



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Διαδικτυακή Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης για τη Ρύθμιση
Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΧΡΙΣΤΙΝΑΣ Δ. ΣΚΟΝΔΡΟΓΙΑΝΝΗ

Επιβλέπων: Χρυσόστομος Δούκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διαδικτυακή Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης για τη Ρύθμιση Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΧΡΙΣΤΙΝΑΣ Δ. ΣΚΟΝΔΡΟΓΙΑΝΝΗ

Επιβλέπων: Χρυσόστομος Δούκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Μαρτίου 2016.

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

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

Αθήνα, Μάρτιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

.....
Χριστίνα Σκονδρογιάννη

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

Copyright © Χριστίνα Σκονδρογιάννη, 2016
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.

Περίληψη

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις για την παγκόσμια κοινότητα είναι η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης των πόλεων. Οι πόλεις είναι, λοιπόν, σημαντικοί φορείς για την εκπλήρωση των στόχων ενέργειας και κλίματος της ΕΕ, που θα την μετατρέψουν σε μία οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Στόχοι «20-20-20» για το 2020, Στρατηγική «Ευρώπη 2020», Πλαίσιο Πολιτικής για το Κλίμα και την Ενέργεια για το 2030). Προς αυτή την κατεύθυνση, οι Έξυπνες Πόλεις στρέφονται σταδιακά στη χρήση προηγμένων τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνίας (“ICT”), με στόχο να μειώσουν στο ελάχιστο το οικολογικό τους αποτύπωμα. Οι τοπικές αρχές, δηλαδή οι μικρότερες αυτοδύναμες μονάδες που δύνανται να λάβουν σημαντικές αποφάσεις για την ευημερία των πολιτών τους, είναι οι πρώτες που καλούνται να δραστηριοποιηθούν για τη βέλτιστη διαχείριση των φορτίων των δημοτικών κτιρίων και υποδομών. Μία πολύ σημαντική παράμετρος της ενεργειακής κατανάλωσης σε επίπεδο κτιρίου είναι η θερμική άνεση των ενοίκων, η οποία, για την περίπτωση των δημοτικών κτιρίων, καθορίζεται με βάση τεχνικά πρότυπα (π.χ. “ISO 7730:2005”, “prENrev 15251:2006”).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη και η υλοποίηση ενός σχεδίου δράσης που θα βοηθάει τις τοπικές αρχές στη διαδικασία λήψης βραχυπρόθεσμων αποφάσεων σχετικά με τη ρύθμιση του σημείου θερμοκρασίας σε δημοτικά κτίρια, στοχεύοντας τόσο στη δημιουργία αποδεκτών επιπέδων άνεσης για τους χρήστες του κτιρίου όσο και στην δυναμική επίτευξη μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης. Η λειτουργία του προτεινόμενου Σχεδίου Δράσης βασίζεται στους ακόλουθους δύο «ευφυείς» κανόνες:

- Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης.
- Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης.

Οι παραπάνω κανόνες αναπτύσσονται σε κώδικα ως “PHP” κλάσεις στο πλαίσιο ενός “Symfony application” και τροφοδοτούνται τόσο από δεδομένα πραγματικού χρόνου που προέρχονται από διεπιστημονικές πηγές σε επίπεδο πόλης όσο και από στατικά δεδομένα για το εκάστοτε κτίριο και τα τεχνικά συστήματα. Το συγκεκριμένο Σχέδιο Δράσης παρέχει, λοιπόν, σε ορίζοντα μίας εβδομάδας ημερήσια προτεινόμενα “set-point temperatures”, τα οποία γνωστοποιούνται στις δημοτικές αρχές μέσω ενός “front-end” διαδικτυακού περιβάλλοντος και συνεισφέρουν στην προσπάθειά τους να συμβιβάσουν την άνεση και την ενεργειακή αποδοτικότητα στον τομέα της θέρμανσης/ψύξης.

Λέξεις κλειδιά:

«Έξυπνες» Πόλεις, Δημοτικές Αρχές, Σχέδιο Δράσης, «Ευφυείς» Κανόνες, Θερμική Άνεση, Υποστήριξη στη Λήψη Βραχυπρόθεσμων Αποφάσεων, Διαχείριση του Σημείου Ρύθμισης Εσωτερικής Θερμοκρασίας, Υλοποίηση “PHP”, Διεπιστημονικές Πηγές Δεδομένων

Abstract

One of the major challenges for the world community is the increasing energy demand of cities. Cities are, therefore, important actors in meeting the EU energy and climate targets which will turn it into a low-CO₂ emissions economy (targets “20-20-20” for 2020, Strategy “Europe 2020”, Policy Framework Climate and Energy 2030). To this end, Smart Cities are turning gradually to the use of advanced Information and Communication Technologies (ICT), in order to minimize their ecological footprint. Local authorities, the smallest self contained units which are able to make important decisions for the prosperity of their citizens, are the first to undertake action for the optimal management of loads in municipal buildings and infrastructure. A very important aspect of energy consumption in the building level is the thermal comfort of the occupants, which, in the case of municipal buildings is determined based on technical standards (eg ISO 7730: 2005, prENrev 15251: 2006).

The scope of this diploma thesis is to develop and implement an action plan which will help local authorities in short-term decision-making process concerning the regulation of the temperature point in municipal buildings, aiming both at creating acceptable comfort levels for the occupants and- potentially- at reducing the energy consumption. The operation of the proposed Action Plan is based on the following two "intelligent" rules:

- Thermal Comfort Validation.
- Adaptive Comfort Concept.

These rules are developed in code as "PHP" classes under a "Symfony application" and are fed both from real-time data which derive from multidisciplinary sources at the city level and from static data of the building and its technical systems. As a result, this Action Plan provides over a period of one week daily proposed set-point temperatures, which are communicated to the municipal authorities through a "front-end" web environment and contribute to their efforts to reconcile comfort and energy efficiency in the domain of heating/cooling.

Keywords:

“Smart” Cities, Municipal Authorities, Action Plan, "Intelligent" Rules, Thermal Comfort, Support in short term Decision-Making, Management of Internal Set-Point Temperature, PHP Implementation, Multidisciplinary Data Sources

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Με την ευκαιρία που μου δίνεται μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Χρυσόστομο Δούκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής και την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Στη συνέχεια, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Διδάκτορα Βαγγέλη Μαρινάκη και στην Υποψήφια Διδάκτορα Φαίδρα Δέδε, για τη συνεχή καθοδήγηση και την αδιάκοπη υποστήριξή τους κατά τη σχεδίαση, ανάπτυξη και υλοποίηση του ενεργειακού σχεδίου δράσης και τη συγγραφή του παρόντος τόμου. Η ευστοχία των υποδείξεων και των συμβουλών τους υπήρξε καταλυτικής σημασίας για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για όλη την αγάπη, την υποστήριξη και την υπομονή που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και όλους εκείνους που συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην επιτυχή ολοκλήρωση της προσπάθειάς μου.

Χριστίνα Σκονδρογιάννη,

Αθήνα, Μάρτιος 2016

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	13
1.1 «Έξυπνες» Πόλεις	15
1.1.1 Ορισμός «Έξυπνης» Πόλης	16
1.1.2 Χαρακτηριστικά «Έξυπνης» Πόλης.....	17
1.1.3 Πλατφόρμες και Τεχνολογίες.....	18
1.1.4 Ρόλος της «Έξυπνης» Πόλης στο Ενεργειακό Ζήτημα	19
1.1.5 Ρόλος Τοπικής Αυτοδιοίκησης.....	21
1.1.6 Κτιριακός Τομέας	22
1.1.7 Ευρωπαϊκό Έργο “OPTIMUS”	23
1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής	25
1.3 Φάσεις Υλοποίησης	26
1.4 Οργάνωση Τόμου	27
Κεφάλαιο 2: Ενοποίηση και Επεξεργασία Δεδομένων από Διεπιστημονικές Πηγές	29
2.1 Γενική Αρχιτεκτονική του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.....	31
2.2 Διαδικασία Ενοποίησης Ετερογενών Δεδομένων	36
2.3 Σχεδίαση και Αρχιτεκτονική του Συστήματος Πληροφορίας.....	44
Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο Σχεδίου Δράσης	55
3.1 Ρόλος Συστημάτων Θέρμανσης/Ψύξης στην Ενεργειακή Αποδοτικότητα	57
3.2 Θερμική Άνεση	65
3.2.1 Βασικοί Παράγοντες	66
3.2.2 Μοντέλα	73
Κεφάλαιο 4: Ανάπτυξη Κανόνων Επαγωγής	81
4.1 Επαγωγικοί Κανόνες.....	83
4.2 Επαγωγικός Κανόνας 1 ^{ος} - Επικύρωση Θερμικής Άνεσης	84
4.2.1 Θεωρία.....	85
4.2.2 Ανατροφοδότηση Ενοίκων	89
4.2.3 Μεθοδολογία	90
4.3 Επαγωγικός Κανόνας 2 ^{ος} - Προσαρμοστική Αντίληψη Θερμικής Άνεσης.....	100
4.3.1 Θεωρία.....	101

4.3.2 Μεθοδολογία	102
4.4 Ενσωμάτωση Κανόνων Επαγωγής.....	103
Κεφάλαιο 5: Επιλογή Τεχνολογιών.....	105
5.1 Απαιτήσεις Ροής Δεδομένων για Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης.....	107
5.2 Επιλογή Αρχιτεκτονικών Προτύπων	108
5.2.1 Αρχιτεκτονικό Μοντέλο Πελάτη – Εξυπηρετητή	108
5.2.1.1 Βάση Δεδομένων (“Database”).....	108
5.2.1.2 Πλευρά Πελάτη (“Client Side”).....	108
5.2.1.3 Πλευρά Εξυπηρετητή (“Server Side”).....	109
5.2.2 Αρχιτεκτονικό μοντέλο “Model – View – Controller”	109
5.3 Γλώσσες και Πλαίσια Προγραμματισμού	112
5.3.1 Ανάπτυξη Πλευράς Εξυπηρετητή (“Back-End Development”).....	112
5.3.2 Ανάπτυξη Πλευράς Πελάτη (“Front-End Development”).....	113
5.3.3 Επιλογή Πλαισίου “MVC”	114
5.3.3.1 Πλαίσιο “Symfony”	115
5.3.3.2 Στρατηγικοί Λόγοι Επιλογής Πλαισίου “Symfony”	116
5.3.3.3 Τεχνικοί Λόγοι Επιλογής Πλαισίου “Symfony”	117
5.4 Προγραμματισμός σε “Symfony”	119
5.4.1 Ελεγκτές στο “Symfony”	119
5.4.2 Δρομολόγηση στο “Symfony”	120
5.4.3 Όψεις στο “Symfony”	121
5.4.4 Υπηρεσίες στο “Symfony”	122
5.4.5 Οντότητες, Μοντέλα και Διαχείριση Βάσεων Δεδομένων στο “Symfony”	123
5.4.6 Σύνοψη Προγραμματιστικής Δομής στο “Symfony”	127
Κεφάλαιο 6: Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης	129
6.1 Ανάπτυξη με Γνώμονα το Σχεδιασμό (“Design – Driven Development”)	131
6.1.1 Χρήστες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.....	131
6.1.2 Αρχική Σχεδίαση της Διεπιφάνειας Χρήστη.....	131
6.2 Πλατφόρμες, Βιβλιοθήκες & Προγραμματιστικά Εργαλεία	133
6.3 Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης & Διασύνδεση Συστατικών Αρχιτεκτονικής.....	136
6.3.1 Περιγραφή Αρχιτεκτονικής Συστήματος σε Επίπεδο Κλάσεων	136
6.3.2 Περιγραφή Υλοποίησης της Όψης του Σχεδίου Δράσης	159
6.4 Στιγμιότυπα και Καθοδήγηση Πλοήγησης	165

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Προοπτικές	173
7.1 Συμπεράσματα.....	175
7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	178
Βιβλιογραφία	181
Παραρτήματα	185

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 «Έξυπνες» Πόλεις

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) από πάντα έθετε ψηλά στην ατζέντα της τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τη διατήρηση της οικονομικής ανάπτυξης και της ευημερίας. Στο πλαίσιο της στρατηγικής 2020 της Ευρώπης, μία ολοκληρωμένη στρατηγική προσέγγιση έχει υποβληθεί για την επόμενη δεκαετία αναφορικά με την προώθηση της έξυπνης, βιώσιμης και χωρίς αποκλεισμούς ανάπτυξης στην Ευρώπη και την παροχή ενός πλαισίου για την ΕΕ ώστε να εξέλθει ενισχυμένη από την τρέχουσα χρηματοπιστωτική και οικονομική κρίση. Το νέο όραμα 2020 για αειφόρο ανάπτυξη της ΕΕ αποτελεί επίσης μία ευκαιρία για τη στήριξη της παγκόσμιας καταπολέμησης των κλιματικών αλλαγών. Το «Ευρωπαϊκό Πακέτο Κλίματος και Ενέργειας» (“EU Climate and Energy Package”) έχει θέσει πολύ φιλόδοξους στόχους για αειφόρο ανάπτυξη, γνωστούς ως στόχους «20-20-20» για το 2020 [1].

Μία από τις κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο της αειφόρου ενεργειακής ανάπτυξης, είναι η αύξηση των προτύπων ενεργειακής ζήτησης των πόλεων [1]. Εκτιμάται ότι το 80% του ευρωπαϊκού πληθυσμού θα ζει σε αστικές περιοχές περί το 2020 [2]. Στην πραγματικότητα, οι πόλεις είναι ολοένα και περισσότερο «πεινασμένες» για ενέργεια, καταναλώνουν πάνω από τα δύο τρίτα της ενέργειας παγκοσμίως και είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σήμερα, οι πόλεις χαρακτηρίζονται από μία συγκέντρωση ανθρώπων, κοινοτήτων, δραστηριοτήτων και ροών που οδηγούν σε σημαντικές προκλήσεις βιωσιμότητας. Η ενέργεια είναι ένα βασικό συστατικό της ζωής στις πόλεις, καθώς υποστηρίζει το συνολικό φάσμα των οικονομικών δραστηριοτήτων τους, και διασφαλίζει ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας ζωής στους κατοίκους τους [1]. Ωστόσο, το γεγονός ότι τα τρία τέταρτα του ανθρώπινου πληθυσμού ζουν σε χώρες που είναι οικολογικά οφειλέτες, καταναλώνουν περισσότερη βιοχωρητικότητα από αυτήν έχουν εντός των συνόρων τους, αποτελεί απόδειξη των σοβαρών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πόλεων, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι οι πόλεις μπορούν να επηρεάσουν πάνω από το 70% του συνολικού οικολογικού αποτυπώματος [3]. Ως εκ τούτου, οι πόλεις που μειώνουν το οικολογικό τους αποτύπωμα στο ελάχιστο μπορούν να διαδραματίσουν θεμελιώδη ρόλο στις προσπάθειες βιωσιμότητας των χωρών τους [1].

Οι πόλεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι σημαντικοί φορείς για την πραγματοποίηση των βραχυπρόθεσμων, μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων στόχων ενέργειας και κλίματος της ΕΕ που θα τη μετατρέψουν σε μία οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε χρονικό ορίζοντα μέχρι το 2050 [4]. Συνεπώς, αναμένεται να διαδραματίσουν κεντρικό ρόλο στην εφαρμογή της στρατηγικής 2020 της Ευρώπης και των εμβληματικών πρωτοβουλιών της, όπως και στην αντιμετώπιση των κλιματικών και ενεργειακών προκλήσεων χρησιμοποιώντας τεχνολογικά καινοτόμες προσεγγίσεις [1].

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αστικές αρχές αντιπροσωπεύουν την πλησιέστερη προς τον πολίτη μορφή διοίκησης, αυτές καλούνται να δρομολογήσουν σχετικές δράσεις προς την κατεύθυνση των ενεργειακά αποδοτικών οικισμών. Πράγματι, πολλές από τις δράσεις που απαιτούνται για την αντιμετώπιση της διατάραξης του κλίματος εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής των αρμοδιοτήτων της τοπικής αυτοδιοίκησης, ή δε θα ήταν εφικτές χωρίς την πολιτική τους υποστήριξη. Για να συνεισφέρουν στην επίλυση αυτών των προβλημάτων, οι πόλεις στρέφονται σε προηγμένες τεχνολογίες για να γίνουν «Έξυπνες» Πόλεις [1].

Κατά τη διαδικασία της οικοδόμησης της μελλοντικής «Έξυπνης» Πόλης, οι υποδομές Τεχνολογίας της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (“ICT”) θα αποτελέσουν βασικό καταλύτη [1]. Μία «έξυπνη» πόλη χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες για να ενισχύσει την ποιότητα, την επίδοση και τη διαδραστικότητα των αστικών υπηρεσιών, να μειώσει τα κόστη και την κατανάλωση πόρων και να βελτιώσει την επικοινωνία μεταξύ πολιτών και διακυβέρνησης. Οι τομείς στους οποίους έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες «έξυπνης» πόλης περιλαμβάνουν υπηρεσίες διακυβέρνησης, διαχείριση μεταφορών και κυκλοφορίας, ενέργεια, υγειονομική περίθαλψη, νερό και σπατάλη. Ως εκ τούτου, μία «έξυπνη» πόλη μπορεί να είναι προετοιμασμένη ώστε να αποκρίνεται σε προκλήσεις σε πραγματικό χρόνο αντί να έχει μία απλή «συναλλακτική» σχέση με τους πολίτες της [5].

Σημαντικές τεχνολογικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές αλλαγές έχουν δημιουργήσει ενδιαφέρον για «έξυπνες» πόλεις, όπως είναι η κλιματική αλλαγή, η οικονομική αναδιοργάνωση, η τάση προς το διαδικτυακό λιανικό εμπόριο, οι ηλικιακοί πληθυσμοί, και οι πιέσεις στα δημόσια οικονομικά. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει αφιερώσει συνεχείς προσπάθειες για τη χάραξη μίας στρατηγικής που θα αποσκοπεί στην επίτευξη «έξυπνης» αστικής ανάπτυξης για τις μητροπολιτικές πόλεις-περιφέρειές της και έχει αναπτύξει μία σειρά από προγράμματα στο πλαίσιο της «Ψηφιακής Ατζέντας της Ευρώπης». Το 2010 έδωσε έμφαση στην ενίσχυση της καινοτομίας και των επενδύσεων στον τομέα των υπηρεσιών “ICT” με στόχο τη βελτίωση των δημόσιων υπηρεσιών και της ποιότητας ζωής. Εκτιμάται ότι η παγκόσμια αγορά για έξυπνες αστικές υπηρεσίες θα είναι 400 δισεκατομμύρια δολάρια ανά έτος περί το 2020. Παραδείγματα τεχνολογιών και προγραμμάτων «Έξυπνων» Πόλεων έχουν υλοποιηθεί στις πόλεις Σαουθάμπτον, Άμστερνταμ, Βαρκελώνη και Στοκχόλμη [5].

1.1.1 Ορισμός «Έξυπνης» Πόλης

Εξαιτίας του μεγάλου εύρους τεχνολογιών που έχουν εφαρμοστεί στο πλαίσιο της «έξυπνης» πόλης, είναι δύσκολο να αποσταχθεί για αυτήν την έννοια ένας ακριβής ορισμός. Οι Deakin και Al Wear απαριθμούν τέσσερις παράγοντες που συμβάλλουν στον καθορισμό μίας «έξυπνης» πόλης:

1. Η εφαρμογή ενός ευρέος φάσματος ηλεκτρονικών και ψηφιακών τεχνολογιών σε κοινότητες και πόλεις.
2. Η χρήση των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας για τη μετατροπή της ζωής και του εργασιακού περιβάλλοντος εντός της περιοχής.
3. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στα συστήματα διακυβέρνησης.
4. Η εδαφική διάσταση που φέρνει τις τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνίας και τους ανθρώπους μαζί για την ενίσχυση της καινοτομίας και της γνώσης που προσφέρουν.

Ο Deakin ορίζει την «έξυπνη» πόλη ως αυτήν που χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνίας για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της αγοράς (στους πολίτες της πόλης), και υποστηρίζει ότι η συμμετοχή της κοινότητας στη διαδικασία είναι απαραίτητη για μία «έξυπνη» πόλη. Μία «έξυπνη» πόλη θα είναι, επομένως, μία πόλη που όχι μόνο διαθέτει την τεχνολογία Πληροφορίας και Επικοινωνίας σε συγκεκριμένους τομείς, αλλά που την έχει εφαρμόσει επιπλέον με τρόπο που να επηρεάζει την τοπική κοινωνία [5].

Εναλλακτικοί ορισμοί αναφέρουν:

- Caragliu και Nijkamp 2009: «Μία πόλη μπορεί να οριστεί ως «έξυπνη», όταν οι επενδύσεις σε ανθρώπινο και κοινωνικό κεφάλαιο και σε παραδοσιακές (μεταφορές) και σύγχρονες (“ICT”) υποδομές επικοινωνίας παρέχουν βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη και μία υψηλή ποιότητα ζωής, με μία συνετή διαχείριση φυσικών πόρων, μέσω συμμετοχικής δράσης και δέσμευσης».
- Frost & Sullivan 2014: «Εντοπίστηκαν οκτώ βασικές πτυχές που καθορίζουν μία «έξυπνη» πόλη: έξυπνη διακυβέρνηση, έξυπνη ενέργεια, έξυπνο κτίριο, έξυπνη κινητικότητα, έξυπνη υποδομή, έξυπνη τεχνολογία, έξυπνη υγειονομική περίθαλψη και έξυπνος πολίτης».
- Υπουργείο Επιχειρήσεων, Καινοτομίας και Δεξιοτήτων, Ηνωμένο Βασίλειο 2013: «Η έννοια δεν είναι στατική, δεν υπάρχει απόλυτος ορισμός της έξυπνης πόλης, δεν υπάρχει καταληκτικό σημείο, είναι μάλλον μία διαδικασία, ή σειρά πράξεων, με την οποία οι πόλεις μπορούν να γίνουν πιο «βιώσιμες» και ελαστικές, και, ως εκ τούτου, να ανταποκριθούν πιο γρήγορα στις νέες προκλήσεις» [5].

1.1.2 Χαρακτηριστικά «Έξυπνης» Πόλης

Μία «έξυπνη» πόλη (επίσης κοινότητα, συγκρότημα επιχειρήσεων, αστική πολεοδομία ή περιοχή) χρησιμοποιεί τεχνολογίες της πληροφορίας ώστε:

1. Να εξασφαλιστεί η πιο αποδοτική χρήση των φυσικών υποδομών (δρόμων, δομημένου περιβάλλοντος και άλλων υλικών περιουσιακών στοιχείων), μέσω τεχνητής νοημοσύνης και μεθόδων ανάλυσης δεδομένων, για να υποστηρίξει μία ισχυρή οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη.
2. Να συνεργαστεί αποτελεσματικά με τους πολίτες της στην τοπική διακυβέρνηση και στη λήψη αποφάσεων με χρήση των ανοικτών διαδικασιών καινοτομίας και ηλεκτρονικής συμμετοχής, βελτιώνοντας τη συλλογική νοημοσύνη των θεσμών της πόλης, μέσω της Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης, με έμφαση να δίνεται στη συμμετοχή των πολιτών και στο συνεργατικό σχεδιασμό.
3. Να «μάθει», να προσαρμοστεί, να καινοτομήσει και, ως εκ τούτου, να ανταποκριθεί πιο αποτελεσματικά και έγκαιρα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες με τη βελτίωση της νοημοσύνης της πόλης.

Η νοημοσύνη των πόλεων έγκειται στον ολοένα και πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών δικτύων (νεύρα), της πανταχού ενσωματωμένης ευφυΐας (εγκέφαλοι), των αισθητήρων και των ετικετών (αισθητήρια όργανα), και του λογισμικού (γνώση και γνωστικές ικανότητες) [5].

Ορισμένα από τα κύρια πεδία δραστηριοποίησης των πόλεων παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Οικονομικές Καινοτομίες	Αστικές Υποδομές	Διακυβέρνηση
Καινοτομίες σε βιομηχανίες, συγκροτήματα, συνοικίες πόλης	Μεταφορές	Υπηρεσίες διαχείρισης στον πολίτη
Γνώση του εργατικού δυναμικού: Εκπαίδευση και απασχόληση	Ενέργεια/Βοηθητικές εφαρμογές	Συμμετοχική και άμεση δημοκρατία
Δημιουργία εταιρειών έντασης γνώσεων	Προστασία του περιβάλλοντος/Ασφάλεια	Υπηρεσίες στον πολίτη: Ποιότητα ζωής

Πίνακας 1.1: Τα πεδία δραστηριότητας των «έξυπνων» πόλεων [5]

1.1.3 Πλατφόρμες και Τεχνολογίες

Η άνοδος των νέων τεχνολογιών στο Διαδίκτυο, που προωθούν “cloud-based” υπηρεσίες, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (“IoT”), τις διεπαφές χρήση στον πραγματικό κόσμο, τη χρήση έξυπνων τηλεφώνων και ευφυών μετρητών, τα δίκτυα αισθητήρων και “RFID”, καθώς και την πιο ακριβή επικοινωνία βασισμένη στο Σημαιολογικό Ιστό, ανοίγει νέους τρόπους συλλογικής δράσης και συνεργατικής επίλυσης προβλημάτων.

Οι συνδεδεμένες πλατφόρμες συνεργατικής διαχείρισης δεδομένων αισθητήρων είναι διαδικτυακές υπηρεσίες βάσεων δεδομένων που επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες του αισθητήρα να εγγραφούν και να συνδέσουν τις συσκευές τους για να αποθηκεύσουν τα δεδομένα σε μία βάση δεδομένων και να επιτρέψουν στους προγραμματιστές να συνδεθούν με τη βάση δεδομένων και να οικοδομήσουν τις δικές τους εφαρμογές που βασίζονται σε αυτά τα δεδομένα.

Η πόλη της Σανταντέρ στη Βόρεια Ισπανία έχει 20.000 αισθητήρες που συνδέουν τα κτίρια, τις υποδομές, τις μεταφορές, τα δίκτυα και τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, προσφέρει ένα φυσικό χώρο για πειραματισμό και για επικύρωση των λειτουργιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπως η αλληλεπίδραση και η διαχείριση των πρωτοκόλλων, των τεχνολογιών συσκευής, και οι υπηρεσίες υποστήριξης, όπως η ανακάλυψη, η διαχείριση της ταυτότητας και η ασφάλεια. Στη Σανταντέρ, οι αισθητήρες παρακολουθούν τα επίπεδα της ρύπανσης, του θορύβου, της κυκλοφορίας και της στάθμευσης.

Οι ηλεκτρονικές κάρτες (γνωστές ως «έξυπνες» κάρτες) είναι μία άλλη πλατφόρμα στο πλαίσιο της «έξυπνης» πόλης. Αυτές οι κάρτες έχουν ένα μοναδικό κρυπτογραφημένο αναγνωριστικό που επιτρέπει στον ιδιοκτήτη να συνδεθεί σε μία σειρά υπηρεσιών

διακυβέρνησης (“e-services”) που παρέχονται, χωρίς τη δημιουργία πολλαπλών λογαριασμών. Το μοναδικό αναγνωριστικό επιτρέπει στις κυβερνήσεις να συγκεντρώνουν δεδομένα σχετικά με τους πολίτες και τις προτιμήσεις τους, να βελτιώσουν την παροχή υπηρεσιών και να καθορίζουν τα κοινά συμφέροντα των ομάδων. Η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμοστεί στο Σαουθάμπτον [5].

1.1.4 Ρόλος της «Έξυπνης» Πόλης στο Ενεργειακό Ζήτημα

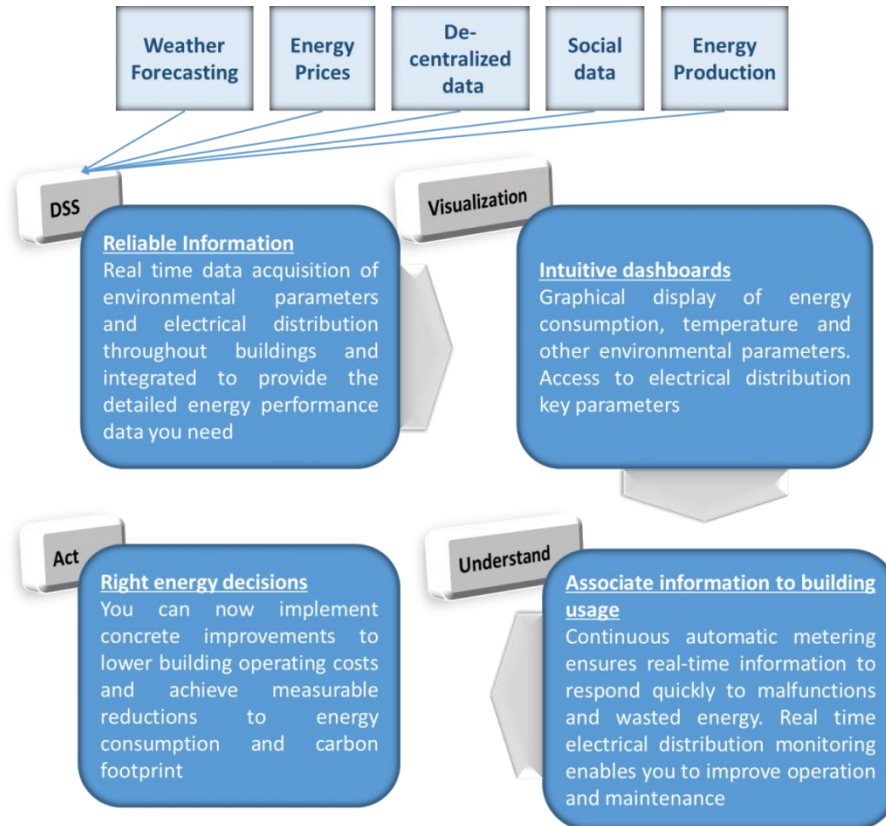
Οι πόλεις τείνουν να γίνουν «έξυπνότερες», με έμφαση να δίνεται στη βελτίωση των ανέσεων και της ευημερίας των κατοίκων [6]. Μεταξύ των πρωταρχικών στόχων των «Έξυπνων» Πόλεων είναι η επίτευξη των ενεργειακών στόχων του 2020, προς την κατεύθυνση πόλεων και οικισμών με ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα και προς την κατεύθυνση της ευρωπαϊκής ανταγωνιστικότητας [1]. Οι «Έξυπνες» Πόλεις διακρίνονται μέσω της χρήσης καινοτόμων λύσεων για την παροχή ενέργειας πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά, σε όρους κόστους, οικολογικού αποτυπώματος και/ή κοινωνικού αντίκτυπου. Σε αυτό το πλαίσιο, μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις είναι η αύξηση των προτύπων ενεργειακής ζήτησης των πόλεων [1]. Ως εκ τούτου, καθίσταται επείγουσα η ανάγκη ανάπτυξης στρατηγικών ικανών να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση, να αξιοποιήσουν «πράσινες» τεχνολογίες και να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Το να κάνουμε τις «Έξυπνες» Πόλεις πραγματικότητα απαιτεί μία έξυπνη και ολοκληρωμένη αξιολόγηση και τη θεώρηση διαφόρων συνόλων δεδομένων, όπως επίσης και σχετικών έξυπνων συστημάτων κατά έναν διαφανή και προσιτό τρόπο. Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση είναι πολύτιμες για την καλύτερη κατανόηση του πώς λειτουργούν οι πόλεις και πώς τα ποικίλα διαφορετικά στοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, όπως τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καινοτόμων τεχνολογιών παραγωγής για την τοπική παραγωγή ενέργειας, καθώς και τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και τα έξυπνα δίκτυα θέρμανσης/ψύξης [6].

Ο επιτυχημένος συνδυασμός έξυπνων διαδικασιών (π.χ. διαχείριση κατανάλωσης πραγματικού χρόνου) και έξυπνων τεχνολογιών (π.χ. έξυπνοι μετρητές, έξυπνες συσκευές ενεργειακής διαχείρισης, κλπ) θα επιτρέψει την ενεργειακή αποδοτικότητα και την επίτευξη εξοικονομήσεων στην περιοχή της πόλης. Πράγματι, τα έξυπνα συστήματα και τα εργαλεία “ICT” έχουν μεγάλη ζήτηση, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας κατά έναν βελτιστοποιημένο, ελεγχόμενο και ασφαλή τρόπο. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό για τις αστικές αρχές να υποστηρίζονται κατάλληλα ενάντια στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν κατά τη διάρκεια της «έξυπνης εξέλιξης» προς την κατεύθυνση ενεργειακά αποδοτικών οικισμών [1].

Για να εξασφαλιστεί η μετάβαση σε «έξυπνες πόλεις», παράλληλα με την εκπλήρωση των στόχων της ΕΕ για ενεργειακή αποδοτικότητα, οι πόλεις κατευθύνονται σταδιακά προς τη χρήση εργαλείων και μεθοδολογιών για την παρακολούθηση και την υποστήριξη των δράσεών τους με στόχο τη βελτιστοποίηση και τη βιωσιμότητα της ενέργειας. Τέτοιου είδους εργαλεία συνήθως αφορούν σε μακροπρόθεσμες δράσεις και στρατηγικές που υιοθετούνται από την πόλη. Σε αυτό το πλαίσιο, πρέπει να παρακολουθούν συστηματικά τις δραστηριότητές τους, τόσο ανά τομέα δραστηριότητας (δηλαδή οικιακό τομέα, τομέα δημοτικών κτιρίων, βιομηχανικό τομέα, μεταφορές, διαχείριση αποβλήτων) όσο και για την πόλη ως σύνολο. Μία ευρεία ποικιλία διαθέσιμων διεπιστημονικών δεδομένων σε

επίπεδο πόλης (π.χ. πρόγνωση του καιρού, κοινωνικά στοιχεία, τιμές ενέργειας, ενεργειακά προφίλ, δεδομένα παραγωγής ενέργειας) θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για να παρέχει επιπλέον υποστήριξη στις αρχές της πόλης αναφορικά με βραχυπρόθεσμα ενεργειακά σχέδια δράσης [6].



Σχήμα 1.1: Χρήση δεδομένων σε επίπεδο πόλης για την υποστήριξη της λήψης ενεργειακών αποφάσεων [14]

Ωστόσο, παρόλο που υπάρχουν πολλά ενεργειακά και άλλα σχετικά σύνολα δεδομένων διαθέσιμα στις πόλεις, δεν υπάρχουν εδραιωμένες μεθοδολογίες και επικυρωμένα εργαλεία για να τα συλλέγουν, ενσωματώνουν και αναλύουν ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν τις τοπικές αρχές στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης. Μία ολοκληρωμένη, διαφανής και περιεκτική προσέγγιση, η οποία υποχρεούται να παρέχει στις πόλεις τα εργαλεία και τις μεθόδους που χρειάζονται για να επιτύχουν μία βραχυπρόθεσμη σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, μέσω της σημαντικής συμβολής προηγμένων εργαλείων “ICT”, εξακολουθεί να αποτελεί μία πρόκληση [1].

Μέσω της εξέτασης εκτεταμένης βιβλιογραφίας και πρακτικών από διεθνείς πηγές, επιστημονικά άρθρα, δημοσιεύσεις, έργα και πρωτοβουλίες, μπορεί να σημειωθεί ότι εντοπίστηκαν μόνο σποραδικές προσπάθειες αξιοποίησης και έξυπνης ενοποίησης των διαθέσιμων διεπιστημονικών πηγών δεδομένων (π.χ. επερχόμενες καιρικές συνθήκες, τιμές της ενέργειας, ενεργειακά προφίλ, εξόρυξη κοινωνικών δεδομένων, συστήματα

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κλπ) για την ενεργειακή βελτιστοποίηση σε επίπεδο πόλης [1].

Παραδείγματα υπάρχουσών τεχνολογιών, πρακτικών και εργαλείων για ενεργειακή χρήση και βελτιστοποίηση είναι: οι τεχνολογίες “smart grid”, τα μοντέλα και οι κανόνες βελτιστοποίησης ενέργειας, η πρόγνωση καιρού, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης για ενεργειακή βελτιστοποίηση, η ανάλυση ζήτησης μέσω από συμπεριφοριστικές επιστήμες και τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (“Decision Support Systems – DSS”) για ενεργειακή διαχείριση.

1.1.5 Ρόλος Τοπικής Αυτοδιοίκησης

Η ΕΕ έχει αναπτύξει ένα κοινό ευρωπαϊκό όραμα βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Οι Ευρωπαϊκές πόλεις πρέπει να είναι μέρη μίας προηγμένης κοινωνικής προόδου και περιβαλλοντικής ανάπτυξης, καθώς και χώροι έλξης και κινητήριες δυνάμεις οικονομικής ανάπτυξης βάσει μίας ολιστικής προσέγγισης στην οποία όλες οι πτυχές της αειφορίας θα λαμβάνονται υπόψη.

Οι τοπικές αρχές, δηλαδή οι Δήμοι, είναι οι μικρότερες αυτοδύναμες μονάδες που είναι σε θέση να λάβουν σημαντικές αποφάσεις για την ευημερία των πολιτών τους. Οι πόλεις, ως καταναλωτές, επιδεικνύουν την επιθυμία τους να εφαρμόσουν τοπικές ενεργειακά βιώσιμες πολιτικές, κυρίως μέσα από τη συμμετοχή τους στο Σύμφωνο των Δημάρχων (ΣτΔ) [1,7].

Το ΣτΔ είναι μία βασική ευρωπαϊκή κίνηση στην οποία συμμετέχουν τοπικές και περιφερειακές αρχές, δεσμευόμενες οικειοθελώς στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην επικράτειά τους. Μέσω της δέσμευσής τους, οι υπογράφωντες το Σύμφωνο επιδιώκουν να ανταποκριθούν και να υπερβούν το στόχο μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά 20% έως το 2020 [8]. Τα ενεργειακά αποδοτικά κτίρια Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα στον τομέα της έρευνας, τα οποία ξεκίνησαν στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Σχεδίου Οικονομικής Ανάκαμψης, αντιπροσωπεύουν το αρχικό και άκρως στρατηγικό βήμα για τη μακροπρόθεσμη στροφή της βιομηχανίας προς τη δημιουργία πιο αποδοτικών περιφερειών και πόλεων, βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα ζωής των Ευρωπαίων πολιτών [1].

Οι ίδιες οι αστικές αρχές, από τη μεριά τους, έχουν λάβει έναν πολύ ενεργό ρόλο και ξεκίνησαν τον Πράσινο Ψηφιακό Χάρτη το 2009. Οι πόλεις, υπογράφοντας το Χάρτη, δεσμεύονται να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και να θέσουν σε εφαρμογή λύσεις με χρήση Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας που θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα σε περιοχές όπως κτίρια, μεταφορές και ενέργεια. Η σύμπραξη “SSC” γεφυρώνει τις περιοχές της ενέργειας και του “ICT” με τον αντικειμενικό στόχο να λειτουργήσει ως καταλύτης της προόδου στους τομείς της παραγωγής, της διανομής και της χρήσης ενέργειας. Οι τεχνολογίες “ICT” είναι άρρηκτα συνδεδεμένες και προσφέρουν νέες διεπιστημονικές ευκαιρίες για τη βελτίωση των υπηρεσιών με ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, πόρων, αερίων του θερμοκηπίου (“GHF”) και άλλων ρυπογόνων εκπομπών. Πλέον, ο στόχος της ΕΕ είναι η μείωση κατά 80% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [1].

Η Ψηφιακή Ατζέντα της Ευρώπης (“Digital Agenda for Europe”) παρέχει ένα πλαίσιο πολιτικής που αποσκοπεί στην επίτευξη βιώσιμων οικονομικών και κοινωνικών οφελών από μία ψηφιακή ενιαία αγορά βασισμένη σε ταχεία και υπερταχεία πρόσβαση στο διαδίκτυο και σε διαλειτουργικές εφαρμογές. Σε αυτό το πλαίσιο, η ΕΕ προωθεί την αποτελεσματική χρήση των “ICTs” για την αντιμετώπιση των κοινωνικών προκλήσεων στον τομέα της ενέργειας, του κλίματος και της αποδοτικότητας των πόρων. Αυτό περιλαμβάνει πρωτοβουλίες σε περιοχές όπως οι βιώσιμες πόλεις, τα ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, τα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα και η διαχείριση της κλιματικής αλλαγής. Η συνεργασία μεταξύ των δημόσιων αρχών και του τομέα “ICT” είναι σημαντική για να επιταχύνει την ευρείας κλίμακας ανάπτυξη λύσεων βασισμένων σε τεχνολογίες επικοινωνίας και πληροφορίας για ευφυή δίκτυα, μετρητές και κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Ο τομέας “ICT” θα πρέπει να παραδώσει εργαλεία μοντελοποίησης, ανάλυσης, παρακολούθησης και απεικόνισης για να αξιολογηθεί η ενεργειακή απόδοση και οι εκπομπές κτιρίων, πόλεων και περιοχών. Για να συνεργάζονται αποδοτικά και με ασφάλεια διαφορετικά δίκτυα, θα χρειαστούν ανοικτές διασυνδέσεις μεταφοράς-διανομής [1].

1.1.6 Κτιριακός Τομέας

Ο κτιριακός τομέας, υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ, παρέχει πολλές οικονομικά συμφέρουσες ευκαιρίες, ενώ συμβάλλει και στην ευημερία των Ευρωπαίων πολιτών [6,9].



Εικόνα 1.1: Κλάσεις ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων [15]

Η ΕΕ έχει δώσει έμφαση στη σημασία της ενεργειακής απόδοσης στα δημόσια κτίρια προωθώντας την οδηγία 2010/31/EU που θέτει τα δημόσια κτίρια σε προτεραιότητα για την επίτευξη των στόχων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το Δεκέμβριο του 2018 [6,10].

Σε παρόμοια κατεύθυνση, σύμφωνα με το «Ευρωπαϊκό Πακέτο Κλίματος και Ενέργειας 20-20-20» (“EU Climate and Energy Package 20-20-20”), οι εξοικονομήσεις ενέργειας θα προκύψουν πιο άμεσα, αν τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης εφαρμόζονται σε επίπεδο κτιρίου. Ως μόνιμοι φορείς που κάνουν μακροχρόνια σχέδια, οι τοπικές αρχές είναι οι πρώτες που θα δραστηριοποιηθούν για τη βέλτιστη διαχείριση των φορτίων των δημοτικών

κτιρίων, ενεργώντας με αυτόν τον τρόπο ως πρότυπα για τους πολίτες και βοηθώντας να μετατραπούν οι πόλεις σε «έξυπνες» ενεργειακά και να συμβάλλουν προς ένα καθαρότερο και πιο βιώσιμο περιβάλλον [1].

Σε αυτό το πλαίσιο, πραγματοποιούνται σημαντικά βήματα στην ενεργειακή αποδοτικότητα των δημοτικών κτιρίων, όπως και στην ενεργειακή παρακολούθηση προκειμένου να υποδειχθούν έξυπνες λύσεις οι οποίες θα αποδώσουν τις επιθυμητές βελτιώσεις με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Η βασική ιδέα είναι λοιπόν η σχεδίαση, ανάπτυξη και παράδοση ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (“Decision Support System – DSS”) ως μία ολοκληρωμένη διαδικτυακή πλατφόρμα που θα βοηθά τις τοπικές αρχές να αναδείξουν τις καλύτερες ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας που είναι διαθέσιμες στα δημόσια κτίρια.

1.1.7 Ευρωπαϊκό Έργο “OPTIMUS”

Η μελέτη διεξήχθη στο πλαίσιο ερευνητικής δραστηριότητας του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του ΕΜΠ και σχετίζεται με το ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο “OPTIMUS”. Το ακρωνύμιο προέρχεται από την αγγλική φράση “OPTIMising the energy Use in cities with smart decision support system”. Το εν λόγω έργο χρηματοδοτείται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα “FP7” (“Framework Programme 7”), ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2013 και θα ολοκληρωθεί το Σεπτέμβριο του 2016. Στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη ενός “web-based” συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων (“OPTIMUS DSS”) που απευθύνεται στις αστικές αρχές, προκειμένου να τις βοηθήσει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων αναφορικά με την αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον τομέα των δημοτικών κτιρίων μίας πόλης [6]. Η αποτελεσματικότητα των εργαλείων και των μεθόδων που αναπτύσσονται στο πλαίσιο του έργου θα επικυρώνεται μέσα από μία φάση ουσιαστικής εφαρμογής στις τρεις συμμετέχουσες πόλεις: “Savona” (Ιταλία), “Sant Cugat del Valles” (Ισπανία) και “Zaanstad” (Ολλανδία) [12]. Επιπλέον, το “OPTIMUS DSS” θα διαθέτει τον αναγκαίο βαθμό γενικότητας ώστε να είναι εύκολα προσαρμόσιμο σε κτίρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά [11].

Το “OPTIMUS DSS” τροφοδοτείται τόσο από δυναμικά, παρατηρούμενα δεδομένα πραγματικού χρόνου, όσο και από στατικά (χαρακτηριστικά των κτιρίων και των τεχνικών συστημάτων). Τα δυναμικά δεδομένα, τα οποία κυρίως αλιεύονται από αισθητήρες, παρέχονται από τις ακόλουθες πέντε μονάδες καταγραφής δεδομένων: πρόγνωση του καιρού, αποκεντρωμένες μονάδες μέσα στο κτίριο, μέσα κοινωνικής δικτύωσης, κόστος ενέργειας και παραγωγή ενέργειας. Τα δεδομένα εισόδου τροφοδοτούν τον πυρήνα του “DSS”, ο οποίος δομείται από μονάδες που επεξεργάζονται τα δεδομένα εισόδου (μονάδες προ-επεξεργασίας) και εφαρμόζουν με βάση αυτά μοντέλα πρόβλεψης (μονάδες πρόβλεψης). Μέσα από το “front-end” περιβάλλον, προβάλλονται στους ενεργειακούς διαχειριστές ως κύρια αποτελέσματα οι δείκτες απόδοσης και οι προτεινόμενες δράσεις [11].

Ο κύριος σκοπός του είναι να υποστηρίξει τους διοικητικούς φορείς δήμων και κοινοτήτων και τους ενεργειακούς διαχειριστές των δημοτικών κτιρίων στην προσπάθειά τους να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή χρήση των κτιρίων, εγκαταστάσεων, χώρων, κλπ, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή μίας ευρείας ποικιλίας ενεργειακώς σχετιζόμενων

και άλλων δεδομένων σε επίπεδο πόλης στην επινοήση βραχυπρόθεσμων στρατηγικών (π.χ. σχέδια 1 εβδομάδας), με τη χρήση ανοικτών δεδομένων πραγματικού χρόνου, για την επίτευξη σημαντικής μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης στα επιλεγμένα δημοτικά κτίρια [11].

Τέτοιες βραχυπρόθεσμες αποφάσεις σχετικά με τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης (με όρους προσφοράς και ζήτησης) μπορεί να επηρεάζονται σημαντικά από μία σειρά παραμέτρων, όπως:

- Οι επερχόμενες καιρικές συνθήκες.
- Τα επερχόμενα γεγονότα για την πόλη (π.χ. δημόσιες διακοπές, απεργίες σε δημόσιες μεταφορές, συναυλίες, αθλητικά γεγονότα, κλπ) και η προβλεπόμενη συμμετοχή των πολιτών.
- Πρότυπα και παράμετροι ενεργειακής κατανάλωσης σε κτίρια διαφορετικής χρήσης και πεδίου εφαρμογής (π.χ. νοσοκομεία, σχολεία, στάδια, κλπ).
- Τιμές ενέργειας που παρέχονται από διάφορους παρόχους ενέργειας.
- Επίπεδο και τύπος ενεργειακής παραγωγής από οποιεσδήποτε εγκαταστάσεις ενεργειακής παραγωγής που είναι διαθέσιμες στην πόλη [1].

Το “OPTIMUS” στοχεύει να δημιουργήσει μία προηγμένη πλατφόρμα Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας που θα ενσωματώσει σημασιολογικά διάφορους τύπους ανοικτών δεδομένων από διαφορετικές πηγές για να υποστηρίξει τη δημιουργία καινοτόμων υπηρεσιών ενεργειακής βελτιστοποίησης. Επίσης, αποσκοπεί στο να κατευθύνει τις «Έξυπνες Πόλεις» προς τη βελτιστοποίηση της ενέργειας με το να υπογραμμίζει τις δυνάμεις, τις αδυναμίες και τις ευκαιρίες που ανακύπτουν με δεδομένα την υπάρχουσα ενεργειακή στρατηγική, την περιβαλλοντική πολιτική, τις δημοτικές εγκαταστάσεις και τις σχετικές υποδομές κάθε πόλης. Τα σχετικά δεδομένα θα δημοσιεύονται ώστε να επιτρέπεται σε τρίτους η δημιουργία νέων υπηρεσιών για τους πολίτες και για τις εταιρίες ενεργειακών υπηρεσιών. Ένα άλλο σημαντικό κίνητρο του συγκεκριμένου έργου είναι να παράγει μία προηγμένη και έξυπνη ετοιμοπαράδοτη λύση που απευθύνεται σε κάθε πόλη που έχει ως στόχο να υλοποιήσει σχέδια δράσης αειφόρου ενέργειας (π.χ. στις πόλεις που έχουν υπογράψει την πρωτοβουλία «Σύμφωνο των Δημάρχων») και χρειάζεται να υποστηρίξει και να παρακολουθεί συστηματικά την υλοποίηση αυτών των σχεδίων δράσης [6].

Το “OPTIMUS” συνιστά μία διεπιστημονική προσέγγιση, φέρνοντας μαζί έννοιες και τεχνολογίες από έξυπνες πόλεις, την ενεργειακή βελτιστοποίηση και το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, προκειμένου να καθορίσουν και να παρέχουν τις κατάλληλες υπηρεσίες για ένα νέο εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού που θα απευθύνεται στις αστικές αρχές. Το σύστημα θα λειτουργεί με δεδομένα που λαμβάνονται από πολλούς τομείς (κατανάλωση, παραγωγή), πηγές (πάροχοι ενέργειας, εταιρίες ενεργειακών υπηρεσιών, αισθητήρες κτιρίου), τύπους (καιρικές συνθήκες, ενεργειακά προφίλ) και χρήστες (ενεργειακοί σύμβουλοι, τεχνικές υπηρεσίες, φορείς χάραξης πολιτικής) [12].

Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σήμερα δεν υπάρχει σύστημα όπως το “OPTIMUS” και η πραγματοποίησή του θα έχει έναν αντίκτυπο στο επίπεδο μίας πόλης. Η πρωτότυπη και πρωτοποριακή προσέγγισή του υλοποιείται με τη χρήση “state-of-the-art” τεχνολογιών και με την ανάπτυξη των κατάλληλων έξυπνων εργαλείων. Το “OPTIMUS” θα παρέχει νέα και καινοτόμα μονοπάτια στην αντιμετώπιση των κλιματικών και ενεργειακών προκλήσεων,

ενσωματώνοντας νέες μεθοδολογικές προσεγγίσεις και τεχνολογίες που κάνουν το “OPTIMUS” πρωτοπόρο σε τρεις κύριες διαστάσεις:

1. Διεπισημονικές πηγές δεδομένων.
2. Σημαιολογική μοντελοποίηση δεδομένων.
3. Ενοποίηση των δεδομένων προς την κατεύθυνση της ενεργειακής βελτιστοποίησης [12].

Τα οφέλη που αναμένεται να προκύψουν είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, ένα τέτοιο σύστημα θα συνεισφέρει στη διαδικασία της λήψης αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο σχετικά με τον βραχυπρόθεσμο ενεργειακό σχεδιασμό, προκειμένου να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, θα αποτελέσει μία εξελιγμένη και έξυπνη “turn-key solution”, με τη χρήση “ICT” τεχνολογιών για υπηρεσίες ενεργειακής βελτιστοποίησης, που απευθύνεται σε οποιαδήποτε πόλη έχει ως αποστολή να υλοποιήσει βιώσιμα ενεργειακά σχέδια δράσης. Τέλος, υποστηρίζει τη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για τη διεξαγωγή προηγμένης έρευνας πάνω στο θέμα της υιοθέτησης Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας για βιώσιμη και «έξυπνη» ανάπτυξη και ποιότητα ζωής.

1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής

Μία πολύ σημαντική παράμετρος της ενεργειακής κατανάλωσης σε δημοτικά κτίρια είναι η θερμική άνεση των ενοίκων. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία σε ένα κτίριο δεν μπορεί να ρυθμίζεται αυθαίρετα σε οποιαδήποτε τιμή θα μπορούσε να συνεπάγεται την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, καθώς θα επηρέαζε συνακόλουθα τη θερμική άνεση σε πολύ σημαντικό βαθμό. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των δημοτικών κτιρίων που χρησιμοποιούνται ευρέως από το κοινό, οι παράμετροι της θερμικής άνεσης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους καθορίζονται από τεχνικά πρότυπα, όπως το Διεθνές Πρότυπο “ISO 7730:2005” και το “prENrev 15251:2006” [13].

Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να κατασκευάσουμε ένα σχέδιο δράσης που θα βοηθάει τις τοπικές αρχές να λάβουν βραχυπρόθεσμες αποφάσεις αναφορικά με τη ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε δημοτικά κτίρια, στοχεύοντας τόσο στη δημιουργία αποδεκτών επιπέδων άνεσης για τους χρήστες του κτιρίου όσο και στην δυνητική επίτευξη μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης, οδηγώντας σε ενεργειακές και οικονομικές εξοικονομήσεις.

Το μεθοδολογικό έρεισμα του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης έγκειται σε δύο επαγωγικούς κανόνες (“inference rules”), οι οποίοι βασίζονται σε διαφορετικά θεωρητικά υπόβαθρα. Ο μεν πρώτος κανόνας στηρίζεται στην Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης από τους χρήστες σύμφωνα με τη θεωρία “PMV”. Ο δε δεύτερος κανόνας προέρχεται από τη θεωρία της Προσαρμοστικής Αντίληψης της Άνεσης.

Οι επαγωγικοί κανόνες τροφοδοτούνται από δεδομένα πραγματικού χρόνου (π.χ. ανατροφοδότηση των ενοίκων των κτιρίων ή δεδομένα προερχόμενα από αισθητήρες μέσα στα κτίρια), από προβλεπόμενα δεδομένα που προκύπτουν από την έξοδο μοντέλων

πρόβλεψης (π.χ. η προβλεπόμενη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου), αλλά και από στατικά δεδομένα, όπως είναι ο χωρισμός του εκάστοτε κτιρίου σε ζώνες με βάση τα τεχνικά τους συστήματα. Όλα αυτά τα δεδομένα είναι ετερόκλητα και ετερογενή, προέρχονται από διεπιστημονικές πηγές και χρειάζονται ενοποίηση και επεξεργασία τόσο για τη λειτουργία του σχεδίου δράσης όσο και για την κατάρτιση και την επικύρωση των ενεργειακών μοντέλων.

Η συνολική διαδικασία δημοσιεύεται ως διαδικτυακή υπηρεσία. Με αυτόν τον τρόπο, η υπηρεσία επικαλείται από τις “PHP” κλάσεις προκειμένου να παρέχει για κάθε μέρα σε ορίζοντα μίας εβδομάδας ένα προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας.

1.3 Φάσεις Υλοποίησης

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ Οκτωβρίου 2015 και Μαρτίου 2016 και η πορεία αυτής ακολούθησε τις εξής φάσεις:

- *Φάση 1^η* – Βιβλιογραφική αναζήτηση και εκτενής αναζήτηση στο Διαδίκτυο για στοιχεία ενδεικτικά της παρούσας κατάστασης όσον αφορά στην παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης, στις παραμέτρους ρύθμισης των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης σε δημοτικά κτίρια, και στην ανάδειξη των δυνατοτήτων αξιολόγησης του επιπέδου θερμικής άνεσης των ενοίκων. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων ώστε να αναδειχθεί η αναγκαιότητα εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα θέρμανσης/ψύξης, καθώς και σχετικά πρότυπα θερμικής άνεσης που έχουν πιστοποιηθεί από εγκεκριμένους οργανισμούς.
- *Φάση 2^η* – Μελέτη και αντιμετώπιση προβλημάτων που αναφύονταν κατά την ενσωμάτωση και την επεξεργασία δεδομένων από διεπιστημονικές πηγές. Ειδικότερα, αναπτύχθηκαν “scripts” σε γλώσσα προγραμματισμού “Python” που αντλούσαν τα διαθέσιμα δεδομένα ανά πιλοτικό κτίριο από αρχεία μέσω “FTP”, αλλά και από διακομιστή με χρήση “SPARQL queries”, και εφάρμοζαν σε αυτά κατάλληλη μέθοδο ωριαίας συνάθροισης ανάλογα με το είδος και τη συμπεριφορά του κάθε δεδομένου.
- *Φάση 3^η* – Προσδιορισμός των επαγωγικών κανόνων που απαιτούνται για την παραγωγή προτάσεων ρύθμισης θερμοκρασίας σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων. Η διαδικασία των κανόνων επαγωγής είναι ένα κομμάτι της μοντελοποίησης σεναρίου που επιτρέπει την επεξεργασία του σχεδίου δράσης που προτείνεται από το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων.
- *Φάση 4^η* – Ανάπτυξη των επαγωγικών κανόνων ως θεωρητικών μοντέλων στο Excel, προκειμένου να αποκαλυφθούν οι απαιτήσεις σε δεδομένα είτε προβλεπόμενα (μέσω τεχνικών εξόρυξης δεδομένων) είτε πραγματικού χρόνου (μέσω μονάδων καταγραφής δεδομένων).
- *Φάση 5^η* – Επιλογή τεχνολογιών και γλωσσών προγραμματισμού λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες του εργαλείου.
- *Φάση 6^η* – Υλοποίηση των επαγωγικών κανόνων οι οποίοι περιγράφονται τεχνικά ως “PHP” κλάσεις και ενσωματώνονται σε ένα “Symfony application”.
- *Φάση 7^η* – Ενσωμάτωση των δύο κανόνων επαγωγής, ώστε το σχέδιο δράσης να προτείνει στους αποφασίζοντες στα δημοτικά κτίρια για κάθε μέρα σε ορίζοντα μίας

εβδομάδας εκείνο από τα δύο σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας που θα διασφαλίζει την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση.

- *Φάση 8^η* – Δημιουργία “Mock Ups” για το “front-end” περιβάλλον ώστε να καθοριστούν τα καταλληλότερα χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης με το χρήστη και τα δεδομένα που θα πρέπει να προβάλλονται στους ενεργειακούς διαχειριστές.
- *Φάση 9^η* – Υλοποίηση του “front-end” περιβάλλοντος ώστε να προβάλλονται στον ενεργειακό διαχειριστή κάθε συμμετέχοντος κτιρίου οι τελικές προτάσεις του σχεδίου δράσης αναφορικά με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου, αλλά και να του δίνεται η δυνατότητα να δει ξεχωριστά τις προτάσεις καθενός από τους δύο σχετικούς επαγωγικούς κανόνες, το ποιος κανόνας τελικά επιλέχθηκε από το σχέδιο δράσης, καθώς και ορισμένα δεδομένα πραγματικού χρόνου που σχετίζονται με την ανατροφοδότηση των ενοίκων για το επίπεδο της θερμικής τους άνεσης.
- *Φάση 10^η* – Δοκιμαστική εφαρμογή του σχεδίου δράσης στα πιλοτικά κτίρια που συμμετέχουν στο έργο “OPTIMUS”, προκειμένου να γίνει επικύρωση των σχετικών θεωρητικών μοντέλων και της αποτελεσματικότητας του εν λόγω εργαλείου υποστήριξης των τοπικών αρχών στις βραχυπρόθεσμες αποφάσεις ρύθμισης των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης.
- *Φάση 11^η* – Εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων και αναφορά στις προοπτικές εξέλιξης του παρόντος έργου.

1.4 Οργάνωση Τόμου

Αρχικά παρατίθεται μία περίληψη της εργασίας, τόσο στα Ελληνικά όσο και στα Αγγλικά, στην οποία παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια σημεία της. Στη συνέχεια, ακολουθεί ένας σύντομος πρόλογος, καθώς και ο πίνακας περιεχομένων του τόμου. Τέλος, ακολουθεί το κύριο μέρος της εργασίας, που αποτελείται από 7 κεφάλαια:

- **1^ο Κεφάλαιο – Εισαγωγή:**
Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο στο οποίο γίνεται μία ευρεία περίληψη της εργασίας που περιλαμβάνει το σκοπό της, το πλαίσιο πραγματοποίησής της, το αντικείμενό της, καθώς επίσης και τις σχετικές φάσεις υλοποίησης.
- **2^ο Κεφάλαιο – Ενοποίηση και Επεξεργασία Δεδομένων από Διεπιστημονικές Πηγές:**
Στο εν λόγω κεφάλαιο παρουσιάζεται η εσωτερική αρχιτεκτονική του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, με μεγαλύτερη έμφαση στις μονάδες καταγραφής ετερόκλητων δεδομένων, και αναπτύσσονται “Python scripts” για την άντληση από διάφορες πηγές των δεδομένων ανά πιλοτικό κτίριο και για την εφαρμογή σε αυτά κατάλληλης μεθόδου ωριαίας συνάθροισης.
- **3^ο Κεφάλαιο – Θεωρητικό Υπόβαθρο Σχεδίου Δράσης:**
Εδώ παρουσιάζονται οι διαφορετικές θεωρίες και τα σχετικά πρότυπα στα οποία θα στηριχτούν οι κανόνες επαγωγής του εν λόγω σχεδίου δράσης.
- **4^ο Κεφάλαιο – Ανάπτυξη Κανόνων Επαγωγής:**
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα βήματα ανάπτυξης των κανόνων επαγωγής ως μαθηματικών μοντέλων, καθώς και η διαδικασία ενσωμάτωσης αυτών, ώστε τελικά να προτείνεται ένα ημερήσιο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας με κριτήριο την ενεργειακή αποδοτικότητα.

- **5ο Κεφάλαιο – Επιλογή Τεχνολογιών:**

Στο κεφάλαιο (5) παρουσιάζονται τα αρχιτεκτονικά πρότυπα που υιοθετούνται και δικαιολογείται η επιλογή των τεχνολογιών, των γλωσσών προγραμματισμού και των πλαισίων, ενώ ταυτόχρονα αναλύεται η αρχιτεκτονική του επιλεγμένου προγραμματιστικού πλαισίου (“framework”).

- **6ο Κεφάλαιο – Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης:**

Το κεφάλαιο (6) παρουσιάζει την ανάπτυξη σε κώδικα, δηλαδή την υλοποίηση των κανόνων επαγωγής ως “PHP” κλάσεων, τη δημιουργία μοντέλων, τη σχεδίαση της διεπαφής χρήστη, καθώς και τα αντίστοιχα “mock-ups”, και την ενσωμάτωση του συνολικού σχεδίου δράσης σε ένα “Symfony application”. Επιπλέον, παρουσιάζονται στιγμιότυπα απευθείας από την μέχρι τώρα διεπιφάνεια χρήστη του εργαλείου.

- **7ο Κεφάλαιο – Επίλογος:**

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί τον επίλογο της διπλωματικής εργασίας, όπου παρατίθενται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν και παρουσιάζονται οι προοπτικές περαιτέρω βελτιστοποίησης του συγκεκριμένου εργαλείου ενεργειακού σχεδιασμού.

- **Βιβλιογραφία:**

Εδώ παρουσιάζεται η βιβλιογραφία και οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

- **Παραρτήματα:**

Στα παραρτήματα της εργασίας παρατίθενται οι κώδικες σε “Python” που συντάχθηκαν για την άντληση των ετερογενών παρατηρούμενων δεδομένων και την επεξεργασία τους σύμφωνα με κατάλληλη μέθοδο ωριαίας συνάθροισης, με σκοπό την επικύρωση των αναπτυσσόμενων μοντέλων και των αποτελεσμάτων του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.

Κεφάλαιο 2: Ενοποίηση και Επεξεργασία Δεδομένων από Διεπισημονικές Πηγές

Στο παρόν κεφάλαιο, καταρχάς περιγράφουμε τη σχεδίαση της συνολικής αρχιτεκτονικής και τα χαρακτηριστικά του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων του “OPTIMUS”, τον λεπτομερή καθορισμό των πηγών δεδομένων που θα χρησιμοποιούνται, και την ανάπτυξη των αντίστοιχων μονάδων λογισμικού για την καταγραφή δεδομένων και τη μοντελοποίηση. Στη συνέχεια, εστιάζουμε στην ενοποίηση και τη λήψη των δεδομένων που αφορούν στα πιλοτικά κτίρια και προέρχονται από διεπισημονικές πηγές, ενώ τέλος αναφέρουμε τις επιλογές σχεδίασης που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της εν λόγω πλατφόρμας.

2.1 Γενική Αρχιτεκτονική του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων

Όπως αναφέρθηκε στην Εισαγωγή, το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων είναι ένα διαδικτυακό εργαλείο που απευθύνεται στις αστικές αρχές με σκοπό να τις βοηθήσει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, ώστε να ελαχιστοποιήσουν την ενεργειακή χρήση σε δημόσια κτίρια, εγκαταστάσεις, χώρους και να επιτύχουν σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η απόδοση των κτιρίων αξιολογείται μέσω δεικτών απόδοσης και προτείνονται βραχυπρόθεσμες δράσεις τεχνικής διαχείρισης.

Το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων τροφοδοτείται τόσο από δυναμικά (παρατηρούμενα) δεδομένα όσο και από στατικά δεδομένα (χαρακτηριστικά κτιρίου και τεχνικών συστημάτων). Τα δυναμικά δεδομένα, που κυρίως αλιεύονται από αισθητήρες, παρέχονται από τις ακόλουθες πέντε μονάδες καταγραφής δεδομένων: πρόγνωση καιρού, αποκεντρωμένες μονάδες μέσα στο κτίριο, μέσα κοινωνικής δικτύωσης, τιμές ενέργειας και ενεργειακή παραγωγή. Περιλαμβάνουν, λοιπόν, συννοριακές συνθήκες (καιρικά δεδομένα, κοινωνικά δεδομένα, ενεργειακές τιμές και δεδομένα ενεργειακής παραγωγής), ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα και δεδομένα από την τεχνική διαχείριση του κτιρίου (δράσεις που πραγματοποιήθηκαν). Τα δεδομένα εισόδου τροφοδοτούν τον πυρήνα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Το “DSS engine” δομείται από μονάδες που επεξεργάζονται τα δεδομένα εισόδου (μονάδες προ-επεξεργασίας) και εφαρμόζουν με βάση αυτά μοντέλα πρόβλεψης (μονάδες πρόβλεψης). Μέσα από το “front-end” περιβάλλον, το εν λόγω σύστημα προβάλλει ως κύρια αποτελέσματα τους δείκτες απόδοσης και τις προτεινόμενες δράσεις [11].

Πιο συγκεκριμένα, το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων συντίθεται από τις εξής μονάδες:

Μονάδες καταγραφής δεδομένων (“Data capturing modules”):

Αυτές είναι οι μονάδες που καταγράφουν τα δεδομένα από τις πηγές και τα στέλνουν στο σημασιολογικό πλαίσιο. Κάθε μονάδα έχει αναπτυχθεί για να συλλέγει δεδομένα από μία πηγή: πρόγνωση καιρού, αποκεντρωμένα από αισθητήρες, μέσα κοινωνικής δικτύωσης, ενεργειακές τιμές, και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, η μονάδα πρόγνωσης καιρού έχει αναπτυχθεί ως εφαρμογή “Java”, όπως και η μονάδα των ενεργειακών τιμών. Από την άλλη πλευρά, η μονάδα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αναπτυχθεί ως εφαρμογή “Python”.

Σημασιολογικό Πλαίσιο (“Semantic Framework”):

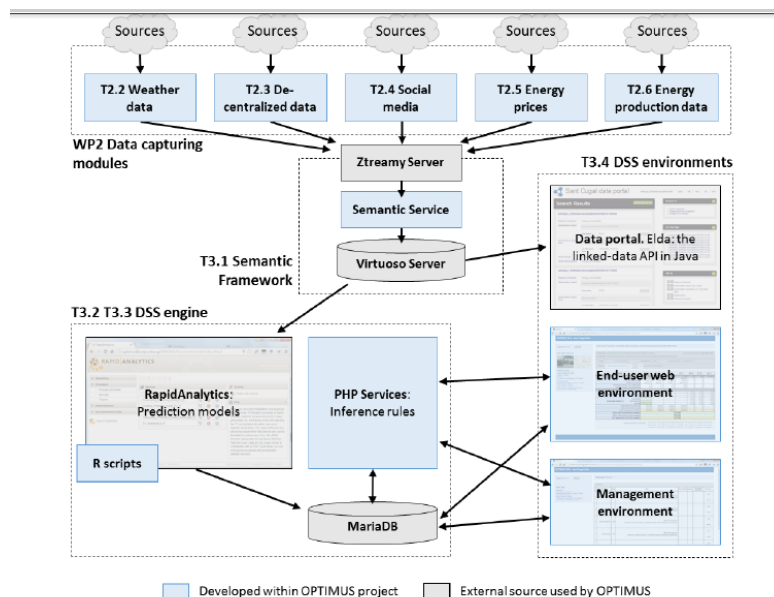
Αποτελείται από την υποδομή επικοινωνίας που βασίζεται σε σημασιολογικές διαδικτυακές τεχνολογίες (“semantic web technologies”), διευκολύνει τη μεταφορά δεδομένων από τις κατανεμημένες πηγές και πραγματοποιεί το επακόλουθο “contextualization” των ακατέργαστων δεδομένων. Το σημασιολογικό πλαίσιο βασίζεται σε ένα μοτίβο επικοινωνίας “publish-and-subscribe” που έχει υλοποιηθεί με ένα “Ztreamy” σύστημα, μία σημασιολογική υπηρεσία που επεξεργάζεται τα δεδομένα με στόχο να τα οριοθετήσει, και ένα “Virtuoso triple-store” ως αποθετήριο δεδομένων. Η σημασιολογική υπηρεσία έχει υλοποιηθεί ως εφαρμογή “Python”.

Πυρήνας του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (“DSS engine”):

Ο στόχος του είναι να προτείνει ένα σχέδιο δράσης στον τελικό χρήστη. Για να το πετύχει αυτό, οι έξυπνοι κανόνες πρέπει να τροφοδοτούνται από προβλεπόμενα δεδομένα, δεδομένα πραγματικού χρόνου και στατικά δεδομένα. Το “DSS engine” συντίθεται από μοντέλα πρόβλεψης- υλοποιημένα ως διαδικασίες “RapidAnalytics”-, επαγωγικούς κανόνες και μία “MariaDB” βάση δεδομένων για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Οι κανόνες επαγωγής έχουν υλοποιηθεί ως μία “Symfony PHP” διαδικτυακή εφαρμογή.

Περιβάλλοντα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων:

Το σύστημα έχει τρία περιβάλλοντα για διαφορετικά είδη χρηστών: ένα “data portal” περιβάλλον για πολίτες και τρίτους ώστε να περιηγούνται στα δεδομένα, περιβάλλοντα τελικού χρήστη για τους ενεργειακούς διαχειριστές των κτιρίων, προκειμένου να οπτικοποιούνται τα παρατηρούμενα δεδομένα και τα σχέδια δράσης, και τα περιβάλλοντα διαχείρισης για τους τεχνικούς χρήστες ώστε να ρυθμίζουν το DSS. Τα “data portals” έχουν υλοποιηθεί με μία “Elda solution”. Τα περιβάλλοντα τελικού χρήστη και διαχείρισης έχουν υλοποιηθεί ως μία διαδικτυακή εφαρμογή “Symfony PHP” [14].



Σχήμα 2.1: Εσωτερική αρχιτεκτονική του “OPTIMUS DSS” [14]

Η διαδικασία είναι η εξής: Το σημασιολογικό πλαίσιο συγκεντρώνει και ενοποιεί τα δεδομένα που προέρχονται από διάφορες πηγές δεδομένων. Έπειτα, ακολουθεί η διαδικασία εξόρυξης δεδομένων για να προσθέσει μεταδεδομένα στα δεδομένα. Η μηχανή επαγωγής λαμβάνει ως είσοδο τα δεδομένα και τα μεταδεδομένα, και με βάση τους κανόνες που περιλαμβάνονται σε αυτήν, προτείνει την καλύτερη εναλλακτική λύση για τον βραχυπρόθεσμο ενεργειακό σχεδιασμό. Το “front-end” περιβάλλον δείχνει τα στοιχεία, τα κριτήρια και τις προτεινόμενες εναλλακτικές λύσεις στη σωστή μορφή στον τελικό χρήστη, δηλαδή στις αρχές της πόλης.

Σχετικά με τη σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, αναφέρονται θέματα τόσο σχετικά με ενέργεια (ο χαρακτηρισμός του κτιρίου και των συστημάτων που εξυπηρετούνται από το σύστημα, η ταξινόμηση των κύριων δεδομένων εξόδου, η ταξινόμηση των κύριων δεδομένων εισόδου, η δόμηση του “DSS engine” και η αλληλοσυσχέτισή του με τις μονάδες καταγραφής δεδομένων) όσο και σχετικά με πληροφορική (ο προσδιορισμός της γενικής “IT” αρχιτεκτονικής που θα ενοποιήσει τις καθορισμένες μονάδες, ο προσδιορισμός των κατευθυντήριων γραμμών για την κωδικοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες και αυτών που παράγονται από κάποια μονάδα καταγραφής και υπολογίζονται, ο προσδιορισμός του μηχανισμού μεταφοράς δεδομένων και συγχρονισμού μεταξύ των μονάδων καταγραφής δεδομένων και του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, ο προσδιορισμός της γενικής εσωτερικής αρχιτεκτονικής της πλατφόρμας του “DSS”, ο καθορισμός της θέσης εγκατάστασης όλων των παρόντων κόμβων στην αρχιτεκτονική) [11].

Από την οπτική γωνία της Τεχνολογίας Πληροφορίας, εκμεταλλευτήκαμε τα πρότυπα υλικού-λογισμικού που βρίσκονται επί του παρόντος σε προηγμένα δίκτυα βασισμένα σε αισθητήρες και σε αρχιτεκτονικές Διαδικτύου των Πραγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, δύο κύριοι πυλώνες έχουν αναγνωριστεί ως οδηγοί για την ολοκλήρωση του συστήματος: η σημασιολογική αναπαράσταση και η επικοινωνία “publish-and-subscribe”.

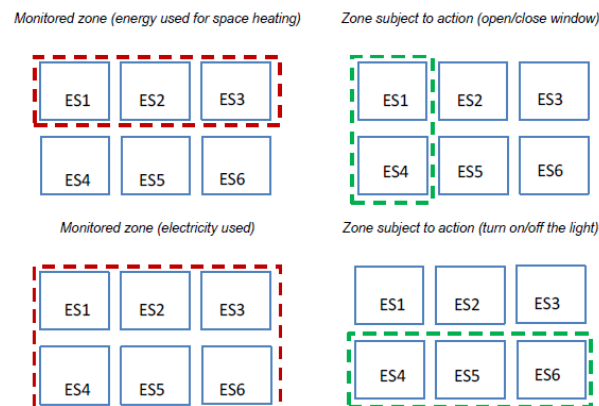
1. Αναφορικά με τον πρώτο πυλώνα, δηλαδή τη σημασιολογική αναπαράσταση, έχει υιοθετηθεί η δυνατότητα γενίκευσης (π.χ. ευκολία στην επαναρύθμιση των διαφορετικών πιλότων, ή ακόμα και στην προσαρμογή σε διαφορετικά έργα) και η διαλειτουργικότητα με υπάρχουσες και μελλοντικές υπηρεσίες. Οι σημασιολογικές τεχνικές χρησιμοποιούνται τόσο για την περιγραφή χαρακτηριστικών των πιλοτικών κτιρίων, όσο και για την κωδικοποίηση δεδομένων πραγματικού χρόνου που ανταλλάσσονται με το σύστημα. Μία κατάλληλη οντολογία, που βασίζεται στο “W3C standard Semantic Sensor Network Ontology (SSN)”, έχει οριστεί και υιοθετείται από όλες τις μονάδες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.
2. Αναφορικά με το δεύτερο πυλώνα, δηλαδή την επικοινωνία “publish-and-subscribe”, επιτρέπει τη γρήγορη και αξιόπιστη ανταλλαγή μηνυμάτων (κυρίως δεδομένα που συλλέγονται από τις μονάδες και αποστέλλονται στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων), και παράλληλα διευκολύνει πολύ την επαναρύθμιση της μορφής των επικοινωνιών, που είναι σημαντική κατά τη διάρκεια της αυξητικής ανάπτυξης του συνολικού συστήματος. Πρόκειται για μία πλατφόρμα “publish-and-subscribe”, που βασίζεται σε ένα “Zstreamy” λογισμικό ανοικτού κώδικα και φιλοξενεί όλα τα δεδομένα που ανταλλάσσονται με το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων.

Όσον αφορά στα ενεργειακώς σχετιζόμενα θέματα που καθορίζουν τη σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, χρειάζεται να ληφθεί υπόψη ότι το σύστημα θα εξυπηρετεί δημόσια κτίρια υπό τη διαχείριση του Δήμου.

Το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων μπορεί να εξυπηρετεί μία αντιπροσωπευτική ζώνη ή χώρο, ένα μεμονωμένο κτίριο ή ακόμα και μία ομάδα κτιρίων. Το κτίριο ή η ομάδα κτιρίων που εξυπηρετούνται από το “DSS” θα πρέπει να περιγράφονται προσεκτικά ξεκινώντας από γενικές πληροφορίες σχετικά με το συνολικό κτίριο (ή σχετικά με την ομάδα κτιρίων), έως λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τον υπό παρακολούθηση χώρο (κτίριο, θερμική ζώνη, δωμάτιο). Τα γενικά χαρακτηριστικά στοχεύουν στον καθορισμό της ενεργειακής βασικής γραμμής (“energy baseline”), στον καθορισμό εφικτών δεδομένων εισόδου του συστήματος, στον προσδιορισμό εφικτών εξόδων του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων και στην επίτευξη δεδομένων εισόδου για μοντέλα πρόβλεψης. Τα λεπτομερή χαρακτηριστικά στοχεύουν στην εφαρμογή μοντέλων πρόβλεψης υψηλής ακριβείας και στην απόκτηση προτεινόμενων δράσεων.

Σημειώνεται ότι η εκτίμηση της βασικής γραμμής ενέργειας του κτιρίου μπορεί να γίνει μέσω ανάλυσης των ενεργειακών λογαριασμών και μετρήσεων, όποτε αυτό είναι δυνατό, και μέσω αξιολόγησης στατιστικών αναλύσεων που πραγματοποιούνται σε ένα κτιριακό δυναμικό παρόμοιο με το συγκεκριμένο κτίριο, σύμφωνα με το κτιριακό κέλυφος, το είδος του κτιρίου, τη χρήση του κτιρίου και το τεχνικό σύστημα του κτιρίου. Η βασική γραμμή ενέργειας είναι μία τιμή αναφοράς της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου πριν την εγκατάσταση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, δηλαδή το σημείο αναφοράς με το οποίο συγκρίνεται η τρέχουσα παρακολουθούμενη ενεργειακή απόδοση μέσω του “DSS” [11].

Σύμφωνα με την τελική έκδοση του Τεχνικού Προτύπου “prEN 15603”, ο υπολογισμός της ενεργειακής επίδοσης μπορεί να απαιτεί το κτίριο να είναι «καταμερισμένο» σύμφωνα με τα διάφορα θέματα υπολογισμού που αναφέρονται σε μεμονωμένα τμήματα του κτιρίου και όχι άμεσα σε ολόκληρο το κτίριο. Ο καταμερισμός του κτιρίου μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια (διαφορετικές ενεργειακές χρήσεις, διαφορετικά τεχνικά υποσυστήματα, κλπ). Η διαδικασία καταμερισμού πρέπει να βασίζεται σε διαφορετικές ομαδοποιήσεις των ίδιων στοιχειωδών χώρων. Οι στοιχειώδεις χώροι πρέπει να επιλέγονται ώστε να μην απαιτείται μικρότερο τμήμα για να περιγράψει την επιθυμητή διαμέριση του θεωρούμενου κτιρίου [11].



Εικόνα 2.1: Διαμέριση κτιρίου σε ζώνες και στοιχειώδεις χώρους [11]

Κάθε ζώνη χρειάζεται να σχετίζεται με μεταβλητές εισόδου (στατικές και δυναμικές) στην ίδια κλίμακα. Οι προβλεπτικοί αλγόριθμοι απαιτούν οι μεταβλητές να έχουν παρόμοιες κλίμακες, αλλιώς οι μεταβλητές εισόδου με μεγαλύτερες κλίμακες θα κυριαρχήσουν στη διαδικασία μοντελοποίησης. Ως εκ τούτου, όλες οι υποψήφιες εισοδοί, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακώς σχετιζόμενων δεδομένων και των στατικών δεδομένων, κανονικοποιούνται.

Σε μία ζώνη κτιρίου μπορεί να συμβούν οι εξής διαφορετικές καταστάσεις:

- Οι μεταβλητές εισόδου να έχουν μία χωρική κλίμακα μικρότερη από την κλίμακα της υπό παρακολούθηση ζώνης, οπότε οι μεταβλητές εισόδου πρέπει να συσσωματωθούν.
- Οι μεταβλητές εισόδου να έχουν μία χωρική κλίμακα μεγαλύτερη από την κλίμακα της υπό παρακολούθηση ζώνης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι μεταβλητές εισόδου πρέπει να διαχωριστούν, οπότε αυτό είναι δυνατό.
- Δεν είναι δυνατό να έχουμε δεδομένα εισόδου σχετιζόμενα με τη συνολική ζώνη υπό παρακολούθηση, οπότε οι μεταβλητές εισόδου ενός συγκεκριμένου στοιχειώδους χώρου μπορούν να επιλεγθούν ως «αντιπροσωπευτικές» για τον συνολικό χώρο.

Η ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης γίνεται για να υπολογιστούν προβλέψεις της συμπεριφοράς ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Τέσσερα μοντέλα πρόβλεψης έχουν αναπτυχθεί για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ενεργειακή κατανάλωση, θερμοκρασία εσωτερικού χώρου και ενεργειακές τιμές. Ένα μοντέλο πρόβλεψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει δεδομένα με βάση κάποιες μεταβλητές εισόδου που μπορούν να επηρεάσουν τη μελλοντική συμπεριφορά των δεδομένων εξόδου. Ανάλογα με τις μεταβλητές των δεδομένων εισόδου και τη σχέση τους με τα δεδομένα εξόδου, το μοντέλο μπορεί να βασίζεται σε μία απλή γραμμική εξίσωση ή σε ένα πιο πολύπλοκο νευρωνικό δίκτυο.

Οι προτεινόμενες δράσεις είναι η κύρια έξοδος του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Ο κύριος στόχος των δράσεων είναι πρωτίστως η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (και, συνεπώς, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα) και δευτερευόντως η μείωση του ενεργειακού κόστους και η αύξηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, εάν απαιτείται ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις των χρηστών.

Οι δράσεις προβάλλονται μία φορά την εβδομάδα μέσα από ένα “front-end” περιβάλλον στον διαχειριστή κτιρίου που μπορεί να επιλέξει είτε να πραγματοποιήσει τη δράση είτε όχι. Ορισμένες δράσεις απευθύνονται μόνο στο διαχειριστή (που είναι σε θέση να διαχειρίζεται απομακρυσμένα το κτίριο μέσω του “DSS”) ενώ άλλες συνδέονται και με τους ενοίκους του κτιρίου που μπορεί να εμπλακούν στη διαδικασία. Άλλες δράσεις απευθύνονται τέλος στη γενική συντήρηση του κτιρίου. Δεδομένου ότι ο κύριος στόχος του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων δεν είναι η ανάλυση για ανίχνευση σφάλματος, δράσεις συντήρησης είναι πολύ γενικές και ασήμαντες.

