



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Διδακτορική Διατριβή

ΤΟΥ

Νικόλαου Χ. Γκόνη

Επιβλέπων:

Χρυσόστομος Χ. Δούκας,

Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΣΤΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων Πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Του

Νικόλαου Χ. Γκόνη

Συμβουλευτική Επιτροπή: Χ. Δούκας, Αναπλ. καθηγητής Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων)
Ιωάννης Ψαρράς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Δημήτριος Ασκούνης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 20/12/2021

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Σωτήρης Καρέλλας
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Γκόνος
Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Μανιάτης
Αναπλ. Καθηγητής ΠΑ.ΠΕΙ

.....
Νικόλαος Χ. Γκόνης

Διδάκτωρ Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Γκόνης , 2021

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.

**Στην οικογένεια μου
Ελένη, Οριάνα και Δημήτρη**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διδακτορική διατριβή έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, το διάστημα Οκτώβριος 2016 – Δεκέμβριος 2021.

Το παρόν τεύχος αποτελεί το επιστέγασμα μιας πολύ όμορφης πορείας, στην οποία είχα τη τύχη να γνωρίσω, να συνεργαστώ, να μάθω και να ανταλλάξω γνώσεις με ανθρώπους που η παρουσία τους ήταν καταλυτική στη προσπάθειά μου.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Χάρη Δούκα, ο οποίος μου έδωσε αρχικά την ευκαιρία να ξεκινήσω πλάι του αυτό το ταξίδι. Η αμέριστη εμπιστοσύνη και καθοδήγηση που έλαβα από πλευράς του, όλα αυτά τα χρόνια, αποτέλεσε από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για να φέρω εις πέρας το εν λόγω έργο.

Θερμές ευχρηστίες θα ήθελα επίσης να δώσω σε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης, αλλά κυρίως στον διευθυντή αυτού, Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά, για τη διαρκή εμπιστοσύνη και ενθάρρυνση του καθώς και τον Καθηγητή κ. Δημήτρη Ασκούνη για τη συνεισφορά του ως μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής.

Όλα θα ήταν διαφορετικά αν στη πορεία αυτή δεν είχα την ευκαιρία να συνεργαστώ με τον Καθηγητή κ. Σωτήρη Καρέλλα και τον Πλάτωνα Πάλλη από το Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, το Χρήστο Τουρκολιά από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), τον Γιάννη Βουγιουκλάκη καθώς και τους υπαλλήλους της Διεύθυνση Ενεργειακών Πολιτικών και Ενεργειακής Αποδοτικότητας του ΥΠΕΝ. Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους σας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Ασημακόπουλο, τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Ιωάννη Γκόνο και τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Ιωάννη Μανιάτη, για την τιμή που μου έκαναν να παραβρεθούν στην εξέταση υποστήριξης της διατριβής μου.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη γυναίκα μου Ελένη, τα παιδιά μου Οριάνα και Δημήτρη, τον αδερφό μου Βασίλη και τους γονείς μου Χρήστο και Ράνια που χωρίς τη κατανόηση, στήριξη αλλά και παρουσία τους δίπλα μου δεν θα είχα φτάσει έως εδώ.

Για μια πορεία που έφτασε στο τέλος της και πολλές ωραίες που συνεχίζονται ακόμα...

Νίκος Γκόνης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενεργειακή απόδοση κατέχει πρωταγωνιστικό ρόλο στη παγκόσμια προσπάθεια έναντι της κλιματικής κρίσης αλλά και προς την επίτευξη των σχετικών φιλόδοξων ευρωπαϊκών στόχων. Ο οικονομικά και κοινωνικά βέλτιστος σχεδιασμός πολιτικών ενεργειακής απόδοσης απαιτεί τη συμπερίληψη πολλαπλών παραμέτρων, καθιστώντας το έργο των οργάνων χάραξης πολιτικής ιδιαίτερα απαιτητικό.

Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη ενός σπονδυλωτού επιστημονικού υποδείγματος για την αντιμετώπιση διαφορετικής κλίμακας προβλημάτων κατά την λήψη αποφάσεων στο σχεδιασμό ενεργειακών πολιτικών και συγκεκριμένα πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση.

Η διατριβή, διαρθρώνεται μέσω της αναλυτικής παρουσίασης τεσσάρων συνιστωσών υποστήριξης αποφάσεων, διευρυνόμενης κλίμακας, σε νευραλγικούς τομείς διαμόρφωσης πολιτικών ενεργειακής απόδοσης υπό το πρίσμα των Εθνικών και Ευρωπαϊκών δεσμεύσεων. Για κάθε σπονδυλωτή συνιστώσα, παρουσιάζεται το σχετιζόμενο πλαίσιο του προβλήματος, τα σημεία συμβολής της διατριβής, η προτεινόμενη μεθοδολογία καθώς και μια εφαρμογή εφαρμοσμένης έρευνας.

Συγκεκριμένα οι συνιστώσες αφορούν την:

- Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για την αναβάθμιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος κατοικιών
- Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για τον καθορισμό ενεργειακών απαιτήσεων νέων κτιρίων κατοικιών
- Υποστήριξη διαμόρφωσης Εθνικών Σχεδίων Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης
- Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης στο πλαίσιο ενός ενιαίου Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα

Τέλος παρουσιάζεται το MuPIA (Multi Perspective Investment analysis tool), ένα υπολογιστικό εργαλείο κρίσιμων δεικτών που αποσκοπεί στην υποστήριξη των φορέων σχεδιασμού πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακή Απόδοση, Ενεργειακή Πολιτική, Υποστήριξη Αποφάσεων, Πολυδιάστατος Σχεδιασμός, Σχεδιασμός Βέλτιστου Κόστους, Σχεδιασμός Πολλαπλών Σκοπιών, Χρηματοδοτικοί Μηχανισμοί, Κλιματική Αλλαγή.

ABSTRACT

Energy efficiency holds a leading role in the global effort against the climate crisis but also in achieving the relevant ambitious European goals. Economically and socially optimum energy efficiency policy design requires the inclusion of multiple parameters, making the work of policy makers particularly demanding.

The subject of the doctoral thesis is the development of a modular scientific model for dealing with different scales of problems on the decision making of energy policies design and in particular energy efficiency policies.

The thesis is structured through the detailed presentation of four decision support components, on an expanding scale, in key areas of energy efficiency policy design in the light of the National and European status quo. For each modular component, the relevant context of the problem, the points of contribution of the thesis, the proposed methodology as well as an application of applied research are presented.

- Support in policy making for the upgrade of the national building stock
- Support in policy making for setting energy efficiency requirements for new residential buildings
- Support in the design of National Energy Efficiency Action Plans
- Support in energy efficiency policy making in the framework of National Energy and Climate Action Plans

Finally is presented the MuPIA (Multi Perspective Investment analysis tool), which is a computational tool for the calculation of critical indicators for supporting energy efficiency policy makers.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Policy, Decision Support Systems, Multidimensional Design, Cost Optimal Design, Multi-perspective Design, Financial Mechanisms, Climate Change.

Εκτεταμένη αυτοτελής περίληψη

Στο πλαίσιο των φιλόδοξων ευρωπαϊκών στόχων προς την επίτευξη των διεθνών δεσμεύσεων για την ενέργεια και στο κλίμα, ο πυλώνας της ενεργειακής απόδοσης αποτελεί προτεραιότητα. Τα όργανα λήψης αποφάσεων οφείλουν να χαράσσουν οικονομικά βέλτιστες πολιτικές, λαμβάνοντας υπόψη τους, τόσο τον κοινωνικό αντίκτυπο αυτών όσο και τη σκοπιά των διαφόρων εμπλεκομένων. Η προσέγγιση αυτή απαιτεί ο σχεδιασμός πολιτικών να βασίζεται σε επιστημονικά υποδείγματα που επιτυγχάνουν τη βέλτιστη συμπερίληψη πολλαπλών παραμέτρων, δίνοντας τη δυνατότητα στον αποφασίζοντα να επιλέξει από ένα σύνολο βέλτιστων επιλογών.

Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη ενός σπονδυλωτού επιστημονικού υποδείγματος για την αντιμετώπιση διαφορετικής κλίμακας προβλημάτων κατά την λήψη αποφάσεων στο σχεδιασμό πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση.

Η διατριβή, διαρθρώνεται μέσω της αναλυτικής παρουσίασης τεσσάρων συνιστωσών υποστήριξης αποφάσεων, διευρυνόμενης κλίμακας, σε νευραλγικούς τομείς διαμόρφωσης πολιτικών ενεργειακής απόδοσης υπό το πρίσμα των Εθνικών και Ευρωπαϊκών δεσμεύσεων. Για κάθε σπονδυλωτή συνιστώσα, παρουσιάζεται το σχετιζόμενο πλαίσιο του προβλήματος, τα σημεία συμβολής της διατριβής, η προτεινόμενη μεθοδολογία καθώς και μια εφαρμογή εφαρμοσμένης έρευνας.

Τη συνιστώσα: Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για την αναβάθμιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος κατοικιών.

Η παρούσα συνιστώσα αξιοποιεί τη μεθοδολογία του κατ' εξουσιοδότηση κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής, με στόχο να προσδιορίσει τις βέλτιστες από πλευρά κόστους παρεμβάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κατοικιών στην Ελλάδα. Η ανάλυση περιλαμβάνει την εξέταση ενός εκτεταμένου αριθμού σεναρίων παρεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του υφιστάμενου αποθέματος των Ελληνικών κατοικιών, δίνοντας χρήσιμα συμπεράσματα για τον αντίκτυπο των παρεμβάσεων αυτών σε κατοικίες διαφορετικής κλιματικής ζώνης και χρονικής περιόδου.

Επίσης πλέον του εντοπισμού και ανάλυσης των βέλτιστων από πλευράς κόστους σεναρίων, προσδιορίζονται τα σενάρια παρεμβάσεων που οδηγούν σε κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης καθώς και οι χρηματοοικονομικές διαφορές μεταξύ αυτών και των βέλτιστων από πλευράς κόστους.

Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι περίοδοι αποπληρωμής των παρεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης στη κλιματική ζώνη Γ εμφανίζονται μικρότεροι έναντι αυτών της Β λόγω των υψηλότερων θερμικών φορτίων, ενώ

αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και για τα ανεπαρκώς μονωμένα κτίρια που κατασκευάστηκαν προ του 1980 έναντι των νεότερων. Οι δέσμες παρεμβάσεων με αντλίες θερμότητας έχουν τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, ενώ η περίοδος αποπληρωμής τους και το κόστος κύκλου ζωής τους κυμαίνονται από μεσαία έως πολύ υψηλά επίπεδα. Επιπλέον προκύπτει ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αποτελούν κρίσιμη παρέμβαση για την επίτευξη υψηλής ενεργειακής απόδοσης και κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, ιδίως όταν αυτά συνδυάζονται με μονάδες αντλιών θερμότητας, ωστόσο εμφανίζουν υψηλό κόστος κύκλου ζωής. Τέλος οι χρηματοοικονομικές διαφορές των σεναρίων βέλτιστου κόστους από τα σενάρια για τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης κυμαίνονται σε 120-180 €/m² (στην κλιματική ζώνη Β) και 200-250 €/m² (στην κλιματική ζώνη Γ) για τις μονοκατοικίες, και 140-180 €/m² (κλιματική ζώνη Β) και 180-220 €/m² (κλιματική ζώνη Γ) για τις πολυκατοικίες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, στην περίπτωση των παλαιότερων κτιρίων της κλιματικής ζώνης Β, η επίτευξη των στόχων για κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης με εύλογο κόστος θα είναι δυνατή μόνον εφόσον παρέχονται σημαντικά οικονομικά κίνητρα.

2η συνιστώσα: Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για τον καθορισμό ενεργειακών απαιτήσεων νέων κτιρίων κατοικιών.

Με αξιοποίηση της ανωτέρω μεθοδολογίας (1ης συνιστώσας) και την εξέταση ενός εκτεταμένου πλήθους διαφορετικών σεναρίων η παρούσα συνιστώσα, προσδιορίζει τις βέλτιστες από πλευράς κόστους και ενεργειακής απόδοσης δέσμες τεχνολογιών νεόδμητων κτιρίων.

Επιπλέον προσδιορίζονται τα σενάρια τεχνολογιών που οδηγούν σε κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου καθώς και ο αντίκτυπος τους έναντι των διαφορετικών κλιματικών ζωνών.

Από την ανάλυση προκύπτει ότι τα πλέον βέλτιστα από πλευράς κόστους συστήματα θέρμανσης είναι οι λέβητες φυσικού αερίου και οι αντλίες θερμότητας. Τα φωτοβολταϊκά είναι σε κάθε περίπτωση απαραίτητα για την επίτευξη επιπέδων κατανάλωσης κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, και η συμβολή τους προς τον σκοπό αυτό ενισχύεται ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με αντλίες θερμότητας, καθώς μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση/ψύξη, λόγω των συστημάτων ενεργειακού συμψηφισμού. Η πρόσθετη θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους είναι μια μάλλον αναγκαία συνθήκη για την επίτευξη των στόχων για κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου. Ωστόσο οι ισχύουσες προδιαγραφές των δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους, που προβλέπονται από την ελληνική νομοθεσία, είναι ικανές να οδηγήσουν σε πολύ καλές οικονομικές αλλά και ενεργειακές αποδόσεις, καθώς οι συντελεστές θερμοπερατότητάς τους βρίσκονται κοντά στα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα. Οι

χρηματοοικονομικές διαφορές μεταξύ των κτιρίων βέλτιστου κόστους και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου υπολογίστηκαν σε 37-101 €/m² και 6.3-133 €/m², ανάλογα με την κλιματική ζώνη, για τις μονοκατοικίες και πολυκατοικίες αντίστοιχα, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι με τη κατάλληλη επιλογή τεχνολογιών τα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου δεν είναι πολύ ακριβότερα από αυτά του βέλτιστου κόστους.

3η συνιστώσα: Υποστήριξη διαμόρφωσης Εθνικών Σχεδίων Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης.

Η παρούσα συνιστώσα εστιάζει στην υποστήριξη των φορέων χάραξης πολιτικής κατά τον επανασχεδιασμό ενός βραχυπρόθεσμου πλαισίου εθνικής πολιτικής. Υπό αυτό το πρίσμα, αναπτύσσεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης προσανατολισμένο στην ανάλυση κινδύνου, για την υποστήριξη της βέλτιστης κατανομής των πόρων του προϋπολογισμού σε μέτρα ενεργειακής απόδοσης.

Το διεπιστημονικό μεθοδολογικό πλαίσιο εκκινεί από τα Ελληνικά Σχέδια Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση και περιλαμβάνει συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών, πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων και ανάλυση χαρτοφυλακίου. Η αξιολόγηση των εργαλείων πολιτικής βασίζεται σε δύο κριτήρια, ήτοι την εξοικονόμηση ενέργειας και τον κίνδυνο που σχετίζεται με την υλοποίηση των μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο τεχνικών και οικονομικών περιορισμών. Τέλος, αξιολογείται η ευρωστία τόσο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων πολιτικής όσο και των επιμέρους πολιτικών που συνθέτουν τα εν λόγω χαρτοφυλάκια.

Η εν λόγω συνιστώσα χρησιμοποιήθηκε για την επιστημονική τεκμηρίωση του 4^{ου} ΕΣΔΕΑ της Ελλάδος και τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι δεδομένου του διαθέσιμου προϋπολογισμού και των τεχνικών περιορισμών που συνδέονται με τις εξεταζόμενες δράσεις ενεργειακής απόδοσης, ο εθνικός στόχος εξοικονομήσεων ενέργειας για την περίοδο 2018 – 2020 δεν μπορεί να επιτευχθεί. Ως εκ τούτου, θα πρέπει είτε να εξεταστεί το ενδεχόμενο εφαρμογής ενός ευρύτερου συνόλου αποδοτικότερων ως προς το κόστος και πιο εύρωστων μέτρων είτε να εξασφαλιστούν ιδιωτικά κονδύλια και συνεργασίες με τον ιδιωτικό τομέα. Για το σύνολο των εξεταζόμενων μέτρων, τα χαρτοφυλάκια πολιτικών που επιτυγχάνουν εξοικονόμηση μεγαλύτερη του 1 ΜΤΟΕ είναι περισσότερο ευαίσθητα στις διακυμάνσεις των παραμέτρων του μοντέλου και κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται από σημαντικά επίπεδα αβεβαιότητας επί των πραγματικών εξοικονομήσεων που μπορούν να επιτύχουν. Τέλος συμπεραίνεται ότι ο πολυστοχικός χαρακτήρας της διαδικασίας μοντελοποίησης, παρέχει ευελιξία επιλογής από μια πληθώρα σχεδόν βέλτιστων χαρτοφυλακίων, δίνοντας τελικά τη δυνατότητα επιλογής εκείνης της πορείας δράσης που ευθυγραμμίζεται τόσο με τα επίπεδα αποστροφής κινδύνου από πλευράς αποφασιζόντων όσο και με άλλους πολιτικούς περιορισμούς και προτιμήσεις.

4η συνιστώσα: Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης στο πλαίσιο ενός ενιαίου Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα.

Η τελευταία συνιστώσα αφορά την υποστήριξη των φορέων χάραξης πολιτικής κατά το μακροχρόνιο σχεδιασμό πολιτικών ενεργειακής απόδοσης, υπό το πλαίσιο ενός ενιαίου σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα. Με ενσωμάτωση της γνώμης εμπειρογνομών, της θεωρίας χαρτοφυλακίων και της ανάλυσης ρίσκου, προτείνεται ένας από κάτω προς τα πάνω (bottom up) βέλτιστος σχεδιασμός πολιτικών ενεργειακής απόδοσης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη σκοπιά των εμπλεκόμενων καθώς και τις πολιτικές προτεραιότητες και σχετικούς περιορισμούς. Τέλος παρουσιάζεται το MuPIA (Multi Perspective Investment analysis tool), ένα υπολογιστικό εργαλείο κρίσιμων δεικτών που αποσκοπεί στην υποστήριξη των φορέων σχεδιασμού πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την υποστήριξη του σχεδιασμού του 1^{ου} ΕΣΕΚ της Ελλάδας, είναι ότι η κινητοποίηση πρόσθετων συνεπενδύσεων δημόσιου - ιδιωτικού τομέα, μέσα από τη χρήση χρηματοδοτικών μηχανισμών, φαίνεται να αποτελεί εφικτό μοντέλο για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης. Προς αυτή τη κατεύθυνση ο ρόλος των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων κρίνεται καθοριστικός αφού φαίνεται ότι είναι ικανά να στηρίξουν το ένα τέταρτο της ιδιωτικής απαιτούμενης χρηματοδότησης. Οι σχεδιαζόμενες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επικεντρώνονται πρωτίστως στον κτιριακό τομέα και ιδίως στην ανακαίνιση των ελληνικών νοικοκυριών ενώ ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στο τομέα των μεταφορών και του στόλου των ιδιωτικών επιχειρήσεων. Οι πολιτικές που στοχεύουν στο κλάδο των νοικοκυριών/ ιδιωτών θα πρέπει να οδηγούν σε μικρές περιόδους αποπληρωμής, ενώ αυτές των δημοσίων κτιρίων και ιδιωτικών επιχειρήσεων μπορούν να είναι και μεγαλύτερες. Τέλος, βάσει του ρίσκου του υπό ανάλυση χαρτοφυλακίου, διαφαίνεται ότι ο δείκτης κόστους αποτελεσματικότητας των υφιστάμενων πολιτικών δύναται να βελτιωθεί.

Extended standalone summary

In the context of the ambitious European goals towards the international energy and climate commitments, the pillar of energy efficiency is a priority. Decision-makers need to design economically optimal policies, taking into account both their social impact as well as the different stakeholders' perspectives. This approach requires the policy design to be based on scientific models that achieve the optimal inclusion of multiple parameters, enabling the decision maker to choose from a set of optimal options.

The subject of the doctoral thesis is the development of a modular scientific model for dealing with different scales of problems on the decision making of energy policies design and in particular energy efficiency policies.

The thesis is structured through the detailed presentation of four decision support components, on an expanding scale, in key areas of energy efficiency policy design in the light of the National and European status quo. For each modular component, the relevant context of the problem, the points of contribution of the thesis, the proposed methodology as well as an application of applied research are presented.

1st component: Support in policy making for the upgrade of the national building stock

This component utilizes the methodology of delegated regulation (EU) no. 244/2012 of the Commission, with the aim of identifying the cost optimal interventions for the energy upgrade of existing households in Greece. The analysis includes the examination of an extensive number of scenarios' interventions towards the improvement of the energy efficiency of the existing stock of Greek households, giving useful conclusions about the impact of these interventions against different climatic zones and time periods of construction.

In addition to identifying and analyzing cost optimal scenarios, scenarios' intervention leading to nearly zero energy buildings are identified, and the financial gaps between them and the cost-optimal ones are estimated.

The analysis shows that the payback periods of interventions towards the improvement of energy efficiency in climatic zone C appear shorter than those of B due to higher thermal loads, while the results are also similar for poorly insulated buildings built before 1980 compared to newer ones. Interventions with heat pumps have the lowest energy consumption, while their payback periods and life cycle costs range from medium to very high levels. In addition, pv systems are critical to achieving high energy efficiency and nearly zero energy buildings' levels, especially when combined with heat pump units, however the life cycle costs are higher. Finally, the financial gaps between the cost optimal scenarios and nearly zero energy buildings ones range from 120-180 € / m² (in climatic zone B) and 200-250 € / m² (in climatic zone C) for detached houses, and 140-180 € / m² (climatic zone B) and 180-220 € / m²

(climatic zone C) for the apartment buildings. Based on these results, it is concluded that, in the case of older buildings in climate zone B, achieving the nearly zero energy buildings targets at a reasonable cost will only be possible if significant financial incentives are provided.

2nd component: Support in policy making for setting energy efficiency requirements for new residential buildings.

Utilizing the above methodology (1st component) and examining an extensive number of different scenarios, this component identifies the cost and energy efficiency optimal technologies of new building.

In addition, the technologies that lead to nearly zero energy buildings and net zero energy buildings are identified, as well as their impact on the different climatic zones.

The analysis shows that the most cost-effective heating systems are natural gas boilers and heat pumps. Pv are in any case necessary to achieve net zero energy buildings' levels, and their contribution to this end is particularly enhanced when combined with heat pumps, as they can help reduce the energy consumed for heating / cooling due to net metering system. The additional thermal insulation of the building envelope is a rather necessary condition for achieving the goals for net zero energy buildings. However, the current insulation requirements, provided by the Greek legislation, are able to lead to very good economic and energy efficiency, as their U values are close to the cost optimal levels. The financial gaps between the cost optimal buildings and the net zero energy buildings ones were estimated at 37-101 € / m² and 6.3-133 € / m², depending on the climatic zone, for the detached houses and apartment buildings respectively, leading to the conclusion that with the appropriate choice of technologies, net zero energy buildings are not much more expensive than the cost optimal ones.

3rd component: Support in the design of National Energy Efficiency Action Plans.

This component focuses on supporting policy makers in redesigning a short-term national policy framework. In this framework, a risk analysis-oriented optimization model is developed to support the optimal allocation of budget resources to energy efficiency measures.

The interdisciplinary methodological framework starts from the Greek Energy Efficiency Action Plans and includes stakeholder participation, multi-criteria decision making and portfolio analysis. The evaluation of policy tools is based on two criteria, namely energy savings and the risk associated with implementing the measures, taking into account a set of technical and economic constraints. Finally, the robustness of both the best policy portfolios and the incorporated individual policies is assessed.

This component was used for the scientific documentation of the 4th Greek NEEAP and the main conclusions that emerge are that given the available

budget and the technical constraints associated with the energy efficiency policies under consideration, the national energy savings target for the period 2018 - 2020 cannot be achieved. Therefore, either a wider set of more cost-effective and more robust measures should be considered, or private funding and partnerships with the private sector should be secured. For all the measures under consideration, policy portfolios achieving savings greater than 1 MTOE are more sensitive to model parameter fluctuations and are therefore characterized by significant levels of uncertainty about the actual savings they can achieve. Finally, it is concluded that the multifaceted nature of the modeling process provides flexibility for selection from a variety of near-optimal portfolios, ultimately enabling the choice of that course of action that aligns with both levels of risk aversion by decision makers and other policy preferences.

4th component: Support in energy efficiency policy making in the framework of National Energy and Climate Action Plans.

The last component concerns the support of policy makers in the long-term design of energy efficiency policies, in the framework of a single energy and climate plan. By incorporating expert opinion, portfolio theory and risk analysis, an optimal bottom-up design of energy efficiency policies is proposed, which takes into account the multiple stakeholders' perspectives as well as policy priorities and related constraints. Finally, the MuPIA (Multi Perspective Investment analysis tool) is introduced, a tool that aims to support energy efficiency policy makers.

The results that emerge in support of the design of the 1st NECP of Greece, is that the mobilization of additional public-private sectors co-investments, through the use of financial mechanisms, seems to be a feasible model for achieving energy efficiency goals. The role of financial institutions is crucial in this regard as they seem to be able to support a quarter of the private funding required. The planned policies for energy efficiency should focus primarily on the building sector and especially on the renovation of Greek households, while special attention should be paid to the transport sector and the fleet of private companies. Policies targeting the household / private sector should lead to shorter payback periods, while those for public buildings and private businesses may be longer. Finally, based on the risk of the portfolio under analysis, it appears that the cost-effectiveness ratio of existing policies can be improved.

Γλωσσάριο αντιστοίχισης τεχνικών όρων

| | |
|-------|--|
| BACS | Σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου κτιρίων |
| BB | Λέβητας βιομάζας |
| BC | Δανειοληπτική ικανότητα |
| CAPEX | Κεφαλαιουχικές δαπάνες |
| CHP | Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας |
| CNG | Πεπιεσμένο φυσικό αέριο υψηλής απόδοσης |
| CSU | Συμβατική μονάδα αντλίας θερμότητας για ψύξη |
| DPP | Έντοκη περίοδος αποπληρωμής |
| EED | Οδηγία για την ενεργειακή απόδοση |
| EH | Ηλεκτρικός θερμαντήρας |
| EPBD | Οδηγία για την ενεργειακή απόδοσης των κτιρίων |
| EPC | Σύμβαση ενεργειακής απόδοσης |
| ESCO | Εταιρεία ενεργειακών υπηρεσιών |
| FR | Χρηματοοικονομικός κίνδυνος |
| GHP | Γεωθερμική αντλία θερμότητας |
| HDV | Βαρέα οχήματα |
| HTHP | Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών |
| HVAC | Συστήματα θέρμανσης αερισμού και κλιματισμού |
| IC | Πολυπλοκότητα εφαρμογής |
| IPCC | Διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή |
| ΚΑΠΕ | Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας |
| KENAK | Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων |
| LCC | Οικονομικός κύκλος ζωής |
| LDV | Ελαφρά οχήματα |
| LHV | Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα |
| LTHP | Αντλία θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών |
| MC | Monte Carlo |
| MCDA | Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων |
| MFH | Κτίριο πολυκατοικίας |
| MMIP | Δέσμη πολλαπλών μέτρων παρέμβασης |

| | |
|--------|---|
| MR | Κίνδυνος αγοράς |
| MSU | Σύγχρονες μονάδες αντλίας θερμότητας για ψύξη |
| ΜΥΡΙΑ | Multi Perspective Investment analysis tool |
| NCB | Συμβατικός λέβητας πετρελαίου (μη συμπύκνωσης) |
| NDC | Εθνικά καθορισμένη συνεισφορά |
| NECP | Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα |
| NGB | Λέβητας φυσικού αερίου |
| NZEB | Κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου |
| nZEB | Κτίριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης |
| OB | Λέβητας πετρελαίου |
| OPEX | Λειτουργικές δαπάνες |
| PA | Ανάλυση χαρτοφυλακίων |
| PBP | Περίοδος αποπληρωμής |
| PBPA | Αποδοχή περιόδου αποπληρωμής |
| PEC | Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας |
| PECF | Συντελεστές μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας |
| PF | Μέτωπο Pareto |
| PV | Φωτοβολταϊκό πάνελ |
| R&D | Έρευνα και ανάπτυξη |
| RSA | Μειωμένη κοινωνική αποδοχή |
| SAS | Ηλιακά υποβοηθούμενα συστήματα |
| SFH | Κτίριο μονοκατοικίας |
| SMIP | Δέσμη μεμονωμένων μέτρων παρέμβασης |
| SPP | Απλή περίοδος αποπληρωμής |
| UNFCCC | Σύμβαση - Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή |
| ZEB | Κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης |
| ΑΘ | Αντλία θερμότητας |
| ΑΠΕ | Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας |
| ΓΤΕΚΑ | Γενική γραμματεία ενέργειας και κλιματικής αλλαγής |
| ΕΕ | Ευρωπαϊκή Ένωση |
| ΕΕΟς | Καθεστώτα υποχρέωσης ενεργειακής απόδοσης |
| ΕΕΥ | Εταιρεία ενεργειακών υπηρεσιών |

| | |
|---------|--|
| ΕΜΠ | Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο |
| ΕΠΠΕΡΑΑ | Επιχειρησιακό πρόγραμμα «Περιβάλλον–Αειφόρος Ανάπτυξη» |
| ΕΣΔΕΑ | Εθνικό σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση |
| ΕΣΕΚ | Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα |
| ΕΤΕΠ | Ευρωπαϊκή τράπεζα επενδύσεων |
| ΖΝΧ | Ζεστό νερό χρήσης |
| μΚ | κτίριο μονοκατοικίας |
| ΠΕΑ | Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης |
| πΚ | Κτίριο πολυκατοικίας |
| ΤΕΕ | Τεχνικό επιμελητήριο της Ελλάδας |
| ΤΟΤΕΕ | Τεχνική οδηγία του τεχνικού επιμελητηρίου της Ελλάδας |
| ΤΠΔ | Ταμείο παρακαταθηκών και δανείων |
| ΥΠΕΝ | Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας |
| ΦΒ | <u>Φωτοβολταϊκό πάνελ</u> |
| ΦΠΑ | Φόρος προστιθέμενης αξίας |

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|----|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 6 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 7 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| Εκτεταμένη αυτοτελής περίληψη | 9 |
| Extended standalone summary | 13 |
| Γλωσσάριο αντιστοίχισης τεχνικών όρων | 16 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι | 1 |
| 1 Εισαγωγή..... | 1 |
| 1.1 Σκοπός και αντικείμενο της διατριβής | 1 |
| 1.2 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για την αναβάθμιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος κατοικιών | 2 |
| 1.2.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας..... | 3 |
| 1.3 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για τον καθορισμό ενεργειακών απαιτήσεων νέων κτιρίων κατοικιών..... | 3 |
| 1.3.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας..... | 3 |
| 1.4 Υποστήριξη διαμόρφωσης Εθνικών Σχεδίων Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης..... | 4 |
| 1.4.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας..... | 4 |
| 1.5 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης στο πλαίσιο ενός ενιαίου Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα | 5 |
| 1.5.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας..... | 5 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ..... | 7 |
| 2 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για την αναβάθμιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος κατοικιών..... | 7 |
| 2.1 Πλαίσιο και διατύπωση προβλήματος | 7 |
| 2.2 Μεθοδολογική προσέγγιση και εφαρμογή..... | 13 |
| 2.2.1 Επισκόπηση..... | 13 |
| 2.2.2 Ορισμός των κτιρίων αναφοράς..... | 13 |
| 2.2.3 Επιλογή δεσμών παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης | 15 |

Πίνακας Περιεχομένων

| | | |
|-------------------|--|-----|
| 2.2.4 | Ενεργειακές προσομοιώσεις και εκτίμηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας..... | 22 |
| 2.3 | Αποτελέσματα | 29 |
| 2.3.1 | Επισκόπηση — ερμηνευτικός οδηγός διαγραμμάτων | 29 |
| 2.3.2 | Γενικές παρατηρήσεις | 31 |
| 2.3.3 | Κτίρια μονοκατοικιών | 36 |
| 2.3.4 | Πολυκατοικίες | 40 |
| 2.4 | Συμπεράσματα | 43 |
| 2.5 | Βιβλιογραφία..... | 44 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ III..... | | 47 |
| 3 | Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για τον καθορισμό ενεργειακών απαιτήσεων νέων κτιρίων κατοικιών | 47 |
| 3.1 | Πλαίσιο και διατύπωση του προβλήματος | 47 |
| 3.2 | Μεθοδολογική προσέγγιση και εφαρμογή..... | 52 |
| 3.2.1 | Ορισμός των νεόδμητων κτιρίων αναφοράς | 53 |
| 3.2.2 | Επιλογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης | 55 |
| 3.2.3 | Ενεργειακές προσομοιώσεις και αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας..... | 62 |
| 3.3 | Παρουσίαση Αποτελεσμάτων | 68 |
| 3.3.1 | Σύγκριση LCC και PEC | 68 |
| 3.3.2 | Μελέτες περιπτώσεων μεμονωμένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης | 78 |
| 3.4 | Ανάλυση Αποτελεσμάτων | 83 |
| 3.4.1 | LCC έναντι PEC | 83 |
| 3.4.2 | Μελέτες περιπτώσεων μεμονωμένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης..... | 91 |
| 3.5 | Συμπεράσματα | 94 |
| 3.6 | Βιβλιογραφία..... | 95 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV..... | | 101 |
| 4 | Υποστήριξη διαμόρφωσης Εθνικών Σχεδίων Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης | 101 |
| 4.1 | Εισαγωγή..... | 101 |
| 4.2 | Βιβλιογραφική ανασκόπηση..... | 102 |
| 4.3 | Πλαίσιο της μελέτης | 107 |
| 4.4 | Η προσέγγιση που υιοθετείται | 109 |
| 4.4.1 | Διατύπωση του προβλήματος | 109 |
| 4.4.2 | Λήψη δεδομένων | 109 |

Πίνακας Περιεχομένων

| | | |
|---|---|-----|
| 4.4.3 | Μοντέλο εκτίμησης κινδύνου | 110 |
| 4.4.4 | Πολυστοχική βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου | 112 |
| 4.4.5 | Ανάλυση ευρωστίας | 113 |
| 4.5 | Εφαρμογή: Προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στην Ελλάδα | 114 |
| 4.5.1 | Προσδιορισμός του προβλήματος | 114 |
| 4.5.2 | Εκτίμηση κινδύνου | 119 |
| 4.5.3 | Μαθηματική μοντελοποίηση..... | 120 |
| 4.5.4 | Σύνοψη βασικών παραδοχών | 121 |
| 4.6 | Αποτελέσματα και συζήτηση | 122 |
| 4.6.1 | Βέλτιστη κατανομή πόρων για τον διαθέσιμο προϋπολογισμό 122 | |
| 4.6.2 | Κόστος επίτευξης του στόχου για το 2020 | 126 |
| 4.6.3 | Ανάλυση ευρωστίας | 129 |
| 4.7 | Συμπεράσματα | 133 |
| 4.8 | Βιβλιογραφία..... | 134 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ V..... | | 144 |
| 5 | Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης στο πλαίσιο ενός ενιαίου Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα..... | 144 |
| 5.1 | Εισαγωγή..... | 144 |
| 5.2 | Καινοτομία της προσέγγισης..... | 146 |
| 5.3 | Προτεινόμενη προσέγγιση | 150 |
| 5.4 | Μοντελοποίηση του προβλήματος για το ελληνικό ΕΣΕΚ..... | 153 |
| 5.4.1 | Αντικειμενικές συναρτήσεις | 166 |
| 5.4.2 | Στόχοι, περιορισμοί και πολιτικές προτεραιότητες | 171 |
| 5.5 | Αποτελέσματα και συζήτηση | 173 |
| 5.6 | Συμπεράσματα και προεκτάσεις για τις πολιτικές..... | 185 |
| 5.7 | Βιβλιογραφία..... | 188 |
| 6 | Multi Perspective Investment analysis tool - ΜuPIA..... | 195 |
| 6.1 | Εισαγωγή..... | 195 |
| 6.2 | Περιγραφή εργαλείου | 196 |
| 7 | Συμπεράσματα και Προοπτικές..... | 206 |
| 7.1 | Συμπεράσματα | 206 |
| 7.2 | Προοπτικές | 212 |
| Παράρτημα Α: Λίστα Δημοσιεύσεων και Σημαντικών Συμμετοχών | | 213 |
| Παράρτημα Β..... | | 216 |

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων

Ευρετήριο Εικόνων

| | |
|--|----|
| ΕΙΚΟΝΑ 1: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ, ΔΙΕΥΡΥΝΟΜΕΝΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ | 2 |
| ΕΙΚΟΝΑ 2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΝΧ, ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑ ΤΥΠΟ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ, ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ), ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (Π1/(Ρ1), Π2/(Ρ2)) ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ (Β, Γ) [2.11] | 19 |
| ΕΙΚΟΝΑ 3 ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΩΣΗ ΤΟΙΧΩΝ, ΣΤΕΓΩΝ ΚΑΙ ΔΑΠΕΔΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ, ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ [2.28] | 25 |
| ΕΙΚΟΝΑ 4 ΑΡΧΙΚΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ (HVAC) ΚΑΙ ΖΝΧ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ [2.28] | 27 |
| ΕΙΚΟΝΑ 5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΤΗΤΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ (COST OPTIMALITY THRESHOLD ESTIMATION) ... | 28 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6 DPP, LCC ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΑ PEC ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΩΝ, ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ Π1 ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ | 37 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7 DPP, LCC ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΑ PEC ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΩΝ, ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 2 ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ | 39 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8 DPP, LCC ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΑ PEC ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΩΝ, ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ Π1 ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ | 41 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9 DPP, LCC ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΑ PEC ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΩΝ, ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ Π2 ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ | 42 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ | 53 |
| ΕΙΚΟΝΑ 11 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΝΕΟΔΟΜΗΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΟΥ, ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΜΚ, ΠΚ) ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ (Β, Γ) [3.40] | 58 |
| ΕΙΚΟΝΑ 12 ΕΙΔΙΚΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ [3.44] | 66 |
| ΕΙΚΟΝΑ 13 ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ [3.44] | 66 |
| ΕΙΚΟΝΑ 14 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΤΗΤΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ | 67 |
| ΕΙΚΟΝΑ 15 ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ | 71 |
| ΕΙΚΟΝΑ 16 ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ, ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΩΝ, ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ Γ (ΚΑΤΩ) | 72 |
| ΕΙΚΟΝΑ 17 ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΜΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ (PVs), ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SAS, SS ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ ΕΝΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ (BEM) ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ, ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΩΝ, ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ | 72 |
| ΕΙΚΟΝΑ 18 ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ, ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ Γ (ΚΑΤΩ), ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΩΝ | 73 |
| ΕΙΚΟΝΑ 19 ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ Γ (ΚΑΤΩ), ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΩΝ | 74 |
| ΕΙΚΟΝΑ 20 ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ | 75 |
| ΕΙΚΟΝΑ 21 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ Γ (ΚΑΤΩ) | 76 |

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων

| | |
|--|-----|
| ΕΙΚΟΝΑ 22 ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ (PVs), ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΙΑΚΗΣ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ (SAS), ΣΚΙΑΣΤΡΩΝ (SS) ΚΑΙ ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ ΕΝΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ (BEMs) ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ, ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΩΝ, ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ..... | 76 |
| ΕΙΚΟΝΑ 23 ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ, ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U-VALUES), ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ, ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ Γ (ΚΑΤΩ), ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΩΝ..... | 77 |
| ΕΙΚΟΝΑ 24 ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΜΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΝΖΕΒ ΚΑΙ ΝΖΕΒ, ΣΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ Γ (ΚΑΤΩ), ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΩΝ..... | 78 |
| ΕΙΚΟΝΑ 25 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟ LCC ΚΑΙ ΣΤΗΝ PEC ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ, ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΕΞΙΑ), ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β..... | 79 |
| ΕΙΚΟΝΑ 26 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΣΤΟ LCC ΚΑΙ ΣΤΗΝ PEC ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ, ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΕΞΙΑ), ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β..... | 81 |
| ΕΙΚΟΝΑ 27 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ, ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΣΤΟ LCC ΚΑΙ ΤΗΝ PEC ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΕΞΙΑ), ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β· ΟΠΟΥ 1: SAS, 2: PVs, 3: SAS ΚΑΙ PVs. | 82 |
| ΕΙΚΟΝΑ 28 ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΚΑΠΕΝΤΕ ΜΕΤΡΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ, ΟΠΩΣ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ TOPSIS. | 120 |
| ΕΙΚΟΝΑ 29 ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΔΟΜΕΝΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟ . | 123 |
| ΕΙΚΟΝΑ 30 ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΟΥΝ ΤΟΝ ΕΘΝΙΚΟ ΣΤΟΧΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ. | 126 |
| ΕΙΚΟΝΑ 31 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ MC. | 130 |
| ΕΙΚΟΝΑ 32 ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΑ. | 132 |
| ΕΙΚΟΝΑ 33 ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟ ΤΑ ΜΕΤΡΑ ΣΤΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ..... | 151 |
| ΕΙΚΟΝΑ 34 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ..... | 153 |
| ΕΙΚΟΝΑ 35 ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΑΝΕΙΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟΥ. | 168 |
| ΕΙΚΟΝΑ 36 ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΑΝΕΙΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΠΡΟΟΡΙΖΕΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ. | 169 |
| ΕΙΚΟΝΑ 37 ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΑΝΕΙΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΤΟΜΕΑ ΓΙΑ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ. | 170 |
| ΕΙΚΟΝΑ 38 ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΑΝΕΙΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΤΟΜΕΑ ΓΙΑ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΑ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ. | 170 |
| ΕΙΚΟΝΑ 39 ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΑΝΕΙΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ. | 170 |
| ΕΙΚΟΝΑ 40 ΜΕΤΩΠΟ PARETO ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ. | 173 |
| ΕΙΚΟΝΑ 41 ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΕΠΙΚΕΝΤΡΩΣΗΣ..... | 174 |
| ΕΙΚΟΝΑ 42: ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΕΠΙΚΕΝΤΡΩΣΗΣ..... | 175 |
| ΕΙΚΟΝΑ 43 ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ..... | 175 |
| ΕΙΚΟΝΑ 44 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ..... | 176 |
| ΕΙΚΟΝΑ 45 ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ..... | 177 |
| ΕΙΚΟΝΑ 46 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ..... | 179 |
| ΕΙΚΟΝΑ 47 ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΟΣΤΟΥΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟ ΤΟ ΠΡΙΣΜΑ ΤΟΥ ΑΡΘΡΟΥ 7..... | 181 |

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων

| | |
|---|-----|
| ΕΙΚΟΝΑ 48 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΑΡΘΡΟ 3 | 182 |
| ΕΙΚΟΝΑ 49 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΩΡΕΥΤΙΚΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΟΥ ΑΡΘΡΟΥ 7 | 183 |
| ΕΙΚΟΝΑ 50 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ..... | 185 |
| ΕΙΚΟΝΑ 51 ΒΑΣΙΚΗ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΜΥΡΙΑ | 195 |
| ΕΙΚΟΝΑ 52 ΦΟΡΜΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΣΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΜΥΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 196 |
| ΕΙΚΟΝΑ 53 ΦΟΡΜΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΝΕΟΥ ΜΕΤΡΟΥ | 197 |
| ΕΙΚΟΝΑ 54 ΦΟΡΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΥΠΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ | 198 |
| ΕΙΚΟΝΑ 55 ΦΟΡΜΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΤΡΩΝ | 199 |
| ΕΙΚΟΝΑ 56 ΦΟΡΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΟΦΕΛΟΥΣ | 199 |
| ΕΙΚΟΝΑ 57 ΦΟΡΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ | 200 |
| ΕΙΚΟΝΑ 58 ΦΟΡΜΑ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗΣ/ ΦΟΡΟΑΠΑΛΛΑΓΗΣ..... | 200 |
| ΕΙΚΟΝΑ 59 ΦΟΡΜΑ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΩΦΕΛΟΥΜΕΝΟΥ..... | 201 |
| ΕΙΚΟΝΑ 60 ΦΟΡΜΑ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΥΞΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΑΓΙΟΥ..... | 202 |
| ΕΙΚΟΝΑ 61 ΦΟΡΜΑ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΜΒΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ | 203 |
| ΕΙΚΟΝΑ 62 ΦΟΡΜΑ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΕΛΙΚΟΥ ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 204 |
| ΕΙΚΟΝΑ 63 ΦΟΡΜΑ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΙ ΡΙΣΚΟΥ | 204 |
| ΕΙΚΟΝΑ 64 ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΤΟΚΙΟΥ ΠΡΟΕΞΟΦΛΗΣΗΣ | 205 |
| ΕΙΚΟΝΑ 65 ΣΩΡΕΥΤΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΠΑ..... | 205 |

Ευρετήριο Πινάκων

| | |
|--|----|
| Π. 1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ Π1 ΚΑΙ Π2..... | 15 |
| Π. 2 ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕ ΛΑΤΙΝΙΚΟΥΣ ΑΡΙΘΜΟΥΣ) | 16 |
| Π. 3 ΑΡΧΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΩΝ (ΜΕ ΒΑΣΗ ΜΕΛΕΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ) | 18 |
| Π. 4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U-VALUES) ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ..... | 19 |
| Π. 5 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ | 20 |
| Π. 6 ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΖΝΧ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ | 21 |
| Π. 7 ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ (ΖΝΧ) ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ (ΜΕ ✓ ΣΗΜΕΙΩΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ, ΜΕ Χ ΣΗΜΕΙΩΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ). | 22 |
| Π. 8 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΤΙΜΕΣ ΕΠΙΤΟΚΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ LCC ΚΑΙ ΤΗΣ DPP..... | 24 |
| Π. 9 ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΤΕΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ [2.28] | 26 |
| Π. 10 ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ (ΜΕ ΑΦΕΤΗΡΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Δ) [2.28] | 26 |
| Π. 11 ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΦΟΡΕΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ [2.28] | 27 |
| Π. 12 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΣΕ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΦΟΡΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ [[2.23],[2.29]] | 28 |
| Π. 13 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΓΙΑ ΔΕΣΜΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΚΛΕΙΟΥΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ..... | 30 |
| Π. 14 ΓΕΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ | 33 |
| Π. 15 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (FINANCIAL GAP) ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΝΖΕΒ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΙΕΡΕΥΝΗΘΗΚΑΝ..... | 35 |

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων

| | |
|---|-----|
| Π. 16 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΝΕΟΔΜΗΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ Β ΚΑΙ Γ [3.35] | 55 |
| Π. 17 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ | 56 |
| Π. 18 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (ΤΙΜΩΝ U) ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ (W/m^2K) | 57 |
| Π. 19 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ [[3.32], [3.39]] | 57 |
| Π. 20 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΖΝΧ) ΤΩΝ ΝΕΟΔΜΗΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ [3.35] | 58 |
| Π. 21 ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΨΥΞΗΣ, ΖΝΧ ΚΑΙ CHP ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ [3.35] | 59 |
| Π. 22 ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΖΝΧ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ (ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ ✓ ΣΗΜΕΙΩΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ · ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ Χ ΕΠΙΣΗΜΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ) | 61 |
| Π. 23 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ ΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ [3.38] | 62 |
| Π. 24 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ [[3.34], [3.43],[3.44]] | 64 |
| Π. 25 ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ (ΜΕ ΑΦΕΤΗΡΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Γ) [3.44] | 67 |
| Π. 26 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ | 68 |
| Π. 27 ΚΑΤΩΤΕΡΑ ΚΑΙ ΑΝΩΤΕΡΑ ΟΡΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ (NΖΕΒ ΚΑΙ NΖΕΒ). | 69 |
| Π. 28 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΤΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ LCC ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ | 69 |
| Π. 29 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΒΑΣΕΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΣΧΕΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ/ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΚΤΙΡΙΟ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ/ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ) | 70 |
| Π. 30 ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΗΝ PEC ΚΑΙ ΤΟ LCC ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΜΕ ΛΕΒΗΤΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (NGB) ΚΑΙ ΑΘ ΧΑΜΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ (LTHPs) | 82 |
| Π. 31 ΣΥΜΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΠΟΥ ΣΥΝΔΥΑΖΟΥΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ | 103 |
| Π. 32 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ | 104 |
| Π. 33 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ. Γεωγραφική και χρονική διασπορά εφαρμογών βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου | 106 |
| Π. 34 ΕΘΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2014-2020 (ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2014) | 108 |
| Π. 35 ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ TOPSIS ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΟΥΣ ΑΠΟΦΑΣΙΖΟΝΤΕΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ (ΔΟΥΚΑΣ ΚΑΙ ΝΙΚΑΣ, ΑΔΗΜΟΣΙΕΥΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ) | 110 |
| Π. 36 ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΕΛΗΦΘΗΣΑΝ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΡΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ TIMES ΚΑΙ ΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΕΩΣ ΤΟ 2017. | 117 |
| Π. 37 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΟΥ ΘΕΤΟΥΝ ΕΜΠΟΔΙΑ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ. | 118 |
| Π. 38 ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ (ΣΤΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ) ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟ («2»). | 124 |
| Π. 39 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ («4») ΚΑΙ («3»). | 129 |

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων

| | |
|---|-----|
| Π. 40 ΑΠΟΛΥΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΑ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΑ ΜC (IN THE MC PORTFOLIOS). | 131 |
| Π. 41 ΤΥΠΟΙ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2021-2030 | 153 |
| Π. 42 ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2021-2030..... | 155 |
| Π. 43 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2021-2030 | 157 |
| Π. 44 Η ΠΟΛΥΠΛΕΥΡΗ ΣΥΝΔΕΞΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΕΣΕΚ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ «ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ» | 161 |
| Π. 45 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ | 166 |
| Π. 46 ΕΥΡΟΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ | 168 |
| Π. 47 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΘΕΙ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ | 171 |
| Π. 48 ΜΕΡΙΔΙΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΑΝΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ (ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ). | 178 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της διατριβής

Η κλιματική κρίση αποτελεί ένα αναγνωρισμένο παγκόσμιο πρόβλημα, με την Ευρωπαϊκή Ένωση να διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο έναντι της καταπολέμησης της. Στη προσπάθεια αυτή η ενεργειακή απόδοση αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες στόχευσης για την επίτευξη των σχετικών φιλόδοξων Ευρωπαϊκών στόχων. Ωστόσο η ανάγκη για συμπερίληψη πολλαπλών παραμέτρων κατά το σχεδιασμό οικονομικά και κοινωνικά βέλτιστων πολιτικών ενεργειακής απόδοσης, καθιστά το έργο των φορέων χάραξης πολιτικής ιδιαίτερα απαιτητικό.

Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης διαφορετικής κλίμακας προβλημάτων κατά τη λήψη αποφάσεων στο σχεδιασμό πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση, η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη ενός σπονδυλωτού επιστημονικού υποδείγματος, για την υποστήριξη των προαναφερθέντων φορέων χάραξης πολιτικής.

Η διατριβή διατηρώντας το σπονδυλωτό επιστημονικό πλαίσιο που προτείνει, διαρθρώνεται βάσει τεσσάρων μεθοδολογιών υποστήριξης αποφάσεων, διευρυνόμενης κλίμακας, σε νευραλγικούς τομείς διαμόρφωσης πολιτικών ενεργειακής απόδοσης υπό το πρίσμα των Εθνικών και Ευρωπαϊκών συνιστωσών. Για κάθε συνιστώσα, παρουσιάζεται το σχετιζόμενο πλαίσιο του προβλήματος, τα σημεία συμβολής της διατριβής, η προτεινόμενη μεθοδολογία καθώς και ένα παράδειγμα εφαρμοσμένης έρευνας.

Το προτεινόμενο σπονδυλωτό σχήμα συνθέτει τελικά ένα ενιαίο επιστημονικό υπόδειγμα ως προς την υποστήριξη του σχεδιασμού πολιτικών ενεργειακής απόδοσης. Παράλληλα συνεισφέρει ως προς το έργο της επιστημονικής κοινότητας, μέσω της παρουσίασης μιας εργαλειοθήκης, απαρτιζόμενης από αποτελεσματικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις και ενός ευρείας χρήσης πληροφοριακού συστήματος.



Εικόνα 1: Μεθοδολογίες υποστήριξης αποφάσεων πολιτικών ενεργειακής απόδοσης, διευρυνόμενης κλίμακας

1.2 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για την αναβάθμιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος κατοικιών

Η παρούσα συνιστώσα αφορά την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας παρεμβάσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στο ελληνικό κτιριακό απόθεμα κατοικιών.

Τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEBs) αποτελούν βασικό στόχο της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Η Ελλάδα έχει θεσπίσει έναν σαφή ορισμό για τα κτίρια nZEB, ωστόσο η αλληλεξάρτηση μεταξύ βέλτιστου κόστους και ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων nZEB δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Η παρούσα συνιστώσα περιλαμβάνει ανάλυση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας μεταξύ των διαφόρων παρεμβάσεων για την ενεργειακή απόδοση στο υφιστάμενο ελληνικό κτιριακό απόθεμα κατοικιών. Για τον σκοπό αυτό, υπολογίστηκε το επενδυτικό κόστος, καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης για ένα ευρύ φάσμα μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Όλοι οι υπολογισμοί βασίστηκαν στη μεθοδολογία που ορίζεται στην οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, ενώ οι παραδοχές οικονομικής αξιολόγησης βασίστηκαν στο πρότυπο EN 15459-1. Στόχος της μελέτης είναι ο προσδιορισμός των πλέον οικονομικά αποδοτικών μέτρων που μπορούν να εφαρμοστούν σε δύο διαφορετικούς τύπους κτιρίων, μονοκατοικίες και πολυκατοικίες, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο κατασκευής τους και την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκουν. Επιπλέον, αντικείμενο αποτελεί και η αξιολόγηση της απόκλισης των μέτρων αυτών από τα όρια των κτιρίων nZEB.

1.2.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας

- ο Παρουσίαση μεθοδολογίας ανάλυσης, για τη περίπτωση της Ελλάδας, της εφικτότητας υλοποίησης και του χρηματοδοτικού κενού μεταξύ των βέλτιστων από πλευράς κόστους παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης και αυτών που οδηγούν σε ενεργειακή αναβάθμιση επιπέδων nZEB.
- ο Παρουσίαση ολοκληρωμένης προσέγγισης για τη διερεύνηση της σχέσης κόστους – αποτελεσματικότητας ευρείας κλίμακας σεναρίων, αποτελούμενα από τεχνολογίες και μέτρα διαφορετικής εστίασης και τεχνολογικής ωριμότητας.
- ο Διερεύνηση του αντίκτυπου της κλιματικής ζώνης και της χρονικής περιόδου κατασκευής κατά τον προσδιορισμό των βέλτιστων από πλευράς κόστους παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης.

1.3 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για τον καθορισμό ενεργειακών απαιτήσεων νέων κτιρίων κατοικιών

Η παρούσα συνιστώσα αφορά την διενέργεια συγκριτικής μελέτης βελτιστότητας κόστους και ενεργειακής απόδοσης για νεόδμητα κτίρια κατοικίας στο πλαίσιο στόχου προς κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου στην Ελλάδα.

Στη παρούσα συνιστώσα διερευνώνται η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και οι δυνατότητες εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που προσφέρουν διάφοροι συνδυασμοί ενεργειακών μέτρων σε νεόδμητα κτίρια μονοκατοικιών (μΚ) και πολυκατοικιών (πΚ), σε δύο κλιματικές ζώνες (Β και Γ) στην Ελλάδα. Οι υπολογισμοί των φορτίων του κτιρίου, καθώς και του κόστους επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης των μέτρων βασίζονται στη μεθοδολογία που ορίζεται στην οδηγία 2010/31/ΕΕ ενώ οι οικονομικές παραδοχές βασίστηκαν στο πρότυπο EN 15459-1. Σκοπός της μελέτης είναι η αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της ενεργειακής απόδοσης πολλαπλών συνδυασμών μέτρων σε νεόδμητα κτίρια με ζητούμενο την επίτευξη επιπέδων μηδενικού ισοζυγίου ή σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, σύμφωνα με τη μεθοδολογική προσέγγιση της EPBD, τον κατ' εξουσιοδότηση κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής και τις κατευθυντήριες γραμμές που συνοδεύουν τον κατ' εξουσιοδότηση κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής.

1.3.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας

- ο Παρουσίαση μεθοδολογίας και αποτελεσμάτων, για τη περίπτωση της Ελλάδας, του προσδιορισμού της εφικτότητας υλοποίησης και του χρηματοδοτικού κενού μεταξύ των βέλτιστων από πλευράς κόστους ενεργειακών χαρακτηριστικών νέων κτιρίων κατοικιών,

αυτών που οδηγούν σε επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης nZEB και αυτών που οδηγούν σε NZEB.

- ο Παρουσίαση ολοκληρωμένης και σφαιρικής προσέγγισης για τη διερεύνηση της σχέσης κόστους – αποτελεσματικότητας ευρείας κλίμακας σεναρίων, αποτελούμενα από τεχνολογίες και μέτρα διαφορετικής εστίασης και τεχνολογικής ωριμότητας.
- ο Διερεύνηση του αντίκτυπου της κλιματικής ζώνης κατά τον προσδιορισμό των βέλτιστων από πλευράς κόστους ενεργειακών χαρακτηριστικών νέων κτιρίων κατοικιών, αυτών που οδηγούν σε επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης nZEB και αυτών που οδηγούν σε NZEB.

1.4 Υποστήριξη διαμόρφωσης Εθνικών Σχεδίων Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης

Η παρούσα συνιστώσα αφορά την αξιολόγηση πολιτικών ενεργειακής απόδοσης ως στοιχείων χαρτοφυλακίου στο πλαίσιο της προώθησης της ενεργειακής απόδοσης στην Ελλάδα υπό το πρίσμα του κινδύνου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, μετατοπίζοντας το κέντρο βάρους της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής προς την κατεύθυνση μιας σταθερής δέσμευσης για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης. Δεδομένης της περιορισμένης προόδου που καταγράφεται στο τελευταίο σχέδιο δράσης ενεργειακής απόδοσης της Ελλάδας, στόχος της παρούσας συνιστώσας είναι η υποστήριξη στον επανασχεδιασμό βραχυπρόθεσμου πλαισίου εθνικής πολιτικής. Υπό αυτό το πρίσμα, αναπτύσσεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης προσανατολισμένο στην ανάλυση κινδύνου, για την υποστήριξη της βέλτιστης κατανομής των πόρων του προϋπολογισμού σε μέτρα ενεργειακής απόδοσης. Η εφαρμογή που παρουσιάζεται αφορά την επίτευξη των Ελληνικών εθνικών στόχων για το 2020. Το διεπιστημονικό μεθοδολογικό πλαίσιο εκκινεί από τα ελληνικά Σχέδια Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση και περιλαμβάνει συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών, πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων και ανάλυση χαρτοφυλακίου. Η αξιολόγηση των εργαλείων πολιτικής βασίζεται σε δύο κριτήρια, ήτοι την εξοικονόμηση ενέργειας και τον κίνδυνο που σχετίζεται με την υλοποίηση των μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο τεχνικών και οικονομικών περιορισμών. Τέλος, αξιολογείται η ευρωστία τόσο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων πολιτικής όσο και των επιμέρους πολιτικών που συνθέτουν τα εν λόγω χαρτοφυλάκια.

1.4.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας

- ο Παρουσίαση προσέγγισης στη βάση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου, η οποία ενσωματώνει τη γνώση των ενδιαφερόμενων μερών, την

πολυκριτηριακή αξιολόγηση κινδύνου και την ανάλυση ευρωστίας στο πεδίο της ενεργειακής απόδοσης.

- ο Ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης προσανατολισμένο στην ανάλυση κινδύνου, για την υποστήριξη της βέλτιστης κατανομής των πόρων του προϋπολογισμού σε μέτρα ενεργειακής απόδοσης.
- ο Εφαρμογή και αξιοποίηση του ανωτέρω ολοκληρωμένου μοντέλου στον Εθνικό Σχεδιασμό Ενεργειακής Απόδοσης — για την επιστημονική τεκμηρίωση της προετοιμασίας του 4ου ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας.

1.5 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης στο πλαίσιο ενός ενιαίου Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα

Η παρούσα συνιστώσα αφορά τον πολυδιάστατο σχεδιασμό πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο των εθνικών σχεδίων δράσης για την ενέργεια και το κλίμα.

Προς την κατεύθυνση της εκπλήρωσης της Συμφωνίας του Παρισιού, η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει να επιτύχει ένα σύνολο φιλόδοξων στόχων για το κλίμα και την ενέργεια, με τον πυλώνα της ενεργειακής απόδοσης να διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο. Η παρούσα συνιστώσα προτείνει μια πολυδιάστατη προσέγγιση για τον σχεδιασμό ενός ισορροπημένου, ρεαλιστικού και βέλτιστου από πλευράς κόστους χαρτοφυλακίου πολιτικών ενεργειακής απόδοσης, στο διευρυμένο πλαίσιο του ΕΣΕΚ, λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο στόχων, περιορισμών, ιδιαιτεροτήτων και πολιτικών προτεραιοτήτων. Υπό αυτό το πρίσμα, περνώντας από τα μέτρα στις πολιτικές, η προτεινόμενη μεθοδολογία επιτυγχάνει τον σχεδιασμό ενός βέλτιστου χαρτοφυλακίου ενεργειακής απόδοσης, εξισορροπώντας την κλίμακα διαφοροποίησης των ποικίλων πηγών χρηματοδότησης και του συσχετιζόμενου κινδύνου. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται για την υποστήριξη του ελληνικού ΕΣΕΚ.

1.5.1 Βασικά σημεία συμβολής της διατριβής μέσω της παρούσας συνιστώσας

- ο Εισαγωγή προσέγγισης τριών επιπέδων ως προς τον ορισμό τεχνολογιών, μέτρων και πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.
- ο Πρόταση ενός πολύπλευρου σχεδιασμού πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ, εξετάζοντας διαφορετικές τεχνολογίες και μέτρα ενεργειακής απόδοσης σε συνδυασμό με ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών μηχανισμών χρηματοδοτικής στήριξης.
- ο Εισαγωγή μεθοδολογικού πλαισίου κατά το οποίο αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων πολιτικών σύμφωνα με το πλαίσιο και των δύο στόχων ενεργειακής απόδοσης του Άρθρου 3

και Άρθρου 7 της ΕΕΔ, επισημαίνοντας και εξηγώντας τις διαφορές και τις αντιφάσεις ανάμεσα στις δύο αυτές προσεγγίσεις.

- Χρήση της θεωρίας χαρτοφυλακίου για την ανάπτυξη νέων, καινοτόμων και ολιστικών πολιτικών και χρηματοδοτικών μηχανισμών, στο πλαίσιο ενός μακροπρόθεσμου σχεδιασμού για την Ενέργεια και το Κλίμα.
- Πολυδιάστατος σχεδιασμός πολιτικών ενεργειακής απόδοσης μέσω της ενσωμάτωσης μια σειράς στόχων, περιορισμών, πολιτικών προτεραιοτήτων καθώς και ρίσκου αποδοχής των διαφόρων εμπλεκομένων μερών.
- Εφαρμογή και αξιοποίηση του ανωτέρω ολοκληρωμένου μοντέλου στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα — για την επιστημονική τεκμηρίωση της προετοιμασίας του 1ου ΕΣΕΚ της Ελλάδας.
- Ανάπτυξη ενός ευρείας χρήσης πληροφοριακού εργαλείου (Multi Perspective Investment Analysis Tool – ΜuPIA) για υποστήριξη αποφάσεων πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.

Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζονται αναλυτικά οι 4 σπονδυλωτές συνιστώσες τις διατριβής με σειρά διευρυνόμενης κλίμακας, όπως παρουσιάστηκαν ανωτέρω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

2 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για την αναβάθμιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος κατοικιών

2.1 Πλαίσιο και διατύπωση προβλήματος

Τα κτίρια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις πολιτικές της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση [2.1], καθώς ευθύνονται για σχεδόν το 40 % της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας και για το 36 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [2.2]. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού αποθέματος της Ευρώπης είναι ζωτικής σημασίας, όχι μόνο για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ για το 2020 και το 2030, αλλά και για την εκπλήρωση των μακροπρόθεσμων στόχων που θέτει ο ευρωπαϊκός χάρτης πορείας προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050 [2.3]. Στο πλαίσιο αυτό, η οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) [2.4] και η οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση (EED) [2.5] εισήγαγαν ειδικές διατάξεις αναφορικά με τη βελτίωση των ενεργειακών επιδόσεων του ευρωπαϊκού κτιριακού αποθέματος. Η EPBD εστιάζει σε σημαντικό βαθμό στην προώθηση των κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB), τόσο για τα νέα κτίρια όσο και για τα ριζικά ανακαινιζόμενα υφιστάμενα κτίρια. Σύμφωνα με το Άρθρο 2 της οδηγίας [2.4], ως nZEB ορίζεται το «κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να συνίσταται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της παραγομένης επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου».

Επιπροσθέτως, η EPBD απαιτεί όλα τα νέα κτίρια από το 2021 και εξής (τα δημόσια κτίρια από το 2019 και εξής) να είναι nZEB. Επιπλέον, τα κράτη μέλη πρέπει να αναπτύξουν πολιτικές και να εφαρμόσουν μέτρα για την προώθηση της αναβάθμισης των υφιστάμενων κτιρίων σε nZEB. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, ενώ η EPBD θέτει το πλαίσιο για τα κτίρια nZEB, τα κράτη μέλη φέρουν την ευθύνη να υποβάλλουν εκθέσεις σχετικά με τη διεξοδική εφαρμογή του εν λόγω ορισμού, όπως αυτός υλοποιείται σε κάθε χώρα μέλος (αντικατοπτρίζοντας δηλαδή τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές συνθήκες).

Από το 2016, 13 κράτη μέλη — Αυστρία, Βέλγιο (Βρυξέλλες, Φλάνδρα), Τσεχία, Κροατία, Δανία, Εσθονία, Γαλλία, Ιρλανδία, Λουξεμβούργο, Λετονία, Λιθουανία, Ολλανδία και Σλοβακία — παρουσίασαν έναν εφαρμοζόμενο ορισμό για τα κτίρια nZEB, παραθέτοντας αριθμητικούς στόχους όσον αφορά τη χρήση πρωτογενούς ενέργειας [2.6]. Είναι αξιοσημείωτο ότι το εύρος των αριθμητικών τιμών διαφέρει σε μεγάλο βαθμό ανάμεσα στα κράτη μέλη. Πράγματι, το φάσμα τιμών σε ορισμένες περιπτώσεις υπερβαίνει τις απαιτήσεις για τα κτίρια nZEB

(όπως στην περίπτωση κτιρίων μηδενικού ή θετικού ενεργειακού ισοζυγίου) έως 270 kWh/(m² γ). Για τα κτίρια κατοικίας, η μέγιστη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (PEC) κυμαίνεται από 33 kWh/(m² γ) έως 95 kWh/(m²·γ), με τις περισσότερες χώρες να θέτουν ως στόχο την καθιέρωση επιπέδων ενεργειακής κατανάλωσης από 45 περίπου έως 50 kWh/(m²γ). Οι προοπτικές όσον αφορά τη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα των κτιρίων είναι αρκετά διαφοροποιημένες μεταξύ των κρατών μελών, με λίγες μόνο χώρες να ορίζουν ένα συγκεκριμένο ελάχιστο ποσοστό συμμετοχής και με την πλειονότητα να προβαίνει μόνο σε ποιοτικές προσεγγίσεις.

Μια σημαντική πτυχή των κτιρίων nZEB αφορά τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και τη βελτιστότητα κόστους. Πράγματι, η ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ των λύσεων βέλτιστου κόστους και των κτιρίων nZEB αποτελεί ένα από τα πρωταρχικά βήματα για την επιτυχή εφαρμογή της EPBD. Επί του παρόντος, η βελτιστότητα κόστους καθοδηγεί το πλαίσιο σε επίπεδο φιλόδοξων στόχων τόσο για την ανακαίνιση των υφιστάμενων όσο και για τα νέα κτίρια. Ωστόσο, η θεμελιώδης αρχή των nZEB θα αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για τα νέα κτίρια από το 2021 (για τα νέα δημόσια κτίρια από το 2019) και μετά. Ως εκ τούτου, χρειάζεται μια ομαλή και συνεπής μετατόπιση των πολιτικών και των αγορών από τη βελτιστότητα του κόστους στα κτίρια με σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Εξ ορισμού, σύμφωνα με την EPBD, η βελτιστότητα κόστους αναφέρεται στα επίπεδα ενεργειακής απόδοσης που έχουν ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής. Για τον καθορισμό του χαμηλότερου κόστους λαμβάνονται υπόψη το κόστος ενεργειακών επενδύσεων, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας (συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών δαπανών και της εξοικονόμησης ενέργειας βάσει της κατηγορίας του εξεταζόμενου κτιρίου και των κερδών από την παραγόμενη ενέργεια), και το κόστος διάθεσης, εφόσον υπάρχει [2.7]. Επομένως, τα επίπεδα βέλτιστου κόστους εμπίπτουν στα επίπεδα ενεργειακής απόδοσης, των οποίων η ανάλυση κόστους-οφέλους αποδίδει θετικά αποτελέσματα. Σε γενικές γραμμές, η βελτιστότητα κόστους πλαισιώνεται από επίπεδα ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης που αποβλέπουν όχι μόνο σε βραχυπρόθεσμες περιόδους αποπληρωμής, αλλά και σε μακροπρόθεσμη οικονομική απόδοση και βελτιστοποίηση, με απώτερο στόχο τη μείωση του κόστους κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής και τη διατήρηση παράλληλα υψηλής ενεργειακής απόδοσης [2.8]. Ωστόσο, μέχρι τώρα, η συζήτηση ως προς τον συνδυασμό των απαιτήσεων των nZEB με την ανάγκη κάλυψης των σχετικών επενδύσεων και την προώθηση της μείωσης του κόστους παραμένει ανοικτή. Ορισμένες από τις κύριες προκλήσεις που θα πρέπει να υπερκεραστούν για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι η έλλειψη πρότυπης συστηματικής προσέγγισης για την εξαγωγή της βελτιστότητας του κόστους, η αβεβαιότητα των δεδομένων εισόδου στα ενεργειακά μοντέλα προσομοίωσης και οι υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, οι ελλιπείς πληροφορίες σχετικά με το κόστος και το ωράριο χρήσης των κτιρίων λόγω της

διαφοροποίησης του μοντέλου ζωής των χρηστών από χώρα σε χώρα της Ευρώπης, καθώς και η δυσκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων που επηρεάζονται από πολλαπλούς παράγοντες [2.9].

Στο πλαίσιο αυτό, στη μελέτη *Towards nearly zero-energy buildings. Definition of common principles under the EPBD* [2.10] για τα κτίρια nZEB στην Ευρώπη, η οποία εκπονήθηκε για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το εκτιμώμενο χάσμα μεταξύ της βελτιστότητας του κόστους και των κτιρίων nZEB υπολογίστηκε ως προς α) τη διαθεσιμότητα/τεχνική εφαρμοσιμότητα των απαιτούμενων τεχνολογιών, και β) τις διαφορές στο συνολικό κόστος κύκλου ζωής. Όσον αφορά την πρώτη παράμετρο, η μελέτη οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των υφιστάμενων τεχνολογιών, που οδηγούν σε εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας μέσω της μείωσης της ζήτησης, της βελτίωσης της απόδοσης και της αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), προσφέρει τη δυνατότητα επίτευξης των στόχων για κτίρια nZEB. Παράλληλα στη μελέτη διαπιστώνεται πως η μείωση του επενδυτικού κόστους, η βελτίωση της επίδοσης των επιμέρους στοιχείων και συστημάτων ή οι βελτιωμένες λύσεις αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν θετικά προς την κατεύθυνση της υιοθέτησης των κτιρίων nZEB ως μια βιώσιμη στην πράξη επιλογή. Από την άλλη πλευρά, περιορισμοί ενδέχεται να προκύψουν για τα συστήματα ΑΠΕ, κυρίως λόγω χρονικών ή τοπικών ανομοιογενειών, ιδίως στην περίπτωση που κάποια τεχνολογία ευνοείται σημαντικά από τις συνθήκες της αγοράς ή από τις εφαρμοζόμενες πολιτικές.

Προς το παρόν, η Ελλάδα δεν έχει εκπονήσει καμία μελέτη για την απόκλιση μεταξύ βελτιστότητας κόστους και nZEB, αν και προχώρησε πρόσφατα στον καθορισμό των κτιρίων nZEB.

Τη σημασία της παροχής λεπτομερών ορισμών για τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και του συσχετιζόμενου κόστους τους, σύμφωνα με την τελική χρήση των κτιρίων για κάθε χώρα, τόνισαν οι Aelenei et al. [2.7] σε ανάλυση που διενήργησαν για τον προσδιορισμό των επιπέδων βέλτιστου κόστους για τα nZEB υφιστάμενα κτίρια. Οι D'Agostino και Parker [2.9] ανέπτυξαν ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης βασισμένο σε προσομοιώσεις για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με μέτρα ενεργειακής απόδοσης κτιρίων βέλτιστου κόστους, το οποίο το εφάρμοσαν σε ένα πρότυπο κτίριο κατοικίας. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών τους έδειξαν ότι τα βέλτιστα από πλευράς κόστους μέτρα μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τη γεωγραφική θέση. Επιπλέον, οι συγγραφείς εκτιμούν ότι η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί πλέον του 90 % για τα νέα κτίρια, επιβεβαιώνοντας ότι η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για την επίτευξη των στόχων για κτίρια nZEB. Οι Ferrara και Fabrizio [2.12] διεξήγαγαν έρευνα για τη μεταβολή του σχεδιασμού βέλτιστου κόστους στην περίπτωση μιας μονοκατοικίας στο Παρίσι, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα σενάρια, και κατέληξαν στο

συμπέρασμα ότι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μπορεί να ενισχύσει την οικονομική ευρωστία υπό μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες.

Οι Pikas et al. [2.13] διερεύνησαν τη δυνατότητα της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών να ανταποκριθεί στις κτιριακές προδιαγραφές των nZEB και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, λόγω της αυξανόμενης απόδοσης και του μειούμενου κόστους των φωτοβολταϊκών συστημάτων, αποδοτικά μέτρα αυτού του είδους αναμένεται να καταστούν βέλτιστα από πλευράς κόστους χωρίς κρατικές επιδοτήσεις. Σε μελέτη που πραγματοποίησαν οι Baglino et al. [2.14] επιχειρούν να προσδιορίσουν τα επίπεδα βέλτιστου κόστους για καινούργια κτίρια μονοκατοικιών σε θερμά κλίματα, εξετάζοντας την αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, καθώς και την εγκατάσταση τεχνολογιών υψηλής απόδοσης, όπως μονάδες αντλιών θερμότητας, ηλιακών θερμικών συλλεκτών και φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με διαφορετικούς τύπους συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού. Οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση της PEC από 68 % έως 95 % σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα των κτιρίων αναφοράς. Σύμφωνα με το σενάριο βέλτιστου κόστους, μείωση της PEC κατά 85 % επιτυγχάνεται με κόστος κύκλου ζωής χαμηλότερο κατά 135 €/m² σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, επισημαίνουν ότι, λόγω του αυξημένου συνολικού κόστους που κυμαίνεται μεταξύ 309 και 342 €/m², είναι αναγκαίο να υπάρχουν πλαίσια κινήτρων, με τη συμβολή των οποίων τα κτίρια nZEB θα καθίστανται οικονομικά προσιτά.

Στην αξιολόγηση της βελτιστότητας κόστους για μονοκατοικίες εστίασαν και οι Becchio et al. [2.15], οι οποίοι έλαβαν υπόψη 40 διαφορετικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης στην Ιταλία, μεταξύ αυτών αναβάθμιση της μόνωσης και αντικατάσταση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Από τα αποτελέσματα της μελέτης προέκυψε ότι, για να επιτευχθεί μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο, είναι αναγκαία η εγκατάσταση συστημάτων υψηλής απόδοσης σε συνδυασμό με ενισχυμένη μόνωση του κτιριακού κελύφους, καθώς και η εγκατάσταση μεγάλων φωτοβολταϊκών συστημάτων (35 W/m²). Η μείωση του αποτυπώματος CO₂, που επιτεύχθηκε μέσω της εφαρμογής των μέτρων ενεργειακής απόδοσης, ήταν ίση με 40 % σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς, με το συνολικό κόστος να κυμαίνεται από 212 €/m² έως 313 €/m² εάν δεν παρέχονται χρηματοδοτικά κίνητρα. Οι συντάκτες επεσήμαναν επίσης ότι η μεγάλη χρηματοοικονομική διαφορά ανάμεσα σε λύσεις βέλτιστου κόστους και λύσεις που επιτυγχάνουν επίπεδα PEC εναρμονισμένα με τις προδιαγραφές των nZEB καταδεικνύει την ανάγκη να εξεταστούν πρόσθετα μέτρα ενεργειακής απόδοσης. Καθώς οι λύσεις βέλτιστου κόστους βασίστηκαν σε συστήματα λεβήτων αερίου με σχετικά χαμηλή απόδοση, τα αντίστοιχα μερίδια ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ήταν χαμηλότερα (20-30 %) σε σύγκριση με συστήματα υψηλής απόδοσης, όπως οι προηγμένες αντλίες θερμότητας. Οι Kurnitski et al. [2.16] διερεύνησαν τα επίπεδα ενεργειακής απόδοσης βέλτιστου κόστους και κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, σύμφωνα με τον ορισμό της REHVA και εφαρμόζοντας την εθνική μεθοδολογία ενεργειακών υπολογισμών,

λαμβάνοντας ως κτίρια αναφοράς μεμονωμένα εσθονικά παραδείγματα. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε μια σειρά κτιρίων αναφοράς, αντιπροσωπευτικά διαφορετικών κατασκευαστικών αντιλήψεων. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων, στα οποία περιλαμβάνονταν λέβητες αερίου και βιομάζας, αντλίες θερμότητας, ηλεκτρικοί θερμαντήρες, τηλεθέρμανση και τηλεψύξη. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η κατανάλωση ενέργειας που αντιστοιχούσε στη βέλτιστη από πλευράς κόστους παρέμβαση ισοδυναμούσε με 110 kWh/(m²y) και συμπεριελάμβανε την εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Την ενεργειακή και περιβαλλοντική εφικτότητα των κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου εξετάζουν οι Ascione et al. [2.17] με τη διεξαγωγή μελέτης περίπτωσης σε υπό ανέγερση παραθεριστικό οικισμό στην Κατερίνη. Οι ερευνητές δεν επικεντρώθηκαν σε μεμονωμένα κτίρια, αλλά επέκτειναν το πεδίο εφαρμογής της μεθοδολογίας τους ώστε να καλύπτει έναν ολόκληρο αστικό οικισμό με 10 διαφορετικές κτιριακές τυπολογίες, που αντιστοιχούν σε κτίρια κατοικίας, εμπορικής χρήσης, καθώς και ξενοδοχεία. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν ήταν ότι η αύξηση της μόνωσης στα κελύφη των κτιρίων πέραν των ορίων που θεσπίζονται από τη νομοθεσία, με την παράλληλη εφαρμογή πρόσθετων μέτρων που αφορούν σε παθητικά και υψηλής απόδοσης ενεργητικά συστήματα, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων κατά 50-90 % εν συγκρίσει με το σενάριο αναφοράς. Παράλληλα διαπίστωσαν ότι η υιοθέτηση βιοκλιματικού σχεδιασμού των ξενοδοχείων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των απαιτήσεων ψύξης κατά 60-70 %. Τέλος, η συνολική μείωση των εκπομπών από τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης υπολογίστηκε ότι μπορεί να ανέλθει στο 81 %. Τα ανωτέρω αποτελέσματα έδειξαν, σύμφωνα με τους συντάκτες, τις ελπιδοφόρες προοπτικές των κτιρίων nZEB στην περίπτωση του υπό διερεύνηση οικισμού. Οι Kamprelis et al. [2.18] αξιολόγησαν τη διαφορά των nZEB στους τομείς της βιομηχανίας, των κατοικιών και των υπηρεσιών. Χρησιμοποίησαν εργαλεία δυναμικής προσομοίωσης για τον υπολογισμό των επιπέδων ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, ενώ εξέτασαν πολλαπλά μέτρα ενεργειακής απόδοσης, όπως βελτιωμένα μονωτικά υλικά και υψηλής απόδοσης συστήματα θέρμανσης, αερισμού, κλιματισμού και φωτισμού σε συνδυασμό με την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών και φωτοβολταϊκών, αποθήκευση θερμότητας και ηλεκτρισμού και προηγμένες στρατηγικές παρακολούθησης και ελέγχου. Οι μελετητές επεσήμαναν τη σημασία του προληπτικού ελέγχου, τη χρήση μοντέλων ανάλυσης συμπεριφοράς των χρηστών, αλλά και την επιδίωξη ενεργής συμμετοχής των χρηστών, ως βασικούς παράγοντες στο ζήτημα της βελτίωσης των επιδόσεων.

