρκεια της περιόδου λειτουργία του κτιρίου βρίσκεται εντός του εύρους άνεσης (OPTIMUS 2016).

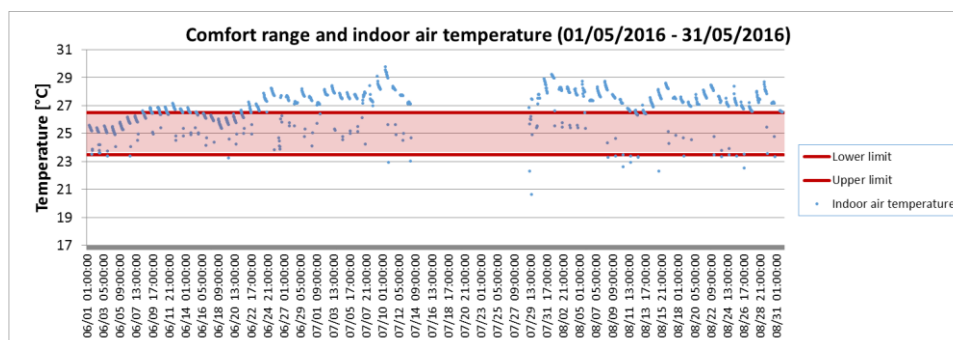
Στο Σχήμα 5.42 παρουσιάζεται η εποχή θέρμανσης: το διάστημα της θερμοκρασίας άνεσης κυμαίνεται μεταξύ 21 ° C και 24 ° C σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας.





**Σχήμα 5.42. Εύρος άνεσης και παρακολούθηση θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα για την περίοδο θέρμανσης σε ένα γραφείο στο Δημαρχείο του Sant Cugat (08/01/2016 - 30/04/2016)**

Στο Σχήμα 5.43 παρουσιάζεται η εποχή ψύξης με εύρος θερμοκρασίας άνεσης που κυμαίνεται μεταξύ 23,5 °C και 26,5 °C.



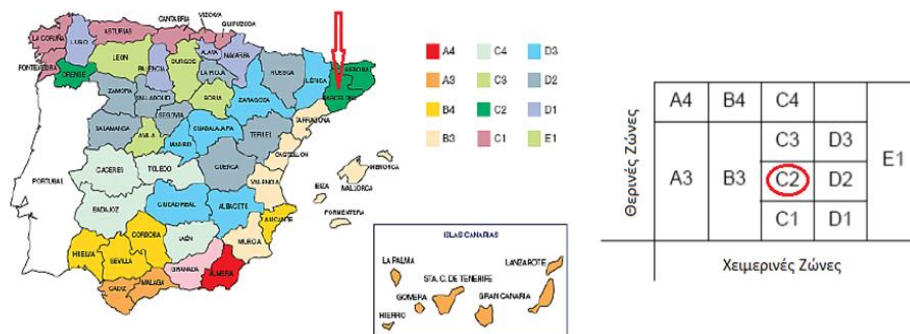
**Σχήμα 5.43. Εύρος άνεσης και παρακολούθηση θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα για την εποχή ψύξης σε ένα δωμάτιο γραφείων στο Δημαρχείο του Sant Cugat (01/06/2016 - 31/08/2016)**

Μετά με την χρήση του λογισμικού TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, το 100% των ωρών κατά τη διάρκεια της κατελημμένης περιόδου βρίσκεται εντός του εύρους άνεσης. Επίσης επιτύχαμε μείωση 6,6% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη και περίπου μείωση 28% των ωρών δυσφορίας (σταθμισμένος αντίκτυπος άνεσης βάσει των μηνών κάθε εποχής)

#### **Εφαρμογή ΣΥΑ Εξοικονόμησης Ενέργειας**

Η εφαρμογή του εργαλείου BEMAT -Building Energy Management Tool (Parastamatiou et al., 2015) στο κάθε κτίριο διαφέρει ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα, την χρήση αλλά και την τοποθεσία που βρίσκεται. Για την επιλογή των δράσεων για το κάθε κτίριο, λήφθηκαν υπόψη τα εκ των προτέρων αποτελέσματα του λογισμικού e-SCEAF. Στη συνέχεια μελετήθηκε ενδελεχώς η υφιστάμενη κατάσταση του κάθε κτιρίου μέσω του BEMAT και στο τέλος προτείνονται δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης.

Για την εφαρμογή του BEMAT στο Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ πραγματοποιήθηκε αρχικά η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Το κτίριο είναι ενεργειακής κλάσης D και ανήκει στην κλιματική ζώνη C2 της Ισπανίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.44 και με κόκκινο βέλος έχει σημειωθεί η περιοχή του Σαν Κουγκάτ.



Σχήμα 5.44. Κλιματικές ζώνες Ισπανίας και με κόκκινο βέλος η τοποθεσία που βρίσκονται το Δημαρχείο και το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ

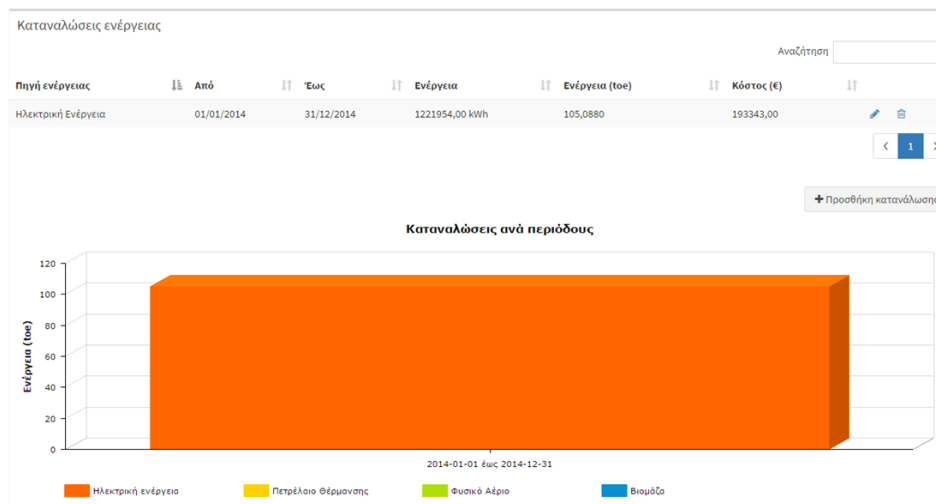
Στον Πίνακα 5.10 παρουσιάζεται ο ελάχιστος επιτρεπτός συντελεστής θερμοπερατότητας ανά κλιματική ζώνη στην Ισπανία. Οι τιμές αυτές είναι χρήσιμες για την εφαρμογή των βελτιωτικών δράσεων εξωτερικής τοιχοποιίας και οροφών στο Δημαρχείο και το Θέατρο του Σαν Κουγκάτ.

Πίνακας 5.10. Ελάχιστος συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m²K) ανάλογα με την κλιματική ζώνη για την Ισπανία

Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m²K)

Κλιματική Ζώνη	Εξωτερικοί Τοίχοι	Οροφή	Πατώματα	Κουφώματα Ανοιγμάτων
A	0.94	0.50	0.53	5.2
B3	0.82	0.45	0.52	5.7
C2/C1	0.73	0.41	0.50	4.3
D3	0.66	0.38	0.49	3.5
E	0.34	0.30	0.33	2.2

Στην αρχή εισάγουμε στο λογισμικό BEMAT τις γενικές πληροφορίες του Δημαρχείου όπως έτος κατασκευής (2007), εξεταζόμενη επιφάνεια (8.593 m²), ο προσανατολισμός του κτιρίου (βορειοδυτικός), η δόμησή του (αστική) και το ωράριο λειτουργίας (καθημερινές από τις 07:30 μέχρι τις 22:00). Οι πληροφορίες αυτές συμπληρώνονται στο BEMAT στην καρτέλα «Επεξεργασία κτιρίου». Στην καρτέλα «Ιδιότητες έργου» συμπληρώνεται η τιμή του κόστους ανά kWh για το ρεύμα, η οποία είναι 0,158224 €. Το μόνο είδος ενέργειας που καταναλώνει το κτίριο είναι Ηλεκτρική Ενέργεια με 1.221.954 kWh ετησίως, με αντίστοιχο κόστος 193.343 €. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται με την μορφή διαγράμματος στην καρτέλα «Ενεργειακό Προφίλ» όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.45.



**Σχήμα 5.45. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Καρτέλα Ενεργειακό Προφίλ**

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, το κτίριο διαθέτει μόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας αλλά δεν είναι επαρκής. Ιδιαίτερα η θερμομόνωση της οροφής επιδέχεται μεγάλη βελτίωση, ενώ η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται κατά κύριο λόγο από γυάλινες τζαμαρίες (δύο υαλοπίνακες με κενό αέρος με ικανοποιητικό βαθμό μόνωσης).

Το σενάριο ενεργειακής διαχείρισης που επιλέχθηκε είναι η Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής καθώς το δημαρχείο διαθέτει μόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας. Διαθέτει επίσης ενεργειακούς υαλοπίνακες και εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος. Επίσης, καθώς το κτίριο είναι κατασκευής του 2007 δεν κρίνεται απαραίτητη η αντικατάσταση του συστήματος Θέρμανσης, Αερισμού και Κλιματισμού (HVAC).

**Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής:**

Για την επιλογή των υλικών της υφιστάμενης οροφής μελετήθηκαν οι τυπολογίες των κτιρίων στην Ισπανία και η τελική επιλογή έγινε βάσει της μελέτης: “Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stock, Existent Experiences in Spain, November 2011, του Valencian Institute of Building (Valencian Institute of Building, 2011). Ο τύπος οροφής που επιλέχθηκε είναι βαριάς κατασκευής, χωρίς μόνωση με συντελεστή  $U = 0.68 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ .

Τα υλικά της υφιστάμενης τοιχοποιίας της οροφής που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για τον υπολογισμό του συντελεστή  $U$  και τον αντίστοιχων ωριαίων απωλειών σε kW είναι: Ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \text{ (W/mK)} = 0,87$  με πάχος 0,04m, Οπλισμένο σκυρόδεμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \text{ (W/mK)} = 2,03$  με πάχος 0,17m, Υαλοβάμβακας με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \text{ (W/mK)} = 0,04$  με πάχος 0,035m και τέλος, Τσιμεντόλιθοι από ασβεστολιθικά αδρανή (πυκν.1400) με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \text{ (W/mK)} = 0,70$  και πάχος 0,20m. Ο συνολικός συντελεστής  $U$  που προκύπτει έχει τιμή 0,68 ενώ οι ωριαίες απώλειες

χειμερινών και θερινών μηνών ανέρχονται σε 106,9818 kW και 18,5732 kW αντίστοιχα, για συνολική επιφάνεια οροφής 2170 m<sup>2</sup>.

Η επιλογή των νέων υλικών της οροφής που θα προστεθούν με την εφαρμογή της θερμομόνωσης βασίστηκε στους κανονισμούς της Ισπανίας για τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές του συντελεστή U για οροφές, η οποία είναι  $U=0,41$ . Έτσι προέκυψε η τελική μόνωση του κτιρίου με συντελεστής  $U=0,40$ . Τα νέα υλικά της οροφής που προτείνονται είναι: Συνθετικά υλικά, ρητίνες, ολικόνες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,05 και πάχος 0,01m με τιμή 3,50 €/m<sup>2</sup>, Επίχρισμα εξωτερικό ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,87 και πάχος 0,025m με τιμή 2,55 €/m<sup>2</sup>, Υαλόπλεγμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,05 και πάχος 0,02m με τιμή 0,84 €/m<sup>2</sup>, Κόλλα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,19 με πάχος 0,02m με τιμή 1,95 €/m<sup>2</sup> και τέλος Διογκωμένη πολυστερίνη με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,036 και πάχος 0,01m με τιμή 61,16 €/m<sup>2</sup>. Στο κόστος της Διογκωμένης πολυστερίνης συμπεριλαμβάνονται τα εργατικά έξοδα και το κόστος εγκατάστασης. Η τελική τιμή της εφαρμογής θερμομόνωσης οροφής ανέρχεται σε 70 €/m<sup>2</sup> και προέκυψε από πραγματική προσφορά. Ο τελικός συντελεστής U, που προκύπτει, συμπεριλαμβανομένης της μόνωσης, είναι 0,40 με ωριαίες απώλειες χειμερινών μηνών 63.1985 kW και αντίστοιχα θερινών μηνών 10.9720 kW όπως υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό BEMAT.

Τα στοιχεία για τις ετήσιες απώλειες και τα συνολικά ενεργειακά οφέλη παρουσιάζονται παρακάτω στο Σχήμα 5.46 και είναι οι εξής:

Απώλειες/χρόνο θερινούς μήνες (χωρίς θερμομόνωση): 27.080,27 kWh

Απώλειες/χρόνο χειμερινούς μήνες (χωρίς θερμομόνωση): 84.395,78 kWh

Απώλειες/χρόνο θερινούς μήνες (με θερμομόνωση): 15.929,57 kWh

Απώλειες/χρόνο χειμερινούς μήνες (με θερμομόνωση): 49.644,58 kWh

Συνολικό ενεργειακό όφελος: 45.901,9 kWh

Ενεργειακά οφέλη	Οικονομικά οφέλη
Κέρδος σε ενέργεια (kWh) - Θερινοί μήνες	Κέρδος (€) - Θερινοί μήνες
11150,7	1764,31
Κέρδος σε ενέργεια (kWh) - Χειμερινοί μήνες	Κέρδος (€) - Χειμερινοί μήνες
34751,2	3197,11
Συνολικό κέρδος σε ενέργεια (kWh)	Συνολικό κέρδος (€)
45901,9	4961,42

**Σχήμα 5.46. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Ενεργειακά Οφέλη Εφαρμογής Θερμομόνωσης Οροφής**

Από τα στοιχεία αυτά το πρόγραμμα πραγματοποιεί την οικονομική ανάλυση του σεναρίου όπου για χρονικό διάστημα 25 ετών της επένδυσης, με 100 € λειτουργικά έξοδα ετησίως, με συνολικό κόστος επένδυσης 151.900 € και με επιτόκιο αναγωγής 0% (Central Bank News, 2016) προκύπτει Καθαρή Παρούσα Αξία -30.364,5 €, οπότε και κρίνεται και αυτή η δράση από το πρόγραμμα μη βιώσιμη.

Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας αποτελεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που σε ξεχωριστή καρτέλα, στην οποία δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης των σεναρίων.

### V.3.4 Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ



*Σχήμα 5.47. Φυλλάδιο για την χρήση του TCV στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ*

Η εφαρμογή του TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ έγινε για έναν ενιαίο χώρο. Συγκεκριμένα, για το Θέατρο, δημιουργήθηκε ένα φυλλάδιο για να μοιράζεται κατά την διάρκεια των παραστάσεων και να παροτρύνει τους χρήστες να χρησιμοποιούν το TCV όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.47.

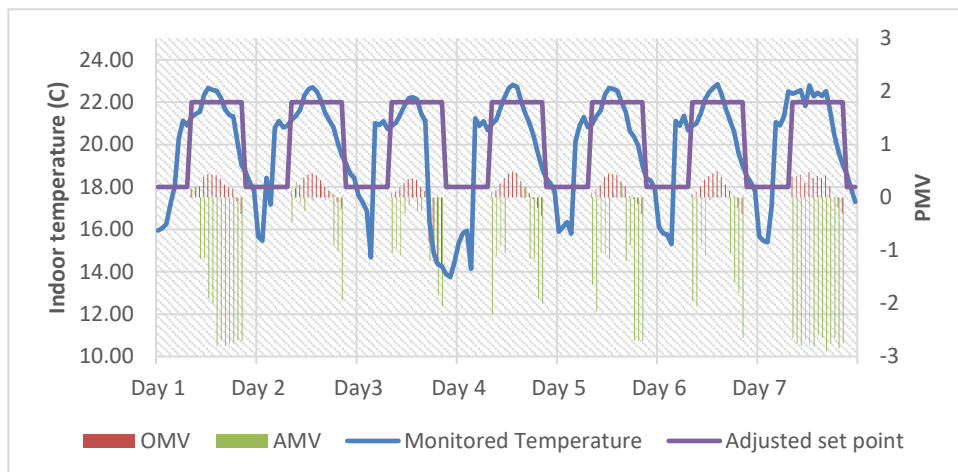
Στο παράδειγμα υπολογισμού που ακολουθεί επλέχτηκε η 6η εβδομάδα του χρόνου, από 31.01.2016 έως 06.02.2016. Το αποτέλεσμα είναι η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας για την εβδομάδα που ακολουθεί, δηλαδή την 7η από 07.02.2016 έως 13.02.2016.

**Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας** Το επόμενο μέρος της διαδικασίας αποτελούν τα βήματα υπολογισμού των PMV, OMV και AMV και ο καθορισμός της προτεινόμενης θερμοκρασίας για κάθε ώρα της επόμενης εβδομάδας. Ακολουθεί η μεθοδολογία του Σχεδίου Δράσης με τον αντίστοιχο Κανόνα Επαγωγής «Επικύρωση Θερμικής Άνεσης όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.4.2. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί και τα ακόλουθα screenshots προέρχονται από το λογιστικό φύλλο σε Microsoft Excel (Marinakis et al., 2017) που υπολογίζει όλα τα στάδια της μεθοδολογίας και υλοποιεί το Σχέδιο Δράσης.

Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας επικυρώνεται η τιμή του AMV. Με αυτό το βήμα ολοκληρώνεται η διαδικασία με τελικό αποτέλεσμα την ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας για την επόμενη εβδομάδα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.48, η τελική ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας λειτουργίας (Set Point Temperature) για την επόμενη εβδομάδα προτείνεται στους 22°C, δηλαδή κατά 1°C λιγότερο από την αρχική ρύθμιση του χώρου. Αυτό σημαίνει ότι την επόμενη εβδομάδα το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ θα μειώσει την θερμοκρασία και ως εκ τούτου θα έχει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση και θα βελτιώσει την θερμική άνεση των χρηστών καθώς θα κυμαίνεται σε ιδανικά διαστήματα τιμών ( $0,5 \leq PMV \leq 0,5$ ).

Η τελική ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας λειτουργίας, που προέκυψε για την 7η εβδομάδα του θεάτρου του Sant Cugat είναι 22 °C. Η τιμή αυτή είναι κατά 1°C χαμηλότερη της αρχικής ρύθμισης. Το αποτέλεσμα είναι ότι εξοικονομείται ενέργεια, καθώς υπάρχει μικρότερη ανάγκη για θέρμανση και θα βελτιωθεί η θερμική άνεση των χρηστών, καθώς θα κυμαίνεται σε ιδανικά διαστήματα τιμών ( $0,5 \leq PMV \leq 0,5$ ).

**Σχήμα 5.48. Εφαρμογή του TCV για την 6η εβδομάδα του έτους 2016 στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ**



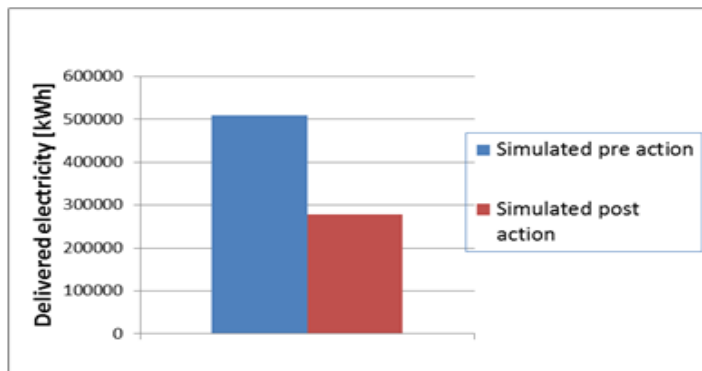
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής του ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας.

Η εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης ρύθμισης της θερμοκρασίας με το λογισμικό TCV επηρεάζει τα ακόλουθα πεδία: Ενεργειακή απόδοση, εκπομπές CO<sub>2</sub>, ενεργειακό κόστος και θερμική άνεση.

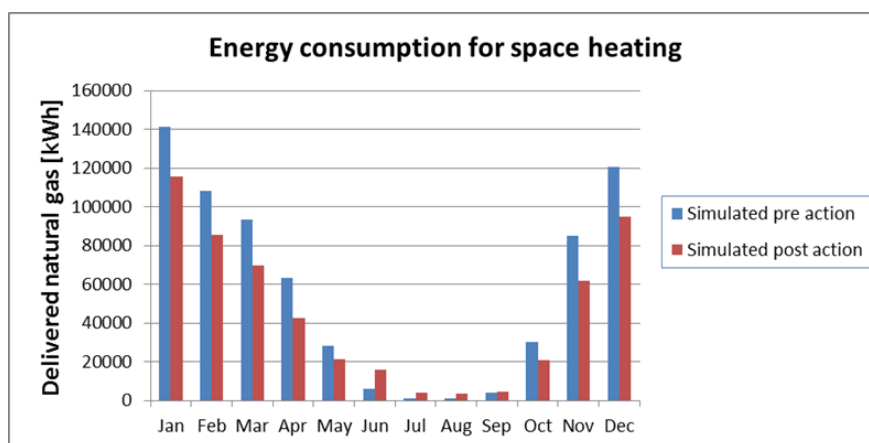
Η μέση θερμοκρασία ρύθμισης για το σύστημα θέρμανσης (με φυσικό αέριο) είναι περίπου 23° C ενώ το μέσο σημείο ρύθμισης για ψύξη (με ηλεκτρισμό) είναι περίπου 24° C. Στο Σχήμα 5.49 παρουσιάζεται η διαφορά στην ηλεκτρική κατανάλωση για κλιματισμό πριν και μετά την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης και στο Σχήμα 5.50 η διαφορά στην κατανάλωση Φυσικού Αερίου πριν και μετά την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης.

Σύμφωνα με τα πραγματικά αποτελέσματα (OPTIMUS, 2016) της εφαρμογής του ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας στο Θέατρο του Σαν Κουγκάτ μετρήθηκε μείωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 45%, και μείωση στην κατανάλωση φυσικού αερίου κατά 21% για ολόκληρο το έτος. Η ηλεκτρική κατανάλωση για κλιματισμό ήταν 508.613 Kwh και η κατανάλωση για το φυσικό αέριο ήταν 698.995 Kwh. Οι καταναλώσεις αυτές αφορούν στο έτος 2012. Η θερμική άνεση των χρηστών βελτιώθηκε κατά 34% τους χειμερινούς μήνες και κατά 55% τους καλοκαιρινούς. Στον Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται οι αλλαγές στο σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας και για τις 41 εβδομάδες στο Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ.

Οι καταναλώσεις μετά την εφαρμογή του ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.12.



Σχήμα 5.49. Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας πριν και μετά την Εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και του TCV στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ (OPTIMUS, 2016)



Σχήμα 5.50. Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας πριν και μετά την Εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και του TCV στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ (OPTIMUS, 2016)

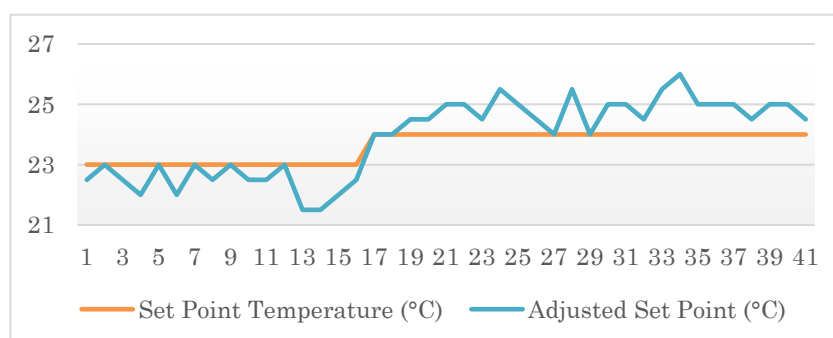
Πίνακας 5.11. Εφαρμογή ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας στο Θέατρο του Σαν Κουγκάτ

Ημερομηνία	Εβδομάδα	Set Point Temperature (°C)	Adjusted Set Point (°C)	Difference (°C)	Difference kWh
01/01/2016 - 02/01/2016	1	23	22.5	-0.5	12912
03/01/2016 - 09/01/2016	2	23	23	0	0
10/01/2016 - 16/01/2016	3	23	22.5	-0.5	12912
17/01/2016 - 23/01/2016	4	23	22	-1	25812
24/01/2016 - 30/01/2016	5	23	23	0	0
31/01/2016 - 06/02/2016	6	23	22	-1	25812

07/02/2016 - 13/02/2016	7	23	23	0	0
14/02/2016 - 20/02/2016	8	23	22.5	-0.5	12912
21/02/2016 - 27/02/2016	9	23	23	0	0
28/02/2016 - 05/03/2016	10	23	22.5	-0.5	12912
06/03/2016 - 12/03/2016	11	23	22.5	-0.5	12912
13/03/2016 - 19/03/2016	12	23	23	0	0
20/03/2016 - 26/03/2016	13	23	21.5	-1.5	38724
27/03/2016 - 02/04/2016	14	23	21.5	-1.5	38724
03/04/2016 - 09/04/2016	15	23	22	-1	25812
10/04/2016 - 16/04/2016	16	23	22.5	-0.5	12912
17/04/2016 - 23/04/2016	17	24	24	0	0
24/04/2016 - 30/04/2016	18	24	24	0	0
01/05/2016 - 07/05/2016	19	24	24.5	0.5	5242
08/05/2016 - 14/05/2016	20	24	24.5	0.5	5242
15/05/2016 - 21/05/2016	21	24	25	1	10329

<b>Πίνακας 5.12. Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Θέατρο του Σαν Κουγκάτ ύστερα από το ΣΥΑ διαχείρισης ενέργειας</b>		
kWh χειμερινούς μήνες	228.875	Ετήσιο κέρδος σε € 42.439,9
kWh θερινούς μήνες	146.788	

Στο Σχήμα 5.51 παρουσιάζεται το διάγραμμα του σημείου ρύθμισης της θερμοκρασίας στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ για τις 41 εβδομάδες.



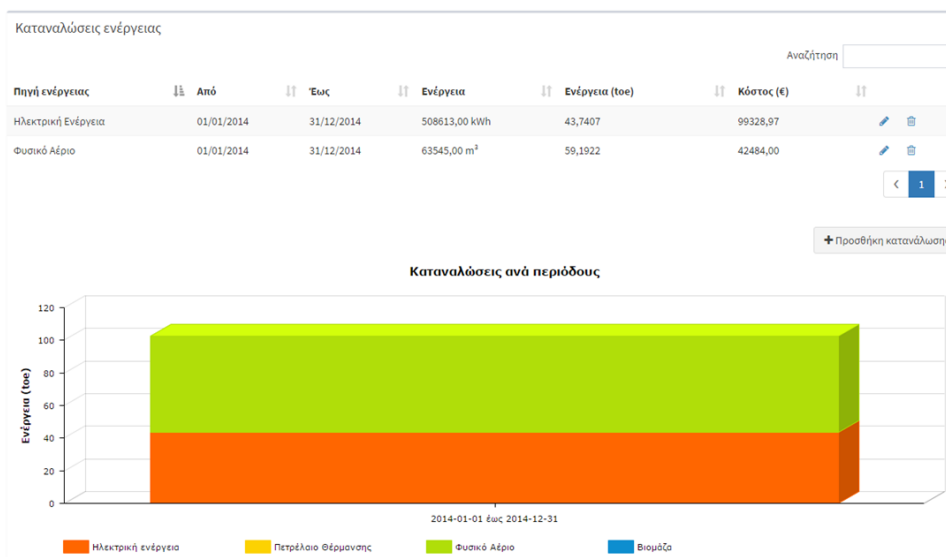
**Σχήμα 5.51. Ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας στο Θέατρο του Σαν Κουγκάτ μέσω του Σχεδίου Δράσης και του λογισμικού TCV**



**ΣΥΛΛΟΓΗ** Η εφαρμογή του εργαλείου BEMAT -Building Energy Management **Εξοικονόμησης** Tool (Papastamatiou et al., 2015) στο κάθε κτίριο διαφέρει ανάλογα με **Ενέργειας** τα διαθέσιμα δεδομένα, την χρήση αλλά και την τοποθεσία που βρίσκεται. Για την επιλογή των δράσεων για το κάθε κτίριο, λήφθηκαν υπόψη τα εκ των προτέρων αποτελέσματα του λογισμικού e-SCEAF. Στη συνέχεια μελετήθηκε ενδελεχώς η υφιστάμενη κατάσταση του κάθε κτιρίου μέσω του BEMAT και στο τέλος προτείνονται δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης. Για την εφαρμογή του εργαλείου BEMAT στο Θέατρο του Σαν Κουγκάτ (κατασκευής 1993), ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Αρχικά, εισήχθησαν οι γενικές πληροφορίες και τα βασικά στοιχεία του Θεάτρου. Το Θέατρο υπάγεται στην κατηγορία της ενεργειακής κλάσης E και στην κλιματική ζώνη C2 της Ισπανίας. Το Δημαρχείο έχει επιφάνεια 5.615m<sup>2</sup>. Το κτίριο δεν διαθέτει επαρκή μόνωση και το ωράριο λειτουργίας του, είναι τις καθημερινές από τις 12μμ έως 12πμ και τα Σαββατοκύριακα από τις 1μμ έως 1πμ. Στη συνέχεια, στην καρτέλα «Ιδιότητες έργου» εισάγονται δύο στοιχεία: το όνομα του νέου έργου και η τιμή του κόστους kWh για τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου. Το θέατρο καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα και φυσικό αέριο με τιμές ανά kWh 0,1952938 € και 0,0607786 € αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 5.52 παρουσιάζονται σε μορφή διαγράμματος, από το λογισμικό BEMAT, οι ενεργειακές καταναλώσεις του Θεάτρου στο Σαν Κουγκάτ για ένα έτος, που είναι ηλεκτρική ενέργεια και φυσικό αέριο. Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει το θέατρο ανέρχεται σε 508.613 kWh ενώ το φυσικό αέριο σε 63.545 m<sup>3</sup> ετησίως με αντίστοιχα κόστη 99.328,97€ και 42.484€. Τα συγκεκριμένα στοιχεία παρουσιάζονται στην καρτέλα «Ενεργειακό Προφίλ».



**Σχήμα 5.52. Screenshot από το λογισμικό BEMAT. Καρτέλα «Ενεργειακό Προφίλ»**

Το μοναδικό σενάριο ενεργειακής διαχείρισης, που επιλέχθηκε είναι η «Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής». Η «Εφαρμογή Εξωτερική

Τοιχοποιίας» αν και κρίνεται απαραίτητη στην περίπτωση αυτή καθώς το Θέατρο δεν διαθέτει επαρκή θερμομόνωση, δυστυχώς δεν μπορεί να εφαρμοστεί γιατί δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία όπως τα υλικά της τοιχοποιίας και οι διαστάσεις τους. Η οροφή του θεάτρου αν και διαθέτει χώρο, σύμφωνα με τους ενεργειακούς τους υπευθύνους (OPTIMUS, 2016) δεν μπορεί να στηρίξει τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Για τα υπόλοιπα σενάρια, επίσης, δεν διαθέτουμε επαρκή στοιχεία ώστε να υλοποιηθούν αποτελεσματικά.

### **Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής**

Η μελέτη με τίτλο “Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stock, Existent Experiences in Spain, November 2011, του Valencian Institute of Building (Valencian Institute of Building, 2011) έπαιξε πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή των υλικών της υφιστάμενης οροφής καθώς μέσω αυτής μελετήθηκαν οι τυπολογίες των κτιρίων στην Ισπανία. Ο τύπος της οροφής που τελικά επιλέχθηκε είναι ελαφριάς κατασκευής με κλίση χωρίς μόνωση και με συντελεστή  $U= 1.70$  (W/m<sup>2</sup>K).