Σύμφωνα με τις παραπάνω θεωρήσεις, οι προτεινόμενες δράσεις ταξινομούνται στις ακόλουθες κύριες κατηγορίες:

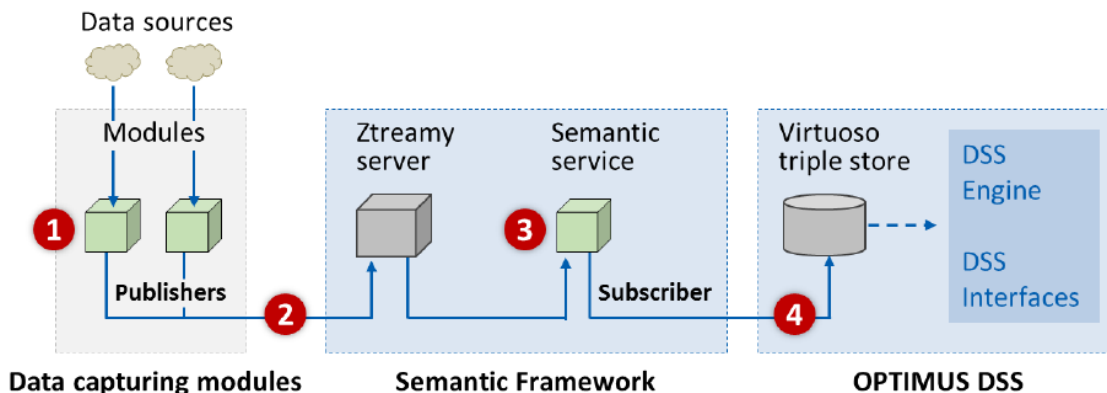
- Διαχείριση των τεχνικών συστημάτων του κτιρίου.
- Συντήρηση των τεχνικών συστημάτων του κτιρίου.
- Βελτιστοποίηση συμπεριφοράς κατάληψης χώρων.

Οι δράσεις είναι στην πράξη χρήσιμες για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μόνο εάν οι κατάλληλοι δράστες (διαχειριστής κτιρίου, ένοικοι κτιρίου, κλπ) εμπλέκονται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων πριν την εγκατάσταση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων και εάν μία διαρκής ανατροφοδότηση δίνεται σε αυτό για να πιστοποιήσει ότι οι δράσεις έχουν διεξαχθεί.

Τα οφέλη που αναμένεται να προκύψουν από το συνολικό σύστημα είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, ένα τέτοιο σύστημα θα αποτελέσει μία εξελιγμένη και έξυπνη “turn-key solution”, με τη χρήση Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας για υπηρεσίες ενεργειακής βελτιστοποίησης, που απευθύνεται σε οποιαδήποτε πόλη έχει ως αποστολή να υλοποιήσει βιώσιμα ενεργειακά σχέδια δράσης. Τέλος, υποστηρίζει τη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για τη διεξαγωγή προηγμένης έρευνας πάνω στο θέμα της υιοθέτησης τέτοιων τεχνολογιών για βιώσιμη και «έξυπνη» ανάπτυξη και ποιότητα ζωής [11].

2.2 Διαδικασία Ενοποίησης Ετερογενών Δεδομένων

Το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων στηρίζεται στη διασύνδεση σε πραγματικό χρόνο των πέντε ετερογενών πηγών δεδομένων που χρησιμοποιούνται για να προτείνουν τα βραχυπρόθεσμα σχέδια δράσης στις δημόσιες αρχές με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης σε δημόσια κτίρια. Συνήθως, αυτά τα δεδομένα προκύπτουν από διάφορες πηγές, όπως οι φυσικοί αισθητήρες που εγκαθίστανται σε κτίρια (π.χ. για την κατανάλωση ενέργειας), εθνικοί οργανισμοί (π.χ. για πρόγνωση καιρού ή για τιμές της ενέργειας) και διαδικτυακές υπηρεσίες (π.χ. μέσα κοινωνικής δικτύωσης). Επιπλέον, τα δεδομένα ανήκουν σε διαφορετικές σφαίρες (π.χ. κλίμα, κόστος ενέργειας) και έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (π.χ. μονάδες μέτρησης, επίπεδο συγκέντρωσης, κωδικοποίηση των δεδομένων). Για την ενσωμάτωση αυτών των ετερογενών δεδομένων, είναι αναγκαία μία ολιστική λύση διαλειτουργικότητας, όπως εκείνη που παρέχεται από σημασιολογικές διαδικτυακές τεχνολογίες (“semantic web technologies”).



Σχήμα 2.2: Διαδικασία σημασιολογικής ενοποίησης δεδομένων [11]

Οι πέντε μονάδες καταγραφής δεδομένων παρέχουν διαφορετικά είδη δεδομένων:

Μονάδα Πρόγνωσης Καιρού:

Η μονάδα πρόγνωσης καιρού παρέχει δεδομένα σχετικά με τις επερχόμενες καιρικές συνθήκες από τη μονάδα ελέγχου κλίματος. Πιο συγκεκριμένα, στηρίζεται σε δεδομένα εισόδου προερχόμενα από μία εξωτερική υπηρεσία πρόγνωσης καιρού και από τους τοπικά εγκατεστημένους μετατροπείς καιρικών παραμέτρων (δηλαδή ανεμόμετρα, αισθητήρες φυσικής ακτινοβολίας, θερμομέτρα, αισθητήρες υγρασίας, κλπ), όπου αυτά είναι διαθέσιμα. Ο πρωταρχικός στόχος της μονάδας είναι να παρέχει στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων ένα αξιόπιστο και κανονικοποιημένο σύνολο δεδομένων σχετικών με την εξέλιξη της πρόγνωσης καιρού. Με χρήση δύο τύπων εισόδων (προβλέψεις και μετρήσεις), θα επικυρώνει επίσης τη συνέπειά τους να κάνουν μία εικασία για την ορθότητα των προβλέψεων καιρικών συνθηκών με βάση πραγματικά στοιχεία μετρήσεων, και/ή μία εικασία βασισμένη σε στερεότυπα της αξιοπιστίας και της σωστής λειτουργίας των οργάνων πεδίου.

Η υπηρεσία πρόγνωσης καιρού παρέχει δεδομένα μία φορά την ημέρα σε ένα αρχείο που περιέχει την πρόβλεψη των αναγκαίων παραμέτρων για μία σταθερή περίοδο (π.χ. για επτά ημέρες) και με ένα σταθερό βήμα χρόνου (π.χ. μία ώρα). Ο τρόπος μετάδοσης δεδομένων (“e-mail”, “ftp client”, κλπ), καθώς και ο τύπος του αρχείου (κείμενο, “xml”, δυαδικό, κλπ) και η μορφή των δεδομένων εξαρτώνται από το φορέα παροχής υπηρεσιών.

Οι παράμετροι πρόβλεψης είναι η θερμοκρασία και η υγρασία εξωτερικού χώρου, η ταχύτητα ανέμου, η κατεύθυνση ανέμου, η πίεση του αέρα, η συνολική ηλιακή ακτινοβολία (σε W/m^2 σε οριζόντιες επιφάνειες), η νεφοκάλυψη και η αυτό-αξιολόγηση της αξιοπιστίας πρόγνωσης – εφόσον είναι διαθέσιμη από την υπηρεσία.

Σε περίπτωση έλλειψης δεδομένου εισόδου, λόγω διακοπής της υπηρεσίας των προβλέψεων ή λόγω της αποτυχίας του συστήματος μετάδοσης δεδομένων, η μονάδα στέλνει μία ειδοποίηση σφάλματος και χρησιμοποιεί, κατά κανόνα, τα τελευταία διαθέσιμα δεδομένα για την είσοδο που λείπει. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνεται η τελευταία πλήρης πρόβλεψη για τα δεδομένα πρόβλεψης με μετάθεση των ημερομηνιών και διατήρηση των σειρών δεδομένων της τελευταίας πλήρους ημέρας. Για τις μετρούμενες παραμέτρους θεωρούμε τα δεδομένα που μετρώνται στην τελευταία διαθέσιμη ημέρα κατά την ίδια ώρα.

Σε περίπτωση καθυστερημένης παράδοσης του αρχείου εισόδου που περιέχει την πρόβλεψη, ένα δεύτερο σύνολο δεδομένων εξόδου θα υποβληθεί από τη μονάδα στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων για να επιτρέψει τη χρήση των σωστών δεδομένων αντί για την προκαθορισμένη διαδικασία.

Μονάδα καταγραφής αποκεντρωμένων δεδομένων:

Η συγκεκριμένη μονάδα βασίζεται σε αισθητήρες που έχουν εγκατασταθεί μέσα στα κτίρια και παρακολουθούν ορισμένες παραμέτρους ενεργειακής και περιβαλλοντικής επίδοσης σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, παρέχει δεδομένα κυρίως σχετιζόμενα με το σύστημα παρακολούθησης που εγκαθίσταται ή πρόκειται να εγκατασταθεί στο κτίριο. Τα δυναμικά δεδομένα ταξινομούνται σε ενεργειακά δεδομένα, περιβαλλοντικά δεδομένα και

δεδομένα κατάληψης χώρων. Αυτά τα δεδομένα αναφέρονται σε μία συγκεκριμένη ζώνη κτιρίου σύμφωνα με τους κανόνες καταμερισμού κτιρίου.

Μονάδα μέσων κοινωνικής δικτύωσης/εξόρυξης:

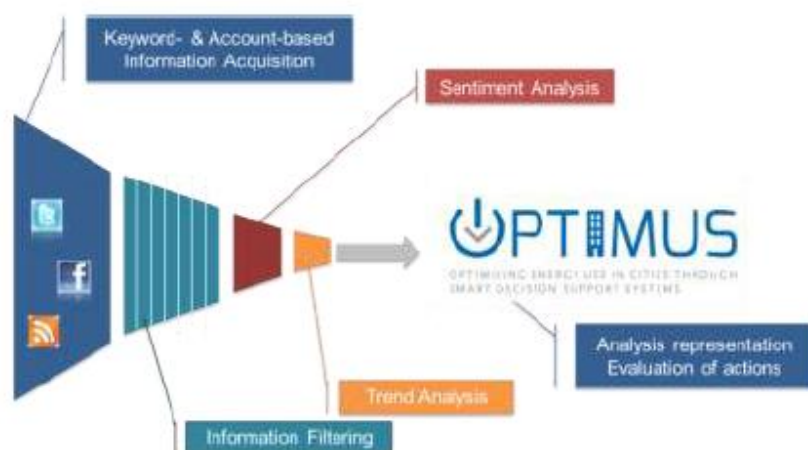
Η εν λόγω μονάδα παρέχει εισοδο από ανθρώπους και τελικούς χρήστες με χρήση μέσων κοινωνικής δικτύωσης, σχετικά με θέματα που αφορούν στη γνώμη των ενοίκων για το επίπεδο άνεσης και για άλλα θέματα που χρειάζονται ανατροφοδότηση χρήστη.

Τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης παρέχουν μία μεγάλη ποσότητα πληροφοριών, στη μορφή αδόμητων δεδομένων. Αυτή η μονάδα καταγραφής δεδομένων υλοποιεί κυρίως την εξαγωγή δεδομένων από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και από σχετικές ιστοσελίδες και ιστολόγια, και μετατρέπει τέτοιο περιεχόμενο παραγόμενο από το χρήστη σε γνώση. Οι δράσεις που υλοποιούνται σε δημοτικά κτίρια αξιολογούνται περαιτέρω με βάση αυτή τη γνώση.

Η συνολική διαδικασία αποτελείται από τέσσερα διαδοχικά βήματα που οδηγούν στη δυνατότητα αξιολόγησης των δράσεων:

1. Οι πληροφορίες αποκτώνται βάσει επιλεγμένων λέξεων-κλειδιών και λογαριασμών
2. Η συλλεχθείσα πληροφορία φιλτράρεται χρησιμοποιώντας καθαρισμό δεδομένων και γίνεται ανώνυμη μέσω της αφαίρεσης ονομάτων και “URLs”
3. Τα μηνύματα υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. μετατροπή σε μικρά γράμματα). Αναλύονται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο μηχανικής μάθησης (“sentimental analysis”), προκειμένου να βγει συμπέρασμα για το εάν είναι θετικά, αρνητικά ή ουδέτερα τα αντίστοιχα συναισθήματα.
4. Οι γενικές τάσεις εξάγονται με την εκτέλεση διαδικασιών όπως η παρακολούθηση της συχνότητας εμφάνισης όρων στα μηνύματα.

Τα αποτελέσματα τροφοδοτούν το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων προκειμένου να αξιολογήσουν την κοινωνική διάσταση των προτεινόμενων δράσεων [11].



Εικόνα 2.2: Διαδικασία για τη μονάδα καταγραφής κοινωνικών δεδομένων [11]

Μονάδα ενεργειακών τιμών

Η μονάδα ενεργειακών τιμών προσφέρει δεδομένα που σχετίζονται με τις ενεργειακές τιμές που είναι διαθέσιμες από τους παραγωγούς ενέργειας. Ο στόχος της συγκεκριμένης μονάδας καταγραφής δεδομένων είναι να παρέχει επαύριον πληροφορίες σχετικά με τις ενεργειακές τιμές της αγοράς. Οι πληροφορίες που συλλέγονται διαβιβάζονται στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων προκειμένου να είναι σε θέση να αξιολογήσει τα οφέλη για τους δήμους, εάν συμμετάσχουν σε αυτές τις αγορές.

Οι πληροφορίες χρηματιστηρίου ισχύος είναι συνήθως διαθέσιμες σε διαδικτυακές πλατφόρμες, αλλά και σε πλατφόρμες βασισμένες σε διαδικτυακές υπηρεσίες ή και σε διακομιστές “FTP”. Η μονάδα ενεργειακών τιμών χρησιμοποιεί τις παραπάνω διαδικτυακές πλατφόρμες για να συλλέξει δυναμικά πληροφορίες ενεργειακών τιμών και να τροφοδοτήσει το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων.

Οι αγορές χρηματιστηρίου ισχύος παραδίδουν τις πληροφορίες στη δική τους μορφή, όχι σε τυποποιημένη. Η μονάδα ενεργειακών τιμών λειτουργεί ως μία πύλη μεταξύ του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων και των εξωτερικών πηγών δεδομένων. Οι τιμές για φυσικό αέριο και για ηλεκτρισμό είναι υποχρεωτικές, αντιθέτως, οι τιμές για ανανεώσιμες πηγές (που δε διαχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις αγορές) ή καύσιμα είναι προαιρετικές. Η παραδοθείσα πληροφορία ομαδοποιείται σε περιόδους μίας ώρας για τις επόμενες 24 ώρες για καθένα από τα στοιχεία δεδομένων.

Μονάδα ενεργειακής παραγωγής

Η μονάδα ενεργειακής παραγωγής σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Μία υπηρεσία δημιουργείται για τη μονάδα ενεργειακής παραγωγής, που αποτελείται από:

- *Κονέκτορες*: Αυτά είναι συστατικά που θα συλλέγουν τα παρατηρούμενα δεδομένα απευθείας από τις εγκαταστάσεις στους πιλότους. Ως εκ τούτου, αυτές οι υποδοχές δε θα αναπαραχθούν σε άλλες πιλοτικές περιπτώσεις. Οι εφαρμογές αυτές για τη συλλογή δεδομένων με τη χρήση απομακρυσμένης διαδικασίας κλήσεων έχουν γενικά στοιχεία που στέλνουν τα δεδομένα στο τμήμα επεξεργασίας δεδομένων.
- *Επεξεργαστής δεδομένων*: Αυτό το συστατικό περιέχει τις μεθόδους που απαιτούνται για τη βασική προ-επεξεργασία των δεδομένων που αποκτήθηκαν από τους διαφορετικούς κονέκτορες. Έτσι, αυτή η εφαρμογή θα αλληλεπιδρά με το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων.

Η μονάδα ενεργειακής παραγωγής σχεδιάζεται και αναπτύσσεται λαμβάνοντας υπόψη ότι μπορεί να είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν νέοι κονέκτορες κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου και αργότερα κατά τη διάρκεια της μελλοντικής εκμετάλλευσης των αποτελεσμάτων. Η μονάδα ρυθμίζεται με τη χρήση ενός αρχείου κειμένου που επιτρέπει μία εύκολη εγκατάσταση σε οποιοδήποτε περιβάλλον ή πλαίσιο [11].

Κάθε πιλοτικό κτίριο διαθέτει ένα συγκεκριμένο σύνολο από μονάδες καταγραφής δεδομένων ανάλογα με το συγκεκριμένο σκοπό του “DSS”. Κάθε μονάδα καταγραφής δεδομένων συλλέγει δεδομένα από διαφορετικές πηγές και τα αποθηκεύει αυτόματα στον πυρήνα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Στη συνέχεια, το “DSS Engine”

επεξεργάζεται τα ακατέργαστα δεδομένα μέσα από διαφορετικές μονάδες προ-επεξεργασίας, προκειμένου να δώσει την ακόλουθη έξοδο:

- *Παρατηρούμενοι δείκτες*: Έξοδος προερχόμενη από την προ-επεξεργασία των καταγεγραμμένων δεδομένων μέσα από χρονική/χωρική επεξεργασία συσσωμάτωσης/συνάθροισης, όπως και με βάση στατιστική επεξεργασία.
- *Προβλεπόμενοι δείκτες “ante-actions”*: Έξοδος προερχόμενη από μονάδες πρόβλεψης, οι οποίες με τη σειρά τους τροφοδοτούνται από μονάδες προ-επεξεργασίας και προβλέπουν την απόδοση του συστήματος εντός μίας εβδομάδας.
- *Προβλεπόμενοι δείκτες “post-actions”*: Έξοδος προερχόμενη από διαδικασία επεξεργασίας μέσω τεχνικών εξόρυξης δεδομένων, συσχέτιση δεδομένων μέσω κανόνων επαγωγής.
- *Προτεινόμενες δράσεις*: Έξοδος προερχόμενη από τη διαδικασία των επαγωγικών κανόνων. Οι δράσεις είναι η κύρια έξοδος του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Είναι συστάσεις που απευθύνονται στην τεχνική διαχείριση του κτιρίου που έχουν μία επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση, στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, στα ενεργειακά κόστη και στην ποιότητα περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου (“IEQ – Internal Environment Quality”).

Επισημαίνεται ότι οι μονάδες καταγραφής δεδομένων τροφοδοτούν τον πυρήνα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων με ακατέργαστα δεδομένα. Κάθε ακατέργαστο δεδομένο πρέπει να ακολουθείται από ένα σύνολο ιδιοτήτων ως ακολούθως:

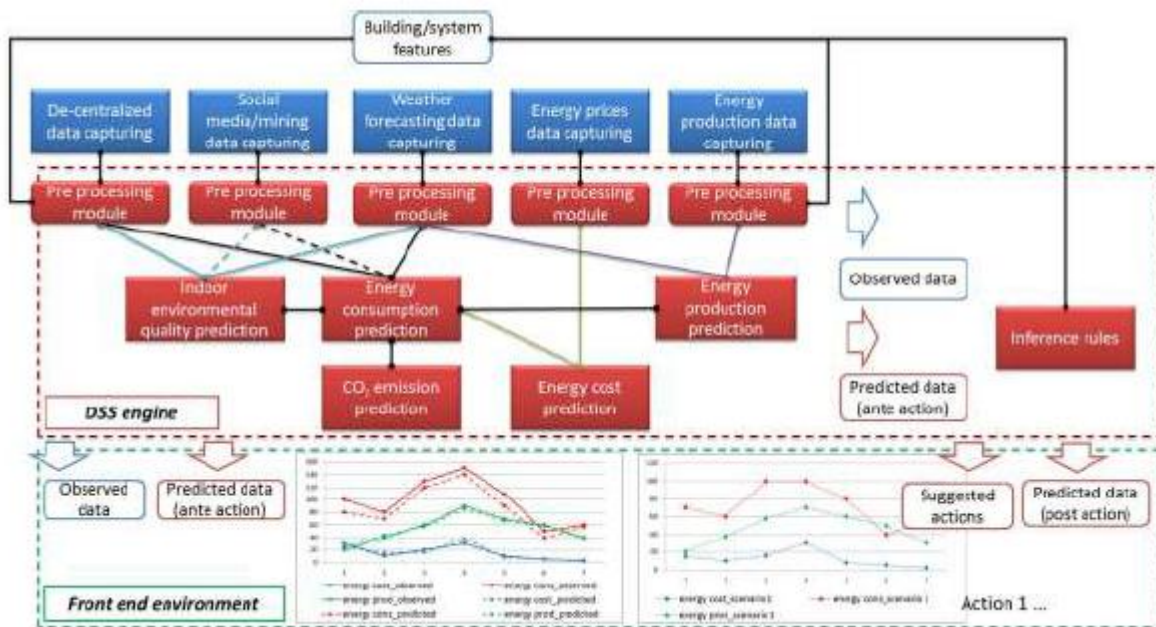
- Όνομα.
- Περιγραφή.
- Τύπος δεδομένου (συμβολοσειρά, ακέραιος, αριθμός, πραγματικός, κλπ).
- Πηγή δεδομένου (αισθητήρας, διαδικτυακή πλατφόρμα, κλπ).
- Διαθεσιμότητα (δημόσιο, ιδιωτικό με άδεια, κλπ).
- Ιδιοκτήτης (Πανεπιστήμιο, Μετεωρολογική Υπηρεσία, Κυβέρνηση, κλπ).
- Μονάδα.
- Ακρίβεια.
- Χρονικό βήμα.
- Χωρική κλίμακα (ομάδα κτιρίων, κτίριο, αντιπροσωπευτικός χώρος κτιρίου, κλπ).
- Διάρκεια περιόδου καταγραφής.

Καθώς τα δεδομένα εισόδου συλλέγονται και αποθηκεύονται συνεχόμενα, το “DSS engine”, δηλαδή ο πυρήνας του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, επεξεργάζεται κάθε δεδομένο εισόδου μέσα από δύο κύριες διαδικασίες επεξεργασίας:

- Διαδικασίες προ-επεξεργασίας μέσω μονάδων προ-επεξεργασίας.
- Επεξεργασία των προβλεπόμενων δεδομένων μέσω μονάδων πρόβλεψης.

Κάθε μονάδα καταγραφής δεδομένων συνδέεται με μία μονάδα προ-επεξεργασίας. Τα προ-επεξεργασμένα δεδομένα είναι, από τη μία πλευρά, απευθείας προβλεπόμενα μέσω ενός “front-end” περιβάλλοντος (παρατηρούμενα δεδομένα) και, από την άλλη πλευρά, γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας από μονάδες πρόβλεψης (προβλεπόμενα δεδομένα “ante action”) και επίσης προβάλλονται. Τα ίδια δεδομένα (τόσο τα παρατηρούμενα όσο και τα προβλεπόμενα), μαζί με στατικά δεδομένα, είναι οι μεταβλητές εισόδου για τη μονάδα Κανόνων Επαγωγής που θα παρέχει τόσο δράσεις όσο και προβλεπόμενα δεδομένα «post-action». Το γενικό αρχιτεκτονικό σχήμα προσαρμόζεται σε κάθε συγκεκριμένο κτίριο. Για παράδειγμα, το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων μπορεί να

διασυνδεθεί με εξωτερικές πηγές δεδομένων, όπως τα εξωτερικά συστήματα διαχείρισης κτιρίων, καθώς και άλλα εξωτερικά συστήματα που χρησιμεύουν για καιρικές συνθήκες και δεδομένα τιμών ενέργειας [11].



Σχήμα 2.3: Διασύνδεση μεταξύ μονάδων και κύριας εξόδου DSS [11]

Οι μονάδες προ-επεξεργασίας θα πρέπει να επεξεργάζονται τα ακατέργαστα δεδομένα μέσα από τα ακόλουθα βήματα:

- Καταγραφή δεδομένων.
- Εκτίμηση ελλείπουσας τιμής.
- Ανίχνευση ακραίας τιμής.
- Συσσωμάτωση δεδομένων (χρονική, χωρική).
- Στατιστική επεξεργασία.

Η μετατροπή δεδομένων στοχεύει στην παροχή ενός κατάλληλου συνόλου δεδομένων εισόδου για την ανάπτυξη μοντέλων.

Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα που καταγράφονται συλλέγονται τουλάχιστον σε 15λεπτα χρονικά διαστήματα. Όποτε λείπει μία τιμή, θεωρούνται οι κατάλληλες τεχνικές υπολογισμού (π.χ. υπολογισμός των ελλειπουσών τιμών με μία ή περισσότερες αληθοφανείς τιμές). Στη συνέχεια, η αναγνώριση του μη φυσιολογικού ενεργειακού προφίλ κτιρίου επιτυγχάνεται με τη χρήση ανάλυσης ομαδοποίησης και ανίχνευσης ακραίας τιμής.

Όπως έχει προαναφερθεί, η επιτυχής υλοποίηση ορισμένων προβλεπτικών αλγορίθμων απαιτεί οι μεταβλητές εισόδου να έχουν παρόμοιες κλίμακες. Αλλιώς, οι μεταβλητές εισόδου με μεγαλύτερες κλίμακες θα κυριαρχήσουν στη διαδικασία μοντελοποίησης. Ως εκ τούτου, όλες οι υποψήφιες είσοδοι, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων κατανάλωσης ισχύος και των μετεωρολογικών δεδομένων, κανονικοποιούνται. Οι κύριες

τεχνικές στατιστικής επεξεργασίας εφαρμόζονται τελικά προκειμένου να δώσουν την έξοδο σε όρους μέσης τιμής, τυπικής απόκλισης, κλπ.

Πριν από την ανάπτυξη των μοντέλων πρόβλεψης, πρέπει να επιλεγθούν αποδοτικές και αποτελεσματικές μέθοδοι για να ενισχύσουν την ποιότητα δεδομένων ενεργειακής κατανάλωσης ενός τεράστιου κτιρίου. Για αυτόν το σκοπό, στο συγκεκριμένο έργο προτείνονται μοντέλα οδηγούμενα από τα δεδομένα εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταβλητές εισόδου (μεταβλητές παλινδρόμησης) και οι μεταβλητές εξόδου (απόκριση) είναι γνωστές και μετρούμενες και ο αντικειμενικός στόχος είναι να εκτιμηθούν οι παράμετροι του συστήματος και να περιγραφεί το μαθηματικό μοντέλο. Με τη χρήση μίας προσέγγισης οδηγούμενης από δεδομένα είναι δυνατό να εκτιμηθεί η απόδοση του συστήματος όπως κατασκευάστηκε, δηλαδή οι παράμετροι του μοντέλου υπολογίζονται με βάση την πραγματική ενεργειακή χρήση του κτιρίου, επιτρέποντας συχνά μία πιο ακριβή πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης.

Οι οδηγούμενες από δεδομένα μέθοδοι για την εκτίμηση ενεργειακής χρήσης σε κτίρια μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Προσέγγιση “gray-box”.
- Σταθμισμένη προσέγγιση προσομοίωσης.
- Εμπειρική ή προσέγγιση “black-box”, η οποία υιοθετείται στο συγκεκριμένο έργο.

Ύστερα από την προετοιμασία δεδομένων που περιγράφηκε παραπάνω, εφαρμόζονται μοντέλα πρόβλεψης. Η μεθοδολογία που ακολουθείται συνίσταται από την κατασκευή μοντέλων πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης και ζήτησης ισχύος αιχμής για κάθε ημέρα της επόμενης εβδομάδας για διαφορετικές τελικές ενεργειακές χρήσεις (εφόσον είναι διαθέσιμες). Στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων χρησιμοποιούνται τόσο σταθερής κατάστασης όσο και δυναμικά μοντέλα σε σχέση με τα διαθέσιμα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά των κτιρίων.

Το απλούστερο αντίστροφο μοντέλο σταθερής κατάστασης παλινδρομεί μηνιαία δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας έναντι μέσων εξωτερικών θερμοκρασιών, ή εν γένει εξωτερικών κλιματικών παραμέτρων. Πρέπει να ληφθούν υπόψη εύρωστες και αποτελεσματικές μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένων της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (“MVR”) και της αλλαγής του σημείου γραμμικής παλινδρόμησης. Το πλεονέκτημα των αντίστροφων μοντέλων σταθερής κατάστασης είναι ότι η χρήση τους μπορεί να αυτοματοποιηθεί και να εφαρμοστεί σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, όταν, για παράδειγμα, είναι διαθέσιμα τα τιμολογημένα δεδομένα κατανάλωσης και οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες.

Όσον αφορά στους ενεργειακώς σχετιζόμενους δείκτες, είναι σημαντικό να παρακολουθείται η ενεργειακή κατανάλωση για κάθε ενεργειακή χρήση (θέρμανση, ψύξη χώρου, κλπ) προκειμένου να αναφέρεται κάθε έξοδος του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων στη συγκεκριμένη ενεργειακή χρήση. Δεδομένου ότι, εξαιτίας τεχνικών και/ή οικονομικών θεμάτων, η παρακολούθηση κάθε ενεργειακής χρήσης μπορεί να είναι δύσκολο να υιοθετηθεί, είναι σημαντικό να επιλέξουμε τα κατάλληλα παρατηρούμενα δεδομένα. Εάν είναι δυνατό να παρακολουθήσουμε κάθε συγκεκριμένο ενεργειακό πάροχο και κάθε ενεργειακή χρήση, οι δράσεις και οι δείκτες θα αναφέρονται σε αυτούς. Εάν όχι, επιλέγονται και παρακολουθούνται η πιο αντιπροσωπευτική ενεργειακή χρήση

και/ή ο ενεργειακός πάροχος. Όποτε είναι αδύνατο να παρακολουθηθεί η συγκεκριμένη ενεργειακή χρήση, μπορεί να καταγράφεται η συνολική ποσότητα ενέργειας και να γίνεται η ανάλυση σε διαφορετικές ενεργειακές χρήσεις μέσω ενεργειακής μοντελοποίησης. Σε αυτήν την περίπτωση, χρειάζονται περισσότερα στατικά δεδομένα και η αναμενόμενη ακρίβεια της εξόδου είναι χαμηλή [11].

Αξίζει να τονιστεί επίσης ότι η κύρια έξοδος του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων είναι οι προτεινόμενες δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης, οι οποίες στηρίζονται σε κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων και απευθύνονται στους ενεργειακούς διαχειριστές των πιλοτικών κτιρίων. Σε αυτό το πλαίσιο, κατά τη διαδικασία ανάπτυξης και πιλοτικής εφαρμογής των διαφόρων μαθηματικών μοντέλων που σχετίζονται με τους «ευφυείς» κανόνες επαγωγής, είναι πολύ σημαντικό για τους “energy modelers” να έχουν άμεση πρόσβαση στα παρατηρούμενα δεδομένα και να επικυρώνουν διαρκώς την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Προς αυτήν την κατεύθυνση, προκύπτει μία ακόμα αναγκαιότητα επεξεργασίας των καταγεγραμμένων δυναμικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, έχουν αναπτυχθεί “scripts” σε γλώσσα προγραμματισμού “Python”, τα οποία παρατίθενται στα Παραρτήματα. Αυτά αντλούν όλα τα μέχρι τώρα παρατηρούμενα δεδομένα ανά πιλοτικό κτίριο, τα οποία μας γίνονται διαθέσιμα είτε μέσω “FTP” σε “CSV”-κωδικοποιημένα αρχεία (βλ. Παράρτημα 1) είτε μέσω του “LinDA Server”, οπότε πραγματοποιούνται κατάλληλα “SPARQL Queries” για την ανάκτηση των δεδομένων σε “JSON” μορφή (βλ. Παράρτημα 2). Στη συνέχεια, τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε ένα αρχείο “Excel”, αφού πρώτα εφαρμοστεί σε αυτά κάποια μέθοδος ωριαίας συνάθροισης (μέσος όρος, άθροισμα τιμών προηγούμενης ώρας, τελευταία τιμή, κλπ). Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες τιμές για ένα δεδομένο κατά τη διάρκεια μίας ώρας υιοθετείται μία πολιτική αναπλήρωσης τιμής, δηλαδή θεωρούμε ότι η ωριαία τιμή που λείπει ισούται με την τιμή που είχαμε υπολογίσει για την ακριβώς προηγούμενη ώρα.

Όσον αφορά στη μέθοδο ωριαίας συνάθροισης που εφαρμόζεται εξαρτάται αποκλειστικά από τη μορφή, τη συχνότητα των μετρήσεων και ασφαλώς από το είδος του δεδομένου. Προκειμένου να διερευνηθεί η συμπεριφορά των μετρήσεων, κατασκευάστηκαν “Python scripts” που συγκεντρώνουν όλα τα δυναμικά δεδομένα ανά κατηγορία δεδομένων και ανά πιλοτικό κτίριο, συνοδευόμενα από το χρόνο στον οποίο καταγράφηκαν με ακρίβεια δευτερολέπτου. Η εποπτεία του παραγόμενου αρχείου “Excel” μας επέτρεψε να σκιαγραφήσουμε τη δυναμική συμπεριφορά των δεδομένων και να καταλήξουμε στην κατάλληλη μέθοδο ωριαίας συνάθροισης, ακολουθώντας τους εξής γενικούς κανόνες:

- Για τα ενεργειακά δεδομένα (π.χ. κατανάλωση ή παραγωγή μίας μορφής ενέργειας) θεωρούμε ως καταλληλότερη μέθοδο για το “hourly aggregation” τον υπολογισμό του αθροίσματος των τιμών που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της προηγούμενης ώρας. Επιπλέον, υπολογίζουμε και τη σχετική ενεργειακή κατανάλωση, που προκύπτει με αφαίρεση της ωριαίας τιμής της προηγούμενης ώρας από την αντίστοιχη τιμή της ίδιας ώρας. Στην ειδική περίπτωση όπου τα ενεργειακά δεδομένα που λαμβάνουμε αντιστοιχούν στις τιμές ισχύος των τριών φάσεων, υπολογίζουμε την αντίστοιχη ωριαία τιμή ενέργειας μέσω της σχέσης:
$$\frac{P1 + P2 + P3}{4}$$
- Για τα καιρικά δεδομένα (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) και γενικότερα για τα μη ενεργειακά δεδομένα που έχουν συνεχές (μη διακριτό) σύνολο τιμών (π.χ.

εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα) θεωρούμε ως αντιπροσωπευτική ωριαία τιμή εκείνη που προκύπτει με υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της ίδιας ώρας.

- Για τα δεδομένα που λαμβάνουν διακριτές τιμές “ON/OFF” (π.χ. δεδομένα που προέρχονται από αισθητήρες ανίχνευσης ανθρώπινης παρουσίας μέσα σε ένα χώρο) θεωρούμε ως ωριαία τιμή την τιμή 1, εφόσον υπάρχει τουλάχιστον μία καταγεγραμμένη τιμή “ON” ή 1 κατά τη διάρκεια της ίδιας ώρας, διαφορετικά την τιμή 0.
- Για τα παρατηρούμενα δεδομένα που αντλούνται με βάση συστήματα ελέγχου “BMS (Building Energy Management Systems)” στα πιλοτικά κτίρια (π.χ. στο Δημαρχείο της πόλης Ζαανστάντ), τα οποία καταγράφουν, μεταξύ άλλων, μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης, θερμοκρασίες και υγρασίες εσωτερικού χώρου ανά πολύ τακτά χρονικά διαστήματα, θεωρούμε ως ωριαία τιμή την τελευταία καταγραφείσα κατά τη διάρκεια της ίδιας ώρας. Σημειώνεται ότι και σε αυτήν την περίπτωση για τα ενεργειακά δεδομένα υπολογίζουμε και τη σχετική ενεργειακή κατανάλωση με τον τρόπο που περιγράψαμε παραπάνω.
- Για τις κατηγορίες δεδομένων που προέρχονται από μετρητές (π.χ. ενεργειακής κατανάλωσης, φυσικού αερίου, κλπ), οι οποίοι καταγράφουν μετρήσεις αυστηρά ανά τέταρτο, ως αντιπροσωπευτική ωριαία τιμή θεωρούμε εκείνη που υπολογίζεται με αφαίρεση των τιμών που ελήφθησαν κατά τα 3 τελευταία τέταρτα της προηγούμενης ώρας από την πρώτη τιμή που ελήφθη κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης ώρας.

Η εν λόγω επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητη προκειμένου να παράσχει στον “energy modeler” το έγκυρο και ωριαία συναθροισμένο σύνολο των δεδομένων πραγματικού χρόνου που καταγράφονται δυναμικά από τις πιλοτικές περιοχές. Με αυτόν τον τρόπο, του δίνεται η δυνατότητα να ελέγξει τις προτεινόμενες δράσεις μέσω του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων και, εφόσον χρειάζεται, να αναδιαμορφώσει τα μοντέλα των επαγωγικών κανόνων.

Σημειώνουμε, επίσης, ότι η παραπάνω διαδικασία χρησιμεύει και για τη λειτουργία του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, διότι σε κάθε περίπτωση προβάλλονται, γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας και τροφοδοτούν τους επαγωγικούς κανόνες οι ωριαία συναθροισμένες τιμές των δεδομένων. Η κατάλληλη μέθοδος “hourly aggregation” προσδιορίζεται χειροκίνητα ανά κατηγορία δεδομένου και ανά πιλοτικό κτίριο μέσω του “front-end” περιβάλλοντος διαχειριστή.

2.3 Σχεδίαση και Αρχιτεκτονική του Συστήματος Πληροφορίας

Η αρχιτεκτονική περιγραφή του συστήματος πληροφορίας περιλαμβάνει τα βασικά λειτουργικά μπλοκ (βασισμένα σε λογισμικό και υλικό), τις επικοινωνίες μεταξύ τους, τις σχέσεις και τα πρότυπα διασύνδεσης, όπως και τα κριτήρια για την αναπαράσταση των στοιχείων δεδομένων και την κωδικοποίηση της πληροφορίας σε ανταλλαγές δεδομένων. Δεδομένου ότι το αναπτυσσόμενο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων θα πρέπει να είναι εύκολα προσαρμόσιμο σε κτίρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά, στοχεύουμε να πετύχουμε τον αναγκαίο βαθμό γενικότητας, δηλαδή μία ευέλικτη, διαλειτουργική και

επεκτάσιμη αρχιτεκτονική, χωρίς να υποπέσει στο οποιοδήποτε συγκεκριμένο προϊόν και χωρίς να εξαρτάται από «κλειστές» ή ιδιοκτησιακές λύσεις. Επιπλέον, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής βασίζονται, όσο το δυνατόν περισσότερο, σε τυπικά συστατικά λογισμικού, που επιτρέπουν την επιλογή εργαλείων ανοικτού κώδικα και βιβλιοθηκών κατά τη διάρκεια της υλοποίησής τους.

Από την οπτική γωνία της Πληροφορικής καθορίζουμε:

- Το πώς κωδικοποιούνται τα ποικίλα δεδομένα που ανταλλάσσονται μέσω των μονάδων. Αυτό περιλαμβάνει δεδομένα αισθητήρων, όπως επίσης και περιγραφικές πληροφορίες.
- Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται, από τις ποικίλες μονάδες, για να ανταλλάξουν τα προαναφερθέντα δεδομένα. Καθορίζουμε ένα γενικό μηχανισμό ανταλλαγής πληροφοριών από όλες τις μονάδες, που επιτρέπει την αποστολή/λήψη δεδομένων διαφορετικών ειδών.
- Το πού αναπτύσσονται οι διαφορετικές μονάδες, σύμφωνα με τη λειτουργία τους και τους σχετικούς περιορισμούς. Ορισμένες μονάδες μπορεί να φιλοξενοούνται από την κεντρική πλατφόρμα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (Ε.Μ.Π.), ορισμένες άλλες χρειάζεται να διαμένουν είτε στις εγκαταστάσεις πιλοτικής περιοχής, είτε στο αναπτυσσόμενο δίκτυο εταιρών.

Σημειώνεται ότι η αρχιτεκτονική “IT” είναι ανεξάρτητη από τους συγκεκριμένους κανόνες που υλοποιούνται από το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, και από τη μέθοδο προσδιορισμού, προγραμματισμού και προσαρμογής τέτοιων κανόνων. Επίσης, είναι ανεξάρτητη από συγκεκριμένους αισθητήρες, πρωτόκολλα έξυπνων κτιρίων ή άλλες λεπτομέρειες τεχνολογίας που σχετίζονται με τα πιλοτικά κτίρια.

Η κεντρική μονάδα του συστήματος λαμβάνει πληροφορίες από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων μέσω μία υποδομής “publish-and-subscribe (P&S)”. Κάθε μονάδα δημιουργεί και δημοσιεύει ένα ή περισσότερα «κανάλια» στο “P&S”, με το να δηλώνει ένα μοναδικό “ID” και να ορίζει τον τύπο των μηνυμάτων δεδομένων (που είναι γνωστά επίσης ως «γεγονότα»): κάθε κανάλι αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο είδος δεδομένων. Σε κάθε κανάλι, η μονάδα μπορεί αργότερα να στείλει ένα σύνολο από γεγονότα δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, το “DSS” εγγράφεται σε όλα τα κανάλια και λαμβάνει έγκαιρες ενημερώσεις σχετικά με όλα τα παραγόμενα γεγονότα από όλες τις μονάδες. Τα κανάλια και τα γεγονότα περιγράφονται χάρη στις κλάσεις/κατηγορίες και τις ιδιότητες που καθορίζονται στις Οντολογίες. Εκτός από τα δυναμικά (πραγματικού χρόνου) δεδομένα, το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων επίσης ενδιαφέρεται για κάποιες στατικές πληροφορίες, σχετικά με τα χαρακτηριστικά κτιρίου των πιλοτικών περιοχών, σχετικά με τους εγκατεστημένους αισθητήρες, και άλλα γενικά δεδομένα. Τέτοια δεδομένα περιγράφονται σε στατικά αρχεία που διαβάζονται και επεξεργάζονται από το σύστημα. Ο καθορισμός των στατικών πληροφοριών συνίσταται από την κατασκευή “XML” αρχείων και “RDF” τριάδων που περιγράφουν το σύνολο των διαθέσιμων αισθητήρων. Κάθε δηλωμένος αισθητήρας μπορεί στη συνέχεια να συνδέεται με ένα συγκεκριμένο κανάλι (ή με ένα σύνολο καναλιών, εάν είναι πολλαπλός αισθητήρας) για να δημοσιεύεται. Αυτός ο προσδιορισμός πληροφορίας είναι μερικώς μία χειροκίνητη διαδικασία, και μερικώς πραγματοποιημένος στη “back-end” (διαχειριστική) διασύνδεση του συστήματος [11].

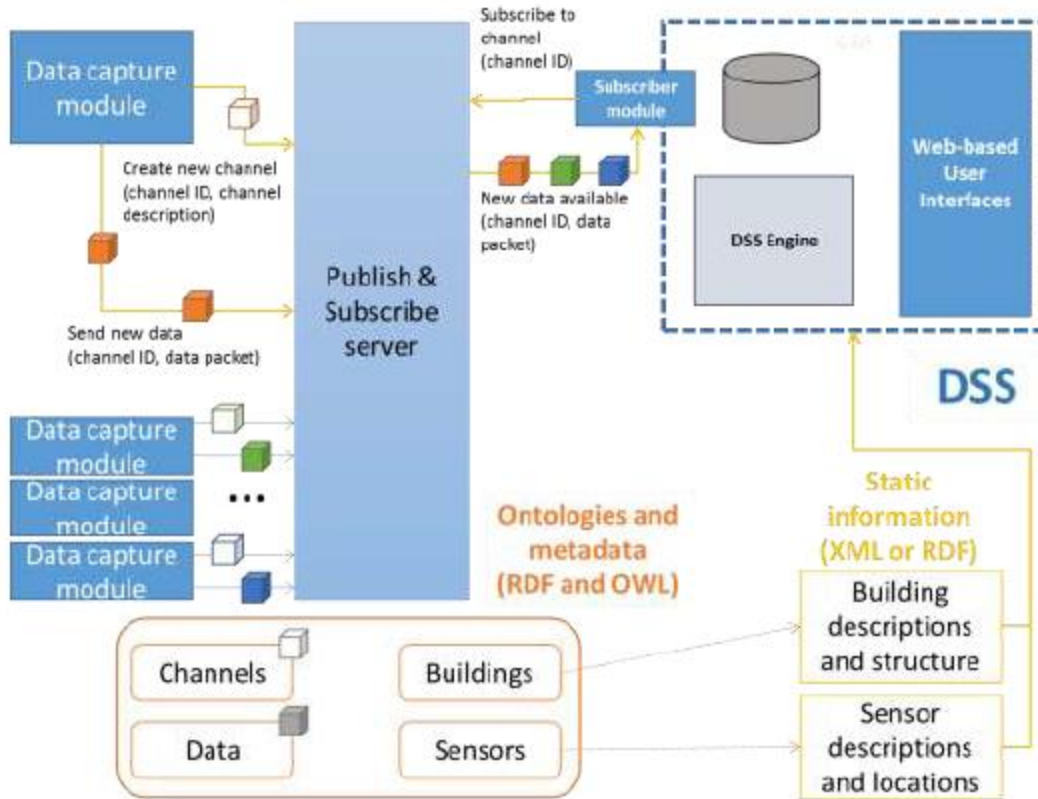


Figure 11: Detailed IT architecture

Σχήμα 2.4: Λεπτομερής “IT” αρχιτεκτονική [11]

Η πλατφόρμα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων συλλέγει, μοιράζεται, αποθηκεύει και δημοσιεύει διαφορετικά είδη δεδομένων. Συνεπώς, πρέπει να ορίζεται μία κοινή κωδικοποίηση για τέτοια δεδομένα, ώστε να χρησιμοποιείται οποτεδήποτε ένα δεδομένο χρειάζεται να διασχίσει το σύνορο οποιασδήποτε μονάδας της πλατφόρμας. Οι μονάδες είναι ελεύθερες να χρησιμοποιούν τις δικές τους κωδικοποιήσεις δεδομένων εσωτερικά, αλλά για να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα πρέπει να χρησιμοποιούν τη κοινή μορφή. Σήμερα, η κοινή μορφή για να στέλνουμε δεδομένα στη βάση δεδομένων του συστήματος θεωρείται μόνο ως ένα μονόδρομο κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων και του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, ωστόσο, αυτός ο μηχανισμός είναι αρκετά γενικός και θα υποστηρίξει πιο πολύπλοκες αρχιτεκτονικές στο μέλλον.

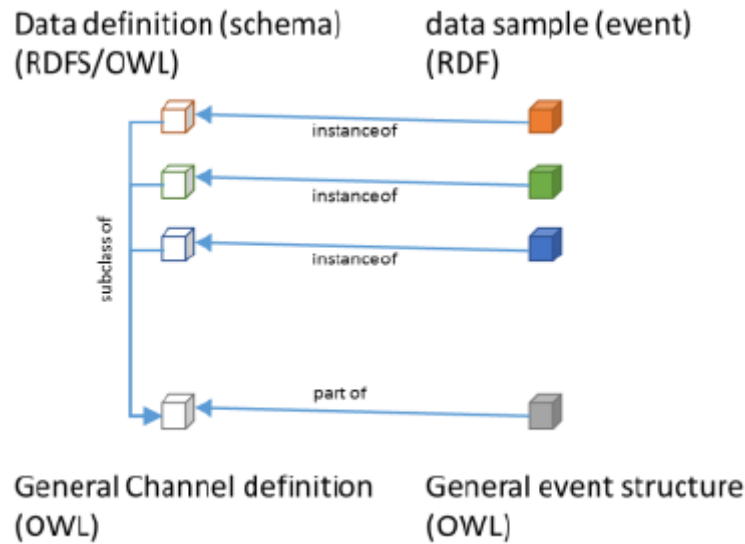
Οι κύριες απαιτήσεις για τον καθορισμό της μορφής δεδομένων είναι:

- Τα δεδομένα πρέπει να έχουν φυσικό νόημα: όλες οι τιμές πρέπει να έχουν σχετική μονάδα μέτρησης και πρέπει να αναφέρονται στη φυσική ποσότητα που αναπαρίστανται.
- Τα δεδομένα πρέπει να είναι πλαισιωμένα: κάθε δεδομένο πρέπει να σχολιάζεται μέσω ενός συνόλου από συμφραζόμενα μεταδεδομένα που επιτρέπει την κατανόηση της σχετικότητάς του. Παραδείγματα μεταδεδομένων είναι η χρονική σήμανση της μέτρησης, το χρονικό διάστημα στο οποίο αναφέρεται και η τοποθεσία στην οποία αναφέρεται η μέτρηση (ολόκληρο κτίριο, όροφος, δωμάτια, κλπ).

- Τα δεδομένα μπορούν να περιέχουν μη αριθμητική πληροφορία: κάποια από την πληροφορία που συλλέγεται από τις μονάδες μπορεί να είναι κείμενο (και όχι αριθμητική). Σε αυτές τις περιπτώσεις, όσο το δυνατόν περισσότερο, η πληροφορία κειμένου πρέπει να επιλέγεται μέσα από μία «κλειστή» λίστα εναλλακτικών (απαριθμήσεις).
- Τα δεδομένα πρέπει να είναι συμβατά με την ανοικτή δημοσίευση. Το συγκεκριμένο έργο, όπως και οι καθιερωμένες καλύτερες πρακτικές στον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων, προτείνει τη δημοσίευση και διανομή των (εμπλουτισμένων με μεταδεδομένα) δεδομένων αισθητήρων σε μορφές Ανοικτών Δεδομένων, σύμφωνα με το πρότυπο “Linked Data”.
- Τα δεδομένα πρέπει να είναι έτοιμα για περαιτέρω επεξεργασία και τεκμηρίωση. Στην επιλογή των μορφών κωδικοποίησης πρέπει να ελέγχουμε τη συμβατότητα των εργαλείων (συγκεκριμένα, του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων αλλά και των γραφικών διεπαφών χρήστη) που λαμβάνουν τέτοια δεδομένα.
- Η κωδικοποίηση δεδομένων πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τις συγκεκριμένες μονάδες. Για λόγους μέγιστης ευελιξίας και επαναχρησιμοποίησης, η κωδικοποίηση και η αναπαράσταση δεδομένων που παράγονται από οποιαδήποτε από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων πρέπει να είναι “application-neutral” και πρέπει να αποφεύγεται η σχεδίασή της πολύ στενά σε σχέση με τις ανάγκες των μονάδων που ακολουθούν. Με άλλα λόγια, κάθε μονάδα καλείται να είναι όσο πρέπει αγνωστική σε σχέση με το είδος των επεξεργασιών που γίνονται πάνω στα δεδομένα που παράγει.

Με βάση τις παραπάνω απαιτήσεις και τους αντικειμενικούς στόχους του συγκεκριμένου έργου, και ύστερα από συζητήσεις με τους εμπλεκόμενους εταίρους, η ακόλουθη λύση έχει καθιερωθεί:

- Τα σημεία δεδομένων πρέπει να μοντελοποιούνται ως “RDF (resource description framework)”. Το “RDF” χρησιμοποιείται ως μία μέθοδος αφηρημένης αναπαράστασης. Πιο συγκεκριμένα, κάθε δεδομένο αναπαρίσταται από ένα μικρό σύνολο “RDF” τριάδων που κωδικοποιούν τόσο τα πραγματικά δεδομένα, όσο και τα σχετιζόμενα μεταδεδομένα.
- Πρέπει να καθορίζεται μία κατάλληλη σειριοποίηση “RDF”, ανάλογα με την ευκολία χρήσης των εμπλεκόμενων εργαλείων και βιβλιοθηκών. Η πολυπλοκότητα της αποστολής “RDF” δεδομένων δεν είναι μεγαλύτερη από την αποστολή “CSV”-κωδικοποιημένης πληροφορίας, αλλά είναι απίστευτα πιο ευέλικτη.
- Η κωδικοποίηση “RDF” εξαρτάται από τον προσδιορισμό κατάλληλων οντολογιών και ταξινομήσεων. Πιο πρόσφατα το “W3C” έχει συλλέξει αποτελέσματα από διάφορες πηγές και αναπτύσσει το “Semantic Sensor Network (SNN) Ontology”. Η αναπαράσταση δεδομένων στο πλαίσιο του έργου υιοθετεί την οντολογία “SSN”, η οποία επεκτείνεται και προσαρμόζεται σύμφωνα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις [11].



Εικόνα 2.3: Αναπαράσταση σημασιολογικών δεδομένων [11]

Για λόγους ευκολίας και εξαιτίας της ανάγκης μίας αυξητικής ανάπτυξης, ο μηχανισμός επικοινωνίας πρέπει να χωρίζεται σε σχέση με τις υλοποιήσεις μονάδων: σε αυτήν την περίπτωση, κάθε μονάδα απλά χρειάζεται να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις επικοινωνίας του κοινού μηχανισμού, ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα, ή με την κατάσταση ανάπτυξης των άλλων μονάδων που διαβάζουν τις εξόδους τους και/ή παράγουν τις εισόδους τους.

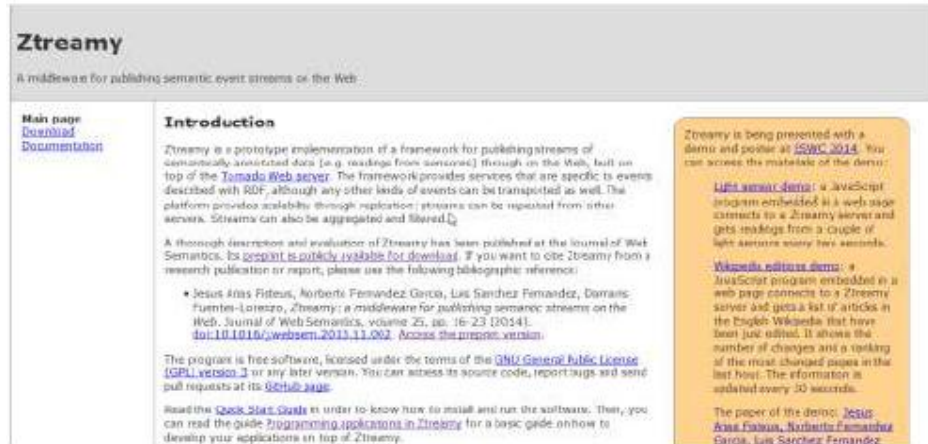
Δεδομένου ότι οι διάφοροι πιλότοι έχουν διαφοροποιημένες απαιτήσεις και διαφορετική ροή δεδομένων, οι εξαρτήσεις πρέπει να μην είναι “hard-coded”. Με αυτόν τον τρόπο, ο καθορισμός και η δοκιμή διαφορετικών εκδοχών των μονάδων, ή διαφορετικών (πιο προηγμένων) κανόνων του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, θα είναι ένα απλό έργο επαναρύθμισης. Τα επιλεγμένα πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων πρέπει να εγγυώνται μία υψηλή απόδοση και διαθεσιμότητα.

Το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων πρέπει να επιτρέπει μία διανεμημένη (μέσω διαδικτύου) αρχιτεκτονική, καθώς ορισμένες μονάδες (συγκεκριμένα, οι παραγωγοί δεδομένων) μπορεί να μην είναι τοποθετημένες στα κύρια κέντρα δεδομένων. Χρειάζεται επίσης να είναι σε θέση να ενσωματώνει υπάρχουσες πηγές δεδομένων διαθέσιμες στο διαδίκτυο, εάν η πληροφορία τους είναι χρήσιμη για το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων.

Τέλος, το πρωτόκολλο επικοινωνίας πρέπει να είναι αρκετά εύκολο στην υλοποίηση, ώστε ακόμα και απλούστερες εφαρμογές (π.χ. διεπιφάνεια χρήστη, εφαρμογές κινητού, κόμβοι με περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους, κλπ) να μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα.

Με βάση τις παραπάνω απαιτήσεις και τους αντικειμενικούς σκοπούς του συγκεκριμένου έργου, ύστερα από συζήτηση με τους εμπλεκόμενους εταίρους, η επιλεγμένη λύση συνοψίζεται ως ακολούθως:

- Το “OPTIMUS” υιοθετεί μία αρχιτεκτονική ανταλλαγής δεδομένων που βασίζεται στο αρχιτεκτονικό πρότυπο «Δημοσίευση και Εγγραφή» (“Publish and subscribe (P&S)”). Στο μοτίβο “P&S”, υπάρχει μία υποδομή μοιρασμένης επικοινωνίας, όπου η κάθε μονάδα μπορεί να δημιουργήσει και να δημοσιεύσει ένα ή περισσότερα «κανάλια», και κάθε κανάλι περιέχει μία ροή «γεγονότων» (σημεία δεδομένων). Οποιαδήποτε άλλη μονάδα/εφαρμογή μπορεί να «εγγράφεται» σε ένα ή περισσότερα κανάλια, και σε αυτήν την περίπτωση λαμβάνει ένα αντίγραφο όλων των γεγονότων που έχουν δημοσιευτεί.
- Στην αρχιτεκτονική που έχουμε περιγράψει, οι μονάδες που αναπτύχθηκαν διαδραματίζουν το ρόλο των εκδοτών δεδομένων, δηλαδή καθεμία από αυτές δημοσιεύει τα δεδομένα της σε ένα σύνολο καναλιών (κάθε σύνολο ανά ροή δεδομένων, δηλαδή για κάθε συγκεκριμένο αισθητήρα ή φυσική ποσότητα ή είδος πληροφορίας).
- Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, δεν υπάρχει ανάγκη να προσδιορίσουμε συγκεκριμένα “APIs” για συγκεκριμένες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, εάν μία μονάδα χρειάζεται να στέλνει κάποια νέα δεδομένα στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, αρκεί να «δημοσιεύει» αυτά τα δεδομένα (που κωδικοποιούνται σε “RDF”) μέσα στο διακομιστή “P&S”. Το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, που εγγράφεται σε όλα τα κανάλια, λαμβάνει επίσης αυτά τα δεδομένα και ξεκινά να τα επεξεργάζεται. Δεν υπάρχει άμεση διασύνδεση μεταξύ των μονάδων καταγραφής δεδομένων και του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.
- Ο “subscriber” των διαφόρων καναλιών είναι κυρίως το “DSS engine” που λαμβάνει συνεχείς ενημερώσεις σχετικά με νέες τιμές, και εφαρμόζει ένα σύνολο κανόνων στην ενημερωμένη κατάσταση του περιβάλλοντος.
- Το “DSS” δημοσιεύει τις εξόδους του σε ένα σύνολο άλλων καναλιών, που μπορούν να διαβάζονται και να εγγράφονται από εφαρμογές τελικού χρήστη (π.χ. για λόγους εμφάνισης).
- Τίποτα δεν εμποδίζει την οποιαδήποτε μονάδα να εγγράφεται στα κανάλια της οποιασδήποτε άλλης μονάδας (ή του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων), εάν αυτά τα παραγόμενα δεδομένα είναι χρήσιμα. Ωστόσο, έως τώρα αυτή η δυνατότητα δεν αξιοποιείται στο έργο.
- Υπάρχουν πολλά προϊόντα και προτεινόμενα πρότυπα που υιοθετούν την αρχιτεκτονική “Publish and subscribe”. Αυτά τα συστήματα τείνουν να καθορίζουν ένα συγκεκριμένο “API” (συνήθως βασισμένα στο “REST/HTTP”) για δημοσίευση και εγγραφή, άλλα συστήματα υιοθετούν συγκεκριμένα πρωτόκολλα, τις προεκτάσεις “MQTT” και “XMPP”. Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου έργου έγιναν δύο στρατηγικές επιλογές:
 1. Δε χρησιμοποιείται κάποια εξωτερική υπηρεσία, αλλά το έργο «τρέχει» στον δικό του διακομιστή “publish-and-subscribe” (που φιλοξενείται στο Ε.Μ.Π.), και. Όσο το δυνατόν περισσότερο, υιοθετείται λογισμικό ανοικτού κώδικα για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής.
 2. Ανάμεσα στις δυνατές εναλλακτικές, η περισσότερο υποσχόμενη φαίνεται να είναι το “Ztreamey”, δηλαδή ένα πλαίσιο ανοικτού κώδικα που αναπτύχθηκε από το “Universad Carlos III” της Μαδρίτης. Οι δημιουργοί της πλατφόρμας εξέφρασαν το ενδιαφέρον τους και την προθυμία τους να υποστηρίξουν το έργο στην υλοποίηση της πλατφόρμας “P&S” με χρήση του “Ztreamey” και στην πιθανή προσαρμογή της στις ειδικές ανάγκες του [11].



Εικόνα 2.4: Το έργο “Ztreamy” [11]

- Σε αυτό το μοτίβο, υπάρχει ένας μοναδικός “subscriber”, το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, δεδομένου ότι όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση γνώσεων/δεδομένων/“triple store” του “DSS”. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του συστήματος, πιθανώς διαφορετικές εκδοχές του μπορούν να εκτελούνται παράλληλα για λόγους δοκιμής, με αυτόν τον τρόπο μπορεί να συμβεί να έχουμε περισσότερους από έναν συνδρομητές. Ένας από τους πρώτους ελέγχους για την επιβεβαίωση της έγκρισης του “Ztreamy” ως διακομιστή “P&S” είναι η κατανόηση του πώς τμήματα “RDF” χειρίζονται από τον “Ztreamy” και ποια είναι η ευελιξία της σύνδεσης διαφορετικών οντολογιών και καναλιών με διαφορετική σημασιολογία στον ίδιο διακομιστή.
- Οι μονάδες δημοσίευσης πρέπει να παράγουν κατάλληλα τμήματα “RDF”. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τέτοιες μονάδες έχουν σημασιολογική επίγνωση (δηλαδή είναι σε θέση να αναπαριστούν εσωτερικά και να χειρίζονται “RDF” και/ή “OWL”). Σε άλλες περιπτώσεις, απλούστερα στοιχεία δε χρειάζεται να κατανοούν το “RDF”, αλλά απλά «συμπληρώνουν» ένα προκαθορισμένο “RDF” πρότυπο με ειδικά δεδομένα πραγματικού χρόνου. Σε ακόμα απλούστερες περιπτώσεις, οι παραγωγοί πληροφορίας θα μπορούσαν να είναι ήδη υπάρχοντες κόμβοι, που δημοσιεύουν δεδομένα σε απλούστερες μορφές (π.χ. αρχεία κειμένου, “CSV” αρχεία, κλπ). Σε αυτές τις περιπτώσεις, υιοθετούνται «ενδιάμεσες» μονάδες που διαβάζουν ακατέργαστη πληροφορία, παράγουν σωστά “RDF” γεγονότα, και τα δημοσιεύουν εκ μέρους της πραγματικής μονάδας.

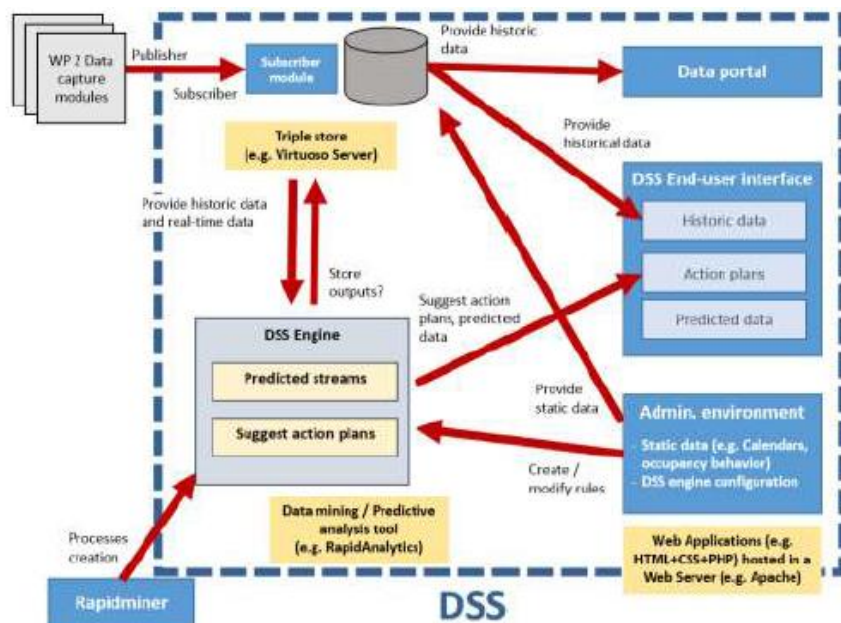
Το θέμα της ανάπτυξης της υποδομής “IT” συσχετίζει τη φυσική τοποθεσία των διακομιστών και άλλων υπολογιστικών κόμβων, με τις συνδέσεις δικτύου τους και την αντιστοίχιση των διαφόρων λογικών λειτουργιών στις ειδικές ενότητες λογισμικού, καθώς και την αντιστοίχιση των ενοτήτων λογισμικού πάνω στο συγκεκριμένο υλικό όπου τις «τρέχουν» οι διακομιστές.

Στο συγκεκριμένο έργο, η υποδομή του «κεντρικού» διακομιστή που φιλοξενεί το μεγαλύτερο μέρος του λογισμικού διαχειρίζεται στο Ε.Μ.Π.. Μία απολύτως συγκεντρωτική προσέγγιση στην αρχιτεκτονική του συστήματος δεν είναι ούτε επιθυμητή ούτε δυνατή. Για παράδειγμα, η αποκεντρωμένη μονάδα καταγραφής δεδομένων χρειάζεται να έχει πρόσβαση στα συστήματα διαχείρισης κτιρίου (“BSM”) και/ή σε τοπικά δίκτυα

αισθητήρων ή συστήματα αυτοματισμού. Ορισμένες ειδικές συσκευές χρειάζεται να εγκατασταθούν στο εσωτερικό (ή πλησίον) των πιλοτικών περιοχών, για παράδειγμα σύνδεση με τα σύστημα αισθητήρων του κτιρίου, σύνδεση με το σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εάν τα δεδομένα καιρού προέρχονται από έναν σταθμό καιρικών συνθηκών που είναι εγκατεστημένος στο κτίριο. Αυτό υπονοεί ορισμένους τοπικούς αισθητήριους και/ή υπολογιστικούς κόμβους που τοποθετούνται στους χώρους των πιλοτικών κτιρίων, και που έχουν κατάλληλη συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο για να ενσωματώνονται με τους διακομιστές του Ε.Μ.Π.. Σε άλλες περιπτώσεις, η μονάδα θα μπορούσε να χρειάζεται πρόσβαση σε ιδιοκτησιακές πληροφορίες, ή σε άλλους πόρους, που είναι διαθέσιμες μόνο στην περιοχή ιδρύματος ενός εταιρίου. Σε αυτήν την περίπτωση, η μονάδα θα μπορούσε να τοποθετείται σε μία υποδομή εταιρίου, αντί για το Ε.Μ.Π.. Χρειάζεται επίσης να σημειώσουμε ότι η επιλογή μίας υποδομής επικοινωνίας “P&S” επιτρέπει να μετακινούνται πολύ εύκολα οι διαφορετικές μονάδες, δεδομένου ότι η μόνη «αμοιβαίως γνωστή» πληροφορία συνίσταται από την τοποθεσία “URL” του διακομιστή “P&S”, και τα αναγνωριστικά των καναλιών που δημοσιεύονται.

Η εσωτερική αρχιτεκτονική του “DSS” έχει σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη το πώς χρησιμοποιείται στη φάση παραγωγής σε ένα πραγματικό περιβάλλον, όπως επίσης και το πώς αναπτύσσονται τα μοντέλα πρόβλεψης και οι «έξυπνοι» κανόνες. Επιπλέον, ο πυρήνας του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων χρειάζεται να παραμετροποιείται από έναν τεχνικό χρήστη, και αυτό σημαίνει ότι οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης που βρίσκονται στο “DSS engine” πρέπει να είναι σε θέση να λαμβάνουν τις παραμέτρους εισόδου.

Σε αυτό το πλαίσιο, η εσωτερική αρχιτεκτονική του συστήματος είναι σπονδυλωτή και συντίθεται από διαφορετικά συστατικά. Στο σχήμα που ακολουθεί, τα συστατικά αναπαρίστανται ως κουτιά, και για καθένα από αυτά περιλαμβάνουμε μία δυνατή υπάρχουσα τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τα υλοποιήσει. Τα βέλη αναπαριστούν τις σχέσεις μεταξύ των στοιχείων [11].



Σχήμα 2.5: Κύρια συστατικά του “OPTIMUS DSS” [11]

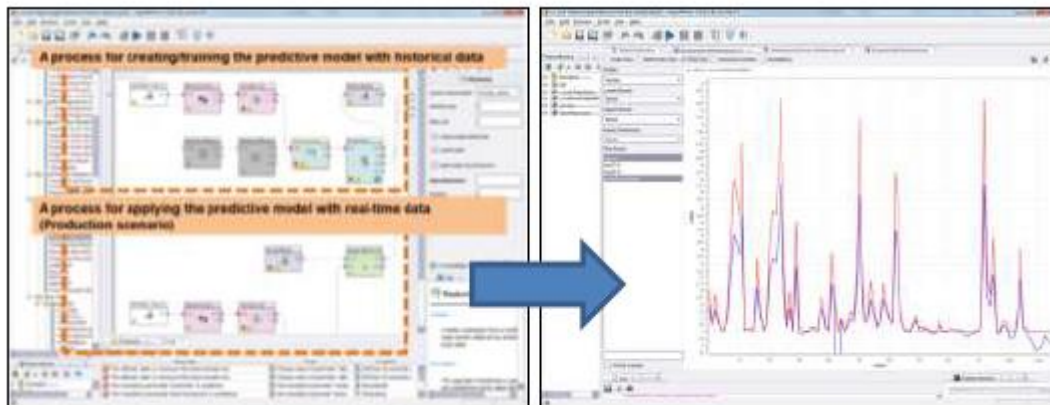
Πιο αναλυτικά, αυτά τα συστατικά είναι:

Βάση γνώσεων/δεδομένων/”triple store”:

Τα δεδομένα που παρέχονται από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων αποθηκεύονται σε ένα “triple store”, που είναι μία βάση δεδομένων η οποία μπορεί να χειρίζεται εγγενώς “RDF” τριάδες (π.χ. “OpenLink Virtuoso server”). Οι “subscribers” λαμβάνουν δεδομένα από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων σε μορφή “RDF” για να τα ενσωματώσουν στο “triple store”. Δυναμικά και στατικά δεδομένα αποθηκεύονται στο “triple store”, όπως και τα αποτελέσματα της μηχανής υπολογισμού. Με αυτόν τον τρόπο, αποθηκεύονται ιστορικά δεδομένα προκειμένου να δημιουργήσουν τα μοντέλα πρόβλεψης.

Πυρήνας του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων:

Ο στόχος του “DSS engine” είναι διττός: να προβλέψει τις ροές δεδομένων (π.χ. καιρικές συνθήκες, θερμοκρασίες, ενεργειακή κατανάλωση, ενεργειακή παραγωγή), και να προτείνει σχέδια δράσης με βάση τα προβλεπόμενα δεδομένα. Οι τελικοί χρήστες στη διεπαφή “front-end” έχουν τη δυνατότητα να δουν τόσο τα προβλεπόμενα δεδομένα όσο και τα σχέδια δράσης. Μία λύση για να επιταχύνουμε τη δημιουργία των μοντέλων και τη συντήρησή τους στο μέλλον είναι να χρησιμοποιήσουμε λογισμικό “Rapidminer” που περιέχει μία πολύ μεγάλη λίστα μονάδων και μεθόδων μηχανικής μάθησης. Έτσι, αντί να υλοποιήσουμε μία μέθοδο μηχανικής μάθησης από την αρχή, χρησιμοποιούμε το “RapidMiner” που μπορεί να δημιουργήσει και να εκπαιδεύσει τα μοντέλα πρόβλεψης μέσω ιστορικών δεδομένων αποθηκευμένων στο “triple store. Το “RapidMiner” παρέχει ευελιξία σε όρους δημιουργίας των μοντέλων. Για παράδειγμα, κάθε πιλότος μπορεί να χρησιμοποιήσει ακριβώς το ίδιο μοντέλο πρόβλεψης με βάση τα παρατηρούμενα δεδομένα του [11].



Εικόνα 2.5: Ένα παράδειγμα διαδικασίας “Rapidminer” για τη δημιουργία και χρήση μοντέλων πρόβλεψης [11]

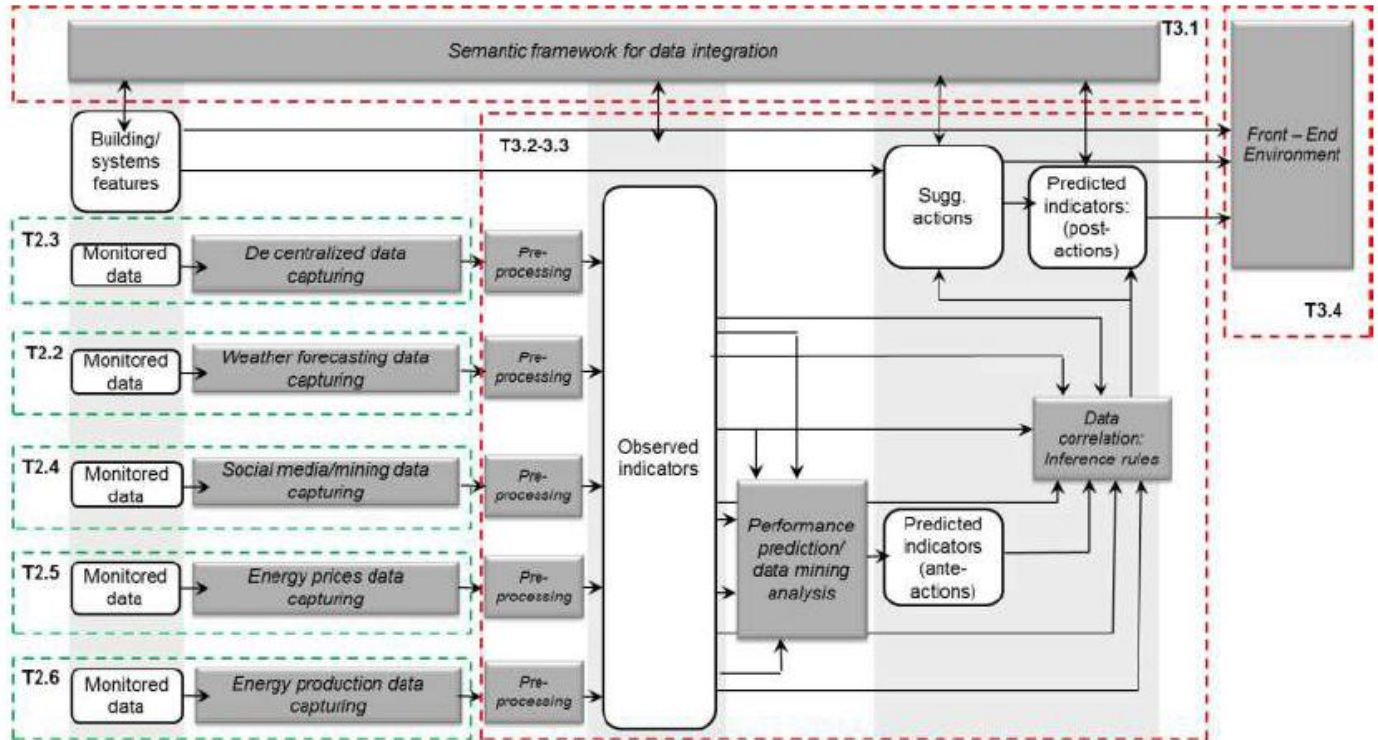
Περιβάλλοντα “front-end”:

Ο στόχος των περιβαλλόντων “front-end” είναι να επιτρέπουν στους χρήστες να επικοινωνούν με το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων. Τα περιβάλλοντα που αναπτύσσονται περιλαμβάνουν μία δικτυακή πύλη δεδομένων (“data portal”) για τη

δημοσίευση δεδομένων, μία διεπαφή τελικού χρήστη, και ένα περιβάλλον διαχείρισης για την παραμετροποίηση του “DSS engine”.

- Οι χρήστες του περιβάλλοντος “data portal” είναι οι πολίτες και οι τρίτοι, ενώ ο στόχος του είναι να δημοσιεύσει τα παρατηρούμενα και τα στατικά δεδομένα των κτιρίων ακολουθώντας τις αρχές “Linked Data” (π.χ. “RDF dumps”, “SPARQL endpoints”, “dereferenceable URIs”).
- Ο στόχος του περιβάλλοντος διεπαφής με τον τελικό χρήστη είναι να παρέχει στους χρήστες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων την απόδοση προβλέψεων με χρήση καταγεγραμμένων δεδομένων και υπολογισμένων σχεδίων δράσης βάσει «ευφυών» κανόνων.
- Ο στόχος του περιβάλλοντος διαχειριστή είναι να συντονίσει τις διαφορετικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί. Οι χρήστες αυτού του περιβάλλοντος είναι οι διαχειριστές των πόλεων με τεχνικές δεξιότητες.

Τέλος, αξίζει να αναφερθούν συνοπτικά οι επιλογές τεχνολογιών για τη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος. Το “DSS engine” υλοποιείται με “RapidAnalytics”, που είναι η εκδοχή διακομιστή του “RapidMiner”. Περιλαμβάνει τη δρομολόγηση εργασιών, την υποβολή εκθέσεων, και τη δημιουργία διαδικτυακών υπηρεσιών, προκειμένου να ενσωματώνεται ο διακομιστής “RapidMiner” με τα άλλα μέρη μίας υποδομής “IT”. Οι μέθοδοι εξόρυξης δεδομένων και τα εργαλεία προσαρμόζονται μέσα από ένα ειδικά σχεδιασμένο “front-end” περιβάλλον διαχείρισης του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Το “data portal” περιβάλλον υλοποιείται με χρήση μίας πλατφόρμας ανοικτού κώδικα. Τα περιβάλλοντα “front-end” και “admin” αναπτύσσονται ως μία διαδικτυακή εφαρμογή βασισμένη σε πρότυπες γλώσσες όπως “HTML”, “CSS”, “Javascript” και βιβλιοθήκες ανοικτού κώδικα, προκειμένου να επιτευχθεί ο χειρισμός των σημασιολογικών δεδομένων και η δημιουργία γραφημάτων. Τέλος, οι γλώσσες προγραμματισμού “PHP” και “Java” χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του λογικού στρώματος που επιτρέπει την επικοινωνία με τα άλλα συστατικά του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων [11].



Σχήμα 2.6: Συνολική αρχιτεκτονική του “OPTIMUS” [11]

Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο Σχεδίου Δράσης

3.1 Ρόλος Συστημάτων Θέρμανσης/Ψύξης στην Ενεργειακή Αποδοτικότητα



Εικόνα 3.1: Ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων [16]

Η οδηγία 2010/31/ΕΚ για την επίτευξη των στόχων εξοικονόμησης και αύξησης της χρήσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας απαιτεί την αύξηση του αριθμού των κτιρίων που όχι μόνο ικανοποιούν τις υφιστάμενες ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κτιρίου, αλλά χαρακτηρίζονται από υψηλότερη ενεργειακή απόδοση κτιρίου, επιτυγχάνοντας συγχρόνως τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Κάθε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλείται να προωθήσει τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, θέτοντας ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, αξιολογώντας την ενεργειακή απόδοση πάνω σε ομοιόμορφη βάση και πιστοποιώντας την ενεργειακή απόδοση της πλειοψηφίας των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, η Οδηγία 2010/31/ΕΚ καλεί τα κράτη μέλη όπως:

- Θεωπίσουν μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Άρθρο 3).
- Καθορίσουν ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, παρέχοντας τη δυνατότητα επιβολής διαφορετικών ελάχιστων απαιτήσεων στα νέα και υφιστάμενα κτίρια και μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών κτιρίων (Άρθρο 4).
- Υπολογίσουν τα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης (Άρθρο 5).
- Διασφαλίσουν ότι πριν την έναρξη κατασκευής νέων κτιρίων λαμβάνονται υπόψη η τεχνική, περιβαλλοντική και η οικονομική σκοπιμότητα εγκατάστασης εναλλακτικών συστημάτων υψηλής απόδοσης (Άρθρο 6).
- Λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα για να εξασφαλιστεί ότι τα κτίρια που υφίστανται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακας αναβαθμίζονται ώστε να πληρούν τις

ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης στο βαθμό που είναι εφικτό (Άρθρο 7).

- Θεσπίσουν συστημικές απαιτήσεις όσον αφορά στη συνολική ενεργειακή απόδοση, την ορθή εγκατάσταση και τη διαστασιολόγηση, τη ρύθμιση και τον έλεγχο των τεχνικών συστημάτων που εγκαθίστανται σε υφιστάμενα κτίρια (Άρθρο 8).
- Διασφαλίσουν ότι έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020 όλα τα νέα κτίρια θα αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (Άρθρο 9).
- Θεσπίσουν σύστημα πιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Άρθρο 11).
- Εξασφαλίσουν την έκδοση πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης για κτίρια ή κτιριακές μονάδες που κατασκευάζονται, για κτίρια ή κτιριακές μονάδες που πωλούνται ή εκμισθώνονται και κτίρια που χρησιμοποιούνται από δημόσια αρχή και επισκέπτεται συχνά το κοινό (Άρθρο 12).
- Καθιερώσουν την τακτική επιθεώρηση των προσιτών τμημάτων συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού ονομαστικής ισχύος εξόδου από 12 kW (Άρθρα 14 και 15).
- Εξασφαλίσουν ότι η πιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου και η επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού διεξάγονται με ανεξάρτητο τρόπο από διαπιστευμένα άτομα εγγεγραμμένα σε μητρώο που τηρεί η αρμόδια αρχή (Άρθρο 17) [16].

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου προσδιορίζεται βάσει της υπολογιζόμενης ή της πραγματικής ετήσιας ενέργειας που καταναλώνεται προκειμένου να καλυφθούν οι διάφορες ανάγκες που συνδέονται με τη συνήθη χρήση ενός κτιρίου και περιλαμβάνουν τις ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και ψύξης ενός κτιρίου (ενέργεια που απαιτείται για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση), ώστε να διατηρηθούν οι επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας του κτιρίου και οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης.

Η ελάχιστη ενεργειακή απαίτηση για την πρωτογενή ενέργεια ενός νέου κτιρίου καθορίζεται να είναι ίση ή λιγότερη από την πρωτογενή ενέργεια του αντίστοιχου κτιρίου αναφοράς. Η Πρωτογενής Ενέργεια του κτιρίου αναφοράς προκύπτει από τις προκαθορισμένες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας κελύφους, τις αποδόσεις των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού (“HVAC”), το φωτισμό, και το Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX).

Το κτίριο αναφοράς έχει:

- Την ίδια γεωμετρία, προσανατολισμό και χρήση με το κτίριο που αξιολογείται.
- Τα ίδια τυποποιημένα χαρακτηριστικά λειτουργίας με το κτίριο που αξιολογείται.
- Τα ίδια κλιματικά δεδομένα με το κτίριο που αξιολογείται.
- Προκαθορισμένα δομικά υλικά κελύφους, τύπους υαλοπινάκων, βαθμό αεροστεγανότητας, τύπους “HVAC” και συστήματος φωτισμού [16].

Ο τρόπος υποδιαίρεσης ενός κτιρίου σε ζώνες επηρεάζει την πρόβλεψη της ενεργειακής του απόδοσης. Από τη διαδικασία διαχωρισμού σε ζώνες προκύπτει ένα σύνολο ζωνών, από τις οποίες η καθεμία διαφέρει από τις παρακείμενες της σε ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα:

1. Τη δραστηριότητα που διεξάγεται σε αυτή.
2. Το σύστημα Θέρμανσης – Ψύξης – Αερισμού (“HVAC”), που την εξυπηρετεί.
3. Το ενσωματωμένο σύστημα τεχνητού φωτισμού.
4. Την πρόσβαση φυσικού φωτισμού (μέσω παραθύρων ή φεγγιτών) [17].

Τα συστήματα “HVAC” είναι ένα αρκτικόλεξο που αντιπροσωπεύει τη θέρμανση (“H”), τον εξαερισμό (“V”) και τον κλιματισμό (“AC”), και περιλαμβάνουν γενικά ποικίλα ενεργά μηχανολογικά/ηλεκτρολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί ο θερμικός έλεγχος των κτιρίων. Ο έλεγχος του θερμικού περιβάλλοντος αποτελεί βασικό στόχο ουσιαστικά για όλα τα κατειλημμένα κτίρια. Για πολλές χιλιετίες, ο έλεγχος αυτός απλά περιοριζόταν στην προσπάθεια να εξασφαλιστεί η επιβίωση κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμώνων. Στο σύγχρονο κόσμο, οι προσδοκίες του θερμικού ελέγχου πηγαίνουν αρκετά πέρα από την επιβίωση και περιλαμβάνουν τις σύνθετες θεωρήσεις για θερμική άνεση και ποιότητα του αέρα, που επηρεάζουν την υγεία, την ικανοποίηση και την παραγωγικότητα των ατόμων που καταλαμβάνουν τους χώρους του κάθε κτιρίου.