Ο Σανταμούρης [2.19] έδωσε έμφαση σε τρεις κρίσιμες πτυχές των κτιρίων στην Ευρώπη: ενεργειακή κατανάλωση, ενεργειακή ένδεια και κλιματική αλλαγή. Πρότεινε μια ολιστική προσέγγιση και τη χάραξη ενός οδικού χάρτη για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεών τους σε παγκόσμιο επίπεδο, εντοπίζοντας πιθανές συνέργειες μεταξύ τους. Ο συγγραφέας επεσήμανε και

συζήτησε μια σειρά αιτιωδών σχέσεων μεταξύ των διαφόρων κοινωνικοοικονομικών και συμπεριφορικών τάσεων, των τεχνολογικών λύσεων και των πολιτικών που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, σκιαγραφώντας παράλληλα μελλοντικούς στόχους. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι τρέχουσες πολιτικές που αποσκοπούν στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων συνήθως δεν λαμβάνουν υπόψη την κλιματική αλλαγή σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο, καθώς και τις τεχνικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας, οδηγώντας εν κατακλείδι σε υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση και κοινωνικές αποκλίσεις. Τέλος, τονίζει ότι οι επενδύσεις στον οικοδομικό τομέα θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα ανησυχητικά προβλήματα των διογκούμενων οικονομικών ανισοτήτων και των κοινωνικών διακρίσεων.

Παρά τις ανωτέρω περιπτώσεις, εξακολουθεί να είναι πολύ περιορισμένος ο αριθμός των μελετών που εστιάζουν στη βελτιστότητα κόστους δεσμών παρεμβάσεων που αποσκοπούν στην επίτευξη επιπέδων nZEB σε κτίρια με χρήση κατοικίας. Ταυτόχρονα, οι μελέτες αυτές, στην πλειονότητά τους, εξετάζουν σχετικά λίγα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, ενώ συχνά προσανατολίζονται σε μονοκατοικίες και επικεντρώνονται σε μία κλιματική ζώνη. Επιπλέον, από όσο είναι σε θέση να γνωρίζει ο συγγραφέας, δεν έχουν εκπονηθεί μελέτες που να λαμβάνουν υπόψη τις ειδικές κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας, οι οποίες είναι επίσης αντιπροσωπευτικές και για άλλες μεσογειακές χώρες. Μια άλλη σημαντική πτυχή που δεν έχει ακόμη διερευνηθεί είναι η επίδραση των προδιαγραφών των κτιρίων, που κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, στη βελτιστότητα κόστους των παρεμβάσεων που αποβλέπουν σε nZEB.

Με τα παραπάνω δεδομένα, η παρούσα μελέτη έχει δύο βασικούς στόχους. Ο πρώτος είναι να διαμορφώσει και παρουσιάσει μια ολοκληρωμένη, σφαιρική προσέγγιση για τη διερεύνηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της ενεργειακής απόδοσης δεσμών παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό μέτρων ενεργειακής απόδοσης όπως η αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, των συστημάτων αυτοματισμού, ηλιακές τεχνολογίες (φωτοβολταϊκά και ηλιακά υποβοηθούμενα συστήματα θέρμανσης), καθώς και μια πληθώρα συστημάτων θέρμανσης, ζεστού νερού χρήσης και ψύξης που περιλαμβάνουν συμβατικές τεχνολογίες και λύσεις αιχμής υψηλής απόδοσης, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο εμπόριο. Ο δεύτερος στόχος είναι να υπογραμμιστεί ο αντίκτυπος των διαφορετικών κλιματικών συνθηκών και των χαρακτηριστικών των κτιρίων που κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές περιόδους στην Ελλάδα στην οικονομική και ενεργειακή απόδοση των δεσμών παρεμβάσεων. Εξετάζονται δύο διαφορετικοί τύποι κτιρίων κατοικίας, μονοκατοικίες και πολυκατοικίες. Πραγματοποιούνται σχεδόν 380.000 προσομοιώσεις, ενώ τα αποτελέσματα συνοδεύονται από εκτενή ανάλυση, η οποία υπογραμμίζει την ανταγωνιστικότητα κόστους και την ενεργειακή απόδοση διαφορετικών προσεγγίσεων για την επίτευξη των στόχων για κτίρια nZEB, με βάση το πλέον πρόσφατο οικονομικό και τεχνολογικό πλαίσιο.

2.2 Μεθοδολογική προσέγγιση και εφαρμογή

2.2.1 Επισκόπηση

Όπως προαναφέρθηκε, επιπλέον στόχος της παρούσας μελέτης αποτελεί ο προσδιορισμός της διαφοράς μεταξύ των επιπέδων βέλτιστου κόστους και των nZEB του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος κατοικιών. Ως εκ τούτου, αναλύθηκε η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας σε ένα ευρύ σύνολο παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που οδηγούν σε κτίρια nZEB, ενώ η μεθοδολογική προσέγγιση συμμορφώνεται πλήρως με την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) [2.4]. Τα κύρια στάδια της μεθοδολογίας περιλαμβάνουν:

- 1) Ορισμό των κτιρίων αναφοράς
- 2) Επιλογή των μέτρων ενεργειακής απόδοσης
- 3) Ενεργειακές προσομοιώσεις και αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας

Στις επόμενες ενότητες, αναλύεται λεπτομερώς καθένα από τα βήματα αυτά.

2.2.2 Ορισμός των κτιρίων αναφοράς

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας είναι ο ορισμός των κτιρίων αναφοράς που λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση [2.20]. Ο ορισμός των κτιρίων αναφοράς πραγματοποιείται σύμφωνα με τον κανονισμό 244/2012 της Ευρωπαϊκής Ένωσης [2.21], ο οποίος θεσπίστηκε για να συμπληρώσει την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD). Σύμφωνα με το Παράρτημα I του κανονισμού 244/2012, πρέπει να καθορίζονται αρκετά κτίρια αναφοράς με διαφορετικά χαρακτηριστικά (μέγεθος, δομικά υλικά, υποδομές θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού, κ.λπ.) βάσει του τύπου, της περιόδου κατασκευής και της κλιματικής τους ζώνης.

Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα μελέτη, τα κτίρια αναφοράς ομαδοποιούνται κατά:

1) Τύπο κτιρίου (μονοκατοικίες σε αντιδιαστολή με πολυκατοικίες)

(Και οι δύο τύποι κτιρίων θεωρήθηκαν ως απλά γεωμετρικά στερεά με οροφή)

2) Περίοδο κατασκευής

Έγινε διάκριση των ακόλουθων περιόδων κατασκευής:

- Π1: Πριν από το 1980 (εκτός από κατασκευές που χρονολογούνται προ του 1945 και αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία με ιστορικά ή παραδοσιακά χαρακτηριστικά).
- Π2: 1980-2000
- Π3: 2001-2010
- Π4: 2010-2016
- Π5: Νέα κτίρια

Καθεμία από τις περιόδους αυτές αντιστοιχεί σε αλλαγές στη νομοθεσία σχετικά με τον κατασκευαστικό τομέα στην Ελλάδα και σε μεταβολές στις μεθόδους και στα υλικά κατασκευής που επηρέασαν τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των κτιρίων.

3) Κλιματική ζώνη

Σύμφωνα με την εθνική ελληνική νομοθεσία, σχετικά με την έγκριση και εφαρμογή των Τεχνικών Οδηγιών του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ) για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων [2.22], η χώρα διαιρείται σε τέσσερις ζώνες, ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Πρόκειται για τις ακόλουθες:

- Ζώνη Α (νότια ζώνη)
- Ζώνη Β (κεντρική-νότια ζώνη)
- Ζώνη Γ (κεντρική-βόρεια ζώνη)
- Ζώνη Δ (βόρεια και ορεινή ζώνη)

Αν και στην πορεία της έρευνας συμπεριλήφθηκαν στις προσομοιώσεις και στους τεχνοοικονομικούς υπολογισμούς όλες οι περιόδοι κατασκευής και οι κλιματικές ζώνες, στο παρόν παρουσιάζονται μόνο τα κτίρια που κατασκευάστηκαν κατά τις περιόδους Π1 και Π2 στις κλιματικές ζώνες Β και Γ. Αυτό οφείλεται στη συγκριτικά σημαντική θέση που καταλαμβάνουν στο σύνολο του ελληνικού κτιριακού αποθέματος. Πράγματι, περίπου το 58 % και το 31 % (συνολικά το 89 %) των κτιρίων κατοικιών στην Ελλάδα κατασκευάστηκαν πριν από το 1980 (Π1) και μεταξύ 1981 και 2000 (Π2) αντίστοιχα. Επιπλέον, τα κτίρια που βρίσκονται στις ζώνες Β και Γ (όπου συμπεριλαμβάνονται η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, οι δύο μεγαλύτερες αστικές περιοχές της χώρας) αποτελούν την πλειονότητα των κτιρίων κατοικιών, αντιπροσωπεύοντας το 75 % του κτιριακού αποθέματος κατοικιών στη χώρα.

Σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση, συνοψίζονται στον Π. 1 τα κύρια χαρακτηριστικά των κτιρίων αναφοράς για τις ζώνες Β και Γ και για τις περιόδους κατασκευής Π1 και Π2. Ο προσανατολισμός των κτιρίων, δηλαδή η κατεύθυνση της πλειονότητας των ανοιγμάτων, είναι προς νότο. Σημειώνεται ότι υπάρχουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και κλιματικές ζώνες.

Π. 1 Βασικά χαρακτηριστικά των κτιρίων αναφοράς για τις κλιματικές ζώνες Β και Γ και για τις περιόδους Π1 και Π2

| | Μονοκατοικίες | Πολυκατοικίες |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Επιφάνεια δαπέδου (m ²) | Π1: 78.05 Π2: 79.03 | Π1: 696.56 Π2: 696.56 |
| Επιφάνεια τοίχων (m ²) | Π1: 106.40 Π2: 100.54 | Π1: 373.33 Π2: 385.78 |
| Επιφάνεια οροφής (m ² .) | Π1: 78.05 Π2: 79.03 | Π1: 234.75 Π2: 234.75 |
| Επιφάνεια παραθύρων (m ²) | Π1: 16.80 Π2: 18.68 | Π1: 100.44 Π2: 114.48 |
| Επιφάνεια σκίασης (τέντες) (m ²) | Π1: 19.80 Π2: 19.44 | Π1: 178.78 Π2: 178.78 |
| Αριθμός ορόφων | Π1: 1 Π2: 1 | Π1: 5 Π2: 5 |

2.2.3 Επιλογή δεσμών παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης

Υπάρχουν εν γένει πολλά μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Αυτά μπορεί να στοχεύουν είτε στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων, και κατά συνέπεια στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, μέσω παρεμβάσεων στο κτιριακό κέλυφος είτε στην άμεση μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω αποδοτικότερων συστημάτων παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας των κτιρίων. Η παρούσα ανάλυση κόστους - αποτελεσματικότητας συμπεριέλαβε ένα ευρύ φάσμα τέτοιων μέτρων, προκειμένου να αποδώσει μια αντικειμενική σύγκριση της μεταξύ τους σχέσης κόστους - αποτελεσματικότητας. Φυσικά, για να παραχθούν ρεαλιστικά και βιώσιμα στην πράξη αποτελέσματα, είναι αναγκαίο να επιλεγούν εύλογοι συνδυασμοί διαφορετικών μέτρων για την παραγωγή θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης (ZNX), ενώ περιπτώσεις αλληλοαναιρούμενων μέτρων παραλείπονται από την ανάλυση, προκειμένου να επιτευχθεί μια συνεπής και εστιασμένη μεθοδολογία και να αποφευχθούν ανυπόστατοι υπολογισμοί.

Μια γενική επισκόπηση των παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της μελέτης παρουσιάζεται στον Π. 2.

Ο πρώτος τύπος μέτρων σχετίζεται με τη θερμομόνωση των κτιρίων (1). Οι βελτιώσεις του κτιριακού κελύφους περιλαμβάνουν τη βελτίωση του συντελεστή θερμοπερατότητας σε τοίχους, οροφές, δάπεδα και παράθυρα μέσω της τοποθέτησης μόνωσης ή της αντικατάστασης επιμέρους δομικών στοιχείων. Παράλληλα διερευνάται η δυνατότητα εγκατάστασης συστημάτων σκίασης στα κτίρια (π.χ. τέντες, εξωτερικές περσίδες κ.λπ.) (2), η αναβάθμιση των διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών των εγκαταστάσεων θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης (ZNX) (4), η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ (5), η εγκατάσταση συστημάτων ηλιακά υποβοηθούμενης θέρμανσης και ZNX (6). Ο

δεύτερος τύπος μέτρων αφορά την εγκατάσταση διαφόρων συνδυασμών συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης (ZNX) (3) με σκοπό την αντικατάσταση των υφιστάμενων.

Π. 2 Παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης (τα διαφορετικά σενάρια με λατινικούς αριθμούς)

α/α Παρεμβάσεις για την ενεργειακή απόδοση

1 Κτιριακό κελύφος — 81 σενάρια

Προσθήκη επιπλέον μόνωσης σε υφιστάμενα κτίρια σε

α) εξωτερικούς τοίχους

β) οροφές

γ) δάπεδο

δ) κουφώματα, πόρτες και παράθυρα

Εξετάζεται κάθε δυνατή αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, από τη μεμονωμένη αναβάθμιση ενός στοιχείου του κελύφους (όπως η μόνωση των εξωτερικών τοίχων), έως τη συνδυασμένη αναβάθμιση και των τεσσάρων περιπτώσεων δομικών στοιχείων (Πίνακας 4). Εξετάστηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα μόνωσης (i, ii, iii) ανά επιμέρους στοιχείο. Ο συνολικός αριθμός των πιθανών συνδυασμών ισούται επομένως με 81 (=3⁴).

2 Εγκατάσταση συστημάτων σκίασης (κινητά σκίαστρα) — 2 σενάρια

i) χωρίς εγκατάσταση συστημάτων σκίασης

ii) με εγκατάσταση συστημάτων σκίασης

3 Αντικατάσταση των συστημάτων κλιματισμού και ZNX (βλ. Πίνακα 3 και Πίνακα 6) — 15 σενάρια

α) θέρμανση

β) ψύξη

γ) ζεστό νερό χρήσης

4 Συστήματα αυτοματισμών — 4 σενάρια

Σε αυτά περιλαμβάνονται συστήματα για την παρακολούθηση, τη μέτρηση και την προσαρμογή της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων και του ζεστού νερού χρήσης. Η επιτευχθείσα κατανάλωση ενέργειας για τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες αυτοματισμών, αριθμημένες από το 1 (εξελιγμένος έλεγχος) έως το 4 (χειροκίνητοι έλεγχοι) υπολογίζεται σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία 20701-1/2010 του ΤΕΕ [2.23], η οποία βασίζεται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15232: 2017 [[2.24],[2.25]]. Συνοπτική περιγραφή των κατηγοριών αυτοματισμών δίνεται στον Π. 5.

5 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πάνελ — 2 σενάρια

i) χωρίς εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

ii) με εγκατάσταση πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πάνελ, $\eta_{PV,n}=20\%$

α/α Παρεμβάσεις για την ενεργειακή απόδοση

συνολική επιφάνεια ΦΒ: α) μονοκατοικίες: 5 m², β) πολυκατοικίες: 66 m²

6 Ηλιακά υποβοηθούμενα συστήματα παραγωγής θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης — 3 σενάρια για κτίρια μονοκατοικιών και 2 σενάρια για κτίρια πολυκατοικιών

i) χωρίς ηλιοθερμικά συστήματα

ii) 60 % κάλυψη του ΖΝΧ

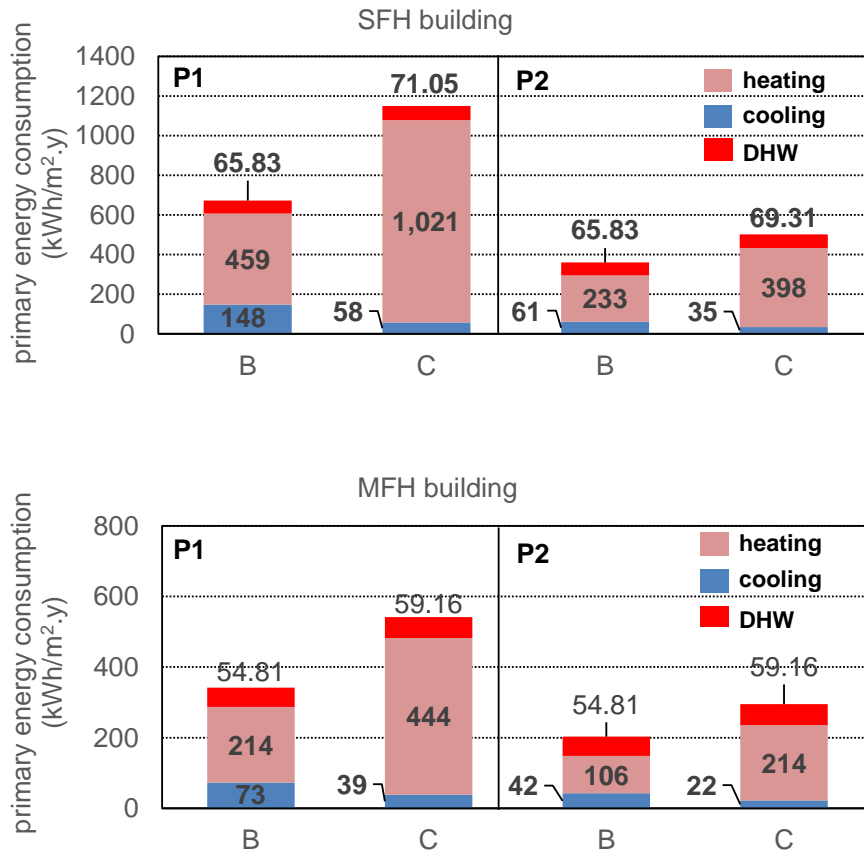
iii) 60 % κάλυψη του ΖΝΧ και της θέρμανσης των χώρων (μόνο για μονοκατοικία) με εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών 1 m² ανά 700 W θερμικής απαίτησης, σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία 20701-1/2010 του ΤΕΕ [2.23]. Η μέση κάλυψη της απαίτησης για θερμική ενέργεια είναι περίπου ίση με 17,0 % (Π1) - 21,3 % (Π2) και 15,4 % (Π1) - 18,4 % (Π2) για τις κλιματικές ζώνες Β και Γ αντίστοιχα.

Τα αρχικά χαρακτηριστικά των κτιρίων αναφοράς, όσον αφορά τους μέσους συντελεστές θερμοπερατότητας στους τοίχους, τις οροφές, τα δάπεδα και τα παράθυρα, τα είδη και τις αποδόσεις των συστημάτων θέρμανσης, ζεστού νερού χρήσης και ψύξης, καθώς και τα συστήματα αυτοματισμών, συνοψίζονται στον Π. 3. Τα κτίρια κατηγοριοποιούνται ανά περίοδο κατασκευής. Οι απεικονιζόμενες τιμές είναι οι εκτιμώμενες μέσες τιμές συντελεστών για διαφορετικές κλιματικές ζώνες και τύπους κτιρίων (μονοκατοικίες, συγκροτήματα πολυκατοικιών) βάσει της ελληνικής μελέτης βέλτιστου κόστους [2.20]. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένες τιμές των χαρακτηριστικών διαφέρουν για κάθε μεμονωμένη περίπτωση τύπου κτιρίου και κλιματικής ζώνης. Επομένως, τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον Π. 3 θα πρέπει να ερμηνεύονται μόνο ως αντιπροσωπευτικές μέσες τιμές συντελεστών.

Π. 3 Αρχικά χαρακτηριστικά κτιρίων (με βάση μελέτη βέλτιστου κόστους)

| Περίοδος | U (W/m ² K) | Θέρμανση | ZNX | Ψύξη | Κατ. αυτομ. | Ηλιοθερμικά συστήματα | Σκίαση | ΦΒ |
|----------|--|---|--|--|----------------|--------------------------|--------|-----|
| Π1 | τοιχος: 2.32-2.40 οροφή: 1.95-3.33 δάπεδο: 1.74 παράθυρο: 4.28-4.47 | Λέβητας πετρελαίου $\eta_{th}=72\%$ | Ηλεκτρικός θερμαντήρας $\eta_{th}=100\%$ | Διαιρούμενη μονάδα (split unit) COP = 1.5 | 4 | Κανένα | όχι | όχι |
| Π2 | τοιχος: 0.64 οροφή: 0.45-0.48 δάπεδο: 0.60-1.07 παράθυρο: 4.38-4.42 | Λέβητας πετρελαίου $\eta_{th}=82\%$ | Ηλεκτρικός θερμαντήρας $\eta_{th}=100\%$ | Διαιρούμενη μονάδα (split unit) COP = 1.5 | 4 | Κανένα | όχι | όχι |

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των κτιρίων αναφοράς για θέρμανση, ΖΝΧ και ψύξη, όπως υπολογίζεται από τη μελέτη βέλτιστου κόστους του Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ [2.11], φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των κτιρίων αναφοράς για θέρμανση ψύξη και παραγωγή ΖΝΧ, ομαδοποιημένη κατά τύπο κτιρίου (μονοκατοικία, πολυκατοικία), περίοδο κατασκευής (Π1/(P1), Π2/(P2)) και κλιματική ζώνη (B, Γ) [2.11]

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) των αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων για κάθε περίοδο κατασκευής συνοψίζονται στον Π. 4.

Π. 4 Συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων

| Περίοδος | U τοίχου (W/m²K) | U οροφής (W/m²K) | U δαπέδου (W/m²K) | U παραθύρου (W/m²K) |
|----------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Π1 | 2.32, 1.16, 0.58 | 3.33, 1.67, 0.83 | 1.74, 0.87, 0.44 | 4.47, 2.24, 1.12 |
| Π2 | 0.63, 0.32, 0.16 | 0.45, 0.23, 0.12 | 1.07, 0.54, 0.27 | 4.43, 2.22, 1.11 |

Οι κατηγορίες αυτοματισμών περιγράφονται εν συντομία στον Π. 5.

Π. 5 Επισκόπηση των κατηγοριών αυτοματισμών

| Κατ. Αυτ/μών | Περιγραφή |
|--------------|--|
| 1 | <p>Ολοκληρωμένη διάταξη αυτόματου ελέγχου της λειτουργίας των τερματικών μονάδων σε επίπεδο αυτόνομων χώρων ανά ιδιοκτησία (ανά λειτουργικό χώρο) με έλεγχο παρουσίας χρηστών (συστήματα ανίχνευσης κίνησης κ.ά.).</p> <p>Ύπαρξη θερμοστάτη και θερμοστατικών βαλβίδων σε κάθε αυτόνομο χώρο/ανά αυτόνομο χώρο ιδιοκτησίας.</p> <p>Αυτόματη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του δικτύου διανομής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία.</p> <p>Σε περίπτωση αλληλουχίας μεταξύ διαφορετικών μονάδων παραγωγής θέρμανσης/ψύξης, η προτεραιότητα βασίζεται στην αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής (ονομαστικό θερμικό/ψυκτικό φορτίο και απόδοση).</p> |
| 2 | <p>Ανεξάρτητος αυτόματος έλεγχος της λειτουργίας των τερματικών μονάδων σε επίπεδο αυτόνομων χώρων ανά ιδιοκτησία (ανά λειτουργικό χώρο).</p> <p>Αυτόματη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του δικτύου διανομής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία.</p> <p>Σε περίπτωση αλληλουχίας μεταξύ διαφορετικών μονάδων παραγωγής θέρμανσης/ψύξης, η προτεραιότητα βασίζεται στην αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής (ονομαστικό θερμικό/ψυκτικό φορτίο).</p> |
| 3 | <p>Αυτόματος έλεγχος της λειτουργίας των τερματικών μονάδων σε επίπεδο ιδιοκτησίας/λειτουργικής αυτονομίας.</p> <p>Αυτόματη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του δικτύου διανομής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία.</p> <p>Σε περίπτωση αλληλουχίας μεταξύ διαφορετικών μονάδων παραγωγής θέρμανσης/ψύξης, η προτεραιότητα βασίζεται μόνο στα θερμικά/ψυκτικά φορτία.</p> |
| 4 | <p>Ο έλεγχος της λειτουργίας των τερματικών μονάδων και του δικτύου διανομής είναι χειροκίνητος, χωρίς θερμοστάτες χώρου. Ο έλεγχος των κυκλοφορητών του δικτύου διανομής είναι χειροκίνητος ή χρονοπρόγραμμα, χωρίς καμία ανάδραση από τη ζήτηση θερμικού/ψυκτικού φορτίου.</p> <p>Η μονάδα παραγωγής θέρμανσης/ψύξης λειτουργεί με σταθερή θερμοκρασία παροχής μέσου προς το δίκτυο διανομής.</p> <p>Σε περίπτωση αλληλουχίας μεταξύ διαφορετικών μονάδων παραγωγής θέρμανσης/ψύξης, δεν ελέγχεται η προτεραιότητα.</p> |

Στον Π. 6 συνοψίζονται τα εξεταζόμενα μέτρα ενεργειακής απόδοσης που σχετίζονται με την αντικατάσταση συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού

(HVAC) και ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Τα μέτρα κατηγοριοποιούνται ανά α) πηγή ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρική ενέργεια, βιομάζα και τηλεθέρμανση), και β) σκοπό χρήσης (θέρμανση, ψύξη και ZNX). Για την ανάλυση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας, θεωρείται ότι τα υφιστάμενα συστήματα παραγωγής ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (όπως παρουσιάζονται στον Π. 3) αντικαθίστανται από τα αντίστοιχα συστήματα που παρουσιάζονται στον Π. 6. Λαμβάνονται υπόψη όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί μέτρων, όπως η αντικατάσταση μόνο του συστήματος θέρμανσης και ZNX, η αντικατάσταση μόνο του συστήματος ψύξης ή και των δύο. Όσον αφορά τα συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών, εξετάστηκε επίσης το κόστος αντικατάστασης των συστημάτων παροχής θέρμανσης.

Π. 6 Μέτρα ενεργειακής απόδοσης συστήματος θέρμανσης, ZNX και ψύξης

| Πηγή ενέργειας | Θέρμανση και ZNX | Ψύξη |
|--------------------|--|--|
| Πετρέλαιο | - Συμβατικός λέβητας πετρελαίου (μη συμπύκνωσης – NCB), ο BA η _{th} βασίζεται στο κτίριο αναφοράς - Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου (COB), η _{th} =98 % | - |
| Φυσικό αέριο | - Λέβητας φυσικού αερίου (NGB), η _{th} =102 % - Σύστημα CHP με λέβητα φυσικού αερίου η _{th} =52 %, η _e =35 % | - |
| Ηλεκτρική ενέργεια | - Ηλεκτρικός θερμαντήρας (EH), μόνο ZNX | - Συμβατικές μονάδες ΑΘ για ψύξη (split units – CSU), COP=1.5 |
| | - ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (LTHP), maxT _{supply} =55 °C, COP για κάθε κλιματική ζώνη (B: 4.0, Γ: 3.6) | -Σύγχρονες μονάδες ΑΘ για ψύξη (split units – MSU), COP: 3.5 |
| | - ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (HTHP), maxT _{supply} =75 °C, COP για κάθε κλιματική ζώνη (B: 3.0, Γ: 2.75) | - ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (LTHP) με μονάδες FCU (COP=4.2) |
| | - Γεωθερμική ΑΘ (GHP), μόνο για μονοκατοικίες ο COP για κάθε κλιματική ζώνη (B: 5.3, Γ: 5.1) | - Γεωθερμική ΑΘ (GHP) με μονάδες FCU (COP=4.5) |
| Λέβητας βιομάζας | - Λέβητας βιομάζας (BB)/λέβητας πέλετ, η _{th} =75 % | - |

Οι συνδυασμοί των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, που εξετάστηκαν και παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 2, αποδίδονται στον Π. 7 με πράσινο χρώμα. Σημειώνεται ότι, για τις πολυκατοικίες, η παρέμβαση με γεωθερμική αντλία θερμότητας (GHP) παραλήφθηκε λόγω περιορισμένου χώρου.

Π. 7 Εξεταζόμενοι συνδυασμοί συστημάτων θέρμανσης, ζεστού νερού χρήσης (ZNX) και ψύξης (με ✓ σημειώνονται οι συνδυασμοί που εξετάστηκαν, με X σημειώνονται οι συνδυασμοί που ΔΕΝ εξετάστηκαν).

| Θέρμανση και ZNX | Ψύξη | | | |
|------------------|------|-----|------|-----|
| | CSU | MSU | LTHP | GHP |
| NCOB + EH | ✓ | X | X | X |
| NCOB | X | ✓ | X | X |
| COB | ✓ | ✓ | X | X |
| NGB | ✓ | ✓ | X | X |
| CHP | X | ✓ | X | X |
| LTHP | ✓ | ✓ | ✓ | X |
| HTHP | ✓ | ✓ | X | X |
| GHP | X | X | X | ✓ |
| BB | ✓ | ✓ | X | X |

Βάσει του αριθμού των δεσμών παρεμβάσεων που εξετάστηκαν και λαμβάνοντας υπόψη όλους τους συνδυασμούς συστημάτων θέρμανσης/ψύξης που παρουσιάζονται στον Π. 7, ο συνολικός αριθμός των υπό εξέταση δεσμών παρέμβασης ισούται με:

- 81 (κέλυφος κτιρίου) x 2 (συστήματα σκίασης) x 15 (συστήματα θέρμανσης και ψύξης) x 4 (κατηγορίες αυτοματισμών) x2 (ΦΒ) x3 (ηλιακά υποβοηθούμενη θέρμανση) = 58.320 για κάθε τύπο μονοκατοικίας, κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής.
- 81 (κέλυφος κτιρίου) x 2 (συστήματα σκίασης) x 14 (συστήματα θέρμανσης και ψύξης) x 4 (κατηγορίες αυτοματισμών) x2 (ΦΒ) x2 (ηλιακά υποβοηθούμενη θέρμανση) = 36.288 για κάθε τύπο πολυκατοικίας, κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής.

2.2.4 Ενεργειακές προσομοιώσεις και εκτίμηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας

Για κάθε κτίριο αναφοράς και περίπτωση παρέμβασης, πραγματοποιούνται ενεργειακές προσομοιώσεις προκειμένου να υπολογιστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης, καθώς και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας. Για κάθε περίπτωση, θεωρήθηκε ότι οι δέσμες

παρεμβάσεων εφαρμόζονται για διαφορετικές πτυχές των κτιρίων, αλλάζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά τους. Κάθε δέσμη παρέμβασης περιλαμβάνει έναν αριθμό διακριτών, μεμονωμένων μέτρων. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς προκύπτουν βάσει σταθμισμένων μέσων τιμών, αντίστοιχων διαφόρων ελληνικών πόλεων όπως προβλέπεται από την εθνική νομοθεσία [2.22] και λαμβάνοντας υπόψη το κτιριακό απόθεμα κατοικιών σε επίπεδο περιφερειακής ενότητας σύμφωνα με τα στοιχεία που παρέχει η ΕΛΣΤΑΤ [2.26]. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν από το επίσημο εθνικό λογισμικό προσομοίωσης TEE-KENAK, το οποίο βασίζεται στη μηνιαία μέθοδο του ευρωπαϊκού προτύπου EN ISO 13790: 2008 [2.27].

Η οικονομική αξιολόγηση των διαφορετικών μέτρων ενεργειακής απόδοσης πραγματοποιείται από ένα υπολογιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε με βάση τις απαιτήσεις του προτύπου EN 15459-1:2014 [2.25]. Για κάθε παρέμβαση, το αντίστοιχο κόστος κεφαλαίου, καθώς και τα ετήσια κόστη και η εξοικονόμηση (οφέλη) υπολογίζονται από χρηματοοικονομική άποψη. Χρησιμοποιούνται δύο δείκτες οικονομικής απόδοσης. Για τον υπολογισμό και των δύο δεικτών, εξετάζεται επιτόκιο της τάξης του 7 %, κατόπιν επικοινωνίας με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και λαμβάνοντας υπόψη τα επιτόκια των ελληνικών τραπεζών.

Ο πρώτος δείκτης οικονομικής απόδοσης είναι το κόστος του εκτιμώμενου οικονομικού κύκλου ζωής (LCC) του κτιρίου, που αντιστοιχεί στην παρούσα αξία του συνολικού κόστους χρήσης για όλη την περίοδο υπολογισμού (30 έτη), εκφρασμένο σε €/m² θερμαινόμενης/ψυχόμενης επιφάνειας. Ειδικότερα, το LCC για κάθε σενάριο υπολογίζεται με την εκτίμηση του αρχικού κόστους επένδυσης (C_{inv}), του συνολικού κόστους διάθεσης (C_{disp}), της υπολειμματικής αξίας (C_{val}), καθώς και του καθαρού ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης (C_a), ανηγμένων στο τρέχον έτος της μελέτης για κάθε μέτρο ενεργειακής απόδοσης j^{th} , σύμφωνα με:

$$LCC = \sum_j \left[C_{inv,j} + \sum_i \left(C_{a,i} \left(\frac{1}{1+p} \right)^i \right) + C_{disp,j} - C_{val,j} \right] \quad (1)$$

Το αρχικό κόστος επένδυσης C_{inv} περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες που πρέπει να καλυφθούν έως ότου εφαρμοστεί πλήρως ένα μέτρο ενεργειακής απόδοσης. Ως εκ τούτου, περιλαμβάνει το κόστος σχεδιασμού και προμήθειας υλικών, σύνδεσης και εγκατάστασης, καθώς και το κόστος απρόβλεπτων δαπανών. Το κόστος της υπολειμματικής αξίας C_{val} είναι η εναπομείνασα αξία που συνδέεται με την εφαρμογή ενός μέτρου, στο τέλος της περιόδου τεchnοοικονομικής αξιολόγησης, υπολογισμένης στο τρέχον έτος της μελέτης. Στην παρούσα μελέτη, το κόστος διάθεσης C_{disp} θεωρείται μηδενικό, δεδομένου ότι η ακριβής εκτίμησή του για όλα τα μέτρα δεν έχει πρακτική αξία. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης C_a αποτελείται από το άθροισμα του ενεργειακού κόστους (για κάθε φορέα ενέργειας), του λειτουργικού κόστους (εγγυήσεις, υπηρεσίες κ.λπ.), του κόστους συντήρησης (επιθεωρήσεις, καθαρισμοί,

επισκευές, αναλώσιμα), καθώς και των δαπανών που συνδέονται με την περιοδική αντικατάσταση εξοπλισμού.

Ο δεύτερος δείκτης οικονομικής απόδοσης που χρησιμοποιείται είναι η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPP).

$$DPP = \frac{\ln\left(SPB(p+1)\left(\frac{r}{p+1} - 1\right) + 1 \right)}{\ln\left(\frac{r}{p+1}\right)} \quad (2)$$

Στον παραπάνω ορισμό το r αντιπροσωπεύει την ετήσια διακύμανση των τιμών της ενέργειας, ενώ η SPP αποτελεί την απλή περίοδο αποπληρωμής. Η ετήσια διακύμανση των τιμών ενέργειας (r) υπολογίζεται:

$$r = \frac{(\delta + 1)}{100} \quad (3)$$

Για όλες τις περιπτώσεις λαμβάνεται υπόψη ετήσιο ποσοστό αύξησης 2,8 % των τιμών ενέργειας (δ).

Η απλή περίοδος αποπληρωμής (SPP) ορίζεται ως ο λόγος του αρχικού κόστους επένδυσης (C_{inv}) διά του ετήσιου εξοικονομούμενου κόστους C_s , το οποίο ισούται με τη διαφορά του ετήσιου λειτουργικού κόστους μετά την εφαρμογή των δεσμών παρεμβάσεων (C_α) μείον το ετήσιο λειτουργικό κόστος του αρχικού κτιρίου αναφοράς (C_{init}):

$$SPP = \frac{\sum_j C_{inv,j}}{\sum_j C_{s,j}} \quad (4)$$

όπου

$$C_s = C_\alpha - C_{init} \quad (5)$$

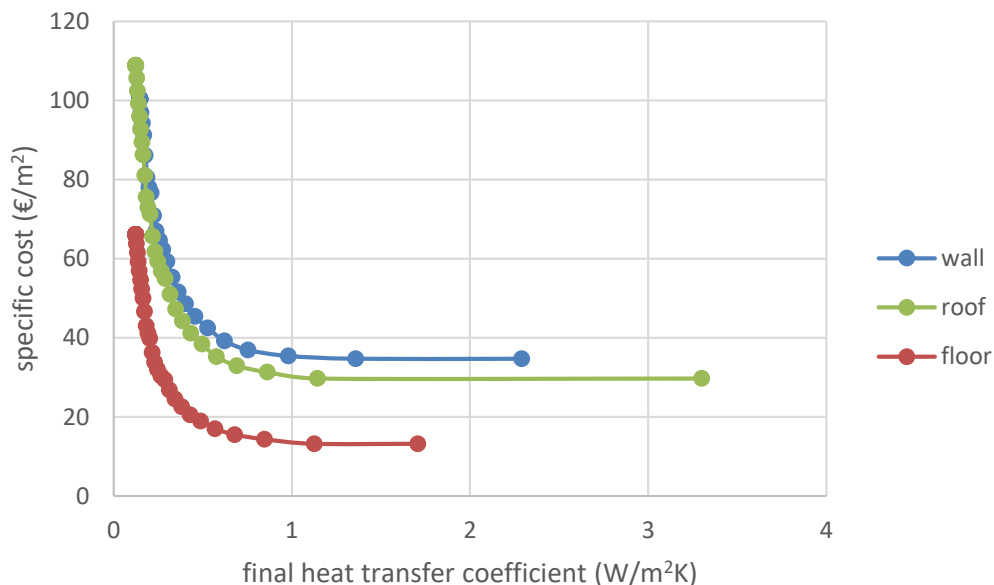
Η διάρκεια ζωής του έργου και το επιτόκιο που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής (LCC) και της έντοκης περιόδου αποπληρωμής (DPP) συνοψίζονται στον Π. 8. Η διάρκεια της επένδυσης για κτίρια κατοικιών ορίζεται από τον κανονισμό 244/2012 [2.21] στα 30 έτη.

Π. 8 Διάρκεια ζωής έργου και τιμές επιτοκίων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του LCC και της DPP

| | |
|---|--------|
| Διάρκεια ζωής του έργου (N) | 30 έτη |
| Επιτόκιο (ρ) | 7 % |
| Ετήσιο ποσοστό αύξησης των ενεργειακών τιμών (δ) | 2,8 % |

Ακολουθώς παρουσιάζονται τα στοιχεία κόστους που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του αρχικού επενδυτικού κόστους των μέτρων. Για όλες τις τιμές των δεδομένων κόστους συνυπολογίζονται οι τιμές ΦΠΑ και όλων των σχετικών φόρων. Το κόστος κεφαλαίου των μέτρων προκύπτει από δεδομένα της ελληνικής αγοράς που παρείχαν ιδιωτικές εταιρείες και εμπορικές ενώσεις. Τα εν λόγω δεδομένα είναι προσδιορισμένα τοπικά, χρονικά και κατά οικονομικό κλάδο. Τα στοιχεία κόστους ελέγχθηκαν και εγκρίθηκαν από τη Γενική Γραμματεία Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΓΓΕΚΑ) [2.28].

Το αρχικό επενδυτικό κόστος συγκεκριμένα για τη μόνωση τοίχων, στεγών και δαπέδων είναι σχεδόν το ίδιο για τις διαφορετικές κλιματικές ζώνες και περιόδους κατασκευής. Το συγκεκριμένο κόστος επένδυσης ως συνάρτηση του τελικού συντελεστή θερμοπερατότητας για τα εν λόγω δομικά στοιχεία αποδίδεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3 Συγκεκριμένες δαπάνες επενδυτικού κόστους για τη μόνωση τοίχων, στεγών και δαπέδων σε κτίρια, ως συνάρτηση του τελικού συντελεστή θερμοπερατότητας [2.28]

Το συνολικό κόστος επένδυσης για φωτοβολταϊκά πάνελ εκτιμάται στα 2.500 € για τις μονοκατοικίες (συνολική επιφάνεια: 5 m² και ισχύος: 1.25 kWp) και στα 19.747 € για τις πολυκατοικίες (συνολική επιφάνεια: 66 m² και ισχύος: 14.52 kWp, σύμφωνα με τα δεδομένα που παρείχε η ΓΓΕΚΑ [2.28].

Οι επενδυτικές δαπάνες για την αντικατάσταση παραθύρων παρουσιάζουν κάποια διακύμανση μεταξύ διαφορετικών περιόδων κατασκευής και κλιματικών ζωνών. Το τυπικό εύρος τους παρουσιάζεται στον Π. 9.

Π. 9 Κόστος αντικατάστασης παραθύρων και εύρος τιμών τελικού συντελεστή θερμοπερατότητας [2.28]

| Κόστος αντικατάστασης πλαισίων παραθύρων (σε €) | | Κλιματική ζώνη | |
|---|----|----------------|---------------|
| | | B | Γ |
| Περίοδος κατασκευής | | | |
| Π1 | μΚ | 4.028-5.306 | 4.020-5.261 |
| | πΚ | 23.743-80.049 | 22.537-89.844 |
| Π2 | μΚ | 4.205-6.128 | 3.815-4.777 |
| | πΚ | 24.717-80.082 | 23.423-80.788 |

Οι τελικοί συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) των παραθύρων συνοψίζονται στον Π. 4

Οι μικρές διαφορές στο κόστος αντικατάστασης, που παρατηρούνται ανάμεσα σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες και χρονικές περιόδους, οφείλονται στις διαφορές των κτιρίων αναφοράς κάθε περίπτωσης που επηρεάζουν τη διαδικασία υπολογισμού του κόστους. Συγκεκριμένα, συμπεριλήφθηκαν δομικά υλικά πλαισίων, όπως αλουμίνιο και PVC, λαμβάνοντας υπόψη το μερίδιο αγοράς που κατέχουν σε κάθε κλιματική ζώνη. Αρχικά έγινε η συσχέτιση κόστους για κάθε υλικό με βάση τα δεδομένα τιμών της αγοράς. Στη συνέχεια, εξετάστηκε το μερίδιο αγοράς των τεχνολογιών σε κάθε κλιματική ζώνη και χρονική περίοδο για την προσαρμογή των συσχετίσεων κόστους και τον τελικό υπολογισμό του κόστους του συντελεστή θερμοπερατότητας που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση.

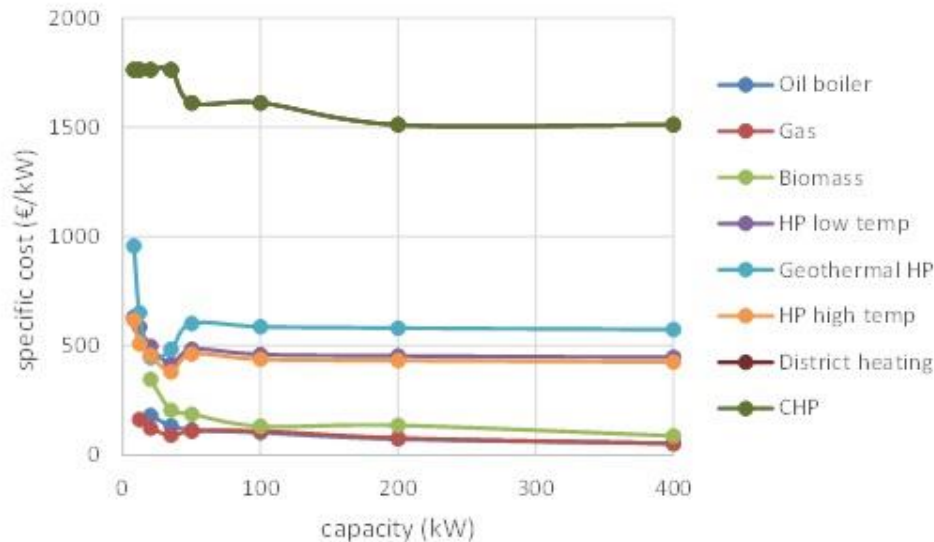
Το κόστος αναβάθμισης για τις κατηγορίες αυτοματισμών συνοψίζεται στον Π. 10.

Π. 10 Κόστος αναβάθμισης κατηγοριών αυτοματισμών (με αφητηρία την κατηγορία Δ) [2.28]

| Κατηγορία αυτοματισμών | Κόστος (€) | |
|------------------------|---------------|---------------|
| | Μονοκατοικίες | Πολυκατοικίες |
| A | 1.240 | 9.697 |
| B | 744 | 7.713 |
| Γ | 310 | 320 |

Το συγκεκριμένο κόστος της αρχικής επένδυσης για τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού (HVAC) και ZNX, που χρησιμοποιούνται στη μελέτη ως συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος δίνεται στην Εικόνα 4. Σημειώνεται ότι η μικρή μεταβολή στο συγκεκριμένο κόστος των αντλιών θερμότητας, που παρατηρείται

σε τιμές ισχύος (capacities) της τάξης των 40 kW, οφείλεται στο γεγονός ότι πάνω από αυτή την κλίμακα η τεχνολογία τους αλλάζει, καθώς μετατοπίζονται από την κατηγορία μονάδων για οικιακή/εμπορική χρήση στις μονάδες υψηλής εγκατεστημένης ισχύος, με αποτέλεσμα μια μικρή διατάραξη της οικονομίας κλίμακας.



Εικόνα 4 Αρχικό επενδυτικό κόστος συγκεκριμένων δαπανών για συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού (HVAC) και ΖΝΧ συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος [2.28]

Το ενεργειακό κόστος που συνδέεται με τα διάφορα μέτρα παρέμβασης υπολογίστηκε επίσης με τη χρήση στοιχείων από τη ΓΕΚΑ [2.28]. Το κόστος ενέργειας ανά φορέα συνοψίζεται στον Π. 11.

Π. 11 Μοναδιαίο κόστος ανά φορέα ενέργειας [2.28]

| Φορέας ενέργειας | Μέση τιμή χρέωσης | Μονάδα χρέωσης |
|-------------------------|-------------------|---|
| Φυσικό αέριο | 0,07514 | €/kWh _{th, Fuel Input L.H.V.} (01/09/2015-31/09/2016) |
| Πετρέλαιο θέρμανσης | 0,09030 | €/kWh _{th, Fuel Input L.H.V.} (04/11/2016) |
| Ηλεκτρική ενέργεια | 0,21064 | €/kW _e (βάσει οικιακού τιμολογίου στις 08.02.2016) |
| Βιομάζα (πελλέτα ξύλου) | 0,06450 | €/kWh _{th, Fuel Input L.H.V.} |
| Τηλεθέρμανση | 0,06932 | €/kWh _{th} |

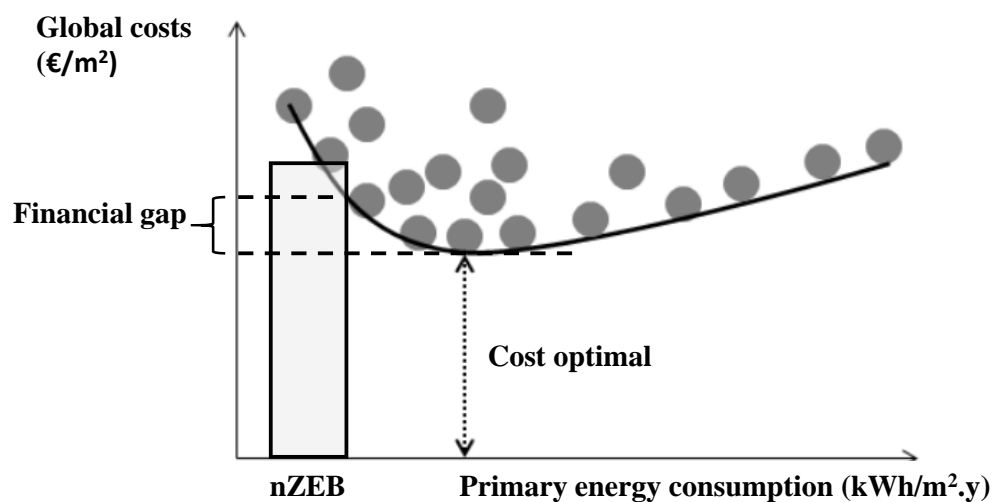
Σημειώνεται ότι οι απεικονιζόμενες τιμές του Π. 11 αντιπροσωπεύουν μέσες τιμές. Οι πραγματικές τιμές μεταβάλλονται με τον χρόνο και διαφέρουν για τους οικιακούς και τους βιομηχανικούς καταναλωτές.

Στον Π. 12 δίνονται οι συντελεστές μετατροπής για τον υπολογισμό της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (PEC) που αντιστοιχεί στο ποσοστό κατανάλωσης ανά φορέα ενέργειας.

Π. 12 Συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια για διαφορετικούς φορείς ενέργειας [[2.23],[2.29]]

| Φορέας ενέργειας | Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια |
|---------------------|--|
| Φυσικό αέριο | 1.05 |
| Πετρέλαιο θέρμανσης | 1.10 |
| Ηλεκτρική ενέργεια | 2.90 |
| Υγραέριο (βουτάνιο) | 1.05 |
| Βιομάζα | 1.00 |
| Τηλεθέρμανση | 0.70 |

Τέλος, τα αποτελέσματα τόσο των ενεργειακών προσομοιώσεων όσο και των οικονομικών υπολογισμών μάς επιτρέπουν να αξιολογήσουμε τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας κάθε δέσμης παρέμβασης όσον αφορά την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και, κατά συνέπεια, να καθορίσουμε τα κατώτατα όρια βελτιστότητας του κόστους τους. Η προσέγγιση αυτή αποτυπώνεται εικονικά στο ποιοτικό διάγραμμα της Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Υπολογισμός ορίων βελτιστότητας κόστους (Cost optimality threshold estimation)

Στο διάγραμμα της παραπάνω Εικόνα 5, κάθε παρέμβαση αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, κάθε παρέμβαση οδηγεί σε συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (PEC) και συνολικού κόστους, που ορίζουν τις συντεταγμένες του αντίστοιχου σημείου στους άξονες x-y. Ως εκ τούτου, για κάθε τιμή PEC, υπάρχει μία παρέμβαση που συνδέεται με το ελάχιστο συνολικό κόστος.

Μία χρήσιμη παράμετρος που μπορεί να προσδιοριστεί από το διάγραμμα είναι η χρηματοοικονομική διαφορά ανάμεσα στο LCC της παρέμβασης βέλτιστου κόστους και στην παρέμβαση εκείνη που οδηγεί στην επίτευξη των κριτηρίων για τα nZEB.

2.3 Αποτελέσματα

2.3.1 Επισκόπηση — ερμηνευτικός οδηγός διαγραμμάτων

Για κάθε κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής, τα νέφη σημείων αποτυπώνουν σε σειρά διαγραμμάτων τις τιμές των δεικτών της τεchnοοικονομικής αξιολόγησης (LCC και DPP) για όλες τις δέσμες παρεμβάσεων.

Τα σημεία κανονικού μεγέθους στα διαγράμματα αντιπροσωπεύουν δέσμες παρεμβάσεων πολλαπλών (≥ 2) μέτρων (π.χ. αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης και ταυτόχρονα αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους). Για καλύτερη αναγνωσιμότητα των διαγραμμάτων και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, οι δέσμες παρεμβάσεων κατηγοριοποιούνται κατά το σύστημα θέρμανσης που περιλαμβάνουν, ενώ καθένα από τα συστήματα θέρμανσης αναπαρίστανται με διαφορετικό χρώμα. Η αντιστοιχισή τους δίνεται στον Π. 13.

Πέραν των κανονικών σημείων, προστίθενται στη γραφική παράσταση και σημεία μεγαλύτερου μεγέθους. Τα μεγεθυμένα σημεία γαλάζιου χρώματος αντιπροσωπεύουν δέσμες παρέμβασης που αφορούν αποκλειστικά την αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους. Σε κάθε διάγραμμα υπάρχουν 8 τέτοια σημεία, που αντιστοιχούν σε 2 τύπους μονωτικών υλικών (που ανταποκρίνονται σε δύο επίπεδα μόνωσης μέσου και χαμηλού συντελεστή θερμοπερατότητας αντίστοιχα) και σε 4 κατηγορίες αυτοματισμών. Τα υπόλοιπα μεγεθυμένα σημεία αντιπροσωπεύουν την αποκλειστική αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης (του αντίστοιχου χρώματος) και την κατηγορία αυτοματισμού. Αυτές οι δέσμες παρεμβάσεων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι είναι οι απλούστερες και, ως εκ τούτου, αποτελούν πιο ρεαλιστικές επιλογές. Εφεξής, λοιπόν, οι συγκεκριμένες δέσμες παρεμβάσεων θα αναφέρονται ως δέσμες μεμονωμένων μέτρων παρέμβασης (SMIP). Τα παραπάνω συνοψίζονται επίσης στον Π. 13.

Π. 13 Χρωματική αντιστοιχία για δέσμες παρεμβάσεων που περικλείουν διαφορετικά συστήματα θέρμανσης

| α/α | Σύστημα θέρμανσης | Χρώμα |
|-----|---|--|
| | Κανονικά σημεία (δέσμες πολλαπλών μέτρων παρέμβασης-(MMIPs) | |
| 1 | Συμβατικός λέβητας πετρελαίου (μη συμπύκνωσης) | Κόκκινο |
| 2 | Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου | Πορτοκαλί |
| 3 | Λέβητας φυσικού αερίου | Μπλε |
| 4 | Αντλία θερμότητας υψηλών/χαμηλών θερμοκρασιών | Μαύρο |
| 5 | Γεωθερμική αντλία θερμότητας | Γκρι |
| 6 | Λέβητας βιομάζας | Πράσινο |
| | Μεγεθυμένα σημεία (δέσμες μεμονωμένων μέτρων παρέμβασης - SMIPs) | |
| | Κτιριακό κέλυφος | Γαλάζιο |
| | Σύστημα θέρμανσης με επίπεδο αυτοματισμού | ίδιο με του αντίστοιχου συστήματος θέρμανσης των κανονικών σημείων |

Επιπλέον, στα διαγράμματα γίνεται διάκριση μεταξύ δύο σημαντικών περιοχών.

Η πρώτη περιοχή που βρίσκεται κάτω από την κόκκινη, οριζόντια διακεκομμένη γραμμή περιλαμβάνει όλες τις δέσμες παρεμβάσεων που πληρούν το απαιτούμενο όριο οικονομικής σκοπιμότητας. Όσον αφορά την έντοκη περίοδο αποπληρωμής (DPP), το όριο της βελτιστότητας κόστους ($L_{ec, DPP}$) ισούται με 15 έτη.

Σε ό,τι αφορά το LCC, το όριο οικονομικής σκοπιμότητας ορίζεται ως:

$$L_{ec, LCC} = LCC_{min} + 0.1(LCC_{max} - LCC_{min}) \quad (6)$$

Το παραπάνω όριο καθορίζεται από τον συντάκτη και παρέχεται ως σύσταση λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική κατανομή των αποτελεσμάτων.

Στον ανωτέρω ορισμό, οι τιμές LCC_{min} και LCC_{max} είναι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές LCC που υπολογίζονται για κάθε τύπο κτιρίου, περίοδο κατασκευής και κλιματική ζώνη.

Η δεύτερη περιοχή περιλαμβάνει τις δέσμες παρεμβάσεων που πληρούν το όριο ενεργειακής κατανάλωσης για τα nZEB. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, το όριο αυτό αντιστοιχεί σε ένα εύρος ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (PEC) από 20 kWh/m² έως 60 kWh/m². Όσον αφορά

την έντοκη περίοδο αποπληρωμής (DPP), το ανώτατο όριο της περιοχής ($L_{nZEB, DPP}$) ορίζεται σε 20 έτη.

Για το LCC, το ανώτατο όριο της περιοχής αυτής ορίζεται ως εξής:

$$L_{nZEB,LCC} = LCC_{min} + 350 \quad (7)$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το ανώτατο όριο των 350 €/m² δεν προέρχεται από επίσημη πηγή, αλλά καθορίζεται κατόπιν ευρετικής αξιολόγησης, με την παρατήρηση των αποτελεσμάτων της μελέτης και της διακύμανσής τους. Σε κάθε περίπτωση, η τιμή αυτή δεν είναι απόλυτη και δεν άπτεται συγκεκριμένων νομοθετικών/οικονομικών κριτηρίων, χρησιμοποιείται μόνο ως ενδεικτικός αριθμός στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

2.3.2 Γενικές παρατηρήσεις

Πριν από την ανάλυση των διαγραμμάτων που αντιστοιχούν σε διαφορετικές περιπτώσεις τύπων κτιρίων και κλιματικών ζωνών, διατυπώνονται ορισμένες γενικές παρατηρήσεις οι οποίες είναι εμφανείς σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν.

Η πρώτη παρατήρηση αφορά τις συστηματικές διαφορές μεταξύ των κλιματικών ζωνών Β και Γ. Πρώτον, λόγω των δυσμενέστερων κλιματικών συνθηκών, τα θερμικά φορτία των κτιρίων που βρίσκονται στη ζώνη Γ είναι υψηλότερα. Αυτό αντικατοπτρίζεται από τα συνολικά υψηλότερα επίπεδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (PEC) που παρατηρούνται στα διαγράμματα της ζώνης Γ σε σύγκριση με τα επίπεδα PEC της ζώνης Β. Στην πραγματικότητα, όλα τα σημεία στα διαγράμματα της ζώνης Γ παρουσιάζουν μια «μετατόπιση» προς τα δεξιά σε σύγκριση με εκείνα των διαγραμμάτων της ζώνης Β. Δεύτερον, λόγω των αυξημένων θερμικών φορτίων και της παρατεταμένης περιόδου θέρμανσης στη ζώνη Γ, οι δέσμες παρεμβάσεων τείνουν να έχουν συντομότερες περιόδους εντόκου αποπληρωμής λόγω της αυξημένης εξοικονόμησης ενέργειας. Το παραπάνω αποτέλεσμα αντικατοπτρίζεται στη μετατόπιση των σημείων προς χαμηλότερες τιμές στα διαγράμματα της DPP της ζώνης Γ.

Μια δεύτερη συστηματική διαφορά σχετίζεται με την περίοδο κατασκευής του κτιρίου. Δεδομένου ότι στα παλαιότερα κτίρια αναφοράς (Π1) το επίπεδο μόνωσης του κελύφους είναι ανεπαρκές, τα επίπεδα PEC είναι γενικά υψηλότερα. Αντιθέτως, τα νεότερα κτίρια αναφοράς (Π2) έχουν χαμηλότερα επίπεδα PEC. Συνεπώς, οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια της Π2 είναι πολύ πιο περιορισμένες και, ως εκ τούτου, η οικονομική αποτελεσματικότητα των περισσότερων δεσμών παρέμβασης, όσον αφορά την DPP ελαττώνεται. Στα διαγράμματα, αυτό εκφράζεται από τη μετατόπιση της σχετικής θέσης των σημείων προς τα αριστερά (σε όλα τα διαγράμματα) και προς τα πάνω (στα διαγράμματα της DPP). Πράγματι, τόσο για τις μονοκατοικίες όσο και για τις πολυκατοικίες, ο αριθμός των δεσμών παρεμβάσεων που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλές τιμές PEC (< 100 kWh/(m²γ), αποδίδοντας ταυτόχρονα χαμηλές τιμές DPP και LCCs, είναι εξαιρετικά περιορισμένος. Παράλληλα, οι εν λόγω σχετικά

μειωμένες δέσμες παρεμβάσεων κυριαρχούνται κατά κύριο λόγο από συστήματα θέρμανσης που βασίζονται σε αντλίες θερμότητας.

Μια τρίτη παρατήρηση σχετίζεται με την αξιολόγηση οικονομικής σκοπιμότητας των δεσμών παρέμβασης ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κριτήριο (DPPs έναντι LCC). Όσον αφορά την DPP, οι δέσμες παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν πολλαπλά συστήματα θέρμανσης είναι σε θέση να ανταποκριθούν στα όρια σκοπιμότητας που έχουν καθοριστεί στη μελέτη. Από την άλλη πλευρά, όταν χρησιμοποιείται το LCC ως κριτήριο, οι δέσμες παρέμβασης με λέβητες φυσικού αερίου κατά κύριο λόγο και σε μικρότερο βαθμό με αντλίες θερμότητας και λέβητες βιομάζας, είναι σε θέση να πληρούν το αντίστοιχο όριο σκοπιμότητας.

Στη συνέχεια, εξετάζονται κάποιες γενικές διαπιστώσεις σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και την οικονομική αποτελεσματικότητα των δεσμών παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν διαφορετικά συστήματα θέρμανσης. Πρώτον, τα ποσοστά PEC των παρεμβάσεων με εγκατάσταση συμβατικών (με μαύρο χρώμα στα διαγράμματα) και γεωθερμικών (γκρι χρώμα) αντλιών θερμότητας είναι τα χαμηλότερα, ενώ αντίστοιχα τα ποσοστά DPP και LCC κυμαίνονται σε μεσαία έως πολύ υψηλά επίπεδα. Αυτό υποδεικνύει ότι, παρά τη σημαντική ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται από αυτές τις δέσμες παρεμβάσεων εξαιτίας της υψηλής απόδοσης των αντλιών θερμότητας, το υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου τους εν τέλει περιορίζει την οικονομική τους αποτελεσματικότητα έναντι άλλων λύσεων.

Οι παρεμβάσεις που περιλαμβάνουν την εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου (μπλε) συνδέονται με ποσοστά μεσαίου επιπέδου PEC, υψηλότερα από εκείνα των αντλιών θερμότητας, και πολύ χαμηλά ποσοστά DPP και LCC. Για την ακρίβεια, αυτές οι δέσμες παρεμβάσεων εμφανίζουν το χαμηλότερο LCC σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Γεγονός που σηματοδοτεί μια ομαλή αντιστάθμιση εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους κεφαλαίου, το οποίο είναι σχετικά χαμηλότερο.

Οι δέσμες παρεμβάσεων που βασίζονται σε λέβητες βιομάζας (πράσινο) έχουν ελαφρώς υψηλότερα ποσοστά PEC από τους λέβητες φυσικού αερίου, δεδομένης της χαμηλότερης απόδοσής τους. Για τον ίδιο λόγο, οι τιμές DPP και LCC είναι επίσης υψηλότερες.

Επιπλέον, οι δέσμες παρεμβάσεων που βασίζονται σε λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου (πορτοκαλί) οδηγούν σε γενικά ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα PEC από τις παρεμβάσεις που βασίζονται στο φυσικό αέριο, ενώ αποδίδουν επίσης κάπως υψηλότερες τιμές DPP και LCC.

Όπως είναι αναμενόμενο, τα σενάρια που αφορούν τη διατήρηση των υφιστάμενων λεβήτων μη συμπύκνωσης (κόκκινο) καταλήγουν σε ακόμη υψηλότερες τελικές τιμές PEC λόγω της χαμηλής απόδοσης μετατροπής του συστήματος θέρμανσης. Η οικονομική τους απόδοση ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με το είδος των συγκεκριμένων μέτρων που εφαρμόζονται.

Αυτές οι δέσμες παρεμβάσεων έχουν γενικά χαμηλότερο αρχικό κόστος κεφαλαίου, δεδομένου ότι δεν περιλαμβάνουν την αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης. Για τον λόγο αυτό, οι DPPs μπορούν δυνητικά να αγγίξουν πολύ χαμηλές τιμές. Ωστόσο, το αντίστοιχο LCC είναι πολύ υψηλό, λόγω της σημαντικά αυξημένης κατανάλωσης πετρελαίου καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου υπολογισμού.

Μια γενική ποιοτική κατάταξη μεταξύ των δεσμών παρεμβάσεων, οι οποίες ομαδοποιούνται κατά διαφορετικό σύστημα θέρμανσης, παρουσιάζεται στον Π. 14, με βάση τη συνολική κατανομή της PEC και της DPP τους.

Π. 14 Γενική αξιολόγηση των δεσμών παρεμβάσεων με βάση διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους

| Δέσμες παρεμβάσεων | | | | |
|---------------------------|--|--------------------|--|-----------------|
| Κατάταξη | Κατανάλωση ενέργειας (PEC) | πρωτογενούς | Σχέση αποτελεσματικότητας | κόστους- |
| 1 | Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας | | Λέβητες φυσικού αερίου | |
| 2 | Συμβατικές αντλίες θερμότητας | | Λέβητες βιομάζας | |
| 3 | Λέβητες φυσικού αερίου | | Λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου | |
| 4 | Λέβητες βιομάζας | | Συμβατικοί λέβητες πετρελαίου (μη συμπύκνωσης) | |
| 5 | Λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου | | Συμβατικές αντλίες θερμότητας | |
| 6 | Συμβατικοί λέβητες πετρελαίου (μη συμπύκνωσης) | | Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας | |

Μετά την παρουσίαση αυτών των τάσεων, είναι ενδιαφέρον να συζητηθούν οι τάσεις που διέπουν τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των δεσμών μεμονωμένων μέτρων παρέμβασης (SMIPs). Πρώτον, οι SMIPs που βασίζονται σε λέβητες φυσικού αερίου επιτυγχάνουν τις χαμηλότερες τιμές DPP για όλους τους τύπους κτιρίων και τις κλιματικές ζώνες. Άρα, όσον αφορά τον δείκτη DPP, αποτελούν μία από τις πλέον αποδοτικές ως προς το κόστος επιλογές. Έπονται οι SMIPs με λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου, με λέβητες βιομάζας και, τέλος, οι SMIPs με συμβατικές και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Οι SMIPs στο κτιριακό κέλυφος παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, με τις περιόδους αποπληρωμής να κυμαίνονται στις περισσότερες περιπτώσεις από λιγότερο από 5 έως και περισσότερο από 50 έτη. Είναι ξεκάθαρο, ωστόσο, πως οι τιμές των DPPs και LCCs τους παραμένουν σταθερά υψηλότερες σε σύγκριση με τα σενάρια που χρησιμοποιούν λέβητες φυσικού αερίου και συμπύκνωσης πετρελαίου.

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, τα χαμηλότερα ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (PEC) επιτυγχάνονται με τα συστήματα αντλιών

θερμότητας (ΑΘ) χαμηλών θερμοκρασιών (LTHP). Ακολουθούν οι λέβητες φυσικού αερίου, που οδηγούν σε επίπεδα κατανάλωσης συγκρίσιμα με τα επίπεδα PEC των συστημάτων με ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (HTHP), αλλά με σημαντικά χαμηλότερο κόστος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Τα σενάρια που χρησιμοποιούν λέβητες πετρελαίου συμπύκνωσης οδηγούν σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα PEC σε σύγκριση με τα σενάρια που έχουν λέβητες φυσικού αερίου, αν και με το ίδιο κόστος. Είναι αξιοσημείωτο ότι, παρά τα οφέλη τους, οι δέσμες μεμονωμένων μέτρων παρέμβασης που αφορούν αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους δεν κατορθώνουν να μειώσουν σημαντικά την PEC, δεδομένου ότι τα αντίστοιχα σημεία των διαγραμμάτων συσχετίζονται με υψηλότερη PEC σε σύγκριση με τις δέσμες παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης. Παράλληλα, οι τιμές DPP των εν λόγω SMIPs είναι πάντα υψηλότερες από τις τιμές DPP των δεσμών παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν λέβητες φυσικού αερίου και συμπύκνωσης πετρελαίου.

Ένα άλλο σημείο ενδιαφέροντος αφορά τον αντίκτυπο της κατηγορίας αυτοματισμού στην PEC και στην οικονομική απόδοση των δεσμών SMIP. Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται μέσω της αναβάθμισης του συστήματος αυτοματισμού είναι σχεδόν παρόμοια για όλες τις SMIPs και τις κλιματικές ζώνες, κυμαίνεται δε από 50 έως 150 kWh/(m²y). Αναφορικά με τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, παρατηρείται ότι για δέσμες παρεμβάσεων που βασίζονται σε λέβητες φυσικού αερίου, συμπύκνωσης πετρελαίου και βιομάζας, καθώς και σε αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών (LTHPs), η αναβάθμιση της κατηγορίας αυτοματισμού δεν συνεπάγεται σημαντική μείωση της DPP. Ωστόσο, μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό την DPP στις δέσμες παρεμβάσεων με αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (HTHP). Συμπεραίνεται, επομένως, ότι τα βελτιωμένα συστήματα αυτοματισμών μπορούν να οδηγήσουν στις περισσότερες περιπτώσεις (με εξαίρεση τα συστήματα ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών) σε αξιοσημείωτη μείωση της PEC των κτιρίων, χωρίς να παρεμποδίζεται η οικονομική αποτελεσματικότητα των δεσμών παρεμβάσεων. Ο αντίκτυπος της κατηγορίας αυτοματισμού στο LCC ποικίλλει σε βαθμό που δεν μπορούμε να διακρίνουμε ένα απτό, συγκεκριμένο μοτίβο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αναβάθμιση της κατηγορίας αυτοματισμού οδηγεί σε μικρή γραμμική μείωση του LCC, ενώ σε άλλες μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μια ελαφρά αύξηση.

Γενικά, παρατηρήθηκε ότι, προκειμένου να επιτευχθούν επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης nZEB, είναι αναγκαίο να εφαρμοστούν δέσμες παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν πολλαπλά μέτρα, μεταξύ αυτών αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης, αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (PVs) και, σε μικρότερο βαθμό, εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων για θέρμανση χώρου ή ZNX. Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και χρηματοοικονομικών πόρων μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την αναβάθμιση του συστήματος αυτοματισμού. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα σκίασης

έχουν πολύ περιορισμένο αντίκτυπο τόσο στην ενεργειακή όσο και στην οικονομική απόδοση των παρεμβάσεων.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συμπεριλαμβάνεται πολύ συχνά σε δέσμες παρεμβάσεων που φτάνουν επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης nZEB, και οι οποίες βασίζονται κυρίως στην εγκατάσταση μονάδων αντλιών θερμότητας. Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών με αντλίες θερμότητας επιτρέπει την αξιοποίηση σημαντικού μέρους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης και έτσι μπορεί να οδηγήσει σε μικρή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, στις δέσμες παρεμβάσεων που δεν περιλαμβάνουν αντλίες θερμότητας και έχουν συστήματα θέρμανσης που λειτουργούν με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, η παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για να καλύψει τις απαιτήσεις σε ηλεκτρισμό συσκευών ή άλλων εφεδρικών συστημάτων, καθώς σύμφωνα με το τρέχον πλαίσιο ενεργειακού συμψηφισμού, ο παραγωγός δεν μπορεί να πωλήσει πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Κατά συνέπεια, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην περίπτωση αυτή οδηγεί σε υψηλό LCC και χαμηλή ενεργειακή απόδοση, λόγω της μειωμένης δυνατότητας εξοικονόμησης PEC.

Οι εκτιμώμενες χρηματοοικονομικές διαφορές για τις διερευνημένες περιπτώσεις παρουσιάζονται στον Π. 15, βάσει του ορισμού των nZEB της παρούσας μελέτης. Όπως αναμενόταν, οι διαφορές αυτές είναι χαμηλότερες στη ζώνη Β από ό,τι στη ζώνη Γ, λόγω των προαναφερθέντων υψηλότερων επιπέδων PEC στη ζώνη Γ. Ουσιαστικά, μόνο οι δέσμες παρεμβάσεων που βασίζονται σε εγκατάσταση αντλιών θερμότητας με υψηλό κόστος κεφαλαίου είναι σε θέση να ανταποκριθούν στο εύρος PEC για τα nZEB στη ζώνη Γ.

Π. 15 Χρηματοοικονομική διαφορά (financial gap) μεταξύ του σεναρίου βέλτιστου κόστους και του σεναρίου nZEB για όλες τις υποθέσεις που διερευνήθηκαν

| | | Μονοκατοικίες | | Πολυκατοικίες | |
|---|------------------|---------------|---------|---------------|-----|
| | | Π1 | Π2 | Π1 | Π2 |
| Χρηματοοικονομική διαφορά (€/m ²) | Κλιματική ζώνη Β | 120 | 150-180 | 140 | 180 |
| | Κλιματική ζώνη Γ | 200 | > 250 | 180 | 220 |

Στις επόμενες ενότητες ακολουθεί διεξοδική παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τα κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, λαμβανομένων υπόψη των διαφορών μεταξύ των δύο κλιματικών ζωνών.

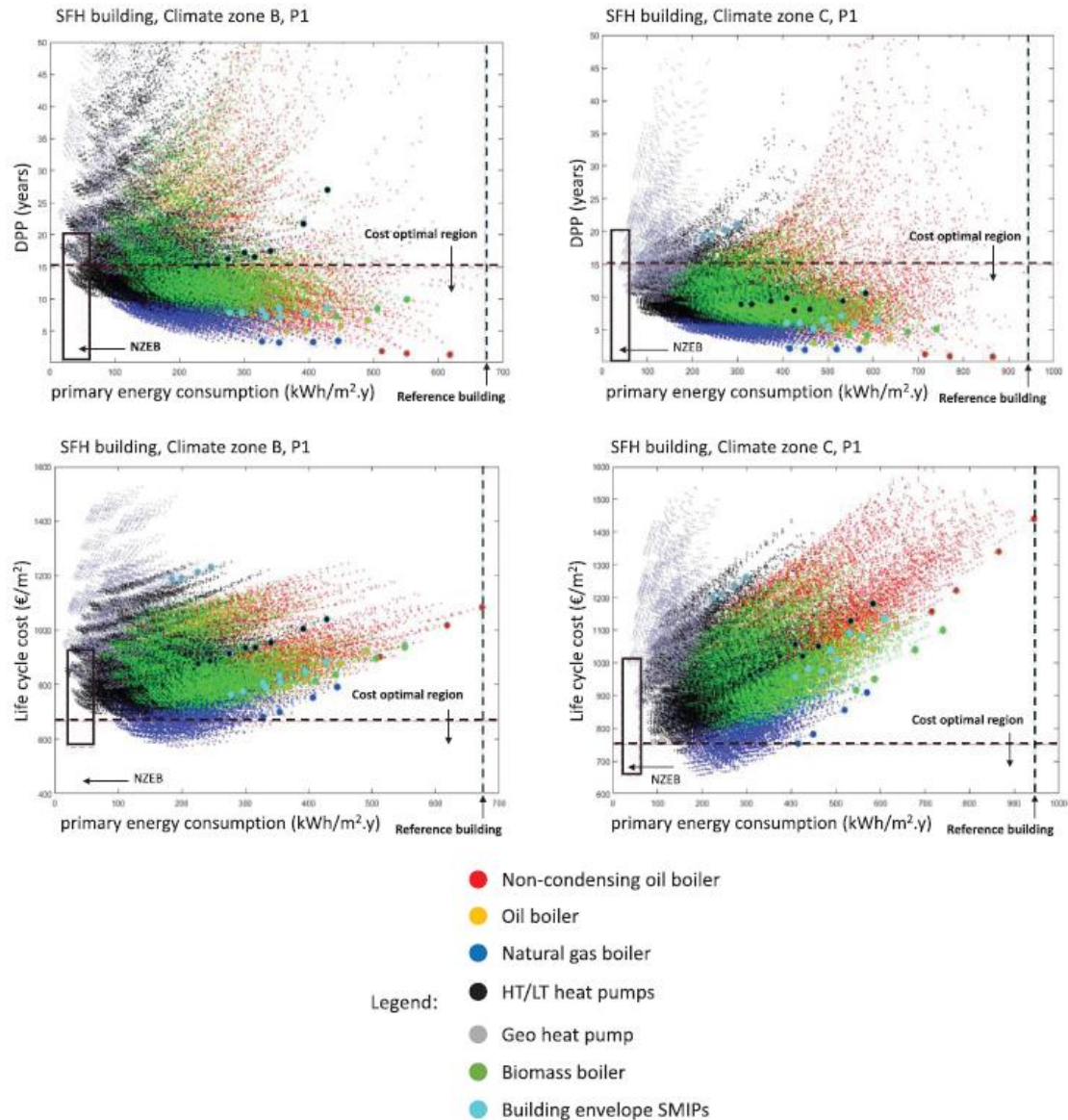
2.3.3 Κτίρια μονοκατοικιών

2.3.3.1 Τύπος κτιρίου: μονοκατοικία, περίοδος κατασκευής: Π1

Στην Εικόνα 6 αποτυπώνονται η DPP, το LCC και η ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια μονοκατοικιών που κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο Π1 και βρίσκονται στις κλιματικές ζώνες Β και Γ.