Τα υλικά της υφιστάμενης τοιχοποιίας της οροφής που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για τον υπολογισμό του συντελεστή  $U$  και τον αντίστοιχων ωριαίων απωλειών σε kW είναι: Ορείχαλκος (Κράμα χαλκού και ψευδάργυρου) με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=120 με πάχος 0,02m, Ασβεστογυψοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,70 με πάχος 0,03m, Οπλισμένο σκυρόδεμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=2,03 με πάχος 0,18m και τέλος, Τσιμεντόλιθοι από ασβεστολιθικά αδρανή (πυκν.1400) με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,70 και πάχος 0,20m. Όπως ήταν αναμενόμενο, η τελική τιμή του συντελεστή  $U$  της τοιχοποιίας της οροφής είναι 1,70, και οι ωριαίες απώλειες για τους θερινούς και χειμερινούς μήνες υπολογίζονται από το πρόγραμμα και είναι 407,5532 kW και 70,7558 kW αντίστοιχα. Η συνολική επιφάνεια της οροφής ισούται με 3.325 m<sup>2</sup>. Η μέγιστη επιτρεπτή τιμή για τον συντελεστή  $U$  για την νέα μόνωση της οροφής βάσει των κανονισμών της Ισπανίας  $U=0,4$ .

Για την επίτευξη συντελεστή μικρότερο του 0,41 προκύψανε τα εξής νέα υλικά της οροφής: Συνθετικά υλικά, ρητίνες, σιλκόνες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,05 και πάχος 0,015m με τιμή 3,50 €/m<sup>2</sup>, Επίχρισμα εξωτερικό ασβεστοκονίαμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,87 και πάχος 0,02m με τιμή 2,55 €/m<sup>2</sup>, Υαλόπλεγμα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,05 και πάχος 0,02m με τιμή 0,84 €/m<sup>2</sup>, Κόλλα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,19 με πάχος 0,02m με τιμή 1,95 €/m<sup>2</sup> και

τέλος Διογκωμένη πολυστερίνη με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  (W/mK)=0,036 και πάχος 0,04m με τιμή 69,16 €/m<sup>2</sup>.

Στο κόστος της Διογκωμένης πολυστερίνης προστέθηκαν και τα επιπλέον έξοδα, όπως είναι τα εργατικά έξοδα και το κόστος εγκατάστασης. Το συνολικό κόστος εφαρμογής θερμομόνωσης οροφής ανέρχεται σε 78 €/m<sup>2</sup> και αποτελεί τιμή πραγματικής προσφοράς. Ο τελικός συνολικός συντελεστής U, που προκύπτει, συμπεριλαμβανομένης της μόνωσης, είναι 0,4 με ωριαίες απώλειες χειμερινών μηνών 94.7454 kW και ωριαίες απώλειες θερινών μηνών 16.4489 kW.

Βάσει του συνολικού κόστους της επένδυσης, που ανέρχεται στα 259.350 € πραγματοποιείται η οικονομική ανάλυση εκτιμώντας την Καθαρή Παρούσα Αξία του σεναρίου στα 152.104,25 €, καθιστώντας κατ' αυτό τον τρόπο βιώσιμη την δράση. Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται η ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ ύστερα από την εφαρμογή ΣΥΑ εξοικονόμησης ενέργειας.

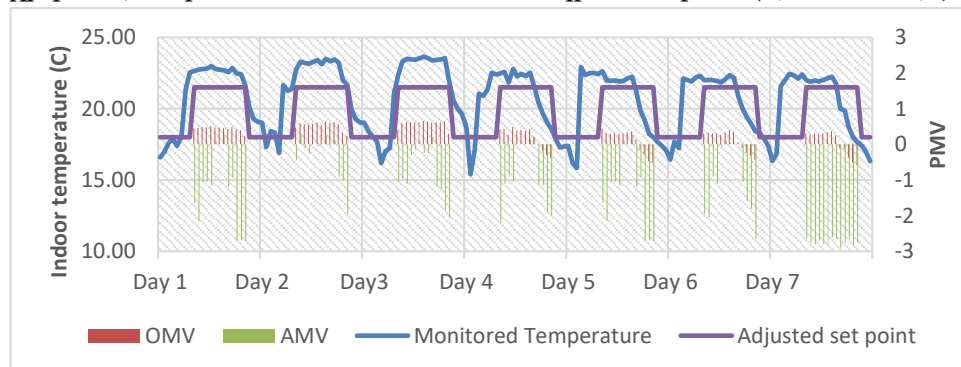
<i>Πίνακας 5.13. Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ ύστερα από το ΣΥΑ εξοικονόμησης ενέργειας</i>		
kWh χειμερινούς μήνες	34.352,18	Ετήσιο κέρδος σε € 16.558,17
kWh θερινούς μήνες	107.058,77	

### V.3.5 Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Ζάανσταντ

Η εφαρμογή του TCV και του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο Δημαρχείο του Ζάανσταντ έγινε για 15 χώρους. Συγκεκριμένα, το Δημαρχείο του Ζάανσταντ αποτελείται κυρίως από γραφεία και αίθουσες συνεδριάσεων. Στο παράδειγμα υπολογισμού που ακολουθεί επιλέχτηκε η 6η εβδομάδα του χρόνου, από 31.01.2016 έως 06.02.2016. Το αποτέλεσμα είναι η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας για την εβδομάδα που ακολουθεί, δηλαδή την 7η από 07.02.2016 έως 13.02.2016.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.53, η τελική ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας λειτουργίας (Set Point Temperature) για την επόμενη εβδομάδα προτείνεται στους 22°C, δηλαδή κατά 1°C λιγότερο από την αρχική ρύθμιση του χώρου. Αυτό σημαίνει ότι την επόμενη εβδομάδα το Δημαρχείο του Ζάανσταντ θα μειώσει την θερμοκρασία και ως εκ τούτου θα έχει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση και θα βελτιώσει την θερμική άνεση των χρηστών καθώς θα κυμαίνεται σε ιδανικά

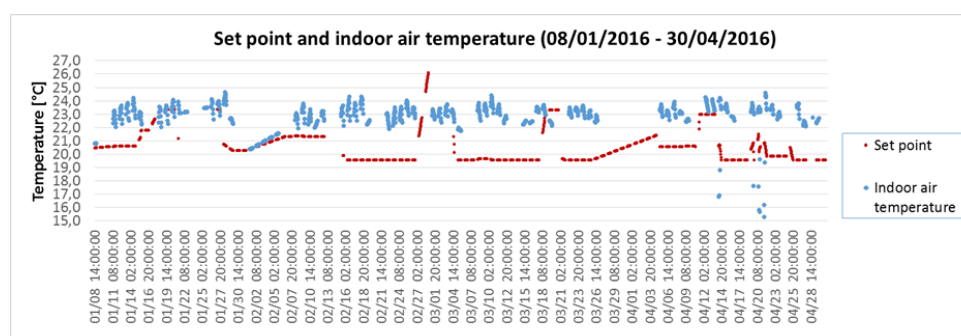
διαστήματα τιμών ( $0,5 \leq PMV \leq 0,5$ ). Η τελική ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας λειτουργίας, που προέκυψε για την 7η βδομάδα του θεάτρου του Sant Cugat είναι  $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Η τιμή αυτή είναι ίδια της αρχικής ρύθμισης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η θερμική άνεση των χρηστών, κυμαίνεται σε ιδανικά διαστήματα τιμών ( $0,5 \leq PMV \leq 0,5$ ).



**Σχήμα 5.53. Εφαρμογή του TCV για την 6η βδομάδα του έτους 2016 στο Δημαρχείο Ζάανσταντ**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής του ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας.

Η εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης ρύθμισης της θερμοκρασίας με το λογισμικό TCV επηρεάζει τα ακόλουθα πεδία: Ενεργειακή απόδοση, εκπομπές  $\text{CO}_2$ , ενεργειακό κόστος και θερμική άνεση. Στο Zaanstad το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας ελέγχεται κεντρικά μέσω του συστήματος BEMS. Οι χρήστες όμως έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν το επιθυμητό σημείο σε κάθε γραφείο αυξάνοντας ή μειώνοντας το σημείο ρύθμισης  $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Στο Σχήμα 5.54 παρουσιάζεται η θερμοκρασία του σημείου ρύθμισης και η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα που παρακολουθείται από τον Ιανουάριο έως τον Απρίλιο του 2016 για ένα δωμάτιο γραφείου (C3.03).



**Σχήμα 5.54. Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου στο γραφείο C3.03 του Zaanstad (08/01/2016 - 30/04/2016) (OPTIMUS, 2016)**

Προκειμένου να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος στην κατανάλωση της ενέργειας λόγω αυτού του Σχεδίου Δράσης, προσομοιώθηκαν δύο σενάρια (όπως και για τα υπόλοιπα κτίρια):

- ▲ Βασικό σενάριο (πριν την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης και της χρήσης του TCV): καταγράφεται η διαφορετική τιμή θερμοκρασίας του κάθε χώρου για ολόκληρη την περίοδο. Για την εκτέλεση της

προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες μέσες τιμές για κάθε γραφείο την χειμερινή περίοδο,

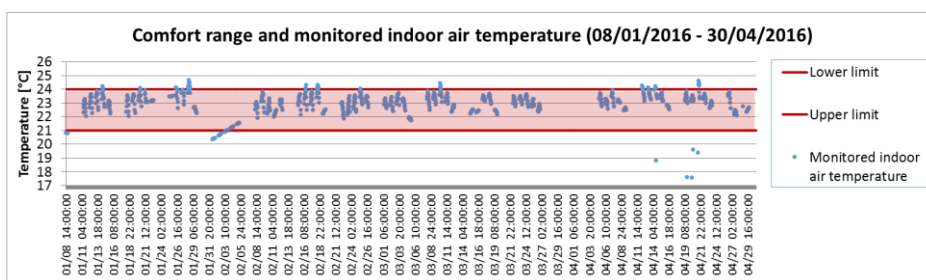
- ▲ Σενάριο μετά την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης και της χρήσης της εφαρμογής TCV.

Σύμφωνα με τα πραγματικά αποτελέσματα (OPTIMUS, 2016) της εφαρμογής του ΣΥΑ Διαχείρισης Ενέργειας στο Δημαρχείο του Ζάανσταντ Δεν υπήρξε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με την εφαρμογή αυτού του σχεδίου δράσης κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίπτωση στην θερμική άνεση, η αποδεκτή εσωτερική θερμοκρασία για τα θερμαινόμενα κτίρια έχει καθοριστεί για ολόκληρη την περίοδο θέρμανσης σύμφωνα με το πρότυπο EN 15251, κατηγορία II. Η εσωτερική θερμοκρασία που προτείνεται κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης επιτρέπει μια θερμοκρασία άνεσης σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 7730 (PMV = 0) λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο τιμών που επηρεάζουν τις μεταβλητές PMV χαρακτηριστικές της χειμερινής κατάστασης. Σύμφωνα με την προαναφερθείσα μεθοδολογία, η θερμική άνεση υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό ωρών που βρίσκονται εκτός του εύρους άνεσης πριν από την εφαρμογή του κανόνα. Μετά την εφαρμογή του κανόνα, υποτίθεται ότι το συνολικό ποσό των ωρών εργασίας είναι εντός του εύρους άνεσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τέσσερις τυπικούς μήνες της περιόδου θέρμανσης και την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα των χώρων γραφείων στο Zaanstad, το μέσο ποσοστό των ωρών δυσφορίας κατά τη διάρκεια της κατελημμένης περιόδου είναι 12%.

Στο Σχήμα 5.55 παρουσιάζεται η αποδεκτή περιοχή θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα μαζί με την θερμοκρασία εσωτερικού αέρα που παρακολουθείται στο δωμάτιο γραφείου C3.03.



**Σχήμα 5.55. Εύρος άνεσης και θερμοκρασία εσωτερικού αέρα παρακολούθησης του γραφείου C3.03 (08/01/2016 - 30/04/2016) (OPTIMUS, 2016)**

Μετά την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης, το 100% των ωρών που το κτίριο λειτουργεί βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια θερμοκτικής άνεσης των χρηστών. Συνεπώς η εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης και η χρήση της εφαρμογής TCV μπορεί να μην βελτιώνουν την ενεργειακή κατανάλωση αλλά μειώνουν κατά 12% τις ώρες δυσφορίας κατά τη διάρκεια της κατελημμένης περιόδου.

**Εφαρμογή ΣΥΑ Εξοικονόμησης Ενέργειας** Η εφαρμογή του εργαλείου BEMAT -Building Energy Management Tool (Papastamatiou et al., 2015) στο κάθε κτίριο διαφέρει ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα, την χρήση αλλά και την τοποθεσία που βρίσκεται. Για την επιλογή των δράσεων για το κάθε κτίριο, λήφθηκαν υπόψη τα εκ των προτέρων αποτελέσματα του λογισμικού e-SCEAF. Στη συνέχεια μελετήθηκε ενδελεχώς η υφιστάμενη κατάσταση του κάθε κτιρίου μέσω του BEMAT και στο τέλος προτείνονται δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης.

Το Δημαρχείο του Ζάανσταντ κτίστηκε το 2011 και διαθέτει συνολική επιφάνεια 18.531 m<sup>2</sup>. Το ωράριο λειτουργίας του είναι καθημερινά από τις 7πμ έως τις 10πμ. Είναι Α' Ενεργειακής Κλάσης και ο προσανατολισμός του είναι ανατολικός. Το κτίριο διαθέτει επαρκή μόνωση και ενεργειακά αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Τα Γενικά στοιχεία του Δημαρχείου εισάγονται στο πρόγραμμα και είναι διαθέσιμα στην καρτέλα «Επεξεργασία κτιρίου» του λογισμικού BEMAT.

Το όνομα του έργου καθώς και το κόστος ανά kWh ρεύματος και φυσικού αερίου εισάγονται στις «Ιδιότητες έργου». Το Δημαρχείο χρησιμοποιεί φυσικό αέριο για θέρμανση τους χειμερινούς μήνες και ηλεκτρικό ρεύμα για ψύξη τους χειμερινούς μήνες. Συγκεκριμένα οι τιμές που εισήχθησαν είναι 0,0563998 €/kWh και 0,0291075 €/kWh για το ρεύμα και το φυσικό αέριο αντίστοιχα. Οι συνολικές καταναλώσεις του Δημαρχείου εισάγονται στην καρτέλα «Ενεργειακό Προφίλ» του λογισμικού BEMAT όπου και παρουσιάζονται αναλυτικά βάσει του είδους ενέργειας σε διάγραμμα. Η συνολική Ηλεκτρική Ενέργεια που καταναλώθηκε από το κτίριο σε διάστημα ενός έτους είναι 2.905.344 kWh με κόστος 163.860 € και 139.092,54 m<sup>3</sup> φυσικό αέριο με κόστος 44.535 €. Στη συνέχεια έγινε η επιλογή των σεναρίων ενεργειακής διαχείρισης. Από τις διαθέσιμες δράσεις επιλέχθηκε μόνο η «Αντικατάσταση των Λαμπτήρων Φθορισμού». Οι εφαρμογές θερμομονώσεων δεν ωφελούν σε τίποτα από την στιγμή που το κτίριο είναι επαρκώς μονωμένο έχοντας θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας με συντελεστή  $U=0,2857$  (W/m<sup>2</sup>K) και συντελεστή  $U=1,1$  (W/m<sup>2</sup>K) για τα κουφώματα ανοιγμάτων (διπλός υαλοπίνακας). Ακόμη τα υπόλοιπα συστήματά του, είναι καινούργιας τεχνολογίας, ενεργειακά αποδοτικά όπως για παράδειγμα η χρήση συστήματος γεωθερμίας για θέρμανση και ψύξη.

### Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φθορισμού

Το κτίριο χρησιμοποιεί 7.000 λαμπτήρες φθορισμού (TubeLight) των 35 Watt, οι οποίοι μπορούν να αντικατασταθούν από ενεργειακά οικονομικότερους λαμπτήρες LED. Αρχικά, εξετάσαμε το είδος λαμπτήρα LED που ταιριάζει στις υπάρχουσες βάσεις των λαμπτήρων φθορισμού (TubeLight) και καταλήξαμε στην επιλογή των T8 linear LED light bulbs. Η υπάρχουσα εγκατάσταση αποτελείται από 7.000 Λαμπτήρες φθορισμού ισχύος 35 W. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης απαιτείται η εισαγωγή των συνολικών ωρών λειτουργίας

των λαμπτήρων ανά έτος. Βάσει των στοιχείων που διαθέτουμε θεωρήσαμε ότι οι ώρες λειτουργίας προκύπτουν ως εξής: 10 ώρες/ημέρα x 5 ημέρες/εβδομάδα x 50 εβδομάδες/έτος = 2.500 ώρες/έτος.

Η νέα εγκατάσταση αποτελείται από 7.000 Λαμπτήρες LED μάρκας Philips τύπου Equivalent Daylight T8 LED Light Bulb, 17 W. Η συγκεκριμένοι λαμπτήρες είναι InstantFit LEDs με δυνατότητα απευθείας εγκατάστασης στις υπάρχουσες βάσεις των παλαιών λαμπτήρων φθορισμού χωρίς να απαιτείται αντικατάσταση των Ballast η κάποιας επιπλέον καλωδίωση. Ο χρόνος ζωής τους ανέρχεται στις 50.000 ώρες και η φωτεινή τους ένταση στα 164 Lumens/Watt. Το κόστος του κάθε λαμπτήρα είναι 15€ και η εγκατάστασή στοιχίζει 5€ επιπλέον. Η εγγύηση που δίνεται είναι πενταετής. Το χρονικό διάστημα τέθηκε στα 10 χρόνια. Ο χρόνος ζωής των καινούργιων λαμπτήρων υπολογίζεται στα 20 χρόνια. Η οικονομική ανάλυση του σεναρίου παρουσιάζει θετική Καθαρή Παρούσα Αξία με τιμή 72.654,6 €. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η δράση να κριθεί βιώσιμη. Το συνολικό κόστος της επένδυσης ανέρχεται στα 105.005€ με επιτόκιο αναγωγής 0% (Central Bank News, 2016). Στον Πίνακα 5.14 παρουσιάζεται το ετήσιο κέρδος σε Ευρώ (€) για το Δημαρχείο στο Ζάανσταντ ύστερα από την δράση αντικατάστασης των λαμπτήρων φωτισμού.

<i>Πίνακας 5.14. Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε Ευρώ (€) για το Δημαρχείο στο Ζάανσταντ ύστερα από την δράση αντικατάστασης των λαμπτήρων φωτισμού</i>	
Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh	315.000
Ετήσιο κέρδος σε €	17.765,96

### V.3.6 Συνολικά αποτελέσματα Συνιστώσας II «Management»

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της 2<sup>ης</sup> συνιστώσας της προτεινόμενης μεθοδολογίας «Management» (Διαχείριση). Συνοπτικά, η συνιστώσα αυτή περιέχει δύο Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ): το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων», και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας. Όπως έχει περιγραφεί στις προηγούμενες ενότητες το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Thermal Comfort Validator (TCV) (Papastamatiou et al., 2017; Marinakis et al., 2017 - <http://validator.optimus-smartcity.eu>) και το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT) (Papastamatiou et al., 2015 - <http://energymanagement.epu.ntua.gr>). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανά κτίριο εφαρμογής.

**Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini»** Στον Πίνακα 5.15, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini» για ένα έτος.

**Πίνακας 5.15. Συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini» για ένα έτος**

		SAVONA SCHOOL						
		Ετήσιο ποσοστό Ενεργειακής Εξοικονόμησης	Βελτίωση θερμικής άνεσης χρηστών	Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh	Ετήσιο κέρδος σε €	ΚΠΑ	Κόστος δράσης	
<b>TCV</b>	Χειμερινή περίοδος	4%	50%	23.290,60	1.656,70	-	-	
	Θερινή περίοδος	-	-	-				
<b>BEMAT</b>	Εφαρμογή Εξωτερικής Θερμομόνωσης	Χειμερινή περίοδος	19%	-	113.099,10	32.284,67	342.356,70	464.760,80
		Θερινή περίοδος	17%	-	7.272,30			
	Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής	Χειμερινή περίοδος	9%	-	50.685,67	9.025,13	110.628,20	112.500,00
		Θερινή περίοδος	38%	-	16.263,62			
	Αντικατάσταση Παλαιών Υαλοπινάκων	Χειμερινή περίοδος	3%	-	17.170,93	3.057,47	-30.982,30	107.419,00
		Θερινή περίοδος	13%	-	5.509,67			
Εγκατάσταση Φ/Β Συστήματος	Χειμερινή περίοδος	Διαθέτει εγκατάσταση Φ/Β συστήματος						
	Θερινή περίοδος							
<b>Σύνολο</b>					<b>42.966,50</b>			

Όπως παρατηρούμε στον ανωτέρω πίνακα, από την εφαρμογή του TCV εξοικονομείται το 4% της ενεργειακής κατανάλωσης (φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια) που αντιστοιχεί σε 23.290 kWh ή 1.656,70€ ανά έτος. Επίσης, με την χρήση του λογισμικού TCV βελτιώνεται η θερμική άνεση των χρηστών κατά 50%.

Από την εφαρμογή του λογισμικού BEMAT παρατηρούμε ότι από τις προτεινόμενες τρεις (3) δράσεις, οι δύο (2) από αυτές έχουν θετική ΚΠΑ και προτείνονται για εφαρμογή. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης οδηγεί σε εξοικονόμηση κατά 19% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και σε 17% στην ηλεκτρική ενέργεια που αντιστοιχεί σε 32.284€ ανά έτος. Η εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής οδηγεί σε εξοικονόμηση κατά 9% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και κατά 38% σε ηλεκτρική ενέργεια που αντιστοιχεί σε 9.025€ ανά έτος. Συνολικά, και για ένα έτος η εφαρμογή της 1<sup>ης</sup> συνιστώσας μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας που αντιστοιχεί σε 42.966,50€. Η διαφορά στις ενεργειακές καταναλώσεις προκύπτει μεταξύ των ετών 2014 και 2016. Η διαφορά στις καταναλώσεις ενέργειας που αφορούν στο TCV είναι πραγματικές και έχουν επιτευχθεί (OPTIMUS, 2016). Το πιθανό κέρδος που προκύπτει από την εφαρμογή των δράσεων από το BEMAT προκύπτει ύστερα από πραγματικές προσφορές για το κόστος και τις πραγματικές τιμές των ενεργειακών καταναλώσεων.



Συμπεραίνουμε λοιπόν τον θετικό αντίκτυπο που αφορά στην ενεργειακή κατανάλωση και στην θερμική άνεση των χρηστών της εγκατάστασης μέσω της 1<sup>ης</sup> συνιστώσας και τις σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας που διαθέτει το Σχολείο στη Σαβόνα της Ιταλίας.

**Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus»** Στον Πίνακα 5.16, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus» για ένα έτος.

**Πίνακας 5.16. Συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus» για ένα έτος.**

		SAVONA CAMPUS						
		Ετήσιο ποσοστό Ενεργειακής Εξοικονόμησης	Βελτίωση θερμικής άνεσης χρηστών	Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh	Ετήσιο κέρδος σε €	ΚΠΑ	Κόστος δράσης	
<b>TCV</b>		Χειμερινή περίοδος						
		Θερινή περίοδος						
<b>BEMAT</b>	Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής	Χειμερινή περίοδος	44,29%	-	196.548,30	26.416,04	15.021,00	632.880,00
		Θερινή περίοδος	44,29%	-	63.066,30			
	Εγκατάσταση Φ/Β Συστήματος	Χειμερινή περίοδος	-	-	-	3.911,36	61.541,31	33.742,70
		Θερινή περίοδος	-	-	-			
<b>Σύνολο</b>					<b>30.327,40</b>			

Για το Πανεπιστήμιο στην Σαβόνα δεν υπήρχαν αρκετά διαθέσιμα αποτελέσματα για την εφαρμογή του TCV. Από την εφαρμογή του λογισμικού BEMAT παρατηρούμε ότι οι προτεινόμενες δύο (2) δράσεις έχουν θετική ΚΠΑ και προτείνονται για εφαρμογή. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής οδηγεί σε εξοικονόμηση κατά 44,3% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί σε 26.416€ ανά έτος. Η εγκατάσταση Φ/Β συστήματος οδηγεί σε κέρδος 9.025€ ανά έτος. Συνολικά, και για ένα έτος η εφαρμογή της 1<sup>ης</sup> συνιστώσας μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση κατά 30.327,40€. Η διαφορά στις ενεργειακές καταναλώσεις προκύπτει μεταξύ των ετών 2014 και 2016.

**Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ** Στον Πίνακα 5.17, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ για ένα έτος.

**Πίνακας 5.17. Συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ για ένα έτος.**

		Sant Cugat Townhall					
		Ετήσιο ποσοστό Ενεργειακής Εξοικονόμησης	Βελτίωση θερμικής άνεσης χρηστών	Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh	Ετήσιο κέρδος σε €	ΚΠΑ	Κόστος δράσης
<b>TCV</b>	Χειμερινή περίοδος	6,6%	22%	80.200,00	12.688,00	-	-
	Θερινή περίοδος		70%				
<b>BEMAT</b>	Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής	4%	-	45.901,90	32.284,67	-30.364,50	151.900,00
	Αντικατάσταση Παλαιών Υαλοπινάκων	Διαθέτει ενεργειακούς υαλοπίνακες					
	Εγκατάσταση Φ/Β Συστήματος	Διαθέτει εγκατάσταση Φ/Β συστήματος					
<b>Σύνολο</b>				<b>80.200,00</b>	<b>12688</b>		

Όπως παρατηρούμε στον ανωτέρω πίνακα, από την εφαρμογή του TCV εξοικονομείται το 6,6% της ενεργειακής κατανάλωσης (μόνο ηλεκτρική ενέργεια) που αντιστοιχεί σε 80.200 kWh ή 12.688 € ανά έτος. Επίσης, με την χρήση του λογισμικού TCV βελτιώνεται η θερμική άνεση των χρηστών κατά 22% την περίοδο θέρμανσης και κατά 70% την περίοδο χρήσης.

Από την εφαρμογή του λογισμικού BEMAT παρατηρούμε ότι από την προτεινόμενη δράση θερμομόνωσης οροφής έχει αρνητική ΚΠΑ και δεν προτείνεται για εφαρμογή. Συγκεκριμένα, η δράση αυτή δεν έχει θετικό αντίκτυπο καθώς το κτίριο είναι μερικώς μονωμένο και η μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας δεν είναι σημαντική (από 0,68 W/m<sup>2</sup>K σε 0,40 W/m<sup>2</sup>K). Επίσης, δεν εφαρμόστηκαν δράσεις όπως η αντικατάσταση των παλαιών υαλοπινάκων και η εγκατάσταση Φ/Β συστήματος καθώς το Δημαρχείο διαθέτει ενεργειακούς υαλοπίνακες και Φ/Β σύστημα.

Συνολικά, και για ένα έτος, η εφαρμογή της 1ης συνιστώσας μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας κατά 6,6% (ηλεκτρική ενέργεια) που αντιστοιχεί σε 12.688,50€. Η διαφορά στις ενεργειακές καταναλώσεις προκύπτει μεταξύ των ετών 2014 και 2016. Η διαφορά στις καταναλώσεις ενέργειας που αφορούν στο TCV είναι πραγματικές και έχουν επιτευχθεί (OPTIMUS, 2016). Συμπεραίνουμε λοιπόν τον θετικό αντίκτυπο που αφορά στην ενεργειακή κατανάλωση και στην θερμική άνεση των χρηστών του Δημαρχείου μέσω της 1ης συνιστώσας.

**Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ**

Στον Πίνακα 5.18, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ για ένα έτος.

**Πίνακας 5.18. Συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ για ένα έτος.**

		SANT CUGAT THEATRE						
		Ετήσιο ποσοστό Ενεργειακής Εξοικονόμησης	Βελτίωση θερμικής άνεσης χρηστών	Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh	Ετήσιο κέρδος σε €	ΚΠΑ	Κόστος δράσης	
<b>TCV</b>	Χειμερινή περίοδος	21%	34%	228.875,00	42.439,90	-	-	
	Θερινή περίοδος	45%	55%	146.788,00				
<b>BEMAT</b>	Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής	Χειμερινή περίοδος	6,75%	-	107.058,73	16.558,17	152.104,30	259.350,00
		Θερινή περίοδος	15,32%	-	34.352,18			
	Εγκατάσταση Φ/Β Συστήματος	Χειμερινή περίοδος	Δεν υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης					
		Θερινή περίοδος						
<b>Σύνολο</b>					<b>58.998,07</b>			

Όπως παρατηρούμε στον ανωτέρω πίνακα, από την εφαρμογή του TCV εξοικονομείται το 21% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και 45% της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί σε 228.875 kWh την χειμερινή περίοδο και 146.788 kWh την καλοκαιρινή περίοδο ή 42.439,90€ ανά έτος. Επίσης, με την χρήση του λογισμικού TCV βελτιώνεται η θερμική άνεση των χρηστών κατά 34% την χειμερινή περίοδο και κατά 55% την θερινή περίοδο.

Από την εφαρμογή του λογισμικού BEMAT, η προτεινόμενη δράση θερμομόνωσης οροφής έχει θετική ΚΠΑ και προτείνεται για εφαρμογή. Συγκεκριμένα, η δράση αυτή θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση κατά 6,75% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και σε 15,32% της ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί σε 16.558,17€ ανά έτος. Η εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής οδηγεί σε εξοικονόμηση κατά 5% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και κατά 21% σε ηλεκτρική ενέργεια.

Συνολικά, και για ένα έτος η εφαρμογή της 1<sup>ης</sup> συνιστώσας μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας που αντιστοιχεί σε 42.966,50€. Η διαφορά στις ενεργειακές καταναλώσεις προκύπτει μεταξύ των ετών 2012 και 2016. Η διαφορά στις καταναλώσεις ενέργειας που αφορούν στο TCV είναι πραγματικές και έχουν επιτευχθεί (OPTIMUS, 2016). Το πιθανό κέρδος που προκύπτει από την εφαρμογή των δράσεων από το BEMAT προκύπτει ύστερα από πραγματικές προσφορές για το κόστος και τις πραγματικές τιμές των ενεργειακών καταναλώσεων.

Συμπεραίνουμε λοιπόν τον θετικό αντίκτυπο που αφορά στην ενεργειακή κατανάλωση και στην θερμική άνεση των χρηστών της εγκατάστασης μέσω της 1<sup>ης</sup> συνιστώσας και τις σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας που διαθέτει το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ της Ισπανίας.

**Εφαρμογή TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Ζάανσταντ** Στον Πίνακα 5.19, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Ζάανσταντ για ένα έτος.