Ένα σύστημα θέρμανσης (“H” του “HVAC”) σχεδιάζεται για να προσθέτει θερμική ενέργεια σε ένα χώρο ή κτίριο, προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία αέρα, η οποία ειδικά δε θα μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της ροής της θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον (απώλεια θερμότητας). Ένα σύστημα εξαερισμού (“V”) έχει ως σκοπό του να κυκλοφορεί τον αέρα σε ένα χώρο, ώστε να τον κινεί χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει η θερμοκρασία του. Τα συστήματα εξαερισμού μπορούν, και σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει, να χρησιμοποιούνται για να βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και, κατ’ αυτόν τον τρόπο, τα επίπεδα άνεσης των ενοίκων. Ένα σύστημα ψύξης, που δεν περιλαμβάνεται ρητά ως έννοια στο αρκτικόλεξο “HVAC”, σχεδιάζεται για να αφαιρεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτίριο. Αυτό είναι ανάγκη να γίνεται προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία του αέρα, χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή που, αλλιώς, θα επικρατούσε λόγω της αναπόφευκτης ροής θερμότητας τόσο από τις εσωτερικές πηγές της, όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου (κέρδος θερμότητας). Οι ψυκτικές διατάξεις εξετάζονται συνήθως ως τμήμα του “AC”, σε σχέση με τα αρχικά “HVAC”, που υποδηλώνει τον κλιματισμό (“Air-Conditioning”). Ένα σύστημα κλιματισμού, σύμφωνα με τον ορισμό της “ASHRAE” (Αμερικανική Ομοσπονδία των Μηχανικών Θέρμανσης, Κατάψυξης και Κλιματισμού), είναι μία συνάθροιση συνιστωσών, με μία καθορισμένη δομή και λειτουργία, που πρέπει να εκπληρώνει τέσσερις στόχους ταυτόχρονα. Αυτοί είναι ο έλεγχος:

- Της θερμοκρασίας του αέρα.
- Της υγρασίας του αέρα.
- Της κυκλοφορίας του αέρα.
- Της ποιότητας του αέρα.

Τα συστήματα “HVAC” είναι μεγάλης σπουδαιότητας και από την πλευρά του σχεδιασμού ενός κτιρίου στο σύνολό του, για τέσσερις κύριους λόγους. Καταρχάς, τα συστήματα αυτά απαιτούν συχνά σημαντικό χώρο δαπέδου ή/και κτιριακό όγκο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού και των διατάξεων διανομής, ζητήματα που πρέπει να διευθετούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού [17].

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται προσεγγιστικά η έκταση αυτών των απαιτήσεων, η απαιτούμενη επιφάνεια τόσο για τον κεντρικό εξοπλισμό (ψυκτικές μονάδες, λέβητες,

αντλίες) όσο και για τον εξοπλισμό κυκλοφορίας του αέρα (ανεμιστήρες), για μία μεγάλη ποικιλία κτιριακών τύπων.

Συνολική Επιφάνεια (m ²)	Κατοχή Ανάλογη των			
	Κατοικιών	Ιδρυμάτων	Γραμμών Παραγωγής	Εργαστηρίων
1.000	6%	8%	9%	11%
5.000 - 10.000	4%	6%	7%	10%
50.000	3%	4%	5%	8%

Πίνακας 3.1: Απαιτήσεις χώρου των συστημάτων “HVAC” [17]

Όπως προκύπτει, οι απαιτήσεις χώρου των συστημάτων “HVAC” τείνουν να αυξάνουν, αυξανόμενης της πυκνότητας και της πολυπλοκότητας των φορτίων. Οι ποσοστιαίες απαιτήσεις χώρου τείνουν να μειωθούν με αυξανόμενο το μέγεθος του κτιρίου.

Κατά δεύτερο λόγο, τα συστήματα “HVAC” αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο του προϋπολογισμού για πολυάριθμους συνήθεις κτιριακούς τύπους. Βεβαίως, η κακή επιλογή του συστήματος κατά τη φάση του σχεδιασμού μπορεί, όχι μόνο να αυξήσει το αρχικό κόστος εγκατάστασης, αλλά και να επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας του.

Ως τρίτη αιτία μπορεί να αναφερθεί το γεγονός ότι, η επιτυχία ή αποτυχία των προσπαθειών για θερμική άνεση σχετίζεται συνήθως άμεσα με την επιτυχία ή αποτυχία των συστημάτων “HVAC” των κτιρίων. Η επίδοσή τους μάλιστα αξιολογείται αυστηρά από τους ενοίκους των κτιρίων σε καθημερινή βάση. Τα αποδοτικά συστήματα “HVAC” είναι συχνά το κλειδί για επιτυχή κτίρια. Στον επόμενο πίνακα, που προέρχεται από το ερευνητικό πρόγραμμα “Office Tenant Moves and Changes” (αυτό διευθύνεται από τη Διεθνή Ένωση Ιδιοκτητών και Διαχειριστών Κτιρίων), συνοψίζονται οι αιτίες που προκαλούν την ενόχληση των ενοίκων σε υπάρχοντα εμπορικά κτίρια και υπογραμμίζεται η σημασία των συστημάτων “HVAC” προς την κατεύθυνση της ικανοποίησής τους [17].

Πηγή του προβλήματος	Σχετική συχνότητα
HVAC	5,4
Ανελκυστήρες	2,7
Σχέδιο κτιρίου	1,5
Αποβάθρες φόρτωσης	1,2
Ποιότητα εσωτερικού αέρα	1,0
Υπηρεσίες καθαρισμού	1,0

Πίνακας 3.2: Προβλήματα διαχείρισης, λειτουργίας ή σχεδιασμού στα εμπορικά κτίρια [17]

Για να μελετηθεί η σχετική συχνότητα, αναφέρεται ότι τα προβλήματα με τα συστήματα “HVAC” είναι δύο φορές επικρατέστερα από τα προβλήματα των συστημάτων ανελκυστήρων και πέντε φορές επικρατέστερα από τα προβλήματα των υπηρεσιών καθαρισμού.

Τελευταίος, αλλά όχι ασήμαντος, λόγος είναι ότι η διατήρηση των κατάλληλων θερμικών συνθηκών μέσω της λειτουργίας ενός συστήματος “HVAC” αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου. Είναι γεγονός ότι η ενέργεια που καταναλώνεται στα κτίρια για θέρμανση, φωτισμό και παροχή υπηρεσιών αποτελεί το μισό από τον ενεργειακό λογαριασμό μίας χώρας. Από την άλλη, υφίσταται ιδιαίτερα ευνοϊκό πεδίο για τη μείωσή της [17].



Σχήμα 3.1: Σχετικό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής χρήσης ενός κτιρίου που αποδίδεται στη λειτουργία των συστημάτων “HVAC” για κατοικίες και χώρους γραφείων σε θερμά και ψυχρά κλίματα [17]

Έτσι, στα γραφεία που κλιματίζονται, το 30 έως 40% του ενεργειακού λογαριασμού συνήθως αποδίδεται στον κλιματισμό τους και μόνο. Αυτό δεν αντιπροσωπεύει μόνο ένα πολύ σημαντικό κόστος για το μεμονωμένο χρήστη, αλλά και οδηγεί, σε εθνικό επίπεδο, στην εκπομπή εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα, που είναι ο σημαντικότερος από τους παράγοντες που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εξάλλου, τα “CFC”, που έχουν χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά ως ψυκτικά μέσα, συμβάλλουν επίσης στο περιβαλλοντικό κόστος του κλιματισμού, καθώς, όταν αποδεσμεύονται, προκαλούν τη μείωση του στρώματος όζοντος και έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε ένα μεγάλο αριθμό κτιρίων, ο πλήρης κλιματισμός των χώρων τους δεν είναι πραγματικά απαραίτητος και μεγάλα ενεργειακά οφέλη μπορούν να επιτευχθούν με τη χρησιμοποίηση μηχανικού ή φυσικού εξαερισμού αντ’ αυτού. Η χρήση του μηχανικού εξαερισμού ή του μερικού κλιματισμού (λειτουργία μικτού τρόπου) πρέπει επίσης να εξετάζεται πριν από τη λήψη οποιασδήποτε απόφασης για τον κλιματισμό ολόκληρης της κτιριακής εγκατάστασης. Αυτές οι αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται νωρίς κατά τη διάρκεια σχεδιασμού. Όπου ο κλιματισμός είναι απαραίτητος, έχει υπολογιστεί από διάφορες μελέτες ότι μέχρι και το 30% του τυπικού ενεργειακού κόστους μπορεί να εξοικονομηθεί εάν ληφθεί πρόνοια για:

- Την κατάλληλη επιλογή του συστήματος.
- Τον ενεργειακά συνειδητό σχεδιασμό της εγκατάστασης.
- Τον καλό έλεγχο του συστήματος.
- Την αποτελεσματική λειτουργία και συντήρηση του συστήματος [17].

Ειδικότερα για τα συστήματα “HVAC”, ο καθορισμός της «απόδοσης συστήματος» είναι λιγότερο απλός από ό,τι φαίνεται εκ πρώτης όψεως, λόγω της δυσκολίας κατανομής της ενέργειας που χρησιμοποιείται από ανεμιστήρες, αντλίες και συστήματα ελέγχου για τις διαφορετικές τελικές χρήσεις (θέρμανση, ψύξη και αερισμό). Ο υπολογισμός της ενέργειας που καταναλώνεται από τα συστήματα “HVAC” ξεκινά με την υπολογιζόμενη απαίτηση για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης. Αυτό παράγει τις μηνιαίες τιμές της απαίτησης για θέρμανση και ψύξη στο αισθητό φορτίο για κάθε χώρο υπό ιδανικές συνθήκες - αλάνθαστο έλεγχο θερμοκρασίας, ομοιόμορφη θερμοκρασία αέρα στο χώρο, κλπ. Το “EN 15243” είναι το πρότυπο που εξετάζει τον υπολογισμό των αποδόσεων των συστημάτων “HVAC”. Περιέχει διάφορα πληροφοριακά παραρτήματα που επεξηγούν τις διαφορετικές προσεγγίσεις, αλλά δεν ορίζει τις συγκεκριμένες διαδικασίες υπολογισμού. Επιτρέπει να υπολογιστεί η απόδοση συστημάτων “HVAC” σε μηνιαία ή ωριαία βάση. Το πρότυπο προσδιορίζει σχεδόν 40 μηχανισμούς που μπορούν να επηρεάσουν τη σχέση μεταξύ της απαίτησης ψύξης ή θέρμανσης ενός κτιρίου και την ενέργεια που χρησιμοποιείται από ένα σύστημα “HVAC” για να ικανοποιήσει την απαίτηση [17].

Όσον αφορά στην άμεση θερμική ακτινοβολία από συστήματα θέρμανσης και ψύξης, ισχύει η εξής γενική αρχή: Η θερμοκρασία αέρα για ένα δεδομένο επίπεδο θερμικής άνεσης, μπορεί να παραμείνει πιο χαμηλή λόγω της άμεσης ακτινοβολίας των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης πάνω στα άτομα του κτιρίου. Αυτό, στη συνέχεια, μειώνει τις απώλειες από τον αερισμό. Τα κριτήρια θερμικής άνεσης ορίζονται ως ένας σταθμισμένος μέσος όρος της θερμοκρασίας αέρα και της μέσης ακτινοβολού θερμοκρασίας σε ένα χώρο. Για πρακτικούς λόγους, συνηθίζεται να αντικαθίσταται η μέση ακτινοβόλος θερμοκρασία από τη μέση εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία του χώρου και να αγνοείται η άμεση ακτινοβολία από το σύστημα θέρμανσης. Για μία δεδομένη θερμοκρασία αέρα εσωτερικού χώρου, η ακτινοβολία από το σύστημα θέρμανσης που προσπίπτει πάνω στις επιφάνειες του χώρου, θα αυξήσει την θερμοκρασία επιφάνειας και επομένως τις απώλειες θερμότητας από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Διαφορετικές επιφάνειες θα επηρεαστούν σε διαφορετικό βαθμό. Εντούτοις, εάν η θερμοκρασία αέρα εσωτερικού χώρου χαμηλώσει για να διατηρηθεί μία σταθερή θερμοκρασία άνεσης, αυτό τείνει να μειώνει τη θερμοκρασία επιφάνειας. Υποθέτοντας ότι, για ένα δεδομένο επίπεδο άνεσης, η μέση εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία είναι ανεξάρτητη από το ποσό άμεσης ακτινοβολίας από το σύστημα θέρμανσης, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μείωση θερμοκρασίας αέρα που απαιτείται για να διατηρήσουμε την ίδια θερμοκρασία άνεσης στην παρουσία της άμεσης ακτινοβολίας [17].

Πρέπει να υπογραμμιστεί, εν τούτοις, ότι ακόμη και το καταλληλότερα επιλεγμένο σύστημα κλιματισμού μπορεί να είναι ακριβό στη λειτουργία του εάν δεν είναι σωστά εγκατεστημένο, ρυθμισμένο, ελεγχόμενο και συντηρούμενο. Έτσι, οι εν δυνάμει χρήστες ή ενεργειακοί διαχειριστές ή σχεδιαστές αυτών των συστημάτων καλούνται να λάβουν κάποια μέτρα ενεργειακής διαχείρισης σε ήδη υπάρχοντα ή υπό σχεδιασμό συστήματα θέρμανσης χώρων, δροσισμού και εξαερισμού. Ο σχεδιασμός των συστημάτων “HVAC” συσχετίζεται άμεσα και με άλλες λειτουργίες του κτιρίου, που περιλαμβάνουν το σχεδιασμό των συστημάτων φωτισμού, το σχεδιασμό του κτιριακού κελύφους, τη θερμική άνεση, καθώς και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Η απλή επιλογή του πιο κατάλληλου τύπου συστήματος δεν επιλύει το πρόβλημα στο σύνολό του. Το σύστημα πρέπει έπειτα να σχεδιαστεί κατάλληλα, ειδικά, πολλά από τα

οφέλη που προέκυψαν από την επιλογή θα καθούν. Η τεχνική βελτιστοποίησης είναι σχετικά περίπλοκη, αλλά οι τεχνικοί σύμβουλοι πρέπει να είναι σε θέση να βοηθούν τους εν δυνάμει χρήστες στο σημείο αυτό. Τα βασικά σημεία που πρέπει να εξετάζονται είναι τα ακόλουθα:

- Η μείωση των απαιτήσεων για ψύξη.
- Η βελτιστοποίηση των θερμοκρασιών του αέρα/νερού και των παρόχων τους.
- Η επιλογή των πιο αποδοτικών συνιστωσών.
- Η ανίχνευση των δυνατοτήτων για ελεύθερη ψύξη.

Επιπρόσθετα, ο διαρκής έλεγχος ενός συστήματος “HVAC” είναι κρίσιμος για την επιτυχή λειτουργία του. Το ζήτημα του ελέγχου των συστημάτων αυτών οδηγεί στην έννοια του χωρισμού των κτιρίων σε θερμικές ζώνες. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, μία θερμική ζώνη ορίζεται ως μία περιοχή ενός κτιρίου που απαιτεί χωριστό έλεγχο, εάν πρόκειται να παρασχεθεί με τον αποδοτικότερο δυνατό τρόπο θερμική άνεση στους ενοίκους κάθε περιοχής του κτιρίου. Για παράδειγμα, μπορεί να μην είναι δυνατό να κλιματισθεί επιτυχώς από ένα κοινό σημείο ελέγχου μία υπόγεια περιοχή γραφείων και ένα περιστοιχισμένο με τζαμαρίες αίθριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η δυναμική των θερμικών φορτίων στους δύο αυτούς χώρους απλά δεν είναι συμβατή. Προκειμένου να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμική άνεση, κάθε χώρος πρέπει να τροφοδοτείται με τη δική του διακριτή διάταξη έλεγχου. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα ελέγχου κλίματος πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει διαφορετικές θερμικές ζώνες. Σε ένα υπάρχον κτίριο, μία ζώνη αυτού του είδους προσδιορίζεται εύκολα ως μία περιοχή που λειτουργεί από ένα ενιαίο σημείο ελέγχου (όπως χαρακτηριστικά είναι ένας θερμοστάτης σε ένα ενεργό σύστημα). Τα δύο βασικά στοιχεία που πρέπει να εξετάζονται κατά την κατάστρωση των θερμικών ζωνών είναι η διαφορετική έκθεση των περιοχών ενός κτιρίου στην ηλιακή ακτινοβολία (π.χ. μία βόρεια πρόσοψη έναντι μίας ανατολικής) και τα διαφορετικά προγράμματα λειτουργίας και απαιτήσεων φορτίου (π.χ. μία περιστασιακά χρησιμοποιούμενη αίθουσα συνελεύσεων ή εστιατορίου έναντι ενός επί μόνιμου βάσεως κατειλημμένου διαμερίσματος γραφείων). Οι θερμικές ζώνες πρέπει να καταστρώνονται πολύ νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού των συστημάτων “HVAC”. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, οι χώροι που έχουν ασύμβατες μεταξύ τους απαιτήσεις υπάγονται σε διαφορετικές ζώνες και ο έλεγχος καθίσταται απλούστερος και, ταυτόχρονα, αποδοτικότερος. Επιπλέον, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο με τη βοήθεια ενός κεντρικού συστήματος αυτομάτου ελέγχου, που να διαχειρίζεται αυτόνομα τη θερμοκρασία του μέσου μεταφοράς της θερμότητας με το οποίο τροφοδοτείται η κάθε ζώνη. Ολόκληρες ζώνες μπορούν να κλείνουν όταν δεν είναι κατειλημμένες, ενώ το υπόλοιπο δίκτυο μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά [17].

Ιδιαίτερη προσοχή, επίσης, πρέπει να δίνεται στη διαφύλαξη της άνεσης των ενοίκων από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Εξάλλου, όσο σημαντική κι αν είναι η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτιριακό συγκρότημα, πάντοτε σημαντικότερη είναι η θερμική άνεση των ανθρώπων που κατοικούν ή λειτουργούν στους διάφορους χώρους του. Αντίστοιχα με τις θερμοστατικές βαλβίδες, οι θερμοστάτες των δωματίων πρέπει να ρυθμίζονται κατά τρόπο τέτοιο που οι ένοικοι να μην μπορούν να ορίσουν αυθαίρετα υψηλές θερμοκρασίες, επίτηδες ή κατά λάθος. Για τους διάφορους χώρους ενός κτιρίου, π.χ. για τα γραφεία, τα δωμάτια ενός ξενοδοχείου, κ.τ.λ., τα συνιστώμενα θερμοκρασιακά επίπεδα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί [17].

Είδος θέρμανσης	Συνιστώμενη θερμοκρασία
Κανονική θέρμανση	20-22°C
Θέρμανση ετοιμότητας	12-18°C

Πίνακας 3.3: Συνιστώμενα θερμοκρασιακά επίπεδα [17]

Τέλος, οι θερμαινόμενες περιοχές πρέπει να χωρίζονται σε ζώνες παρόμοιας ζήτησης θέρμανσης, όσον αφορά στις ώρες χρήσης και στα απαιτούμενα θερμοκρασιακά επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο, ο έλεγχος του συστήματος γίνεται πιο αποδοτικός. Ακόμα και μικρές διαφορές στη ρύθμιση της λειτουργίας του συστήματος μπορούν να αποφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στο βαθμό απόδοσής του. Για παράδειγμα, έχει υπολογισθεί ότι η μείωση της μέσης θερμοκρασίας του δωματίου, κατά την περίοδο θέρμανσης, αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 6% ανά βαθμό Κελσίου.

Παρομοίως, είναι πολύ σημαντικό να διατηρούνται οι συνιστώσες του συστήματος σε καλή επιχειρησιακή κατάσταση. Από μόνες τους, η ρύθμιση της λειτουργίας και η συντήρηση του λέβητα επιτρέπουν στη δυναμικότητά του να μεταβάλλεται έως και 20%. Όταν κάποιος προγραμματίζει τη συντήρηση ενός συστήματος θέρμανσης, πρέπει να έχει στο μυαλό του την τεράστια διαφορά στην απόδοση που εμφανίζει ένα καλά συντηρημένο, σε σχέση με ένα ελλιπώς συντηρημένο σύστημα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, μπορεί να μειωθεί η ενεργειακή σπατάλη, ή ακόμη και να καλυφθούν αυξημένες απαιτήσεις σε θέρμανση χώρων με μικρό ή και μηδενικό οικονομικό κόστος. Πάντοτε, όμως, εξαιτίας της πολυπλοκότητας των εν λόγω συστημάτων, η συντήρησή τους πρέπει να γίνεται από κάποιον ειδικευμένο τεχνικό και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Έτσι, μόνο, μπορεί να είναι εγγυημένη η ορθή λειτουργία και η καλή κατάσταση του εξοπλισμού.

Προκειμένου να διασφαλιστεί η αποδοτική χρήση του συστήματος θέρμανσης, πρέπει να υπάρχει κάποιος υπεύθυνος για αυτό. Αυτό το πρόσωπο θα πρέπει να έχει ως καθήκοντά του την επιτήρηση του τεχνικού προσωπικού, τη λήψη αποφάσεων σχετικών με τον έλεγχο και την κατάλληλη ρύθμιση του συστήματος, καθώς και την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για τις ανάγκες θέρμανσης του κάθε κτιριακού χώρου. Ο αυστηρός καθορισμός των καθηκόντων αυτού του προσώπου παρέχει τη σιγουριά ότι όλα τα μέτρα ενεργειακής διαχείρισης θα έχουν εξεταστεί λεπτομερώς πριν την υλοποίησή τους και ότι θα παρακολουθούνται στενά στη συνέχεια.

Οι ρυθμίσεις που αφορούν τη λειτουργία ενός συστήματος εξαερισμού και ψύξης πρέπει να γίνονται πάντα με τη σκέψη ότι η πρώτη προτεραιότητα του ενεργειακού διαχειριστή ενός κτιρίου είναι η άνεση των ενοίκων και όχι η υπερβολική εξοικονόμηση ενέργειας. Εντούτοις, σημαντική οικονομία ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να επηρεασθεί διόλου η άνεση των ανθρώπων που κατοικούν ή/και εργάζονται στους χώρους των διαφόρων κτιρίων. Έχοντας πάντα υπ' όψη τα παραπάνω, η συνιστώμενη θερμοκρασία για τους κατειλημμένους χώρους κυμαίνεται μεταξύ 23 και 25°C, αφού οι χαμηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, χωρίς να συνεπάγονται και την αντίστοιχη βελτίωση των συνθηκών άνεσης. Στις περιπτώσεις όπου παρέχεται η δυνατότητα για διάθεση τόσο θέρμανσης όσο και ψύξης σε ένα χώρο, πρέπει να δοθεί

ιδιαίτερη προσοχή ώστε να εξαλειφθεί η πιθανότητα ταυτόχρονης λειτουργίας των δύο αυτών συστημάτων στο χώρο αυτό.

Καθώς οι εγκαταστάσεις ψύξης και εξαερισμού αποτελούνται από πολλά μηχανικά στοιχεία, η συντήρησή τους είναι πολύπλοκη και θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με αυστηρό προγραμματισμό για την κάθε συνιστώσα του συστήματος. Πρέπει πάντοτε να ακολουθούνται πιστά οι χρόνοι στους οποίους συνιστάται από τον κατασκευαστή να γίνεται κάθε ενέργεια συντήρησης, αν και υπάρχουν μερικοί απλοί έλεγχοι, οι οποίοι μπορούν να γίνονται εύκολα από τον ίδιο το χειριστή του συστήματος, όπως π.χ. ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας των αντλιών, των “fan-coils” και των συμπιεστών, των ιμάντων των “fan-coils”, της κατάστασης που βρίσκονται τα διάφορα φίλτρα κλπ. Ο ολοκληρωμένος καθαρισμός διασφαλίζει αφενός την καλύτερη ποιότητα του αέρα και αφετέρου τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Η βελτίωση και η διατήρηση σε υψηλά επίπεδα του βαθμού απόδοσης ενός συστήματος ψύξης και εξαερισμού αποτελεί μία αδιάκοπη διαδικασία. Μπορεί να εξοικονομηθεί το 10 έως 30% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα, εάν ακολουθηθούν πιστά οι πρακτικές της συντήρησης. Η συνετή διαχείριση του συστήματος ψύξης και εξαερισμού μπορεί να μειώσει σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση της επιχείρησης. Εντούτοις, η άνεση των ενοίκων δεν πρέπει ποτέ να θυσιάζεται και πρέπει πάντα να αποτελεί την πρωταρχική σκέψη κατά τη διαχείριση του συστήματος ψύξης και εξαερισμού. Στόχος του ενεργειακού χειριστή πρέπει να είναι η μείωση της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη διατήρηση των συνιστώμενων επιπέδων θερμοκρασίας και ποιότητας του αέρα και όχι η υποβάθμιση του επιπέδου των συνθηκών άνεσης στους διάφορους χώρους του κτιρίου.

Αποτελεί γενικά καθήκον των Ενεργειακών Διαχειριστών να κάνουν τις κατάλληλες επιλογές για την ορθή λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης χώρων. Ο στόχος της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό εκ των προτέρων της κάθε δράσης που θα αναληφθεί προς την κατεύθυνση αυτή. Καταρχάς, πρέπει να εντοπιστούν και να υλοποιηθούν όσο το δυνατό συντομότερα τα μέτρα χαμηλού ή μηδενικού κόστους που μπορούν να εφαρμοστούν. Τα μέτρα που απαιτούν μεγαλύτερη επένδυση κεφαλαίου πρέπει να αξιολογούνται προσεκτικά, προκειμένου να εκτιμηθούν τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή τους. Αν κριθούν επικερδή, θα πρέπει επίσης να υλοποιούνται το συντομότερο δυνατό. Προγραμματισμό και οργάνωση απαιτούν, επίσης, τόσο η συντήρηση του εξοπλισμού σε καλή κατάσταση, όσο και η διατήρηση της κινητοποίησης του προσωπικού σε υψηλά επίπεδα [16,17].

3.2 Θερμική Άνεση

Η θερμική άνεση είναι αυτή η κατάσταση του νου που εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον και αξιολογείται υποκειμενικά (“ANSI/ASHRAE Standard 55”) [19]. Η διατήρηση αυτού του προτύπου θερμικής άνεσης για τους ενοίκους κτιρίων ή άλλων κλειστών χώρων είναι ένας από τους σημαντικούς στόχους των μηχανικών σχεδίασης των συστημάτων “HVAC” (θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός) [18]. Παρόμοια με το Πρότυπο “ASHRAE 55” υπάρχουν και άλλα πρότυπα άνεσης όπως είναι το “EN 15251” [20] και το πρότυπο “ISO 7730” [21,22].

Η ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον είναι πολύ σημαντική, γιατί, μεταξύ άλλων, επηρεάζει την παραγωγικότητα και την υγεία. Έχει διαπιστωθεί ότι οι υπάλληλοι γραφείου που είναι ικανοποιημένοι με το θερμικό τους περιβάλλον είναι πιο παραγωγικοί [23]. Η θερμική δυσφορία είναι επίσης γνωστό ότι οδηγεί σε συμπτώματα του συνδρόμου “sick building” [24].

Η έννοια της θερμικής άνεσης είναι στενά συνδεδεμένη με τη θερμικό στρες. Αυτή προσπαθεί να προβλέψει την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, της κίνησης του αέρα, της υγρασίας για το στρατιωτικό προσωπικό που υποβάλλεται σε ασκήσεις ή για αθλητές κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικών γεγονότων. Σε γενικές γραμμές, οι άνθρωποι δεν αποδίδουν καλά υπό θερμικό στρες. Οι επιδόσεις των ανθρώπων κάτω από θερμικό στρες είναι περίπου 11% χαμηλότερη από την επίδοσή τους σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας. Επίσης, η ανθρώπινη απόδοση σε συσχέτιση με το θερμικό στρες ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το είδος της εργασίας που εκτελούν. Μερικές από τις φυσιολογικές αντιδράσεις του θερμικού στρες περιλαμβάνουν αυξημένη ροή αίματος στο δέρμα και εφίδρωση [18,25,26].

Παρόλο που μία απλή στατική θερμοκρασία μπορεί να είναι άνετη, η θερμική απόλαυση προκαλείται συνήθως από ποικίλες θερμικές αισθήσεις. Τα προσαρμοστικά μοντέλα θερμικής άνεσης επιτρέπουν ευελιξία στο σχεδιασμό φυσικά αεριζόμενων κτιρίων που έχουν μεγαλύτερη ποικιλία εσωτερικών συνθηκών [27]. Τέτοια κτίρια μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια και να έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν περισσότερο ικανοποιημένους ενοίκους [28].

Η θερμική ουδετερότητα διατηρείται όταν η θερμότητα που παράγεται από τον ανθρώπινο μεταβολισμό μπορεί να διαχέεται, διατηρώντας έτσι τη θερμική ισορροπία με το περιβάλλον. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση είναι εκείνοι που καθορίζουν την πρόσληψη και την απώλεια θερμότητας, δηλαδή ο μεταβολικός ρυθμός, η μόνωση ρουχισμού, η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα του αέρα και η σχετική υγρασία. Ψυχολογικές παράμετροι, όπως οι ατομικές προσδοκίες, επηρεάζουν επίσης τη θερμική άνεση [28].

3.2.1 Βασικοί Παράγοντες

Δεδομένου ότι υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις από άνθρωπο σε άνθρωπο όσον αφορά στη φυσιολογική και την ψυχολογική ικανοποίηση, είναι δύσκολο να βρεθεί μία βέλτιστη θερμοκρασία για όλους σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Εργαστηριακά στοιχεία και δεδομένα από έρευνες πεδίου έχουν συλλεχθεί για να καθορίσουν τις συνθήκες που θα βρεθούν άνετες από ένα ορισμένο ποσοστό των ενοίκων [19].

Υπάρχουν έξι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τη θερμική άνεση, οι οποίοι μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες: τους προσωπικούς παράγοντες- διότι είναι χαρακτηριστικά των ενοίκων- και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες- που είναι συνθήκες του θερμικού περιβάλλοντος. Οι πρώτοι είναι ο μεταβολικός ρυθμός και το επίπεδο ένδυσης, ενώ οι τελευταίοι είναι η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η ταχύτητα του αέρα και η υγρασία. Ακόμα και αν όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορεί να μεταβάλλονται με το χρόνο, τα πρότυπα συνήθως αναφέρονται σε

μία σταθερή κατάσταση για τη μελέτη της θερμικής άνεσης, απλά επιτρέποντας περιορισμένες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας [18].

- Μεταβολικός Ρυθμός

Οι άνθρωποι έχουν διαφορετικούς μεταβολικούς ρυθμούς που μπορεί να κυμαίνονται εξαιτίας του επιπέδου δραστηριότητας και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Το πρότυπο “ASHRAE 55-2010” ορίζει το μεταβολικό ρυθμό ως το επίπεδο μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο μέσω μεταβολικών δραστηριοτήτων εντός ενός οργανισμού. Ο μεταβολικός ρυθμός εκφράζεται σε μονάδες “met”, οι οποίες ορίζονται ως εξής: 1 met = 58.2 W/m² (18.4 Btu/h·ft²), που είναι η ενέργεια που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας ενός μέσου ατόμου που κάθεται σε ανάπαυση. Η επιφάνεια ενός μέσου ανθρώπου είναι 1,8 m² (19 ft²).

Το πρότυπο “ASHRAE 55” παρέχει έναν πίνακα τιμών “met” για μία ποικιλία δραστηριοτήτων. Μερικές κοινές τιμές είναι 0,7 met για τον ύπνο, 1,0 met για καθιστή και ήσυχη θέση, 1,2-1,4 met για ελαφριές δραστηριότητες στάσης, 2,0 met ή παραπάνω για δραστηριότητες που περιλαμβάνουν κίνηση, περπάτημα, ύψωση βαρέων αντικειμένων ή χειρισμό μηχανημάτων. Για διακοπόμενες δραστηριότητες, τα Πρότυπο αναφέρει ότι είναι επιτρεπτό να χρησιμοποιείται ένας χρονικά σταθμισμένος μέσος μεταβολικός ρυθμός εάν οι άνθρωποι εκτελούν δραστηριότητες που ποικίλλουν κατά τη διάρκεια της περιόδου μίας ώρας ή λιγότερο. Για μεγαλύτερες περιόδους, πρέπει να θεωρηθούν διαφορετικοί μεταβολικοί ρυθμοί. Το γεγονός ότι τα ηλικιωμένα άτομα έχουν συχνά μία χαμηλότερη δραστηριότητα σε σύγκριση με τα νεότερα χρειάζεται επίσης να ληφθεί υπόψη. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με μεταβολικούς ρυθμούς δίνονται στο Διεθνές Πρότυπο “ISO 8996” [18].

Δραστηριότητα	Μεταβολικός Ρυθμός	
	W/m ²	met
Ανάπαυση	46	0,8
Καθιστή, ξεκούραστη	58	1,0
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, κατοικία, σχολείο, εργαστήριο)	70	1,2
Όρθια, ελαφριά δραστηριότητα (ψώνια, εργαστήριο, ελαφριά βιομηχανία)	93	1,6
Όρθια, μέτρια δραστηριότητα (εμποροϋπάλληλος, οικιακή εργασία, εργασία μηχανήματος)	116	2,0
Δουλεύοντας σε επίπεδο έδαφος:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Πίνακας 3.4: Πίνακας μεταβολικών ρυθμών για ενδεικτικές τυπικές δραστηριότητες [29]

Σύμφωνα με το Εγχειρίδιο του “ASHRAE”, η εκτίμηση μεταβολικών ρυθμών είναι πολύπλοκη, και για επίπεδα πάνω από 2 ή 3 met– ειδικά εάν υπάρχουν διάφοροι τρόποι να εκτελεστούν αυτές οι δραστηριότητες– η ακρίβεια είναι χαμηλή. Ως εκ τούτου, το Πρότυπο δεν είναι εφαρμόσιμο για δραστηριότητες με ένα μέσο επίπεδο υψηλότερο από 2 met. Οι τιμές “met” μπορούν επίσης να καθοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις πινακοποιημένες, με χρήση μία εμπειρικής εξίσωσης που λαμβάνει υπόψη το ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου και παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα από το αναπνευστικό. Μία ακόμα φυσιολογική, αλλά λιγότερο ακριβής, μέθοδος σχετίζεται με το ρυθμό της καρδιάς, δεδομένου ότι υπάρχει σχέση μεταξύ του τελευταίου και της παραγωγής οξυγόνου.

Οι συνήθειες φαγητού και ποτού μπορεί να έχουν μία επίδραση στους μεταβολικούς ρυθμούς, γεγονός που επηρεάζει εμμέσως τις θερμικές προτιμήσεις. Ο σωματότυπος είναι ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στη θερμική άνεση. Η διάχυση θερμότητας εξαρτάται από την επιφάνεια του σώματος. Ένας ψηλός και αδύνατος άνθρωπος έχει μία μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας προς όγκο, μπορεί να απομακρύνει τη θερμότητα πιο εύκολα, και μπορεί να αντέξει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με ένα άτομο με πιο στρογγυλό σωματότυπο [18].

- Μόνωση ρουχισμού

Η ποσότητα της θερμικής μόνωσης που φοριέται από ένα άτομο έχει σημαντικό αντίκτυπο στη θερμική άνεση, δεδομένου ότι επηρεάζει την απώλεια θερμότητας και, κατά συνέπεια, τη θερμική ισορροπία. Στρώματα ρούχων από μονωτικό υλικό αποτρέπουν την απώλεια θερμότητας και μπορούν είτε να βοηθήσουν ώστε να κρατηθεί ο άνθρωπος ζεστός είτε να οδηγήσουν σε υπερθέρμανση. Γενικά, όσο πιο παχύ είναι το ένδυμα, τόσο μεγαλύτερη μονωτική ικανότητα έχει. Ανάλογα με το είδος του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα ενδύματα, η κίνηση του αέρα και η σχετική υγρασία μπορούν να μειώσουν τη μονωτική ικανότητα του υλικού.

Όσον αφορά στις μονάδες: 1 CLO είναι ίσο με 0,155 m²·K/W (0,88 °F·ft²·h/Btu). Αυτή η τιμή αντιστοιχεί σε ένα παντελόνι, ένα πουκάμισο με μακριά μανίκια και μία ζακέτα. Τιμές μόνωσης ρουχισμού για άλλα κοινά σύνολα ή μεμονωμένα ενδύματα μπορούν να βρεθούν στο “ASHRAE 55”.

Η μόνωση ρουχισμού (I_{cl}) μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα για τυπικούς συνδυασμούς ενδυμάτων (οι τιμές είναι για στατική θερμική μόνωση), ή έμμεσα, μέσω άθροισης των μερικών τιμών μόνωσης για κάθε ρούχο, I_{clu} [18].

Ενδυμασία εργασίας	I _{cl}		Καθημερινή ενδυμασία	I _{cl}	
	Clo	m ² ·K/W		Clo	m ² ·K/W
Εσώρουχα, κοστούμι, κάλτσες, παπούτσια	0,70	0,110	Κιλότα, “T-shirt”, σορτς, ελαφριές κάλτσες, σανδάλια	0,30	0,050
Εσώρουχα, πουκάμισο, κοστούμι, κάλτσες, παπούτσια	0,80	0,125	Εσώρουχα, πουκάμισο με κοντά μανίκια, ελαφρύ παντελόνι, ελαφριές κάλτσες, παπούτσια	0,50	0,080

Εσώρουχα, πουκάμισο, παντελόνι, μπλουζα εργασίας, κάλτσες, παπούτσια	0,90	0,140	Κιλότα, μεσοφόρι, καλσόν, φόρεμα, παπούτσια	0,70	0,105
Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,00	0,140	Εσώρουχα, πουκάμισο, παντελόνι, κάλτσες, παπούτσια	0,70	0,110
Εσώρουχα με μακριά πόδια και μανίκια, θερμο-μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,20	0,155	Κιλότα, πουκάμισο, μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,00	0,155
Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, μπουφάν, βαρύ καπιτονέ εξωτερικό μπουφάν και φόρμες, κάλτσες, παπούτσια, σκούφος, γάντια	1,40	0,185	Κιλότα, καλσόν, μπλουζα, μακριά φούστα, σακάκι, παπούτσια	1,10	0,170
Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, μπουφάν, βαρύ καπιτονέ εξωτερικό μπουφάν και φόρμες, κάλτσες, παπούτσια	2,00	0,310	Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, πουλόβερ με λαιμό “V”, μπουφάν, κάλτσες, παπούτσια	1,30	0,200
Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πόδια, θερμο-μπουφάν και παντελόνι, ζακέτα με βαριά γέμιση, φόρμες με βαριά γέμιση, κάλτσες, παπούτσια, σκούφος, γάντια	2,55	0,395	Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πόδια, πουκάμισο, παντελόνι, γιλέκο, μπουφάν, παλτό, κάλτσες, παπούτσια	1,50	0,230

Πίνακας 3.5: Θερμική μόνωση για τυπικούς συνδυασμούς ενδυμάτων [29]

Ο ακόλουθος πίνακας δίνει την αντίστοιχη αλλαγή στη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας που είναι απαραίτητη για να διατηρήσει τη θερμική αίσθηση σε ουδέτερο επίπεδο όταν ένα ένδυμα αφαιρείται σε ελαφριά καθιστική δραστηριότητα (1,2 met) [29].

Ένδυμα	Iclu		Αλλαγή στη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας, °C
	clo	m ² *K/W	
Εσώρουκα			
Κιλότες	0,03	0,005	0,2
Σλιπ με μακριά πόδια	0,10	0,016	0,6
Αθλητική φανέλα			
Κοντομάνικη μπλούζα	0,04	0,006	0,3
Πουκάμισο με μακριά	0,09	0,014	0,6
μανίκια	0,12	0,019	0,8
Εσώρουκα και σουτιέν	0,03	0,005	0,2
Πουκάμισα/Μπλούζες			
Κοντά μανίκια	0,15	0,023	0,9
Ελαφριά, μακριά μανίκια	0,20	0,031	1,3
Κανονική, μακριά μανίκια			
Φανέλα πουκάμισο, μακριά	0,25	0,039	1,6
μανίκια			
Ελαφριά μπλούζα, μακριά	0,30	0,047	1,9
μανίκια	0,15	0,023	0,9
Παντελόνι			
Σορτς	0,06	0,009	0,4
Ελαφρύ	0,20	0,031	1,3
Κανονικό	0,25	0,039	1,6
Φανέλα	0,28	0,043	1,7
Φορέματα/Φούστες			
Ελαφριά φούστα	0,15	0,023	0,9
(καλοκαίρι)			
Βαριά φούστα (χειμώνας)	0,25	0,039	1,6
Ελαφρύ φόρεμα, κοντά			
μανίκια	0,20	0,031	1,3
Χειμωνιάτικο φόρεμα,			
μακριά μανίκια	0,40	0,062	2,5
Σακάκι	0,55	0,085	3,4
Πουλόβερ			
Αμάνικο γιλέκο	0,12	0,019	0,8
Λεπτό πουλόβερ	0,20	0,031	1,3
Πουλόβερ	0,28	0,043	1,7
Χοντρό πουλόβερ	0,35	0,054	2,2
Μπουφάν			
Ελαφρύ καλοκαιρινό	0,25	0,039	1,6
μπουφάν			
Μπουφάν	0,35	0,054	2,2
Μπλούζα εργασίας	0,30	0,047	1,9

Υψηλής μόνωσης			
Σακάκι	0,90	0,140	5,6
Παντελόνι	0,35	0,054	2,2
Μπουφάν	0,40	0,062	2,5
Γιλέκο	0,20	0,031	1,3
Ενδυμασία εξωτερικού χώρου			
Παλτό	0,60	0,093	3,7
Εσωτερικό μπουφάν	0,55	0,085	3,4
Γούνινο πανωφόρι με κουκούλα κεφαλής	0,70	0,109	4,3
Φόρμες	0,55	0,085	3,4
Διάφορα			
Κάλτσες	0,02	0,003	0,1
Χοντρές κάλτσες μέχρι τον αστράγαλο	0,05	0,008	0,3
Χοντρές, μακριές κάλτσες	0,10	0,016	0,6
Νάιλον καλσόν	0,03	0,005	0,2
Παπούτσια (με λεπτή σόλα)	0,02	0,003	0,1
Παπούτσια (με χοντρή σόλα)	0,04	0,006	0,3
Μπότες			
Γάντια	0,10	0,016	0,6
	0,05	0,008	0,3

Πίνακας 3.6: Συνεισφορά ενδυμάτων σε βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας [29]

Για καθιστούς ανθρώπους, η καρέκλα μπορεί να συνεισφέρει μία πρόσθετη μόνωση από 0 έως 0,4 clo. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στο Διεθνές Πρότυπο “ISO 9920” [29].

Είδος καρέκλας	Iclu	
	Clo	m ² *K/W
Σκέπη/μεταλλική καρέκλα	0,00	0,00
Ξύλινο σκαμπό	0,01	0,002
Τυπική καρέκλα γραφείου	0,1	0,016
Εκτελεστική καρέκλα	0,15	0,023

Πίνακας 3.7: Τιμές θερμικής μόνωσης για καρέκλες [29]

Αυτές οι τιμές μπορεί να προστεθούν στις τιμές μόνωσης μεμονωμένων ενδυμάτων (Πίνακας 3.5) ή στις τιμές συνόλων (Πίνακας 3.6) [29].

- Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία αέρα είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει τον ένοικο, σε σχέση με το χρόνο και την τοποθεσία. Σύμφωνα με το πρότυπο “ASHRAE 55”, ο χωρικός μέσος όρος λαμβάνει υπόψη τα επίπεδα του αστράγαλου, της μέσης και του κεφαλιού, που διαφέρουν για καθιστούς και όρθιους ενοίκους. Ο χρονικός μέσος όρος βασίζεται σε 30-λεπτα διαστήματα με τουλάχιστον 18 ισαπέχοντα σημεία στο χρόνο [18].

- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η θερμοκρασία ακτινοβολίας σχετίζεται με την ποσότητα θερμότητας ακτινοβολίας που μεταφέρεται από μία επιφάνεια, και εξαρτάται από την ικανότητα του υλικού να απορροφά ή να εκπέμπει θερμότητα, δηλαδή από την εκπεμπτικότητά του. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας εξαρτάται από τις θερμοκρασίες και τις εκπεμπτικότητες των περιβαλλουσών επιφανειών, όπως επίσης και από το ποσό της επιφάνειας του αντικειμένου που «βλέπεται». Έτσι, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας που βιώνεται από έναν άνθρωπο σε ένα δωμάτιο με το φως του ήλιου σε συνεχή ροή ποικίλει ανάλογα με το πόσο μέρος του σώματός του βρίσκεται στον ήλιο [18].

- Θερμοκρασία λειτουργίας

Η θερμοκρασία λειτουργίας επιδιώκει να συνδυάσει τις επιδράσεις των θερμοκρασιών αέρα και μέσης ακτινοβολίας σε μία μετρική. Προσεγγίζεται συχνά ως ο μέσος όρος της θερμοκρασίας αέρα ξηρού βολβού και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας σε μία δεδομένη θέση σε ένα δωμάτιο. Σε δωμάτια με χαμηλή θερμική μάζα, η θερμοκρασία λειτουργίας θεωρείται ορισμένες φορές ότι είναι απλά η θερμοκρασία αέρα [18].

- Ταχύτητα αέρα

Η ταχύτητα αέρα ορίζεται ως ο ρυθμός κίνησης αέρα σε ένα σημείο, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η 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 ίδιο όπως η θερμοκρασία αέρα, ενώ ο χωρικός μέσος όρος βασίζεται στην υπόθεση ότι το σώμα εκτίθεται σε μία ομοιόμορφη ταχύτητα αέρα, σύμφωνα με το θερμο-φυσιολογικό μοντέλο “SET”. Ωστόσο, ορισμένοι χώροι μπορεί να παρέχουν ισχυρά ανομοιόμορφα πεδία ταχύτητας αέρα και επακόλουθες απώλειες θερμότητας μέσω του δέρματος που δεν μπορούν να θεωρηθούν ομοιόμορφες. Ως εκ τούτου, ο σχεδιαστής μπορεί να αποφασίσει κατά μέσο όρο, συμπεριλαμβανομένης ιδίως της ταχύτητας αέρα που προσπίπτει σε μη ντυμένα μέρη σώματος, που έχουν μεγαλύτερη επίδραση ψύξης και δυνατότητα για τοπική δυσφορία [18].

- Σχετική υγρασία

Η σχετική υγρασία είναι η αναλογία της ποσότητας των υδρατμών στον αέρα σε σχέση με την ποσότητα υδρατμών που ο αέρας θα μπορούσε να κρατήσει στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση. Ενώ το ανθρώπινο σώμα έχει αισθητήρες μέσα στο δέρμα που είναι αρκετά αποτελεσματικοί στο αίσθημα θερμότητας και ψύχους, η σχετική υγρασία ανιχνεύεται έμμεσα. Η εφίδρωση είναι ένας αποτελεσματικός μηχανισμός απώλειας θερμότητας που στηρίζεται στην εξάτμιση από το δέρμα. Ωστόσο, σε υψηλές σχετικές υγρασίες, ο αέρας έχει υδρατμούς κοντά στο μέγιστο που μπορεί να κρατήσει, έτσι η εξάτμιση, και ως εκ τούτου η απώλεια θερμότητας, μειώνεται. Από την άλλη πλευρά, πολύ ξηρά περιβάλλοντα (σχετική υγρασία < 20-30%) είναι επίσης άβολα λόγω της επίδρασής τους στους βλεννογόνους. Το συνιστώμενο επίπεδο εσωτερικής υγρασίας είναι στην κλίμακα από 30 έως 60% σε κλιματιζόμενα κτίρια, αλλά τα νέα πρότυπα, όπως το προσαρμοστικό μοντέλο, επιτρέπουν χαμηλότερες και υψηλότερες υγρασίες, ανάλογα με τους άλλους παράγοντες που εμπλέκονται στη θερμική άνεση.

Ένας τρόπος να μετρήσουμε την ποσότητα της σχετικής υγρασίας στον αέρα είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα σύστημα από θερμομέτρα ξηρού βολβού και υγρού βολβού. Ενώ το πρώτο μετρά τη θερμοκρασία χωρίς να λάβει υπόψη την υγρασία— όπως στις εκθέσεις καιρικών συνθηκών— το δεύτερο έχει ένα μικρό βρεγμένο πανί τυλιγμένο γύρω από το βολβό στη βάση του, έτσι ώστε η μέτρηση να λαμβάνει υπόψη την εξάτμιση του νερού στον αέρα. Η ανάγνωση του θερμομέτρου υγρού βολβού θα είναι επομένως πάντοτε ελαφρώς χαμηλότερη από αυτήν του θερμομέτρου ξηρού βολβού. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο θερμοκρασιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της σχετικής υγρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο θερμομέτρων, τόσο χαμηλότερο είναι το επίπεδο της σχετικής υγρασίας.

Η υγρασία του δέρματος σε διαφορετικές περιοχές επίσης επηρεάζει την αντιληπτή θερμική άνεση. Η εξωτερική υγρασία μπορεί να αυξήσει την υγρασία δέρματος σε διαφορετικές περιοχές του σώματος, οδηγώντας σε μία αντίληψη δυσφορίας. Αυτό είναι συνήθως εντοπισμένο σε διαφορετικά μέρη του σώματος, και τα όρια τοπικής θερμικής άνεσης για υγρασία δέρματος διαφέρουν ανά περιοχές του σώματος. Τα άκρα είναι πιο ευαίσθητα στη θερμική δυσφορία από υγρότητα σε σχέση με τον κορμό του σώματος. Αν και η τοπική θερμική δυσφορία μπορεί να προκληθεί από υγρασία, η θερμική άνεση ολόκληρου του σώματος δεν θα επηρεαστεί από την υγρασία ορισμένων περιοχών.

Πρόσφατα, οι επιδράσεις της χαμηλής σχετικής υγρασίας και της υψηλής ταχύτητας αέρα εξετάστηκαν σε ανθρώπους μετά το μπάνιο. Οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι η χαμηλή σχετική υγρασία προκάλεσε θερμική δυσφορία, όπως και την αίσθηση ξηρότητας και κνησιού. Προτείνεται να διατηρούνται τα επίπεδα σχετικής υγρασίας υψηλότερα σε ένα μπάνιο σε σχέση με άλλα δωμάτια στο σπίτι για βέλτιστες συνθήκες [18].

3.2.2 Μοντέλα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση διερευνήθηκαν πειραματικά κατά τη δεκαετία του 1970. Πολλές από αυτές τις μελέτες εκτελέστηκαν στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο του Κάνσας από τον Ole Fanger και άλλους και οδήγησαν στην ανάπτυξη και τη βελτίωση του Προτύπου “ASHRAE 55”. Η αντιληπτή άνεση βρέθηκε να είναι μία πολύπλοκη αλληλεπίδραση των παραπάνω μεταβλητών. Διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία των ατόμων θα πρέπει να πληροί ένα ιδανικό σύνολο τιμών. Καθώς το εύρος των τιμών απέκλινε προοδευτικά από το ιδανικό, όλο και λιγότεροι άνθρωποι ήταν ικανοποιημένοι. Η παρατήρηση αυτή θα μπορούσε να εκφραστεί ως ποσοστό των ατόμων που εξέφρασαν ικανοποίηση από τις συνθήκες άνεσης και ως το “predicted mean vote (PMV)”. Η προσέγγιση αυτή αμφισβητήθηκε από το προσαρμοστικό μοντέλο άνεσης που αναπτύχθηκε από το έργο “ASHRAE 884”, το οποίο αποκάλυψε ότι οι ένοικοι ήταν άνετοι για ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Αυτή η έρευνα εφαρμόζεται για τη δημιουργία προγραμμάτων ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων (“Building Energy Simulation (BES)”) για κτίρια κατοικίας. Ειδικότερα τα οικιστικά κτίρια μπορεί να ποικίλουν περισσότερο ως προς τη θερμική άνεση σε σχέση με τα δημόσια και εμπορικά κτίρια. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο μέγεθός τους, τις μεταβολές στο ρουχισμό που φοριέται, και τις διαφορετικές χρήσεις του κάθε δωματίου. Τα δωμάτια κύριου ενδιαφέροντος είναι τα μπάνια και τα υπνοδωμάτια. Τα μπάνια χρειάζεται να είναι σε θερμοκρασία άνετη για τον άνθρωπο με ή χωρίς ρούχα. Τα υπνοδωμάτια είναι πολύ σημαντικά γιατί χρειάζεται να φιλοξενούν διαφορετικά επίπεδα

ένδυσης και επίσης διαφορετικούς μεταβολικούς ρυθμούς ανθρώπων κοιμισμένων ή ξύπνιων. Οι ώρες δυσφορίας είναι μία κοινή μετρική που χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει τη θερμική επίδοση ενός χώρου.

Τα τελευταία είκοσι χρόνια, οι ερευνητές έχουν επίσης ανακαλύψει μοντέλα θερμικής άνεσης που διαιρούν το ανθρώπινο σώμα σε πολλά τμήματα, και προβλέπουν την τοπική θερμική δυσφορία θεωρώντας τη θερμική ισορροπία. Αυτό έχει ανοίξει μία νέα αρένα μοντέλων θερμικής άνεσης που στοχεύει στη θέρμανση/ψύξη επιλεγμένων μερών σώματος [18].

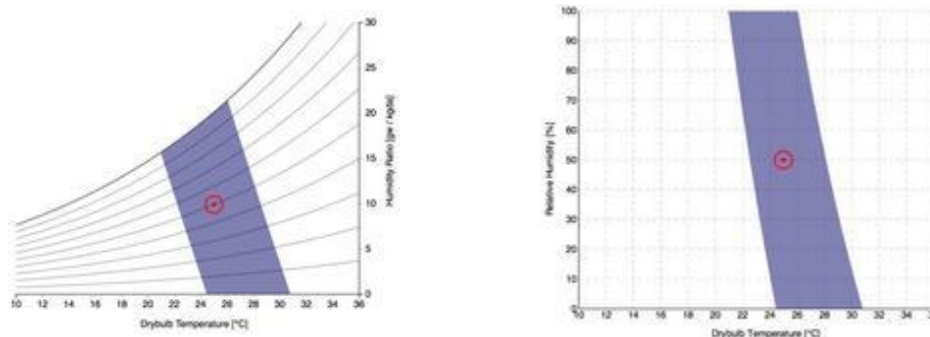
Σίγουρα, πάντως, μέχρι σήμερα όταν συζητάμε για θερμική άνεση, υπάρχουν δύο κύρια διαφορετικά μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν: το στατικό μοντέλο (“PMV/PPD”) και το προσαρμοστικό μοντέλο.

Το μοντέλο “Predicted Mean Vote (PMV)” βρίσκεται μεταξύ των πιο αναγνωρισμένων μοντέλων θερμικής άνεσης. Αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τις αρχές της θερμικής ισορροπίας και πειραματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν σε ένα θάλαμο ελεγχόμενου κλίματος υπό συνθήκες σταθερής κατάστασης. Το προσαρμοστικό μοντέλο, από την άλλη πλευρά, αναπτύχθηκε με βάση εκατοντάδες μελέτες πεδίου με την ιδέα ότι οι ένοικοι αλληλεπιδρούν δυναμικά με το περιβάλλον τους. Οι ένοικοι ελέγχουν το θερμικό περιβάλλον τους, μέσω της ένδυσης, αλλά και με ανοιγόμενα παράθυρα, ανεμιστήρες, προσωπικούς θερμοσίφωνες και ομπρέλες/τέντες.

Το μοντέλο “PMV” μπορεί να εφαρμοστεί σε κλιματιζόμενα κτίρια, ενώ το προσαρμοστικό μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί γενικά μόνο σε κτίρια όπου δεν έχουν εγκατασταθεί μηχανικά συστήματα. Δεν υπάρχει συναίνεση για το ποιο μοντέλο άνεσης θα πρέπει να εφαρμόζεται για κτίρια που είναι μερικώς κλιματιζόμενου αέρα κωρικά ή χρονικά.

- **Μέθοδος “PMV/PPD”**

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται δύο εναλλακτικές αναπαραστάσεις θερμικής άνεσης σύμφωνα με τη μέθοδο “PMV/PPD”: το ψυχομετρικό διάγραμμα (αριστερά) και το διάγραμμα θερμοκρασίας – σχετικής υγρασίας (δεξιά).



Σχήμα 3.2: Αναπαραστάσεις θερμικής άνεσης με τη μέθοδο “PMV/PPD” [18]

Το μοντέλο “PMV/PPD” αναπτύχθηκε από τον P. O. Fanger χρησιμοποιώντας εξισώσεις θερμικής ισορροπίας και εμπειρικές μελέτες σχετικά με τη θερμοκρασία δέρματος, για να καθορίσει την άνεση. Οι τυπικές έρευνες θερμικής άνεσης ρωτούν τα υποκείμενα σχετικά με τη θερμική τους αίσθηση σε μία 7-βάθμια κλίμακα από το πολύ κρύο (-3) έως το πολύ ζεστό (+3) [18]. Οι εξισώσεις του Fanger χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπολογίσουν το 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 [30]. Η ιδανική τιμή είναι το μηδέν, που αντιπροσωπεύει τη θερμική ουδετερότητα, και η ζώνη άνεσης καθορίζεται από τους συνδυασμούς των έξι παραμέτρων για τους οποίους το “PMV” είναι εντός των συνιστώμενων ορίων ($-0,5 < PMV < +0,5$) [19]. Παρόλο που η πρόβλεψη της θερμικής αίσθησης του πληθυσμού είναι ένα σημαντικό βήμα στον καθορισμό των συνθηκών άνεσης, είναι περισσότερο χρήσιμο να λάβουμε υπόψη το εάν οι άνθρωποι θα είναι ικανοποιημένοι ή όχι. Ο Fanger ανέπτυξε μία άλλη εξίσωση για να συσχετίσει το “PMV” και το “Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)”. Αυτή η σχέση βασιζόταν σε μελέτες που ρωτούσαν υποκείμενα σε ένα δωμάτιο όπου οι συνθήκες εσωτερικού χώρου μπορούσαν να ελέγχονται με ακρίβεια [30].

Αυτή η μέθοδος αντιμετωπίζει όλους τους ενοίκους με τον ίδιο τρόπο και αγνοεί την τοποθεσία και την προσαρμογή στο θερμικό περιβάλλον [31]. Βασικά αναφέρει ότι η εσωτερική θερμοκρασία δεν θα πρέπει να αλλάζει καθώς αλλάζουν οι εποχές. Αντίθετα, θα πρέπει να υπάρχει μία θερμοκρασία όλο το χρόνο. Αυτό συνεπάγεται την πιο παθητική στάση ότι οι άνθρωποι δε χρειάζεται να προσαρμόζονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, δεδομένου ότι η θερμοκρασία θα είναι πάντα σταθερή [18,32].

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 [19].

- ο Μέθοδος αυξημένης ταχύτητας αέρα

Επειδή η κίνηση αέρα μπορεί να παρέχει απευθείας ψύξη σε ανθρώπους, ειδικά εάν δε φοράνε υπερβολικά πολλά ρούχα, υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να είναι πιο άνετες σε σχέση με αυτές που προβλέπει το μοντέλο “PMV”. Ταχύτητες αέρα πάνω από 0,8 m/s επιτρέπονται χωρίς τοπικό έλεγχο, και πάνω από 1,2 m/s είναι δυνατές με τοπικό έλεγχο. Αυτή η εντονότερη κίνηση αέρα αυξάνει τη μέγιστη θερμοκρασία για ένα χώρο γραφείου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε 30°C από 27,5°C [18].

- ο Τυπική ενεργή θερμοκρασία

Το “Standard effective temperature (SET)” είναι ένα μοντέλο ανθρώπινης απόκρισης στο θερμικό περιβάλλον. Ανακαλύφθηκε από τον A. P. Gagge, το 1986 έγινε αποδεκτό από το “ASHRAE” και επίσης αναφέρεται ως το μοντέλο “Pierce Two-Node” [33]. Ο υπολογισμός του είναι παρόμοιος με αυτόν του “PMV”, διότι είναι ένας ολοκληρωμένος δείκτης άνεσης βασισμένος σε εξισώσεις θερμικής ισορροπίας, που ενσωματώνουν τους προσωπικούς παράγοντες ένδυσης και μεταβολικού ρυθμού. Η θεμελιώδης διαφορά του είναι ότι χρειάζεται μία μέθοδο δύο κόμβων για να αναπαραστήσει την ανθρώπινη φυσιολογία μετρώντας τη θερμοκρασία και την υγρασία δέρματος [34].

Το “ASHRAE 55-2010” ορίζει το “SET” ως «η θερμοκρασία ενός υποθετικού περιβάλλοντος με σχετική υγρασία 50%, μέση ταχύτητα αέρα <0,1 m/s, και μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ίση με τη μέση θερμοκρασία αέρα, στην οποία η συνολική απώλεια θερμότητας από το δέρμα ενός υποθετικού ενοίκου με επίπεδο δραστηριότητας 1,0 met και επίπεδο ένδυσης 0,6 clo είναι η ίδια με αυτή από έναν άνθρωπο στο πραγματικό περιβάλλον, με πραγματικό ρουχισμό και επίπεδο δραστηριότητας» [19].

Σύμφωνα με έρευνα δοκιμής του μοντέλου από τα πειραματικά δεδομένα, διαπιστώθηκε ότι έχει την τάση να υπερεκτιμά τη θερμοκρασία του δέρματος και να υποτιμά την υγρασία του δέρματος [33].

- ο Τοπική θερμική δυσφορία

Παρόλο που η θερμική άνεση αναφέρεται συνήθως για το σώμα ως σύνολο, θερμική δυσαρέσκεια μπορεί επίσης να συμβεί μόνο για ένα συγκεκριμένο μέρος του σώματος, εξαιτίας ανεπιθύμητων τοπικών πηγών θέρμανσης, ψύξης ή κίνησης του αέρα [29]. Σύμφωνα με το πρότυπο “ASHRAE 55-2010” [19], υπάρχουν τέσσερις κύριες αιτίες της θερμικής δυσφορίας που πρέπει να εξεταστούν. Ένα τμήμα του προτύπου καθορίζει τις απαιτήσεις για αυτούς τους παράγοντες, οι οποίοι ισχύουν για ελαφριά ντυμένους ανθρώπους που ασκούν σχεδόν καθιστική σωματική δραστηριότητα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι άνθρωποι με υψηλότερους μεταβολικούς ρυθμούς και/ή περισσότερη μόνωση ρουχισμού είναι λιγότερο θερμικώς ευαίσθητοι, και, κατά συνέπεια, έχουν μικρότερο κίνδυνο θερμικής δυσφορίας [18]. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν τοπική δυσαρέσκεια, όπως οι ακόλουθοι:

- Ασυμμετρία θερμοκρασίας ακτινοβολίας

Μεγάλες διαφορές στη θερμική ακτινοβολία των επιφανειών που περιβάλλουν έναν άνθρωπο μπορεί να προκαλέσουν τοπική δυσφορία ή να μειώσουν την αποδοχή των θερμικών συνθηκών [18]. Το Πρότυπο “ASHRAE 55” θέτει όρια στις επιτρεπτές θερμοκρασιακές αποκλίσεις μεταξύ των διαφόρων επιφανειών. Επειδή οι άνθρωποι είναι περισσότερο ευαίσθητοι σε ορισμένες ασυμμετρίες σε σχέση με άλλες, για παράδειγμα στην ασυμμετρία μίας θερμής οροφής έναντι των θερμών και ψυχρών κατακόρυφων επιφανειών, τα όρια εξαρτώνται από το ποιες επιφάνειες εμπλέκονται. Η οροφή δεν επιτρέπεται να είναι πάνω από 5°C (9,0 °F) θερμότερη, ενώ ένας τοίχος μπορεί να είναι μέχρι και 23°C (41 °F) θερμότερος σε σχέση με άλλες επιφάνειες [19].

- Ρεύμα αέρα

Ενώ η κίνηση του αέρα μπορεί να είναι ευχάριστη και να παρέχει άνεση σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι ορισμένες φορές ανεπιθύμητη και προκαλεί δυσφορία. Αυτή η ανεπιθύμητη κίνηση αέρα καλείται ρεύμα και είναι πιο διαδεδομένη όταν η θερμική αίσθηση του συνολικού σώματος είναι ψυχρή. Οι άνθρωποι έχουν περισσότερες πιθανότητες να νιώθουν ρεύμα σε ακάλυπτες περιοχές του σώματός τους, όπως κεφάλι, λαιμός, ώμοι, αγκώνες, αστράγαλοι, πατούσες και πόδια, αλλά η αίσθηση εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα του αέρα, τη θερμοκρασία του αέρα, τη δραστηριότητα και την ένδυση [19].

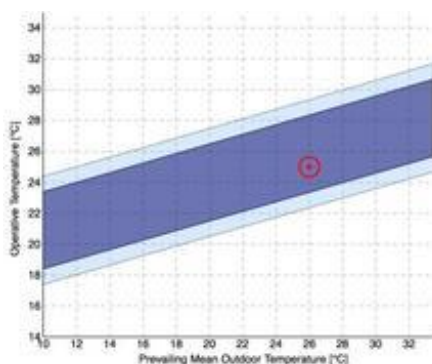
- Κατακόρυφη διαφορά θερμοκρασίας αέρα

Η θερμική διαστρωμάτωση, που έχει ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του αέρα στο ύψος του κεφαλιού να είναι υψηλότερη από ό,τι στο επίπεδο του αστραγάλου, μπορεί να προκαλέσει θερμική δυσφορία. Το Πρότυπο “ASHRAE 55” συνιστά αυτή η διαφορά να μην είναι μεγαλύτερη από 3 °C (5,4 ° F) [19].

- Θερμοκρασία επιφάνειας πατώματος

Πατώματα που είναι υπερβολικά ζεστά ή κρύα μπορεί να προκαλέσουν δυσφορία. Το “ASHRAE 55” συνιστά να διατηρούνται οι θερμοκρασίες πατώματος στο εύρος 19-29 °C (66-84 °F) σε χώρους όπου οι ένοικοι θα φοράνε ελαφριά παπούτσια [19].

- **Μοντέλο προσαρμοστικής άνεσης**



Σχήμα 3.3: Προσαρμοστικό διάγραμμα σύμφωνα με το Πρότυπο “ASHRAE 55-2010” [18]

Το προσαρμοστικό μοντέλο βασίζεται στην ιδέα ότι το κλίμα εξωτερικού χώρου επηρεάζει την άνεση εσωτερικού χώρου, διότι οι άνθρωποι μπορούν να προσαρμόζονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια διαφορετικών περιόδων του έτους. Η προσαρμοστική υπόθεση προβλέπει συναφείς παράγοντες, όπως η ύπαρξη πρόσβασης σε περιβαλλοντικούς ελέγχους, και η επιρροή του παρελθοντικού θερμικού ιστορικού στις θερμικές προτιμήσεις και προσδοκίες των ενοίκων του κτιρίου [28]. Πολυάριθμοι ερευνητές έχουν διεξάγει μελέτες πεδίου σε όλον τον κόσμο με τον οποίο ερευνούν τους ενοίκους του κτιρίου για τη θερμική άνεσή τους, λαμβάνοντας ταυτόχρονα περιβαλλοντικές μετρήσεις. Η ανάλυση μίας βάσης δεδομένων με αποτελέσματα από 160 από αυτά τα κτίρια αποκάλυψε ότι οι ένοικοι φυσικά αεριζόμενων κτιρίων αποδέχονται και μάλιστα προτιμούν ένα ευρύτερο φάσμα θερμοκρασιών από τους αντίστοιχους σε σφραγισμένα, κλιματιζόμενα κτίρια, επειδή η προτιμώμενη θερμοκρασία τους εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες [28]. Αυτά τα αποτελέσματα είχαν ενσωματωθεί στο πρότυπο “ASHRAE 55-2004” ως το προσαρμοστικό μοντέλο άνεσης. Το προσαρμοστικό διάγραμμα συσχετίζει την εσωτερική θερμοκρασία άνεσης με την επικρατούσα εξωτερική θερμοκρασία και προσδιορίζει ζώνες που αντιστοιχούν σε 80% και 90% ικανοποίηση [18].

Το Πρότυπο “ASHRAE-55 2010” εισήγαγε την επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία ως μεταβλητή εισόδου για το προσαρμοστικό μοντέλο. Βασίζεται στον αριθμητικό μέσο όρο των μέσων ημερήσιων εξωτερικών θερμοκρασιών για όχι λιγότερες από 7 και όχι

περισσότερες από 30 διαδοχικές ημέρες πριν από την εν λόγω ημέρα [19]. Μπορεί επίσης να υπολογίζεται σταθμίζοντας τις θερμοκρασίες με διαφορετικούς συντελεστές, αποδίδοντας αυξημένη σημασία στις πιο πρόσφατες θερμοκρασίες. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται αυτή η στάθμιση, δεν υπάρχει καμία ανάγκη να γίνει σεβαστό το ανώτατο όριο για τις διαδοχικές ημέρες. Προκειμένου να εφαρμοστεί το προσαρμοστικό μοντέλο, δε θα πρέπει να υπάρχει μηχανικό σύστημα ψύξης του χώρου, οι ένοικοι θα πρέπει να ασχολούνται με καθιστικές δραστηριότητες με μεταβολικούς ρυθμούς 1-1,3 met, και να επικρατεί μία μέση θερμοκρασία μεγαλύτερη των 10 °C (50 °F) και μικρότερη από 33,5 °C (92,3 °F) [19].

Αυτό το μοντέλο ισχύει κυρίως για φυσικά κλιματιζόμενους και ελεγχόμενους από τους ενοίκους χώρους, όπου το κλίμα εξωτερικού χώρου μπορεί να επηρεάσει ουσιαστικά τις εσωτερικές συνθήκες και έτσι τη ζώνη άνεσης. Στην πραγματικότητα, οι μελέτες των De Dear και Brager έδειξαν ότι οι ένοικοι σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια ήταν ανεκτικοί σε ένα ευρύτερο φάσμα θερμοκρασιών [28]. Αυτό οφείλεται τόσο στις συμπεριφορικές όσο και στις φυσιολογικές προσαρμογές, δεδομένου ότι υπάρχουν διαφορετικά είδη προσαρμοστικών διαδικασιών [31]. Το Πρότυπο “ASHRAE 55-2010” αναφέρει ότι οι διαφορές στις πρόσφατες θερμικές εμπειρίες, οι αλλαγές στα ρούχα, η διαθεσιμότητα επιλογών επηρεάζουν και οι μετατοπίσεις των προσδοκιών των ενοίκων μπορούν να αλλάξουν τις θερμικές αποκρίσεις των ανθρώπων [19].

Υπάρχουν βασικά τρεις κατηγορίες θερμικής προσαρμογής: Συμπεριφορική, Φυσιολογική και Ψυχολογική. Η τελευταία, που αναφέρεται σε μία αλλαγμένη θερμική αντίληψη και αντίδραση εξαιτίας παρελθοντικών εμπειριών και προσδοκιών, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που εξηγεί τη διαφορά μεταξύ επιτόπιων παρατηρήσεων και προβλέψεων “PMV” (με βάση το στατικό μοντέλο) σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια. Σε αυτά τα κτίρια, η σχέση με τις εξωτερικές θερμοκρασίες είναι δύο φορές πιο ισχυρή από την προβλεπόμενη [28].

Προσαρμοστικά μοντέλα θερμικής άνεσης υλοποιούνται και σε άλλα πρότυπα, όπως το Ευρωπαϊκό “EN 15251” και το Πρότυπο “ISO 7730”. Ενώ οι ακριβείς μέθοδοι παραγωγής και τα αποτελέσματα είναι ελαφρώς διαφορετικά από το προσαρμοστικό πρότυπο “ASHRAE 55”, ουσιαστικά είναι τα ίδια. Μία μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται στην εφαρμογή. Το προσαρμοστικό πρότυπο “ASHRAE” εφαρμόζεται μόνο για κτίρια χωρίς εγκατεστημένη μηχανική ψύξη, ενώ το “EN 15251” μπορεί να εφαρμοστεί σε κτίρια μικτής λειτουργίας υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα δε λειτουργεί [20].

- Φυσιολογική και Ψυχολογική Προσαρμογή

Το σώμα έχει διάφορους μηχανισμούς θερμικής προσαρμογής για να επιβιώσει σε δραστικά θερμοκρασιακά περιβάλλοντα. Σε ένα ψυχρό περιβάλλον το σώμα χρησιμοποιεί αγγειοσύσπαση που μειώνει τη ροή του αίματος στο δέρμα, τη θερμοκρασία του δέρματος και τη διάχυση θερμότητας. Σε ένα θερμό περιβάλλον, η αγγειοδιαστολή θα αυξήσει τη ροή του αίματος στο δέρμα, τη μεταφορά θερμότητας, τη θερμοκρασία του δέρματος και τη διάχυση θερμότητας [35]. Αν υπάρχει μία ανισορροπία, παρά τις αγγειοκινητικές προσαρμογές που αναφέρονται παραπάνω, σε ένα ζεστό περιβάλλον η παραγωγή ιδρώτα θα ξεκινήσει και θα παρέχει ψύξη μέσω εξάτμισης. Εάν αυτό είναι ανεπαρκές, θα τεθεί σε εφαρμογή η υπερθερμία, η θερμοκρασία του σώματος μπορεί να φτάσει τους 40 °C (104

°F) και μπορεί να συμβεί θερμοπληξία. Σε ένα κρύο περιβάλλον θα αρχίσει το ρίγος, αναγκάζοντας ακουσίως τους μύες να εργάζονται και αυξάνοντας την παραγωγή θερμότητας έως και κατά έναν παράγοντα 10. Εάν η ισορροπία δεν αποκαθίσταται, θα τεθεί σε εφαρμογή η υποθερμία, η οποία μπορεί να αποβεί μοιραία [35]. Μακροχρόνιες προσαρμογές σε ακραίες θερμοκρασίες από μερικές ημέρες έως έξι μήνες μπορεί να οδηγήσουν σε καρδιαγγειακές και ενδοκρινικές προσαρμογές. Ένα θερμό κλίμα μπορεί να αυξήσει τον όγκο του αίματος, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της αγγειοδιαστολής, μπορεί να ενισχύσει την απόδοση του μηχανισμού του ιδρώτα, και να αναπροσαρμόσει τις θερμικές προτιμήσεις. Σε ψυχρές ή υποθερμαινόμενες συνθήκες, η αγγειοσυστολή μπορεί να γίνει μόνιμη, οδηγώντας σε μειωμένο όγκο αίματος και αυξημένο μεταβολικό ρυθμό σώματος [35].

- Συμπεριφορική Προσαρμογή

Σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια οι ένοικοι λαμβάνουν πολλά μέτρα για να κρατήσουν τους εαυτούς τους άνετους όταν οι εσωτερικές συνθήκες τείνουν προς τη δυσφορία. Ο χειρισμός παραθύρων και ανεμιστήρων, η ρύθμιση των ρολών και των σκιάστρων, η αλλαγή ρούχων και η κατανάλωση τροφίμων και ποτών είναι μερικές από τις κοινές στρατηγικές προσαρμογής. Μεταξύ αυτών, η ρύθμιση των παραθύρων είναι η πιο κοινή στρατηγική [36]. Οι ένοικοι οι οποίοι προβαίνουν σε αυτού του είδους τις ενέργειες τείνουν να αισθάνονται ψυχρότερα σε πιο ζεστές θερμοκρασίες από αυτούς που δεν το κάνουν [18].

Αυτές οι συμπεριφορικές δράσεις επηρεάζουν σημαντικά τις εισροές ενεργειακής προσομοίωσης, και οι ερευνητές αναπτύσσουν μοντέλα συμπεριφοράς για να βελτιώσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων προσομοίωσης. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλά μοντέλα για το άνοιγμα παραθύρων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, αλλά δεν υπάρχει ομοφωνία επί των παραγόντων που προκαλούν το άνοιγμα του παραθύρου [36].

- Επιδράσεις του φυσικού εξαερισμού στην θερμική άνεση

Πολλά κτίρια χρησιμοποιούν μία μονάδα “HVAC” (θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός) για να ελέγξουν το θερμικό τους περιβάλλον. Άλλα κτίρια είναι φυσικά αεριζόμενα και δεν εξαρτώνται από τέτοια μηχανικά συστήματα για να παρέχουν θερμική άνεση. Ανάλογα με το κλίμα, αυτό μπορεί να μειώσει δραστικά την ενεργειακή κατανάλωση. Αυτό μερικές φορές θεωρείται ως κίνδυνος, αφού οι εσωτερικές θερμοκρασίες μπορεί να είναι πάρα πολύ ακραίες εάν το κτίριο είναι κακοσχεδιασμένο. Τα σωστά σχεδιασμένα φυσικά αεριζόμενα κτίρια διατηρούν τις εσωτερικές συνθήκες εντός ενός εύρους όπου το άνοιγμα παραθύρων και η χρήση ανεμιστήρων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και ο πιο βαρύς ρουχισμός κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορεί να κρατήσουν τους ανθρώπους θερμικά άνετους [18].

Κεφάλαιο 4: Ανάπτυξη Κανόνων Επαγωγής

4.1 Επαγωγικοί Κανόνες

Το Σχέδιο Δράσης «Διαχείριση του Σημείου Ρύθμισης Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων» εφαρμόζεται σε δημόσια κτίρια, στοχεύοντας τόσο στη δημιουργία αποδεκτών επιπέδων άνεσης για τους χρήστες του κτιρίου όσο και στη δυναμική επίτευξη μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, οδηγώντας σε ενεργειακές και οικονομικές εξοικονομήσεις. Όπως έχουμε προαναφέρει, η θερμοκρασία στο εσωτερικό ενός κτιρίου δεν μπορεί να τίθεται αυθαίρετα σε οποιαδήποτε τιμή θα μπορούσε να συνεπάγεται την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, καθώς θα επηρέαζε συνακόλουθα τη θερμική άνεση σε σημαντικό βαθμό. Ειδικά στην περίπτωση των δημοτικών κτιρίων που χρησιμοποιούνται ευρέως από το κοινό, οι παράμετροι της θερμικής άνεσης κατά τη λειτουργία τους ορίζονται από τεχνικά πρότυπα. Προς αυτήν την κατεύθυνση, το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης σχεδιάζεται για να βοηθήσει τους ενεργειακούς διαχειριστές στη ρύθμιση των παραμέτρων θερμικής άνεσης με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιστοποιήσει την ενεργειακή χρήση και να διατηρήσει τα επίπεδα άνεσης σε αποδεκτά επίπεδα [13].

Καταρχάς προσδιορίζουμε τους επαγωγικούς κανόνες που απαιτούνται για την υλοποίηση των προτεινόμενων δράσεων (τη γενική δομή της μοντελοποίησης σεναρίου και τις εμπλεκόμενες μεταβλητές), αναπτύσσουμε τους «ευφυσείς» κανόνες χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα που προέρχονται τόσο από τις μονάδες καταγραφής όσο και από τη διαδικασία εξόρυξης δεδομένων, και τέλος υλοποιούμε του κανόνες επαγωγής στο “inference/DSS engine”. Κατά την υλοποίηση των επαγωγικών κανόνων αυτοί περιγράφονται τεχνικά ως “PHP” κλάσεις.

Ένας επαγωγικός κανόνας (“inference rule”) είναι 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. Οι κανόνες επαγωγής δομούνται ως λογικές συναρτήσεις που περιέχουν προτάσεις και συμπεράσματα ή ως μαθηματικά μοντέλα. Η διαδικασία των επαγωγικών κανόνων είναι μέρος της μοντελοποίησης σεναρίου, η οποία επιτρέπει την επεξεργασία του σχεδίου δράσης που προτείνεται από το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων. Κάθε προτεινόμενη δράση αποκτάται μέσα από μία διαδικασία μοντελοποίησης ξεκινώντας από την καταγραφή των στατικών και δυναμικών δεδομένων, τη διαδικασία των μοντέλων πρόβλεψης (μέσα από τεχνικές εξόρυξης δεδομένων και προσέγγιση “grey model”) και καταλήγοντας στους κανόνες επαγωγής. Οι τελευταίοι είναι σε θέση να περιγράψουν το σύστημα (κτίριο, τεχνικά συστήματα κλπ) εκ των προτέρων στη βάση μιας γνώσης ειδικών και να παρέχουν κριτήρια βελτιστοποίησης για μία συγκεκριμένη δράση [13].

Οι κανόνες επαγωγής που υλοποιούνται για το εν λόγω σχέδιο δράσης είναι η «Επικύρωση Θερμικής Άνεσης» και η «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης». Ο μεν πρώτος κανόνας λαμβάνει ως είσοδο την ανατροφοδότηση των χρηστών μέσω ενός ερωτηματολογίου επικύρωσης της θερμικής άνεσης (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 αισθητήρες (για τον υπολογισμό του “Observed Mean Vote – OMV”). Από την άλλη πλευρά, ο δεύτερος επαγωγικός κανόνας δέχεται ως είσοδο μόνο τις εκτιμώμενες τιμές της θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου για την επόμενη εβδομάδα όπως προκύπτουν από το αντίστοιχο μοντέλο πρόβλεψης.

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 ₂ 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		

Πίνακας 4.1: Προτεινόμενες δράσεις και δεδομένα εισόδου [13]

4.2 Επαγωγικός Κανόνας 1^{ος} - Επικύρωση Θερμικής Άνεσης

Η διαχείριση του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας σε συστήματα θέρμανσης/ψύξης ενός κτιρίου επηρεάζει σημαντικά τα επίπεδα θερμικής άνεσης δεδομένων συγκεκριμένων τιμών: της ταχύτητας του αέρα, της υγρασίας, του ρουχισμού και του μεταβολικού ρυθμού. Η αλλαγή του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας στο εσωτερικό ενός κτιρίου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές ενεργειακές εξοικονομήσεις. Ωστόσο, η θερμική άνεση πρέπει να παραμένει εντός των αποδεκτών επιπέδων σύμφωνα με σχετικά πρότυπα (“ISO 7730:2005”) [13,29].

Σε αυτό το πλαίσιο, ο συγκεκριμένος επαγωγικός κανόνας είναι σχεδιασμένος ώστε να βοηθήσει τους ενεργειακούς διαχειριστές στη ρύθμιση των παραμέτρων θερμικής άνεσης κατά τέτοιον τρόπο ώστε να βελτιστοποιείται η ενεργειακή χρήση, άρα και η ενεργειακή κατανάλωση και οι δαπάνες, και να διατηρούνται τα επίπεδα άνεσης εντός αποδεκτών ορίων. Η φιλοσοφία του είναι να ανιχνεύει το εύρος της αποδεκτής θερμοκρασίας μέσα στο κτίριο, βρίσκοντας τη συσχέτισή της με τα επίπεδα θερμικής άνεσης των ενοίκων, που είναι συχνά σημαντικά διαφορετικά από τα προβλεπόμενα [13]. Με αυτόν τον τρόπο, καθορίζεται ένα μεγαλύτερο εύρος αποδεκτών σημείων ρύθμισης θερμοκρασίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Ως αποτέλεσμα, ένας τέτοιος κανόνας προβλέπεται να βελτιστοποιήσει τους εξής δείκτες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων: την ενεργειακή κατανάλωση, τις αντίστοιχες εκπομπές και το σχετικό ενεργειακό κόστος [13].

Το Διεθνές Πρότυπο “ISO 7730:2005” [29] σχετίζεται με την εργονομία του θερμικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζει μεθόδους για την πρόβλεψη της γενικής θερμικής αίσθησης και του βαθμού δυσφορίας (θερμικής δυσαρέσκειας) των ατόμων που εκτίθενται σε μέτρια θερμικά περιβάλλοντα. Επιτρέπει τον αναλυτικό προσδιορισμό και τη διερμηνεία της θερμικής δυσφορίας χρησιμοποιώντας τον υπολογισμό των δεικτών “PMV” (“predicted mean vote”) και “PPD” (“predicted percentage of dissatisfied”) και τοπικών κριτηρίων δυσφορίας, δεδομένων των περιβαλλοντικών συνθηκών που

θεωρούνται αποδεκτές για τη γενική θερμική άνεση, όπως και αυτών που αντιπροσωπεύουν την τοπική δυσφορία. Είναι εφαρμόσιμο σε υγιείς άντρες και γυναίκες που εκτίθενται σε περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου όπου η θερμική άνεση είναι επιθυμητή, αλλά όπου συμβαίνουν μέτριες διακυμάνσεις της θερμικής άνεσης, κατά τη σχεδίαση νέων περιβαλλόντων και την αξιολόγηση υπαρχόντων [29].

Η ανθρώπινη θερμική αίσθηση σχετίζεται πρωτίστως με τη θερμική ισορροπία του συνολικού σώματος. Αυτή η ισορροπία επηρεάζεται από τη φυσική δραστηριότητα και το ρουκισμό, όπως και από περιβαλλοντικούς παράγοντες: θερμοκρασία αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, ταχύτητα αέρα και υγρασία αέρα. Όταν αυτοί οι παράγοντες έχουν εκτιμηθεί ή μετρηθεί, η θερμική αίσθηση για το σώμα ως σύνολο μπορεί να προβλεφθεί από τον υπολογισμό του “predicted mean vote” (“PMV”) [29].