Όπως παρατηρείται στα διαγράμματα της DPP, και για τις δύο κλιματικές ζώνες, οι δέσμες παρεμβάσεων με εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου τείνουν να είναι αποδοτικότερες ως προς το κόστος, με δυνητικές τιμές DPP χαμηλότερες των 5 ετών και LCC χαμηλότερο από τα καθορισμένα όρια σκοπιμότητας. Επιπλέον, οι δέσμες παρεμβάσεων που βασίζονται σε λέβητες βιομάζας έχουν DPP κατά κανόνα μεταξύ 6 και 15 ετών. Παρά το γεγονός ότι οι δέσμες παρεμβάσεων με συστήματα συμβατικών και γεωθερμικών ΑΘ εμπίπτουν συνήθως στο ίδιο εύρος DPP και στις δύο κλιματικές ζώνες, οι DPPs τους μπορεί επίσης συχνά να αγγίζουν πολύ υψηλές τιμές, έως και 50 έτη, ιδίως στη ζώνη Β. Τέλος, οι δέσμες παρεμβάσεων, που διατηρούν τους αρχικούς συμβατικούς λέβητες πετρελαίου (μη συμπύκνωσης) ή προχωρούν σε αντικατάστασή τους με λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου, έχουν ως επί το πλείστον ομοιόμορφη διασπορά σε μεγάλο εύρος DPPs και LCCs. Γίνεται πάντως αντιληπτό ότι, και για τις δύο κλιματικές ζώνες, τα σενάρια που περιλαμβάνουν όλα τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε τιμές DPP κάτω των 15 ετών.

Συνολικά, η μικρότερη DPP (2-3 έτη) επιτυγχάνεται με δέσμες παρεμβάσεων, στις οποίες το σύστημα θέρμανσης δεν υποκαθίσταται και ο υφιστάμενος λέβητας πετρελαίου διατηρείται. Επιπλέον, οι δέσμες μεμονωμένων μέτρων παρέμβασης για την αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους αποδίδουν επίσης σύντομες DPPs περίπου 5 έως 10 ετών. Ωστόσο, οι αντίστοιχες τιμές PEC και LCC αυτών των παρεμβάσεων είναι πολύ υψηλές και για τις δύο κλιματικές ζώνες, όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη ενότητα.



Εικόνα 6 DPP, LCC και ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια μονοκατοικιών, την περίοδο κατασκευής P1 και στις κλιματικές ζώνες Β και Γ

Από την άλλη πλευρά, δέσμες SMIP, που αφορούν λέβητες φυσικού αερίου ή συμπύκνωσης πετρελαίου, αποδίδουν επίσης πολύ καλή σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, με συγκρίσιμες τιμές DPP (2-6 έτη) και χαμηλότερο LCC, αποδίδοντας επίσης και πολύ χαμηλότερες τιμές PEC σε ποσοστό άνω του 50 % όταν συνδυάζονται με βελτιωμένα επίπεδα αυτοματισμών. Για αυτό και το συνδυασμένο θετικό αποτέλεσμα αυτών των SMIPs, τόσο στην PEC όσο και στην οικονομική αποδοτικότητα, τις καθιστά πιο ελκυστικές. Οι SMIPs με βάση τις αντλίες θερμότητας οδηγούν σε υψηλές τιμές DPP στην κλιματική ζώνη Β, οι οποίες υπερβαίνουν το όριο βιωσιμότητας των 15 ετών φτάνοντας σε τιμές έως και περίπου 25 ετών για τις ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών που έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης (COP). Από την άλλη πλευρά, οι συγκεκριμένες SMIPs έχουν DPP περίπου 10 χρόνια στη ζώνη Γ. Οι γεωθερμικές ΑΘ πάλι, αν και μπορούν να επιτύχουν εξαιρετικά χαμηλές τιμές PEC (μεταξύ των χαμηλότερων σε όλες τις

δέσμες παρεμβάσεων), υστερούν ως προς την οικονομική τους ανταγωνιστικότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές της DPP τους είναι κατ' ελάχιστον ίσες με 14 και 9 έτη στις κλιματικές ζώνες Β και Γ αντίστοιχα, ενώ μπορεί να ανέλθουν και σε ακόμη υψηλότερες τιμές 50 και 40 ετών αντίστοιχα.

2.3.3.2 Τύπος κτιρίου: μονοκατοικία, περίοδος κατασκευής: P2

Στην Εικόνα 7 αποτυπώνονται η DPP, το LCC και η ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια μονοκατοικιών που κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο P2 και βρίσκονται στις κλιματικές ζώνες Β και Γ.

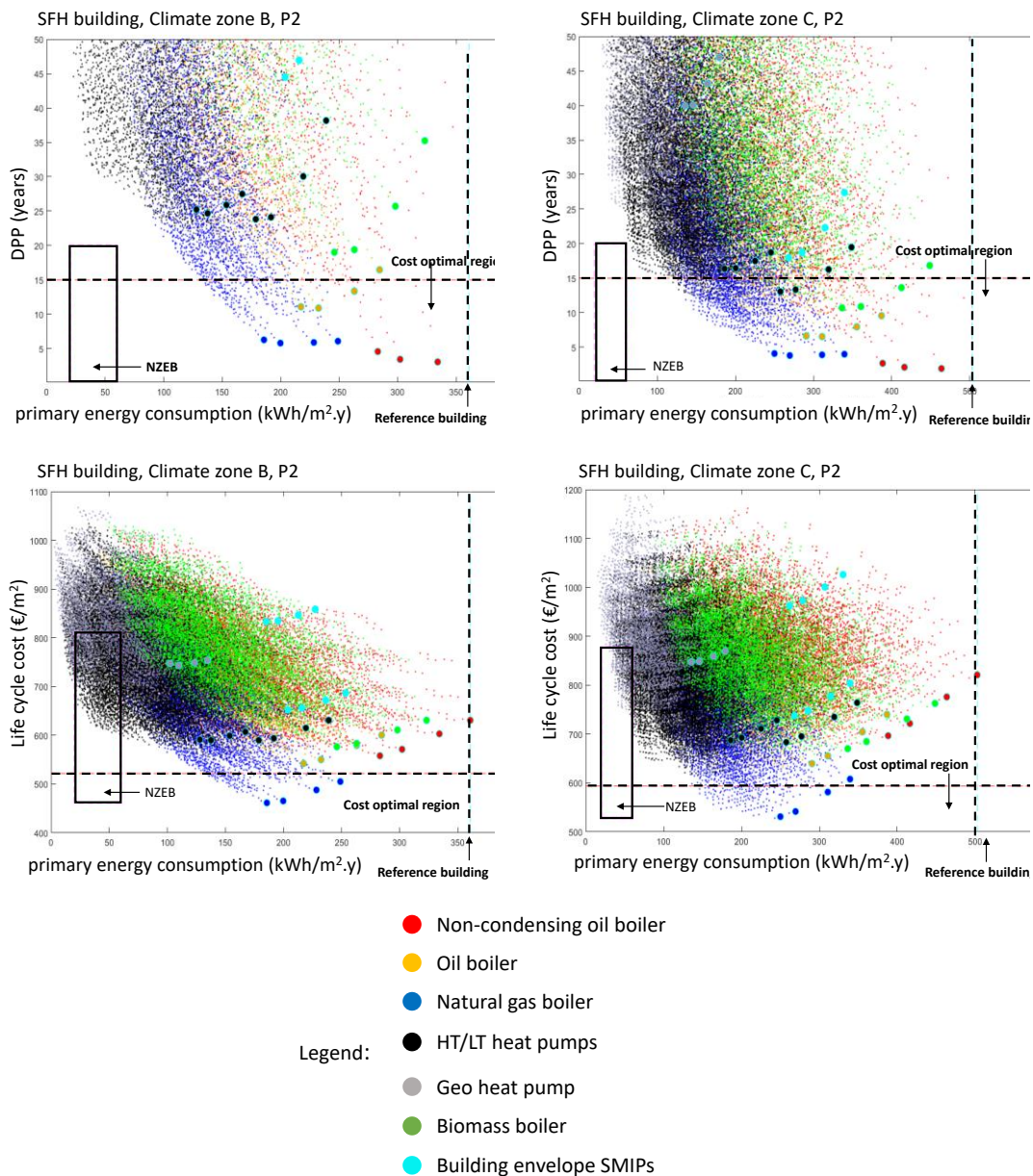
Όπως έχει ήδη συζητηθεί, η δυνατότητα μείωσης της PEC είναι πολύ μικρότερη για τα κτίρια της P2, περιορίζοντας σημαντικά και την οικονομική αποδοτικότητα των περισσότερων δεσμών παρεμβάσεων, δεδομένου ότι οι τιμές DPP είναι ως επί το πλείστον υψηλότερες από τα 15 έτη. Κατά συνέπεια, ο αριθμός των οικονομικά βιώσιμων δεσμών παρεμβάσεων με DPP κάτω των 20 ετών είναι πολύ περιορισμένος, ιδίως για τα χαμηλότερα επίπεδα PEC. Μάλιστα, η DPP της πλειονότητας των δεσμών παρεμβάσεων πολύ συχνά υπερβαίνει και τα 50 έτη, πράγμα που εξηγεί επίσης τον μειωμένο αριθμό σημείων που εμφανίζονται στα διαγράμματα DPP της Εικόνα 7.

Για την κλιματική ζώνη Β, μόνο οι δέσμες παρεμβάσεων, που βασίζονται στην εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου ή συμπύκνωσης πετρελαίου και στη διατήρηση των υφιστάμενων λεβήτων πετρελαίου, μπορούν να αποφέρουν DPP μικρότερη των 15 ετών. Από την άλλη πλευρά, δέσμες παρεμβάσεων με αντλίες θερμότητας και λέβητες βιομάζας μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε αυτά τα επίπεδα DPP στη ζώνη Γ. Επιπλέον, στη ζώνη Γ, ορισμένες SMIPs με αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους μπορούν δυνητικά να οδηγήσουν σε DPP εντός του ορίου σκοπιμότητας, πράγμα που δεν ισχύει στην περίπτωση της κλιματικής ζώνης Β.

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των κτιρίων των περιόδων 1 και 2 αφορά την οικονομική απόδοση της SMIP που βασίζεται στην αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους. Ειδικότερα, και σε αντίθεση με τα κτίρια της Π1, η αποκλειστική αναβάθμιση μόνο του κελύφους των κτιρίων της Π2 συσχετίζεται με χαμηλή οικονομική απόδοση, καθώς οι τιμές DPP που προκύπτουν είναι υψηλότερες από 40 και 15 έτη για τα κτίρια στις κλιματικές ζώνες Β και Γ αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό συμβαίνει παρά το γεγονός ότι τα επίπεδα PEC που επιτυγχάνονται από αυτές τις SMIPs είναι συγκρίσιμα με τα επίπεδα των SMIPs που συμπεριλαμβάνουν λέβητες φυσικού αερίου και συμπύκνωσης πετρελαίου. Μεταξύ των SMIPs, τα συστήματα φυσικού αερίου έχουν τις χαμηλότερες τιμές DPP, οι οποίες είναι περίπου 6 και 4 έτη για τις κλιματικές ζώνες Β και Γ αντίστοιχα. Για τους λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου, οι τιμές αυτές κυμαίνονται περίπου από 10-16 και 7-10 έτη. Οι SMIPs με αντλίες θερμότητας, στην πλειονότητά τους, δεν ανταποκρίνονται στα όρια σκοπιμότητας που έχουν τεθεί για την DPP και το LCC, με εξαίρεση ορισμένες δέσμες παρεμβάσεων με ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών, των οποίων η DPP πέφτει ελαφρώς χαμηλότερα από τα 15 έτη στην κλιματική ζώνη Γ. Γίνεται φανερό εν τέλει ότι μόνο οι SMIPs που βασίζονται

σε λέβητες φυσικού αερίου έχουν ως αποτέλεσμα LCC χαμηλότερο από το όριο σκοπιμότητας.

Μια τελευταία, αλλά εξίσου σημαντική παρατήρηση αφορά τη σημαντική διαφορά που διαπιστώνεται μεταξύ των περιόδων 1 και 2 σχετικά με την DPP των SMIPs που εμπρικλείουν αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους. Στην περίπτωση των μονοκατοικιών που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου 1, η DPP τείνει να εμφανίζεται ως επί το πλείστον κάτω από το όριο των 15 ετών. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση των κτιρίων που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου 2, η αντίστοιχη DPP παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις, που κυμαίνονται από 7 έως 50 έτη στη ζώνη Β και από 5 έως 35 έτη στη ζώνη Γ.



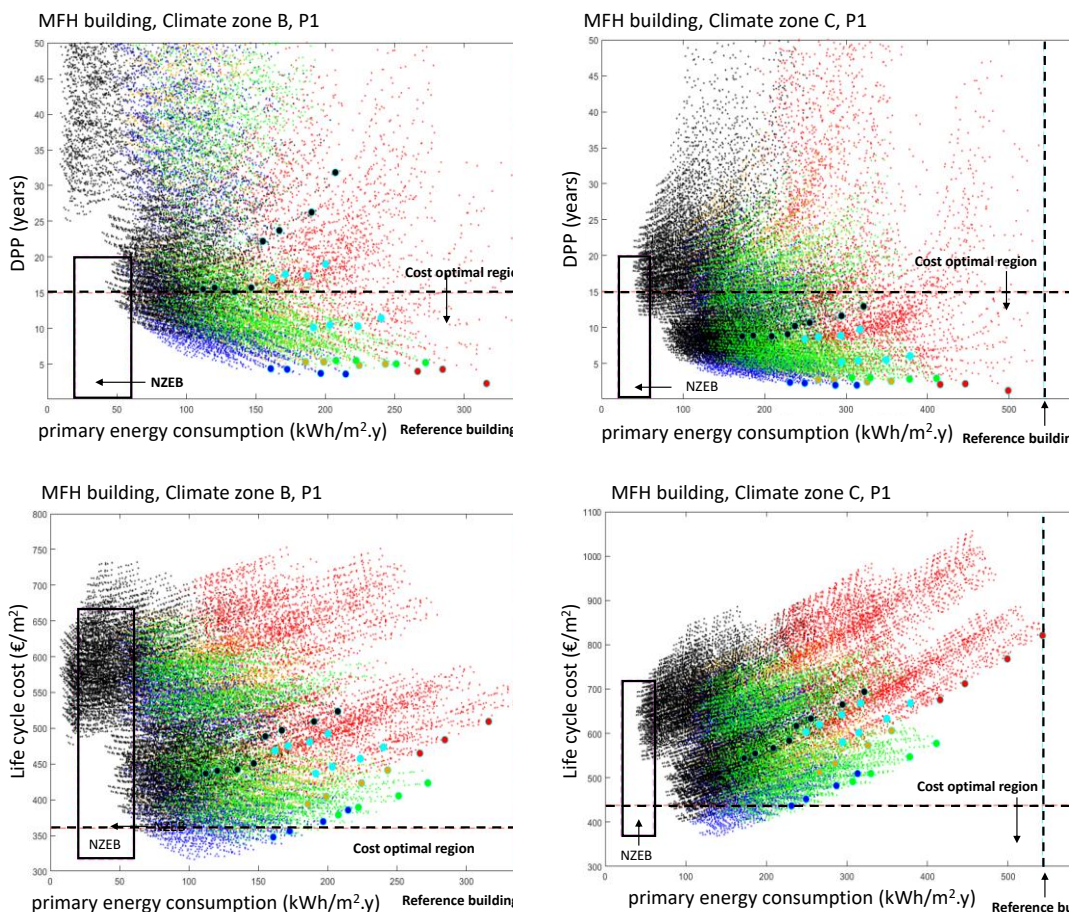
Εικόνα 7 DPP, LCC και ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια μονοκατοικιών, την περίοδο κατασκευής 2 και στις κλιματικές ζώνες Β και Γ

2.3.4 Πολυκατοικίες

2.3.4.1 Τύπος κτιρίου: πολυκατοικία, περίοδος κατασκευής: Π1

Στην Εικόνα 8, απεικονίζονται η DPP, το LCC και η ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια πολυκατοικιών που κατασκευάστηκαν εντός της περιόδου Π1 και βρίσκονται στις κλιματικές ζώνες Β και Γ.

Τα διαγράμματα της DPP για τα κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών που ανήκουν στην κατασκευαστική περίοδο Π1 είναι γενικά παρόμοια. Και πάλι, οι δέσμες παρεμβάσεων με φυσικό αέριο ή με λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου έχουν τις χαμηλότερες DPPs, οι οποίες μπορεί να είναι ακόμη και κάτω των 5 ετών και στις δύο κλιματικές ζώνες. Οι δέσμες παρεμβάσεων με λέβητες βιομάζας έχουν υψηλότερες DPP, που τυπικά κυμαίνονται από 7 έως 15 έτη και από 4 έως 10 έτη στις ζώνες Β και Γ αντίστοιχα. Ομοίως, οι δέσμες παρεμβάσεων με αντλίες θερμότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση προς τις χαμηλότερες τιμές DPP στη ζώνη Γ, από 5 έως 25 έτη, ενώ εμφανίζουν μια πιο αραιή διασπορά στη ζώνη Β, από 10 έως 50 έτη. Τα αποτελέσματα της DPP είναι παρόμοια και για τις SMIPs.



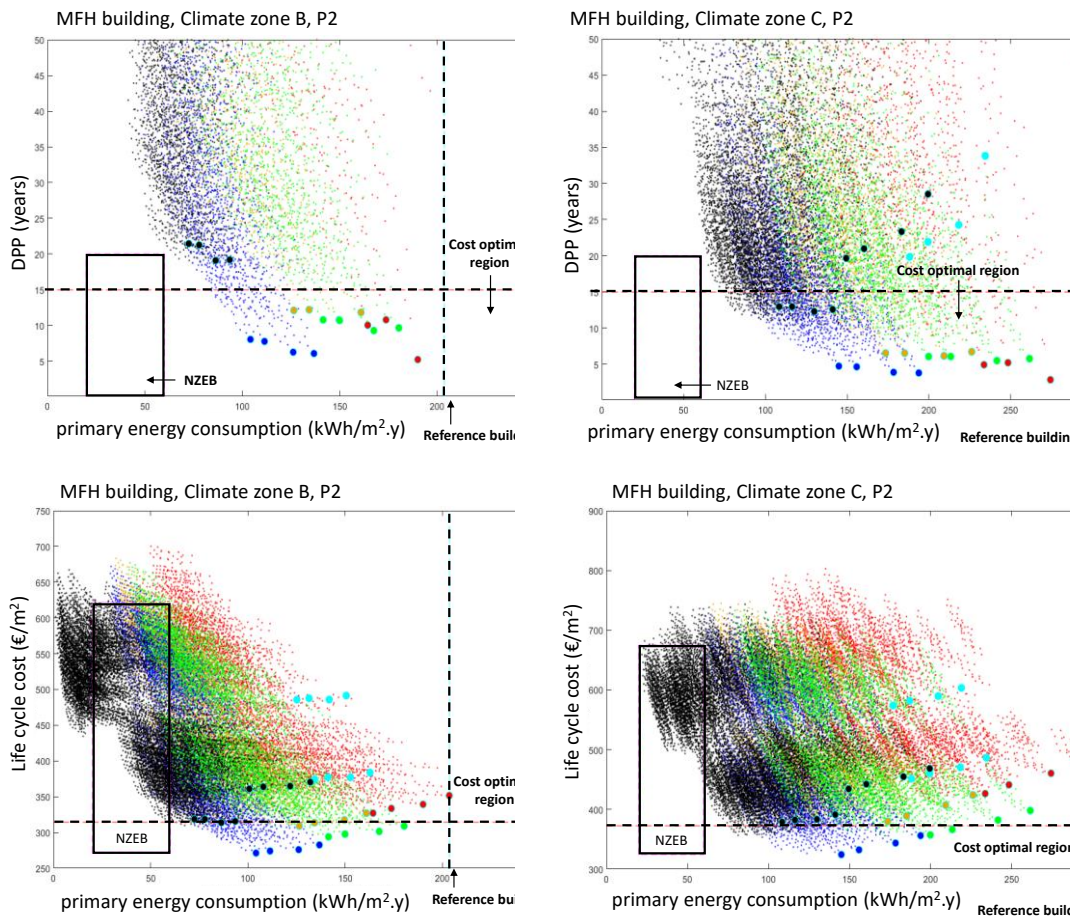
- Legend:
- Non-condensing oil boiler
 - Oil boiler
 - Natural gas boiler
 - HT/LT heat pumps
 - Biomass boiler
 - Building envelope SMIPs

Εικόνα 8 DPP, LCC και ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια πολυκατοικιών, την περίοδο κατασκευής Π1 και στις κλιματικές ζώνες Β και Γ

Οι τιμές του LCC για τα κτίρια πολυκατοικιών της Π1 ουσιαστικά αντικατοπτρίζουν τις τιμές των κτιρίων μονοκατοικιών. Οι κύριες διαφορές έγκεινται στην απουσία γεωθερμικών ΑΘ, καθώς και στη σχετικά αραιότερη κατανομή των SMIPs με αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους.

2.3.4.2 Τύπος κτιρίου: πολυκατοικία, περίοδος κατασκευής: Π2

Στην Εικόνα 9 απεικονίζονται η DPP, το LCC και η ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια πολυκατοικιών που κατασκευάστηκαν εντός της περιόδου Π2 και βρίσκονται στις κλιματικές ζώνες Β και Γ.



- Legend:
- Non-condensing oil boiler
 - Oil boiler
 - Natural gas boiler
 - HT/LT heat pumps
 - Biomass boiler
 - Building envelope SMIPs

Εικόνα 9 DPP, LCC και ετήσια PEC των δεσμών παρεμβάσεων σε κτίρια πολυκατοικιών, την περίοδο κατασκευής Π2 και στις κλιματικές ζώνες Β και Γ

Όπως και στην περίπτωση των κτιρίων μονοκατοικιών, υπάρχουν λιγότερες δέσμες παρεμβάσεων με περιόδους αποπληρωμής μικρότερες των 15 ετών στην Π2 σε σχέση με την Π1, λόγω της βελτιωμένης υφιστάμενης μόνωσης των κτιρίων της Π2, με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι δυνατότητες για σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτές οι δέσμες παρεμβάσεων περιλαμβάνουν κυρίως λέβητες συμπύκνωσης φυσικού αερίου ή πετρελαίου, και ενίοτε λέβητες βιομάζας (ιδίως στη ζώνη Γ). Στη ζώνη Β, δεν υπάρχουν δέσμες παρεμβάσεων με DPP κάτω των 5 ετών. Στη ζώνη Γ πολύ λίγες παρεμβάσεις μπορούν να φτάσουν DPPs περίπου 4 ετών, και οι περιπτώσεις αυτές αφορούν κυρίως λέβητες φυσικού αερίου. Σημαντικά μειωμένος είναι επίσης ο αριθμός των δεσμών παρεμβάσεων με αντλίες θερμότητας, των οποίων η DPP βρίσκεται κάτω από το όριο σκοπιμότητας, ιδίως στη ζώνη Β.

Οι SMIPs που βασίζονται σε μονάδες ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών αποδίδουν DPPs περί τα 20 και 13 έτη στις ζώνες Β και Γ αντίστοιχα, ενώ οι DPPs των SMIPs με βάση ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών υπερβαίνουν τα 50 έτη στην κλιματική ζώνη Β και κυμαίνονται από 20 έως 30 έτη στη ζώνη Γ.

Στην κλιματική ζώνη Β, οι SMIPs που περιλαμβάνουν λέβητες συμπύκνωσης φυσικού αερίου, πετρελαίου, και βιομάζας έχουν τη δυνατότητα να αποδίδουν τιμές DPP κάτω των 15 ετών. Συνολικά, η DPP των ανωτέρω SMIPs κυμαίνεται από 5-7 (λέβητες φυσικού αερίου) σε περίπου 12 έτη (λέβητες βιομάζας και συμπύκνωσης πετρελαίου). Από τεchnοοικονομική άποψη, οι βέλτιστες δέσμες παρεμβάσεων περιλαμβάνουν την αποκλειστική εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου, με τις τιμές της DPP να είναι περίπου 6 έτη.

Ανάλογη είναι η κατάσταση στην κλιματική ζώνη Γ. Φυσικά στην περίπτωση αυτή, όπως παρατηρήθηκε και για τα κτίρια των μονοκατοικιών, η οικονομική απόδοση όλων των δεσμών παρεμβάσεων είναι συνολικά πολύ καλύτερη, λόγω των υψηλότερων απαιτήσεων θέρμανσης που έχουν τα κτίρια στη συγκεκριμένη ζώνη. Επιπλέον, υπάρχουν δέσμες παρεμβάσεων που περιλαμβάνουν ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών και αποκλειστική αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους με περιόδους αποπληρωμής κάτω των 15 ετών. Όπως και στη ζώνη Β, τα σενάρια με τις χαμηλότερες περιόδους αποπληρωμής αφορούν την αποκλειστική αντικατάσταση του υπάρχοντος λέβητα πετρελαίου με λέβητα συμπύκνωσης φυσικού αερίου (με DPP 4 έτη). Επιπλέον, όπως και στη ζώνη Β,

καμία δέσμη παρέμβασης δεν εμπίπτει στην περιοχή nZEB που να πληροί το κριτήριο τεχνοοικονομικής βιωσιμότητας μιας DPP 15 ετών.

Τέλος, στην Π1 παρατηρείται ότι μόνο δύο περιπτώσεις δεσμών παρεμβάσεων που βασίζονται σε λέβητες φυσικού αερίου έχουν τιμές LCC κάτω από το όριο σκοπιμότητας. Στην Π2, ωστόσο, όλες οι δέσμες παρεμβάσεων που βασίζονται στη συμμετοχή λεβήτων φυσικού αερίου και βιομάζας έχουν τιμές LCC κάτω από το όριο.

Τα σχετικά αποτελέσματα που αντιστοιχούν στις διάφορες κατηγορίες δεσμών παρέμβασης είναι παρόμοια στην κλιματική ζώνη Γ. Η μόνη διαφορά σε σύγκριση με τη ζώνη Β είναι τα συνολικά υψηλότερα επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης και LCC που παρατηρούνται στη ζώνη Γ.

2.4 Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και οι δυνατότητες εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που παρέχουν δέσμες παρεμβάσεων, που αποτελούνται από μεμονωμένα ή πολλαπλά μέτρα, σε υφιστάμενα ελληνικά κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, τα οποία ανεγέρθηκαν σε δύο κλιματικές ζώνες (Β και Γ) πριν από το 1980 και κατά την περίοδο 1980-2000.

Λόγω του δριμύτερου χειμώνα, τα φορτία θέρμανσης που εμφανίζονται στην κλιματική ζώνη Γ είναι υψηλότερα σε σύγκριση με εκείνα της ζώνης Β, ενώ κατανέμονται και σε μεγαλύτερο χρονικό εύρος. Κατά συνέπεια, οι υπολογιζόμενες περίοδοι αποπληρωμής είναι μικρότερες. Επιπλέον, τα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν από το 1980 χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα ανεπαρκή μόνωση σε σύγκριση με τα κτίρια που κατασκευάστηκαν από το 1980 έως το 2000. Στην περίπτωση λοιπόν των κτιρίων της περιόδου προ του 1980 υπάρχει σημαντικά μεγαλύτερο περιθώριο ενεργειακής εξοικονόμησης, το οποίο αντιστοιχεί σε μικρότερες περιόδους αποπληρωμής. Από την άλλη πλευρά, πολύ λίγες παρεμβάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλές τιμές πρωτογενούς κατανάλωσης (< 100 kWh/(m²y) αποδίδοντας ταυτόχρονα μικρές περιόδους αποπληρωμής και χαμηλό LCC στην περίπτωση των κτιρίων της περιόδου 1980-2000.

Γενικά, ενώ οι δέσμες παρεμβάσεων με αντλίες θερμότητας έχουν τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, η περίοδος αποπληρωμής τους και το κόστος κύκλου ζωής τους κυμαίνονται από μεσαία έως πολύ υψηλά επίπεδα. Συνάγεται επομένως ότι το υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου των εν λόγω μέτρων περιορίζει την αποτελεσματικότητά τους ως προς το κόστος, παρά τις υψηλές ενεργειακές τους αποδόσεις. Οι βασιζόμενες σε συνδυασμό φωτοβολταϊκών δέσμες παρεμβάσεων έχουν ακόμη υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο να επιτευχθούν οι προδιαγραφές κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, ιδίως όταν συνδυάζονται με μονάδες αντλιών θερμότητας· ωστόσο συνδέονται και με υψηλό LCC. Η εγκατάσταση λεβήτων

φυσικού αερίου, από την άλλη πλευρά, βρίσκεται σε ένα μέσο επίπεδο στο εύρος τιμών ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των περιόδων αποπληρωμής και του κόστους σε όλους τους τύπους κτιρίων και τις κλιματικές ζώνες, κι έτσι αποτελεί μια συμβιβαστική επιλογή εξισορρόπησης ενεργειακών και οικονομικών επιδόσεων. Η διατήρηση υφιστάμενων λεβήτων που συνοδεύεται από αναβάθμιση της μόνωσης του κτιριακού κελύφους συσχετίζεται με μειωμένη εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και με υψηλό κόστος κύκλου ζωής, λόγω της αυξημένης κατανάλωσης πετρελαίου.

Επιπλέον, οι χρηματοοικονομικές διαφορές των σεναρίων βέλτιστου κόστους από τα σενάρια για τα nZEB κυμαίνονται σε 120-180 €/m² (στην κλιματική ζώνη Β) και 200-250 €/m² (στην κλιματική ζώνη Γ) για τις μονοκατοικίες, και 140-180 €/m² (κλιματική ζώνη Β) και 180-220 €/m² (κλιματική ζώνη Γ) για τις πολυκατοικίες αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, στην περίπτωση των παλαιότερων κτιρίων της κλιματικής ζώνης Β, η επίτευξη των στόχων για nZEB με εύλογο κόστος θα είναι δυνατή μόνον εφόσον παρέχονται σημαντικά οικονομικά κίνητρα.

2.5 Βιβλιογραφία

- [2.1] European Commission. Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL 2011.
- [2.2] Commission EE. Energy, transport and environment indicators. 2012.
- [2.3] European Commission. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS 2011.
- [2.4] The European Parliament and the Council of the European Union. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union. 2010.
- [2.5] The European Parliament and the Council of the European Union. DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Official Journal of the European Union. 2012.
- [2.6] D'Agostino D, Zangheri P, Cuniberti B, Paci D, Bertoldi P. Synthesis Report on the National Plans for Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs). European Commission, JRC Science for Policy Report. 2016.
- [2.7] Aelenei L, Paduos S, Petran H, Tarrés J, Ferreira A, Corrado V, et al. Implementing Cost-optimal Methodology in Existing Public Buildings. Energy Procedia. 2015;78:2022-7.

- [2.8] Lucchi E, Tabak M, Troi A. The “Cost Optimality” Approach for the Internal Insulation of Historic Buildings. *Energy Procedia*. 2017;133:412-23.
- [2.9] D'Agostino D, Parker D. A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBs) in representative climates across Europe. *Energy*. 2018;149:814-29.
- [2.10] European Commission. Towards nearly zero energy buildings: Definition of common principles under the EPBD. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_reportpdf. 2013.
- [2.11] Kakaras E, Karellas S, Vourliotis P, Pallis P, Gkonis N, Sarafianos D, et al. Comparative study of the techno-economic results of different energy efficiency measures in the Greek building stock, http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/sites/default/files/LSBTP_Cost_Optimal_v1.pdf. Laboratory of Steam Boilers and Thermal Plants, School of Mechanical Engineering, National Technical University of Athens, Greece. 2017.
- [2.12] Ferrara M, Fabrizio E. Cost optimal nZEBs in future climate scenarios. *Energy Procedia*. 2017;122:877-82.
- [2.13] Pikas E, Kurnitski J, Thalfeldt M, Koskela L. Cost-benefit analysis of nZEB energy efficiency strategies with on-site photovoltaic generation. *Energy*. 2017;128:291-301.
- [2.14] Baglivo C, Congedo PM, D'Agostino D, Zacà I. Cost-optimal analysis and technical comparison between standard and high efficient mono-residential buildings in a warm climate. *Energy*. 2015;83:560-75.
- [2.15] Becchio C, Dabbene P, Fabrizio E, Monetti V, Filippi M. Cost optimality assessment of a single family house: Building and technical systems solutions for the nZEB target. *Energy and Buildings*. 2015;90:173-87.
- [2.16] Kurnitski J, Saari A, Kalamees T, Vuolle M, Niemelä J, Tark T. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*. 2011;43:3279-88.
- [2.17] Ascione F, Bianco N, De Masi RF, Dousi M, Hionidis S, Kaliakos S, et al. Design and performance analysis of a zero-energy settlement in Greece. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2017;12:141-61.
- [2.18] Kampelis N, Gobakis K, Vagias V, Kolokotsa D, Standardi L, Isidori D, et al. Evaluation of the performance gap in industrial, residential & tertiary near-Zero energy buildings. *Energy and Buildings*. 2017;148:58-73.
- [2.19] Santamouris M. Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change. *Solar Energy*. 2016;128:61-94.
- [2.20] Greek Ministry of Environment and Energy. Report on the determination of cost optimal levels of minimum energy efficiency requirements for buildings and structural elements.

<https://ec.europa.eu/energy/en/content/eu-countries-2013-cost-optimal-reports-part-1>. 2016.

- [2.21] European Commission. Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements (2012/C 115/01). Official Journal of the European Union. 2012:55.
- [2.22] Energy MoEa. Approval and implementation of Technical Directives of the Technical Chamber of Greece for the Energy Efficiency of Buildings. Official Greek Government Gazette 2618/23102014/ΦΕΚ 2945B/2014. 2014.
- [2.23] Technical Chamber of Greece. Technical Directive: Analytical National Specifications of the parameters for the calculation of the building energy performance and issuing of energy certificates, 'http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf'. 2017.
- [2.24] European Committee for Standardization. Energy Performance of Buildings. Impact of Building Automation, Controls and Building Management. Modules. BS EN 15232-1:2017. 2017.
- [2.25] European Committee for Standardization. EN 15459-1:2017: Energy performance of buildings. Impact of building automation, controls and building management. BS EN 15232:2007. 2007.
- [2.26] Hellenic Statistical Authority. <http://www.statistics.gr/>.
- [2.27] European Committee for Standardization. EN 13790:2008: Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling. <https://www.ceneu/Pages/default.aspx>.
- [2.28] General Secretariat for Energy and Climate Change of Greece. <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=345&locale=en-US&language=el-GR>.
- [2.29] Greece TCo. Technical Directive: Analytical National Specifications of the parameters for the calculation of the building energy performance and issuing of energy certificates. <http://portaltee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%C5%C5-2nd.pdf>. 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

3 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για τον καθορισμό ενεργειακών απαιτήσεων νέων κτιρίων κατοικιών

3.1 Πλαίσιο και διατύπωση του προβλήματος

Τα κτίρια βρίσκονται στον πυρήνα των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ [3.1]. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ευθύνονται για το 30-40 % περίπου της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και για το 36 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [[3.2], [3.3]]. Κατά συνέπεια, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού δυναμικού στην Ευρώπη αποτελεί σημαντική επιδίωξη, όχι μόνο για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ για το 2020 και το 2030, αλλά και για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων που θέτει ο χάρτης πορείας προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για το 2050 [3.4]. Οι οδηγίες 2010/31/ΕΕ (οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων — EPBD) [3.5] και 2012/27/ΕΕ (οδηγία για την ενεργειακή απόδοση — EED) [3.6] εισήγαγαν συγκεκριμένα μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του ευρωπαϊκού κτιριακού αποθέματος. Παρά το γεγονός ότι οι προαναφερθείσες οδηγίες τροποποιήθηκαν πρόσφατα από τις οδηγίες 2018/844 και 2018/2002 αντίστοιχα [[3.7], [3.8]], στο επίκεντρο της EPBD παραμένουν τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEBs), ως μείζων στόχος τόσο για τα νέα κτίρια όσο και για τα ανακαινιζόμενα κτίρια, καθώς και οι μακροπρόθεσμες στρατηγικές ανακαίνισης μέσω οικονομικά αποδοτικών προσεγγίσεων.

Η EPBD απαιτεί από τα κράτη μέλη να διαμορφώσουν πολιτικές και να θεσπίσουν συγκεκριμένα μέτρα για την προώθηση του ποσοστού ανακαίνισης των υφιστάμενων κτιρίων, ώστε να μειωθεί η ενεργειακή τους κατανάλωση σε επίπεδα nZEB. Ωστόσο, μια σειρά φραγμών περιορίζουν τα ποσοστά υλοποίησης των nZEBs, ιδίως στις χώρες της Νότιας Ευρώπης. Στους φραγμούς αυτούς περιλαμβάνονται η αγνόηση των δομικών υλικών υψηλής ποιότητας και των ενοποιημένων βιοκλιματικών σχεδιασμών, οι ακατάλληλες μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τις ενεργειακές προσομοιώσεις και τους ενεργειακούς σχεδιασμούς, όπως επίσης η μη παρακολούθηση των αποδόσεων και, τέλος, η έλλειψη στρατηγικών σε τοπικό και εθνικό επίπεδο για τη δημιουργία των απαιτούμενων υποδομών για την υλοποίηση των nZEBs [3.9].

Σύμφωνα με την οδηγία, όλα τα νεόδμητα κτίρια από το 2021 (τα δημόσια κτίρια από το 2019) και εξής θα πρέπει να είναι nZEB. Μια σημαντική πτυχή των nZEBs αφορά τις έννοιες της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της βελτιστότητας του κόστους. Πράγματι, απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της EPBD αποτελεί η ελαχιστοποίηση της χρηματοοικονομικής

διαφοράς μεταξύ των λύσεων βέλτιστου κόστους και των λύσεων που οδηγούν σε κτίρια μηδενικού ισοζυγίου ή σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (NZEB/nZEB), μέσα από τη σταδιακή αυστηροποίηση των ελάχιστων απαιτήσεων που προβλέπονται από τους εθνικούς κανονισμούς. Ο καθορισμός της απόδοσης βέλτιστου κόστους για τα nZEBs απαιτεί την ανάπτυξη ενός συγκριτικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη τις οικονομικές και ενεργειακές/περιβαλλοντικές παραμέτρους όλων των δυνατών σχεδιασμών με βάση πολλαπλές τεχνολογίες και αξιοποίηση ποικίλων πηγών ενέργειας [3.10]. Το κενό μεταξύ βελτιστότητας κόστους και nZEBs αποτιμήθηκε, για διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, ως προς α) τη διαθεσιμότητα/τεχνική εφαρμοσιμότητα των αναγκαίων τεχνολογιών και β) τις διαφορές στο (συνολικό) κόστος κύκλου ζωής στη μελέτη *Towards nearly zero-energy buildings. Definition of common principles under the EPBD* [3.11]. Η μελέτη κατέληξε σε δύο κύρια συμπεράσματα. Πρώτον, ότι είναι τεχνικά εφικτή η επίτευξη ενεργειακής κατανάλωσης επιπέδων nZEB στα κτίρια με εφαρμογή των διαθέσιμων τεχνολογιών, οι οποίες εστιάζουν στη μείωση της ενεργειακής ζήτησης και στις βελτιωμένες αποδόσεις μετατροπής, σε συνδυασμό με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Το δεύτερο συμπέρασμα είναι ότι, ενώ οι μειώσεις των κεφαλαιουχικών δαπανών και η βελτιωμένη απόδοση των σχετικών δομών μπορούν γενικά να στηρίξουν οπουδήποτε τη βιωσιμότητα των nZEBs, η χρήση ΑΠΕ ενδέχεται ενίοτε να παρακωλύεται από χρονικούς και γεωγραφικούς περιορισμούς, καθώς και από τάσεις της αγοράς και πλαίσια πολιτικών που επικρατούν σε τοπικό επίπεδο.

Αρκετές μελέτες στη βιβλιογραφία έδωσαν έμφαση στις διάφορες παραμέτρους που αφορούν τον συσχετισμό κόστους-αποτελεσματικότητας και των ενεργειακών αποδόσεων των τεχνολογιών που απευθύνονται σε κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (nZEBs, NZEBs). Οι Sesana και Salvalai [3.12] πραγματοποίησαν μια κριτική εξέταση των μεθοδολογιών ανάλυσης του κύκλου ζωής που εφαρμόζονται στην αξιολόγηση των nZEBs, επισημαίνοντας σε κάθε περίπτωση τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εκάστοτε μεθοδολογίας. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η ανάλυση του κύκλου ζωής (LCA), η ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά τον κύκλο ζωής (LCEA), το κόστος κύκλου ζωής (LCC), καθώς και η ανάλυση κύκλου ζωής-κτιρίου μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (LC-NZEB). Οι Raduos et al. [3.13] παρέιχαν μια επισκόπηση της βέλτιστης από πλευράς κόστους προσέγγισης για τη μετατροπή των δημόσιων κτιρίων σε nZEBs σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, ενώ παράλληλα διερεύνησαν τον αντίκτυπο αρκετών δεσμών παρεμβάσεων σε συγκεκριμένα κτίρια αναφοράς. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν την τεχνική εφικτότητα των στόχων για nZEB στην πλειονότητα των εξεταζόμενων περιπτώσεων, αν και με σημαντικά υψηλό κόστος. Οι Baglino et al. [3.14] ερεύνησαν τα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα των νεόδμητων κτιρίων μονοκατοικιών σε περιοχές με ζεστό κλίμα, εξετάζοντας πολλαπλά μέτρα που περιελάμβαναν αναβάθμιση του

κτιριακού κελύφους και εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης, όπως αντλίες θερμότητας και τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας. Σύμφωνα με το σενάριο βέλτιστου κόστους της μελέτης, επιτυγχάνεται μείωση κατά 85 % της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (PEC) με κόστος κύκλου ζωής (LCCs) ύψους 135 €/m² σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Οι Kampelis et al. [3.15] αξιολόγησαν τις διαφορές στις αποδόσεις των nZEBs στον τομέα της βιομηχανίας, των κατοικιών και των υπηρεσιών. Οι D'Agostino και Parker [3.16] σχεδίασαν ένα πλαίσιο λήψης αποφάσεων για την επιλογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια κατοικίας, που βελτιστοποιούν τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητάς τους και τόνισαν την ισχυρή αλληλεξάρτηση των βέλτιστων μέτρων με τις κλιματικές συνθήκες και τη γεωγραφική θέση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, μπορεί να επιτευχθεί μείωση της PEC άνω του 90 % για τα νεόδμητα κτίρια. Οι Hamdy et al. [3.17] μελέτησαν μια προσέγγιση βελτιστοποίησης τριών σταδίων για κτίρια βέλτιστου κόστους και σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης με βάση την αναδιατύπωση της EPBD. Οι συντάκτες διεξήγαγαν περιπτώσιολογική μελέτη μιας μονοκατοικίας στη Φινλανδία και εξέτασαν έναν ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό (> 3 x 10⁹) συνδυασμών διαφόρων μέτρων, μεταξύ αυτών αναβαθμισμένα δομικά υλικά στο κτιριακό κέλυφος, μονάδες ανάκτησης θερμότητας, συστήματα θέρμανσης/ψύξης και τεχνολογίες με χρήση ηλιακής ενέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, αν και είναι δυνατό να έχουμε nZEBs με επίπεδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας που κυμαίνονται σε 70 kWh/(m² y), για τα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου είναι αναγκαίο να υπάρχουν οικονομικά κίνητρα που θα καθιστούν εφικτή την υλοποίησή τους.

Τη δυνατότητα των βασιζόμενων στην ηλιακή ενέργεια μέτρων να συμβάλουν στην επίτευξη επιπέδων μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (ZEB και nZEB) διερεύνησαν οι Silva et al. [3.18], λαμβάνοντας υπόψη διάφορα σενάρια ανακαίνισης σε υφιστάμενα κτίρια κατοικιών στην Πορτογαλία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης τους, οι περίοδοι αποπληρωμής στα σενάρια των κτιρίων μηδενικής (ZEB) και σχεδόν μηδενικής (nZEB) ενεργειακής κατανάλωσης είναι περίπου ίσες με 15 έτη. Οι Becchio et al. [3.19] επικεντρώθηκαν επίσης στην αξιολόγηση της οικονομικής επίδοσης πολλαπλών μέτρων ενεργειακής απόδοσης σε κτίριο μονοκατοικίας στην Ιταλία. Τα αποτελέσματα υπογράμμισαν τη σημασία της ενσωμάτωσης συστημάτων υψηλής απόδοσης και αναβάθμισης του κτιριακού κελύφους για την επίτευξη επιπέδων κατανάλωσης μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (NZEB). Οι Ascione et al. [3.20] πραγματοποίησαν μια μελέτη περίπτωσης σε υπό ανέγερση παραθεριστικό οικισμό στην Κατερίνη. Αντί να εστιάσει σε μεμονωμένα κτίρια, η μεθοδολογία που προτείνουν οι συγγραφείς καλύπτει μια ολόκληρη αστική περιοχή με διαφορετικούς τύπους κτιρίων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, η αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, σε συνδυασμό με παθητικά και ενεργητικά συστήματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση κατά 50-90 % της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ οι

βιοκλιματικοί σχεδιασμοί μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της ζήτησης για ψύξη κατά 60-70 % στην περίπτωση των ξενοδοχείων.

Οι Kurnitski et al. [3.21] αξιολόγησαν την ενεργειακή απόδοση κτιρίων βέλτιστου κόστους και nZEB στην Εσθονία. Ειδικότερα, επιλέχθηκε μια σειρά κτιρίων αναφοράς που αντανάκλουν διαφορετικές αντιλήψεις κατασκευής, ενώ αξιολογήθηκαν διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, όπως λέβητες βιομάζας, αντλίες θερμότητας, ηλεκτρικοί θερμαντήρες, καθώς και τηλεθέρμανση και τηλεψύξη. Σύμφωνα με τη μελέτη, το σενάριο βέλτιστου κόστους αφορούσε την εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, η οποία αντιστοιχεί σε ετήσια PEC 110 kWh/(m² y). Οι Huang et al. [3.22] μελέτησαν την αξιοπιστία του ενεργειακού σχεδιασμού των nZEBs, εξετάζοντας την αβεβαιότητα των προβλέψεων της ενεργειακής ζήτησης/προσφοράς με χρήση ποσοτικοποιημένων στοχαστικών κατανομών, την απομείωση της απόδοσης του εξοπλισμού με εφαρμογή τυχαίων βαθμών επιδείνωσης και χρησιμοποιώντας μέσες τιμές που άντλησαν από τη βιβλιογραφία, και τις απαιτήσεις συντήρησης. Όπως ήταν αναμενόμενο, η απομείωση των επιμέρους αποδόσεων είχε αρνητικό αντίκτυπο στη θερμική άνεση και στην βαθμό εξάρτησης των nZEBs από το δίκτυο. Για την ακρίβεια, διαπιστώθηκε ότι, εάν η απομείωση και η συντήρηση δεν ληφθούν υπόψη στον αρχικό σχεδιασμό, το κτίριο ενδέχεται να μην μπορεί να ανταποκριθεί στους περιορισμούς της θερμικής άνεσης και της εξάρτησης από το δίκτυο σε 29 και 14 έτη αντίστοιχα. Οι Hamdy et al. [3.23] διεξήγαγαν μία μελέτη περίπτωσης για μια μονοκατοικία στη Φινλανδία, με σκοπό να αξιολογήσουν τον αντίκτυπο που έχουν στη βελτιστότητα κόστους ασταθείς οικονομικές παράμετροι, όπως είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο, η μεταβολή των τιμών ενέργειας και ο ρυθμός μείωσης των τιμών στην αγορά τεχνολογίας, καθώς επίσης οι εγγυημένες σταθερές τιμές και οι επιχορηγήσεις επενδύσεων που χρησιμοποιούνται για την προώθηση των nZEBs. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι οικονομικές παράμετροι που κατεξοχήν επηρεάζουν τις ετήσιες λειτουργικές δαπάνες (μεταβολή των τιμών της ενέργειας, προεξοφλητικό επιτόκιο και εγγυημένες σταθερές τιμές) έχουν τις σημαντικότερες επιπτώσεις στα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, μια μεταβολή στις παραμέτρους αυτές κατά 1 % οδηγεί σε διακυμάνσεις της ενεργειακής κατανάλωσης βέλτιστου κόστους μεταξύ -5.1 έως -15.6 kWh/(m²•y), +0.15 έως +12.3 kWh/(m²•y) και -0.1 έως -0.5 kWh/(m²•y) αντίστοιχα.

Οι Danza et al. [3.24] εξέτασαν δύο πτυχές, την ανθεκτικότητα και την υποβάθμιση της απόδοσης των υλικών και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε μέτρα ενεργειακής απόδοσης, πεδίο εφαρμογής των οποίων είναι τα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (NZEBs). Το υλικό τους περιελάμβανε υαλοπίνακες με διάκενο αερίου και διαφορετικούς τύπους εξωτερικών σφραγιστικών, μονώσεις με πάνελ κενού, φωτοβολταϊκά και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τα αποτελέσματα της μελέτης τους

υπογράμμισαν τη σημασία που έχει η απομείωση της απόδοσης των τεχνολογιών στην πραγματική συμπεριφορά των κτιρίων. Οι D'Agostino et al. [3.25] διερεύνησαν τη βιωσιμότητα της επίτευξης επιπέδων ενεργειακής κατανάλωσης nZEB μέσω της αποκλειστικής χρήσης φωτοβολταϊκών και ηλιακών θερμικών συλλεκτών στην Ιταλία. Εξετάστηκαν δύο γεωμετρικά σχήματα κτιρίου, τετράγωνο και ορθογώνιο, ενώ θεωρήθηκε ότι τα κτίρια ήταν εξοπλισμένα με αντλίες θερμότητας. Το κτίριο τετράγωνου σχήματος είχε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας κατά 9-26 %, με την ενεργειακή του αυτάρκεια να είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με το ορθογώνιο κτίριο. Οι Buso et al. [3.26] διερεύνησαν τον παράγοντα της βελτιστότητας κόστους, καθώς και το καθεστώς θερμικής άνεσης λύσεων εκσυγχρονισμού για ένα ξενοδοχείο στην Ιταλία. Αφενός επιβεβαιώθηκε ότι η εφαρμογή εμπορικά διαθέσιμων μέτρων τροποποίησης μπορούσε να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου σε βαθμό που να επιτυγχάνει τις οριακές τιμές nZEB. Αφετέρου διαπιστώθηκε ότι τα μέτρα αυτά συνεπάγονταν ένα ιδιαίτερα δυσμενές κόστος, ενώ η διατήρηση των αρχικών συστημάτων αποτελούσε τη βέλτιστη από οικονομική άποψη επιλογή. Οι Huang και Sun [3.27] παρουσίασαν μια μέθοδο ομαδοποίησης κατά συστάδες για τη βελτίωση της απόδοσης 165 κτιρίων nZEBs, ενταγμένων σε 4 κοινότητες. Η μέθοδος βασίστηκε καταρχάς στον προσδιορισμό των αντιπροσωπευτικών ενεργειακών χαρακτηριστικών διαφόρων κτιρίων και στη συνέχεια στην επιλογή της βέλτιστης ομαδοποίησής τους με κριτήριο την αναντιστοιχία των ενεργειακών τους αναγκών. Η δυνητική βελτίωση της απόδοσης αξιολογήθηκε ως προς δύο περιπτώσεις, χωρίς ομαδοποίηση και με τυχαία ομαδοποίηση, και ακολουθώντας δύο στρατηγικές ελέγχου που εστίαζαν είτε στην ελαχιστοποίηση του κόστους είτε στην ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης με το δίκτυο. Υπολογίστηκε μια μέγιστη μείωση του κόστους κατά 30 %, ενώ ο μέγιστος συμψηφισμός ενέργειας με το δίκτυο μπορεί να μειωθεί έως και 16 % σε σύγκριση με μια προσέγγιση μη ομαδοποίησης. Οι Jung et al. [3.28] διεξήγαγαν μια έρευνα στην ενεργειακή απόδοση που θα παρουσίαζε ένα κτίριο γραφείων σε τρεις διαφορετικές κλιματικές ζώνες, που αντιστοιχούν στο Ελσίνκι, το Λονδίνο και το Βουκουρέστι, εξετάζοντας πάνελ ακτινοβολίας δαπέδου και οροφής. Η πιθανή μείωση του θερμικού φορτίου στις τρεις κλιματικές ζώνες υπολογίστηκε ότι ισούται με 86 %, 95 % και 92 % αντίστοιχα. Επιπλέον, η μείωση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας στις τρεις περιπτώσεις ήταν 32 %, 33 % και 34 % αντίστοιχα. Οι Raiho et al. [3.29] πραγματοποίησαν αναλύσεις του κόστους κύκλου ζωής αντλιών θερμότητας (γεωθερμικών, αέρα-νερού, και αέρα-αέρα), λαμβάνοντας υπόψη νεόδμητες μονοκατοικίες και συγκροτήματα διαμερισμάτων στη Φινλανδία. Οι γεωθερμικές και οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού συσχετίστηκαν με το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής (208 €/m²) για μια περίοδο 25 ετών. Παράλληλα, η προσθήκη ηλιακών συστημάτων οδήγησε σε περαιτέρω μείωση του κόστους στα 178 €/m².

Παρά τις περιπτώσεις των ερευνητικών εργασιών που εξετάστηκαν παραπάνω, ως τώρα ο αριθμός των μελετών που επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της

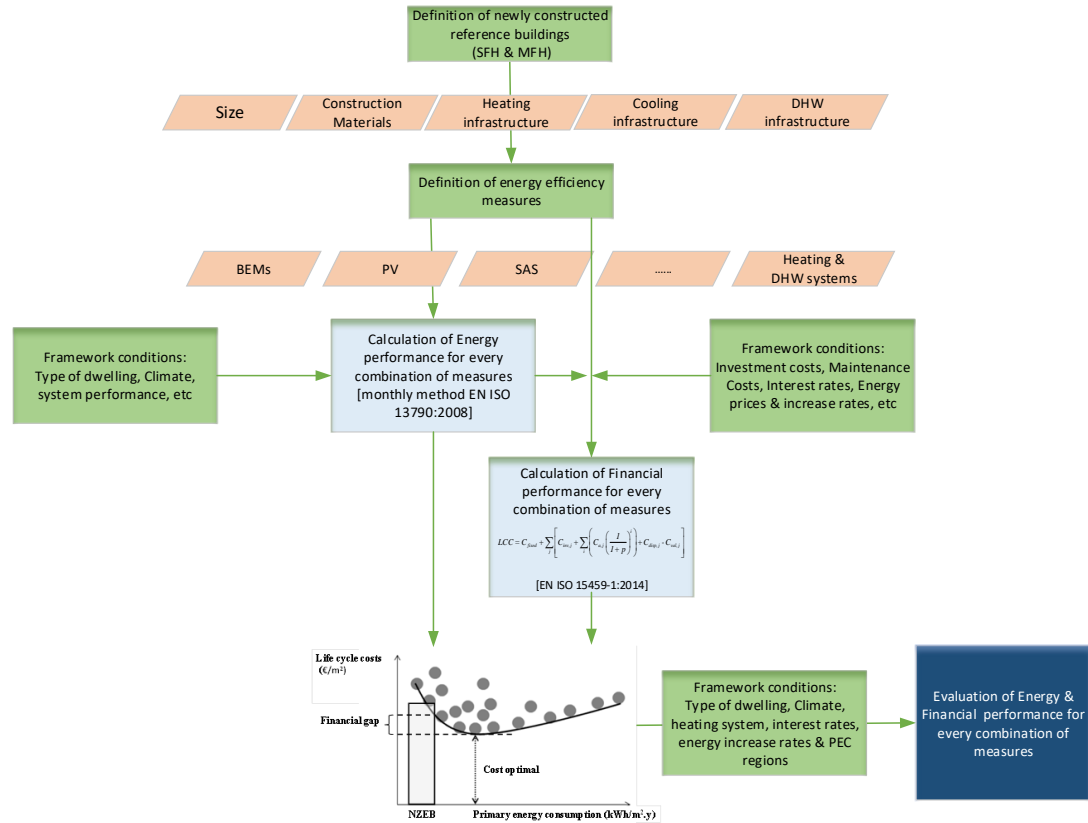
σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των ενεργειακών μέτρων για τη μείωση των επιπέδων ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι μάλλον περιορισμένος. Στην πλειονότητά τους, επίσης, οι μελέτες αυτές εξετάζουν μια μικρή επιλογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης και προσανατολίζονται συνήθως προς μονοκατοικίες ή κτίρια που στεγάζουν δημόσιες υπηρεσίες, περιορίζονται δε στις συνθήκες μίας μόνο κλιματικής ζώνης. Συνήθως, η εφαρμογή διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης εξετάζεται μεμονωμένα και, ως εκ τούτου, παραβλέπονται οι πιθανές συνέργειες μεταξύ των συστημάτων αυτών και των πρόσθετων μέτρων ενεργειακής απόδοσης (όπως τα ηλιοθερμικά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά, τα συστήματα αυτοματισμού ή τα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους) στην ενεργειακή και οικονομική απόδοση των κτιρίων. Ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά την Ελλάδα, δεν έχουν εκπονηθεί πολλές μελέτες που να λαμβάνουν υπόψη τις ειδικές κλιματικές συνθήκες της χώρας, οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές και άλλων μεσογειακών χωρών. Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν επίσης οι κατευθυντήριες γραμμές σύμφωνα με τις οδηγίες 2010/31/ΕΕ (οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων — EPBD) [3.5], 2012/27/ΕΕ (οδηγία για την ενεργειακή απόδοση — EED) [3.6] και το πρότυπο EN 15459-1 για τις ενεργειακές προσομοιώσεις και την οικονομική αξιολόγηση των μέτρων ενεργειακής απόδοσης.

Ανάλογη με την ανάλυση του Κεφαλαίου II, είναι η προσέγγιση που ακολουθείται και στην παρούσα μελέτη, η οποία προσανατολίζεται σε νεόδμητα κτίρια που θα προστεθούν στο ελληνικό κτιριακό απόθεμα. Όλοι οι υπολογισμοί βασίστηκαν στη μεθοδολογία που ορίζεται στην οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων [3.5]. Οι παραδοχές οικονομικής αξιολόγησης βασίστηκαν στο πρότυπο EN 15459-1 [3.39]. Τα υπό μελέτη κτίρια αφορούν και πάλι μονοκατοικίες και πολυκατοικίες, οριοθετημένες με βάση την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκουν. Στη μελέτη αυτή, ωστόσο, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή και σε συνδυασμούς μέτρων ικανούς να οδηγήσουν σε αποδόσεις PEC επιπέδων όχι μόνο nZEB, αλλά και NZEB.

3.2 Μεθοδολογική προσέγγιση και εφαρμογή

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της ενεργειακής απόδοσης πολλαπλών συνδυασμών μέτρων σε νεόδμητα κτίρια με ζητούμενο την επίτευξη επιπέδων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, σύμφωνα με τη μεθοδολογική προσέγγιση της EPBD [3.5], τον κατ' εξουσιοδότηση κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής [3.33] και τις κατευθυντήριες γραμμές που συνοδεύουν τον κατ' εξουσιοδότηση κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής [3.34]. Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται στη μεθοδολογία έχουν ως εξής: 1) ορισμός των νεόδμητων κτιρίων αναφοράς και των χαρακτηριστικών τους, 2) ορισμός των χαρακτηριστικών της απόδοσης και του κόστους των μέτρων ενεργειακής απόδοσης, 3) ενεργειακές

προσομοιώσεις και αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας. Τα παραπάνω βήματα αναλύονται στις ενότητες που ακολουθούν. Στην Εικόνα 10 αποδίδονται τα κύρια στάδια της μεθοδολογίας σε μια προσπάθεια οπτικοποίησης του εννοιολογικού πλαισίου της μελέτης.



Εικόνα 10 Εννοιολογικό πλαίσιο της μελέτης

3.2.1 Ορισμός των νεόδμητων κτιρίων αναφοράς

Ο ορισμός των τυπικών «κτιρίων αναφοράς» για νεόδμητες μονοκατοικίες/πολυκατοικίες βασίστηκε στην πρωτότυπη μελέτη τυπολογίας των «κτιρίων αναφοράς», η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της Έκθεσης προσδιορισμού των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και δομικών στοιχείων, για το ελληνικό Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας [3.35]. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον κανονισμό 244/2012 της Ευρωπαϊκής Ένωσης [3.33], ο οποίος θεσπίστηκε προς συμπλήρωση της EPBD [3.35].

Για τον προσδιορισμό των τυπικών «κτιρίων αναφοράς» για μονοκατοικίες/πολυκατοικίες, εξετάστηκαν οι ακόλουθες μεταβλητές αντίστοιχα για καθεμία από τις 4 κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα:

- i. Γενικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (δηλαδή εμβαδόν, ύψος, σχήμα κάτοψης και ύπαρξη υπογείου/στέγης).
- ii. Προσανατολισμός του κτιρίου και εγγύτητα με άλλα κτίρια.

- iii. Αναλογία S/V και μέγεθος (%) ανοιγμάτων και σκιάστρων αντίστοιχα προς τον προσανατολισμό
- iv. Μέθοδος κατασκευής και δομικά υλικά, σύμφωνα με το έτος κατασκευής και τους αντίστοιχους κανονισμούς.

Σε σύγκριση με την τυπολογία που προκύπτει για τα «κτίρια αναφοράς» μονοκατοικίας/πολυκατοικίας και για τη χρονική περίοδο 2011-2016, οι «νέες κατασκευές» παρουσιάζουν περιορισμένες αλλαγές όσον αφορά τις παραπάνω μεταβλητές και παραμέτρους. Τρισδιάστατες σχηματικές αναπαραστάσεις και για τις δύο τυπολογίες κτιρίου παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

Ειδικότερα, οι μεταβλητές των δύο πρώτων κατηγοριών (i και ii) εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον υπάρχοντα αστικό ιστό και τους οικοδομικούς κώδικες που παραμένουν ως έχουν και δεν αναμένεται να αλλάξουν στο εγγύς μέλλον. Οι μεταβλητές της τρίτης κατηγορίας (iii), όπως φαίνεται στη μελέτη της ελληνικής Έκθεσης, έχουν περιορισμένη επίδραση στη συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιριακού κελύφους, δεδομένου ότι το μέγεθος και η τοποθέτησή του δεν σχετίζονται με τις κλιματικές ζώνες ή τον προσανατολισμό, αλλά ακολουθούν άλλες σχεδιαστικές προτιμήσεις και τροποποιήσεις. Οι μεταβλητές της τέταρτης κατηγορίας (iv) τροποποιήθηκαν ώστε να ανταποκρίνονται στις ελάχιστες απαιτήσεις που καθορίζονται από την ελληνική εθνική νομοθεσία και συγκεκριμένα από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK 2017) [[3.36], [3.37], [3.38]] για τις μονοκατοικίες και πολυκατοικίες.

Τα κτίρια αναφοράς που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη ανήκουν στις Κλιματικές Ζώνες Β (κεντρική-νότια ζώνη) και Γ (κεντρική-βόρεια ζώνη) της Ελλάδας, οι οποίες καθορίζονται από τον αριθμό των ετήσιων βαθμομερών θέρμανσης, σύμφωνα με την εθνική ελληνική νομοθεσία για την έγκριση και την εφαρμογή των Τεχνικών Οδηγιών του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος [3.38]. Η επιλογή της παρουσίασης των αποτελεσμάτων για τις δύο αυτές κλιματικές ζώνες οφείλεται στο γεγονός ότι τα κτίρια που βρίσκονται στις Ζώνες Β και Γ (όπου ανήκουν η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, οι δύο μεγαλύτερες αστικές περιοχές της χώρας) συνιστούν το μεγαλύτερο πλήθος κατοικιών στην Ελλάδα, καθώς αντιπροσωπεύουν το 75 % του κτιριακού αποθέματος κατοικιών της χώρας. Είναι αναμενόμενο, ως εκ τούτου, τα νέα κτίρια που θα κατασκευαστούν στο μέλλον να συγκεντρωθούν επίσης σε αυτές τις δύο κλιματικές ζώνες.

Με βάση την ανωτέρω κατηγοριοποίηση, συνοψίζονται στον Π. 16 τα κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι συντελεστές θερμοπερατότητας των νεόδμητων κτιρίων αναφοράς για τις ζώνες Β και Γ. Τα δεδομένα που απεικονίζονται προήλθαν από την ελληνική Έκθεση προσδιορισμού βέλτιστου κόστους [3.35]. Ο προσανατολισμός των κτιρίων, δηλαδή η κατεύθυνση των περισσότερων ανοιγμάτων, είναι προς τον νότο. Επισημαίνεται ότι δεν

υπάρχουν διαφορές μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες.

Π. 16 Βασικά χαρακτηριστικά των νεόδμητων κτιρίων αναφοράς για τις κλιματικές ζώνες Β και Γ [3.35]

| Συντελεστής θερμοπερατότητας και εμβαδόν των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους | | | |
|---|------------------------|---|---------------------------|
| Δομικό στοιχείο | U (W/m ² K) | μΚ | πΚ |
| | Κλιματική ζώνη Β/Γ | Εμβαδόν (m ²) | Εμβαδόν (m ²) |
| Δάπεδο | 0.80/0.65 | 123.60 | 696.56 |
| Τοίχοι | 0.45/0.40 | 178.10 | 343.91 |
| Οροφή | 0.40/0.35 | 70.10 | 234.75 |
| Παράθυρα | 2.60/2.40 | 24.30 | 145.35 |
| Ειδική θερμοχωρητικότητα του κελύφους (kJ/m ² K) | | 260 | 260 |
| (όπου m ² το εμβαδόν της θερμαινόμενης επιφάνειας) | | | |
| Αεροστεγανότητα του κελύφους (διήθηση σε m ³ /h) | | 92 | 1732 |
| Αρ. ορόφων | | 1 | 3 |
| Ωράρια χρήση κτιρίου | | Σύμφωνα με τον Π. 23 | |
| Χαρακτηριστικά σκίασης (τέντες) | | | |
| Τύπος και λειτουργία της σκίασης | | Χειροκίνητες τέντες | |
| | | Εφαρμόζεται αποκλειστικά στην περίοδο ψύξης | |
| Επιφάνεια (m ²) σκιάστρου (τέντες) | | 29.52 | 178.78 |
| Θέση σκιάστρων (τέντες) | | Α, Δ, Ν προσόψεις | Α, Ν προσόψεις |

3.2.2 Επιλογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης

Κάθε σενάριο περιλαμβάνει κατ' αρχήν έναν συνδυασμό μεμονωμένων είτε πολλαπλών μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Επελέγη ένα ευρύ φάσμα μέτρων προς διερεύνηση, για να διασφαλιστεί η αντικειμενικότητα της μεταξύ τους σύγκρισης. Φυσικά, για να παραχθούν ρεαλιστικά και εφικτά στην πράξη αποτελέσματα, είναι αναγκαίο να επιλεγούν εύλογοι συνδυασμοί διαφορετικών μέτρων για την παραγωγή θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ), ενώ περιπτώσεις αλληλοαναιρούμενων μέτρων παραλείπονται από την ανάλυση, προκειμένου να επιτευχθεί μια συνεπής και εστιασμένη μεθοδολογία και να αποφευχθούν ανυπόστατοι υπολογισμοί. Το πεδίο εφαρμογής των μέτρων μαζί με σύντομη περιγραφή καθενός από αυτά παρουσιάζεται στον Π. 17.

Π. 17 Επισκόπηση των μέτρων ενεργειακής απόδοσης

1) Δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους – 81 σενάρια (Πίνακας 3)

Διαφορετικά επίπεδα μόνωσης των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, στα οποία περιλαμβάνονται:

- α) εξωτερικοί τοίχοι
- β) οροφές
- γ) δάπεδα
- δ) κουφώματα, πόρτες και παράθυρα

Τρία διαφορετικά επίπεδα μόνωσης (i, ii, iii) εξετάστηκαν ανά μεμονωμένο δομικό στοιχείο του κελύφους. Επομένως, ο συνολικός αριθμός των σεναρίων που διερευνήθηκαν για τις τέσσερις κατηγορίες δομικών στοιχείων ισούται με 81 (= 3⁴).

2) Σκίαστρα – 2 σενάρια

- i) χωρίς εγκατάσταση συστημάτων σκίασης
 - ii) με εγκατάσταση συστημάτων σκίασης
-

3) Συστήματα κλιματισμού και ZNX — 8 σενάρια

Π. 22

Τα συστήματα αυτά προορίζονται για: α) θέρμανση, β) ψύξη, και γ) ζεστό νερό χρήσης

4) Συστήματα αυτοματισμών — 3 σενάρια Π. 19

Σε αυτά περιλαμβάνονται διατάξεις αυτοματισμού για την παρακολούθηση, τη μέτρηση και ρύθμιση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου και του ζεστού νερού. Η επιτυγχανόμενη κατανάλωση ενέργειας για τρεις διαφορετικές κατηγορίες αυτοματισμού, αριθμημένες από το 1 (ο πλέον εξελιγμένος έλεγχος) έως το 3 (λιγότερο εξελιγμένος έλεγχος) υπολογίζεται σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία 20701-1/2017 του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ) [3.38], η οποία βασίζεται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15232: 2017 [[3.32],[3.39]]. Μια σύντομη περιγραφή των κατηγοριών αυτοματισμού δίνεται στον Πίνακα 4.

5) Φωτοβολταϊκά (ΦΒ) πάνελ – 2 σενάρια

- i) χωρίς εγκατάσταση φωτοβολταϊκών
 - ii) εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πολυκρυσταλλικών πάνελ, $\eta_{PV,n} = 20\%$
συνολική επιφάνεια ΦΒ: α) μK : 5 m², β) πK : 66 m²
-

6) Ηλιακά υποβοηθούμενα συστήματα (SAS) θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης — 2 σενάρια

- i) 60 % κάλυψη του ZNX
 - ii) 60 % κάλυψη του ZNX και της θέρμανσης χώρου με εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών 1 m² ανά 700 W θερμικής απαίτησης, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017.[3.38]
-

Όσον αφορά τα υλικά του κτιριακού κελύφους, οι τιμές θερμοπερατότητας των υπό εξέταση μονωτικών υλικών παρουσιάζονται στον Π. 18. Οι τιμές θερμοπερατότητας των κτιρίων αναφοράς είναι ίσες με τις μέσες τιμές (που

παρουσιάζονται στον Π. 16). Δύο επιπλέον περιπτώσεις (μίας χαμηλότερης και μίας υψηλότερης τιμής) συμπεριλήφθηκαν στην αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας, για να εξεταστεί ο βαθμός επίδρασης αυτής της μεταβλητής στα αποτελέσματα.

Π. 18 Περίληψη των συντελεστών θερμοπερατότητας (τιμών U) των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (W/m²K)

| Δομικό στοιχείο του κελύφους | Κλιματική ζώνη Β | Κλιματική ζώνη Γ |
|------------------------------|------------------|------------------|
| Εξωτερικός τοίχος | 0.25, 0.50, 1.00 | 0.23, 0.45, 0.90 |
| Δάπεδο | 0.45, 0.90, 1.80 | 0.38, 0.75, 1.50 |
| Οροφή | 0.23, 0.45, 0.90 | 0.20, 0.40, 0.80 |
| Παράθυρο | 1.30, 2.60, 5.20 | 1.30, 2.60, 5.20 |

Όπως αναφέρθηκε στον Π. 17, οι εξεταζόμενες κατηγορίες αυτοματισμών περιγράφονται εν συντομία στον Π. 19.

Π. 19 Επισκόπηση των κατηγοριών αυτοματισμού [[3.32], [3.39]]

Κατηγορία αυτοματισμού 1 (υψηλός βαθμός εξελιγμένου ελέγχου)

Ολοκληρωμένος έλεγχος σε επίπεδο αυτόνομων χώρων, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου ενεργειακής απαίτησης (ανά ιδιοκτησία). Ύπαρξη θερμοστάτη και θερμοστατικών βαλβίδων ανά αυτόνομο χώρο. Αυτοματοποιημένη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του δικτύου διανομής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία. Προτεραιοποίηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με βάση την αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής.

Κατηγορία αυτοματισμού 2 (μέτριος βαθμός εξελιγμένου ελέγχου)

Έλεγχος σε επίπεδο αυτόνομων χώρων με επικοινωνία μεταξύ ελεγκτών και με το σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου κτιρίων (BACS). Αυτοματοποιημένη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του δικτύου διανομής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία. Προτεραιοποίηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με βάση την αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής.

Κατηγορία αυτοματισμού 3 (μικρότερος βαθμός εξελιγμένου ελέγχου)

Αυτόματος έλεγχος σε επίπεδο αυτόνομων χώρων από θερμοστατικές βαλβίδες ή ηλεκτρονικό ελεγκτή. Αυτοματοποιημένη υδραυλική ή θερμοκρασιακή προσαρμογή του δικτύου διανομής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία. Προτεραιοποίηση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με βάση την αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής.

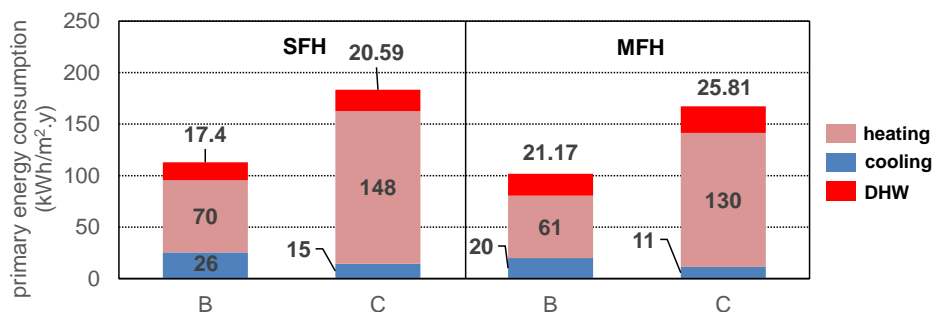
Τα χαρακτηριστικά των κτιρίων αναφοράς σε σχέση με τα εγκατεστημένα σε αυτά συστήματα θέρμανσης, ΖΝΧ και ψύξης συνοψίζονται στον Π. 20. Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ [3.37], θεωρείται ότι τα κτίρια αναφοράς είναι εξοπλισμένα με λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου με θερμική απόδοση 98 % (κατώτερη θερμογόνο ικανότητα – LHV) για τη θέρμανση χώρου. Οι απαιτήσεις για ΖΝΧ καλύπτονται από ηλιακούς συλλέκτες σε ποσοστό 60 %, ενώ η υπολειπόμενη ζήτηση ζεστού νερού καλύπτεται από το σύστημα θέρμανσης (δηλαδή από τον

λέβητα πετρελαίου). Η ψύξη καλύπτεται από σύγχρονες μονάδες αντλίας θερμότητας τύπου split units (MSUs) με βαθμό απόδοσης 3.5. Η κατηγορία αυτοματισμού ισούται με 3 (όπως ορίζεται στην ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 [3.38]). Επιπλέον, τα νεόδμητα κτίρια αναφοράς αρχικά δεν έχουν κάποιο σύστημα σκίασης ή εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

Π. 20 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού (ZNX) των νεόδμητων κτιρίων αναφοράς [3.35]

| Είδος ενεργειακής απαίτησης | Χαρακτηριστικά συστήματος |
|-----------------------------|---|
| Θέρμανση | Λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου, $\eta_{th}=98\%$ (βάση LHV) |
| Ψύξη | Σύγχρονη μονάδα (split unit), EER = 3.5 |
| ZNX | 60 % της ζήτησης: ηλιακοί συλλέκτες (60 %) 40 % της ζήτησης: λέβητας συμπύκνωσης πετρελαίου, $\eta_{th}=98\%$ (βάση LHV) |

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των κτιρίων αναφοράς για θέρμανση, ZNX και ψύξη, όπως υπολογίζεται από τη σχετική μελέτη βέλτιστου κόστους του Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ [3.40] δίνεται στα διαγράμματα στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των νεόδμητων κτιρίων αναφοράς για θέρμανση χώρου, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ανά τύπο κτιρίου (μΚ, ΠΚ) και κλιματική ζώνη (Β, Γ) [3.40]

Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών σεναρίων που εξετάζουν (σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς) αναφορικά με τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού ZNX, καθώς και συστήματα CHP μικρής κλίμακας, ομαδοποιημένα κατά πηγή ενέργειας και σκοπό χρήσης παρουσιάζονται στον Π. 21. Εξετάστηκε ο συνδυασμός όλων των συστημάτων θέρμανσης/ZNX με σύγχρονες μονάδες ψύξης (split units). Εξαιρέση αποτελούν οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι

οποίες δύνανται να παρέχουν και θέρμανση και ψύξη, οπότε στην περίπτωση τους δεν εξετάζεται ξεχωριστό σύστημα για την ψύξη. Επιπλέον, στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών, εξετάζεται ένα πρόσθετο σενάριο με χρήση τους τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη με την εγκατάσταση μονάδων ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coil units).

Π. 21 Μέτρα ενεργειακής απόδοσης με συστήματα θέρμανσης, ψύξης, ΖΝΧ και CHP μικρής κλίμακας [3.35]

| Πηγή ενέργειας και σκοπός χρήσης | Συνομ. | Θέρμανση και ΖΝΧ | Συνομ. | Ψύξη |
|----------------------------------|-------------|--|-------------|--|
| Πετρέλαιο | OB | Λέβητας συμπίκνωσης, $\eta_{th}=98\%$ | | — |
| Φυσικό αέριο | NGB | Λέβητας συμπίκνωσης, $\eta_{th}=102\%$ | | — |
| | CHP | Σύστημα CHP με λέβητα φυσικού αερίου $\eta_{th}=52\%$, $\eta_e=35\%$ | | — |
| Ηλεκτρική ενέργεια | LTHP | ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (55 °C) COP για κάθε κλιματική ζώνη: B: 4.0, Γ: 3.6 | MSU | Σύγχρονες μονάδες (split units) (COP=3.5) |
| | HTHP | ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (75 °C) COP για κάθε κλιματική ζώνη: B: 3.0, Γ: 2.75) | LTHP | ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών με μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coil units) (COP=4.2) |
| | GHP | Γεωθερμική ΑΘ COP για κάθε κλιματική ζώνη: B: 5.3, Γ: 5.1) | GHP | Γεωθερμική ΑΘ με μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coil units) (COP=4.5) |
| Βιομάζα | BB | Λέβητας πέλλετ, $\eta_{th}=75\%$ | | — |

ΣΤΟΝ

Π. 22 αποδίδονται με πράσινο χρώμα οι συνδυασμοί που εξετάστηκαν για τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Σημειώνεται ότι, για την περίπτωση των πολυκατοικιών, η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας παραλήφθηκε, λόγω περιορισμένου χώρου.