**Πίνακας 5.19. Συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στο Δημαρχείο Ζάανσταντ για ένα έτος.**

		ZAAANSTAD TOWNHALL					
		Ετήσιο ποσοστό Ενεργειακής Εξοικονόμησης	Βελτίωση θερμικής άνεσης χρηστών	Ετήσια εξοικονόμηση σε kWh	Ετήσιο κέρδος σε €	ΚΠΑ	Κόστος δράσης
<b>TCV</b>	Χειμερινή περίοδος	4%	50%	23,290.60	1,656.70	-	-
	Θερινή περίοδος	-	-	-			
<b>BEMAT</b>	Εφαρμογή Εξωτερικής Θερμομόνωσης	Χειμερινή περίοδος	Διαθέτει εξωτερική θερμομόνωση				
		Θερινή περίοδος					
	Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής	Χειμερινή περίοδος	Διαθέτει θερμομόνωση οροφής				
		Θερινή περίοδος					
	Αντικατάσταση Παλαιών Υαλοπινάκων	Χειμερινή περίοδος	Διαθέτει ενεργειακούς υαλοπινάκες				
		Θερινή περίοδος					
Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φθορισμού	Χειμερινή περίοδος			315,000.00	72,654.60	105,005.00	
	Θερινή περίοδος						
<b>Σύνολο</b>					<b>1,656.70</b>		

Στο Zaanstad το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας ελέγχεται κεντρικά μέσω του συστήματος BMS. Όπως παρατηρούμε στον ανωτέρω πίνακα, από την εφαρμογή του TCV μπορεί να μην εξοικονομείται ενέργεια, βελτιώνεται όμως η θερμική άνεση των χρηστών κατά 12%. Το Δημαρχείο του Ζάανσταντ διαθέτει σύστημα BMS και οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν το επιθυμητό σημείο σε κάθε γραφείο αυξάνοντας ή μειώνοντας το σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας κατά  $\pm 2^\circ \text{C}$ . Για την εφαρμογή του λογισμικού BEMAT, επιλέχθηκε μόνο η δράση αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού. Αυτό συνέβη καθώς το Δημαρχείο του Ζάανσταντ είναι κτισμένο το 2011 και διαθέτει επαρκή θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας και οροφής. Το Δημαρχείο διαθέτει επίσης ενεργειακούς υαλοπινάκες. Η προτεινόμενη δράση αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού έχει θετική ΚΠΑ και προτείνεται για εφαρμογή. Συγκεκριμένα, η δράση αυτή θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση κατά 10% της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί σε 315.000 kWh ή 17.765,96€ ανά έτος. Συνολικά, και για ένα έτος η εφαρμογή της 1ης συνιστώσας μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας που αντιστοιχεί σε 315.000 kWh ή 17.765,96€. Η διαφορά στις ενεργειακές καταναλώσεις προκύπτει μεταξύ των ετών 2014 και 2016. Η διαφορά στην θερμική άνεση των χρηστών που αφορά στο TCV είναι πραγματική και έχει επιτευχθεί (OPTIMUS, 2016). Το πιθανό κέρδος που προκύπτει από την εφαρμογή της δράσης από το BEMAT προέκυψε ύστερα από πραγματική προσφορά για το κόστος και τις πραγματικές τιμές των ενεργειακών καταναλώσεων. Συμπεραίνουμε λοιπόν τον θετικό αντίκτυπο που αφορά στην ενεργειακή κατανάλωση

και στην θερμική άνεση των χρηστών της εγκατάστασης μέσω της 1ης συνιστώσας και τις σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας που διαθέτει το Δημαρχείο στο Σαν Κουγκάτ της Ισπανίας.

**Συνολικά  
Αποτελέσματα**

Στον Πίνακα 5.20 παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα και για τα 5 κτίρια. Συγκεκριμένα επιτυγχάνεται μέσω του ΣΥΑ για την διαχείριση ενέργειας που αφορά στο Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και τη χρήση του λογισμικού TCV μέσος όρος βελτίωσης θερμικής άνεσης των χρηστών κατά 38%. Επίσης, σε ό,τι αφορά την ενεργειακή κατανάλωση επιτυγχάνεται εξοικονόμηση από 4% έως 6,6% στις περισσότερες εγκαταστάσεις εκτός από το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ που επιτυγχάνεται ένα πολύ σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας τους χειμερινούς μήνες κατά 21% και τους θερινούς κατά 45%. Συνολικά και τα δύο ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν κατά μέσο όρο σε περιορισμό κατά 19% της κατανάλωσης του φυσικού αερίου και κατά 30% της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το μέσο ετήσιο κέρδος ανέρχεται στα 23.500€. Ένα ακόμη σημαντικό σημείο που θα πρέπει να σημειωθεί είναι η δυνατότητα προσαρμογής των λογισμικών TCV και BEMAT σε τρεις (3) διαφορετικές χώρες και πέντε (5) διαφορετικά κτίρια.

*Πίνακας 5.20. Συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής TCV & BEMAT στα πέντε πιλοτικά κτίρια*

		Ποσοστό βελτίωσης θερμικής άνεσης χρηστών	Ποσοστό εξοικονόμησης Φυσικού Αερίου	Ποσοστό εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας	Κέρδος σε €
SAVONA SCHOOL	TCV	50%	4%	-	1.656,7
	BEMAT	-	28%	55%	41.309,8
SAVONA CAMPUS	TCV	-	-	-	-
	BEMAT	-	44,29%	44,29%	30.327,4
SANT CUGAT TOWNH ALL	TCV	46%	-	6,6%	12.688,0
	BEMAT	-	-	-	-
SANT CUGAT THEATR E	TCV	44,50%	21,0%	45%	42.439,9
	BEMAT	-	6,2%	21%	16.558,2
ZAANST AD TOWNH ALL	TCV	12%	-	-	-
	BEMAT	-	10%	10%	17.765,96
Μέσος όρος		38%	19%	30%	23.249,4

Η εφαρμογή των ΣΥΑ αποδεικνύει τις μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας που έχει ο κτιριακός τομέας στην Ευρώπη.

## V.4 Συνιστώσα I «Ex-Post Assessment (Εκ των υστέρων Αξιολόγηση)»

Κατά την διάρκεια της «Εκ των υστέρων Αξιολόγησης», δηλαδή της αξιολόγησης μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης, η πόλη αξιολογείται εκ νέου, βάσει των ίδιων δεικτών και τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της προηγούμενης εφαρμογής. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η πρόοδος της πόλης και οι στόχοι που έχουν θέσει οι τοπικές αρχές των πόλεων.

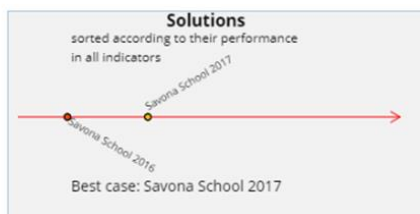
Η συνιστώσα αυτή χρησιμοποιεί εκ νέου το λογισμικό e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 - <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (SCEAF) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων. Το λογισμικό έχει περιγραφεί αναλυτικά στην Ενότητα 4.3.3. Στις επόμενες ενότητες η εκ των υστέρων αξιολόγηση εφαρμόζεται εκ νέου στα πέντε πιλοτικά κτίρια ώστε να συγκρίνουμε την απόδοση της πόλης αλλά και των κτιρίων πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών δράσεων.

### V.4.1 Εφαρμογή e-SCEAF στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini»

**Συνολικά Αποτελέσματα** Στο Σχήμα 5.56 παρατηρούμε τα αποτελέσματα πριν και μετά την εφαρμογή της 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας «Διαχείρισης» στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini». Με την χρήση των ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας και των εφαρμογών TCV και BEMAT παρατηρούμε ότι η απόδοση του Σχολείου στη Σαβόνα από «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» αναβαθμίζεται σε «Μέτρια (Medium)».

*Σχήμα 5.56. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Συνολική βαθμολογία ενεργειακής αξιολόγησης του Σχολείου στη Σαβόνα*

Savona School 2017	Medium	-0.48	2.52
Savona School 2016	Very Low	-0.04	0.96



Από το αποτέλεσμα αυτό συμπεραίνουμε, ότι το κτίριο πράγματι εμφανίζει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην παλαιότητα του Σχολείου και στην έλλειψη θερμομόνωσης τόσο στην εξωτερική τοιχοποιία όσο και στην οροφή. Επίσης, το Σχολείο δεν αξιοποιούσε συστήματα ενεργειακής διαχείρισης. Στη συνέχεια

παρουσιάζεται αναλυτικά η βαθμολογία του κάθε άξονα της μεθοδολογίας SCEAF για το σύνολο των δεικτών.

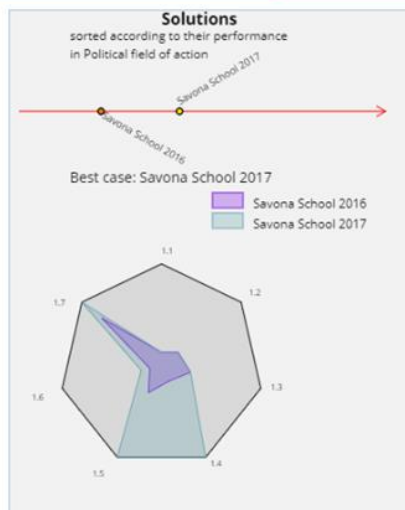
**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας**

Στο Σχήμα 5.57, που αποτελεί screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών, καθώς και το γράφημα τους πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας».

**Σχήμα 5.57. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων**

**Political field of action**

Indicator	Savona School 2016	Savona School 2017
1.1	0.12	0.12
1.2	0.2	0.2
1.3	0.29	0.29
1.4	0.16	1
1.5	0.29	1
1.6	0.11	0.2
1.7	0.75	1



Από το Σχήμα 5.57 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 1.1, 1.2, και 1.3 έχει παραμείνει ίδια, καθώς αφορά στους στόχους της εκάστοτε πόλης για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, του διοξειδίου του άνθρακα και της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα. Οι τιμές των δεικτών 1.4 και 1.5 διαπιστώνουμε πως αυξάνονται σημαντικά, αποδεικνύοντας την δυνατότητα μεσοπρόθεσμης βελτίωσης της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην επίτευξη των στόχων, που έχουν τεθεί μέχρι το 2020. Αυτό οφείλεται στην βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μετά την εφαρμογή των δράσεων. Ο δείκτης 1.6, που αφορά στην συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική χρήση, παρατηρούμε πως δεν βελτιώθηκε, εφόσον δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τέλος, η

τιμή του δείκτη 1.7 βελτιώθηκε δεδομένου των επενδύσεων που έγιναν για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 2ου  
πυλώνα:  
Ενεργειακό &  
Περιβαλλοντι-  
κό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.58, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ».

*Σχήμα 5.58. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων*

Energy and Environmental Profile		
Indicator	Savona School 2016	Savona School 2017
2.1	0.06	0.49
2.2	0.06	0.5
2.3	0.6	0.59
2.4	0.03	0.05
2.5	0	0
2.6	0	0
2.7	Very Low	High

Από το Σχήμα 5.58 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 2.1 και 2.2 παρουσιάζει σημαντική βελτίωση. Οι δείκτες αυτοί αφορούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020. Η βελτίωση σε αυτούς τους δείκτες οφείλεται στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου ύστερα από την εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής και την θερμομόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω της εφαρμογής του λογισμικού BEMAT, καθώς και την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, μέσω του λογισμικού TCV. Οι επόμενοι δύο δείκτες 2.3 και 2.4 που εκφράζουν το συντελεστή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρέμειναν αμετάβλητοι, καθώς δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις προς αυτή την κατεύθυνση. Οι δείκτες 2.5 και 2.6 παραμένουν μηδενικοί λόγω της μη διατήρησης και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας. Ο τελευταίος δείκτης (2.7) εκφράζει την ενεργειακή απόδοση του ενεργειακού κελύφους, όπου βελτιώθηκε σημαντικά καθώς στο κτίριο εφαρμόστηκε εξωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας και θερμομόνωση οροφής.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 3ου  
πυλώνα:  
Σχετικές  
Υποδομές  
Ενέργειας &  
ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.59, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ».



**Related Infrastructures and ICT**

Indicator	Savona School 2016	Savona School 2017
3.1	Insignificant	Low
3.2	0	0
3.3	Insignificant	Low
3.4	0.17	0.17
3.5	0.13	0.36
3.6	Insignificant	Medium
3.7	Insignificant	High

*Σχήμα 5.59. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων*

Από το Σχήμα 5.59 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 3.2 και 3.4 παραμένει ίδια εφόσον δεν προστέθηκαν ενεργειακά συστήματα εποπτείας, όπως BEMS, και δεν άλλαξε η ευελιξία και η δυνατότητα σε ό,τι αφορά την εναλλαγή παρόχων ενέργειας. Αντιθέτως, οι δείκτες 3.1 και 3.3 σημείωσαν σημαντική πρόοδο καθώς αφορούν στην εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά συστήματα εποπτείας. Το Σχολείο στη Σαβόνα καθώς αξιοποιεί πλέον τα διαδικτυακά λογισμικά e-SCEAF, TCV και BEMAT, η απόδοσή του σε αυτούς τους δείκτες βελτιώθηκε. Ο δείκτης 3.5 εκφράζει τη μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που βελτιώθηκε σημαντικά λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που επετεύχθη με την εφαρμογή των θερμομονώσεων μέσω του BEMAT και την ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας μέσω του TCV. Βελτιώθηκε επίσης και η απόδοση των δεικτών 3.6 και 3.7 καθώς αξιοποιήθηκαν τα κοινωνικά δίκτυα και συμμετείχαν οι χρήστες στη διαμόρφωση σεναρίων ενεργειακής διαχείρισης μέσω του εργαλείου TCV.

#### V.4.2 Εφαρμογή e-SCEAF στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus»

**Συνολικά Αποτελέσματα**

Στο Σχήμα 5.60 παρατηρούμε τα αποτελέσματα πριν και μετά την εφαρμογή της 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας «Διαχείρισης» στο Πανεπιστήμιο «Savona Campus». Με την χρήση των ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας και των εφαρμογών TCV και BEMAT παρατηρούμε ότι η απόδοση του Πανεπιστημίου στη Σαβόνα από «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» αναβαθμίζεται σε «Χαμηλή (Low)».

Savona Campus 2017	Low	0.1	2.1
Savona Campus 2016	Very Low	0.14	1.14

*Σχήμα 5.60. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Συνολική βαθμολογία ενεργειακής αξιολόγησης του Πανεπιστημίου στη Σαβόνα*

Από το αποτέλεσμα αυτό συμπεραίνουμε, ότι το κτίριο πράγματι εμφανίζει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην παλαιότητα του Πανεπιστημίου και στην έλλειψη θερμομόνωσης τόσο στην έλλειψη εξωτερική τοιχοποιία όσο και στην απουσία των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η βαθμολογία του κάθε άξονα της μεθοδολογίας SCEAF για το σύνολο των δεικτών. Η βασική διαφορά με το Σχολείο στην ίδια περιοχή είναι ότι στο Πανεπιστήμιο δεν αξιοποιήθηκε η εφαρμογή TCV και ότι στο ΒΕΜΑΤ δεν υλοποιήθηκαν όσα σενάρια υλοποιήθηκαν και στο Σχολείο.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 1<sup>ου</sup>  
πυλώνα:  
Στρατηγική -  
Πολιτικός  
Βαθμός  
Φιλοδοξίας**

Political field of action

Indicator	Savona Campus 2016	Savona Campus 2017
1.1	0.12	0.12
1.2	0.2	0.2
1.3	0.29	0.29
1.4	0	0.47
1.5	0	0.56
1.6	0.12	0.18
1.7	1	1

**Σχήμα 5.61. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων**

Στο Σχήμα 5.61, που αποτελεί screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Από το Σχήμα 5.61 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 1.1, 1.2, και 1.3 έχει παραμείνει ίδια, καθώς αφορά στους στόχους της εκάστοτε πόλης για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, του διοξειδίου του άνθρακα και της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα. Οι τιμές των δεικτών 1.4 και 1.5 διαπιστώνουμε πως αυξάνονται σημαντικά, αποδεικνύοντας την δυνατότητα μεσοπρόθεσμης βελτίωσης της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην επίτευξη των στόχων, που έχουν τεθεί μέχρι το 2020. Αυτό οφείλεται στην βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μετά την εφαρμογή των δράσεων. Ο δείκτης 1.6, που αφορά στην συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική χρήση, παρατηρούμε πως δεν βελτιώθηκε, εφόσον δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τέλος, η τιμή του δείκτη 1.7 δεν βελτιώθηκε επιπλέον καθώς ήδη το Πανεπιστήμιο έχει αφιερώσει αρκετούς οικονομικούς πόρους για τις επενδύσεις για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 2<sup>ου</sup>  
πυλώνα:  
Ενεργειακό &**

Στο Σχήμα 5.62, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ».

**Περιβαλλοντικό Προφίλ**

**Energy and Environmental Profile**

Indicator	Savona Campus 2016	Savona Campus 2017
2.1	0	0.11
2.2	0	0.1
2.3	0.35	0.36
2.4	0.02	0.03
2.5	0	0
2.6	0.04	0.05
2.7	Insignificant	Very Low

*Σχήμα 5.62. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων*

Από το Σχήμα 5.62 παρατηρούμε πως στην απόδοση των δεικτών 2.1 και 2.2 υπάρχει μια μικρή βελτίωση. Οι δείκτες αυτοί αφορούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020. Η βελτίωση αυτή οφείλεται στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, η οποία προέρχεται από την εφαρμογή της θερμομόνωσης οροφής μέσω του λογισμικού BEMAT. Οι επόμενοι δύο δείκτες 2.3 και 2.4 που εκφράζουν το συντελεστή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρέμειναν αμετάβλητοι, καθώς δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις προς αυτή την κατεύθυνση. Οι δείκτες 2.5 και 2.6 παραμένουν μηδενικοί λόγω της μη διατήρησης και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας. Ο τελευταίος δείκτης (2.7) εκφράζει την ενεργειακή απόδοση του ενεργειακού κελύφους, όπου βελτιώθηκε καθώς στο κτίριο εφαρμόστηκε η δράση για την θερμομόνωση της οροφής.

**Αποτελέσματα δεικτών του 3ου πυλώνα: Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.63, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ».

Από το Σχήμα 5.63 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 3.2 και 3.4 παραμένει ίδια εφόσον δεν προστέθηκαν ενεργειακά συστήματα εποπτείας, όπως BEMS, και δεν άλλαξε η ευελιξία και η δυνατότητα σε ότι αφορά την εναλλαγή παρόχων ενέργειας. Αντιθέτως, οι δείκτες 3.1 και 3.3 σημείωσαν σημαντική πρόοδο καθώς αφορούν στην εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά συστήματα εποπτείας. Το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα καθώς αξιοποιεί πλέον τα διαδικτυακά λογισμικά e-SCEAF, και BEMAT, η απόδοσή του σε αυτούς τους δείκτες βελτιώθηκε.

**Related Infrastructures and ICT**

Indicator	Savona Campus 2016	Savona Campus 2017
3.1	Insignificant	Low
3.2	0	0
3.3	High	Optimus
3.4	0.17	0.17
3.5	0	0
3.6	Insignificant	Medium
3.7	Insignificant	High

*Σχήμα 5.63. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων*

Ο δείκτης 3.5 εκφράζει τη μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητος λόγω της μικρής εξοικονόμησης ενέργειας που επετεύχθη με την εφαρμογή της θερμομόνωσης οροφής μέσω του BEMAT. Τέλος, βελτιώθηκε σημαντικά και η απόδοση των δεικτών 3.6 και 3.7 καθώς αξιοποιήθηκαν τα κοινωνικά δίκτυα και συμμετείχαν οι χρήστες στη διαμόρφωση σεναρίων ενεργειακής διαχείρισης μέσω του εργαλείου TCV (παρόλο που δεν έχουμε αποτελέσματα για όλο το χρόνο).

**V.4.3 Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ**

**Συνολικά Αποτελέσματα**

Στο Σχήμα 5.64 παρατηρούμε τα αποτελέσματα πριν και μετά την εφαρμογή της 2ης Συνιστώσας «Διαχείρισης» στο Δημαρχείο Σαν Κουγκάτ. Με την χρήση των ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας και των εφαρμογών TCV και BEMAT παρατηρούμε ότι η απόδοση του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ βελτιώνεται και αναβαθμίζεται από «Χαμηλή (Low)» σε «Μέτρια (Medium)». Η διαφορά στην συνολική απόδοση δεν είναι πολύ μεγάλη καθώς από τις προτεινόμενες δράσεις του ΣΥΑ εξοικονόμησης ενέργειας καμία δράση δεν επιλέχθηκε για εφαρμογή λόγω της αρνητικής ΚΠΑ.

Sant Cugat Town Hall 2017	Medium	-0.06	7.94
Sant Cugat Town Hall 2016	Low	-0.35	7.65

*Σχήμα 5.64. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Συνολική βαθμολογία ενεργειακής αξιολόγησης του Δημαρχείου Σαν Κουγκάτ*

Οι διαφορές στην εξοικονόμηση ενέργειας προέρχονται από το ΣΥΑ διαχείρισης ενέργειας και το λογισμικό TCV. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η βαθμολογία του κάθε άξονα της μεθοδολογίας SCEAF για το σύνολο των δεικτών.

**Αποτελέσματα δεικτών του 1ου πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός**

Στο Σχήμα 5.65, που αποτελεί screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας».

**Βαθμός  
Φιλοδοξίας**

**Political field of action**

Indicator	Sant Cugat Town Hall 2016	Sant Cugat Town Hall 2017
1.1	0.2	0.2
1.2	0.2	0.2
1.3	0.2	0.2
1.4	0.24	0.35
1.5	0.24	0.35
1.6	0.09	0.09
1.7	0.03	0.03

**Σχήμα 5.65. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας»**

Από το Σχήμα 5.65 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 1.1, 1.2, και 1.3 έχει παραμείνει ίδια, καθώς αφορούν στους στόχους της εκάστοτε πόλης για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, του διοξειδίου του άνθρακα και της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα. Οι τιμές των δεικτών 1.4 και 1.5 διαπιστώνουμε πως αυξάνονται. Αυτό οφείλεται στην βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μετά την εφαρμογή του Σχεδίου ρύθμισης της θερμοκρασίας και του λογισμικού TCV. Ο δείκτης 1.6, που αφορά στην συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική χρήση, παρατηρούμε πως δεν βελτιώθηκε, εφόσον δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τέλος, η τιμή του δείκτη 1.7 παρέμεινε ίδια καθώς έγιναν επιπλέον επενδύσεις για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Υπενθυμίζουμε πως καμία δράση του BEMAT δεν επιλέχθηκε για εφαρμογή καθώς όλες παρουσίαζαν αρνητική ΚΠΑ. Η βελτίωση στην κατανάλωση ενέργειας οφείλεται αποκλειστικά στην χρήση του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας με το λογισμικό TCV.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 2ου  
πυλώνα:  
Ενεργειακό &  
Περιβαλλοντι-  
κό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.66, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ».

**Energy and Environmental Profile**

Indicator	Sant Cugat Town Hall 2016	Sant Cugat Town Hall 2017
2.1	0.05	0.17
2.2	0	0.17
2.3	0	0
2.4	0.01	0.01
2.5	0	0
2.6	0	0
2.7	Medium	Medium

**Σχήμα 5.66. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων**

Από το Σχήμα 5.66 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 2.1 και 2.2 παρουσιάζει βελτίωση. Οι δείκτες αυτοί αφορούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020. Η βελτίωση σε αυτούς τους δείκτες οφείλεται στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου

ύστερα από την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης ρύθμισης θερμοκρασίας μέσω της εφαρμογής του λογισμικού TCV. Οι δείκτες 2.3, 2.4, 2.7 παρέμειναν αμετάβλητοι, καθώς δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις προς αυτή την κατεύθυνση. Οι δείκτες 2.5 και 2.6 παραμένουν μηδενικοί λόγω της μη διατήρησης και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 3ου  
κυλώνα:  
Σχετικές  
Υποδομές  
Ενέργειας &  
ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.67, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ».

Related Infrastructures and ICT		
Indicator	Sant Cugat Town Hall 2016	Sant Cugat Town Hall 2017
3.1	High	Optimus
3.2	0	0
3.3	Low	Low
3.4	0.33	0.33
3.5	0	0.2
3.6	Optimus	Optimus
3.7	Insignificant	High

**Σχήμα 5.67. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ»**

Από το Σχήμα 5.67 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 3.2, 3.3 και 3.4 παραμένει ίδια εφόσον δεν προστέθηκαν ενεργειακά συστήματα εποπτείας και πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης, και δεν άλλαξε επίσης η ευελιξία και η δυνατότητα σε ό,τι αφορά την εναλλαγή παρόχων ενέργειας. Αντιθέτως, ο δείκτης 3.1 βελτιώθηκε και πέτυχε την καλύτερη βαθμολογία: «Ιδανική(Optimus)». Ο δείκτης αυτός αφορά στη χρήση συστημάτων αυτοματισμού και ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς και στη χρήση περιβαλλοντικών συστημάτων. Η βελτίωση αυτή είναι αναμενόμενη καθώς το Δημαρχείο αξιοποιεί πλέον τα διαδικτυακά λογισμικά e-SCEAF και TCV. Ο δείκτης 3.5 εκφράζει τη μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που βελτιώθηκε λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που επετεύχθη ύστερα από την ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας μέσω του TCV. Τέλος, βελτιώθηκε και η απόδοση των δεικτών 3.6 και 3.7 καθώς αξιοποιήθηκαν τα κοινωνικά δίκτυα και συμμετείχαν οι χρήστες στη διαμόρφωση σεναρίων ενεργειακής διαχείρισης μέσω του εργαλείου TCV.

#### V.4.4 Εφαρμογή e-SCEAF στο Εφαρμογή e-SCEAF στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ

**Συνολικά  
Αποτελέσματα**

Στο Σχήμα 5.68 παρατηρούμε τα αποτελέσματα πριν και μετά την εφαρμογή της 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας «Διαχείρισης» στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ. Με την χρήση των ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας και των εφαρμογών TCV και BEMAT παρατηρούμε ότι η απόδοση του Θεάτρου στο Σαν Κουγκάτ από «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» αναβαθμίζεται σε «Χαμηλή (Low)».

**Σχήμα 5.68. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Συνολική βαθμολογία ενεργειακής αξιολόγησης του Σχολείου στη Σαβόνα**

**SANT CUGAT - Comparison of each building in year 2017**

Sant Cugat Theatre 2017	Low	-0.21	1.79
Sant Cugat Theatre 2016	Very Low	-0.2	0.8

**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας**

Στο Σχήμα 5.69, που αποτελεί screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας».

**Σχήμα 5.69. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων**

**Political field of action**

Indicator	Sant Cugat Theatre 2016	Sant Cugat Theatre 2017
1.1	0.2	0.2
1.2	0.2	0.2
1.3	0.2	0.2
1.4	0.06	0.27
1.5	0.29	0.58
1.6	0	0
1.7	0.07	0.69

Από το Σχήμα 5.69 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 1.1, 1.2, και 1.3 έχει παραμείνει ίδια, καθώς αφορά στους στόχους της εκάστοτε πόλης για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, του διοξειδίου του άνθρακα και της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα. Οι τιμές των δεικτών 1.4 και 1.5 αυξάνονται σημαντικά. Η βελτίωση των δεικτών οφείλεται στην βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μετά την εφαρμογή των δράσεων. Ο δείκτης 1.6, που αφορά στην συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική χρήση, παρατηρούμε πως δεν βελτιώθηκε, εφόσον δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τέλος, η τιμή του δείκτη 1.7 βελτιώθηκε δεδομένου των επενδύσεων που έγιναν για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

**Αποτελέσματα δεικτών του 2<sup>ου</sup> πυλώνα: Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.70, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ».

**Σχήμα 5.70. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ» μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων**

**Energy and Environmental Profile**

Indicator	Sant Cugat Theatre 2016	Sant Cugat Theatre 2017
2.1	0.06	0.12
2.2	0.12	0.27
2.3	0.37	0.38
2.4	0	0
2.5	0	0
2.6	0	0
2.7	Low	Low

Από το Σχήμα 5.70 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 2.1 και 2.2 παρουσιάζει βελτίωση. Η βελτίωση σε αυτούς τους δείκτες οφείλεται στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου ύστερα από την εφαρμογή θερμομόνωσης οροφής μέσω του λογισμικού BEMAT, καθώς και από την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, μέσω του λογισμικού TCV. Οι δείκτες 2.3 και 2.4, που εκφράζουν το συντελεστή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρέμειναν αμετάβλητοι καθώς δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις προς αυτή την κατεύθυνση. Οι δείκτες 2.5 και 2.6 παραμένουν μηδενικοί λόγω της μη διατήρησης και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας. Ο τελευταίος δείκτης (2.7) εκφράζει την ενεργειακή απόδοση του ενεργειακού κελύφους, όπου βελτιώθηκε μερικώς καθώς στο κτίριο εφαρμόστηκε θερμομόνωση οροφής.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 3ου  
κυλώνα:  
Σχετικές  
Υποδομές  
Ενέργειας &  
ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.71, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ».

*Σχήμα 5.71. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ» μαζί με τους αντιστοιχούς δείκτες και το γράφημα απόδοσης, πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων*

**Related Infrastructures and ICT**

Indicator	Sant Cugat Theatre 2016	Sant Cugat Theatre 2017
3.1	Insignificant	Low
3.2	0	0
3.3	Insignificant	Low
3.4	0.25	0.25
3.5	0	0
3.6	Insignificant	Medium
3.7	Insignificant	High

Από το Σχήμα 5.71 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 3.2 και 3.4 παραμένει ίδια εφόσον δεν προστέθηκαν ενεργειακά συστήματα εποπτείας, όπως BEMS, και δεν άλλαξε η ευελιξία και η δυνατότητα σε



ό,τι αφορά την εναλλαγή παρόχων ενέργειας. Αντιθέτως, οι δείκτες 3.1 και 3.3 σημείωσαν σημαντική πρόοδο καθώς αφορούν στην εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά συστήματα εποπτείας. Το Σχολείο στη Σαβόνα καθώς αξιοποιεί πλέον τα διαδικτυακά λογισμικά e-SCEAF, TCV και BEMAT, η απόδοσή του σε αυτούς τους δείκτες βελτιώθηκε. Ο δείκτης 3.5 εκφράζει τη μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που μειώθηκε σημαντικά λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που επετεύχθη με την εφαρμογή της θερμομόνωσης οροφής μέσω του BEMAT και την ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας μέσω του TCV. Βελτιώθηκε επίσης και η απόδοση των δεικτών 3.6 και 3.7 καθώς αξιοποιήθηκαν τα κοινωνικά δίκτυα και συμμετείχαν οι χρήστες στη διαμόρφωση σεναρίων ενεργειακής διαχείρισης μέσω του εργαλείου TCV.

#### V.4.5 Εφαρμογή e-SCEAF στο Δημαρχείο Ζάανσταντ

**Συνολικά Αποτελέσματα** Στο Σχήμα 5.72 παρατηρούμε τα αποτελέσματα πριν και μετά την εφαρμογή της 2<sup>ης</sup> Συνιστώσας «Διαχείρισης» στο Σχολείο «Savona Colombo-Pertini». Με την χρήση των ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας και των εφαρμογών TCV και BEMAT παρατηρούμε ότι η απόδοση του Δημαρχείου στο Ζάανσταντ από «Πολύ Χαμηλή (Very Low)» αναβαθμίζεται σε «Χαμηλή (Low)».

*Σχήμα 5.72. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Συνολική βαθμολογία ενεργειακής αξιολόγησης του Σχολείου στη Σαβόνα*

Zaanstad Town Hall 2017	Low	0.21	2.21
Zaanstad Town Hall 2016	Very Low	0.29	1.29

Από το αποτέλεσμα αυτό συμπεραίνουμε, ότι το κτίριο πράγματι εμφανίζει περιθώρια βελτίωσης παρόλο που είναι κατασκευασμένο το 2011 και διαθέτει θερμομόνωση. Η βελτίωση οφείλεται στο γεγονός αυτό το Δημαρχείο πλέον αξιοποιεί τα ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας. Συγκεκριμένα στο Δημαρχείο επιλέχθηκε για εφαρμογή μέσω του BEMAT η δράση για αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού και αξιοποιήθηκε το λογισμικό TCV. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η βαθμολογία του κάθε άξονα της μεθοδολογίας SCEAF για το σύνολο των δεικτών.

**Αποτελέσματα δεικτών του 1<sup>ου</sup> πυλώνα: Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας** Στο Σχήμα 5.73, που αποτελεί screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Από το Σχήμα 5.73 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 1.1, 1.2, και 1.3 έχει παραμείνει ίδια. Οι τιμές των δεικτών 1.4 και 1.5 διαπιστώνουμε πως αυξάνονται σημαντικά. Ο δείκτης 1.6, που αφορά στην συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική χρήση, παρατηρούμε πως δεν βελτιώθηκε εφόσον δεν πραγματοποιήθηκαν επιπλέον δράσεις εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέλος,

η τιμή του δείκτη 1.7 βελτιώθηκε δεδομένου των επενδύσεων που έγιναν για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

**Political field of action**

Indicator	Zaanstad Town Hall 2016	Zaanstad Town Hall 2017
1.1	0.2	0.2
1.2	0.2	0.2
1.3	0.2	0.2
1.4	0.27	0.42
1.5	0.61	0.82
1.6	0	0

**Σχήμα 5.73. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας»**

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 2ου  
πυλώνα:  
Ενεργειακό &  
Περιβαλλοντι-  
κό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.74, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ».