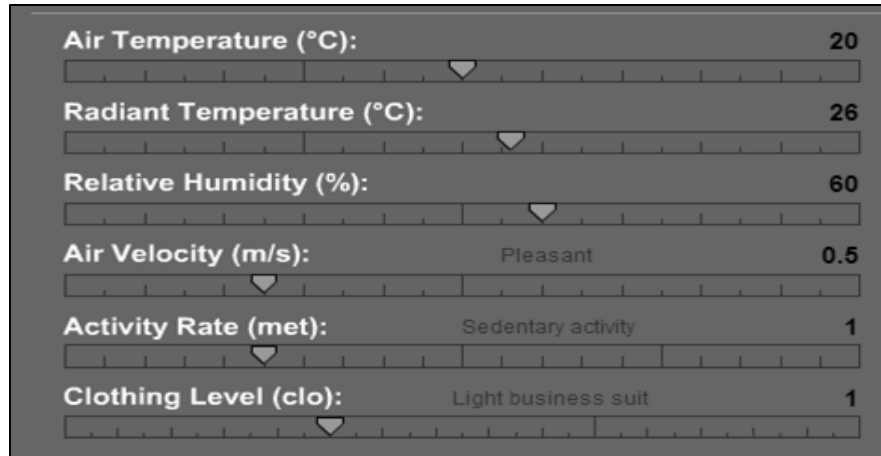
Ο δείκτης “predicted percentage dissatisfied” (“PPD”) παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θερμική δυσφορία ή θερμική δυσαρέσκεια προβλέποντας το ποσοστό των ανθρώπων που φαίνεται να νιώθουν πολλή ζέστη ή πολύ κρύο στο δοσμένο περιβάλλον. Το “PPD” μπορεί να υπολογιστεί από το “PMV” [29].

Η δυσαρέσκεια μπορεί να προκληθεί από δυσφορία λόγω υπερβολικής ζέστης ή κρύου για το σώμα ως σύνολο. Τα επίπεδα άνεσης μπορούν σε αυτήν την περίπτωση να εκφραστούν από τους δείκτες “PMV” και “PPD” [29]. Η θερμική δυσαρέσκεια μπορεί επίσης να προκληθεί από τοπικές παραμέτρους δυσφορίας, δηλαδή ανεπιθύμητη τοπική ψύξη ή θέρμανση του σώματος. Οι πιο συνηθισμένοι παράγοντες τοπικής δυσφορίας είναι η ασυμμετρία θερμοκρασίας ακτινοβολίας (θερμές ή ψυχρές επιφάνειες), το ρεύμα (που ορίζεται ως η τοπική ψύξη του σώματος που προκαλείται από την κίνηση του αέρα), η κάθετη θερμοκρασιακή διαφορά του αέρα, και τα ψυχρά ή θερμά πατώματα [29].

4.2.1 Θεωρία

Ο πρώτος επαγωγικός κανόνας σχετίζεται, λοιπόν, με την επικύρωση της θερμικής άνεσης (“thermal comfort validation – TCV”) και στηρίζεται στη Θεωρία Θερμικής Άνεσης “PMV”, σύμφωνα με την οποία η υποκειμενική θερμική άνεση υπολογίζεται, μεταξύ άλλων, με χρήση του δείκτη “Predicted Mean Vote (PMV)”, μία 7-βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης που βαθμολογεί με 0 την ουδέτερη θερμική αίσθηση, με -3, 3 όταν ο χρήστης αισθάνεται αντιστοίχως υπερβολικό κρύο ή ζέστη, ενώ ενδιάμεσες τιμές αντανάκλουν ενδιάμεσα στάδια θερμικής άνεσης. Με αυτόν τον τρόπο προβλέπεται η μέση τιμή των ψήφων μίας μεγάλης ομάδας ανθρώπων με βάση τη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος [13]. Η θερμική ισορροπία 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 θα προσπαθήσει αυτόματα να τροποποιήσει τη θερμοκρασία μετάβασης και την έκκριση ιδρώτα για να διατηρήσει τη θερμική ισορροπία [29].

Ο δείκτης “PMV” μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικώς 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 [13].



Εικόνα 4.1: Παράγοντες υπολογισμού δείκτη “PMV” [37]

Πιο συγκεκριμένα, γίνεται χρήση των ακόλουθων εξισώσεων [29]:

$$PMV = [0,303 \cdot (\exp(-0,036 \cdot M) + 0,028) \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)$$

(1)

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

(2)

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} \text{ for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \text{ for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

(3)

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} \text{ for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \text{ for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases}$$

(4)

όπου:

- M είναι ο μεταβολικός ρυθμός (W/m²).
- W είναι η ενεργή μηχανική ισχύς (W/m²).
- I_{cl} είναι η μόνωση του ρουχισμού (m²K /W).
- f_{cl} είναι ο παράγοντας επιφάνειας ρουχισμού.
- 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/m²K)].
- t_{cl} είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας ρουχισμού (°C).

Ο δείκτης “PMV” προέρχεται από σταθερές συνθήκες αλλά μπορεί να εφαρμοστεί με καλή προσέγγιση κατά τη διάρκεια μικρών διακυμάνσεων μίας ή περισσότερων μεταβλητών, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζονται οι σταθμισμένες χρονικά μέσες τιμές των μεταβλητών κατά τη διάρκεια της προηγούμενης μίας ώρας [29].

Για το θερμικό περιβάλλον, τα σχεδιαστικά κριτήρια για τη θερμοκρασία λειτουργίας βασίζονται σε τυπικά επίπεδα δραστηριότητας, για ρουχισμό 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 εξαερισμός) [29].

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. Τυπικά μία σχετική υγρασία κατά 10% υψηλότερη γίνεται αισθητή ως τόσο θερμή όσο μία αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας κατά 0,3 °C. Η επίδραση της υγρασίας είναι μεγαλύτερη για υψηλότερες θερμοκρασίες και δραστηριότητες ή υπό μεταβατικές συνθήκες [29].

Η ταχύτητα του αέρα σε έναν χώρο επηρεάζει τη μεταγωγική ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ενός ατόμου και του περιβάλλοντος. Αυτό επηρεάζει τη γενική θερμική άνεση του σώματος (απώλεια θερμότητας), που εκφράζεται από το δείκτη “PMV-PPD” και την τοπική θερμική δυσφορία λόγω ρεύματος αέρα. Ωστόσο, η αυξημένη ταχύτητα του αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντισταθμίσει την αίσθηση ζεστασιάς που προκαλείται από την αυξημένη θερμοκρασία.

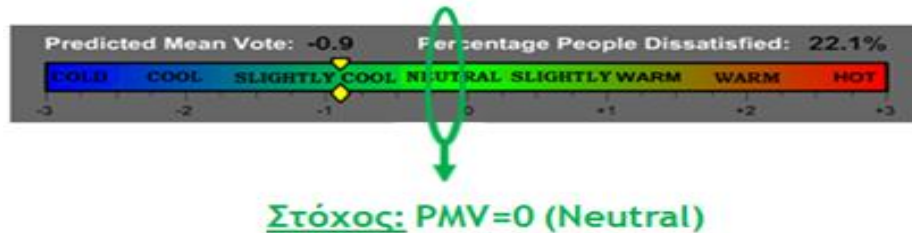
Συχνά, η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται με το άνοιγμα παράθυρων ή τη χρήση ανεμιστήρων για την προσαρμογή σε θερμότερα περιβάλλοντα. Υπό συνθήκες καλοκαιρίας, η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί πάνω από το επίπεδο που επιτρέπεται για άνεση αν παρέχεται ένα μέσο επίσης για να ανυψώσει την ταχύτητα του αέρα. Τα οφέλη που κερδίζονται από την αύξηση της ταχύτητας του αέρα εξαρτώνται από την ένδυση, τη δραστηριότητα, και τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας επιφάνειας του ρουχισμού/δέρματος και της θερμοκρασίας του αέρα.

Όταν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι χαμηλή και η θερμοκρασία αέρα είναι υψηλή, η ανυψωμένη ταχύτητα του αέρα είναι πιο αποτελεσματική στην αύξηση της απώλειας θερμότητας όταν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι υψηλή και η θερμοκρασία του αέρα χαμηλή. Μεγάλες ατομικές διαφορές υπάρχουν μεταξύ ανθρώπων αναφορικά με την προτιμώμενη ταχύτητα του αέρα. Ως εκ τούτου, η αυξημένη ταχύτητα του αέρα πρέπει να είναι υπό τον άμεσο έλεγχο των επηρεαζόμενων ενοίκων και ρυθμίσιμη σε βήματα όχι μεγαλύτερα από 0,15 m/s [29].

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 μίας ώρας. Η θερμική αντίσταση του ρουχισμού και της καρέκλας μπορούν να προσεγγιστούν με χρήση του προτύπου “ISO 9920”, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο του χρόνου [29].

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, ρουχισμού και περιβαλλοντικών παραμέτρων που θα παρέχουν κατά μέσο όρο μία θερμικώς ουδέτερη αίσθηση [29].



Εικόνα 4.2: Βαθμολόγηση θερμικής αίσθησης στην 7-βάθμια κλίμακα [37]

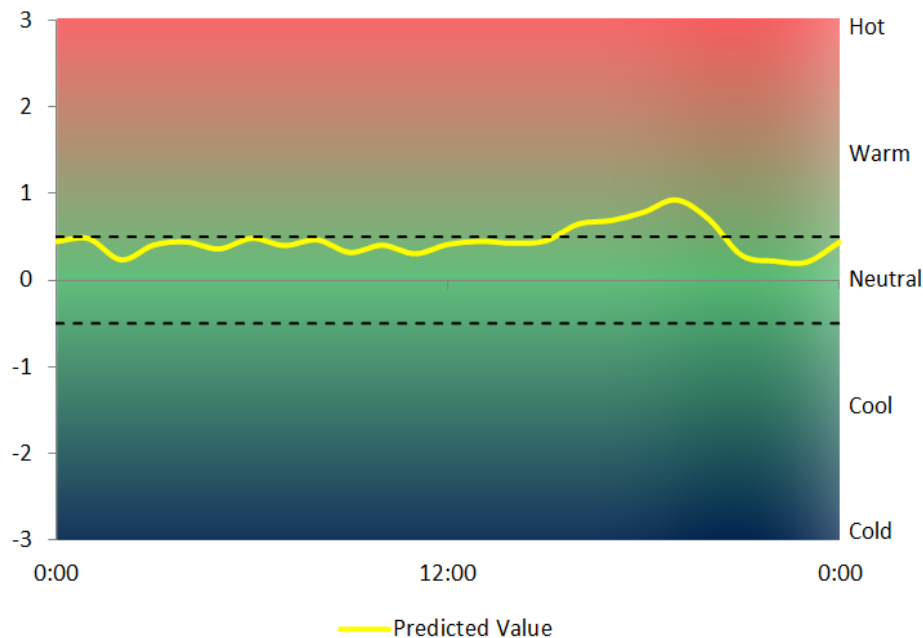
Όπως προαναφέρθηκε, ο δείκτης “PMV” προβλέπει τη μέση τιμή των θερμικών ψήφων μίας μεγάλης ανθράπων που εκτίθενται στο ίδιο περιβάλλον. Αλλά οι ατομικές ψήφοι είναι διάσπαρτες γύρω από αυτήν τη μέση τιμή και είναι χρήσιμο να μπορεί να προβλεφθεί ο αριθμός των ατόμων που ενδέχεται να αισθάνονται άβολα λόγω ζέστης ή κρύου. Ο δείκτης “PPD” καθορίζει μία ποσοτική πρόβλεψη του ποσοστού των θερμικά δυσαρεστημένων ανθρώπων που αισθάνονται υπερβολικό κρύο ή ζέστη [29]. Διευκρινίζεται ότι θερμικά δυσαρεστημένοι άνθρωποι είναι εκείνοι που θα ψηφίσουν “hot”, “warm”, “cool” ή “cold” στην 7-βάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης.

Με προσδιορισμένη την τιμή του “PMV”, υπολογίζουμε τον “PPD” με χρήση της εξίσωσης [29]:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2) \quad (5)$$

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 [29].

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 [29]. 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.



Σχήμα 4.1: Έλεγχος θερμικής άνεσης ενοίκων μέσω “PMV” [37]

4.2.2 Ανατροφοδότηση Ενοίκων

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 περιοχική θερμοκρασίας, που ποικίλλει ανάλογα με την κατηγορία του θερμικού περιβάλλοντος, είναι συνάρτηση των ειδών ένδυσης και της δραστηριότητας.

Εξαιτίας μεμονωμένων διαφοροποιήσεων, είναι πιθανό να καθοριστεί 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 [29].

Η ανάδραση του χρήστη μπορεί να προέλθει είτε από εξόρυξη σχετικών δεδομένων από λογαριασμούς κοινωνικής δικτύωσης (“twitter”, “facebook”) και μία διαδικασία ανάλυσης προτύπων προκειμένου να αναγνωριστεί η συναισθηματική κατάσταση του χρήστη αναφορικά με τη θερμική του αίσθηση (“sentimental analysis”), είτε από μία διαδικτυακή εφαρμογή, που είναι επίσης διαθέσιμη σε «έξυπνα» τηλέφωνα και ταμπλέτες, και ονομάζεται “Thermal Comfort Validator (TCV)”. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα ερωτηματολόγιο που ελέγχει τις παραμέτρους θερμικής άνεσης των ενοίκων [37].



Σχήμα 4.2: Ανατροφοδότηση χρήστη για θερμική άνεση [37]

4.2.3 Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου κανόνα επαγωγής, υπολογίζονται και εξετάζονται οι εξής τρεις κύριες τιμές:

- 1) *PMV (Predicted Mean Vote)*: 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 ρουχιισμού και το μεταβολικό ρυθμό, και υπολογίζεται από τις εξισώσεις (1)-(4), σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο “ISO 7730:2005” [13]. Μέσα στο πλαίσιο αυτού του κανόνα επαγωγής, χρησιμοποιούνται οι προβλεπόμενες συνθήκες εσωτερικού χώρου για μία εβδομάδα μπροστά προκειμένου να υπολογιστεί το “PMV” σε μία ωριαία βάση.
- 2) *AMV (Actual Mean Vote)*: Αυτή η τιμή δεν υπολογίζεται, αλλά παρέχεται στο σύστημα μέσω του “Thermal Comfort Validator (TCV)”, 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 [13].
- 3) *OMV (Observed Mean Vote)*: 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 μειρώνται από τους αισθητήρες του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο. Οι υπόλοιπες μεταβλητές της εξίσωσης θεωρούνται ότι είναι οι ίδιες, καθώς δεν μπορούν να ελεγχθούν [13].

Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή “Thermal Comfort Validator (TCV)” είναι μία online επεξεργασία του ακόλουθου ερωτηματολογίου, το οποίο είναι σχεδιασμένο για να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον υπολογισμό του δείκτη “AMV”, βάσει σχετικών προτύπων [13].

Date: __/__/____ Time: __:__ AM/PM Location: __ Gender: MALE / FEMALE

Question 1: TEMPERATURE
How do you rate your thermal sensation?

Cold Cool Slightly cool Neutral Slightly warm Warm Hot

How do you perceive the temperature?

Clearly Acceptable Just Acceptable Just unacceptable Clearly Unacceptable

Do you want the room temperature?

Higher No change Lower

Question 2: WIND
Would you like?

More air movement No Change Less air movement

Question 3: SUN
Would you like?

More sun No Change More shade

Question 4: CLOTHING
Circle ALL the items closest to what you are wearing at this moment:

Shorts OR short skirt Jeans OR other long pants OR long skirt
Jumper AND/OR jacket Vest OR singlet top
Short sleeved shirt Long sleeved shirt
Shoes AND/OR socks Sandals OR thongs

Are your clothes mainly LIGHT or DARK in color?

Question 5: ACTIVITY
For the last half hour have you been mainly:

Sleeping Sitting Standing Walking

Εικόνα 4.3: Ερωτηματολόγιο θερμικής άνεσης [13]

Η διαδικτυακή όψη της εφαρμογής “Thermal Comfort Validator (TCV)” παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα:

OPTIMUS
TCV Thermal Comfort Validator

HOME

QUESTIONNAIRE

Information | **Temperature** | Wind | Sun | Clothing | Activity

Question 1: TEMPERATURE
How do you rate your thermal sensation?

More air movement No Change
 Less air movement

How do you perceive the temperature?

Clearly Acceptable Just Acceptable
 Just Unacceptable Clearly Unacceptable

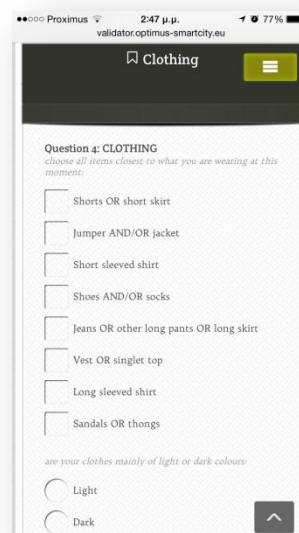
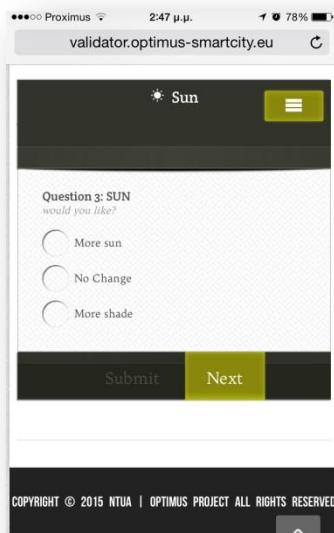
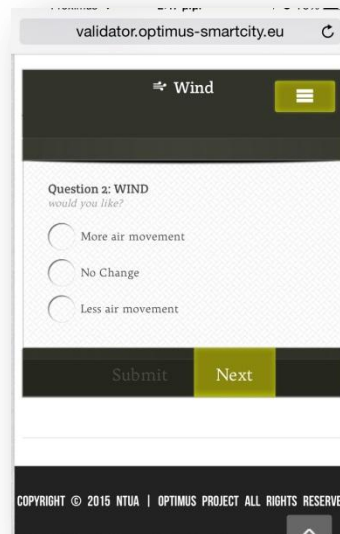
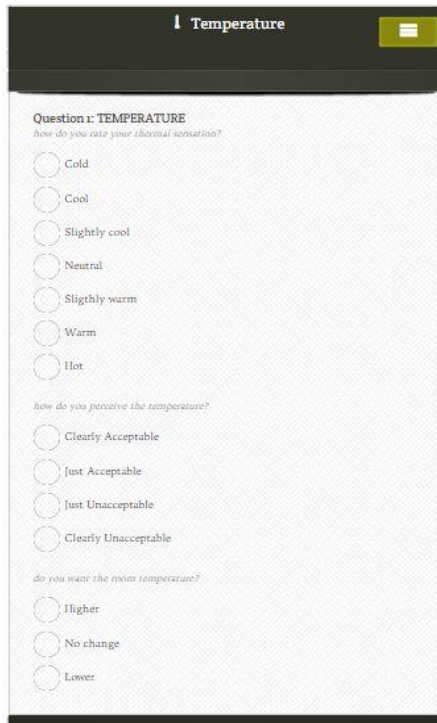
Do you want the room temperature?

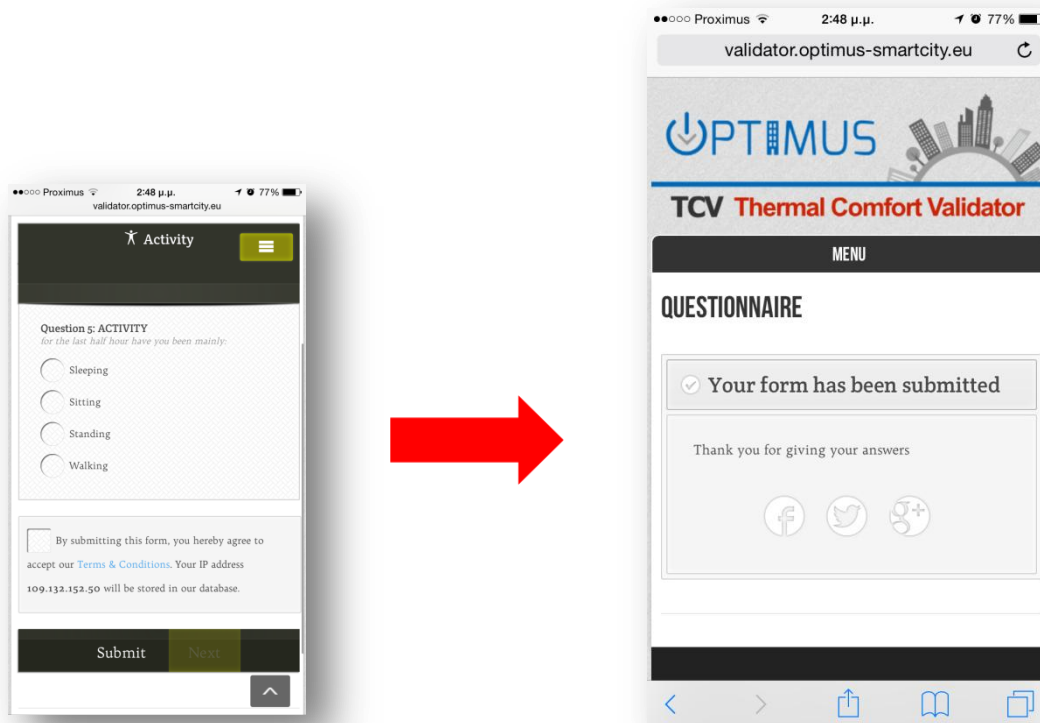
Higher No change
 Lower

Submit Next

Εικόνα 4.4: Διαδικτυακή όψη του “TCV” [37]

Η αντίστοιχη όψη της εφαρμογής μέσω κινητού τηλεφώνου, για την οποία υπάρχει η επιλογή να εμφανίζεται ως συντόμευση στην οθόνη του κινητού προκειμένου οι χρήστες να έχουν άμεση πρόσβαση, παρουσιάζεται στις επόμενες εικόνες. Επιπλέον, προβάλλονται τα βήματα υποβολής ανατροφοδότησης από τους ενοίκους ενός κτιρίου.





Εικόνα 4.5: Όψη του “TCV” μέσω κινητού τηλεφώνου [37]

Η μεθοδολογία του εν λόγω κανόνα επαγωγής συνίσταται από την ακόλουθη σειρά βημάτων:

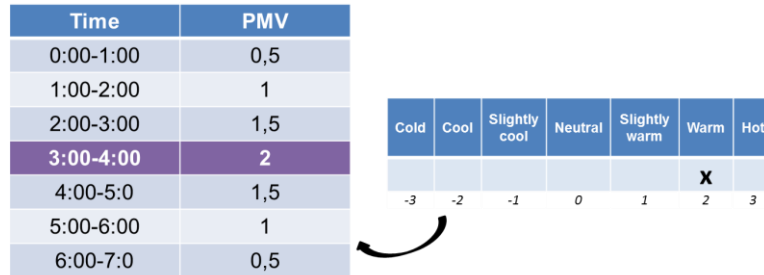
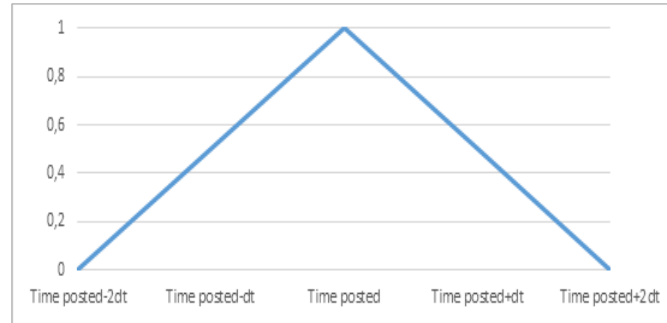
1. Υπολογισμός του “PMV”: Το “PMV” είναι ένας “ex-ante” δείκτης του μοντέλου. Οι προβλεπόμενες τιμές της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται στην εξίσωση “PMV”, προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή του “Predicted Mean Vote” για μία εβδομάδα μπροστά. Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε ωριαία χρονικά 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 [13].

Step 1: PMV Calculation									
PREDICTED (PMV)		Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	PMV	
DATE	Time	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		
15/Ιουν	0:00 - 1:00	26,98	26,98	0,15	55,41	0,5	1,1	0,44	
15/Ιουν	1:00 - 2:00	27,07	27,07	0,15	55,60	0,5	1,1	0,48	
15/Ιουν	2:00 - 3:00	26,31	26,31	0,15	58,39	0,5	1,1	0,23	
15/Ιουν	3:00 - 4:00	26,77	26,77	0,15	58,32	0,5	1,1	0,41	
15/Ιουν	4:00 - 5:00	26,90	26,90	0,15	58,02	0,5	1,1	0,44	
15/Ιουν	5:00 - 6:00	26,66	26,66	0,15	58,76	0,5	1,1	0,36	
15/Ιουν	6:00 - 7:00	26,99	26,99	0,15	59,13	0,5	1,1	0,48	
15/Ιουν	7:00 - 8:00	26,79	26,79	0,15	57,83	0,5	1,1	0,40	
15/Ιουν	8:00 - 9:00	26,98	26,98	0,15	57,83	0,5	1,1	0,46	
15/Ιουν	9:00 - 10:00	26,63	26,63	0,15	55,41	0,5	1,1	0,32	
15/Ιουν	10:00 - 11:00	26,90	26,90	0,15	53,74	0,5	1,1	0,40	
15/Ιουν	11:00 - 12:00	26,66	26,66	0,15	52,07	0,5	1,1	0,30	
15/Ιουν	12:00 - 13:00	27,05	27,05	0,15	48,72	0,5	1,1	0,41	
15/Ιουν	13:00 - 14:00	27,18	27,18	0,15	47,60	0,5	1,1	0,45	
15/Ιουν	14:00 - 15:00	27,12	27,12	0,15	47,23	0,5	1,1	0,43	
15/Ιουν	15:00 - 16:00	27,25	27,25	0,15	45,19	0,5	1,1	0,45	
15/Ιουν	16:00 - 17:00	27,34	27,34	0,15	46,67	0,5	1,1	0,50	
15/Ιουν	17:00 - 18:00	27,27	27,27	0,15	46,12	0,5	1,1	0,47	
15/Ιουν	18:00 - 19:00	27,18	27,18	0,15	45,56	0,5	1,1	0,43	
15/Ιουν	19:00 - 20:00	27,07	27,07	0,15	45,93	0,5	1,1	0,40	
15/Ιουν	20:00 - 21:00	26,88	26,88	0,15	47,79	0,5	1,1	0,35	
15/Ιουν	21:00 - 22:00	26,74	26,74	0,15	46,86	0,5	1,1	0,29	
15/Ιουν	22:00 - 23:00	26,33	26,33	0,15	47,42	0,5	1,1	0,22	
15/Ιουν	23:00 - 0:00	26,41	26,41	0,15	51,51	0,5	1,1	0,21	
16/Ιουν	0:00 - 1:00	27,11	27,11	0,15	55,41	0,5	1,1	0,49	
16/Ιουν	1:00 - 2:00	27,20	27,20	0,15	55,60	0,5	1,1	0,53	
16/Ιουν	2:00 - 3:00	26,45	26,45	0,15	58,39	0,5	1,1	0,28	
16/Ιουν	3:00 - 4:00	26,91	26,91	0,15	58,32	0,5	1,1	0,45	

Εικόνα 4.6: Υπολογισμός δείκτη “PMV” [13]

2. Ανάκτηση του “AMV” από το “TCV Web App”: Η ανάδραση του χρήστη του κτιρίου καταγράφεται μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής “TCV”, ανακτάται σε πραγματικό χρόνο ανά ώρα και, με βάση τις μεμονωμένες υποβολές, εκτιμάται το μέσο θερμικό αίσθημα των χρηστών. Οι χρήστες συνεισφέρουν με το να συμπληρώσουν σε ένα ερωτηματολόγιο, εάν αισθάνονται πολύ κρύο, ψύχρα, λίγο ψύχρα, ουδέτερα, λίγο ζέστη, ζέστη ή έντονη ζέστη. Αυτή η είσοδος μεταφράζεται σε τιμές αντιστοίχως -3, -2, -1, 0, 1, 2 και 3.

Αφότου συλλεχθεί το μεμονωμένο “feedback” από το “TCV application”, ανακύπτει ερώτημα σχετικά με τον ακριβή χρόνο όπου ο χρήστης νιώθει άβολα. Η διαδικτυακή εφαρμογή καταγράφει τον χρόνο πρόσβασης του χρήστη, αλλά αυτό δεν παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με το χρονικό διάστημα που ο χρήστης νιώθει δυσάρεστα. Έτσι, μία υπόθεση που μπορεί να γίνει είναι ότι η τιμή “AMV” του ερωτηματολογίου αναφέρεται στο επίπεδο άνεσης ακριβώς για το χρόνο που συμπληρώθηκε, επεκταμένο πριν και μετά κατά ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτή η υπόθεση βασίζεται στη θεώρηση του χρόνου που απαιτείται μέχρι ο χρήστης να αποφασίσει να μοιραστεί τη θερμική του αίσθηση, όπως επίσης και στην αδράνεια του συστήματος να αντανακλά μία αλλαγή. Έτσι, η κύρια ανάδραση του χρήστη που λαμβάνεται από το ερωτηματολόγιο μπορεί να επεκταθεί ωριαία πριν και μετά τον ακριβή χρόνο υποβολής, μειωμένη κατά 0,5 μονάδες, μέχρι να φτάσει το 0 [13].



Σχήμα 4.3: Ωριαία επέκταση της ανατροφοδότησης χρήστη [13]

Step 2: AMV Definition: Feedback from TCV Web App																					
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
Time																					
0:00	1:00																				
1:00	2:00																				
2:00	3:00																				
3:00	4:00																				
4:00	5:00							-0,5													
5:00	6:00	-0,5						-1,0													
6:00	7:00	-1,0			-0,5			-1,5						-0,5							
7:00	8:00	-1,5	-0,5		-1,0	-0,5		-2,0						-1,0							
8:00	9:00	-2,0	-1,0	-0,5	-1,5	-1,0	-0,5	-2,5			-0,5			-0,5	-1,5						
9:00	10:00	-1,5	-0,5	-1,0	-2,0	-0,5	-1,0	-3,0		-1,0				-1,0	-2,0						
10:00	11:00	-1,0		-0,5	-1,5	-1,5	-2,5	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5			-0,5	-1,5						
11:00	12:00	-0,5			-1,0	-2,0	-2,0	-1,0	-2,0	-1,0	-2,0			-1,0	-1,0						
12:00	13:00				-0,5	-1,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,5				-0,5							
13:00	14:00					-1,0	-1,0		-1,0												
14:00	15:00					-0,5	-0,5		-0,5												
15:00	16:00																				
16:00	17:00																				
17:00	18:00														-0,5	-0,5					
18:00	19:00														-1,0	-1,0					
19:00	20:00														-1,5	-1,5			-0,5		
20:00	21:00														-2,0	-2,0	-0,5	-1,0			
21:00	22:00														-1,5	-1,5	-1,0	-0,5			
22:00	23:00														-1,0	-1,0	-0,5				
23:00	0:00														-0,5	-0,5					
0:00	1:00																				
1:00	2:00																				
2:00	3:00																				
3:00	4:00																				

Σχήμα 4.4: Αρχικός προσδιορισμός του δείκτη “AMV” [13]

3. Φιλτράρισμα του “AMV”: Η μέση τιμή των εισόδων του “TCV” υπολογίζεται ανά ωριαία χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, περαιτέρω φιλτράρισμα εφαρμόζεται στις τιμές του “AMV”, προκειμένου να αποκλειστεί η παρεχόμενη είσοδος κατά τη διάρκεια των ωρών μη λειτουργίας του κτιρίου. Έτσι διατηρείται μόνο το feedback μεταξύ 7:00 και 21:00, δηλαδή μόνο κατά τις ώρες λειτουργίας των δημοτικών κτιρίων. Επιπλέον, η ύπαρξη λιγότερων από 3 εγγραφών υποδεικνύει ανακριβή είσοδο, με αποτέλεσμα να αγνοείται. Μετά από τη διαδικασία φιλτραρίσματος, οι ωριαίες τιμές του AMV οριστικοποιούνται [13].

Step 2: AMV Definition: Feedback from TCV Web App																								Step 3: AMV Filtering				
ACTUAL (AMV)		Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Unit 12	Unit 13	Unit 14	Unit 15	Unit 16	Unit 17	Unit 18	Unit 19	Unit 20	Units	Average	Operational Hours?	Excl. feedback?	AMV		
Time																												
0:00	1:00																						0	-	0	0		
1:00	2:00																							0	-	0	0	
2:00	3:00																							0	-	0	0	
3:00	4:00																							0	-	0	0	
4:00	5:00																						1	-0.50	0	0		
5:00	6:00																						2	-0.75	0	0		
6:00	7:00																						4	-0.88	0	0		
7:00	8:00																						6	-1.08	0	0		
8:00	9:00																						10	-1.15	-1.15	Yes	-1.15	
9:00	10:00																						10	-1.15	-1.15	Yes	-1.15	
10:00	11:00																						10	-1.15	-1.15	Yes	-1.15	
11:00	12:00																						8	-1.31	-1.31	Yes	-1.31	
12:00	13:00																						7	-0.93	-0.93	Yes	-0.93	
13:00	14:00																						3	-1.00	-1.00	Yes	-1.00	
14:00	15:00																						3	-0.50	-0.50	Yes	-0.50	
15:00	16:00																						0	NA	NA	No	NA	
16:00	17:00																						0	NA	NA	No	NA	
17:00	18:00																						2	-0.50	-0.50	No	NA	
18:00	19:00																						2	-1.00	-1.00	No	NA	
19:00	20:00																						3	-1.17	-1.17	Yes	-1.17	
20:00	21:00																						4	-1.38	-1.38	Yes	-1.38	
21:00	22:00																						4	-1.13	0	0		
22:00	23:00																						3	-0.83	0	0		
23:00	0:00																						2	-0.50	0	0		
0:00	1:00																						0	-	0	0		
1:00	2:00																						0	-	0	0		
2:00	3:00																						0	-	0	0		
3:00	4:00																						0	-	0	0		

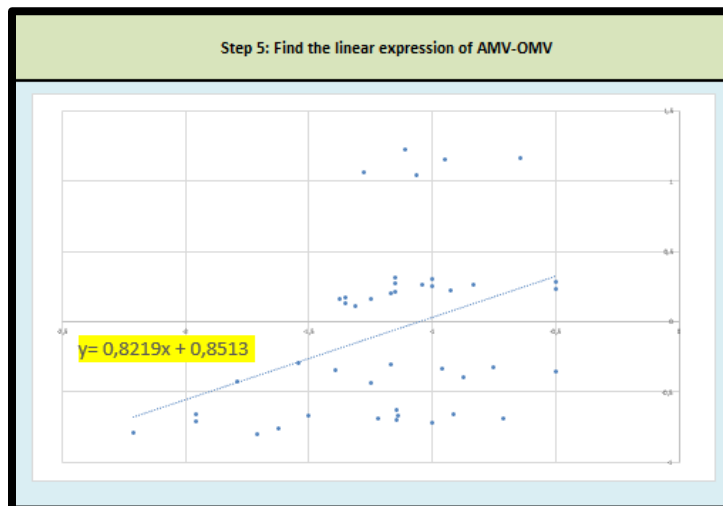
Σχήμα 4.5: Οριστικοποίηση του δείκτη “AMV” μετά από φιλτράρισμα [13]

4. Υπολογισμός του “OMV”: Κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση εβδομάδας, ο δείκτης “OMV” υπολογίζεται με βάση την αντίστοιχη εξίσωση και με χρήση των παρατηρούμενων τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας από τους αισθητήρες του κτιρίου [13].

Step 4: OMV Calculation									
OBSERVED (OMV)		Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	OMV	
Time	Time	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		
0:00	1:00	26,44	26,44	0,15	55,41	0,5	1,1		0,25
1:00	2:00	26,33	26,33	0,15	55,60	0,5	1,1		0,29
2:00	3:00	25,79	25,79	0,15	58,39	0,5	1,1		0,05
3:00	4:00	26,24	26,24	0,15	59,32	0,5	1,1		0,21
4:00	5:00	26,36	26,36	0,15	58,02	0,5	1,1		0,25
5:00	6:00	26,13	26,13	0,15	58,76	0,5	1,1		0,17
6:00	7:00	26,45	26,45	0,15	59,13	0,5	1,1		0,29
7:00	8:00	26,26	26,26	0,15	57,83	0,5	1,1		0,21
8:00	9:00	26,44	26,44	0,15	57,83	0,5	1,1		0,27
9:00	10:00	26,09	26,09	0,15	55,41	0,5	1,1		0,13
10:00	11:00	26,36	26,36	0,15	53,74	0,5	1,1		0,21
11:00	12:00	26,13	26,13	0,15	52,07	0,5	1,1		0,12
12:00	13:00	26,51	26,51	0,15	48,72	0,5	1,1		0,22
13:00	14:00	26,63	26,63	0,15	47,60	0,5	1,1		0,26
14:00	15:00	26,58	26,58	0,15	47,23	0,5	1,1		0,23
15:00	16:00	26,71	26,71	0,15	45,19	0,5	1,1		0,26
16:00	17:00	26,80	26,80	0,15	46,67	0,5	1,1		0,31
17:00	18:00	26,72	26,72	0,15	46,12	0,5	1,1		0,28
18:00	19:00	26,63	26,63	0,15	45,56	0,5	1,1		0,24
19:00	20:00	26,53	26,53	0,15	45,93	0,5	1,1		0,20
20:00	21:00	26,35	26,35	0,15	47,79	0,5	1,1		0,16
21:00	22:00	26,20	26,20	0,15	46,86	0,5	1,1		0,10
22:00	23:00	26,00	26,00	0,15	47,42	0,5	1,1		0,03
23:00	0:00	25,88	25,88	0,15	51,51	0,5	1,1		0,02
0:00	1:00	26,57	26,57	0,15	55,41	0,5	1,1		0,30
1:00	2:00	26,66	26,66	0,15	55,60	0,5	1,1		0,33
2:00	3:00	25,92	25,92	0,15	58,39	0,5	1,1		0,09
3:00	4:00	26,37	26,37	0,15	59,32	0,5	1,1		0,26

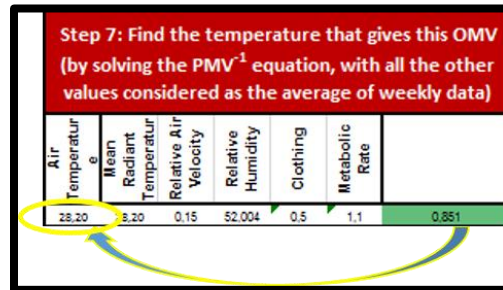
Σχήμα 4.6: Υπολογισμός του δείκτη “AMV” [13]

5. Υπολογισμός συσχέτισης μεταξύ “AMV-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, που θα χρησιμεύσουν ως σημεία. Επίσης, υπολογίζεται η γραμμική εξίσωση “AMV-OMV” που περιγράφει καλύτερα τη συσχέτισή τους [13].



Σχήμα 4.7: Εύρεση της βέλτιστης γραμμικής συσχέτισης “AMV-OMV” [13]

6. Προσδιορισμός της τιμής του “OMV” που αντιστοιχεί σε $AMV = 0$, με βάση την προηγούμενη εξίσωση. Σε αυτό το βήμα το “AMV” τίθεται στην τιμή 0 και υπολογίζεται το αντίστοιχο “OMV”. Αυτό σημαίνει ότι προσδιορίζεται η τιμή του “OMV”, καθώς οι χρήστες έχουν ουδέτερο (0) αίσθημα άνεσης [13].
7. Προσδιορισμός της τιμής θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε αυτό το “OMV”: Για την τιμή του “OMV” που καθορίστηκε στο προηγούμενο βήμα, επιλύεται η αντίστροφη εξίσωση “OMV”, 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 [13].



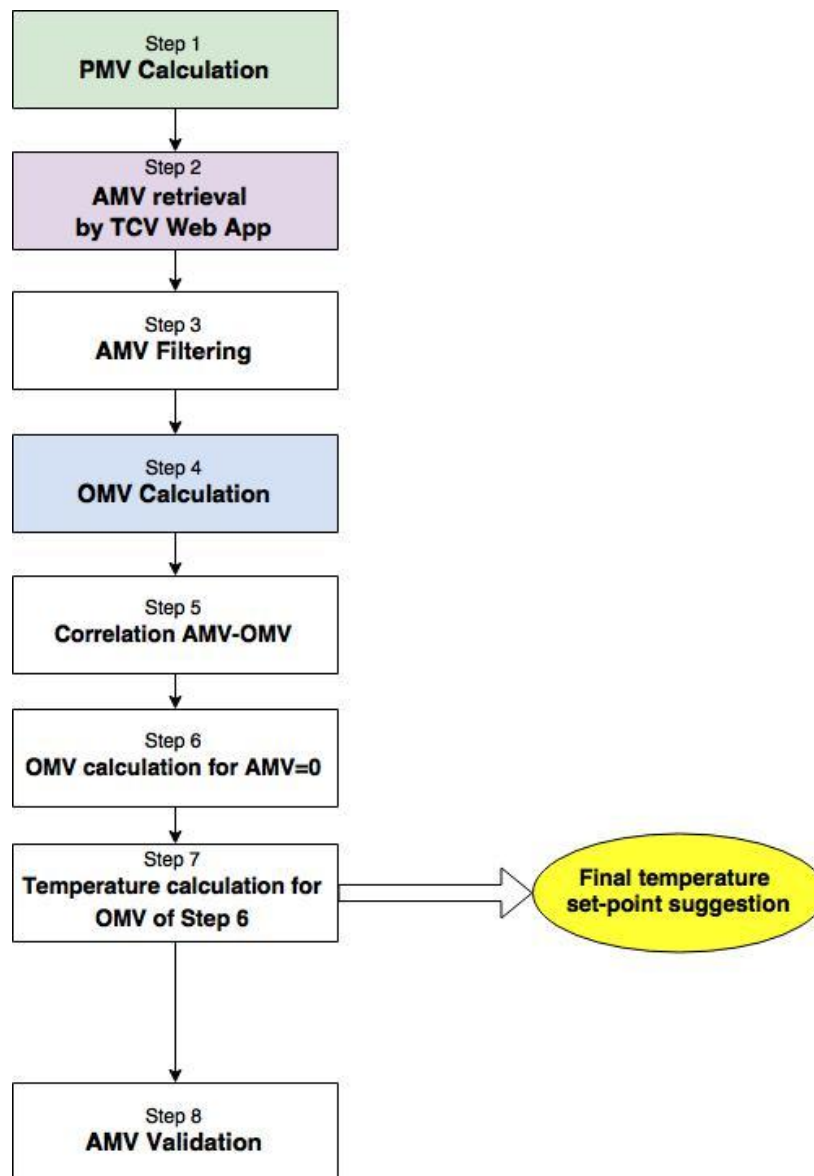
Σχήμα 4.8: Εύρεση προτεινόμενης θερμοκρασίας μέσω κανόνα “TCV” [13]

8. Επικύρωση του “AMV”: Σε αυτό το τελευταίο βήμα, τα αποτελέσματα επικυρώνονται. Όταν το “PMV” ισούται με το “OMV”, η πραγματική θερμική άνεση των χρηστών υποτίθεται ότι 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” [13].

Step 1: PMV Calculation								Step 9: AMV Validation		
Time	Predicted (PMV)	Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	PMV	AMV for the PMV	ASHRAE R-Index (Case 909 0.5-PMV-0.5)
		[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]			
0:00 - 1:00	26.88	26.88	0.15	55.41	0.5	1.1	0.44	-0.29	Acceptable	
1:00 - 2:00	27.07	27.07	0.15	55.90	0.5	1.1	0.45	-0.23	Acceptable	
2:00 - 3:00	26.91	26.91	0.15	56.39	0.5	1.1	0.23	-0.55	Change set point	
3:00 - 4:00	26.77	26.77	0.15	56.92	0.5	1.1	0.41	-0.36	Acceptable	
4:00 - 5:00	26.90	26.90	0.15	58.02	0.5	1.1	0.44	-0.30	Acceptable	
5:00 - 6:00	26.68	26.68	0.15	58.76	0.5	1.1	0.38	-0.44	Acceptable	
6:00 - 7:00	26.99	26.99	0.15	59.13	0.5	1.1	0.43	-0.23	Acceptable	
7:00 - 8:00	26.79	26.79	0.15	57.83	0.5	1.1	0.40	-0.37	Acceptable	
8:00 - 9:00	26.98	26.98	0.15	57.83	0.5	1.1	0.48	-0.26	Acceptable	
9:00 - 10:00	26.83	26.83	0.15	55.41	0.5	1.1	0.32	-0.51	Change set point	
10:00 - 11:00	26.90	26.90	0.15	53.74	0.5	1.1	0.40	-0.36	Acceptable	
11:00 - 12:00	26.88	26.88	0.15	52.07	0.5	1.1	0.30	-0.53	Change set point	
12:00 - 13:00	27.05	27.05	0.15	48.72	0.5	1.1	0.41	-0.35	Acceptable	
13:00 - 14:00	27.18	27.18	0.15	47.60	0.5	1.1	0.45	-0.29	Acceptable	
14:00 - 15:00	27.12	27.12	0.15	47.23	0.5	1.1	0.43	-0.32	Acceptable	
15:00 - 16:00	27.25	27.25	0.15	45.19	0.5	1.1	0.45	-0.23	Acceptable	
16:00 - 17:00	27.34	27.34	0.15	46.67	0.5	1.1	0.50	-0.20	Acceptable	
17:00 - 18:00	27.27	27.27	0.15	46.12	0.5	1.1	0.47	-0.25	Acceptable	
18:00 - 19:00	27.18	27.18	0.15	45.56	0.5	1.1	0.43	-0.32	Acceptable	
19:00 - 20:00	27.07	27.07	0.15	45.93	0.5	1.1	0.40	-0.38	Acceptable	
20:00 - 21:00	26.88	26.88	0.15	47.79	0.5	1.1	0.35	-0.46	Acceptable	
21:00 - 22:00	26.74	26.74	0.15	46.86	0.5	1.1	0.29	-0.56	Change set point	
22:00 - 23:00	26.93	26.93	0.15	47.42	0.5	1.1	0.22	-0.63	Change set point	
23:00 - 0:00	26.41	26.41	0.15	51.31	0.5	1.1	0.21	-0.70	Change set point	
0:00 - 1:00	27.11	27.11	0.15	55.41	0.5	1.1	0.45	-0.21	Acceptable	
1:00 - 2:00	27.20	27.20	0.15	55.60	0.5	1.1	0.53	-0.15	Acceptable	
2:00 - 3:00	26.43	26.43	0.15	58.39	0.5	1.1	0.28	-0.57	Change set point	
3:00 - 4:00	26.91	26.91	0.15	59.32	0.5	1.1	0.45	-0.28	Acceptable	

Σχήμα 4.9: Επικύρωση αποτελεσμάτων κανόνα “TCV” [13]

Στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζουμε το συνολικό διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας του κανόνα επαγωγής που στοχεύει στη ρύθμιση της θερμοκρασίας με βάση την επικύρωση της θερμικής άνεσης των ενοίκων και τη θεωρία “PMV”:



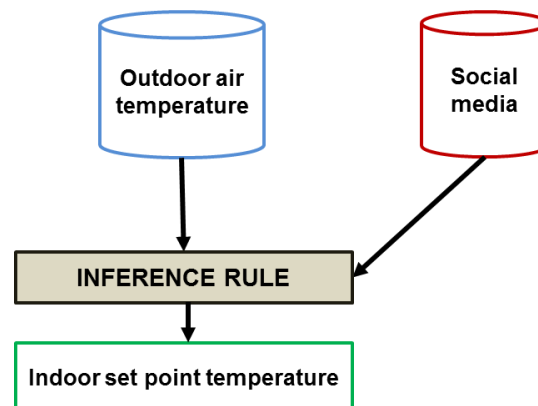
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα ροής κανόνα “TCV” [13]

4.3 Επαγωγικός Κανόνας 2^{ος} - Προσαρμοστική Αντίληψη Θερμικής Άνεσης

Σε θερμά ή ψυχρά περιβάλλοντα, μπορεί να υπάρχει συχνά μία επιρροή που οφείλεται στην προσαρμογή. Εκτός από το ρουκισμό, άλλες μορφές προσαρμογής, όπως η στάση του σώματος και η μειωμένη δραστηριότητα, που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, μπορούν να οδηγήσουν στην αποδοχή υψηλότερων θερμοκρασιών εσωτερικού χώρου. Οι άνθρωποι που συνηθίζουν να εργάζονται και να ζουν σε θερμά κλίματα μπορούν πιο εύκολα να αποδεχτούν και να διατηρήσουν υψηλή απόδοση στην εργασία τους σε θερμά περιβάλλοντα από αυτούς που ζουν σε ψυχρά κλίματα (βλ. “ISO 7933” και “ISO 7243”). Εκτεταμένα αποδεκτά περιβάλλοντα μπορούν να εφαρμοστούν για φυσικώς αεριζόμενους χώρους σε θερμές κλιματικές περιοχές ή κατά τη διάρκεια θερμών περιόδων, όπου οι θερμικές συνθήκες του χώρου ελέγχονται πρωτίτως από τους ενοίκους μέσω του ανοίγματος και του κλεισίματος των παραθύρων. Τα πειράματα πεδίου έχουν δείξει ότι οι ένοικοι τέτοιων κτιρίων θα μπορούσαν να δεχτούν υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που προβλέπονται από το “PMV” [29].

Σε αυτό το πλαίσιο, ο δεύτερος επαγωγικός κανόνας προγραμματίζει το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας σύμφωνα με την προσαρμοστική αντίληψη της άνεσης. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται μία γραμμική παλινδρόμηση σύμφωνα με την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα. Η απαιτούμενη μεταβλητή εισόδου για τη διαδικασία μοντελοποίησης ανήκει στα κλιματικά δεδομένα και είναι η προβλεπόμενη ωριαία εξωτερική θερμοκρασία του αέρα [13].

Στη γενική δομή της μοντελοποίησης σεναρίου εμπλέκονται οι ακόλουθες μονάδες καταγραφής δεδομένων: η πρόγνωση καιρού και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Η διαδικασία του κανόνα επαγωγής συνίσταται από λογικούς κανόνες που συνδέουν το προβλεπόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας, σύμφωνα με το “adaptive comfort concept”, με την έξοδο από τη μονάδα των μέσων κοινωνικής δικτύωσης [13].



Σχήμα 4.11: Εμπλεκόμενες μονάδες καταγραφής δεδομένων στον κανόνα “Adaptive Comfort” [13]

4.3.1 Θεωρία

Σύμφωνα με τη θεωρία της προσαρμοστικής άνεσης και τα αποτελέσματα διεθνών ερευνών, προτείνεται μία εξίσωση παλινδρόμησης που στοχεύει στον προγραμματισμό του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ως συνάρτηση της μέσης επικρατούσας θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου. Στην προσαρμοστική προσέγγιση ο ένοικος 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. Χάρη σε αυτό το γεγονός, μπορούν να αξιοποιηθούν κάποιες ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας για κλιματισμό, θεωρώντας λιγότερο περιοριστικά σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας (π.χ. χαμηλότερη θερμοκρασία σε περιόδους θέρμανσης και υψηλότερη θερμοκρασία σε περιόδους ψύξης), αντί για σταθερές τιμές [13]. Συνεπώς, οι δείκτες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων προς βελτιστοποίηση είναι οι εξής: ενεργειακή κατανάλωση, εκπομπές CO₂ και η θερμική άνεση [13].

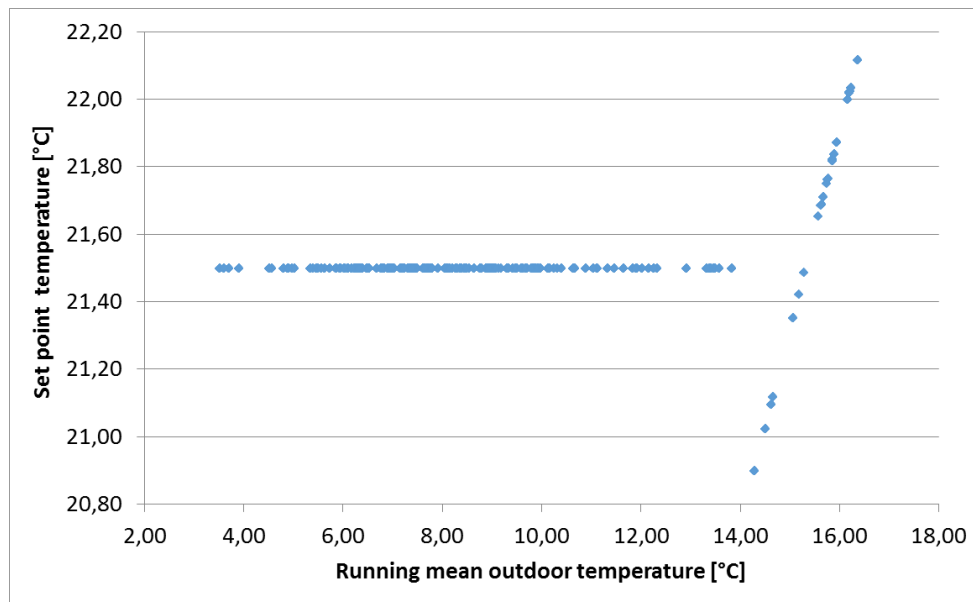
Η διαδικασία του εν λόγω κανόνα επαγωγής συνίσταται στον προσδιορισμό μίας γραμμικής παλινδρόμησης της θερμοκρασίας λειτουργίας που παρέχει άνεση εσωτερικού χώρου ως συνάρτηση ενός δείκτη της εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα, που ονομάζεται “running mean outside temperature”. Πρόκειται για έναν εκθετικά σταθμισμένο μέσο όρο εξωτερικής θερμοκρασίας, που αναγνωρίζεται ως ένας σημαντικός δείκτης συσχετισμένος με την εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας που παρέχει άνεση. Διαφορετικές μελέτες έχουν δείξει ότι αυτός ο δείκτης έχει καλύτερη συσχέτιση με τις θερμοκρασίες άνεσης, συγκρινόμενος με άλλους, όπως ο μηνιαίος μέσος όρος εξωτερικής θερμοκρασίας [13].

Επιπρόσθετα, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι άνθρωποι τείνουν να προσαρμόζουν το ρουχισμό τους, όχι μόνο στις εξωτερικές καιρικές συνθήκες, αλλά και στις θερμικές συνθήκες που τυπικά αναμένονται σε περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου. Αυτή η προσαρμογή είναι εντονότερη στην περίπτωση που έχουμε φυσικά αεριζόμενα περιβάλλοντα (μερικώς μηχανικός έλεγχος), συγκριτικά με την περίπτωση που έχουμε τελείως μηχανικά ελεγχόμενα περιβάλλοντα [13]. Οι De Dear και Brager καταδεικνύουν ότι σε φυσικά αεριζόμενα περιβάλλοντα θερμοκρασίες που κρίνονται ως «ουδέτερες» εξαρτώνται τόσο από εξωτερικές όσο και από εσωτερικές κλιματικές συνθήκες. Στην περίπτωση κτιρίων με μηχανικό κλιματικό έλεγχο, οι De Dear και Brager υποδεικνύουν μία συσχέτιση μεταξύ της εσωτερικής θερμοκρασίας λειτουργίας ουδετερότητας και της μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας λειτουργίας [13,28].

Υποθέτοντας ότι η μέση εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας είναι περίπου ίση με το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας και θεωρώντας τις μελέτες πάνω στη σχέση μεταξύ της επικρατούσας 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 [13].

Η καμπύλη παλινδρόμησης που επιτρέπει την αξιολόγηση των σημείων ρύθμισης θερμοκρασίας ως συνάρτηση της επικρατούσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας, έχει

βρεθεί σύμφωνα με τη θεωρία προσαρμοστικής άνεσης και στη βάση του πεδίου έρευνας άνεσης που διεξάγεται από τους ερευνητές του “Politecnico di Torino” [13].



Σχήμα 4.12: Καμπύλη παλινδρόμησης για πρόταση σημείου ρύθμισης εσωτερικής θερμοκρασίας [13]

4.3.2 Μεθοδολογία

Το μοντέλο του εν λόγω επαγωγικού κανόνα συνοψίζεται ως εξής:

1. Η προβλεπόμενη ωριαία εξωτερική θερμοκρασία αέρα καταγράφεται για 8 ημέρες.
2. Υπολογίζεται η ημερήσια μέση θερμοκρασία εξωτερικού χώρου.
3. Η επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία (“running mean outside temperature – θ_{RM} ”) υπολογίζεται εφαρμόζοντας την παρακάτω εξίσωση, όπου θεωρείται η μέση ημερήσια θερμοκρασία κατά την ημέρα n (για $n=6$)

$$\theta_{RMn} = (1 - c) \cdot [\theta_{DM(n-1)} + c\theta_{DM(n-2)} + c^2\theta_{DM(n-3)} + \dots]$$

όπου c μία σταθερά ίση με 0,8.

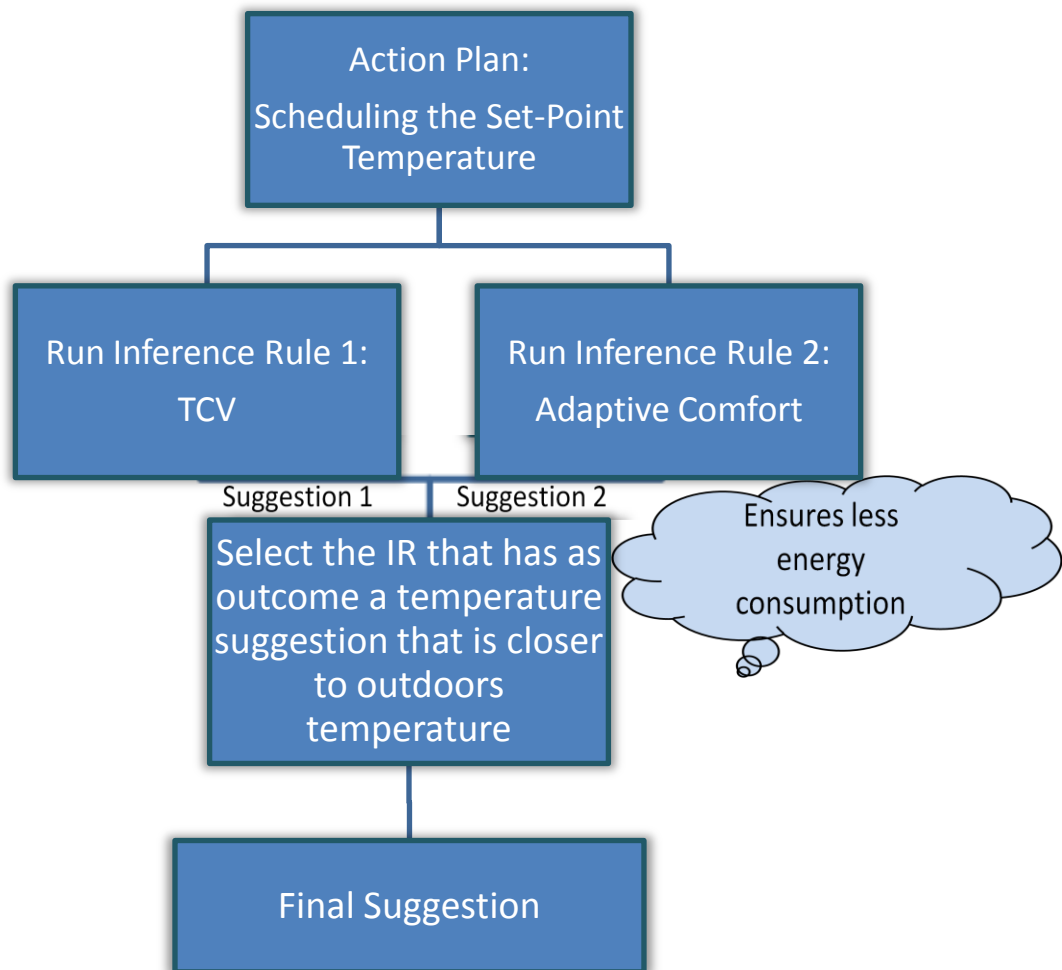
4. Τελικά, το ημερήσιο προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου υπολογίζεται συναρτήσει της αντίστοιχης τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας από την εξής γραμμική παλινδρομική σχέση:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Εάν } \theta_{RMn} < 14^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 21,5^{\circ}\text{C} \\ \text{Εάν } 14^{\circ}\text{C} < \theta_{RMn} < 22,5^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 0,5861 \cdot \theta_{RMn} + 12,531^{\circ}\text{C} \\ \text{Εάν } \theta_{RMn} > 22,5^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 26^{\circ}\text{C}. \end{array} \right.$$

Σύμφωνα, λοιπόν, με την προσέγγιση της προσαρμοστικής άνεσης, το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας που προτείνεται για την περίοδο θέρμανσης είναι 21.5 °C, με εξαίρεση κάποιες λίγες ώρες που χαρακτηρίζονται από υψηλότερη τρέχουσα μέση θερμοκρασία εξωτερικού χώρου [13].

4.4 Ενσωμάτωση Κανόνων Επαγωγής

Μετά από την ταυτόχρονη εφαρμογή των επαγωγικών κανόνων, για καθεμία από όπως ημέρες όπως επόμενης εβδομάδας εφαρμόζεται το επόμενο διάγραμμα ροής, που ουσιαστικά ενοποιεί τα αποτελέσματα από το “TCV” και το “Adaptive Comfort” και προτείνει ως δράση όπως τον ενεργειακό διαχειριστή για μία συγκεκριμένη ημέρα εκείνο από τα δύο σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας που κρίνεται πιο ενεργειακά αποδοτικό, όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα ροής [13].



Σχήμα 4.13: Διάγραμμα ενσωμάτωσης κανόνων επαγωγής [13]

Προφανώς, ως πιο ενεργειακά αποδοτική κρίνεται η ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου σε εκείνο το σημείο που, πέρα από το ότι εγγυάται αποδεκτά επίπεδα θερμικής άνεσης για τους ενοίκους, βρίσκεται πλησιέστερα προς την προβλεπόμενη εξωτερική θερμοκρασία της αντίστοιχης ημέρας.

Ως αποτέλεσμα, το συνολικό σχέδιο δράσης προβλέπεται να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση, τις αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και το σχετικό ενεργειακό κόστος.

Κεφάλαιο 5: Επιλογή Τεχνολογιών

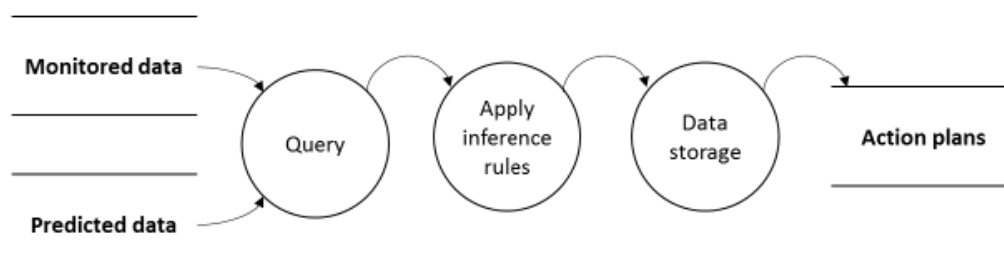
Στο παρόν κεφάλαιο της εργασίας αρχικά σημειώνονται ορισμένες προδιαγραφές της αρχιτεκτονικής του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την υλοποίηση των προτεινόμενων σχεδίων δράσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το πλαίσιο (“framework”) και οι γλώσσες προγραμματισμού πάνω στα οποία βασίστηκε η ανάπτυξη του εν λόγω εργαλείου ενεργειακού σχεδιασμού για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων, καθώς και μία ειδικότερη αρχιτεκτονική ανάλυση βασισμένη στο επιλεγμένο πλαίσιο.

5.1 Απαιτήσεις Ροής Δεδομένων για Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης

Οι έξυπνοι κανόνες που αναπτύσσονται και υλοποιούνται για την ενεργειακή βελτιστοποίηση βασίζονται σε δεδομένα εισόδου του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων προερχόμενα τόσο από τις μονάδες καταγραφής δεδομένων όσο και από τη διαδικασία εξόρυξης δεδομένων. Η ακριβής πρόβλεψη της συμπεριφοράς του κτιρίου κρίνεται απαραίτητη για την υλοποίηση των προτεινόμενων σχεδίων δράσης, όπως είναι ο προγραμματισμός των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Αφού πρώτα περιγραφεί η διαδικασία των επαγωγικών κανόνων, από τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται έως τον θεωρητικό προσδιορισμό των επιμέρους κανόνων, μπορούμε να συνοψίσουμε τη ροή δεδομένων και τη διαδικασία υλοποίησης του σχεδίου δράσης, από την πλευρά της πληροφορικής, ως ακολούθως:

- Ξεκινά με τα προβλεπόμενα δεδομένα, που έχουν αποθηκευτεί στη βάση δεδομένων “MariaDB”, και τα παρατηρούμενα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στον διακομιστή “Virtuoso”.
- Οι υπηρεσίες που υλοποιούν τους κανόνες επαγωγής ζητούν από το σημασιολογικό πλαίσιο τα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, η πρόσβαση στον “Virtuoso Server” πραγματοποιείται μέσω “SPARQL queries”, ενώ η πρόσβαση στη βάση δεδομένων “MariaDB” γίνεται μέσω “MariaDB”.
- Οι υπηρεσίες επικαλούνται τους κανόνες επαγωγής με χρήση των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων δεδομένων. Στο τέλος της ροής δεδομένων, τα αποτελέσματα της διαδικασίας αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων “MariaDB” ως σχέδια δράσης.



Σχήμα 5.1: Ροή δεδομένων από παρατηρούμενα και προβλεπόμενα δεδομένα στα σχέδια δράσης [14]

5.2 Επιλογή Αρχιτεκτονικών Προτύπων

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τα αρχιτεκτονικά πρότυπα τα οποία ταιριάζουν στη διαδικτυακή υλοποίηση του σχεδίου δράσης με βάση τις προδιαγραφές συστήματος και τις απαιτήσεις σε δεδομένα που έχουν αναφερθεί. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται οι αρμοδιότητες και οι λειτουργίες κάθε υποσυστήματος του επιλεγμένου μοντέλου, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο καθένα από τα επιμέρους τμήματα αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα.

5.2.1 Αρχιτεκτονικό Μοντέλο Πελάτη – Εξυπηρετητή

Από τα πολλά μοντέλα αρχιτεκτονικής συστημάτων που υπάρχουν, εκείνο το οποίο υιοθετείται στη διαδικτυακή υλοποίηση του σχεδίου δράσης είναι αυτό του πελάτη-εξυπηρετητή (“client-server”). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, υπάρχουν δύο διαφορετικές πλευρές που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ο “client” (ή αλλιώς “front end”) μπορεί να ζητά υπηρεσίες από έναν “server” (ή αλλιώς “back end”), ο οποίος προσφέρει πληροφορίες ή επιπρόσθετη υπολογιστική ισχύ. Με άλλα λόγια, στο μοντέλο πελάτη – εξυπηρετητή, ο πελάτης θέτει μία αίτηση και ο εξυπηρετητής επιστρέφει μία ανταπόκριση ή κάνει μία σειρά από ενέργειες [38,39].

Τα συστήματα που κινούνται προς την κατεύθυνση της “client – server” τεχνολογίας να αυξάνουν κατά πολύ την ανταγωνιστική τους θέση, διότι το μοντέλο αυτό παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Αποτελεσματική χρήση της υπολογιστικής ισχύος.
- Μείωση του κόστους συντήρησης, δημιουργώντας συστήματα “client – server” που απαιτούν λιγότερη συντήρηση και κοστίζουν λιγότερο στην αναβάθμιση.
- Αύξηση της παραγωγικότητας, προσφέροντας στους χρήστες ξεκάθαρη πρόσβαση στις αναγκαίες πληροφορίες μέσω σταθερών και εύκολων στη χρήση διασυνδέσεων.
- Αύξηση της ευελιξίας και της δυνατότητας δημιουργίας συστημάτων που υποστηρίζουν πολλά περιβάλλοντα [39].

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ο διακομιστής είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της βάσης δεδομένων, στο βαθμό της εισαγωγής, αναζήτησης, διαγραφής και τροποποίησης των πληροφοριών, όπως και για την παροχή των δεδομένων της βάσης πίσω στην πλευρά πελάτη, ως μία μορφή απάντησης στο αίτημά της.

5.2.1.1 Βάση Δεδομένων (“Database”)

Η μονάδα αυτή είναι υπεύθυνη για την αποθήκευση και τη διατήρηση πληροφοριών, ώστε να είναι προσπελάσιμες και ανακτώμενες με χρήση κατάλληλων μεθόδων. Μέσω της αλληλεπίδρασής της με την πλευρά του εξυπηρετητή, προσφέρει την ικανότητα οργάνωσης, αναζήτησης, προσθήκης, τροποποίησης και διαγραφής δεδομένων, ενέργειες που είναι απαραίτητες για την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής [39].

5.2.1.2 Πλευρά Πελάτη (“Client Side”)

Η υπομονάδα αυτή σχετίζεται με τη δημιουργία κατάλληλων διεπαφών για την αποστολή αιτημάτων, τα οποία επιτρέπουν στο χρήστη να αλληλεπιδρά με τον εξυπηρετητή και κατ’ επέκταση με τη βάση δεδομένων [39]. Στην παρούσα εργασία, όπως θα δούμε διεξοδικά

στο επόμενο κεφάλαιο, είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία της διεπαφής χρήστη του σχεδίου δράσης, που του προβάλλει τις προτάσεις ρύθμισης της εσωτερικής θερμοκρασίας ανά ζώνη του κτιρίου σε οριζόντια μίας εβδομάδας (η οποία μπορεί να επιλεγεί γραφικά μέσω ενός ημερολογίου) και του επιτρέπει να επιλέξει έναν συγκεκριμένο τομέα του κτιρίου ώστε να δει πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα των επαγωγικών κανόνων, τα δεδομένα ανατροφοδότησης από το χρήστη, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώθηκαν οι δύο κανόνες επαγωγής προς την κατεύθυνση της τελικής ημερήσιας πρότασης σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας.

5.2.1.3 Πλευρά Εξυπηρετητή (“Server Side”)

Η υπομονάδα αυτή έχει την αποκλειστική ευθύνη της αλληλεπίδρασης με τη βάση δεδομένων, ως αποτέλεσμα ενός αιτήματος του πελάτη. Με το πέρας της αλληλεπίδρασης αυτής, στέλνει κατάλληλη απάντηση πίσω στην πλευρά πελάτη είτε με τη μορφή δεδομένων, είτε με τη μορφή σήματος, περιγράφοντας την έκβαση της ενέργειας που αιτήθηκε να πραγματοποιήσει [39]. Συγκεκριμένα, στην παρούσα διπλωματική εργασία η υπομονάδα αυτή σχετίζεται με την εισαγωγή, τροποποίηση και διαγραφή στοιχείων από τη βάση δεδομένων, την παροχή και την κωδικοποίηση ζητούμενων πληροφοριών από τη βάση δεδομένων πίσω στην πλευρά πελάτη, όπως επίσης και σε άλλες λειτουργίες που θα αναλυθούν επίσης στο επόμενο κεφάλαιο.

5.2.2 Αρχιτεκτονικό μοντέλο “Model – View – Controller”

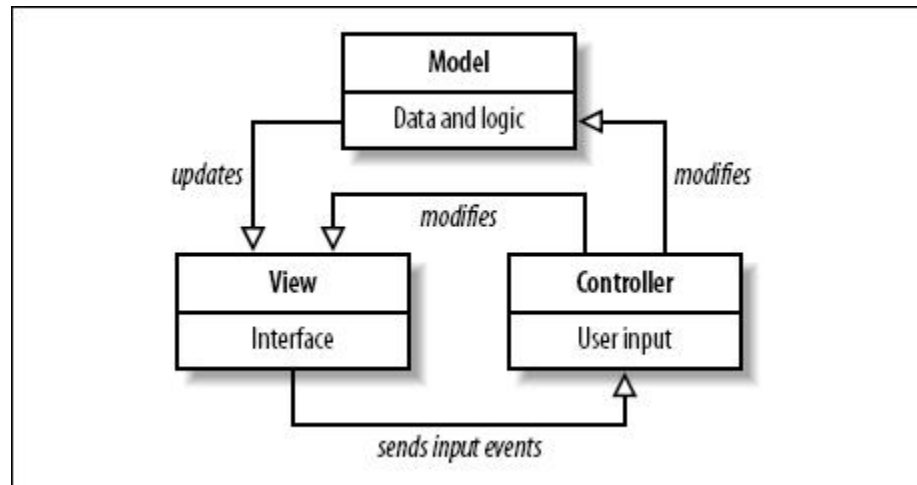
Το “Model-view-controller (MVC)” είναι ένα αρχιτεκτονικό πρότυπο λογισμικού, κυρίως για την υλοποίηση διεπαφών χρήστη, το οποίο διαιρεί μία δοσμένη εφαρμογή λογισμικού σε τρία διασυνδεδεμένα κομμάτια, έτσι ώστε να διαχωρίσει τις εσωτερικές αναπαραστάσεις πληροφορίας από τους τρόπους με τους οποίους παρουσιάζεται αυτή η πληροφορία ή γίνεται αποδεκτή από το χρήστη. Παραδοσιακά χρησιμοποιούμενη για γραφικές διεπαφές χρήστη σε υπολογιστές γραφείου, αυτή η αρχιτεκτονική έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής για τη σχεδίαση διαδικτυακών εφαρμογών [40].

Το πρότυπο “MVC” αποτελείται από τρία συστατικά μέρη: τα μοντέλα (“models”), τις όψεις (“views”) και τους ελεγκτές (“controllers”). Πιο συγκεκριμένα:

- **“Model”**: Στο μοντέλο τοποθετούμε τις λειτουργίες της εφαρμογής που σχετίζονται με την πρόσβαση στη βάση δεδομένων. Οι λειτουργίες αυτές είναι με τη μορφή μεθόδων στον προγραμματισμό. Είναι κάποιες συναρτήσεις με τις οποίες εκτελούμε διάφορες λειτουργίες διαχείρισης των δεδομένων που λαμβάνουμε από τη βάση. Για παράδειγμα αν θέλουμε σε μία σελίδα να εμφανίσουμε κάποια βιβλία από τη βάση δεδομένων, το πρώτο βήμα είναι ότι στο μοντέλο των βιβλίων υπάρχει κάποια συνάρτηση, για παράδειγμα “getAllBooks()”, η οποία περιέχει κώδικα που μιλάει με τη βάση και «τραβάει» τα δεδομένα που θέλουμε.
- **“View”**: Μέσα στην όψη υπάρχει το “HTML” κομμάτι της σελίδας της εφαρμογής μας. Είναι αυτό που βλέπουμε. Τις περισσότερες φορές ένα “View” μιλάει με έναν “Controller” και αφού ο ελεγκτής κάνει τις διάφορες επεξεργασίες των δεδομένων στέλνει στο “View” συγκεκριμένα δεδομένα να εμφανίσει.
- **“Controller”**: Ο ελεγκτής είναι ο μεσολαβητής μεταξύ μοντέλου και όψης. Ελέγχει το πώς «τρέχει» η εφαρμογή. Μιλάει με το “Model”, παίρνει τα δεδομένα που ζητά

και εν συνεχεία και αφού τα επεξεργαστεί τα στέλνει πίσω στο “View” για απεικόνιση [40,41].

Ένα σύστημα που υλοποιεί το πρότυπο αυτό αποτελείται πάντα από τα παραπάνω μέρη, έχοντας ως τελικό στόχο την υλοποίηση της βέλτιστης αρχιτεκτονικής του συστήματος [40].



Σχήμα 5.2: Τυπική συνεργασία των συστατικών του “MVC” [41]

Η κεντρική συνιστώσα του “MVC”, το μοντέλο (“Model”), συλλαμβάνει τη συμπεριφορά της εφαρμογής από την άποψη της περιοχής του προβλήματος, ανεξάρτητα από το περιβάλλον εργασίας του χρήστη. Το μοντέλο διαχειρίζεται απευθείας τα δεδομένα, τη λογική και τους κανόνες της αίτησης. Μία όψη (“View”) μπορεί να είναι οποιαδήποτε αναπαράσταση εξόδου των πληροφοριών, όπως ένα σχήμα ή ένα διάγραμμα. Μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές όψεις για την ίδια πληροφορία, όπως για παράδειγμα ένα γράφημα στηλών για τη διαχείριση ή ένας πίνακας για τους λογιστές. Το τρίτο μέρος, ο ελεγκτής (“Controller”), δέχεται κάποια είσοδο και τη μετατρέπει σε εντολές για το μοντέλο ή την όψη [40].

Εκτός από τη διαίρεση της εφαρμογής σε τρία είδη συστατικών στοιχείων, η σχεδίαση “model-view-controller” καθορίζει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Ο ελεγκτής μπορεί να στείλει εντολές στο μοντέλο για να ενημερώσει την κατάσταση του μοντέλου (π.χ. η επεξεργασία ενός εγγράφου). Μπορεί επίσης να στείλει εντολές σε συνδεδεμένες όψεις του ώστε να αλλάξει την παρουσίαση της όψης του μοντέλου (π.χ. με κύλιση σε ένα έγγραφο). Το μοντέλο αποθηκεύει τα δεδομένα που ανακτώνται σύμφωνα με τις εντολές του ελεγκτή, τα οποία εμφανίζονται στην προβολή. Η όψη παράγει μία παρουσίαση εξόδου στο χρήστη με βάση τις αλλαγές στο μοντέλο [40].

Έστω ότι ο χρήστης δίνει κάποια είσοδο στην ιστοσελίδα (π.χ. συμπληρώνει μία φόρμα και πατάει το κουμπί «Υποβολή»). Στη συνέχεια ο ελεγκτής, έχοντας λάβει την είσοδο του χρήστη, μιλάει με το μοντέλο χρησιμοποιώντας την είσοδο του χρήστη σαν μεταβλητή και ζητάει δεδομένα από το μοντέλο τα οποία όταν τα λαμβάνει τα προσαρμόζει ανάλογα με αυτό που ζήτησε ο χρήστης. Ο ελεγκτής με τα νέα δεδομένα πλέον, αλλάζει την όψη (“view”). Για παράδειγμα, εάν σε μία εφαρμογή βιβλιοπωλείου ο χρήστης συμπληρώσει

μία φόρμα αναζήτησης για βιβλία με συγκεκριμένη κατηγορία ο αντίστοιχος ελεγκτής θα «μιλήσει» με κάποια συνάρτηση του μοντέλου που θα ζητάει όλα τα βιβλία και θα δέχεται ως παράμετρο την κατηγορία. Το μοντέλο θα βρίσκει τα βιβλία αυτά και μέσω της χρήσης της συνάρτησης του ελεγκτή, αυτός θα τα εμφανίζει στην οθόνη [41].

Τον όρο «οντότητα», ή στα αγγλικά “entity”, τον συναντούμε πολύ συχνά στο αρχιτεκτονικό πρότυπο “MVC”, αλλά και γενικότερα στον προγραμματισμό. Είναι όρος που προκύπτει κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης ενός συστήματος και δίνει τη δυνατότητα στον προγραμματιστή να δει από ποιες βασικές οντότητες απαρτίζεται η εφαρμογή του. Για παράδειγμα, σε μία εφαρμογή με ιστολόγια, άρθρα, σχόλια, χρήστες οι οντότητες είναι: ο χρήστης, το ιστολόγιο, το σχόλιο, το άρθρο, κλπ. Είναι πράγματα δηλαδή που υπάρχουν και πάνω σε αυτά βασίζουμε τις λειτουργίες του συστήματός μας. Συνήθως με τον όρο “entity” παρουσιάζουμε και έναν πίνακα σε μία βάση δεδομένων. Δημιουργώντας «οντότητες» μας βοηθά να δημιουργήσουμε την εφαρμογή μας πιο εύκολα και πιο σίγουρα [41].

Παρότι αναπτύχθηκε αρχικά για επιτραπέζιους υπολογιστές, το “model-view-controller” έχει υιοθετηθεί ευρέως ως μία αρχιτεκτονική για διαδικτυακές εφαρμογές Παγκόσμιου Ιστού σε μεγάλες γλώσσες προγραμματισμού. Ορισμένα εμπορικά και μη εμπορικά πλαίσια διαδικτυακών εφαρμογών έχουν δημιουργηθεί που επιβάλλουν αυτό το μοτίβο. Αυτά τα πλαίσια διαφέρουν ως προς τις ερμηνείες τους, κυρίως στον τρόπο με τον οποίο οι “MVC” ευθύνες κατανέμονται μεταξύ του πελάτη και του διακομιστή.

Τα πρώτα διαδικτυακά “MVC” πλαίσια υιοθέτησαν μία λεπτή προσέγγιση πελάτη που τοποθετούσε σχεδόν ολόκληρη λογική του “model”, “view” και “controller” στον εξυπηρετητή. Αυτό εξακολουθεί να αντικατοπτρίζεται σε δημοφιλή πλαίσια, όπως “Rails”, “Django”, “ASP.NET MVC” και “Express”. Σε αυτήν την προσέγγιση, ο πελάτης στέλνει αιτήματα υπερσύνδεσης ή είσοδο φόρμας στον ελεγκτή και, στη συνέχεια, λαμβάνει μία πλήρη και ενημερωμένη ιστοσελίδα (ή άλλο έγγραφο) από την όψη, ενώ το μοντέλο υπάρχει εξ’ ολοκλήρου στον εξυπηρετητή. Καθώς οι τεχνολογίες πλευράς πελάτη έχουν ωριμάσει, πλαίσια όπως το “AngularJS”, “EmberJS”, “JavascriptMVC” και “Backbone” έχουν δημιουργηθεί που επιτρέπουν στα συστατικά “MVC” να εκτελούνται μερικώς στον πελάτη [40,41].

Χτίζοντας μία εφαρμογή με “MVC” έχουμε τα εξής βασικά πλεονεκτήματα:

Διαχωρισμός Προβλημάτων:

Αυτό είναι και το πιο βασικό πλεονέκτημα του “MVC”. Ουσιαστικά δημιουργείται μία εφαρμογή η οποία έχει τρία επίπεδα, το επίπεδο των μοντέλων, το επίπεδο των ελεγκτών και το επίπεδο των όψεων, όπου το κάθε επίπεδο επιτελεί ξεχωριστό έργο και ταυτόχρονα συνεργάζεται με τα άλλα επίπεδα. Μία σωστή “MVC” εφαρμογή είναι εκείνη όπου τα τρία επίπεδα είναι ξεκάθαρα καθορισμένα και δε συμπλέκονται. Για παράδειγμα, είναι λάθος στο επίπεδο των “views” να υπάρχει κώδικας που «μιλάει» με τη βάση δεδομένων και «τραβάει» δεδομένα.

Επεκτασιμότητα

Το δεύτερο πλεονέκτημα της “MVC” αρχιτεκτονικής είναι επίσης πολύ σημαντικό. «Επεκτασιμότητα» είναι η δυνατότητα που διαθέτει μία εφαρμογή όταν επιτρέπει τη μελλοντική προσθήκη λειτουργιών σε αυτή ή την αλλαγή κάποιων από τις ήδη υπάρχουσες λειτουργίες με αποτέλεσμα να έχουμε άλλα αποτελέσματα. Τα προγράμματα που είναι φτιαγμένα με “MVC” αρχιτεκτονική έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό ότι είναι επεκτάσιμα.

Ελεγκσιμότητα

Πρόκειται για ένα πολύ κρίσιμο χαρακτηριστικό. Οι “MVC” εφαρμογές έχουν τη δυνατότητα να είναι ελέγξιμες και με τον τρόπο αυτό συντηρούνται πιο εύκολα. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε μία εφαρμογή η οποία διαθέτει μία λειτουργία “login”, δηλαδή ζητά από το χρήστη να πληκτρολογήσει κάποια στοιχεία σε μία φόρμα και εν συνεχεία τον εισάγει μέσα στο σύστημα. Αυτή τη λειτουργία την ελέγχει κάποιος “loginController” ο οποίος περιέχει κώδικα που διαχειρίζεται τα δεδομένα που εισήχθησαν από τον χρήστη. Στα πλαίσια “MVC” μπορούμε για αυτόν τον “controller” αλλά και για καθεμία από τις λειτουργίες του να γράψουμε με πολύ μεγάλη ευκολία απλό κώδικα ελέγχου, από τα αποτελέσματα του οποίου διαπιστώνουμε εάν η συγκεκριμένη μονάδα της εφαρμογής μας λειτουργεί σωστά.