Π. 22 Εξεταζόμενοι συνδυασμοί συστημάτων θέρμανσης, ΖΝΧ και ψύξης (με πράσινο χρώμα και ✓ σημειώνονται οι συνδυασμοί που εξετάστηκαν · με κόκκινο χρώμα και X επισημαίνονται οι συνδυασμοί που ΔΕΝ εξετάστηκαν).

| Θέρμανση και ΖΝΧ | Ψύξη | | |
|------------------|------|------|-----|
| | MSU | LTHP | GHP |
| OB | ✓ | X | X |
| NGB | ✓ | X | X |
| CHP | ✓ | X | X |
| LTHP | ✓ | ✓ | X |
| HTHP | ✓ | X | X |
| GHP | X | X | ✓ |
| BB | ✓ | X | X |

Με βάση τον αριθμό των μέτρων απόδοσης που εξετάστηκαν και λαμβάνοντας υπόψη όλους τους συνδυασμούς συστημάτων θέρμανσης/ψύξης που εμφανίζονται στον

Π. 22, ο συνολικός αριθμός των διερευνημένων σεναρίων για κάθε κλιματική ζώνη και τύπο κτιρίου είναι ίσος με:

81 (κέλυφος κτιρίου) $\times 2$ (συστήματα σκίασης) $\times 8$ (συστήματα θέρμανσης και ψύξης) $\times 3$ (κατηγορίες αυτοματισμών) $\times 2$ (ΦΒ) $\times 2$ (συστήματα θέρμανσης με ηλιακή υποβοήθηση) = 15.552 για κάθε τύπο κτιρίου, κλιματική ζώνη και περίοδο κατασκευής.

3.2.3 Ενεργειακές προσομοιώσεις και αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας

Για κάθε σενάριο, πραγματοποιούνται ενεργειακές προσομοιώσεις για την εκτίμηση των απαιτήσεων για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης, καθώς και της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς βασίζονται σε σταθμισμένες μέσες τιμές που αντλούνται για τις διάφορες ελληνικές πόλεις βάσει της εθνικής νομοθεσίας [3.36], λαμβάνοντας υπόψη το κτιριακό απόθεμα κατοικιών σε κάθε περιφέρεια (σε επίπεδο περιφερειακής ενότητας) σύμφωνα με τα στοιχεία που παρέχονται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή [3.41]. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με το επίσημο εθνικό λογισμικό προσομοίωσης TEE-KENAK, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του ευρωπαϊκού προτύπου EN ISO 13790: 2008 [3.42]. Ο Π. 23 συνοψίζει τις βασικές παραμέτρους που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα TEE-KENAK για ενεργειακές προσομοιώσεις στην περίπτωση κτιρίων κατοικίας.

Π. 23 Βασικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα TEE-KENAK για προσομοιώσεις της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων με χρήση κατοικίας [3.38].

| Παράμετρος | Τιμή |
|--|-----------------------|
| Ώρες λειτουργίας | 18 ώρες την ημέρα |
| Ημέρες λειτουργίας | 7 ημέρες την εβδομάδα |
| Μήνες λειτουργίας | 12 μήνες |
| Περίοδος θέρμανσης για τις κλιματικές ζώνες Α και Β | 01/11-15/04 |
| Περίοδος θέρμανσης για τις κλιματικές ζώνες Γ και Δ | 15/11-30/04 |
| Περίοδος ψύξης για τις κλιματικές ζώνες Α και Β | 15/05-15/09 |
| Περίοδος ψύξης για τις κλιματικές ζώνες Γ και Δ | 01/06-31/08 |
| Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης | 20 °C |
| Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης | 26 °C |
| Σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης | 40 % |

| Παράμετρος | Τιμή |
|--|---|
| Σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης | 45 % |
| Απαιτήσεις νωπού αέρα | 0,75 m ³ /h/m ² |
| Επίπεδο φωτισμού | 200 Lx |
| Απαιτήσεις ΖΝΧ | 27.38 m ³ /δωμάτιο/έτος |
| Εκλυόμενη θερμότητα από χρήστες κτιρίου | 4 W/m ² (0,75 συντελεστής παρουσίας) |
| Εκλυόμενη θερμότητα από εξοπλισμό/συσκευές του κτιρίου | 2 W/m ² (0,75 συντελεστής λειτουργίας) |

Η αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των σεναρίων πραγματοποιείται από ένα αριθμητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε με βάση το πρότυπο EN 15459-1: 2014 [3.42]. Για κάθε σενάριο υπολογίζονται το αντίστοιχο κόστος κεφαλαίου, καθώς και το ετήσιο κόστος και η εξοικονόμηση (οφέλη). Συμπληρωματικά προς το κόστος των μέτρων ενεργειακής απόδοσης, συνυπολογίζεται ένα πάγιο κόστος κεφαλαίου (C_{fixed}), στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλες οι άλλες δαπάνες που σχετίζονται με την κατασκευή του κτιρίου. Η τιμή αυτού του πηγίου κόστους κεφαλαίου λαμβάνεται ίση με 1050 €/m² (για κτίρια μονοκατοικιών) και 1080 €/m² (για κτίρια πολυκατοικιών).

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το κόστος κύκλου ζωής (LCC) που αντιστοιχεί στην καθαρή παρούσα αξία του συνολικού κόστους της χρήσης του κτιρίου για όλη την περίοδο υπολογισμού, εκφρασμένο σε €/m² της θερμαινόμενης/ψυχόμενης επιφάνειας. Ειδικότερα, το LCC για κάθε σενάριο υπολογίζεται με την εκτίμηση του αρχικού κόστους επένδυσης (C_{inv}), του συνολικού κόστους διάθεσης (C_{disp}), της υπολειμματικής αξίας (C_{val}), καθώς και του καθαρού ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης (C_a), ανηγμένων στο τρέχον έτος της μελέτης για κάθε μέτρο ενεργειακής απόδοσης j^{th} .

$$LCC = C_{fixed} + \sum_j \left[C_{inv,j} + \sum_i \left(C_{a,j} \left(\frac{1}{1+p} \right)^i \right) + C_{disp,j} - C_{val,j} \right] \quad (8)$$

Το αρχικό επενδυτικό κόστος C_{inv} περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες που πρέπει να καλυφθούν έως ότου εφαρμοστεί πλήρως ένα μέτρο ενεργειακής απόδοσης. Ως εκ τούτου, περιλαμβάνει το κόστος μελέτης και προμήθειας υλικών, σύνδεσης και εγκατάστασης, καθώς και το κόστος άλλων, έκτακτων δαπανών. Το κόστος της υπολειμματικής αξίας C_{val} είναι η υπολειπόμενη αξία, που συνδέεται με την εφαρμογή ενός μέτρου, στο τέλος της περιόδου τεχνοοικονομικής αξιολόγησης, ανοιγμένη στο τρέχον έτος της μελέτης. Στην παρούσα μελέτη, το κόστος διάθεσης C_{disp} θεωρείται μηδενικό, δεδομένου ότι η

ακριβής εκτίμησή του για όλα τα μέτρα δεν έχει πρακτική αξία. Το ετήσιο κόστος C_a προκύπτει από το άθροισμα του κόστους της ενέργειας (για κάθε φορέα ενέργειας), του κόστους λειτουργίας (εγγυήσεις, υπηρεσίες κ.λπ.), του κόστους συντήρησης (επιθεώρηση, καθαρισμός, επισκευές, αναλώσιμα), καθώς και του κόστους που συνδέεται με την περιοδική αντικατάσταση εξοπλισμού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, σε εναρμόνιση και με το πρότυπο EN ISO 13790: 2008 [3.42], δεν έχουν πραγματοποιηθεί δυναμικές προσομοιώσεις για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων. Αυτό μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε αποκλίσεις μεταξύ των υπολογιζόμενων και των πραγματικών επιπέδων κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων. Ωστόσο, το ζήτημα αυτό υπερβαίνει τον σκοπό της παρούσας εργασίας, δεδομένου ότι στόχος της δεν είναι η επικύρωση των τυποποιημένων μεθοδολογιών. Επιπροσθέτως, η ανάλυση ακολούθησε τον κατ' εξουσιοδότηση κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής [3.34] και, κατά συνέπεια, το συνιστώμενο πρότυπο EN 15459 [3.39]. Σύμφωνα με το πρότυπο, δεν λαμβάνεται υπόψη η απομείωση της απόδοσης του εξοπλισμού κατά τη διάρκεια ζωής του. Προς την κατεύθυνση αυτή, στην ανάλυσή μας, το κόστος λειτουργίας δεν επηρεάζεται από μια τέτοια μεταβολή και το κόστος συντήρησης θεωρείται σταθερό και αναλογικό των κεφαλαιουχικών δαπανών (CAPEX), σύμφωνα με τις διατάξεις του προαναφερθέντος προτύπου.

Πρόσθετες χρηματοοικονομικές παραδοχές σχετικά με τη διάρκεια ζωής της ανάλυσης, το επιτόκιο και το ετήσιο ποσοστό αύξησης των ενεργειακών τιμών, το κόστος των καυσίμων και τους συντελεστές μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας (PECF) συνοψίζονται στον Π. 24. Όσον αφορά το ετήσιο ποσοστό αύξησης των τιμών ενέργειας, οι διερευνώμενες τιμές βασίστηκαν στις κατευθυντήριες γραμμές που συνοδεύουν τον κατ' εξουσιοδότηση κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 244/2012 της Επιτροπής [3.34] και εναρμονίζονται με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στη μελέτη *Implementing the cost-optimal methodology in EU countries* [Εφαρμογή της μεθοδολογίας βέλτιστου κόστους στις χώρες της ΕΕ], η οποία διενεργήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Απόδοσης Κτιρίων (Buildings Performance Institute Europe – BPIE) [3.43] και κατόπιν διαβούλευσης με τη Γενική Γραμματεία Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΓΓΕΚΑ) [3.44]. Επιπλέον, το επιτόκιο λαμβάνεται ίσο με 7 %, ποσοστό που προσδιορίστηκε κατόπιν επικοινωνίας με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και λαμβάνοντας υπόψη τα επιτόκια των ελληνικών τραπεζών.

Π. 24 Παραδοχές για την εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής [[3.34], [3.43],[3.44]]

Γενικές οικονομικές παραδοχές

| | |
|-----------------------------|--------|
| Διάρκεια ζωής του έργου (N) | 30 έτη |
| Επιτόκιο (ρ) | 7 % |

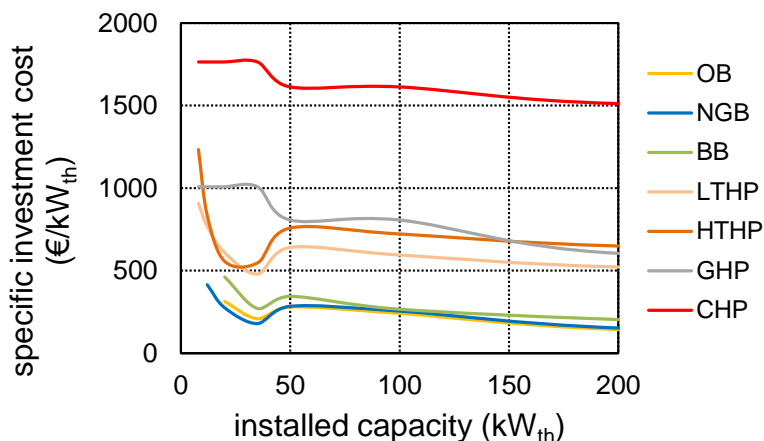
Ετήσιο ποσοστό αύξησης των τιμών
ενέργειας (δ) 2,8 %

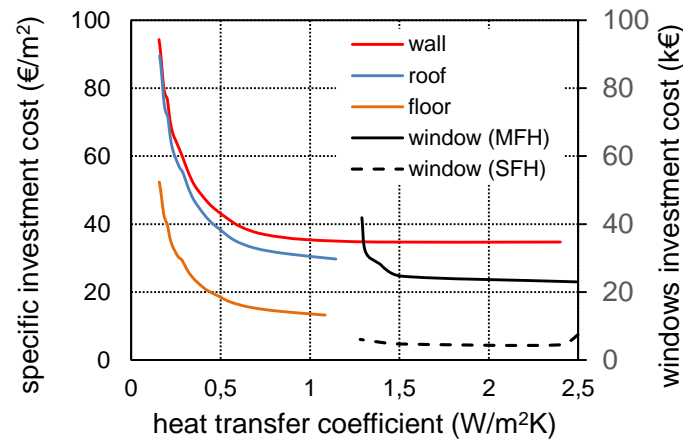
Μοναδιαίο κόστος και συντελεστές μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας των φορέων ενέργειας

| | |
|------------------------|--|
| Φυσικό αέριο | 0.07514 €/kWh _{th} Fuel Input L.H.V., PECF = 1.05 |
| Πετρέλαιο θέρμανσης | 0.09030 €/kWh _{th} Fuel Input L.H.V., PECF = 1.10 |
| Ηλεκτρική ενέργεια | 0.21064 €/kWh _e , PECF = 2.90 |
| Βιομάζα (παλέτα ξύλου) | 0.06450 €/kWh _{th} Fuel Input L.H.V., PECF = 1.00 |

Για την εκτίμηση των δεδομένων του επενδυτικού κόστους συνυπολογίστηκαν οι τιμές ΦΠΑ και όλοι οι σχετικοί φόροι. Το κόστος κεφαλαίου των μέτρων αντλήθηκε από δεδομένα της ελληνικής αγοράς που παρείχαν ιδιωτικές εταιρείες και επαγγελματικοί φορείς [[3.45]-[3.49]]. Τα εν λόγω δεδομένα είναι προσδιορισμένα τοπικά, χρονικά και κατά οικονομικό κλάδο. Τα στοιχεία σχετικά με το κόστος ελέγχθηκαν και εγκρίθηκαν από τη ΓΓΕΚΑ [3.44]. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ειδικό επενδυτικό κόστος των κύριων μέτρων ενεργειακής απόδοσης που εξετάζονται στη μελέτη. Σε όλες τις περιπτώσεις, υπολογίζεται ΦΠΑ 24 %, που είναι το ισχύον ποσοστό (από το 2018) στην τρέχουσα κατάσταση της Ελλάδας.

Το ειδικό επενδυτικό κόστος των συστημάτων θέρμανσης και των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, ως συνάρτηση αντίστοιχα της εγκατεστημένης ισχύος και του τελικού συντελεστή θερμοπερατότητας, παρουσιάζονται στην Εικόνα 12.

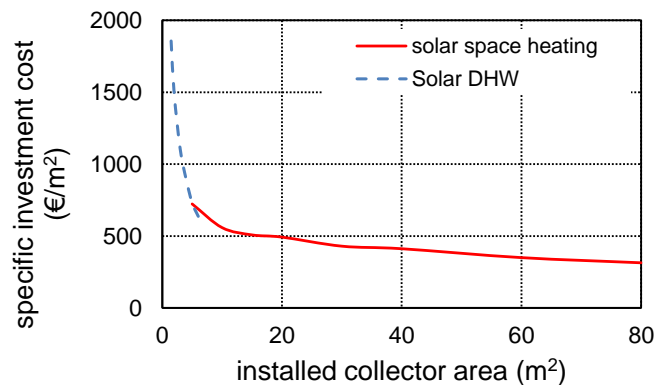




Εικόνα 12 Ειδικό επενδυτικό κόστος των συστημάτων θέρμανσης, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος [3.44]

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ασυνεχής αύξηση του ειδικού κόστους των συστημάτων θέρμανσης εντός του εύρους ισχύος από 20 έως 40 kW_{th} οφείλεται στο γεγονός ότι ο τύπος τους μετατοπίζεται από την οικιακή/εμπορική σε μεγαλύτερη κλίμακα, γεγονός που οδηγεί σε μικρή διατάραξη της οικονομίας κλίμακας.

Οι επενδυτικές δαπάνες για ηλιακά υποβοηθούμενα συστήματα, ως συνάρτηση της επιφάνειας του εγκατεστημένου ηλιακού συλλέκτη, παρουσιάζονται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13 Ειδικές επενδυτικές δαπάνες των συστημάτων με ηλιακή υποβοήθηση ως συνάρτηση της επιφάνειας του συλλέκτη [3.44]

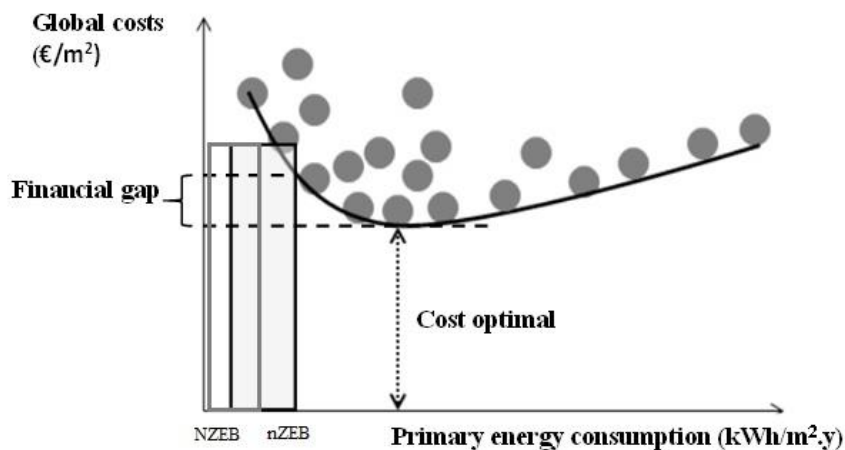
Το συνολικό επενδυτικό κόστος των φωτοβολταϊκών πάνελ θεωρείται ίσο με 2.500 € για τις μονοκατοικίες (συνολική επιφάνεια: 5 m² και ισχύος: 1.25 kW_p και 19.747 € για τις πολυκατοικίες (συνολική επιφάνεια: 66 m² και ισχύος: 14.52 kW_p, σύμφωνα με στοιχεία που παρέχει η ΓΓΕΚΑ [3.44].

Το κόστος αναβάθμισης για τις κατηγορίες αυτοματισμών συνοψίζεται στον Π. 25.

Π. 25 Κόστος αναβάθμισης κατηγοριών αυτοματισμού (με αφετηρία την κατηγορία Γ) [3.44]

| Κατηγορία αυτοματισμού | Τύπος κτιρίου | |
|------------------------|---------------|---------|
| | μΚ | πΚ |
| A | 1.240 € | 9.697 € |
| B | 744 € | 7.713 € |
| Γ | 310 € | 320 € |

Τέλος, τα αποτελέσματα των ενεργειακών προσομοιώσεων και των οικονομικών υπολογισμών χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση όλων των σεναρίων όσον αφορά την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και, κατά συνέπεια, καθορίζουν τα κατώτατα όρια βελτιστότητας του κόστους τους. Η προσέγγιση αυτή αποτυπώνεται εικονικά στο ποιοτικό διάγραμμα στην Εικόνα 14 σε ό,τι αφορά τη χρηματοοικονομική διαφορά του nZEB.

**Εικόνα 14 Υπολογισμός ορίων βελτιστότητας κόστους.**

Στο διάγραμμα του παραπάνω σχήματος, κάθε σενάριο αναπαρίσταται ως σημείο, οι συντεταγμένες του οποίου στους άξονες x-y ορίζουν αντίστοιχα την PEC και το LCC. Για κάθε τιμή PEC, επομένως, υπάρχει ένα σενάριο που συσχετίζεται με το ελάχιστο συνολικό κόστος. Μια χρήσιμη παράμετρος που μπορεί να προσδιοριστεί από το διάγραμμα είναι το χρηματοοικονομικό κενό των nZEB, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στο LCC της παρέμβασης βέλτιστου κόστους και το LCC της παρέμβασης που οδηγεί στην επίτευξη των κριτηρίων nZEB. Η προσέγγιση που ακολουθείται για τον υπολογισμό της χρηματοοικονομικής διαφοράς για τα NZEB είναι η ίδια, με μόνη διαφορά τη θέση και το πλάτος της ορθογώνιας περιοχής που περικλείεται από τα επίπεδα PEC που αντιστοιχούν στην περιοχή NZEB. Το φάσμα τιμών της PEC των κτιρίων

σχεδόν μηδενικής και μηδενικής κατανάλωσης (nZEB και NZEB) αναλύονται στην επόμενη ενότητα της μελέτης.

3.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

3.3.1 Σύγκριση LCC και PEC

3.3.1.1 Γενική επισκόπηση – Οδηγός ερμηνείας των διαγραμμάτων

Το αναμενόμενο κόστος κύκλου ζωής (LCC) και η ειδική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (PEC) όλων των διερευνημένων σεναρίων για τις δύο κλιματικές ζώνες (B και Γ) και για τα κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών παρουσιάζονται αντίστοιχα στα διαγράμματα των Εικόνα 15 και Εικόνα 20. Στα διαγράμματα αυτά, τα σενάρια ομαδοποιούνται σύμφωνα με το σύστημα θέρμανσης στο οποίο βασίζονται, ακολουθώντας τη χρωματική αντιστοιχία που παρουσιάζεται στον Π. 26. Αναλυτικότερα, τα σημεία κίτρινου χρώματος αντιπροσωπεύουν σενάρια με λέβητες πετρελαίου (OBs), ενώ τα σημεία μπλε, μαύρου, γκρι και πράσινου χρώματος αντιπροσωπεύουν σενάρια με λέβητες φυσικού αερίου (NGBs), αντλίες θερμότητας υψηλών/χαμηλών θερμοκρασιών (HTHPs/LTHPs), γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (GHPs) και λέβητες βιομάζας (BBs) αντίστοιχα. Τα σενάρια που βασίζονται σε ΑΘ, οι οποίες αποδίδονται όλες με το ίδιο χρώμα (μαύρο) στα διαγράμματα των Εικόνα 15 και Εικόνα 20, περιλαμβάνουν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: 1) ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (LTHPs) τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη, 2) ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (LTHPs) για τη θέρμανση και MSUs για την ψύξη και 3) ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (HTHPs) για τη θέρμανση και MSUs για την ψύξη. Τα μεγεθυμένα σημεία κάθε διαγράμματος αντιστοιχούν στα κτίρια αναφοράς του βασικού σεναρίου, τα οποία ανταποκρίνονται στις ελάχιστες απαιτήσεις που επιβάλλει η ελληνική νομοθεσία [3.36] (όπως φαίνεται στον Π. 16) και των οποίων ο εξοπλισμός περιλαμβάνει διαφορετικά συστήματα θέρμανσης (τα τελευταία επισημαίνονται με τη χρωματική αντιστοιχία που παρουσιάζεται στον Π. 20).

Επιπλέον, σε κάθε διάγραμμα αποδίδεται (με οριζόντια διακεκομμένη γραμμή) η τιμή του LCC που αντιστοιχεί στο όριο βελτιστότητας. Η περιοχή κάθε διαγράμματος που βρίσκεται κάτω από αυτή τη γραμμή ορίζεται στο εξής ως η περιοχή βέλτιστου κόστους. Η τιμή αυτή ορίζεται ίση με το άθροισμα του ελάχιστου συνολικού LCC συν 10 % της διαφοράς μεταξύ των τιμών του ελάχιστου συνολικού και του μέγιστου συνολικού LCC, που εμφανίζονται σε κάθε διάγραμμα.

Π. 26 Χρωματική αντιστοιχία για τα σενάρια που περιλαμβάνουν διαφορετικά συστήματα θέρμανσης.

| α/α | Σύστημα θέρμανσης | Χρώμα |
|-----|--------------------|---------|
| 1 | Λέβητας πετρελαίου | Κίτρινο |

| | | |
|---|---|---------|
| 2 | Λέβητας φυσικού αερίου | Μπλε |
| 3 | Αντλία θερμότητας υψηλών/χαμηλών θερμοκρασιών | Μαύρο |
| 4 | Γεωθερμική αντλία θερμότητας | Γκρι |
| 5 | Λέβητας βιομάζας | Πράσινο |

Το παράθυρο με μαύρη συνεχόμενη γραμμή περικλείει την περιοχή NZEB (0-30 kWh/m².y), ενώ το παράθυρο με μαύρη διακεκομμένη γραμμή περικλείει την περιοχή nZEB (20-60 kWh/m². y). Το άνω όριο των παραθύρων για τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (nZEB και NZEB) ισούται με $LCC_{min} + 350 \text{ €/m}^2$. Σημειώνεται ότι η τιμή αυτή καθορίστηκε εκ των υστέρων, με την παρατήρηση της κατανομής των αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση, δεν θα πρέπει να θεωρείται απόλυτη και δεν υπάγεται σε συγκεκριμένα νομοθετικά/οικονομικά κριτήρια, αλλά λαμβάνεται μόνο ως ενδεικτική τιμή, προκειμένου να διευκολυνθεί η συζήτηση των αποτελεσμάτων στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

Οι παραπάνω πληροφορίες παρουσιάζονται συνοπτικά στον Π. 27.

Π. 27 Κατώτερα και ανώτερα όρια για τις περιοχές βέλτιστου κόστους και για τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (nZEB και NZEB).

| Περιοχή | Κατώτατο όριο | Ανώτατο όριο |
|---------------------------------------|---|---|
| Βέλτιστου κόστους (€/m ²) | $LCC_{min} + 10\%(LCC_{max} - LCC_{min})$ | - |
| nZEB | 20 kWh/m ² .y | 60 kWh/m ² .y/($LCC_{min} + 350$) €/m ² |
| NZEB | 0 kWh/m ² .y | 30 kWh/m ² .y/($LCC_{min} + 350$) €/m ² |

Οι υπολογιζόμενες χρηματοοικονομικές διαφορές και το ελάχιστο συνολικό LCC για κάθε τύπο κτιρίου και κλιματική ζώνη συνοψίζονται στον Π. 28.

Π. 28 χρηματοοικονομικές διαφορές και το ελάχιστο συνολικό LCC για κάθε τύπο κτιρίου και κλιματική ζώνη

| Τύπος κτιρίου | μΚ | | πΚ | |
|--|------|-------|-----|-------|
| | Β | Γ | Β | Γ |
| Χρηματοοικονομική διαφορά NZEB (€/m ²) | 37.6 | 100.4 | 6.3 | 133.1 |
| Χρηματοοικονομική διαφορά nZEB (€/m ²) | 16.7 | 31 | 0 | 3.2 |

Ελάχιστο συνολικό LCC (€/m²) 1.580 1.640 1.454 1.502

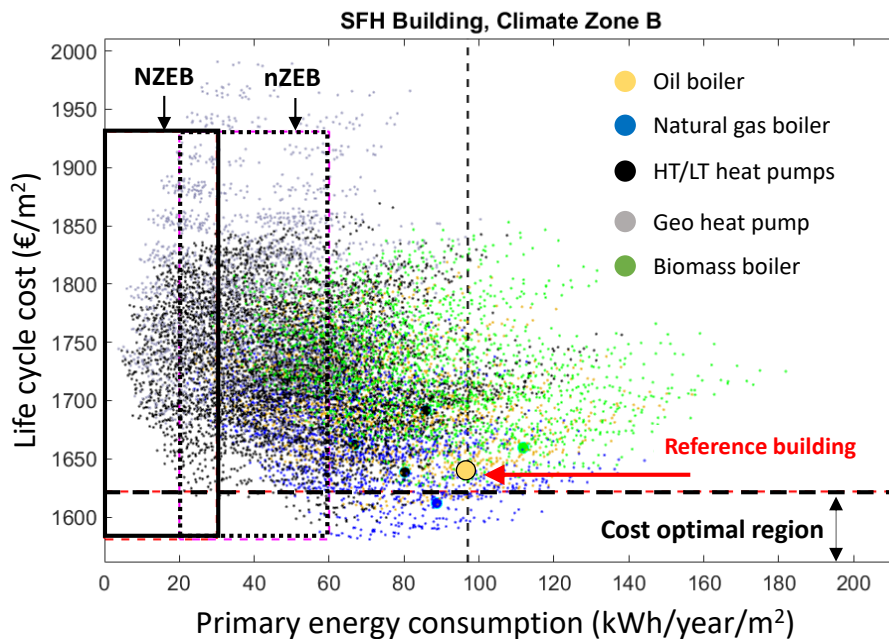
Επιπλέον, στον Π. 29 παρουσιάζεται μια ποιοτική κατάταξη των σεναρίων με βάση τα συστήματα θέρμανσής τους, με κριτήριο τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητάς τους και την ενεργειακή τους απόδοση.

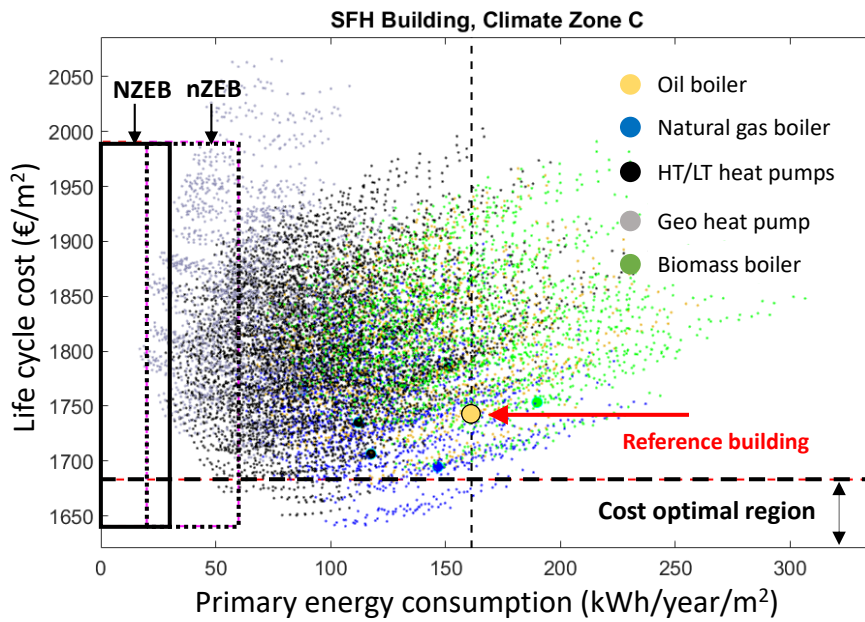
Π. 29 Ποιοτική κατάταξη σεναρίων βάσει συστημάτων θέρμανσης και σύμφωνα με τη σχέση κόστους/αποτελεσματικότητας και ενεργειακής απόδοσης (κτίριο μονοκατοικίας/πολυκατοικίας)

| Κατάταξη | Βελτιστότητα κόστους | | Ενεργειακή απόδοση (NZEB) | |
|----------|----------------------|----------|---------------------------|-----------|
| | Κλιματική ζώνη | | B | Γ |
| | μΚ / πΚ | μΚ / πΚ | μΚ / πΚ | μΚ / πΚ |
| 1 | NGB/LTHP | NGB/LTHP | LTHP/LTHP | GHP/GHP |
| 2 | LTHP/NGB | LTHP/NGB | GHP/GHP | LTHP/LTHP |
| 3 | OB/OB | OB/GHP | HTHP/HTHP | — |
| 4 | — | —/OB | NGB/NGB | — |

3.3.1.2 Μονοκατοικίες

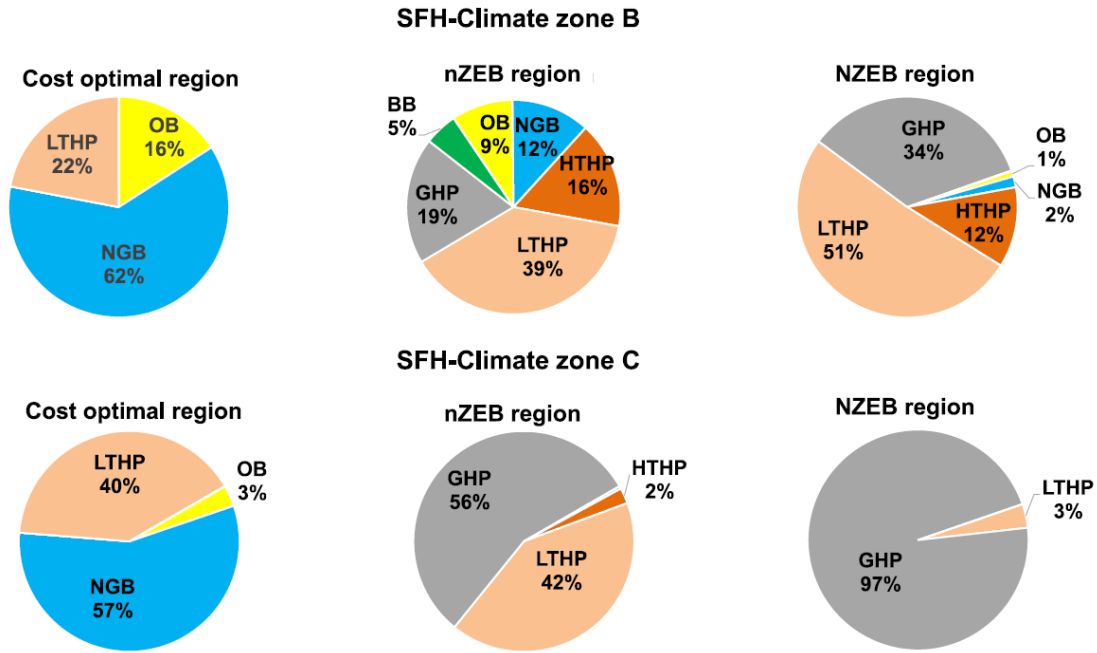
Οι τιμές LCC/PEC των σεναρίων που αντιστοιχούν σε κτίρια μονοκατοικιών στις κλιματικές ζώνες Β και Γ παρουσιάζονται στην Εικόνα 15.





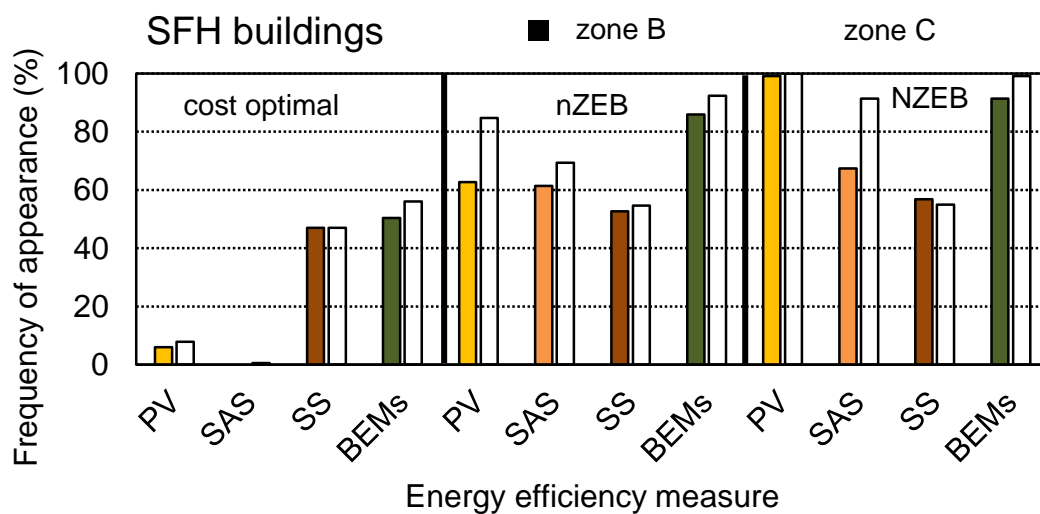
Εικόνα 15 Κόστος κύκλου ζωής των δεσμών παρεμβάσεων για κτίρια μονοκατοικιών στις κλιματικές ζώνες Β και Γ

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων με βάση τα συστήματα θέρμανσης στις περιοχές βέλτιστου κόστους, σχεδόν μηδενικής (nZEB) και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (NZEB) για κτίρια μονοκατοικιών στις κλιματικές ζώνες Β και Γ παρουσιάζονται στα διαγράμματα της Εικόνα 16.



Εικόνα 16 Συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων με βάση τα συστήματα θέρμανσης στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, για κτίρια μονοκατοικιών, στις κλιματικές ζώνες B (επάνω) και Γ (κάτω).

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων με φωτοβολταϊκά (PVs), ηλιακά υποβοηθούμενα συστήματα (SAS), συστήματα σκίασης (SS) και αναβαθμισμένα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους (BEMs) — τα τελευταία περιλαμβάνουν σενάρια όπου τουλάχιστον ένα στοιχείο του κελύφους αναβαθμίζεται — στις περιοχές βέλτιστου κόστους και κτιρίων σχεδόν μηδενικής και μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB και NZEB), για κτίρια μονοκατοικιών, στις κλιματικές ζώνες B και Γ απεικονίζονται στην Εικόνα 17.

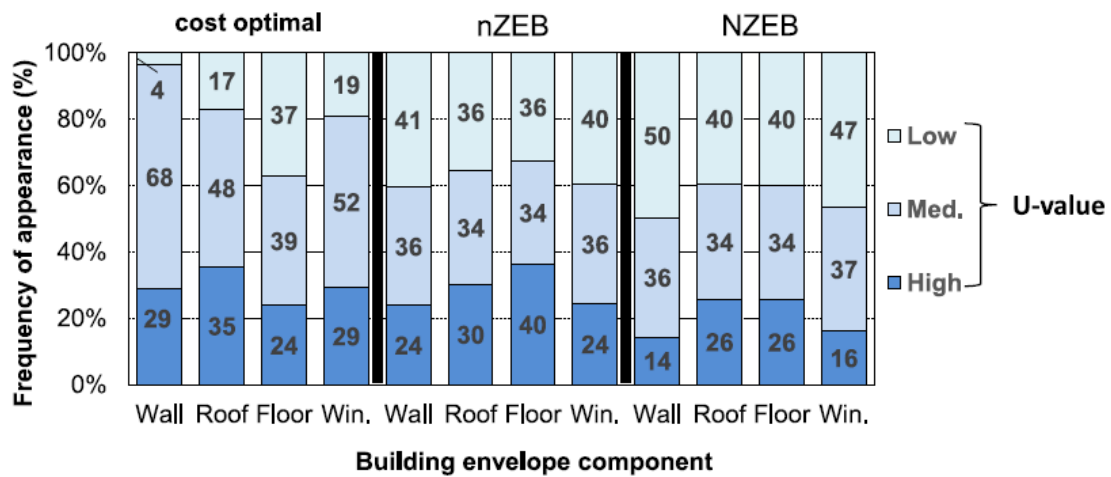


Εικόνα 17 Συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ (PVs), συστημάτων SAS, SS και με τουλάχιστον ένα αναβαθμισμένο δομικό στοιχείο του

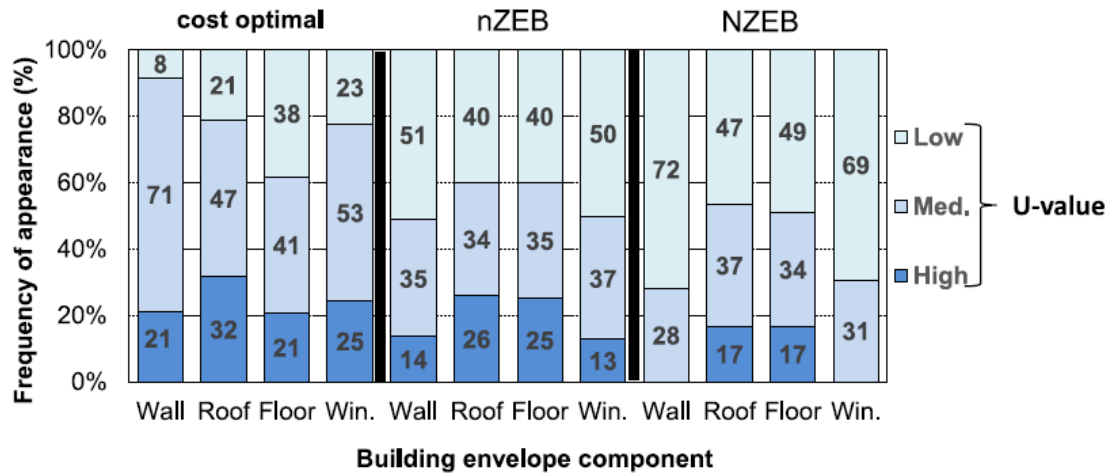
κελύφους (BEM) στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, για κτίρια μονοκατοικιών, στις κλιματικές ζώνες B και Γ.

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων που αφορούν δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους με διαφορετικούς συντελεστές θερμοπερατότητας στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB στις κλιματικές ζώνες B (επάνω) και Γ (κάτω), για κτίρια μονοκατοικιών, απεικονίζονται στην Εικόνα 18.

SFH-Climature zone B



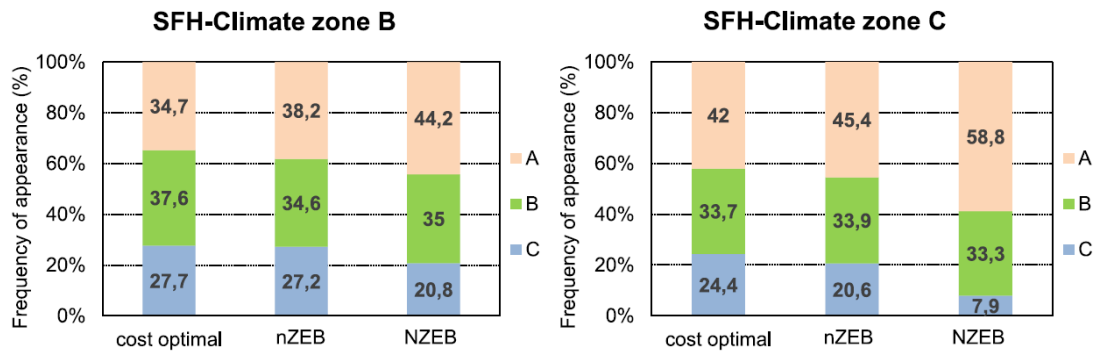
SFH-Climature zone C



Εικόνα 18 Συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων που περιλαμβάνουν αναβάθμιση των δομικών στοιχείων του κελύφους με διαφορετικούς συντελεστές θερμοπερατότητας στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, στις κλιματικές ζώνες B (επάνω) και Γ (κάτω), για κτίρια μονοκατοικιών.

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων που περιλαμβάνουν διαφορετικές κατηγορίες αυτοματισμών στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, στις

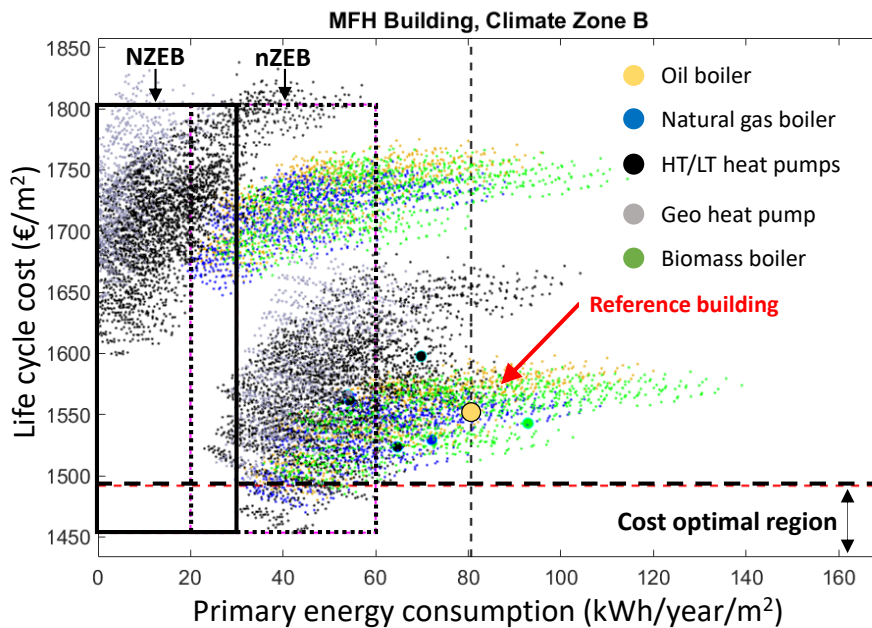
κλιματικές ζώνες Β (επάνω) και Γ (κάτω), για κτίρια μονοκατοικιών, απεικονίζονται στην Εικόνα 19.

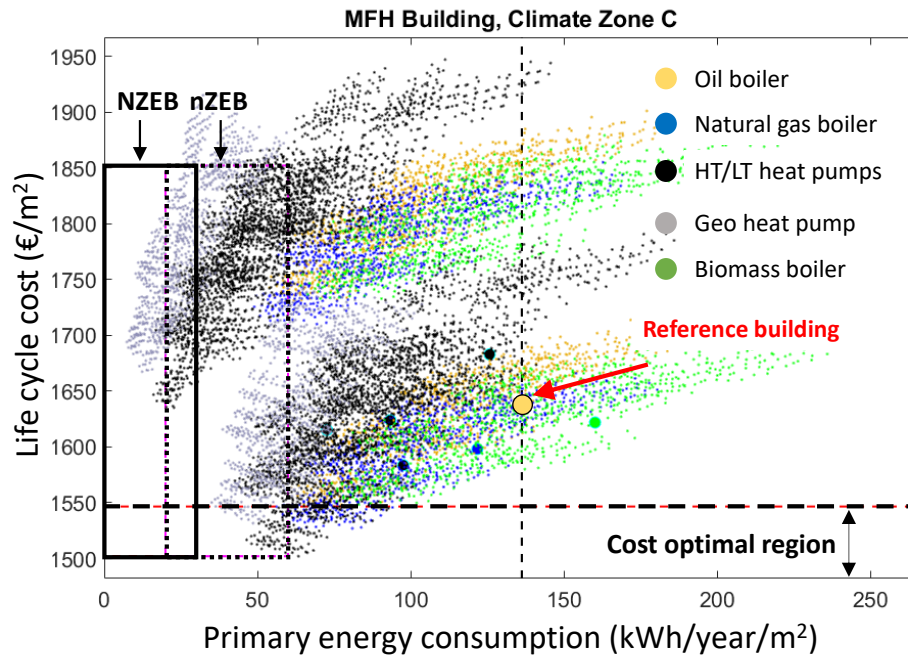


Εικόνα 19 Συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων που περιλαμβάνουν κατηγορίες αυτοματισμών στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB στις κλιματικές ζώνες Β (επάνω) και Γ (κάτω), για κτίρια μονοκατοικιών

3.3.1.3 Πολυκατοικίες

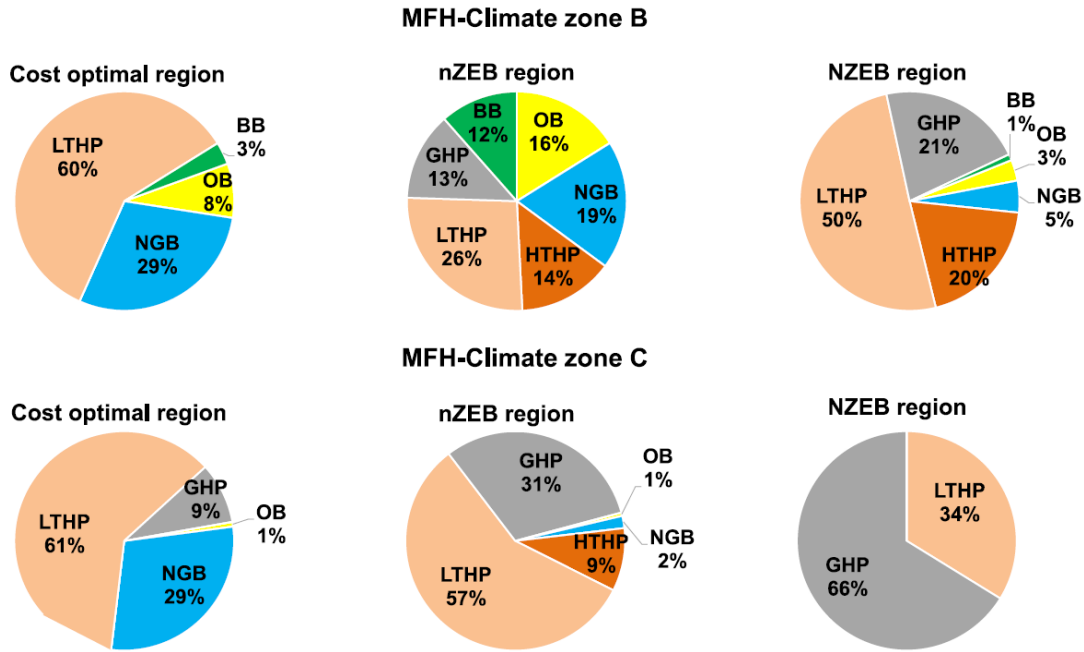
Οι τιμές LCC/PEC των σεναρίων που αντιστοιχούν στα κτίρια πολυκατοικιών στις κλιματικές ζώνες Β και Γ, παρουσιάζονται στην Εικόνα 20.





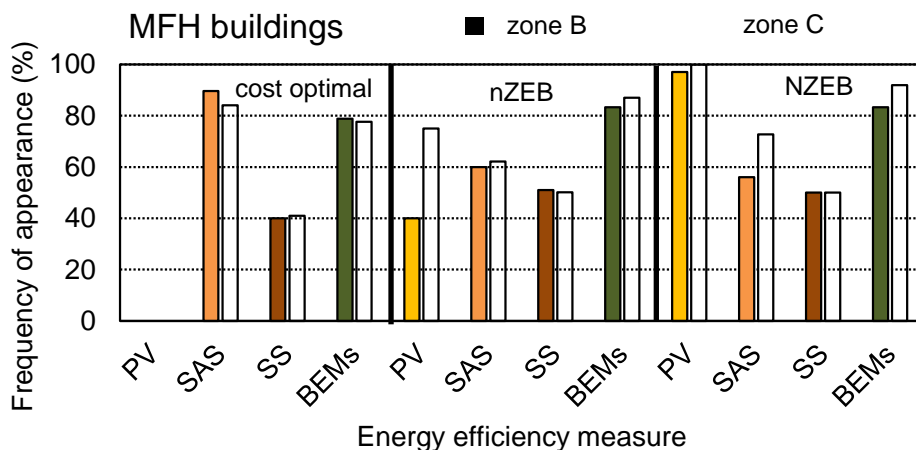
Εικόνα 20 Κόστος κύκλου ζωής των δεσμών παρεμβάσεων για κτίρια πολυκατοικιών στις κλιματικές ζώνες Β και Γ.

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων με βάση τα συστήματα θέρμανσης στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, για τα κτίρια πολυκατοικιών, στις κλιματικές ζώνες Β και Γ, παρουσιάζονται στα διαγράμματα που απεικονίζονται στην Εικόνα 21.



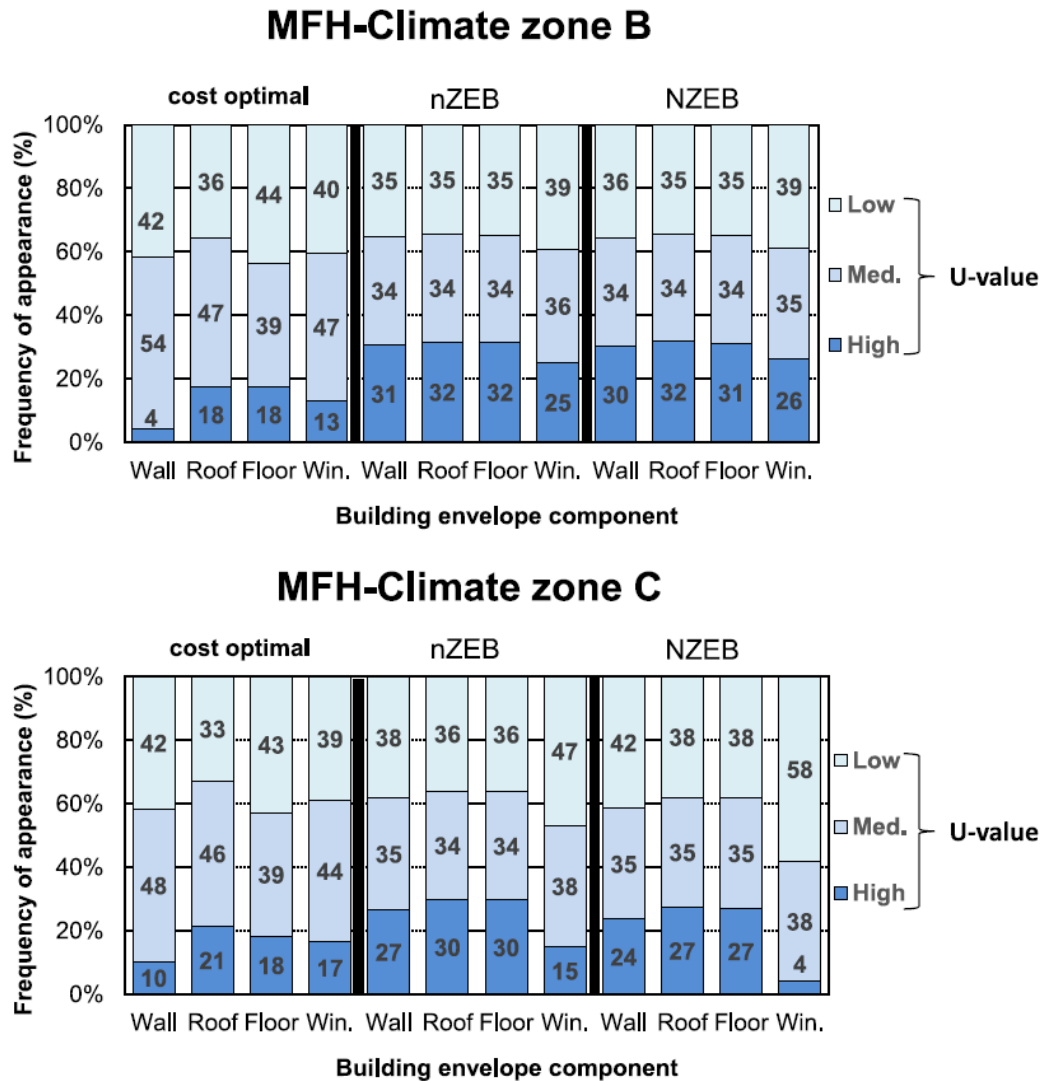
Εικόνα 21 Συχνότητα εμφάνισης των σεναρίων με βάση τα συστήματα θέρμανσης στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB στις κλιματικές ζώνες Β (επάνω) και Γ (κάτω)

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων με φωτοβολταϊκά (PVs), ηλιακά υποβοηθούμενα συστήματα (SAS), συστήματα σκίασης (SS) και αναβαθμισμένα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους (BEMs) (τα τελευταία περιλαμβάνουν σεναρία όπου τουλάχιστον ένα στοιχείο του κελύφους αναβαθμίζεται) στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, για κτίρια πολυκατοικιών, στις κλιματικές ζώνες Β και Γ, απεικονίζονται στην Εικόνα 22.



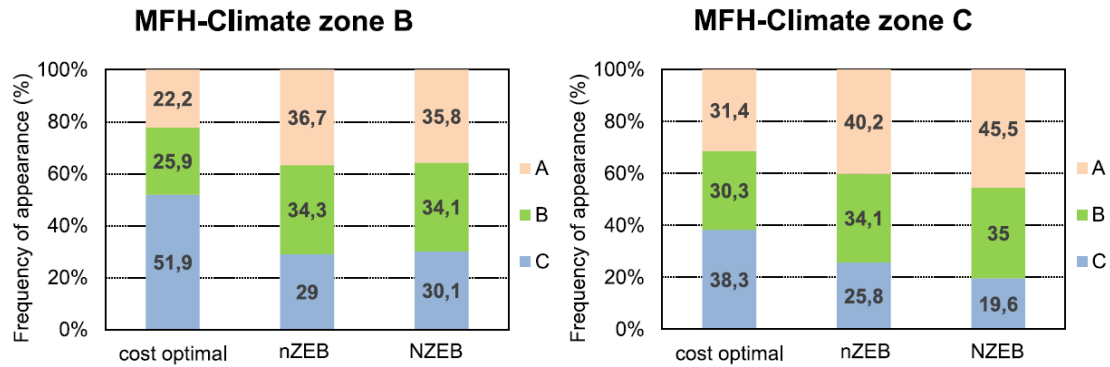
Εικόνα 22 Συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων που περιλαμβάνουν εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ (PVs), συστημάτων ηλιακής υποβοήθησης (SAS), σκιάστρων (SS) και τουλάχιστον ένα αναβαθμισμένο δομικό στοιχείο του κτιριακού κελύφους (BEMs) στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, για κτίρια πολυκατοικιών, στις κλιματικές ζώνες Β και Γ.

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων που αφορούν δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους με διαφορετικούς συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB στις κλιματικές ζώνες B (επάνω) και Γ (κάτω), για κτίρια πολυκατοικιών, απεικονίζονται στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23 Συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων, που περιλαμβάνουν αναβάθμιση των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους με διαφορετικούς συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values), στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, στις κλιματικές ζώνες B (επάνω) και Γ (κάτω), για κτίρια πολυκατοικιών

Οι συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων που περιλαμβάνουν διαφορετικές κατηγορίες αυτοματισμών στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, στις κλιματικές ζώνες B (επάνω) και Γ (κάτω), για τα κτίρια πολυκατοικιών, απεικονίζονται στην Εικόνα 24.



Εικόνα 24 Συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων με κατηγορίες αυτοματισμού στις περιοχές βέλτιστου κόστους, nZEB και NZEB, στις κλιματικές ζώνες B (επάνω) και Γ (κάτω), για κτίρια πολυκατοικιών

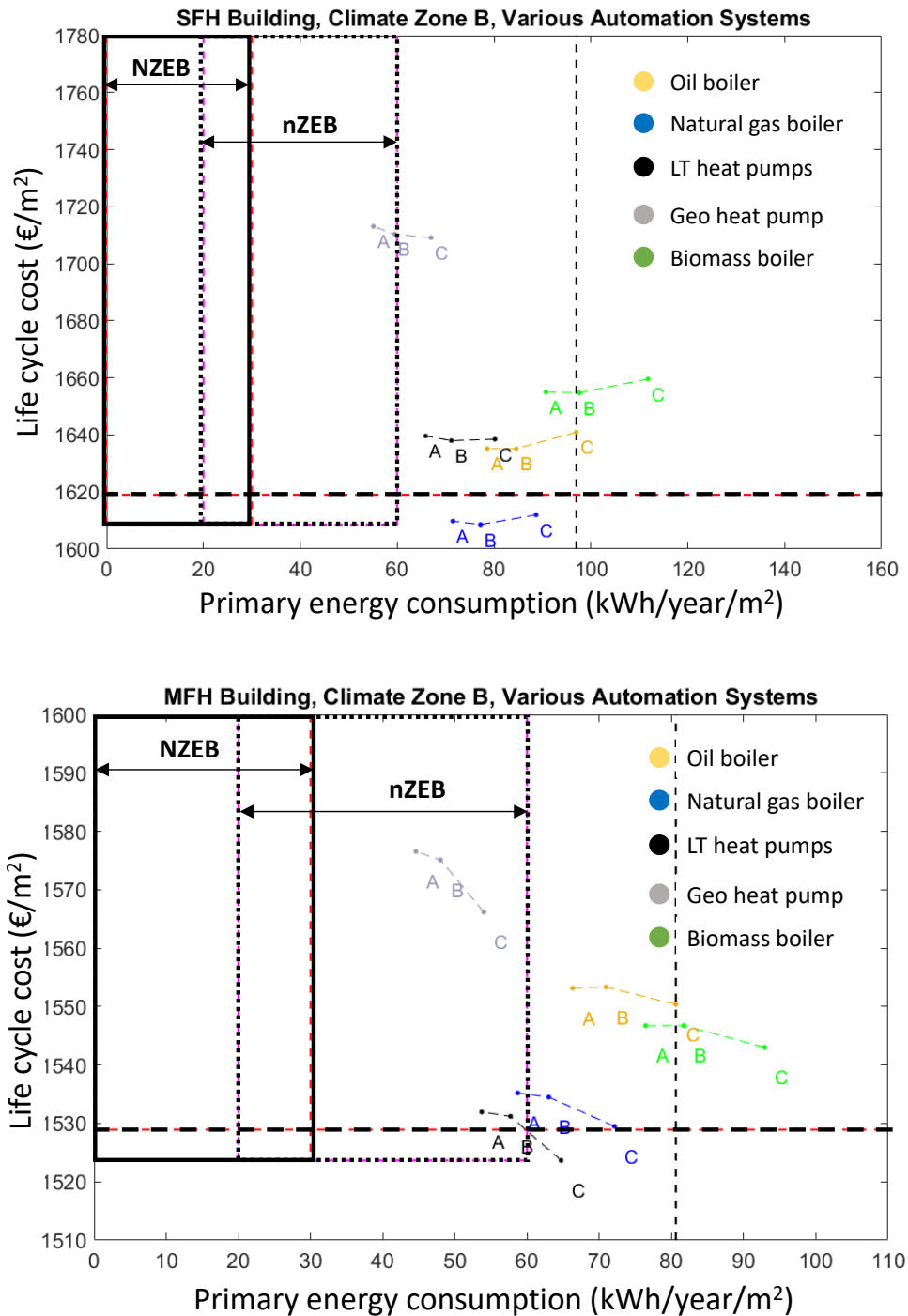
Διεξοδική ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται στην επόμενη ενότητα.

3.3.2 Μελέτες περιπτώσεων μεμονωμένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η επίδραση της εφαρμογής μεμονωμένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης (δηλαδή χωρίς πρόσθετες παρεμβάσεις) που αφορούν: α) την κατηγορία αυτοματισμού, β) το κτιριακό κέλυφος και γ) την εγκατάσταση PVs και SAS στα κτίρια αναφοράς, ως προς τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και την PEC των κτιρίων αναφοράς, για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, στην κλιματική ζώνη B.

3.3.2.1 Αναβάθμιση της κατηγορίας αυτοματισμού

Η επίδραση που έχει η αναβάθμιση της κατηγορίας αυτοματισμού στο LCC και στην PEC των κτιρίων αναφοράς, για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, στην κλιματική ζώνη B αποτυπώνεται στα διαγράμματα που απεικονίζονται στην Εικόνα 25. Σε κάθε περίπτωση, πρόκειται για σεναρία που σε μεγάλο βαθμό δεν ενδείκνυνται από άποψη κόστους-αποτελεσματικότητας και ενεργειακής απόδοσης.

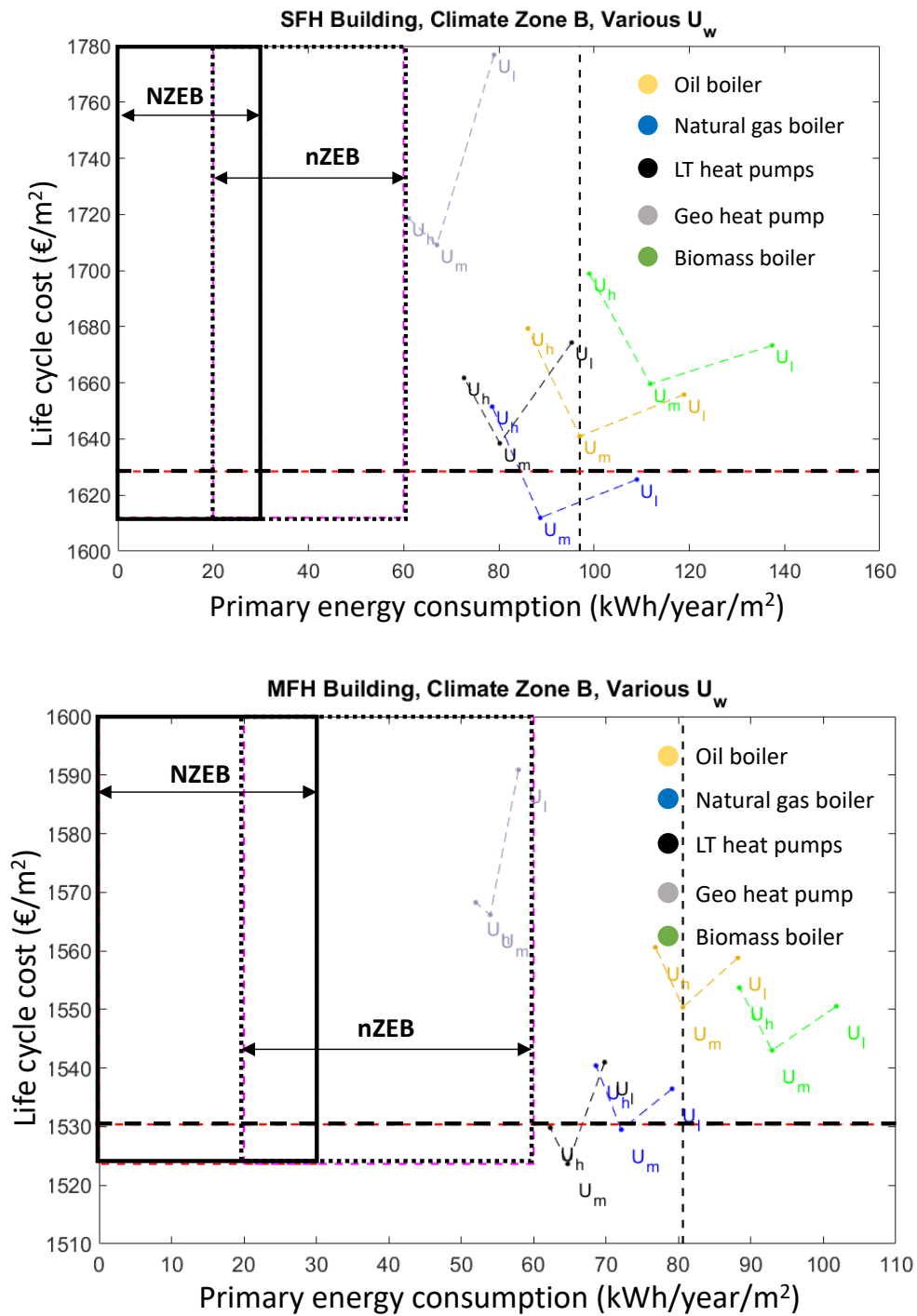


Εικόνα 25 Επίδραση της αναβάθμισης της κατηγορίας αυτοματισμού στο LCC και στην PEC των κτιρίων αναφοράς, μονοκατοικίας (αριστερά) και πολυκατοικίας (δεξιά), για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, στην κλιματική ζώνη Β.

3.3.2.2 Αναβάθμιση δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους

Η επίδραση των αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων του κελύφους στο LCC και στην PEC των κτιρίων αναφοράς, για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, στην

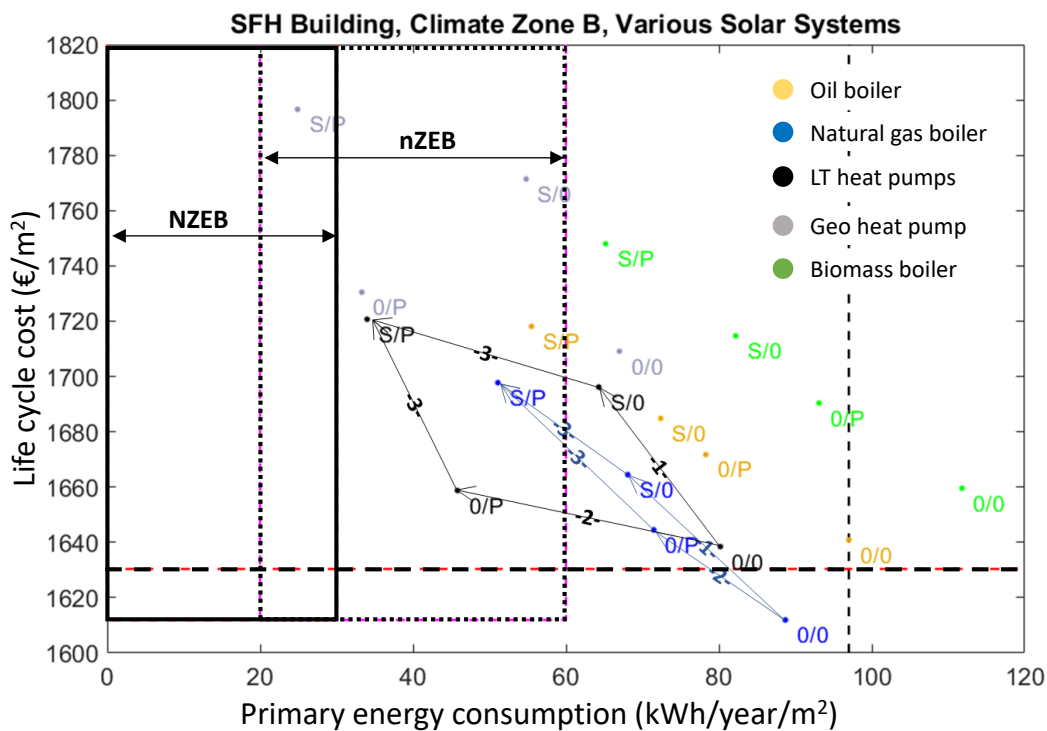
κλιματική ζώνη Β εικονίζεται στα διαγράμματα που απεικονίζονται στην Εικόνα 26.

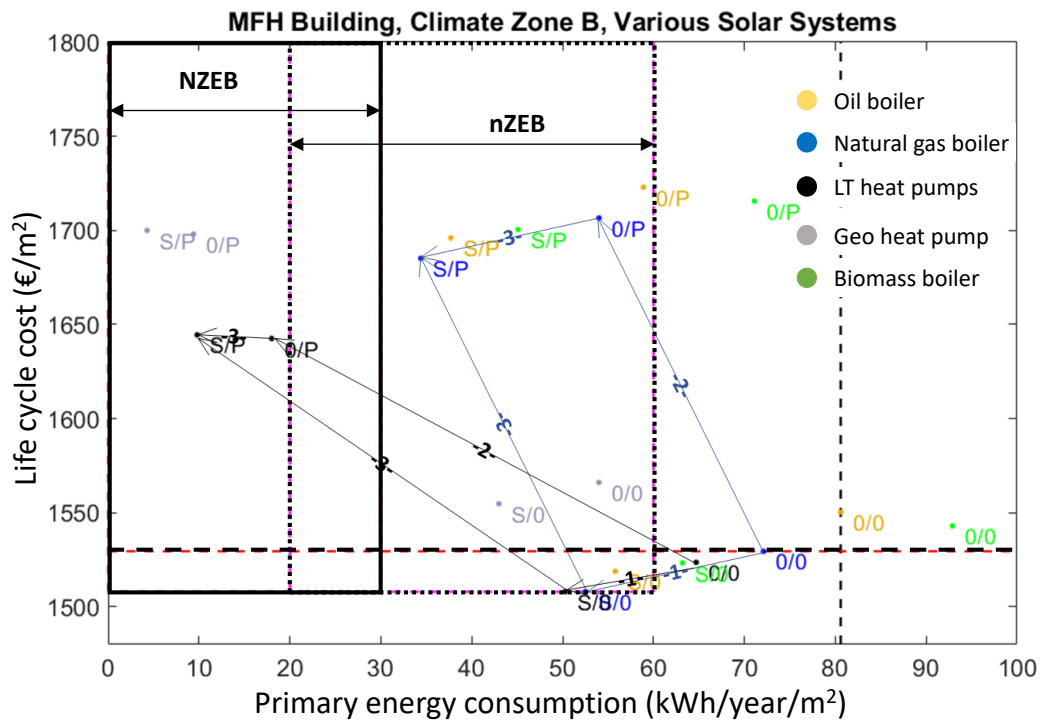


Εικόνα 26 Επίδραση των αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους στο LCC και στην PEC των κτιρίων αναφοράς, μονοκατοικίας (αριστερά) και πολυκατοικίας (δεξιά), για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, στην κλιματική ζώνη Β.

3.3.2.3 Χρήση ηλιακής ενέργειας

Η επίδραση της εγκατάστασης SAS και PVs στο LCC και στην PEC των κτιρίων αναφοράς, για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, στην κλιματική ζώνη Β εικονίζεται στα διαγράμματα που απεικονίζονται στην Εικόνα 27. Η ερμηνεία της αρίθμησης στα διαγράμματα αυτά έχει ως εξής: 1) SAS για θέρμανση χώρων (επιπρόσθετα προς ZNX), 2) PVs, 3) συνδυασμός SAS και PVs. Επιπλέον, οι επικέτες των σημείων ερμηνεύονται ως εξής: 0: χωρίς PVs/SAS, S: SAS, P: PVs.





Εικόνα 27 Επίδραση των συστημάτων, που βασίζονται στην ηλιακή ενέργεια, στο LCC και την PEC των κτιρίων αναφοράς μονοκατοικίας (αριστερά) και πολυκατοικίας (δεξιά), για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, στην κλιματική ζώνη Β · όπου 1: SAS, 2: PVs, 3: SAS και PVs.

Η επίδραση των εξεταζόμενων μεμονωμένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης στην PEC και το LCC των κτιρίων αναφοράς μονοκατοικίας και πολυκατοικίας συνοψίζεται στον Π. 30. Τα συστήματα που είναι εξοπλισμένα με λέβητες φυσικού αερίου και ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών εκλαμβάνονται στον πίνακα ως αντιπροσωπευτικά των δύο κατηγοριών γενικών συστημάτων, δηλαδή των συστημάτων λέβητα και αντλιών θερμότητας αντίστοιχα.

Π. 30 Σύνοψη της επίδρασης μεμονωμένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης στην PEC και το LCC των κτιρίων αναφοράς που είναι εξοπλισμένα με λέβητες φυσικού αερίου (NGB) και ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (LTHPs)

| Μέτρο απόδοσης | ενεργειακής | Σχετική διαφορά PEC (%) | | | | Σχετική διαφορά LCC (%) | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|------|------|------|-------------------------|------|-----|------|
| | | μΚ | | πΚ | | μΚ | | πΚ | |
| Τύπος κτιρίου | Θέρμανσης | ΑΘ | Λέβ. | ΑΘ | Λέβ. | ΑΘ | Λέβ. | ΑΘ | Λέβ. |
| Κατηγορία αυτοματισμού (Γ έως Α) | | 17.8 | 21.4 | 13.7 | 24.2 | 0.1 | -0.1 | 0.7 | 0.1 |

| Δομικά στοιχεία κελύφους (BEMs) | 9.4 | 12.6 | 3.0 | 4.4 | 1.4 | 2.4 | 0.4 | 0.7 |
|------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| Ηλιακή χρήση | | | | | | | | |
| Περίπτωση 1: SAS | 19.8 | 25.7 | 18.0 | 24.4 | 3.5 | 3.2 | -1.0 | -1.3 |
| Περίπτωση 2: PVs | 42.9 | 21.4 | 58.2 | 22.6 | 1.2 | 2.0 | 7.3 | 10.8 |
| Περίπτωση 3: SAS και PVs | 57.6 | 46.9 | 68.5 | 47.0 | 5.0 | 5.2 | 7.4 | 9.5 |

3.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

3.4.1 LCC έναντι PEC

3.4.1.1 Μονοκατοικίες

Η συνολική PEC στην κλιματική ζώνη Γ είναι υψηλότερη σε σύγκριση με την κλιματική ζώνη Β, λόγω των βαρύτερων χειμερινών κλιματικών συνθηκών. Ως εκ τούτου, όλα τα σημεία της κλιματικής ζώνης Γ μετατοπίζονται προς τα δεξιά, με αποτέλεσμα ένας σημαντικά μικρότερος αριθμός σεναρίων να εμπίπτει στην περιοχή nZEB και ιδίως στην περιοχή NZEB. Κατά συνέπεια, η χρηματοοικονομική διαφορά των NZEB στη ζώνη Γ είναι υψηλότερη σε σύγκριση με εκείνη της ζώνης Β (37.6 €/m² έναντι 101 €/m²). Συγχρόνως, ενώ τα κτίρια αναφοράς (μεγεθυμένα σημεία) προσεγγίζουν τα όρια βελτιστότητας κόστους που αντιστοιχούν στις ανάλογες τεχνολογίες θέρμανσης και στις δύο ζώνες, τα επίπεδά τους PEC απέχουν πολύ από την περιοχή nZEB στη ζώνη Γ. Παρατηρείται επίσης ότι στην κλιματική ζώνη Β υπάρχει ένας μικρός αριθμός σεναρίων που βρίσκονται εντός της περιοχής βέλτιστου κόστους και παράλληλα πληρούν τα κριτήρια nZEB. Από την άλλη πλευρά, ο αριθμός των σεναρίων που βρίσκονται εντός της περιοχής βέλτιστου κόστους και ικανοποιούν τις απαιτήσεις των nZEB στην κλιματική ζώνη Γ είναι εξαιρετικά περιορισμένος.

3.4.1.1.1 Βελτιστότητα κόστους

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην Εικόνα 16, η περιοχή βέλτιστου κόστους και στις δύο ζώνες κυριαρχείται από λέβητες φυσικού αερίου (62 %/57 %), ενώ περιλαμβάνει και μερικά σεναρία που βασίζονται σε ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (22 %/40 %) και σε μικρότερο βαθμό λέβητες πετρελαίου (16 %/3 %) που απαντούν κυρίως στην κλιματική ζώνη Β. Η σημαντική διαφορά στη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των λεβήτων πετρελαίου στις δύο κλιματικές ζώνες οφείλεται στα υψηλότερα επίπεδα PEC των κτιρίων αναφοράς (Π. 19) στη ζώνη Γ, τα οποία οδηγούν εν τέλει σε αξιοσημείωτα υψηλότερο LCC, δεδομένου του αυξημένου κόστους καυσίμου για το πετρέλαιο θέρμανσης (Π. 24). Αυτό το στοιχείο δικαιολογεί επίσης τη σχετικά ανοδική σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών στη ζώνη Γ, όπως καταδεικνύεται από την υψηλή τους συχνότητα στην περιοχή βέλτιστου κόστους

σε σύγκριση με τη ζώνη Β. Ειδικότερα, λόγω της μεγαλύτερης ζήτησης για θέρμανση στη ζώνη Γ, το μειωμένο ενεργειακό κόστος των υψηλής απόδοσης ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών παρέχει καλύτερες δυνατότητες να αντισταθμιστεί το αυξημένο κόστος κεφαλαίου της τεχνολογίας. Παρά τις διαφορές που περιεγράφηκαν, και στις δύο κλιματικές ζώνες τα σενάρια που βασίζονται στις υπόλοιπες τεχνολογίες θέρμανσης (ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών, γεωθερμικές ΑΘ και λέβητες βιομάζας) έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένο LCC που υπερβαίνει το όριο της περιοχής βέλτιστου κόστους.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην Εικόνα 17, η συχνότητα εμφάνισης των PVs (6%/8%) και SAS (0%/1%) στην περιοχή βέλτιστου κόστους είναι χαμηλή και στις δύο κλιματικές ζώνες, γεγονός που δείχνει ότι αυτές οι δύο κατηγορίες μέτρων με χρήση ηλιακής ενέργειας δεν είναι ελκυστικές από οικονομική άποψη. Όσον αφορά την εγκατάσταση σκιάστρων, η συχνότητά της βρίσκεται σε ένα μεσαίο εύρος (47% και στις δύο κλιματικές ζώνες), γεγονός που υποδηλώνει ένα μάλλον ουδέτερο αποτέλεσμα στη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Ο οικονομικός αντίκτυπος των αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους είναι θετικότερος, καθώς η συχνότητα εμφάνισής τους εντός της περιοχής βέλτιστου κόστους είναι υψηλότερη (50/56%).