**Energy and Environmental Profile**

Indicator	Zaanstad Town Hall 2016	Zaanstad Town Hall 2017
2.1	0.12	0.16
2.2	0.21	0.21
2.3	0.22	0.23
2.4	0	0
2.5	0	0
2.6	0	0
2.7	Optimus	Optimus

**Σχήμα 5.74. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ»**

Από το Σχήμα 5.74 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 2.1 και 2.2 παρουσιάζει βελτίωση. Η βελτίωση σε αυτούς τους δείκτες οφείλεται στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου ύστερα από την εφαρμογή αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού μέσω της εφαρμογής του λογισμικού BEMAT, καθώς και την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, μέσω του λογισμικού TC.V. Οι επόμενοι δύο δείκτες 2.3 και 2.4 παρέμειναν αμετάβλητοι, καθώς δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις προς αυτή την κατεύθυνση. Οι δείκτες 2.5 και 2.6 παραμένουν μηδενικοί λόγω της μη διατήρησης και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας. Ο τελευταίος δείκτης (2.7) εκφράζει την ενεργειακή απόδοση του ενεργειακού κελύφους, όπου παρέμεινε αμετάβλητος καθώς το κτίριο ήδη διαθέτει εξωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας και θερμομόνωση οροφής.

**Αποτελέσματα  
δεικτών του 3ου  
πυλώνα:  
Σχετικές**

Στο Σχήμα 5.75, που αποτελεί Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF, παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δεικτών πριν και μετά την εφαρμογή

**Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ** των βελτιωτικών σεναρίων σε ότι αφορά τον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ».

Από το Σχήμα 5.75 παρατηρούμε πως η απόδοση των δεικτών 3.2 και 3.4 παραμένει ίδια εφόσον δεν προστέθηκαν ενεργειακά συστήματα εποπτείας, όπως BEMS, και δεν άλλαξε η ευελιξία και η δυνατότητα σε ό,τι αφορά την εναλλαγή παρόχων ενέργειας.

Αντιθέτως, οι δείκτες 3.1 και 3.3 σημείωσαν σημαντική πρόοδο καθώς αφορούν στην εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά συστήματα εποπτείας. Το Σχολείο στη Σαβόνα καθώς αξιοποιεί πλέον τα διαδικτυακά λογισμικά e-SCEAF, TCV και BEMAT, η απόδοσή του σε αυτούς τους δείκτες βελτιώθηκε. Ο δείκτης 3.5 εκφράζει τη μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που βελτιώθηκε λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που επετεύχθη με την εφαρμογή δράσης εξοικονόμησης αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού μέσω του BEMAT και την ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας μέσω του TCV. Βελτιώθηκε επίσης και η απόδοση των δεικτών 3.6 και 3.7 καθώς αξιοποιήθηκαν τα κοινωνικά δίκτυα και συμμετείχαν οι χρήστες στη διαμόρφωση σεναρίων ενεργειακής διαχείρισης μέσω του εργαλείου TCV.

Related Infrastructures and ICT

Indicator	Zaanstad Town Hall 2016	Zaanstad Town Hall 2017
3.1	Low	High
3.2	0	0
3.3	Insignificant	Low
3.4	0.33	0.33
3.5	0	0
3.6	Insignificant	Medium
3.7	Insignificant	High

Σχήμα 5.75. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Βαθμολογία του κτιρίου στον άξονα «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ»

#### V.4.6 Συνολικά Αποτελέσματα Ex-Post Assessment

**Αποτελέσματα Ex-Post Assessment από την εφαρμογή e-SCEAF** Στα σχήματα που ακολουθούν, απεικονίζονται τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά και για τα πέντε κτίρια από το λογισμικό e-SCEAF. Η δυνατότητα που έχει το λογισμικό να συγκρίνει κτίρια, είναι πολύ σημαντική για τον ενεργειακό υπεύθυνο των πόλεων ώστε να μπορεί εύκολα να διακρίνει τους τομείς που το κάθε κτίριο αποδίδει ή δεν αποδίδει και να προβαίνει στις κατάλληλες παρεμβάσεις για καλύτερη ενεργειακή διαχείριση και ενεργειακή εξοικονόμηση. Στο Σχήμα 5.76, απεικονίζονται τα συνολικά αποτελέσματα των πέντε κτιρίων από την Ex-Post αξιολόγηση. Το λογισμικό e-SCEAF απεικονίζει σε φθίνουσα σειρά την απόδοση των κτιρίων (από το καλύτερο προς το χειρότερο).

Παρατηρούμε ότι το Σχολείο στη Σαβόνα στην Ex-Post αξιολόγηση περνάει πρώτο σε απόδοση και καταλαμβάνει την θέση που είχε το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ στην Ex-Ante. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μετά από την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσω του λογισμικού TCV και των βελτιωτικών σεναρίων θερμομόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας, θερμομόνωσης οροφής και αντικατάστασης παλαιών υαλοπινάκων μέσω του λογισμικού ΒΕΜΑΤ προέκυψε πολύ σημαντική ενεργειακή εξοικονόμηση που οδήγησε το Σχολείο στην Σαβόνα στην κορυφή της κατάταξης με απόδοση «Μέτρια-Medium».

All Three - Comparison of each building in year 2017

Savona School 2017	Medium	-0.48	2.52
Zaanstad Town Hall 2017	Low	0.21	2.21
Savona Campus 2017	Low	0.1	2.1
Sant Cugat Town Hall 2017	Low	-0.06	1.94
Sant Cugat Theatre 2017	Low	-0.24	1.76

**Σχήμα 5.76. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF. Συνολικά αποτελέσματα Ex-Ante και την Ex-Post αξιολόγησης**

Ακολουθούν με μικρές διαφορές και με απόδοση «Χαμηλή-Low» το Δημαρχείο του Ζάανσταντ, το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα, το Δημαρχείο στο Σαν Κουγκάτ και τέλος το θέατρο του Σαν Κουγκάτ. Από την σύγκριση, επίσης, της Ex-Ante και της Ex-Post αξιολόγησης, διαπιστώνουμε ότι σχεδόν όλα τα κτίρια αναβαθμίζονται ενεργειακά από «Πολύ Χαμηλή-Very Low» σε «Χαμηλή Απόδοση-Low» απόδοση. Το δε Σχολείο στη Σαβόνα, αναβαθμίστηκε ενεργειακά δυο σκάλες στην πενταβάθμια κλίμακα και η αποδοσή του πήγε από «Πολύ Χαμηλή-Very Low» σε «Μέτρια-Medium».

Αξίζει να αναφέρουμε ότι παρόλο που τέσσερα κτίρια έχουν παρόμοιες αποδόσεις («Χαμηλή-Low»), μπορούμε εύκολα να τα κατατάξουμε. Αυτό οφείλεται στην σωστή επιλογή του πολυκριτηριακού μοντέλου που έχει χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, το μοντέλο της διπλής γλωσσικής αναπαράστασης «2-tuple» (Herrera & Martinez, 2000; Herrera & Martinez, 2001a) που χρησιμοποιήθηκε συνδυάζει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: Αφενός, η γλωσσική πληροφορία καθιστά εύκολο στον ενεργειακό υπεύθυνο των πόλεων να διακρίνει την απόδοση του εκάστοτε κτιρίου, και αφετέρου με την χρήση της αριθμητικής τιμής που ακολουθεί δεν χάνεται η πληροφορία και υπάρχει ακρίβεια στο αποτέλεσμα. Στη συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική σύγκριση των πέντε κτιρίων στον κάθε πυλώνα.

**Συνολικά  
Αποτελέσματα  
1<sup>ου</sup> πυλώνα  
μεθοδολογίας:  
Στρατηγική -  
Πολιτικός  
Βαθμός  
Φιλοδοξία».**

Στο Σχήμα 5.77 απεικονίζεται η Ex-Post αξιολόγηση της απόδοσης των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 1<sup>ο</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Σχολείο στη Σαβόνα, ακολουθεί το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και το Δημαρχείο στο Σαν Κουγκάτ.

Συγκεκριμένα σε σχέση με την Ex-Ante αξιολόγηση, οι δείκτες 1.4, 1.5 και 1.7 που αφορούν στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και τις συνολικές χρηματικές δαπάνες για την βελτίωση της ενέργειας μέχρι το 2020 αντίστοιχα βελτιώνονται σε όλα τα κτίρια σημαντικά.

Αυτό οφείλεται στην ενεργειακή εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την χρήση των ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μέσω των εφαρμογών BEMAT και TCV. Το Σχολείο της Σαβόνα και το Πανεπιστήμιο της Σαβόνα έχουν την καλύτερη απόδοση στους δείκτες αυτούς και ακολουθούν το Δημαρχείο του Ζάανσταντ, το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ και στο τέλος το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ. Αντιθέτως, οι

**Political field of action**

Indicator	Savona School 2017	Savona Campus 2017	Sant Cugat Town Hall 2017	Sant Cugat Theatre 2017	Zaanstad Town Hall 2017
1.1	0.12	0.12	0.2	0.2	0.2
1.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1.3	0.29	0.29	0.2	0.2	0.2
1.4	1	0.47	0.24	0.2	0.42
1.5	1	0.56	0.24	0.49	0.82
1.6	0.2	0.18	0.09	0	0
1.7	1	1	0.03	0.69	0.23

**Σχήμα 5.77. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 1<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας»**

δείκτες 1.1, 1.2, 1.3 που αφορούν στους στόχους των πόλεων για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, της ενεργειακής κατανάλωσης και της χρήσης ΑΠΕ μέχρι το 2020, αντίστοιχα, παραμένουν αμετάβλητοι.

**Political field of action**

Indicator	2014	2017
1.1	0.16	0.16
1.2	0.2	0.2
1.3	0.24	0.24
1.4	0.14	0.45
1.5	0.28	0.64
1.6	0.07	0.1
1.7	0.51	0.6

**Σχήμα 5.78. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 1<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας: «Στρατηγική - Πολιτικός Βαθμός Φιλοδοξίας». Σύγκριση μεταξύ Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης**

Παρατηρούμε ότι τα κτίρια που ανήκουν στην ίδια πόλη παρουσιάζουν και την ίδια απόδοση. Τέλος, σε ότι αφορά τον δείκτη 1,6 που αφορά στα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ, εξαρτάται από τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ που διαθέτουν τα κτίρια. Στην περίπτωση των υπό μελέτη κτιρίων, 3 από αυτά διαθέτουν εγκατάσταση Φ/Β.

Συγκεκριμένα, το Σχολείο της Σαβόνα και το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ διέθεταν ήδη Φ/Β εγκατάσταση, ενώ εφαρμόστηκε δράση εγκατάστασης Φ/Β στο Πανεπιστήμιο της Σαβόνα. Στο Θέατρο του Σαν Κουγκάτ και στο Δημαρχείο του Ζάανσαντ η απόδοση του δείκτη παραμένει μηδενική καθώς δεν υλοποιήθηκαν έργα προς την κατεύθυνση των ΑΠΕ. Η βελτίωση των δεικτών 1.4 έως 1.7 μεταξύ της Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης, μέσω της χρήσης των λογισμικών TCν και ΒΕΜΑΤ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. 78.

**Συνολικά Αποτελέσματα 2ου πυλώνα της μεθοδολογίας: Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ**

Στο Σχήμα 5.79 απεικονίζεται η Ex-Post αξιολόγηση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 2ο πυλώνα της μεθοδολογίας: «Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Προφίλ». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Σχολείο στη Σαβόνα, ακολουθεί το Δημαρχείο στο Ζάανσαντ και το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ και ακολουθούν τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα σε σχέση με την Ex-Ante αξιολόγηση η απόδοση των δεικτών 2.1 και 2.2 παρουσιάζει σημαντική βελτίωση. Οι δείκτες αυτοί αφορούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020.

**Σχήμα 5.79. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 2ου πυλώνα της μεθοδολογίας**

2.1	0.49	0.11	0.17	0.12	0.16
2.2	0.5	0.1	0.17	0.17	0.21
2.3	0.59	0.29	0	0.29	0.23
2.4	0.05	0.03	0.01	0	0
2.5	0	0	0	0	0
2.6	0	0.05	0	0	0
2.7	High	Very Low	Medium	Low	Optimus

Η βελτίωση σε αυτούς τους δείκτες οφείλεται στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων ύστερα από την εφαρμογή των δράσεων μέσω του ΒΕΜΑΤ καθώς και την εφαρμογή του Σχεδίου Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, μέσω του λογισμικού TCν. Οι επόμενοι δύο δείκτες 2.3 και 2.4 που εκφράζουν το συντελεστή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρέμειναν αμετάβλητοι για τα κτίρια που δεν πραγματοποιήθηκαν δράσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

**Σχήμα 5.80. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 2ου πυλώνα της μεθοδολογίας**

**Energy and Environmental Profile**

Indicator	2014	2017
2.1	0.06	0.16
2.2	0.08	0.16
2.3	0.29	0.29
2.4	0.01	0.02
2.5	0	0
2.6	0.02	0.02
2.7	Medium	Medium

Για παράδειγμα για το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα οι δείκτες αυτοί βελτιώθηκαν λόγω της δράσης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών. Οι δείκτες 2.5 και 2.6 παραμένουν μηδενικοί λόγω της μη διατήρησης και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και της συμπαράγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας. Ο τελευταίος δείκτης (2.7) εκφράζει την ενεργειακή απόδοση του ενεργειακού κελύφους, όπου βελτιώθηκε σημαντικά στα κτίρια που εφαρμόσαμε δράσεις εξωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας και θερμομόνωση οροφής όπως στο Σχολείο και το Πανεπιστήμιο της Σαβόνα καθώς και στο Θέατρο Σαν Κουγκάτ. Το Δημαρχείο του Ζάανσταντ για παράδειγμα διέθετε από πριν άριστα θερμομονωμένο κέλυφος. Η βελτίωση των δεικτών 2.1 έως 2.4 μεταξύ της Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης, μέσω της χρήσης των λογισμικών TCV και BEMAT, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. 80.

**Συνολικά  
Αποτελέσματα  
3ου πυλώνα της  
μεθοδολογίας:  
Σχετικές  
Υποδομές  
Ενέργειας &  
ΤΠΕ**

Στο Σχήμα 5.81 απεικονίζεται η Ex-Post αξιολόγηση των κτιρίων σε ό,τι αφορά τον 3ο πυλώνα της μεθοδολογίας: «Σχετικές Υποδομές Ενέργειας & ΤΠΕ». Όπως απεικονίζεται στο λογισμικό e-SCEAF, καλύτερη απόδοση σε αυτό τον τομέα έχει το Δημαρχείο του Σαν Κουγκάτ και ακολουθεί το Πανεπιστήμιο στη Σαβόνα και το Δημαρχείο του Ζάανσταντ. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την Ex-Ante αξιολόγηση παρατηρούμε ότι οι δείκτες 3.1 και 3.3 σημείωσαν σημαντική πρόοδο καθώς αφορούν στην εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά συστήματα εποπτείας. Η βελτίωση αυτή στους δείκτες οφείλεται στο γεγονός ότι και τα πέντε κτίρια πλέον αξιοποιούν τα διαδικτυακά λογισμικά e-SCEAF, TCV και BEMAT.

Related Infrastructures and ICT

Indicator	Savona School 2017	Savona Campus 2017	Sant Cugat Town Hall 2017	Sant Cugat Theatre 2017	Zaanstad Town Hall 2017
3.1	Low	Low	Optimus	Low	High
3.2	0	0	0	0	0
3.3	Low	Optimus	Low	Low	Low
3.4	0.17	0.17	0.33	0.25	0.33
3.5	0.36	0	0	0	0
3.6	Medium	Medium	Optimus	Medium	Medium
3.7	High	High	High	High	High

**Σχήμα 5.81. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 3ου πυλώνα της μεθοδολογίας**

Ο δείκτης 3.5 εκφράζει τη μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που βελτιώνεται επίσης λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που επετεύχθη με την εφαρμογή των σεναρίων εξοικονόμησης του BEMAT και την ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας μέσω του TCV. Βελτιώθηκε ακόμη και η απόδοση των δεικτών 3.6 και 3.7 καθώς αξιοποιήθηκαν τα κοινωνικά δίκτυα και συμμετείχαν οι χρήστες στη διαμόρφωση των σεναρίων ενεργειακής διαχείρισης μέσω του εργαλείου TCV. Αντιθέτως, η απόδοση των δεικτών 3.2 και 3.4 παραμένει ίδια εφόσον δεν προστέθηκαν ενεργειακά συστήματα εποπτείας, όπως BEMS, και δεν άλλαξε η ευελιξία και η δυνατότητα σε ό,τι αφορά την εναλλαγή παρόχων ενέργειας. Η σημαντική βελτίωση των δεικτών 3.1, 3.3, 3.5, 3.6 και 3.7 μεταξύ της Ex-Post και Ex-Ante αξιολόγησης, μέσω της χρήσης των λογισμικών TCV και BEMAT, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. 82.

## Related Infrastructures and ICT

Indicator	2014	2017
3.1	Low	High
3.2	0	0
3.3	Low	High
3.4	0.25	0.25
3.5	0.01	0.04
3.6	Insignificant	Medium
3.7	Insignificant	High

Σχήμα 5.82. Screenshot από το λογισμικό e-SCEAF – Συνολικά Αποτελέσματα 3<sup>ου</sup> πυλώνα της μεθοδολογίας

**Συμβολή των ΣΥΑ Διαχείρισης & εξοικονόμησης ενέργειας στο e-SCEAF**

Στον Πίνακα 5.21 παρουσιάζεται η συμβολή του ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας που αξιοποιεί το διαδικτυακό TCV και του ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας που αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων ΒΕΜΑΤ. Από τον Πίνακα 5.21 παρατηρούμε πως τα δυο λογισμικά βελτιώνουν την απόδοση 14 από τους 21 δείκτες του πλαισίου αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων SCEAF.

Πίνακας 5.21. Συμβολή των ΣΥΑ Διαχείρισης & εξοικονόμησης ενέργειας στους δείκτες του e-SCEAF

Περιγραφή	Δείκτες	TCV	ΒΕΜΑ T
Στόχος μείωσης των εκπομπών CO <sub>2</sub> σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % των συνολικών εκπομπών	1.1	×	×
Στόχος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)	1.2	×	×
Στόχος ΑΠΕ σε τελική χρήση σε δημοτικά κτίρια μέχρι το 2020: % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (παρεχόμενη ενέργεια)	1.3	×	×
Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub>	1.4	✓	✓
Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης	1.5	✓	✓
Μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα στη συμμετοχή των ΑΠΕ	1.6	×	✓
Συνολικές χρηματικές δαπάνες για ενέργεια	1.7	✓	✓
Ενεργειακή κατανάλωση / κάτοικο	2.1	✓	✓
Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020	2.2	✓	✓
Μέσος συντελεστής εκπομπών CO <sub>2</sub>	2.3	✓	✓
Ένταση παραγωγής από ΑΠΕ	2.4	×	✓
Ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρική/θερμική)	2.5	×	×
Συμπαράγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού	2.6	×	×
Ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους	2.7	×	✓
Συστήματα Αυτοματισμού, χρήση ΤΠΕ για Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας	3.1	✓	✓
Ενεργειακά Συστήματα Εποπτείας	3.2	×	×
Συστήματα Πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης	3.3	✓	×
Ευελιξία και δυνατότητα εναλλαγής παρόχων ενέργειας	3.4	×	×
Μείωση του κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών	3.5	✓	✓
Αξιοποίηση των κοινωνικών δικτύων	3.6	✓	×
Αξιοποίηση της άποψης των χρηστών των εγκαταστάσεων για τη διαμόρφωση των σεναρίων	3.7	✓	×



## V.5 Συμπεράσματα

**Πιλοτική Εφαρμογή** Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των αντίστοιχων πληροφοριακών συστημάτων σε τρεις αντιπροσωπευτικούς δήμους από την Ευρώπη (Σαβόνα-Ιταλία, Σαν Κουγκάτ-Ισπανία, Ζάανσταντ-Ολλανδία), έδωσε τη δυνατότητα για την αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που παρέχει. Η παραπάνω εφαρμογή παρέχει καταρχάς τη δυνατότητα εξαγωγής κάποιων βασικών συμπερασμάτων:

- ▲ Η χρήση των πληροφοριακών συστημάτων, που ενσωματώνονται στην προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ευέλικτη, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής. Συγκεκριμένα τα λογισμικά e-SCEAF, TCV και BEMAT προσαρμόστηκαν επιτυχώς σε δήμους διαφορετικών χωρών. Επίσης η δυνατότητα που παρέχει το e-SCEAF για σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ πόλεων και κτιρίων αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη για τους ενεργειακούς διαχειριστές.
- ▲ Η προτεινόμενη μεθοδολογία παρέχει άμεσο και σαφή καθορισμό όλων των παραμέτρων του προβλήματος και εμπειριστατωμένη ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της αξιολόγησης των εναλλακτικών Σεναρίων Δράσης από τους αποφασίζοντες.
- ▲ Το λογισμικό e-SCEAF που χρησιμοποιείται για το πρώτο και τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας υποστηρίζει σημαντικά το έργο των ενεργειακών υπευθύνων των κτιρίων της πόλης με τους τρόπους αναπαράστασης των αποτελεσμάτων: μέσω πινάκων, αξόνων ταξινόμησης και πολυγώνων. Στην πρώτη εφαρμογή του e-SCEAF οι υπεύθυνοι μπορούν να διακρίνουν γρήγορα και εύκολα τους τομείς που τα κτίρια τους έχουν καλή απόδοση ή δεν έχουν. Ταυτόχρονα, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα στις αρχές της πόλης να τα συγκρίνουν τα κτίρια μεταξύ τους. Στην δεύτερη εφαρμογή του e-SCEAF, οι διαχειριστές των πόλεων και των κτιρίων κατ' επέκταση μπορούν να διαπιστώσουν την ενεργειακή πρόοδο και βελτίωση των κτιρίων τους. Επίσης, διαπιστώνουν ποιοι τομείς τώρα αποδίδουν καλά, και ποιοι τομείς θα πρέπει επίσης να βελτιωθούν.
- ▲ Από τα αποτελέσματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας φαίνεται ότι τα πιλοτικά κτίρια βελτίωσαν την απόδοση στους περισσότερους από τους 21 δείκτες (συγκεκριμένα σε 14 δείκτες) του μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων SCEAF. Βάσει των αποτελεσμάτων, οι ενεργειακοί διαχειριστές μπορούν να ξεκινήσουν εκ νέου την διαδικασία και να βελτιώσουν περαιτέρω τα κτίρια και τις πόλεις τους.
- ▲ Επίσης, παρατηρούμε την σημαντική συμβολή των ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας που αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο TCV και του ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας που αξιοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο BEMAT. Συγκεκριμένα μέσω του ΣΥΑ για την διαχείριση ενέργειας που αφορά στο Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και τη χρήση του λογισμικού TCV επιτυγχάνεται

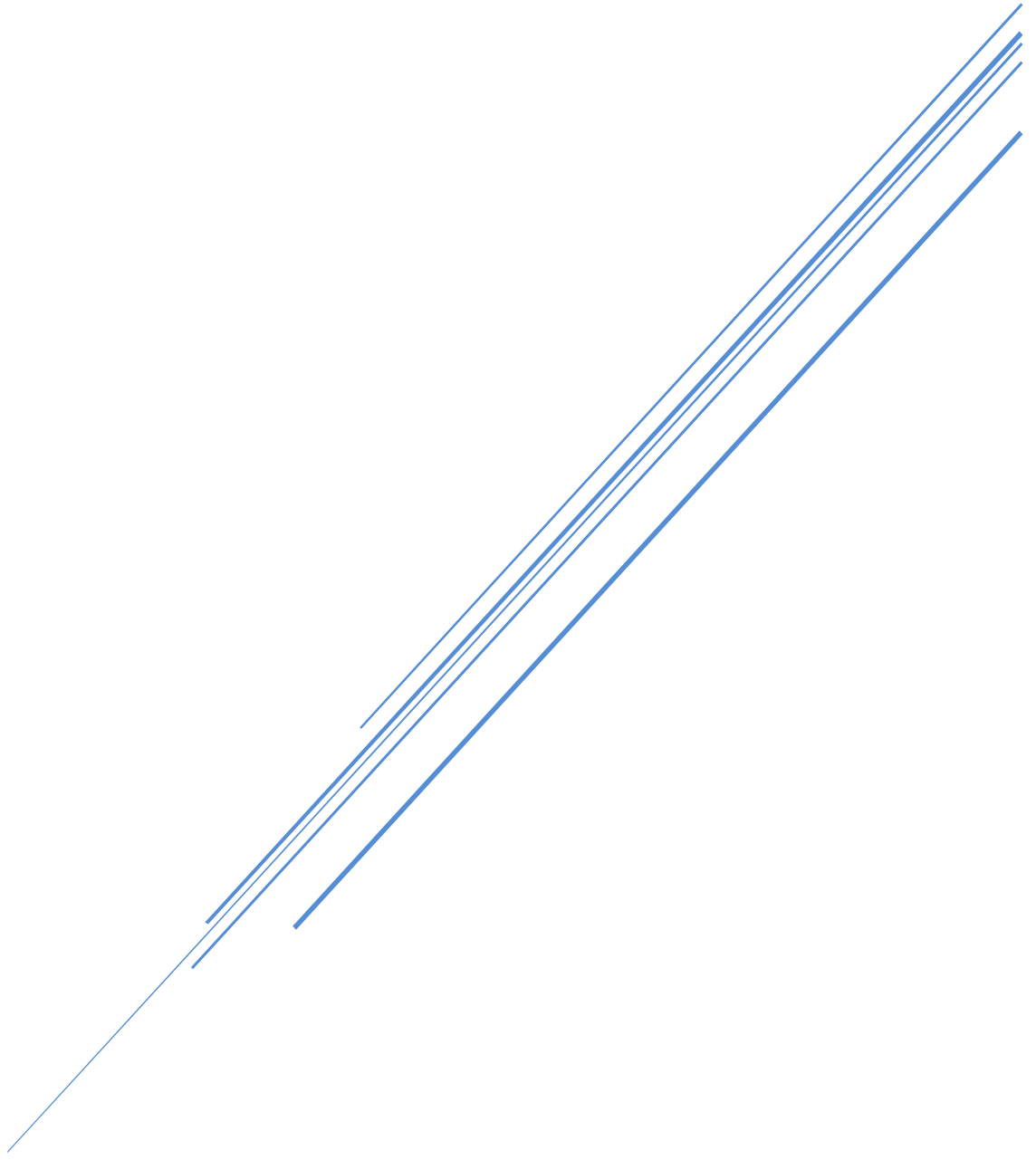
μέσος όρος βελτίωσης θερμικής άνεσης των χρηστών κατά 38% και ενεργειακή εξοικονόμηση από 4% έως 6,6% στις περισσότερες εγκαταστάσεις εκτός από το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ που επιτυγχάνεται ένα πολύ σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας τους χειμερινούς μήνες κατά 21% και τους θερινούς κατά 45%. Συνολικά και τα δύο ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν κατά μέσο όρο σε περιορισμό κατά 19% της κατανάλωσης του φυσικού αερίου και κατά 30% της ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος.

- ▲ Ακόμη, η δυνατότητα επέκτασης του μεθοδολογικού πλαισίου είναι πολύ σημαντική. Υπάρχει η δυνατότητα στην προτεινόμενη μεθοδολογία να εισαχθούν επιπλέον εργαλεία και ΣΥΑ για την διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Τέλος, σημαντικό πλεονέκτημα της εφαρμογής αποτέλεσε η διαθεσιμότητα πραγματικών δεδομένων για τους τρεις δήμους, καθώς και οι επαφές που υπήρξαν με τις τοπικές αρχές και τους τοπικούς εμπειρογνώμονες. Τα δεδομένα αυτά ήταν διαθέσιμα στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου «OPTIMUS». Το γεγονός αυτό κάνει όχι μόνο ρεαλιστική την εφαρμογή αλλά δίνει και τη δυνατότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας με πραγματικά δεδομένα, σε ένα πεδίο όπου διαθέσιμα και αξιόπιστα δεδομένα είναι εξαιρετικά δύσκολο να εντοπιστούν, ενώ η διεθνής ερευνητική εμπειρία ήταν περιορισμένη.

# Κεφάλαιο VI

Συμπεράσματα - Προοπτικές



**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

*Ηλίας Μ. Παπασταματίου*



## VI.1 Συμπεράσματα

**Στόχος** Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την υποστήριξη αποφάσεων σε ό,τι αφορά την εξοικονόμηση και τη διαχείριση ενέργειας σε Έξυπνες Πόλεις. Τα ζητήματα της ενεργειακής βελτίωσης και της μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων στις πόλεις που πραγματεύεται η διατριβή είναι καιρία, και η ανάγκη για τη δημιουργία «Έξυπνων Ενεργειακά Πόλεων» είναι περισσότερο από ποτέ επιτακτική. Οι ενεργειακές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα αστικά κέντρα και η μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού σε αυτά συνεπάγονται αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των αερίων ρύπων. Η μετάβαση των παραδοσιακών πόλεων σε «Έξυπνες Πόλεις» θα συμβάλλει στην αναβάθμιση του επιπέδου διαβίωσης των πολιτών και στη διασφάλιση της αιεφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης, αντιμετωπίζοντας παράλληλα το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

Στόχος της διατριβής, στην οποία βασίζεται η μεθοδολογία και τα σχετιζόμενα συστήματα που αναπτύσσονται, είναι η συμβολή στην κάλυψη του επιστημονικού «κενού» που εντοπίστηκε σχετικά με την προώθηση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) και την αξιοποίηση των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την δημιουργία των ενεργειακά βιώσιμων και Έξυπνων Πόλεων. Μέσα από την εμπεριστατωμένη ανάλυση των βασικών παραμέτρων του προβλήματος και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων, επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου και συνεπούς πλαισίου υποστήριξης των τελικών αποφασιζόντων.

Για το σκοπό αυτό, η Διατριβή επικεντρώθηκε σε ένα σύνολο διαδοχικών φάσεων, έτσι όπως αναλυτικά παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, και αφορούσαν:

- ▲ *1<sup>η</sup> Φάση:* Ανάδειξη του προβλήματος της προώθησης των ΣΥΑ και της αξιοποίησης των ΤΠΕ για την δημιουργία των ενεργειακά βιώσιμων και Έξυπνων Πόλεων.
- ▲ *2<sup>η</sup> Φάση:* Ανάλυση και μελέτη της βιβλιογραφίας, των κυριότερων ερευνητικών προσπαθειών σε ευρωπαϊκό επίπεδο σχετικά με τις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις, καθώς και των πλέον διαδεδομένων εμπορικών και ερευνητικών εργαλείων ΤΠΕ που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή μετάβασή τους.
- ▲ *3<sup>η</sup> Φάση:* Ανάπτυξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας, των ΣΥΑ για διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας σε Έξυπνες Πόλεις, καθώς και των τριών υποστηρικτικών πληροφοριακών συστημάτων που αναπτύχθηκαν: e-SCEAF, TCV και BEMAT.

- ▲ 4<sup>η</sup> Φάση: Αξιολόγηση της μεθοδολογίας και των ΣΥΑ σε πραγματικό πρόβλημα, μέσω της εφαρμογής αυτών σε τρεις αντιπροσωπευτικούς δήμους και πέντε κτίρια τριών διαφορετικών χωρών (Σαβόνα-Ιταλία, Σαν Κουγκάτ-Ισπανία, Ζάανσταντ-Ολλανδία).