Καθαρά “URLs”

Τα περισσότερα πλαίσια “MVC” για διαδικτυακές εφαρμογές δίνουν τη δυνατότητα να έχουμε καθαρά, δηλαδή πιο όμορφα και εύληπτα από το χρήστη αλλά και από τη μηχανή αναζήτησης, “urls”. Αυτό είναι σημαντικό, για παράδειγμα, όταν έχουμε ένα ιστολόγιο και πατάμε το σύνδεσμο για να διαβάσουμε ένα άρθρο [41].

5.3 Γλώσσες και Πλαίσια Προγραμματισμού

Προτού γίνει μετάβαση στην αρχιτεκτονική του συστήματος, είναι σημαντικό να αναφερθούν οι γλώσσες και τα πλαίσια (“frameworks”) που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικτυακή υλοποίηση του σχεδίου, ώστε να γίνει πιο κατανοητή η ανάλυση της σχεδίασης και της αρχιτεκτονικής που ακολουθεί. Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο “client-server”, οπότε θα αναλύσουμε ξεχωριστά τις τεχνολογίες, δηλαδή τις γλώσσες και τα πλαίσια, που αφορούν στην πλευρά εξυπηρετητή (“back-end development”), καθώς και αυτές που αφορούν στην πλευρά πελάτη (“front-end development”).

5.3.1 Ανάπτυξη Πλευράς Εξυπηρετητή (“Back-End Development”)

Το “back-end”- ή αλλιώς πλευρά εξυπηρετητή- εξυπηρετεί έμμεσα τις “front-end” υπηρεσίες, συνήθως όντας πιο κοντά στον επιθυμητό πόρο ή έχοντας τη δυνατότητα επικοινωνίας με τους απαιτούμενους πόρους [38,39,42]. Η εφαρμογή μας έκανε χρήση του πλαισίου (“framework”) “Symfony2” για τη σχεδίαση των λειτουργιών του εξυπηρετητή και της αλληλεπίδρασής του με τη βάση δεδομένων. Το “Symfony” είναι ένα δωρεάν, ανοικτού κώδικα πλαίσιο διαδικτυακών εφαρμογών, γραμμένο σε “PHP”, το

οποίο ακολουθεί το “Model-View-Controller (MVC)” αρχιτεκτονικό πρότυπο. Πρωταρχικός στόχος του “Symfony” είναι να διευκολύνει τη δημιουργία σύνθετων, συνδεδεμένων με βάσεις δεδομένων ιστοσελίδων. Το “Symfony” εστιάζει στην επαναχρησιμοποίηση και στη σύνδεση των στοιχείων, στην ταχεία ανάπτυξη, καθώς και στην αρχή της μη επανάληψης. Η “PHP” χρησιμοποιείται παντού, ακόμα και στις ρυθμίσεις, τα αρχεία, και τα μοντέλα δεδομένων. Όπως θα αναλύσουμε περισσότερο σε επόμενο σημείο του παρόντος κεφαλαίου, το “Symfony Standard Edition” ενσωματώνει τη βιβλιοθήκη “Doctrine” η οποία παρέχει ισχυρά εργαλεία για να διευκολύνει τον προγραμματιστή μίας εφαρμογής σε μία από τις πλέον κοινές και δύσκολες εργασίες, τη διατήρηση και την ανταλλαγή πληροφοριών από και προς τη βάση δεδομένων [43-47,52]. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του προγραμματιστικού πλαισίου “Symfony” αποτελεί κλειδί στην κατανόηση του παρόντος και του επόμενου κεφαλαίου, γι’ αυτό και θα εξεταστεί ενδελεχώς στο υποκεφάλαιο 5.4.

5.3.2 Ανάπτυξη Πλευράς Πελάτη (“Front-End Development”)

Το “Front-End Development”, γνωστό και ως ανάπτυξη πλευράς πελάτη, δεν είναι άλλο από την πρακτική παραγωγής “HTML (HyperText Markup Language)”, “CSS (Cascading Style Sheets)” και “Javascript” για μία ιστοσελίδα ή διαδικτυακή εφαρμογή, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να τη δει και να αλληλεπιδρά μαζί της άμεσα [38,39,42]. Στο παρόν διαδικτυακό εργαλείο, για την υλοποίηση όλων των στατικών τμημάτων της σελίδας χρησιμοποιήθηκε απλή “HTML”, ενώ η γραφική διαμόρφωση έγινε με χρήση “CSS”. Πιο συγκεκριμένα, εκτός από τα στοιχεία που κατασκευάσαμε οι ίδιοι, χρησιμοποιήσαμε και στοιχεία του “framework Bootstrap 3.0.0”, περιλαμβάνοντας το αντίστοιχο αρχείο στο “View”. Το “framework Bootstrap” προσφέρει ένα έτοιμο σύνολο αντικειμένων υλοποιημένων με χρήση “HTML”, “CSS”, και “Javascript”, απαλλάσσοντας τον προγραμματιστή από την ευθύνη κατασκευής αναγκαίων “front-end” στοιχείων [53]. Για την υλοποίηση των δυναμικών και όλων επιπρόσθετων γραφικών τμημάτων (“plugins”) έγινε χρήση της “Javascript”. Η γραφική διαμόρφωση πραγματοποιήθηκε και εδώ με τον ίδιο τρόπο. Για την ευκολότερη και καλύτερη υλοποίηση των διεπιφανειών έγινε χρήση της βιβλιοθήκης “jQuery 1.10.3”, η οποία στηρίζεται στη “Javascript” και προσφέρει έτοιμες υλοποιήσεις συναρτήσεων και μεθόδων για την αλληλεπίδραση με το χρήστη και το φυλλομετρητή (“browser”) [54]. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι το προγραμματιστικό πλαίσιο “Symfony” περιέχει “templates”, τα οποία είναι πρότυπα “HTML” αρχεία (“.html.twig”) όπου υλοποιείται η ανάπτυξη πλευράς πελάτη. Ένα “template” περιέχει μεταβλητές ή εκφράσεις, που αντικαθίστανται με τιμές όταν το “template” αξιολογείται, ή ετικέτες, που ελέγχουν τη λογική του “template”. Το “Twig” είναι ένα σύγχρονο “template engine” για τη γλώσσα προγραμματισμού “PHP”, το οποίο είναι γρήγορο, ασφαλές και ευέλικτο. Είναι φιλικό τόσο για το σχεδιαστή όσο και για τον προγραμματιστή μέσα από προσήλωση στις αρχές της “PHP” και την προσθήκη λειτουργικότητας χρήσιμης για περιβάλλοντα “templating”. Το συντακτικό του προέρχεται από τα πρότυπα “Jinja” και “Django” και είναι πολύ συγκεκριμένο, εύκολο στην εκμάθηση και βελτιστοποιημένο ώστε να επιτρέπει στους σχεδιαστές ιστοσελίδων να κάνουν γρήγορα τη δουλειά τους χωρίς να μπει στο δρόμο τους. Είναι ένα προϊόν ανοικτού κώδικα με άδεια “BSD” που συντηρείται από τον Fabien Potencier. Το πλαίσιο “Symfony2 PHP” έρχεται με ένα πακέτο στήριξης για το “Twig” ως το προεπιλεγμένο του “template engine”. Το “Twig” υποστηρίζει πλήρως τα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την εύκολη οικοδόμηση ισχυρών “templates”, όπως είναι η πολύπλοκη ροή ελέγχου, η αυτόματη διαφυγή, η κληρονομικότητα προτύπου, τα φίλτρα μεταβλητών, οι μακροεντολές και η πλήρης

επεκτασιμότητα. Το “Twig” μεταγλωττίζει “templates” σε πλήρως βελτιστοποιημένο κώδικα “PHP” και με αυτόν τον τρόπο η επιβάρυνση σε σύγκριση με τον κανονικό κώδικα “PHP” μειώνεται στο ελάχιστο. Επιπλέον, μπορεί να αξιολογήσει μη αξιόπιστο κώδικα “template”. Αυτό επιτρέπει στο “Twig” να χρησιμοποιείται ως μία γλώσσα “template” για εφαρμογές όπου οι χρήστες μπορούν να τροποποιήσουν τη σχεδίαση του “template”. Επίσης, παρέχει την ευελιξία στον προγραμματιστή να καθορίσει τις δικές του προσαρμοσμένες ετικέτες και τα φίλτρα, και να δημιουργήσει τη δικιά του “DSL” [47,51].

5.3.3 Επιλογή Πλαισίου “MVC”

Για να υλοποιήσουμε το εν λόγω διαδικτυακό εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις που έχουμε περιγράψει, συνίσταται η χρήση ενός πλαισίου “MVC”, ανάλογα με τη γλώσσα προγραμματισμού που έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε, το οποίο κάνει τη διαδικασία δημιουργίας της εφαρμογής πιο γρήγορη, πιο ασφαλή και πιο ευχάριστη, διότι σε ένα πλαίσιο υπάρχουν έτοιμες πολλές λειτουργίες από προεπιλογή, και άρα δε χρειάζεται να γράψουμε για αυτές κώδικα [40,41].

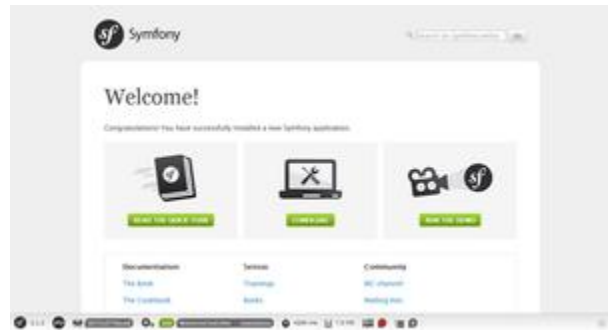
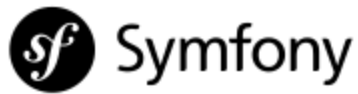
Ένα πλαίσιο δεν είναι απολύτως απαραίτητο. Είναι απλά ένα από τα διαθέσιμα εργαλεία που μπορούν να βοηθήσουν την καλύτερη και ταχύτερη ανάπτυξη κώδικα: καλύτερη, διότι ένα πλαίσιο παρέχει τη σιγουριά ότι αναπτύσσουμε μία εφαρμογή που είναι σε πλήρη συμμόρφωση με τους κανόνες των επιχειρήσεων, που είναι δομημένη, και που είναι τόσο συντηρήσιμη όσο και αναβαθμίσιμη, και ταχύτερη, διότι επιτρέπει στους προγραμματιστές να εξοικονομήσουν χρόνο με το να επαναχρησιμοποιούν γενικές ενότητες χαμηλής προστιθέμενης αξίας με σκοπό να εστιάσουν σε άλλες περιοχές, ωστόσο χωρίς πότε να προσκολλώνται στο ίδιο το πλαίσιο. Με αυτόν τον τρόπο, μας επιτρέπει να επενδύσουμε στο έργο και όχι στην τεχνολογία.

Για παράδειγμα, ένα πλαίσιο θα γλιτώσει τον προγραμματιστή από το να πρέπει να σπαταλήσει δύο ή τρεις ημέρες δημιουργώντας μία φόρμα ελέγχου ταυτότητας, που δεν είναι μία συγκεκριμένη εργασία. Ο χρόνος που εξοικονομείται μπορεί να αφιερωθεί σε πιο συγκεκριμένα συστατικά όπως και στους αντίστοιχους ελέγχους μονάδας, δίνοντας ένα συμπαγή, βιώσιμο και υψηλής ποιότητας κώδικα.

Πιο μακροπρόθεσμα, ένα πλαίσιο εγγυάται τη δυνατότητα αναβάθμισης και συντήρησης των εφαρμογών μας διασφαλίζοντας τη μακροβιότητά τους. Εάν μία ομάδα προγραμματιστών εργάζεται όπως θέλει, μόνο αυτή η συγκεκριμένη ομάδα θα είναι σε θέση να συντηρήσει και να αναβαθμίσει την εφαρμογή με ευκολία. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο ένας εκδότης υποστηρίζει μία ιδιοκτησιακή λύση. Από την άλλη πλευρά, η δομή που παρέχει το πλαίσιο για την εφαρμογή καθιστά δυνατή την αποφυγή αυτής της παγίδας συνολικά και δίνει σε οποιονδήποτε προγραμματιστή- είτε συμμετείχε στην ανάπτυξη της εφαρμογής είτε όχι- τη δυνατότητα να «υιοθετήσει» εύκολα μία εφαρμογή, να την συντηρήσει με την πάροδο του χρόνου και να την αναβαθμίσει εύκολα και προσεγγμένα, όποτε είναι απαραίτητο.

Συνοψίζοντας, ένα πλαίσιο δεν είναι απόλυτη αναγκαιότητα, αλλά παρόλα αυτά είναι πολύ χρήσιμο. Ένα πλαίσιο είναι μία υπόσχεση ποιότητας, αναβάθμισης και συντήρησης των εφαρμογών με χαμηλότερο κόστος. Εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση ενός πλαισίου είναι διαλειτουργικές με τα πρότυπα της αγοράς [44].

5.3.3.1 Πλαίσιο “Symfony”



Εικόνα 5.1: Λογότυπο και αρχική σελίδα του “Symfony” [47]

Το “Symfony” είναι ελεύθερο λογισμικό που κυκλοφόρησε υπό την άδεια του “MIT”. Από τεχνική άποψη, ήταν σε μεγάλο βαθμό εμπνευσμένο από άλλα πλαίσια διαδικτυακών εφαρμογών, όπως το “Ruby on Rails”, το “Django” και το “Spring”. Η αρχική έκδοση του “Symfony” κυκλοφόρησε στις 22 Οκτωβρίου 2005, η τρέχουσα σταθερή έκδοση είναι η 3.0.0 που κυκλοφόρησε στις 30 Νοεμβρίου 2015, είναι γραμμένο σε “PHP” και όσον αφορά στο λειτουργικό σύστημα είναι ανεξάρτητο πλατφόρμας [47].

Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα σύνολο από αποσυνδεδεμένα και επαναχρησιμοποιούμενα “PHP” συστατικά, ένα πλαίσιο για τη δημιουργία ιστοσελίδων και διαδικτυακών εφαρμογών σύμφωνα με το αρχιτεκτονικό πρότυπο “MVC”, η φιλοσοφία της υιοθέτησης και της προώθησης του επαγγελματισμού, των βέλτιστων πρακτικών, της τυποποίησης και της διαλειτουργικότητας των εφαρμογών, καθώς και μία τεράστια κοινότητα οπαδών του “Symfony” που έχουν δεσμευθεί να πάνε την “PHP” στο επόμενο επίπεδο – όλα συνεργαζόμενα μεταξύ τους σε αρμονία. Ο στόχος του είναι να επιταχύνει τη δημιουργία και τη συντήρηση των “PHP” διαδικτυακών εφαρμογών, να δώσει τέλος σε επαναλαμβανόμενες εργασίες προγραμματισμού και να δημιουργήσει την αίσθηση του ελέγχου πάνω στον κώδικα [43,46,47].

Το “Symfony” αποσκοπεί στην οικοδόμηση ισχυρών εφαρμογών σε ένα πλαίσιο επιχείρησης, και έχει ως στόχο να προσφέρει στους κατασκευαστές πλήρη έλεγχο της διαμόρφωσης: από τη δομή καταλόγου έως τις εξωτερικές βιβλιοθήκες, σχεδόν τα πάντα μπορούν να προσαρμοστούν. Για να ταιριάζει με τις κατευθυντήριες γραμμές ανάπτυξης των επιχειρήσεων, το “Symfony” είναι συνδυασμένο με επιπλέον εργαλεία για να βοηθήσει τους προγραμματιστές να ελέγξουν, να αποσφαλματώσουν και να τεκμηριώσουν τα έργα τους.

Το “Symfony” κάνει εκτεταμένη χρήση των υφιστάμενων “PHP” έργων ανοικτού κώδικα ως μέρος του πλαισίου, συμπεριλαμβανομένων των:

- “Propel” ή “Doctrine” ως στρώματα αντικειμενοστραφούς χαρτογράφησης.
- “PDO database abstraction layer”.
- “PHPUnit”, μία μονάδα ελέγχου του πλαισίου.
- “Twig”, ένα “templating engine”.
- “Swift Mailer”, μία βιβλιοθήκη ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Το “Symfony” επίσης κάνει χρήση των δικών του συστατικών, που διατίθενται δωρεάν στην ιστοσελίδα συστατικών του “Symfony” για διάφορα άλλα έργα, όπως είναι:

- “Symfony YAML”.
- “Symfony Event Dispatcher”.
- “Symfony Dependency Injector”.
- “Symfony Templating”.

Χρησιμοποιώντας προσθήκες, το “Symfony” είναι σε θέση να υποστηρίξει πλαίσια “Javascript” και πολλά ακόμα έργα “PHP”, όπως είναι το “Prototype” ή το “jQuery” [47].

5.3.3.2 Στρατηγικοί Λόγοι Επιλογής Πλαισίου “Symfony”

Από στρατηγική άποψη αναφέρουμε έξι καλούς λόγους για τη χρήση του προγραμματιστικού πλαισίου “Symfony”:

1. Φήμη

Το “Symfony” εγκρίθηκε γρήγορα από επαγγελματίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ανάπτυξης διαδικτυακών εφαρμογών μετά την παρουσίασή του το 2005 και σήμερα είναι ένα περιβάλλον σταθερό, ευρέως γνωστό και αναγνωρισμένο παγκοσμίως. Το “Symfony” είναι επίσης μία ενεργή κοινότητα: προγραμματιστές, ολοκληρωτές, χρήστες και άλλοι συντελεστές συμμετέχουν στο συνεχιζόμενο εμπλουτισμό αυτού του εργαλείου.

2. Μονιμότητα

Πίσω από το “Symfony” υπάρχει μία εταιρεία: το “SensioLabs”. Το πλαίσιο “Symfony”, οραματισμένο για τις δικές της ανάγκες, είναι ακόμα και σήμερα το καθημερινό εργαλείο που χρησιμοποιείται από τις δικές της ομάδες για να αναπτύξουν τα σχέδια πελάτη. Σχεδιασμένο από επαγγελματίες για επαγγελματίες, το “Symfony” είναι πρώτα και κύρια ένα ρεαλιστικό εργαλείο, τα χαρακτηριστικά του οποίου απευθύνονται στις απαιτήσεις του πραγματικού κόσμου. Η μονιμότητα είναι επίσης κάτι που σχετίζεται με την μακροπρόθεσμη υποστήριξη. Σήμερα, αυτή η υποστήριξη παρέχεται από το “SensioLabs”. Αλλά υπάρχει επίσης ένα ολόκληρο οικοσύστημα που έχει αναπτυχθεί γύρω από το “Symfony” από την έναρξή του: η κοινότητα (λίστες επικοινωνίας, κλπ) και οι πολλές άλλες εταιρείες παροχής υπηρεσιών που έχουν επενδύσει στο πλαίσιο. Τέλος, από την άποψη της βιώσιμης ανάπτυξης, το “Symfony” διανέμεται υπό την άδεια “MIT Open Source”, η οποία δεν επιβάλλει περιορισμούς και επιτρέπει την ανάπτυξη ανοικτού κώδικα, καθώς και ιδιοκτησιακές εφαρμογές.

3. Οι αναφορές

Εκατοντάδες δικτυακοί τόποι και εφαρμογές όλων των μεγεθών και όλων των τύπων (εσωτερικά δίκτυα, μεγάλες ιστοσελίδες ευρέως κοινού, κοινωνικά δίκτυα, εφαρμογές διαχείρισης και ροής εργασίας, κλπ) εμπιστεύονται το “Symfony”. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η περίπτωση της “Yahoo !”, του “Dailymotion”, του “Opensky.com”, του “Exercise.com” και ακόμη εφαρμογές όπως το “phpBB” και το “Drupal”.

4. Καινοτομία

Ως προγραμματιστικό πλαίσιο, το “Symfony” συνδυάζει ταχύτητα, ευελιξία, επαναχρησιμοποιούμενα συστατικά κλπ, με χρήση βέλτιστων πρακτικών. Παράλληλα, το “Symfony” (και ολόκληρη η κοινότητά του) έχει αναπτύξει μία αίσθηση περιέργειας και δε διστάζει να καινοτομεί με την αναζήτηση ιδεών που στη συνέχεια τις προσαρμόζει στον κόσμο της “PHP”, όπως το “dependency injection” από τον κόσμο της “Java”. Επιπρόσθετα, το “Symfony”, αναζητώντας τη συνεχή βελτίωση της παραγωγικότητας των προγραμματιστών, οραματίστηκε τη «διαδικτυακή γραμμή εργαλείων αποσφαλμάτωσης».

5. Πόροι

Όταν χρησιμοποιείται το “Symfony”, είμαστε διασφαλισμένοι ότι θα βρούμε πάντα απαντήσεις στις ερωτήσεις μας, μέσω μίας ερώτησης είτε στην κοινοτική υποστήριξη (λίστες επικοινωνίας, κλπ) είτε στην εταιρική υποστήριξη (συμβουλευτικές υπηρεσίες, εκπαίδευση, κλπ). Επίσης, υπάρχουν πολλές εργασίες τεκμηρίωσης αφιερωμένες στο “Symfony”, οι οποίες θα μας βοηθήσουν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ιστοσελίδων και των εφαρμογών μας.

6. Διαλειτουργικότητα

Η ιδέα πίσω από το “Symfony” είναι να μην εγκλωβιζόμαστε στο συγκεκριμένο προγραμματιστικό πλαίσιο, αλλά να μας επιτρέπεται να χτίσουμε εφαρμογές που ανταποκρίνονται ακριβώς στις ανάγκες μας. Το “Symfony” σέβεται τα υφιστάμενα πρότυπα της “PHP”, όπως το “PHPUnit”, τις συμβάσεις ονομασίας των κλάσεων, κλπ. Επιπλέον, μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε και ορισμένα κομμάτια των δομικών στοιχείων λογισμικού του (“dependency injector”, διαχείριση μεταφράσεων, διαχείριση φορμών, κλπ), χωρίς κατ’ ανάγκην τη χρήση του πλαισίου στο σύνολό του. Αξίζει να σημειωθεί ότι το “Symfony” είναι τόσο διαλειτουργικό που στον πυρήνα του χρησιμοποιεί εξωτερικές δομικές μονάδες λογισμικού (“ORM Doctrine”, “Swiftmailer”, κλπ) [45].

5.3.3.3 Τεχνικοί Λόγοι Επιλογής Πλαισίου “Symfony”

Όπως είναι λογικό, ένας προγραμματιστής θα προτιμούσε να συνεργαστεί με ένα πλαίσιο που απλοποιεί τόσο τη ζωή του όσο και την καθημερινή εργασία του και μειώνει την ποσότητα κώδικα που έχει να γράψει. Σε αυτό το πλαίσιο, παραθέτουμε και έξι τεχνολογικά προτερήματα του πλαισίου “Symfony”:

1. Ταχύτητα και απόδοση εφαρμογών

Στον κόσμο της πληροφορικής, δεν είναι σπάνιο φαινόμενο για τους ανθρώπους να μην προβληματίζονται για την απόδοση μίας εφαρμογής παρά μόνο όταν φτάσουν στο τέλος του έργου, οπότε και έχουν σχεδιαστεί όλα τόσο σε λειτουργικό όσο και σε τεχνολογικό επίπεδο. Σε αυτό το πλαίσιο, το “Symfony2” σχεδιάστηκε από την αρχή για να είναι γρήγορο, με ιδιαίτερη έμφαση στις επιδόσεις. Για λόγους σύγκρισης, το “Symfony2” είναι περίπου τρεις φορές πιο γρήγορο από το “Symfony Version 1.4” και το “Zend Framework 1.10”, ενώ επίσης καταλαμβάνει δύο φορές λιγότερη μνήμη.

2. Απεριόριστη ευελιξία

Οποιοσδήποτε κι αν είναι οι ανάγκες μας, το πλαίσιο «Symfony2» θα είναι αποδεκτό. Το “dependency injector” και το “Event Dispatcher” το κάνουν πλήρως παραμετροποιήσιμο, με καθένα από τα συστατικά του να είναι εντελώς ανεξάρτητα. Είναι διαθέσιμο στις εξής τρεις μορφές:

- i. *Πλήρης έκδοση*: όταν θέλουμε να αναπτύξουμε μία σύνθετη εφαρμογή και θα πρέπει να έχουμε πολλές λειτουργίες.
- ii. *Συστατικό – συστατικό*: όταν θέλουμε να χτίσουμε ένα πλαίσιο προσαρμοσμένο στις λειτουργίες που θα χρειαστούμε.
- iii. *Μικρο-πλαίσιο*: το “Symfony2” μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως αυτόνομο για να αναπτύξει μία ειδική λειτουργία στα έργα μας, χωρίς να χρειάζεται να ανακατασκευάσουμε τα πάντα και χωρίς να εγκαταστήσουμε το σύνολο του πλαισίου, αλλά μόνο το συγκεκριμένο συστατικό που χρειαζόμαστε.

3. Επεκτασιμότητα

Κάθε πακέτο (“bundle”) στο “Symfony2” έχει ως στόχο να προσθέσει λειτουργικότητα στο πλαίσιο και μπορεί επίσης να επαναχρησιμοποιηθεί σε άλλο έργο ή από κοινού με την υπόλοιπη κοινότητα. Σε κάθε περίπτωση, το σύστημα των πακέτων επιτρέπει στο καθετί να αλλάξει μέσα στο “Symfony”, συμπεριλαμβανομένου του ίδιου του πυρήνα. Χρησιμοποιώντας τις συμβάσεις διασύνδεσης του συστήματος, η συμπεριφορά του πλαισίου μπορεί έτσι να μεταβάλλεται κατά βούληση, χωρίς να απαιτείται η πλήρης αναδιάρθρωση.

4. Σταθερότητα και βιωσιμότητα

Οι σημαντικές εκδόσεις του “Symfony” υποστηρίζονται όλες από την εταιρεία “SensioLabs” για τρία χρόνια, ακόμα και για όλη τη διάρκεια ζωής τους όσον αφορά σε θέματα που σχετίζονται με την ασφάλεια. Για ακόμα μεγαλύτερη σταθερότητα, οι δευτερεύουσες εκδόσεις της σύμβασης και της διασύνδεσης του “Symfony” είναι επίσης εγγυημένες και η συμβατότητα μεταξύ όλων των δευτερευουσών εκδόσεων διασφαλίζεται στο “API” που ορίζεται από τις δημόσιες διεπαφές.

5. Η χαρά της ανάπτυξης

Ως ένα εξαιρετικά λειτουργικό περιβάλλον, το “Symfony2” επίσης εγγυάται ένα ορισμένο επίπεδο άνεσης για τους προγραμματιστές. Με το να φροντίζει το ίδιο έναν αριθμό δυσάρεστων καθηκόντων (για παράδειγμα, την ανάπτυξη δευτερευουσών λειτουργιών), το “Symfony2” επιτρέπει στους προγραμματιστές να επικεντρωθούν στα πραγματικά κυριότερα σημεία μίας εφαρμογής, να επικυρώσουν πλήρως το ρόλο τους και να βελτιώσουν την παραγωγικότητά τους. Μεταξύ των εργαλείων του “Symfony” που σχεδιάστηκαν για να κάνουν τη ζωή του προγραμματιστή πολύ ευκολότερη, υπάρχει μία διαδικτυακή εργαλειοθήκη αποσφαλμάτωσης, καθώς και εγγενής υποστήριξη για περιβάλλοντα ανάπτυξης, λεπτομερείς σελίδες σφαλμάτων ακόμα και εγγενής ασφάλεια.

6. Ευκολία χρήσης

Απόλυτα ευέλικτο για να ικανοποιεί τις ανάγκες των επαγγελματιών και των προχωρημένων χρηστών με τον ίδιο τρόπο, το “Symfony2” είναι επίσης πολύ προσιτό. Η άφθονη τεκμηρίωση, η κοινοτική και η επαγγελματική υποστήριξη, και οι βέλτιστες πρακτικές που είναι ενσωματωμένες μέσα στο πλαίσιο, επιτρέπουν στον αρχάριο να αισθάνεται πολύ γρήγορα άνετα με το “Symfony” [45].

5.4 Προγραμματισμός σε “Symfony”

Το προγραμματιστικό πλαίσιο “Symfony” περιέχει, μεταξύ άλλων, για κάθε πακέτο (“bundle”) προεπιλεγμένους φακέλους “Controller”, όπου ορίζονται οι ελεγκτές των διαφόρων λειτουργιών, και “Resources”, όπου εμπεριέχονται οι φάκελοι “Config” και “View”. Με οδηγό αυτή τη στοιχειώδη δομή μπορούν να οικοδομηθούν οι περισσότερες βασικές λειτουργίες, ενώ υπάρχει και η ευελιξία να επεκταθεί αυτή η απλή δομή για τον ορισμό οντοτήτων, υπηρεσιών, κλπ ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Στη συνέχεια του παρόντος υποκεφαλαίου θα εξηγήσουμε τη διασύνδεση των συστατικών στο “Symfony”. Αυτή η ανάλυση είναι υψίστης σημασίας για την κατανόηση της αρχιτεκτονικής υλοποίησης του σχεδίου δράσης, η οποία θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο του παρόντος τόμου.

5.4.1 Ελεγκτές στο “Symfony”

Ένας ελεγκτής είναι μία επικαλούμενη “PHP” κλάση που λαμβάνει πληροφορίες από ένα αίτημα “HTTP” και δημιουργεί και επιστρέφει μία απόκριση “HTTP” (ως ένα αντικείμενο “Response” του “Symfony”). Η απόκριση μπορεί να είναι μία σελίδα “HTML”, ένα έγγραφο “XML”, ένας σειριοποιημένος πίνακας “JSON”, μία εικόνα, μία ανακατεύθυνση, ένα σφάλμα 404 ή οτιδήποτε άλλο θα μπορούσαμε να φανταστούμε. Ο ελεγκτής περιέχει οποιαδήποτε αυθαίρετη λογική χρειάζεται η εφαρμογή μας για να καταστήσει το περιεχόμενο μίας σελίδας.

Ο στόχος ενός ελεγκτή είναι πάντα ο ίδιος: να δημιουργήσει και να επιστρέψει ένα αντικείμενο “Response”. Η κλάση “Response” είναι μία αφαίρεση γύρω από την απόκριση “HTTP”: το μήνυμα βασισμένο σε κείμενο και συμπληρωμένο με κεφαλίδες και περιεχόμενο που αποστέλλεται πίσω στον πελάτη. Στην πορεία, μπορεί να διαβάσει πληροφορίες από το αίτημα, να φορτώσει έναν πόρο από μία βάση δεδομένων, να στείλει ένα “email”, ή να θέσει πληροφορίες στη σύνοδο του χρήστη. Αλλά σε όλες τις περιπτώσεις, ο ελεγκτής θα επιστρέψει τελικά ένα αντικείμενο “Response” που θα παραδοθεί πίσω στον πελάτη.

Κάθε αίτημα που χειρίζεται από ένα έργο “Symfony” ακολουθεί τον ίδιο απλό κύκλο ζωής. Το πλαίσιο φροντίζει όλες τις επαναλαμβανόμενες εργασίες: χρειάζεται απλά να γράψουμε τον προσαρμοσμένο κώδικα στη συνάρτηση του ελεγκτή:

1. Κάθε αίτημα διαχειρίζεται από ένα μοναδικό αρχείο ελεγκτή (π.χ. “app.php” ή “app_dev.php”) που εκκινεί την εφαρμογή.
2. Ο δρομολογητής (“Router”) διαβάζει τις πληροφορίες από ένα αίτημα (π.χ. το “URI”), βρίσκει τη διαδρομή που ταιριάζει με αυτήν την πληροφορία, και διαβάζει την παράμετρο “_controller” από τη διαδρομή.

3. Ο ελεγκτής από την αντιστοιχισμένη διαδρομή εκτελείται και ο κώδικας στο εσωτερικό του κώδικα δημιουργεί και επιστρέφει ένα αντικείμενο “Response”.
4. Οι κεφαλίδες “HTTP” και το περιεχόμενο του αντικειμένου “Response” αποστέλλονται πίσω στον πελάτη [48].

Η δημιουργία μίας σελίδας είναι τόσο εύκολη όσο η δημιουργία ενός ελεγκτή και μίας διαδρομής που να αντιστοιχίζει ένα “URL path” σε αυτόν τον ελεγκτή [48,50]. Αυτή η αντιστοίχιση είναι απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να δούμε τη σελίδα “HTML” που επιστρέφει ένας ελεγκτής στον περιηγητή ιστού, όπως θα αναλύσουμε περαιτέρω στο υποκεφάλαιο 5.4.2.

Επιπλέον, στην περίπτωση που εξυπηρετούμε μέσω “HTML”, θα θέλουμε να καταστήσουμε ένα “template”. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου “render()”, η οποία μάλιστα τοποθετεί αυτόματα αυτό το περιεχόμενο σε ένα αντικείμενο “Response” [48,51]. Στο υποκεφάλαιο 5.4.3 θα αναλύσουμε σε μεγαλύτερο βάθος το “templating engine” του “Symfony”.

Επιπλέον, το “Symfony” περιέχει ενσωματωμένα πολλά χρήσιμα αντικείμενα, που ονομάζονται υπηρεσίες. Χρησιμοποιούνται για να καταστήσουν “templates”, να στείλουν “email”, να απευθύνουν ερωτήματα στη βάση δεδομένων και οποιαδήποτε άλλη εργασία μπορούμε να φανταστούμε. Όταν επεκτείνουμε την βασική κλάση του “controller”, μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε οποιαδήποτε υπηρεσία του “Symfony” μέσω της μεθόδου “get()” [48,49]. Μπορούμε, φυσικά, να ορίσουμε και δικές μας υπηρεσίες που θα καλούνται μέσω του ελεγκτή, όπως θα μελετήσουμε στο υποκεφάλαιο 5.4.4.

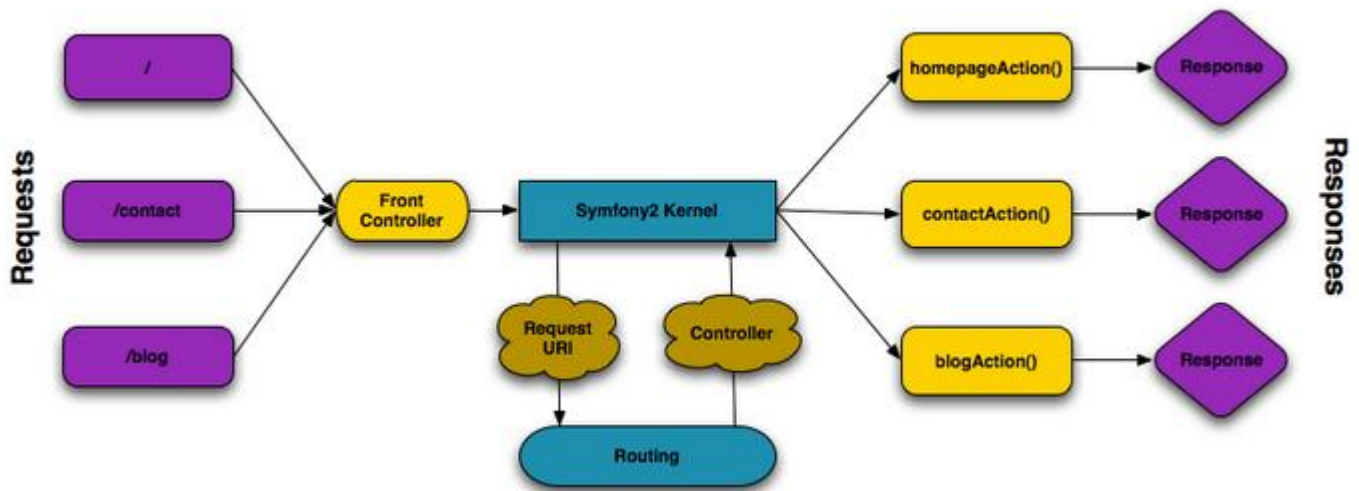
5.4.2 Δρομολόγηση στο “Symfony”

Τα όμορφα “URLs” αποτελούν απόλυτη προτεραιότητα σε οποιαδήποτε σοβαρή διαδικτυακή εφαρμογή. Η ύπαρξη ευελιξίας είναι ακόμα πιο σημαντική. Για παράδειγμα, εάν θέλουμε να αλλάξουμε το “URL” μίας σελίδας, αντί να χρειαστεί να εντοπίσουμε και να ενημερώσουμε πολλούς συνδέσμους, με τη χρήση του δρομολογητή του “Symfony” αυτή η διαδικασία είναι απλή. Μας επιτρέπει να καθορίσουμε δημιουργικά “URLs” τα οποία αντιστοιχίζουμε σε ελεγκτές σε διαφορετικές περιοχές της εφαρμογής μας, να παράγουμε “URLs” μέσα σε “templates” και ελεγκτές, να φορτώσουμε πόρους δρομολόγησης από πακέτα (ή από οπουδήποτε αλλού) και να αποσφαλματώσουμε τις διαδρομές μας [50].

Μία διαδρομή είναι μία αντιστοίχιση από ένα μονοπάτι “URL” σε έναν ελεγκτή. Αυτό μπορεί να προσδιοριστεί με διάφορους τρόπους (“annotations”, “XML”, “PHP”, “Yaml”), αλλά εμείς επιλέγουμε να προσθέτουμε την αντίστοιχη εγγραφή στο αρχείο “routing.yml”, το οποίο βρίσκεται μέσα στον φάκελο “Resources/config” σε ένα πακέτο. Σε αυτήν τη μορφή, η παράμετρος “_controller” είναι ένα ειδικό κλειδί που καλείται λογικό όνομα και λέει στο “Symfony” ποιος ελεγκτής θα πρέπει να εκτελεστεί όταν ένα “URL” ταιριάζει με αυτή τη διαδρομή. Ακολουθεί ένα μοτίβο που δείχνει σε μία συγκεκριμένη κλάση “PHP” και μέθοδο (π.χ. “AppBundle\Controller\BlogController::showAction”) [50].

Ο στόχος του συστήματος δρομολόγησης του “Symfony” είναι να αναλύσει το “URL” ενός αιτήματος και να προσδιορίσει τον ελεγκτή που πρέπει να εκτελεστεί. Η συνολική διαδικασία είναι ως ακολούθως:

1. Το αίτημα το διαχειρίζεται ένας ελεγκτής του “Symfony” (π.χ. “app.php”).
2. Ο πυρήνας του “Symfony” (“Kernel”) ζητάει από το δρομολογητή να επιθεωρήσει το αίτημα.
3. Ο δρομολογητής αντιστοιχίζει το εισερχόμενο “URL” με μία συγκεκριμένη διαδρομή και επιστρέφει πληροφορίες σχετικά με τη διαδρομή, συμπεριλαμβανομένου του ελεγκτή που θα πρέπει να εκτελεστεί.
4. Ο πυρήνας του “Symfony” εκτελεί τον ελεγκτή, ο οποίος τελικά επιστρέφει ένα αντικείμενο “Response” [50].



Σχήμα 5.3: Διαδικασία δρομολόγησης στο “Symfony” [50]

Συνοψίζοντας, η δρομολόγηση είναι ένα σύστημα για την αντιστοίχιση του “URL” των εισερχόμενων αιτημάτων στη συνάρτηση του ελεγκτή που θα πρέπει να καλείται για να επεξεργαστεί το αίτημα. Μας επιτρέπει τόσο να καθορίσουμε όμορφα “URLs” όσο και να διατηρήσουμε τη λειτουργικότητα των εφαρμογών μας αποσυνδεδεμένη από αυτά τα “URLs”. Η δρομολόγηση είναι ένας αμφίδρομος μηχανισμός, με την έννοια ότι θα πρέπει επίσης να χρησιμοποιείται για να παράγει “URLs” [50].

5.4.3 Όψεις στο “Symfony”

Όπως έχουμε δει, ο ελεγκτής είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση κάθε αιτήματος που φτάνει στην εφαρμογή “Symfony”. Στην πραγματικότητα, ο ελεγκτής εκχωρεί το μεγαλύτερο μέρος της βαριάς εργασίας σε άλλες περιοχές έτσι ώστε ο κώδικας να μπορεί να δοκιμαστεί και να επαναχρησιμοποιηθεί. Όταν ένας ελεγκτής χρειάζεται να παράγει “HTML”, “CSS” ή οποιοδήποτε άλλο περιεχόμενο, παραδίδει το έργο στο “templating engine” [51].

Ένα “template” είναι απλά ένα αρχείο κειμένου που μπορεί να παράξει οποιαδήποτε μορφή που βασίζεται σε κείμενο (“HTML”, “XML”, “CSV”, “LaTeX”, κλπ). Ο πιο κοινός τύπος “template” είναι ένα “PHP template”, δηλαδή ένα αρχείο κειμένου που αναλύεται από “PHP” και περιέχει ένα μίγμα από κείμενο και κώδικα “PHP”. Ωστόσο, το “Symfony” ενσωματώνει μία ακόμα πιο ισχυρή γλώσσα “templating” που καλείται “Twig”. Αυτή μας επιτρέπει να γράφουμε συνοπτικά, κατανοητά “templates”, που είναι πιο φιλικά προς

τους σχεδιαστές ιστοσελίδων και, με διάφορους τρόπους, είναι πιο ισχυρά από τα “PHP templates”.

Τα “Twig templates” προορίζονται να είναι απλά και να μην επεξεργάζονται ετικέτες “PHP”. Αυτό οφείλεται στη σχεδίαση: το σύστημα “template” του “Twig” προορίζεται να εκφράζει παρουσίαση, και όχι λογική προγράμματος. Το “Twig” μπορεί ακόμα να κάνει πράγματα που δεν μπορεί η “PHP”, όπως έλεγχο κενού διαστήματος, περιβάλλον δοκιμών, αυτόματη διαφυγή “HTML”, χειροκίνητη έξοδο διαφυγής με βάση τα συμφραζόμενα, και συμπερίληψη προσαρμοσμένων συναρτήσεων και φίλτρων που επηρεάζουν μόνο τα “templates”. Το “Twig” περιέχει μικρά χαρακτηριστικά που κάνουν το γράψιμο των “templates” ευκολότερο και πιο συνοπτικό. Επιπλέον, το “Twig” είναι γρήγορο, με την έννοια ότι κάθε “Twig template” μεταγλωττίζεται σε μία εγγενή “PHP” κλάση που καθίσταται κατά το χρόνο εκτέλεσης. Στα “Twig templates” υποστηρίζεται και η κληρονομικότητα, που είναι πολύ χρήσιμη σε ένα έργο όπου μοιράζονται κοινά στοιχεία, όπως κεφαλίδα, υποσέλιδο, διπλανή μπάρα, κλπ. Όπως συμβαίνει και με τις “PHP” κλάσεις, η κληρονομικότητα σε επίπεδο “template” μας επιτρέπει να χτίσουμε ένα βασικό “template” διάταξης που περιέχει όλα τα κοινά στοιχεία της ιστοσελίδας μας ορισμένα ως μπλοκ (σε αντιστοιχία με τις βασικές μεθόδους μίας “PHP” κλάσης). Το “template”-παιδί μπορεί να επεκτείνει τη βασική διάταξη και να αντικαταστήσει οποιαδήποτε από τα μπλοκ της (σε αντιστοιχία με την υποκλάση “PHP” που αντικαθιστά ορισμένες μεθόδους της γονικής της κλάσης). Επιπλέον, μπορούμε σε ένα “Twig template” να συμπεριλάβουμε και άλλα “templates” [51].

Από προεπιλογή, τα “templates” αρχεία (“.twig.html”) σε ένα πακέτο τοποθετούνται στον φάκελο “Resources/views” και στους υποφακέλους του. Χωρίς αυτό να είναι υποχρεωτικό για τη δημιουργία του αντικειμένου “Response”, κάθε ελεγκτής συνήθως συνδέεται μέσω της μεθόδου “render()” με ένα τέτοιο πρότυπο “HTML” αρχείο που προβάλλει πληροφορίες και αλληλεπιδρά με τον τελικό χρήστη, χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού “HTML”, “CSS” και “Javascript” για ανάπτυξη πλευράς πελάτη [51].

5.4.4 Υπηρεσίες στο “Symfony”

Μία σύγχρονη εφαρμογή “PHP” είναι γεμάτη από αντικείμενα. Ένα αντικείμενο μπορεί να διευκολύνει την παράδοση μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, ενώ άλλα μπορεί να μας επιτρέψουν να διατηρήσουμε πληροφορίες μέσα σε μία βάση δεδομένων. Γενικά μπορούμε να οργανώσουμε την εφαρμογή μας σε πολλά αντικείμενα που διαχειρίζονται κάθε εργασία. Το “Symfony”, προκειμένου να προωθήσει τον επαναχρησιμοποιούμενο και αποσυνδεδεμένο κώδικα και να μας βοηθήσει να δώσουμε υπόσταση, να οργανώσουμε και να ανακτήσουμε τα πολλά αντικείμενα της εφαρμογής μας, υποστηρίζει ένα ειδικό αντικείμενο “PHP” που καλείται “service container” και μας επιτρέπει να κανονικοποιήσουμε και να συγκεντρώσουμε τον τρόπο που τα αντικείμενα είναι κατασκευασμένα στην εφαρμογή μας.

Μία υπηρεσία είναι ένα αντικείμενο “PHP” που εκτελεί κάποιο είδος «καθολικής» εργασίας. Κάθε υπηρεσία χρησιμοποιείται σε όλη την εφαρμογή μας οποτεδήποτε χρειαζόμαστε τη συγκεκριμένη λειτουργικότητα που παρέχει. Δε χρειάζεται να κάνουμε κάτι ιδιαίτερο για να δημιουργήσουμε μία υπηρεσία: αρκεί να γράψουμε μία “PHP” κλάση με ορισμένο κώδικα που επιτυγχάνει μία συγκεκριμένη εργασία [49].

Το πλεονέκτημα του να θεωρούμε «υπηρεσίες» είναι ότι ξεκινάμε να διαχωρίζουμε κάθε κομμάτι λειτουργικότητας της εφαρμογής μας. Εφόσον κάθε υπηρεσία κάνει μόνο μία δουλειά, μπορούμε εύκολα να έχουμε πρόσβαση σε αυτήν και να χρησιμοποιούμε τη λειτουργικότητά της οποτεδήποτε τη χρειαζόμαστε. Κάθε υπηρεσία μπορεί επίσης να ελέγχεται και να ρυθμίζεται πιο εύκολα καθώς είναι διαχωρισμένη από την υπόλοιπη λειτουργικότητα της εφαρμογής μας. Η ιδέα αυτή καλείται «αρχιτεκτονική προσανατολισμένη σε υπηρεσίες» και δεν είναι πρωτοφανής στο “Symfony” ή ακόμα στην “PHP”. Η δόμηση της εφαρμογής μας γύρω από ένα σύνολο ανεξάρτητων κλάσεων υπηρεσιών είναι μία ευρέως γνωστή και αξιόπιστη αντικειμενοστραφής βέλτιστη πρακτική [49].

Ένας “Service Container” (ή “dependency injection container”) είναι ένα αντικείμενο “PHP” που διαχειρίζεται τη συγκεκριμενοποίηση των υπηρεσιών, δηλαδή των αντικειμένων. Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρέχει η χρήση του “service container” είναι ότι μία υπηρεσία δεν κατασκευάζεται ποτέ μέχρι να χρειαστεί. Εάν καθορίσουμε μία υπηρεσία και δεν τη χρησιμοποιήσουμε ποτέ σε ένα αίτημα, η υπηρεσία δε δημιουργείται ποτέ. Αυτό εξοικονομεί μνήμη και αυξάνει την ταχύτητα της εφαρμογής μας. Αυτό σημαίνει επίσης ότι υπάρχει πολύ μικρό ή καθόλου πλήγμα απόδοσης για τον καθορισμό πολλών υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες που δε χρησιμοποιούνται ποτέ δεν κατασκευάζονται ποτέ. Επιπλέον, μία υπηρεσία δημιουργείται μόνο μία φορά και το ίδιο “instance” επιστρέφεται κάθε φορά που ζητάμε την υπηρεσία. Αυτή είναι σχεδόν πάντα η ισχυρή και ευέλικτη συμπεριφορά που χρειαζόμαστε, αλλά μπορούμε επίσης να ορίσουμε πολλαπλά “instances” για μία υπηρεσία [49].

Αξίζει να αναφερθεί ότι μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα ξεχωριστό φάκελο μέσα σε ένα πακέτο της “Symfony” εφαρμογής μας όπου θα «ζουν» όλες οι υπηρεσίες που προσδίδουν τις διαφορετικές λειτουργικότητες. Επιπρόσθετα, η χρήση παραμέτρων κάνει τον προσδιορισμό υπηρεσιών πιο οργανωμένο και ευέλικτο. Αυτό μπορεί να ρυθμιστεί με διάφορους τρόπους (“Yaml”, “XML”, “PHP”), αλλά εμείς επιλέξαμε να προσθέσουμε αντίστοιχες εγγραφές για κάθε υπηρεσία στο αρχείο “service.yml” που βρίσκεται στον φάκελο “Resources/config”. Η σκοπιμότητα των παραμέτρων είναι να τροφοδοτούν τις υπηρεσίες με πληροφορία. Φυσικά δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα εάν καθορίσουμε την υπηρεσία χωρίς να χρησιμοποιήσουμε καθόλου παραμέτρους. Ωστόσο, οι παράμετροι παρουσιάζουν διάφορα πλεονεκτήματα:

- Διαχωρισμός και οργάνωση όλων των «επιλογών» υπηρεσίας κάτω από μία μοναδική παράμετρο.
- Οι τιμές παραμέτρου μπορούν να χρησιμοποιούνται σε πολλαπλούς ορισμούς υπηρεσιών.
- Όταν δημιουργείται μία υπηρεσία σε ένα πακέτο, η χρήση παραμέτρων επιτρέπει στην υπηρεσία να προσαρμόζεται εύκολα στην εφαρμογή μας [49].

5.4.5 Οντότητες, Μοντέλα και Διαχείριση Βάσεων Δεδομένων στο “Symfony”

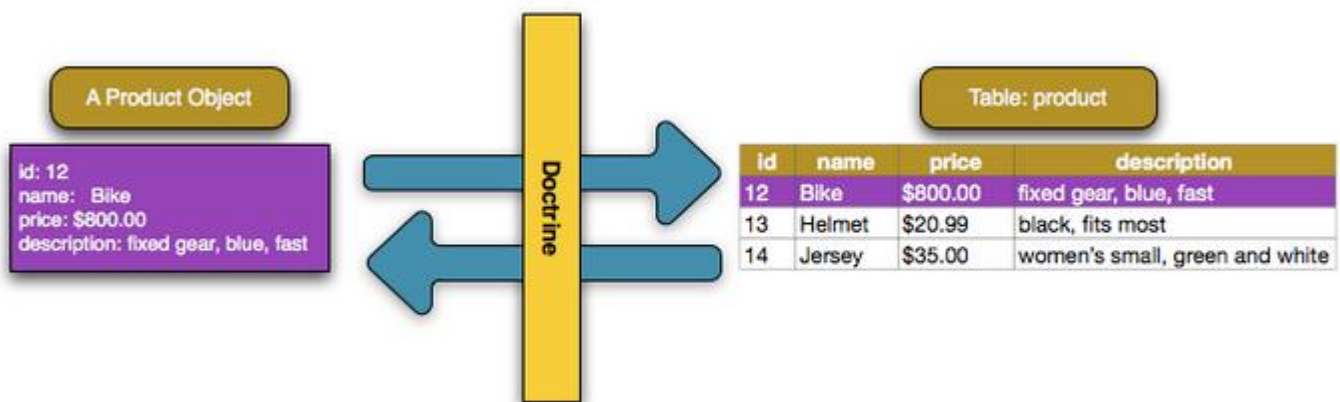
Μία από τις πιο κοινές και δύσκολες εργασίες για οποιαδήποτε εφαρμογή περιλαμβάνει τη διατήρηση και την ανταλλαγή πληροφοριών από και προς τη βάση δεδομένων. Παρότι το πλήρες πλαίσιο “Symfony” δεν ενσωματώνει το “ORM” από προεπιλογή, το “Symfony Standard Edition”, που είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη διανομή, είναι ενσωματωμένη με το “Doctrine”, μία βιβλιοθήκη της οποίας ο μοναδικός στόχος είναι να

μας δώσει ισχυρά εργαλεία για να μας διευκολύνει στη διαχείριση της βάσης δεδομένων [52].

Το “Doctrine” είναι απόλυτα αποσυνδεδεμένο από το “Symfony” και η χρήση του είναι προαιρετική. Το “Doctrine ORM” στοχεύει στο να μας επιτρέψει να απεικονίσουμε αντικείμενα σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων (όπως “MySQL”, “PostgreSQL” ή “Microsoft SQL”). Η παραμετροποίηση της βάσης δεδομένων γίνεται δίνοντας πληροφορίες σύνδεσης στο αρχείο “app/config/parameters.yml”. Εφόσον το “Doctrine” πλέον γνωρίζει πληροφορίες σχετικά με τη βάση δεδομένων, μπορεί να τη δημιουργήσει για εμάς απλά με την εκτέλεση της εντολής “\$ php app/console doctrine:database:create” [52].

Υποθέτουμε ότι χτίζουμε μία εφαρμογή όπου προϊόντα, με χαρακτηριστικά όπως όνομα, τιμή, περιγραφή, χρειάζεται να απεικονιστούν. Χωρίς να σκεφτούμε καν σχετικά με “Doctrine” και βάσεις δεδομένων, χρειαζόμαστε μία κλάση “Product” για να αναπαραστήσουμε αυτά τα προϊόντα. Αυτή η κλάση- η οποία καλείται συχνά οντότητα, εννοώντας μία βασική κλάση που κρατά δεδομένα- δημιουργείται πολύ εύκολα μέσα στον φάκελο “Entity” ενός πακέτου και βοηθά να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις των επιχειρήσεων για την ανάγκη προϊόντων στην εφαρμογή μας. Αξίζει να επισημανθεί ότι αυτή η κλάση δεν μπορεί να διατηρηθεί σε μία βάση δεδομένων ακόμα, αλλά είναι μία απλά “PHP” κλάση. Σημειώνουμε επίσης ότι με την εκτέλεση της εντολής “\$ php app/console doctrine:generate:entity” το “Doctrine” μπορεί να αναλάβει τη δημιουργία απλών κλάσεων οντοτήτων κάνοντας διαδραστικές ερωτήσεις στον προγραμματιστή.

Το “Doctrine” μας επιτρέπει να δουλέψουμε με βάσεις δεδομένων με έναν πολύ πιο ενδιαφέροντα τρόπο από την απλή ανάκληση γραμμών ενός βασισμένου σε στήλες πίνακα σε έναν άλλο πίνακα, δηλαδή με τη διατήρηση ολόκληρων αντικειμένων στη βάση δεδομένων και με την ανάκληση ολόκληρων αντικειμένων από τη βάση δεδομένων. Αυτό πραγματοποιείται με την αντιστοίχιση από το “Doctrine” μίας “PHP” κλάσης σε έναν πίνακα βάσης δεδομένων, και των ιδιοτήτων αυτής της “PHP” κλάσης στις στήλες του πίνακα, όπως φαίνεται γραφικά στο επόμενο σχήμα [52].



Σχήμα 5.4: Αντιστοίχιση “PHP” κλάσης σε πίνακα βάσης δεδομένων μέσω “Doctrine” [52]

Για να είναι το “Doctrine” σε θέση να το κάνει αυτό, αρκεί να προσθέσουμε πληροφορίες απεικόνισης, δηλαδή να δημιουργήσουμε μεταδεδομένα ή μία ρύθμιση που να λέει στο “Doctrine” ακριβώς πώς η κλάση “Product” και οι ιδιότητες της θα μπορούσαν να απεικονιστούν στη βάση δεδομένων. Αυτά τα μεταδεδομένα μπορούν να προσδιοριστούν με έναν αριθμό διαφορετικών μορφών συμπεριλαμβανομένων των “YAML”, “XML” ή απευθείας μέσα στην κλάση “Product” με χρήση σχολίων [52].

```
// src/AppBundle/Entity/Product.php
namespace AppBundle\Entity;

use Doctrine\ORM\Mapping as ORM;

/**
 * @ORM\Entity
 * @ORM\Table(name="product")
 */
class Product
{
    /**
     * @ORM\Column(type="integer")
     * @ORM\Id
     * @ORM\GeneratedValue(strategy="AUTO")
     */
    protected $id;

    /**
     * @ORM\Column(type="string", length=100)
     */
    protected $name;

    /**
     * @ORM\Column(type="decimal", scale=2)
     */
    protected $price;

    /**
     * @ORM\Column(type="text")
     */
    protected $description;
}
```

Εικόνα 5.2: Χρήση σχολίων για προσθήκη μεταδεδομένων [52]

Σε αυτό το στάδιο, ακόμα και αν το “Doctrine” γνωρίζει πώς να διατηρήσει ένα αντικείμενο “Product” στη βάση δεδομένων, η ίδια η κλάση δεν είναι ακόμα χρήσιμη. Καθώς το “Product” είναι απλά μία κανονική “PHP” κλάση, χρειάζεται να δημιουργήσουμε μεθόδους “getter” και “setter” (π.χ. “getName()”, “setName()”) προκειμένου να έχουμε πρόσβαση στις προστατευμένες ιδιότητές της. Ευτυχώς, το “Doctrine” μπορεί να διασφαλίσει ότι όλες αυτές οι μέθοδοι “getters”/“setters” έχουν δημιουργηθεί για την “PHP” κλάση με την εκτέλεση κατάλληλης ασφαλούς εντολής. Οι παραγόμενες οντότητες δεν αντικαθιστούν τις υπάρχουσες μεθόδους μας και η λογική τους μπορεί να προσαρμοστεί στις δικές μας ανάγκες [52].

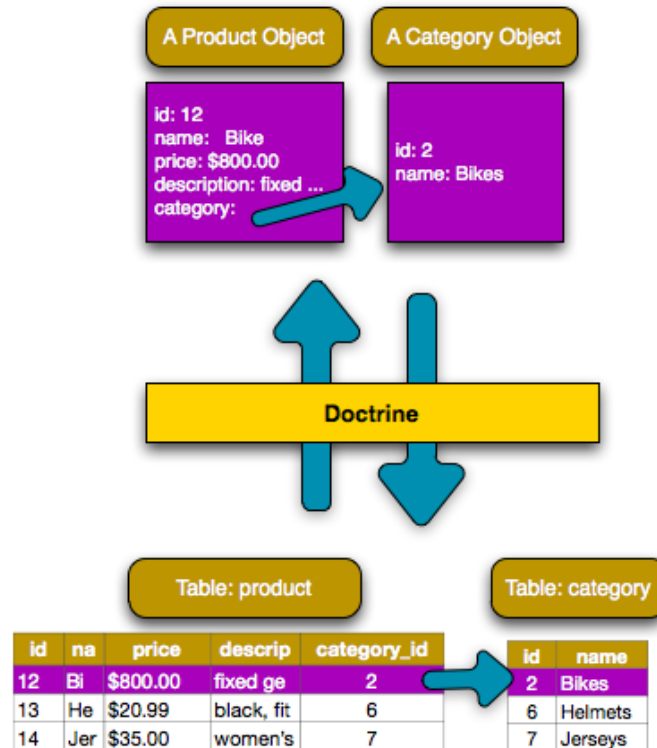
Πλέον έχουμε μία κλάση “Product” με πληροφορίες αντιστοίχισης ώστε το “Doctrine” να γνωρίζει πώς να τη διατηρήσει, αλλά προφανώς δεν έχουμε ακόμα τον αντίστοιχο πίνακα

“product” στη βάση δεδομένων μας. Ευτυχώς, το “Doctrine” μπορεί να δημιουργήσει αυτόματα όλους τους πίνακες βάσης δεδομένων που απαιτούνται για κάθε γνωστή οντότητα στην εφαρμογή μας με την εκτέλεση της εντολής “\$ php app/console doctrine:schema:update --force”. Στην πραγματικότητα, αυτή η εντολή είναι απίστευτα ισχυρή: συγκρίνει το πώς θα έπρεπε να μοιάζει η βάση δεδομένων, με βάση τις πληροφορίες αντιστοίχισης των οντοτήτων μας, με το πώς μοιάζει στην πραγματικότητα, και παράγει τις “SQL” εντολές που απαιτούνται ώστε να ενημερώσει τη βάση δεδομένων στο πώς θα έπρεπε να είναι. Με άλλα λόγια, αν προσθέσουμε μία νέα ιδιότητα με μεταδεδομένα αντιστοίχισης στην κλάση “Product” και εκτελέσουμε την εργασία ξανά, θα παραχθεί η εντολή “alter table” που απαιτείται ώστε να προσθέσει τη νέα στήλη στον υφιστάμενο πίνακα “product”. Έτσι, η βάση δεδομένων είναι πλέον ένας πλήρως λειτουργικός πίνακας με στήλες που ταιριάζουν στα μεταδεδομένα που έχουμε προσδιορίσει [52].

Προκειμένου να δημιουργήσουμε ένα νέο αντικείμενο της κλάσης “Product”, επικαλούμαστε την υπηρεσία “getDoctrine()” μέσα σε έναν ελεγκτή ή σε μία υπηρεσία και ζητάμε από το “Doctrine” να το διατηρήσει στη βάση δεδομένων. Αντιστοίχως, μπορούμε πολύ εύκολα να ανακαλέσουμε ένα αντικείμενο από το “Doctrine” και να το ενημερώσουμε, όπως και να διαγράψουμε ένα αντικείμενο με κλήση της μεθόδου “remove()” του διαχειριστή οντοτήτων [52].

Επιπρόσθετα, στο φάκελο “Repository” ορίζουμε αντικείμενα αποθήκευσης για τις οντότητες που μας επιτρέπουν να εκτελέσουμε πανεύκολα βασικά ερωτήματα (“queries”). Το “Doctrine” μας επιτρέπει να γράψουμε πολύπλοκα ερωτήματα με χρήση του “Doctrine Query Language (DQL)”. Το “DQL” είναι παρόμοιο με το “SQL”, με τη διαφορά ότι θα πρέπει να φανταζόμαστε ότι υποβάλλουμε ερωτήματα για ένα ή περισσότερα αντικείμενα μίας κλάσης οντότητας (π.χ. “Product”) αντί να υποβάλλουμε ερωτήματα για γραμμές σε έναν πίνακα (π.χ. “product”) [52].

Σημειώνουμε, επιπλέον, ότι μπορούμε να έχουμε δύο κλάσεις, “Category” και “Product”, με μία φυσική σχέση ενός-προς-πολλά. Η κλάση “Category” διατηρεί έναν πίνακα από αντικείμενα “Product” και το αντικείμενο “Product” μπορεί να διατηρεί ένα αντικείμενο “Category”. Με άλλα λόγια, χτίζουμε τις κλάσεις μας με έναν τρόπο που να έχει νόημα με βάση τις ανάγκες μας. Το γεγονός ότι τα δεδομένα χρειάζεται να διατηρούνται σε μία βάση δεδομένων είναι πάντοτε δευτερεύον και απλά απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλων μεταδεδομένων [52].



Σχήμα 5.5: Αντιστοίχιση κλάσεων με σχέση ενός-προς-πολλά [52]

Συνοψίζοντας, με το “Doctrine” μπορούμε να εστιάσουμε στα αντικείμενά μας και το πώς χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή μας και να ανησυχούμε δευτερευόντως σχετικά με τη διατήρηση της βάσης δεδομένων. Αυτό συμβαίνει διότι το “Doctrine” μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε ένα αντικείμενο “PHP” που διατηρεί τα δεδομένα μας και εξαρτάται από πληροφορίες αντιστοίχισης μεταδεδωμένων για την απεικόνιση των δεδομένων ενός αντικειμένου σε έναν συγκεκριμένο πίνακα βάσης δεδομένων. Και ακόμα κι αν το “Doctrine” στρέφεται γύρω από μία απλή ιδέα, είναι απίστευτα ισχυρό, επιτρέποντάς μας να δημιουργήσουμε σύνθετα ερωτήματα και να εγγραφούμε σε γεγονότα που μας επιτρέπουν να λαμβάνουμε διαφορετικές δράσεις καθώς τα αντικείμενα διασχίζουν τον κύκλο ζωής της διατήρησής τους [52].

5.4.6 Σύνοψη Προγραμματιστικής Δομής στο “Symfony”

Συμπερασματικά, η δομή της “Symfony” εφαρμογής μας συνοψίζεται ως εξής: Στον φάκελο “Entity” δημιουργούνται τα διάφορα μοντέλα που περιέχουν περιγραφές του πίνακα της βάσης δεδομένων και αντιπροσωπεύονται από κλάσεις “PHP”. Χρησιμοποιώντας τα μοντέλα μπορούμε να δημιουργήσουμε, να ανακτήσουμε, να ενημερώσουμε και να διαγράψουμε εγγραφές από τη βάση δεδομένων μας χρησιμοποιώντας απλές εντολές “PHP” και όχι επαναλαμβανόμενες δηλώσεις “SQL”. Στο “Repository” ορίζονται συναρτήσεις χειρισμού της βάσης δεδομένων που διαμορφώνεται από τα μοντέλα. Ο φάκελος “View” περιέχει τα “templates” αρχεία (“.twig.html”), τα οποία είναι πρότυπα “HTML” που προβάλλουν πληροφορίες προς τον τελικό χρήστη.

Είναι ουσιαστικά “HTML” σελίδες τις οποίες βλέπει και ενδεχομένως αλληλεπιδρά μαζί τους ο χρήστης. Στον “Controller” ορίζονται ελεγκτές που χειρίζονται τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στη βάση και παρουσιάζουν στο χρήστη τα επιθυμητά αποτελέσματα. Έτσι, οι ελεγκτές επικοινωνούν τόσο με τα “models” όσο και με τα “views”. Τέλος, το μονοπάτι του “url” στο οποίο είναι διαθέσιμη η κάθε λειτουργία ελεγκτή προσδιορίζεται στο αρχείο “routing.yml”. Στην απλούστερη, λοιπόν, εκδοχή, η φόρτωση μίας ιστοσελίδας απαιτεί την πληκτρολόγηση ενός συνδέσμου από το χρήστη, την άμεση αποστολή ενός “HTTP” αιτήματος στο εξυπηρετητή, την ενεργοποίηση (από το “Symfony”) της αντίστοιχης κλάσης “controller” που επεξεργάζεται δεδομένα προερχόμενα από τη βάση δεδομένων και στέλνει ένα επιθυμητό υποσύνολο των δεδομένων σε ένα αρχείο “view” του εξυπηρετητή που αντιστοιχεί στον ελεγκτή αυτό και επιστρέφει ένα “template” ως απάντηση στο αίτημα “HTTP” του χρήστη.

Συγκρίνοντας το αρχιτεκτονικό πρότυπο “MVC” με το πρότυπο του “Symfony framework”, παρατηρούμε ότι οι οντότητες του “Symfony” αντιστοιχίζονται στα μοντέλα του “MVC”, οι ελεγκτές του “Symfony” αντιστοιχίζονται στους ελεγκτές του “MVC”, ενώ τα “templates” στον φάκελο “views” του “Symfony” στις όψεις του “MVC”.

Κεφάλαιο 6: Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης

Στο έκτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναλύονται τα ζητήματα που έχουν σχέση με την υλοποίηση του συστήματος της εφαρμογής μας. Καταρχάς, παρουσιάζεται η αρχική σχεδίαση της οθόνης σε μορφή “Mock Up”, αφού πρώτα αναφερθούν οι χρήστες στους οποίους απευθύνεται η εν λόγω διεπιφάνεια. Επιπλέον, μετά από μία αναφορά στις πλατφόρμες, τις βιβλιοθήκες και τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, περιγράφεται και αναλύεται η αρχιτεκτονική του συστήματος σε επίπεδο κλάσεων, καθώς και η υλοποίηση της διεπαφής χρήστη. Τέλος παρατίθενται κάποια στιγμιότυπα από οθόνες της πραγματικής έκδοσης του διαδικτυακού εργαλείου με βάση τα δυνατά σενάρια χρήσης, όπως προέκυψαν από πιλοτική εφαρμογή του σχεδίου δράσης για τη ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας στο δημαρχείο της πόλης Σαντ Κουγκάτ στην Ισπανία.

6.1 Ανάπτυξη με Γνώμονα το Σχεδιασμό (“Design – Driven Development”)

6.1.1 Χρήστες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων

Είναι απαραίτητο να ξεκαθαρίσουμε το ποιοι είναι οι δράστες που εμπλέκονται στη διαχείριση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, ώστε να γνωρίζουμε σε ποιους συγκεκριμένους χρήστες απευθύνεται η κύρια έξοδος του. Θα μπορούσαν να υπάρχουν διαφορετικοί τύποι δραστών, όπως διαχειριστές κτιρίου, εξωτερικοί διαχειριστές συντήρησης, εταιρίες ενεργειακών υπηρεσιών, κάτοικοι και άλλοι. Σε μία πρώτη προσέγγιση, θεωρούμε ότι το σύστημα μπορεί να απευθυνθεί μόνο στο διαχειριστή του κτιρίου (εσωτερικό ή εξωτερικό συνεργάτη) και στους ενοίκους.

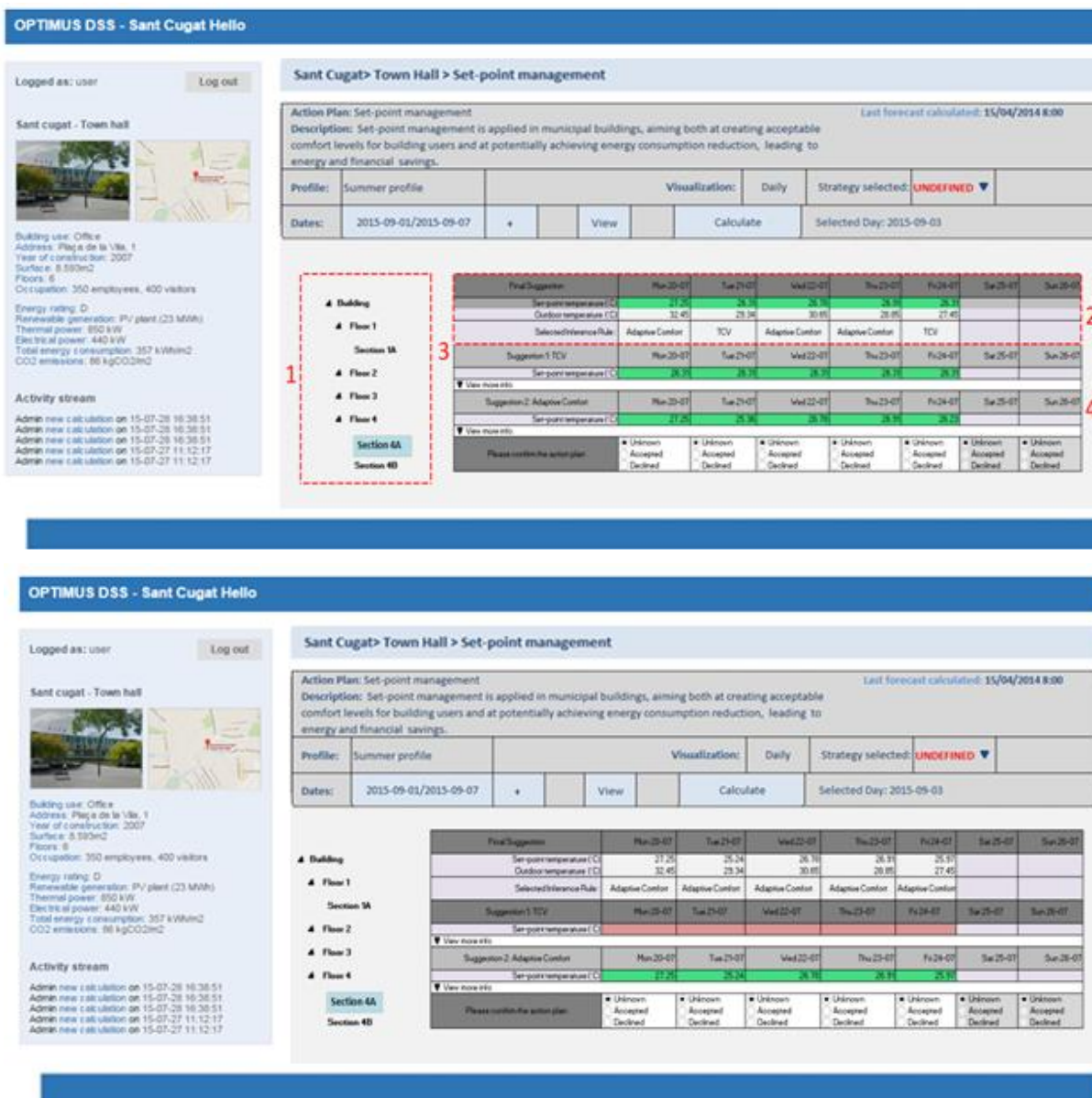
Τα καθήκοντα του διαχειριστή κτιρίου μπορεί να περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την παροχή υπηρεσιών στα κτίρια σε σχέση με το κόστος τους, τη διαχείριση της συντήρησης των κατασκευών του κτιρίου, τον έλεγχο/διαχείριση της ρύθμισης των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης/εξαερισμού και τον καθορισμό του επιπέδου άνεσης των ενοίκων.

Οι ένοικοι, από την άλλη πλευρά, θα εμπλέκονται σε δραστηριότητες που εμποπιούνται από το διαχειριστή του κτιρίου, όπως είναι η ενεργή συμμετοχή στη διαχείριση του κτιρίου με ενημέρωση του διαχειριστή σχετικά με δυσλειτουργίες και σφάλματα, και η βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς τους μέσω της υιοθέτησης διαφορετικών δράσεων ώστε αφενός να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση και αφετέρου να διατηρήσουν το επίπεδο άνεσης [11].

6.1.2 Αρχική Σχεδίαση της Διεπιφάνειας Χρήστη

Μετά τον καθορισμό των απαιτήσεων του συστήματος, το επόμενο βήμα για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου διαδικτυακού εργαλείου υποστήριξης ενεργειακών αποφάσεων ήταν η πρώτη σχεδίαση της διεπιφάνειας χρήστη. Αποτέλεσμα της σχεδίασης αυτής ήταν ο καθορισμός της αρχιτεκτονικής συστήματος που θα αποτελούσε τη βέλτιστη επιλογή για την ανάπτυξη της εφαρμογής, καθώς και ο προσδιορισμός των δεδομένων που θα τροφοδοτούν το “view” ώστε να προβάλλονται προς το χρήστη όλα εκείνα τα δεδομένα που θα του παρέχουν τον αναγκαίο βαθμό εποπτείας σχετικά με τη λειτουργία του σχεδίου δράσης, χωρίς όμως να υπεισέρχονται σε λεπτομέρειες υλοποίησης.

Πραγματοποιήθηκε συνεπώς μία ανάπτυξη με επίκεντρο το σχεδιασμό, μέσω μίας πρώτης πρόχειρης σχεδίασης (“Mock Up”) που αποτέλεσε και βασικό άξονα για την τελική υλοποίηση. Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται οι βασικές οθόνες του συστήματος, όπως αυτές καθορίστηκαν εμμέσως από τις απαιτήσεις και τις λειτουργίες του συστήματος. Να σημειωθεί, ωστόσο, ότι αυτή ήταν η πρώτη σχεδίαση του εργαλείου και δε συνάδει πλήρως με τις οθόνες της τελικής υλοποίησης. Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης, ύστερα από συζητήσεις με τους εταίρους στο ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο “OPTIMUS”, πολλά στοιχεία και λειτουργίες από τα παρακάτω αφαιρέθηκαν και προστέθηκαν άλλα, ώστε να διασφαλίζεται η ευχρηστία του διαδικτυακού εργαλείου καθώς και μία σχετική ομοιομορφία των διεπαφών χρήστη των διαφορετικών σχεδίων δράσης που αναπτύσσονται.



Εικόνα 6.1: Οθόνες παρουσίασης αποτελεσμάτων σχεδίου δράσης για τον επιλεγμένο τομέα κτιρίου για επαρκή και ανεπαρκή ανατροφοδότηση χρήστη

OPTIMUS DSS - Sant Cugat Hello

Logged as: user Log out

Sant cugat - Town hall

Building use: Office
Address: Plaça de la Vila, 1
Year of construction: 2007
Surface: 8.593m²
Floors: 5
Occupation: 350 employees, 400 visitors

Energy rating: D
Renewable generation: PV plant (23 MWh)
Thermal power: 850 kW
Electric power: 440 kW
Total energy consumption: 357 kWh/m²
CO₂ emissions: 86 kgCO₂/m²

Activity stream

- Admin new calculation on 15-07-28 16:38:51
- Admin new calculation on 15-07-28 16:38:51
- Admin new calculation on 15-07-28 16:38:51
- Admin new calculation on 15-07-27 11:12:17
- Admin new calculation on 15-07-27 11:12:17

Sant Cugat> Town Hall > Set-point management

Action Plan: Set-point management Last forecast calculated: 15/04/2014 8:00

Description: Set-point management is applied in municipal buildings, aiming both at creating acceptable comfort levels for building users and at potentially achieving energy consumption reduction, leading to energy and financial savings.

Profile: Summer profile
Visualization: Daily
Strategy selected: UNDEFINED ▼

Dates: 2015-09-01/2015-09-07
+ View Calculate
Selected Day: 2015-09-03

	Mon 20-07	Tue 21-07	Wed 22-07	Thu 23-07	Fri 24-07	Sat 25-07	Sun 26-07
▲ Building							
Set-point temperature (C)	27.25	26.31	26.78	26.31	26.31		
Outdoor temperature (C)	32.45	29.34	30.65	28.85	27.45		
▲ Floor 1							
Selected Inference Rule:	Adaptive Comfort	TCV	Adaptive Comfort	Adaptive Comfort	TCV		
Section 1A							
Suggestion 1 TCV	Mon 20-07	Tue 21-07	Wed 22-07	Thu 23-07	Fri 24-07	Sat 25-07	Sun 26-07
Set-point temperature (C)	26.31	26.31	26.31	26.31	26.31		
▲ Floor 2							
Set-point temperature (C)	26.31	26.31	26.31	26.31	26.31		
▲ Floor 3							
Air temperature sensor input (C)							
Date	Mon 20-07	Tue 21-07	Wed 22-07	Thu 23-07	Fri 24-07	Sat 25-07	Sun 26-07
7:00	26.53	26.14	27.55	27.17	27.28		
8:00	26.54	26.15	26.37	26.48	26.46		
9:00	26.47	26.06	26.45	26.53	26.47		
10:00	26.47	26.11	26.59	26.52	26.48		
11:00	26.77	26.88	26.29	27.33	27.39		
12:00	26.42	26.12	26.73	26.59	26.49		
13:00	26.3	26.02	26.75	26.5	26.33		
14:00	26.16	25.89	26.51	26.44	26.22		
15:00	26.1	25.82	26.65	26.39	26.2		
16:00	26.41	26.57	26.33	27.12	27.43		
17:00	25.99	25.73	26.88	26.26	26.18		
18:00	26.67		26.87	26.45	26.2		
19:00	26.39		26.87	26.59			
20:00	27.26		26.32	27.75			
21:00	27.45		26.04	27.5			
Humidity sensor input							
Date	Mon 20-07	Tue 21-07	Wed 22-07	Thu 23-07	Fri 24-07	Sat 25-07	Sun 26-07
7:00	41.83	41.81	41.87	43.75	42.75		
8:00	39.67	40.26	41.46	41.31	41.54		
9:00	37.88	37.79	41.1	38.52	40.55		
10:00	37.88	37.05	40.82	37	39.38		
11:00	35.94	37.14	40.38	35.54	39.04		
12:00	36.43	36.94	40.47	34.46	39.63		
13:00	36.31	33.07	40.43	34.36	41.59		
14:00	36.75	41.1	40.57	36.57	44.05		
15:00	38.31	42.29	40.7	37.87	45.54		
16:00	40.31	42.91	40.8	39.57	48.27		
17:00	40.3	43.29	40.92	40.51	49.95		
18:00	40.87		40.96	40.86	50.39		
19:00	39.85		41.05	40.42			
20:00	39.39		41.19	40.08			
21:00	38.35		41.28	40.19			
Feedback from users							
Index:	■ Cold	■ Cool	■ Slightly cool	■ Neutral	■ Slightly warm	■ Warm	■ Hot
Date	Mon 20-07	Tue 21-07	Wed 22-07	Thu 23-07	Fri 24-07	Sat 25-07	Sun 26-07
0:00							
1:00							
2:00							
3:00							
4:00							
5:00							
6:00							
7:00							
8:00							
9:00							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
16:00							
17:00							
18:00							
19:00							
20:00							
21:00							
22:00							
23:00							

▲ View less info

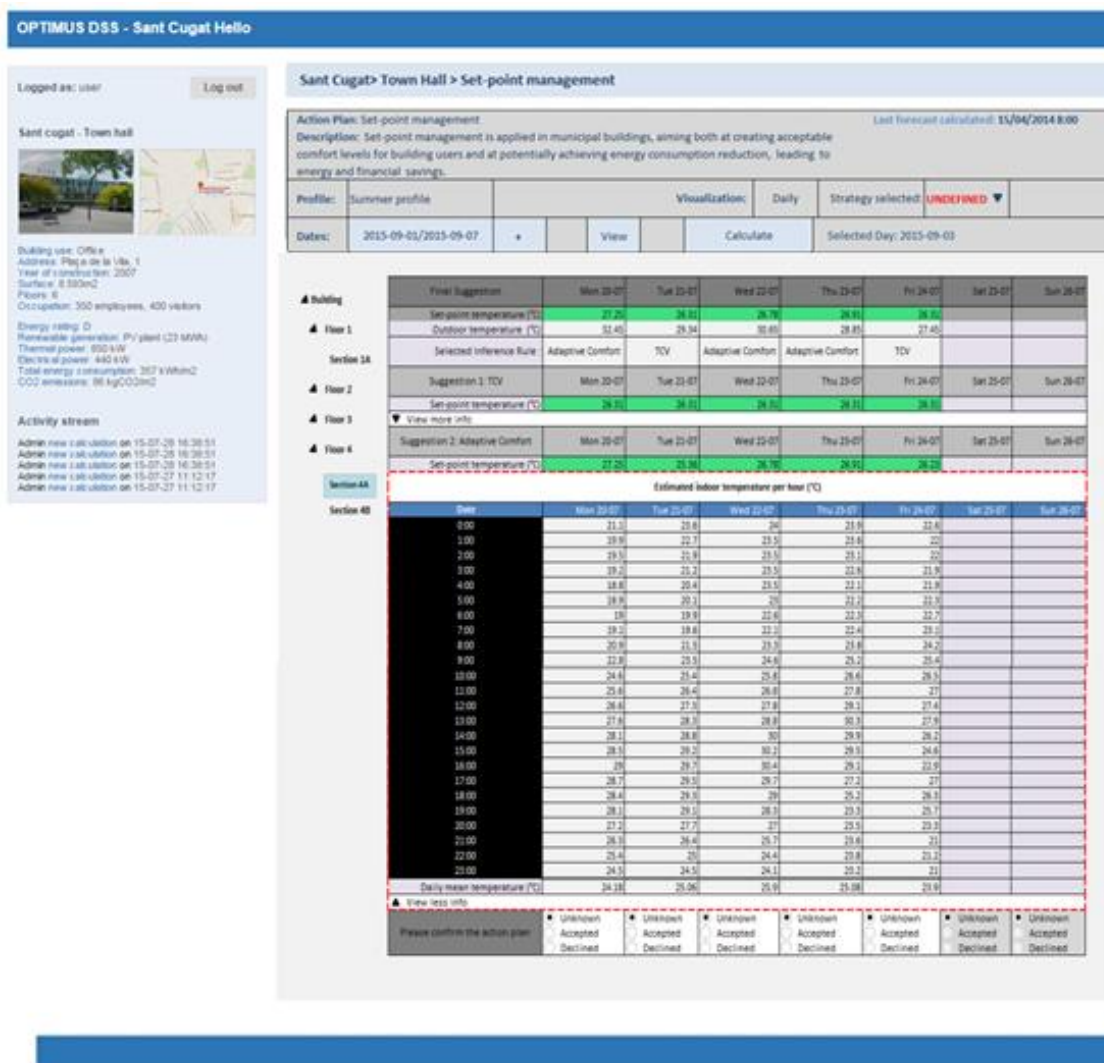
Suggestion 2: Adaptive Comfort	Mon 20-07	Tue 21-07	Wed 22-07	Thu 23-07	Fri 24-07	Sat 25-07	Sun 26-07
Set-point temperature (C)	27.25	25.36	26.78	26.31	26.23		

▼ View more info

Please confirm the action plan

● Unknown	● Unknown	● Unknown	● Unknown	● Unknown	● Unknown	● Unknown
○ Accepted	○ Accepted	○ Accepted	○ Accepted	○ Accepted	○ Accepted	○ Accepted
○ Declined	○ Declined	○ Declined	○ Declined	○ Declined	○ Declined	○ Declined

Εικόνα 6.2: Οθόνη “View more info...” για τον κανόνα επαγωγής “TCV”



Εικόνα 6.3: Οθόνη “View more info...” για τον κανόνα επαγωγής “Adaptive Comfort”

Στην πρώτη εικόνα σημειώνεται με (1) η δενδρική δομή επιλογής ζώνης του κτιρίου για την προβολή των προτάσεων τόσο του συνολικού σχεδίου δράσης, όσο και των επιμέρους κανόνων επαγωγής. Με τον αριθμό (2) επισημαίνεται ο τομέας της τελικής πρότασης του σχεδίου δράσης, όπου προβάλλονται τα ημερήσια προτεινόμενα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας, οι αντίστοιχες προβλεπόμενες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου, καθώς και ο κανόνας επαγωγής που τελικά επιλέχθηκε με βάση το διάγραμμα ροής του σχεδίου δράσης. Στον τομέα (3) αναφέρονται οι ημερήσιες προτάσεις του επαγωγικού κανόνα «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» και δίνεται η δυνατότητα προβολής των αντίστοιχων δεδομένων εισόδου (“View more info...”). Αντιστοίχως, στον τομέα (4) παρουσιάζονται τα ημερήσια προτεινόμενα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας του κανόνα επαγωγής «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης», όπως και η επιλογή “View more info...”.