Για τα δομικά στοιχεία του κελύφους πιο συγκεκριμένα μπορεί να παρατηρηθεί στην Εικόνα 18 ότι, εντός της περιοχής βέλτιστου κόστους, τα σενάρια που περιλαμβάνουν μεσαία (medium) επίπεδα μόνωσης εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα και στις δύο κλιματικές ζώνες. Αυτό δείχνει ότι οι συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values), όπως καθορίζονται επί του παρόντος από τη νομοθεσία στην Ελλάδα για τα νεόδμητα κτίρια, βρίσκονται πολύ κοντά στο βέλτιστο επίπεδο (από άποψη σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας). Επειδή τα κτίρια στην κλιματική ζώνη Γ εκτίθενται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, η συχνότητα εμφάνισης δομικών στοιχείων με μεσαίο επίπεδο μόνωσης στην περιοχή βέλτιστου κόστους είναι ελαφρώς μικρότερη σε σύγκριση με την κλιματική ζώνη Β, ενώ η συχνότητα εμφάνισης δομικών στοιχείων με χαμηλότερους συντελεστές θερμοπερατότητας είναι ελαφρώς μεγαλύτερη. Μια τελική παρατήρηση, που μπορεί να γίνει από τη συχνότητα εμφάνισης σεναρίων με διαφορετικά δομικά στοιχεία και στις δύο ζώνες, είναι ότι η αναβάθμιση των τοίχων και της οροφής τείνει να είναι λιγότερο αποδοτική από πλευράς κόστους, ενώ η αναβάθμιση του δαπέδου συνδέεται με τα καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα νεόδμητα κτίρια διαθέτουν επαρκή μόνωση στους τοίχους και την οροφή σε σύγκριση με το δάπεδο.

Και στις δύο κλιματικές ζώνες, η κατηγορία χαμηλότερου αυτοματισμού (3), η οποία είναι και η προεπιλεγμένη στα κτίρια αναφοράς, έχει τη χαμηλότερη συχνότητα εμφάνισης στην περιοχή βέλτιστου κόστους (27,7%/24,4%). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, ενώ στην κλιματική ζώνη Β η καλύτερη οικονομική απόδοση επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού της κατηγορίας 2 (37,6%), στη ζώνη Γ τα πιο εξελιγμένα

συστήματα της κατηγορίας 1 υπερέχουν ως προς τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας (42,0 %). Αυτό οφείλεται στην αυξημένη ενεργειακή ζήτηση στη διάρκεια του χειμώνα και, κατά συνέπεια, στην αύξηση των ωρών λειτουργίας του εξοπλισμού θέρμανσης στη ζώνη αυτή, γεγονός που οδηγεί σε ικανοποιητικότερο οικονομικό συμβιβασμό μεταξύ του μειωμένου ενεργειακού κόστους και του αυξημένου επενδυτικού κόστους των πλέον εξελιγμένων συστημάτων αυτοματισμού.

3.4.1.1.2 Ενεργειακή απόδοση

Η περιοχή nZEB στην κλιματική ζώνη Β περιλαμβάνει ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (39 %), γεωθερμικές ΑΘ (19 %), ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (16 %), λέβητες φυσικού αερίου (12 %), λέβητες πετρελαίου (9 %) και, σε μικρότερο βαθμό, λέβητες βιομάζας (5 %). Στη ζώνη αυτή, τα κτίρια που είναι εξοπλισμένα με λέβητες πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι σε θέση να καλύψουν τις απαιτήσεις των nZEB μόνο εφόσον συνδυαστούν με πρόσθετα μέτρα, όπως αυτά που περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκά και SAS, τα οποία ωστόσο οδηγούν σε αυξημένο LCC, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Στη ζώνη Γ, μόνο τα κτίρια που είναι εξοπλισμένα με ΑΘ επιτυγχάνουν να μειώσουν επαρκώς την PEC, ώστε να φθάσουν τα επίπεδα κατανάλωσης nZEB, καθώς η περιοχή αυτή διαμοιράζεται ανάμεσα στις γεωθερμικές (56 %) και τις ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (42 %), με την εμφάνιση ενός πολύ μικρού ποσοστού ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (2 %). Η αυξημένη ζήτηση θέρμανσης στη ζώνη Γ είναι ο λόγος για την προτεραιοποίηση των ΑΘ υψηλής ενεργειακής απόδοσης, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές μειώσεις PEC. Για τον ίδιο λόγο, η αναβάθμιση των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και σε μικρότερο βαθμό τα PVs έχουν καίρια σημασία για την επίτευξη των στόχων nZEB στη ζώνη Γ, καθώς η συχνότητα εμφάνισής τους στην περιοχή είναι πολύ υψηλή (92 % και 85 % αντίστοιχα). Από την άλλη πλευρά, στη ζώνη Β, οι αντίστοιχες συχνότητες (αναβάθμιση των δομικών στοιχείων και PVs) είναι επίσης υψηλές, αν και τα PVs κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλότερα ποσοστά (86 % και 63 %).

Όσον αφορά την περιοχή NZEB, στην κλιματική ζώνη Β τα μεγαλύτερα ποσοστά αναλογούν στις ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών (51 %), στις γεωθερμικές ΑΘ (34 %) και στις ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (12 %), ενώ το υπόλοιπο 3 % περιλαμβάνει τους λέβητες φυσικού αερίου (2 %) και πετρελαίου (1 %). Στην κλιματική ζώνη Γ, οι γεωθερμικές ΑΘ έχουν τη μερίδα του λέοντος (97%) στην περιοχή NZEB, ενώ σε ένα μικρό ποσοστό (3 %) εμφανίζονται επιπρόσθετα οι ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών. Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 8, και στις δύο κλιματικές ζώνες, η προσθήκη PVs και αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων NZEB, καθώς η συχνότητα της εμφάνισής τους στην περιοχή είναι πολύ υψηλή (99 %/100 % για τα ΦΒ και 91 %/99 % για τα δομικά στοιχεία). Θα πρέπει να τονιστεί ότι η εγκατάσταση χαμηλού συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κελύφους είναι απαραίτητη για την επίτευξη επιπέδων ενεργειακής κατανάλωσης

NZEB, ιδίως για κτίρια που δεν περιλαμβάνουν ΑΘ για τη θέρμανση. Είναι αξιοσημείωτο ότι στην κλιματική ζώνη Γ η πρόσθετη εγκατάσταση SAS είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων NZEB, καθώς η συχνότητα εμφάνισής τους είναι επίσης ιδιαίτερα αυξημένη (91 %). Από την άλλη πλευρά, αν και όχι αμελητέα, η σημασία των SAS για την επίτευξη των στόχων NZEB στη ζώνη Β είναι λιγότερο κρίσιμη, καθώς η συχνότητα εμφάνισής τους είναι σχετικά χαμηλότερη (67 %). Γενικά, εντός των περιοχών nZEB και ZEB, τα σενάρια που βασίζονται σε ΑΘ τείνουν να συμπεριλαμβάνουν PVs περισσότερο παρά SAS, ενώ τα σενάρια που βασίζονται σε λέβητες φυσικού αερίου και πετρελαίου συνήθως περικλείουν SAS αντί PVs. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, στην περίπτωση των πρώτων, τα υφιστάμενα συστήματα ενεργειακού συμψηφισμού οδηγούν στη χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα PVs για την κάλυψη μέρους των απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων μέσω της λειτουργίας αντλιών θερμότητας. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό στην περίπτωση των κτιρίων που περιλαμβάνουν λέβητες όπου τα ηλιοθερμικά συστήματα μπορούν να είναι ενεργειακά αποδοτικότερα. Τα παραπάνω δικαιολογούν τη χαμηλότερη συχνότητα εμφάνισης των PVs στην περιοχή nZEB στην κλιματική ζώνη Β, σε σύγκριση με τη ζώνη Γ, δεδομένου ότι το σωρευτικό ποσοστό των συστημάτων με λέβητες (φυσικού αερίου, πετρελαίου και βιομάζας) στην κλιματική ζώνη Β είναι υψηλότερο (26 %). Τέλος, η εγκατάσταση σκιάστρων έχει μάλλον μικρό αλλά θετικό αντίκτυπο στη μείωση της PEC των κτιρίων, καθώς οι συχνότητες εμφάνισής τους στις περιοχές nZEB και NZEB κυμαίνονται κυρίως μεταξύ 53 % και 57 %.

Όσον αφορά την επίδραση των διαφόρων δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, μπορεί να τεκμηριωθεί από τις συχνότητες της εμφάνισής τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 18 και όπως ήταν αναμενόμενο, ότι τα υλικά με χαμηλούς συντελεστές θερμοπερατότητας (ιδίως για τους τοίχους και τα παράθυρα) καθίστανται προοδευτικά σημαντικά για την επίτευξη επιπέδων nZEB και NZEB. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι εντός της περιοχής nZEB η διαφορά στις συχνότητες εμφάνισης των σεναρίων μεσαίας και υψηλής ποιότητας μόνωσης είναι χαμηλή, ενώ γίνεται πιο σημαντική στην περιοχή NZEB. Και στις δύο περιοχές, η σημασία των βελτιωμένων δομικών στοιχείων (όπως φαίνεται από τα δεδομένα συχνότητας που παρουσιάζονται στις Εικόνα 17 και Εικόνα 18) είναι μεγαλύτερη για τα κτίρια που βρίσκονται στην κλιματική ζώνη Γ, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες χειμερινές θερμοκρασίες. Τέλος, μπορεί να παρατηρηθεί επιπλέον ότι θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην αναβάθμιση των τοίχων και των παραθύρων έναντι της αναβάθμισης των στεγών και των δαπέδων όταν ο στόχος είναι η μείωση της PEC, κάτι που δεν ισχύει όταν στόχος είναι η βελτιστότητα του κόστους (όπως συζητήθηκε στην προηγούμενη ενότητα).

Όπως αναμενόταν, η συχνότητα εμφάνισης των πιο εξελιγμένων συστημάτων αυτοματισμού της πρώτης κατηγορίας αυξάνεται στις περιοχές nZEB και NZEB

και στις δύο κλιματικές ζώνες και ιδίως στη ζώνη Γ. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι και στις δύο ζώνες ένας σημαντικός αριθμός σεναρίων (περίπου το ένα τρίτο) στις περιοχές nZEB και NZEB περιλαμβάνουν την εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού της δεύτερης κατηγορίας. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι, παρά την αναμφισβήτητα θετική επίδραση που έχουν στην ενεργειακή απόδοση, η εγκατάσταση των πλέον εξελιγμένων συστημάτων αυτοματισμού δεν είναι υποχρεωτική για την επίτευξη των επιπέδων κατανάλωσης nZEB και NZEB, ιδίως στην κλιματική ζώνη Β.

Από τα αποτελέσματα γίνεται σαφές ότι ο συνδυασμός των ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών και των γεωθερμικών ΑΘ με ΦΒ και αναβαθμισμένα δομικά στοιχεία κελύφους είναι αναγκαία για την επίτευξη των προδιαγραφών NZEB στην κλιματική ζώνη Β. Παρά τη σημαντική δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας που παρέχουν, η αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους και τα SAS έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικά αυξημένο LCC, ενώ οι αναβαθμίσεις του αυτοματισμού συναρτώνται θετικά με χαμηλό LCC. Επιπλέον, τα σενάρια με βάση λέβητες πετρελαίου και φυσικού αερίου απαιτούν διάφορα πρόσθετα ενεργειακά μέτρα για να επιτύχουν επαρκή εξοικονόμηση ενέργειας και να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές NZEB, γεγονός που τα καθιστά μη ενδεικνύομενη επιλογή από οικονομική άποψη.

3.4.1.2 Πολυκατοικίες

Από την Εικόνα 20 μπορεί να δει κανείς ότι, όπως και στην περίπτωση των μονοκατοικιών, τα επίπεδα PEC στην κλιματική ζώνη Γ είναι υψηλότερα λόγω των μεγαλύτερων φορτίων θέρμανσης τον χειμώνα. Κατά συνέπεια, είναι πολύ λιγότερα και πάλι τα σενάρια που πληρούν τα κριτήρια nZEB και NZEB στη ζώνη Γ. Παράλληλα, τα επίπεδα PEC των κτιρίων πολυκατοικιών είναι γενικά χαμηλότερα σε σύγκριση με εκείνα των κτιρίων μονοκατοικιών, καθώς ο λόγος της εξωτερικής επιφάνειας προς τη θερμαινόμενη επιφάνεια του κτιρίου είναι χαμηλότερος.

Στα παραπάνω έρχεται να προστεθεί μια μείζων διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των κτιρίων μονοκατοικίας και πολυκατοικίας. Πιο συγκεκριμένα, τα σημεία στα διαγράμματα των κτιρίων πολυκατοικίας δεν σχηματίζουν ένα συμπαγές νέφος, αλλά κατανέμονται σε δύο διακριτές περιοχές, που βρίσκονται η μία επάνω αριστερά και η άλλη κάτω δεξιά στα διαγράμματα. Η πρώτη περιοχή (επάνω αριστερά) περιλαμβάνει κτίρια με PVs, ενώ η δεύτερη περιοχή (κάτω δεξιά) περιλαμβάνει τα ίδια κτίρια χωρίς εγκατάσταση PVs. Η διαφορά αυτή στην κατανομή των σεναρίων μεταξύ των κτιρίων μονοκατοικίας και πολυκατοικίας οφείλεται στο γεγονός ότι, για τις πολυκατοικίες, το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης PVs 66 m^2 (σε σύγκριση με τα 5 m^2 για τις μονοκατοικίες) είναι υψηλό, ενώ η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται είναι δυσανάλογα χαμηλότερη, λόγω της χαμηλότερης ειδικής PEC των πολυκατοικιών σε σύγκριση με τις μονοκατοικίες. Αιτία αποτελεί ο χαμηλότερος λόγος της εξωτερικής προς τη θερμαινόμενη επιφάνεια του κτιρίου, που

αναφέρθηκε παραπάνω. Το αποτέλεσμα είναι το σημαντικά υψηλότερο (έως 150 €/m² κατά μέσο όρο) LCC των κτιρίων πολυκατοικιών που είναι εξοπλισμένα με PVs σε σύγκριση με εκείνα που δεν έχουν PVs. Αυτό υπογραμμίζει τη βαρύτητα που έχει η [κατά περίπτωση] σωστή εκτίμηση του βέλτιστου μεγέθους των φωτοβολταϊκών, λαμβάνοντας ιδίως υπόψη τον καίριο ρόλο τους στην επίτευξη επιπέδων κατανάλωσης NZEB.

Στη ζώνη Β, η χρηματοοικονομική διαφορά που δημιουργείται με τα σενάρια χωρίς PVs είναι ίσο με 6.3 €/m², κατά πολύ μικρότερο της χρηματοοικονομικής διαφοράς των 37.6 €/m² στην περίπτωση των μονοκατοικιών της ίδιας κλιματικής ζώνης. Φυσικά, πρέπει να τονιστεί ότι η συντριπτική πλειονότητα των σεναρίων που ικανοποιούν τα κριτήρια NZEB περιλαμβάνει την εγκατάσταση PVs. Εάν ληφθεί υπόψη το ελάχιστο LCC αυτών των σεναρίων, τότε η χρηματοοικονομική διαφορά είναι πολύ υψηλή, ίση με 146 €/m².

Στη ζώνη Γ, μόνο τα σενάρια που περιλαμβάνουν PVs μπορούν να ανταποκριθούν στις ενεργειακές απαιτήσεις NZEB. Λόγω του σημαντικά υψηλού LCC των σεναρίων αυτών, η χρηματοοικονομική διαφορά ανέρχεται σε 133 €/m². Η τιμή αυτή είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη για τις πολυκατοικίες στην κλιματική ζώνη Β, εξαιτίας της σχετικά υψηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης βάσης στη ζώνη Γ, ανεξάρτητα από την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται από τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, με αποτέλεσμα να αξιοποιείται σε μεγάλο βαθμό η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το PVs.

3.4.1.2.1 Βελτιστότητα κόστους

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην Εικόνα 21, σε αντίθεση με τα κτίρια μονοκατοικιών όπου η περιοχή βέλτιστου κόστους κυριαρχείται από τα σενάρια που βασίζονται σε λέβητες φυσικού αερίου, η περιοχή βέλτιστου κόστους των πολυκατοικιών κατακλύζεται από τα σενάρια με ΑΘ (κυρίως χαμηλών θερμοκρασιών) σε ποσοστά 60 %/70 %, ενώ ο αριθμός των σεναρίων με λέβητες φυσικού αερίου (29 %/29 %) και λέβητες πετρελαίου (8 %/0 %) είναι πολύ μικρότερος. Στην πραγματικότητα, το ελάχιστο συνολικό LCC για τα κτίρια πολυκατοικιών και στις δύο κλιματικές ζώνες διαμορφώνεται από τις ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών, ενώ στην περίπτωση των κτιρίων μονοκατοικιών από τον συνδυασμό λεβήτων φυσικού αερίου με σύγχρονες μονάδες ΑΘ για ψύξη (split units). Όπως και στην περίπτωση των κτιρίων μονοκατοικιών, η αυξημένη ζήτηση θέρμανσης στη ζώνη Γ οδηγεί σε προτεραιοποίηση των ΑΘ έναντι των λεβήτων σε σύγκριση με τη ζώνη Β. Ο πρώτος λόγος για την αυξημένη διείσδυση των ΑΘ στην περιοχή βέλτιστου κόστους των πολυκατοικιών, εν συγκρίσει με τις μονοκατοικίες, είναι η ευνοϊκή οικονομία κλίμακας των μεγαλύτερων μονάδων ΑΘ σε σχέση με τις μικρότερες. Ο δεύτερος λόγος είναι η υψηλότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια πολυκατοικιών από ό,τι στα κτίρια μονοκατοικιών, η οποία επιτρέπει την επίτευξη ακόμη μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας και λειτουργικών δαπανών λόγω της αυξημένης απόδοσης των ΑΘ σε σύγκριση με τους λέβητες.

Όμοια με την περίπτωση των μονοκατοικιών, τα PVs απουσιάζουν από την περιοχή βέλτιστου κόστους των πολυκατοικιών, λόγω του υψηλού κεφαλαιουχικού κόστους τους. Σε αντίθεση με τις μονοκατοικίες, ωστόσο, τα SAS αποτελούν ένα μέτρο αξιοσημείωτης οικονομικής απόδοσης, όπως μαρτυρούν οι υψηλές τους συχνότητες στην περιοχή βέλτιστου κόστους (90 %/84 %). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα κτίρια πολυκατοικιών, τα SAS (που πέρα από την υποβοήθηση της θέρμανσης καλύπτουν επιπλέον και τις ανάγκες για ZNX) προϋποθέτουν την εγκατάσταση μίας μεγάλης κεντρικής δεξαμενής αποθήκευσης αντί για ένα μικρό θερμοδοχείο. Η μεγάλη δεξαμενή αποθήκευσης έχει μεγαλύτερη θερμική αδράνεια, λιγότερες θερμικές απώλειες, αποδοτικότερο σύστημα διανομής, αλλά και βελτιωμένα χαρακτηριστικά οικονομίας κλίμακας.

Συγχρόνως, επειδή στα κτίρια πολυκατοικιών ο λόγος της εξωτερικής προς τη θερμαινόμενη επιφάνεια του κτιρίου είναι μικρότερος, τα αναβαθμισμένα δομικά στοιχεία του κελύφους παρουσιάζουν βελτίωση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας, δεδομένου ότι οι συχνότητές τους είναι ίσες με 79 %/78 %. Τέλος, η οικονομική επίδραση των σκιάστρων είναι παρόμοια με αυτή των κτιρίων μονοκατοικιών, όπως προκύπτει από τις συχνότητές τους (40 %/41 %).

Με εξαίρεση τα στοιχεία του δαπέδου, τα σενάρια μεσαίου επιπέδου μόνωσης παρουσιάζουν την υψηλότερη συχνότητα στην περιοχή βέλτιστου κόστους σε αμφότερες τις κλιματικές ζώνες. Θα πρέπει να τονιστεί πάντως ότι η διαφορά στις συχνότητες μεταξύ των δομικών στοιχείων του κελύφους υψηλής και μεσαίας ποιότητας δεν είναι τόσο σημαντική όσο στην περίπτωση των μονοκατοικιών, γεγονός που δείχνει ότι, αν και πληρούν τα κριτήρια βελτιστότητας κόστους, οι νομοθετημένοι συντελεστές θερμοπερατότητας των κτιρίων αναφοράς δεν βρίσκονται το ίδιο κοντά στις τιμές βέλτιστου κόστους στην περίπτωση των πολυκατοικιών.

Σε αντίθεση με τα κτίρια μονοκατοικιών, τα συστήματα αυτοματισμού με τον χαμηλότερο βαθμό πολυπλοκότητας (κατηγορία 3) παρουσιάζουν την καλύτερη οικονομική απόδοση σε κτίρια πολυκατοικιών και στις δύο κλιματικές ζώνες, καθώς σημειώνουν τις υψηλότερες συχνότητες εμφάνισης εντός της περιοχής βέλτιστου κόστους (51,9 %/38,3 %). Στην πραγματικότητα, λόγω της συνολικά χαμηλότερης απαίτησης για ειδική ενέργεια σε κτίρια πολυκατοικιών σε σύγκριση με τα κτίρια μονοκατοικιών, οι κεφαλαιουχικές δαπάνες που απαιτούνται για την εγκατάσταση πιο εξελιγμένων συστημάτων αυτοματισμού δεν μπορούν να αντισταθμιστούν από την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με το σχετικά μειωμένο λειτουργικό κόστος των καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως και στην περίπτωση των μονοκατοικιών, η συχνότητα εμφάνισης σεναρίων της κατηγορίας αυτοματισμού 2 είναι ελαφρώς υψηλότερη σε σύγκριση με εκείνη της κατηγορίας 3, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει στη ζώνη Γ.

3.4.1.2.2 Ενεργειακή απόδοση

Η κατανομή των συστημάτων θέρμανσης στην περιοχή nZEB των κτιρίων πολυκατοικιών και στις δύο κλιματικές ζώνες είναι παρόμοια με την κατανομή τους στα κτίρια μονοκατοικιών ως επί το πλείστο οι ΑΘ μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις nZEB στην κλιματική ζώνη Γ, ενώ μια πιο διαφοροποιημένη κατανομή παρουσιάζουν τα συστήματα θέρμανσης που εμπίπτουν στην περιοχή nZEB της κλιματικής ζώνης Β. Ωστόσο, λόγω της χαμηλότερης PEC στα κτίρια πολυκατοικιών, η διείσδυση των λεβήτων και των ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών (που έχουν σχετικά χαμηλότερη απόδοση) στην περιοχή nZEB, στις ζώνες Β και Γ αντίστοιχα, αυξάνεται. Πράγματι, η περιοχή nZEB στη ζώνη Β δεν περιλαμβάνει μόνο σενάρια όλων των τεχνολογιών, αλλά περιέχει επίσης τα σενάρια βέλτιστου κόστους που αντιστοιχούν σε κάθε τεχνολογία. Επομένως, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι, όπως και στην περίπτωση των μονοκατοικιών, είναι δυνατόν να ικανοποιούνται συγχρόνως τα κριτήρια nZEB και η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας στη ζώνη αυτή.

Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για την περιοχή NZEB. Κατά συνέπεια, παρόλο που η περιοχή αυτή εξακολουθεί να περικλείει σενάρια που περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο ΑΘ, το ποσοστό των γεωθερμικών ΑΘ είναι σχετικά χαμηλότερο και στις δύο κλιματικές ζώνες, καθώς στη μεν ζώνη Β υπάρχει μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΘ υψηλών θερμοκρασιών και των λεβήτων (φυσικού αερίου, πετρελαίου, βιομάζας), στη δε ζώνη Γ των ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών.

Η σχετική σημασία των PVs, SAS, συστημάτων σκίασης και των αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους για τη μείωση της PEC στα κτίρια πολυκατοικιών είναι παρόμοια με αυτή των κτιρίων μονοκατοικιών τα αναβαθμισμένα δομικά στοιχεία του κελύφους και τα PVs είναι απαραίτητα για την επίτευξη των επιπέδων nZEB και ιδίως NZEB, ενώ ακολουθούν τα συστήματα SAS και τα συστήματα σκίασης (Εικόνα 22). Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, η υπερίσχυση των ΑΘ οδηγεί σε υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης (75 %) των PVs στις περιοχές nZEB και NZEB της ζώνης Γ σε σύγκριση με τη ζώνη Β (40 %). Από την άλλη πλευρά, η αυξημένη κάλυψη του ZNX που επιτυγχάνεται από τα ηλιοθερμικά συστήματα σε κτίρια πολυκατοικιών, σε συνδυασμό με τη συνολικά αυξημένη εμφάνιση των συστημάτων θέρμανσης με λέβητες στη ζώνη Β, έχει ως αποτέλεσμα οι συχνότητες εμφάνισης των ηλιακών συστημάτων στις ζώνες Β και Γ να έχουν μια σχετικά μικρότερη διαφορά μεταξύ τους τόσο στην περιοχή nZEB όσο και στην περιοχή NZEB. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω της χαμηλότερης PEC στα κτίρια πολυκατοικιών, ο ρόλος των συστημάτων σκίασης στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περιορισμένος, καθώς οι παρατηρούμενες συχνότητες στις περιοχές nZEB και NZEB είναι χαμηλότερες και στις δύο ζώνες.

Σε ό, τι αφορά την ενεργειακή απόδοση των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (Εικόνα 23), σε αντίθεση με τις μονοκατοικίες, οι συχνότητες των σεναρίων με διαφορετικούς συντελεστές θερμοπερατότητας για τα κτίρια

πολυκατοικιών στις περιοχές nZEB και NZEB εμφανίζουν ισοκατανομή, με την εξαίρεση της σχετικής επικράτησης των αναβαθμισμένων παραθύρων στην περιοχή NZEB της κλιματικής ζώνης Γ. Επομένως, τα υψηλής ποιότητας υλικά (BEMs) με πολύ χαμηλούς συντελεστές θερμοπερατότητας σε πολλαπλά δομικά στοιχεία του κελύφους δεν αποτελούν γενικά αποφασιστικό παράγοντα για την επίτευξη των επιπέδων PEC που απαιτούνται για nZEB και NZEB στην περίπτωση των πολυκατοικιών. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη συνολικά χαμηλότερη PEC των κτιρίων πολυκατοικιών, καθώς και στη σημαντική διείσδυση των σεναρίων με ΑΘ - PVs (ιδίως στην περίπτωση της κλιματικής ζώνης Γ) στις περιοχές nZEB και NZEB, που συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Μόνο εντός της περιοχής NZEB στην κλιματική ζώνη Γ, η διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων υψηλών και μεσαίων συντελεστών θερμοπερατότητας αποκτά κάποια βαρύτητα, αν και όχι σε αξιοσημείωτο μεγάλο βαθμό. Συνεπώς, μπορεί να παρατηρηθεί ότι είναι δυνατό να επιτευχθούν επίπεδα κατανάλωσης nZEB μέσω της εφαρμογής μεσαίου επιπέδου μόνωσης, που είναι η επιβαλλόμενη από την ισχύουσα ελληνική νομοθεσία, σε συνδυασμό με την εγκατάσταση μονάδων αντλιών θερμότητας σε κτίρια. Μια τελευταία παρατήρηση όσον αφορά τα αποτελέσματα της Εικόνα 23 είναι ότι, αν και υπογραμμίζουν την ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα στην αναβάθμιση των παραθύρων στην κλιματική ζώνη Γ, προκειμένου να επιτευχθούν επίπεδα κατανάλωσης nZEB και ιδίως NZEB, δεν υποδεικνύουν σαφώς άλλες σημαντικές διαφορές στις σχετικές επιδόσεις των υπόλοιπων δομικών στοιχείων του κελύφους.

Λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης ειδικής ενέργειας των κτιρίων πολυκατοικιών, τα πολύ εξελιγμένα συστήματα αυτοματισμού της πρώτης κατηγορίας έχουν λιγότερο σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων για nZEB/NZEB, όπως προκύπτει από τις συγκριτικά μειωμένες συχνότητες εμφάνισης των αντίστοιχων σεναρίων στην Εικόνα 24. Επιπλέον, όπως στην περίπτωση των μονοκατοικιών, είναι δυνατόν να μειωθεί επαρκώς η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, ώστε να φτάσει σε επίπεδα nZEB/NZEB, με την εγκατάσταση αυτοματισμού της δεύτερης κατηγορίας. Τα σενάρια αυτά αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τρίτο των σεναρίων στις περιοχές nZEB/NZEB. Ακόμη, ένας σχετικά μικρός, πλην όμως σημαντικός αριθμός σεναρίων στις περιοχές nZEB και NZEB περιλαμβάνει τα προεπιλεγμένα συστήματα αυτοματισμού των κτιρίων αναφοράς (κατηγορία 1).

3.4.2 Μελέτες περιπτώσεων μεμονωμένων μέτρων ενεργειακής απόδοσης

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι, για τα κτίρια μονοκατοικιών, η αναβάθμιση του συστήματος αυτοματισμού από την κατηγορία Γ στην κατηγορία Β οδηγεί σε σημαντική μείωση της PEC του κτιρίου και σε μια μικρή πτώση του LCC, με εξαίρεση τις γεωθερμικές ΑΘ όπου παρατηρείται μια μικρή αύξηση στο LCC. Η αναβάθμιση δε της κατηγορίας αυτοματισμού από Γ σε Α οδηγεί σε ακόμη μεγαλύτερη μείωση της PEC (περίπου κατά 18 % σε σύγκριση με τα κτίρια

αναφοράς), ενώ το LCC είναι μόλις ελαφρώς υψηλότερο σε σύγκριση με το LCC της κατηγορίας B. Είναι προφανές βέβαια ότι η αποκλειστική αναβάθμιση των συστημάτων αυτοματισμού χωρίς την εφαρμογή πρόσθετων μέτρων δεν μπορεί να οδηγήσει σε επίπεδα PEC που να ικανοποιούν τους στόχους NZEB και nZEB, οι οποίοι μπορούν να επιτευχθούν μόνο με χρήση ανανεώσιμης ηλιακής ενέργειας μέσω της εγκατάστασης PVs και SAS.

Για τα κτίρια πολυκατοικιών, η αναβάθμιση της κατηγορίας αυτοματισμού από Γ σε Β οδηγεί σε μείωση της PEC περίπου κατά 10 %, η οποία είναι πιο ουσιαστική (σε απόλυτους όρους) για κτίρια που είναι εξοπλισμένα με λέβητες βιομάζας και πετρελαίου, λαμβάνοντας υπόψη την υψηλότερη ενεργειακή τους κατανάλωση. Η προαναφερόμενη μείωση της PEC συνοδεύεται από ελαφρά αύξηση του LCC (κατά 0,5 % περίπου). Περαιτέρω αναβάθμιση της κατηγορίας αυτοματισμού από Β σε Α έχει ως αποτέλεσμα μια επιπρόσθετη σχετική μείωση της PEC κατά 7 % (15 % σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς), πρακτικά με το ίδιο κόστος, και επομένως συνιστά μια οικονομικά αποδοτική στρατηγική για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Όπως βέβαια και στην περίπτωση των μονοκατοικιών, αποκλειστικά η αναβάθμιση του αυτοματισμού δεν επαρκεί για την επίτευξη των προτύπων NZEB. Είναι άξιο προσοχής, ωστόσο, ότι στα κτίρια αναφοράς που είναι εξοπλισμένα με λέβητες πετρελαίου ή φυσικού αερίου μπορεί να οδηγήσει σε επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης nZEB. Όπως έχει συζητηθεί προηγουμένως, οι τιμές θερμοπερατότητας των κτιρίων αναφοράς είναι οι βέλτιστες από άποψη κόστους-απόδοσης. Για τις μονοκατοικίες, όταν το κτιριακό κέλυφος αναβαθμίζεται με υλικά χαμηλότερων συντελεστών θερμοπερατότητας, το LCC αυξάνεται κατά 40-60 €/m², ενώ η PEC μειώνεται κατά 8-10 %. Ωστόσο, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην Εικόνα 26, η εν λόγω μείωση της PEC εξακολουθεί να είναι ανεπαρκής για την επίτευξη PEC στα επίπεδα NZEB.

Όσον αφορά τις πολυκατοικίες, η αναβάθμιση στο βασικό σενάριο των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (των οποίων οι τιμές U είναι πολύ κοντά στις τιμές βέλτιστου κόστους) οδηγεί σε πολύ μικρή μείωση της PEC (περίπου κατά 5 %). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, σε αντίθεση με ότι ισχύει στην περίπτωση των μονοκατοικιών, το LCC των κτιρίων πολυκατοικιών που είναι εξοπλισμένα με συστήματα ΑΘ (χαμηλών θερμοκρασιών και γεωθερμικές) ελαχιστοποιείται όταν λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία κελύφους με χαμηλή τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας. Τα παραπάνω εξηγούν γιατί τα σενάρια αυτά συνήθως εντάσσονται ταυτόχρονα στις περιοχές βέλτιστου κόστους και nZEB ή NZEB. Όπως και στην περίπτωση των μονοκατοικιών, η εφαρμογή των αναβαθμισμένων δομικών στοιχείων του κελύφους, παρά το γεγονός ότι αποτελεί βασική στρατηγική για την επίτευξη των στόχων για NZEB, πρέπει να συνδυάζεται με πρόσθετα μέτρα ενεργειακής απόδοσης (όπως η αναβάθμιση των συστημάτων αυτοματισμού και τα ΦΒ/SAS), προκειμένου να επιτευχθούν τα αναγκαία επίπεδα PEC.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην Εικόνα 27 για τα κτίρια μονοκατοικιών που είναι εξοπλισμένα με συστήματα λεβήτων (φυσικού αερίου, πετρελαίου και βιομάζας), η μεγαλύτερη μείωση PEC επιτυγχάνεται μέσω της εγκατάστασης SAS (περίπτωση 1). Το LCC υπό αυτές τις συνθήκες αυξάνεται κατά 50-80 €/m². Από την άλλη πλευρά, η εγκατάσταση ΦΒ (περίπτωση 2) οδηγεί σε χαμηλότερο LCC, αλλά υστερεί σε σχέση με τη μείωση PEC. Όπως αναμενόταν, η συνδυασμένη εγκατάσταση SAS και PVs (περίπτωση 3) οδηγεί στη χαμηλότερη PEC, συνοδεύεται όμως από σημαντική αύξηση του LCC. Γενικά, το ειδικό/συγκεκριμένο κόστος (€/kWh) της εξοικονόμησης ενέργειας, που αντιστοιχεί και στις τρεις περιπτώσεις, είναι περίπου παρόμοιο, οπότε εάν η μείωση της PEC αποτελεί τον πρωταρχικό στόχο των μέτρων απόδοσης, οι περιπτώσεις 1 και 3 είναι οι ενδεδειγμένες για αυτούς τους τύπους κτιρίων.

Στα κτίρια μονοκατοικιών, ωστόσο, που είναι εξοπλισμένα με ΑΘ, η μεγαλύτερη μείωση στην PEC επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση ΦΒ (περίπτωση 2) — λόγω του συστήματος ενεργειακού συμψηφισμού, όπως συζητήθηκε στις προηγούμενες ενότητες — μείωση που συνοδεύεται από μικρή αύξηση του LCC (κατά 20-30 €/m²). Εν τω μεταξύ, η εγκατάσταση SAS (περίπτωση 1) οδηγεί σε αύξηση του LCC χωρίς ουσιαστική μείωση της PEC. Τέλος, παρόλο που η περίπτωση 3 συνιστά το βέλτιστο σενάριο από την άποψη της μείωσης της PEC, τελικά έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του LCC. Άρα η περίπτωση 2 παρουσιάζει το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος ανά κιλοβατώρα (kWh) από την εξοικονόμηση PEC.

Η βασική διαφορά μεταξύ των κτιρίων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών έγκειται στο συνολικά χαμηλότερο LCC που συσχετίζεται με τα SAS στην περίπτωση των πολυκατοικιών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Επιπλέον, χάρη στα ιδιαίτερα ευνοϊκά από άποψη οικονομίας και ενεργειακής απόδοσης χαρακτηριστικά των ηλιοθερμικών συστημάτων στα κτίρια πολυκατοικιών, ο συνδυασμός PVs με SAS (περίπτωση 3) προσφέρει τη μεγαλύτερη δυνατή μείωση PEC και για τα κτίρια πολυκατοικιών που είναι εξοπλισμένα με ΑΘ. Η εγκατάσταση των απαιτούμενων ηλιακών συλλεκτών και PVs πάνελ στα δώματα των πολυκατοικιών, προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές τους ανάγκες, ενδέχεται να μην είναι εφικτή λόγω περιορισμένου χώρου. Στην περίπτωση αυτή, η εγκατάσταση μόνο των PVs (περίπτωση 2) αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή από άποψη ενεργειακής απόδοσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των περιπτώσιολογικών μελετών, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι και για τους δύο τύπους κτιρίων, μονοκατοικίες και πολυκατοικίες, η βέλτιστη στρατηγική για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από το σύστημα θέρμανσης (οι ΑΘ θα πρέπει να συνδυάζονται με ΦΒ και οι λέβητες με SAS), όπως έχει ήδη αναφερθεί. Για τα κτίρια μονοκατοικίας που είναι εξοπλισμένα με γεωθερμικές ΑΘ και αντλίες χαμηλών θερμοκρασιών, είναι δυνατόν να επιτευχθούν επίπεδα κατανάλωσης nZEB με την εγκατάσταση μόνο PVs. Αν και η προσθήκη μονωτικών υλικών με στόχο την επίτευξη δομικών στοιχείων με χαμηλή τιμή συντελεστή

θερμοπερατότητας μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση της PEC, δεν μπορεί να επιτύχει επίπεδα NZEB, ως μεμονωμένο μέτρο ενεργειακής απόδοσης. Μειώσεις της PEC μπορούν να επιτευχθούν περαιτέρω με την εγκατάσταση SAS, τα οποία ωστόσο συνεπάγονται πολύ υψηλότερο κόστος. Για τα κτίρια μονοκατοικιών με λέβητες, η μεμονωμένη εγκατάσταση SAS μπορεί να οδηγήσει σε επίπεδα NZEB με καλή σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Για κτίρια NZEB, όμως, απαιτείται τελικά η προσθήκη PVs, που επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το LCC. Τα παραπάνω σημεία αιτιολογούν την επικράτηση των σεναρίων με PVs - ΑΘ στην περιοχή βέλτιστου κόστους, τα οποία πληρούν ταυτόχρονα και τα κριτήρια NZEB.

Η συμπερίληψη των PVs είναι απολύτως αναγκαία για την πραγμάτωση των στόχων για επαρκή μείωση της PEC και την υλοποίηση των NZEBs και στην περίπτωση των πολυκατοικιών. Και ενώ στα κτίρια που είναι εξοπλισμένα με ΑΘ αρκεί απλώς η εγκατάσταση PVs, αυτή θα πρέπει να συμπληρώνεται από SAS και, ενδεχομένως, πρόσθετα μέτρα σε κτίρια με λέβητες. Όσον αφορά τα τελευταία, τα συστήματα SAS και κατά δεύτερο λόγο η αναβάθμιση των κατηγοριών αυτοματισμού αποτελούν τα πλέον αποδοτικά από πλευράς κόστους μέτρα για τη μείωση της PEC. Από την άλλη πλευρά, η αναβάθμιση των δομικών στοιχείων του κελύφους αποτελεί λιγότερο ελκυστική επιλογή, καθώς το αποτέλεσμα της περιορίζεται μόνο σε πολύ μικρή εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ αυξάνει ελαφρώς το LCC. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, εξάλλου, ότι γενικά ο συνδυασμός «ενεργητικών» μέτρων (όπως η αναβάθμιση της κατηγορίας αυτοματισμού) και συστημάτων με λέβητες έχει καλύτερη οικονομική απόδοση από ό,τι ο συνδυασμός τους με αντλίες θερμότητας, δεδομένου ότι τείνει να βελτιώνει συνολικά τη σχετικά κατώτερη εγγενή απόδοση του συστήματος. Από την άλλη πλευρά, «παθητικά» μέτρα, όπως η αναβάθμιση των δομικών στοιχείων του κελύφους, αποδίδουν καλύτερα από οικονομική άποψη όταν συνδυάζονται με συστήματα υψηλής απόδοσης, δηλαδή με ΑΘ χαμηλών θερμοκρασιών είτε με γεωθερμικές ΑΘ, παρά με συστήματα που βασίζονται σε λέβητες.

3.5 Συμπεράσματα

Τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης είναι τα εξής: οι λέβητες φυσικού αερίου αποτελούν το βέλτιστο από πλευράς κόστους σύστημα θέρμανσης για μονοκατοικίες, ακολουθούμενοι από τις αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών, ενώ το αντίστροφο ισχύει στην περίπτωση των πολυκατοικιών. Από την άλλη πλευρά, και για τους δύο τύπους κτιρίων, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και οι αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών εμφανίζουν την καλύτερη ενεργειακή απόδοση, ακολουθούμενες από τις αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (σε κτίρια μονοκατοικίας). Γενικά, τα συστήματα με βάση τις αντλίες θερμότητας τείνουν να είναι περισσότερο ανταγωνιστικά από άποψη κόστους όταν αυξάνονται τα θερμικά/ψυκτικά φορτία, όπως συμβαίνει

σε κλίματα με δριμύτερους χειμώνες και στην περίπτωση των κτιρίων πολυκατοικιών. Τα φωτοβολταϊκά είναι σε κάθε περίπτωση απαραίτητα για την επίτευξη επιπέδων κατανάλωσης κτιρίου μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, και η συμβολή τους προς τον σκοπό αυτό ενισχύεται ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με αντλίες θερμότητας, καθώς μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση/ψύξη, λόγω των συστημάτων ενεργειακού συμψηφισμού. Από οικονομική άποψη, ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά δεν αποτελούν ελκυστική επιλογή, καθώς χαρακτηρίζονται από αυξημένο κόστος κύκλου ζωής. Η μερική (ενός τουλάχιστον) αναβάθμιση των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους είναι μια επίσης αναγκαία αλλά όχι επαρκής συνθήκη για την επίτευξη των στόχων για κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ισχύουσες προδιαγραφές των δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους, που προβλέπονται από την ελληνική νομοθεσία, είναι ικανές να οδηγήσουν σε πολύ καλές οικονομικές αλλά και ενεργειακές αποδόσεις, καθώς οι συντελεστές θερμοπερατότητάς τους βρίσκονται κοντά στα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα. Τέλος, εν αντιθέσει με τις μονοκατοικίες, η εγκατάσταση ηλιακά υποβοηθούμενων συστημάτων μπορεί να είναι μια πολύ ανταγωνιστική από άποψη κόστους επιλογή για τα κτίρια πολυκατοικιών που είναι εξοπλισμένα με λέβητες, δεδομένου ότι η εγκατάσταση μιας μεγάλης κεντρικής δεξαμενής αποθήκευσης οδηγεί σε βελτιωμένη απόδοση, ενώ παράλληλα διαθέτει θετικά χαρακτηριστικά οικονομίας κλίμακας.

Οι χρηματοοικονομικές διαφορές μεταξύ των κτιρίων βέλτιστου κόστους και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου υπολογίστηκαν σε 37-101 €/m² και 6.3-133 €/m², ανάλογα με την κλιματική ζώνη, για τις μονοκατοικίες και πολυκατοικίες αντίστοιχα. Θα πρέπει να σημειωθεί ακόμη πως οι σε μεγάλο βαθμό διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες μεταξύ των διαφόρων κλιματικών ζωνών επηρεάζουν σημαντικά τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων και πρέπει να αντιμετωπιστούν με τον καθορισμό ευέλικτων και τοπικά προσαρμοσμένων προτύπων κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, όπως υποδεικνύουν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, όπου μόλις ένας πολύ περιορισμένος αριθμός σεναρίων εμπίπτει στην περιοχή κτιρίου μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου στην κλιματική ζώνη Γ.

3.6 Βιβλιογραφία

- [3.1] European Commission. Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings Report from the Commission to the European Parliament and the Council. 2011.
- [3.2] Eurostat European Commission. Energy, transport and environment indicators. 2012.

- [3.3] Attia S. Chapter 1 - Introduction to NZEB and Market Accelerators. In: Attia S., editor. Net Zero Energy Buildings (NZEB): Butterworth-Heinemann; 2018. p. 1-20.
- [3.4] European Commission. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. 2011.
- [3.5] The European Parliament and the Council of the European Union. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union. 2010.
- [3.6] The European Parliament and the Council of the European Union. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and the Council on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Official Journal of the European Union. 2012.
- [3.7] The European Parliament and the Council of the European Union. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 2018.
- [3.8] The European Parliament and the Council of the European Union. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 2018.
- [3.9] Attia S, Eleftheriou P, Xeni F, Morlot R, Ménézo C, Kostopoulos V, et al. Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe. Energy and Buildings. 2017;155:439-58.
- [3.10] Attia S. Chapter 12 - Roadmap for NZEB Implementation. In: Attia S., editor. Net Zero Energy Buildings (NZEB): Butterworth-Heinemann; 2018. p. 343-69.
- [3.11] European Commission. Towards nearly zero energy buildings: Definition of common principles under the EPBD. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf. 2013.
- [3.12] Sesana MM, Salvalai G. Overview on life cycle methodologies and economic feasibility for nZEBs. Building and Environment. 2013;67:211-6.

- [3.13] Paduos S, Corrado V. Cost-optimal approach to transform the public buildings into nZEBs: an European cross-country comparison. *Energy Procedia*. 2017;140:314-24.
- [3.14] Baglivo C, Congedo PM, D'Agostino D, Zacà I. Cost-optimal analysis and technical comparison between standard and high efficient mono-residential buildings in a warm climate. *Energy*. 2015;83:560-75.
- [3.15] Kampelis N, Gobakis K, Vagias V, Kolokotsa D, Standardi L, Isidori D, et al. Evaluation of the performance gap in industrial, residential & tertiary near-Zero energy buildings. *Energy and Buildings*. 2017;148:58-73.
- [3.16] D'Agostino D, Parker D. A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBs) in representative climates across Europe. *Energy*. 2018;149:814-29.
- [3.17] Hamdy M, Hasan A, Siren K. A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010. *Energy and Buildings*. 2013;56:189-203.
- [3.18] Silva SM, Mateus R, Marques L, Ramos M, Almeida M. Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2016;156:59-74.
- [3.19] Becchio C, Dabbene P, Fabrizio E, Monetti V, Filippi M. Cost optimality assessment of a single family house: Building and technical systems solutions for the nZEB target. *Energy and Buildings*. 2015;90:173-87.
- [3.20] Ascione F, Bianco N, De Masi RF, Dousi M, Hionidis S, Kaliakos S, et al. Design and performance analysis of a zero-energy settlement in Greece. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2017;12:141-61.
- [3.21] Kurnitski J, Saari A, Kalamees T, Vuolle M, Niemelä J, Tark T. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*. 2011;43:3279-88.
- [3.22] Huang P, Huang G, Sun Y. A robust design of nearly zero energy building systems considering performance degradation and maintenance. *Energy*. 2018;163:905-19.
- [3.23] Hamdy M, Sirén K, Attia S. Impact of financial assumptions on the cost optimality towards nearly zero energy buildings – A case study. *Energy and Buildings*. 2017;153:421-38.

- [3.24] Danza L, Belussi L, Guazzi G, Meroni I, Salamone F. Durability of technologies in the keeping of ZEB's performances. *Energy Procedia*. 2018;148:138-45.
- [3.25] D'Agostino D, Marino C, Minichiello F, Russo F. Obtaining a NZEB in Mediterranean climate by using only on-site renewable energy: is it a realistic goal? *Energy Procedia*. 2017;140:23-35.
- [3.26] Buso T, Becchio C, Corgnati SP. NZEB, cost- and comfort-optimal retrofit solutions for an Italian Reference Hotel. *Energy Procedia*. 2017;140:217-30.
- [3.27] Huang P, Sun Y. A clustering based grouping method of nearly zero energy buildings for performance improvements. *Applied Energy*. 2019;235:43-55.
- [3.28] Jung N, Paiho S, Shemeikka J, Lahdelma R, Airaksinen M. Energy performance analysis of an office building in three climate zones. *Energy and Buildings*. 2018;158:1023-35.
- [3.29] Paiho S, Pulakka S, Knuuti A. Life-cycle cost analyses of heat pump concepts for Finnish new nearly zero energy residential buildings. *Energy and Buildings*. 2017;150:396-402.
- [3.30] Pallis P, Gkonis N, Varvagiannis E, Braimakis K, Karellas S, Katsaros M, et al. Cost effectiveness assessment and beyond: A study on energy efficiency interventions in Greek residential building stock. *Energy and Buildings*. 2019;182:1-18.
- [3.31] Attia S. Chapter 2 - Evolution of Definitions and Approaches. In: Attia S., editor. *Net Zero Energy Buildings (NZEB)*: Butterworth-Heinemann; 2018. p. 21-51.
- [3.32] European Committee for Standardization. *Energy Performance of Buildings. Impact of Building Automation, Controls and Building Management. Modules. BS EN 15232-1:2017*. 2017.
- [3.33] The European Parliament and the Council of the European Union. *European Commission Delegated Regulation No 244/2012*. 2012.
- [3.34] European Commission. *Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements (2012/C 115/01)*. Official Journal of the European Union. 2012;55.

- [3.35] Greek Ministry of Environment and Energy. Report on the determination of cost optimal levels of minimum energy efficiency requirements for buildings and structural elements, <https://ec.europa.eu/energy/en/content/eu-countries-2013-cost-optimal-reports-part-1>. 2016.
- [3.36] Ministry of Environment and Energy. Approval and implementation of Technical Directives of the Technical Chamber of Greece for the Energy Efficiency of Buildings. Official Greek Government Gazette 2618/23102014/ΦΕΚ 2945B/2014. 2014.
- [3.37] Ministry of Environment and Energy. Approval of Energy Performance of Buildings Regulation. Official Government Gazette of the Hellenic Parliament. 2017;2367.
- [3.38] Technical Chamber of Greece. Technical Directive: Analytical National Specifications of the parameters for the calculation of the building energy performance and issuing of energy certificates. <http://portalteegr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%C5%C5-2ndpdf>. 2017.
- [3.39] European Committee for Standardization. EN 15459-1:2017: Energy performance of buildings. Impact of building automation, controls and building management. BS EN 15232:2007. 2007.
- [3.40] Kakaras E, Karellas S, Vourliotis P, Pallis P, Gkonis N, Sarafianos D, et al. Comparative study of the techno-economic results of different energy efficiency measures in the new Greek building stock, http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/sites/default/files/LSBTP_ZEB_ver1.pdf. Laboratory of Steam Boilers and Thermal Plants, School of Mechanical Engineering, National Technical University of Athens, Greece. 2017.
- [3.41] Hellenic Statistical Authority. <http://www.statistics.gr/>.
- [3.42] European Committee for Standardization. EN 13790:2008: Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling. <https://www.ceneu/Pages/default.aspx>.
- [3.43] The Buildings Performance Institute Europe, Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. http://bpieeu/wp-content/uploads/2015/10/Implementing_Cost_Optimality.pdf. 2016.
- [3.44] General Secretariat for Energy and Climate Change of Greece. <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=345&locale=en-US&language=el-GR>.
- [3.45] <https://www.psem.gr>. Panhellenic Association of Insulation Companies.
- [3.46] <http://www.ebhe.gr/>. Solar Energy Industrial Association.

- [3.47] <http://www.uhhe.gr>. Hellenic Association of Heating and Energy Companies.
- [3.48] <https://www.daikin.gr>. Daikin Europe NV.
- [3.49] <http://www.povas.gr/>. Panhellenic Federation of Aluminum and Iron SMEs.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

4 Υποστήριξη διαμόρφωσης Εθνικών Σχεδίων Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης

4.1 Εισαγωγή

Η ενεργειακή απόδοση καταλαμβάνει θέση ενεργειακού πόρου μείζονος σημασίας στο πλαίσιο των εθνικών και διεθνών προσπαθειών για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας [4.1]. Στην Ευρώπη, η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης έχει καίριο ρόλο για την αντιμετώπιση μελλοντικών προκλήσεων στην περιοχή, όσον αφορά την ασφάλεια του εφοδιασμού, την κλιματική αλλαγή, την απασχόληση, την ανάπτυξη και την ανταγωνιστικότητα [4.2]. Η μείωση της ενεργειακής ζήτησης και η αρχή «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση» αποτελούν, επομένως, έναν από τους κύριους στόχους της Ενεργειακής Ένωσης [4.3]. Στην περίπτωση της Ελλάδας ειδικότερα, η ενεργειακή πολιτική με επίκεντρο την ενεργειακή απόδοση έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά στην οικονομική ανάκαμψη της χώρας (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2017), να μειώσει την ενεργειακή φτώχεια, καθώς και να ενισχύσει και ενδυναμώσει περαιτέρω τις ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, μέσα από την προώθηση της ανταγωνιστικότητας και της βιωσιμότητας [4.4].

Η μετάβαση σε μια ενεργειακά αποδοτικότερη οικονομία προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία επανασχεδιασμού του πλαισίου της πολιτικής για το κλίμα, απαιτεί όμως τον καθορισμό και την υλοποίηση νέων στρατηγικών από τα εθνικά κέντρα λήψης αποφάσεων για την κλιματική αλλαγή. Τα μοντέλα και οι μέθοδοι της επιχειρησιακής έρευνας έχουν εφαρμοστεί ευρέως για την υποστήριξη της χάραξης πολιτικής προς την κατεύθυνση αυτή. Στις μεθοδολογίες υποστήριξης αποφάσεων στο πεδίο της ενέργειας συγκαταλέγονται, μεταξύ άλλων, οι προσεγγίσεις της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων (MCDA) [[4.6], [4.7]] και οι μέθοδοι βελτιστοποίησης με χρήση μαθηματικού προγραμματισμού [4.8]. Οι προσεγγίσεις πολυστοχικής βελτιστοποίησης και MCDA έχουν καταστεί απαραίτητες για την αντιμετώπιση προβλημάτων σχετικών με τη βιώσιμη ενέργεια, ιδίως λόγω των οργανωτικών προκλήσεων που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι ενεργειακές αγορές και των συγκρούσεων που ανακύπτουν μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών [[4.9]-[4.11]].

Από την άλλη πλευρά, η αβέβαιη οικονομική δυναμική της αγοράς ενέργειας, η γεωπολιτική αστάθεια και οι ευμετάβολες χρηματοπιστωτικές αγορές θέτουν σοβαρές προκλήσεις στον σχεδιασμό εύρωστων ενεργειακών μοντέλων [4.12]. Ως εκ τούτου, οι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής έρχονται αντιμέτωποι με ένα μείγμα κινδύνων πολιτικού, οικονομικού, ρυθμιστικού, κοινωνικού, τεχνολογικού και περιβαλλοντικού χαρακτήρα, κατά τον σχεδιασμό στρατηγικών ενεργειακής

πολιτικής [[4.13]-[4.22]]. Σε μια αναλυτική ανασκόπηση της εννοιολογίας του κινδύνου, ο Aven [4.23] προσδιορίζει εκτενώς τις προοπτικές και τις προσεγγίσεις εννοιολόγησης, αξιολόγησης και διαχείρισης κινδύνων. Στο πεδίο του ενεργειακού σχεδιασμού, οι Ioannou et al. [4.24] παρέχουν μια επισκόπηση των μεθόδων μοντελοποίησης κινδύνων και αβεβαιοτήτων, ενσωματώνοντας και την οπτική των ενδιαφερόμενων μερών.

Υπό το πρίσμα των προαναφερόμενων προκλήσεων, η παρούσα συνιστώσα αποσκοπεί στην υποστήριξη του σχεδιασμού πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, στο οποίο η μοντελοποίηση των ενεργειακών συστημάτων συνδυάζεται με ένα πολυκριτηριακό μοντέλο εκτίμησης κινδύνου και με μια πολυστοχική βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου. Οι επιδόσεις των παραγόμενων βέλτιστων χαρτοφυλακίων πολιτικών ενεργειακής απόδοσης υπόκεινται περαιτέρω σε stress test απέναντι στην αβεβαιότητα. Τα εμπειρικά ευρήματα τα εφαρμογής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν την Ελλάδα να αναδιαρθρώσει το Εθνικό της Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση (ΕΣΔΕΑ) έως το 2020, προτείνοντας ένα μείγμα πολιτικών που στο σύνολό του επιτρέπει την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προσέγγιση της επίτευξης των εθνικών στόχων εξοικονόμησης ενέργειας για το 2020, με παράλληλη ελαχιστοποίηση του κόστους και του αντίκτυπου των υποκείμενων κινδύνων, και λαμβάνοντας υπόψη ένα πλήθος περιορισμών ως προς την υλοποίηση, την εφικτότητα και τον προϋπολογισμό. Ταυτόχρονα, αναγνωρίζοντας τον σημαντικό ρόλο των εμπειρογνομόνων των εμπλεκόμενων φορέων για τη γεφύρωση των κενών γνώσης [4.25], υπήρξε εκτενής συμμετοχή ειδικών, προκειμένου να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι εφαρμογής από τη σκοπιά των ιθυνόντων για τη χάραξη πολιτικής.

Η Ενότητα 4.2 παρέχει βιβλιογραφική ανασκόπηση των σχετικών μελετών, σκιαγραφώντας τις επιστημονικές καινοτομίες της προτεινόμενης προσέγγισης. Το μεθοδολογικό πλαίσιο δίνεται στην Ενότητα 4.3 και περιλαμβάνει ένα πολυκριτηριακό μοντέλο ανάλυσης αποφάσεων (multiple-criteria decision model) για την εκτίμηση κινδύνου, μια μεθοδολογία διστοχικού προγραμματισμού για την εξαγωγή του συνόλου των κατά Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων και εφαρμογή της προσομοίωσης Monte Carlo (MC) για την ανάλυση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης. Η προσέγγιση της εφαρμογής που θα ακολουθήσει επεξηγείται στην Ενότητα 4.4 ενώ η εφαρμογή και τα σημαντικότερα ευρήματα συζητώνται στην Ενότητα 4.5. Τέλος, στην Ενότητα 4.6 γίνονται ορισμένες συμπερασματικές παρατηρήσεις και επισημάνσεις συνεπειών για την αναλυόμενη πολιτική.

4.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Διάφορες μελέτες έχουν διερευνήσει τη χρήση της ανάλυσης χαρτοφυλακίων (PA) στον τομέα της ενέργειας — αναλυτική επισκόπηση των μελετών αυτών

γίνεται από τους Bazilian and Roques [4.26] , Pérez Odeh et al. [4.27], και Zhang and Chen [4.12]. Μόνο λίγες μελέτες όμως συμπεριέλαβαν παράγοντες κινδύνου και αβεβαιότητες στην πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση ενεργειακών χαρτοφυλακίων, οι σημαντικότερες εκ των οποίων συνοψίζονται στους Πίνακες Π. 31, Π. 32 και Π. 33. Στην πλειονότητά τους, οι μελέτες αυτές αντιμετωπίζουν την αβεβαιότητα ντετερμινιστικά, με χρήση σεναρίων, ενώ μόνο δύο μελέτες έχουν συνδυάσει τεχνικές ανάλυσης κινδύνου, ανάλυσης χαρτοφυλακίου και ανάλυσης ευρωστίας με στοχαστική αβεβαιότητα. Πιο σποραδική ακόμη είναι η συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών στην αξιολόγηση ενεργειακών χαρτοφυλακίων. Ο Bistline [4.29] χρησιμοποιεί εμπειρικές πληροφορίες που προέρχονται από εμπειρογνώμονες για να παραμετροποιήσει ένα στοχαστικό μοντέλο προγραμματισμού για την αποτίμηση της έρευνας και ανάπτυξης στην ενεργειακή τεχνολογία. Στο πεδίο της ενεργειακής απόδοσης, οι Togeby et al. [4.36] ενέταξαν τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών στη διαδικασία αξιολόγησης του χαρτοφυλακίου ενεργειακής πολιτικής της Δανίας· η εργασία τους ωστόσο περιορίζεται στη βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου, χωρίς να δίνεται έμφαση στις έννοιες του κινδύνου και της ευρωστίας που αναλύονται λεπτομερώς στην έρευνά μας.

Π. 31 Συμβολές στην έρευνα που συνδυάζουν ανάλυση κινδύνου, ανάλυση χαρτοφυλακίου, ανάλυση ευρωστίας και συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών.

| Συγγραφείας | Ανάλυση κινδύνου | Ανάλυση χαρτοφυλακίου | Ανάλυση ευρωστίας | Συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|
| Allan et al., 2011 | | √ | Ντετερμινιστική | |
| Bistline, 2016 | | √ | Στοχαστική | √ |
| Bukarica and Tomšić, 2017 | √ | | | |
| Deluque et al., 2018 | √ | √ | Στοχαστική | |
| Huang and Wu, 2008 | √ | √ | Ντετερμινιστική | |
| Jackson, 2010 | √ | | Στοχαστική | |
| Marrero et al., 2015 | √ | √ | Ντετερμινιστική | |
| Muñoz et al., 2009 | √ | √ | Ντετερμινιστική | |
| Thollander et al., 2007 | √ | | | |
| Togeby et al., 2012 | | √ | | √ |
| Vithayasrichareon and MacGill, 2012a | | √ | Ντετερμινιστική | |
| Zhu and Fan, 2010 | √ | √ | Ντετερμινιστική | |

| Συγγραφέας | Ανάλυση κινδύνου | Ανάλυση χαρτοφυλακίου | Ανάλυση ευρωστίας | Συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|
| Losekann et al., 2013 | √ | √ | | Ντετερμινιστική |
| García and Morales-Acevedo, 2014 | | √ | | Ντετερμινιστική |
| Bhattacharya and Kojima, 2012 | √ | √ | | Στοχαστική |
| Arnesano et al., 2012 | √ | √ | | Ντετερμινιστική |
| Awerbuch et al., 2003 | √ | √ | | Ντετερμινιστική |
| Vithayasrichareon and MacGill, 2012b | √ | √ | | Στοχαστική |
| Tang and Hill, 2018 | | | | |
| Escribano Francés et al., 2013 | √ | √ | | |

Π. 32 Πεδίο εφαρμογής προηγούμενων ερευνών στη βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου υπό συνθήκες αβεβαιότητας.

| Συγγραφέας | Τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας | Ενεργειακή απόδοση | Ενεργειακή πολιτική | Ενεργειακή τεχνολογία – έρευνα και ανάπτυξη |
|---------------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|---|
| | Τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων | Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | | |
| Allan et al., 2011 | √ | √ | | |
| Bistline, 2016 | | | | √ |
| Bukarica and Tomšić, 2017 | | | Αγορά ενεργειακής απόδοσης | |
| Deluque et al., 2018 | √ | √ | | |
| Huang and Wu, 2008 | √ | √ | | |
| Jackson, 2010 | | | Επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση | |
| Marrero et al., 2015 | √ | √ | | Μείγμα καυσίμων |

| Συγγραφέας | Τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας | Ενεργειακή απόδοση | Ενεργειακή πολιτική | Ενεργειακή τεχνολογία – έρευνα και ανάπτυξη |
|--------------------------------------|--|-----------------------------|--|---|
| | Τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων | Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | | οδικών μεταφορών |
| Muñoz et al., 2009 | | √ | | |
| Thollander et al., 2007 | | | Πολιτικές ενεργειακής απόδοσης για μικρομεσαίες επιχειρήσεις | |
| Togeby et al., 2012 | | | Πολιτικές ενεργειακής απόδοσης | |
| Vithayasrichareon and MacGill, 2012a | √ | | | |
| Zhu and Fan, 2010 | √ | | | |
| Losekann et al., 2013 | √ | √ | | |
| García and Morales-Acevedo, 2014 | √ | √ | | |
| Bhattacharya and Kojima, 2012 | √ | √ | | |
| Arnesano et al., 2012 | | √ | | |
| Awerbuch et al., 2003 | √ | √ | | |
| Vithayasrichareon and MacGill, 2012b | √ | | | |
| Tang and Hill, 2018 | | | Διακυβερνητικές επιχορηγήσεις για την ενεργειακή απόδοση | |
| Escribano Francés et al., 2013 | | | | Μεσογειακό Σχέδιο Ηλιακής |

| | | | | |
|------------|--|-----------------------------|---------------------|---|
| Συγγραφέας | Τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας | Ενεργειακή απόδοση | Ενεργειακή πολιτική | Ενεργειακή τεχνολογία – έρευνα και ανάπτυξη |
| | Τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων | Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | | |
| | | | | Ενέργειας της ΕΕ |

Π. 33 Εφαρμογή της βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου σε διαφορετικές περιοχές και χρονικές κλίμακες. | | Γεωγραφική και χρονική διασπορά εφαρμογών βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου

| Συγγραφέας | Εστίαση | | Χρονικός ορίζοντας | |
|--------------------------------------|--|----------|--------------------------|-----------------------------|
| | Περιφερειακή | Εθνική | Τομεακή | Μεσοπρόθεσμο-μακροπρόθεσμος |
| Allan et al., 2011 | | Σκωτία | | 2007-2020 |
| Bistline, 2016 | ΗΠΑ | | | 2010-2050 |
| Bukarica and Tomšić, 2017 | | | | |
| Deluque et al., 2018 | ΗΠΑ Καλιφόρνια, Κολοράντο, Τζόρτζια, Πενσυλβάνια | | | x |
| Huang and Wu, 2008 | | Ταϊβάν | | 2006-2025 |
| Jackson, 2010 | | | Κτίριο γραφείων στις ΗΠΑ | |
| Marrero et al., 2015 | Χώρες του ΟΟΣΑ | | | |
| Muñoz et al., 2009 | | Ισπανία | | 2005-2010 |
| Thollander et al., 2007 | | Σουηδία | | |
| Togebye et al., 2012 | | Δανία | | 2005-2008 |
| Vithayasrichareon and MacGill, 2012a | Παγκόσμια | | | |
| Zhu and Fan, 2010 | | Κίνα | | 2010-2020 |
| Losekann et al., 2013 | | Βραζιλία | | 2010-2020 |
| García and Morales-Acevedo, 2014 | | Μεξικό | | 2010-2050 |
| Bhattacharya and Kojima, 2012 | | Ιαπωνία | | 2010-2020 |
| Arnesano et al., 2012 | | Ιταλία | | 2010-2020/2010-2030 |
| Awerbuch et al., 2003 | ΕΕ | | | 2000-2010 |
| Vithayasrichareon and MacGill, 2012b | | Ταϊλάνδη | | 2010-2030 |
| Tang and Hill, 2018 | ΗΠΑ | | | |
| Escribano Francés et al., 2013 | ΕΕ | | | 2008-2020 |

Όπως προκύπτει από την παραπάνω επισκόπηση, και από όσο γνωρίζουμε, καμία προηγούμενη εργασία δεν έχει παρουσιάσει και εφαρμόσει μια προσέγγιση στη βάση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου, η οποία να ενσωματώνει τη γνώση των ενδιαφερόμενων μερών, την πολυκριτηριακή αξιολόγηση κινδύνου και την ανάλυση ευρωστίας στο πεδίο της ενεργειακής απόδοσης, καθώς και ότι δεν έχει εφαρμοστεί στην Ελλάδα κανένα εύρωστο μοντέλο ανάλυσης χαρτοφυλακίου βάσει κινδύνου, στην ευρύτερη σφαίρα της ενεργειακής πολιτικής και του ενεργειακού σχεδιασμού.

Επιπλέον, μια άλλη καινοτομία ως προς την εφαρμογή της παρούσας μελέτης έγκειται στην αξιοποίηση ενός τέτοιου ολοκληρωμένου μοντέλου — βασισμένο σε ένα εύρωστο χαρτοφυλάκιο, με επαλήθριο τα ενδιαφερόμενα μέρη και προσανατολισμένο στην εκτίμηση κινδύνου — για την επιστημονική τεκμηρίωση της προετοιμασίας του 4ου ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας και του ανασχεδιασμού του εθνικού πλαισίου πολιτικής για την ενεργειακή απόδοση. Με την εξαίρεση των Togety et al. [4.36], αντικείμενο της εργασίας των οποίων ήταν η υποστήριξη του σχεδιασμού νέων φόρων και κινήτρων, παραβλέποντας όμως εντελώς τις έννοιες του κινδύνου και της ευρωστίας, όλα τα άλλα ερευνητικά άρθρα της βιβλιογραφίας που αφορά σε πολιτικές διενήργησαν εκ των υστέρων (ex-post) ανάλυση των μέτρων ενεργειακής απόδοσης (συγκεκριμένα οι Banerjee and Solomon [4.47], · Ribeiro [4.48], · Tang and Hill [4.45], · Thoyre [4.49], · Vine et al., [4.50]).

4.3 Πλαίσιο της μελέτης

Σε περιφερειακό επίπεδο, η ΕΕ αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις όσον αφορά την ανάγκη αντιμετώπισης τόσο της κλιματικής αλλαγής όσο και μιας αυξανόμενης εξάρτησης από εισαγωγές ενέργειας, εξαιτίας των περιορισμένων ενεργειακών της πόρων. Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης αποτελεί το κλειδί για την αντιμετώπιση αυτών των μελλοντικών προκλήσεων, ιδίως εάν αναλογιστεί κανείς το σημερινό οικονομικό περιβάλλον. Οι πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση μπορούν να ωφελήσουν τους τελικούς χρήστες όσον αφορά το κόστος των λογαριασμών ενέργειας, καθώς και να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και να ενισχύσουν την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, την ανταγωνιστικότητα, την οικονομική βιωσιμότητα και τη δημιουργία θέσεων εργασίας. Στο πλαίσιο αυτό, έχει τεθεί για την ΕΕ ένας συνολικός στόχος εξοικονόμησης 20% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας έως το 2020, ο οποίος αναθεωρήθηκε σε 30% έως το 2030 [4.3].

Για καλύτερο απολογισμό της προόδου, κρίθηκε σκόπιμο οι εθνικές δεσμεύσεις και οι σχετικοί μηχανισμοί να προτείνονται και να επικαιροποιούνται σε τακτική βάση. Προς αυτήν την κατεύθυνση, ζητήθηκε από τα κράτη μέλη να υποβάλουν εθνικά ΣΔΕΑ, με σκοπό την υιοθέτηση πολιτικών, δεσμεύσεων και στρατηγικών σε όλους τους τομείς της κατανάλωσης τελικής και πρωτογενούς ενέργειας,

καθώς και να παρέχουν εκτιμήσεις για τις αναμενόμενες και τις επιτυγχανόμενες εξοικονομήσεις ενέργειας (οδηγία 2012/27/ΕΕ). Κάθε ΕΣΔΕΑ χρησιμεύει ως ένα εργαλείο ενεργειακής πολιτικής, που συντελεί στη συγκέντρωση συνολικών και συγκριτικών αποτελεσμάτων, προς μια κοινή και αποτελεσματική ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική.

Στην Ελλάδα, το τρίτο ΕΣΔΕΑ υποβλήθηκε τον Δεκέμβριο του 2014 (σε συνέχεια των προηγούμενων που υποβλήθηκαν το 2008 και το 2011), ως το πρώτο εθνικό σχέδιο δράσης που καταρτίστηκε στα πλαίσια της οδηγίας 2012/27/ΕΕ. Ο εθνικός στόχος ενεργειακής απόδοσης για το 2020 (για επίτευξη εξοικονόμησης της τάξης του 20% σε ευρωπαϊκό επίπεδο) καθορίστηκε σε 18,4 Mtoe τελικής ενεργειακής κατανάλωσης, 24,7 Mtoe κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και 0,081 και 0,109 ktoe/€ ενεργειακής έντασης της κατανάλωσης τελικής και πρωτογενούς ενέργειας αντίστοιχα. Οι στόχοι ετήσιας και σωρευτικής ενεργειακής εξοικονόμησης για το 2020, οι οποίοι αναφέρονται στην τελική κατανάλωση ενέργειας, παρουσιάζονται στον Π. 34.

Π. 34 Εθνικοί στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας για την Ελλάδα, 2014-2020 (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2014).

| Έτος | Ετήσια εξοικονόμηση (ktoe) | | | | | | | Συνολική ετήσια εξοικονόμηση (ktoe) |
|-------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------------------------------------|
| 2014 | 100.2 | | | | | | | 100.2 |
| 2015 | 100.2 | 100.2 | | | | | | 200.5 |
| 2016 | 100.2 | 100.2 | 125.3 | | | | 325.8 | |
| 2017 | 100.2 | 100.2 | 125.3 | 125.3 | | | 451.0 | |
| 2018 | 100.2 | 100.2 | 125.3 | 125.3 | 150.3 | | 601.4 | |
| 2019 | 100.2 | 100.2 | 125.3 | 125.3 | 150.3 | 150.3 | | 751.7 |
| 2020 | 100.2 | 100.2 | 125.3 | 125.3 | 150.3 | 150.3 | 150.3 | 902.1 |
| Σωρευτική εξοικονόμηση | | | | | | | | 3,332.7 |

Οι ενδιάμεσες περίοδοι που έχουν καθοριστεί για τη διασφάλιση και τον έλεγχο της προόδου ήταν οι εξής: α) 2014-2015, με ενδιάμεσο σωρευτικό στόχο εξοικονομούμενων 300.7 ktoe (3.5 TWh), και β) 2016-2018, με στόχο την εξοικονόμηση 1768.9 ktoe (19.5 TWh) [4.51]. Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί, το ΕΣΔΕΑ υιοθέτησε 18 μέτρα πολιτικής για την επίτευξη της ενεργειακής απόδοσης αποκλειστικά σε επίπεδο τελικής κατανάλωσης, χωρίς επιβολή υποχρεωτικών μέτρων για τους πωλητές και τους διανομείς ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση που υπέβαλε το ελληνικό Υπουργείο

Περιβάλλοντος και Ενέργειας σχετικά με την πρόοδο που επιτεύχθηκε για το έτος 2015, διαπιστώθηκε αρνητική απόκλιση 36% (ή 108,4 ktoe) από τον ενδιάμεσο στόχο [4.52], με αποτέλεσμα να απαιτούνται επιπλέον προσπάθειες μετριασμού της απόκλισης, για την ευθυγράμμιση της προόδου με τον στόχο. Οι προσπάθειες αυτές συνιστούν το πλαίσιο της παρούσας μελέτης, στόχος της οποίας είναι η υποστήριξη της ανασύνθεσης των μέτρων πολιτικής και του προσδιορισμού του βέλτιστου χαρτοφυλακίου πολιτικής, χωρίς να παραβλέπονται οι περιορισμοί που απορρέουν από τον εκάστοτε διαθέσιμο προϋπολογισμό ή οι συναρτώμενοι προς την υλοποίηση, των μέτρων/πολιτικών, κίνδυνοι και αβεβαιότητες.

4.4 Η προσέγγιση που υιοθετείται

4.4.1 Διατύπωση του προβλήματος

Ως πρώτο βήμα του προτεινόμενου πλαισίου για τη βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου θα πρέπει να καθοριστεί το μοντέλο διστοχικού μαθηματικού προγραμματισμού. Τα δύο κριτήρια βελτιστοποίησης (αντικειμενικές συναρτήσεις) είναι: 1) μεγιστοποίηση της ενεργειακής εξοικονόμησης του χαρτοφυλακίου και 2) ελαχιστοποίηση του αθροιστικού κινδύνου του χαρτοφυλακίου. Το πρόβλημα μπορεί επίσης να προσαρμοστεί ώστε να ενσωματώσει διαφορετικές διαστάσεις και κριτήρια βελτιστοποίησης, όπως τα κοινωνικά οφέλη, η απασχόληση, κ.λπ.

Μετά την επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης, προσδιορίζονται οι πολιτικές που θα αξιολογηθούν, αναγνωρίζονται οι σχετικοί κίνδυνοι και επιλέγονται οι παράμετροι του μοντέλου, οι τιμές των οποίων είναι αβέβαιες.

4.4.2 Λήψη δεδομένων

Για τις ανάγκες μοντελοποίησης του ενεργειακού συστήματος σε μακροπρόθεσμη βάση, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας χρησιμοποιεί το μοντέλο TIMES που αναπτύχθηκε για την Ελλάδα από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Το TIMES [4.53] είναι ένα «από κάτω προς τα πάνω, καθοδηγούμενο από τη ζήτηση» πλαίσιο ανάπτυξης μοντέλου ενεργειακής βελτιστοποίησης, που προσδιορίζει τον συνδυασμό τεχνολογιών ελάχιστου κόστους και μορφών ενέργειας, που εξυπηρετούν τη ζήτηση ωφέλιμης ενέργειας υπό περιορισμούς, μέσω συγκεκριμένων παραδοχών [4.54]. Η ανάλυση του υπουργείου αναφορικά με την πρόοδο ως προς τους στόχους ενεργειακής απόδοσης, όπως αυτοί περιγράφονται στο άρθρο 7 της ευρωπαϊκής οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση, βασίζεται σε δεδομένα που προκύπτουν από i) την εκ των υστέρων ανάλυση πολιτικών που έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή, ii) υπολογισμούς που βασίζονται στο μοντέλο TIMES για την Ελλάδα, iii) άλλους επιστημονικούς υπολογισμούς σύμφωνα με το είδος της τεχνολογίας και το προτεινόμενο χρηματοδοτικό μέσο, και iv) συνδυασμούς των παραπάνω [[4.5], [4.51]].

Όλα τα τεχνικά δεδομένα που αφορούν τις πολιτικές που εξετάστηκαν, όπως το κόστος και η ετήσια εξοικονόμηση ανά παρέμβαση και ο αριθμός των εφικτών παρεμβάσεων ανά έτος, παρέχονται από το υπουργείο ως τα επίσημα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση του αντίστοιχου μέρους του 4ου ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας.