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τα γενικά συμπεράσματα που απορρέουν από τη Διδακτορική Διατριβή, καθώς και τις προοπτικές που διαφαίνονται για περαιτέρω ερευνητικές δραστηριότητες πάνω στο πρόβλημα που εξετάζεται.

**Συμπεράσματα** Συνοπτικά, τα γενικά συμπεράσματα που απορρέουν από την ανάλυση που παρατέθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια είναι τα εξής:

### Υποστήριξη Τοπικών Αρχών με στόχο τη δημιουργία Ενεργειακά Έξυπνων Πόλεων

Ο ενεργειακός τομέας αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την επιδίωξη του στόχου της αειφόρου ανάπτυξης, αφού συνδέεται στενά τόσο με την περιβαλλοντική όσο με την κοινωνική και οικονομική διάσταση του εν λόγω στόχου. Οι τοπικές αρχές αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς μοχλούς άσκησης ενεργειακής πολιτικής, όχι μόνο γιατί έχουν καλύτερη γνώση επί των ιδιομορφιών της περιοχής τους, αλλά και γιατί μπορούν να προωθήσουν άμεσα αναπτυξιακή πολιτική με πολλούς διαφορετικούς τρόπους.

Κεντρικός άξονας για την εξέλιξη των «παραδοσιακών» πόλεων σε «έξυπνες» είναι η αξιοποίηση των σύγχρονων ΤΠΕ. Η διαρκής ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT) συνιστά σημαντική παράμετρο για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις», καθώς κάθε ηλεκτρονική συσκευή αποκτά δυνατότητα σύνδεσης με το διαδίκτυο. Υπολογίζεται πως ήδη παγκοσμίως, περίπου 18 δισεκατομμύρια συσκευές είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο και αναμένεται να φτάσουν στις 50 δισεκατομμύρια, μέχρι το 2020. Επίσης, μια ακόμα παράμετρος για την μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις» είναι τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS) που σημειώσουν ταχύτερη ανάπτυξη σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data) από τους πολυάριθμους αισθητήρες που θα διαθέτουν οι τεχνολογίες των έξυπνων πόλεων.

Παρά τις προσπάθειες που γίνονται για την υποστήριξη των τοπικών αρχών για την ανάπτυξη των Έξυπνων Πόλεων, διαφαίνεται η ανάγκη για περισσότερη και αποτελεσματικότερη υποστήριξη και καθοδήγηση προκειμένου οι πόλεις να κινηθούν προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης και να γίνουν ενεργειακά «έξυπνες».

Μέσα από την ουσιαστική υποστήριξή τους, οι δήμοι θα μπορέσουν να κινηθούν δυναμικά και αποτελεσματικά προς την κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης και τη δημιουργία των Έξυπνων Πόλεων.

---

### **Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων για Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Έξυπνες Πόλεις**

---

Προς την κατεύθυνση των Ενεργειακά «Έξυπνων Πόλεων», σημαντικό ρόλο έχει η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου που θα παρέχει υποστήριξη στους τοπικούς φορείς για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ειδικότερα, απαιτείται η χρήση των ΣΥΑ που επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών με τη χρήση ΤΠΕ. Με αυτό το τρόπο, η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού Πλαισίου με δυνατότητα αξιολόγησης του συνόλου της πόλης αλλά και των επιμέρους κτιρίων της με ταυτόχρονη αξιοποίηση των ΣΥΑ ενεργειακής διαχείρισης και εξοικονόμησης, μπορεί να συμβάλλει στην υποστήριξη των τοπικών αρχών με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μετάβαση προς τις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις.

Από την επισκόπηση των σχετιζόμενων μεθοδολογιών προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ▲ Υπάρχουν περιορισμένες ερευνητικές προσπάθειες σε επιμέρους τεχνολογίες Υποστήριξης Αποφάσεων και στη διαδικασία ενσωμάτωσής τους σε ένα ενιαίο πλαίσιο σε ότι αφορά την ενεργειακή βελτίωση των πόλεων και την μετάβαση τους σε ενεργειακά έξυπνες.
- ▲ Η εφαρμογή των πολυκριτηριακών συστημάτων φαίνεται να είναι εξαιρετικά περιορισμένη στις ενεργειακές εφαρμογές των Έξυπνων Πόλεων και αφορούν μόνο επιμέρους χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, η εφαρμογή της γλωσσικής ανάλυσης εάν και είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, δεν χρησιμοποιείται επαρκώς μέχρι σήμερα στις εφαρμογές των έξυπνων πόλεων. Όπως αναλύθηκε στην παρούσα διδακτορική διατριβή η προσέγγιση της διπλής αναπαράστασης μπορεί να έχει πραγματικά σημαντική συνεισφορά στην υποστήριξη αποφάσεων για τις Έξυπνες Πόλεις.
- ▲ Δεν υπάρχει ένα ολιστικό πλαίσιο ενεργειακής αξιολόγησης των Έξυπνων Πόλεων στους διάφορους τομείς τους και ως εκ τούτου δεν παρέχεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας στις Έξυπνες Πόλεις και στα κτίρια αυτών. Επίσης, δεν υπάρχει μεθοδολογία και εργαλεία για την σύγκριση της απόδοσης της πόλης στους διάφορους τομείς της αλλά και των επιμέρους κτιρίων της πριν και μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων ενεργειακής βελτίωσης,

- ▲ Οι δήμοι δεν αξιοποιούν στον βαθμό που θα έπρεπε ΣΥΑ και ΤΠΕ για την ενεργειακή αναβάθμιση των περιοχών τους και την βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών,
- ▲ Οι υπάρχουσες μεθοδολογίες και τα εργαλεία ΤΠΕ δεν συνδυάζουν μεθοδολογίες διαχείρισης ενέργειας και εξοικονόμησης και δεν λαμβάνουν υπόψη τους την συνεισφορά και την άποψη των χρηστών των κτιρίων για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης.

Τα παραπάνω γνωρίσματα οδήγησαν στην ανάγκη για την εισαγωγή ενός ευέλικτου μεθοδολογικού πλαισίου, με θεωρητικές καινοτομίες, πρωτότυπες τεχνικές και πρακτικά εργαλεία για τους ενεργειακούς διαχειριστές των πόλεων. Αναλύοντας τους σχετιζόμενους παράγοντες και τις επαγόμενες αλληλεπιδράσεις, θα πρέπει να αντιμετωπίζουν με ένα συνεκτικό και ολοκληρωμένο τρόπο το πρόβλημα του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού στις εξελισσόμενες Έξυπνες Πόλεις.

---

### Προτεινόμενη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων

---

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο ενσωματώνει δυο συνιστώσες «Assessment» (Αξιολόγηση) και «Optimization» (Βελτιστοποίηση) που αφορούν τόσο στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάστασης, το σχεδιασμό εναλλακτικών δράσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας και την υποστήριξη αποφάσεων, όσο και κατά την παρακολούθηση και τον έλεγχο των στόχων που έχουν τεθεί. Η προτεινόμενη προσέγγιση, αποσκοπεί στο να υποστηρίξει ουσιαστικά και ρεαλιστικά τις τοπικές και περιφερειακές αρχές. Και οι δύο συνιστώσες είναι άμεσα διασυνδεδεμένες μεταξύ τους, ωστόσο μπορούν να αποτελέσουν ξεχωριστά η κάθε μία επιμέρους εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων.

Η συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση) αποτελεί το σημείο εκκίνησης και τερματισμού της μεθοδολογίας. Η «Ex-Ante Assessment» αφορά στη χαρτογράφηση της παρούσας κατάσταση του ενεργειακού δυναμικού της πόλης και στην αξιολόγησή της. Στο στάδιο της «Εκ των προτέρων Αξιολόγησης», της αξιολόγησης δηλαδή πριν την εφαρμογή των δράσεων, επισημαίνονται τα δυνατά σημεία, οι τομείς χαμηλής απόδοσης και οι δυνατότητες της πόλης για ενεργειακή βελτίωση. Τα αποτελέσματα αυτής της συνιστώσας αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης, καθώς και την παρακολούθηση των στόχων που έχουν τεθεί από τις τοπικές αρχές.

Η μεθοδολογία συνεχίζει με την συνιστώσα «Optimization» (Βελτίωση). Κατά το στάδιο αυτό, και αφού οι τοπικές αρχές των πόλεων έχουν διακρίνει τους τομείς χαμηλής απόδοσης, οι διαχειριστές των πόλεων επιλέγουν να εφαρμόσουν κατάλληλα προσαρμοσμένες δράσεις για τις



πόλεις τους, ώστε να βελτιωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις.

Μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης, η μεθοδολογία ολοκληρώνεται με την εκ νέου εφαρμογή της συνιστώσας «Assessment» που σε αυτό το στάδιο καλείται «Ex-Post Assessment». Κατά την διάρκεια της «Εκ των υστέρων Αξιολόγησης», της αξιολόγησης δηλαδή ύστερα από την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής βελτιστοποίησης, η πόλη αξιολογείται εκ νέου με βάση τους ίδιους δείκτες και τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της προηγούμενης εφαρμογής. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η πρόοδος της πόλης και οι στόχοι που έχουν θέσει οι τοπικές αρχές των πόλεων. Ο ενεργειακός διαχειριστής της πόλης, ανάλογα με τα αποτελέσματα, μπορεί να ξεκινήσει εκ νέου την προτεινόμενη μεθοδολογία προκειμένου να βελτιώσει όλους τους δείκτες και να φτάσει όσο πιο κοντά μπορεί στην «OPTIMUS» (ιδανική) πόλη που έχει άριστα αποτελέσματα σε όλους τους δείκτες.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία που προτείνεται στην παρούσα διατριβή δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Energy Procedia, Elsevier και απέσπασε τη διάκριση «Key Scientific Article Contributing to Research Excellence in Science and Engineering» του καναδικού οργανισμού «Advances In Engineering - AIE».

Στη συνιστώσα «Assessment» (Αξιολόγηση) χρησιμοποιείται το πρωτότυπο διαδικτυακό εργαλείο e-SCEAF (Smart City Energy Assessment Framework tool) (Papastamatiou et al., 2016 <http://sceaf.optimus-smartcity.eu>) που υλοποιεί το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις (Smart City Energy Assessment Framework-SCEAF) (Androulaki et al., 2014, 2016) και αξιολογεί την απόδοση των Πόλεων. Με το e-SCEAF και μέσα από μια απλοποιημένη διαδικασία, οι τοπικές αρχές μπορούν να εντοπίσουν εύκολα τους τομείς της πόλης που υπολειτουργούν και να διευκολυνθεί η επιλογή των βελτιωτικών δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας προκειμένου η πόλη να γίνει “πιο έξυπνη” και ενεργειακά πιο αποδοτική. Το λογισμικό αναλύει τα δεδομένα που εισάγουν οι τοπικές αρχές και αξιολογεί την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση της πόλης βάσει τριών αξόνων:

- ▲ Πολιτικό πεδίο δράσης (Political Field of Action),
- ▲ Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό προφίλ (Energy and Environmental Profile),
- ▲ Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), καθώς και Υποδομές (ICT and Infrastructures).

Αξιίζει να σημειωθεί ότι η δημοσιευμένη εργασία στο περιοδικό Elsevier-Information Fusion για το εργαλείο ενεργειακής αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων e-SCEAF - Smart City Energy Assessment Framework Tool, με τίτλο: «How “OPTIMUS” is a city in terms of energy optimization? e-SCEAF: A web based decision support tool for local authorities» (Papastamatiou et al., 2016) απέσπασε τον Ιούνιο του 2017 το Θωμαΐδειο Βραβείο, μετά χρηματικού επάθλου, από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Οι προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας προκύπτουν από τη συνιστώσα «Assessment» και προέρχονται από δύο (2) Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ):

- ▲ Το ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας, που περιέχει το Σχέδιο Δράσης για την «Ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων» (Marinakis et al., 2017) και υλοποιείται με την βοήθεια του διαδικτυακού εργαλείου TCV - Thermal Comfort Validator (Papastamatiou et al., 2017).
- ▲ Το ΣΥΑ για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, που περιέχει μακροπρόθεσμα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας. Τα σενάρια αυτά προέρχονται από το διαδικτυακό εργαλείο διαχείρισης ενέργειας κτιρίων Building Energy Management Tool – BEMAT (Papastamatiou et al., 2015).

Να σημειωθεί, επίσης, ότι η δεύτερη έκδοση του λογισμικού ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων BEMAT παρουσιάζεται σε δημοσιευμένη εργασία με τίτλο: "A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece" (Papastamatiou et al. (2015). Τον Ιούλιο του 2015, η δημοσίευση αυτή έλαβε το βραβείο καλύτερης ερευνητικής εργασίας, μετά χρηματικού επάθλου, στο 6ο Διεθνές Συνέδριο της IEEE για την Πληροφορική, τα Ευφυή Συστήματα και τις Εφαρμογές (IISA 2015) στο Ιόνιο Πανεπιστήμιο (Κέρκυρα, Ελλάδα).

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο δίνει στις τοπικές αρχές τη δυνατότητα να συγκρίνουν την απόδοση της πόλης και των κτιρίων πριν και μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών δράσεων ενεργειακής εξοικονόμησης. Επίσης, μπορούν να συγκρίνουν και να αξιολογήσουν ενεργειακά την πόλη στο σύνολο των τομέων της ή στα κτίρια αυτής με άλλες πόλεις ή άλλα κτίρια αντίστοιχα.

---

## Αξιολόγηση της Προτεινόμενης Μεθοδολογίας Υποστήριξης Αποφάσεων και Αποτελέσματα Πιλοτικής Εφαρμογής

---

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των αντίστοιχων πληροφοριακών συστημάτων σε τρεις αντιπροσωπευτικούς δήμους στην Ευρώπη (Σαβόνα-Ιταλία, Σαν Κουγκάτ-Ισπανία, Ζάανσταντ-Ολλανδία), έδωσε τη δυνατότητα για την αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που παρέχει.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία, αποσκοπώντας στο να υποστηρίξει ουσιαστικά και ρεαλιστικά τις πόλεις για την μετάβασή τους σε έξυπνες, διακρίνεται από σημαντική ευελιξία και προσαρμοστικότητα. Παράλληλα, κάθε μία από τις επιμέρους συνιστώσες, παρόλο που είναι άμεσα διασυνδεδεμένες μεταξύ τους, μπορούν να αποτελέσουν ξεχωριστά η κάθε μία επιμέρους εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων.

Συγκεκριμένα, τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των πληροφοριακών συστημάτων περιλαμβάνουν τα εξής:

- ▲ Η προτεινόμενη μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα για αξιολόγηση της πόλης και των κτιρίων της, πριν και μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης που προτείνονται. Η δυνατότητα αυτή δεν υπήρχε μέχρι σήμερα. Επίσης, για πρώτη φορά συνδυάζονται ΣΥΑ Ενεργειακής Διαχείρισης και Ενεργειακής Εξοικονόμησης στο επίπεδο της Έξυπνης Πόλης.
- ▲ Επίσης, λαμβάνεται για πρώτη φορά υπόψη σε μεθοδολογία η συγχώνευση πολλαπλών πηγών δεδομένων από τέσσερις (4) διαφορετικούς τομείς: καιρικές συνθήκες, δεδομένα από τους αισθητήρες του κτιρίου, ανατροφοδότηση και σχόλια των χρηστών και τις τιμές της ενέργειας.
- ▲ Με την προτεινόμενη μεθοδολογία παρέχεται άμεσος και σαφής καθορισμός όλων των παραμέτρων του προβλήματος και εμπειριστατωμένη ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της αξιολόγησης των εναλλακτικών Σεναρίων Δράσης από τους αποφασίζοντες.
- ▲ Η χρήση των πληροφοριακών συστημάτων, που ενσωματώνονται στην προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ευέλικτη, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής. Συγκεκριμένα τα πληροφοριακά συστήματα e-SCEAF, TCV και BEMAT προσαρμόστηκαν επιτυχώς σε δήμους διαφορετικών χωρών.
- ▲ Το λογισμικό e-SCEAF που χρησιμοποιείται για το πρώτο και τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας υποστηρίζει σημαντικά το έργο των ενεργειακών υπευθύνων της πόλης και των κτιρίων αυτής. Στην πρώτη εφαρμογή του λογισμικού e-SCEAF οι υπεύθυνοι μπορούν να

διακρίνουν γρήγορα και εύκολα τους τους τομείς που δεν αποδίδουν στην πόλη και στα κτίρια αυτής και να προβούν σε κατάλληλες δράσεις ενεργειακής βελτίωσης. Ταυτόχρονα, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα στις αρχές της πόλης να συγκρίνουν τα κτίρια μεταξύ τους. Στην δεύτερη εφαρμογή του e-SCEAF και μετά την εφαρμογή των δράσεων, οι διαχειριστές των πόλεων και των κτιρίων μπορούν να διαπιστώσουν την ενεργειακή πρόοδο και βελτίωση των κτιρίων τους. Επίσης, μέσω των διαφορετικών και πρωτότυπων τρόπων παρουσίασης των αποτελεσμάτων με πίνακες, άξονες ταξινόμησης και πολύγωνα, οι ενεργειακοί διαχειριστές διαπιστώνουν πολύ εύκολα και γρήγορα τους τομείς που αποδίδουν καλά και τους τομείς που χρειάζεται να βελτιωθούν περαιτέρω.

- ▲ Η συμβολή των ΣΥΑ για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολύ σημαντική. Συγκεκριμένα, μέσω του ΣΥΑ για την διαχείριση ενέργειας που αφορά στο Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και τη χρήση του λογισμικού TCV επιτυγχάνεται μέσος όρος βελτίωσης θερμικής άνεσης των χρηστών κατά 38% και ενεργειακή εξοικονόμηση που κυμαίνεται από 4% έως 6,6% στα περισσότερα κτίρια εκτός από το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ που επιτυγχάνεται ένα πολύ σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας τους χειμερινούς μήνες κατά 21% και τους θερινούς κατά 45%. Συνολικά τα ΣΥΑ διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν, κατά μέσο όρο, σε περιορισμό 19% της κατανάλωσης του φυσικού αερίου τους χειμερινούς μήνες και κατά 30% της ηλεκτρικής ενέργειας του θερινούς μήνες ανά έτος.
- ▲ Από τα αποτελέσματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας φαίνεται ότι τα πιλοτικά κτίρια βελτίωσαν την απόδοση τους σε 14 από τους 21 δείκτες του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων SCEAF. Βάσει των αποτελεσμάτων, οι ενεργειακοί διαχειριστές μπορούν να ξεκινήσουν εκ νέου την διαδικασία και να βελτιώσουν ενεργειακά περαιτέρω τα κτίρια και τις πόλεις τους.
- ▲ Τέλος, η δυνατότητα επέκτασης του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου είναι πολύ σημαντική. Υπάρχει η δυνατότητα στην προτεινόμενη μεθοδολογία να εισαχθούν επιπλέον εργαλεία και ΣΥΑ για την διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι αρθρωτή και παρέχει την δυνατότητα να ενταχθούν και άλλα εργαλεία διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι ένα μέρος της παρούσας διατριβής έγινε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού έργου OPTIMUS: «OPTIMising the energy Use in cities with smart decision support system» (OPTIMUS, 2016).

## VII.2 Προοπτικές

Με την ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής, προέκυψαν μια σειρά από σκέψεις και προτάσεις για περαιτέρω ερευνητικές δραστηριότητες πάνω στο συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο, οι οποίες παρατίθενται στη συνέχεια.

*Προτάσεις  
Ενίσχυσης της  
Προτεινόμενης  
Προσέγγισης*

▲ *Επέκταση Προτεινόμενης Μεθοδολογίας:*

Ενσωμάτωση επιπλέον ΣΥΑ και δράσεων εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας στην 2<sup>η</sup> συνιστώσα της μεθοδολογίας «Management» (Διαχείρισης). Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι πλήρως επεκτάσιμη και μπορούν να προστεθούν ΣΥΑ και εργαλεία διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας.

▲ *Επέκταση Εφαρμογής Προτεινόμενης Μεθοδολογίας:*

Μετά την επιτυχή πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε αντιπροσωπευτικούς δήμους από τρεις διαφορετικές χώρες της Ευρώπης, είναι δυνατή η περαιτέρω εφαρμογή της και σε άλλους δήμους, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Μέσα από αυτή τη διαδικασία θα εξαχθούν περισσότερα συμπεράσματα για τις δυνατότητες σχετικά με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο μπορούν να πραγματοποιηθούν συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ περιοχών και να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την προώθηση του βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού στις έξυπνες πόλεις. Η δυνατότητα, επίσης, που προσφέρει η μεθοδολογία για σύγκριση της απόδοσης μεταξύ των πόλεων θα οδηγήσει σε γόνιμη ανταλλαγή πληροφοριών και βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των ενεργειακών τους υπευθύνων.

▲ *Επέκταση Πληροφοριακών Συστημάτων:*

Επέκταση των τριών βασικών πληροφοριακών συστημάτων, μέσω του αναλυτικότερου σχεδιασμού και ανάπτυξης των επιμέρους συνιστωσών. Σε ότι αφορά το πρωτότυπο λογισμικό αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων e-SCEAF μπορεί να προστεθούν επιπλέον δείκτες αξιολόγησης (όπως για παράδειγμα υποδομές για έξυπνες μετακινήσεις, σταθμούς φόρτισης για ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα κλπ.) και να γίνεται αυτόματη η ενημέρωση των παραμέτρων του λογισμικού βάσει των εθνικών και ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών στόχων.

Επίσης, σε ότι αφορά το λογισμικό ενεργειακής εξοικονόμησης των κτιρίων μέσω των προτεινόμενων δράσεων BEMAT μπορεί να προστεθούν επιπλέον δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης που θα ανταποκρίνονται στις συνεχώς εξελισσόμενες λύσεις ενεργειακής βελτίωσης των κτιρίων.

Ακόμη, σε ότι αφορά το λογισμικό TCV να ενσωματωθεί σε μια ενιαία πλατφόρμα με το Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα διαθέσιμα από τους ενεργειακούς υπευθύνους.

Τέλος, θα μπορούσε να δημιουργηθεί μια ενιαία πλατφόρμα όπου θα συγκεντρώνει τις δύο συνιστώσες της προτεινόμενης μεθοδολογίας «Αξιολόγηση» (Assessment) και «Διαχείριση» (Management), θα περιέχει τα διαφορετικά λογισμικά και θα επιτρέπει την ενσωμάτωση περισσότερων ΣΥΑ, εργαλείων και Σχεδίων Δράσης κυρίως στην συνιστώσα «Διαχείριση» (Management).

Σε ευρύτερο πλαίσιο, οι ερευνητικές προοπτικές που διαφαίνονται για την ουσιαστική υποστήριξη των αποφαιζόντων στις ενεργειακά Έξυπνες Πόλεις είναι σημαντικές και συνεχώς αυξανόμενες. Η εξέλιξη των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για την υποστήριξη των τοπικών και περιφερειακών αρχών επηρεάζεται σημαντικά από την τεχνολογική πρόοδο στον τομέα των ΤΠΕ.

**Μελλοντικές Προκλήσεις** Οι δήμοι έχουν αρκετές από τις προϋποθέσεις ώστε να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες ανάπτυξης, να αναλάβουν συντονιστικό ρόλο ανάμεσα στους τοπικούς φορείς και να διαμορφώσουν μια κεντρική στρατηγική που θα οδηγήσει σε μια γρηγορότερη μετάβαση προς την δημιουργία των πραγματικά Έξυπνων Πόλεων.

Μελλοντική πρόκληση αποτελεί η ανάπτυξη σύγχρονων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που θα έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιήσουν πλήθος δεδομένων από κτίρια και υποδομές του δήμου (αισθητήρες, καταγραφείς και επιμέρους συστήματα). Με τον τρόπο αυτό θα παρέχουν μια πλήρη εικόνα των καταναλώσεων σε πραγματικό χρόνο αλλά και θα κατευθύνουν τον ενεργειακό διαχειριστή της Έξυπνης Πόλης στην ανάπτυξη βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων σχεδίων δράσης.

Η ιδιότητα αυτή προσδίδει και την ευφυΐα στα συστήματα αυτά, από τη στιγμή που θα δίνουν τη δυνατότητα στο διαχειριστή να αξιοποιήσει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να εξισορροπήσουν αναλόγως τις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος, εξασφαλίζοντας αδιαλείπτως θερμική άνεση και εξοικονόμηση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η καινοτομία τους έγκειται στη δυνατότητα τους να:

- ▲ Συλλέγουν πολυδιάστατα δεδομένα, όπως καιρικών συνθηκών, ενεργειακών προφίλ των υπό εξέταση κτιρίων, τιμών ενέργειας, δεδομένων παραγωγής ενέργειας (από ανανεώσιμες), ακόμα και δεδομένων από μέσα κοινωνική δικτύωσης.
- ▲ Οργανώνουν τα δεδομένα αυτά μέσω της χρήσης σημασιολογικών τεχνολογιών (“semantic technologies”) για να δημιουργούν τάσεις, πρότυπα κλπ.
- ▲ Ενσωματώνουν ευφείς κανόνες για να προτείνουν σχέδια ενεργειακής βελτιστοποίησης.

Στο πλαίσιο αυτό, ολοκληρωμένες πλατφόρμες μπορούν να αναπτυχθούν, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του διαδικτύου, που να βασίζονται σε αυτές τις τρεις συνιστώσες.

**Επίλογος** Η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα συνεπάγεται σειρά κοινωνικοπολιτικών, οικονομικών, τεχνολογικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών, μέχρι το 2050, το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού θα βρίσκεται στα αστικά κέντρα. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 78%, ενώ 85% του Ευρωπαϊκού ΑΕΠ παράγεται στις πόλεις. Στην Ελλάδα, το ποσοστό των κατοίκων που ζει σε αστικές περιοχές ανέρχεται επίσης στο 78%, ενώ προβλέπεται ότι μέχρι το 2050 θα προσεγγίσει το 86%.

Η πληθυσμιακή αυτή σύρρευση έχει σημαντικό αντίκτυπο σε βασικούς παράγοντες που διαμορφώνουν τις αστικές συνθήκες διαβίωσης όπως η ενέργεια, οι υδάτινοι πόροι, τα κτίρια και οι δημόσιοι χώροι. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας καταγράφεται πλέον στα αστικά κέντρα. Τα δύο τρίτα των εκπομπών αερίων, που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου προέρχονται από τις πόλεις.

Για να αντιμετωπιστούν οι σύγχρονες προκλήσεις των αστικών κέντρων, η μετάβαση από τις "παραδοσιακές" πόλεις στις "έξυπνες" καθίσταται περισσότερο από ποτέ αναγκαία. Σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο πολιτικοοικονομικό περιβάλλον, οι δυνατότητες που προσφέρει η εφαρμογή εξελισσόμενων τεχνολογικών εφαρμογών δύνανται να συμβάλλουν καθοριστικά στην αναβάθμιση της διαχειριστικής ικανότητας και αποτελεσματικότητας της πολιτείας και των τοπικών και περιφερειακών αρχών σε ό,τι αφορά στον εκσυγχρονισμό και την αειφορία των πόλεων.

Σε ό,τι αφορά την Ελλάδα, είναι ανάγκη να διαμορφωθεί, κατόπιν ανοικτής διαβούλευσης με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς: δήμοι, περιφέρειες, ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα, ιδιωτικός τομέας, μια εθνική στρατηγική βασισμένη σε μια ολιστική προσέγγιση που θα υλοποιηθεί μέσω ενός οδικού χάρτη μετάβασης.

Τα οφέλη για τη χώρα και τους πολίτες θα είναι πολλαπλά καθώς, εκτός από τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών (καθαρότερο περιβάλλον και καλύτερες υπηρεσίες) και τη συμβολή στην επίτευξη των εθνικών στόχων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, θα δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για τόνωση των δημοσίων εσόδων, αύξησης της απασχόλησης, προσέλκυσης επενδυτικών κεφαλαίων καθώς και ενίσχυσης της έρευνας και της καινοτομίας.

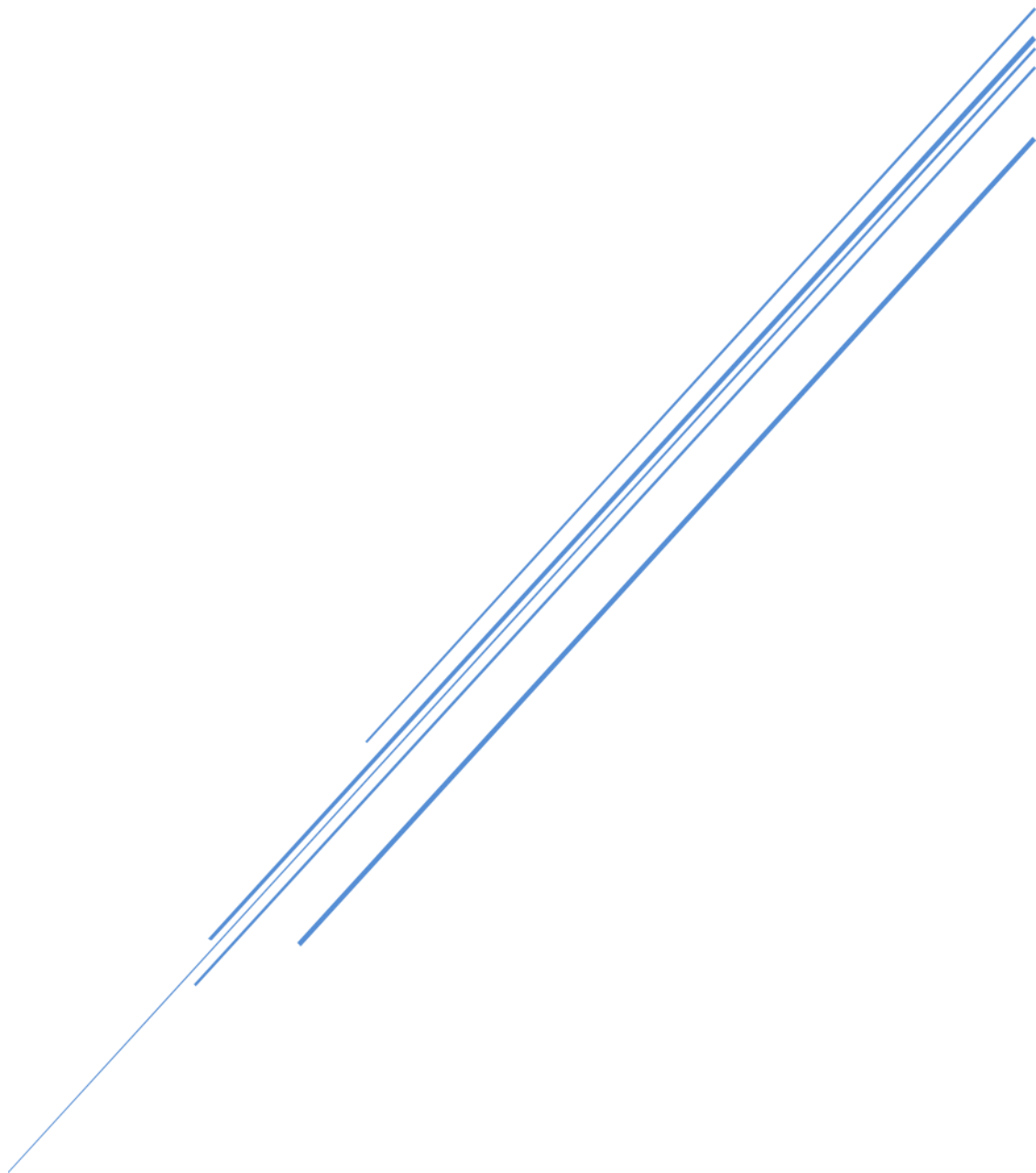
Σημαντική παράμετρος είναι η συνδυαστική αξιοποίηση χρηματοδοτικών πόρων από το ΕΣΠΑ, το Σχέδιο Γιούνκερ, ευρωπαϊκών προγραμμάτων (Horizon2020), Διεθνών Χρηματοδοτικών Εργαλείων (EBRD), στο πλαίσιο συνεργιών Δημοσίου και Ιδιωτικού τομέα.