6.2 Πλατφόρμες, Βιβλιοθήκες & Προγραμματιστικά Εργαλεία

Για την ανάπτυξη του εν λόγω σχεδίου δράσης έγινε χρήση του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης “JetBrains PhpStorm 10.0.2”, στο οποίο αναπτύχθηκε τόσο η πλευρά εξυπηρετητή όσο και η πλευρά πελάτη. Για την εποπτεία αυτής, έγινε χρήση της τελευταίας έκδοσης του φυλλομετρητή “Google Chrome”.

Πιο συγκεκριμένα, για την ανάπτυξη του σχεδίου δράσης στην πλευρά εξυπηρετητή εγκαταστήσαμε το “XAMPP v5.6.15”, ένα πακέτο προγραμμάτων ελεύθερου λογισμικού, ανοικτού κώδικα και ανεξάρτητου πλατφόρμας, το οποίο εμπεριέχει εξυπηρετητή ιστοσελίδων “http Apache”, βάση δεδομένων “MySQL” και διεργασίες για κώδικα γραμμένο σε γλώσσες προγραμματισμού “PHP” και “Perl”. Πρόκειται για το πιο διάσημο περιβάλλον ανάπτυξης “PHP”, για χρήση εντός του διαστήματος υλοποίησης του συστήματος [55]. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το πλαίσιο (“framework”) “Symfony Standard Edition 3.0” που είναι υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού “PHP”, ενώ το σύνολο του προγραμματιστικού κώδικα στην πλευρά αυτή είναι υλοποιημένο σε “PHP 5.6.15”. Η χρησιμοποιούμενη βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης είναι “MySQL”, ωστόσο λόγω του “framework Symfony”, η επικοινωνία με τη βάση θα ήταν ίδια ανεξαρτήτως του τύπου της. Επίσης, όπως θα δούμε πιο αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 6.3, οι “PHP” κλάσεις του “Symfony” που υλοποιούν τις υπηρεσίες των κανόνων επαγωγής «τραβάνε» τα δεδομένα εισόδου τους μέσω ερωτημάτων σε “SPARQL” από τον διακομιστή “LinDA”.

Από την άλλη πλευρά, για την υλοποίηση όλων των γραφιστικών και γραφικών οντοτήτων στην πλευρά πελάτη, έγινε χρήση των προγραμματιστικών γλωσσών “HTML5”, “CSS” και “Javascript”. Χρησιμοποιήθηκαν, ωστόσο, και κάποιες ιδιαίτερα χρήσιμες εξωτερικές βιβλιοθήκες και επιπρόσθετες οντότητες, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

1. “Bootstrap 3.0.0”: Προσφέρει ένα έτοιμο σύνολο αντικειμένων υλοποιημένων με χρήση “HTML”, “CSS” και “Javascript”, απαλλάσσοντας τον προγραμματιστή από την ευθύνη κατασκευής αναγκαίων στοιχείων της πλευράς αυτής. Μεταξύ άλλων, προσφέρει έτοιμες υλοποιήσεις επιπρόσθετων πλαισίων, οργάνωσης οθονών, λιστών, μπαρών ολοκλήρωσης διαδικασιών, ειδοποιήσεων κ.ά. Στην διεπαφή χρήση που υλοποιήσαμε χρησιμοποιήσαμε αρκετές κλάσεις της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης για τη διαμόρφωση της ιστοσελίδας σύμφωνα με το πρότυπο του γενικότερου έργου “OPTIMUS” [53].
2. “jQuery-1.10.3”: Βιβλιοθήκη “Javascript” που προσφέρει μεθόδους και συναρτήσεις αλληλεπίδρασης με εξυπηρετητή και χρήστη, διευκολύνοντας κατά πολύ τον προγραμματιστή. Παραδείγματα αυτών των μεθόδων είναι οι μονάδες χειρισμού ενέργειας του χρήστη στην ιστοσελίδα, η εύκολη αποστολή δεδομένων με “A.J.A.X”, η πραγματοποίηση “HTTP” αιτημάτων κ.ά. Ειδικότερα, στη συγκεκριμένη διεπιφάνεια κάναμε χρήση της εν λόγω βιβλιοθήκης “Javascript” προκειμένου να υλοποιήσουμε όλα τα μη στατικά μέρη της ιστοσελίδας, όπως είναι η επιλογή προβολής περισσότερων πληροφοριών τόσο για τους κανόνες επαγωγής ανά τομέα κτιρίου, όσο και για την ανατροφοδότηση των χρηστών, και η επιλεκτική εμφάνιση ημερολογίου για τη ρύθμιση της εβδομάδας κατά την οποία επιθυμούμε να προβάλλονται τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης.

3. “jquery.weekpicker.js”: Πρόκειται για μία επιπρόσθετη οντότητα υλοποιημένη σε “Javascript”, η οποία προϋποθέτει λειτουργίες που συμπεριλαμβάνονται στη βιβλιοθήκη “jquery-ui-1.10.3.custom.min.js”. Στο αρχείο αυτό ορίζονται όλες οι συναρτήσεις που προσδίδουν λειτουργικότητα στο ημερολόγιο που προαναφέραμε.

6.3 Υλοποίηση Σχεδίου Δράσης & Διασύνδεση Συστατικών Αρχιτεκτονικής

Στην πρώτη υποενότητα του παρόντος υποκεφαλαίου, παρουσιάζουμε τις “PHP” κλάσεις που δομούν το “back-end” κομμάτι της υλοποίησης του διαδικτυακού εργαλείου υποστήριξης αποφάσεων αναφορικά με τη διαχείριση του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων. Στη δεύτερη υποενότητα, εστιάζουμε σε λεπτομέρειες υλοποίησης αναφορικά με το κομμάτι της όψης του “MVC” μοντέλου.

6.3.1 Περιγραφή Αρχιτεκτονικής Συστήματος σε Επίπεδο Κλάσεων

Οι “PHP” κλάσεις που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια ακολουθούν την αρχιτεκτονική του πλαισίου “Symfony” όσον αφορά στο αρχιτεκτονικό πρότυπο “MVC”. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μία κλάση ελεγκτή η οποία εκτελείται όταν το “URL” που έχει πληκτρολογηθεί ταιριάζει με μία συγκεκριμένη διαδρομή, οι επιμέρους λειτουργίες των κανόνων επαγωγής διαχωρίζονται σε υπηρεσίες, ενώ υπάρχουν και κλάσεις οντοτήτων με βάση τις οποίες δημιουργείται αυτόματα από το “Symfony” μία σχεσιακή βάση δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, οι κλάσεις αυτές είναι οι εξής:

1. Κλάση “SetPointPlanController”

Πρόκειται για την “PHP” κλάση του ελεγκτή που τοποθετείται μέσα στον φάκελο “Controller” του πακέτου “Optimus/OptimusBundle” και αντιστοιχεί στον έλεγχο της λειτουργίας του σχεδίου δράσης για τη διαχείριση της εσωτερικής θερμοκρασίας κτιρίων. Σημειώνεται ότι η πληροφορία δρομολόγησης που σχετίζεται με την ενεργοποίηση του ελεγκτή δίνεται στο αρχείο “Optimus/OptimusBundle/Resources/config/routing.yml”. Πιο συγκεκριμένα, το σχετικό μοτίβο δηλώνεται ως εξής:

```
getSetPointPlan:
    pattern: /set_point/{idBuilding}/{idAPType}/{start_date}
    defaults: { _controller: OptimusOptimusBundle:SetPointPlan:set_point, start_date: '' }
```

1.1. Μέθοδος “set_pointAction()”

Η βασική μέθοδος της κλάσης “SetPointPlanController” ονομάζεται “set_pointAction()”, εκτελείται αυτόματα κάθε φορά που πληκτρολογείται το συγκεκριμένο μονοπάτι “URL” σε έναν περιηγητή ιστού και δέχεται ως ορίσματα τις πληροφορίες “idBuilding”, “idAPType” και “start_date”. Ο στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι να καταστήσει (“render()”) το “template” της όψης, περνώντας σε αυτό έναν συσχετιστικό πίνακα ο οποίος περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που θα προβληθούν. Πιο συγκεκριμένα, αποστέλλει στο “Optimus\OptimusBundle\Resources\views\Set_point_tempActionPlan\setpoint_plan.html.twig” τις μεταβλητές “idBuilding” και “idAPType”, την τρέχουσα ημερομηνία καθώς

και την ημερομηνία έναρξης και λήξης της εβδομάδας στην οποία θα αναφέρονται τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης στη μορφή “yyyy-mm-dd”. Η ημερομηνία έναρξης θα συμπίπτει με την τρέχουσα εφόσον δεν έχει γίνει διαφορετική επιλογή από το χρήστη γραφικά μέσω ενός ημερολογίου, ή ισοδύναμα εφόσον δεν έχει οριστεί η τιμή της μεταβλητής “start_date” μέσω του “URL”. Στη συνέχεια, βάσει του αναγνωριστικού κτιρίου και με χρήση του “Doctrine”, λαμβάνονται στατικά στοιχεία μέσω της βάσης δεδομένων σχετικά με το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο στο οποίο θα εφαρμοστεί το σχέδιο δράσης. Εφόσον εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης στο συγκεκριμένο πιλότο, δηλαδή εάν υπάρχει εγγραφή στον πίνακα “action plans” της βάσης δεδομένων που να αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο και στο εν λόγω σχέδιο δράσης, αντλούμε από τη βάση δεδομένων ορισμένα στοιχεία (π.χ. περιγραφή) που έχουν οριστεί για το σχέδιο δράσης. Ακολούθως, καλείται η μέθοδος “getPartitions()” της κλάσης, ώστε να ληφθεί σε κατάλληλο συσχετιστικό πίνακα η πληροφορία που είναι καταγεγραμμένη στη βάση δεδομένων αναφορικά με τη διαμέριση του συγκεκριμένου πιλοτικού κτιρίου, καθώς και οι μέθοδοι “getDataTCV()” και “getDataAdaptive()”, οι οποίες αντλούν τα αποτελέσματα ανά τομέα των επιμέρους κανόνων επαγωγής από τη βάση δεδομένων. Τέλος, με χρήση της μεθόδου “APIIntegration()” ενσωματώνονται οι δύο κανόνες επαγωγής, ώστε να προκύψει ένα τελικό ημερήσιο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας ανά τομέα του πιλοτικού κτιρίου, ενώ με χρήση της μεθόδου “partitionArray” η πληροφορία σχετικά με τη διαμέριση του κτιρίου τοποθετείται σε κατάλληλο πίνακα ώστε να έχει μορφή εύκολα προσπελάσιμη από το “template” της όψης.

Συνολικά, ο συσχετιστικός πίνακας “result” που αποστέλλεται στο αρχείο “.html.twig” έχει τη μορφή που περιγράφεται στον επόμενο πίνακα:

Κλειδιά	Περιγραφή Τιμών
idBuilding	Περιέχει το αναγνωριστικό του κτιρίου, όπως αυτό παρέχεται μέσω του “URL”. Χρησιμοποιεί στο “template” στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει άλλη εβδομάδα για την προβολή των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράσης, οπότε απαιτείται η αλλαγή του μονοπατιού “URL” για τη φόρτωση της σωστής σελίδας.
startDate	Πρόκειται για την ημερομηνία έναρξης της προβολής των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράσης στη μορφή “yyyy-mm-dd”.
currDate	Πρόκειται για την τρέχουσα ημερομηνία στη μορφή “yyyy-mm-dd”.
endDate	Πρόκειται για την ημερομηνία λήξης της προβολής των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράσης στη μορφή “yyyy-mm-dd”.
nameBuilding	Περιέχει το όνομα του πιλοτικού κτιρίου.
Building	Περιέχει ένα αντικείμενο της κλάσης “Buildings”, το οποίο περιέχει ως ιδιότητες στατικές πληροφορίες (όπως όνομα, πόλη, διεύθυνση, έτος κατασκευής, επιφάνεια, είδος χρήσης, ενεργειακή κατάσταση, κατανάλωση ηλεκτρισμού, αερίου,

	<p>ενεργειακή παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές, κλπ) σχετικά με το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο.</p>
idAPTtype	<p>Περιέχει το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης, όπως αυτό παρέχεται μέσω του “URL”. Χρησιμοποιείται στο “template” στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει άλλη εβδομάδα για την προβολή των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράσης, οπότε απαιτείται η αλλαγή του μονοπατιού “URL” για τη φόρτωση της σωστής σελίδας.</p>
idActionPlan	<p>Περιέχει το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης για το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο.</p>
dataActionPlan_name	<p>Περιέχει το όνομα του σχεδίου δράσης (“Set-point Management”).</p>
dataActionPlan_description	<p>Περιέχει μία περιγραφή του σχεδίου δράσης (“Schedule the set-point temperature based on the Adaptive Comfort Concept and the TCV questionnaire”).</p>
dataActionPlan_lastCalculation	<p>Περιέχει την πιο πρόσφατη ημερομηνία κατά την οποία ο ενεργειακός διαχειριστής του κτιρίου είχε ζητήσει να δει τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης.</p>
weekly_proposed_temperatures	<p>Πρόκειται για έναν συσχετιστικό πίνακα που περιέχει τα αποτελέσματα του επαγωγικού κανόνα «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης» για καθεμία από τις 7 ημέρες της υπό εξέταση εβδομάδας ως εξής: κλειδιά “date”, “full_date”, “daily_mean”, “set_point_temperature” και αντίστοιχες τιμές η ημερομηνία στη μορφή “Day dd-mm”, η ημερομηνία στη μορφή “yyyy-mm-dd”, η μέση προβλεπόμενη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου και το προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου.</p>
Partitions	<p>Πρόκειται για έναν συσχετιστικό πίνακα με κλειδιά τους τομείς του κτιρίου στους οποίους εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης και αντίστοιχες τιμές συσχετιστικών πινάκων. Οι τελευταίοι περιέχουν κλειδιά “proposed temperature”, “final_suggestions”, “decision” και “feedback”, με αντίστοιχες τιμές για καθεμία από τις 7 ημέρες της υπό εξέταση εβδομάδας την πρόταση του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας μέσω του κανόνα επαγωγής «Επικύρωση της</p>

	<p>Θερμικής Άνεσης», την τελική πρόταση του σχεδίου δράσης μετά από ενσωμάτωση των δύο κανόνων επαγωγής, την απόφαση αναφορικά με τον κανόνα επαγωγής που τελικά επιλέχθηκε, καθώς και για κάθε ώρα της ημέρας την τιμή και το πλήθος των ανατροφοδοτήσεων χρήστη μέσω του ερωτηματολογίου “TCV”.</p>
<p>building_sections</p>	<p>Πρόκειται για έναν συσχετιστικό πίνακα με κλειδιά τα ονόματα των τομέων του κτιρίου και αντίστοιχες τιμές το βάθος της ζώνης μέσα στην ιεραρχική δομή του κτιρίου.</p>

Πίνακας 6.1: Πεδία συσχετιστικού πίνακα που αποστέλλεται στο “template”

1.2. Μέθοδος “getPartitions()”

Η συγκεκριμένη μέθοδος λαμβάνει από τη βάση δεδομένων όλους τους τομείς που αναφέρονται στο συγκεκριμένο κτίριο ως αντικείμενα με ιδιότητες: “partition_name”, “fk_Building” και “fk_BuildingPartitioning” (το φιλτράρισμα γίνεται με βάση την τιμή του “fk_Building” η οποία πρέπει να είναι ίση με το αναγνωριστικό του συγκεκριμένου κτιρίου). Τα αντικείμενα αυτά δημιουργούν μία δενδρική δομή με ρίζα το “Building” και με φύλλα τους τομείς στους οποίους μπορεί να εφαρμοστεί το σχέδιο δράσης. Για τη δημιουργία των ιεραρχικών σχέσεων μεταξύ των τομέων του κτιρίου γίνεται χρήση της τιμής του “fk_BuildingPartitioning” που κάθε φορά ισούται με το αναγνωριστικό του γονέα μίας ζώνης του κτιρίου ή με “NULL” για την περίπτωση του συνολικού κτιρίου. Έτσι, μέσα στην εν λόγω μέθοδο ελέγχουμε ποιος είναι ο γονέας κάθε τομέα και επανασημασιάζουμε τη δενδρική δομή αλλά με τη μορφή ενός συσχετιστικού πίνακα, ο οποίος αποτελεί και την τιμή επιστροφής της μεθόδου. Τα κλειδιά του εν λόγω πίνακα αντιστοιχούν στις ζώνες του κτιρίου στις οποίες δεν εφαρμόζουμε το σχέδιο δράσης.

1.3. Μέθοδος “getDataAdaptive()”

Η εν λόγω μέθοδος αντλεί από τη βάση δεδομένων τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης» για καθεμία από τις ημέρες της υπό εξέταση εβδομάδας. Το φιλτράρισμα των αποτελεσμάτων γίνεται με χρήση της ημερομηνίας, στη μορφή “yyyy-mm-dd 00:00:00” (χρήση της μεθόδου “getDaysFromDate()”), και του αναγνωριστικού του σχεδίου δράσης για το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο. Για κάθε ημέρα της εβδομάδας σχηματίζεται ένας συσχετιστικός πίνακας που περιέχει την εκάστοτε ημερομηνία στη μορφή “Day dd-mm”, όπως και στη μορφή “yyyy-mm-dd”, τη μέση προβλεπόμενη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου και το προτεινόμενο σημείο ρύθμισης ρύθμισης θερμοκρασίας. Εάν δεν υπάρχει αντίστοιχη εγγραφή στη βάση δεδομένων, τότε η τιμή της προβλεπόμενης εξωτερικής θερμοκρασίας και η πρόταση του κανόνα επαγωγής συμπληρώνεται με τους χαρακτήρες “--”. Αυτό μπορεί να συμβεί στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει να δει τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης για μελλοντικές ημερομηνίες εκτός του χρονικού ορίζοντα της τρέχουσας εβδομάδας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου κανόνα επαγωγής δε μας ενδιαφέρει η διαμέριση του κτιρίου σε επιμέρους ζώνες επειδή ο αλγόριθμος

«Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης» προτείνει ένα σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ανά ημέρα με μοναδική πληροφορία την προβλεπόμενη εξωτερική θερμοκρασία που είναι προφανώς κοινή για όλες τους τομείς του κτιρίου.

1.4. Μέθοδος “getDataTCV()”

Η συγκεκριμένη μέθοδος καλείται προκειμένου να συγκεντρώσει από τη βάση δεδομένων τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης». Πιο συγκεκριμένα, δημιουργούνται οι ημερομηνίες της υπό εξέταση εβδομάδας (με χρήση της μεθόδου “getDaysFromDate()”) στη μορφή “yyyy-mm-dd 00:00:00”. Επισημαίνεται ότι ο κανόνας επαγωγής «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» στηρίζεται στη θεωρία “PMV” και λαμβάνει ως δεδομένα εισόδου τη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου, τη σχετική υγρασία με βάση αισθητήρες και την ανατροφοδότηση των ενοίκων μέσω του ερωτηματολογίου “TCV”, που σημαίνει ότι όλες οι εμπλεκόμενες πληροφορίες -άρα και το προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας- αναφέρονται σε επίπεδο τομέα κτιρίου. Το βάθος και η μορφή της δενδρικής δομής που σχετίζεται με τη διαμέριση ενός πιλοτικού κτιρίου σε ζώνες είναι διαφορετικά ανά κτίριο. Συνεπώς, προκειμένου να λάβουμε τα αποτελέσματα του εν λόγω κανόνα επαγωγής αγνωστικά για όλους τους στοιχειώδεις τομείς ενός πιλοτικού κτιρίου, καλούμε τη μέθοδο “perPartition()” της κλάσης “SetPointPlanController”, η οποία είναι αναδρομική.

1.5. Μέθοδος “perPartition()”

Η αναδρομική μέθοδος “perPartition()” δέχεται ως ορίσματα κατά τιμή τον συσχετιστικό πίνακα που περιέχει τους τομείς του κτιρίου, το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης, έναν πίνακα με τις ημερομηνίες της υπό εξέταση εβδομάδας στην κατάλληλη μορφή, ενώ κατά αναφορά δέχεται τον πίνακα όπου θα συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης. Για καθένα από τα κλειδιά του συσχετιστικού πίνακα των τομέων του κτιρίου καλείται αναδρομικά η ίδια μέθοδος με παράμετρο τον αντίστοιχο υποπίνακα των τομέων. Για καθέναν από τους στοιχειώδεις τομείς όπου εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης και για καθεμία από τις ημέρες της εβδομάδας, λαμβάνεται από τη βάση δεδομένων η σχετική εγγραφή που περιέχει τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής σε μορφή αντικειμένου. Εφόσον υπάρχει αντίστοιχη εγγραφή στον πίνακα “aprcnoutput” της βάσης δεδομένων, λαμβάνουμε την πρόταση ρύθμισης της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου και, στη συνέχεια, σχηματίζουμε για όλες τις ώρες της συγκεκριμένης ημέρας τις ημερομηνίες στη μορφή “yyyy-mm-dd hh:00:00”. Για καθεμία από τις 24 ώρες της ημέρας, αναζητούμε στον πίνακα “feedbackoutput” της βάσης δεδομένων την αντίστοιχη εγγραφή και λαμβάνουμε πληροφορίες για την τιμή και το μέγεθος της ανατροφοδότησης των ενοίκων. Αντιθέτως, εάν δεν υπάρχει η εγγραφή που αναζητάμε στον πίνακα “aprcnoutput” της βάσης δεδομένων, αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης έχει επιλέξει να δει τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης για μελλοντικές ημερομηνίες εκτός του χρονικού οριζοντα της τρέχουσας εβδομάδας, οπότε η πρόταση του κανόνα επαγωγής συμπληρώνεται με τους χαρακτήρες “--” και οι αντίστοιχες ανατροφοδοτήσεις των ενοίκων (τιμή και μέγεθος) τίθενται στο μηδέν για όλες τις ώρες της αντίστοιχης ημέρας.

1.6. Μέθοδος “getDaysFromDate()”

Η εν λόγω μέθοδος απλά δημιουργεί και επιστρέφει σε έναν πίνακα όλες τις ημερομηνίες της υπό εξέταση εβδομάδας στη μορφή “yyyy-mm-dd 00:00:00”, κάνοντας χρήση της “PHP” κλάσης “DateTime”.

1.7. Μέθοδος “getHoursFromDate()”

Αντιστοίχως, η μέθοδος αυτή λαμβάνει ως όρισμα μία ημερομηνία και επιστρέφει σε έναν για τις 24 ώρες της ημέρας όλες τις ημερομηνίες στη μορφή “yyyy-mm-dd hh:00:00”, κάνοντας χρήση της “PHP” κλάσης “DateTime”.

1.8. Μέθοδος “APIIntegration()”

Η μέθοδος “APIIntegration()” είναι πολύ σημαντική, διότι ουσιαστικά πραγματοποιεί την ενσωμάτωση των κανόνων επαγωγής, ώστε να προτείνεται τελικά από το σχέδιο δράσης ένα σημείο ρύθμισης της εσωτερικής θερμοκρασίας ανά στοιχειώδη τομέα του κτιρίου και ανά ημέρα της εβδομάδας. Όπως έχουμε προαναφέρει, το βάθος και η μορφή της δενδρικής δομής που σχετίζεται με τη διαμέριση ενός πιλοτικού κτιρίου σε ζώνες είναι διαφορετικά ανά κτίριο. Συνεπώς, προκειμένου να πραγματοποιήσουμε την ενσωμάτωση των κανόνων επαγωγής αγνωστικά για όλους τους στοιχειώδεις τομείς ενός πιλοτικού κτιρίου, η μέθοδος “APIIntegration()” της κλάσης “SetPointPlanController” είναι αναδρομική. Πιο συγκεκριμένα, δέχεται ως όρισμα κατά τιμή τον πίνακα των τομέων του κτιρίου και κατά αναφορά τον πίνακα των αποτελεσμάτων. Για καθένα από τα κλειδιά του συσχετιστικού πίνακα των τομέων καλείται αναδρομικά η ίδια μέθοδος με παράμετρο τον αντίστοιχο υποπίνακα των τομέων. Για καθέναν από τους στοιχειώδεις τομείς στους οποίους εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης, για καθεμία από τις ημέρες της υπό εξέταση εβδομάδας ελέγχουμε αν ο επαγωγικός κανόνας «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» έχει δώσει αποτέλεσμα (υπάρχει πιθανότητα να μην οδηγήσει σε πρόταση σημείου ρύθμισης εσωτερικής θερμοκρασίας εάν το πλήθος των ωριαίων ανατροφοδοτήσεων χρήστη δεν ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι). Εάν δεν έχουμε προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας από το “TCV”, τότε κατευθύνει η τελική πρόταση του σχεδίου δράσης είναι αυτή του επαγωγικού κανόνα «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης» και η απόφαση του σχεδίου δράσης είναι “Adaptive Comfort”. Αντιθέτως, εάν έχουμε δύο προτεινόμενα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου, τότε υπολογίζουμε την απόκλιση του κάθε σημείου ρύθμισης από την προβλεπόμενη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου της αντίστοιχης ημέρας και θέτουμε, για λόγους ενεργειακής αποδοτικότητας, ως τελική πρόταση του σχεδίου δράσης αυτήν που βρίσκεται πλησιέστερα προς την εξωτερική θερμοκρασία και ως απόφαση του σχεδίου δράσης τον επαγωγικό κανόνα που οδήγησε σε αυτήν την πρόταση (“Adaptive Comfort” ή “TCV”).

1.9. Μέθοδος “partitionArray()”

Τέλος, η μέθοδος “partitionArray()” είναι επίσης αναδρομική και δέχεται ως ορίσματα κατά τιμή τον συσχετιστικό πίνακα των τομέων του κτιρίου και το βάθος του εκάστοτε επιπέδου της δενδρικής δομής, ενώ κατά αναφορά δέχεται τον πίνακα των αποτελεσμάτων. Για καθέναν από τους στοιχειώδεις τομείς του κτιρίου, απλά εισάγουμε μία εγγραφή στον πίνακα των αποτελεσμάτων με κλειδί το όνομα του τομέα και τιμή το βάθος του αντίστοιχου επιπέδου. Για καθένα από τα κλειδιά του συσχετιστικού πίνακα

των τομέων, ύστερα από τη δημιουργία αντίστοιχης εγγραφής στον πίνακα των αποτελεσμάτων, καλείται αναδρομικά η ίδια μέθοδος για τον υποπίνακα των τομέων με βάθος επιπέδου αυξημένο κατά ένα.

2. Κλάση “ServiceAPAdaptative”

Η “PHP” κλάση “ServiceAPAdaptative” τοποθετείται στον φάκελο “Servicios” των υπηρεσιών του πακέτου “Optimus/OptimusBundle” και αντιστοιχεί στη λειτουργία του κανόνα επαγωγής «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης». Σημειώνεται ότι το αντικείμενο της συγκεκριμένης υπηρεσίας διαχειρίζεται από τον “Service Container” του “Symfony” και εκτελείται ασύγχρονα από τον ελεγκτή κατά τις νυχτερινές ώρες. Πιο συγκεκριμένα, συγκεντρώνει τα δεδομένα εισόδου, που αφορούν στις προβλεπόμενες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας, μέσω κατάλληλου “CSV” αρχείου, υπολογίζει τα αποτελέσματα του επαγωγικού κανόνα και τα αποθηκεύει στον πίνακα της βάσης δεδομένων “apadaptativeoutput”, από όπου τα αντλεί ο ελεγκτής για να τα αποστείλει στο “template” κατά το χρόνο εκτέλεσης. Η πληροφορία που σχετίζεται με τη ρύθμιση της συγκεκριμένης υπηρεσίας και των παραμέτρων της δίνεται στο αρχείο “services.yml” που εμπεριέχεται στο φάκελο “Optimus/OptimusBundle/Resources/config”, δηλαδή γράφουμε:

```
service_apadaptative:
    class: Optimus\OptimusBundle\Servicios\ServiceAPAdaptative
    arguments: ["@doctrine.orm.entity_manager"]
```

Καταρχάς, ορίζουμε για τη συγκεκριμένη κλάση υπηρεσίας μία προστατευμένη μεταβλητή “em” που επιτρέπει τη διαχείριση της οντότητας “APAdaptativeOutput”, έναν προστατευμένο πίνακα “data” για τη συγκέντρωση των αποτελεσμάτων του κανόνα επαγωγής, καθώς και μία σταθερά ίση με 0.8, η οποία χρησιμοποιείται στους συντελεστές υπολογισμού της ημερήσιας τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας. Όπως έχει προαναφερθεί, σύμφωνα με τη θεωρία της προσαρμοστικής άνεσης, η εν λόγω καμπύλη επιτρέπει την αξιολόγηση των σημείων ρύθμισης θερμοκρασίας ως συνάρτηση της τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας. Όσον αφορά στη λειτουργικότητα της υπηρεσίας, έχουν προσδιοριστεί για την κλάση οι ακόλουθες μέθοδοι:

2.1. Μέθοδος “invoke_service()”

Πρόκειται για την πλέον σημαντική μέθοδο της υπηρεσίας, η οποία καλείται με παραμέτρους το αναγνωριστικό ενός πιλοτικού κτιρίου, το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης και την ημερομηνία έναρξης της εβδομάδας για την οποία υπολογίζουμε τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής. Αρχικά, υπολογίζεται η ημερομηνία έναρξης της προηγούμενης εβδομάδας, διότι οι υπολογισμοί της επικρατούσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας μίας ημέρας προϋποθέτουν προβλεπόμενα δεδομένα εισόδου για τη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου των 7 προηγούμενων ημερών. Στη συνέχεια, προχωράμε στην κατάλληλη ρύθμιση ώστε να γνωστοποιήσουμε στο συγκεκριμένο αντικείμενο υπηρεσίας του “Symfony” την ύπαρξη ενός αρχείου “CSV” μορφοποίησης που βρίσκεται στο φάκελο “Optimus/OptimusBundle/Servicios/Util/Adaptive” και συγκεντρώνει τα προβλεπόμενα δεδομένα αναφορικά τη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου για το πιλοτικό κτίριο που μας ενδιαφέρει.

Προτού προχωρήσουμε στην εφαρμογή του αλγορίθμου, για καθεμία από τις ημέρες της προηγούμενης και της τρέχουσας εβδομάδας καλούμαστε να αντλήσουμε τα

προβλεπόμενα δεδομένα εισόδου. Αυτά τα ημερήσια δεδομένα μπορεί να προέρχονται απευθείας από τον πίνακα της βάσης δεδομένων “apadaptiveoutput”, εφόσον έχει ήδη γίνει ο υπολογισμός της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας της αντίστοιχης ημέρας, οπότε σε πρώτο στάδιο αναζητούμε το αντικείμενο στη βάση δεδομένων με βάση την ημερομηνία και το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης για το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει το ζητούμενο αντικείμενο, αντλούμε τα αντίστοιχα δεδομένα από το αρχείο “CSV”. Οι αρχικές προβλέψεις που εμπεριέχονται στο αρχείο αντιστοιχούν σε μία δοκιμαστική περίοδο μίας εβδομάδας, κατά την οποία οι ημερήσιες τιμές της επικρατούσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας δίνονται στατικά στο αρχείο. Εάν η ημέρα που εξετάζουμε εμπίπτει σε αυτήν την περίοδο, τότε καλούμε τη μέθοδο “save_daily_mean()” για να αποθηκεύσουμε δεδομένα σχετικά με την ημερήσια μέση εξωτερική θερμοκρασία και την αντίστοιχη επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία στη βάση δεδομένων, και, εάν επιπλέον πρόκειται για ημέρα της εβδομάδας που μας ενδιαφέρει, υπολογίζουμε (με χρήση της μεθόδου “calculate_set_point_temp()”) και αποθηκεύουμε στη βάση δεδομένων το προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας. Εάν η ημέρα δεν ανήκει στην περίοδο δοκιμής, τότε όταν διαβάζουμε από το αρχείο την τελευταία ώρα της ημέρας καλούμε τη μέθοδο “calculate_dmt” προκειμένου να υπολογίσουμε την αντίστοιχη μέση θερμοκρασία εξωτερικού χώρου. Στην ειδική περίπτωση που η ημέρα ανήκει στην υπό εξέταση εβδομάδα υπολογίζουμε επιπλέον την επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία και το προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου, με χρήση των μεθόδων “calculate_rmt()” και “calculate_set_point_temp()” της κλάσης. Σημειώνουμε ότι όλα τα δεδομένα που υπολογίζονται αποθηκεύονται επίσης στον πίνακα “apadaptiveoutput” της βάσης δεδομένων.

Αντιθέτως, εάν υπάρχει το ζητούμενο αντικείμενο στη βάση δεδομένων, τότε λαμβάνουμε τη σχετική μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία. Στην περίπτωση που η ημέρα ανήκει στην υπό εξέταση εβδομάδα και επιπλέον δεν είναι καταγεγραμμένο στη βάση δεδομένων το προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας, υπολογίζουμε την τρέχουσα μέση εξωτερική θερμοκρασία και την αντίστοιχη πρόταση του επαγωγικού κανόνα και ανανεώνουμε με τα αποτελέσματα τα πεδία του αντικειμένου που είναι αποθηκευμένο στη βάση.

2.2. Μέθοδος “calculate_dmt()”

Η εν λόγω μέθοδος υπολογίζει τη μέση τιμή των προβλεπόμενων θερμοκρασιών εξωτερικού χώρου που έχουμε διαβάσει από το “CSV” αρχείο και έχουμε αποθηκεύσει στον πίνακα “data” για τις 24 ώρες μίας ημέρας. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται επίσης στον ίδιο πίνακα με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου. Τέλος, καλείται η μέθοδος “save_daily_mean()”, η οποία, όπως θα δούμε πιο αναλυτικά παρακάτω, αναλαμβάνει την εκχώρηση τιμών στα πεδία ενός νέου αντικειμένου “APAdaptiveOutput”.

2.3. Μέθοδος “calculate_rmt()”

Η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει την επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία μίας ημέρας, λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου των 7 προηγούμενων ημερών. Αυτές οι τιμές σταθμίζονται με κατάλληλα βάρη ώστε να δίνεται

μεγαλύτερη έμφαση στην πιο πρόσφατη ημερήσια τιμή θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η εξής σχέση για την ημέρα n:

$$\theta_{RM,n} = (1 - c) \cdot \left[\begin{array}{l} \theta_{DM(n-1)} + c\theta_{DM(n-2)} + c^2\theta_{DM(n-3)} + c^3\theta_{DM(n-4)} + c^4\theta_{DM(n-5)} + \\ c^5\theta_{DM(n-6)} + c^6\theta_{DM(n-7)} \end{array} \right],$$

όπου γίνεται χρήση της σταθεράς $c=0.8$ της κλάσης. Το αποτέλεσμα αυτού του υπολογισμού αποθηκεύεται σε κατάλληλη στήλη του διδιάστατου πίνακα “data” με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου.

2.4. Μέθοδος “calculate_set_point_temp()”

Η μέθοδος “calculate_set_point_temp()” υπολογίζει το προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ως συνάρτηση της τρέχουσας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας της αντίστοιχης ημέρας, εφαρμόζοντας έτσι στην πράξη τη θεωρία της προσαρμοστικής άνεσης. Ειδικότερα, η καμπύλη παλινδρόμησης που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται στον επόμενο τύπο:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Εάν } \theta_{RM,n} < 14^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 21,5^{\circ}\text{C} \\ \text{Εάν } 14^{\circ}\text{C} < \theta_{RM,n} < 22,5^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 0,5861 \cdot \theta_{RM,n} + 12,531^{\circ}\text{C} \\ \text{Εάν } \theta_{RM,n} > 22,5^{\circ}\text{C} \rightarrow \theta_{set,point} = 26^{\circ}\text{C}. \end{array} \right.$$

Η εν λόγω μέθοδος δέχεται ως όρισμα την επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία μίας ημέρας, εξετάζει σε ποιο διάστημα αυτή ανήκει και επιστρέφει το αποτέλεσμα του υπολογισμού με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου.

2.5. Μέθοδος “save_daily_mean()”

Η μέθοδος “save_daily_mean()” δημιουργεί ένα νέο αντικείμενο της οντότητας “APAdaptiveOutput” και χρησιμοποιεί τις διαθέσιμες μεθόδους “setters” ώστε να εκχωρήσει τιμές στα πεδία “date”, “dailyMean”, “setPoint” και “fk_Action_Plan”. Σε αυτό το στάδιο δίνεται πάντα τιμή 0.0 στο προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας. Το αντίστοιχο πεδίο ανανεώνεται μόνο εφόσον η ημερομηνία ανήκει στην εβδομάδα για την οποία μας ενδιαφέρουν τα αποτελέσματα του επαγωγικού κανόνα.

2.6. Μέθοδος “getDateFormat()”

Η συγκεκριμένη μέθοδος δέχεται ως όρισμα μία ημερομηνία και την επιστρέφει ως αντικείμενο της “PHP” κλάσης “DateTime” στη μορφή “yyyy-mm-dd 00:00:00”. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη για την αλληλεπίδραση με τον πίνακα “apadaptiveoutput” της βάσης δεδομένων.

3. Κλάση “ServiceAPTcv”

Η “PHP” κλάση “ServiceAPTcv” τοποθετείται στον φάκελο “Servicios” των υπηρεσιών του πακέτου “Optimus/OptimusBundle” και αντιστοιχεί στη λειτουργία του κανόνα επαγωγής «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης». Σημειώνεται ότι και η συγκεκριμένη υπηρεσία εκτελείται ασύγχρονα από τον ελεγκτή κατά τις νυχτερινές ώρες, επειδή είναι υπολογιστικά απαιτητική. Πιο συγκεκριμένα, συγκεντρώνει τα παρατηρούμενα δεδομένα εισόδου, που αφορούν στις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας εσωτερικού χώρου, καθώς και στην ανατροφοδότηση των ενοίκων του πιλοτικού κτιρίου, μέσω του διακομιστή “LinDA” με χρήση ερωτημάτων σε “SPARQL”, υπολογίζει τα αποτελεσμάτα του επαγωγικού κανόνα και τα αποθηκεύει στον πίνακα της βάσης δεδομένων “aprcvoutput”, από όπου τα αντλεί ο ελεγκτής για να τα αποστείλει στο “template” κατά το χρόνο εκτέλεσης. Η πληροφορία που σχετίζεται με τη ρύθμιση της συγκεκριμένης υπηρεσίας και των παραμέτρων της δίνεται στο αρχείο “services.yml” που εμπεριέχεται στο φάκελο “Optimus\OptimusBundle\Resources\config”, δηλαδή γράφουμε:

```
service_aptcv:
  class: Optimus\OptimusBundle\Servicios\ServiceAPTcv
  arguments: ["@doctrine.orm.entity_manager"]
```

Καταρχάς, ορίζουμε για τη συγκεκριμένη κλάση υπηρεσίας τις προστατευμένες μεταβλητές που παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Μεταβλητή Κλάσης	Χρήση Μεταβλητής
em	Επιτρέπει τη διαχείριση των οντοτήτων “APTcvOutput” και “FeedbackOutput”.
endpoint	Πρόκειται για το καταληκτικό σημείο (http://optimusdss.epu.ntua.gr:8890/sparql) όπου τίθενται τα “SPARQL” ερωτήματα για τη λήψη των παρατηρούμενων δεδομένων εισόδου.
feedback_cutoff	Τίθεται στην τιμή 3. Πρόκειται για το ελάχιστο πλήθος των ωριαίων υποβολών στο ερωτηματολόγιο για το οποίο η ανατροφοδότηση χρήστη θεωρείται επαρκής και έγκυρη.
triangular_step	Τίθεται στην τιμή 0.5. Πρόκειται για το βήμα μεταβολής της τιμής “AMV” για τις ώρες εκατέρωθεν του σημείου υποβολής της ανατροφοδότησης, μέχρι να φτάσει την τιμή 0.
temperature_accuracy	Τίθεται στην τιμή 0.2. Πρόκειται για την ελάχιστη ακρίβεια που επιτρέπουμε κατά τον υπολογισμό του προτεινόμενου σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας με χρήση επαναληπτικής μεθόδου.
relative_air_velocity	Η σχετική ταχύτητα του αέρα που χρησιμεύει στον υπολογισμό του δείκτη “PMV” δεν παρέχεται από αισθητήρες και είναι δευτερευούσης σημασίας, οπότε τίθεται στη σταθερή τιμή 0.15 m/s, η οποία είναι

clothing	<p>αντιπροσωπευτική βάσει προτύπων θερμικής άνεσης.</p> <p>Η θερμική μόνωση ρουχισμού που χρησιμεύει στον υπολογισμό του δείκτη “PMV”, αν και παρέχεται από τους ενοίκους μέσω προαιρετικού πεδίου του ερωτηματολογίου “TCV”, τίθεται στην προεπιλεγμένη τιμή 0.5, η οποία προκύπτει βάσει προτύπων θερμικής άνεσης.</p>
metabolic_rate	<p>Ο μεταβολικός ρυθμός των ενοίκων που χρησιμεύει στον υπολογισμό του δείκτη “PMV”, αν και παρέχεται από τους ενοίκους μέσω προαιρετικού πεδίου του ερωτηματολογίου “TCV”, τίθεται στην προεπιλεγμένη τιμή 1.2. Σημειώνεται ότι η εν λόγω τιμή είναι πολύ αντιπροσωπευτική για την περίπτωση των δημοτικών κτιρίων, αφού αντιστοιχεί σε καθιστική δραστηριότητα γραφείου.</p>

Πίνακας 6.2: Προστατευμένες μεταβλητές κλάσης “ServiceAPTcv”

Όσον αφορά στη λειτουργικότητα της υπηρεσίας, έχουν προσδιοριστεί για την κλάση οι ακόλουθες μέθοδοι:

3.1. Μέθοδος “`invoke_service()`”

Πρόκειται για την πλέον σημαντική μέθοδο της υπηρεσίας, η οποία καλείται με παραμέτρους το αναγνωριστικό ενός πιλοτικού κτιρίου, το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης, την ημερομηνία έναρξης της εβδομάδας για την οποία υπολογίζουμε τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής, καθώς και έναν συσχετιστικό πίνακα που προσομοιώνει τη δενδρική δομή της διαμέρισης του κτιρίου σε τομείς.

Αρχικά, λαμβάνουμε από τον πίνακα “building” της βάσης δεδομένων το αντικείμενο που αντιστοιχεί στο πιλοτικό κτίριο για το οποίο εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να φέρουμε σε κατάλληλη μορφή την πόλη και το όνομα του κτιρίου προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε τις αντίστοιχες πληροφορίες για το φιλτράρισμα των “SPARQL” ερωτημάτων. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε τις ημερομηνίες της προηγούμενης εβδομάδας, διότι με βάση τα σχετικά δεδομένα θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος του κανόνα επαγωγής.

Για τον προσδιορισμό των φίλτρων που θα επιτρέψουν τη λήψη των παρατηρούμενων τιμών θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου κατά την προηγούμενη εβδομάδα, καλούμε τη μέθοδο “`get_filters()`” με τις κατάλληλες παραμέτρους. Με χρήση αυτού του φίλτρου, δημιουργούμε το κατάλληλο ερώτημα σε “SPARQL”, όπως είναι το παρακάτω:

```
SELECT ?Air_TemperatureSensorOutput ?Air_TemperatureSensorOutput_hasValue
WHERE {
  ?Air_TemperatureSensorOutput a <http://optimus-smartcity.eu/ontology-releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Air_TemperatureSensorOutput>. FILTER
  ((regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), 'sant_cugat', 'i'))&&(regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), 'bms', 'i'))&&((regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), '20151202', 'i'))||
  (regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), '20151203', 'i'))||
  (regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), '20151204', 'i'))||
  (regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), '20151205', 'i'))||
  (regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), '20151206', 'i'))||
  (regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), '20151207', 'i'))||
  (regex(str(?Air_TemperatureSensorOutput), '20151208', 'i'))))
  ?Air_TemperatureSensorOutput <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/ssn#hasValue> ?Air_TemperatureSensorOutput_hasValue.
}
```

Εικόνα 6.4: Ερώτημα σε “SPARQL” για τη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου

Σημειώνουμε ότι το ερώτημα αυτό αναφέρεται στο δημαρχείο της πόλης Σαντ Κουγκάτ της Ισπανίας και στην εβδομάδα 02/12/2015 – 08/12/2015. Κατόπιν, καλείται η μέθοδος “execute_sparql_query()” με αυτήν την παράμετρο, η οποία επιστρέφει τα αποτελέσματα σε μορφή “JSON”. Αυτά τα αποτελέσματα θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου επεξεργάζονται περαιτέρω με χρήση της μεθόδου “datetime_values()”, η οποία επιστρέφει ένα διδιάστατο πίνακα που περιέχει για κάθε ημέρα και ώρα της προηγούμενης εβδομάδας μία αντιπροσωπευτική τιμή θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθούμε για το φιλτράρισμα και για τη λήψη των παρατηρούμενων δεδομένων σχετικής υγρασίας για κάθε ημέρα και ώρα της προηγούμενης εβδομάδας στη μορφή διδιάστατου πίνακα. Σε αυτήν την περίπτωση ένα παράδειγμα “SPARQL query” που αναφέρεται στο δημαρχείο Σαντ Κουγκάτ για την ίδια εβδομάδα με πριν, έχει την εξής μορφή:

```
SELECT ?HumiditySensorOutput ?HumiditySensorOutput_hasValue
WHERE {
  ?HumiditySensorOutput a <http://optimus-smartcity.eu/ontology-releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#HumiditySensorOutput>. FILTER ((regex(str(?HumiditySensorOutput), 'sant_cugat', 'i'))&&(regex(str(?HumiditySensorOutput), '20151202', 'i'))||
  (regex(str(?HumiditySensorOutput), '20151203', 'i'))||
  (regex(str(?HumiditySensorOutput), '20151204', 'i'))||
  (regex(str(?HumiditySensorOutput), '20151205', 'i'))||
  (regex(str(?HumiditySensorOutput), '20151206', 'i'))||
  (regex(str(?HumiditySensorOutput), '20151207', 'i'))||
  (regex(str(?HumiditySensorOutput), '20151208', 'i'))))
  ?HumiditySensorOutput <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/ssn#hasValue> ?HumiditySensorOutput_hasValue.
}
```

Εικόνα 6.5: Ερώτημα σε “SPARQL” για την υγρασία εσωτερικού χώρου

Ακολουθως, υπολογίζεται η μέση τιμή υγρασίας στο εσωτερικό του πιλοτικού κτιρίου, η οποία θα χρησιμοποιηθεί κατά την αντίστροφη επίλυση της εξίσωσης υπολογισμού του “PMV” για τον προσδιορισμό του προτεινόμενου σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας.

Τη διαδικασία λήψης των δεδομένων εισόδου ολοκληρώνει η άντληση της ανατροφοδότησης των ενοίκων του πιλοτικού κτιρίου, τόσο για την προηγούμενη εβδομάδα όσο και για την εβδομάδα που μας ενδιαφέρει. Αρχικά, υπολογίζονται τα φίλτρα που αναφέρονται στη χρονοσφραγίδα των δεδομένων ανατροφοδότησης της προηγούμενης εβδομάδας με χρήση της μεθόδου “time_filter()”, διαμορφώνεται το ερώτημα σε “SPARQL”, απευθύνεται στο καταληκτικό σημείο με χρήση της μεθόδου “execute_sparql_query()”, ενώ τα αποτελέσματα επιστρέφονται σε μορφή “JSON”. Ένα παράδειγμα σχετικού ερωτήματος που αναφέρεται στο δημαρχείο της πόλης Σαντ

Κουγκάτ της Ισπανίας και στην εβδομάδα 02/12/2015 – 08/12/2015 παρουσιάζεται παρακάτω:

```

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX prf1: <http://www.optimus-smartcity.eu/ontology/>
PREFIX sem: <http://semanticweb.cs.vu.nl/2009/11/sem/>

SELECT ?Tcv_record ?Tcv_record_hasTimeStamp ?Tcv_record_building_type ?Tcv_record_thermal_sensation
WHERE {
    ?Tcv_record a prf1:tcv_record. FILTER ((regex(str(?Tcv_record), 'sant_cugat_town_hall', 'i')))
    ?Tcv_record sem:hasTimeStamp ?Tcv_record_hasTimeStamp. FILTER ((xsd:date(?Tcv_record_hasTimeStamp)>xsd:date('2015-12-02')) && (xsd:date(?Tcv_record_hasTimeStamp)<=xsd:date('2015-12-08'))))
    ?Tcv_record prf1:building_type ?Tcv_record_building_type.
    ?Tcv_record prf1:thermal_sensation ?Tcv_record_thermal_sensation.
}
    
```

Εικόνα 6.6: Ερώτημα σε “SPARQL” για την ανατροφοδότηση των ενοίκων

Αντιστοίχως, δημιουργούμε τις ημερομηνίες της τρέχουσας εβδομάδας με χρήση της μεθόδου “get_week_dates()” και δημιουργούμε το κατάλληλο ερώτημα με χρονικά φίλτρα που αναφέρονται στην εβδομάδα που μας ενδιαφέρει. Τα σχετικά δεδομένα μας επιστρέφονται σε μορφή “JSON”.

Εφόσον πλέον όλα τα δεδομένα εισόδου είναι διαθέσιμα, καλούμε τη μέθοδο “save_data()” η οποία προχωρά στην εφαρμογή του αλγορίθμου και στην αποθήκευση των αποτελεσμάτων του κανόνα επαγωγής στη βάση δεδομένων.

3.2. Μέθοδος “saveData()”

Η μέθοδος “saveData()” είναι αναδρομική προκειμένου να εκτελεστεί ο αλγόριθμος για όλους τους στοιχειώδεις τομείς του πιλοτικού κτιρίου. Επισημαίνεται ότι το βάθος και η μορφή της δενδρικής δομής που σχετίζεται με τη διαμέριση ενός πιλοτικού κτιρίου σε ζώνες είναι διαφορετικά ανά κτίριο. Για καθένα από τα κλειδιά του συσχετιστικού πίνακα των τομέων του κτιρίου καλείται αναδρομικά η ίδια μέθοδος με παράμετρο τον αντίστοιχο υποπίνακα των τομέων. Για καθέναν από τους στοιχειώδεις τομείς όπου εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης αρχίζει η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου ως εξής:

Καλείται η μέθοδος “get_feedback()” για τα δεδομένα ανατροφοδότησης τόσο για την τρέχουσα όσο και για την προηγούμενη εβδομάδα, η οποία επεξεργάζεται το “feedback” των ενοίκων και παράγει τις μέσες τιμές του δείκτη “AMV”, προβαίνει σε ωριαία επέκταση των τιμών πριν και μετά το σημείο υποβολής κατά το τριγωνικό βήμα και, παράλληλα, πραγματοποιεί ένα πρώτο φιλτράρισμα των τιμών ώστε να λαμβάνονται υπόψη μόνο οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου (07:00 – 21:00).

Για το συγκεκριμένο τομέα του κτιρίου δημιουργείται ένα νέο αντικείμενο της κλάσης “PMVCalculator” και καλείται η μέθοδος “get_pmv()” της κλάσης “ServiceAPTCV”, η οποία υπολογίζει το δείκτη “Observed Mean Vote” με βάση τις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας εσωτερικού χώρου που έχουν καταγραφεί κατά την προηγούμενη εβδομάδα από αισθητήρες εγκατεστημένους μέσα στο πιλοτικό κτίριο, και τις προεπιλεγμένες τιμές θερμικής μόνωσης ένδυσης και μεταβολικού ρυθμού.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται περαιτέρω φιλτράρισμα της ωριαίας ανατροφοδότησης των ενοίκων, ώστε να απορρίπτονται ως ανεπαρκείς και αναξιόπιστες οι λιγότερες από τρεις υποβολές στο ερωτηματολόγιο ανά ώρα, και προστίθενται σε έναν πίνακα τα ωριαία σημεία “OMV”-“AMV”. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργούνται εγγραφές που περιέχουν στον άξονα x τη μέση τιμή ανατροφοδότησης των ενοίκων, εφόσον αξιολογείται ως έγκυρη, και στον άξονα ψ την τιμή του “Observed Mean Vote” για την αντίστοιχη ώρα, εφόσον έχει υπολογιστεί.

Στην περίπτωση που ο πίνακας των σημείων δεν είναι άδειος, ο επαγωγικός κανόνας «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» θα είναι σε θέση να δώσει ως έξοδο ένα προτεινόμενο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργείται ένα αντικείμενο της κλάσης “LinearParameters” με παράμετρο τον πίνακα των σημείων, που υπολογίζει τους συντελεστές της βέλτιστης ευθείας γραμμής που αντιπροσωπεύει τη σχέση “OMV” – “AMV”, καθώς και την τιμή του “OMV” που αντιστοιχεί σε μηδενισμό του “AMV”. Έπειτα, για όλες τις θερμοκρασίες στο εύρος [0°C – 50°C], με βήμα ίσο με τη ζητούμενη ακρίβεια που έχει οριστεί, εφαρμόζουμε την εξίσωση υπολογισμού του “PMV” με παραμέτρους την εκάστοτε θερμοκρασία εσωτερικού χώρου, την οποία λαμβάνουμε ίση με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, την προεπιλεγμένη τιμή της ταχύτητας αέρα, τη μέση τιμή της παρατηρούμενης υγρασίας εσωτερικού χώρου και τις προεπιλεγμένες τιμές θερμικής μόνωσης ένδυσης και μεταβολικού ρυθμού. Με αυτόν τον τρόπο, προσπαθούμε να ανιχνεύσουμε εκείνη την τιμή θερμοκρασίας για την οποία ελαχιστοποιείται η απόκλιση του αποτελέσματος από το “OMV” που προέκυψε με χρήση του αντικειμένου της κλάσης “LinearParameters”, διότι αυτό το σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας θα προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια μία ουδέτερη μέση θερμική αίσθηση για τους ενοίκους. Αυτή η θερμοκρασία, που λαμβάνεται με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου, διασφαλίζει αποδεκτά επίπεδα άνεσης για τους χρήστες του συγκεκριμένου τομέα του κτιρίου και αποτελεί την κύρια έξοδο του κανόνα επαγωγής. Αντιθέτως, στην περίπτωση που είναι άδειος ο πίνακας των σημείων, ο κανόνας δεν οδηγεί σε κάποια πρόταση σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας για τον εν λόγω τομέα, οπότε η αντίστοιχη τιμή τίθεται συμβατικά ίση με μηδέν.

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι η αλληλεπίδραση με τη βάση δεδομένων. Ειδικότερα, αναζητούμε στον πίνακα “aprcnoutput” την ύπαρξη εγγραφής βάσει της ημερομηνίας στη μορφή “yyyy-mm-dd 00:00:00”, του αναγνωριστικού του σχεδίου δράσης για το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο και του ονόματος του τομέα. Εάν δεν υπάρχει ήδη το ζητούμενο αντικείμενο της οντότητας “APTCVOutput”, δημιουργούμε ένα νέο αντικείμενο και εκχωρούμε τις κατάλληλες τιμές στα πεδία του. Στη συνέχεια, λαμβάνουμε το αναγνωριστικό του αντικειμένου προκειμένου να το χρησιμοποιήσουμε για αντιστοίχιση με τις 24 ωριαίες εγγραφές ανατροφοδότησης που αναφέρονται στην ίδια ημέρα και τον ίδιο τομέα του συγκεκριμένου πιλοτικού κτιρίου. Για καθεμία από τις 24 ώρες αναζητούμε στον πίνακα “feedbackoutput” της βάσης δεδομένων την ύπαρξη εγγραφής βάσει της ημερομηνίας στη μορφή “yyyy-mm-dd hh:00:00”, του αναγνωριστικού του σχεδίου δράσης για το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο και του αναγνωριστικού του αντίστοιχου αντικειμένου “APTCVOutput”. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει το ζητούμενο αντικείμενο της κλάσης “FeedbackOutput”, το δημιουργούμε και εκχωρούμε τις κατάλληλες τιμές στα πεδία του.

3.3. Μέθοδος “create_date_format()”

Η εν λόγω μέθοδος δέχεται ως όρισμα μία ημερομηνία και μία ώρα και επιστρέφει ένα αντικείμενο της “PHP” κλάσης “DateTime” στη μορφή “yyyy-mm-dd hh:00:00”.

3.4. Μέθοδος “get_feedback()”

Η μέθοδος “get_feedback()” δέχεται ως όρισμα έναν πίνακα σε “JSON” μορφή που αντιστοιχεί στα δεδομένα ανατροφοδότησης χρήστη, τις ημερομηνίες στις οποίες αυτά αναφέρονται, καθώς και το όνομα του τομέα κτιρίου που μας ενδιαφέρει. Το αποτέλεσμα της μεθόδου είναι ένας διδιάστατος πίνακας όπου καταχωρείται σε κάθε ημέρα και ώρα το άθροισμα των τιμών ανατροφοδότησης, καθώς και το πλήθος των αντίστοιχων υποβολών στο ερωτηματολόγιο “TCV”. Παράλληλα, εφαρμόζεται η ωριαία επέκταση της ανατροφοδότησης του χρήστη πριν και μετά τον ακριβή χρόνο υποβολής με μεταβολή του “AMV” κατά 0,5 μονάδες μέχρι να φτάσει το μηδέν, καθώς και ένα πρώτο φιλτράρισμα του “feedback” ώστε να αναφέρεται μόνο στις ώρες λειτουργίας του κτιρίου.

Αρχικά, φιλτράρουμε τα δεδομένα εισόδου ώστε να αναφέρονται μόνο στο συγκεκριμένο τομέα του κτιρίου που εξετάζουμε. Για καθεμία από τις ημερομηνίες που μας ενδιαφέρουν, δημιουργούμε μία αντίστοιχη γραμμή του πίνακα αποτελεσμάτων, καθώς και ένα αντικείμενο της κλάσης “ThermalSensation”. Όπως έχουμε αναφέρει, οι ένοικοι του κτιρίου συμπληρώνουν στο ερωτηματολόγιο “TCV”, εάν αισθάνονται πολύ κρύο, ψύχρα, λίγο ψύχρα, ουδέτερα, λίγο ζέστη, ζέστη ή έντονη ζέστη. Θα δούμε πιο αναλυτικά παρακάτω ότι η κλάση “ThermalSensation” αναλαμβάνει να μεταφράσει αυτή την είσοδο σε αντίστοιχες τιμές -3, -2, -1, 0, 1, 2 και 3.

Για καθεμία από τις 24 ώρες δημιουργούμε αντίστοιχη εγγραφή στον πίνακα αποτελεσμάτων που αναφέρεται στην τιμή της θερμικής αίσθησης και στο πλήθος των υποβολών στο ερωτηματολόγιο. Επιπλέον, κατασκευάζουμε την ημερομηνία στη μορφή “yyyy-mm-ddThh” προκειμένου να προχωρήσουμε σε περαιτέρω φιλτράρισμα των τιμών ανατροφοδότησης των ενοίκων του συγκεκριμένου τομέα. Εάν ένα δεδομένο εισόδου αναφέρεται στη συγκεκριμένη ημέρα και ώρα, τότε χρησιμοποιούμε τις μεθόδους “from_string()” και “get_sensation()” του αντικειμένου “ThermalSensation”, με αποτέλεσμα να λαμβάνουμε την τιμή [-3, 3] που αντιστοιχεί στη θερμική αίσθηση του χρήστη. Εάν, επιπλέον, η συγκεκριμένη ώρα εμπεριέχεται στις ώρες λειτουργίας του κτιρίου (07:00 – 21:00), τότε η αντίστοιχη τιμή ανατροφοδότησης στον πίνακα προσαυξάνεται κατάλληλα και το πλήθος των ωριαίων υποβολών αυξάνεται κατά ένα. Παράλληλα, σε ένα βρόχο μειώνουμε συνεχώς την τιμή της θερμικής αίσθησης κατά το τριγωνικό βήμα μέχρι να μηδενιστεί και προσθέτουμε την αντίστοιχη τιμή στις ανατροφοδοτήσεις των κατάλληλων ωρών εκατέρωθεν του σημείου υποβολής, εφόσον αυτές οι ώρες είναι ώρες λειτουργίας του κτιρίου.

3.5. Μέθοδος “get_pmv()”

Η μέθοδος “get_pmv()” αναλαμβάνει να υπολογίσει για κάθε ημέρα και ώρα της προηγούμενης εβδομάδας την τιμή του δείκτη “Observed Mean Vote” με βάση τα παρατηρούμενα δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας εσωτερικού χώρου, εφόσον υπάρχουν. Πιο συγκεκριμένα, για καθεμία από τις ημέρες εξετάζει σε ένα βρόχο τα αντίστοιχα δεδομένα εισόδου που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες κατά τις ώρες λειτουργίας του πιλοτικού κτιρίου. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει τιμή για την εσωτερική θερμοκρασία ή την υγρασία, η σχετική ωριαία τιμή του δείκτη “OMV” τίθεται

σε “null”. Αντιθέτως, εάν και οι δύο ωριαίες τιμές είναι διαθέσιμες, τότε καλείται η μέθοδος “`pmv()`” με παραμέτρους την παρατηρούμενη ωριαία θερμοκρασία, τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, η οποία τίθεται ίση με την πρώτη, την προεπιλεγμένη τιμή της ταχύτητας του αέρα, την παρατηρούμενη σχετική υγρασία και τις προεπιλεγμένες τιμές θερμικής μόνωσης ένδυσης και μεταβολικού ρυθμού. Όπως θα δούμε πιο αναλυτικά παρακάτω, πρόκειται για μία μέθοδο της κλάσης “`PMVCalculator`” που αναλαμβάνει να υπολογίσει την τιμή του δείκτη “`OMV`”.

3.6. Μέθοδος “`datetime_values()`”

Η συγκεκριμένη μέθοδος δέχεται μία απόκριση της μεθόδου “`execute_sparql_query()`” που σχετίζεται είτε με θερμοκρασία είτε με υγρασία εσωτερικού χώρου και βρίσκεται σε “`JSON`” μορφή. Για καθεμία από τις εγγραφές βρίσκει την πληροφορία σχετικά με την ημέρα και την ώρα και συμπληρώνει την αντίστοιχη γραμμή και στήλη ενός διδιάστατου πίνακα με μία αντιπροσωπευτική ωριαία τιμή. Σημειώνεται ότι επιστρέφεται ο πίνακας αυτός, ο οποίος περιέχει γραμμές και στήλες αποκλειστικά και μόνο για τις ημέρες και ώρες για τις οποίες διατίθενται δεδομένα εισόδου.

3.7. Μέθοδος “`time_filter()`”

Η μέθοδος “`time_filter()`” δημιουργεί το φίλτρο που απαιτείται για τη χρονοσφραγίδα των δεδομένων ανατροφοδότησης των ενοίκων. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργούνται οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης στη μορφή “`yyyy-mm-dd`” και ορίζεται φιλτράρισμα τέτοιο ώστε η χρονοσφραγίδα του δεδομένου να είναι μεγαλύτερη ή ίση της ημερομηνίας έναρξης και μικρότερη ή ίση της ημερομηνίας λήξης.

3.8. Μέθοδος “`get_filters()`”

Η μέθοδος “`get_filters()`” δημιουργεί τα απαιτούμενα φίλτρα για τα “`SPARQL`” ερωτήματα που αναφέρονται στα παρατηρούμενα δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας εσωτερικού χώρου. Η διαφορά με την περίπτωση των δεδομένων ανατροφοδότησης χρήστη είναι ότι τα τελευταία διαθέτουν ξεχωριστό πεδίο για τη χρονοσφραγίδα. Σε αυτήν την περίπτωση, οι πληροφορίες τόσο για το πιλοτικό κτίριο όσο και για την ημερομηνία και ώρα διατίθενται μέσω του “`URI`” του δεδομένου. Έτσι, κατασκευάζουμε ένα φίλτρο που να εξετάζει μέσα στο “`URI`” την ύπαρξη συμβολοσειράς σχετικής με το πιλοτικό κτίριο και με κάποια από τις ημερομηνίες που μας ενδιαφέρουν στη μορφή “`yyyymmdd`”.

3.9. Μέθοδος “`get_week_dates()`”

Η εν λόγω μέθοδος δέχεται μία ημερομηνία έναρξης στη μορφή “`yyyy-mm-dd`” και δημιουργεί όλες τις ημερομηνίες της ίδιας εβδομάδας στη μορφή “`yyyymmdd`”. Αυτή η μορφή είναι χρήσιμη για τα “`SPARQL`” ερωτήματα που αναφέρονται στα δεδομένα εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας.

3.10. Μέθοδος “`execute_sparql_query()`”

Η μέθοδος “`execute_sparql_query()`” είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού χάρη σε αυτήν επιτυγχάνεται η τροφοδότηση του συγκεκριμένου επαγωγικού κανόνα με όλα τα απαραίτητα παρατηρούμενα δεδομένα εισόδου. Δέχεται ως παράμετρο ένα “`query`”, απευθύνει το ερώτημα στο καταληκτικό σημείο που έχει οριστεί, αποκωδικοποιεί και επιστρέφει την απόκριση σε “`JSON`” μορφή.

4. Κλάση “LinearParameters”

Η εν λόγω κλάση περιέχεται στο φάκελο “Servicios\Util\TCV” του πακέτου “Optimus\OptimusBundle” και αναλαμβάνει την εύρεση της βέλτιστης ευθείας γραμμής για την περιγραφή της συσχέτισης των ωριαίων σημείων “OMV”-“AMV”. Ειδικότερα, δέχεται ως είσοδο έναν πίνακα από σημεία (“points”) που περιέχει κλειδιά x και ψ στα οποία τίθενται αριθμητικές τιμές. Ως αποτέλεσμα, υπολογίζει καταρχάς την κλίση της ευθείας (“slope”) και στη συνέχεια την τιμή της τεταγμένης (“intercept”) που αντιστοιχεί σε μηδενισμό της τετημένης. Όλες αυτές οι μεταβλητές είναι προστατευμένα πεδία της κλάσης, οπότε υπάρχουν αντίστοιχες μέθοδοι “getters” (“get_points()”, “get_slope()”, “get_intercept()”) που παρέχουν πρόσβαση σε αυτές. Επιπλέον, κατά τη δημιουργία ενός νέου αντικειμένου της κλάσης “LinearParameters”, δίνεται ως παράμετρος ο πίνακας των σημείων και αυτόματα καλείται η μέθοδος “set_points()”.

Η τελευταία βασίζεται σε έναν αλγόριθμο υπολογισμού του σημείου στο οποίο μία γραμμή τέμνει τον άξονα-x με χρήση υπάρχοντων τιμών-x και τιμών-ψ. Το σημείο τομής βασίζεται στην παλινδρομική γραμμή βέλτιστου ταιριάσματος που σχεδιάζεται διαμέσου των γνωστών τιμών-x και τιμών-ψ. Χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να καθορίσουμε την τιμή μίας εξαρτημένης μεταβλητής όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι μηδέν [57]. Η διαδικασία έχει ως εξής:

- Αρχικά, υπολογίζεται η μέση τιμή-x, έστω \bar{x} , και η μέση τιμή-ψ, έστω $\bar{\psi}$.
- Η τιμή της κλίσης προσδιορίζεται μέσω της σχέσης:
$$slope = \frac{\sum (x - \bar{x})(\psi - \bar{\psi})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$
.
- Τέλος, η ζητούμενη τεταγμένη του σημείου τομής με τον άξονα-x υπολογίζεται από τον τύπο: $intercept = \bar{\psi} - slope \cdot \bar{x}$ [57].

5. Κλάση “PMVCalculator”

Η κλάση “PMVCalculator” εμπεριέχεται στο φάκελο “Servicios\Util\TCV” του πακέτου “Optimus\OptimusBundle”. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος “pmv()” τροφοδοτείται από αρχικές συνθήκες αναφορικά με τις εξής παραμέτρους: θερμοκρασία εσωτερικού χώρου, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, ταχύτητα αέρα, σχετική υγρασία εσωτερικού χώρου, θερμική μόνωση ένδυσης και μεταβολικός ρυθμός, και υπολογίζεται ο δείκτης “PMV”. Ο υπολογισμός αυτός βασίζεται στις σχέσεις (1) – (4) που έχουν αναφερθεί στο υποκεφάλαιο 4.2.1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για τις περιπτώσεις της θερμικής μόνωσης της ένδυσης και του μεταβολικού ρυθμού κάνουμε επίσης μετασχηματισμούς με βάση τις εξής ισοδυναμίες μονάδων: 1 metabolic unit = 1 met = 58,2 W/m² και 1 clothing unit = 1 clo = 0,155 m²*K/W. Τέλος, οι εξισώσεις για το tcl και το hc επιλύονται με χρήση επαναληπτικών μεθόδων όπου επιδιώκουμε απόκλιση μικρότερη από 0.00015.

6. Κλάση “ThermalSensation”

Η εν λόγω κλάση εμπεριέχεται στο φάκελο “Servicios\Util\TCV” του πακέτου “Optimus\OptimusBundle”. Δέχεται μία περιγραφή θερμικής αίσθησης (“Cold”, “Cool”, “Slightly Cool”, “Neutral”, “Slightly Warm”, “Warm”, “Hot”), όπως αυτή προκύπτει άμεσα από μία μεμονωμένη υποβολή χρήστη στο ερωτηματολόγιο “Thermal Comfort Validator”, και επιστρέφει τον αντίστοιχο ακέραιο αριθμό στην κλίμακα [-3, 3].

Πιο συγκεκριμένα, η κλάση διαθέτει ως προστατευμένες μεταβλητές το “sensation”, που λαμβάνει ακέραια τιμή στο εύρος [-3, 3], και το “scale”, που είναι ένας συσχετιστικός πίνακας με κλειδιά τις περιγραφές θερμικής αίσθησης και τιμές τους αντίστοιχους ακέραιους αριθμούς. Επιπλέον, η κλάση διαθέτει μεθόδους “getters” (“get_sensation()”, “get_sensation_term()”) για την προστατευμένη μεταβλητή “sensation”, καθώς και την περιγραφή θερμικής αίσθησης. Όσον αφορά στη μετάφραση του όρου θερμικής αίσθησης στην επιταβάθμια κλίμακα [-3, 3], αυτή πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου “from_string()”, η οποία δέχεται ως είσοδο μία περιγραφή θερμικής αίσθησης και επιστρέφει τον ακέραιο αριθμό που αντιστοιχεί σε αυτό το κλειδί του συσχετιστικού πίνακα “scale”. Τέλος, διατίθεται και η μέθοδος “from_decimal()” της κλάσης η οποία λαμβάνει έναν αριθμό κινητής υποδιαστολής ως είσοδο, τον στρογγυλοποιεί και θέτει την προκύπτουσα ακέραια τιμή στην προστατευμένη μεταβλητή “sensation”.

7. Κλάση “TCVExtension”

Η “PHP” κλάση “TCVExtension” τοποθετείται στο φάκελο “Twig” του πακέτου “Optimus\OptimusBundle” και παρέχει μεθόδους προσπελάσιμες μέσω της “templating” γλώσσας “Twig” στα αρχεία “.html.twig” της όψης. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για μία επέκταση του “Twig” όπου ορίζουμε τα δικά μας φίλτρα, αλλά θα μπορούσαμε δυνητικά να προσδιορίσουμε και ετικέτες, ελέγχους, τελεστές, καθολικές μεταβλητές, συναρτήσεις και επισκέπτες κόμβων [56].

Η δημιουργία μίας επέκτασης επιταχύνει τον κώδικα πραγματοποιώντας έναν καλύτερο διαχωρισμό του κώδικα που εκτελείται κατά το χρόνο μεταγλώττισης και του κώδικα που χρειάζεται κατά το χρόνο εκτέλεσης. Για να διατηρήσουμε την κλάση καθαρή, μπορούμε να επεκτείνουμε την ενσωματωμένη κλάση “Twig_Extension” αντί να υλοποιήσουμε ολόκληρη τη διεπαφή. Με αυτόν τον τρόπο, χρειάζεται απλά να υλοποιήσουμε τη μέθοδο “getName()” καθώς η κλάση “Twig_Extension” παρέχει κενές υλοποιήσεις για όλες τις υπόλοιπες μεθόδους [56]. Εν προκειμένω, η μέθοδος “getName()” της κλάσης επιστρέφει τη συμβολοσειρά “tcv_extension” ως μοναδικό αναγνωριστικό για την επέκτασή μας.

Πιο συγκεκριμένα, όπως θα αναλύσουμε στο υποκεφάλαιο 6.3.2, θέλουμε να εμφανίζουμε τα ωριαία δεδομένα ανατροφοδότησης του χρήστη κατά την υπό εξέταση εβδομάδα με αξιοποίηση χρωματικού κώδικα. Προς αυτήν την κατεύθυνση, αντικαθιστούμε τη μέθοδο “getFilters()” της κλάσης “Twig_Extension” ώστε να προσθέσουμε ένα κατάλληλο φίλτρο στην επέκταση “TCVExtension”. Αυτή η μέθοδος δημιουργεί για το δικό μας φίλτρο ένα αντικείμενο της “PHP” κλάσης “Twig_SimpleFilter”, όπου ορίζουμε το όνομα του φίλτρου καθώς και τη μέθοδο που προσομοιώνει τη λειτουργικότητά του, και επιστρέφει έναν πίνακα φίλτρων που προστίθεται στο περιβάλλον “Twig”.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθορίζουμε το φίλτρο με όνομα “sensation_class”, καθώς και την αντίστοιχη μέθοδο της κλάσης “TCVExtension”. Η εν λόγω μέθοδος δέχεται ως όρισμα μία εγγραφή που αντιστοιχεί στα δεδομένα ανατροφοδότησης χρήστη μίας συγκεκριμένης ημέρας και ώρας. Πρόκειται για έναν συσχετιστικό πίνακα με κλειδιά “value” και “size” και αντίστοιχες τιμές το άθροισμα των μεμονωμένων θερμικών αισθήσεων των ενοίκων, που έχουν μεταφραστεί στην κλίμακα [-3, 3], και το πλήθος των ωριαίων υποβολών στο ερωτηματολόγιο “TCV”. Στη συνέχεια, δημιουργείται ένα νέο αντικείμενο της κλάσης “ThermalSensation” και καλούνται οι μέθοδοι αυτού “from_decimal()” και “get_sensation()”. Η πρώτη καλείται με παράμετρο τη μέση τιμή της

ωριαίας ανατροφοδότησης των ενοίκων, τη στρογγυλοποιεί και έτσι υπολογίζει έναν ακέραιο αριθμό στο εύρος [-3, 3]. Η μέθοδος `get_sensation()` λαμβάνει αυτήν την ακέραια τιμή που αντιστοιχεί σε προσαυτευμένη μεταβλητή του αντικειμένου της κλάσης `ThermalSensation`. Στην περίπτωση που η τιμή που λαμβάνεται είναι αρνητική, αντικαθίσταται το “-” με τη λέξη “minus” και, τέλος, επιστρέφεται μία από τις συμβολοσειρές `thermal-sensation-minus3`, `thermal-sensation-minus2`, `thermal-sensation-minus1`, `thermal-sensation-0`, `thermal-sensation-1`, `thermal-sensation-2`, `thermal-sensation-3`, η οποία αντιστοιχεί στην κλάση που θα αποδώσει το κατάλληλο χρώμα με βάση την ωριαία ανατροφοδότηση του χρήστη.

8. Κλάση `APAdaptiveOutput`

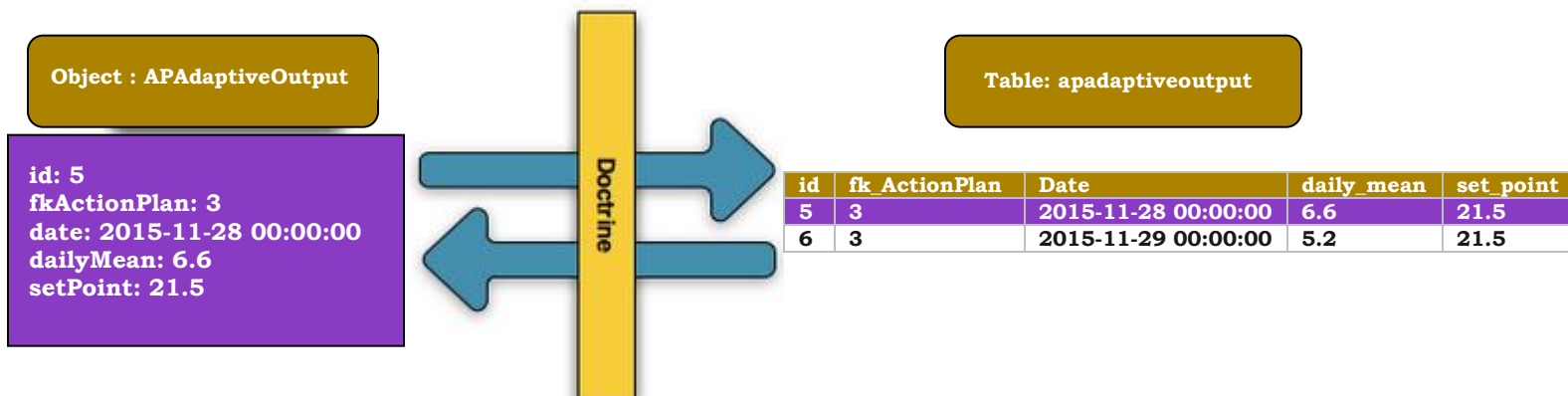
Το `Symfony` δημιουργεί μια σχεσιακή βάση δεδομένων στηριζόμενη αποκλειστικά και μόνο στις κλάσεις των οντοτήτων που έχουν οριστεί μέσα στην εφαρμογή, ταυτίζοντας την έννοια αντικειμένου μίας `PHP` κλάσης με τη «γραμμή» ενός πίνακα σχεσιακής βάσης δεδομένων. Η συγκεκριμένη `PHP` κλάση εμπεριέχεται στο φάκελο `Entity` του πακέτου `Optimus/OptimusBundle` και αντιστοιχίζεται από το `Doctrine` σε έναν πίνακα βάσης δεδομένων (`apadaptiveoutput`). Επιπλέον, μέσω κατάλληλου σχολίου, αντιστοιχίζεται με την κλάση `Optimus\OptimusBundle\Repository\APAdaptiveOutputRepository`. Η οντότητα `APAdaptiveOutput` αναπαριστά τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης», τα οποία διατηρούνται και ανακαλούνται από τη βάση δεδομένων ως ολόκληρα αντικείμενα. Ορίζονται οι ιδιότητες της κλάσης `APAdaptiveOutput`, πληροφορίες απεικόνισης, δηλαδή μεταδεδομένα που ορίζονται απευθείας μέσα στην κλάση με χρήση σχολίων, καθώς και αντίστοιχες μέθοδοι `getters` και `setters`. Πιο συγκεκριμένα, οι ιδιότητες αυτής της οντότητας παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Ιδιότητες	Περιγραφή
id	Πρόκειται για έναν ακέραιο αριθμό, αυτόματα αυξανόμενο, που αποτελεί το αναγνωριστικό του αντικειμένου. Για τη λήψη αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου διατίθεται μέθοδος <code>getId()</code> , ενώ δεν ορίζεται αντίστοιχη μέθοδος <code>setter</code> διότι το αναγνωριστικό παράγεται αυτόματα.
fkactionplan	Πρόκειται για το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης για το οποίο προορίζεται το αντικείμενο. Σημειώνεται ότι, παρότι όλα τα αντικείμενα σχετίζονται με αποτελέσματα του επαγωγικού κανόνα «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης» για το σχέδιο δράσης «Διαχείριση του Σημείου Ρύθμισης Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων», ο ακέραιος αυτός αριθμός είναι διαφορετικός ανάλογα με το πιλοτικό κτίριο στο οποίο απευθύνεται. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι <code>getFkActionPlan()</code> και <code>setFkActionPlan()</code> για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
date	Πρόκειται για ένα αντικείμενο της <code>PHP</code> κλάσης <code>DateTime</code> , που αποτελεί τη χρονοσφραγίδα του αντικειμένου <code>APAdaptiveOutput</code> . Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι <code>getDate()</code> και <code>setDate()</code> για τη

	λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
dailymean	Πρόκειται για έναν αριθμό κινητής υποδιαστολής, που αναπαριστά τη μέση ημερήσια θερμοκρασία εξωτερικού χώρου. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getDailyMean()” και “setDailyMean()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
setpoint	Πρόκειται για έναν αριθμό κινητής υποδιαστολής, που αναπαριστά το ημερήσιο προτεινόμενο σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου σε όλο το κτίριο. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getSetPoint()” και “setSetPoint()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.

Πίνακας 6.3: Ιδιότητες της οντότητας “APAdaptiveOutput”

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται γραφικά ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο αντιστοιχίζεται από το “Doctrine” ένα αντικείμενο της οντότητας “APAdaptiveOutput” σε μία εγγραφή του πίνακα “apadaptiveoutput” της βάσης δεδομένων.



Σχήμα 6.1: Αντιστοίχιση οντότητας “APAdaptiveOutput” σε πίνακα βάσης δεδομένων

9. Κλάση “APAdaptiveOutputRepository”

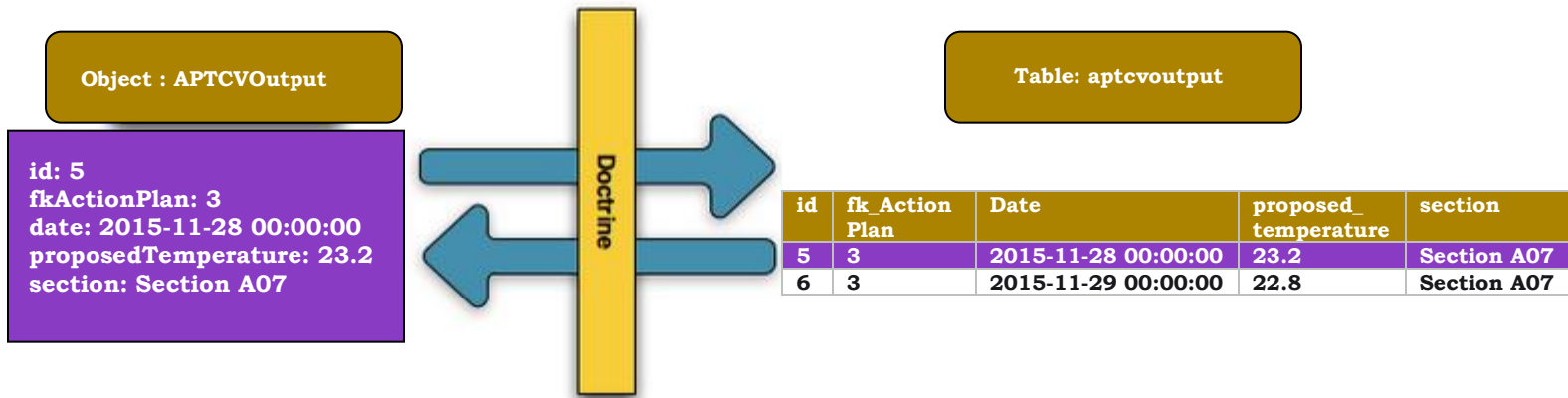
Η εν λόγω κλάση επεκτείνει την κλάση “EntityRepository” και προορίζεται στο να διευκολύνει την αναζήτηση αντικειμένων της κλάσης “APAdaptiveOutput” στη βάση δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει τη μέθοδο “findOutputByDate()” η οποία δέχεται ως ορίσματα μία ημερομηνία στη μορφή “yyyy-mm-dd 00:00:00” και το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης και επιστρέφει το πολύ ένα αντίστοιχο αντικείμενο, το οποίο θα περιέχει τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης» για τη συγκεκριμένη ημερομηνία και το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο. Για να πετύχει αυτή τη σύνθετη αναζήτηση στη βάση δεδομένων, καλεί τη μέθοδο “getDQLOutputDate()”, η οποία δημιουργεί και επιστρέφει το αντίστοιχο ερώτημα σε “Doctrine Query Language (DQL)”.