Τέλος, προκειμένου να αξιολογηθούν αποτελεσματικά τα εργαλεία πολιτικής για την αντιμετώπιση των υποκείμενων κινδύνων εφαρμογής, πραγματοποιήθηκε εκτενής διαβούλευση με τους εμπλεκόμενους φορείς, με τη μορφή δομημένων ερωτηματολογίων. Έχοντας αντλήσει τη γνώση που έχει συγκροτηθεί από πλευράς των ιθυνόντων για τη χάραξη πολιτικής του Υπουργείου, όσον αφορά τον βαθμό στον οποίο τα επιλεγμένα μέτρα πολιτικής είναι ευάλωτα σε ένα σύνολο προκαθορισμένων κινδύνων, υπολογίζεται ένας δείκτης κινδύνου για κάθε μέτρο πολιτικής.

4.4.3 Μοντέλο εκτίμησης κινδύνου

Η εκτίμηση κινδύνου στη βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων αποτελεί βασική διαδικασία που απαιτεί την αξιολόγηση μιας εναλλακτικής λύσης έναντι πολλαπλών κριτηρίων αξιολόγησης και βασίζεται στη γνώση πολλών εμπλεκόμενων φορέων για τον λόγο αυτό, οι μεθοδολογίες πολλαπλών κριτηρίων εφαρμόζονται συνήθως σε περιβάλλον ομαδικής λήψης αποφάσεων. Η παρούσα μελέτη εκκινεί από την τεχνική διάταξης προτίμησης κατά την ομοιότητα με την ιδανική λύση, γνωστή ως TOPSIS [4.55]. Πρόκειται για μια μέθοδο πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων (MCDA) που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιβλιογραφία του συγκεκριμένου ερευνητικού πεδίου [4.56]. Η TOPSIS αναπτύχθηκε ως εναλλακτική των μεθόδων της οικογένειας ELECTRE και είναι μια αντισταθμιστική αθροιστική μέθοδος, χρήσιμη για την κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων δια της μέτρησης αποστάσεων. Πολυάριθμες μελέτες στη βιβλιογραφία της ενεργειακής απόδοσης βασίστηκαν στη μέθοδο TOPSIS και διενεργήθηκαν σε πλαίσιο ομαδικής λήψης αποφάσεων, όπως παρουσιάζεται στον Π. 35 (Doukas και Nikas, δημοσιεύτα αποτελέσματα).

Π. 35 Πρόσφατες εφαρμογές της TOPSIS με πολλαπλούς αποφασίζοντες στην ευρύτερη βιβλιογραφία ενεργειακής πολιτικής (Doukas και Nikas, δημοσιεύτα αποτελέσματα).

| Συγγραφέας | Κριτήρια Αξιολόγησης | | | | | | Πεδίο | Εφαρμογή |
|----------------------------|----------------------|------------|----------------|------------|-----------|-------------|----------|------------------------|
| | Οικονομικά | Ενεργειακά | Περιβαλλοντικά | Ρυθμιστικά | Κοινωνικά | Τεχνολογικά | | |
| (Brand and Missaoui, 2014) | √ | √ | √ | | √ | | Ενέργεια | Αξιολόγηση τεχνολογίας |

| Συγγραφέας | Κριτήρια Αξιολόγησης | | | | | | | Πεδίο | Εφαρμογή |
|--------------------------------|----------------------|------------|----------------|------------|-----------|-------------|------|---------------------|------------------------|
| | Οικονομικά | Ενεργειακά | Περιβαλλοντικά | Ρυθμιστικά | Κοινωνικά | Τεχνολογικά | Άλλα | | |
| (Büyükoçkan and Gülerüz, 2017) | √ | | √ | √ | √ | √ | | Ενέργεια | Αξιολόγηση τεχνολογίας |
| (Jun et al., 2013) | √ | | √ | | √ | | √ | Κτίρια | Ανάλυση σεναρίου |
| (Montanari, 2004) | √ | | √ | | | √ | | Ενέργεια | Επιλογή έργου |
| (Mourhir et al., 2016) | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Περιβάλλον | Αξιολόγηση πολιτικής |
| (Sakthivel et al., 2015) | | | √ | | | √ | | Μεταφορές | Αξιολόγηση τεχνολογίας |
| (Kaya and Kahraman, 2011) | √ | | √ | | √ | √ | | Ενέργεια | Αξιολόγηση τεχνολογίας |
| (Onu et al., 2017) | √ | | √ | √ | √ | √ | | Περιβάλλον Ενέργεια | Αξιολόγηση πολιτικής |
| (Nikas et al., 2018) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | Ενέργεια | Εκτίμηση κινδύνου |

Η προτεινόμενη παράμετρος αξιολόγησης κινδύνου χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ασαφούς TOPSIS (Fuzzy TOPSIS) για τη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο ομάδας, προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της μελέτης και να διαχειριστεί τη φύση των δεδομένων που προέρχονται από τους εμπειρογνώμονες του υπουργείου, οι οποίοι κλήθηκαν να συμπληρώσουν τα δομημένα ερωτηματολόγια.

Η Fuzzy TOPSIS [4.65] επεκτείνει την εφαρμογή της TOPSIS σε ασαφές περιβάλλον, καθώς πολλές φορές δεν είναι δυνατό να αντληθούν ακριβή δεδομένα σε πραγματικές συνθήκες, όπως συμβαίνει εν προκειμένω. Η προτεινόμενη προσέγγιση βασίζεται στις αρχές της Fuzzy TOPSIS προσαρμοσμένης σε περιβάλλον ομαδικής λήψης αποφάσεων, όπως παρουσιάστηκε από τους Krohling και Campranharo [4.66]. Στην πλειονότητά τους, οι μέθοδοι ομαδικής λήψης αποφάσεων χρησιμοποιούν τη στρατηγική της συνολικής χρησιμότητας (utility aggregation) για την ανεύρεση μιας συναινετικής προτίμησης. Ωστόσο, η μέθοδος των Krohling και Campranharo [4.66] βασίζεται στις έννοιες της θετικά ιδανικής (positive ideal) και της αρνητικά ιδανικής (negative ideal) ομαδικής λύσης, όπως παρουσιάστηκαν από τους Wei-guo και Hong [4.67]. Η καινοτομία

της επιλεγμένης μεθόδου έγκειται επομένως στον συνδυασμό της Fuzzy TOPSIS με την TOPSIS για την ομαδική λήψη αποφάσεων.

Η διαδικασία της πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων ξεκινά με την εφαρμογή της μεθόδου Fuzzy TOPSIS για κάθε μέλος της ομάδας. Στη συνέχεια, λαμβάνεται ο πίνακας σχετικής εγγύτητας της ομάδας και δομείται ο σταθμισμένος πίνακας σχετικής εγγύτητας με την εισαγωγή των βαρών σπουδαιότητας των μελών της ομάδας. Από το στάδιο αυτό και μετέπειτα, η μέθοδος συνεχίζεται με την εφαρμογή της κλασικής TOPSIS στον πίνακα απόφασης για τον προσδιορισμό της ομαδικής επίλυσης που αποτελεί τη θετική ιδανική λύση. Η κατάταξη που αντιστοιχεί σε κάθε μέτρο πολιτικής είναι ο δείκτης κινδύνου του, ο οποίος ενσωματώνεται στο μοντέλο βελτιστοποίησης του χαρτοφυλακίου στο επόμενο στάδιο.

4.4.4 Πολυστοχική βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου

Η ανάλυση χαρτοφυλακίου είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την τυπική αντιμετώπιση κινδύνων και αβεβαιοτήτων, που διευκολύνει την ανάλυση ευρωστίας των φυσικών, τεχνολογικών και κοινωνικών συστημάτων και των αλληλεπιδράσεών τους [4.68]. Η βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου εισήχθη για πρώτη φορά στα οικονομικά από τον Markowitz [4.69], ο οποίος έθεσε τα θεμέλια της σύγχρονης θεωρίας του χαρτοφυλακίου. Έκτοτε, διάφορες μελέτες έχουν επεκτείνει ή τροποποιήσει το μοντέλο του Markowitz και πρότειναν τεχνικές για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων στην πολυστοχική βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων ([4.70]-[4.79]).

Στα προβλήματα πολυστοχικής βελτιστοποίησης, τα κριτήρια είναι συνήθως αντικρουόμενα και, ως εκ τούτου, δεν υπάρχει μοναδική βέλτιστη λύση. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι ένα μέτωπο Pareto (Pareto Frontier - PF) διαφορετικών αποτελεσματικών λύσεων, το οποίο χαρακτηρίζεται από μια αντιστάθμιση (trade-off) μεταξύ των στόχων ([4.80], [4.81]). Οι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για τη δημιουργία του συνόλου των βέλτιστων χαρτοφυλακίων σε προβλήματα πολυστοχικής βελτιστοποίησης είναι η μέθοδος σταθμισμένου αθροίσματος και η μέθοδος των περιορισμών (weighted sum and ϵ -constraint methods). Η τελευταία παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μεθόδους παραγωγής των συντελεστών στάθμισης (weighting generation methods), ιδίως σε περιπτώσεις όπου κάποιες από τις μεταβλητές απόφασης είναι ακέραιες [4.82]. Για την περαιτέρω βελτίωση των επιδόσεων της ή για την προσαρμογή της σε συγκεκριμένο είδος προβλημάτων, έχουν εμφανιστεί στη βιβλιογραφία διάφορες παραλλαγές της μεθόδου [4.83].

Στη μέθοδο των περιορισμών (ϵ -constraint), μία από τις αντικειμενικές συναρτήσεις βελτιστοποιείται με τις άλλες αντικειμενικές συναρτήσεις να χρησιμοποιούνται ως περιορισμοί του μοντέλου [4.84]. Με παραμετρική

μεταβολή στο δεξιό σκέλος των αντικειμενικών συναρτήσεων που λειτουργούν ως περιορισμοί, λαμβάνονται οι αποτελεσματικές λύσεις του προβλήματος.

Για να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου, ο Μαυρωτάς [4.85] εισήγαγε μια νέα εκδοχή της μεθόδου των περιορισμών (ϵ -constraint method), την επαυξημένη μέθοδο των περιορισμών (augmented ϵ -constraint method – AUGMECON). Οι κύριες καινοτομίες που εισάγονται με τη μέθοδο AUGMECON είναι οι εξής: (i) η χρήση λεξικογραφικής βελτιστοποίησης, (ii) η εγγυημένη παραγωγή μόνο των κατά Pareto βέλτιστων λύσεων (και η αποφυγή συνεπώς παραγωγής αναποτελεσματικών λύσεων), και (iii) η αλγοριθμική επιτάχυνση της υπολογιστικής διαδικασίας.

Η παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί μία επέκταση της μεθόδου AUGMECON, τη μέθοδο AUGMECON-2, για την καθοδήγηση του μοντέλου βελτιστοποίησης δύο στόχων και την παραγωγή του συνόλου των βέλτιστων χαρτοφυλακίων [4.85]. Το κείμενο στοιχείο στη μέθοδο AUGMECON-2 [4.86] είναι ότι μπορεί να παράξει το πλήρες σύνολο Pareto (PF). Με τον τρόπο αυτό, δεν υπάρχει καμία βέλτιστη λύση κατά Pareto που να μην εντοπιστεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτέλεσης [4.87].

4.4.5 Ανάλυση ευρωστίας

Στα προβλήματα πολυστοχικής βελτιστοποίησης, ο τελικός στόχος είναι να επιλεγεί η πλέον προτιμώμενη από τις βέλτιστες κατά Pareto λύσεις που έχουν παραχθεί [4.88]. Ωστόσο, σε περίπτωση αβεβαιότητας, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν συνήθως υψηλά επίπεδα αστάθειας, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις οδηγεί σε λύσεις που αποκλίνουν κατά πολύ από τη βελτιστότητα (optimality) [4.87]. Στο στάδιο αυτό λοιπόν επιδιώκεται να καθοριστεί ο βαθμός ευρωστίας του συνόλου Pareto (Pareto set) και των επιμέρους κατά Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων, στην περίπτωση που παρουσιάζονται παρεκκλίσεις στις παραμέτρους του μοντέλου.

Οι αβέβαιες παράμετροι του μοντέλου θεωρείται ότι είναι στοχαστικές και ότι λαμβάνουν τις τιμές τους από κατάλληλες κατανομές πιθανότητας αντί να έχουν σαφείς τιμές. Από την άποψη αυτή, η προσομοίωση MC εκτελείται κατ' επανάληψη, ώστε να ληφθούν δείγματα τυχαίων τιμών για τις αβέβαιες παραμέτρους, και στη συνέχεια το μοντέλο επιλύεται για να παραχθεί η ακριβής δέσμη των βέλτιστων κατά Pareto χαρτοφυλακίων. Τελικά, η εκτέλεση πολλαπλών προσομοιώσεων MC αποδίδει έναν μεγάλο αριθμό διαφοροποιημένων PF, τα οποία αναλύονται για να συναχθούν συμπεράσματα αναφορικά με την ευρωστία των συνακόλουθων συνδυασμών πολιτικής.

Συγκεκριμένες τεχνικές προτείνονται για την αξιολόγηση της ευρωστίας των ληφθέντων PF, καθώς και των μεμονωμένων μέτρων πολιτικής. Αρχικά αναγνωρίζεται το PF «αναφοράς», που αναφέρεται στο σύνολο των χαρτοφυλακίων που λαμβάνονται μετά την εκτέλεση του μοντέλου, με τη χρήση ντετερμινιστικών τιμών για όλες τις αβέβαιες παραμέτρους. Στη συνέχεια,

παρατηρούνται οι αποκλίσεις των διαφορετικών PF από το PF «αναφοράς» σε όλες τις επαναλήψεις της MC. Όσο μικρότερες είναι οι αποκλίσεις, τόσο πιο εύρωστο είναι το PF «αναφοράς».

Όσον αφορά την ευρωστία των μεμονωμένων μέτρων πολιτικής εντός των βέλτιστων χαρτοφυλακίων, μετρούμε πόσες φορές λαμβάνεται κάθε πολιτική ως η βέλτιστη μεταξύ των επαναλήψεων της MC. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο πιο εύρωστο είναι το συγκεκριμένο μέτρο πολιτικής, δεδομένου ότι παρουσιάζει μεγαλύτερη τάση για τη διατήρηση της βελτιστότητάς του.

Η προσέγγιση αυτή παρέχει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής ένα συμπληρωματικό εργαλείο υποστήριξης της τελικής τους απόφασης, δίνοντας πρόσθετες γόνιμες πληροφορίες σχετικά με τις βέλτιστες λύσεις, δηλαδή την ευρωστία των χαρτοφυλακίων και μέτρων που προκύπτουν απέναντι στις μεταβολές που παρουσιάζουν οι παράμετροι του μοντέλου [4.89].

4.5 Εφαρμογή: Προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στην Ελλάδα

4.5.1 Προσδιορισμός του προβλήματος

Ο εθνικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας για τα έτη 2018-2020 ισούται με 1.819 ktoe. Για τον υπολογισμό έχουν ληφθεί υπόψη i) ο συνολικός στόχος των 3.332 ktoe για την περίοδο 2014-2020, όπως καθοριζόταν στο τρίτο ΕΣΔΕΑ, ii) η ενεργειακή εξοικονόμηση που έχει ήδη επιτευχθεί κατά την περίοδο 2014-2017 (1.281 ktoe), και (iii) η προκαθορισμένη συνεισφορά του μέτρου «Καθεστώς Υποχρέωσης Ενεργειακής Απόδοσης» για τα έτη 2018-2020, που ισοδυναμεί με 232 ktoe. Τα υπό εξέταση μέτρα πολιτικής περιλαμβάνουν τα εξής:

M1. Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον II»: Κύριος στόχος του προγράμματος είναι η στήριξη δράσεων ενεργειακής αναβάθμισης σε κατοικίες (μονοκατοικίες, πολυκατοικίες ή διαμερίσματα). Ο συγκεκριμένος μηχανισμός παρέχει στους ωφελούμενους χρηματοδοτική στήριξη μέσω ποσοστιαίας επιχορήγησης σε συνδυασμό με δάνεια από τα συμβαλλόμενα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Τα κριτήρια επιλογής αφορούν τόσο την αρχική ενεργειακή κατηγορία της κατοικίας όσο και το εισόδημα του δικαιούχου. Οι υποστηριζόμενες δράσεις πρέπει να οδηγούν σε συγκεκριμένες μετρήσιμες βελτιώσεις ενεργειακής απόδοσης και περιλαμβάνουν συνήθως βελτιώσεις στο κτιριακό κέλυφος, στα συστήματα θέρμανσης/ψύξης και στη χρήση ζεστού νερού.

M2. Ενεργειακή αναβάθμιση δημόσιων κτιρίων: Πρόκειται για παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε υφιστάμενα δημόσια κτίρια. Οι παρεμβάσεις αυτές αφορούν ενεργειακές αναβαθμίσεις του κτιριακού κελύφους, των ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων, των συστημάτων

φυσικού, καθώς και εγκαταστάσεις συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, ενώ η χρηματοδότηση ανέρχεται στο 100% του συνολικού κόστους.

M3. Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις: Τελικοί ωφελούμενοι του προγράμματος είναι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Οι προτεινόμενες δράσεις περιλαμβάνουν την αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους, των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και των συστημάτων φωτισμού, καθώς και την εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης. Το πρόγραμμα παρέχει χρηματοδότηση στους δικαιούχους μέσω επιδότησης, το ποσοστό της οποίας διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία και τις απαιτούμενες ενέργειες.

M4. Εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης σε οργανισμούς του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα σύμφωνα με το πρότυπο ISO 50001: Αφορά τη χρηματοδότηση των φορέων του ευρύτερου δημόσιου τομέα με σκοπό την εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης των κτιρίων τους, βάσει του διεθνούς προτύπου ISO 50001.

M5. Ενεργειακή αναβάθμιση εμπορικών κτιρίων μέσω εταιρειών ενεργειακών υπηρεσιών (EEY): Στοχεύει στην περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς για τις εταιρείες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών μέσω συμβάσεων ενεργειακής απόδοσης. Παρέχει ένα ευνοϊκό πλαίσιο για τη χορήγηση δανείων μέσω επιδοτούμενων επιτοκίων ή μέσω της παροχής εξασφαλίσεων, ιδίως για τις EEY, και αποσκοπεί στην υλοποίηση δράσεων ενεργειακής βελτίωσης για κτίρια επαγγελματικής χρήσης. Στην περίπτωση αυτή, το δάνειο εξοφλείται σταδιακά μέσω της επιτευχθείσας εξοικονόμησης ενέργειας και σύμφωνα με τη σύμβαση.

M6. Εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων μέτρησης: Αφορά την ευρείας κλίμακας αντικατάσταση των υφιστάμενων συστημάτων μέτρησης της ενεργειακής κατανάλωσης στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών στην αγορά ενέργειας, καθώς και την καλύτερη, φθηνότερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας.

M7. Δράσεις του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Περιβάλλον-Αειφόρος Ανάπτυξη» (ΕΠΠΕΡΑΑ): Στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ 2007-2013 και του αντίστοιχου Επιχειρησιακού Προγράμματος «Υποδομές Μεταφορών, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη» που εντάσσεται στο ΕΣΠΑ 2014-2020, περιλαμβάνει μια σειρά δράσεων ενεργειακής απόδοσης, μεγάλης κλίμακας έργα περιβαλλοντικών υποδομών και άλλες παρεμβάσεις σε εθνικό επίπεδο. Οι δράσεις αυτές συμβάλλουν στη βιώσιμη διαχείριση των περιβαλλοντικών μέσων, των φυσικών πόρων και των αστικών κέντρων. Ο στρατηγικός στόχος του προγράμματος είναι η προστασία και η αναβάθμιση του περιβάλλοντος, με στόχο να αποτελέσει τη βάση για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, καθώς και της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας.

M8. Συμψηφισμός προστίμων για αυθαίρετα κτίσματα και κόστους ενεργειακών αναβαθμίσεων: Αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας από δράσεις

που υλοποιούνται σύμφωνα με το άρθρο 20 του ν. 4178/2013 «Συμφηφισμός καταβληθέντων προστίμων». Παρέχει τη δυνατότητα συμφηφισμού σε ποσοστό έως 50% του ποσού που αντιστοιχεί σε πρόστιμα αυθαίρετων κτιρίων, κατά τα καθοριζόμενα στο άρθρο 20, με το κόστος υπηρεσιών, εργασιών και υλικών για την ενεργειακή αναβάθμιση τους.

M9. Ενεργειακοί υπεύθυνοι και Σχέδια Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση (ΣΔΕΑ) σε κτίρια του Δημοσίου και του ευρύτερου δημόσιου τομέα: Αναφέρεται στην εξοικονόμηση ενέργειας με τον διορισμό ενεργειακών υπευθύνων σε δημόσια κτίρια, όπως ορίζεται στην υπουργική απόφαση υπ' αριθ. Δ6/Β/14826 του 2008, καθώς και με την εφαρμογή των σχεδίων ενεργειακής απόδοσης για τα κτίρια αρμοδιότητας των περιφερειών και δήμων, σύμφωνα με το άρθρο 7 παράγραφος 12 του ν. 4342/2015 σχετικά με τον «Υποδειγματικό ρόλο κτιρίων που ανήκουν σε δημόσιους φορείς».

M10. Τηλεθέρμανση: Το μέτρο αυτό αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας από την επέκταση συγκεκριμένων δικτύων τηλεθέρμανσης σε επίπεδο αστικών περιοχών, μέσω των προγραμμάτων «Περιβάλλον-Αειφόρος Ανάπτυξη» και «Υποδομές Μεταφορών, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη». Ειδικότερα, πρόκειται για εξοικονόμηση που θα προέλθει από την ενοποιημένη επέκταση του δικτύου Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου, καθώς και από τη σχεδιαζόμενη διεύρυνση των δικτύων τηλεθέρμανσης Φλώρινας και Κοζάνης.

M11. Αντικατάσταση παλαιών ελαφρών φορητών οχημάτων δημόσιας και ιδιωτικής χρήσης: Εμπίπτει στο ευρύτερο πεδίο των δράσεων που αφορούν κίνητρα για την αντικατάσταση παλαιών ή τεχνολογικά πεπαλαιωμένων οχημάτων, με κύριο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανανέωση του στόλου ελαφρών φορητών τόσο του δημοσίου όσο και του ιδιωτικού τομέα. Τα κίνητρα ποικίλλουν ανάλογα με την κατηγορία του οχήματος που αντικαθίσταται.

M12. Αντικατάσταση παλαιών επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης: Επίσης μέρος του ευρύτερου πλαισίου παροχής κινήτρων για την αντικατάσταση παλαιών ή τεχνολογικά πεπαλαιωμένων οχημάτων, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ανανέωσης και του εκσυγχρονισμού των ιδιωτικών επιβατικών αυτοκινήτων. Τα κίνητρα εξαρτώνται από την κατηγορία και τον κυβισμό του οχήματος που αντικαθίσταται.

M13. Αναβάθμιση οδοφωτισμού: Στόχος του μέτρου είναι να βοηθηθούν οι ΟΤΑ στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των συναφών λειτουργικών δαπανών του οδοφωτισμού. Παρέχει χρηματοδότηση μέσω δανειοδότησης και αποσκοπεί κυρίως στην ενεργειακή αναβάθμιση του φωτισμού των δήμων. Το χρηματοδοτικό πρόγραμμα εφαρμόζεται από το Ταμείο Παρακαταθηκών και Δανείων (ΤΠΔ) σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕΠ) και την τεχνική υποστήριξη του ΚΑΠΕ.

M14. Εκσυγχρονισμός δημόσιων αντλιοστασίων: Στόχος του μέτρου είναι να βοηθήσει τους δήμους και τις δημοτικές επιχειρήσεις ύδρευσης-αποχέτευσης να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και τις συναφείς λειτουργικές δαπάνες, μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης των αντλιοστασίων.

M15. Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ): Η πολιτική αυτή αναφέρεται στην εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται σε κτίρια, για τα οποία έχουν εκδοθεί ενεργειακά πιστοποιητικά. Η εφαρμογή μέτρων είναι προαιρετική, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο ιδιοκτήτης/μισθωτής δεν υποχρεούται να ακολουθήσει τις συστάσεις που περιέχονται στα πιστοποιητικά. Αυτές οι αλλαγές στη συμπεριφορά θεωρείται ότι επηρεάζονται από τις δραστηριότητες διάδοσης των ΠΕΑ που διοργανώνει το υπουργείο.

Τα βασικά τεχνικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην τρέχουσα ανάλυση παρουσιάζονται στον Π. 36.

Π. 36 Τεχνικά δεδομένα που ελήφθησαν για τα μέτρα πολιτικής από το πρόγραμμα TIMES και τα υλοποιημένα μέτρα πολιτικής έως το 2017.

| Μέτρο | Εξοικονόμηση ενέργειας/ παρέμβαση (ktoe) | Σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας (Ευρώ/ktoe) | Μέγιστος αριθμός παρεμβάσεων ν/έτος |
|--|---|---|--|
| Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» | 0,0016 | 4.565.600 | 20.000 |
| Ενεργειακή αναβάθμιση δημόσιων κτιρίων | 0,02 | 13.600.000 | 360 |
| Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις | 0,009 | 4.761.600 | 5.000 |
| Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης στον δημόσιο τομέα | 0,0048 | 1.666.600 | 300 |
| Ενεργειακή αναβάθμιση εμπορικών κτιρίων | 0,02 | 1.474.900 | 100 |
| Εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων μέτρησης | 0,0000063 | 49,047,600 | 1.000.000 |
| ΕΠΠΕΡΑΑ | 0,039 | 28.789.300 | 69 |
| Συμψηφισμός προστίμων για αυθαίρετα με ενεργειακές αναβαθμίσεις | 0,0006 | 1.250.000 | 174 |
| Ενεργειακοί υπεύθυνοι και ΣΔΕΑ σε δημόσια κτίρια | 0,0046 | 92.400 | 30.000 |

| Μέτρο | Εξοικονόμηση ενέργειας/ παρέμβαση (ktoe) | Σχέση κόστους- αποτελεσματικό- τητας (Ευρώ/ktoe) | Μέγιστος αριθμός παρεμβάσεω ν/έτος |
|--|--|---|---|
| Τηλεθέρμανση | 0,00019 | 78.938.000 | 1.100 |
| Αντικατάσταση παλαιών ελαφρών φορητών ιδιωτικής και δημόσιας χρήσης | 0,0003 | 5.416.600 | 4.500 |
| Αντικατάσταση παλαιών επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης | 0,000166 | 7.379.200 | 65.000 |
| Αναβάθμιση οδοφωτισμού | 0,20 | 0 ⁱ | 20 |
| Εκσυγχρονισμός δημόσιων αντλιοστασίων | 0,0017 | 0 ⁱ | 1.500 |
| ΠΕΑ | 0,0092 | 0 ⁱ | 286 |

ⁱ Τα μέτρα αυτά δεν απαιτούν χρηματοδοτική συνεισφορά από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Το πρόβλημα επιλογής χαρτοφυλακίου εξετάζει έναν σταθερό προϋπολογισμό και προτείνει ένα σύνολο βέλτιστων χαρτοφυλακίων βάσει δύο κριτηρίων: μεγιστοποίηση της ενεργειακής εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται από το χαρτοφυλάκιο και ελαχιστοποίηση του δείκτη κινδύνου του χαρτοφυλακίου. Το πρόβλημα υπόκειται σε συγκεκριμένους δημοσιονομικούς και τεχνικούς περιορισμούς. Η ανάλυση εφαρμόζει την κρίση των εμπειρογνομώνων, προκειμένου να αποκαλύψει με έναν ενδελεχή και λεπτομερή τρόπο πόσο ευάλωτο είναι κάθε μέτρο πολιτικής απέναντι σε ένα σύνολο κινδύνων εφαρμογής (Π. 37).

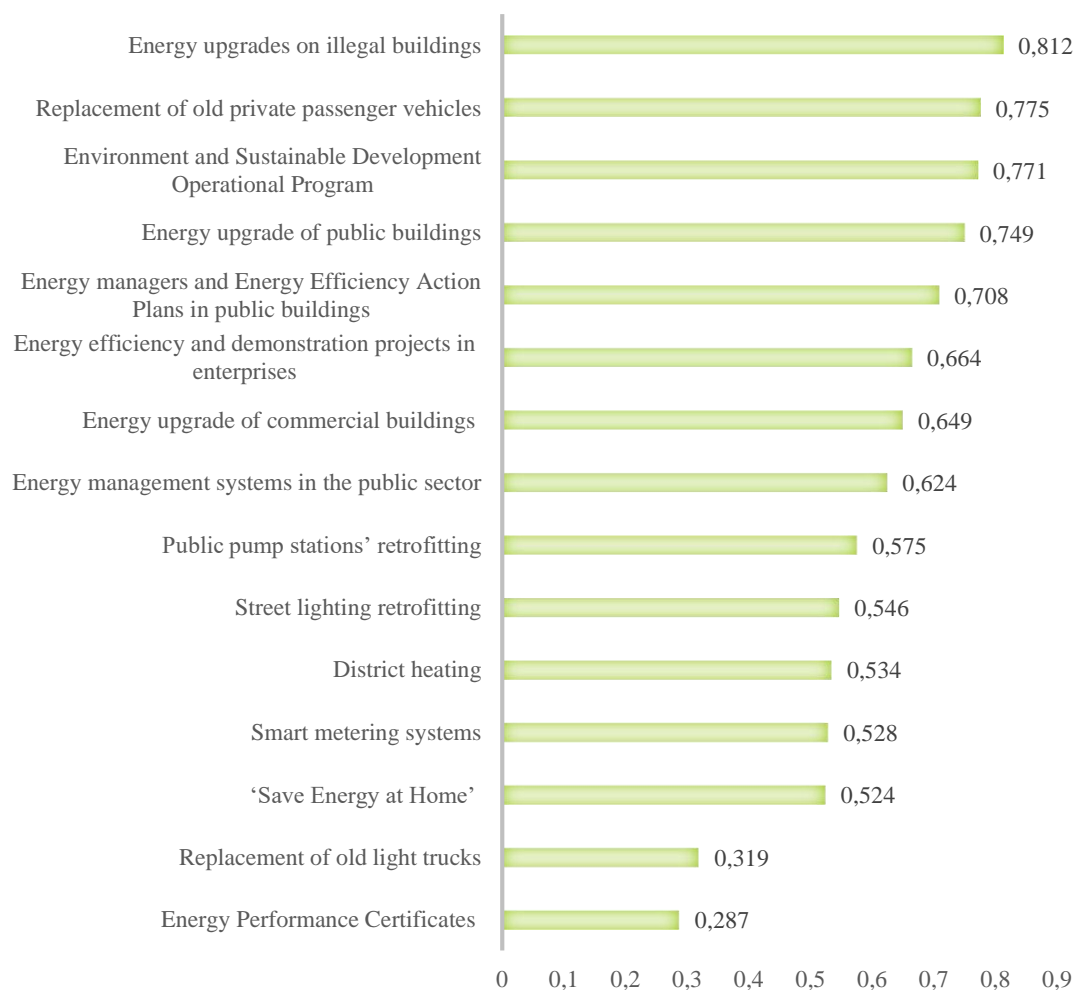
Π. 37 Αναγνωρισμένοι κίνδυνοι που θέτουν εμπόδια στην εφαρμογή των εξεταζόμενων μέτρων πολιτικής.

| Αρ. | Κίνδυνος |
|-----|--|
| R1 | Δυσκολίες στην ευθυγράμμιση των τοπικών αρχών με τις υποχρεώσεις που θέτει η κεντρική διοίκηση |
| R2 | Πολιτική αστάθεια |
| R3 | Γραφειοκρατία |
| R4 | Απαιτητικό ρυθμιστικό πλαίσιο συγκριτικά με την ωριμότητα της αγοράς |
| R5 | Ανεπαρκής τραπεζικός τομέας |
| R6 | Κοινωνική αποδοχή |
| R7 | Προσωπικό χωρίς εμπειρία — ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες |

R8 Κακές συνθήκες της αγοράς (οικονομική κρίση)**4.5.2 Εκτίμηση κινδύνου**

Για να υπολογιστεί ένας δείκτης κινδύνου για κάθε μέτρο παρέμβασης, είναι αναγκαίο να αξιολογηθεί καθένα από τα μέτρα με βάση τους διαφορετικούς εμφανείς κινδύνους που εντοπίστηκαν. Συνεπώς, ανακύπτει ένα πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων, στο οποίο τα μέτρα πολιτικής είναι οι εναλλακτικές μορφές δράσεων και οι προσδιορισθέντες κίνδυνοι συνιστούν τα διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης.

Η εφαρμογή της μεθόδου Fuzzy TOPSIS, όπως περιγράφηκε στην παραπάνω ενότητα, προσδιόρισε έναν δείκτη κινδύνου για κάθε μέτρο πολιτικής, Εικόνα 28. Οι εν λόγω δείκτες κινδύνου ενσωματώνονται κατάλληλα στο μοντέλο διστοχικής βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου, αποδιδόμενοι ως $RI(i)$, όπου το $i = 1 \dots 15$ δηλώνει τα μέτρα πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.

Δείκτης κινδύνου

Εικόνα 28 Δείκτες κινδύνου για τα δεκαπέντε μέτρα πολιτικής, όπως προέκυψαν από την ανάλυση TOPSIS.

4.5.3 Μαθηματική μοντελοποίηση

Οι δύο αντικειμενικές συναρτήσεις του μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού διαμορφώνονται ως εξής:

- 1) Μεγιστοποίηση της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας σε ktoe

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{12} b(i, 1) * Sav(i, 1) + 2 * \sum_{i=1}^{12} b(i, 2) * Sav(i, 2) + 3 * \sum_{i=1}^{12} b(i, 3) \\ & * Sav(i, 3) + \sum_{i=13}^{15} ktoe(i, 1) + 2 * \sum_{i=13}^{15} ktoe(i, 2) + 3 \\ & * \sum_{i=13}^{14} ktoe(i, 3) + 2 * ktoe(15,3) = \max Z_1 \end{aligned} \quad (9)$$

Οι εξοικονομήσεις ενέργειας που επιτυγχάνονται από κάθε μέτρο υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τις εξοικονομήσεις ανά μονάδα κεφαλαίου που αντιστοιχεί σε κάθε μέτρο $Sav(i, j)$ με το ποσό του κεφαλαίου που θα επενδυθεί στο μέτρο από το υπουργείο $b(i, j)$. Το $i = 1..15$ αναφέρεται στο μέτρο ενεργειακής απόδοσης, ενώ το $j = 1,2,3$ αντιστοιχεί στα έτη 2018, 2019, 2020 αντίστοιχα. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη το σωρευτικό αποτέλεσμα για την ποσοτικοποίηση των ενεργειακών εξοικονομήσεων, ως προς τα έτη εφαρμογής του μέτρου κατά την περίοδο 2018-2020 και τη χρονική διάρκεια κατά την οποία το μέτρο βρίσκεται σε ισχύ. Για τα μέτρα που δεν απαιτούν τη χρηματοδοτική συνεισφορά του υπουργείου, οι αντίστοιχες εξοικονομήσεις ενέργειας σε ktoe προστίθενται στην εξίσωση, επίσης σε ό,τι αφορά τη σωρευτική εξοικονόμηση.

- 2) Ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου

$$\sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^3 Risk(i, j) = \min Z_2 \quad (10)$$

Η δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση εξετάζει την ελαχιστοποίηση του κινδύνου εφαρμογής των χαρτοφυλακίων πολιτικών. Για την ορθή εκτίμηση του κινδύνου κάθε μέτρου πολιτικής, ο δείκτης κινδύνου $RI(i)$ πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή $d(i, j)$ που αντιπροσωπεύει:

$$\frac{\text{ετήσια τελική εξοικονόμηση από το μέτρο (σε ktoe)}}{\text{μέγιστος αριθμός δυνατών παρεμβάσεων του μέτρου ανά έτος}}$$

Στη συνέχεια, ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου εκφράζεται ως το άθροισμα των κινδύνων όλων των επιμέρους μέτρων πολιτικής που συνθέτουν το χαρτοφυλάκιο.

Οι μεταβλητές απόφασης (decision variables) του προβλήματος $b(i, j)$ είναι συνεχείς και εκφράζουν το κεφάλαιο που επενδύεται από το υπουργείο σε κάθε μέτρο πολιτικής ($i = 1 \dots 12$) κάθε χρόνο. Τα μέτρα ($i = 13 \dots 15$) δεν απαιτούν την οικονομική συνεισφορά του υπουργείου και μπορούν να εφαρμοστούν με ιδιωτική χρηματοδότηση. Στην περίπτωση αυτή, οι μεταβλητές απόφασης είναι οι ενεργειακές εξοικονομήσεις σε κτοε ($ktoe(i, j)$) που πρέπει να επιτευχθούν εντός των ετών 2018-2020.

Οι περιορισμοί του μοντέλου έχουν ως εξής:

1. Ο πρώτος περιορισμός ορίζει τον μέγιστο συνολικό προϋπολογισμό που διαθέτει το υπουργείο για την εφαρμογή των μέτρων πολιτικής.

$$\sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^3 b(i, j) \leq MaxBudg, \quad (11)$$

2. Ένας δεύτερος περιορισμός θεωρεί ότι ένας σταθερός προϋπολογισμός προορίζεται για την εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων μέτρησης (M16) από τον ΔΕΔΔΗΕ. Ο προϋπολογισμός αυτός μπορεί να διατεθεί μόνο για το συγκεκριμένο μέτρο.

$$\sum_{j=1}^3 b(M6, j) \leq BudgM6 \quad (12)$$

3. Συγκεκριμένοι τεχνικοί περιορισμοί επιβάλλονται ως άνω όρια για τον αριθμό των εφικτών παρεμβάσεων ανά έτος και μέτρο $Interv(i, j)$:

$$Interv(i, j) \leq MaxInterv(i, j), \quad \forall i, j \quad (13)$$

4. Θεωρητικοί περιορισμοί ως προς το μέγιστο σύνολο δυνατών παρεμβάσεων για κάθε μέτρο — για παράδειγμα, ο συνολικός αριθμός δημόσιων κτιρίων στην Ελλάδα — λαμβάνονται επίσης υπόψη. Ενδεικτικά, για την περίπτωση ενεργειακής αναβάθμισης δημόσιων κτιρίων (M2), ο περιορισμός μοντελοποιείται ως εξής:

$$ThInterv(M2, j) \leq MaxThInterv(M2, j), \quad \forall j \quad (14)$$

4.5.4 Σύνοψη βασικών παραδοχών

Προκειμένου να καθοριστεί ο εθνικός στόχος ενεργειακών εξοικονομήσεων για τα έτη 2018-2020, γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- ο συνολικός στόχος για την περίοδο 2014-2020 είναι 3.332 κτοε, όπως καθορίζεται στο τρίτο ΕΣΔΕΑ.

- ο 1.281 ktoe ενεργειακής εξοικονόμησης έχουν επιτευχθεί κατά την περίοδο 2014-2017·
- ο η προκαθορισμένη συμβολή του μέτρου των καθεστώτων υποχρέωσης ενεργειακής απόδοσης για τα έτη 2018-2020 ισοδυναμεί με 232 ktoe.

Οι δύο παράμετροι που θεωρούνται οι σημαντικότερες για την αξιολόγηση των χαρτοφυλακίων πολιτικής είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και ο κίνδυνος εφαρμογής. Αυτό συνάδει με τη φιλοδοξία των περισσότερων ΕΣΔΕΑ, όπου ο αντίκτυπος της πολιτικής εκφράζεται με όρους ενεργειακής εξοικονόμησης και σπάνια με άλλους δείκτες, όπως οι θέσεις εργασίας, οι μειώσεις των εκπομπών και η ποιότητα του αέρα [4.90]. Οποιοσδήποτε άλλες παράμετροι, όπως τα κοινωνικά οφέλη ή οι στόχοι για την απασχόληση, θεωρούνται δευτερεύουσες επιδράσεις στη βελτιστοποίηση των πολιτικών και οι επιπτώσεις τους ενσωματώνονται στο προτεινόμενο μοντέλο μέσω των εξεταζόμενων κινδύνων εφαρμογής. Οι συνέπειες πρόσθετων εξωτερικών παραμέτρων που μπορεί να επηρεάσουν τη βελτιστότητα του μοντέλου λαμβάνονται υπόψη μέσω της ανάλυσης ευρωστίας των αποτελεσμάτων.

Το σωρευτικό αποτέλεσμα λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό των εξοικονομήσεων με διπλασιασμό ή τριπλασιασμό των επιτυγχανόμενων εξοικονομήσεων για διετή ή τριετή εφαρμογή. Εξαιρέση αποτελεί το μέτρο των ΠΕΑ, που θεωρείται ότι έχει διάρκεια ζωής δύο ετών.

Για την αξιολόγηση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων υπό καθεστώς αβεβαιότητας, τεκμαίρεται ομοιόμορφη κατανομή με δειγματοληπτικές τιμές στην περιοχή [0,8, 1,1].

Αντλώντας από τις συζητήσεις των Bertoldi et al. [4.91], για την αναγωγή σε τρέχουσα αξία των επενδύσεων στην ενεργειακή εξοικονόμηση, και ομοίως των DeLlano-Paz et al. [4.92] και Yushchenko και Patel [4.93], αποφασίστηκε να μη γίνει χρονική αναπροσαρμογή των δεδομένων σε αυτή τη βραχυπρόθεσμη (2018-2020) εφαρμογή.

4.6 Αποτελέσματα και συζήτηση

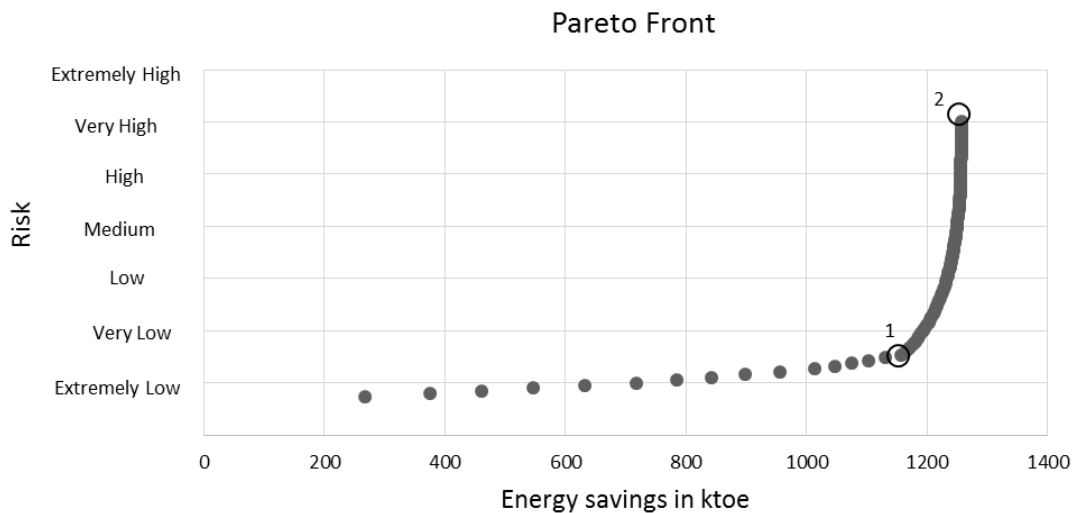
4.6.1 Βέλτιστη κατανομή πόρων για τον διαθέσιμο προϋπολογισμό

Το ντετερμινιστικό πρόβλημα διστοχικής βελτιστοποίησης επιλύεται δίνοντας ένα PF βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Για τη δημιουργία του PF, η μέθοδος AUGMECON-2 κωδικοποιείται και εκτελείται στο GAMS (General Algebraic Modeling System), ένα υψηλού επιπέδου σύστημα μοντελοποίησης, κατάλληλο για σύνθετα και μεγάλης κλίμακας προβλήματα βελτιστοποίησης [4.94].

Οι αριθμητικές τιμές των κινδύνων των χαρτοφυλακίων κανονικοποιούνται και εκφράζονται σε γλωσσική μορφή, προκειμένου να είναι εύληπτες για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, στους οποίους και κοινοποιούνται, με χρήση της ακόλουθης κλίμακας:

- 0 — Κανένας κίνδυνος
- 0.5 — Εξαιρετικά χαμηλός
- 1 — Πολύ χαμηλός
- 1.5 — Χαμηλός
- 2 — Μεσαίος
- 2.5 — Υψηλός
- 3 — Πολύ υψηλός
- 3.5 — Εξαιρετικά υψηλός
- 4 — Καταστροφικός

Το σύνολο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων (PF), που επιτυγχάνει την καλύτερη κατανομή των πόρων στα προκαθορισμένα μέτρα, παρουσιάζεται στην Εικόνα 29. Κάθε σημείο στο διάγραμμα αναπαριστά ένα βέλτιστο χαρτοφυλάκιο μέτρων πολιτικής σε ό,τι αφορά την ελαχιστοποίηση του κινδύνου και ταυτόχρονα τη μεγιστοποίηση των εξοικονομήσεων ενέργειας.



Εικόνα 29 Βέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών για τον δεδομένο διαθέσιμο προϋπολογισμό

Είναι προφανές ότι η πλειονότητα των βέλτιστων χαρτοφυλακίων επιτυγχάνει ενεργειακές εξοικονομήσεις μεταξύ 1.200 και 1.260 ktoe στην περιοχή όπου το PF είναι πυκνότερο. Ωστόσο, στην περιοχή αυτή, ο κίνδυνος των βέλτιστων λύσεων παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση, μεταξύ «Πολύ Χαμηλών» και «Πολύ Υψηλών» τιμών.

Δύο είναι τα σημεία ενδιαφέροντος που παρατηρούνται στην Εικόνα 29. Το πρώτο σημείο, που αποδίδεται με «1» στο διάγραμμα, παρουσιάζει πολύ χαμηλό κίνδυνο και ταυτόχρονα επιτυγχάνει ικανοποιητικό βαθμό εξοικονομήσεων ενέργειας σε σύγκριση με τις μέγιστες εξοικονομήσεις (σημείο «2»). Περαιτέρω ανάλυση δείχνει ότι το χαρτοφυλάκιο «1» περιλαμβάνει μόνο τρία μέτρα πολιτικής: Το χρηματοδοτικό πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» (M1), τα έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις (M3), καθώς και την πρόσληψη ενεργειακών υπευθύνων και την εφαρμογή των ΣΔΕΑ σε δημόσια κτίρια (M9). Συγκεκριμένα, το μέτρο πολιτικής για την καθιέρωση ενεργειακών υπευθύνων στον δημόσιο τομέα χρηματοδοτείται πλήρως καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου 2018-2020, ενώ η υλοποίηση των δύο άλλων μέτρων χρηματοδοτείται πλήρως για το 2018 και εν μέρει για το 2019. Το δεύτερο χαρτοφυλάκιο ενδιαφέροντος, το σημείο «2» στο διάγραμμα, επιτυγχάνει τις μέγιστες δυνατές εξοικονομήσεις ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τον προϋπολογισμό και τους τεχνικούς περιορισμούς του μοντέλου.

Ο Π. 38 αποσυνθέτει το χαρτοφυλάκιο «2» και αποκαλύπτει ότι τα εν λόγω τρία μέτρα πολιτικής, που εμφανίζονται επίσης ως τα πλέον αποδοτικά από πλευράς κόστους μέτρα, κυριαρχούν και σε αυτήν τη λύση.

Π. 38 Συμμετοχή (στις εξοικονομήσεις και στο κόστος) των μέτρων πολιτικής στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο «2».

| Χαρτοφυλάκιο 2 | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
|--|--|---------------|--|---------------|--|---------------|
| | Μέγιστη εξοικονόμηση: 1.256.0 κίτσε | | Μέγιστη εξοικονόμηση: 1.256.0 κίτσε | | Μέγιστη εξοικονόμηση: 1.256.0 κίτσε | |
| | (% συμμετοχή) | (% συμμετοχή) | (% συμμετοχή) | (% συμμετοχή) | (% συμμετοχή) | (% συμμετοχή) |
| | Εξοικονόμηση | Κόστος | Εξοικονόμηση | Κόστος | Εξοικονόμηση | Κόστος |
| Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» | 7.84 | 12.04 | 5.23 | 12.04 | — | — |
| Ενεργειακή αναβάθμιση δημόσιων κτιρίων | — | — | — | — | — | — |
| Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις | 10.75 | 17.20 | 1.77 | 4.25 | — | — |
| Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης στον δημόσιο τομέα | 0.34 | 0.19 | 0.23 | 0.19 | 0.11 | 0.19 |
| Ενεργειακή αναβάθμιση εμπορικών κτιρίων | 0.41 | 0.20 | 0.27 | 0.20 | 0.14 | 0.20 |
| Εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων μέτρησης | 1.50 | 24.81 | 1.00 | 24.81 | — | — |
| ΕΠΠΕΡΑΑ | — | — | — | — | — | — |

| Χαρτοφυλάκιο 2 | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
|---|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| Μέγιστη εξοικονόμηση: 1.256.0 κτοε | (% συμμετοχή) | | (% συμμετοχή) | | (% συμμετοχή) | |
| | Εξοικονόμηση | Κόστος | Εξοικονόμηση | Κόστος | Εξοικονόμηση | Κόστος |
| Συμψηφισμός προστίμων για αυθαίρετα κτίσματα με ενεργειακές αναβαθμίσεις | 0.02 | 0 | 0.02 | 0 | 0.01 | 0 |
| Ενεργειακοί υπεύθυνοι και ΣΔΕΑ στα δημόσια κτίρια | 32.95 | 1.02 | 21.97 | 1.02 | 10.98 | 1.02 |
| Τηλεθέρμανση | — | — | — | — | — | — |
| Αντικατάσταση παλαιών ελαφρών φορτηγών οχημάτων δημόσιας και ιδιωτικής χρήσης | 0.32 | 0.59 | — | — | — | — |
| Αντικατάσταση παλαιών επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης | — | — | — | — | — | — |
| Αναβάθμιση οδοφωτισμού | 0.93 | 0 | 0.62 | 0 | 0.31 | 0 |
| Αναβάθμιση των δημοσίων αντλιοστασίων | 0.61 | 0 | 0.41 | 0 | 0.20 | 0 |
| ΠΕΑ | 0.42 | 0 | 0.42 | 0 | 0.21 | 0 |

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ακόμη και στην περίπτωση που ο κίνδυνος από την υλοποίηση του χαρτοφυλακίου κατ' ουσίαν δεν λαμβάνεται υπόψη (Χαρτοφυλάκιο «2»), επιτυγχάνεται ένα μέγιστο ενεργειακής εξοικονόμησης 1.256 κτοε, το οποίο μεταφράζεται σε απόκλιση 31% από τον εθνικό στόχο των 1.819 κτοε, για την τριετία 2018-2020. Ως εκ τούτου, είναι προφανές ότι, δεδομένου του περιορισμένου προϋπολογισμού που διατίθεται, ο εθνικός στόχος ενεργειακής απόδοσης για το 2020 δεν μπορεί να επιτευχθεί. Τα ευρήματα αυτά ευθυγραμμίζονται με έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την αξιολόγηση των ΕΣΔΕΑ των κρατών μελών [4.90] που επισημαίνει ότι, ενώ ορισμένα κράτη μέλη όπως η Αυστρία και η Κύπρος αναμένουν ενεργειακές εξοικονομήσεις που υπερβαίνουν τον στόχο για το 2020, οι εξοικονομήσεις που αναφέρουν η Ελλάδα ή η Γερμανία είναι ανεπαρκείς. Η ευρωπαϊκή έκθεση αναγνωρίζει επίσης τα μείζονα μέτρα ενεργειακής απόδοσης που παρουσιάζονται στα ΕΣΔΕΑ: εξοικονομήσεις που επιτυγχάνονται στον οικιακό τομέα με μέτρα όπως το «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές για όλα τα κράτη μέλη, καθώς και μέτρα χρηματοοικονομικού ή δημοσιονομικού χαρακτήρα, όπως τα έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

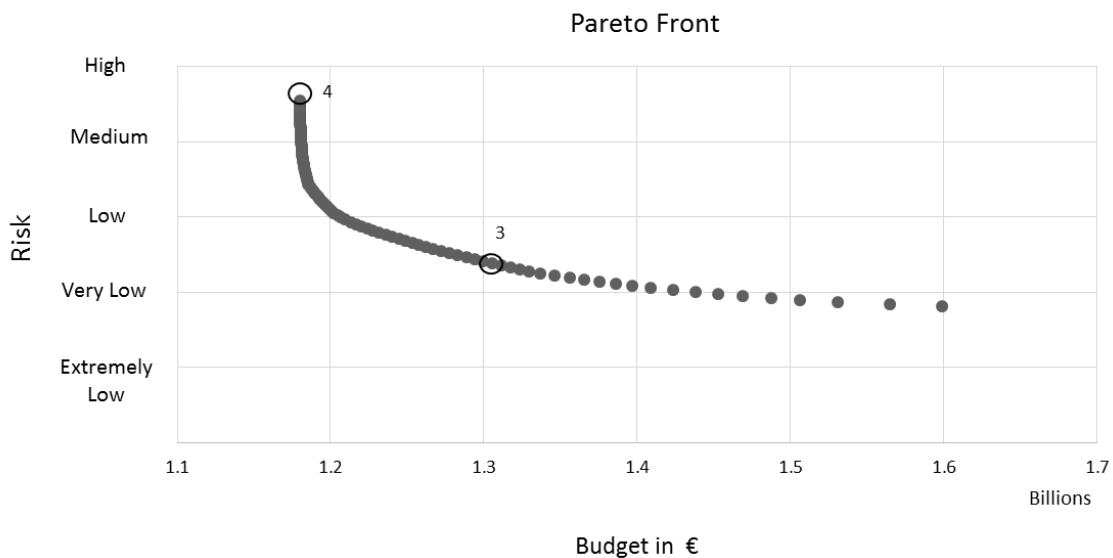
Κατά αναλογία με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, σε άλλες χώρες όπως η Ιταλία, το καθεστώς της έκπτωσης φόρου για ανακαινίσεις κτιρίων αποτελεί ένα από τα τρία πιο σημαντικά μέτρα όσον αφορά την αναμενόμενη εξοικονόμηση ενέργειας έως το 2020. Επιπλέον, οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση του κτιριακού αποθέματος της κεντρικής διοίκησης, για παράδειγμα με τον διορισμό διαχειριστών ενέργειας (πράγμα που ισχύει και για την Πορτογαλία και την Κύπρο), αποτελούν βασική διάταξη της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση.

4.6.2 Κόστος επίτευξης του στόχου για το 2020

Στο σημείο αυτό, το διστοχικό μοντέλο αναδομείται και επιλέγονται διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης για βελτιστοποίηση. Το νέο πρόβλημα θεωρεί έναν σταθερό στόχο ενεργειακών εξοικονομήσεων ίσο με τον εθνικό στόχο ενεργειακής απόδοσης των 1.819 ktoe, και βασίζεται στα εξής κριτήρια:

- Ελαχιστοποίηση του διατεθέντος προϋπολογισμού (σημειώνεται ότι στη προηγούμενη βελτιστοποίηση ο διαθέσιμος προϋπολογισμός αποτελούσε περιορισμό με φραγμένο άνω όριο)
- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30 Βέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών που επιτυγχάνουν τον εθνικό στόχο ενεργειακής απόδοσης.

Έγινε και πάλι επιλογή δύο χαρτοφυλακίων («3» και «4») που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για περαιτέρω ανάλυση. Το χαρτοφυλάκιο «4» υποδεικνύει το ελάχιστο ποσό που θα μπορούσε να επενδυθεί για να επιτευχθεί ο εθνικός στόχος ενεργειακών εξοικονομήσεων, παρουσιάζει ωστόσο τον υψηλότερο κίνδυνο. Μια καλή εναλλακτική λύση προς την κατεύθυνση της επίτευξης του στόχου με επιπρόσθετη επένδυση βρίσκεται στο χαρτοφυλάκιο «3», το οποίο εμφανίζει χαμηλό κίνδυνο. Το μέρος του διαγράμματος δεξιά του χαρτοφυλακίου

«3» απαιτεί σημαντικές πρόσθετες επενδύσεις, χωρίς να προσφέρει εξίσου σημαντική μείωση του κινδύνου. Λεπτομερής περιγραφή των χαρτοφυλακίων «4» και «3», όπου προτείνονται τα πλέον ενεργειακά αποδοτικά μέτρα, δίνεται στον

Π. 39.

Π. 39 Ανάλυση των χαρτοφυλακίων πολιτικών «4» και «3».

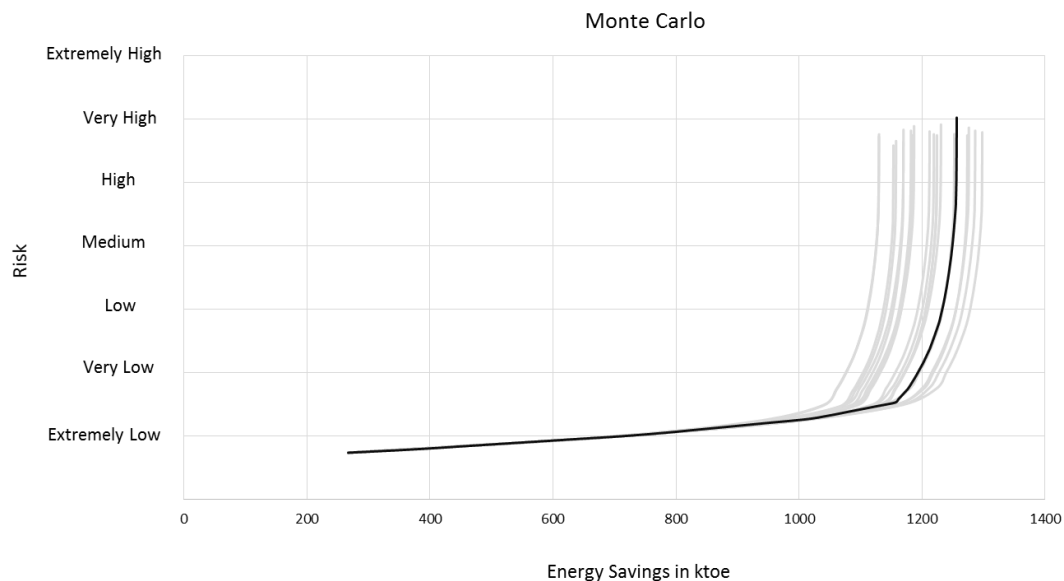
| Μέτρο | Χαρτοφυλάκιο 4 | | | Χαρτοφυλάκιο 3 | | |
|--|---|-------|-------|---|-------|-------|
| | % συμμετοχή στις ενεργειακές εξοικονομήσεις | | | % συμμετοχή στις ενεργειακές εξοικονομήσεις | | |
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» | 7.60 | 5.06 | — | 7.59 | 5.06 | 1.76 |
| Ενεργειακή αναβάθμιση δημόσιων κτιρίων | — | — | — | — | — | — |
| Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις | 10.40 | 6.93 | — | 10.39 | 6.93 | — |
| Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης στον δημόσιο τομέα | 0.33 | 0.22 | 0.11 | — | — | — |
| Ενεργειακή αναβάθμιση εμπορικών κτιρίων | 0.39 | 0.26 | 0.13 | — | — | — |
| Εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων μέτρησης | — | — | — | — | — | — |
| ΕΠΠΕΡΑΑ | — | — | — | — | — | — |
| Συμφηφισμός προστίμων για αυθαίρετα κτίσματα με ενεργειακές αναβαθμίσεις | 0.02 | 0.02 | 0.01 | — | — | — |
| Ενεργειακοί υπεύθυνοι και ΣΔΕΑ στα δημόσια κτίρια | 31.90 | 21.27 | 10.63 | 31.86 | 21.24 | 10.62 |
| Τηλεθέρμανση | — | — | — | — | — | — |
| Αντικατάσταση παλαιών ελαφρών φορτηγών δημόσιας και ιδιωτικής χρήσης | 0.31 | — | — | — | — | — |
| Αντικατάσταση παλαιών επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης | 1.68 | — | — | 2.49 | — | — |
| Αναβάθμιση οδοφωτισμού | 0.64 | 0.43 | 0.21 | 0.64 | 0.43 | — |
| Αναβάθμιση των δημόσιων αντλιοστασίων | 0.42 | 0.28 | — | 0.42 | — | — |
| ΠΕΑ | 0.29 | 0.29 | 0.14 | 0.29 | 0.29 | — |

4.6.3 Ανάλυση ευρωστίας

Η ανάλυση ευρωστίας, η οποία διενεργήθηκε μετά την ντετερμινιστική εκτέλεση του μοντέλου, επικεντρώνεται στην αβεβαιότητα αναφορικά με τις προσδοκώμενες εξοικονομήσεις ενέργειας των μέτρων πολιτικής. Ουσιαστικά, τα δεδομένα εισόδου από το μοντέλο TIMES και η εφαρμογή στην πράξη συγκεκριμένων μέτρων πολιτικών για την Ελλάδα θεωρείται ότι χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα, η οποία τώρα αντιμετωπίζεται στοχαστικά. Στην περίπτωση αυτή, θεωρούμε μία ομοιόμορφη κατανομή με τιμές δείγματος στην περιοχή [0.8, 1.1]. Η αβεβαιότητα αυτή περιλαμβάνει έναν αριθμό παραγόντων και μπορεί να αναπαριστά, μεταξύ άλλων, πιθανές καθυστερήσεις στον χρονισμό υλοποίησης των μέτρων πολιτικής κατά την περίοδο 2018-2020, αναποτελεσματική εφαρμογή των μέτρων, αισιόδοξες ή απαισιόδοξες

προβλέψεις, και διαφορετικά επίπεδα αλλαγής συμπεριφοράς που συσχετίζονται με την πλειονότητα των παρεμβάσεων.

Η εφαρμογή του αλγόριθμου MC, ως μέρος της ανάλυσης ευρωστίας, δείχνει διαφορετικές βέλτιστες καμπύλες Ενεργειακών Εξοικονομήσεων – Κινδύνου, το οποίο μεταφράζεται σε 420 διαφορετικά βέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών. Η Εικόνα 31 απεικονίζει τις διαφορετικές καμπύλες και τις διαφοροποιήσεις τους όσον αφορά τις εξοικονομήσεις ενέργειας και τον κίνδυνο. Το PF «αναφοράς», το οποίο λήφθηκε με την εφαρμογή ντετερμινιστικών τιμών στις παραμέτρους του μοντέλου, αποδίδεται με μαύρο χρώμα. Αυτό το διάγραμμα αποσκοπεί στην υποστήριξη των φορέων χάραξης πολιτικής, παρέχοντάς τους μια οπτικοποίηση της διακύμανσης των PF της MC ως προς το PF «αναφοράς». Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν επομένως να απομονώσουν εύκολα τις περιοχές του PF που είναι πιο εύρωστες από άλλες και να αναλύσουν τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια εντός των περιοχών αυτών. Είναι προφανές πως τα χαρτοφυλάκια που επιτυγχάνουν εξοικονομήσεις ενέργειας κατά προσέγγιση άνω των 1.000 ktoe είναι σε σημαντικό βαθμό πιο επιρρεπή σε διακυμάνσεις, σε σύγκριση με εκείνα που επιτυγχάνουν μικρότερη εξοικονόμηση.



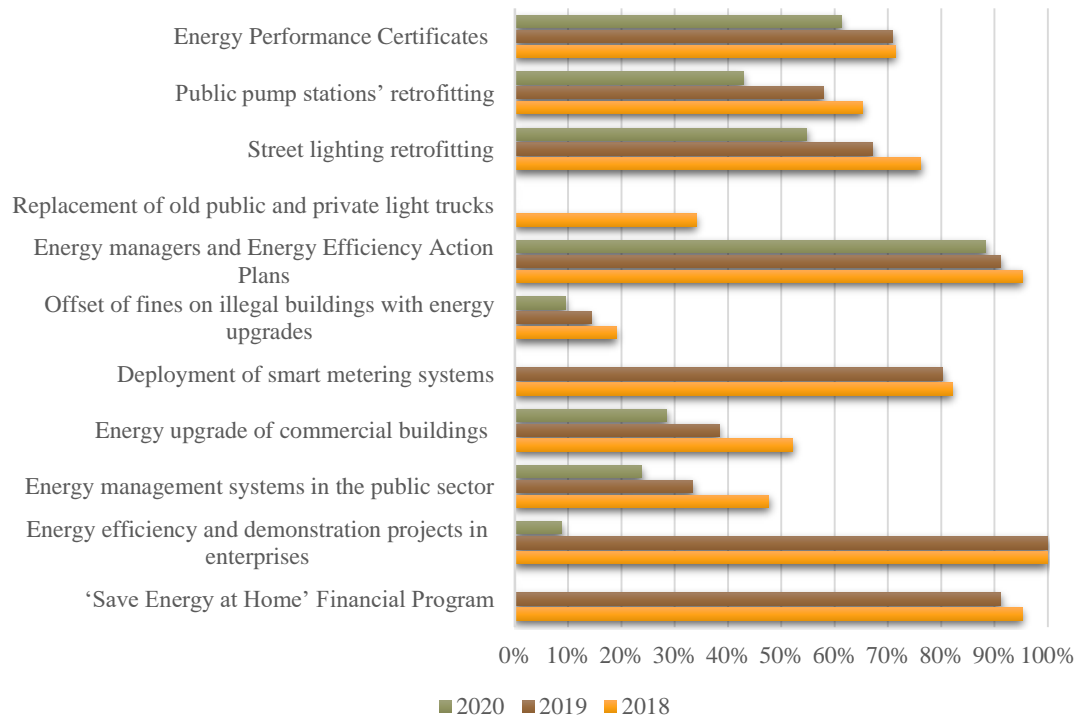
Εικόνα 31 Αξιολόγηση της βέλτιστης λύσης υπό καθεστώς αβεβαιότητας, με χρήση του αλγόριθμου MC.

Για να αναλυθεί η ευρωστία των επιμέρους μέτρων πολιτικής, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισής τους στο σύνολο των 420 διαφορετικών βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Ο Π. 40 και η Εικόνα 32 παρουσιάζουν την απόλυτη και σχετική συχνότητα εμφάνισής τους αντίστοιχα.

Π. 40 Απόλυτη συχνότητα των μέτρων πολιτικής στα χαρτοφυλάκια MC (in the MC portfolios).

| Μέτρο | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|--------------------|------------|------------|
| | Αριθμός εμφανίσεων | | |
| Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» | 400 | 383 | 0 |
| Ενεργειακή αναβάθμιση δημόσιων κτιρίων | 0 | 0 | 0 |
| Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις | 420 | 420 | 37 |
| Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης στον δημόσιο τομέα | 200 | 140 | 100 |
| Ενεργειακή αναβάθμιση εμπορικών κτιρίων | 219 | 161 | 120 |
| Εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων μέτρησης | 345 | 337 | 0 |
| ΕΠΠΕΡΑΑ | 0 | 0 | 0 |
| Συμφηφισμός προστίμων για αυθαίρετα κτίσματα με ενεργειακές αναβαθμίσεις | 80 | 60 | 40 |
| Ενεργειακοί υπεύθυνοι και ΣΔΕΑ στα δημόσια κτίρια | 400 | 383 | 371 |
| Τηλεθέρμανση | 0 | 0 | 0 |
| Αντικατάσταση παλαιών ελαφρών φορτηγών δημόσιας και ιδιωτικής χρήσης | 143 | 0 | 0 |
| Αντικατάσταση παλαιών επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης | 0 | 0 | 0 |
| Αναβάθμιση οδο φωτισμού | 320 | 282 | 230 |
| Αναβάθμιση των δημόσιων αντλιοστασίων | 274 | 243 | 180 |
| ΠΕΑ | 300 | 298 | 257 |

Συμμετοχή των μέτρων στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια (%)

**Εικόνα 32 Σχετική συχνότητα των μέτρων πολιτικής στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.**

Όπως δείχνει ο Π. 40, οι επιδοτήσεις για το πρόγραμμα εξοικονόμηση κατ' οίκον, τα έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις και οι ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια είναι τα μέτρα που κατεξοχήν προτείνονται στους φορείς χάραξης πολιτικής, καθώς απαντούν σε όλα σχεδόν τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια και φαίνεται να έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στη σωρευτική εξοικονόμηση ενέργειας των χαρτοφυλακίων. Δεδομένου ότι η προσοχή εστιάζεται στην αβεβαιότητα που συνδέεται με την επίδοση των χαρτοφυλακίων πολιτικών, μια άλλη πρόταση είναι η επιπρόσθετη επιλογή των πολιτικών που αποσκοπούν στον εκσυγχρονισμό του οδικού φωτισμού και των δημόσιων αντλιοστασίων, καθώς και σε αλλαγές της συμπεριφοράς στον οικιακό τομέα μέσα από την ενεργή προώθηση των οφελών των ΠΕΑ. Αν και οι παρεμβάσεις αυτές δεν αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στις εξοικονομήσεις ενέργειας, εντούτοις συνιστούν μια ιδιαίτερα εύρωστη επένδυση. Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται ότι οι προσπάθειες για ενεργειακή αναβάθμιση των δημόσιων κτιρίων, δράσεις που σχετίζονται με το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα ΕΠΠΕΡΑΑ, υλοποιήσεις της τηλεθέρμανσης και οι επιδοτήσεις για την αντικατάσταση παλαιών ιδιωτικών επιβατικών οχημάτων απουσιάζουν από όλα τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια, ενώ αντιπροσωπεύουν και τα λιγότερο αποδοτικά από άποψη κόστους μέτρα. Ο Π. 40 και η Εικόνα 32 παρέχουν επίσης πληροφορίες σχετικά με τον συνιστώμενο χρονισμό για την εφαρμογή των

προτεινόμενων μέτρων, κατά την περίοδο 2018 - 2010. Λαμβάνοντας υπόψη τις μακροχρόνιες συνέπειες των σωρευτικών εξοικονομήσεων ενέργειας, το μοντέλο αναμενόμενα προτείνει την ενεργοποίηση των δράσεων το συντομότερο δυνατόν.

4.7 Συμπεράσματα

Η συνιστώσα αυτή προτείνει μια προσέγγιση πολυστοχικής βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου για την υποστήριξη χάραξης πολιτικής για την ενεργειακή απόδοση. Στόχος είναι να υποστηριχθούν οι αποφάσεις που αφορούν τον επανασχεδιασμό του ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας, με σκοπό την επίτευξη των εθνικών στόχων ενεργειακής εξοικονόμησης έως το 2020. Λαμβάνοντας υπόψη τους προβληματισμούς του υπουργείου αναφορικά με τους κινδύνους που θέτουν εμπόδια στην επιτυχή υλοποίηση προηγούμενων προγραμματισμένων δράσεων, η ακολουθούμενη προσέγγιση προσανατολίζεται τόσο στις προβλεπόμενες εξοικονομήσεις ενέργειας, όπως προκύπτουν από το μοντέλο TIMES, όσο και στην υλοποίηση καθαυτή ήδη θεσπισμένων μέτρων πολιτικής για την Ελλάδα, καθώς και στους κινδύνους εφαρμογής που, σύμφωνα με τα ενδιαφερόμενα μέρη, ενδέχεται να έχουν ανασταλτικό ρόλο στην επιτυχία του νέου πλαισίου πολιτικής. Η αβεβαιότητα που περιπλέκει τη διαδικασία αποφάσεων αντιμετωπίζεται τόσο λαμβάνοντας υπόψη τους κινδύνους εφαρμογής όσο και με την περαιτέρω αξιολόγηση της στοχαστικής αβεβαιότητας που είναι εγγενής στις παραμέτρους του υποδείγματος.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, δεδομένου του διαθέσιμου προϋπολογισμού και των τεχνικών περιορισμών που συνδέονται με τις εξεταζόμενες δράσεις ενεργειακής απόδοσης, ο εθνικός στόχος εξοικονομήσεων ενέργειας για την περίοδο 2018 – 2020 δεν μπορεί να επιτευχθεί, επομένως θα πρέπει είτε να εξεταστεί το ενδεχόμενο εφαρμογής ενός ευρύτερου συνόλου αποδοτικότερων ως προς το κόστος και πιο εύρωστων μέτρων είτε να εξασφαλιστούν ιδιωτικά κονδύλια και συνεργασίες με τον ιδιωτικό τομέα. Για το σύνολο των εξεταζόμενων μέτρων, τα χαρτοφυλάκια πολιτικών που επιτυγχάνουν εξοικονόμηση μεγαλύτερη του 1 ΜΤΟΕ είναι περισσότερο ευαίσθητα στις διακυμάνσεις των παραμέτρων του μοντέλου και κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται από σημαντικά επίπεδα αβεβαιότητας επί των πραγματικών εξοικονομήσεων που μπορούν να επιτύχουν.

Μεταξύ των διαθέσιμων μέτρων πολιτικής, η πλέον αποτελεσματική και εύρωστη επιλογή περιλαμβάνει ένα μέτρο ανά τομέα ενδιαφέροντος: ένα χρηματοδοτικό πρόγραμμα για ενεργειακές αναβαθμίσεις κτιρίων στον οικιακό τομέα, μία δράση προσανατολισμένη σε έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις και μια πολιτική εστιασμένη στην τοποθέτηση ενεργειακών υπευθύνων και στην υλοποίηση σχεδίων δράσης στα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις αναμενόμενες εξοικονομήσεις όσο και τα επίπεδα κινδύνου εφαρμογής συγκεκριμένων

μέτρων, αυτά φαίνεται να είναι τα πλέον εύρωστα μέτρα πολιτικής, ακολουθούμενα από τον εκσυγχρονισμό του οδοφωτισμού και των αντλιοστασίων, καθώς και από δράσεις που προσανατολίζονται στην προώθηση των ΠΕΑ.

Ένα ακόμα σημαντικό εύρημα είναι ότι όταν λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός στον οποίο κάθε μέτρο είναι ευάλωτο απέναντι σε φραγμούς που παρεμποδίζουν την επιτυχή εφαρμογή του, μεταβάλλονται σημαντικά τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρά την προβλεπόμενη συμβολή τους στην ενεργειακή απόδοση, από τα μέτρα υψηλού κινδύνου μόνο η εισαγωγή ενεργειακών υπευθύνων και τα ΣΔΕΑ στα δημόσια κτίρια λαμβάνεται τελικά υπόψη στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια που προκύπτουν.

Τέλος, ο πολυστοχικός χαρακτήρας της διαδικασίας μοντελοποίησης παρέχει ευελιξία επιλογής από μια πληθώρα σχεδόν βέλτιστων χαρτοφυλακίων, δίνοντας τελικά τη δυνατότητα επιλογής εκείνης της πορείας δράσης που ευθυγραμμίζεται τόσο με τα επίπεδα αποστροφής κινδύνου από πλευράς αποφασιζόντων όσο και με άλλους πολιτικούς περιορισμούς και προτιμήσεις.

Προς περαιτέρω διερεύνηση θα μπορούσαν πιθανώς να τεθούν ζητήματα σχετικά κυρίως με την εννοιολόγηση κινδύνου και την καθιέρωση μιας ευρύτερης προοπτικής στην εκτίμηση και διαχείριση των κινδύνων. Μια ευρύτερη ανάλυση κινδύνου θα πρέπει να επεκτείνει τόσο το δείγμα των συμμετεχόντων εμπειρογνομόνων, όσο και τις ομάδες των ενδιαφερόμενων μερών που εκπροσωπούν, που εδώ περιορίζονται στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Οι εξελίξεις στις επιστημονικές διαδικασίες υποστήριξης στη χάραξη ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής υποδεικνύουν ότι ένα ευρύ φάσμα ομάδων ενδιαφερόμενων μερών σχετίζεται με τις εν λόγω διαδικασίες· ενδεικτικά, εκπρόσωποι τόσο του ιδιωτικού όσο και του δημόσιου τομέα, ερευνητές, ΜΚΟ, οργανισμοί που ασχολούνται ενεργά με την τεχνολογική καινοτομία και τον εφοδιασμό, καθώς και φορείς κοινωνικών ομάδων και πολιτών [4.95]. Η εργασία μοντελοποίησης μπορεί επίσης να επεκταθεί, ώστε να συμπεριλάβει πρόσθετους περιορισμούς και κριτήρια αξιολόγησης όπως αποτελέσματα κατανομής, συνέπειες στην απασχόληση και άλλα κοινωνικά οφέλη.

4.8 Βιβλιογραφία

- [4.1] Bye B, Fæhn T, Rosnes O. Residential energy efficiency policies: costs, emissions and rebound effects. *Energy* 2018;143:191e201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.103>.
- [4.2] Saheb Y, Ossenbrink H. Securing energy efficiency to secure the energy union. Luxembourg: European Union; 2015. DOI, 10, 03260.
- [4.3] European Commission. Report from the commission to the european parliament and the council. In: 2016 assessment of the

progress made by Member States in 2014 towards the national energy efficiency targets for 2020 and towards the implementation of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU as required by Article 24 (3) of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU; 2017. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OCELEX:52017DC0056&from=OEN>.

- [4.4] International Energy Agency. Energy policies of IEA countries: Greece, 2017 review. 2017. Available at: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesGreeceReview2017.pdf>.
- [4.5] Ministry of Environment and Energy. 4th national energy efficiency action plan. 2017. Pursuant to Article 24(2) of Directive 2012/27/EU. Available at: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/el_neeap_2017_el.pdf.
- [4.6] Pohekar SD, Ramachandran M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2004;8(4):365e81. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>.
- [4.7] Suganthi L, Iniyar S, Samuel AA. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;48:585e607. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.037>.
- [4.8] Baños R, Manzano-Agugliaro F, Montoya FG, Gil C, Alcayde A, Gomez J. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15(4):1753e66. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>.
- [4.9] Antunes CH, Henriques CO. Multi-objective optimization and multi-criteria analysis models and methods for problems in the energy sector. In: *Multiple criteria decision analysis*. New York, NY: Springer; 2016. p. 1067e165. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_25.
- [4.10] Buoro D, Casisi M, De Nardi A, Pinamonti P, Reini M. Multicriteria optimization of a distributed energy supply system for an industrial area. *Energy* 2013;58: 128e37. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.003>.
- [4.11] Wu Y, Xu C, Ke Y, Chen K, Sun X. An intuitionistic fuzzy multi-criteria framework for large-scale rooftop PV project portfolio selection: case study in Zhejiang, China. *Energy* 2018;143:295e309. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.105>.