Στο πλαίσιο της σύνταξης ενός νέου εθνικού στρατηγικού πλαισίου για τις έξυπνες πόλεις θα πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- ▲ Η επίτευξη των εθνικών, ευρωπαϊκών και παγκόσμιων κλιματικών στόχων,
- ▲ Η συμμετοχή και ενσωμάτωση πρωτοβουλιών, προγραμμάτων και χρηματοδοτικών εργαλείων της ΕΕ,
- ▲ Η ενδεδειγμένη αξιολόγηση της καταλληλότητας και του αντικτύπου των διαθέσιμων τεχνολογικών λύσεων στη βάση των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και αναγκών της κάθε πόλης,
- ▲ Η αξιοποίηση του εγχώριου ερευνητικού έργου στον τομέα των Έξυπνων Πόλεων.



# Βιβλιογραφία



## **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

***Ηλίας Μ. Παπασταματίου***



## Βιβλιογραφία

---

- ▲ Aalami H., Moghaddam P., Yousefi G. (2010). Modeling and Prioritizing Demand Response Programs in Power Markets. *Electric Power Systems Research*, 80, pp.426–435.
- ▲ ABB. (2017a). ABB Energy Manager software solution for industrial plants. Available at: <http://new.abb.com/cpm/energy-manager>.
- ▲ ABB. (2017b). ABB cpmPlus Energy Manager - cpmPlus Application Products (Collaborative Production Management). Available at: <http://www.abb.com/product/db0003db004001/c7bc8a5df2f16aa985257599004f1a49.aspx%5Ch>.
- ▲ Achillas C., Vlachokostas C., Moussiopoulos N., Banias G. (2010). Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: A case study in Greece. *Waste Management*, 30(5), pp.870-879.
- ▲ Afgan N., Carvalho M. (2002). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, 27(8), pp.739-755.
- ▲ Amer M., Daim T.U. (2011). Selection of Renewable Energy Technologies for a Developing County: A case of Pakistan. *Energy for Sustainable Development*, 15, pp.420–435.
- ▲ Androulaki S., Doukas H., Spiliotis E., Papastamatiou I., Psarras J. (2016). A Framework to Assess the Behavior and Performance of a City Towards Energy Optimization. *Intelligent Computing Systems*, pp. 189-205.
- ▲ Androulaki S., Spiliotis E., Doukas H., Papastamatiou I., Psarras J. (2014). Proposing a Smart City Energy Assessment Framework linking local vision with data sets. IISA 2014, The 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications.
- ▲ Anupama K., Gowri S., Rao B., Murali T. (2014). A PROMETHEE approach for network selection in heterogeneous wireless environment. 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI).
- ▲ Aragonés-Beltrán P., Chaparro-González F., Pastor-Ferrando J., Rodríguez-Pozo F. (2010). An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), pp.249-264.
- ▲ Aras H., Erdoğan Ş., Koç E. (2004). Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process. *Renewable Energy*, 29(8), pp.1383-1392.
- ▲ ARUP and Qualcomm Technologies Inc. (2015). Intelligent Connectivity for Seamless Urban Mobility. San Francisco, Ca. Available at: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/intelligent-connectivity-for-seamless-urban-mobility.pdf>.
- ▲ Askounis D., Psarras J. (1998). Information system for monitoring and targeting (M&T) of energy consumption in breweries. *Energy*, 23(5), pp.413-419.
- ▲ Atanassov K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), pp.87-96.

- 
- ▲ Attune™ Advisory Services. (2012). The Information to Act and the Expertise to Optimize Energy Awareness Brochure.
  - ▲ Awasthi A., Chauhan S.S. (2011). Using AHP and Dempstere Shafer Theory for Evaluating Sustainable Transport Solutions. *Environmental Modelling & Software*, 26, pp.787-796.
  - ▲ BACNET - Building Automation and Control Networks. (2015). Available at: <http://www.bacnet.org/Bibliography/DMF-7-96/DMF-7-96.htm>.
  - ▲ Baker S., Kousis M, Richardson D., Young S. (1997). Introduction: The Theory and Practice of Sustainable Development in EU Perspective, in S. Baker, M. Kousis, D. Richardson and S. Young (eds). *The Politics of Sustainable Development: Theory, Policy and Practice in the European Union*, London: Routledge.
  - ▲ Baležentis A., Baležentis T. (2011). An innovative multi-criteria supplier selection based on two-tuple multimooora and hybrid data (Article). *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 2, pp.1-20.
  - ▲ Barin A., Canha L.N., da Rosa Abaide A., Magnago K.F. (2009). Selection of Storage Energy Technologies in a Power Quality Scenario – the AHP and the Fuzzy Logic. *Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE*, pp. 3615 – 3620.
  - ▲ Batty M., Axhausen K., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Ouzounis G., Portugali Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), pp.481-518.
  - ▲ Beccali M., Cellura M., Ardente D. (1998). Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a FUZZY-SETS methodology. *Energy Conversion and Management*, 39(16-18), pp.1869-1881.
  - ▲ Beccali M., Cellura M., Mistretta M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28(13), pp.2063-2087.
  - ▲ Berk J., DeMarzo P., Stangeland D. (2014). *Corporate finance, Third Canadian Edition*. 1st ed. Toronto: Pearson Canada.
  - ▲ Bernard R. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples: La méthode ELECTRE. *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)*, 8, pp.57–75.
  - ▲ Beynona M.J., Wells P. (2008). The Lean Improvement of the Chemical Emissions of Motor Vehicles based on Preference Ranking: A PROMETHEE Uncertainty Analysis. *Omega*, 36, pp.384-394.
  - ▲ Bojković N., Anić I., Pejčić-Tarle S. (2010). One Solution for Cross-Country Transport-Sustainability Evaluation using a modified ELECTRE Method. *Ecological Economics*, 69, pp.1176–1186.
  - ▲ Bonissone P. (1982). A fuzzy sets based linguistic approach: theory and applications, in: M. Gupta, E. Sanchez (Eds.), *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, North-Holland, Amsterdam, pp. 329-339.
  - ▲ Bonissone P, Decker K. (1986). Selecting uncertainty calculi and granularity: an experiment in trading of precision and complexity, in: L. Kanal, J. Lemmer (Eds.), *Uncertainty in Artificial Intelligence*, North-Holland, Amsterdam, pp. 217- 247.

- ▲ Boran F., Boran K., Menlik T. (2012). The Evaluation of Renewable Energy Technologies for Electricity Generation in Turkey using TOPSIS. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7(1), pp.81–90.
- ▲ Bordogna G., Pasi G. (1993). A fuzzy linguistic approach generalizing Boolean Information Retrieval: A model and its evaluation. *Journal of the American Society for Information Science*, 44(2), pp.70-82.
- ▲ Bordogna G., Fedrizzi M., Pasi G. (1997). A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 27(1), pp.126-132.
- ▲ Braga L., Braga A., Braga C. (2013). On the characterization and monitoring of building energy demand using statistical process control methodologies. *Energy and Buildings*, 65, pp. 205-219.
- ▲ Brans J., Vincke P. (1985). PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making. *Management Science*, 31(6), pp.647-656.
- ▲ Brans J., Vincke P., Mareschal B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), pp.228-238.
- ▲ Buckley J. (1984). The multiple judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 13(1), pp.25-37.
- ▲ Building solutions. (2017). Intelligent Buildings | Automate, Communicate and Integrate. Available at: <https://buildingsolutions.honeywell.com/en-US/solutions/intelligentbuildings/Pages/default.aspx>.
- ▲ Calvillo C., Sanchez A., Villar J. (2013). Distributed energy generation in smart cities. 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA).
- ▲ Carli R., Dotoli M., Pellegrino R., Ranieri L. (2013). Measuring and Managing the Smartness of Cities: A Framework for Classifying Performance Indicators. 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC).
- ▲ Catalina T., Virgone J., Blanco E. (2011). Multi-Source Energy Systems Analysis Using a Multi-Criteria Decision Aid Methodology. *Renewable Energy*, 36:2245-2252.
- ▲ Cavallaro F. (2009). Multi-criteria decision aid to assess concentrated solar thermal technologies. *Renewable Energy*, 34(7), pp.1678-1685.
- ▲ Cavallaro F. (2010). A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the ELECTRE III method. *Energy Policy*, 38(1), pp.463-474.
- ▲ Cerutti A.K., Janssens-Maenhout G. (2013). An Approach with a Business-as-Usual Scenario Projection to 2020 for Setting Emission Reduction Targets in the Southern Mediterranean Partner Countries. JRC Technical Reports.
- ▲ Chaffer J., Swedberg K. (2009). *Learning JQuery 1.3: Better Interaction Design and Web Development With Simple JavaScript Techniques (From technologies to solutions)*. Packt Publishing.
- ▲ Chamodrakas I., Martakos D. (2011). A Utility-Based Fuzzy TOPSIS Method for Energy Efficient Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks. *Applied Soft Computing*, 11, pp.3734–3743.

- ▲ Chang P., Chen Y. (1994). A fuzzy multi-criteria decision making method for technology transfer strategy selection in biotechnology. *Fuzzy Sets and Systems*, 63(2), pp.131-139.
- ▲ Chatterjee S., Kar A. (2015). Smart Cities in developing economies: A literature review and policy insights. 2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), pp.2335–2340.
- ▲ Chen S., Hwang C. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems)*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 536 (ISBN: 3540549986).
- ▲ Chiclana F., Herrera F., Herrera-Viedma E. (1998). Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 97(1), pp.33-48.
- ▲ Cholewa W. (1985). Aggregation of fuzzy opinions — an axiomatic approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), pp.249-258.
- ▲ Choudhary D., Shankar R. (2012). An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS Framework for Evaluation and Selection of Thermal Power Plant Location: A Case Study from India. *Energy*, 42, pp.510-521.
- ▲ Chourabi H., Nam T., Walker S., Gil-Garcia J., Mellouli S., Nahon K., Pardo T., Scholl, H. (2012). Understanding Smart Cities: An Integrative Framework. 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences.
- ▲ Citines. (2017). Citines project Web site. Available at: <http://www.citines.com/>
- ▲ CMER - Council of European Municipalities and Regions (2006). CCRE-CMER 2006-2009. Three years of achievements in Europe and beyond
- ▲ Cordis. (2012). Interoperable Smart City services through an Open Platform for urban Ecosystems. Available at: <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/connected-smart-cities/factsheets/iscope-sep12.pdf>.
- ▲ Cordis. (2013). European Commission: CORDIS: Projects & Results Service: The ICT Roadmap for Energy-Efficient Neighbourhoods. Available at: [http://cordis.europa.eu/project/rcn/100736\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/100736_en.html).
- ▲ Cordis. (2014). European Commission: CORDIS: Projects & Results Service : Energy Efficiency and Risk Management in Public Buildings. Available at: [http://cordis.europa.eu/project/rcn/95598\\_en.htm](http://cordis.europa.eu/project/rcn/95598_en.htm).
- ▲ Dai J., Qi J., Chi J., Chen S., Yang J., Ju L., Chen B. (2010). Integrated Water Resource Security Evaluation of Beijing based on GRA and TOPSIS. *Earth Sci. China*, 4(3), pp.357-362.
- ▲ Dascalaki E., Balaras C., Gaglia A., Droutska K., Kontoyiannidis S. (2012). Energy performance of buildings—EPBD in Greece. *Energy Policy*, 45, pp.469-477.
- ▲ Degani R., Bortolan G. (1988). The problem of linguistic approximation in clinical decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2(2), pp.143-162.
- ▲ Delgado M., Verdegay J., Vila M. (1992). Linguistic decision-making models. *International Journal of Intelligent Systems*, 7(5), pp.479-492.

- ▲ Delgado M., Verdegay J., Vila M. (1993). On aggregation operations of linguistic labels. *International Journal of Intelligent Systems*, 8(3), pp.351-370.
- ▲ Delgado M., Herrera F., Herrera-Viedma E., Martínez L. (1998). Combining numerical and linguistic information in group decision making. *Information Sciences*, 107(1-4), pp.177-194.
- ▲ Demesouka O.-E., Vavatsikos A.-P., Anagnostopoulos K.-P. (2013). Spatial UTA (S-UTA) – A New Approach for Raster-Based GIS Multicriteria Suitability Analysis and its Use in Implementing Natural Systems for Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Management*, 125, pp.41-54.
- ▲ Denny V. (2012). *Drupal 7 Webform Cookbook*. 1st ed. Birmingham, U.K.: Packt Publishing.
- ▲ Diakoulaki D., Zopounidis C., Mavrotas G., Doumpos M. (1999). The Use of a Preference Disaggregation Method in Energy Analysis and Policy Making. *Energy - The International Journal*, 24(2), pp.157-166.
- ▲ Diakoulaki D., Antunes C., Gomes Martins A. (2005). MCDA and Energy Planning. *International Series in Operations Research & Management Science*, pp.859-890.
- ▲ Diakoulaki D., Karangelis F. (2007). Multi-Criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis of Alternative Scenarios for the Power Generation Sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, pp.716-727.
- ▲ Doukas H., “Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support”, *European Journal of Operational Research*, 2013, 227 (2), pp. 227-238.
- ▲ Doukas H., Marinakis V., Papastamatiou I. (2016), Magazine Building Green. Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων διαχείρισης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Available at: <http://buildinggreen.gr/sistimata-ypostirixis-apofaseon-diaxeirisis-energeias-ston-ktiriako-tomea/>
- ▲ Doukas H., Patlitzianas K., Psarras J. (2006). Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM. *Resources Policy*, 31(2), pp.129-136.
- ▲ Doukas H., Patlitzianas K., Iatropoulos K., Psarras J. (2007). Intelligent building energy management system using rule sets. *Building and Environment*, 42(10), pp.3562-3569.
- ▲ Doukas H., Patlitzianas K., Kagiannas A., Psarras J. (2008), Energy Policy Making: An Old Concept or a Modern Challenge?, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy Journal*, 3:362–371, 2008.
- ▲ Doukas H., Karakosta C., Psarras J. (2010). Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options. *Expert Systems with Applications*, 37(7), pp.5491-5497.
- ▲ Dujmovic J. (2007). Continuous Preference Logic for System Evaluation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), pp.1082-1099.
- ▲ Dytczak M., Ginda G. (2006). Benefits and Costs in Selecting Fuel for Municipality Heating Systems with the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 15(2), pp.165-177.
- ▲ EC - European Commission. (2002). Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. pp.65-71.

- ▲ EC - European Commission. (2005). Green Paper on Energy Efficiency or Doing More With Less. Brussels. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52005DC0265&from=EL>
- ▲ EC - European Commission. (2008). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: 20 20 by 2020 Europe's climate change opportunity; 2008; COM (2008) 30 final.
- ▲ EC - European Commission. (2009). From Estonia till Croatia: Intelligent Energy Saving Measures for Municipal housing in Central and Eastern European Countries - Intelligent Energy Europe - European Commission. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/intense>.
- ▲ EC - European Commission. (2010a). Communication from the Commission Europe 2020 A strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth; 2010; COM (2010) 2020 final.
- ▲ EC - European Commission. (2010b). How to Develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) – Guidebook 1`Brussels, Belgium.
- ▲ EC - European Commission. (2010c). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
- ▲ EC - European Commission. (2010d). Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products. pp.1-12.
- ▲ EC - European Commission. (2012a). Smart Cities and Communities: European Innovation Partnership, 2012.
- ▲ EC - European Commission. (2012b). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.
- ▲ EC - European Commission. (2013a), Smart cities stakeholder platform: Integrated action plan – report process & guidelines for smart cities, 2013.
- ▲ EC – European Commission. (2013b) Sustainable development in the European Union, 2013 Monitoring Report of the EU Sustainable Development Strategy, Eurostat, Luxembourg, 2013. Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5760249/KS-02-13-237-EN.PDF>
- ▲ EC - European Commission. (2014a). Eurostat regional yearbook 2014. Statistical books. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, ISBN: 978-92-79-38906-1.
- ▲ EC - European Commission. (2014b). 2030 Framework for Climate and Energy. Outcome of the October 2014 European Council. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy>
- ▲ EC - European Commission. (2014c). Reporting Guidelines on Sustainable Energy Action Plan and Monitoring. Covenant of Mayors. Brussels, Belgium.
- ▲ EC - European Commission. (2016). Digital Single Market - Smart Cities. Available at: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/smart-cities>



- ▲ EC - European Communities. (2004). Local Energy Action - EU Good Practices. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-894-8218-4.
- ▲ ECHELON. (2015). Available at: <http://www.echelon.com>
- ▲ Edwards W. (1977). How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decision Making. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 7(5):326-340.
- ▲ EEA - European Environment Agency. (2010). The European Environment – State And Outlook 2010: Synthesis, Copenhagen. Available at: <http://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis>
- ▲ EIP - European Innovation Partnership. (2016). The EIP-SCC Roadmap 2016 | EIP - Smart Cities and Communities Market Place. Available at: <https://eu-smartcities.eu/content/eip-scc-roadmap-2016>.
- ▲ Emin Baysal M., Sarucan A., Kahraman C., Engin O. (2011). The Selection of Renewable Energy Power Plant Technology Using Fuzzy Data Envelopment Analysis. In: World Congress on Engineering. pp.1140-1143. Available at: [http://www.iaeng.org/publication/WCE2011/WCE2011\\_pp1140-1143.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2011/WCE2011_pp1140-1143.pdf)
- ▲ Energy community. (2016). LEAP: Introduction. Available at: <https://www.energycommunity.org/default.asp?action=introduction>.
- ▲ Energie-Cites. (2008). BELIEF-Involve Stakeholders and Citizens in your Local Energy Turn over a New Life! Available at: [https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/belief\\_project\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/belief_project_report_en.pdf)
- ▲ EP - European Parliament, (2006). Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC.
- ▲ EP - European Parliament. (2014). Directorate general for internal policies, Policy Department A: Economic and scientific policy, mapping smart cities in the EU, 2014.
- ▲ Erol Ö., Kılıks B. (2012). An Energy Source Policy Assessment using Analytical Hierarchy Process. Energy Conversion and Management, 63, pp.245–252.
- ▲ Esmap. (2016). Tool for Rapid Assessment of City Energy (TRACE): Helping Cities Use Energy Efficiently | ESMAP. Available at: <https://esmap.org/TRACE>.
- ▲ Espinilla M., Halouani N., Chabchoub H. (2014). Pure linguistic PROMETHEE I and II methods for heterogeneous MCGDM problems. International Journal of Computational Intelligence Systems, 8(2), pp.250-264.
- ▲ Espinilla M., Palomares I., Martinez L., Ruan D. (2012). A comparative study of heterogeneous decision analysis approaches applied to sustainable energy evaluation. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 20(supp01), pp.159-174.
- ▲ Estrella F., Espinilla M., Herrera F., Martínez L. (2014). FLINTSTONES: A fuzzy linguistic decision tools enhancement suite based on the 2-tuple linguistic model and extensions. Information Sciences, 280, pp.152-170.
- ▲ Eu-jordannet. (2011). EU-JordanNet Read Project Results. Available at: <http://www.eu-jordannet.eu/ReadProjectResults.asp?GoToLine=208>.

- 
- ▲ Eurocities. (2011). NiCE - Networking intelligent Cities for Energy Efficiency. Available at: <http://www.eurocities.eu/eurocities/projects/NiCE-Networking-intelligent-Cities-for-Energy-Efficiency&tpl=home>.
  - ▲ European Energy Award. (2007). Cooking Book: CO<sub>2</sub> – Balancing, In Framework of the Balance Project.
  - ▲ Eurostat. (2014). Available at: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/GDP\\_at\\_regional\\_level/el](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/GDP_at_regional_level/el).
  - ▲ Farhangi H. (2010). The path of the smart grid. IEEE Power and Energy Magazine, 8(1), pp. 18-28.
  - ▲ Farris P., Bendle N., Pfeifer P., Reibstein D. (2010). Marketing metrics. 1st ed. Upper Saddle River, N.J.: FT Press.
  - ▲ Feibel B. (2003). Investment performance measurement. Hoboken, N.J.: J. Wiley.
  - ▲ Figueiredo J., Sá da Costa J. (2012). A SCADA system for energy management in intelligent buildings. Energy and Buildings, 49, pp. 85-98.
  - ▲ Fi-ppp-finseny. (2011). FINSENY | Future Internet for Smart Energy. Available at: <http://www.fi-ppp-finseny.eu/>.
  - ▲ Flanagan D. (2002). JavaScript: The Definitive Guide. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.
  - ▲ Forms schneider-electric. (2016). Introducing Energy Operation: A StruxureWare application that reduces energy consumption.
  - ▲ Garfi M., Ferrer-Martí L., Bonoli A., Tondelli S. (2011). Multi-Criteria Analysis for Improving Strategic Environmental Assessment of Water Programmes. A Case Study in Semi-Arid Region of Brazil. Journal of Environmental Management, 92(3), pp.665-675.
  - ▲ Georgiou P., Tourkolias C., Diakoulaki D. (2008). A roadmap for selecting host countries of wind energy projects in the framework of the clean development mechanism. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(3), pp.712-731.
  - ▲ Georgopoulou E., Lalas D., Papagiannakis L. (1997). A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. European Journal of Operational Research, 103(1), pp.38-54.
  - ▲ Georgopoulou E., Sarafidis Y., Mirasgedis S., Zaimi S., Lalas D.P. (2003). A Multiple Criteria Decision-Aid Approach in Defining National Priorities for Greenhouse Gases Emissions Reduction in the Energy Sector. European Journal of Operational Research, 146:199–215.
  - ▲ Ghafghazi S., Sowlati T., Sokhansanj S., Melin S. (2010). A Multicriteria Approach to Evaluate District Heating System Options. Applied Energy, 87, pp.1134–1140.
  - ▲ Giddings B., Hopwood B., O'Brien G. (2002). Environment, Economy and Society: Fitting them together into Sustainable Development. Sustainable Development, 10, pp.187–196.
  - ▲ Giffinger R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R., Pichler-Milanovic N., Meijers E. (2007). Smart cities-Ranking of European medium-sized cities. Vienna University of Technology.

- ▲ Gil-de-Castro A., Muñoz M., López Rodríguez M.A., de la Rosa J.J.G. (2010). A Sustainable Development Solved by Using Multi-criteria. *Modern Electric Power Systems*. Wroclaw, Poland.
- ▲ Gilbert H., Handschuh H. (2004). Security Analysis of SHA-256 and Sisters. *Selected Areas in Cryptography*, pp.175-193.
- ▲ Global Status Report. (2017). Paris, France: REN21 Secretariat.
- ▲ Goicoechea A., Hansen D., Duckstein L. (1982). *Multiobjective decision analysis with engineering and business applications*. New York: Wiley.
- ▲ Goletsis Y., Psarras J., Samouilidis J. (2003). Project Ranking in the Armenian Energy Sector Using a Multicriteria Method for Groups. *Annals of Operations Research*, 120(1/4), pp.135-157.
- ▲ Goumas M., Lygerou V. (2000). An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects. *European Journal of Operational Research*, 123(3), pp.606-613.
- ▲ Hämäläinen R., Karjalainen R. (1992). Decision support for risk analysis in energy policy. *European Journal of Operational Research*, 56(2), pp.172-183.
- ▲ Han D., Lim J. (2010). Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and zigbee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), pp. 1403-1410.
- ▲ Haralambopoulos D., Polatidis H. (2003). Renewable Energy Projects: Structuring a Multicriteria Group Decision-Making Framework. *Renewable Energy*, 28(6), pp.961–973.
- ▲ Hadzinakos I., Yannacopoulos D., Faltsetas C., Ziourkas C. (1991). Application of the MINORA Decision Support System to the Evaluation of Landslide Favourability in Greece. *European Journal of Operational Research*, 50(1), pp.61-75.
- ▲ Haurant P., Oberti P., Muselli M. (2011). Multicriteria Selection Aiding Related to Photovoltaic Plants on Farming Fields on Corsica Island: A Real Case Study Using the ELECTRE Outranking Framework. *Energy Policy*. 39(2), pp.676-688.
- ▲ Henning D. (1997). MODEST—An energy-system optimisation model applicable to local utilities and countries. *Energy*, 22(12), pp.1135-1150.
- ▲ Herrera F., Herrera-Viedma E. (2000). Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1), pp.67-82.
- ▲ Herrera F., Martinez L. (1999). A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words. Department of Computer Science and Artificial Intelligence. Technical Report #DESCAI-990102.
- ▲ Herrera F., Martinez L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), pp.746-752.
- ▲ Herrera F., Martinez L. (2001a). The 2-Tuple Linguistic Computational Model. Advantages of Its Linguistic Description, Accuracy and Consistency. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 09(supp01), pp.33-48.

- ▲ Herrera F., Martinez L. (2001b). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 31(2), pp.227-234.
- ▲ Herrera F., Herrera-Viedma E., Verdegay J. (1995). A sequential selection process in group decision making with a linguistic assessment approach. *Information Sciences*, 85(4), pp.223-239.
- ▲ Herrera F., Herrera-Viedma E., Verdegay J. (1996). A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. *Fuzzy Sets and Systems*, 78(1), pp.73-87.
- ▲ Herrera F., Herrera-Viedma E., Verdegay J. (1998). Choice processes for non-homogeneous group decision making in linguistic setting. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(3), pp.287-308.
- ▲ Herrera F., Herrera-Viedma E., Martinez L. (2000). A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), pp.43-58.
- ▲ Herrera F., López E., Mendaña C., Rodriguez M. (2001). A linguistic decision model for personnel management solved with a linguistic biobjective genetic algorithm. *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1), pp.47-64.
- ▲ Herrera F., Martinez L., Sánchez P. (2005). Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166(1), pp.115-132.
- ▲ Hidson M. (2004). Sustainable Energy Communities and Sustainable Development. ICLEI - Association of Local Governments for Sustainability.
- ▲ Hopwood B., Mellor M., O'Brien G. (2005). Sustainable Development: Mapping Different Approaches. *Sustainable Development*, 13(1):38-5.
- ▲ Hwang C.L., Yoon K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems)*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 259 (ISBN: 0387105581).
- ▲ IBM - International Business Machines (2009). *Global Business Services, How cities can lead the way into a prosperous and sustainable future*. IBM Institute for Business Value, Somers, NY.
- ▲ IEA - International Energy Agency. (2006). *Light's Labour's Lost*. OECD/IEA. Available at: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light2006.pdf>.
- ▲ IEA - International Energy Agency. (2011). *Technology Roadmap: Smart Grids*. Available at: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids\\_roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf).
- ▲ IEA - International Energy Agency. (2014). *Key World Energy Statistics*. Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf>
- ▲ IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers (2016). *About - IEEE Smart Cities*.

- ▲ IEEE USA - Institute of Electrical and Electronics Engineers United States of America (2007). Plug-in electric hybrid vehicles. Position statement adopted by IEEE USA board of directors.
- ▲ ISO - International Organization for Standardization (2011) - EN ISO 50001:2011. Energy management systems -- Requirements with guidance for use. Available at: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=51297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297)
- ▲ ISO - International Organization for Standardization (2005) - EN ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment - Available at: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=39155](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=39155)
- ▲ IUCN, International Union for Conservation of Nature. Caring for the Earth, 1991. Available at: [http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_IUCN\\_CARING.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_IUCN_CARING.html)
- ▲ Jacquet-Lagrange E., Siskos J. (1982). Assessing a Set of Additive Utility Functions for Multicriteria Decision-Making, The UTA Method. European Journal of Operational Research, 10(2), pp.151-164.
- ▲ Jones M., Hope C., Hughes R. (1990). A Multi-attribute Value Model for the Study of UK Energy Policy. Journal of the Operational Research Society, 41(10), pp.919-929.
- ▲ Kablan M. (2004). Decision support for energy conservation promotion. Energy Policy, 32(10), pp.1151-1158.
- ▲ Kacprzyk J., Fedrizzi M. (1990). Multiperson Decision Making Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory. 1st ed. Dordrecht: Springer Netherlands.
- ▲ Kambezidis, H., Kasselouri, B., Konidari, P. (2011). Evaluating policy options for increasing the RES-E penetration in Greece. Energy Policy, 39(9), pp.5388-5398.
- ▲ Kang S., Park J., Oh K., Noh J., Park H. (2014). Scheduling-based real time energy flow control strategy for building energy management system. Energy and Buildings, 75, pp. 239-248.
- ▲ Karagiannidis A., Papageorgiou A., Perkoulidis G., Sanida G., Samaras P. (2010). A Multi-Criteria Assessment of Scenarios on Thermal Processing of Infectious Hospital Wastes: A Case Study for Central Macedonia. Waste Management 30, pp.251–262.
- ▲ Kavousian A., Rajagopal R., Fischer M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. Energy, 55, pp. 184-194.
- ▲ Kaya T., Kahraman C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. Energy, 35(6), pp.2517-2527.
- ▲ Keeney R., Raiffa H. (1976). Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 592 (ISBN: 0-521-43883-7).
- ▲ Kholghi M. (2001). Multi-Criterion Decision-Making Tools for Wastewater Planning Management. Journal of Agricultural Science and Technology, 3, pp.281-286.
- ▲ Klein L., Kwak J., Kavulya G., Jazizadeh F., Becerik-Gerber B., Varakantham P., Tambe, M. (2012). Coordinating occupant behavior for building energy and

comfort management using multi-agent systems. *Automation in Construction*, 22, pp. 525-536.

- ▲ KNX. (2015). Available at: <https://www.knx.org/knx-en/knx/association/introduction/index.php>
- ▲ Kowalski K., Stagl S., Madlener R., Omann I. (2009). Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis. *European Journal of Operational Research*, 197(3), pp.1063-1074.
- ▲ Kundu S. (1997). Min-transitivity of fuzzy leftness relationship and its application to decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 86(3), pp.357-367.
- ▲ Law C. (1996). Using fuzzy numbers in educational grading system. *Fuzzy Sets and Systems*, 83(3), pp.311-323.
- ▲ Lawry J. (2004). A framework for linguistic modelling. *Artificial Intelligence*, 155(1-2), pp.1-39.
- ▲ Lee H. (1996). Group decision making using fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development. *Fuzzy Sets and Systems*, 80(3), pp.261-271.
- ▲ Lee A., Chen H., Kang H. (2009). Multi-criteria decision making on strategic selection of wind farms. *Renewable Energy*, 34(1), pp.120-126.
- ▲ Lee S., Yoon Y., Kim J. (2007). A study on making a long-term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach. *Energy Policy*, 35(5), pp.2862-2868.
- ▲ Lee W., Lin L. (2011). Evaluating and Ranking the Energy Performance of Office Building Using Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution. *Applied Thermal Engineering*, 31(16), pp.3521-3525.
- ▲ Levrat E., Voisin A., Bombardier S., Brémont J. (1997). Subjective evaluation of car seat comfort with fuzzy set techniques. *International Journal of Intelligent Systems*, 12(1112), pp.891-913.
- ▲ Lewry A., Ortiz J., Nabil A., Schofield N., Vaid R., Hussain S., Davidson P. (2013). Bridging the gap between operational and asset ratings – the UK experience and the green deal tool.
- ▲ Li D., Huang Z., Chen G. (2010). A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), pp.561-572.
- ▲ Li X., Liu J., Ruan D. (2008). A Linguistic-Valued Weighted Aggregation Operator to Multiple Attribute Group Decision Making with Quantative and Qualitative Information. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3), pp.274-284.
- ▲ Liu H., Rodriguez R. (2014). A fuzzy envelope for hesitant fuzzy linguistic term set and its application to multicriteria decision making. *Information Sciences*, 258, pp.220-238.
- ▲ Løken E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), pp.1584-1595.