10. Κλάση “APTCVOutput”

Η κλάση “APTCVOutput” εμπεριέχεται στο φάκελο “Entity” του πακέτου “Optimus/OptimusBundle” και αντιστοιχίζεται από το “Doctrine” σε έναν πίνακα βάσης δεδομένων (“aptcvoutput”). Επιπλέον, μέσω κατάλληλου σχολίου, αντιστοιχίζεται με την κλάση “Optimus\OptimusBundle\Repository\APTCVOutputRepository”. Η οντότητα “APTCVOutput” αναπαριστά τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης», τα οποία διατηρούνται και ανακαλούνται από τη βάση δεδομένων ως ολόκληρα αντικείμενα. Ορίζονται οι ιδιότητες της κλάσης “APTCVOutput”, πληροφορίες απεικόνισης, δηλαδή μεταδεδομένα που ορίζονται απευθείας μέσα στην κλάση με χρήση σχολίων, καθώς και αντίστοιχες μέθοδοι “getters” και “setters”. Πιο συγκεκριμένα, οι ιδιότητες αυτής της οντότητας παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Ιδιότητες	Περιγραφή
id	Πρόκειται για έναν ακέραιο αριθμό, αυτόματα αυξανόμενο, που αποτελεί το αναγνωριστικό του αντικειμένου. Για τη λήψη αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου διατίθεται μέθοδος “getId()”.
fkActionPlan	Πρόκειται για το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης για το οποίο προορίζεται το αντικείμενο. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getFkActionPlan()” και “setFkActionPlan()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
date	Πρόκειται για ένα αντικείμενο της “PHP” κλάσης “DateTime”, που αποτελεί τη χρονοσφραγίδα του αντικειμένου “APTCVOutput”. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getDate()” και “setDate()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
proposedTemperature	Πρόκειται για έναν αριθμό κινητής υποδιαστολής, που αναπαριστά το ημερήσιο προτεινόμενο σημείο ρύθμισης της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου σε ένα συγκεκριμένο τομέα του κτιρίου. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getProposedTemperature()” και “setProposedTemperature()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
section	Πρόκειται για μία συμβολοσειρά με μέγιστο μήκος 255 χαρακτήρων, η οποία αναπαριστά τον τομέα του κτιρίου στον οποίο αναφέρεται η πρόταση του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getSection()” και “setSection()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.

Πίνακας 6.4: Ιδιότητες της οντότητας “APTCVOutput”



Σχήμα 6.2: Αντιστοίχιση οντότητας “APTCVOOutput” σε πίνακα βάσης δεδομένων

11. Κλάση “APTCVOOutputRepository”

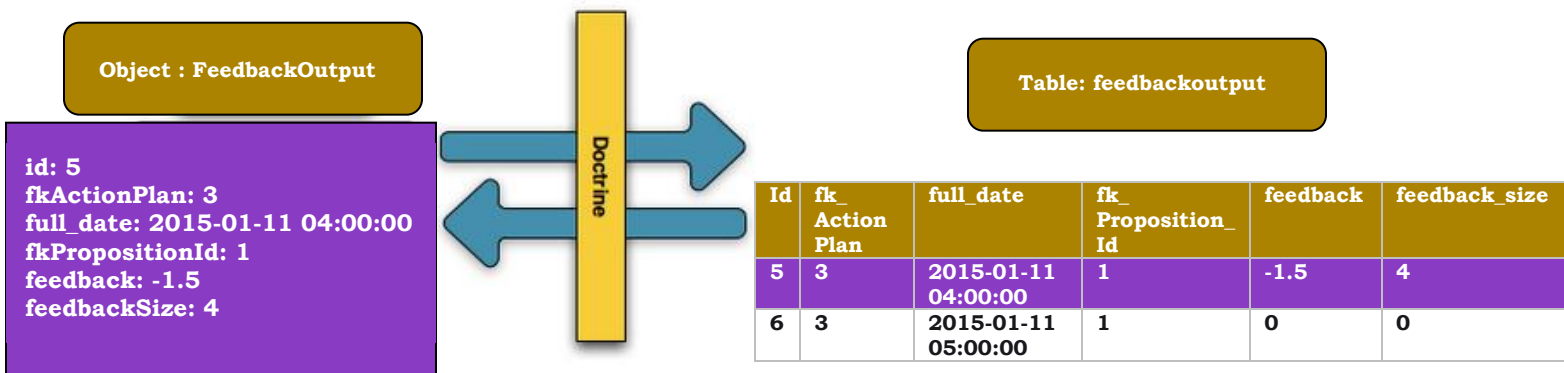
Η “PHP” κλάση “APTCVOOutputRepository” προορίζεται στο να διευκολύνει την αναζήτηση αντικειμένων της κλάσης “APTCVOOutput” στη βάση δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει τη μέθοδο “findOutputByDate()” η οποία δέχεται ως ορίσματα μία ημερομηνία στη μορφή “yyyy-mm-dd 00:00:00”, το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης και το όνομα του τομέα και επιστρέφει το πολύ ένα αντίστοιχο αντικείμενο, το οποίο θα περιέχει τα αποτελέσματα του κανόνα επαγωγής «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» για τη συγκεκριμένη ημερομηνία και τον συγκεκριμένο τομέα του πιλοτικού κτιρίου. Για να πετύχει αυτή τη σύνθετη αναζήτηση στη βάση δεδομένων, καλεί τη μέθοδο “getDQLOutputDate()”, η οποία δημιουργεί και επιστρέφει το αντίστοιχο ερώτημα σε “Doctrine Query Language (DQL)”.

12. Κλάση “FeedbackOutput”

Η κλάση “FeedbackOutput” εμπεριέχεται στο φάκελο “Entity” του πακέτου “Optimus/OptimusBundle” και αντιστοιχίζεται από το “Doctrine” σε έναν πίνακα βάσης δεδομένων (“feedbackoutput”). Επιπλέον, μέσω κατάλληλου σχολίου, αντιστοιχίζεται με την κλάση “Optimus\OptimusBundle\Repository\FeedbackOutputRepository”. Η οντότητα “FeedbackOutput” αναπαριστά δεδομένα σχετικά με την ωριαία ανατροφοδότηση των ενοίκων μέσω του ερωτηματολογίου “TCV”, τα οποία διατηρούνται και ανακαλούνται από τη βάση δεδομένων ως ολόκληρα αντικείμενα. Ορίζονται οι ιδιότητες της κλάσης “FeedbackOutput”, πληροφορίες απεικόνισης, δηλαδή μεταδεδομένα που ορίζονται απευθείας μέσα στην κλάση με χρήση σχολίων, καθώς και αντίστοιχες μέθοδοι “getters” και “setters”. Πιο συγκεκριμένα, οι ιδιότητες αυτής της οντότητας παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Ιδιότητες	Περιγραφή
id	Πρόκειται για έναν ακέραιο αριθμό, αυτόματα αυξανόμενο, που αποτελεί το αναγνωριστικό του αντικειμένου. Για τη λήψη αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου διατίθεται μέθοδος “getId()”, ενώ δεν ορίζεται αντίστοιχη μέθοδος “setter” διότι το αναγνωριστικό παράγεται αυτόματα.
fkActionPlan	Πρόκειται για το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης για το οποίο προορίζεται το αντικείμενο. Σημειώνεται ότι, παρότι όλα τα αντικείμενα σχετίζονται με τα ωριαία δεδομένα ανατροφοδότησης χρήστη που λαμβάνονται στο πλαίσιο του επαγωγικού κανόνα «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» για το σχέδιο δράσης «Διαχείριση του Σημείου Ρύθμισης Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων», ο ακέραιος αυτός αριθμός είναι διαφορετικός ανάλογα με το πιλοτικό κτίριο στο οποίο απευθύνεται. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getFkActionPlan()” και “setFkActionPlan()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
full_date	Πρόκειται για ένα αντικείμενο της “PHP” κλάσης “DateTime”, που αποτελεί τη χρονοσφραγίδα του αντικειμένου “FeedbackOutput”. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getFullDate()” και “setFullDate()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
fkPropositionId	Πρόκειται για το αναγνωριστικό του αντικειμένου “APTCVOutput” με το οποίο σχετίζεται το αντικείμενο “FeedbackOutput”. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getFkPropositionId()” και “setFkPropositionId()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
feedback	Πρόκειται για έναν αριθμό κινητής υποδιαστολής, που αναπαριστά τη μέση ωριαία ανατροφοδότηση των ενοίκων μέσω του ερωτηματολογίου “TCV”. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getFeedback()” και “setFeedback()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.
feedbackSize	Πρόκειται για έναν ακέραιο αριθμό, που αναπαριστά το πλήθος των ανατροφοδότησεων χρήστη κατά τη διάρκεια της αντίστοιχης ώρας. Διατίθενται αντίστοιχες μέθοδοι “getFeedbackSize()” και “setFeedbackSize()” για τη λήψη και τον ορισμό αυτής της πληροφορίας του αντικειμένου.

Πίνακας 6.5: Ιδιότητες της οντότητας “FeedbackOutput”



Σχήμα 6.3: Αντιστοίχιση οντότητας “FeedbackOutput” σε πίνακα βάσης δεδομένων

13. Κλάση “FeedbackOutputRepository”

Η κλάση “FeedbackOutputRepository” διευκολύνει την αναζήτηση αντικειμένων της κλάσης “FeedbackOutput” στη βάση δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει τη μέθοδο “findOutputByFullDate()” η οποία δέχεται ως ορίσματα μία ημερομηνία στη μορφή “yyyy-mm-dd hh:00:00”, το αναγνωριστικό του σχεδίου δράσης και το αναγνωριστικό του αντίστοιχου αντικειμένου της κλάσης “APTCVOutput”, και επιστρέφει το πολύ ένα αντίστοιχο αντικείμενο, το οποίο θα περιέχει τα αποτελέσματα ωριαίας ανατροφοδότησης των ενοίκων για τη συγκεκριμένη ημερομηνία και τον συγκεκριμένο τομέα του πιλοτικού κτιρίου. Για να πετύχει αυτή τη σύνθετη αναζήτηση στη βάση δεδομένων, καλεί τη μέθοδο “getDQLOutputDate()”, η οποία δημιουργεί και επιστρέφει το αντίστοιχο ερώτημα σε “Doctrine Query Language (DQL)”.

6.3.2 Περιγραφή Υλοποίησης της Όψης του Σχεδίου Δράσης

Όπως έχει αναφερθεί ήδη στο υποκεφάλαιο 6.3.1, η βασική μέθοδος του ελεγκτή που σχετίζεται με το σχέδιο δράσης «Διαχείριση του Σημείου Ρύθμισης Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων», κάνει “render()” το “template” της όψης. Παράλληλα, του παρέχει έναν συσχετιστικό πίνακα ο οποίος περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που θα προβληθούν στην οθόνη. Στο παρόν υποκεφάλαιο θα εξετάσουμε την υλοποίηση της όψης στο “template” αρχείο “Optimus\OptimusBundle\Resources\views\Set_point_tempActionPlan\setpoint_plan.html.twig”.

Αρχικά, υιοθετείται η μορφή του βασικού “template” που βρίσκεται στο αρχείο “Optimus\OptimusBundle\Resources\views\Layouts\layout.html.twig”. Σε αυτό επεκτείνεται το “template” αρχείο “base.html.twig” και ορίζεται ένα μπλοκ διαμόρφωσης του “HTML” περιεχομένου όλων των σελίδων της εφαρμογής. Μέσα σε έναν “container” του “Bootstrap” δημιουργείται η κεφαλίδα, η οποία εμφανίζει το μήνυμα “OPTIMUS DSS” - <πιλοτική πόλη> στα δεξιά και με κλικ επιτρέπει την ανακατεύθυνση στην κατάλληλη σελίδα (δίνοντας το αντίστοιχο μονοπάτι που ορίζεται στο αρχείο “Optimus\OptimusBundle\Resources\config\routing.yml”). Επιπλέον, αν ο χρήστης έχει ταυτοποιηθεί από το σύστημα, περιλαμβάνεται μέσα στην κεφαλίδα και το

“template” αρχείο “Login\logged.html.twig”, οπότε εμφανίζεται στα αριστερά της κεφαλίδας η ταυτότητα του συνδεδεμένου χρήστη και ένα κουμπί αποσύνδεσης. Στη συνέχεια, δημιουργείται το κύριο σώμα της σελίδας που είναι διαφορετικό ανά περίπτωση αλλά αποτελείται πάντοτε από τα επίμερους μπλοκ “javascripsts” και “content”. Τέλος, δημιουργείται και το υποσέλιδο που προστίθεται σε κάθε οθόνη της εφαρμογής.

Συνεχίζοντας τώρα με το “template” αρχείο του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης, προσδιορίζονται τα εξής μπλοκ:

1. Μπλοκ “**stylesheets**”

Σε αυτό το μπλοκ δημιουργούνται οι συνδέσεις με τα απαραίτητα αρχεία διαμόρφωσης περιεχομένου σε “CSS”, τα οποία παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Αρχεία	Χρησιμότητα
“ui-lightness/jquery-ui-1.10.3.mine.css”	Πρόκειται για το “CSS” αρχείο που ορίζει, μεταξύ άλλων, όλες τις απαραίτητες κλάσεις και τα αναγνωριστικά που χρησιμοποιούνται σε ένα ημερολόγιο επιλογής εβδομάδας. Πιο συγκεκριμένα, μέσω του ημερολογίου δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει γραφικά την προβολή των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράση για κάποια εβδομάδα διαφορετική από την τρέχουσα (προγενέστερη ή και μεταγενέστερη).
“set_point.css”	Πρόκειται για το “CSS” αρχείο όπου προσδιορίζουμε τις κλάσεις και τα αναγνωριστικά που χρησιμεύουν στη διαμόρφωση περιεχομένου του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης. Για παράδειγμα, ορίζουμε τα χρώματα φόντου για τις κλάσεις “thermal-sensation-minus3”, “thermal-sensation-minus2”, “thermal-sensation-minus1”, “thermal-sensation-0”, “thermal-sensation-1”, “thermal-sensation-2”, “thermal-sensation-3”, χάρη στις οποίες επιτυγχάνεται η προβολή της μέσης ωριαίας θερμικής αίσθησης του χρήστη με χρήση χρωματικού κώδικα. Επιπρόσθετα, υπεργράφονται ορισμένες από τις κλάσεις που έχουν οριστεί για τη συνολική εφαρμογή και ορισμένες προεπιλεγμένες ρυθμίσεις των κλάσεων και των αναγνωριστικών του ημερολογίου επιλογής εβδομάδας.

Πίνακας 6.6: Αρχεία διαμόρφωσης περιεχομένου σε “CSS”

Σημειώνουμε ότι το μονοπάτι που αναφέρεται για τα “CSS” αρχεία στον προηγούμενο πίνακα είναι σχετικό προς τον φάκελο “web\bundles\optimus\css” της εφαρμογής “Symfony”. Στον ίδιο φάκελο εμπεριέχονται όλα εκείνα τα αρχεία που προσδίδουν γενικές κλάσεις για τη διαμόρφωση του περιεχομένου των σελίδων, όπως είναι το “CSS” αρχείο της βιβλιοθήκης “Bootstrap”.

2. Μπλοκ “javascripts”

Στο εν λόγω μπλοκ δημιουργούνται οι συνδέσεις με τα απαραίτητα αρχεία σε γλώσσα προγραμματισμού “JavaScript”, τα οποία προσφέρουν ένα μέρος της δυναμικής συμπεριφοράς της σελίδας και παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Αρχεία	Χρησιμότητα
“jquery-1.11.1.min.js”	Πρόκειται για την έκδοση 1.11.1 της βιβλιοθήκης “jQuery” της γλώσσας προγραμματισμού “JavaScript”.
“jquery-ui-1.10.3.custom.min.js”	Πρόκειται για ένα αρχείο σε “jQuery”, το οποίο θεωρείται προαπαιτούμενο για τη λειτουργία του ημερολογίου επιλογής εβδομάδας.
“jquery.weekpicker.js”	Στο συγκεκριμένο αρχείο ορίζουμε τις ειδικές λειτουργίες που επιθυμούμε να διαθέτει το ημερολόγιο επιλογής εβδομάδας. Μεταξύ άλλων, ορίζεται η συνάρτηση “selectCurrentWeek()”, η οποία εντοπίζει την ημερομηνία στην οποία έκανε κλικ ο χρήστης και, θεωρώντας την αντίστοιχη ημερομηνία ως έναρξη της εβδομάδας, προσπελαύνει τις επόμενες μέρες της επιλεγμένης εβδομάδας και προσθέτει στα κατάλληλα “HTML” στοιχεία την κλάση “ui-state-active”. Επιπλέον, όταν ο χρήστης περνάει το ποντίκι πάνω από μία ημερομηνία προστίθεται η κλάση “ui-state-hover” στα “HTML” στοιχεία της αντίστοιχης εβδομάδας, η οποία αφαιρείται αμέσως μόλις απομακρυνθεί η εστίαση του ποντικιού. Αναφέρεται, επίσης, ότι κάθε φορά το “HTML” στοιχείο της τρέχουσας ημερομηνίας διαθέτει την κλάση “ui-state-highlight”. Η πλοήγηση στο ημερολόγιο για την προβολή των ημερομηνιών διαφορετικών μηνών γίνεται δυνατή με βελάκια. Συνεπώς, παρέχονται όλες οι λειτουργίες που καθιστούν ευχάριστη την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτό.

Πίνακας 6.7: Αρχεία σε γλώσσα προγραμματισμού “JavaScript”

Σημειώνουμε ότι το μονοπάτι που αναφέρεται για τα αρχεία “Javascript” στον προηγούμενο πίνακα είναι σχετικό προς τον φάκελο “web\bundles\optimus\js” της εφαρμογής “Symfony”. Στον ίδιο φάκελο εμπεριέχεται, μεταξύ άλλων, και η βιβλιοθήκη “jQuery” που συνοδεύει το “Bootstrap”.

3. Μπλοκ “content”

Το συγκεκριμένο μπλοκ είναι εξαιρετικά σημαντικό, διότι σε αυτό ορίζεται το περιεχόμενο και η συμπεριφορά της σελίδας που σχετίζεται αποκλειστικά με το σχέδιο δράσης «Διαχείριση του Σημείου Ρύθμισης Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων».

Ειδικότερα, στα αριστερά της σελίδας γίνεται “render()” η μέθοδος “descriptionAction()” του ελεγκτή “BuildingController”, η οποία αναζητά από τη βάση δεδομένων στοιχεία για το πιλοτικό κτίριο στο οποίο απευθύνεται το σχέδιο δράσης και καλεί το “template” αρχείο “Optimus\OptimusBundle\Resources\views\Building\description.html.twig”. Το τελευταίο εμφανίζει σε ένα πλαίσιο εικόνες σχετικές με το κτίριο, καθώς και στατικά (ενεργειακά και μη) δεδομένα του κτιρίου.

Στο δεξιό μέρος της οθόνης εμφανίζεται μία μπάρα η οποία αναφέρει υπογραμμισμένα τα ονόματα της πιλοτικής πόλης και του συγκεκριμένου κτιρίου και μη υπογραμμισμένο το όνομα του σχεδίου δράσης. Εάν κάνουμε αριστερό κλικ σε κάποιο από τα υπογραμμισμένα ονόματα, τότε θα γίνει ανακατεύθυνση στην κατάλληλη σελίδα (δίνοντας το αντίστοιχο μονοπάτι που ορίζεται στο αρχείο “Optimus\OptimusBundle\Resources\config\routing.yml”).

Αμέσως πιο κάτω ορίζουμε ένα πλαίσιο όπου δίνεται το όνομα του εν λόγω σχεδίου δράσης, μία πιο αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του, καθώς και η ημερομηνία τελευταίου υπολογισμού των αποτελεσμάτων του. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αντίστοιχα δεδομένα του σχεδίου δράσης δεν είναι στατικά, αλλά αντλούνται από τον ελεγκτή κατά τον χρόνο εκτέλεσης. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε, για παράδειγμα, να μεταβάλλουμε την περιγραφή του σχεδίου δράσης απλά τροποποιώντας την αντίστοιχη εγγραφή στη βάση δεδομένων. Στην επόμενη γραμμή του πλαισίου ορίζουμε το εύρος ημερομηνιών για το οποίο έχουν υπολογιστεί τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης. Επίσης, επιτρέπουμε στο χρήστη να κάνει κλικ σε ένα κουμπί “+” και να του εμφανιστεί το ημερολόγιο επιλογής εβδομάδας. Εάν, επιπλέον, κάνει κλικ στο κουμπί “View” τότε θα επαναφορτωθεί η σελίδα με τα αποτελέσματα του σχεδίου δράσης για την εβδομάδα που μας ενδιαφέρει. Αυτές οι δυναμικές λειτουργίες, όπως θα δουμε παρακάτω, προσδιορίζονται στον κώδικα “Javascript” που είναι εμφωλευμένος στο συγκεκριμένο μπλοκ.

Στη συνέχεια της σελίδας παρατίθεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων. Η πρώτη στήλη του πίνακα περιέχει γενικά τη δενδρική δομή της διαμέρισης του συνολικού κτιρίου σε ζώνες και υποζώνες, ενώ οι υπόλοιπες στήλες παρουσιάζουν τα προτεινόμενα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας για καθεμία από τις ημέρες της εβδομάδας και μόνο για τους στοιχειώδεις τομείς στους οποίους εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης.

Προκειμένου να εμφανιστούν όλοι οι τομείς του πιλοτικού κτιρίου με τη σειρά που επιβάλλεται από την ιεραρχική τους δομή, αλλά παράλληλα να λαμβάνουν ιδιαίτερη μεταχείριση οι τομείς στους οποίους εφαρμόζεται το σχέδιο δράσης, ελέγχονται τα κλειδιά των συσχετιστικών πινάκων “building_sections” και “partitions”. Οι τελικές προτάσεις του

σχεδίου δράσης προβάλλονται μόνο για τους τομείς που εμπεριέχονται στα κλειδιά και των δύο συσχετιστικών πινάκων.

Όταν ο χρήστης περνάει το ποντίκι πάνω από έναν τέτοιο τομέα, τότε γίνεται πράσινο το χρώμα του αντίστοιχου κελιού. Εάν, επιπλέον, κάνει αριστερό κλικ πάνω στο όνομα κάποιου συγκεκριμένου στοιχειώδους τομέα, τότε το όνομά του τονίζεται ακόμα περισσότερο και, παράλληλα, στη θέση των τελικών προτάσεων του σχεδίου δράσης ανά ημέρα, εμφανίζεται ένας πιο αναλυτικός πίνακας, όπου παρουσιάζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η λειτουργία του σχεδίου δράσης για τον συγκεκριμένο τομέα. Εκτός από τα ημερήσια προτεινόμενα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας, εμφανίζονται και οι αντίστοιχες προβλεπόμενες μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου, το όνομα του κανόνα επαγωγής του οποίου η πρόταση επικράτησε για λόγους ελαχιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και οι ημερήσιες προτάσεις θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ανά επαγωγικό κανόνα.

Ειδικότερα, για τον κανόνα «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κάνει κλικ στην επιλογή “View more infos...” προκειμένου να δει τα ωριαία δεδομένα ανατροφοδότησης μέσω του ερωτηματολογίου αναφορικά με τη μέση θερμική αίσθηση των ενοίκων. Σε αυτήν την περίπτωση, στη θέση του “View more infos...” εμφανίζεται ένα υπόμνημα χρωματικού κώδικα που αντιστοιχίζει αποχρώσεις του μπλε (ψυχρό χρώμα) στις θερμικές αισθήσεις “Cold”, “Cool” και “Slightly Cool”, του πράσινου στις θερμικές αισθήσεις “Neutral” και “Slightly Warm” και τέλος του κόκκινου (θερμό χρώμα) στις θερμικές αισθήσεις “Warm” και “Hot”. Ακολουθεί ένας πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται με χρώματα τα ωριαία δυναμικά δεδομένα της τρέχουσας εβδομάδας που αντιστοιχούν σε επαρκή ανάδραση χρήστη. Προς αυτή την κατεύθυνση, αξιοποιείται το φίλτρο “sensation_class” που προσθέσαμε στο “Twig” μέσω της επέκτασης “TCVExtension” και επιλέγεται η κατάλληλη κλάση ανά κελί. Παράλληλα, οι ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου επισημαίνονται με γκρι χρώμα και, προφανώς, δεν εμφανίζονται αντίστοιχα ωριαία δεδομένα. Τέλος, εμφανίζεται και η επιλογή “View less infos...” για να εξαφανιστούν οι επιπρόσθετες πληροφορίες του επαγωγικού κανόνα “TCV”.

Στο τέλος του συνολικού πίνακα των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράσης δίνεται στον ενεργειακό διαχειριστή η δυνατότητα να επιβεβαιώσει την εφαρμογή των προβαλλόμενων ημερήσιων προτάσεων μέσω κατάλληλων “radio-buttons”.

Θα ήταν παράλειψη να μην αναφέρουμε ότι στη συνολική διαδικασία γίνεται εκτεταμένη χρήση των εντολών `{% for ... %}` και `{% if ... %}` και των φίλτρων της “templating” γλώσσας “Twig”. Πιο συγκεκριμένα, γίνονται, μεταξύ άλλων, συνεχείς έλεγχοι:

- Για το εάν η εκάστοτε ημέρα της εβδομάδας είναι εργάσιμη (όλα τα επιμέρους αποτελέσματα του σχεδίου δράσης προβάλλονται μόνο για τις ημέρες λειτουργίας του δημοτικού κτιρίου).
- Για το εάν τόσο το συνολικό σχέδιο δράσης όσο και καθένας από τους επιμέρους κανόνες επαγωγής, έχει οδηγήσει σε πρόταση ρύθμισης θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου για την εκάστοτε ημέρα. Η περίπτωση όπου το συνολικό σχέδιο δράσης δεν μπορεί να δώσει προτεινόμενες θερμοκρασίες εμφανίζεται, για παράδειγμα, αν ο χρήστης επιλέξει να δει τα αποτελέσματα μίας μεταγενέστερης εβδομάδας για την οποία δεν είναι διαθέσιμα τα αναγκαία δεδομένα εισόδου. Επιπλέον, το φαινόμενο της απουσίας πρότασης είναι αρκετά συχνό στην περίπτωση του επαγωγικού κανόνα

“TCV”, διότι η επιτυχής εφαρμογή του προϋποθέτει την ύπαρξη παρατηρούμενων δεδομένων θερμοκρασίας, υγρασίας εσωτερικού χώρου, καθώς και την αξιόπιστη ανατροφοδότηση χρήση (όχι λιγότερες από τρεις υποβολές στο ερωτηματολόγιο) τουλάχιστον κατά τη διάρκεια μίας ώρας της προηγούμενης εβδομάδας. Αν δεν προκύπτει πρόταση σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας για τον συγκεκριμένο κανόνα επαγωγής, τότε τα αντίστοιχα κελιά του πίνακα των αποτελεσμάτων είναι κενά και με κόκκινο (αντί για πράσινο) φόντο.

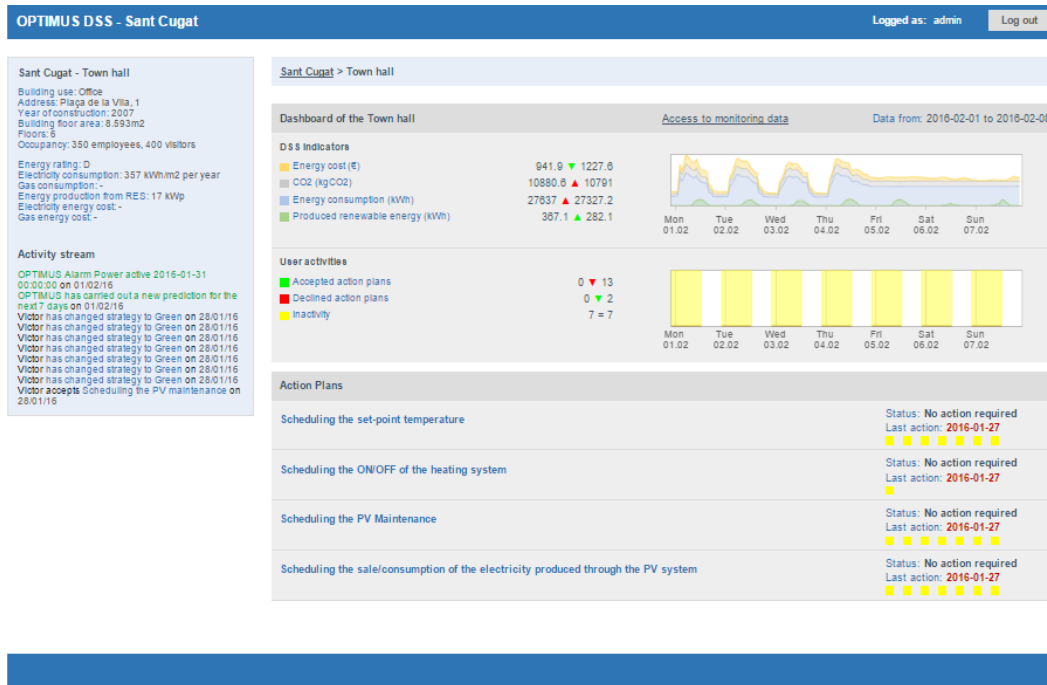
- Για το εάν έχει επιλεγεί από το χρήστη μία προγενέστερη εβδομάδα. Σε αυτήν την περίπτωση, και μόνο για τις παρελθοντικές ημέρες, εμφανίζονται γκριζαρισμένα τα κελιά του πίνακα που σχετίζονται με τη δυνατότητα του ενεργειακού διαχειριστή να επιβεβαιώσει την εφαρμογή της αντίστοιχης ημερήσιας πρότασης του σχεδίου δράσης.

Τέλος, στο εσωτερικό του μπλοκ εμφωλεύεται και κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού “Javascript”, που κάνει χρήση της βιβλιοθήκης “jQuery”. Χάρη σε αυτόν τον κώδικα:

- Επιτρέπεται στο χρήστη, κάνοντας αριστερό κλικ στο όνομα ενός στοιχειώδους τομέα του κτιρίου, να επιλέξει την προβολή πληροφοριών μεγαλύτερης ακρίβειας για το συγκεκριμένο τομέα. Εάν ξανακάνει κλικ στο ίδιο όνομα τομέα, τότε θα εμφανιστούν πάλι μόνο οι τελικές προτάσεις του σχεδίου δράσης για αυτόν. Επιπλέον, κάθε φορά προβάλλονται πιο αναλυτικές πληροφορίες μόνο για τον τομέα που επιλέχθηκε τελευταίος από το χρήστη.
- Εάν ο χρήστης έχει επιλέξει έναν τομέα και κάνει κλικ στην επιλογή “View more infos...” του επαγωγικού κανόνα “TCV” τότε θα αλλάξει το περιεχόμενο της σελίδας ώστε να προβληθούν τα ωριαία δεδομένα ανατροφοδότησης των ενοίκων. Αντιστοίχως, με κλικ στην επιλογή “View less infos...” θα εξαφανιστούν οι σχετικές πληροφορίες.
- Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την εμφάνιση ή την εξαφάνιση με “slide” του ημερολογίου επιλογής εβδομάδας κάνοντας κλικ στο κουμπί “+”.
- Τέλος, κάθε φορά που ο χρήστης πατάει το κουμπί “View”, εκτελείται μία συνάρτηση η οποία λαμβάνει την ημερομηνία έναρξης που έχει επιλεγεί γραφικά μέσω του ημερολογίου και επιβάλλει τη φόρτωση της ίδιας σελίδας με την κατάλληλη παράμετρο “start_date” στο “URL”. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπεται η προβολή των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράσης για εβδομάδες διαφορετικές της τρέχουσας.

6.4 Στιγμιότυπα και Καθοδήγηση Πλοήγησης

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν στιγμιότυπα (“screenshots”) απευθείας από το εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού, μαζί με μία ανάλυση αυτών για την καλύτερη κατανόηση από τον αναγνώστη.



Εικόνα 6.7: Οθόνη προβολής σχεδίων δράσης για το Δημαρχείο στην πόλη Σαντ Κουγκάτ στην Ισπανία

Αρχικά, παρουσιάζεται η οθόνη μέσω της οποίας έχει πρόσβαση ο τελικός χρήστης στα προτεινόμενα σχέδια δράσης που εφαρμόζονται σε ένα συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο- εν προκειμένω στο δημαρχείο της πόλης Σαντ Κουγκάτ στην Ισπανία. Εάν ο χρήστης κάνει αριστερό κλικ στο σύνδεσμο “Scheduling the set-point temperature” τότε ανακατευθύνεται στην αρχική οθόνη που αφορά στο σχέδιο δράσης ρύθμισης της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Αυτό που συμβαίνει πρακτικά είναι ότι έχει αντιστοιχιστεί εσωτερικά στο “Symfony” αυτός ο σύνδεσμος με το συγκεκριμένο μονοπάτι “URL” που οδηγεί στην εκτέλεση του “SetPointPlanController”.

Στη βασική οθόνη του σχεδίου δράσης προβάλλονται, κατά κανόνα σε οριζόντια μίας εβδομάδας από την τρέχουσα ημέρα για όλες τις ζώνες/τους τομείς του κτιρίου, τα βασικά αποτελέσματα που είναι τα ημερήσια σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας που προτείνονται προς τον ενεργειακό διαχειριστή. Επισημαίνεται ότι αυτές οι προβαλλόμενες προτάσεις, αν και υπολογίζονται εσωτερικά κανονικά για κάθε ημέρα με βάση τον αλγόριθμο, αφορούν μόνο στις εργάσιμες ημέρες, δηλαδή στις ημέρες λειτουργίας των δημοτικών κτιρίων. Επιπλέον, παρουσιάζονται στο αριστερό μέρος της οθόνης και ορισμένα γενικότερα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πιλοτικού κτιρίου (φωτογραφία, χάρτης, χρήση του κτιρίου, διεύθυνση, έτος κατασκευής, επιφάνεια, αριθμός ορόφων και ενοίκων), καθώς και κάποια ειδικότερα ενεργειακά σχετιζόμενα στοιχεία (ενεργειακή

κατάταξη κτιρίου, παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ηλεκτρική ισχύς, συνολική ενεργειακή κατανάλωση και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα). Τέλος, κάτω από όλους τους τομείς του κτιρίου δίνεται η δυνατότητα στον ενεργειακό διαχειριστή να δώσει τη δική του ανατροφοδότηση για το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων μέσω της ενότητας “Please confirm the action plan”. Ειδικότερα, επιλέγει ανά ημέρα ένα “radio-button” ανάλογα με το αν έχει αποδεχτεί την πρόταση του σχεδίου δράσης (“Accepted”), αν την έχει απορρίψει (“Declined”, ή αν δεν έχει να δώσει κάποια πληροφορία σχετικά με την πραγματοποίηση της προτεινόμενης δράσης (“Unknown”).

Σημειώνουμε ότι στην τελική έκδοση της υλοποίησης της διεπαφής έχουν γίνει αρκετές αλλαγές στη διαμόρφωση της οθόνης σε σύγκριση με τα “Mock Ups” που είχαμε προδιαγράψει, κυρίως για λόγους προσαρμογής της μορφής του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης σε αυτήν των υπόλοιπων σχεδίων δράσης του έργου “OPTIMUS”. Για παράδειγμα, αντί για την ιεραρχική δομή των ζωνών του κτιρίου που είχαμε προτείνει, υλοποιήσαμε μία σταθερή δομή πίνακα. Το πλεονέκτημα αυτής της μορφής είναι ότι, αντί να παρουσιάζεται κάθε φορά το σύνολο των πληροφοριών μόνο για τον επιλεγμένο τομέα του κτιρίου, μπορούμε να προβάλλουμε πάντοτε στην οθόνη τις κύριες εξόδους του σχεδίου δράσης για όλους τους τομείς σε ορίζοντα μίας εβδομάδας και απλά μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε μία συγκεκριμένη ζώνη κτιρίου ώστε να έχουμε πρόσβαση στα περισσότερα δεδομένα που είναι διαθέσιμα για αυτήν, όπως είναι κάποια δεδομένα προβλεπόμενα, πραγματικού χρόνου, καθώς και οι προτάσεις των επιμέρους κανόνων επαγωγής.

Στο στιγμιότυπο που ακολουθεί έχουμε επιλέξει γραφικά μέσω ενός ημερολογίου μία προγενέστερη ημερομηνία και έχουμε πατήσει το κουμπί “View” για την προβολή των αποτελεσμάτων του σχεδίου δράσης κατά την εβδομάδα 2/12/2015 – 8/12/2015. Σημειώνουμε ότι σε αυτήν την περίπτωση όπου προβάλλονται προτάσεις του σχεδίου δράσης ενώ έχει παρέλθει η ημερομηνία στην οποία αναφέρονται, οι αντίστοιχες επιλογές αποδοχής, απόρριψης ή αδιαφορίας του σχεδίου από τον ενεργειακό διαχειριστή παρουσιάζονται γκριζαρισμένες, δηλαδή ανενεργές.

OPTIMUS DSS - Sant Cugat

Sant Cugat > Zones 1002 > Set point Management

Action Plan: Set point management
Description: Schedule the set point temperature based on the Adaptive Comfort Concept and the TCV requirements
Last forecast generated: 15/12/2014 8:05

Date: 2015-12-02 / 2015-12-08

Partitions	Date	Wed 10-12	Thu 11-12	Fri 12-12	Sat 13-12	Sun 14-12	Mon 15-12	Tue 16-12
Building								
Floor 2								
Section A 07	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section A 08	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section B 07	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section B 08	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section C 07	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section C 08	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Floor 3								
Section A 09	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section A 10	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section B 09	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section B 10	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section C 09	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section C 10	Set point suggestion	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5

Please confirm the action plan:

Unknown Unknown Unknown Unknown Unknown Unknown Unknown

Accepted Accepted Accepted Accepted Accepted Accepted Accepted

Declined Declined Declined Declined Declined Declined Declined

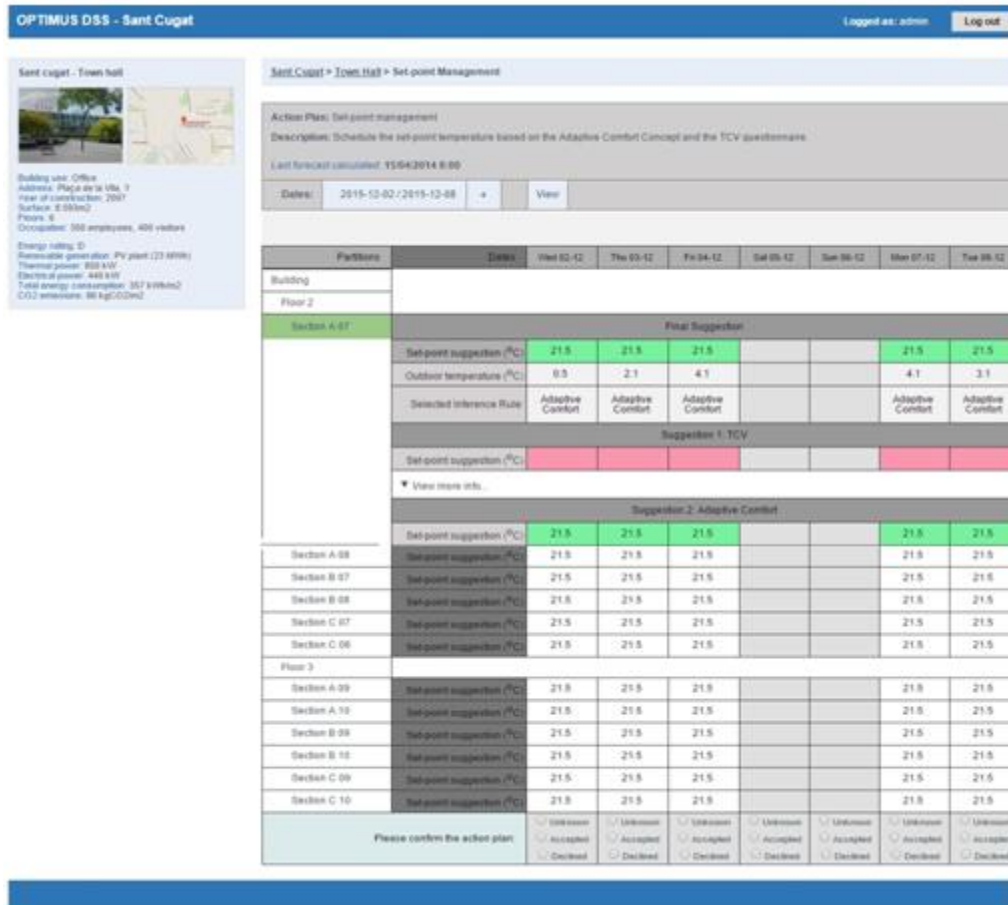
Accept/ Decline

Εικόνα 6.8: Βασική οθόνη σχεδίου δράσης

Σημειώνουμε επίσης ότι προκειμένου να γίνει διαθέσιμη στο χρήστη η δυνατότητα επιλογής μίας προγενέστερης (ή και μεταγενέστερης) ημερομηνίας, θα χρειαστεί να πατήσει το κουμπί “+”, οπότε και θα κυλίσει προς τα κάτω το γραφικό στοιχείο του ημερολογίου, όπως επισημαίνεται στην παραπάνω εικόνα μέσα στο κόκκινο πλαίσιο.

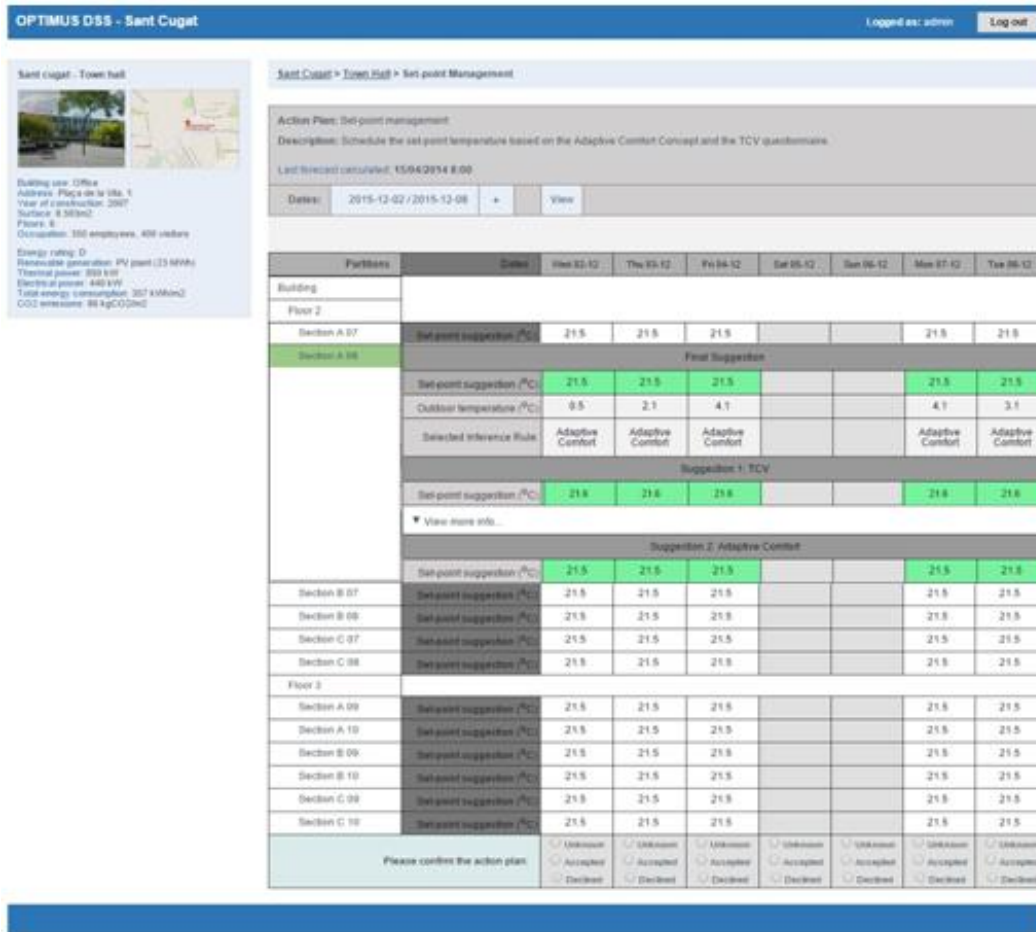
Επιπρόσθετα, εάν ο χρήστης πατήσει την κεφαλίδα “OPTIMUS DSS – Sant Cugat” στην μπλε μπάρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος της οθόνης, τότε θα ανακατευθυνθεί σε μία πιο γενική οθόνη που σχετίζεται με τις επιλογές πλοήγησης του χρήστη σε περιβάλλοντα τελικού χρήστη ή διαχειριστή για το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο. Αντιστοίχως, εάν ο χρήστης κάνει αριστερό κλικ πάνω στην υπογραμμισμένη λέξη “Sant Cugat”, τότε θα οδηγηθεί σε μία οθόνη τελικού χρήστη όπου δίνονται πληροφορίες ενεργειακής φύσεως σχετικά με τα δύο πιλοτικά κτίρια (δημαρχείο και θέατρο) που βρίσκονται στην πόλη Σαντ Κουγκάτ της Ισπανίας. Οι αντίστοιχες οθόνες δεν παρατίθενται στον παρόντα τόμο διότι υλοποιήθηκαν εκτός του πλαισίου της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Στην περίπτωση που ο χρήστης κάνει κλικ πάνω στην υπογραμμισμένη λέξη “Town Hall”, τότε θα ανακατευθυνθεί στη σελίδα που απεικονίζεται στο πρώτο στιγμιότυπο. Τέλος,

επισημαίνεται ότι έχει προηγηθεί κάποια διαδικασία ταυτοποίησης του χρήστη ώστε να είναι δυνατή η είσοδος του στο σύστημα. Έτσι, στην προηγούμενη οθόνη πάνω δεξιά στην μπλε μπάρα δίνεται στο συνδεδεμένο χρήστη πληροφορία σχετικά με την ταυτότητά του, καθώς και η δυνατότητα αποσύνδεσης από το λογαριασμό του.



Εικόνα 6.9: Επιλογή συγκεκριμένου τομέα κτιρίου (ανεπαρκής ανατροφοδότηση ενοίκων)

Όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω στιγμιότυπο, πέρα από τις τελικές ημερήσιες προτάσεις του σχεδίου δράσης ανά τομέα του κτιρίου, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να κάνει αριστερό κλικ πάνω σε μία συγκεκριμένη ζώνη ώστε να αποκτήσει μεγαλύτερη εποπτεία σχετικά με τα επιμέρους αποτελέσματα των κανόνων επαγωγής και τον τρόπο ενσωμάτωσής τους που δίνει τις τελικές ημερήσιες προτάσεις ρύθμισης θερμοκρασίας. Με αριστερό κλικ πάνω στον ίδιο τομέα θα εξαφανιστούν οι επιπλέον πληροφορίες και θα επιστρέψουμε στο στιγμιότυπο της βασικής οθόνης του σχεδίου δράσης. Επιπλέον, κάθε φορά προβάλλονται περισσότερες πληροφορίες μόνο για έναν τομέα, δηλαδή για τον τελευταίο που επιλέχθηκε. Επισημαίνεται ότι στην προηγούμενη εικόνα όπου έχουμε επιλέξει τον τομέα “Section A07” η ανατροφοδότηση των ενοίκων δεν ήταν επαρκής ώστε να οδηγήσει σε πρόταση σημείου ρύθμισης εσωτερικής θερμοκρασίας με χρήση του επαγωγικού κανόνα “TCV”.



Εικόνα 6.10: Επιλογή συγκεκριμένου τομέα κτιρίου (επαρκής ανατροφοδότηση ενοίκων)


Αντιθέτως, στο παραπάνω στιγμιότυπο επιλέξαμε τον τομέα “Section A08” (οπότε εξαφανίζονται οι πιο αναλυτικές πληροφορίες για το “Section A07”) για τον οποίο, όπως βλέπουμε, υπήρχε αρκετό “feedback” θερμικής άνεσης από τους χρήστες ώστε να έχουμε αποτελέσματα και στους δύο κανόνες επαγωγής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, από τα δύο εκάστοτε ημερήσια προτεινόμενα σημεία ρύθμισης «επικρατεί» η πρόταση που αντιστοιχεί στη μικρότερη απόκλιση από την προβλεπόμενη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου (εν προκειμένω τυχαίνει ο κανόνας που στηρίζεται στην προσαρμοστική αντίληψη άνεσης να δίνει για κάθε εργάσιμη ημέρα πιο ενεργειακώς αποδοτική πρόταση).

Τέλος, στο στιγμιότυπο που ακολουθεί προβάλλεται και η δυνατότητα που δίνεται στο χρήστη να επιλέξει να δει τα δεδομένα πραγματικού χρόνου που αφορούν στην ανατροφοδότηση των ενοίκων του συγκεκριμένου τομέα του πιλοτικού κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε κάνει αριστερό κλικ στο βέλος που συνοδεύει την επιλογή “View more info...” στον κανόνα επαγωγής “TCV”, οπότε εξαφανίζεται η αντίστοιχη επιλογή και εμφανίζεται ένας πίνακας όπου παρουσιάζεται ανά ώρα το “feedback” των χρηστών. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι η εν λόγω πληροφορία φιλτράρεται ώστε να αφορά μόνο τις ημέρες και ώρες λειτουργίας του δημοτικού κτιρίου (παρουσιάζονται γκριζαρισμένες οι ώρες 0:00-6:00 και 22:00-23:00, καθώς και όλες οι ώρες το σαββατοκύριακο). Για την προβολή της συγκεκριμένης πληροφορίας έχουμε επιλέξει τη χρήση χρωματικού κώδικα που αντιστοιχεί στη μέση θερμική αντίληψη των ενοίκων όπως προκύπτει από το ερωτηματολόγιο “Thermal Comfort Validator”. Επιπλέον, κάτω από τον συγκεκριμένο πίνακα δίνεται και η επιλογή “View less info...”. Εάν κάνουμε κλικ στο αντίστροφο βέλος, τότε εξαφανίζεται αυτή η πληροφορία και επιστρέφουμε στο προηγούμενο στιγμιότυπο της οθόνης.

Σημειώνουμε σε αυτό το σημείο ότι στα “Mock Ups” είχαμε προδιαγράψει ότι θα μπορούν επίσης να προβάλλονται στους χρήστες τα δεδομένα πραγματικού χρόνου αναφορικά με τη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου και τη σχετική υγρασία με βάση αισθητήρες στο κομμάτι του “TCV”, καθώς και τα προβλεπόμενα δεδομένα θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου στο κομμάτι του “Adaptive Comfort”. Ωστόσο, στην πορεία αποφασίσαμε, ύστερα και από συζητήσεις με τους εταίρους, ότι είναι υπερβολική και όχι τόσο χρήσιμη η παρουσίαση των σχετικών πληροφοριών και ότι θα κάνει κάπως πιο δυσάρεστη την εμπειρία του χρήστη στην αλληλεπίδρασή του με τη διεπιφάνεια.

OPTIMUS DSS - Sant Cugat
Logged as: admin [Log out](#)

Sant cugat - Town hall



Building use: Office
 Address: Plaça de la Vila, 1
 Year of construction: 2007
 Surface: 8.593m²
 Floors: 6
 Occupation: 350 employees, 400 visitors
 Energy rating: D
 Renewable generation: PV plant (23 MWh)
 Thermal power: 850 kW
 Electrical power: 440 kW
 Total energy consumption: 357 kWh/m²
 CO2 emissions: 86 kgCO₂/m²

Sant Cugat > Town Hall > Set-point Management

Action Plan: Set-point management
 Description: Schedule the set-point temperature based on the Adaptive Comfort Concept and the TCV questionnaire.
 Last forecast calculated: 15/04/2014 8:00

Dates: 2015-12-02 / 2015-12-08 + View

Partitions	Dates	Wed 02-12	Thu 03-12	Fri 04-12	Sat 05-12	Sun 06-12	Mon 07-12	Tue 08-12
Building								
Floor 2								
Section A 07	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section A 08								
	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
	Outdoor temperature (°C)	0.5	2.1	4.1			4.1	3.1
	Selected Inference Rule:	Adaptive Comfort	Adaptive Comfort	Adaptive Comfort			Adaptive Comfort	Adaptive Comfort
Section 1: TCV								
	Set-point suggestion (°C)	21.6	21.6	21.6			21.6	21.6
Feedback from users								
Index: ■ Cold ■ Cool ■ Slightly Cool ■ Neutral ■ Slightly Warm ■ Warm ■ Hot								
	Date	Wed 02-12	Thu 03-12	Fri 04-12	Sat 05-12	Sun 06-12	Mon 07-12	Tue 08-12
0:00								
1:00								
2:00								
3:00								
4:00								
5:00								
6:00								
7:00								
8:00								
9:00								
10:00								
11:00								
12:00								
13:00								
14:00								
15:00								
16:00								
17:00								
18:00								
19:00								
20:00								
21:00								
22:00								
23:00								
▲ View less info...								
Section 2: Adaptive Comfort								
	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section C 08	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Floor 3								
Section A 09	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section A 10	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section B 09	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section B 10	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section C 09	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Section C 10	Set-point suggestion (°C)	21.5	21.5	21.5			21.5	21.5
Please confirm the action plan:		<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown
		<input type="radio"/> Accepted	<input type="radio"/> Accepted	<input type="radio"/> Accepted	<input type="radio"/> Accepted	<input type="radio"/> Accepted	<input type="radio"/> Accepted	<input type="radio"/> Accepted
		<input type="radio"/> Declined	<input type="radio"/> Declined	<input type="radio"/> Declined	<input type="radio"/> Declined	<input type="radio"/> Declined	<input type="radio"/> Declined	<input type="radio"/> Declined

Εικόνα 6.11: Οθόνη προβολής ανατροφοδότησης χρήστη

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Προοπτικές

Το παρόν κεφάλαιο θα αποτελέσει μία σύνοψη της συνολικής εργασίας, όπου θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα στα οποία αυτή κατέληξε και οι πιθανές προεκτάσεις που προέκυψαν κατά το στάδιο ανάπτυξης του εργαλείου.

7.1 Συμπεράσματα

Μετά από τη γενικότερη μελέτη του τομέα είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε πως η δημιουργία μίας «έξυπνης» πόλης είναι θέμα ανθρώπινων ικανοτήτων, θεσμών και ψηφιακών υπηρεσιών στο πεδίο της μάθησης, γνώσης, και καινοτομίας. Η ψηφιακή υποδομή στην οποία επενδύουν πολλές πόλεις είναι προϋπόθεση για την παροχή υπηρεσιών, αλλά δεν είναι απαραίτητο κάθε πόλη να κατασκευάσει το δικό της καλωδιακό ή ασύρματο δίκτυο. Πάνω στην καλωδιακή ή ασύρματη υποδομή τρέχουν οι ψηφιακές υπηρεσίες διαχείρισης γνώσεων. Αυτές συγκροτούν τον πυρήνα της συλλογικής «ευφυΐας» της πόλης. Εντέλει η «ευφυΐα» μιας πόλης βρίσκεται στην ολοκλήρωση τριών επιπέδων: των ικανοτήτων του πληθυσμού, των θεσμών συνεργασίας, και των ψηφιακών υπηρεσιών διαχείρισης γνώσεων και καινοτομίας. Εδώ τοποθετούνται και οι προκλήσεις σχεδιασμού «έξυπνων» πόλεων: στις μεθόδους και τεχνικές διασύνδεσης της ανθρώπινης, συλλογικής, και τεχνητής ευφυΐας που διαθέτει μια κοινότητα, με στόχο τη δημιουργικότητα και καινοτομία.

Ταυτόχρονα, έχει γίνει πλέον κατανοητό πως η παρούσα ενεργειακή κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτεί την άμεση λήψη μέτρων όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Οι διαχειριστές των δημοτικών κτιρίων, ανεξάρτητα από τη χρήση αισθητήρων για τη συλλογή πληροφοριών, έχουν μόνο μία ασαφή ιδέα για το πόση ενέργεια χρησιμοποιείται για διαφορετικούς σκοπούς και το πόση διαφορά θα έκανε η αλλαγή συμπεριφοράς μέρα με τη μέρα ή η επένδυση σε μέτρα εξοικονόμησης. Γίνεται, συνεπώς, κατανοητή η ανάγκη της υποστήριξής τους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων από μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα προηγμένων τεχνολογιών της πληροφορίας και της επικοινωνίας, που θα ενσωματώσει σημασιολογικά διάφορους τύπους ανοικτών δεδομένων από διαφορετικές πηγές για τη δημιουργία υπηρεσιών ενεργειακής βελτιστοποίησης.

Στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου “OPTIMUS” αναπτύσσεται ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων το οποίο δέχεται ως είσοδο τόσο παρατηρούμενα όσο και στατικά δεδομένα σε επίπεδο δημοτικού κτιρίου και προτείνει βραχυπρόθεσμες στρατηγικές στους ενεργειακούς διαχειριστές προς την κατεύθυνση της αποδοτικότερης διαχείρισης ενέργειας και της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα εισόδου τροφοδοτούν τις μονάδες προ-επεξεργασίας του συστήματος, καθώς και μονάδες πρόβλεψης, οι έξοδοι των οποίων γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας από τους κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων που παράγουν τις προτάσεις των βιώσιμων ενεργειακών σχεδίων δράσης. Οι προτεινόμενες δράσεις ενεργειακής εξοικονόμησης, που είναι η κύρια έξοδος του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, προβάλλονται στους κτιριακούς διαχειριστές μέσα από ένα “front-end” περιβάλλον σε ορίζοντα μίας εβδομάδας.

Όσον αφορά στα δυναμικά δεδομένα πρόγνωσης καιρού, αποκεντρωμένων μονάδων στο κτίριο, μέσων κοινωνικής δικτύωσης, κόστους ενέργειας και παραγωγής ενέργειας, που προέρχονται από τις αντίστοιχες πέντε μονάδες καταγραφής δεδομένων, απαιτείται μία κατάλληλη σημασιολογική ενοποίηση προκειμένου να είναι δυνατή η αξιοποίησή τους για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης. Στο πλαίσιο της εν λόγω διπλωματικής

εργασίας, έγινε συλλογή όλων των δεδομένων πραγματικού χρόνου από διεπισημονικές πηγές ανά πιλοτικό κτίριο, προκειμένου να ευρεθεί για κάθε ροή δεδομένων ο καταλληλότερος τρόπος επεξεργασίας και ωριαίας συνάθροισης, με βάση τη μορφή, τη συχνότητα των μετρήσεων και το είδος του δεδομένου. Αυτή η διαδικασία κρίνεται απαραίτητη τόσο για την επικύρωση της ορθότητας των ενεργειακών μοντέλων όσο και για την εύρυθμη λειτουργία του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.

Επιπλέον, δεδομένου ότι μία από τις κυριότερες αιτίες ενεργειακής σπατάλης σε δημοτικά κτίρια σχετίζεται με τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης, ο κύριος στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας συνίσταται στην υλοποίηση ενός σχεδίου δράσης που θα υποστηρίξει τις τοπικές αρχές στη λήψη βραχυπρόθεσμων αποφάσεων αναφορικά με τη ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε δημοτικά κτίρια. Κατά την ανάπτυξη του συγκεκριμένου εργαλείου ενεργειακής εξοικονόμησης, πρωταρχικός παράγοντας ήταν η εξασφάλιση αποδεκτών επιπέδων θερμικής άνεσης για τους ενοίκους. Έχει διαπιστωθεί από σχετικές έρευνες και τεχνικά πρότυπα ότι, παρόλο που μία απλή στατική θερμοκρασία μπορεί να είναι ικανοποιητική, είναι αποδεκτό ένα μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος που μπορεί να αξιοποιηθεί προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Συγκεκριμένα, αξιοποιήσαμε τα δύο πλέον αναγνωρισμένα μοντέλα θερμικής άνεσης για την ανάπτυξη των επιμέρους επαγωγικών κανόνων του σχεδίου δράσης: «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» και «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης».

Ειδικότερα, ο πρώτος κανόνας επαγωγής βασίζεται στο στατικό μοντέλο “PMV”, σύμφωνα με το οποίο υπολογίζεται ο δείκτης θερμικής άνεσης “Predicted Mean Vote” με χρήση του μεταβολικού ρυθμού, της μόνωσης ρουχισμού, της θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της ταχύτητας του αέρα και της σχετικής υγρασίας, ενώ ζητείται και από τους ενοίκους να βαθμολογήσουν τη θερμική τους αίσθηση σε μία 7-βάθμια κλίμακα. Η ιδανική τιμή είναι το μηδέν, που αντιπροσωπεύει τη θερμική ουδετερότητα, και η ζώνη άνεσης καθορίζεται από τους συνδυασμούς των έξι παραμέτρων για τους οποίους το “PMV” είναι εντός των συνιστώμενων ορίων ($-0,5 < PMV < +0,5$). Προκειμένου να λαμβάνεται ανατροφοδότηση από τους ενοίκους για το βαθμό ικανοποίησης που τους παρέχει το θερμικό περιβάλλον, έχει αναπτυχθεί η διαδικτυακή εφαρμογή “TCV”, μέσω της οποίας η ανατροφοδότηση χρήστη ανακτάται σε πραγματικό χρόνο και εκτιμάται το θερμικό αίσθημα των χρηστών ανά ώρα, το οποίο μεταφράζεται σε τιμές του δείκτη “Actual Mean Vote”.

Από την άλλη πλευρά, ο δεύτερος επαγωγικός κανόνας βασίζεται στο προσαρμοστικό μοντέλο θερμικής άνεσης, δηλαδή στην ιδέα ότι η θερμοκρασία εξωτερικού χώρου έχει άμεση επίδραση στην άνεση εσωτερικού χώρου σε φυσικά κλιματιζόμενους χώρους, διότι οι ένοικοι είναι ενεργά υποκείμενα που προσαρμόζουν το ρουχισμό τους στις αναμενόμενες συνθήκες. Η μεταβλητή εισόδου είναι η επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία, δηλαδή ο σταθμισμένος μέσος όρος των μέσων ημερήσιων εξωτερικών θερμοκρασιών για τις προηγούμενες 7 ημέρες, όπου αποδίδεται αυξημένη βαρύτητα στις πιο πρόσφατες θερμοκρασίες.

Οι δύο κανόνες επαγωγής τροφοδοτούνται από δυναμικά δεδομένα, όπως είναι η ανατροφοδότηση των ενοίκων και δεδομένα από αισθητήρες εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας, από τις προβλεπόμενες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου, καθώς και από στατικά δεδομένα για το πιλοτικό κτίριο, όπως η διαμέρισή του σε ζώνες, και παράγουν ημερήσια προτεινόμενα σημεία ρύθμισης θερμοκρασίας. Το σχέδιο δράσης

«Διαχείριση του Σημείου Ρύθμισης Θερμοκρασίας σε Εσωτερικούς Χώρους Κτιρίων» τελικά προτείνει εκείνο το ημερήσιο σημείο ρύθμισης που είναι πλησιέστερο προς την προβλεπόμενη θερμοκρασία εξωτερικού χώρου της αντίστοιχης ημέρας, προκειμένου να εγγυάται την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση.

Η συνολική διαδικασία του σχεδίου δράσης δημοσιεύεται ως διαδικτυακή υπηρεσία και ενσωματώνεται στην εφαρμογή “Symfony” που υλοποιεί τον πυρήνα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Κάθε βράδυ εκτελούνται ασύγχρονα οι “PHP” κλάσεις των υπηρεσιών των δύο επιμέρους κανόνων επαγωγής, οι οποίες συγκεντρώνουν τα δεδομένα εισόδου τους από μοντέλα πρόβλεψης ή δυναμικά μέσω ερωτημάτων σε “SPARQL”, εκτελούν τους απαιτούμενους υπολογισμούς και αποθηκεύουν τα αποτελέσματα για κάθε ημέρα σε ορίζοντα μίας εβδομάδας ανά τομέα του κάθε πιλοτικού κτιρίου σε κατάλληλους πίνακες βάσης δεδομένων, ενώ σε πραγματικό χρόνο ο ελεγκτής ανακτά τα αποτελέσματα από τη βάση δεδομένων και τα προβάλλει στην οθόνη. Όσον αφορά στην αλληλεπίδραση με τον χρήστη, ο ενεργειακός διαχειριστής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει, για κάποιον τομέα του κτιρίου, την προβολή των αποτελεσμάτων των επιμέρους κανόνων επαγωγής, καθώς και των δεδομένων ανατροφοδότησης χρήστη μέσω του ερωτηματολογίου “TCV”. Επιπλέον, μπορεί να επιλέξει μία διαφορετική εβδομάδα για την προβολή των προτεινόμενων δράσεων γραφικά μέσω ενός ημερολογίου, όπως και να δώσει τη δική του ανάδραση προς το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων μέσω της αδιαφορίας, έγκρισης ή απόρριψης των ημερήσιων προτάσεων του σχεδίου δράσης για το συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα μίας φάσης ουσιαστικής πιλοτικής εφαρμογής του εν λόγω εργαλείου στα πιλοτικά κτίρια του έργου “OPTIMUS”, διαπιστώνουμε ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων υπερσχύει η πρόταση του κανόνα επαγωγής «Προσαρμοστική Αντίληψη της Άνεσης». Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα προσαρμοστικά μοντέλα θερμικής άνεσης επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία κατά τη διαχείριση του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας φυσικά αεριζόμενων κτιρίων που έχουν μεγαλύτερη ποικιλία εσωτερικών συνθηκών. Σε αντίθεση με την παθητική στάση της μεθόδου “PMV” που αντιμετωπίζει όλους τους ενοίκους με τον ίδιο τρόπο και αγνοεί την τοποθεσία και την προσαρμογή στο θερμικό περιβάλλον, το προσαρμοστικό μοντέλο βασίζεται στην ιδέα ότι οι ένοικοι αλληλεπιδρούν δυναμικά με το περιβάλλον τους, με αποτέλεσμα να είναι ανεκτικοί σε ένα ευρύτερο φάσμα θερμοκρασιών. Δεδομένου ότι οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν το θερμικό περιβάλλον τους, μέσω της ένδυσης ή με ανοιγόμενα παράθυρα, τα κτίρια μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια και να δημιουργήσουν περισσότερο ικανοποιημένους ενοίκους. Ωστόσο, το μοντέλο “PMV” είναι απαραίτητο για την πληρότητα του σχεδίου δράσης, καθώς το προσαρμοστικό μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί γενικά μόνο σε κτίρια όπου δεν έχουν εγκατασταθεί μηχανικά συστήματα.

Τέλος, η ανάπτυξη του συγκεκριμένου σχεδίου δράσης, καθώς και του συνολικού Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, υποστηρίζει τη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για τη διεξαγωγή προηγμένης έρευνας πάνω στο θέμα της υιοθέτησης Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας για βιώσιμη και «έξυπνη» ανάπτυξη και ποιότητα ζωής.

7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Θα ήταν παράλειψη να κλείσουμε χωρίς να αναφέρουμε πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Καταρχάς, θα μπορούσε να προστεθεί μία επιπλέον λειτουργικότητα στον κανόνα επαγωγής «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης». Πιο συγκεκριμένα, εάν καταγράφεται ένας μεγάλος αριθμός μη αποδεκτών ανατροφοδοτήσεων των ενοίκων, τότε το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων θα μπορούσε να προτείνει έναν έλεγχο συντήρησης. Τα πρότυπα θερμικής άνεσης έχουν αναπτυχθεί ώστε να διασφαλίζουν ότι η πλειοψηφία των ενοίκων του κτιρίου βρίσκεται εντός των επιπέδων άνεσης, ανεξάρτητα από την ηλικία, το φύλο τους, την κινητικότητά τους, κλπ. Ως εκ τούτου, εάν παρατηρείται ότι οι χρήστες συστηματικά αισθάνονται δυσφορία, ακόμα και εάν η τιμή του δείκτη “Observed Mean Vote” είναι εντός αποδεκτών επιπέδων, αυτό θα μπορούσε να αποκαλύπτει πιθανή αναγκαιότητα συντήρησης, υποδηλώνοντας την ύπαρξη ενός από τα ακόλουθα προβλήματα:

- Αποτυχία του συστήματος παρακολούθησης – των αισθητήρων.
- Ανάγκη για συντήρηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης/εξαερισμού (“HVAC”).
- Θερμικές απώλειες μέσω του συστήματος διανομής ή του κελύφους του κτιρίου.

Οι παραπάνω λόγοι θα πρέπει να προσαρμόζονται σύμφωνα με το προφίλ και τα υπάρχοντα συστήματα του υπό εξέταση κτιρίου.

Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να γίνει μία επέκταση των δυνατοτήτων που προσφέρει ο ήδη υπάρχων επαγωγικός κανόνας, ώστε να λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό του δείκτη “OMV” και τα μεμονωμένα δεδομένα που υποβάλλονται μέσω του ερωτηματολογίου από τους ενοίκους αναφορικά με το ρουχισμό και το μεταβολικό ρυθμό τους. Τα αντίστοιχα πεδία του “Thermal Comfort Validator” έχουμε επιλέξει να συμπληρώνονται προαιρετικά από τους χρήστες, ωστόσο είναι απαραίτητο να αξιοποιούνται οι όποιες πληροφορίες. Στο μέχρι τώρα μοντέλο, οι μέσες τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων χρήστη θεωρούνται ως σταθερές και αντιστοιχούν σε ένδυση άνεσης με βάση την εποχή του χρόνου και καθιστική δραστηριότητα.

Πιο συγκεκριμένα, για καθένα από τα “tick boxes” ένδυσης που περιλαμβάνονται στο ερωτηματολόγιο, θα αντιστοιχίζονται εκτιμήσεις της παρεχόμενης θερμικής μόνωσης σε μονάδες ένδυσης (“clo”), με βάση το Διεθνές Πρότυπο “ISO 7730:2005”, και στη συνέχεια θα αθροίζονται οι επιμέρους συνεισφορές των επιλογών στη θερμική μόνωση του χρήστη. Αντιστοίχως, για καθένα από τα “radio boxes” δραστηριότητας θα αντιστοιχίζονται εκτιμήσεις μεταβολικού ρυθμού (“met”), σύμφωνα με το “EN ISO 7730:2005”. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να αξιολογήσουμε το επίπεδο ένδυσης και τον μεταβολικό ρυθμό ενός χρήστη κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης ώρας που αυτός αποφάσισε να δώσει ανατροφοδότηση στο Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων. Στην εξίσωση υπολογισμού “OMV” θα χρησιμοποιήσουμε τις μέσες ωριαίες τιμές λαμβάνοντας υπόψη τις μεμονωμένες υποβολές όλων των χρηστών ανά τομέα κτιρίου. Εάν δεν έχουμε λάβει τις σχετικές πληροφορίες κατά τη διάρκεια μίας ώρας λειτουργίας του πιλοτικού κτιρίου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προβλεπόμενες τιμές, είτε τις αντίστοιχες τιμές της προηγούμενης ώρας είτε τις τιμές της ίδιας ώρας κατά την προηγούμενη ημέρα, ενώ ως έσχατη λύση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι προεπιλεγμένες τιμές.

Επιπλέον, θα μπορούσε να εφαρμοστεί περαιτέρω φιλτράρισμα στην ανατροφοδότηση χρήστη που λαμβάνεται υπόψη στον ωριαίο υπολογισμό του δείκτη “AMV”. Ειδικότερα, μετά από τον αποκλεισμό των τιμών “AMV” για τις ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου, καθώς και αυτών που θεωρούνται ανακριβείς εξαιτίας ανεπαρκούς ανατροφοδότησης χρήστη, θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε στον έλεγχο του σεναρίου εξαπάτησης του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων από τους χρήστες. Για παράδειγμα, εάν η πλειοψηφία αισθάνεται πολλή ζέση και ένας μεμονωμένος χρήστης υποστηρίζει ότι το περιβάλλον είναι υπερβολικά ψυχρό, τότε ο συγκεκριμένος χρήστης πιθανότατα ψεύδεται ή δεν έχει προσαρμόσει την ένδυσή του σωστά, οπότε η ανατροφοδότηση που παρέχει θεωρείται μειωμένης εγκυρότητας και θα πρέπει να αγνοείται, διαφορετικά θα μπορούσε να αλλάξει τις προτάσεις του σχεδίου δράσης. Σε αυτήν την περίπτωση, θα μπορούσαμε να υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση (σ) των ωριαίων τιμών θερμικής αίσθησης και να απορρίπτουμε αυτές που βρίσκονται εκτός του εύρους $AMV \pm \sigma$, ή εναλλακτικά να αποδίδουμε σε αυτές ένα μικρό συντελεστή βαρύτητας. Στη συνέχεια, θα υπολογίζουμε εκ νέου τις ωριαίες τιμές του “AMV”, που θα είναι οι τελικές φιλτραρισμένες τιμές θερμικής αίσθησης για τις ώρες λειτουργίας ανά τομέα του πιλοτικού κτιρίου.

Μία ακόμα δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης του επαγωγικού κανόνα «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» σχετίζεται με την αξιοποίηση της πληροφορίας που παρέχεται υποχρεωτικά από τους χρήστες μέσω του ερωτηματολογίου αναφορικά με το είδος της επιθυμητής μεταβολής του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας, για λόγους επιβεβαίωσης του αποτελέσματος του σχεδίου δράσης. Συγκεκριμένα, θα μπορούσαμε να αναθέτουμε τις τιμές +1, 0, -1 αντιστοίχως στις επιλογές «Υψηλότερα», «Καμία Αλλαγή», «Χαμηλότερα» και να υπολογίζουμε την εβδομαδιαία μέση τιμή αυτής της ανατροφοδότησης χρήστη, ενδεχομένως με απόρριψη της μεμονωμένης πληροφορίας που διαφέρει τελείως από το μέσο όρο. Εάν η μέση τιμή που υπολογίζεται στο τέλος είναι θετική, τότε θεωρητικά θα έπρεπε να προταθεί αυξημένο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας για την επόμενη εβδομάδα, εάν είναι μηδενική θα αναμένεται καμία -ή ανεπαίσθητη- αλλαγή, ενώ αν είναι αρνητική θα αναμένεται ένα μειωμένο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας. Οποιαδήποτε διαφορά μεταξύ της θεωρητικώς αναμενόμενης τιμής και της αλλαγής της εσωτερικής θερμοκρασίας που τελικά προτείνεται από το σχέδιο δράσης, θα υποδηλώνει ένα μεμονωμένο γεγονός αποτυχίας του μοντέλου. Σε αυτήν την περίπτωση, θα αυξάνεται ένας δείκτης αποτυχίας εξαρτώμενος από τη σημασία που αποδίδεται σε αυτό το φαινόμενο, η οποία αξιολογείται με βάση το ιστορικό αποτυχίας κατά τις προηγούμενες εβδομάδες. Εάν αυτός ο δείκτης ξεπερνά ένα κατώφλι αποτυχίας, τότε το σχέδιο δράσης θα μπορούσε να προτείνει έλεγχο συντήρησης των κτιριακών συστημάτων.

Πέρα από αυτό, θα ήταν χρήσιμο να λαμβάνονται δεδομένα ανατροφοδότησης του χρήστη από πολλαπλές πηγές. Μέχρι τώρα ο κανόνας «Επικύρωση της Θερμικής Άνεσης» αξιολογεί τα επίπεδα θερμικής άνεσης των ενοίκων με βάση τις υποβολές τους στο ερωτηματολόγιο “TCV”. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά πληροφορίες που καταγράφονται από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, όπως είναι το “Facebook” ή το “Twitter”. Προκειμένου να είναι δυνατή η αξιοποίησή τους για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης των χρηστών ανά τομέα του πιλοτικού κτιρίου, απαιτείται ένας μηχανισμός αναγνώρισης προτύπων για την ανάλυση του συναισθήματος (θετικού, αρνητικού, ουδέτερου) που συνοδεύει τη δημοσίευση ενός μεμονωμένου χρήστη στη σελίδα του πιλοτικού κτιρίου.

Επίσης, μέχρι στιγμής, υποθέτουμε ότι, όταν ο ενεργειακός διαχειριστής επιλέγει το “radio button” αποδοχής της πρότασης του σχεδίου δράσης για μία συγκεκριμένη ημέρα, τότε εφαρμόζει επακριβώς τα σημεία ρύθμισης της εσωτερικής θερμοκρασίας που υποδεικνύονται σε όλους τους επιμέρους τομείς του πιλοτικού κτιρίου. Επειδή κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο ότι θα γίνεται στην πράξη, κρίνεται απαραίτητη η επικύρωση του εργαλείου με υποβολή εβδομαδιαίων αναφορών από τους διαχειριστές των πιλοτικών κτιρίων. Στα “reports” θα επισημαίνονται οι παρατηρήσεις των ενεργειακών διαχειριστών αναφορικά με τις προτάσεις του σχεδίου δράσης και θα αναλύονται οι ενέργειες που ακολούθησαν για τη διαχείριση του σημείου ρύθμισης θερμοκρασίας ανά τομέα του κτιρίου.

Τέλος, η εφαρμογή χρήζει βελτιστοποίησης στο θέμα της φιλικότητας προς το χρήστη ώστε αυτή να αποτελεί κύριο στόχο της ανάπτυξής της. Κάτι τέτοιο είναι ευκολότερα εφικτό μετά από μία ολοκληρωμένη δοκιμαστική χρήση της εφαρμογής σε δημοτικά κτίρια από διάφορες κατηγορίες χρηστών. Ωστόσο, η απόλυτα πετυχημένη εφαρμογή του στα πιλοτικά κτίρια και τα ενθαρρυντικά σχόλια των ενεργειακών διαχειριστών όσον αφορά στην ανάπτυξη της ιστοσελίδας, καθώς και στη χρηστικότητα του σχεδίου δράσης για τη διευκόλυνση των ενεργειακώς αποδοτικών αποφάσεων διαχείρισης της εσωτερικής θερμοκρασίας, εκφράζουν τα γερά θεμέλια που έχουν μπει για την περαιτέρω ανάπτυξή του και τη χρήση του στον ευρύτερο τομέα των «έξυπνων πόλεων» ώστε κάποια στιγμή να μπορέσει να ανταποκριθεί στις παγκόσμιες ενεργειακές προκλήσεις σήμερα και αύριο.

Βιβλιογραφία

- [1]. FP7- 608703 – OPTIMUS. Collaborative Project. Proposal Part B, pp. 1-7.
- [2]. COM (2012).
- [3]. Oakland, 2008, Ecological Footprint network. Living Planet Report.
- [4]. Energy Cities, 2014. Empowering local and regional authorities to deliver the EU climate and energy objectives.
- [5]. Wikipedia, the free encyclopedia, Smart city, September 2015 – https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city.
- [6]. Haris Doukas, John Psarras, 2013, City ex-post and ex-ante Assessment Framework. Deliverable 1.2.
- [7]. The CoM initiative is a voluntary agreement of the municipalities to go beyond the EU objectives in terms of CO2 emission reduction. Available at http://www.eumayors.eu/index_en.html.
- [8]. Wikipedia, the free encyclopedia, Covenant of Mayors, February 2016- https://en.wikipedia.org/wiki/Covenant_of_Mayors.
- [9]. GENERATION, Green Energy Auditing for a low carbon Economy, White Paper, Energy Efficiency in Public Buildings Recommendations for Policy Makers.
- [10]. EC, 2010. Directive on the Energy Performance of Buildings.
- [11]. Fulvio Corno (POLITO), Vincenzo Corrado (POLITO), Alice Gorrino (POLITO), 2014, Overall Architecture of OPTIMUS DSS. Deliverable 2.1.
- [12]. Haris Doukas, 2013, OPTIMUS Approach to Smart Cities and Energy Optimisation. Deliverable 1.2.
- [13]. Alfonso Capozzoli (POLITO), Alice Gorrino (POLITO), 2015, Inference engine integrated in the management environment. Deliverable 3.3.
- [14]. Alvaro Sicilia (FUNITEC), Integrated DSS system. Deliverable 3.5.
- [15]. Climate change, energy efficiency and the challenges of the energy transition in Germany - <https://www.db.com/cr/en/positions/energy-transition.htm>.
- [16]. Μεθοδολογία Υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου., Φεβρουάριος 2015 [http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/0/E074577C58AD9EFCC22575B60047BEA8/\\$file/%CE%9C%CE%B5%CE%B8%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20%CE%A5%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%CF%82%20%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CE%BA%CF%84%CE%B9%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85.pdf](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/0/E074577C58AD9EFCC22575B60047BEA8/$file/%CE%9C%CE%B5%CE%B8%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20%CE%A5%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%CF%82%20%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CE%BA%CF%84%CE%B9%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85.pdf).
- [17]. ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ΟΔΗΓΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ HVAC – http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_HVAC.pdf.
- [18]. Wikipedia, the free encyclopedia, Thermal comfort, December 2015 – https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort.
- [19]. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- [20]. EN 15251 Standard 2007, Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- [21]. Parsons, K C., 1 December 2013, Introduction to thermal comfort standards.

- [22]. Olesen, B; Parsons, K C (2002), Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings* 34 (6): 537-548. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00004-X.
- [23]. Huizenga, Charlie; Abbaszadeh, Sahar; Zagreus, Leah; Arens, Ed (2006), Air quality and thermal comfort in office buildings: Results of a large indoor environmental quality survey. *Healthy buildings*.
- [24]. Myhren, John Are; Holmberg, Sture (2008), Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating. *Energy and Buildings* 40 (4): 524. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.04.011.
- [25]. Hancock, P.A.; Ross, Jennifer M.; Szalma, James L. (2007), A Meta-Analysis of Performance Response Under Thermal Stressors. *Human Factors: the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 49 (5): 851. doi: 10.1518/001872007X230226.
- [26]. Leon, Lisa R. (2008), Thermoregulatory responses to environmental toxicants: The interaction of thermal stress and toxicant exposure. *Toxicology and Applied Pharmacology* 233 (1): 146-61.
- [27]. Cabanac, Michael (1971), Physiological role of pleasure. *Science* 173 (4002): 1103-7. Bidcode:1971Sci...173.1103C.doj: 10.1126/science.173.4002.1103. PMID 5098954.
- [28]. de Dear, Richard; Brager, Gail (1998), Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions* 104 (1): 145-67.
- [29]. ISO/FDIS 7730:2005, International Standard. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [30]. Fanger, P Ole (1970), *Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill.
- [31]. La Roche, P. (2011), *Carbon-neutral architectural design*, CRC Press.
- [32]. Ye, X. J.; Zhou, Z. P.; Lian, Z. W.; Liu, H. M.; Li, C. Z.; Liu, Y. M. (2006), Field study of a thermal environment and adaptive model in Shanghai. *Indoor Air* 16 (4): 320-6. doi: 10.1111/j.1600-0668.2006.00434.x. PMID 16842612.
- [33]. Doherty, TJ; Arens, E.A. (1988), Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models. *ASHRAE Transactions* 94 (1): 15.
- [34]. Gagge, AP; Fobelets, AP; Berglund, LG (1986), A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions* (2 ed.) 92: 709-31.
- [35]. Szokolay, Steven V. (2010), *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design* (2nd ed.), p. 19.
- [36]. Nicol, J Fergus (2001), *Characterising Occupant Behaviour in Buildings* (PDF). Proceedings of the Seventh International IBPSA, Conference, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 1073-1078.
- [37]. NTUA, April 23rd-24th 2015, Set-point Management through Thermal Comfort Validation, 3rd Project Meeting Introduction, Athens.