- [4.12] Zhang Y-J, Chen M-Y. Evaluating the dynamic performance of energy portfolios: empirical evidence from the DEA directional distance function. *Eur J Oper Res* 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.008>.
- [4.13] Angelopoulos D, Doukas H, Psarras J, Stamtzis G. Risk-based analysis and policy implications for renewable energy investments in Greece. *Energy Pol* 2017;105:512e23. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.048>.
- [4.14] Bürer MJ, Wüstenhagen R. Cleantech venture investors and energy policy risk: an exploratory analysis of regulatory risk management strategies. In: *Sustainable innovation and entrepreneurship*; 2008. p. 290e309. <https://doi.org/10.4337/9781848441552.00022>.
- [4.15] Doci G, Gotchev B. When energy policy meets community: rethinking risk perceptions of renewable energy in Germany and The Netherlands. *Energy Res Soc Sci* 2016;22:26e35. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.019>.
- [4.16] Enevoldsen P. Onshore wind energy in Northern European forests: reviewing the risks. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;60:1251e62. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.027>.
- [4.17] Gatzert N, Kosub T. Risks and risk management of renewable energy projects: the case of onshore and offshore wind parks. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;60:982e98. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.103>.
- [4.18] Gatzert N, Vogl N. Evaluating investments in renewable energy under policy risks. *Energy Pol* 2016;95:238e52. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.027>.
- [4.19] Holma A, Leskinen P, Myllyviita T, Manninen K, Sokka L, Sinkko T, Pasanen K. Environmental impacts and risks of the national renewable energy targets a review and a qualitative case study from Finland. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;82:1433e41. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.146>.
- [4.20] Kitzing L. Risk implications of renewable support instruments: comparative analysis of feed-in tariffs and premiums using a mean-variance approach. *Energy* 2014;64:495e505. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.008>.
- [4.21] Marrero GA, Puch LA, Ramos-Real FJ. Mean-variance portfolio methods for energy policy risk management. *Int Rev Econ Finance* 2015;40:246e64. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2015.02.013>.

- [4.22] Szumilo N, Fuerst F. Income risk in energy efficient office buildings. *Sustain Cities Soc* 2017;34:309e20. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.024>.
- [4.23] Aven T. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *Eur J Oper Res* 2016;253(1):1e13. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.053>.
- [4.24] Ioannou A, Angus A, Brennan F. Risk-based methods for sustainable energy system planning: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;74(Supplement C):602e15. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.082>.
- [4.25] Nikas A, Doukas H, Lieu J, Alvarez Tinoco R, Charisopoulos V, van der Gaast W. Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *J Knowl Manag* 2017;21(5):1013e34.
- [4.26] Bazilian M, Roques F. Analytic methods for energy diversity and security. Applications of mean variance portfolio theory. A tribute to Shimon Awerbuch. 2008.
- [4.27] Pérez Odeh R, Watts D, Negrete-Pincetic M. Portfolio applications in electricity markets review: private investor and manager perspective trends. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;81(Part 1):192e204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.031>.
- [4.28] Allan G, Eromenko I, McGregor P, Swales K. The regional electricity generation mix in scotland: a portfolio selection approach incorporating marine technologies. *Energy Pol* 2011;39:6e22. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.028>.
- [4.29] Bistline JE. Energy technology R&D portfolio management: modeling uncertain returns and market diffusion. *Appl Energy* 2016;183:1181e96. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.062>.
- [4.30] Bukarica V, Tom_si_c _Z. Energy efficiency policy evaluation by moving from techno-economic towards whole society perspective on energy efficiency market. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;70:968e75. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.002>.
- [4.31] Deluque I, Shittu E, Deason J. Evaluating the reliability of efficient energy technology portfolios. *EURO J Decis Process* 2018;6:115e38. <https://doi.org/10.1007/s40070-018-0077-4>.
- [4.32] Huang YH, Wu JH. A portfolio risk analysis on electricity supply planning. *Energy Pol* 2008;36(2):627e41.

- [4.33] Jackson J. Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools. *Energy Pol* 2010;38:3865e73. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.006>.
- [4.34] Munoz JI, Sanchez de la Nieta AA, Contreras J, Bernal-Agustín JL. Optimal investment portfolio in renewable energy: the Spanish case. *Energy Pol* 2009;37:5273e84. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.050>.
- [4.35] Thollander P, Danestig M, Rohdin P. Energy policies for increased industrial energy efficiency: evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. *Energy Pol* 2007;35:5774e83. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.06.013>.
- [4.36] Togeby M, Dyhr-Mikkelsen K, Larsen AE, Bach P. A Danish case: portfolio evaluation and its impact on energy efficiency policy. *Energy Effic* 2012;5:37e49. <https://doi.org/10.1007/s12053-011-9117-7>.
- [4.37] Vithayasrichareon P, MacGill IF. Portfolio assessments for future generation investment in newly industrializing countries e a case study of Thailand. *Energy* 2012a;44:1044e58. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.042>.
- [4.38] Zhu L, Fan Y. Optimization of China's generating portfolio and policy implications based on portfolio theory. *Energy* 2010;35(3):1391e402. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.024>.
- [4.39] Losekann L, Marrero GA, Ramos-Real FJ, de Almeida ELF. Efficient power generating portfolio in Brazil: conciliating cost, emissions and risk. *Energy Pol* 2013;62:301e14. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.049>.
- [4.40] García ERS, Morales-Acevedo A. Optimizing the energy portfolio of the Mexican electricity sector by 2050 considering CO₂eq emissions and life cycle assessment. *Energy Proc* 2014;57:850e9.
- [4.41] Bhattacharya A, Kojima S. Power sector investment risk and renewable energy: a Japanese case study using portfolio risk optimization method. *Energy Pol* 2012;40:69e80.
- [4.42] Arnesano M, Carlucci AP, Laforgia D. Extension of portfolio theory application to energy planning problem e the Italian case. *Energy Sustain Energy Environ Protect* 2012;39:112e24. 2010.
- [4.43] Awerbuch S, Berger M. Applying portfolio theory to EU electricity planning and policy making (IEA/EET working paper; report number EET/2003/03). 2003.
- [4.44] Vithayasrichareon P, MacGill IF. A Monte Carlo based decision-support tool for assessing generation portfolios in future carbon constrained electricity industries. *Energy Pol* 2012b;41:374e92. 374e392, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.060>.

- [4.45] Tang T, Hill H. Implementation and impacts of intergovernmental grant programs on energy efficiency in the USA. *Curr Sustain/Renew Energy Rep* 2018;5(1):59e66.
- [4.46] Escribano Franc_es G, Marín-Quemada JM, San Martín Gonz_alez E. RES and risk: renewable energy's contribution to energy security. A portfolio-based approach. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;26:549e59. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.015>.
- [4.47] Banerjee A, Solomon BD. Eco-labeling for energy efficiency and sustainability: a meta-evaluation of US programs. *Energy Pol* 2003;31:109e23. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00012-5).
- [4.48] Ribeiro D. Developments in local energy efficiency policy: a review of recent progress and research. *Curr Sustain Energy Rep* 2018;5:109e15. <https://doi.org/10.1007/s40518-018-0105-9>.
- [4.49] Thoyre A. Energy efficiency as a resource in state portfolio standards: lessons for more expansive policies. *Energy Pol* 2015;86:625e34. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.015>.
- [4.50] Vine E, Rhee CH, Lee KD. Measurement and evaluation of energy efficiency programs: California and South Korea. *Energy Electr Market Reform Dereg* 2006;31:1100e13. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.03.003>.
- [4.51] Ministry of Environment and Energy. 3rd national energy efficiency action plan. 2014. Pursuant to Article 24(2) of Directive 2012/27/EU. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20142207.pdf>.
- [4.52] Ministry of Environment and Energy. Annual report on the achievement of national energy efficiency targets. 2016. pursuant to Article 24(1) of Directive 2012/27/EU. Available at: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/el_2016_energy_efficiency_annual_report_en.pdf.
- [4.53] Loulou R, Remme U, Kanudia A, Lehtila A, Goldstein G. Documentation for the TIMES model Part II. Energy technology systems analysis programme (ETSAP); 2005.
- [4.54] Nikas A, Doukas H, Papandreou A. A detailed overview and consistent classification of climate-economy models. In: *Understanding risks and uncertainties in energy and climate policy*. Cham, Switzerland: Springer; 2019. p. 1e54.
- [4.55] Hwang CL, Yoon K. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. New York: Springer-Verlag; 1981. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>.

- [4.56] Nikas A, Doukas H, Lopez LM. A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon* 2018;4(3), e00588.
- [4.57] Brand B, Missaoui R. Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;39:251e61. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.069>.
- [4.58] Büyükozkan G, Gülerüz S. Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations. *Energy (Oxford)* 2017;123:149e63.
- [4.59] Jun K-S, Chung E-S, Kim Y-G, Kim Y. A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts. *Expert Syst Appl* 2013;40(4):1003e13. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.013>.
- [4.60] Montanari R. Environmental efficiency analysis for enel thermo-power plants. *J Clean Prod* 2004;4(12):403e14. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00015-5).
- [4.61] Mourhir A, Rachidi T, Papageorgiou EI, Karim M, Alaoui FS. A cognitive map framework to support integrated environmental assessment. *Environ Model Software* 2016;77(C):81e94. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.11.018>.
- [4.62] Sakhivel G, Ilankumaran M, Gaikwad A. A hybrid multi-criteria decision modeling approach for the best biodiesel blend selection based on ANPTOPSIS analysis. *Ain Shams Eng J* 2015;6(1):239e56. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.08.003>.
- [4.63] Kaya T, Kahraman C. Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Syst Appl* 2011;38(6):6577e85. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.081>.
- [4.64] Onu PU, Quan X, Xu L, Orji J, Onu E. Evaluation of sustainable acid rain control options utilizing a fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis model framework. *J Clean Prod* 2017;141:612e25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.065>.
- [4.65] Chen C-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Set Syst* 2000;114(1):1e9. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1).
- [4.66] Krohling RA, Campanharo VC. Fuzzy TOPSIS for group decision making: a case study for accidents with oil spill in the sea. *Expert Syst Appl* 2011;38(4): 4190e7. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.081>.
- [4.67] Wei-guo F, Hong Z. A multi-attribute group decision-making method approaching to group ideal solution. In: 2007 IEEE international

- conference on grey systems and intelligent services; 2007. p. 815e9. <https://doi.org/10.1109/GSIS.2007.4443387>.
- [4.68] Pérez Odeh R, Watts D, Flores Y. Planning in a changing environment: applications of portfolio optimisation to deal with risk in the electricity sector. *Renew Sustain Energy Rev* 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.089>.
- [4.69] Markowitz H. Portfolio selection. *J Finance* 1952;7(1):77e91. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>.
- [4.70] Anagnostopoulos KP, Mamanis G. A portfolio optimization model with three objectives and discrete variables. *Comput Oper Res* 2010;37(7):1285e97. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.09.009>.
- [4.71] Babaei S, Sepehri MM, Babaei E. Multi-objective portfolio optimization considering the dependence structure of asset returns. *Eur J Oper Res* 2015;244(2):525e39. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.025>.
- [4.72] Doerner K, Gutjahr WJ, Hartl RF, Strauss C, Stummer C. Pareto ant colony optimization: a metaheuristic approach to multiobjective portfolio selection. *Ann Oper Res* 2004;131(1e4):79e99. <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000039513.99038.c6>.
- [4.73] Kremmel T, Kubalík J, Biffl S. Software project portfolio optimization with advanced multiobjective evolutionary algorithms. *Appl Soft Comput* 2011;11(1):1416e26. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.04.013>.
- [4.74] Krink T, Paterlini S. Multiobjective optimization using differential evolution for real-world portfolio optimization. *Comput Manag Sci* 2011;8(1e2): 157e79. <https://doi.org/10.1007/s10287-009-0107-6>.
- [4.75] Lwin K, Qu R, Kendall G. A learning-guided multi-objective evolutionary algorithm for constrained portfolio optimization. *Appl Soft Comput* 2014;24:757e72. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.026>.
- [4.76] Macedo LL, Godinho P, Alves MJ. Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules. *Expert Syst Appl* 2017;79:33e43. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.033>.
- [4.77] Pai GAV, Michel T. Metaheuristic multi-objective optimization of constrained futures portfolios for effective risk management. *Swarm Evol Comput* 2014;19:1e14. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2014.08.002>.
- [4.78] Ponsich A, Jaimes AL, Coello CAC. A survey on multiobjective evolutionary algorithms for the solution of the portfolio optimization problem and other finance and economics applications. *IEEE Trans Evol Comput* 2013;17(3): 321e44. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2012.2196800>.

- [4.79] Stummer C, Heidenberger K. Interactive R&D portfolio selection considering multiple objectives, project interdependencies, and time: a three-phase approach. 2001. p. 423e8 [Presented at the PICMET].
- [4.80] Branke J, Scheckenbach B, Stein M, Deb K, Schmeck H. Portfolio optimization with an envelope-based multi-objective evolutionary algorithm. *Eur J Oper Res* 2009;199(3):684e93. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.054>.
- [4.81] Metaxiotis K, Liagkouras K. Multiobjective evolutionary algorithms for portfolio management: a comprehensive literature review. *Expert Syst Appl* 2012;39(14):11685e98. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.04.053>.
- [4.82] Steuer R. Multiple criteria optimization: theory, computation and application. Malabar, Fla: Krieger; 1989. 1989.
- [4.83] Hamacher HW, Pedersen CR, Ruzika S. Finding representative systems for discrete bicriterion optimization problems. *Oper Res Lett* 2007;35(3):336e44. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2006.03.019>.
- [4.84] Chankong V, Haimes YY. Multiobjective decision making: theory and methodology. Courier Dover Publications; 2008.
- [4.85] Mavrotas G. Effective implementation of the ϵ -constraint method in multiobjective mathematical programming problems. *Appl Math Comput* 2009;213(2):455e65.
- [4.86] Mavrotas G, Florios K. An improved version of the augmented ϵ -constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems. *Appl Math Comput* 2013;219(18):9652e69.
- [4.87] Mavrotas G, Figueira JR, Siskos E. Robustness analysis methodology for multiobjective combinatorial optimization problems and application to project selection. *Omega* 2015a;52:142e55. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.005>.
- [4.88] Mavrotas G, Pechak O, Siskos E, Doukas H, Psarras J. Robustness analysis in multi-objective mathematical programming using Monte Carlo simulation. *Eur J Oper Res* 2015b;240(1):193e201. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.039>.
- [4.89] Mavrotas G, Pechak O. The trichotomic approach for dealing with uncertainty in project portfolio selection: combining MCDA, mathematical programming and Monte Carlo simulation. *Int J Multicriteria Decis Mak* 2013;3:79e96. <https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2013.052474>.

- [4.90] Economidou M, Labanca N, Castellazzi L, Serrenho T, Bertoldi P, Zancanella P, Paci D, Panev S, Gabrielaitiene I. Assessment of the first national energy efficiency action plans under the energy efficiency directive. JRC science for policy report. Joint Research Center; 2016. Available at: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC102284/jrc102284_jrc%20synthesis%20report_online%20template.pdf.
- [4.91] Bertoldi P, Rezessy S, Lees E, Baudry P, Jeandel A, Labanca N. Energy supplier obligations and white certificate schemes: comparative analysis of experiences in the European Union. *Energy Pol* 2010;38(3):1455e69.
- [4.92] DeLlano-Paz F, Antelo SI, Silvosa AC, Soares I. The technological and environmental efficiency of the EU-27 power mix: an evaluation based on MPT. *Energy* 2014;69:67e81.
- [4.93] Yushchenko A, Patel MK. Contributing to a green energy economy? A macroeconomic analysis of an energy efficiency program operated by a Swiss utility. *Appl Energy* 2016;179:1304e20.
- [4.94] Bruce AM. McCarl expanded GAMS user guide, GAMS release 24.2. 1. Washington, DC: GAMS Development Corporation; 2013.
- [4.95] Doukas H, Nikas A, Gonz_alez-Eguino M, Arto I, Anger-Kraavi A. From integrated to integrative: delivering on the paris agreement. *Sustainability* 2018;10(7):2299.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

5 Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης στο πλαίσιο ενός ενιαίου Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα

5.1 Εισαγωγή

Η Συμφωνία του Παρισιού, στο πλαίσιο της Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), καλύπτει το σύνολο σχεδόν των παγκόσμιων εκπομπών [5.1] και είναι η πρώτη πολυμερής συμφωνία που αποσκοπεί να θέσει τον κόσμο στη σωστή πορεία αποφυγής της επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής, περιορίζοντας την υπερθέρμανση του πλανήτη πολύ πιο κάτω από τους 2 °C και συνεχίζοντας τις προσπάθειες για συγκράτησή της στον 1,5 °C, μέσα από ένα παγκόσμιο σχέδιο δράσης για την κλιματική ουδετερότητα. Αυτή η μετάβαση απαιτεί αλλαγές στα υφιστάμενα επιχειρηματικά μοντέλα και τις επενδυτικές αποφάσεις, νέους χρηματοδοτικούς πόρους, ένα νέο τεχνολογικό πλαίσιο και βελτίωση στην ανάπτυξη ικανοτήτων, όλα αυτά καθοδηγούμενα από μια συνολική αναδιάρθρωση του φάσματος πολιτικών [5.2].

Σε υπερεθνικό επίπεδο, η Εθνικά Καθορισμένη Συνεισφορά (NDC) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) συνοψίζεται στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030, σε σύγκριση με το 1990, υπό το ευρύτερο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια με ορίζοντα το 2030 [5.3]. Το εν λόγω πλαίσιο προβάλλει το όραμα της ΕΕ ως Ενεργειακή Ένωση, όπου τα κράτη μέλη μπορούν να στηρίζονται το ένα στο άλλο για την παροχή ασφαλούς ενέργειας στους πολίτες τους, με βάση την πραγματική αλληλεγγύη και εμπιστοσύνη. Ο στόχος μιας ανθεκτικής στην κλιματική αλλαγή Ενεργειακής Ένωσης, με επίκεντρο μια φιλόδοξη πολιτική για το κλίμα, είναι να παρέχει στους καταναλωτές της ΕΕ — τόσο στα νοικοκυριά όσο και στις επιχειρήσεις — ασφαλή, ανταγωνιστική, οικονομικά προσιτή και βιώσιμη ενέργεια. Για την επίτευξη αυτού του στόχου απαιτείται ριζικός μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος της Ευρώπης [5.4].

Η στρατηγική για την Ενεργειακή Ένωση βασίζεται σε πέντε αμοιβαία ενισχυόμενες και στενά αλληλένδετες διαστάσεις, ο σχεδιασμός των οποίων αποβλέπει στην επίτευξη μεγαλύτερης βιωσιμότητας και ανταγωνιστικότητας. Σε αυτές περιλαμβάνονται η ενεργειακή ασφάλεια, αλληλεγγύη και εμπιστοσύνη, η πλήρως ενοποιημένη ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας, η ενεργειακή απόδοση που συμβάλλει στον μετριασμό της ζήτησης, η έρευνα, η καινοτομία και η

ανταγωνιστικότητα καθώς και η απεξάρτηση της οικονομίας από τον άνθρακα [5.5].

Τον Ιούνιο του 2018, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο κατέληξαν σε μια φιλόδοξη πολιτική συμφωνία σχετικά για τη διακυβέρνηση της Ενεργειακής Ένωσης ([5.6], [5.7]). Ο κανονισμός για τη διακυβέρνηση [5.8] διασφαλίζει τη συνοχή της συντονισμένης δράσης σε επίπεδο ΕΕ και σε εθνικό επίπεδο προς την επίτευξη των στόχων της Ενεργειακής Ένωσης και των στόχων για την ενέργεια και το κλίμα για το 2030, που περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40%, τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ κατά τουλάχιστον 32% και την επιδίωξη ενεργειακής απόδοσης που θα αποφέρει εξοικονομήσεις ενέργειας ύψους 32,5%. Σύμφωνα με τον κανονισμό για τη διακυβέρνηση, κάθε κράτος μέλος θα πρέπει να υποβάλει στην Επιτροπή το Εθνικό του Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), δηλώνοντας τους ενεργειακούς του στόχους, τις φιλοδοξίες και τις προτεραιότητες πολιτικής του και στις πέντε βασικές διαστάσεις της Ενεργειακής Ένωσης, καθώς και τις συνοδευτικές πολιτικές και μέτρα.

Ο πυλώνας της ενεργειακής απόδοσης κατέχει τον πρωταγωνιστικό ρόλο μεταξύ των πέντε διαστάσεων της Ενεργειακής Ένωσης για τον μετασχηματισμό του ενεργειακού καθεστώτος της περιοχής καθώς και τη μετάβασή προς ένα ουδέτερο ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό επισημαίνεται σαφώς δια της αρχής «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση» («energy efficiency first»), βασική κατευθυντήρια αρχή γύρω από την οποία θα πρέπει να σχεδιαστεί το ενεργειακό σύστημα της ΕΕ, πράγμα που σημαίνει ότι για όλες τις αποφάσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος, πρώτα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η δυνητική αξία της επένδυσης στην αποδοτικότητα [5.9]. Σύμφωνα με τον Αντιπρόεδρο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αρμόδιο για την Ενεργειακή Ένωση, Maroš Šefčovič, για να γίνει η «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση» πραγματικότητα, η ΕΕ και τα κράτη μέλη θα πρέπει να ενσωματώσουν την αρχή αυτή στα μοντέλα τους και στις εκτιμήσεις επιπτώσεων, στις αποφάσεις για τις υποδομές και τη χρηματοδότηση, και σε όλες τις πολιτικές για την ενέργεια και το κλίμα [5.10].

Η ΕΕ έχει δεσμευθεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 20% έως το 2020, ποσοστό που αναβαθμίζεται σε 32,5% για το 2030, σε σύγκριση με τις προβολές αναφοράς που έγιναν το 2007. Για τον σκοπό αυτό, τα κράτη μέλη πρέπει να συμβάλουν στην επίτευξη αυτού του δεσμευτικού στόχου, που μεταφράζεται σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μικρότερη από 1.483 Mtoe για το 2020 και 1.273 Mtoe για το 2030, καθώς και σε τελική κατανάλωση ενέργειας που δεν θα υπερβαίνει τα 1.086 Mtoe το 2020 και τα 956 Mtoe το 2030 (οδηγία 2012/27/ΕΕ του Συμβουλίου, [5.11]). Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της Eurostat για την εξοικονόμηση ενέργειας, η ΕΕ φαίνεται πως βρίσκεται εκτός πορείας για την επίτευξη των βραχυπρόθεσμων στόχων της του 2020 [5.12], γεγονός που

υπογραμμίζει την ανάγκη για διορθωτικές ενέργειες, αποτελεσματικότερη πολιτική και μέτρα ενεργειακής απόδοσης, καθώς και καλύτερα σχεδιασμένους και στοχευμένους μηχανισμούς χρηματοδοτικής στήριξης[5.13].

Οι επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση συνιστούν τον πλέον οικονομικά αποδοτικό τρόπο για τον μετριασμό της εξάρτησης της ΕΕ (και του σχετικού κόστους) από τις εισαγωγές ενέργειας, καθώς και για την ανάσχεση της κλιματικής αλλαγής και την αντιμετώπιση της οικονομικής κρίσης [5.14]. Η διευκόλυνση της πρόσβασης στη χρηματοδότηση της ενεργειακής απόδοσης πρέπει να καταστεί βασική προτεραιότητα σε επίπεδο ΕΕ, προκειμένου η Ένωση να επιτύχει τους μακροπρόθεσμους στόχους της [5.15]. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) αναγνωρίζει την ανεπαρκή πρόσβαση στη χρηματοδότηση και την απουσία καναλιών για έργα ενεργειακής απόδοσης με δυνατότητα τραπεζικής χρηματοδότησης ως τα σημαντικότερα εμπόδια για την ευρεία εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής απόδοσης ([5.16], [5.17]). Δεδομένου ότι τα εμπόδια αυτά περιορίζουν την ελκυστικότητα των εν λόγω μέτρων, πρέπει να αναπτυχθεί ένα αποτελεσματικό πλαίσιο χρηματοδότησης για τη διασφάλιση του βέλτιστου συνδυασμού μεταξύ ιδιωτικών και δημόσιων φορέων. Η ΕΕ έχει αυξήσει το ποσό των δημόσιων κονδυλίων που διατίθενται για την ενεργειακή απόδοση· ωστόσο, για την επίτευξη των στόχων της και τη στήριξη της μετάβασης σε ένα σύστημα καθαρής ενέργειας, υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω αποδέσμευση της ιδιωτικής χρηματοδότησης, ιδίως όσον αφορά τις επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης. Για τον σκοπό αυτό, κρίσιμες παράμετροι είναι τα μέσα επιμερισμού του κινδύνου, τα συστήματα τεχνικής βοήθειας, καθώς και η βέλτιστη χρήση των δημόσιων κονδυλίων, συμπεριλαμβανομένων των Ευρωπαϊκών Διαρθρωτικών και Επενδυτικών Ταμείων από κοινού με τη χρηματοδότηση μέσω του Ευρωπαϊκού Ταμείου Στρατηγικών Επενδύσεων [5.13]. Εκτιμάται ότι για την περίοδο 2021-2030 θα χρειαστούν επιπλέον 177 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως για την επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της ΕΕ για το 2030 [5.18].

Η παρούσα συνιστώσα, προτείνει μια πολυδιάστατη προσέγγιση για τον σχεδιασμό ενός εξισορροπημένου, ρεαλιστικού και βέλτιστου από πλευράς κόστους χαρτοφυλακίου πολιτικής ενεργειακής απόδοσης στο διευρυμένο πλαίσιο του ΕΣΕΚ. Το πρόβλημα επιλύεται στο πλαίσιο ενός συνόλου στόχων, περιορισμών και πολιτικών προτεραιοτήτων σύμφωνα με το προσχέδιο του ελληνικού ΕΣΕΚ για το 2030, το οποίο υποβλήθηκε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή [5.19].

5.2 Καινοτομία της προσέγγισης

Τα παραδοσιακά προγράμματα για τον ενεργειακό σχεδιασμό, όπως τα μοντέλα Υπολογιζόμενης Γενικής Ισορροπίας (π.χ. GEM-E3, GTAP), καθώς και τα μοντέλα Μερικής Ισορροπίας (π.χ. PRIMES, POLES), χρησιμοποιούνται συνήθως για μακροπρόθεσμες προσομοιώσεις. Αναλύουν τις συνέπειες

πολιτικών για τις οικονομίες λαμβάνοντας ως υπόθεση εργασίας ότι όλες οι αγορές βρίσκονται σε τέλεια ισορροπία, ενώ αφήνουν έξω τα κενά ενεργειακής απόδοσης, τις καθυστερήσεις στην προσαρμογή και γενικά παραβλέπουν τις αποτυχίες και τα εμπόδια της αγοράς. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης (π.χ. MARKAL/TIMES, MESSAGE) είναι σε θέση να μοντελοποιήσουν ολόκληρα εθνικά ενεργειακά συστήματα κατά πλήρη τρόπο, απεικονίζοντας τις ενεργειακές ροές από την παραγωγή στην τελική κατανάλωση ενέργειας, και να βελτιστοποιήσουν το σύστημα σύμφωνα με ένα εκτεταμένο σύνολο περιορισμών και στόχων με τον πλέον οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Αν και η χρήση τους περιορίζεται σε διακριτές τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας, δεν λαμβάνονται υπόψη σοβαρές ατέλειες της αγοράς και εμπόδια, γεγονός που οδηγεί σε εξωπραγματικά χαμηλές προβλέψεις της ενεργειακής ζήτησης ([5.18], [5.20], [5.21], [5.22], [5.23]). Από την άποψη αυτή, είναι δύσκολο για τα συγκεκριμένα μοντέλα να συμπεριλάβουν στις αναλύσεις τους πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση, με αποτέλεσμα η ανάλυση να παραμένει στο επίπεδο των τεχνολογιών και των μέτρων, αφήνοντας ένα κενό προς την κατεύθυνση του σχεδιασμού ολοκληρωμένων πολιτικών ενεργειακής απόδοσης. Οι μηχανισμοί στήριξης, ως χρηματοδοτικά μέσα που επιτρέπουν τη διαφοροποίηση των χρηματοδοτικών πόρων και των αντίστοιχων κινδύνων, μένουν εκτός ανάλυσης, καθώς τα αποτελέσματα αναφέρονται στον αριθμό των ανακαινίσεων κτιρίων ή των αντικαταστάσεων οχημάτων, παραμένοντας ένα βήμα πίσω από τον σχεδιασμό της πολιτικής. Οι συντάκτες του άρθρου προτείνουν έναν πολύπλευρο σχεδιασμό πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ, εξετάζοντας διάφορες τεχνολογίες και μέτρα ενεργειακής απόδοσης σε συνδυασμό με ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών μηχανισμών χρηματοδοτικής στήριξης. Επίσης, εισάγουν και ακολουθούν μία προσέγγιση τριών επιπέδων που συμπεριλαμβάνει τεχνολογίες, μέτρα και πολιτικές. Οι αντίστοιχοι ορισμοί είναι οι ακόλουθοι:

Τεχνολογία ενεργειακής απόδοσης: η τεχνολογία, η παρέμβαση, η διαδικασία, η πρακτική ή το σύστημα που, με την εφαρμογή του, οδηγεί σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός σεναρίου αναφοράς (π.χ. αντλία θερμότητας υψηλής απόδοσης, εφαρμογή θερμομόνωσης).

Μέτρο ενεργειακής απόδοσης: η εφαρμογή ενός συνόλου τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός τομέα-στόχου ή τομέων-στόχων σε σύγκριση με ένα σενάριο αναφοράς (π.χ. ανακαίνιση νοικοκυριών, βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον τομέα των μεταφορών).

Πολιτική ενεργειακής απόδοσης (ή μέτρο πολιτικής ενεργειακής απόδοσης): η επίσημη κατάρτιση κρατικού πλαισίου στήριξης, μηχανισμού ή μέσου (οικονομικού, εκπαιδευτικού, φορολογικού, πληροφοριακού, οργανωτικού, ρυθμιστικού, ερευνητικού, εθελοντικού ή άλλου) που οδηγεί στην εφαρμογή ενός μέτρου ενεργειακής απόδοσης (π.χ. δημόσιες επιχορηγήσεις για

ανακαινίσεις νοικοκυριών, έκπτωση φόρου για βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης).

Η παρούσα ανάλυση επικεντρώνεται μόνο στις οικονομικές και φορολογικές πολιτικές ενεργειακής απόδοσης. Οι πολιτικές επιβολής και ελέγχου δεν εξετάζονται.

Σύμφωνα με τις ισχύουσες και τις τροποποιημένες Οδηγίες για την ενεργειακή απόδοση (οδηγία 2012/27/ΕΕ του Συμβουλίου και οδηγία 2018/2002 του Συμβουλίου, [5.24]), τα κράτη μέλη πρέπει να συμμορφώνονται με ένα σύνολο δεσμευτικών και ενδεικτικών στόχων ενεργειακής απόδοσης. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το άρθρο 3 της Οδηγίας, κάθε κράτος μέλος «θεσπίζει ενδεικτικό εθνικό στόχο ενεργειακής απόδοσης, βασιζόμενο είτε στην πρωτογενή ή στην τελική κατανάλωση ενέργειας, είτε στην εξοικονόμηση πρωτογενούς ή τελικής ενέργειας, είτε στην ενεργειακή ένταση». Σύμφωνα με το άρθρο 7 της Οδηγίας, κάθε κράτος μέλος θεσπίζει υποχρεωτική σωρευτική εξοικονόμηση ενέργειας στην τελική χρήση. Η μοντελοποίηση του στόχου του άρθρου 7 χαρακτηρίζεται από υψηλό επίπεδο πολυπλοκότητας, λόγω των ιδιοτήτων του μεθοδολογικού του πλαισίου ([5.25], [5.26]). Κατά την περαιτέρω επεξήγηση του σχεδιασμού των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο του άρθρου 7, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αντίστοιχοι περιορισμοί της επιλεξιμότητας των πολιτικών, όπως το κριτήριο της σημαντικότητας (*materiality*), ζητήματα που αφορούν τη γραμμή βάσης της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και ιδιαιτερότητες στη μέτρηση της ενεργειακής εξοικονόμησης, επί παραδείγματι η διπλή καταμέτρηση (*double counting*), το φαινόμενο του ελεύθερου καβαλάρη (*free rider effect*), το κριτήριο της προσθετικότητας και η διάρκεια ζωής των τεχνολογιών. Σύμφωνα με την προσέγγιση του άρθρου 7, οι εξοικονομήσεις υπολογίζονται συνήθως βάσει προσομοιωμένων ενεργειακών καταναλώσεων — θεωρητικές καταναλώσεις ενέργειας — ενώ το άρθρο 3 αφορά τα εκ των υστέρων πραγματικά καταγεγραμμένα ενεργειακά στοιχεία των κρατών μελών — πραγματικές καταναλώσεις ενέργειας. Οι ερευνητές, που ασχολούνται με τις πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση, τυπικά επικεντρώνονται στη χρήση είτε ενεργειακών εξοικονομήσεων βάσει του άρθρου 7 ([5.27], [5.28], [5.29]) είτε πραγματικών εξοικονομήσεων δυνάμει του άρθρου 3 ([5.30], [5.31]), ενώ ο Simon Moser επισήμανε τις διαφορές μεταξύ των πραγματικών και των υπερεκτιμημένων εξοικονομήσεων σύμφωνα με τη μεθοδολογία του άρθρου 7 και ιδίως στο πλαίσιο των ΕΕΟs [5.32]. Η παρούσα εργασία συμπεριλαμβάνει και τις δύο περιπτώσεις, ώστε, πρώτον, να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων πολιτικών σε σχέση και με τους δύο στόχους ενεργειακής απόδοσης και, δεύτερον, να επισημάνει και να εξηγήσει τις διαφορές και τις αντιφάσεις ανάμεσα στις δύο αυτές πτυχές.

Οι Rosenow et al. [5.33] αξιολόγησαν τον βαθμό στον οποίο το Winter Package της ΕΕ δίνει «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση» και υπέβαλαν επίσης ένα σύνολο συγκεκριμένων πολιτικών προτάσεων, προκειμένου να ενσωματωθεί η

αρχή της «προτεραιότητας στην απόδοση» στην προτεινόμενη δέσμη των ευρωπαϊκών νομοθετικών διατάξεων για την ενέργεια. Τα εθνικά σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ) υποβλήθηκαν πρόσφατα στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή από τα κράτη μέλη [5.6]· επομένως, τα πρώτα πορίσματα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα κράτη μέλη προσέγγισαν την αρχή της «προτεραιότητας στην απόδοση» παραμένουν ανοιχτό ερώτημα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία επιχειρεί να ενσωματώσει την παραπάνω αρχή στο πλαίσιο των διατάξεων του κανονισμού για τη διακυβέρνηση και να προωθήσει την περαιτέρω προτυποποίησή της.

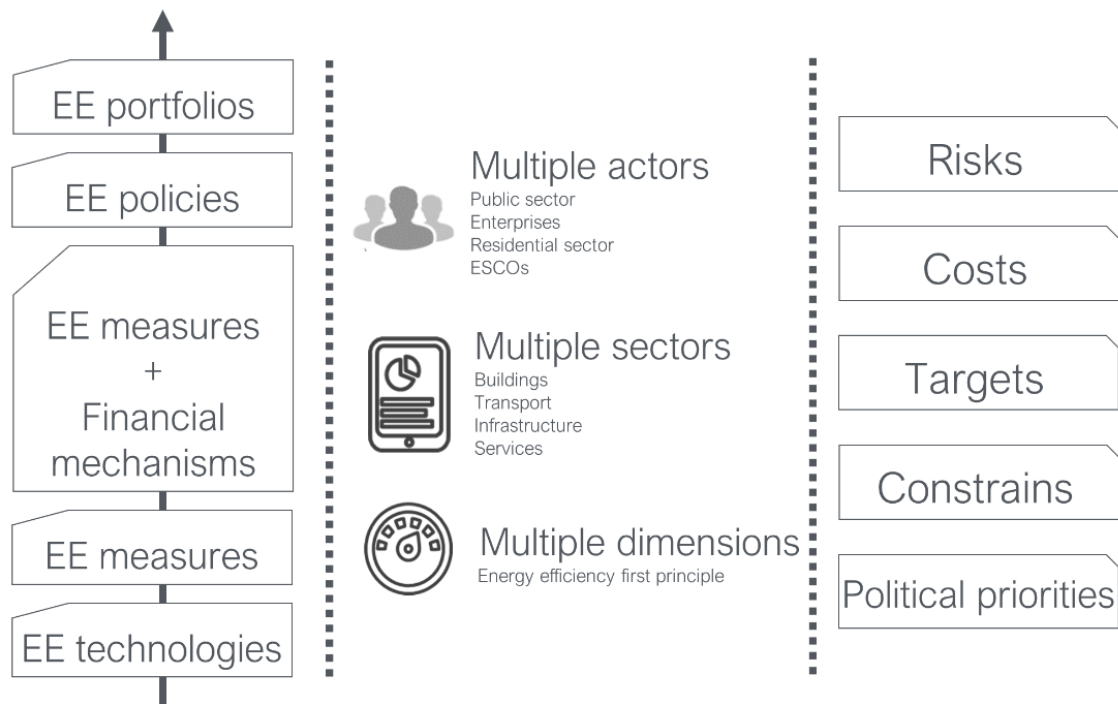
Με βάση τις αντίστοιχες εθνικές της δεσμεύσεις, καθώς και την ανάγκη της να ανταποκριθεί στις ευρωπαϊκές και παγκόσμιες προσπάθειες στο μέτωπο της κλιματικής αλλαγής, η Ελλάδα καταβάλλει προσπάθειες για τον προσδιορισμό και την εφαρμογή αποτελεσματικών και βιώσιμων πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση. Βέβαια, οι προσπάθειες αυτές περικλείουν προϋπάρχοντα εργαλεία πολιτικής, μέτρα και παρεμβάσεις, όπως οικονομικά κίνητρα στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης, σε ένα πλαίσιο διασφάλισης της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων χρηματοδοτικών πόρων μεταξύ αυτών των μέτρων, κυρίως σε σχέση με το κέλυφος κτιρίων, ενώ εστιάζουν ως ένα βαθμό και στην ενεργειακή απόδοση του τομέα των μεταφορών [5.34]. Η αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων πολιτικών ποσοτικοποιείται βάσει των αρχών της ανάλυσης χαρτοφυλακίων (PA). Αυτό περιλαμβάνει τη διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής της PA ως εργαλείου για τη στήριξη της μετάβασης σε μια ενεργειακά αποδοτική και ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή οικονομία. Η PA είναι ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο εφαρμόζεται ευρέως στον χρηματοοικονομικό τομέα και υποδεικνύει την αντιστάθμιση μεταξύ των αποδόσεων μιας επένδυσης και της επικινδυνότητάς της, ενώ παράλληλα αποτελεί και μια σχετικά νέα προσέγγιση σε μελέτες σχετικά με την κλιματική πολιτική ([5.35], [5.36], [5.37]). Ο καθορισμός των στοιχείων ενεργητικού στην PA είναι ένας από τους παράγοντες που αποθαρρύνουν τους ερευνητές από τη χρήση της PA στη σφαίρα της κλιματικής πολιτικής. Δεδομένου ότι μόνο περιοριστικά μπορεί να θεωρηθεί ένα μέσο πολιτικής ως στοιχείο ενεργητικού, οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές επικεντρώνονται στην αξιολόγηση επενδύσεων παρά μέσων πολιτικής. Από την άποψη αυτή, η παρούσα εργασία επιδιώκει να παράσχει ολοκληρωμένη υποστήριξη στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων και χάραξης πολιτικής, για μια εμβάθυνση πάνω στον άξονα της ενεργειακής απόδοσης, διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάπτυξη νέων, καινοτόμων και ολιστικών πολιτικών και χρηματοδοτικών μηχανισμών, ξεκινώντας από το μηδέν, προκειμένου να καλυφθούν τα υφιστάμενα κενά και να αποτελέσουν το σημείο αναφοράς στο επικείμενο ΕΣΕΚ.

Η Ελλάδα κατέστησε σαφές το χρηματοδοτικό της κενό για την επίτευξη του δεσμευτικού της στόχου για την ενεργειακή απόδοση [5.38]. Συνεκτιμώντας τις μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης στην Ελλάδα [5.39] και το γεγονός ότι η χώρα φαίνεται να υπολείπεται των βραχυπρόθεσμων

στόχων της αναφορικά με την ενεργειακή της απόδοση [5.40], επελέχθει για τον σκοπό της εν λόγω συνιστώσας, να εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία στη συγκεκριμένη χώρα. Είναι προφανές ότι οι τρέχουσες δυσκολίες όσον αφορά την εκπλήρωση των εθνικών δεσμεύσεων για την ενεργειακή απόδοση μπορούν, σε σημαντικό βαθμό, να συσχετιστούν με τους υποκείμενους κινδύνους και τις αβεβαιότητες που ουσιαστικά δεν επέτρεψαν την επιτυχή εφαρμογή του πλαισίου πολιτικής. Ως προς αυτήν την πλευρά, η τρέχουσα μελέτη καταβάλλει ιδιαίτερη προσπάθεια να ερμηνεύσει καλύτερα τον άξονα της ενεργειακής απόδοσης, ενσωματώνοντας την οικονομική πτυχή των κινδύνων στο σύνολο της ανάλυσης χαρτοφυλακίου (δηλαδή τον κίνδυνο που συναρτάται προς την αποδοχή αποπληρωμής και τη δανειοληπτική ικανότητα). Αν και στη συντριπτική τους πλειοψηφία οι ελληνικοί εμπλεκόμενοι φορείς έχουν επίγνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, θεωρώντας το 2008 την κλιματική αλλαγή ως το μείζον παγκόσμιο πρόβλημα [5.41], οι τάσεις αντιστράφηκαν πέντε έτη αργότερα: η φτώχεια και η οικονομική κατάσταση βρέθηκαν δραματικά κοντά στην κλιματική αλλαγή, όσον αφορά την ιεράρχηση προτεραιοτήτων [5.42]. Ως εκ τούτου, οι οικονομικοί κίνδυνοι αναδεικνύονται σε καταλυτικό παράγοντα για την αποτελεσματική εφαρμογή των σχεδιαζόμενων πολιτικών ενεργειακής απόδοσης, ενώ μέχρι τώρα αγνοούνταν συστηματικά ([5.34], [5.40]).

5.3 Προτεινόμενη προσέγγιση

Με την υποστήριξη της διαδικασίας από το αρχικό στάδιο σχεδιασμού της, η προτεινόμενη πολυδιάστατη προσέγγιση συγκεράζει όλες τις ιδιαιτερότητες που απορρέουν από τη συμμετοχή διαφορετικών παραγόντων, ενσωματώνει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τεχνολογίας και μέτρων από διάφορους τομείς, και υποστηρίζει την προτεραιοποίηση της διάστασης της ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με την αρχή «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση» (Εικόνα 33).



Εικόνα 33 Πολυδιάστατος σχεδιασμός από τα μέτρα στις πολιτικές

Το πρόβλημα της εξαγωγής των βέλτιστων χαρτοφυλακίων ενεργειακής απόδοσης, που επιτυγχάνουν πλήρως τους στόχους εξοικονόμησης ενέργειας για το χρονικό διάστημα 2021-2030, επιλύεται λαμβάνοντας υπόψη την ελαχιστοποίηση της δημόσιας χρηματοδότησης, με παράλληλη αύξηση της ιδιωτικής μόχλευσης και ελαχιστοποίηση του κινδύνου που συνδέεται με την επιτυχή υλοποίηση των δράσεων. Η επιλογή αυτών των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων (objective functions) υπαγορεύεται από την επείγουσα ανάγκη όλων των κρατών μελών να αυξήσουν τη χρήση των χρηματοδοτικών μέσων, ιδίως σε ένα πλαίσιο δημοσιονομικής περιστολής, αξιοποιώντας καλύτερα τη διαθέσιμη ευρωπαϊκή χρηματοδότηση από τα διαρθρωτικά ταμεία [5.43]. Σύμφωνα με την ΕΤΕπ, τα χρηματοδοτικά μέσα υποστηρίζουν την κινητοποίηση πρόσθετων συνεπενδύσεων δημόσιου-ιδιωτικού τομέα και παρέχουν ποικίλα κίνητρα για την επίτευξη καλύτερων επιδόσεων των έργων [5.44]. Ωστόσο, για να προκύψουν όλα τα πλεονεκτήματα από τη χρήση χρηματοδοτικών μέσων, χρειάζεται απαιτητικός σχεδιασμός πολιτικής για την εξεύρεση της σωστής ισορροπίας μεταξύ της αποδεκτής μετατόπισης του κόστους και του κινδύνου εφαρμογής. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Forouli et al. [5.34] και Nikas et al. [5.45], άλλες διαστάσεις του κινδύνου υλοποίησης, όπως η γραφειοκρατία και η κοινωνική αντίθεση, δεν θα πρέπει να παραβλέπονται ή να υποβαθμίζονται κατά τον σχεδιασμό πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.

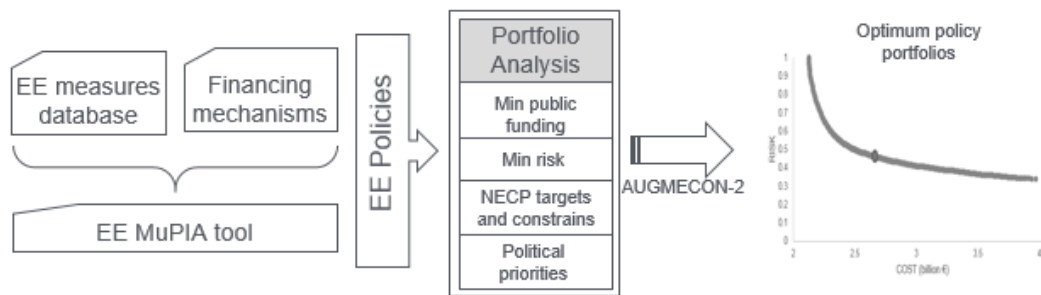
Η ποσοτικοποίηση των παραμέτρων του μοντέλου στηρίχθηκε σε βάση δεδομένων, η οποία αναπτύχθηκε από τους συντάκτες και ελέγχθηκε από ειδική επιτροπή του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), αρμόδια για όλα

τα συναφή ζητήματα αναφορικά με τα μέτρα, τις πολιτικές και τα μοντέλα που συμπεριλήφθηκαν ή χρησιμοποιήθηκαν στην κατάρτιση του ελληνικού ΕΣΕΚ. Η εν λόγω βάση δεδομένων περιλαμβάνει εκτεταμένο κατάλογο παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης σε διάφορους τομείς στην Ελλάδα. Ακολουθώντας μια προσέγγιση βασιζόμενη σε από κάτω προς τα πάνω εξισώσεις (bottom-up) και σύμφωνα με τα όσα προβλέπονται στο παράρτημα V της EED (οδηγία 2012/27/ΕΕ του Συμβουλίου, [5.11]) αναφορικά με τις μεθόδους μέτρησης της ενεργειακής απόδοσης, η βάση δεδομένων περιλαμβάνει μια σειρά παρεμβάσεων μικρής και μεγάλης κλίμακας σε κτίρια (κατοικίες και μη) και στον τομέα των μεταφορών, «ήπια» και συμπεριφορικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης, καθώς και μέτρα υποδομών. Για κάθε μέτρο, η βάση δεδομένων παρέχει ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις εξοικονομήσεις ενέργειας βάσει του άρθρου 7 της EED λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ιδιαιτερότητες της μέτρησης, τις εξοικονομήσεις ενέργειας βάσει του άρθρου 3 της EED, την παραγωγή θέρμανσης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, τις λειτουργικές δαπάνες (ΟΡΕΧ), τις κεφαλαιουχικές δαπάνες (CΑΡΕΧ), και τη διάρκεια ζωής.

Η πολυδιάστατη χρηματοοικονομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πληροφοριακό σύστημα ΜuPIA (Multi-Perspective Investment Analysis), ένα εργαλείο ολοκληρωμένης ανάλυσης επενδύσεων για την ενεργειακή απόδοση, το οποίο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εν λόγω συνιστώσας. Το εργαλείο αυτό εκτελεί υπολογισμούς της ανάλυσης των επενδύσεων καλύπτοντας όλες τις διαφορετικές πτυχές που προκύπτουν από τις διαφορετικές σκοπιές ανάλυσης των εμπλεκόμενων μερών, σύμφωνα με το υπό εξέταση μέτρο ενεργειακής απόδοσης και τον συνοδευτικό μηχανισμό χρηματοδοτικής στήριξης.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα του ΜuPIA χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των δεικτών κινδύνου. Ο υπολογισμός ενός δείκτη κινδύνου ανά πολιτική ενεργειακής απόδοσης ενσωματώνει την παράμετρο του χρηματοοικονομικού κινδύνου, ο οποίος συσχετίζεται άμεσα με το χρηματικό ποσό που μπορεί να αναλάβει κάθε δικαιούχος ή εμπλεκόμενο μέρος, και την παράμετρο του κινδύνου της αγοράς, ο οποίος συνδέεται με την πολυπλοκότητα εφαρμογής και την κοινωνική αποδοχή.

Για την επίλυση του προβλήματος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των περιορισμών AUGMECON-2 [5.46]. Το μοντέλο επιλύθηκε στο περιβάλλον του συστήματος GAMS (General Algebraic Modelling System) με τη χρήση του λύτη CPLEX [5.47] (Εικόνα 34).



Εικόνα 34 Σχηματική αναπαράσταση των οντοτήτων και των συνδέσεων του μοντέλου

5.4 Μοντελοποίηση του προβλήματος για το ελληνικό ΕΣΕΚ

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης περιλαμβάνει ένα σύνολο 217 πολιτικών, οι οποίες ομαδοποιούνται σε 6 ευρύτερες κατηγορίες μέτρων (Π. 42) αποτελούμενων από διαφορετικές τεχνολογίες (Π. 41), σε συνδυασμό με 10 διαφορετικούς μηχανισμούς χρηματοδοτικής στήριξης (Π. 43).

Π. 41 Τύποι εξεταζόμενων τεχνολογιών για την περίοδο 2021-2030

| Ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών | Ανακαίνιση κτιρίων επιχειρήσεων | Ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 2 Κατασκευαστικές περιόδους | 2 Κατασκευαστικές περιόδους | 2 Κατασκευαστικές περιόδους |
| -Παλαιά (πριν από το 1980) | -Παλαιά (πριν από το 1980) | -Παλαιά (πριν από το 1980) |
| -Μέση (1981-2010) | -Μέση (1981-2010) | -Μέση (1981-2010) |
| Μεμονωμένες παρεμβάσεις | Μεμονωμένες παρεμβάσεις | Μεμονωμένες παρεμβάσεις |
| -Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος | -Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος | -Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος |
| -Συστήματα θέρμανσης | -Συστήματα θέρμανσης | -Συστήματα θέρμανσης |
| -Συστήματα ψύξης | -Συστήματα ψύξης | -Συστήματα ψύξης |
| -Ηλιακοί συλλέκτες | -Σύστημα εξαερισμού | -Σύστημα εξαερισμού |
| -Σύστημα φωτοβολταϊκών | -Σύστημα φωτοβολταϊκών | -Σύστημα φωτοβολταϊκών |
| | -Φωτισμός | -Φωτισμός |
| Μεγάλες παρεμβάσεις | Μεγάλες παρεμβάσεις | Μεγάλες παρεμβάσεις |

| Ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών | Ανακαίνιση κτιρίων επιχειρήσεων | Ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων |
|--|---|---|
| –Διαφορετικοί συνδυασμοί των παραπάνω μεμονωμένων παρεμβάσεων | –Διαφορετικοί συνδυασμοί των παραπάνω μεμονωμένων παρεμβάσεων | –Διαφορετικοί συνδυασμοί των παραπάνω μεμονωμένων παρεμβάσεων |
| –Συνδυασμός παρεμβάσεων που οδηγούν σε κτίρια plus nZEB | –Συνδυασμός παρεμβάσεων που οδηγούν σε κτίρια plus nZEB | –Συνδυασμός παρεμβάσεων που οδηγούν σε κτίρια plus nZEB |
| Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης ιδιωτικών οχημάτων | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης οχημάτων επιχειρήσεων | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης δημόσιων οχημάτων |
| Μικρές παρεμβάσεις | Μικρές παρεμβάσεις | |
| –Ελαστικά χαμηλής αντίστασης σε επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά φορτηγά | –Ελαστικά χαμηλής αντίστασης σε επιβατικά αυτοκίνητα, ελαφρά φορτηγά, βαρέα φορτηγά και λεωφορεία | |
| | –Συστήματα ψύξης υψηλής απόδοσης σε βαρέα φορτηγά, λεωφορεία και ταξί | |
| Μεγάλες παρεμβάσεις | Μεγάλες παρεμβάσεις | Μεγάλες παρεμβάσεις |
| –Επιβατικά αυτοκίνητα υψηλής απόδοσης (ηλεκτρικά, φυσικού αερίου, βενζινοκίνητα) | –Επιβατικά αυτοκίνητα υψηλής απόδοσης (ηλεκτρικά, φυσικού αερίου, βενζινοκίνητα,) | –Επιβατικά αυτοκίνητα υψηλής απόδοσης (ηλεκτρικά, φυσικού αερίου, βενζινοκίνητα,) |
| –Μετατροπή καυσίμων (σε φυσικό αέριο) | –Μετατροπή καυσίμων (σε φυσικό αέριο) | –Ελαφρά οχήματα (LDV) υψηλής απόδοσης (ντιζελοκίνητα φορτηγά) |
| –Ελαφρά οχήματα (LDV) υψηλής απόδοσης (ντιζελοκίνητα φορτηγά) | –Ελαφρά οχήματα (LDV) υψηλής απόδοσης (ντιζελοκίνητα φορτηγά) | –Βαρέα οχήματα (HDV) υψηλής απόδοσης (ντιζελοκίνητα φορτηγά) |
| | –Βαρέα οχήματα (HDV) υψηλής απόδοσης (ντιζελοκίνητα φορτηγά) | –Λεωφορεία ντιζελοκίνητα υψηλής απόδοσης |

| Ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών | Ανακαίνιση κτιρίων επιχειρήσεων | Ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων |
|-------------------------------------|--|--|
| | –Λεωφορεία ντιζελοκίνητα υψηλής απόδοσης | –Λεωφορεία πεπιεσμένου αερίου απόδοσης (CNG) |
| | –Λεωφορεία πεπιεσμένου αερίου απόδοσης (CNG) | –Δημόσια οχήματα απόδοσης (τρόλεϊ) |

Η επιλογή των μηχανισμών χρηματοδοτικής στήριξης βασίστηκε στις κύριες αρχές των υφιστάμενων δημόσιων και ιδιωτικών προγραμμάτων σε εθνικό επίπεδο ([5.38], [5.48]), καθώς και σε βιβλιογραφική ανασκόπηση των χρηματοδοτικών μηχανισμών για την ενεργειακή απόδοση ([5.14], [5.49], [5.50], [5.51]). Τέσσερις πολιτικές λήφθηκαν επιπρόσθετα υπόψη ως πολιτικές προτεραιότητες (όσον αφορά τις εξοικονομήσεις και το κόστος τους) χωρίς να συμπεριληφθούν στην ανάλυση. Αυτές είναι ο διορισμός ενεργειακών υπευθύνων σε δημόσια κτίρια, οι παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης σε δημόσια αντλιοστάσια, οι παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης στον οδοφωτισμό, και η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP > 1 MW και < 1 MW).

Π. 42 Οι τύποι των μέτρων και των πολιτικών που εξετάστηκαν για την περίοδο 2021-2030

| Αρ. | Κατηγορία |
|------------|--|
| C1 | Ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών |
| C1-F1 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς |
| C1-F2 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και προνομιακού δανείου |
| C2 | Ανακαίνιση κτιριακών εγκαταστάσεων επιχειρήσεων |
| C2-F1 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς |
| C2-F3 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, προνομιακού δανείου και ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς |
| C2-F4 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς, συμμετοχή ESCO και προνομιακών δανείων |
| C3 | Ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων |

| Αρ. | Κατηγορία |
|---------------|--|
| C3-F5 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, προνομιακού δανείου και χρηματοδοτικής συνεισφοράς του δικαιούχου |
| C3-F6 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, χρηματοδοτικής συνεισφοράς του δικαιούχου, συμμετοχής ESCO και προνομιακών δανείων |
| C4 | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης ιδιωτικών οχημάτων |
| C4-F7, F10 | Προνομιακά δάνεια |
| C4-F8 | Συνδυασμός μικρής επιχορήγησης και προνομιακού δανείου |
| C4-F9 | Επιχορηγήσεις |
| C5 | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης δημόσιων οχημάτων |
| C5-F8 | Συνδυασμός μικρής επιχορήγησης και προνομιακού δανείου |
| C5-F9 | Επιχορηγήσεις |
| C6 | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης επαγγελματικών οχημάτων επιχειρήσεων |
| C6-F7, F10 | Προνομιακά δάνεια |
| C6-F8 | Συνδυασμός μικρής επιχορήγησης και προνομιακού δανείου |
| C6-F9 | Επιχορηγήσεις |

Π. 43 Κατηγορίες των μηχανισμών χρηματοδοτικής στήριξης που εξετάστηκαν για την περίοδο 2021-2030

| Αρ | Μηχανισμός χρηματοδοτικής στήριξης | Επιδότηση | Συνεισφορά δικαιούχου (εκτός δανείου) | Δάνειο δικαιούχου | Επιτόκιο δανείου δικαιούχου | Επιδότηση επιτοκίου για δικαιούχο | Διάρκεια δανείου δικαιούχου | Συνεισφορά ESCO | Δάνειο ESCO | Επιτόκιο δανείου ESCO | Διάρκεια δανείου ESCO | Περίοδος σύμβασης με ESCO | Άλλα |
|----|--|---|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|-----------------|-------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|------|
| F1 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς | Ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο αποπληρωμής από τον δικαιούχο (PBP = 2,5 και 10) | 100% μετά το μέρος της επιχορήγησης | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| F2 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και προνομιακού δανείου | Ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο αποπληρωμής από τον δικαιούχο (PBP = 2,5 και 10) | — | 100% της ίδιας συνεισφοράς | 4% | 100% | 10 έτη | — | — | — | — | — | — |
| F3 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, προνομιακού δανείου και ιδιωτικής χρηματοδοτικής | Ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο αποπληρωμής από τον δικαιούχο | 50% μετά το μέρος της επιχορήγησης | 50% της ίδιας συνεισφοράς | 8% | 33% | Για δάνεια < 20.000 Ε UR, 3 έτη / Για δάνεια > 20000 Ε UR, 10 έτη | — | — | — | — | — | — |

| Αρ | Μηχανισμός χρηματοδοτικής στήριξης | Επιδότηση | Συνεισφορά δικαιούχου (εκτός δανείου) | Δάνειο δικαιούχου | Επιτόκιο δανείου δικαιούχου | Επιδότηση επιτοκίου για δικαιούχο | Διάρκεια δανείου δικαιούχου | Συνεισφορά ESCO | Δάνειο ESCO | Επιτόκιο δανείου ESCO | Διάρκεια δανείου ESCO | Περίοδος σύμβασης με ESCO | Άλλα |
|----|--|---|---|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|--|---|
| | ής συνεισφοράς | (PBP = 2,5 και 10) | | | | | | | | | | | |
| F4 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, ιδιωτικής χρηματοδοτικής ής συνεισφοράς, συμμετοχής ESCO και προνομιακών δανείων | Ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο αποπληρωμής από τον δικαιούχο (PBP = 2,5 και 10), εξαιρουμένου του μέρους της ESCO | 50% μετά το μέρος της επιχορήγησης και τη συνεισφορά της ESCO | 50% της ίδιας συνεισφοράς | 8% | — | Για δάνεια < 20.000 E UR, 3 έτη / Για δάνεια > 20.000 E UR, 10 έτη | 50% του συνολικού κόστους | 50% δάνειο — 50% ίδια συνεισφορά | Προνομιακό δάνειο — 3% | 10 έτη | Ποικίλλει, έτσι ώστε η ESCO να έχει κέρδος 20%. Μοντέλο διαμοιρασμού οφέλους (ESCO 70% — δικαιούχος 30%) και μετά τη λήξη της σύμβασης 100% δικαιούχος | Εάν η περίοδος απόσβεσης για την ESCO > 12 έτη, η υπόθεση δεν εξετάζεται. |
| F5 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, προνομιακού δανείου και χρηματοδοτικής ής συνεισφοράς | Ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο αποπληρωμής από τον δικαιούχο (PBP = 4,7 και 10) | 20% μετά το μέρος της επιχορήγησης | 80% της ίδιας συνεισφοράς | 3% | — | Για δάνεια < 20.000 E UR, 5 έτη / Για δάνεια > 20.000 E UR, 15 έτη | — | — | — | — | — | — |

| Αρ | Μηχανισμός χρηματοδοτικής στήριξης | Επιδότηση | Συνεισφορά δικαιούχου (εκτός δανείου) | Δάνειο δικαιούχου | Επιτόκιο δανείου δικαιούχου | Επιδότηση επιτοκίου για δικαιούχο | Διάρκεια δανείου δικαιούχου | Συνεισφορά ESCO | Δάνειο ESCO | Επιτόκιο δανείου ESCO | Διάρκεια δανείου ESCO | Περίοδος σύμβασης με ESCO | Άλλα | |
|----|--|---|---|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|--|--|
| | του δικαιούχου | | | | | | | | | | | | | |
| F6 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, χρηματοδοτικής συνεισφοράς του δικαιούχου, συμμετοχής ESCO και προνομιακών δανείων | Ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο αποπληρωμής από τον δικαιούχο (PBP = 4,7 και 10), εξαιρουμένου του μέρους της ESCO | 20% μετά το μέρος της επιχορήγησης και της συνεισφοράς της ESCO | 80% της ίδιας συνεισφοράς | 5% | — | Για δάνεια < 20.000 EUR, 5 έτη / Για δάνεια > 20.000 EUR, 15 έτη | 50% του συνολικού κόστους | 50% δάνειο — 50% ίδια συνεισφορά | Προνομιακό δάνειο — 3% | 10 έτη | | Ποικίλλει, έτσι ώστε η ESCO να έχει κέρδος 20%. Μοντέλο διαμοιρασμού οφέλους (ESCO 60% — δημόσιος τομέας 40%) και μετά τη λήξη της σύμβασης 100% ο δημόσιος τομέας | Εάν η PBP για ESCO > 12 έτη, η υπόθεση δεν εξετάζεται. |
| F7 | Προνομιακό δάνειο | — | 100% | 100% της ίδιας | 9% | 50% | 2 έτη | — | — | — | — | — | — | |

| Αρ | Μηχανισμός χρηματοδοτικής στήριξης | Επιδότηση | Συνεισφορά δικαιούχου (εκτός δανείου) | Δάνειο δικαιούχου | Επιτόκιο δανείου δικαιούχου | Επιδότηση επιτοκίου για δικαιούχο | Διάρκεια δανείου δικαιούχου | Συνεισφορά ESCO | Δάνειο ESCO | Επιτόκιο δανείου ESCO | Διάρκεια δανείου ESCO | Περίοδος σύμβασης με ESCO | Άλλα |
|-----|--|-----------|---------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|------|
| | | | | συνεισφοράς | | | | | | | | | |
| F8 | Συνδυασμός επιχορηγήσεων και προνομιακού δανείου | 10% | 90% | 100% του διαφορικού κόστους μεταξύ της εξεταζόμενης τεχνολογίας και της απόδοσης του καυσίμου βενζινοκίνητου οχήματος | 9% | 100% | 4 έτη | — | — | — | — | — | — |
| F9 | Επιχορηγήσεις | 10% | 90% | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| F10 | Προνομιακά δάνεια | — | 100% | 50% | 9% | 100% | — | — | — | — | — | — | — |

Σε συμφωνία με την αρχή «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση», η προαναφερθείσα προσέγγιση αναφορικά με τις πολιτικές ενεργειακής απόδοσης, παρέχει στους φορείς λήψης αποφάσεων την ευελιξία να προχωρήσουν σε μια πολύπλευρη σύνδεση μεταξύ των ευρύτερων πολιτικών για την ενέργεια και το κλίμα, όπως περιγράφονται στο ΕΣΕΚ, και των πολιτικών της παρούσας ανάλυσης (Π. 44).

Π. 44 Η πολύπλευρη σύνδεση της παρούσας μελέτης με τις πολιτικές ενεργειακής απόδοσης του ΕΣΕΚ στο πλαίσιο της αρχής «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση»

| Αρ. | Περιγραφή | Πολιτικές της παρούσας μελέτης |
|-----|--|--|
| 1 | Προώθηση των συμβάσεων ενεργειακής απόδοσης (EPC) για τα δημόσια κτίρια μέσω στοχευμένων προγραμμάτων χρηματοδότησης. | C3-F6 |
| 2 | Προγράμματα χρηματοδότησης για την ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων, στο πλαίσιο της νέας περιόδου προγραμματισμού. | C3-F5 C3-F6 |
| 3 | Χρηματοδότηση της ανακαίνισης των δημόσιων κτιρίων, σύμφωνα με τα σχέδια δράσης για τη βιώσιμη ενέργεια και τα σχέδια για την ενεργειακή απόδοση των δημόσιων κτιρίων της τοπικής αυτοδιοίκησης. | C3-F 5 C3-F6 |
| 4 | Κανονιστικά, φορολογικά και οικονομικά κίνητρα για την προώθηση των κτιρίων ελάχιστων ενεργειακών απαιτήσεων (nZEB). | Συγκεκριμένες πολιτικές για την προσθήκη κτιρίων plus nZEB στον δημόσιο τομέα. C3-F5 C3-F6 |
| 5 | Προγράμματα χρηματοδότησης για ανακαινίσεις στον οικιακό τομέα στο πλαίσιο της νέας περιόδου προγραμματισμού. | C1-F1 C1-F2 |
| 6 | Προγράμματα χρηματοδότησης για ανακαινίσεις στον τριτογενή τομέα (εκτός των δημόσιων κτιρίων) στο πλαίσιο της νέας περιόδου προγραμματισμού. | C2-F1 C2-F3 C2-F4 |
| 7 | Προώθηση των συμβάσεων ενεργειακής απόδοσης στον | C2-F4 |

| Αρ. | Περιγραφή | Πολιτικές της παρούσας μελέτης |
|-----|--|--|
| | ιδιωτικό τομέα μέσω στοχευμένων προγραμμάτων χρηματοδότησης. | |
| 8 | Κανονιστικά, φορολογικά και οικονομικά κίνητρα για την προώθηση των κτιρίων ελάχιστων ενεργειακών απαιτήσεων (nZEB). | Συγκεκριμένες πολιτικές για τα κτίρια plus nZEB στον ιδιωτικό τομέα. C2-F1 C2-F3 C2-F4 |
| 9 | Υποχρεωτική εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων σε νέα και πλήρως ανακαινισμένα κτίρια. | Συγκεκριμένες πολιτικές για την ηλιοθερμική ενέργεια / τα ηλιοθερμικά συστήματα σε κτίρια. C1-F1 C1-F2 |
| 10 | Αντικατάσταση παλαιών λεβήτων ντίζελ με νέα, αποδοτικότερα συστήματα θέρμανσης κτιρίων. | Συγκεκριμένες πολιτικές για τους λέβητες φυσικού αερίου στα κτίρια. C1-F1 C1-F2 C2-F1 C2-F3 C2-F4 C3-F5 C3-F6 |
| 11 | Εφαρμογή των διαδικασιών ανταγωνισμού για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας. | Συγκεκριμένες πολιτικές, κυρίως μέτρα μικρής κλίμακας σε κτίρια. C1-F1 C1-F2 C2-F1 C2-F3 C2-F4 |
| 12 | Ίδρυση του Εθνικού Ταμείου Ενεργειακής Απόδοσης. | Όλες οι πολιτικές |
| 13 | Προγράμματα χρηματοδότησης για την ενεργειακή αναβάθμιση του οδοφωτισμού. | Πολιτικές για την προώθηση παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης στον οδοφωτισμό. |

| Αρ. | Περιγραφή | Πολιτικές της παρούσας μελέτης |
|-----|---|--|
| 14 | Οικονομική και φορολογική στήριξη για επενδύσεις στην τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας. | Όλες οι πολιτικές. Το μερίδιο της συνεισφοράς του δημοσίου επί του συνολικού κόστους μπορεί να μεταφραστεί σε φοροαπαλλαγή ως χρηματοδοτικό μέσο . |
| 15 | Προγράμματα χρηματοδότησης για την προώθηση της συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης θερμότητας και ηλεκτρισμού από ΑΠΕ, καθώς και για την προώθηση της τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης, στο πλαίσιο της νέας περιόδου προγραμματισμού. | Πολιτικές CHP |
| 16 | Υποχρεωτική ποσόστωση για ενεργειακώς αποδοτικότερα οχήματα στο πλαίσιο δημόσιων υπηρεσιών και οργανισμών. | C5-F8 C5-F9 |
| 17 | Προώθηση της χρήσης και της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των δημόσιων αστικών συγκοινωνιών. | Ειδικές πολιτικές για τα δημόσια λεωφορεία. C5-F8 C5-F9 |
| 18 | Χρήση φορολογικών κινήτρων για την προώθηση εναλλακτικών καυσίμων στις μεταφορές (βιοκαύσιμα, υβριδικά και ηλεκτρικά συστήματα, φυσικό αέριο, υγροποιημένο αέριο πετρελαίου). | Ειδικές πολιτικές για τα οχήματα φυσικού αερίου. Το μερίδιο της δημόσιας συνεισφοράς επί του συνολικού κόστους μπορεί να μεταφραστεί σε φοροαπαλλαγές ως χρηματοδοτικό μέσο. C4-F7, F10 C4-F8 C4-F9 C5-F8 C5-F9 C6-F7, F10 C6-F8 C6-F9 |
| 19 | Αντικατάσταση επιβατικών αυτοκινήτων και ελαφρών | Ειδικές πολιτικές για τα επιβατηγά, ελαφρά (LDV) και βαρέα (HDV) οχήματα υψηλής απόδοσης. |

| Αρ. | Περιγραφή | Πολιτικές της παρούσας μελέτης |
|-----|--|--|
| | φορτηγών με νέα, αποδοτικότερα οχήματα. | C4-F7, F10 C4-F8 C4-F9 C6-F7, F10 C6-F8 C6-F9 |
| 20 | Προώθηση παρεμβάσεων για τον εκσυγχρονισμό των υποδομών ύδρευσης/αποστράγγισης και άρδευσης, με στόχο την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας. | Πολιτικές για την προώθηση παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης σε αντλιοστάσια. |
| 21 | Ενεργειακή αναβάθμιση κατοικιών για ενεργειακά ευάλωτα νοικοκυριά και προώθηση της εγκατάστασης ΑΠΕ για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους (σύστημα ενεργειακού συμψηφισμού). | Ειδικές πολιτικές ενεργειακής αναβάθμισης σε νοικοκυριά με περιορισμένη συνεισφορά από την πλευρά του δικαιούχου C2-F1 |
| 22 | Δημόσια κτίρια (συσχέτιση με τα μέτρα M2.1 και ενεργειακής απόδοσης). | Ειδικές πολιτικές για τη θέρμανση και ψύξη από ΑΠΕ στον δημόσιο τομέα C3-F5 C3-F6 |
| 23 | Χρηματοδοτικά μέσα στο πλαίσιο μιας νέας περιόδου προγραμματισμού. | Ειδικές πολιτικές για τη θέρμανση και ψύξη από ΑΠΕ στα κτίρια C1-F1 C1-F2 C2-F1 C2-F3 C2-F4 C3-F5 C3-F6 |
| 24 | Φορολογικά κίνητρα για τις εγκαταστάσεις του οικιακού και του τριτογενούς τομέα. | Ειδικές πολιτικές για τη θέρμανση και την [ψύξη] από ΑΠΕ σε κτίρια. Το μερίδιο της δημόσιας συνεισφοράς |

| Αρ. | Περιγραφή | Πολιτικές της παρούσας μελέτης |
|-----|--|--|
| | | επί του συνολικού κόστους μπορεί να μεταφραστεί σε φοροαπαλλαγές ως χρηματοδοτικό μέσο. C1-F1 C1-F2 C2-F1 C2-F3 C2-F4 |
| 25 | Ανάπτυξη πλαισίου οικονομικής στήριξης για τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. | Ειδικές πολιτικές για τα ηλεκτρικά οχήματα C5, C6, C7 σε συνδυασμό με F8, F9, F10 |

C1 — Ανακαίνιση κτιρίων κατοικίας

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει παρεμβάσεις μικρής και μεγάλης κλίμακας στις κατοικίες του ελληνικού κτιριακού αποθέματος. Οι παρεμβάσεις αυτές αφορούν κυρίως την αντικατάσταση των παλαιών λεβήτων πετρελαίου με ενεργειακά αποδοτικότερους. Όσον αφορά τον άξονα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι ανακαίνισεις κατοικιών περιλαμβάνουν επενδύσεις στον τομέα των φωτοβολταϊκών μαζί με την εφαρμογή αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης με βάση αντλίες θερμότητας, γεωθερμικές και συστήματα ηλιακής υποβοήθησης. Οι δράσεις για την ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών περιλαμβάνουν επίσης την ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους των κτιρίων (αδιαφανή και διαφανή στοιχεία). Στις δράσεις μεγάλης κλίμακας περιλαμβάνονται επίσης παρεμβάσεις για τη στήριξη της μετάβασης σε κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nZEB plus).

C2 — Ανακαίνιση κτιριακών εγκαταστάσεων επιχειρήσεων

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μέτρα που αποσκοπούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια εμπορικής χρήσης. Τα μέτρα διακρίνονται σε δράσεις μικρής και μεγάλης κλίμακας και σε μεγάλο βαθμό είναι παρόμοια με εκείνα της κατηγορίας C1 για την ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών. Πρόσθετες δράσεις αφορούν την αντικατάσταση παλαιών συστημάτων φωτισμού με νέο, ενεργειακά αποδοτικό φωτισμό (LED) που συμβάλλει στη μείωση της τελικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στην αντικατάσταση του συστήματος εξαερισμού.

C3 — Ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων

Οι δράσεις αυτής της κατηγορίας είναι παρόμοιες με εκείνες της C2 για την ανακαίνιση των κτιρίων επιχειρήσεων του τριτογενούς τομέα.

C4 — Αναβαθμίσεις ενεργειακής απόδοσης σε οχήματα ιδιωτικής χρήσης

Η κατηγορία αυτή αποσκοπεί στη μείωση της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στον τομέα των μεταφορών, καθώς και στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Περιλαμβάνει δράσεις μικρής κλίμακας, όπως τα ελαστικά χαμηλής αντίστασης σε Ι.Χ. και φορτηγά, καθώς και δράσεις μεγαλύτερης κλίμακας που αποσκοπούν στην αντικατάσταση των υφιστάμενων οχημάτων με νέα, ενεργειακά αποδοτικότερα.

C5 — Αναβαθμίσεις ενεργειακής απόδοσης σε δημόσια οχήματα

Η κατηγορία αυτή είναι παρόμοια με τη C4 για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα ιδιωτικά οχήματα. Ωστόσο, επικεντρώνεται στα μέσα μαζικής μεταφοράς, όπως τα λεωφορεία και τα τρόλεϊ καθώς και στα φορτηγά οχήματα.

C6 — Αναβαθμίσεις ενεργειακής απόδοσης σε οχήματα επιχειρήσεων

Η κατηγορία αυτή είναι παρόμοια με τη C5 για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα ιδιωτικά οχήματα. Ωστόσο, δίνεται έμφαση σε οχήματα του ιδιωτικού τομέα, όπως τα ταξί, τα λεωφορεία, εταιρειών ταχυμεταφορών και ενοικίασης κ.λπ., με στόχο τη μεγιστοποίηση του ενεργειακού οφέλους.

5.4.1 Αντικειμενικές συναρτήσεις

Τα δύο κριτήρια βελτιστοποίησης περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση της δημόσιας χρηματοδότησης για την εφαρμογή του πλαισίου πολιτικής ενεργειακής απόδοσης και παράλληλα την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που δυσχεραίνουν την υλοποίηση και την επιτυχία των πολιτικών αυτών.

Οι υπό αξιολόγηση κίνδυνοι και τα αντίστοιχα βάρη, που καθορίστηκαν από το ΥΠΕΝ, παρουσιάζονται στον Π. 45. Οι δείκτες κινδύνου κανονικοποιούνται, αρχικά, με βάση τον μέγιστο αριθμό των συνολικών παρεμβάσεων που μπορούν να εφαρμοστούν για κάθε μέτρο και, τέλος, ενοποιούνται σε έναν ενιαίο δείκτη για κάθε πολιτική ενεργειακής απόδοσης με τη χρήση του τελεστή σταθμισμένου μέσου όρου.

Π. 45 Προσδιορισμός των βασικών κινδύνων εφαρμογής

| Αρ. | Κίνδυνος | | Βάρη |
|------------|----------------------------------|--|-------------|
| R1 | Χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι (FR) | Αποδοχή περιόδου αποπληρωμής (PBPA Risk) | 0,4 |
| R2 | | Δανειοληπτική ικανότητα (BC Risk) | 0,3 |
| R4 | Κίνδυνοι αγοράς (MR) | Πολυπλοκότητα εφαρμογής (IC Risk) | 0,2 |
| R5 | | Μειωμένη κοινωνική αποδοχή (RSA Risk) | 0,1 |

Η εξίσωση του συνολικού κινδύνου (total risk equation) μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$TR = 0,4 \times PBPA \text{ Risk} + 0,3 \times BC \text{ Risk} + 0,2 \times IC \text{ Risk} + 0,1 \times RSA \text{ Risk}$$

Ο κίνδυνος της αγοράς (MR) ενσωματώνει και αντικατοπτρίζει τον κίνδυνο υλοποίησης που προέκυψε από την αξιολόγηση δύο κρίσιμων παραμέτρων: την πολυπλοκότητα της εφαρμογής και την κοινωνική αποδοχή. Οι δείκτες κινδύνου για τις εν λόγω παραμέτρους, ανά παρέμβαση, καθορίστηκαν από εμπειρογνώμονες του ΥΠΕΝ.

Ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος (FR) ενσωματώνει και αντικατοπτρίζει επίσης τον κίνδυνο υλοποίησης που προέκυψε από την αξιολόγηση δύο κρίσιμων παραμέτρων. Η πρώτη είναι τα επίπεδα αποδοχής της περιόδου αποπληρωμής (PBP), ως το κριτήριο που χρησιμοποιείται συνηθέστερα για τις επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης [5.52] και η δεύτερη παράμετρος είναι η δανειοληπτική ικανότητα του δικαιούχου, που αντανακλά έναν σημαντικό φραγμό, απόρροια της οικονομικής ύφεσης. Σύμφωνα με ανάλυση της υπηρεσίας αξιολόγησης πιστωτικού κινδύνου της ICAP [5.53], σε ποσοστό 78%, οι ελληνικές εταιρείες καθυστερούν τις πληρωμές των εμπορικών τους υποχρεώσεων. Επιπλέον, ο δείκτης συνέπειας έναντι δανειακών υποχρεώσεων (loan consistency index), πριν και μετά την οικονομική κρίση, αυξήθηκε από 16,4% σε 20,4% για τις μεγάλες εταιρείες και από 16,3% σε 26,5% για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, τη στιγμή που οι τελευταίες αντιπροσωπεύουν το 98% στο σύνολο των ελληνικών εταιρειών. Από την άλλη πλευρά, η μειωμένη βαθμολογία της πιστοληπτικής ικανότητας του ελληνικού νοικοκυριού αντικατοπτρίζεται στο γεγονός ότι το 72% του ετήσιου οικογενειακού εισοδήματος είναι κάτω των 15.000 ευρώ [5.54] καθώς και στο πόρισμα του ΟΟΣΑ, σύμφωνα με το οποίο το 70% των μεσαίων νοικοκυριών στην Ελλάδα είναι οικονομικά ευάλωτα [5.55].