- ▲ LONMARK. (2015). Available at: [http://www.lonmark.org/technical\\_resources/guidelines/](http://www.lonmark.org/technical_resources/guidelines/).
- ▲ Macharis C., Springael J., De Brucker K., Verbeke A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. *European Journal of Operational Research*, 153(2), pp.307-317.
- ▲ Madlener R., Kowalski K., Stagl S. (2007). New Ways for the Integrated Appraisal of National Energy Scenarios: The Case of Renewable Energy Use in Austria. *Energy Policy*, 35(12), pp.6060-6074.
- ▲ MAKE-IT-BE - Decision Making and Implementation Tools for Delivery of Local & Regional Bio-Energy Chains (2008).
- ▲ Mahmood A., Javaid N., Razzaq S. (2015). A review of wireless communications for smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, pp. 248-260.
- ▲ Mancarella P. (2012). Distributed multi-generation options to increase environmental efficiency in smart cities. 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, pp.1-8.
- ▲ Marinakis V., Doukas H., Karakosta C., Psarras J. (2013b). An integrated system for buildings' energy-efficient automation: Application in the tertiary sector. *Applied Energy*, 101, pp.6-14.
- ▲ Marinakis V., Karakosta C., Doukas H., Androulaki S., Psarras J. (2013). A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption. *Sustainable Cities and Society*, 6(1):11-15.
- ▲ Marinakis V., Doukas H., Spiliotis E., Papastamatiou I. (2017). Decision Support for Intelligent Energy Management in Buildings Using the Thermal Comfort Model. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 10, pp.882-893
- ▲ Martinez L., Liu J., Ruan D., Yang J. (2007). Dealing with heterogeneous information in engineering evaluation processes. *Information Sciences*, 177(7), pp.1533-1542.
- ▲ McDaniels T. (1996). A Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities. *Journal of Environmental Management*, 46(1), pp.57-66.
- ▲ Mercer D. (2006). *Drupal: Creating Blogs, Forums, Portals, and Community Websites : How to Setup, Configure, and Customize This Powerful PHP*. Packt Publishing.
- ▲ Meyar-Naimin H., Vaez-Zadeh S. (2012). Sustainable Development Based Energy Policy Making Frameworks, A Critical Review. *Energy Policy*, 43, pp.351–361.
- ▲ Miller G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), pp.81-97.
- ▲ Missaoui R., Joumaa H., Ploix S., Bacha S. (2014). Managing energy Smart Homes according to energy prices: Analysis of a Building Energy Management System. *Energy and Buildings*, 71, pp. 155-167.
- ▲ MODBUS. (2015). Available at: <http://www.modbus.org/specs.php>
- ▲ MODEL. (2008). *Common Framework Methodology (CFM) for Municipal Energy Planning – MODEL*.

- ▲ Molina B., Palau C., Fortino G., Guerrieri A., Savaglio C. (2014). Empowering smart cities through interoperable Sensor Network Enablers. 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC).
- ▲ Montero J. (1988). Aggregation of fuzzy opinions in a non-homogeneous group. *Fuzzy Sets and Systems*, 25(1), pp.15-20.
- ▲ Monzon A. (2015). Smart Cities Concept and Challenges Bases for the Assessment of Smart City Projects. 4th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems, SMARTGREENS, pp.1-11.
- ▲ Mróz T.M. (2008). Planning of Community Heating Systems Modernization and Development. *Applied Thermal Engineering* 28:1844–1852.
- ▲ MUSEC (2007). Energy Baseline Assessment and Target-Setting, Guidelines for Energy Accounting Procedure.
- ▲ Neves L., Martins A., Antunes C., Dias L. (2008). A multi-criteria decision approach to sorting actions for promoting energy efficiency. *Energy Policy*, 36(7), pp.2351-2363.
- ▲ Nigim K., Munier N. (2004). Pre-feasibility MCDM Tools to Aid Communities in Prioritizing Local Viable Renewable Energy Sources. *Journal of Green Renewable Energy*, 29, pp.1775–1791.
- ▲ NIST - National Institute of Standards and Technology. (2010). NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0. (2010).
- ▲ Novak T., Pollhammer K., Zeilinger H., Schaat S. (2014). Intelligent streetlight management in a smart city. *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*. O'Donnell, J., Keane, M., Morrissey, E. and Bazjanac, V. (2013). Scenario modelling: A holistic environmental and energy management method for building operation optimisation. *Energy and Buildings*, 62, pp. 146-157.
- ▲ Oberschmidt M., Geldermann P., Ludwig, M., Schmehl M. (2010). Modified PROMETHEE Approach to Assessing Energy Technologies. *International Journal of Energy Sector Management*, 4(2), pp.183-212.
- ▲ Opricovic S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 178, pp.514–529.
- ▲ OPTIMUS - OPTIMising energy Use in cities through smart decision support systems. (2016). Project reference: 608703, FP7-ICT. Available at: <http://www.optimus-smartcity.eu>
- ▲ OSeMOSYS. (2015). OSeMOSYS User Manual. (2015). Available at: [http://users.osemosys.org/uploads/1/8/5/0/18504136/new-website\\_osemosys\\_manual\\_-\\_working\\_with\\_text\\_files\\_-\\_2015-11-05.pdf](http://users.osemosys.org/uploads/1/8/5/0/18504136/new-website_osemosys_manual_-_working_with_text_files_-_2015-11-05.pdf).
- ▲ Özkan A., Banar M., Acar I., Sipahioğlu A. (2011). Application of the ELECTRE III Method for a Solid Waste Management System. *Applied Sciences and Engineering*. 12(1):11-23.
- ▲ Page J., Basciotti D., Pol O., Fidalgo J., Couto M., Aron R., Chiche A., Fournié L. (2013). A multi-energy modelling, simulation and optimization environment for urban energy infrastructure planning. In: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association. pp.443-451.



- ▲ Pan J., Teklu Y., Rahman S., de Castro A. (2000). An interval-based MADM approach to the identification of candidate alternatives in strategic resource planning. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(4), pp.1441-1446.
- ▲ Papadopoulos A., Karagiannidis A. (2008). Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega*, 36(5), pp.766-776.
- ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Psarras J. (2013). Heterogeneous management information software for supporting energy-related decision making problems. *Second International Symposium and 24th National Conference on Operational Research*, pp.373-392.
- ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Psarras J. (2014a). An Information Management Software for assessing smart energy systems exploiting cities' multidisciplinary data, *Proceedings of the 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2014)*, 7 – 9 July 2014, Chania Crete, Greece.
- ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Psarras J. (2014b). A Holistic Approach for Smart Cities Energy Assessment, *Proceedings of the 3rd International Symposium and 25th National Conference on Operational Research*, pp. 35–36, 26-28 June 2014, University of Thessaly, Volos, Greece.
- ▲ Papastamatiou I., Doukas H., Spiliotis E., Psarras J. (2016). How “OPTIMUS” is a city in terms of energy optimization? e-SCEAF: A web based decision support tool for local authorities. *Information Fusion*, 29, pp. 149-161.
- ▲ Papastamatiou I., Marinakis V., Doukas H., Psarras J. (2015). A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece: First results from real life application, *Proceedings of the 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2015)*, 6-8 July 2015, Ionian University, Corfu, Greece.
- ▲ Papastamatiou I., Marinakis V., Doukas H., Psarras J. (2017). A Decision Support Framework for Smart Cities Energy Assessment and Optimization. *Energy Procedia*, 111, pp.800-809.
- ▲ Patlitzianas K., Ntotas K., Doukas H., Psarras J. (2007). Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession member states. *Energy Conversion and Management*, 48(3), pp.890-897.
- ▲ Pellicer S., Santa G., Bleda A., Maestre R., Jara A., Skarmeta A. (2013). A Global Perspective of Smart Cities: A Survey. *2013 Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*.
- ▲ Peng W., Wu J., Wang X. (2013). AHP-based evaluation of low-carbon technologies in buildings. *Environment, Energy and Sustainable Development*, pp.265-269.
- ▲ Piette M.A., Khalsa S., Rumsey P., Kinney K.L., Lee E.L., Sebald A., Shockman C., (1998). Early Results and Field Tests of an Information Monitoring and Diagnostic System for Commercial Buildings. Phase 2 Project Report, LBNL Report #42338.
- ▲ Piette M.A., Khalsa S.K., Haves P., (2000). "Use of an information monitoring and diagnostic system to improve building operations". *Proceedings of the 2000 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, vol. 7, pp. 101, 2000

- ▲ Pilavachi P., Stephanidis S., Pappas V., Afgan N. (2009). Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies. *Applied Thermal Engineering*, 29(11-12), pp.2228-2234.
- ▲ Pohekar S., Ramachandran M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), pp.365-381.
- ▲ Polatidis H., Haralambopoulos D., Kemp R., Rothman D., ‘Creating an energy system that we want but don’t know yet, using Integrated Assessment, Transition Management and multi-Criteria Analysis’, *Integrated Assessment*, accepted for publication, forthcoming, 2003
- ▲ Polatidis H., Haralambopoulos D., Munda G., Vreeker R. (2006). Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 1(2), pp.181-193.
- ▲ Priyadarsini R., Xuchao W., Eang L. (2009). A study on energy performance of hotel buildings in Singapore. *Energy and Buildings*, 41(12), pp. 1319-1324.
- ▲ PROMITHEAS – 4. (2011). Overview and selection of multi-criteria evaluation methods for mitigation/adaptation policy instruments.
- ▲ PromitheasNet. (2011). Overview and Selection of Models in Use for Mitigation / Adaptation Policy.
- ▲ Richards G., Lebresne S., Burg B., Vitek J. (2010). An analysis of the dynamic behavior of JavaScript programs. *ACM SIGPLAN Notices*, 45(6), p.1.
- ▲ Rodriguez R., Bedregal B., Bustince H., Dong Y., Farhadinia B., Kahraman C., Martinez L., Torra V., Xu Y., Xu Z., Herrera, F. (2016). A position and perspective analysis of hesitant fuzzy sets on information fusion in decision making. Towards high quality progress. *Information Fusion*, 29, pp.89-97.
- ▲ Rodriguez R., Martinez L., Herrera F. (2012). Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(1), pp.109-119.
- ▲ Rodriguez R., Martinez L., Herrera F. (2013). A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets. *Information Sciences*, 241, pp.28-42.
- ▲ Rodriguez R., Martinez L., Herrera F. (2015). A linguistic 2-tuple multicriteria decision making model dealing with hesitant linguistic information. 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE).
- ▲ Roubens M. (1997). Fuzzy sets and decision analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2), pp.199-206.
- ▲ Roy B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE), *RIRO* 8, pp. 57–75.
- ▲ Roy B. (1985). *Methodologie multicritere d'aide a la decision*. 1st ed. Paris: Économica.
- ▲ Roy B. (1991). The Outranking Approach and the Foundations of Electre Methods. *Theory and Decision*, 31(1):49-73.
- ▲ Roy B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Nonconvex Optimization and Its Applications.

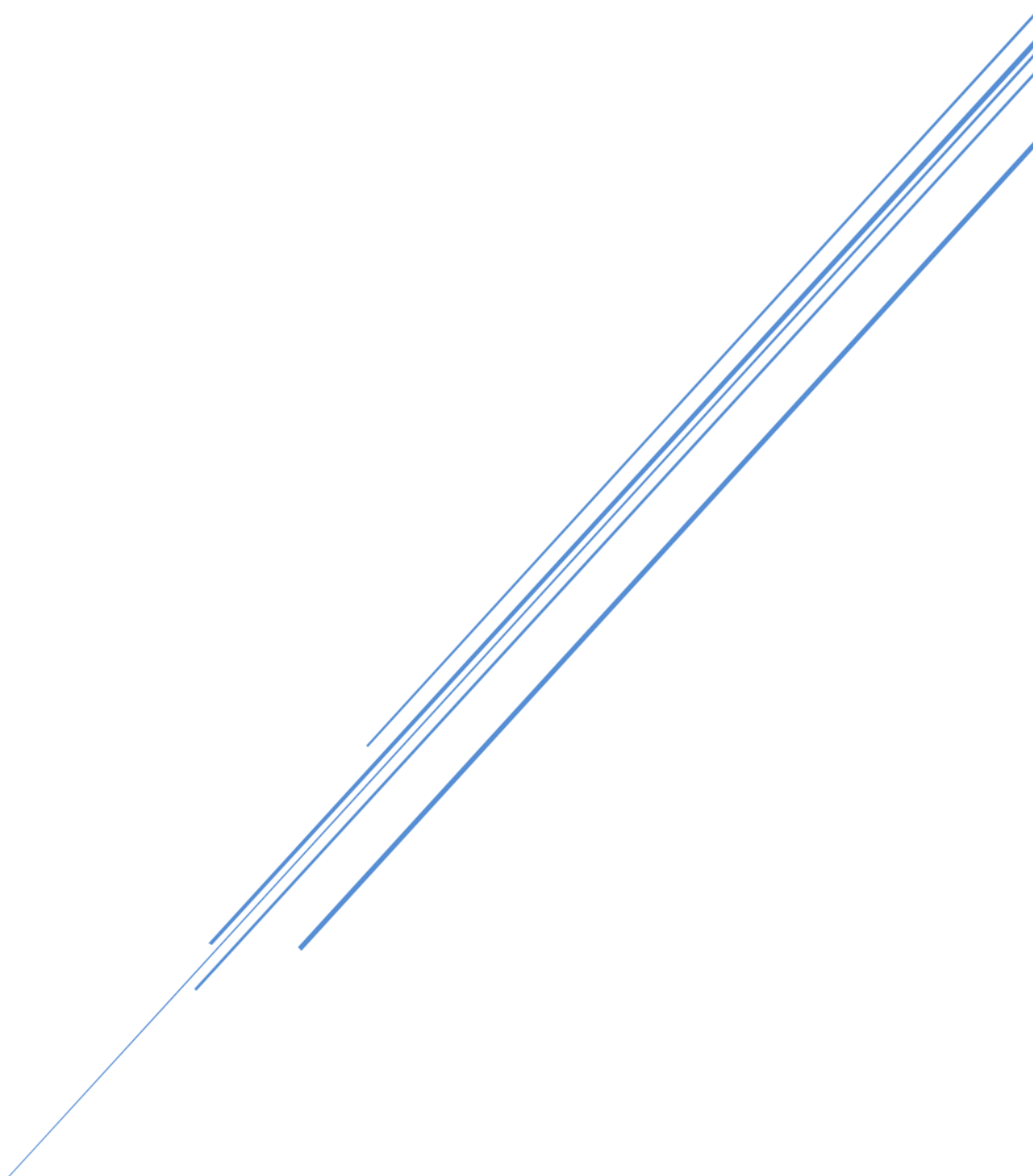
- ▲ Saaty T. (1980). The analytic hierarchy process. 1st ed. New York: McGraw-Hill International Book Co.
- ▲ Saaty T. (1992). Decision making for leaders. Pittsburgh, PA: RWS Publications.
- ▲ Saaty T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), p.83.
- ▲ Safaei Mohamadabadi H., Tichkowsky G., Kumar A. (2009). Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles. *Energy*, 34(1), pp.112-125.
- ▲ Sagbas A, Mazmanoglu A., Alp R. (2013). A decision making model for selection of wind energy production farms based on fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, 3(1), pp.473-476
- ▲ Sanseverino E., Scaccianoce G., Vaccaro V., Zizzo G., Pennisi S. (2015). Smart city and public lighting. 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC).
- ▲ Schneider-electric. (2016). Termis Software - Schneider Electric - United Kingdom. Available at: <http://www.schneider-electric.ie/en/product-range/61418-termis-software/?parent-category-id=5100&parent-subcategory-id=5125>.
- ▲ SEC-Tools. (2008). Promotion of Sustainable Energy Practice at Community level in EU.
- ▲ Sei-international. (2008). Environmental Accounting for People and Places. Heslington, York: Stockholm Environment Institute University of York, p.1.
- ▲ Sei-international. (2010). A Consumption Approach for Emissions Accounting - the REAP Tool and REAP Data for 2006. Stockholm, Sweden. Available at:
- ▲ Semanco. (2015). SEMANCO Semantic Tools for Carbon Reduction in Urban Planning. Available at: <http://www.semanco-project.eu/>.
- ▲ Shaikh P., Nor N., Nallagownden P., Elamvazuthi I., Ibrahim T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, pp. 409-429.
- ▲ Shen Y., Chou C., Lin G. (2011). The Portfolio of Renewable Energy Sources for Achieving the Three Policy Goals. *Energy*, 36, pp.2589-2598.
- ▲ Shyi-Ming C. (1997). A new method for tool steel materials selection under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 92(3), pp.265-274.
- ▲ Siskos J., Hubert P. (1983). Multi-criteria analysis of the impacts of energy alternatives: A survey and a new comparative approach. *European Journal of Operational Research*, 13(3), pp.278-299.
- ▲ Siskos J., Assimakopoulos N. (1989). Multicriteria Highway Planning: A Case Study. *Mathematical and Computer Modelling*, 10-11(12), pp.1401-1410.
- ▲ Siskos Y., Grigoroudis E., Matsatsinis N. (2005). The UTA methods. In J. Figueira, S. Greco, & M. Ehrgott (Eds.), *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 297–343). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- ▲ Siskos E., Malafekas M., Askounis D., Psarras J. (2013). E-government Benchmarking in European Union: A Multicriteria Extreme Ranking Approach. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 399, pp. 338-348.
- ▲ Siskos E., Dimitris A., Psarras J. (2014). Multicriteria Decision Support for Global e-Government Evaluation. *Omega*, 46, pp.51-63.
- ▲ Slideplayer. (2010). RESearch Elevation on Integration of SOLar Technologies into MEDiterranean BUILDings RESSOL-MEDBUILD Renewable Energy and Energy Efficiency Forum June. - ppt download. Available at: <http://slideplayer.com/slide/5716496/>.
- ▲ Sola A., Mota C. (2012). A Multi-Attribute Decision Model for Portfolio Selection Aiming to Replace Technologies in Industrial Motor Systems. *Energy Conversion and Management*, 57, pp.97-106.
- ▲ Tapia-Rosero A., Bronselaer A., De Mol R., De Tré G. (2016). Fusion of preferences from different perspectives in a decision-making context. *Information Fusion*, 29, pp.120-131.
- ▲ TC - Technical Committee. (2006). Energy performance of buildings — Impact of Building Automation Control and Building Management. CEN/TC 247 prEN 15232.
- ▲ TEE - Technical Chamber of Greece. (2010). Technical Chamber of Greece for the Implementation of KENAK - Approval TOTEE (OG 1387 Approval TOTEE (OG 1387-2-9-2010).
- ▲ Tegou I., Polatidis H., Haralambopoulos D. (2010). Environmental Management Framework for Wind Farm Siting: Methodology and Case Study. *Journal of Environmental Management*, 91:2134-2147.
- ▲ Terrados J., Almonacid G., Hontoria L. (2007). Regional Energy Planning through SWOT Analysis and Strategic Planning Tools. *Impact on Renewables Development. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), pp.1275-1287.
- ▲ Terrados J., Almonacid G., Pérez-Higueras P. (2009). Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), pp.2022-2030.
- ▲ Thomaidis F., Konidari P., Mavrakakis D. (2008). The Wholesale Natural Gas Market Prospects in the Energy Community Treaty Countries. *Operational Research International Journal*, 8, pp.63–75.
- ▲ Tian Q., Ma J., Liu O. (2002). A hybrid knowledge and model system for R&D project selection. *Expert Systems with Applications*, 23(3), pp.121-152.
- ▲ Tomlinson T., VanDyk J. (2010). Pro drupal 7 development. [Berkeley, Calif.]: Apress.
- ▲ Tong R., Bonissone P. (1980). A Linguistic Approach to Decision making with Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 10(11), pp.716-723.
- ▲ Tong R., Bonissone P. (1984). Linguistic solutions to fuzzy decision problems. *Stud. Management Sci.* 20, pp.323-334.
- ▲ Toossi A., Camci F., Varga L. (2013). Developing an AHP based decision model for energy systems policy making. 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT).

- ▲ Topcu Y., Ulengin F. (2004). Energy for the future: An integrated decision aid for the case of Turkey. *Energy*, 29(1), pp.137-154.
- ▲ Torra V. (1998). Negation functions based semantics for ordered linguistic labels. *International Journal of Intelligent Systems*, 11(11), pp.975-988.
- ▲ Trejo-Perea M., Moreno G., Castañeda-Miranda A., Vargas-Vázquez D., Carrillo-Serrano R., Herrera-Ruiz G. (2013). Development of a Real Time Energy Monitoring Platform User-Friendly for Buildings. *Procedia Technology*, 7, pp. 238-247.
- ▲ Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy*, 37(5), pp.1587-1600.
- ▲ Tzeng G., Lin C., Opricovic S. (2005). Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*, 33(11), pp.1373-1383.
- ▲ UN – United Nations (2013). World Economic and Social Survey 2013. [http://www.un.org/en/development/desa/policy/wess/wess\\_current/wess2013/WESS2013.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/policy/wess/wess_current/wess2013/WESS2013.pdf)
- ▲ UN - United Nations. (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>
- ▲ UN - United Nations. (2016). World Cities Report 2016: Urbanization and Development – Emerging Futures. <http://unhabitat.org/books/world-cities-report/>
- ▲ UNCED - United Nations Conference on Environment and Development (1992). Rio de Janeiro Earth Summit , Rio Summit, Rio Conference, and Earth Summit. Available at: <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>
- ▲ UNFPA – United Nations Population Fund (2007). State of World Population, 2007. New York: United Nations Population Fund.
- ▲ Vasseur J., Dunkels A. (2010). Interconnecting smart objects with IP. Burlington, MA: Morgan Kaufmann Publishers/Elsevier, pp. 335-352 Smart cities and urban networks.
- ▲ Von Winterfeldt D., Edwards W. (1986). Decision Analysis and Behavioral Research. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 624 (ISBN: 0-521-273048).
- ▲ Voropai N., Ivanova E. (2002). Multi-criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 24(1), pp.71-78.
- ▲ Wang J., Jing Y., Zhang C., Zhao J. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), pp.2263-2278.
- ▲ Yager R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18(1), pp.183-190.
- ▲ Yager R. (1993). Non-numeric multi-criteria multi-person decision making. *Group Decision and Negotiation*, 2(1), pp.81-93.
- ▲ Yager, R. (1995). An approach to ordinal decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 12(3-4), pp.237-261.

- ▲ Yager R. (2016). Modeling multi-criteria objective functions using fuzzy measures. *Information Fusion*, 29, pp.105-111.
- ▲ Yager R., Goldstein L., Mendels, E. (1994). FUZMAR: An approach to aggregating market research data based on fuzzy reasoning. *Fuzzy Sets and Systems*, 68(1), pp.1-11.
- ▲ Yiiframework. (2016). Yii PHP Framework: Best for Web 2.0 Development. Available at: <http://www.yiiframework.com/>
- ▲ Zadeh L. (1975a). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, 8(3), pp.199-249.
- ▲ Zadeh L. (1975b). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—II. *Information Sciences*, 8(4), pp.301-357.
- ▲ ZIGBEE. (2015). Available at: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/applicationstandards/zigbee-building-automation/>
- ▲ ΕΕ - Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2011). Χάρτης πορείας για τη μετάβαση σε μια ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών το 2050. COM(2011) 112 τελικό.
- ▲ ΕΕ - Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2014). Απολογισμός της Στρατηγικής «Ευρώπη 2020» για μια Έξυπνη, Διατηρήσιμη και χωρίς Αποκλεισμούς Ανάπτυξη. COM(2014) 130 τελικό.
- ▲ Ελληνικό Δίκαιο. (2008). Ν. 3661/2008 (ΦΕΚ Α 89/19-05-2008) Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις.
- ▲ Ελληνικό Δίκαιο. (2013). Ν. 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42/19-02-2013) Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις.
- ▲ ΕΛΣΤΑΤ - Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. (2013). Συνθήκες Διαβίωσης στην Ελλάδα. Πειραιάς, Ελλάδα.
- ▲ Σίσκος Ι. (2008). Μοντέλα Αποφάσεων – Μεθοδολογία Επιχειρησιακής Έρευνας, Θεωρία Πολυκριτήριας Ανάλυσης, Εφαρμογές σε Επιχειρήσεις και Οργανισμούς. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών. Σελίδες 479, Αθήνα, Ελλάδα (ISBN: 978-960-6759-10-9).
- ▲ Στρατηγέα Α. (2010). Βιώσιμες Ενεργειακά Κοινότητες - 6ο Διεπιστημονικό Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο του Ε.Μ.Π. και του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π. «Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών» Μέτσοβο, 16-19 Σεπτεμβρίου 2010.
- ▲ ΥΠΕΚΑ - Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2015). <http://www.ypeka.gr>

# Παράρτημα



## **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων» με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων

***Ηλίας Μ. Παπασταματίου***





# I. Δημοσιεύσεις

---

*Δημοσιευμένες  
Εργασίες σε  
Επιστημονικά  
Περιοδικά*

Papastamatiou Ilias, Marinakis Vangelis, Doukas Haris & Prof. Psarras John (2017). «A Decision Support Framework for Smart Cities Energy Assessment and Optimization». Elsevier - Energy Procedia, Volume 111, Pages 800–809, March 2017, DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.24.

Vangelis Marinakis, Haris Doukas, Evangelos Spiliotis, Ilias Papastamatiou (2017). «Decision support for intelligent energy management in buildings using the thermal comfort model». IJCIS - An international journal on computational intelligence techniques, methods and applications, volume-issue: 10 – 1, March 2017, pages: 882 – 893, ISSN: 1875-6883.

Papastamatiou Ilias, Evangelos Spiliotis, Doukas Haris & Prof. Psarras John (2016). «How “OPTIMUS” is a city in terms of energy optimization? e-SCEAF: A web based decision support tool for local authorities». Elsevier - Information Fusion (INFFUS), Volume 29, May 2016, Pages 149–161 DOI: 10.1016/j.inffus.2015.10.002.

*Δημοσιευμένες  
Εργασίες σε  
Κεφάλαια  
Βιβλίων*

Androulaki Stella, Spiliotis Evangelos, Doukas Haris, Ilias Papastamatiou & Prof. John Psarras (2016). «A Framework to Assess the Behavior and Performance of a City Towards Energy Optimization». Springer - Intelligent Computing Systems, DOI: 10.1007/978-3-662-49179-9, Hardcover ISBN: 978-3-662-49177-5.

*Δημοσιεύσεις  
σε  
Επιστημονικά  
Συνέδρια*

Papastamatiou Ilias, Vangelis Marinakis, Doukas Haris & Prof. Psarras John (2015). «A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece: First results from real life application». IEEE Xplore, IISA 2015, p. 130, DOI: 10.1109/IISA.2015.7387977, ISBN: 978-1-4673-9312-6.

Papastamatiou Ilias, Doukas Haris & Prof. Psarras John (2014). «An Information Management Software for assessing smart energy systems exploiting cities' multidisciplinary data». IEEE Xplore, IISA 2014, Article number 6878751, Pages 285 - 290, 2014, DOI: 10.1109/IISA.2014.6878751, ISBN: 978-147996171-9.

Androulaki Stella, Spiliotis Evangelos, Doukas Haris, Ilias Papastamatiou & Prof. John Psarras (2014). «Proposing a Smart City Energy Assessment Framework linking local vision with data sets». IEEE Xplore, IISA 2014, Article number 6878742, Pages 50-56, 2014, DOI: 10.1109/IISA.2014.6878742, ISBN: 978-147996171-9.

Papastamatiou Ilias, Doukas Haris and Prof. Psarras John (2014). «A Holistic Approach for Smart Cities Energy Assessment» 3<sup>rd</sup> International Symposium and 25<sup>th</sup> National Conference on Operational Research, ISBN: 978-618-80361-3-0, pages: 35-36.

Papastamatiou Ilias, Doukas Haris and Prof. Psarras John (2014). «Heterogeneous management information software for supporting energy-related decision making problems», 2<sup>nd</sup> International Symposium & 24<sup>th</sup> National Conference on Operational Research 2014, ISBN: 978-618-80361-1-6, pages: 373-392.

Παπασταματίου Ηλίας, Δούκας Χάρης, Παπαδοπούλου Αλεξάνδρα, Μαρινάκης Ευάγγελος, Ψαρράς Ιωάννης (2013). «Ενεργειακή Επιθεώρηση: Μελέτη Περίπτωσης Νοσοκομειακής Μονάδας και νέα εργαλεία υποστήριξης». 2<sup>ο</sup> Συνέδριο Πράσινης Επιχειρηματικότητας & Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης ISBN: 978-960-87277-9-3, σελ. 483-480.

*Άρθρα σε  
Περιοδικό  
Τεχνικό Τύπο*

Δούκας Χάρης, Μαρινάκης Ευάγγελος, Ηλίας Παπασταματίου (2016). «Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων διαχείρισης ενέργειας στον κτιριακό τομέα». Green Building Magazine, 4 February 2016.

*Ανακοινώσεις  
σε Συνέδρια*

Papastamatiou Ilias, Vangelis Marinakis, Doukas Haris & Prof. Psarras John (2017). «A Decision Support Framework for Smart Cities Energy Assessment and Optimization», Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, Turin, Italy, 11-13 September 2016.

Papastamatiou Ilias, Vangelis Marinakis, Doukas Haris & Prof. Psarras John (2015). «A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece: First results from real life application», 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 6-8 July 2015.

Papastamatiou Ilias, Doukas Haris & Prof. Psarras John (2014). «An Information Management Software for assessing smart energy systems exploiting cities' multidisciplinary data», 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 7-9 July 2014.

Androulaki Stella, Spiliotis Evangelos, Doukas Haris, Ilias Papastamatiou & Prof. John Psarras (2014). «Proposing a Smart City Energy Assessment Framework linking local vision with data sets», 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 7-9 July 2014.

Papastamatiou Ilias, Doukas Haris and Prof. Psarras John (2014). «A Holistic Approach for Smart Cities Energy Assessment» 3rd International Symposium and 25th National Conference on Operational Research, 26-28 June 2014.

Papastamatiou Ilias, Doukas Haris and Prof. Psarras John (2014). «Heterogeneous management information software for supporting energy-related decision making problems», 2nd International Symposium & 24th National Conference on Operational Research, 26-28 September 2013.

Παπασταματίου Ηλίας, Δούκας Χάρης, Παπαδοπούλου Αλεξάνδρα, Μαρινάκης Ευάγγελος, Ψαρράς Ιωάννης (2013). «Ενεργειακή Επιθεώρηση: Μελέτη Περίπτωσης Νοσοκομειακής Μονάδας και νέα εργαλεία υποστήριξης». 2ο Συνέδριο Πράσινης Επιχειρηματικότητας & Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης, 28 Αυγούστου 2013.

## Π. Διακρίσεις Δημοσιεύσεων

- ▲ «A Decision Support Framework for Smart Cities Energy Assessment and Optimization»  
Elsevier - Energy Procedia 111 (March 2017): Pages 800–809 · March 2017 |  
DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.24  
Papastamatiou Ilias, Marinakis Vangelis, Doukas Haris & Prof. Psarras John

Η προτεινόμενη μεθοδολογία στην παρούσα διατριβή δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Energy Procedia, Elsevier και απέσπασε τη διάκριση «Key Scientific Article Contributing to Research Excellence in Science and Engineering» του καναδικού οργανισμού «Advances In Engineering - AIE».



- ▲ «A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece: First results from real life application»  
IEEE Computer Society | IISA 2015  
DOI: 10.1109/IISA.2015.7387977, July 2015  
Papastamatiou Ilias, Vangelis Marinakis, Doukas Haris & Prof. Psarras John

Επίσης, η παρουσίαση του εργαλείου ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων «BEMAT – Building Energy Management Tool» βραβεύτηκε ως η καλύτερη εργασία στο 6ο Διεθνές Συνέδριο της IEEE για την Πληροφορική, τα Ευφυή Συστήματα και τις Εφαρμογές.