- [38]. Wikipedia, the free encyclopedia, Client-server model, February 2016 – https://en.wikipedia.org/wiki/Client%E2%80%93server_model.
- [39]. Client server computing, December 2015- http://www.it.uom.gr/project/client_server/theoria1.htm.
- [40]. Wikipedia, the free encyclopedia, February 2016- <https://en.wikipedia.org/wiki/Model%E2%80%93view%E2%80%93controller>.
- [41]. Web application MVC architecture. - http://webapptester.com/mvc-framework-first-impression/#_MVC.
- [42]. Wikipedia, the free encyclopedia, Front and back ends, February 2016 - https://en.wikipedia.org/wiki/Front_and_back_ends.
- [43]. Symfony, February 2016 - <https://symfony.com/>.
- [44]. Symfony. Why should I use a framework? - <http://symfony.com/why-use-a-framework>.
- [45]. Symfony. 6 good reasons to use Symfony - <http://symfony.com/six-good-reasons>.
- [46]. Symfony. What is Symfony - <http://symfony.com/what-is-symfony>.
- [47]. Wikipedia, the free encyclopedia, Symfony, February 2016 – <https://en.wikipedia.org/wiki/Symfony>.
- [48]. Symfony. Controller - <http://symfony.com/doc/current/book/controller.html>.
- [49]. Symfony. Service Container - http://symfony.com/doc/current/book/service_container.html.
- [50]. Symfony. Routing - <http://symfony.com/doc/current/book/routing.html>.
- [51]. Symfony. Creating and Using Templates – <http://symfony.com/doc/current/book/templating.html>.
- [52]. Symfony. Databases and Doctrine - <http://symfony.com/doc/current/book/doctrine.html>.
- [53]. Wikipedia, the free encyclopedia, Bootstrap (front-end framework), February 2016 - [https://en.wikipedia.org/wiki/Bootstrap_\(front-end_framework\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Bootstrap_(front-end_framework)).
- [54]. Wikipedia, the free encyclopedia, jQuery, February 2016 - <https://en.wikipedia.org/wiki/JQuery>.
- [55]. Wikipedia, the free encyclopedia, XAMPP, February 2016 - <https://en.wikipedia.org/wiki/XAMPP>.
- [56]. TWIG. Extending Twig - <http://twig.sensiolabs.org/doc/advanced.html#creating-an-extension>.
- [57]. INTERCEPT function-<https://support.office.com/en-us/article/INTERCEPT-function-2a9b74e2-9d47-4772-b663-3bca70bf63ef>.

Παράρτηματα

Στο συγκεκριμένο μέρος της διπλωματικής εργασίας παραθέτουμε προγράμματα σε “Python” που αποσκοπούν στην άντληση και την επεξεργασία των ετερογενών δυναμικών δεδομένων για τους διάφορους πιλότους, τα οποία μας γίνονται διαθέσιμα μέσω “FTP” αλλά και μέσω ερωτημάτων σε “SPARQL” που απευθύνονται στο διακομιστή “LinDA”. Για την ανάπτυξη των εν λόγω “scripts” έγινε χρήση του περιβάλλοντος ανάπτυξης “PyCharm 4.5.4”, ενώ το σύνολο του προγραμματιστικού κώδικα είναι υλοποιημένο σε “Python 2.7”. Δεδομένου ότι η έξοδος όλων των προγραμμάτων είναι κατάλληλα διαμορφωμένα αρχεία “excel”, εγκαταστήσαμε και κάναμε χρήση της “Python” οντότητας “XlsxWriter”. Το συγκεκριμένο πακέτο “Python” επιτρέπει την εγγραφή “.xlsx” αρχείων και διαθέτει πολύ ισχυρά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, ειδικότερα για τα προγράμματα που απευθύνουν “SPARQL” ερωτήματα σε έναν διακομιστή, εγκαταστήσαμε και χρησιμοποιήσαμε τη βιβλιοθήκη “Requests”, η οποία είναι υπεύθυνη για την εύκολη κατασκευή “HTTP” αιτημάτων σε “Python”, προσφέροντας μία εύκολη μέθοδο για την πραγματοποίηση αιτημάτων εξουσιοδότησης και ανάγνωσης δραστηριοτήτων από εξωτερική υπηρεσία.

Παράρτημα I: Προγράμματα σε “Python” για επεξεργασία διεπιστημονικών δεδομένων μέσω “FTP”

Στο παρόν παράρτημα παραθέτουμε δύο “scripts” σε γλώσσα προγραμματισμού “Python”, καθένα από τα οποία αντλεί μετρήσεις πραγματικού χρόνου από αρχεία για ορισμένες δεδομένες κατηγορίες δεδομένων από διεπιστημονικές πηγές που αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο πιλοτικό κτίριο. Τα εν λόγω δυναμικά δεδομένα αναφέρονται αποκλειστικά στα εξής δύο πιλοτικά κτίρια: το σχολείο Κολόμπο-Περτίνι στη Σαβόνα της Ιταλίας και το δημαρχείο στο Ζαανσάντι της Ολλανδίας, και μας γίνονται διαθέσιμα μέσω “FTP” σε αρχεία που είναι μορφοποιημένα ώστε τα πεδία κάθε εγγραφής να είναι διαχωρισμένα με κόμμα ή ερωτηματικό ή κάποιον άλλο χαρακτήρα διαχωρισμού (“CSV – Comma Separated Files”). Έτσι, τα “scripts” διαβάζουν όλα τα διαθέσιμα αρχεία για έναν από τους πιλότους και επεξεργάζονται κατάλληλα την πληροφορία που παρέχεται για τις ροές δεδομένων που μας ενδιαφέρουν, εφαρμόζοντας την κατάλληλη μέθοδο ωριαίας συνάθροισης που ταιριάζει στη δυναμική συμπεριφορά της κάθε κατηγορίας δεδομένων, καθώς και μία πολιτική αναπλήρωσης της μη διαθέσιμης ωριαίας τιμής. Έξοδος των προγραμμάτων που ακολουθούν, και συνοδεύονται από σύντομα επεξηγηματικά σχόλια στα κυριότερα σημεία τους, είναι παραγόμενα αρχεία “excel” τα οποία παρέχουν πλήρη εποπτεία στον “energy modeler” αναφορικά με τα παρατηρούμενα δεδομένα στο αντίστοιχο κτίριο.

Μέρος 1° - Σχολείο Κολόμπο-Περτίνι στην πόλη Σαβόνα της Ιταλίας

```

__author__ = 'CHRISTINE'

# We import all the packages needed
import os
import csv
import datetime
import sys
import time
from collections import OrderedDict

# We define an array of tuples. Each tuple contains the data stream name and "yes" if the data
# stream is useful or "no" otherwise
Data_types = [ ("Temperatura 1", "yes"),

```

```

("Temperatura 2", "yes"),
("Temperatura 3", "yes"),
("Temperatura 4", "yes"),
("Temperatura 5", "yes"),
("Temperatura 6", "yes"),
("Solarimetro", "yes"),
("Energia 1", "yes"),
("Energia 2", "yes"),
("Energia 3", "yes"),
("Generale - V1", "no"),
("Generale - V2", "no"),
("Generale - V3", "no"),
("Generale - I1", "no"),
("Generale - I2", "no"),
("Generale - I3", "no"),
("Generale - P1", "yes"),
("Generale - P2", "yes"),
("Generale - P3", "yes"),
("General Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Generale - Q1", "no"),
("Generale - Q2", "no"),
("Generale - Q3", "no"),
("Generale - PF1", "no"),
("Generale - PF2", "no"),
("Generale - PF3", "no"),
("Generale - Frequenza", "no"),
("Generale - Energia attiva", "yes"),
("Generale - Energia attiva esportata", "yes"),
("Generale - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Generale - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Generale - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Generale - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),
("Generale Pertini - V1", "no"),
("Generale Pertini - V2", "no"),
("Generale Pertini - V3", "no"),
("Generale Pertini - I1", "no"),
("Generale Pertini - I2", "no"),
("Generale Pertini - I3", "no"),
("Generale Pertini - P1", "yes"),
("Generale Pertini - P2", "yes"),
("Generale Pertini - P3", "yes"),
("Pertini Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Generale Pertini - Q1", "no"),
("Generale Pertini - Q2", "no"),
("Generale Pertini - Q3", "no"),
("Generale Pertini - PF1", "no"),
("Generale Pertini - PF2", "no"),
("Generale Pertini - PF3", "no"),
("Generale Pertini - Frequenza", "no"),
("Generale Pertini - Energia attiva", "yes"),
("Generale Pertini - Energia attiva esportata", "yes"),
("Generale Pertini - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Generale Pertini - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Generale Pertini - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Generale Pertini - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),
("Generale Colombo - V1", "no"),
("Generale Colombo - V2", "no"),
("Generale Colombo - V3", "no"),
("Generale Colombo - I1", "no"),
("Generale Colombo - I2", "no"),
("Generale Colombo - I3", "no"),
("Generale Colombo - P1", "yes"),

```

```

("Generale Colombo - P2", "yes"),
("Generale Colombo - P3", "yes"),
("Colombo Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Generale Colombo - Q1", "no"),
("Generale Colombo - Q2", "no"),
("Generale Colombo - Q3", "no"),
("Generale Colombo - PF1", "no"),
("Generale Colombo - PF2", "no"),
("Generale Colombo - PF3", "no"),
("Generale Colombo - Frequenza", "no"),
("Generale Colombo - Energia attiva", "yes"),
("Generale Colombo - Energia attiva esportata", "yes"),
("Generale Colombo - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Generale Colombo - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Generale Colombo - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Generale Colombo - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),
("Palestra - V1", "no"),
("Palestra - V2", "no"),
("Palestra - V3", "no"),
("Palestra - I1", "no"),
("Palestra - I2", "no"),
("Palestra - I3", "no"),
("Palestra - P1", "yes"),
("Palestra - P2", "yes"),
("Palestra - P3", "yes"),
("Gym Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Palestra - Q1", "no"),
("Palestra - Q2", "no"),
("Palestra - Q3", "no"),
("Palestra - PF1", "no"),
("Palestra - PF2", "no"),
("Palestra - PF3", "no"),
("Palestra - Frequenza", "no"),
("Palestra - Energia attiva", "yes"),
("Palestra - Energia attiva esportata", "yes"),
("Palestra - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Palestra - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Palestra - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Palestra - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),
("Sala PC - V1", "no"),
("Sala PC - V2", "no"),
("Sala PC - V3", "no"),
("Sala PC - I1", "no"),
("Sala PC - I2", "no"),
("Sala PC - I3", "no"),
("Sala PC - P1", "yes"),
("Sala PC - P2", "yes"),
("Sala PC - P3", "yes"),
("PC Room Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Sala PC - Q1", "no"),
("Sala PC - Q2", "no"),
("Sala PC - Q3", "no"),
("Sala PC - PF1", "no"),
("Sala PC - PF2", "no"),
("Sala PC - PF3", "no"),
("Sala PC - Frequenza", "no"),
("Sala PC - Energia attiva", "yes"),
("Sala PC - Energia attiva esportata", "yes"),
("Sala PC - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Sala PC - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Sala PC - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Sala PC - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),

```

```

("Centrale termica - V1", "no"),
("Centrale termica - V2", "no"),
("Centrale termica - V3", "no"),
("Centrale termica - I1", "no"),
("Centrale termica - I2", "no"),
("Centrale termica - I3", "no"),
("Centrale termica - P1", "yes"),
("Centrale termica - P2", "yes"),
("Centrale termica - P3", "yes"),
("Thermal station Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Centrale termica - Q1", "no"),
("Centrale termica - Q2", "no"),
("Centrale termica - Q3", "no"),
("Centrale termica - PF1", "no"),
("Centrale termica - PF2", "no"),
("Centrale termica - PF3", "no"),
("Centrale termica - Frequenza", "no"),
("Centrale termica - Energia attiva", "yes"),
("Centrale termica - Energia attiva esportata", "yes"),
("Centrale termica - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Centrale termica - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Centrale termica - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Centrale termica - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),
("Condizionatori - V1", "no"),
("Condizionatori - V2", "no"),
("Condizionatori - V3", "no"),
("Condizionatori - I1", "no"),
("Condizionatori - I2", "no"),
("Condizionatori - I3", "no"),
("Condizionatori - P1", "yes"),
("Condizionatori - P2", "yes"),
("Condizionatori - P3", "yes"),
("Split Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Condizionatori - Q1", "no"),
("Condizionatori - Q2", "no"),
("Condizionatori - Q3", "no"),
("Condizionatori - PF1", "no"),
("Condizionatori - PF2", "no"),
("Condizionatori - PF3", "no"),
("Condizionatori - Frequenza", "no"),
("Condizionatori - Energia attiva", "yes"),
("Condizionatori - Energia attiva esportata", "yes"),
("Condizionatori - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Condizionatori - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Condizionatori - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Condizionatori - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),
("Mensa - V1", "no"),
("Mensa - V2", "no"),
("Mensa - V3", "no"),
("Mensa - I1", "no"),
("Mensa - I2", "no"),
("Mensa - I3", "no"),
("Mensa - P1", "yes"),
("Mensa - P2", "yes"),
("Mensa - P3", "yes"),
("Canteen Electrical Energy Calculated", "yes"),
("Mensa - Q1", "no"),
("Mensa - Q2", "no"),
("Mensa - Q3", "no"),
("Mensa - PF1", "no"),
("Mensa - PF2", "no"),
("Mensa - PF3", "no"),

```

```

("Mensa - Frequenza", "no"),
("Mensa - Energia attiva", "yes"),
("Mensa - Energia attiva esportata", "yes"),
("Mensa - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Mensa - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Mensa - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Mensa - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes"),
("Fotovoltaico - V1", "no"),
("Fotovoltaico - V2", "no"),
("Fotovoltaico - V3", "no"),
("Fotovoltaico - I1", "no"),
("Fotovoltaico - I2", "no"),
("Fotovoltaico - I3", "no"),
("Fotovoltaico - P1", "yes"),
("Fotovoltaico - P2", "yes"),
("Fotovoltaico - P3", "yes"),
("PV Produced Energy Calculated", "yes"),
("Fotovoltaico - Q1", "no"),
("Fotovoltaico - Q2", "no"),
("Fotovoltaico - Q3", "no"),
("Fotovoltaico - PF1", "no"),
("Fotovoltaico - PF2", "no"),
("Fotovoltaico - PF3", "no"),
("Fotovoltaico - Frequenza", "no"),
("Fotovoltaico - Energia attiva", "yes"),
("Fotovoltaico - Energia attiva esportata", "yes"),
("Fotovoltaico - Energia reattiva induttiva", "yes"),
("Fotovoltaico - Energia reattiva induttiva esportata", "yes"),
("Fotovoltaico - Energia reattiva capacitiva", "yes"),
("Fotovoltaico - Energia reattiva capacitiva esportata", "yes")
]

```

*# We define an array of tuples. Each tuple contains the data stream name, the corresponding unit
and the hourly aggregation method that we shall apply (average or sum)*

```

Categories = [
("Temperatura 1", "C", "Average"),
("Temperatura 2", "C", "Average"),
("Temperatura 3", "C", "Average"),
("Temperatura 4", "C", "Average"),
("Temperatura 5", "C", "Average"),
("Temperatura 6", "C", "Average"),
("Solarimetro", "W/m^2", "Average"),
("Energia 1", "kWh", "Sum"),
("Energia 2", "kWh", "Sum"),
("Energia 3", "kWh", "Sum"),
("Generale - P1", "kW", "Sum"),
("Generale - P2", "kW", "Sum"),
("Generale - P3", "kW", "Sum"),
("General Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Generale - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Generale - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
("Generale - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
("Generale - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale Pertini - P1", "kW", "Sum"),
("Generale Pertini - P2", "kW", "Sum"),
("Generale Pertini - P3", "kW", "Sum"),
("Pertini Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Generale Pertini - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Generale Pertini - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale Pertini - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),

```

```

("Generale Pertini - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale Pertini - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
("Generale Pertini - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale Colombo - P1", "kW", "Sum"),
("Generale Colombo - P2", "kW", "Sum"),
("Generale Colombo - P3", "kW", "Sum"),
("Colombo Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Generale Colombo - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Generale Colombo - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale Colombo - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
("Generale Colombo - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Generale Colombo - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
("Generale Colombo - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Palestra - P1", "kW", "Sum"),
("Palestra - P2", "kW", "Sum"),
("Palestra - P3", "kW", "Sum"),
("Gym Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Palestra - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Palestra - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Palestra - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
("Palestra - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Palestra - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
("Palestra - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Sala PC - P1", "kW", "Sum"),
("Sala PC - P2", "kW", "Sum"),
("Sala PC - P3", "kW", "Sum"),
("PC Room Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Sala PC - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Sala PC - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Sala PC - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
("Sala PC - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Sala PC - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
("Sala PC - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Centrale termica - P1", "kW", "Sum"),
("Centrale termica - P2", "kW", "Sum"),
("Centrale termica - P3", "kW", "Sum"),
("Thermal station Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Centrale termica - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Centrale termica - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Centrale termica - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
("Centrale termica - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Centrale termica - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
("Centrale termica - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Condizionatori - P1", "kW", "Sum"),
("Condizionatori - P2", "kW", "Sum"),
("Condizionatori - P3", "kW", "Sum"),
("Split Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Condizionatori - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Condizionatori - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Condizionatori - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
("Condizionatori - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Condizionatori - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
("Condizionatori - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Mensa - P1", "kW", "Sum"),
("Mensa - P2", "kW", "Sum"),
("Mensa - P3", "kW", "Sum"),
("Canteen Electrical Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
("Mensa - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
("Mensa - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Mensa - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
("Mensa - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
("Mensa - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),

```



```

        ("Mensa - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - P1", "kW", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - P2", "kW", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - P3", "kW", "Sum"),
        ("PV Produced Energy Calculated", "kWh", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - Energia attiva", "kWh", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - Energia attiva esportata", "kWh", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - Energia reattiva induttiva", "kWh", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - Energia reattiva induttiva esportata", "kWh", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - Energia reattiva capacitiva", "kWh", "Sum"),
        ("Fotovoltaico - Energia reattiva capacitiva esportata", "kWh", "Sum")
    ]

# We define a function that takes as input an array of values and applies the aggregation method
# "Average"
def find_average(values):
    sum = 0.0
    for value in values:
        sum = sum + float(value)
    return sum/len(values)

# We define a function that takes as input an array of values and applies the aggregation method
# "Sum"
def find_sum(values):
    sum = 0.0
    for value in values:
        sum = sum + float(value)
    return sum

# We define the path of a directory which contains all the input files in CSV format
input_dir = sys.path[0] + '\\Files\\'

# We define the path of a directory in which we locate the generated excel files
output_dir = sys.path[0] + '\\Results_to_excel\\'
# In order to avoid to overwrite the output file every time we run the script, we also include in
# the file name the timestamp
ts = time.time()
timestamp = datetime.datetime.fromtimestamp(ts).strftime('%Y-%m-%d %H_%M_%S')
outputFile = output_dir + 'results_' + timestamp + '.xlsx'

# We define an empty directory for the inputs
inputs = {}

print('Reading data from CSV files...')
fileList = os.listdir(input_dir)

# In this for-loop we read each one of the CSV files that are included in the input directory
for file in fileList:
    fileName = input_dir + file
    f = open(fileName, "rb") ##path

    # We read the csv file, we replace the character '\0' with the empty character and we
    # separate the element using as delimiter the semicolon. In this way, a 2D array is created
    csv_f = csv.reader((line.replace('\0', '') for line in f), delimiter=";")

    # We use data as a flag so that we do not process the first line of the file
    data = False
    # We now parse each one of the rows of the 2D array csv_f
    for row in csv_f:
        if data:
            # This row contains data in the following format: date (dd/mm/yyyy),hour (hh:00)and
            # values (or NaN) for each data category

```

```

date = row[0]
day = date[0:2]
month = date[3:5]
year = date[6:]
# We change the date format, so as to facilitate the chronological classification of
# the data
date = year+'-'+month+'-'+day
hour = row[1][0:2]
# We use the tuple (date, hour) as key if the directory inputs.
# The corresponding value is an array of the values of all useful data categories
if (date, hour) not in inputs.keys():
    inputs[(date, hour)] = [[] for i in range(len(Categories))]
col = 2
cnt = 0
for i in range(len(Data_types)):
    if Data_types[i][1] != 'no':
        if "Gym Electrical Energy Calculated" in Data_types[i][0]:
            # We calculate the energy concerning the gym by using the equation: E=P3/4
            if row[col-1] != 'NaN':
                inputs[(date, hour)][cnt].append((float(row[col-1])/4))
        elif "Energy Calculated" in Data_types[i][0]:
            # We calculate the energy by using the equation: E=(P1+P2+P3)/4
            for j in range(0,3):
                row[col-1-j] = row[col-1-j].replace('NaN', '0.0')
            inputs[(date, hour)][cnt].append((float(row[col-1]) + float(row[col-2]) +
            float(row[col-3]))/4)
        else:
            if row[col] != 'NaN':
                inputs[(date, hour)][cnt].append((float(row[col])))
                col = col + 1
                cnt = cnt + 1
            else:
                col = col + 1
    else:
        data = True
#The process of all the data inside a file is completed and we close it
f.close()
print('Done.')

print('Sorting data by timestamp...')
# We order the directory by timestamp in format (yyyy-mm-dd, hh)
inputs = OrderedDict(sorted(inputs.items(), key = lambda t: t[0]))
print('Done.')

# We import the package xlswriter in order to be able to write an excel (.xlsx) file
import xlswriter

print('Creating excel file...')

workbook = xlswriter.Workbook(outputFile)

# Create an new Excel file and add a worksheet.
worksheet = workbook.add_worksheet(name='Savona Colombo-Pertini')

# Add a bold format to use to highlight cells.
bold = workbook.add_format({'bold': True})

# We choose the color of gray in order to highlight the cells of missing value
unavailable_input = workbook.add_format()
unavailable_input.set_pattern(1) # This is optional when using a solid fill.
unavailable_input.set_bg_color('#c0c0c0')
unavailable_input.set_border(1)

```

```

row1 = ['Date', 'Time']
row2 = ['', '']
for i in range(len(Categories)):
    row1.append(Categories[i][0])
    row2.append(Categories[i][1])

# Create header
col = 0
for item in row1:
    worksheet.write(0, col, item, bold)
    col += 1
col = 0
for item in row2:
    worksheet.write(1, col, item, bold)
    col += 1

# make header columns wider & bold
worksheet.set_column(0, 1, 20)
worksheet.set_column(2, col-1, 35)

size = len(inputs)

# We use an array in order to keep the outputs
outputs = []

row = 2
for i in range(size):
    # We pop the first item of the directory inputs
    popped = inputs.popitem(False)
    date = popped[0][0]
    worksheet.write(row, 0, date, bold)
    hour = popped[0][1] + ':00'
    worksheet.write(row, 1, hour, bold)
    outputs.append([date, hour])
    col = 2
    for j in range(len(Categories)):
        outputs[i].append(0.0)
        values = popped[1][j]
        # if there are values for the corresponding date, hour and data category
        if len(values) > 0:
            # We perform the suitable hourly aggregation method
            if Categories[j][2] == 'Average':
                outputs[i][col] = float("{0:.2f}".format(find_average(values)))
                worksheet.write(row, col, outputs[i][col])
            elif Categories[j][2] == 'Sum':
                outputs[i][col] = float("{0:.2f}".format(find_sum(values)))
                if i > 0:
                    worksheet.write(row, col, outputs[i-1][col])
                else:
                    worksheet.write(row, col, 0.0)
        # else if we have no values for the corresponding date, hour and data category
        else:
            # We use the value of the previous hour
            if i > 0:
                outputs[i][col] = outputs[i-1][col]
            else:
                outputs[i][col]=0.0
            worksheet.write(row, col, outputs[i-1][col], unavailable_input) # missing value
        col = col + 1
    row += 1

```

```
# close file
workbook.close()

print('Done.')
```

Μέρος 2^ο – Δημαρχείο στην πόλη Ζαανστάντ της Ολλανδίας

```
__author__ = 'CHRISTINE'

# We import all the packages needed
import os
import csv
import datetime
import sys
import time
from collections import OrderedDict

# We define a directory. The key corresponds to the data stream name in Dutch and the value is an
# array. The first element of this array is the data stream name in English and the second
# element is the unit
Data_types = { "B1 E-kWh SHVK-B1 L-1.16 (uur)" :
    ["Buildingpart GH, total electricity (logged every hour)", "kWh"],
  "B2 E-kWh SHVK-B2 L-1.25 (uur)" :
    ["Buildingpart EF, total electricity (logged every hour)", "kWh"],
  "B3 E-kWh SHVK-B3 L-1.31 (uur)" :
    ["Buildingpart CD, total electricity (logged every hour)", "kWh"],
  "Buiten rv weerstation" : ["Outdoor Relative Humidity", "?"],
  "Buitentemperatuur" : ["Outdoor temperature", "C"],
  "Buitentemperatuur weerstation" :
    ["Outdoor temperature (this one is more accurate)", "C"],
  "Ruimte temperatuur E0.03" : ["Room temperature E0.03", "C"],
  "Ruimte temperatuur E0.04" : ["Room temperature E0.04", "C"],
  "Ruimte temperatuur E0.05" : ["Room temperature E0.05", "C"],
  "Ruimte temperatuur E0.06" : ["Room temperature E0.06", "C"],
  "Ruimte temperatuur E0.07" : ["Room temperature E0.07", "C"],
  "Ruimte temperatuur E0.09 Raamzone Oost" :
    ["Room temperature E0.09 Window Zone East", "C"],
  "Ruimte temperatuur E0.10 Club" : ["Room temperature E0.10 Clubt", "C"],
  "Ruimte temperatuur E1.03" : ["Room temperature E1.03", "C"],
  "Ruimte temperatuur E1.04" : ["Room temperature E1.04", "C"],
  "Ruimte temperatuur E1.05" : ["Room temperature E1.05", "C"],
  "Ruimte temperatuur E1.06" : ["Room temperature E1.06", "C"],
  "Ruimte temperatuur E1.07" : ["Room temperature E1.07", "C"],
  "Ruimte temperatuur E1.11 Raamzone Oost" :
    ["Room temperature E1.11 Window Zone East", "C"],
  "Ruimte temperatuur E1.12 Club" : ["Room temperature E1.12 Club", "C"],
  "Ruimte temperatuur E2.03" : ["Room temperature E2.03", "C"],
  "Ruimte temperatuur E2.04" : ["Room temperature E2.04", "C"],
  "Ruimte temperatuur E2.05" : ["Room temperature E2.05", "C"],
  "Ruimte temperatuur E2.06" : ["Room temperature E2.06", "C"],
  "Ruimte temperatuur E2.07" : ["Room temperature E2.07", "C"],
  "Ruimte temperatuur E2.12 Club" : ["Room temperature E2.12 Club", "C"],
  "Ruimte temperatuur E3.03" : ["Room temperature E3.03", "C"],
  "Ruimte temperatuur E3.04" : ["Room temperature E3.04", "C"],
  "Ruimte temperatuur E3.05" : ["Room temperature E3.05", "C"],
  "Ruimte temperatuur E3.06" : ["Room temperature E3.06", "C"],
  "Ruimte temperatuur E3.07" : ["Room temperature E3.07", "C"],
  "Ruimte temperatuur E3.45 Raamzone Oost" :
    ["Room temperature E3.45 Window Zone East", "C"],
  "Ruimte temperatuur E4.03" : ["Room temperature E4.03", "C"],
  "Ruimte temperatuur E4.04" : ["Room temperature E4.04", "C"],
```

```

"Ruimte temperatuur E4.05" : ["Room temperature E4.05", "C"],
"Ruimte temperatuur E4.06" : ["Room temperature E4.06", "C"],
"Ruimte temperatuur E4.07" : ["Room temperature E4.07", "C"],
"Ruimte temperatuur E4.11 Raamzone Oost" :
["Room temperature E4.11 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur F0.03 Dynamisch archief" :
["Room temperature F0.03 Dynamic archive", "C"],
"Ruimte temperatuur F0.05" : ["Room temperature F0.05", "C"],
"Ruimte temperatuur F0.09 Raamzone West" :
["Room temperature F0.09 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur F0.10 Club" : ["Room temperature F0.10 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur F1.03" : ["Room temperature F1.03", "C"],
"Ruimte temperatuur F1.04" : ["Room temperature F1.04", "C"],
"Ruimte temperatuur F1.05" : ["Room temperature F1.05", "C"],
"Ruimte temperatuur F1.06" : ["Room temperature F1.06", "C"],
"Ruimte temperatuur F1.07" : ["Room temperature F1.07", "C"],
"Ruimte temperatuur F1.09 Raamzone West" :
["Room temperature F1.09 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur F1.15 Club" : ["Room temperature F1.15 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur F2.03" : ["Room temperature F2.03", "C"],
"Ruimte temperatuur F2.04" : ["Room temperature F2.04", "C"],
"Ruimte temperatuur F2.05" : ["Room temperature F2.05", "C"],
"Ruimte temperatuur F2.06" : ["Room temperature F2.06", "C"],
"Ruimte temperatuur F2.07" : ["Room temperature F2.07", "C"],
"Ruimte temperatuur F2.09 Raamzone West" :
["Room temperature F2.09 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur F2.15 Club" : ["Room temperature F2.15 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur F3.03" : ["Room temperature F3.03", "C"],
"Ruimte temperatuur F3.04" : ["Room temperature F3.04", "C"],
"Ruimte temperatuur F3.05" : ["Room temperature F3.05", "C"],
"Ruimte temperatuur F3.06" : ["Room temperature F3.06", "C"],
"Ruimte temperatuur F3.07" : ["Room temperature F3.07", "C"],
"Ruimte temperatuur F3.09 Raamzone West" :
["Room temperature F3.09 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur F3.15 Club" : ["Room temperature F3.15 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur F4.03" : ["Room temperature F4.03", "C"],
"Ruimte temperatuur F4.04" : ["Room temperature F4.04", "C"],
"Ruimte temperatuur F4.05" : ["Room temperature F4.05", "C"],
"Ruimte temperatuur F4.06" : ["Room temperature F4.06", "C"],
"Ruimte temperatuur F4.07" : ["Room temperature F4.07", "C"],
"Ruimte temperatuur F4.09 Raamzone West" :
["Room temperature F4.09 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur F4.15 Club" : ["Room temperature F4.15 Club", "C"],
"Setpointverstelling E1.04" : ["Setpoint adjustment E1.04", "C"],
"Setpointverstelling E3.03" : ["Setpoint adjustment E3.03", "C"],
"Setpointverstelling E3.04" : ["Setpoint adjustment E3.04", "C"],
"Setpointverstelling E4.03" : ["Setpoint adjustment E4.03", "C"],
"Setpointverstelling E4.04" : ["Setpoint adjustment E4.04", "C"],
"Setpointverstelling F0.03" : ["Setpoint adjustment F0.03", "C"],
"Setpointverstelling F1.03" : ["Setpoint adjustment F1.03", "C"],
"Setpointverstelling F1.04" : ["Setpoint adjustment F1.04", "C"],
"Setpointverstelling F2.03" : ["Setpoint adjustment F2.03", "C"],
"Setpointverstelling F2.04" : ["Setpoint adjustment F2.04", "C"],
"Setpointverstelling F3.03" : ["Setpoint adjustment F3.03", "C"],
"Setpointverstelling F4.03" : ["Setpoint adjustment F4.03", "C"],
"Setpointverstelling F4.04" : ["Setpoint adjustment F4.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.23 SER Beveiliging" :
["Room temperature C0.23 SER Security", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.04" : ["Room temperature H3.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C4.06" : ["Room temperature C4.06", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.22 Spreekkamer 26" :
["Room temperature C0.22 Doctor's office 26", "C"],

```

```

"Ruimte temperatuur H3.02" : ["Room temperature H3.02", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.13 Spreekkamer" :
["Room temperature C0.22 Doctor's office 26", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.07" : ["Room temperature G2.07", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.05" : ["Room temperature H1.05", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.12 Spreekkamer" :
["Room temperature H4.12 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.11 Raamzone West" :
["Room temperature H2.11 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur G4.20 Raamzone Oost" :
["Room temperature G4.20 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur C3.07" : ["Room temperature C3.07", "C"],
"Ruimte temperatuur C1.07" : ["Room temperature C1.07", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.12 Spreekkamer" :
["Room temperature H2.12 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur G1.20 Raamzone Oost" :
["Room temperature G1.20 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur D4.04" : ["Room temperature D4.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C-.21 Spreekkamer 25" :
["Room temperature C21 Doctor's office 25", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.20 Raamzone Oost" :
["Room temperature G2.20 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur G4.03" : ["Room temperature G4.03", "C"],
"Ruimte temperatuur C4.07" : ["Room temperature C4.07", "C"],
"Ruimte temperatuur C3.03" : ["Room temperature C3.03", "C"],
"Ruimte temperatuur D1.19 Raamzone West" :
["Room temperature D1.19 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.10 Raamzone West" :
["Room temperature H0.10 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur G4.04" : ["Room temperature G4.04", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.11 Raamzone West" :
["Room temperature H3.11 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.07" : ["Room temperature H3.07", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.07" : ["Room temperature H0.07", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.04 Spreekkamer 13" :
["Room temperature C0.04 Doctor's office 13", "C"],
"Ruimte temperatuur D0.11 Raamzone West" :
["Room temperature D0.11 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.04" : ["Room temperature H2.04", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.07" : ["Room temperature H4.07", "C"],
"Ruimte temperatuur D3 Raamzone West" :
["Room temperature D3 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.04" : ["Room temperature H1.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.24 Beveiligingsloge" :
["Room temperature C0.24 Security Post", "C"],
"Ruimte temperatuur D3.20 Club" : ["Room temperature D3.20 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.06" : ["Room temperature H2.06", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.15 Spreekkamer" :
["Room temperature H4.15 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur D1.04" : ["Room temperature D1.04", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.06" : ["Room temperature H0.06", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.20 Club" : ["Room temperature G2.20 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.04" : ["Room temperature H4.04", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.02" : ["Room temperature H4.02", "C"],
"Ruimte temperatuur C2.07" : ["Room temperature C2.07", "C"],
"Ruimte temperatuur C4.04" : ["Room temperature C4.04", "C"],
"Ruimte temperatuur G3.20 Raamzone Oost" :
["Room temperature G3.20 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur G3.07" : ["Room temperature G3.07", "C"],
"Ruimte temperatuur C4.05" : ["Room temperature C4.05", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.13 Spreekkamer" :
["Room temperature H3.13 Doctor's office", "C"],

```

```

"Ruimte temperatuur C0.07 kantoor werkveld C0" :
["Room temperature C0.07 field office C0", "C"],
"Ruimte temperatuur D3.06" : ["Room temperature D3.06", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.12 Spreekkamer" :
["Room temperature H1.12 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur C3.05" : ["Room temperature C3.05", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.15 Spreekkamer" :
["Room temperature H2.15 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur D4.06" : ["Room temperature D4.06", "C"],
"Ruimte temperatuur C2.11 Raamzone West" :
["Room temperature C2.11 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur G4.05" : ["Room temperature G4.05", "C"],
"Ruimte temperatuur G3.05" : ["Room temperature G3.05", "C"],
"Ruimte temperatuur D1.20 Club" : ["Room temperature D1.20 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur C2.04" : ["Room temperature C2.04", "C"],
"Ruimte temperatuur D2.05" : ["Room temperature D2.05", "C"],
"Ruimte temperatuur C2.03" : ["Room temperature C2.03", "C"],
"Ruimte temperatuur D3.05" : ["Room temperature D3.05", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.03" : ["Room temperature H4.03", "C"],
"Ruimte temperatuur D1.05" : ["Room temperature D1.05", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.05" : ["Room temperature G2.05", "C"],
"Ruimte temperatuur G4.20 Club" : ["Room temperature G4.20 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur G0.05" : ["Room temperature G0.05", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.15 Club" : ["Room temperature G2.15 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.14 Spreekkamer" :
["Room temperature H2.14 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur D3.04" : ["Room temperature D3.04", "C"],
"Ruimte temperatuur G4.07" : ["Room temperature G4.07", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.14 Spreekkamer" :
["Room temperature H1.14 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur G0.15 Club" : ["Room temperature G0.15 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur D3.03" : ["Room temperature D3.03", "C"],
"Ruimte temperatuur D0.03" : ["Room temperature D0.03", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.15 Spreekkamer" :
["Room temperature H0.15 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur D0.05" : ["Room temperature D0.05", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.14 Spreekkamer" :
["Room temperature H4.14 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur D2.04" : ["Room temperature D2.04", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.07" : ["Room temperature H2.07", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.13 Spreekkamer" :
["Room temperature H0.13 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.13 Spreekkamer" :
["Room temperature H1.13 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur D4.03" : ["Room temperature D4.03", "C"],
"Ruimte temperatuur D4.20 Club" : ["Room temperature D4.20 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.15 Spreekkamer" :
["Room temperature H1.15 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur G3.03" : ["Room temperature G3.03", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.13 Spreekkamer" :
["Room temperature H4.13 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.02" : ["Room temperature H1.02", "C"],
"Ruimte temperatuur G4.06" : ["Room temperature G4.06", "C"],
"Ruimte temperatuur D4.19 Raamzone West" :
["Room temperature D4.19 Window Zone West", "C"],
"Ruimte temperatuur G3.20 Club" : ["Room temperature G3.20 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur C1.04" : ["Room temperature C1.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.02 Kantoor werkveld C0" :
["Room temperature C0.02 Office field C0", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.06" : ["Room temperature G2.06", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.12 Spreekkamer" :
["Room temperature H0.12 Doctor's office", "C"],

```



```

"Setpointverstelling D3.04" : ["Setpoint adjustment D3.04", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.02" : ["Room temperature H2.02", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.05" : ["Room temperature H4.05", "C"],
"Setpointverstelling C2.03" : ["Setpoint adjustment C2.03", "C"],
"Ruimte temperatuur D4.07" : ["Room temperature D4.07", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.04" : ["Room temperature G2.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.17 Ondertrouwkamer" :
["Room temperature C0.17 Ondertrouw Room", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.04" : ["Room temperature H0.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.06 Spreekkamer 15":
["Room temperature C0.06 Doctor's office 15", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.03" : ["Room temperature H1.03", "C"],
"Ruimte temperatuur G1.07" : ["Room temperature G1.07", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.05" : ["Room temperature H2.05", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.15 Spreekkamer" :
["Room temperature H3.15 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.06" : ["Room temperature H3.06", "C"],
"Ruimte temperatuur D4.05" : ["Room temperature D4.05", "C"],
"Ruimte temperatuur D2.07" : ["Room temperature D2.07", "C"],
"Ruimte temperatuur C4.03" : ["Room temperature C4.03", "C"],
"Ruimte temperatuur C1.05" : ["Room temperature C1.05", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.05 Spreekkamer 14" :
["Room temperature C0.05 Doctor's office 14", "C"],
"Ruimte temperatuur C0.03 Spreekkamer 12" :
["Room temperature C0.03 Doctor's office 12", "C"],
"Ruimte temperatuur H4.06" : ["Room temperature H4.06", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.12 Spreekkamer" :
["Room temperature H3.12 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.03" : ["Room temperature H3.03", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.05" : ["Room temperature H3.05", "C"],
"Ruimte temperatuur D2.03" : ["Room temperature D2.03", "C"],
"Ruimte temperatuur C4.12 Club" : ["Room temperature C4.12 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur G1.04" : ["Room temperature G1.04", "C"],
"Ruimte temperatuur H2.03" : ["Room temperature H2.03", "C"],
"Setpointverstelling H3.02" : ["Setpoint adjustment H3.02", "C"],
"Ruimte temperatuur G2.03" : ["Room temperature G2.03", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.05" : ["Room temperature H0.05", "C"],
"Ruimte temperatuur H3.14 Spreekkamer" :
["Room temperature H3.14 Doctor's office", "C"],
"Ruimte temperatuur C2.06" : ["Room temperature C2.06", "C"],
"Ruimte temperatuur D1.07" : ["Room temperature D1.07", "C"],
"Ruimte temperatuur G3.04" : ["Room temperature G3.04", "C"],
"Ruimte temperatuur C3.04" : ["Room temperature C3.04", "C"],
"Ruimte temperatuur D2.06" : ["Room temperature D2.06", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.06" : ["Room temperature H1.06", "C"],
"Ruimte temperatuur H1.07" : ["Room temperature H1.07", "C"],
"Setpointverstelling D1.03" : ["Setpoint adjustment D1.03", "C"],
"Ruimte temperatuur C1.03" : ["Room temperature C1.03", "C"],
"Ruimte temperatuur G1.05" : ["Room temperature G1.05", "C"],
"Ruimte temperatuur D0.06" : ["Room temperature D0.06", "C"],
"Ruimte temperatuur D3.07" : ["Room temperature D3.07", "C"],
"Ruimte temperatuur C1.06" : ["Room temperature C1.06", "C"],
"Ruimte temperatuur D2.11 Raamzone Oost" :
["Room temperature D2.11 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur C4.12 Raamzone Oost" :
["Room temperature C4.12 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur G1.06" : ["Room temperature G1.06", "C"],
"Ruimte temperatuur G1.03" : ["Room temperature G1.03", "C"],
"Ruimte temperatuur G0.03" : ["Room temperature G0.03", "C"],
"Ruimte temperatuur C3.06" : ["Room temperature C3.06", "C"],
"Ruimte temperatuur G0.07" : ["Room temperature G0.07", "C"],
"Ruimte temperatuur G3.06" : ["Room temperature G3.06", "C"],

```



```

"Ruimte temperatuur G0.20 Raamzone Oost" :
["Room temperature G0.20 Window Zone East", "C"],
"Ruimte temperatuur G0.06" : ["Room temperature G0.06", "C"],
"Ruimte temperatuur D1.06" : ["Room temperature D1.06", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.03" : ["Room temperature H0.03", "C"],
"Ruimte temperatuur G1.20 Club" : ["Room temperature G1.20 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur Deelstoel" : ["Room temperature Section Chair", "C"],
"Ruimte temperatuur H0.02" : ["Room temperature H0.02", "C"],
"Setpointverstelling H0.03" : ["Setpoint adjustment H0.03", "C"],
"Ruimte temperatuur C1.11 Club" : ["Room temperature C1.11 Club", "C"],
"Ruimte temperatuur D1.03" : ["Room temperature D1.03", "C"],
"Ruimte temperatuur D0.04" : ["Room temperature D0.04", "C"],
"Setpointverstelling C1.04" : ["Setpoint adjustment C1.04", "C"],
"Setpointverstelling D1.04" : ["Setpoint adjustment D1.04", "C"],
"Setpointverstelling G1.04" : ["Setpoint adjustment G1.04", "C"],
"Setpointverstelling D2.03" : ["Setpoint adjustment D2.03", "C"],
"Setpointverstelling D2.04" : ["Setpoint adjustment D2.04", "C"],
"Setpointverstelling C4.03" : ["Setpoint adjustment C4.03", "C"],
"Setpointverstelling D4.04" : ["Setpoint adjustment D4.04", "C"],
"Setpointverstelling C4.04" : ["Setpoint adjustment C4.04", "C"],
"Ruimte temperatuur D0.07" : ["Room temperature D0.07", "C"],
"Setpointverstelling G0.03" : ["Setpoint adjustment G0.03", "C"],
"Setpointverstelling G0.04" : ["Setpoint adjustment G0.04", "C"],
"Setpointverstelling H1.02" : ["Setpoint adjustment H1.02", "C"],
"Setpointverstelling G1.03" : ["Setpoint adjustment G1.03", "C"],
"Setpointverstelling H1.03" : ["Setpoint adjustment H1.03", "C"],
"Setpointverstelling H2.02" : ["Setpoint adjustment H2.02", "C"],
"Setpointverstelling G3.04" : ["Setpoint adjustment G3.04", "C"],
"Setpointverstelling G4.03" : ["Setpoint adjustment G4.03", "C"],
"Setpointverstelling H4.03" : ["Setpoint adjustment H4.03", "C"],
"Setpointverstelling H4.02" : ["Setpoint adjustment H4.02", "C"],
"Setpointverstelling D0.04" : ["Setpoint adjustment D0.04", "C"],
"Setpointverstelling G2.04" : ["Setpoint adjustment G2.04", "C"],
"Setpointverstelling D3.03" : ["Setpoint adjustment D3.03", "C"],
"Setpointverstelling C1.03" : ["Setpoint adjustment C1.03", "C"],
"Setpointverstelling C2.04" : ["Setpoint adjustment C2.04", "C"],
"Setpointverstelling C3.04" : ["Setpoint adjustment C3.04", "C"],
"Setpointverstelling D4.03" : ["Setpoint adjustment D4.03", "C"],
"Setpointverstelling G2.03" : ["Setpoint adjustment G2.03", "C"],
"Setpointverstelling H3.03" : ["Setpoint adjustment H3.03", "C"],
"Setpointverstelling C3.03" : ["Setpoint adjustment C3.03", "C"],
"Setpointverstelling G3.03" : ["Setpoint adjustment G3.03", "C"],
"Setpointverstelling G4.04" : ["Setpoint adjustment G4.04", "C"],
"Setpointverstelling H4.04" : ["Setpoint adjustment H4.04", "C"],
"Setpointverstelling D0.03" : ["Setpoint adjustment D0.03", "C"],
"Setpointverstelling H2.03" : ["Setpoint adjustment H2.03", "C"],
"Setpointverstelling H3.04" : ["Setpoint adjustment H3.04", "C"],
"Setpointverstelling H1.04" : ["Setpoint adjustment H1.04", "C"]
}

```

```

# We define a function in order to find the last value of an array based on chronological order
# hourly aggregation method "Last Value"

```

```

def find_last(array):
    max_time = array[0][0]
    max = array[0]
    for t in array:
        if t[0] >= max_time:
            max_time = t[0]
            max = t
    return max[1]

```

```

# We order alphabetically the dictionary Data_types
Data_types = OrderedDict(sorted(Data_types.items(), key = lambda t: t[0]))

# We define the path of a directory which contains all the input files in CSV format
input_dir = sys.path[0] + '\\TagHistory\\'

# We define the path of a directory in which we locate the generated excel files
output_dir = sys.path[0] + '\\Results_to_excel\\'
# In order to avoid to overwrite the output file every time we run the script, we also include in
# the file name the timestamp
ts = time.time()
timestamp = datetime.datetime.fromtimestamp(ts).strftime('%Y-%m-%d %H_%M_%S')
outputFile = output_dir + 'results_' + timestamp + '.xlsx'

# We define an empty directory for the inputs
inputs = {}

print('Reading data from CSV files...')
fileList = os.listdir(input_dir)

# In this for-loop we read each one of the CSV files that are included in the input directory
for file in fileList:
    fileName = input_dir + file
    f = open(fileName, "rb") ##path

    # We read the csv file. In this way, a two-dimensional array is created
    csv_f = csv.reader(f) #delimiter = '\t'

    # We now parse each one of the rows of the 2D array csv_f
    for row in csv_f:
        # Some of the files failed to transfer data (we print an error message)
        if (row[0][:6] == 'Sqlcmd') or (row[0][:3] == 'Msg'):
            print fileName + ': ERROR!!!!!!!'
            break

        # We check if the data category is useful
        # (is included in the keys of the dictionary Data_types)
        if row[10] in Data_types.keys():
            date = row[1][:10]
            hour = row[1][11:13]
            minute = row[1][14:16]
            second = row[1][17:19]
            # We use this variable in order to find the chronologically last value within an hour
            min_sec = minute * 60 + second
            if (date, hour) not in inputs.keys():
                # The corresponding value of the dictionary is an array of arrays
                # The length of this array is equal to the number of useful data categories.
                inputs[(date, hour)] = [[] for i in range(len(Data_types))]
            # We append a tuple which contains the variable min_sec and the value in the suitable
            # array.
            inputs[(date, hour)][Data_types.keys().index(row[10])].append((min_sec,
float(row[8])))
        #The process of all the data inside a file is completed and we close it
        f.close()
    print('Done.')

print('Sorting data by timestamp...')
# We order the directory by timestamp in format (yyyy-mm-dd, hh)
inputs = OrderedDict(sorted(inputs.items(), key = lambda t: t[0]))
print('Done.')

# We import the package xlswriter in order to be able to write an excel (.xlsx) file
import xlswriter

```

```

print('Creating excel file...')

workbook = xlswriter.Workbook(outputFile)

# Create an new Excel file and add a worksheet.

worksheet = workbook.add_worksheet(name='Zaanstad')

# Add a bold format to use to highlight cells.
bold = workbook.add_format({'bold': True})

# We choose the color of light blue in order to highlight the cells of missing value
unavailable_input = workbook.add_format()
unavailable_input.set_pattern(1) # This is optional when using a solid fill.
unavailable_input.set_bg_color('#909CD4')
unavailable_input.set_border(1)

row1 = ['Date', 'Time']
row2 = ['', '']
data_values = Data_types.values()
for i in range(len(Data_types)):
    row1.append(data_values[i][0])
    row2.append(data_values[i][1])
    if i < 3:
        row1.append('Consumption: ' + data_values[i][0])
        row2.append('kWh')

#Create header
col = 0
for item in row1:
    worksheet.write(0, col, item, bold)
    col += 1
col = 0
for item in row2:
    worksheet.write(1, col, item, bold)
    col += 1

# make header columns wider & bold
worksheet.set_column(0, col-1, 30)

size = len(inputs)

# We use an array in order to keep the outputs
outputs = []

row = 2
for i in range(size):
    # We pop the first item of the directory inputs
    popped = inputs.popitem(False)
    date = popped[0][0]
    year = date[:4]
    month = date[5:7]
    day = date[8:10]
    date = day + '/' + month + '/' + year
    worksheet.write(row, 0, date, bold)
    hour = popped[0][1]
    time = 'am'
    if hour=='00':
        hour = '12'
    elif hour[0] == '0':
        hour = hour[1]

```

```

elif int(hour) > 12:
    hour = str(int(hour) - 12)
    time = 'pm'
elif int(hour) == 12:
    time = 'pm'
hourtime = hour + ':00:00 ' + time
worksheet.write(row, 1, hourtime, bold)
outputs.append([date, hourtime])
col = 2
for j in range(len(Data_types)):
    outputs[i].append(0.0)
    values = popped[1][j]
    # if there are values for the corresponding date, hour and data category
    if len(values) > 0:
        # We perform the hourly aggregation method "Last Value"
        outputs[i][col] = float("{0:.2f}".format(find_last(values)))
        worksheet.write(row, col, outputs[i][col])
        # For the energy data we also calculate the energy consumption
        if j < 3 :
            if i > 0:
                consumption = outputs[i][col]-outputs[i-1][col]
            else:
                consumption = 0.0
            outputs[i].append(float("{0:.2f}".format(consumption)))
            col += 1
            worksheet.write(row, col, consumption)
        # else if we have no values for the corresponding date, hour and data category
    elif (len(values)==0): # missing value
        if (i > 0):
            outputs[i][col] = outputs[i-1][col]
            worksheet.write(row, col, outputs[i][col], unavailable_input)
        else:
            worksheet.write(row, col, 0.0, unavailable_input)
    if (j < 3):
        if i > 0:
            consumption = outputs[i][col]-outputs[i-1][col]
        else:
            consumption = 0.0
        outputs[i].append(float("{0:.2f}".format(consumption)))
        col = col + 1
        worksheet.write(row, col, consumption, unavailable_input)
    col = col + 1
row += 1

# close file
workbook.close()

print('Done.')

```

Παράρτημα II: Προγράμματα σε “Python” για επεξεργασία διεπιστημονικών δεδομένων μέσω διακομιστή “LinDA”

Στο συγκεκριμένο παράρτημα παρατίθενται δύο ακόμα “scripts” σε γλώσσα προγραμματισμού “Python”, τα οποία αντλούν μετρήσεις πραγματικού χρόνου για όλα τα δεδομένα που αναφέρονται στα εξής πιλοτικά κτίρια: το δημαρχείο στην πόλη Σαντ Κουγκάτ της Ισπανίας, το θέατρο στο Σαντ Κουγκάτ της Ισπανίας, το δημαρχείο στην πόλη Ζαανσταντ της Ολλανδίας και το κάμπους στην πόλη Σαβόνα της Ιταλίας. Τα εν λόγω δεδομένα συγκεντρώνονται δυναμικά από διεπιστημονικές πηγές στο διακομιστή “LinDA”, αφού πρώτα μετατραπούν σε “RDF” για λόγους σημασιολογικής ενοποίησης, και μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε αυτά μέσω κατάλληλων ερωτημάτων “SPARQL”.

Το πρώτο από τα προγράμματα που ακολουθούν εκτελεί “SPARQL Queries” προκειμένου να αντλήσει από το διακομιστή όλες τις μετρήσεις που σχετίζονται με συγκεκριμένες ροές δεδομένων. Στη συνέχεια, εξετάζει το “URI” κάθε μέτρησης ώστε να εξαγάγει την τοποθεσία, το χρόνο μέτρησης, καθώς και την κατηγορία στην οποία ανήκει το δεδομένο, και τοποθετεί όλες τις μετρήσεις ως αντικείμενα με ιδιότητες την τοποθεσία, το “url”, το χρόνο καταγραφής, την κατηγορία και την τιμή, σε κατάλληλη δομή, την οποία ταξινομεί ανά πιλότο κατά αύξουσα χρονολογική σειρά. Η έξοδος του προγράμματος είναι ένα παραγόμενο αρχείο “excel” όπου καταγράφονται, σε ξεχωριστά φύλλα για κάθε πιλοτικό κτίριο, οι χρόνοι μετρήσεων με ακρίβεια δευτερολέπτου καθώς και όλα τα αντίστοιχα δεδομένα ανά κατηγορία. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη προκειμένου να σκιαγραφηθεί η δυναμική συμπεριφορά των δεδομένων και να εντοπιστεί η καταλληλότερη μέθοδος ωριαίας συνάθροισης που θα δώσει την πλέον αντιπροσωπευτική ωριαία τιμή.

Το δεύτερο από τα “Python scripts” επεκτείνει τη λειτουργικότητα του πρώτου, ώστε να επεξεργάζεται την πληροφορία που παρέχεται, εφαρμόζοντας την κατάλληλη μέθοδο ωριαίας συνάθροισης που ταιριάζει στη δυναμική συμπεριφορά της κάθε κατηγορίας δεδομένων ανά πιλοτικό κτίριο, καθώς και μία πολιτική αναπλήρωσης της μη διαθέσιμης ωριαίας τιμής.

Μέρος 1^ο - Όλα τα δεδομένα ανά πιλότο χωρίς ωριαία συνάθροιση

```
__author__ = 'CHRISTINE'

# We import all the packages needed
import sys
import json
from urllib import quote_plus
import requests
from datetime import datetime, timedelta
from collections import OrderedDict

# The directory in which the output excel file will be stored is the current directory
output_dir = sys.path[0] + '\\\
# We isolate the name of the city referred in the uri of the data stream and we define the full
# name of the pilot city
cities = [('sant_cugat', 'Sant Cugat'), ('sant-cugat', 'Sant Cugat'), ('santcugat', 'Sant Cugat'),
('savona', 'Savona Campus'), ('zaanstad', 'Zaanstad Town Hall')]

# Based on keywords, we define the units in which the different data categories are measured
units = [('temperature', 'C'), ('Temperature', 'C'), ('Temp', 'C'), ('climate control', 'ON/OFF'),
('prices', 'euros'), ('Relative humidity', '%'), ('humidity', 'gr of water/kg of air'),
('electricity', 'kWh'), ('power', 'kW'), ('consumption', 'kWh'), ('production', 'kWh'),
```

```

('radiation', 'W/m2'), ('energy', 'kWh'), ('co', 'kgCO2/m2'), ('demand', 'kWh'), ('direction',
'degs'), ('pressure', 'hPa'), ('speed', 'm/s'), ('Demand', '%'), ('Pump', '%'), ('setpoint', 'C'),
('Alarm', 'ON/OFF'), ('Status Production', '%'), ('Gas', 'm3'), ('Production', 'kWh')]

# Execute a SPARQL query on an endpoint and return json response
def sparql_query_json(endpoint, query):
    # encode the query
    query_enc = quote_plus(query, safe='')

    # get query results and turn them into json
    # with &output=json we support non-standard endpoints like IMDB & World Factbook
    response = requests.get(
        endpoint + "?Accept=" + quote_plus(
            "application/sparql-results+json")+"&query="+query_enc+"&format=json&output=json")

    # assume no errors in the context of this exercise
    return response.text

# get measurement type
def get_type(uri):
    result = uri.split('/')[ -1]
    end = len(result) - 1
    while ((result[end].isdigit()) or (result[end] == '.')):
        end -= 1

    result = result[:end+1]
    result = result.replace('_', ' ')
    result = result.replace('2nd', '2nd ')
    result = result.replace('3nd', '3nd ')
    result = result.replace('lights', 'lights ')
    result = result.replace('total', 'total ')
    result = result.replace('maindistributionB', 'main distribution B')
    result = result.replace('power', ' power')
    result = result.replace('ftp', ' ftp')
    result = result.replace('consumption', ' consumption')
    result = result.replace('consumtion', ' consumption')
    result = result.replace('production', ' production')
    result = result.replace('energy', ' energy')
    result = result.replace('indoor', 'indoor ')
    result = result.replace('button', ' button')
    result = result.replace('windowzone', 'window zone ')
    result = result.replace('room', ' room')
    result = result.replace('setpoint', ' set-point')
    result = result.replace('Chiller', ' Chiller')
    result = result[0].upper() + result[1:]

    return result

# get measurement location
def get_location(uri):
    for c in cities:
        if c[0] in uri:
            return c[1]

    return 'Unknown location'

# find out the unit in which the values of the current category are calculated
def def_unit(cat):
    for u in units:
        if u[0] in cat:
            return u[1]

```

```

return '?'

# We define a class concerning the measurements with attributes url, category, location, timestamp
and value
class Measurement():
    """
    A measurement
    """
    def __init__(self, url, category, location, timestamp, value):
        self.url = url
        self.category = category
        self.location = location
        self.timestamp = timestamp
        self.value = value

# We fetch the measurements from the json response
def fetch_measurements(resp_json, query_class):
    result = []

    for b in resp_json['results']['bindings']:
        uri = b['o']['value']

        # get location & type
        tp = get_type(uri)
        loc = get_location(uri)

        # Based on the uri, we are able to separate the data streams concerning Sant Cugat Town
        # Hall and Sant Cugat Theater
        if loc == 'Sant Cugat':
            if (('Air_Temperature' in query_class) and ('bms' not in uri) and ('energea' not in
                uri)) or ('StatusSensor' in query_class) or ('Percent_MeasureSensor' in
                query_class) or ('Natural_GasSensor' in query_class) or ('ElectricitySensor' in
                query_class):
                loc = loc + ' Theater'
            else:
                loc = loc + ' Town Hall'

        # get time
        if uri[-4] == '.':
            st = uri[-18:-4]
            t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:6]), day=int(st[6:8]),
                hour=int(st[8:10]), minute=int(st[10:12]), second=int(st[12:14]))
        else:
            st = uri[-14:]
            try: # default timestamp
                t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:6]), day=int(st[6:8]),
                    hour=int(st[8:10]), minute=int(st[10:12]), second=int(st[12:14]))
            except ValueError:
                st = st[1:]
                if st[0:2] < "20": # UNIX timestamp
                    t = datetime.fromtimestamp(int(st) / 1000.0)
                else: # short timestamp
                    try:
                        t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:5]), day=int(st[5:7]),
                            hour=int(st[7:9]), minute=int(st[9:11]), second=int(st[11:13]))
                    except ValueError:
                        st = st[1:]
                        t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:6]), day=int(st[6:8]),
                            hour=int(st[8:10]), minute=int(st[10:12]))

        # We return an array of objects (Measurement class)
        result.append(Measurement(url=uri, category=tp, location=loc, timestamp=t,

```

```

value=b['v']['value']))

return result

# process particular class
def process_class(cls):
    result = []
    # class query
    endpoint = 'http://optimusdss.epu.ntua.gr:8890/sparql'
    q = 'SELECT ?o ?v WHERE {?o a <' + cls + '>. ?o <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/ssn#hasValue>
        ?v.}'

    # pagination
    offset = 0
    step = 10000
    total = 0

    print('\t' + cls)
    sys.stdout.flush()

    while True: # while there are more pages
        # add OFFSET & LIMIT clauses
        query = q
        if offset:
            query += ' OFFSET ' + str(offset)
        query += ' LIMIT ' + str(step)

        # get the json from the server & fetch results
        print('.')
        sys.stdout.flush()

        j = json.loads(sparql_query_json(endpoint, query))
        res = fetch_measurements(j, cls)
        result += res
        total += len(res)
        if len(res) < step:
            break

        offset += step

    print(' -> ' + str(total) + ' rows')
    return result

# main
def main():
    print('Fetching data from Optimus server...')
    measurements = []
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Energy_ConsumptionSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Air_TemperatureSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Electrical_PowerSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Thermal_PowerSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#CS_Temperature_Heating_ModeSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#CS_Temperature_Cooling_ModeSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Electricity_PriceSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-

```



```

releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#HumiditySensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Solar_IrradiationSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#PVSystem_Peak_PowerSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#CO_EmissionsSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Cooling_PowerSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Renewable_ProductionSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Relative_HumiditySensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Air_PressureSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Wind_SpeedSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Wind_DirectionSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Facebook_MessageSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#StatusSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Percent_MeasureSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Natural_GasSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#ElectricitySensorOutput')

print('Done.')
```

*# We define two empty directories. The first one (data) collects the measurement values per
location and timestamp and category. The second one (data) collects the total data
categories per location*

```

data = {}
categories = {}

print('Saving data in a dictionary...This may take a lot of time...')
for measurement in measurements:
    if measurement.location not in data.keys():
        data[measurement.location] = {measurement.timestamp :
                                        {measurement.category : [measurement.value]}}
        categories[measurement.location] = [measurement.category]
    elif measurement.timestamp not in data[measurement.location].keys():
        data[measurement.location][measurement.timestamp] = {measurement.category :
                                                                [measurement.value]}
    elif measurement.category not in data[measurement.location][measurement.timestamp].keys():
        data[measurement.location][measurement.timestamp][measurement.category] =
        [measurement.value]
    else:
        data[measurement.location][measurement.timestamp]
        [measurement.category].append(measurement.value)
    if measurement.category not in categories[measurement.location]:
        categories[measurement.location].append(measurement.category)
print "Done."
```

The directory "data" per location is ordered by timestamp

```

print('Ordering data by timestamp...')
for location in data.keys():
    data[location] = OrderedDict(sorted(data[location].items(), key=lambda m: m[0]))
print('Done.')
```

```

# make sure the file does not exist
filename = 'Optimus Data Streams.xlsx'
filename_ok = False
while not filename_ok:
    try:
        f = open(filename, 'r')
        f.close()
        print('File "' + filename + '" already exists. Overwrite? (y/n):')
        resp = sys.stdin.readline()
        if resp[0].lower() == 'y':
            filename_ok = True
        else:
            print('Give the new file name:')
            filename = sys.stdin.readline()[:-1]
    except:
        filename_ok = True

# We import the package which allows us to write an excel (.xlsx) file in Python
import xlswriter

print('Creating excel file...')

workbook = xlswriter.Workbook(filename, {'strings_to_urls': False})

for location in data.keys():

    # Create a new Excel file and add a worksheet per location.
    worksheet = workbook.add_worksheet(name=location)

    # Add a bold format to use to highlight cells.
    bold = workbook.add_format({'bold': True})

    # Create header
    worksheet.write(0, 0, 'Timestamp', bold)
    n = 1
    for category in categories[location]:
        worksheet.write(0, n, category + ' (' + def_unit(category) + ')', bold)
        n += 1

    # make header columns wider & bold
    worksheet.set_column(0, n-1, 40)

    excel_row = 1
    current_time = data[location].keys()[0]
    end_time = data[location].keys()[-1]

    index = 0
    while current_time < end_time:
        excel_row += 1
        worksheet.write(excel_row, 0, str(current_time))
        counter = 0
        max = 0
        # We write all the measurements per data category that are collected simultaneously
        # (accuracy of second)
        for category in categories[location]:
            if category in data[location][current_time].keys():
                # For the data categories which take discrete values (0/1), we write in
                # integer format
                if ("climate control" in category) or ('Alarm' in category):
                    for i in range(0, len(data[location][current_time][category])):
                        worksheet.write(excel_row+i, 1 + counter,

```

```

        data[location][current_time][category][i])
        if i > max:
            max = i
        # Else we write in float format
    else:
        for i in range(0, len(data[location][current_time][category])):
            worksheet.write(excel_row+i, 1 + counter,
                "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][i])))
        if i > max:
            max = i
        counter += 1
    index += 1
    # We have found out the maximum number of measurements concerning one data category
    # and the current timestamp
    excel_row += max
    # step is one hour
    current_time = data[location].keys()[index]

# close file
workbook.close()

print('Done.')

# run main
main()

```

Μέρος 2ο – Όλα τα δεδομένα ανά πιλότο με ωριαία συνάθροιση

```

__author__ = 'CHRISTINE'

# We import all the packages needed
import sys
import json
from urllib import quote_plus
import requests
from datetime import datetime, timedelta
from collections import OrderedDict

# The directory in which the output excel file will be stored is the current directory
output_dir = sys.path[0] + '\\\\'
# We isolate the name of the city referred in the uri of the data stream and we define the full
# name of the pilot city
cities = [('sant_cugat', 'Sant Cugat'), ('sant-cugat', 'Sant Cugat'), ('santcugat', 'Sant Cugat'),
('savona', 'Savona Campus'), ('zaanstad', 'Zaanstad Town Hall')]
# Based on keywords, we define the units in which the different data categories are measured
units = [('temperature', 'C'), ('Temperature', 'C'), ('Temp', 'C'), ('climate control', 'ON/OFF'),
('prices', 'euros'), ('Relative humidity', '%'), ('humidity', 'gr of water/kg of air'),
('electricity', 'kWh'), ('power', 'kW'), ('consumption', 'kWh'), ('production', 'kWh'),
('radiation', 'W/m2'), ('energy', 'kWh'), ('co', 'kgCO2/m2'), ('demand', 'kWh'), ('direction',
'degs'), ('pressure', 'hPa'), ('speed', 'm/s'), ('Demand', '%'), ('Pump', '%'), ('setpoint', 'C'),
('Alarm', 'ON/OFF'), ('Status Production', '%'), ('Gas', 'm3'), ('Production', 'kWh')]

# Execute a SPARQL query on an endpoint and return json response
def sparql_query_json(endpoint, query):
    # encode the query
    query_enc = quote_plus(query, safe='')

    # get query results and turn them into json
    # with &output=json we support non-standard endpoints like IMDB & World Factbook
    response = requests.get(
        endpoint + "?Accept=" + quote_plus(

```

```

"application/sparql-results+json") + "&query=" + query_enc +
"&format=json&output=json")

# assume no errors in the context of this exercise
return response.text

# get measurement type
def get_type(uri):
    result = uri.split('/')[ -1]
    end = len(result) - 1
    while ((result[end].isdigit()) or (result[end] == '.')):
        end -= 1

    result = result[:end+1]
    result = result.replace('_', ' ')
    result = result.replace('2nd', '2nd ')
    result = result.replace('3nd', '3nd ')
    result = result.replace('lights', 'lights ')
    result = result.replace('total', 'total ')
    result = result.replace('maindistributionB', 'main distribution B')
    result = result.replace('power', ' power')
    result = result.replace('ftp', ' ftp')
    result = result.replace('consumption', ' consumption')
    result = result.replace('consumtion', ' consumption')
    result = result.replace('production', ' production')
    result = result.replace('energy', ' energy')
    result = result.replace('indoor', 'indoor ')
    result = result.replace('button', ' button')
    result = result.replace('windowzone', 'window zone ')
    result = result.replace('room', ' room')
    result = result.replace('setpoint', ' set-point')
    result = result.replace('Chiller', ' Chiller')
    result = result[0].upper() + result[1:]

    return result

# get measurement location
def get_location(uri):
    for c in cities:
        if c[0] in uri:
            return c[1]

    return 'Unknown location'

# find out the unit in which the values of the current category are calculated
def def_unit(cat):
    for u in units:
        if u[0] in cat:
            return u[1]

    return '?'

# We define a class concerning the measurements with attributes url, category, location, timestamp
# and value
class Measurement():
    """
    A measurement
    """
    def __init__(self, url, category, location, timestamp, value):
        self.url = url
        self.category = category

```

```

self.location = location
self.timestamp = timestamp
self.value = value

# We fetch the measurements from the json response
def fetch_measurements(resp_json, query_class):
    result = []

    for b in resp_json['results']['bindings']:
        uri = b['o']['value']

        # get location & type
        tp = get_type(uri)
        loc = get_location(uri)

        # Based on the uri, we are able to separate the data streams concerning Sant Cugat Town
        # Hall and Sant Cugat Theater
        if loc == 'Sant Cugat':
            if (('Air_Temperature' in query_class) and ('bms' not in uri) and ('energea' not in
                uri)) or ('StatusSensor' in query_class) or ('Percent_MeasureSensor' in
                query_class) or ('Natural_GasSensor' in query_class) or ('ElectricitySensor' in
                query_class):
                loc = loc + ' Theater'
            else:
                loc = loc + ' Town Hall'

        # get time
        if uri[-4] == '.':
            st = uri[-18:-4]
            t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:6]), day=int(st[6:8]),
                hour=int(st[8:10]), minute=int(st[10:12]), second=int(st[12-14]))
        else:
            st = uri[-14:]
            try: # default timestamp
                t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:6]), day=int(st[6:8]),
                    hour=int(st[8:10]), minute=int(st[10:12]), second=int(st[12-14]))
            except ValueError:
                st = st[1:]
                if st[0:2] < "20": # UNIX timestamp
                    t = datetime.fromtimestamp(int(st) / 1000.0)
                else: # short timestamp
                    try:
                        t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:5]), day=int(st[5:7]),
                            hour=int(st[7:9]), minute=int(st[9:11]), second=int(st[11:13]))
                    except ValueError:
                        st = st[1:]
                        t = datetime(year=int(st[0:4]), month=int(st[4:6]), day=int(st[6:8]),
                            hour=int(st[8:10]), minute=int(st[10:12]))

        # We return an array of objects (Measurement class)
        result.append(Measurement(url=uri, category=tp, location=loc, timestamp=t,
            value=b['v']['value']))

    return result

# process particular class
def process_class(cls):
    result = []
    # class query
    endpoint = 'http://optimusdss.epu.ntua.gr:8890/sparql'
    q = 'SELECT ?o ?v WHERE {?o a <' + cls + '>. ?o <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/ssn#hasValue>'

```

```

    ?v.}]'

# pagination
offset = 0
step = 10000
total = 0

print('\t' + cls)
sys.stdout.flush()

while True: # while there are more pages
    # add OFFSET & LIMIT clauses
    query = q
    if offset:
        query += ' OFFSET ' + str(offset)
    query += ' LIMIT ' + str(step)

    # get the json from the server & fetch results
    print('.')
    sys.stdout.flush()

    j = json.loads(sparql_query_json(endpoint, query))
    res = fetch_measurements(j, cls)
    result += res
    total += len(res)
    if len(res) < step:
        break

    offset += step

print(' -> ' + str(total) + ' rows')
return result

# Based on the full timestamp, we return the timestamp with an hourly accuracy
def get_timestamp(full_timestamp):
    timestamp = datetime(year=full_timestamp.year, month=full_timestamp.month,
day=full_timestamp.day, hour=full_timestamp.hour)
    return timestamp

# main
def main():
    print('Fetching data from Optimus server...')
    measurements = []
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Energy_ConsumptionSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Air_TemperatureSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Electrical_PowerSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Thermal_PowerSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#CS_Temperature_Heating_ModeSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#CS_Temperature_Cooling_ModeSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Electricity_PriceSensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#HumiditySensorOutput')
    measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Solar_IrradiationSensorOutput')

```

```

measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#PVSystem_Peak_PowerSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#CO_EmissionsSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Cooling_PowerSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Renewable_ProductionSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Relative_HumiditySensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Air_PressureSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Wind_SpeedSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Wind_DirectionSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Facebook_MessageSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#StatusSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Percent_MeasureSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#Natural_GasSensorOutput')
measurements += process_class('http://optimus-smartcity.eu/ontology-
releases/eu/semanco/ontology/optimus.owl#ElectricitySensorOutput')

print('Done.')
```

We define two empty directories. The first one (data) collects the measurement values per location and timestamp and category. The second one (data) collects the total data categories per location

```

data = {}
categories = {}
# In the directory "data" we save the measurements concerning the data category "Boiler 1 Stage" in a different way
# (we need to keep extra information about the measurement timestamp)
print('Saving data in a dictionary...This may take a lot of time...')
for measurement in measurements:
    timestamp = get_timestamp(measurement.timestamp)
    if measurement.location not in data.keys():
        if 'Boiler 1 Stage' in measurement.category:
            data[measurement.location] = {timestamp : {measurement.category :
                [measurement.timestamp : [measurement.value]]}}
        else:
            data[measurement.location] = {timestamp : {measurement.category :
                [measurement.value]}}
            categories[measurement.location] = [measurement.category]
    elif timestamp not in data[measurement.location].keys():
        if 'Boiler 1 Stage' in measurement.category:
            data[measurement.location][timestamp] = {measurement.category :
                [measurement.timestamp : [measurement.value]]}
        else:
            data[measurement.location][timestamp] = {measurement.category :
                [measurement.value]}
    elif measurement.category not in data[measurement.location][timestamp].keys():
        if 'Boiler 1 Stage' in measurement.category:
            data[measurement.location][timestamp][measurement.category] =
                [measurement.timestamp : [measurement.value]}
        else:
            data[measurement.location][timestamp][measurement.category] = [measurement.value]
    elif ('Boiler 1 Stage' in measurement.category) and (measurement.timestamp not in
```

```

        data[measurement.location][timestamp][measurement.category].keys():
        data[measurement.location][timestamp][measurement.category][measurement.timestamp] =
        [measurement.value]
    else:
        if 'Boiler 1 Stage' in measurement.category:
            data[measurement.location][timestamp][measurement.category]
                [measurement.timestamp].append(measurement.value)
        else:
            data[measurement.location][timestamp]
                [measurement.category].append(measurement.value)
    if measurement.category not in categories[measurement.location]:
        categories[measurement.location].append(measurement.category)
print "Done."

# The directory "data" per location is ordered by timestamp
print('Ordering data by timestamp...')
for location in data.keys():
    data[location] = OrderedDict(sorted(data[location].items(), key=lambda m: m[0]))
    # Specifically, for the data category "Boiler 1 Stage" we order data
    # by full timestamp as well
    for timestamp in data[location].keys():
        for category in data[location][timestamp].keys():
            if 'Boiler 1 Stage' in category:
                data[location][timestamp][category] =
                OrderedDict(sorted(data[location][timestamp][category].items(), key=lambda m: m[0]))
print('Done.')
```

```

# make sure the file does not exist
filename = 'Optimus Data Streams.xlsx'
filename_ok = False
while not filename_ok:
    try:
        f = open(filename, 'r')
        f.close()
        print('File "' + filename + '" already exists. Overwrite? (y/n):')
        resp = sys.stdin.readline()
        if resp[0].lower() == 'y':
            filename_ok = True
        else:
            print('Give the new file name:')
            filename = sys.stdin.readline()[:-1]
    except:
        filename_ok = True

# We import the package which allows us to write an excel (.xlsx) file in Python
import xlswriter

print('Creating excel file...')
```

```

workbook = xlswriter.Workbook(filename, {'strings_to_urls': False})

for location in data.keys():

    # Create an new Excel file and add a worksheet.

    worksheet = workbook.add_worksheet(name=location)

    # Add a bold format to use to highlight cells.
    bold = workbook.add_format({'bold': True})

    # missing value in case of Zaanstad
    unavailable_input1 = workbook.add_format()
```



```

unavailable_input1.set_pattern(1) # This is optional when using a solid fill.
unavailable_input1.set_bg_color('#90D4A6') #light green
unavailable_input1.set_border(1)

# missing value in case of energy data in Sant Cugat Town Hall and Savona Campus
unavailable_input2 = workbook.add_format()
unavailable_input2.set_pattern(1) # This is optional when using a solid fill.
unavailable_input2.set_bg_color('#909CD4') #light blue
unavailable_input2.set_border(1)

# missing value in case of climate data in Sant Cugat Town Hall and Savona Campus
unavailable_input3 = workbook.add_format()
unavailable_input3.set_pattern(1) # This is optional when using a solid fill.
unavailable_input3.set_bg_color('#D490BE') #light pink
unavailable_input3.set_border(1)

# missing value in case of Sant Cugat Theater
unavailable_input4 = workbook.add_format()
unavailable_input4.set_pattern(1) # This is optional when using a solid fill.
unavailable_input4.set_bg_color('yellow') #yellow
unavailable_input4.set_border(1)

# Create header
worksheet.write(0, 0, 'Timestamp', bold)
n = 1
for category in categories[location]:
    worksheet.write(0, n, category + ' (' + def_unit(category) + ')', bold)
    n += 1
    # In case of energy data in Zaanstad, we also need to calculate the energy consumption
    if (('Zaanstad' in location) and ("electricity" in category)):
        worksheet.write(0, n, "Energy Consumption (kWh)", bold)
        n += 1

# make header columns wider & bold
worksheet.set_column(0, n-1, 40)

excel_row = 1
start_time = data[location].keys()[0]
current_time = start_time
end_time = data[location].keys()[-1]

previous_sum = 0.0

while current_time <= end_time:
    excel_row += 1
    worksheet.write(excel_row, 0, str(current_time))
    col = 1
    for category in categories[location]:
        # Sant Cugat Theater
        if location == 'Sant Cugat Theater':
            # existing value
            if current_time in data[location].keys() and category in
            data[location][current_time].keys():
                # hourly aggregation method = "Boolean"
                if ('climate control' in category) or ('Alarm' in category):
                    if '1' in data[location][current_time][category]:
                        worksheet.write(excel_row, col, '1')
                    else:
                        worksheet.write(excel_row, col, '0')
                # hourly aggregation method = "Deduction"
                elif 'Metering' in category:

```

```

if current_time != start_time:
    if data[location][current_time][category][-1] <
        data[location][current_time-timedelta(hours=1)][category][0]:
        worksheet.write(excel_row, col,
            "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][-1])))
    else:
        worksheet.write(excel_row, col,
            "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][-1])
            +float(data[location][current_time-timedelta(hours=1)][category][0])))
# hourly aggregation method = "Sum"
elif 'Boiler 1 Stage' in category:
    hour0 = data[location][current_time][category].keys()[0]
    if hour0 == current_time:
        worksheet.write(excel_row, col,
            "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][hour0][0])
            + previous_sum))
    else:
        worksheet.write(excel_row, col, "{0:.2f}".format(previous_sum))
    previous_sum = 0.0
    for timestamp in data[location][current_time][category].keys():
        if timestamp != current_time:
            previous_sum +=
                float(data[location][current_time][category][timestamp][0])
# hourly aggregation method = "Average"
elif 'temperature' in category:
    values = data[location][current_time][category]
    sum = 0.0
    for value in values:
        sum += float(value)
    worksheet.write(excel_row, col,
        "{0:.2f}".format(float(sum/len(values))))
    data[location][current_time][category].append(str(sum/len(values)))
else:
    worksheet.write(excel_row, col,
        "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][-1])))
# missing value
else:
    if 'Metering' in category:
        if current_time == start_time:
            if current_time not in data[location].keys():
                data[location][current_time] = {category: [str(0.0)]}
            else:
                data[location][current_time][category] = [str(0.0)]
        else:
            if current_time not in data[location].keys():
                data[location][current_time] = {category:
                    [data[location][current_time-timedelta(hours=1)][category][0]]}
            else:
                data[location][current_time][category] =
                    [data[location][current_time-timedelta(hours=1)][category][0]]
    elif 'Boiler 1 Stage' in category:
        if previous_sum != 0.0:
            worksheet.write(excel_row, col, "{0:.2f}".format(previous_sum),
                unavailable_input4)
            previous_sum = 0.0
    elif 'temperature' in category:
        if current_time == start_time:
            worksheet.write(excel_row, col, str(0.0), unavailable_input4)
            if current_time not in data[location].keys():
                data[location][current_time] = {category:[str(0.0)]}
            else:
                data[location][current_time][category] = [str(0.0)]

```

```

else:
    previous_values = data[location][current_time-
        timedelta(hours=1)][category]
    worksheet.write(excel_row, col,
        "{0:.2f}".format(float(previous_values[-1])), unavailable_input4)
    if current_time not in data[location].keys():
        data[location][current_time] =
            {category:[previous_values[-1]]}
    else:
        data[location][current_time][category] = [previous_values[-1]]
elif ('climate control' not in category) and ('Alarm' not in category):
    if current_time == start_time:
        if current_time not in data[location].keys():
            data[location][current_time] = {category: [str(0.0)]}
        else:
            data[location][current_time][category] = [str(0.0)]
    else:
        if current_time not in data[location].keys():
            data[location][current_time] = {category:
                [data[location][current_time-timedelta(hours=1)][category][-1]]}
        else:
            data[location][current_time][category] =
                [data[location][current_time-timedelta(hours=1)][category][-1]]
            worksheet.write(excel_row, col,
                "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][-1])),
                unavailable_input4)
# Zaanstad Town Hall
elif location == 'Zaanstad Town Hall':
    # existing value
    # hourly aggregation method = "Last Value"
    if current_time in data[location].keys() and category in
        data[location][current_time].keys():
        worksheet.write(excel_row, col,
            "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][-1])))
        # We also calculate the electricity compumtion by performing the
        # subtraction: current measurement - previous measurement
        if "electricity" in category:
            col += 1
            if current_time == start_time:
                worksheet.write(excel_row, col,
                    "{0:.2f}".format(float(data[location][current_time][category][-1])))
            else:
                values = data[location][current_time][category]
                previous_values = data[location][current_time-
                    timedelta(hours=1)][category]
                worksheet.write(excel_row, col, "{0:.2f}".format(float(values[-1])
                    - float(previous_values[-1])))
        # missing value
    else:
        if current_time == start_time:
            worksheet.write(excel_row, col, str(0.0), unavailable_input1)
            if current_time not in data[location].keys():
                data[location][current_time] = {category: [str(0.0)]}
            else:
                data[location][current_time][category] = [str(0.0)]
        else:
            previous_values = data[location][current_time-
                timedelta(hours=1)][category]
            worksheet.write(excel_row, col,
                "{0:.2f}".format(float(previous_values[-1])), unavailable_input1)
            if current_time not in data[location].keys():
                data[location][current_time] = {category:[previous_values[-1]]}

```

```

        else:
            data[location][current_time][category] = [previous_values[-1]]
    if "electricity" in category:
        col += 1
        worksheet.write(excel_row, col, str(0.0), unavailable_input1)
# energy data in Sant Cugat Town Hall & Savona Campus
# hourly aggregation method = "Sum"
    elif ('energy' in category) or ('power' in category) or ('consumption' in
category):
        if current_time == start_time:
            if current_time in data[location].keys() and category in
data[location][current_time].keys():
                data[location][current_time][category].append(str(0.0))
            else:
                data[location][current_time][category] = [str(0.0)]
        else:
            previous_values = data[location][current_time-
timedelta(hours=1)][category]
            if len(previous_values) > 1:
                sum = 0.0
                for value in previous_values:
                    sum += float(value)
                sum -= float(previous_values[-1])
                worksheet.write(excel_row, col, "{0:.2f}".format(float(sum)))
            else:
                sum = float(previous_values[-1])
                worksheet.write(excel_row, col, "{0:.2f}".format(float(sum)),
unavailable_input2)
            if current_time in data[location].keys() and category in
data[location][current_time].keys():
                data[location][current_time][category].append(str(sum))
            else:
                if current_time not in data[location].keys():
                    data[location][current_time] = {category: [str(sum)]}
                else:
                    data[location][current_time][category] = [str(sum)]
# climate data in Sant Cugat Town Hall & Savona Campus
# hourly aggregation method = "Average"
    else:
        # existing value
        if current_time in data[location].keys() and category in
data[location][current_time].keys():
            values = data[location][current_time][category]
            sum = 0.0
            for value in values:
                sum += float(value)
            worksheet.write(excel_row, col, "{0:.2f}".format(float(sum/len(values))))
            data[location][current_time][category].append(str(sum/len(values)))
        # missing value
        else:
            if current_time == start_time:
                worksheet.write(excel_row, col, str(0.0), unavailable_input3)
                if current_time not in data[location].keys():
                    data[location][current_time] = {category: [str(0.0)]}
                else:
                    data[location][current_time][category] = [str(0.0)]
            else:
                previous_values = data[location][current_time-
timedelta(hours=1)][category]
                worksheet.write(excel_row, col,
"{0:.2f}".format(float(previous_values[-1])), unavailable_input3)
                if current_time not in data[location].keys():

```

```
        data[location][current_time] = {category:[previous_values[-1]]}
    else:
        data[location][current_time][category] = [previous_values[-1]]

    col += 1
    # step is one hour
    current_time += timedelta(hours=1)

# close file
workbook.close()

print('Done.')
```

```
# run main
main()
```