**IISA 2015**

Sixth International IEEE Conference on  
**Information, Intelligence, Systems  
and Applications**

6, 7 and 8 July 2015, Corfu, Greece


**BEST PAPER AWARD**

**Paper entitled**


**A WEB TOOL FOR ASSESSING THE ENERGY USE OF  
BUILDINGS IN GREECE**

**By**

**Ilias Papastamatiou, Vangelis Marinakis, Haris Doukas and  
John Psarras**



IEEE, BAIF, University of Piraeus, Ionian University and IISA Steering Committee



## III. Ενδεικτικά Τμήματα Κώδικα

### ΒΕΜΑΤ:

#### Αποθήκευση της Κατανάλωσης των λαμπτήρων στη βάση δεδομένων

```
class LightConsumption(BaseConsumption):
    light_type = CharField(max_length=2, choices=LIGHT_TYPES)
    power = PositiveFloatField() # measured in W
    quantity = PositiveSmallIntegerField()
    hours_per_year = PositiveFloatField()

    @property
    def consumption_category(self):
        return self.get_light_type_display()

    @property
    def consumption(self):
        return self.hours_per_year * self.quantity * self.power / 1000.0

    def save(self, *args, **kwargs):
        self.consumption_type = 'L'
        super(LightConsumption, self).save(*args, **kwargs)
```

#### Αποθήκευση της Κατανάλωσης των ηλεκτρικών συσκευών στη βάση δεδομένων

```
class DeviceConsumption(BaseConsumption):
    device_type = CharField(max_length=3, choices=DEVICE_TYPES, blank=True,
null=True, default=None)
    power = PositiveFloatField() # measured in W for lights, kW for other types
    quantity = PositiveSmallIntegerField()
    hours_per_year = PositiveFloatField()

    @property
    def consumption_category(self):
        return self.get_device_type_display()

    @property
    def consumption(self):
        return self.hours_per_year * self.quantity * self.power / 1000.0

    def save(self, *args, **kwargs):
        self.consumption_type = 'D'
        super(DeviceConsumption, self).save(*args, **kwargs)
```

#### Αποθήκευση του Κτιρίου στη βάση δεδομένων

```
class Building(Model):
    """
    Main building information class
    """
    # generic info
    info_type = CharField(max_length=2, choices=BUILDING_INFO_TYPES)
    usage = CharField(max_length=3, choices=BUILDING_USAGES)
```

```

description = TextField()
year_of_construction = SmallIntegerField(blank=True, null=True, default=None)
address = TextField()

# grid 2
insulated = NullableOption(choices=INSULATION_STATUS)
certified = NullableOption(choices=CERTIFICATION_STATUS)

# grid 3
energy_class = NullableOption(choices=ENERGY_CLASSES)
orientation = NullableOption(choices=ORIENTATION_OPTIONS)
total_surface = FloatField(blank=True, null=True, default=None)
surface = FloatField()
number_of_floors = SmallIntegerField(validators=[MinValueValidator(1)])
floor_height = NullablePositiveFloatField()

# location info
region_type = CharField(max_length=2, choices=REGION_TYPES)
free_side = SmallIntegerField(validators=[MinValueValidator(1), MaxValueValidator(4)],
default=1)
altitude = SmallIntegerField(blank=True, null=True, default=0)

# operation schedule
not_operational_days = MultiSelectField(max_length=511, choices=DAYS_OF_WEEK,
default='-')
operation_hours = ForeignKey(OperationSchedule, blank=True, null=True)

# users
users_0_5 = IntegerField(validators=[MinValueValidator(0)], blank=True, null=True,
default=None)
users_5_15 = IntegerField(validators=[MinValueValidator(0)], blank=True, null=True,
default=None)
users_15_50 = IntegerField(validators=[MinValueValidator(0)], blank=True, null=True,
default=None)
users_50_70 = IntegerField(validators=[MinValueValidator(0)], blank=True, null=True,
default=None)
users_70_plus = IntegerField(validators=[MinValueValidator(0)], blank=True, null=True,
default=None)

# project, contact person & more info
project = ForeignKey(Project, related_name='buildings')
@property
def users_total(self):
    return self.users_0_5 + self.users_5_15 + self.users_15_50 + self.users_50_70 +
self.users_70_plus
@property
def height(self):
    return self.number_of_floors * self.floor_height
@property
def volume(self):
    return self.surface * self.height
def get_absolute_url(self, tab=None):
    tab_str = ""
    if tab:
        tab_str = '?tab=%s' % tab
    return reverse_lazy('building-details', args=(self.project_id, self.pk)) + tab_str
def __str__(self):
    return '%s, from project %s (%s)' % (self.get_usage_display(), self.project.name,
self.project.user.email)

```

## Αποθήκευση των στοιχείων του λέβητα στη βάση δεδομένων

```

class RecordingEquipment(Model):
    """
    Information about energy consumption recording system
    """
    building = ForeignKey(Building, related_name='recording_equipments')
    fuel_type = NullableOption(choices=FUEL_TYPES)
    nominal_boiler_power = FloatField(blank=True, null=True, default=None)
    eff = FloatField(validators=[MinValueValidator(0), MaxValueValidator(100)])
    year_of_construction = SmallIntegerField(blank=True, null=True, default=None)
    room_temperature = SmallIntegerField(validators=[MinValueValidator(-70),
    MaxValueValidator(50)],
    blank=True, null=True, default=None)
    no_levels = FloatField(validators=[MaxValueValidator(65)], blank=True, null=True,
    default=None)
    nox_levels = FloatField(validators=[MaxValueValidator(65)], blank=True, null=True,
    default=None)
    co2_levels = NullablePositiveFloatField()
    smoke_levels = SmallIntegerField(validators=[MinValueValidator(0),
    MaxValueValidator(9)],
    blank=True, null=True, default=None)
    exhaust_gas_temperature = FloatField(validators=[MinValueValidator(180),
    MaxValueValidator(280)],
    blank=True, null=True, default=None)
    co_levels = FloatField(validators=[MinValueValidator(0), MaxValueValidator(100)],
    blank=True, null=True, default=None)
    oxygen_levels = NullablePositiveFloatField()
    extra_air = NullablePositiveFloatField()
    exhaust_gas_losses = NullablePositiveFloatField()
    temperature_differences = NullablePositiveFloatField()

```

## Μερικά url patterns από το urls.py

```

# building systems
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/cooling-
system/$', views.cooling_system,
    name='cooling-system'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/water-heating-
system/$',
    views.water_heating_system, name='water-heating-system'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/solar-
collectors/$',
    views.solar_collector_system, name='solar-collectors'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/heating/$',
    views.heating_system, name='heating-system'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/recording-
equipment/$',
    views.recording_equipment, name='recording-equipment'),

# features
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/glass-
pane-replacement/$',
    views.glass_pane_replacement, name='glass-pane-replacement'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/light-
replacement/$',
    views.light_replacement, name='light-replacement'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/ac-

```



```

replacement/$',
    views.ac_replacement, name='ac-replacement'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/water-heating-
upgrade/$',
    views.water_heating_upgrade, name='water-heating-upgrade'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/gas-system-
installation/$',
    views.gas_system_installation, name='gas-system-installation'),

# building
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<pk>\d+)/$',
    views.BuildingDetailView.as_view(),
    name='building-details'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/create/$', views.create_building,
    name='create-building'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/edit/$',
    views.update_building,
    name='update-building'),
url('^projects/(?P<project_id>\d+)/buildings/(?P<building_id>\d+)/delete/$',
    views.delete_building,
    name='delete-building'),

```

### Σύνδεση με τη βάση

```

DATABASES = {
    'default': {
        'ENGINE': 'django.db.backends.postgresql_psycopg2',
        'NAME': 'bematbemat',
        'USER': '',
        'PASSWORD': '',
        'HOST': 'localhost',
        'PORT': '5432',
    }
}

```

### Φόρμα του Έργου

```

class ProjectForm(forms.ModelForm, SectionForm):
    class Meta:
        model = Project
        exclude = ['user', 'submitted', ]

        widgets = {
            'name': forms.TextInput(attrs={'placeholder': 'π.χ Έργο 1'})
        }
    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super(ProjectForm, self).__init__(*args, **kwargs)

        self.set_labels({
            'name': 'Εισάγετε όνομα για το νέο σας έργο',
            'fuel_cost': 'Κόστος ανά kWh καυσίμου (€)',
            'electricity_cost': 'Κόστος ανά kWh ρεύματος (€)',
        })
        self.set_sections([])

```

**Φόρμα του κτιρίου**

```

class BuildingForm(forms.ModelForm, SectionForm):
    class Meta:
        model = Building
        exclude = ['project', 'contact', 'operation_hours', ]

        widgets = {
            'description': forms.TextInput(attrs={'placeholder': 'π.χ Έργο 1'}),
            'address': forms.TextInput(attrs={'placeholder': 'π.χ Ερμού 17 Αθήνα'}),
            'not_operational_days': forms.SelectMultiple(),
        }

    title = 'Στοιχεία κτιρίου'

    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super(BuildingForm, self).__init__(*args, **kwargs)

        self.set_labels({
            'info_type': 'Επιφάνεια Κτιρίου',
            'usage': 'Χρήση Κτιρίου',
            'description': 'Περιγραφή',
            'year_of_construction': 'Έτος Κατασκευής',
            'address': 'Διεύθυνση',

            'insulated': 'Μονωμένο',
            'certified': 'Πιστοποιημένο',

            'energy_class': 'Ενεργειακή Κλάση',
            'orientation': 'Προσανατολισμός',
            'total_surface': 'Συνολική Επιφάνεια (m²)',
            'surface': 'Εξεταζόμενη Επιφάνεια (m²)',
            'number_of_floors': 'Αριθμός Εξεταζόμενων Ορόφων',
            'floor_height': "Ύψος ορόφου (m)",

            # region info
            'region_type': 'Δόμηση',
            'free_side': 'Ελεύθερες όψεις',
            'altitude': 'Ύψόμετρο (m)',

            # operation schedule
            'not_operational_days': 'Ημέρες Μη Λειτουργίας',

            # users
            'users_0_5': 'Παιδιά 0-5 ετών',
            'users_5_15': 'Παιδιά 5-15 ετών',
            'users_15_50': 'Ενήλικες 15-50 ετών',
            'users_50_70': 'Μεσήλικες 50-70 ετών',
            'users_70_plus': 'Υπερήλικες 70 ετών και άνω',
        })

        self.set_sections([
            {
                'title': 'Περισσότερες πληροφορίες',
                'fields': ['users_0_5', 'users_5_15', 'users_15_50', 'users_50_70',
                'users_70_plus'],
                'collapsed': True,
            },
        ]),

```

```

    })
    self.set_extra_info({
        'number_of_floors': 'Ισόγειο, τυχόν ημιώροφοι και υπόγεια να
        προσμετρηθούν ως ξεχωριστοί όροφοι.',
    })

```

### Φόρμα αντικατάστασης λαμπτήρων πυρακτώσεως

```

class LightReplacementForm(forms.ModelForm, SectionForm):
    class Meta:
        model = LightReplacement
        exclude = ['building', ]

    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super(LightReplacementForm, self).__init__(*args, **kwargs)
        self.set_labels({
            'old_light_type': 'Τύπος Φορτίου',
            'old_power': 'Ισχύς Φορτίου (W)',
            'old_quantity': 'Πλήθος',
            'old_hours_per_year': 'Ώρες Λειτουργίας ανά έτος',
            'old_consumption': 'Ετήσια Κατανάλωση (kW)',
            'new_light_type': 'Τύπος Φορτίου',
            'new_power': 'Ισχύς Φορτίου (W)',
            'new_quantity': 'Πλήθος',
            'new_hours_per_year': 'Ώρες Λειτουργίας ανά έτος',
            'new_consumption': 'Ετήσια Κατανάλωση (kW)',

            'lightbulb_unit_cost': 'Κόστος λαμπτήρα (€)',
            'additional_costs': 'Επιπρόσθετα κόστη',
        })
        self.set_sections([
            {
                'title': 'Υπάρχουσα εγκατάσταση',
                'fields': ['old_light_type', 'old_power', 'old_quantity', 'old_hours_per_year',
                'old_consumption'],
            },
            {
                'title': 'Νέα εγκατάσταση',
                'fields': ['new_light_type', 'new_power', 'new_quantity',
                'new_hours_per_year', 'new_consumption'],
            },
            {
                'title': 'Κόστος εγκατάστασης',
                'fields': ['lightbulb_unit_cost', 'additional_costs', ],
            },
            {
                'title': 'Οικονομική ανάλυση',
                'name': '__main__',
            }
        ])

```

### Φόρμα του συστήματος θέρμανσης

```

class HeatingSystemForm(forms.ModelForm, SectionForm):
    class Meta:
        model = HeatingSystem
        exclude = ['building', 'operation_hours', ]

```

```

title = 'Στοιχεία συστήματος θέρμανσης'

def __init__(self, *args, **kwargs):
    super(HeatingSystemForm, self).__init__(*args, **kwargs)

    self.set_labels({
        'system_type': 'Τύπος συστήματος θέρμανσης',
        'alternator_type': 'Τύπος εναλλάκτη',
        'boiler_type': 'Κεντρικό σύστημα λέβητα',
        'heat_pump_centralized_system': 'Κεντρικό σύστημα με αντλία θερμότητας',
        'local_system_type': 'Τοπικό σύστημα θέρμανσης',
        'power': 'Ισχύς (KW)',
        'year_of_construction': 'Έτος Κατασκευής',
        'eer': 'Συντελεστής ενεργειακής επίδοσης COP',
        'network_state': 'Κατάσταση δικτύου διανομής που περνά από μη
θερμαινόμενους χώρους',
        'terminal_units_state': 'Κατάσταση τερματικών μονάδων θέρμανσης',
        'terminal_units_electrical_power': 'Ηλεκτρική ισχύς τερματικών μονάδων
στοιχείου ανεμιστήρα (KW)',
        'terminal_units_position_evaluation': 'Αποδοτική θέση τερματικών
μονάδων',
        'partial_charges_compensation_system': 'Σύστημα αντιστάθμισης μερικών
φορτίων',
        'system_operation_configuration_system': 'Σύστημα ρύθμισης λειτουργίας
του συστήματος',

        'distribution_system': 'Σύστημα κατανομής και μέτρησης της θερμικής
ενέργειας ανά ιδιοκτησία κτιρίου',
        'system_access': 'Δυνατότητα πρόσβασης στην μονάδα θέρμανσης',
        'maintenance_frequency': 'Κάθε πότε γίνεται συντήρηση του συστήματος
θέρμανσης',
    })

    self.set_sections([])

    self.set_extra_info({
        'terminal_units_electrical_power': 'fan coil δαπέδου, ή οροφής κτλ'
    })

```

### View για Δημιουργία Κτιρίου

```

def create_building(request, project_id):
    try:
        project = Project.objects.get(pk=project_id, user_id=request.user.pk)
    except Project.DoesNotExist:
        return HttpResponse('Project with id %s does not exist' % str(project_id),
            status=404)

    if request.method == 'POST':
        # get both forms from user
        building_form = BuildingForm(request.POST)
        operational_hours_form = OperationScheduleForm(request.POST)
        if building_form.is_valid():
            building = building_form.save(commit=False)
            if operational_hours_form.is_valid():
                # commit operational hours

```

```

operational_hours = operational_hours_form.save()

# set building foreign keys & commit
building.operation_hours = operational_hours
building.project = project
building.save()

return redirect(project.get_absolute_url())
else:
    building_form = BuildingForm()
    operational_hours_form = OperationScheduleForm()

ctx = {
    'form': building_form,
    'operational_hours_form': operational_hours_form,
    'project': project,
}

return render(request, 'buildings/create.html', ctx)

```

### View για την εύρεση του project και του κτιρίου

```

def get_project_building(request, project_id, building_id):
    """
    A util method to fetch the project/building entries for a request by their IDs
    Returns (project, building, None) if IDs are valid
    Returns (None, None, HttpResponse) if some error occurred
    """
    try:
        if request.user.is_superuser:
            project = Project.objects.get(pk=project_id)
        else:
            project = Project.objects.get(pk=project_id, user_id=request.user.pk)

        except Project.DoesNotExist:
            return None, None, HttpResponse('Project with id %s does not exist' %
            str(project_id), status=404)

        try:
            building = Building.objects.get(pk=building_id, project_id=project_id)
        except Building.DoesNotExist:
            return None, None, HttpResponse('Building with id %s does not exist' %
            str(building_id), status=404)

        return project, building, None

```

### View για την Εγκατάσταση δικτύου Φυσικού Αερίου

```

def gas_system_installation(request, project_id, building_id):
    return building_property_view(request, project_id, building_id,
        model=GasSystemInstallation,
        form=GasSystemInstallationForm,
        template='features/gas_system_installation/form.html')

```

### Template για την Εγκατάσταση δικτύου Φυσικού Αερίου

```

{% extends 'default.html' %}

{% block title %}Εγκατάσταση δικτύου Φυσικού Αερίου{% endblock %}

{% block content %}
  <h1>Εγκατάσταση δικτύου Φυσικού Αερίου</h1>
  <p>Εισάγετε τα στοιχεία που αφορούν στην εγκατάσταση δικτύου Φυσικού Αερίου:</p>

  <form action="{% url 'gas-system-installation' project_id=building.project.pk
building_id=building.pk %}" method="POST">{% csrf_token %}
    {% include 'util/form.html' %}

    <div class="box-footer">
      {% if building.project.user == request.user %}
        <button type="submit" class="btn btn-primary"><i class="fa fa-save"></i>
Αποθήκευση</button>
      {% endif %}

      <a href="{% url 'building-details' project_id=building.project.pk
pk=building.pk %}?tab=scenarios" class="btn btn-default{% if building.project.user
== request.user %} pull-right{% endif %}">Πίσω στο κτίριο</a>
    </div>
  </form>
{% endblock %}

{% block scripts %}
  <script>
    /* Partial costs */
    Autofill.multiply(['#id_boiler_replacement_quantity',
'#id_boiler_replacement_unit_cost', '#id_boiler_replacement_total_cost'];
    Autofill.multiply(['#id_galvanized_tube_quantity', '#id_galvanized_tube_unit_cost',
'#id_galvanized_tube_total_cost'];
    Autofill.multiply(['#id_leak_detection_system_quantity',
'#id_leak_detection_system_unit_cost', '#id_leak_detection_system_total_cost'];
    Autofill.multiply(['#id_boiler_configuration_quantity',
'#id_boiler_configuration_unit_cost', '#id_boiler_configuration_total_cost'];
    /* Total cost */
    Autofill.add(['#id_boiler_replacement_total_cost', '#id_galvanized_tube_total_cost',
'#id_leak_detection_system_total_cost', '#id_boiler_configuration_total_cost'],
'#id_total_cost')
    /* Economic analysis */
    Autofill.addRule(Autofill.roolset.scenarios.economicAnalysis,
      ['#id_total_cost', '#id_economical_benefit', '#id_net_present_value_period',
'#id_operational_costs', '#id_reduction_rate',
      ['#id_net_present_value', '#id_internal_rate_of_return',
'#id_discounted_payback_period']
    );
    /* Warning on negative NPV */
    Conditions.util.addNPVCondition('#id_net_present_value');
  </script>
{% endblock %}

```

### Template για το Σύστημα ψύξης του κτιρίου

```

{% extends 'default.html' %}

{% block title %}Σύστημα ψύξης{% endblock %}

```

```

{% block content %}
  <h1>Σύστημα ψύξης</h1>
  <p>Εισάγετε τα στοιχεία του συστήματος ψύξης του κτιρίου:</p>
  <form action="{% url 'cooling-system' project_id=building.project.pk
building_id=building.pk %}" method="POST">{% csrf_token %}
  {% include 'util/form.html' %}
  {% with form=operational_hours_form collapse=True %}
    {% include 'util/form.html' %}
  {% endwhile %}

  <div class="box-footer">
    {% if building.project.user == request.user %}
      <button type="submit" class="btn-primary"><i class="fa-save"></i>
Αποθήκευση</button>
    {% endif %}
    <a href="{% url 'building-details'
project_id=building.project.pk=building.pk %}?tab=systems" class="btn-default{%
if building.project.user == request.user %} pull-right{% endif %}">Πίσω στο
κτίριο</a>
  </div>
</form>
{% endblock %}

```

### Template για τους ηλιακούς συλλέκτες του κτιρίου

```

{% extends 'default.html' %}
{% block title %}Ηλιακοί Συλλέκτες{% endblock %}
{% block content %}
  <h1>Ηλιακοί Συλλέκτες</h1>
  <p>Εισάγετε τα στοιχεία για τους ηλιακούς συλλέκτες του κτιρίου:</p>
  <form action="{% url 'solar-collectors' project_id=building.project.pk
building_id=building.pk %}" method="POST">{% csrf_token %}
  {% include 'util/form.html' %}
  <div class="box-footer">
    {% if building.project.user == request.user %}
      <button type="submit" class="btn btn-primary"><i class="fa fa-save"></i>
Αποθήκευση</button>
    {% endif %}
    <a href="{% url 'building-details' project_id=building.project.pk
pk=building.pk %}?tab=systems" class="btn btn-default{% if building.project.user
== request.user %} pull-right{% endif %}">Πίσω στο κτίριο</a>
  </div>
</form>
{% endblock %}

```

### Οικονομική Ανάλυση των ΚΠΑ, ΕΒΑ, ΕΠΑ

```

economicAnalysis: {
  name: 'economicAnalysis',

  util: {
    npv: function(discountRate, cashFlow){
      var npv = 0;
      for(var t = 0; t < cashFlow.length; t++) {
        npv += cashFlow[t] / Math.pow((1+ discountRate),t);
      }
      return npv;
    },
  },
},

```

```

irr: function(CArray) {
    var guess = 0;
    var npv;
    var cnt = 0;

    do
    {
        npv = this.npv(guess, CArray);
        if (npv <= 0) {
            break;
        }
        guess += 0.001;
        cnt++;
        // guard
        if (cnt > 10000) {
            return 0
        }
    }
    while(npv >= 0);
    return guess;
}

```

### SCEAF

#### Κατασκευή του μοντέλου διπλής αναπαράστασης της γλωσσολογικής πληροφορίας

```

«2-Tuple» Require: webform; year; user
Ensure: Solutions
1: submissions = webform.load(form=SCEAF, submitted_by=user)
2: if (year = 'all')
3:     submissions = submissions.filter(submission_year=year)
4: end if
5:
6: foreach submission in submissions
7:     ExcelData[N][M] = transform(submissions)
8:     Indicators = []
9:     for i=1 to NumberOfIndicators
10:         Indicators[i] = calculate_from(ExcelData, i)
11:     if (year!='all')
12:         Solutions[submission.building] = Indicators
13:     else
14:         Solutions[year] += Indicators
15:     end if
16: end foreach

```

#### Υπολογισμός των δεικτών του SCEAF

```

Require: submission_values; variables;
Ensure: indicator_values;
1: constants = load_constants(Excel)
2: foreach variable in variables
3:     formula = transformations[variable].formula
4:     value = apply(formula, submission_values, constants)
5:     indicator_values [variable] = value
6: end foreach

```



---

**ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΕΞΕΤΑΣΗΣ**

---

**Του Υποψηφίου Διδάκτορα Μηχανικού Ε.Μ.Π.  
κ. Ηλία Παπασταματίου του Μιλτιάδη**

Η επταμελής Εξεταστική Επιτροπή αποτελείται από τους

- Ι. Ψαρρά, Καθηγητή Ε.Μ.Π.
- Β. Ασημακόπουλο, Καθηγητή Ε.Μ.Π.
- Δ. Ασκούνη, Καθηγητή Ε.Μ.Π.
- Χ. Δούκα, Επικ. Καθηγητή Ε.Μ.Π.
- Α. Φλάμο, Αναπ. Καθηγητή Παν. Πειραιώς
- Γ. Μέντζα, Καθηγητή Ε.Μ.Π.
- Γ. Τσιχριντζή, Καθηγητή Παν. Πειραιώς

που ορίστηκε από τη Γενική Συνέλευση της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. για την εξέταση του παραπάνω υποψηφίου Διδάκτορα, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν.3685/2008, συνήλθε σήμερα, 3 Απριλίου 2018, στην αίθουσα 0.2.2. του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης, στο ισόγειο του παλαιού κτιρίου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Ο υποψήφιος παρουσίασε τη διατριβή με τίτλο: «Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια Έξυπνων Πόλεων με χρήση καινοτόμων διαδικτυακών εργαλείων» στην επταμελή εξεταστική επιτροπή και απάντησε επιτυχώς στις ερωτήσεις της.

Η διατριβή του κ. Η. Παπασταματίου διακρίνεται από επιστημονική πρωτοτυπία, υψηλή ερευνητική στάθμη και πληρότητα κειμένου.

Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υποστήριξης αποφάσεων για την εξοικονόμηση και την διαχείριση ενέργειας στα κτίρια των «Έξυπνων Πόλεων». Η διατριβή έχει ως στόχο να συμβάλλει στην κάλυψη του επιστημονικού «κενού» που εντοπίστηκε σχετικά με την προώθηση των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) και της αξιοποίησης των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την δημιουργία των ενεργειακά βιώσιμων και «Έξυπνων Πόλεων». Με την μεθοδολογική προσέγγιση που προτείνεται στην παρούσα διατριβή, για πρώτη φορά, δίνεται η δυνατότητα στους διαχειριστές των πόλεων να αξιολογήσουν την πόλη σε διάφορους τομείς και στην συνέχεια ανάλογα με τις ανάγκες να εφαρμόσουν κατάλληλες δράσεις ενεργειακής διαχείρισης στα κτίρια των πόλεων τους. Η αξιολόγηση και οι δράσεις ενεργειακής



διαχείρισης που προτείνονται προέρχονται από πρωτότυπα διαδικτυακά εργαλεία που έχει αναπτύξει ο κ. Παπασταματίου.

Η συμβολή της Διδακτορικής Διατριβής συνίσταται στη διατύπωση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας σε επίπεδο πόλεων με την ανάπτυξη και τη χρήση επιμέρους εργαλείων πληροφορικής. Η συμβολή της Διδακτορικής Διατριβής, διακρίνεται σε δυο (2) επίπεδα:

1. Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων για Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας σε κτίρια «Έξυπνων Πόλεων». Σε πρώτο επίπεδο, η διατριβή συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας με στόχο την υποστήριξη των τοπικών και περιφερειακών αρχών προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και των ενεργειακά έξυπνων πόλεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία απευθύνεται στις τοπικές αρχές πόλεων, για να βελτιστοποιηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές τους εγκαταστάσεις τους και να επιτευχθεί σημαντική μείωση των ρυπογόνων εκπομπών.
2. Ανάπτυξη πρωτότυπων διαδικτυακών εργαλείων. Σε δεύτερο επίπεδο, η συμβολή της διατριβής συνίσταται στην ανάπτυξη τριών πρωτότυπων διαδικτυακών εργαλείων που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Ειδικότερα, ο πυλώνας της «Αξιολόγησης» χρησιμοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Αξιολόγησης Ενέργειας για τις Έξυπνες Πόλεις Smart City Energy Assessment Framework tool (e-SCEAF), ενώ ο πυλώνας της «Διαχείρισης» χρησιμοποιεί το διαδικτυακό εργαλείο Thermal Comfort Validator (TCV) και το διαδικτυακό εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (Building Energy Management Tool – BEMAT).

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των αντίστοιχων πληροφοριακών συστημάτων σε τρεις αντιπροσωπευτικούς δήμους στην Ευρώπη (Σαβόνα-Ιταλία, Σαν Κουγκάτ-Ισπανία, Ζάανσταντ-Ολλανδία), έδωσε τη δυνατότητα για την αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που παρέχει. Συγκεκριμένα, τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Η προτεινόμενη μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα για αποτελεσματική αξιολόγηση της πόλης και των κτιρίων της, πριν και μετά την εφαρμογή των δράσεων ενεργειακής διαχείρισης που προτείνονται και παρέχει άμεσο και σαφή καθορισμό όλων των παραμέτρων του προβλήματος και εμπειριστατωμένη ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της αξιολόγησης των εναλλακτικών Σεναρίων Δράσης.
- Η συμβολή των ΣΥΑ για τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας αποδεικνύεται πολύ σημαντική. Συγκεκριμένα, μέσω του ΣΥΑ για την διαχείριση ενέργειας που αφορά στο Σχέδιο Δράσης για την ρύθμιση της θερμοκρασίας και τη χρήση του λογισμικού TCV επιτυγχάνεται μέσος όρος βελτίωσης θερμικής άνεσης των χρηστών κατά 38% και ενεργειακή εξοικονόμηση που κυμαίνεται από 4% έως 6,6% στα περισσότερα κτίρια εκτός από το Θέατρο στο Σαν Κουγκάτ που επιτυγχάνεται ένα πολύ σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας τους χειμερινούς μήνες κατά 21% και τους θερινούς κατά 45%. Επίσης από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας φαίνεται ότι τα πιλοτικά κτίρια βελτίωσαν την απόδοσή τους σε 14 από τους 21

δείκτες του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου αξιολόγησης πόλεων και κτιρίων.

Στο πλαίσιο της ερευνητικής του δραστηριότητας ο Υποψήφιος έχει δημοσιεύσει τρεις (3) εργασίες σε διεθνή έγκριτα επιστημονικά περιοδικά, ένα (1) κεφάλαιο σε επιστημονικό βιβλίο, έξι (6) δημοσιεύσεις σε επιστημονικά συνέδρια, ένα (1) άρθρο σε περιοδικό τεχνικό τύπο και επτά (7) ανακοινώσεις σε διεθνή και εθνικά συνέδρια. Αξιίζει να σημειωθεί ότι ο κ. Παπασταματίου, πέραν της διδακτορικής του διατριβής, έχει να επιδείξει αξιόλογο επιστημονικό έργο και πλήρη γνώση των επιστημονικών περιοχών στις οποίες εργάστηκε.

Η επταμελής Εξεταστική Επιτροπή συμφωνεί με τη συνημμένη Εισηγητική Έκθεση της Συμβουλευτικής Επιτροπής και ψηφίζει ομόφωνα το σκεπτικό της Έκθεσης να γίνει δεκτή η Διδακτορική Διατριβή του Υποψηφίου και να ανακηρυχθεί ο κ. Η. Παπασταματίου Διδάκτορας Μηχανικός Ε.Μ.Π., διότι η Διατριβή του είναι πρωτότυπη και συμβάλει στην επιστήμη. Επίσης, η Εξεταστική Επιτροπή βαθμολογεί με άριστα την παρούσα Διδακτορική Διατριβή λόγω της σημασίας της, της συμβολής της στην επιστήμη και της υψηλής της ποιότητας.

Συμπερασματικά, η Εξεταστική Επιτροπή αποφαινεται ομόφωνα ότι ο κ. Η. Παπασταματίου εκπληρώνει όλες τις προϋποθέσεις για τη δίκαιη ανακήρυξή του σε Διδάκτορα Μηχανικό Ε.Μ.Π. από τη Γενική Συνέλευση της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Η Επιτροπή εκφράζει τα συγχαρητήρια της στον υποψήφιο για το σύνολο της ερευνητικής του εργασίας, την εξαιρετική επίδοσή του και τις ιδιαίτερες ερευνητικές ικανότητές του. Εκφράζει πάραυτα την ευχή της ο υποψήφιος να συνεχίσει το έργο του στον ακαδημαϊκό χώρο.



**Ι. Ψαρράς,**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



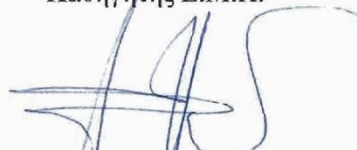
**Β. Ασημακόπουλος,**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



**Δ. Ασκούνης,**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



**Χ. Δούκας,**  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.



**Α. Φλάμος,**  
Αναπ. Καθηγητής Παν.  
Πειραιώς



**Γ. Μέντζας,**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



**Γ. Τσιχριντζής,**  
Καθηγητής Παν. Πειραιώς



© 2018 Ilias M. Papastamatiou - Doctor of Philosophy

Decision Support Systems on Energy Management and Energy Efficiency  
for buildings in "Smart Cities" using innovative web-based applications