Σύμφωνα με ανάλυση της ερευνητικής μονάδας του Economist [5.56], το 100% των εταιρειών στην Ευρωπαϊκή Ένωση αποδέχονται έργα ενεργειακής απόδοσης με PBP κάτω των 2 ετών, ενώ μόνο το 30% εξ αυτών κάνει δεκτά έργα με PBP άνω των 10 ετών. Ανάλογη είναι η κατάσταση και στον τομέα των κατοικιών, όπου έργα με PBP κάτω των 2 ετών έχουν ποσοστό αποδοχής 70%, έργα με PBP 5 ετών αντιστοιχούν στο 40% της αποδοχής, ενώ, για PBP πάνω από 10 έτη, το ποσοστό αποδοχής πέφτει σε 6% [5.57]. Λαμβάνοντας υπόψη το καθεστώς της ελληνικής οικονομίας, και σε μια προσπάθεια να ενσωματωθούν στην προσέγγιση τα κοινωνικά οφέλη των έργων ενεργειακής απόδοσης στον δημόσιο τομέα [5.58], για τον σκοπό της μελέτης, το ακόλουθο εύρος (τιμών) αποδοχής PBP και οι αντίστοιχοι κίνδυνοι εισήχθησαν κατόπιν συμφωνίας με τους εμπειρογνώμονες του ΥΠΕΝ (Π. 46).

Π. 46 Εύρος αποδοχής αποπληρωμής και δείκτες κινδύνου

| Τομέας | Εύρος αποδοχής αποπληρωμής (έτη) | Δείκτες κινδύνου |
|------------------------|----------------------------------|------------------|
| Οικιακός & μη οικιακός | 2 – 5 – 7 | 0 – 1 – 2 |
| Δημόσιος | 5 – 7 – 10 | 0 – 1 – 2 |

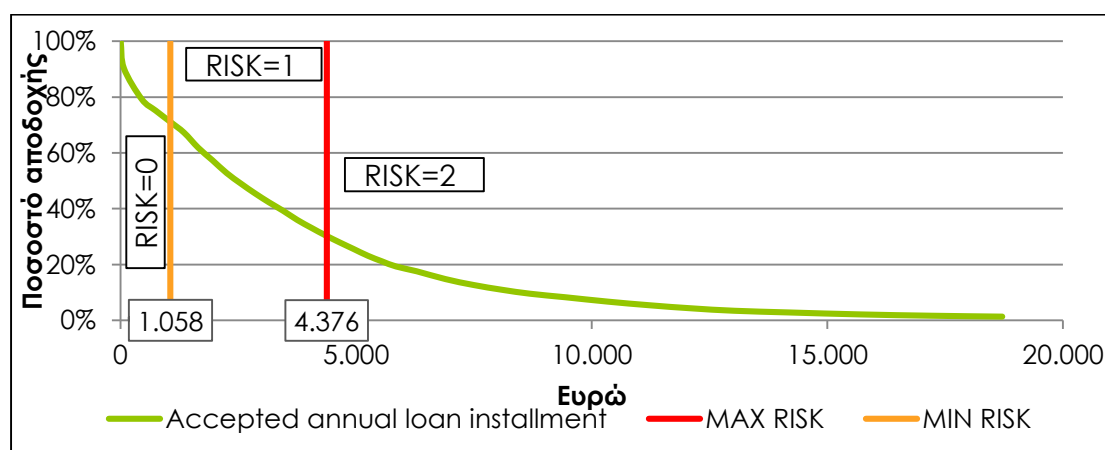
Για κάθε πολιτική, εξετάζονται τρία σενάρια κόστους, τα οποία αντικατοπτρίζουν τον αντίκτυπο του κινδύνου PBPA στο κόστος υλοποίησης της πολιτικής από τη σκοπιά του δημοσίου. Έτσι, το πρώτο σενάριο καταλήγει σε κίνδυνο PBPA Risk = 0, το δεύτερο σε PBPA Risk = 1 και το τρίτο σε PBPA Risk = 2, ενώ το δημόσιο κόστος τροποποιείται ανάλογα.

Η δανειοληπτική ικανότητα και ο αντίστοιχος δείκτης κινδύνου για τις διάφορες κατηγορίες δικαιούχων εξετάστηκαν μέσω των αποδεκτών ετήσιων δόσεων του εξυπηρετούμενου δανείου.

Για τον τομέα των κατοικιών, μπορεί να χορηγηθεί δάνειο, εάν οι δόσεις του δανείου ετησίως είναι μικρότερες από το 30% του ετήσιου οικογενειακού εισοδήματος, που αποτελεί το συνηθέστερο πιστωτικό κριτήριο που χρησιμοποιούν οι ελληνικές εμπορικές τράπεζες.

Ανώτατη αποδεκτή ετήσια δόση δανείου = 30% x ετήσιο οικογενειακό εισόδημα

Εφαρμόζοντας τη συνθήκη αυτή στα ετήσια οικογενειακά εισοδήματα όλων των ελληνικών νοικοκυριών [5.54] και θέτοντας ως ελάχιστο και μέγιστο όριο κινδύνου το 30% και το 70% του συνόλου των νοικοκυριών που μπορούν να λάβουν το δάνειο αντίστοιχα, οι δείκτες κινδύνου που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση ακολουθούν το διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35 Καμπύλη δανειοληπτικής ικανότητας νοικοκυριού.

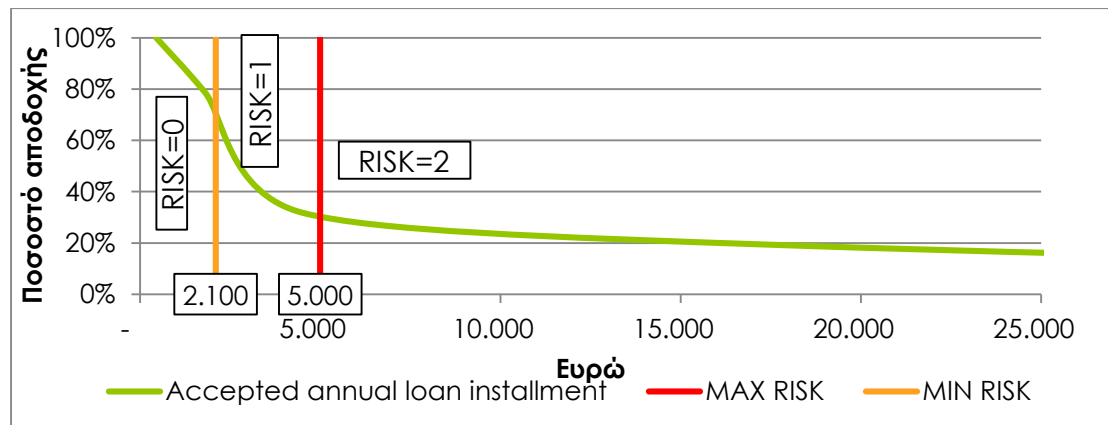
Το κατώτατο όριο του ελάχιστου κινδύνου (πορτοκαλί γραμμή) δείχνει ότι εάν η ετήσια δόση του δανείου είναι χαμηλότερη από το κατώτατο όριο ελάχιστου

κινδύνου, τότε μπορεί να χρηματοδοτηθεί τουλάχιστον το 70% των ελληνικών νοικοκυριών και, ως εκ τούτου, ο κίνδυνος BC = 0. Εάν η ετήσια δόση του δανείου εμπίπτει μεταξύ των δύο ορίων ελάχιστου και μέγιστου κινδύνου (πορτοκαλί και κόκκινη γραμμή), τότε 30% έως 70% των ελληνικών νοικοκυριών μπορούν να χρηματοδοτηθούν και, ως εκ τούτου, ο κίνδυνος BC = 1, τέλος εάν η ετήσια δόση του δανείου είναι υψηλότερη από το όριο μέγιστου κινδύνου (κόκκινη γραμμή), τότε λιγότερο από το 30% των ελληνικών νοικοκυριών μπορεί να χρηματοδοτηθεί και, ως εκ τούτου, ο κίνδυνος BC = 2.

Εκτός οικιακού τομέα, η συνθήκη για τη χορήγηση του δανείου εκφράζεται ως ακολούθως. Δάνειο μπορεί να χορηγηθεί εάν οι ετήσιες δόσεις είναι μικρότερες από το 40% των κερδών προ τόκων, φόρων, απομείωσης και αποσβέσεων (EBITDA) της νομικής οντότητας.

$$\text{Ανώτατη αποδεκτή ετήσια δόση δανείου} = 40\% \times \text{EBITDA}$$

Εφαρμόζοντας τη συνθήκη αυτή στα EBITDA όλων των ελληνικών εταιρειών [5.59] και θέτοντας ως ελάχιστο και μέγιστο όριο κινδύνου το 30% και 70% στο σύνολο των εταιρειών που μπορούν να λάβουν το δάνειο αντίστοιχα, οι δείκτες κινδύνου που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση ακολουθούν το διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 36.

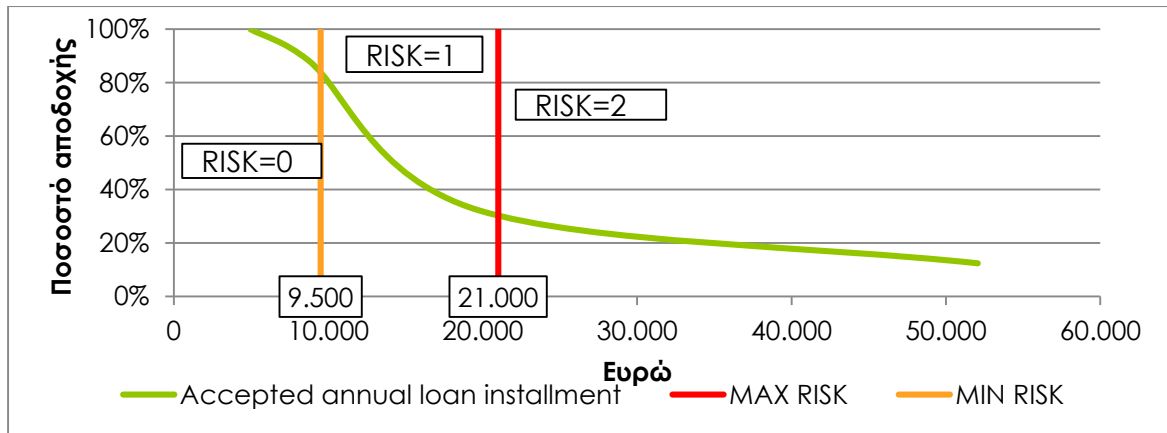


Εικόνα 36 Καμπύλη δανειοληπτικής ικανότητας που δεν προορίζεται για κατοικία.

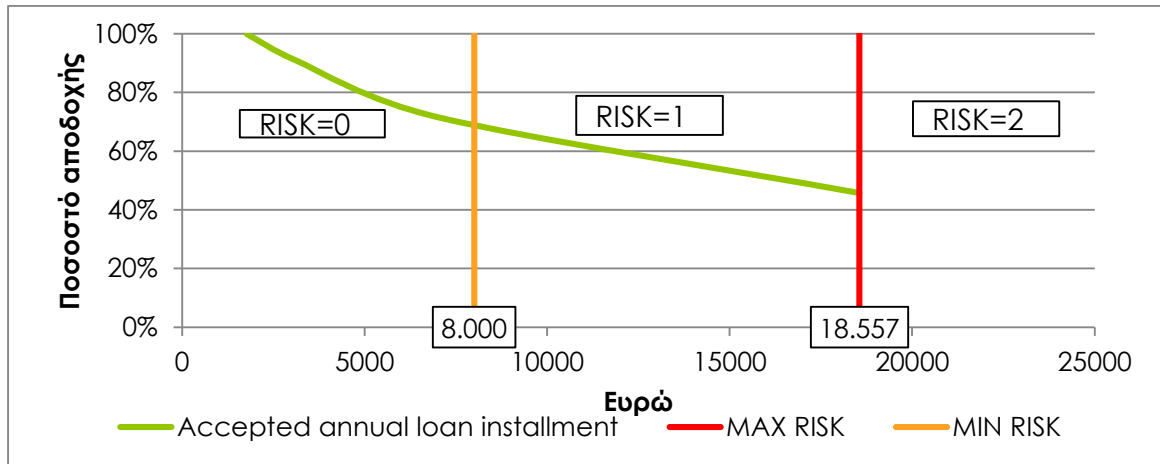
Για τον δημόσιο τομέα, η προσέγγιση ακολουθεί τις διατάξεις του Ν.3852/2010, αναφορικά με την αξιολόγηση της πιστοληπτικής ικανότητας των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης. Έτσι, το ετήσιο κόστος εξυπηρέτησης της δημόσιας πίστης κάθε δήμου ή περιφέρειας δεν μπορεί να υπερβαίνει το 20% των ετήσιων τακτικών του εσόδων και το συνολικό χρέος του δήμου ή της περιφέρειας δεν μπορεί να υπερβαίνει το 60% των συνολικών εσόδων του.

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση των οικονομικών στοιχείων των ελληνικών τοπικών αρχών [5.60], καθώς και τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, και προσεγγίζοντας τα όρια ελάχιστου και μέγιστου κινδύνου μέσω παραδοχών για τους τεχνικούς περιορισμούς ανά τεχνολογία, οι δείκτες

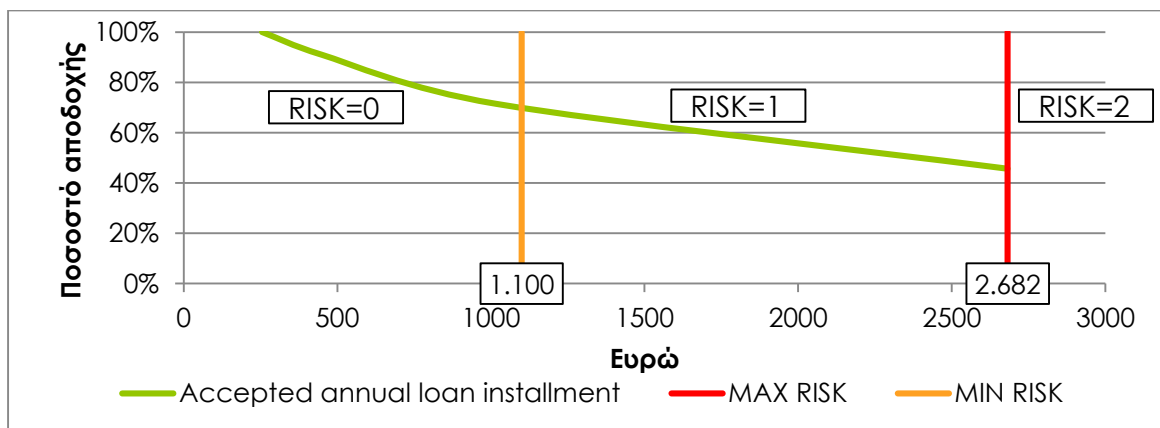
κινδύνου που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση ακολουθούν τα διαγράμματα των Εικόνα 37, Εικόνα 38 και Εικόνα 39.



Εικόνα 37 Καμπύλη δανειοληπτικής ικανότητας δημόσιου τομέα για παρεμβάσεις σε κτίρια.



Εικόνα 38 Καμπύλη δανειοληπτικής ικανότητας δημόσιου τομέα για μέτρα ενεργειακής απόδοσης σε δημόσια λεωφορεία.



Εικόνα 39 Καμπύλη δανειοληπτικής ικανότητας για μέτρα ενεργειακής απόδοσης σε δημόσια οχήματα.

Τα διαγράμματα από τις Εικόνα 36 έως Εικόνα 39, αναλύονται κατά τον ίδιο τρόπο που έγινε παραπάνω η ανάλυση για την Εικόνα 35.

Τέλος, όσον αφορά το επιτόκιο που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του κόστους για κάθε έτος της περιόδου 2021-2030, σύμφωνα με το ΥΠΕΝ [5.61] και τους Pallis et al. [5.62] και σε συνέπεια με τα μέσα επιτόκια που χρησιμοποιούνται από τις εθνικές κυβερνήσεις σε ευρωπαϊκό και περιφερειακό επίπεδο [5.63], λαμβάνεται υπόψη επιτόκιο 3% για τον δημόσιο τομέα και 7% για τον ιδιωτικό τομέα.

5.4.2 Στόχοι, περιορισμοί και πολιτικές προτεραιότητες

Για να εξασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα είναι ρεαλιστικά όσον αφορά τη δυνατότητα εφαρμογής τους, καθώς και ότι πληρούνται οι όροι των υφιστάμενων νομικών διατάξεων, των πολιτικών προτεραιοτήτων και των επιμέρους δευτερευόντων εθνικών στόχων, ένα σύνολο τεχνικών και πολιτικών περιορισμών και στόχων έχει ενσωματωθεί στο μοντέλο (Π. 47).

Π. 47 Περιορισμοί που έχουν ενσωματωθεί στο μοντέλο ανάλυσης χαρτοφυλακίου

Στόχοι και περιορισμοί

Στόχος για τη διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (7,47 ktoe)¹

Στόχος ενεργειακών εξοικονομήσεων βάσει του άρθρου 7 (5.475 ktoe)²

Μέγιστος αριθμός ανακαινίσεων σε κτίρια κατοικιών

Μέγιστος αριθμός ανακαινίσεων σε κτίρια επιχειρήσεων

Μέγιστος αριθμός νέων οχημάτων

Μέγιστος αριθμός οχημάτων μετατρεπόμενων σε οχήματα φυσικού αερίου

Ελάχιστος και μέγιστος αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων Δ.Χ.

Ελάχιστος και μέγιστος αριθμός δημόσιων λεωφορείων

Ελάχιστος και μέγιστος αριθμός φορτηγών Δ.Χ.

Ελάχιστος και μέγιστος δημόσιος προϋπολογισμός για παρεμβάσεις σε δημόσια κτίρια

Ελάχιστες ανακαινίσεις μεγάλης κλίμακας σε δημόσια κτίρια

Ελάχιστος αριθμός μέτρων για την ενεργειακή φτώχεια³

Ελάχιστος αριθμός παρεμβάσεων σε κτίρια plus nZEB

Ποσοστό ηλιοθερμικών συστημάτων σε ανακαινίσεις μεγάλης κλίμακας

Ελάχιστη και μέγιστη ενέργεια παραγόμενη από φωτοβολταϊκά συστήματα

Μέγιστη ενέργεια παραγόμενη από βιομάζα

Ποσοστό ενεργειακών εξοικονομήσεων που επιτυγχάνεται από έργα ESCO

Μέγιστη ενεργειακή εξοικονόμηση στις μεταφορές βάσει του άρθρου 7

Στόχοι και περιορισμοί

Μέγιστη ενεργειακή εξοικονόμηση από μέτρα μικρής κλίμακας στον τομέα των μεταφορών βάσει του άρθρου 3

Ελάχιστος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων

Ελάχιστος αριθμός οχημάτων φυσικού αερίου

Ενεργειακή εξοικονόμηση από οδοφωτισμό και αντλιοστάσια

Μέγιστος αριθμός παρεμβάσεων για ελαστικά χαμηλής αντίστασης κύλισης σε επιβατικά αυτοκίνητα/ελαφρά φορτηγά/βαρέα φορτηγά/λεωφορεία/ταξί

Μέγιστη επένδυση σε ελαστικά χαμηλής αντίστασης σε επιβατικά αυτοκίνητα/ελαφρά φορτηγά/βαρέα φορτηγά/λεωφορεία/ταξί

Μέγιστος αριθμός τοποθετήσεων συστημάτων ψύξης υψηλής απόδοσης σε βαρέα φορτηγά/λεωφορεία/ταξί

Μέγιστη επένδυση σε υψηλής απόδοσης συστήματα ψύξης σε βαρέα φορτηγά/λεωφορεία/ταξί

Μέγιστος αριθμός νέων οχημάτων που κινούνται με LPG

Μέγιστη επένδυση σε νέα οχήματα που κινούνται με LPG

Μέγιστος αριθμός νέων οχημάτων που κινούνται με φυσικό αέριο

Μέγιστη επένδυση σε νέα οχήματα που κινούνται με φυσικό αέριο

Μέγιστος αριθμός επιβατικών οχημάτων ηλεκτρικών/φυσικού αερίου/βενζίνης

Μέγιστη επένδυση σε επιβατικά οχήματα ηλεκτρικά/φυσικού αερίου/βενζίνης

Μέγιστος αριθμός ενεργειακά αποδοτικών δημόσιων λεωφορείων ντίζελ/λεωφορείων CNG/τρόλεϊ/LDV φορτηγά ντίζελ/HDV φορτηγά ντίζελ

Μέγιστη επένδυση σε ενεργειακά αποδοτικά δημόσια λεωφορεία ντίζελ/λεωφορεία CNG/τρόλεϊ/LDV φορτηγά ντίζελ/HDV φορτηγά ντίζελ

1: Με βάση το ελληνικό ΕΣΕΚ, θεωρήθηκε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα θα καταλάβουν το 9% επί του συνολικού στόχου διείσδυσης των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών και, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης ανάλυσης, το 20% αυτού του στόχου θεωρήθηκε ότι θα καλυφθεί από τις προαναφερόμενες πολιτικές.

2: Ο στόχος έχει υπολογιστεί σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο άρθρο 7 της οδηγίας 2018/2002/ΕΕ του Συμβουλίου, [5.24]. Η μέση τελική ενεργειακή κατανάλωση της περιόδου 2016-2018 χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση, και το 25% του συνολικού στόχου θεωρήθηκε πως θα καλυφθεί από τα ΕΕΟs.

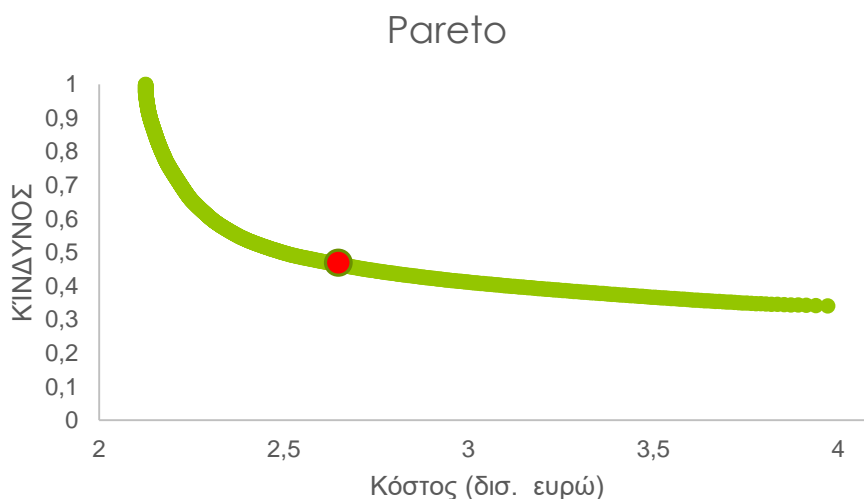
3: Οι ανακαινίσεις ενεργειακά ευάλωτων νοικοκυριών συγκαταλέγονται μεταξύ των πολιτικών προτεραιοτήτων και, ως εκ τούτου, η επιλογή των εν λόγω πολιτικών λειτουργεί περιοριστικά στο μοντέλο. Ειδικότερα, η πολιτική προτεραιότητα αναφέρει ότι το 20% του συνολικού πολιτικού στόχου για την αντιμετώπιση αυτού του κοινωνικού φαινομένου, θα καλυφθεί από τις πολιτικές

που έχουν αναλυθεί. Το 90% αυτών των πολιτικών θα εφαρμοστεί στις παλαιότερες κατασκευές (πριν από το 1980) και το 10% σε κατοικίες που οικοδομήθηκαν από το 1981 έως το 2010. Επιπλέον, το 70% θα αφορά ανακαινίσεις μεγάλης κλίμακας, ενώ το υπόλοιπο 30% μεμονωμένες παρεμβάσεις. Το συγκεκριμένο μέτρο συνδυάζεται με τον χρηματοδοτικό μηχανισμό υψηλής επιδότησης (F1) που οδηγεί σε $PBP = 2$ και, συνεπώς, σε χρηματοοικονομικό κίνδυνο ίσο με 0.

5.5 Αποτελέσματα και συζήτηση

Συνολικά, εξετάζονται 217 πολιτικές υπό το πρίσμα τριών σεναρίων κόστους ήτοι 651 πολιτικές ενεργειακής απόδοσης. Η ανάλυση οδηγεί σε ένα σύνολο 1.000, σχεδόν βέλτιστων χαρτοφυλακίων για το πρόβλημα της βελτιστοποίησης τα οποία αποτυπώνονται στην Εικόνα 40. Όλα αυτά τα χαρτοφυλάκια χαρακτηρίζονται σχεδόν βέλτιστα, δεδομένου ότι το καθένα αντικατοπτρίζει μια βέλτιστη εξισορρόπηση μεταξύ κινδύνου και προϋπολογισμού ή, με άλλα λόγια, κάθε σημείο αντιστοιχεί στο αποδοτικότερο από άποψη κόστους χαρτοφυλάκιο πολιτικής για ορισμένο βαθμό κινδύνου, που ο αποφασίζων θα ήταν διατεθειμένος να αναλάβει.

Τα βέλτιστα κατά Pareto χαρτοφυλάκια καταλήγουν σε επιλογές ως προς τον προϋπολογισμό που πρέπει να επενδυθεί από τον δημόσιο τομέα, σε ένα εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 2,12 και 3,97 δισεκατομμυρίων ευρώ. Οι κίνδυνοι των χαρτοφυλακίων κανονικοποιούνται, διαιρώντας με τον μέγιστο δυνατό κίνδυνο χαρτοφυλακίου, και ποσοτικοποιούνται σε κλίμακα [0 - 1].

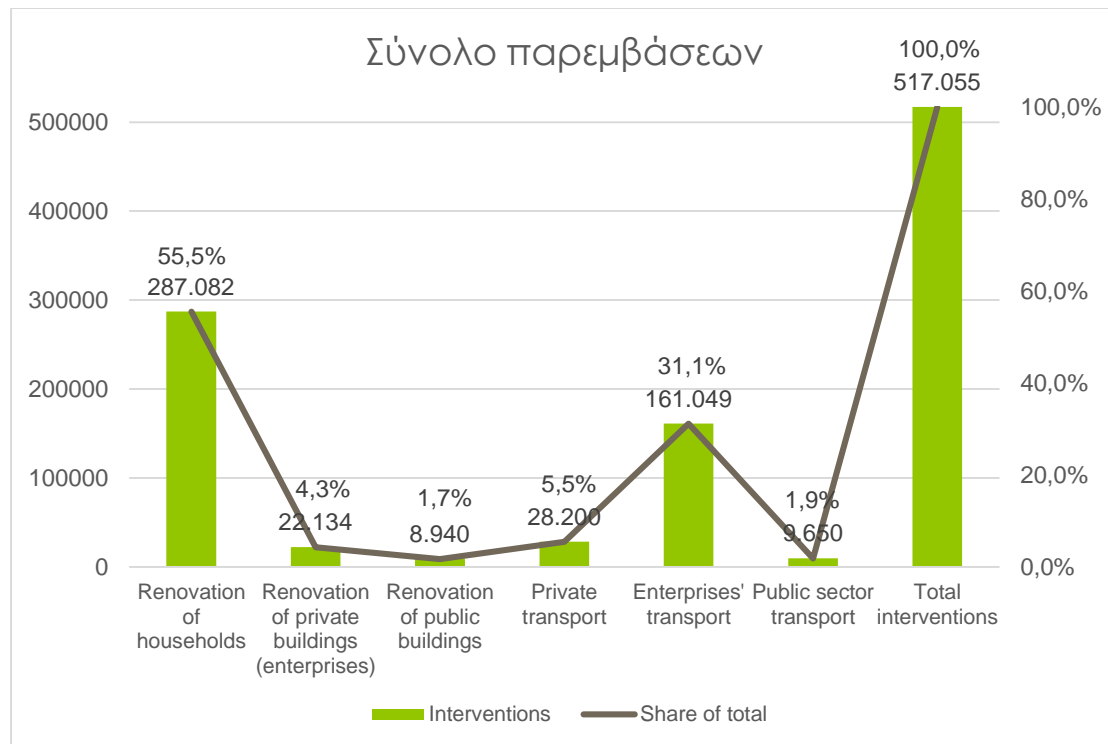


Εικόνα 40 Μέτωπο Pareto των βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το πρόβλημα.

Το χαρτοφυλάκιο, που αποδίδεται με κόκκινο σημείο στο διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 40, θεωρείται ενδιάμεσο, καθώς δηλώνει το σημείο

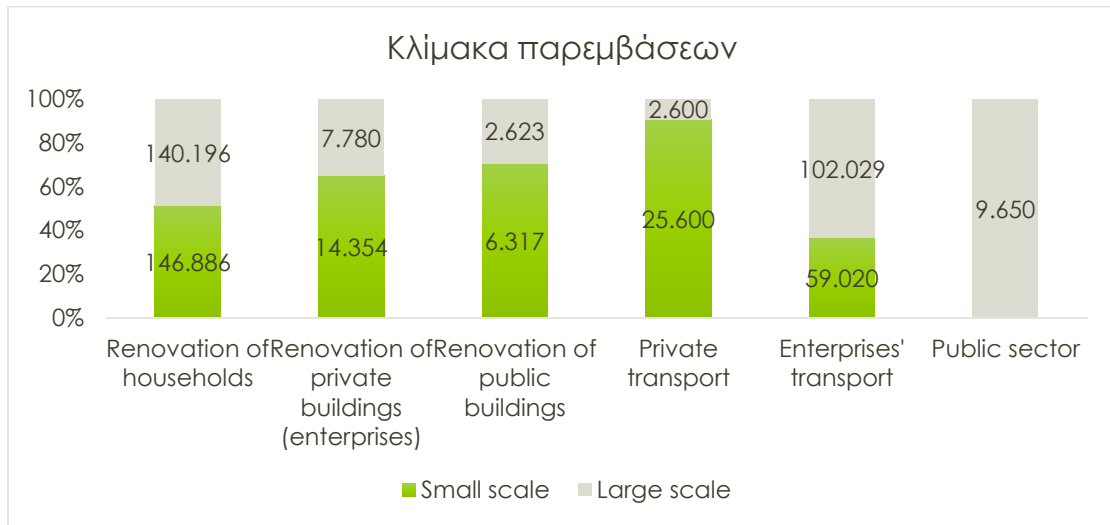
μετά το οποίο το κόστος των χαρτοφυλακίων αυξάνεται σημαντικά χωρίς ανάλογη μείωση του κινδύνου, όπως και αναλύεται διεξοδικά παρακάτω.

Τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από το ενδιάμεσο χαρτοφυλάκιο (Εικόνα 40), δείχνουν ότι οι ανακαινίσεις των νοικοκυριών έχουν την πρωτοκαθεδρία αντιπροσωπεύοντας το 55,5% στο σύνολο των παρεμβάσεων, ενώ ακολουθούν με μικρή διαφορά οι παρεμβάσεις που αφορούν στόλους οχημάτων επιχειρήσεων (Εικόνα 41). Από την άλλη πλευρά, οι ανακαινίσεις δημόσιων κτιρίων, όπως και οι παρεμβάσεις στα δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς, δεν φαίνεται να βρίσκονται στην πρώτη γραμμή ενδιαφέροντος μια και αντιστοιχούν στο 1,7% και 1,9% των συνολικών παρεμβάσεων, ενώ οι παρεμβάσεις στα κτίρια επιχειρήσεων και σε στόλους οχημάτων στον τομέα των ιδιωτικών μεταφορών βρίσκονται κάπου στο μέσο.



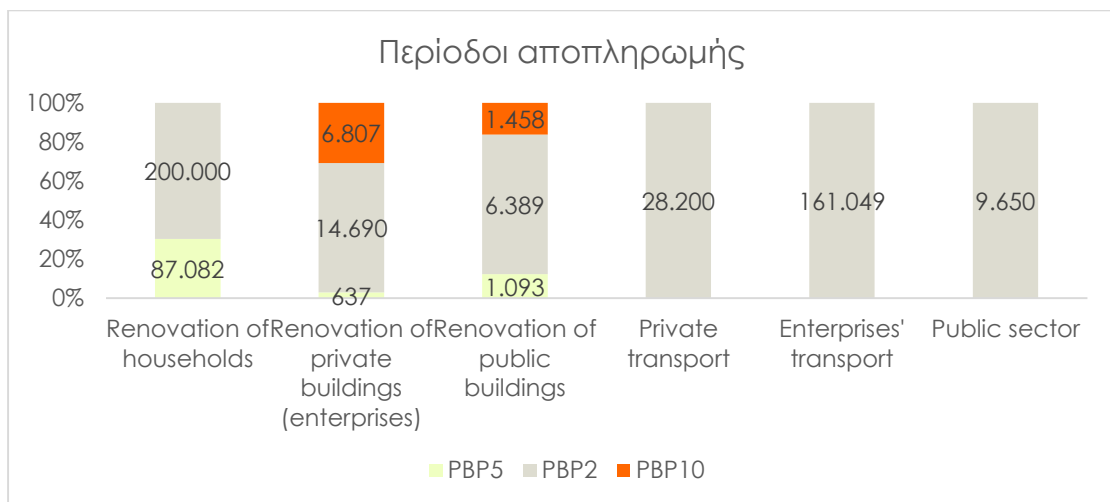
Εικόνα 41 Σύνολο παρεμβάσεων ανά τομέα επικέντρωσης

Στο ίδιο πλαίσιο, στο διάγραμμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 42, παρουσιάζεται πώς κατανέμονται οι προτεινόμενες παρεμβάσεις που παρουσιάζονται στην Εικόνα 41 ανά δέσμη παρεμβάσεων για κάθε τομέα, βάσει της κλίμακας εφαρμογής τους (μικρής και μεγάλης κλίμακας). Τα εξαγόμενα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι παρεμβάσεις μικρής κλίμακας υπερिशύουν των παρεμβάσεων μεγάλης κλίμακας, ιδίως στα ιδιωτικά (επιχειρήσεις) και στα δημόσια κτίρια, καθώς συσχετίζονται κατεξοχήν με χαμηλότερο κόστος και κίνδυνο. Από την άλλη πλευρά, στα νοικοκυριά, οι παρεμβάσεις μικρής και μεγάλης κλίμακας είναι σχεδόν ισάριθμες.



Εικόνα 42: Κλίμακα παρεμβάσεων ανά τομέα επικέντρωσης

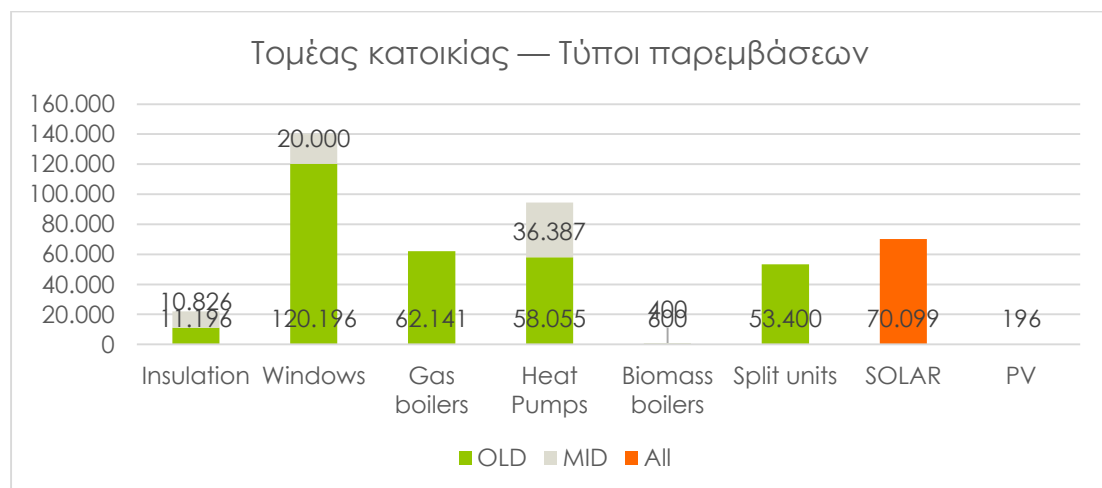
Αν εξετάσουμε πιο προσεκτικά τις περιόδους αποπληρωμής (PBP) για κάθε δέσμη πολιτικών (Εικόνα 43), γίνεται προφανές ότι οι πολιτικές με βραχυπρόθεσμες αποπληρωμές (PBP = 2 έτη) φαίνεται να συγκεντρώνουν μεγάλη προσοχή, ενώ, από την άλλη πλευρά, οι πολιτικές με μακροπρόθεσμες αποπληρωμές (PBP = 10 έτη) δεν προωθούνται σημαντικά. Επίσης κάτι που φαίνεται πως βρίσκεται σε πλήρη ευθυγράμμιση με τις τρέχουσες κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της Ελλάδας, είναι ότι οι πολιτικές που βασίζονται στην ιδιωτική πρωτοβουλία, όπως οι ανακαινίσεις σε νοικοκυριά καθώς και οι πολιτικές που αφορούν τα ιδιωτικά μέσα μεταφοράς, απαιτούν βραχυπρόθεσμες έως μεσοπρόθεσμες περιόδους αποπληρωμής ώστε να τύχουν ευρείας αποδοχής από το κοινό. Από την άλλη πλευρά, όταν η συζήτηση στρέφεται γύρω από τις ανακαινίσεις ιδιωτικών επιχειρήσεων και δημόσιων κτιρίων, αποδεκτές είναι και οι μακροπρόθεσμες περίοδοι αποπληρωμής.



Εικόνα 43 Περίοδοι αποπληρωμής των παρεμβάσεων ανά τομέα

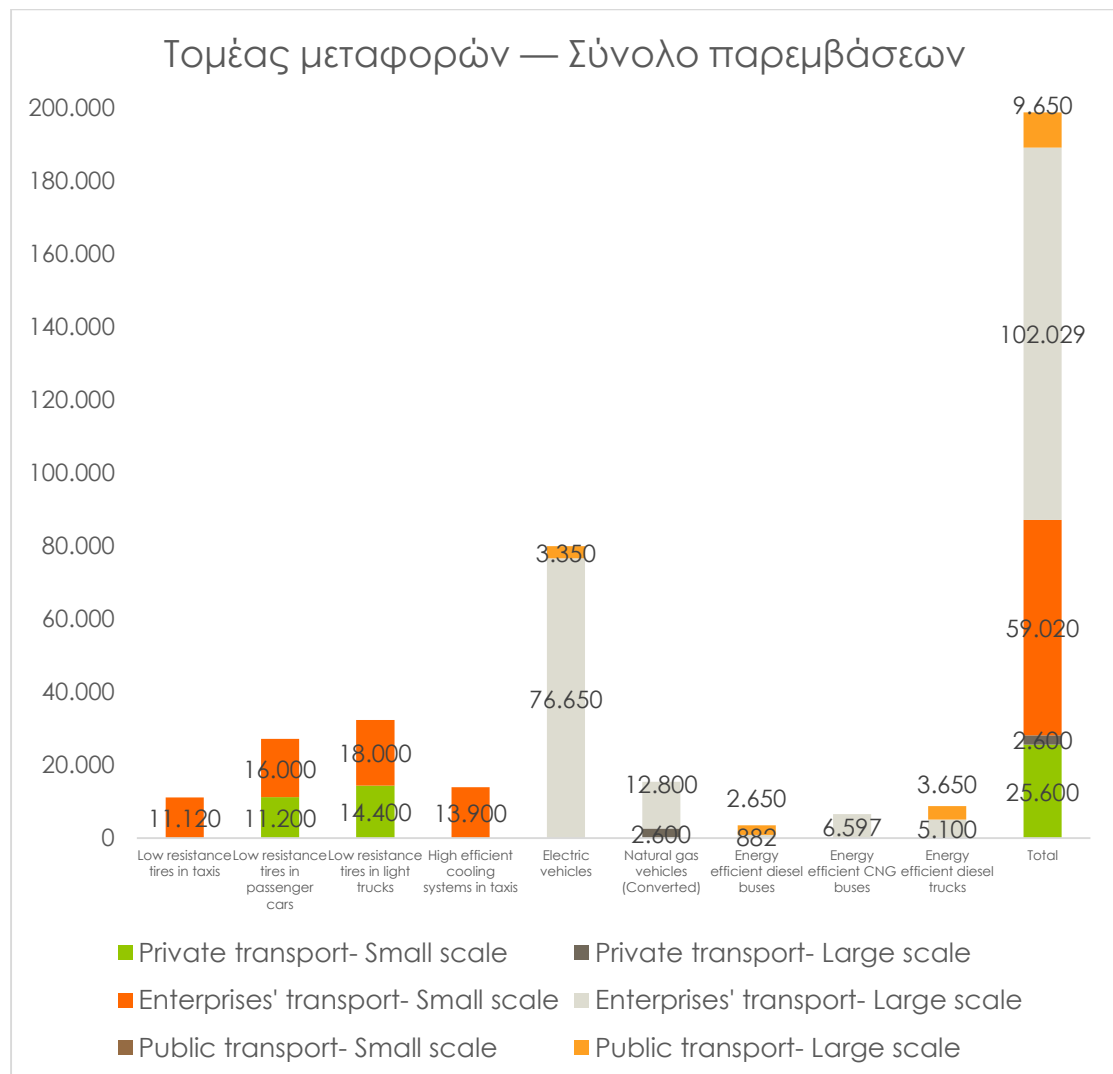
Αναλυτικότερα για τον τομέα των κτιρίων κατοικίας, ο οποίος συγκεντρώνει την πλειονότητα των παρεμβάσεων που επιλέχθηκαν στο ενδιάμεσο χαρτοφυλάκιο (55,5%), το διάγραμμα στην Εικόνα 43 παρουσιάζει μια σαφή εικόνα του τύπου των παρεμβάσεων και της κατανομής τους ανάλογα με την ηλικία του κτιρίου. Από την ανάλυση προκύπτει ότι η αντικατάσταση των παραθύρων με ενεργειακά αποδοτικότερα (ειδικά στα παλαιά κτίρια) επικρατεί μεταξύ των επιλεγμένων παρεμβάσεων, με την εισαγωγή των αντλιών θερμότητας να ακολουθεί. Η αντικατάσταση των παλαιών συστημάτων θέρμανσης με λέβητες συμπύκνωσης φυσικού αερίου, καθώς και η αντικατάσταση των συστημάτων ψύξης (split units) αποτελούν τα ελκυστικότερα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού για τα παλιά κτίρια. Τέλος, η εκτεταμένη εφαρμογή της θερμομόνωσης των κτιρίων κατοικιών φαίνεται να μην είναι εφικτή, πιθανώς λόγω των δυσκολιών εφαρμογής που αντιμετωπίζει η συγκεκριμένη τεχνολογία στο επίπεδο των διαμερισμάτων πολυκατοικίας.

Από τη σκοπιά της ηλικίας των κτιρίων, τα παλαιά κτίρια βρίσκονται στο επίκεντρο των επιλεγμένων πολιτικών, συγκεντρώνοντας το 70% περίπου των συνολικών παρεμβάσεων στον τομέα των κτιρίων κατοικίας. Τα παραπάνω συνάδουν με την άποψη ότι υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης στον ελληνικό κτιριακό τομέα, δεδομένου ότι περίπου το 25-30% της τελικής ενέργειας καταναλώνεται στο κτιριακό απόθεμα κατοικιών [5.39]. Εάν συνυπολογιστεί η κατά κύριο λόγο χαμηλή ενεργειακή επίδοση των Ελληνικών κατοικιών, με περίπου έξι στα δέκα κτίρια να έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1980 [5.64], καθώς και το γεγονός ότι ακόμη και τα κτίρια κατοικίας που κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο 1981-2010 φέρουν μερική θερμομόνωση και, ως εκ τούτου, οι ενεργειακές τους ανάγκες είναι ιδιαίτερα υψηλές [5.65], η ανάλυση επικυρώνει το γεγονός ότι το τρέχον κτιριακό απόθεμα χρήζει άμεσης αναβάθμισης.



Εικόνα 44 Συνολικές παρεμβάσεις στον τομέα των κτιρίων κατοικιών ομαδοποιημένες ανά ηλικιακή κατηγορία

Στο διάγραμμα στην Εικόνα 45, παρουσιάζεται το είδος των παρεμβάσεων που εξετάζονται στον τομέα των μεταφορών και ο τρόπος με τον οποίο κατανέμονται βάσει της κλίμακας εφαρμογής τους. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι στόλοι οχημάτων που εξυπηρετούν τις μεταφορικές ανάγκες επιχειρήσεων συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μερίδιο πολιτικών με τις αντίστοιχες παρεμβάσεις (81%), με αυτές σε ιδιωτικά οχήματα να έπονται με συνολικό μερίδιο 14,18%. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, με το 40,2% των συνολικών παρεμβάσεων του τομέα να αφορά τον εξηλεκτρισμό του. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η αντικατάσταση των ελαστικών στα ταξί, στα επιβατικά αυτοκίνητα και στα ελαφρά φορτηγά αποδεικνύεται μια πιο αποτελεσματική εναλλακτική λύση, σε σύγκριση με την αντικατάσταση του στόλου οχημάτων (δημόσιων, ιδιωτικών και επιχειρήσεων) με ενεργειακά αποδοτικότερα οχήματα που κινούνται με ντίζελ και συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG).



Εικόνα 45 Σύνολο παρεμβάσεων στον τομέα των μεταφορών σύμφωνα με την κλίμακα εφαρμογής τους

Στο οικονομικό σκέλος της ανάλυσης, η κινητοποίηση πρόσθετων συνεπενδύσεων δημόσιου-ιδιωτικού τομέα, μέσα από τη χρήση χρηματοδοτικών μηχανισμών (Π. 48), φαίνεται να αποτελεί εφικτό μοντέλο για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης στα πλαίσια του ελληνικού ΕΣΕΚ.

Π. 48 Μεριδίο συμμετοχής των επιλεγμένων χρηματοδοτικών μέσων ανά πολιτική ενεργειακής απόδοσης ως προς τον συνολικό αριθμό των εφαρμοσμένων τεχνολογιών (παρεμβάσεις).

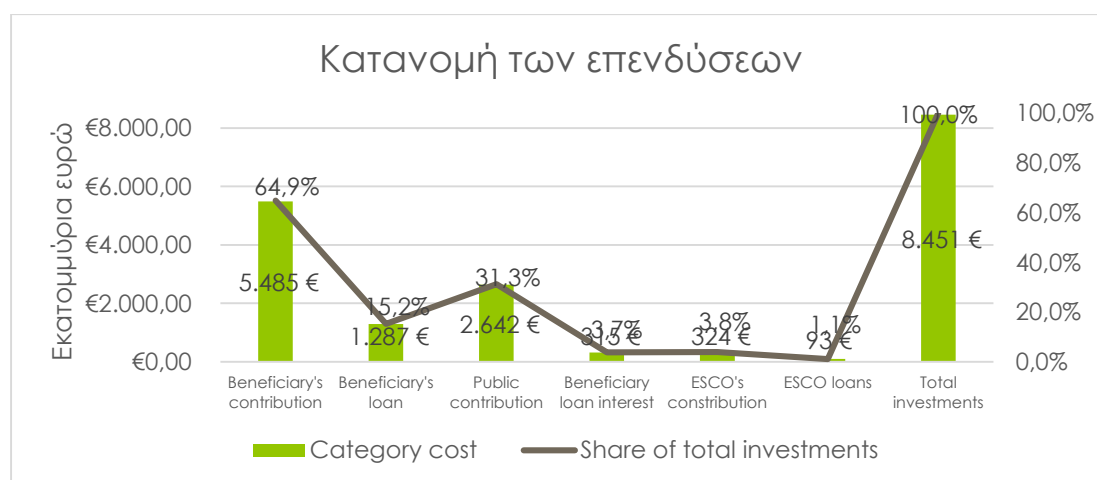
| Αρ. | Κατηγορία | Μεριδίο χρηματοδοτικού μηχανισμού |
|-----------|--|-----------------------------------|
| C1 | Ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών | |
| C1-F1 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς | 51,2% |
| C1-F2 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και προνομιακού δανείου | 48,8% |
| C2 | Ανακαίνιση κτιριακών εγκαταστάσεων επιχειρήσεων | |
| C2-F1 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης και ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς | 24,3% |
| C2-F3 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, προνομιακού δανείου και ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς | 35,1% |
| C2-F4 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, ιδιωτικής χρηματοδοτικής συνεισφοράς, συμμετοχής ESCO, και προνομιακών δανείων | 40,6% |
| C3 | Ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων | |
| C3-F5 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, προνομιακού δανείου και χρηματοδοτικής συνεισφοράς του δικαιούχου | 75,3% |
| C3-F6 | Συνδυασμός δημόσιας επιχορήγησης, χρηματοδοτικής συνεισφοράς του δικαιούχου, συμμετοχής ESCO και προνομιακών δανείων | 24,7% |
| C4 | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης ιδιωτικών οχημάτων | |
| C4-F7 | Προνομιακά δάνεια | 90,8% |
| C4-F8 | Συνδυασμός μικρής επιχορήγησης και προνομιακού δανείου | — |
| C4-F9 | Επιχορηγήσεις | — |
| C4-F10 | Προνομιακά δάνεια | 9,2% |
| C5 | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης δημόσιων οχημάτων | |
| C5-F8 | Συνδυασμός μικρής επιχορήγησης και προνομιακού δανείου | 34,7% |
| C5-F9 | Επιχορηγήσεις | 65,3 % |

| Αρ. | Κατηγορία | Μερίδιο χρηματοδοτικού μηχανισμού |
|-----------|--|-----------------------------------|
| C6 | Αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης οχημάτων επιχειρήσεων | |
| C6-F7 | Προνομιακά δάνεια | 36,6% |
| C6-F8 | Συνδυασμός μικρής επιχορήγησης και προνομιακού δανείου | 54,1% |
| C6-F9 | Επιχορηγήσεις | 7,8% |
| C6-F10 | Προνομιακά δάνεια | 1,5% |

Στο υπό εξέταση χαρτοφυλάκιο πολιτικών, διατηρώντας τον κίνδυνο σε ποσοστό μόλις κατά 10% υψηλότερο από το χαρτοφυλάκιο ελάχιστου κινδύνου, όπως αποτυπώνεται στο διάγραμμα στην Εικόνα 46, η απαιτούμενη δημόσια χρηματοδότηση παραμένει στο επίπεδο των 2,5 δισ. ευρώ, ποσό που αντιπροσωπεύει μόνο το 31% των συνολικών επενδυτικών αναγκών.

Η συνεισφορά των δικαιούχου παρουσιάζει επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς καλύπτει το 65% των συνολικών επενδύσεων, υποστηριζόμενη από τα δανειοδοτικά μέσα των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, για το ένα τέταρτο των αναγκών (23,4%). Το καθεστώς στήριξης της δημόσιας χρηματοδότησης μέσω της επιδότησης των τόκων φαίνεται να είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση για τους δικαιούχους περιορίζεται στο 5,7% της αναγκαίας συνεισφοράς τους.

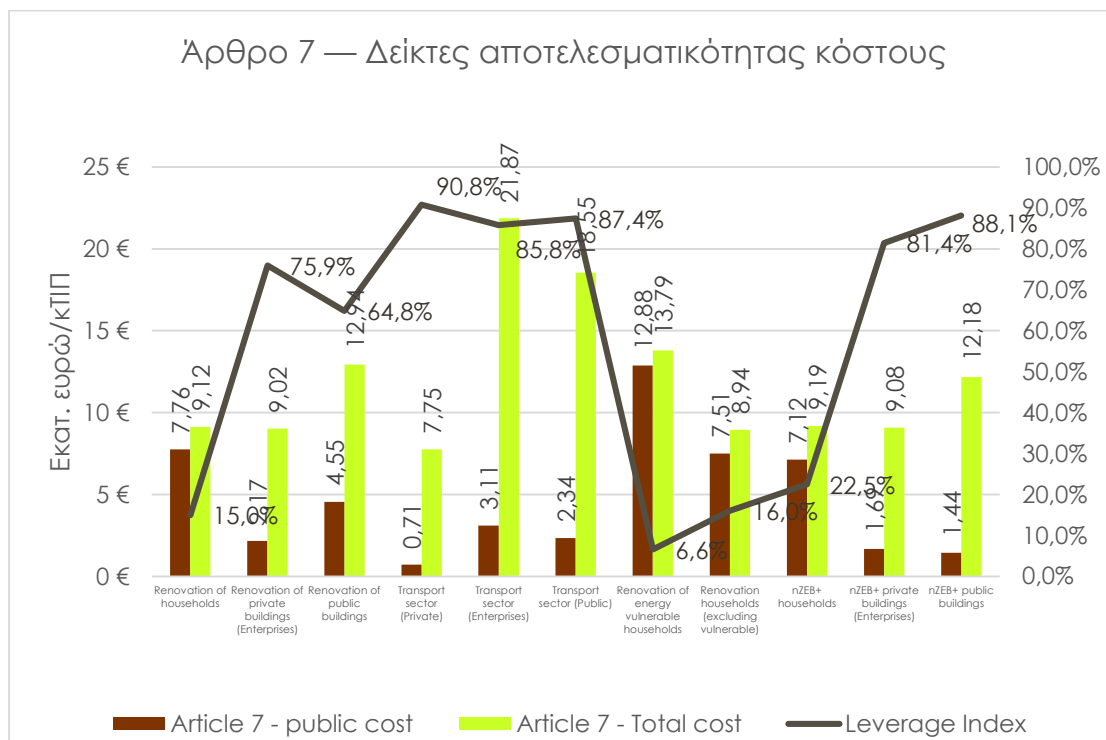
Αν και τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τον υψηλού κινδύνου χαρακτήρα της αγοράς των ESCO, υπάρχουν σαφώς και ενδείξεις βελτίωσης. Λαμβάνοντας υπόψη την απουσία σχετικής αγοράς στην Ελλάδα [5.38], οι επενδύσεις ύψους 324 εκατ. ευρώ μπορούν να χαρακτηριστούν ως η απαρχή μιας νέας φάσης για την αγορά ενεργειακών υπηρεσιών στην Ελλάδα.



Εικόνα 46 Συνολική κατανομή των επενδύσεων μεταξύ των διαφόρων πηγών χρηματοδότησης

Περνώντας από την ανάλυση της κατανομής των επενδύσεων στην ετήσια ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας από την άποψη του άρθρου 7, το διάγραμμα στην Εικόνα 47 παρέχει σαφείς πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό μόχλευσης κάθε τομέα. Το δυναμικό αυτό εξηγεί επίσης τη σημαντική απόκλιση μεταξύ του συνολικού δείκτη κόστους-αποτελεσματικότητας και του δείκτη Δημόσιου κόστους - αποτελεσματικότητας, που παρατηρείται κυρίως στις περιπτώσεις των μεταφορών και των ιδιωτικών εμπορικών κτιρίων (επιχειρήσεις). Ακόμη και αν τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης στον τομέα των μεταφορών διακρίνονται από τη χειρότερη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας (π.χ. 21,87 εκατ. €/ktoe για στόλο επιχειρήσεων), η δυνατότητα που προσφέρουν για υψηλή μόχλευση χαμηλού κινδύνου υλοποίησης (π.χ. ποσοστό 86% ιδιωτικής χρηματοδότησης για στόλους επιχειρήσεων) τα κατατάσσει μεταξύ των πλέον ελκυστικών πολιτικών ενεργειακής απόδοσης (π.χ. 3,11 εκατ. €/ktoe για στόλο επιχειρήσεων).

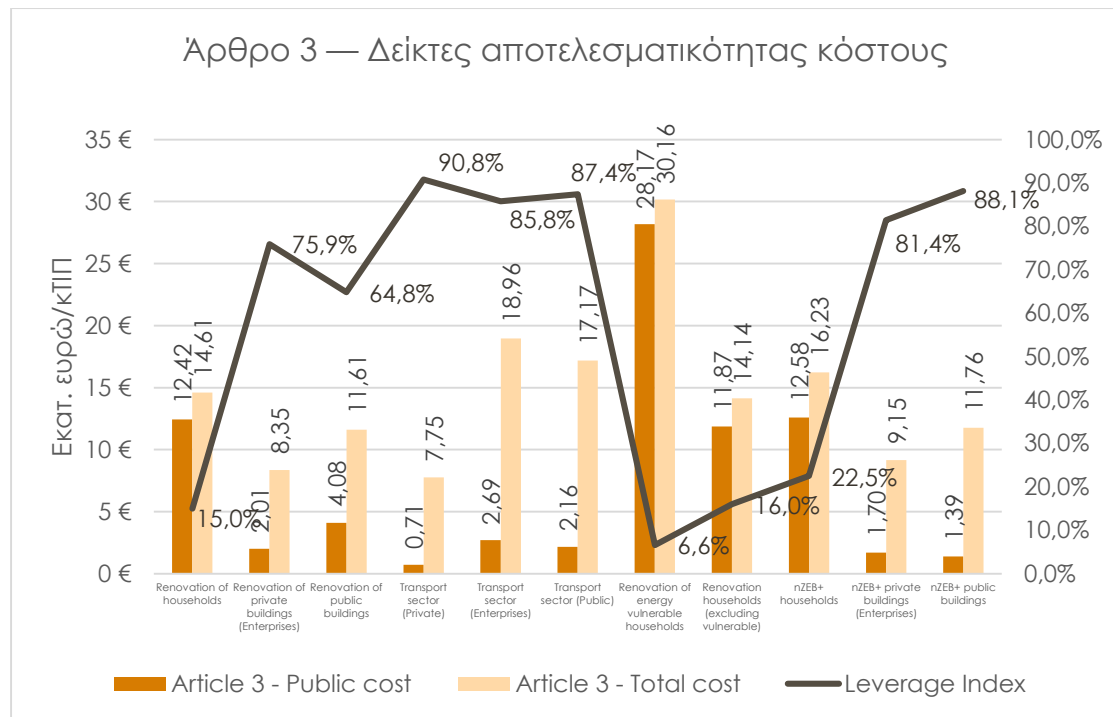
Στον κτιριακό τομέα τόσο τα κτίρια nZEB plus όσο και οι συνήθεις ανακαινίσεις σε ιδιωτικά εμπορικά κτίρια (επιχειρήσεις) μπορούν να χαρακτηριστούν αρκετά ελκυστικές από την άποψη της δημόσιας χρηματοδότησης, ενώ οι ανακαινίσεις σε ευάλωτα νοικοκυριά επιδεικνύουν τον υψηλότερο δείκτη κόστους-αποτελεσματικότητας. Ο μη ελκυστικός δείκτης κόστους-αποτελεσματικότητας για τις ανακαινίσεις των ευάλωτων νοικοκυριών είναι ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα λαμβάνοντα υπόψη την οικονομική κατάσταση των χρηστών τους. Ωστόσο, ασχέτως του μη ελκυστικού δείκτη κόστους-αποτελεσματικότητας της εν λόγω πολιτικής, λόγω του ότι αποτελεί πολιτική προτεραιότητα του ΕΣΕΚ, επιλέγεται στα χαρτοφυλάκια του μετώπου Pareto. Οι αναβαθμίσεις των δημοσίων κτιρίων επίσης εντάσσονται στις ελκυστικές πολιτικές από την άποψη της δημόσιας χρηματοδότησης (δείκτης Δημόσιου κόστους - αποτελεσματικότητας), καθώς οι δείκτες μόχλευσης τους ανταγωνίζονται ισότιμα τους αντίστοιχους δείκτες των ιδιωτικών κτιρίων.



Εικόνα 47 Δείκτες κόστους-αποτελεσματικότητας υπό το πρίσμα του άρθρου 7

Στο ακόλουθο διάγραμμα στην Εικόνα 48 παρουσιάζονται οι ετήσιοι δείκτες κόστους - αποδοτικότητας υπό το πρίσμα του άρθρου 3. Οι διαφορές στη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας στο πλαίσιο των άρθρων 3 και 7 αντίστοιχα οφείλονται κυρίως σε δύο κρίσιμες παραμέτρους που σχετίζονται με τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής εξοικονόμησης που ακολουθεί κάθε προοπτική. Η πρώτη παράμετρος που εξηγεί κυρίως τις μεγάλες διαφορές στους δείκτες των νοικοκυριών, αφορά τη διαφορά πραγματικής και υπολογιζόμενης/ θεωρητικής ενεργειακής κατανάλωσης των Ελληνικών νοικοκυριών [5.66]. Σύμφωνα με την προσέγγιση του άρθρου 7, οι εξοικονομήσεις υπολογίζονται συνήθως βάσει των προσομοιωμένων ενεργειακών καταναλώσεων των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης, ενώ το άρθρο 3 αφορά τις πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις που αποτυπώνονται στα εκ των υστέρων ενεργειακά ισοζύγια των κρατών μελών. Επιπλέον, η περιορισμένη ικανότητα των ενεργειακά ευάλωτων νοικοκυριών να καλύψουν τα αποδεκτά επίπεδα άνεσης [5.67] εξηγεί τη μεγάλη απόκλιση που παρατηρείται στην εν λόγω πολιτική. Η δεύτερη κρίσιμη παράμετρος αφορά τον τομέα των μεταφορών και σχετίζεται με το κριτήριο της προσθετικότητας στο πλαίσιο του άρθρου 7. Λόγω των υψηλών ελάχιστων απαιτήσεων που καθορίζονται στο παράρτημα V της EED (οδηγία 2012/27/ΕΕ του Συμβουλίου, [5.68]), οι επιλέξιμες για υπολογισμό εξοικονομήσεις για την αντικατάσταση μη αποδοτικών οχημάτων με νέα, αποτελεί μέρος μόνο των πραγματικών/συνολικών εξοικονομήσεων που προκύπτουν από τη σύγκριση

μεταξύ του σεναρίου αναφοράς και του εναλλακτικού σεναρίου (εξοικονόμηση βάσει του άρθρου 3).



Εικόνα 48 Δείκτες αποτελεσματικότητας κόστους σύμφωνα με το άρθρο 3

Συμπληρωματικά προς τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων στην Εικόνα 47 και την Εικόνα 48, και για την ολοκλήρωση αυτού του μέρους της ανάλυσης των αποτελεσμάτων, οι πολιτικές για τις υποδομές (παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης στους σταθμούς άντλησης και στον οδικό φωτισμό), καθώς και οι πολιτικές που βασίζονται σε υπηρεσίες ενεργειακής απόδοσης (ενεργειακοί διαχειριστές δημόσιων κτιρίων) έχουν μηδενικό δείκτη κόστους-αποτελεσματικότητας δεδομένου ότι, στη μεν περίπτωση των υποδομών, το κόστος μετατοπίζεται πλήρως στον ιδιωτικό τομέα, η περίπτωση δε του διορισμού ενεργειακών υπευθύνων αποτελεί μέτρο μηδενικού κόστους, καθώς η υπηρεσία παρέχεται από υφιστάμενους δημόσιους υπαλλήλους. Τέλος, για τις πολιτικές που βασίζονται σε τεχνολογίες CHP, ο αντίστοιχος δείκτης δεν μπορεί να υπολογιστεί, καθώς η συγκεκριμένη τεχνολογία παράγει εξοικονομήσεις μόνο πρωτογενούς και όχι τελικής ενέργειας.

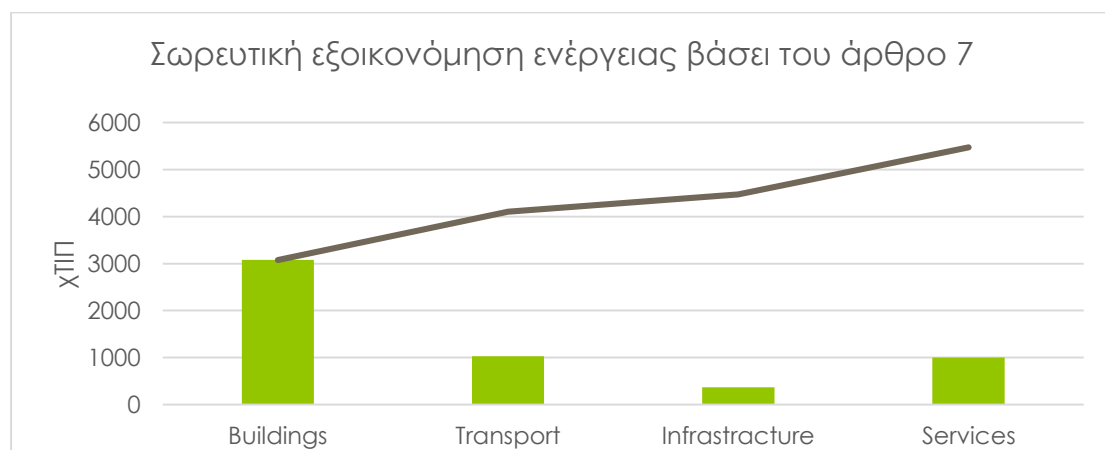
Αν και η σύγκριση των δεικτών αποτελεσματικότητας κόστους διαφόρων τομέων αποτελεί αρκετά ενδιαφέρουσα άσκηση, ο προσδιορισμός του δυναμικού βελτίωσης της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας, σε ό,τι αφορά τη δημόσια χρηματοδότηση και σε σχέση με τις υφιστάμενες ή προηγούμενες ανάλογες πολιτικές, μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα επωφελής για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής.

Οι ανακαινίσεις ενεργειακής απόδοσης σε δημόσια κτίρια με δείκτη κόστους - αποτελεσματικότητας ίσο με 1,5-4,5 εκατ. €/κτοε (σύμφωνα με τη μεθοδολογία

του άρθρου 7) έχουν τα μεγαλύτερα περιθώρια βελτίωσης, καθώς, σύμφωνα με τη Φορούλη [5.34], ο δείκτης κόστους αποτελεσματικότητας του αντίστοιχου προγράμματος ήταν 13,6 εκατ. €/κτοε, δεδομένου ότι βασιζόταν αποκλειστικά σε δημόσιες επιχορηγήσεις. Ο τομέας των μεταφορών, με δείκτες κόστους - αποτελεσματικότητας που κυμαίνονται από 0,71-3,11 εκατ. €/κτοε, παρουσιάζει επίσης αξιοσημείωτο δυναμικό, καθώς οι αντίστοιχοι δείκτες τα ανωτέρω μελέτης κυμαίνονται από 5,4-7,3 εκατ. €/κτοε.

Από την άλλη πλευρά, το πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον 2011-2015» επέδειξε χαμηλότερο δείκτη αποτελεσματικότητας κόστους (4,5 εκατ. €/κτοε) σε σύγκριση με τα 7,76 εκατ. €/κτοε, που αντιστοιχούν στον μέσο δείκτη αποτελεσματικότητας κόστους της ανάλυσής μας για τις ανακαινίσεις των νοικοκυριών. Η απόκλιση αυτή μπορεί να αποδοθεί στο υψηλό μερίδιο των επιλεγμένων παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης σε κτιριακά κελύφη (51%) και στις υψηλότερες τιμές κόστους των συστημάτων HVAC (σε σύγκριση με την περίοδο 2011-2015), λόγω της συμμόρφωσης με τις κατ' ελάχιστον απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού (οδηγία 2009/125/EK του Συμβουλίου, [5.68]) και των μη αποτελεσματικών από άποψη κόστους συστημάτων κλιματισμού (35 εκατ. €/κτοε), που δεν είχαν εφαρμογή στο πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον 2011-2015» και ελήφθησαν υπόψη στην παρούσα ανάλυση.

Στο ακόλουθο διάγραμμα στην Εικόνα 49 παρουσιάζεται η κατανομή των σωρευτικών εξοικονομήσεων ενέργειας για την επίτευξη του δεσμευτικού στόχου του άρθρου 7 όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την τελική χρήση. Με την εξαίρεση του μέρους του στόχου που πρέπει να μετατοπιστεί στις εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας μέσω των Καθεστώτων Υποχρέωσης Ενεργειακής Απόδοσης (EEOs) για την περίοδο 2021-2030, είναι σαφές ότι θα πρέπει να δοθεί έμφαση στον κτιριακό τομέα, ο οποίος θα πρέπει να καλύψει περισσότερο από το 50% του σωρευτικού στόχου.

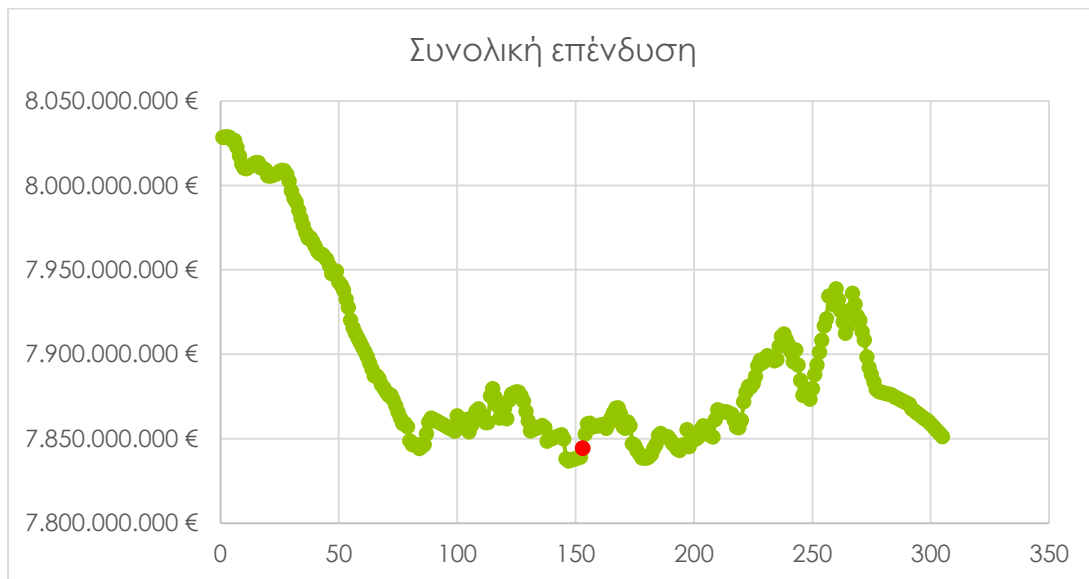


Εικόνα 49 Κατανομή σωρευτικών εξοικονομήσεων ενέργειας για την επίτευξη του στόχου του άρθρου 7.

Εστιάζοντας στους στόχους εκτός ενεργειακής απόδοσης που καθορίζονται στο ΕΣΕΚ και στην πραγματική εφαρμογή της αρχής «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση», τα ακόλουθα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη συμβολή των πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση στις διάφορες διαστάσεις της Ενεργειακής Ένωσης.

Όσον αφορά τη διάσταση της Ενεργειακής Αγοράς, 60.000 παρεμβάσεις σε ενεργειακά ευάλωτα νοικοκυριά μπορούν να υλοποιηθούν μόνο μέσω της πολιτικής «Ενεργειακή ανακαίνιση κατοικιών για ενεργειακά ευάλωτα νοικοκυριά». Όσον αφορά τη διάσταση των ΑΠΕ, στο πλαίσιο της πολιτικής για την «Προώθηση των ΑΠΕ στα κτίρια (ενεργειακός συμψηφισμός)» μπορούν να παραχθούν 20,6 GWh ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας το 2030, η πολιτική «Θέρμανση και ψύξη κτιρίων με ΑΠΕ» μπορεί να υποστηριχθεί με 137 ktoe θέρμανσης από εγκαταστάσεις στον κτιριακό τομέα και, τέλος, προς την κατεύθυνση της πολιτικής «Στήριξη της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων», 7,7 ktoe ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στις μεταφορές μπορούν να προέλθουν από ηλεκτρικά οχήματα μέσω μηχανισμών χρηματοδοτικής στήριξης.

Λαμβάνοντας υπόψη μια αποδεκτή περιοχή κινδύνου, η οποία οριοθετείται σε μια περιοχή +/- 0.1 του κινδύνου του σημείου ενδιάμεσου κινδύνου (κόκκινο σημείο στην Εικόνα 50), και αναλύοντας τις κατά Pareto βέλτιστες λύσεις εντός της περιοχής αυτής, μπορούμε να συνοψίσουμε τα ακόλουθα ευρήματα. Παρόλο που οι παράμετροι της δημόσιας συνεισφορά, η συνεισφορά των δικαιούχων, καθώς και το σύνολο των δανείων, σχετίζονται με τα συνιστώσα του κινδύνου, οι συνολικές απαιτούμενες επενδύσεις παραμένουν σχεδόν σταθερές και παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις (Εικόνα 49). Στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο μέγιστου κινδύνου, το 68,23% των συνολικών επενδύσεων προέρχεται από την πλευρά των δικαιούχων, η συμμετοχή του δημοσίου ανέρχεται σε 29,27%, ενώ 20% των συνολικών επενδύσεων θα πρέπει να προέλθουν από δανεισμό. Από την άλλη πλευρά, το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο ελάχιστου κινδύνου απαιτεί μικρότερη συνολική επένδυση ύψους 177.000 EUR, η δημόσια συνεισφορά αντιπροσωπεύει σχεδόν το 45% του συνολικού ποσού, η συνεισφορά των δικαιούχων ισούται με το ήμισυ των συνολικών επενδύσεων και τα απαιτούμενα δάνεια να ανέρχονται στο 12% των συνολικών επενδύσεων.



Εικόνα 50 Διακύμανση των συνολικών απαιτούμενων επενδύσεων στην περιοχή αποδεκτού κινδύνου.

5.6 Συμπεράσματα και προεκτάσεις για τις πολιτικές

Η προτεινόμενη πολυδιάστατη προσέγγιση συμβιβάζει τις ιδιαιτερότητες που απορρέουν από τη συμμετοχή διαφόρων εμπλεκομένων, ενσωματώνει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τεχνολογίας και μέτρων από διαφορετικούς τομείς, και παρέχει το υποστηρικτικό πλαίσιο για την ιεράρχηση της διάστασης της ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με την αρχή «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση». Η επιλογή αυτών των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων υπόκειται στην επείγουσα ανάγκη όλα τα κράτη μέλη να αυξήσουν τη χρήση των χρηματοδοτικών μέσων, ιδίως σε ένα πλαίσιο δημοσιονομικής περιστολής, αξιοποιώντας καλύτερα τη διαθέσιμη χρηματοδότηση από τα Ευρωπαϊκά Διαρθρωτικά και Επενδυτικά Ταμεία.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η κινητοποίηση πρόσθετων συνεπενδύσεων δημόσιου-ιδιωτικού τομέα, μέσα από τη χρήση χρηματοδοτικών μηχανισμών, φαίνεται να αποτελεί εφικτό μοντέλο για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο του ελληνικού ΕΣΕΚ, δεδομένου ότι με τη διατήρηση του κινδύνου σε χαμηλά επίπεδα, η απαιτούμενη κρατική χρηματοδότηση παραμένει στα 2,5 δισ. ευρώ που σε επίπεδο προϋπολογισμού αντιπροσωπεύει μόλις το 31% των συνολικών επενδυτικών αναγκών. Η συνεισφορά των δικαιούχων, η οποία αντιπροσωπεύει το 65% των συνολικών επενδύσεων, δύναται να στηριχθεί, όπως φαίνεται, από δανειοδοτικές διευκολύνσεις των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, καθώς αυτά μπορούν να παρέχουν χρηματοδότηση για το ένα τέταρτο των συνολικών αναγκών των δικαιούχων (23,4%). Το καθεστώς στήριξης από τη δημόσια χρηματοδότηση, μέσω της επιδότησης του επιτοκίου, φαίνεται να είναι επίσης ζωτικής σημασίας, δεδομένου ότι η πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση για τους δικαιούχους περιορίζεται στο

5,7% της απαιτούμενης συνεισφοράς τους. Οι χρηματοδοτικοί μηχανισμοί των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης για την περίοδο 2021-2030 θα πρέπει να αποδεσμευτούν από τα υψηλά ποσοστά άμεσων δημόσιων επιχορηγήσεων και να στηριχτούν στη μόχλευση ιδιωτικής χρηματοδότησης με παροχή συνδυασμένων προγραμμάτων προνομιακών δανείων, απευθείας ιδιωτική χρηματοδοτική συνεισφορά και μικρό μερίδιο δημόσιων επιχορηγήσεων, ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη πρόσβαση σε χρηματοδότηση. Επιπλέον, από την ανάλυση προκύπτει ότι ο τομέας έχει φθάσει σε επαρκές επίπεδο ωριμότητας για την περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς των εταιρειών ενεργειακών υπηρεσιών (ESCO) τόσο στα ιδιωτικά όσο και στα δημόσια κτίρια. Για τον σκοπό αυτό, οι πολιτικές που αφορούν την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να παρέχουν ένα σταθερό και σαφές πλαίσιο για όλα τα συμβαλλόμενα μέρη μιας σύμβασης ενεργειακής απόδοσης (EPC), μέσω μηχανισμών μείωσης του κινδύνου και με εύκολη πρόσβαση σε χρηματοδότηση.

Οι σχεδιαζόμενες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επικεντρώνονται πρωτίστως στον κτιριακό τομέα και ιδίως στην ανακαίνιση των ελληνικών νοικοκυριών. Επιπλέον, οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων θα πρέπει να στοχεύουν στις μεταφορές και στους στόλους οχημάτων επιχειρήσεων, δύο τομείς που αποκαλύπτουν μεγάλες δυνατότητες. Σύμφωνα με την ανάλυση, μια πολύ κρίσιμη πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης για την περίοδο 2021-2030 είναι η τελική περίοδος αποπληρωμής (PBP) από τη σκοπιά των συμμετεχόντων. Οι παράμετροι σχεδιασμού των πολιτικών θα πρέπει να οδηγούν σε επενδύσεις χαμηλού κινδύνου με αποδεκτές PBPs. Οι πολιτικές ενεργειακής απόδοσης που εστιάζουν στον τομέα των κατοικιών δεν θα πρέπει να καταλήγουν σε PBP μεγαλύτερη των 5 ετών, ενώ στην πλειονότητά τους οι PBPs σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να παραμένουν στο επίπεδο των 2 ετών. Οι σχεδιαζόμενες πολιτικές για τον δημόσιο τομέα και τις επιχειρήσεις, από την άλλη πλευρά, που οδηγούν σε υψηλότερες επενδύσεις με PBP δεκαετίας, είναι επίσης αποδεκτές. Όσον αφορά τον τομέα των μεταφορών, πολιτικές ενεργειακής απόδοσης με PBP άνω των 2 ετών θα πρέπει να αποφεύγονται.

Πιο συγκεκριμένα για τον τομέα των κτιρίων κατοικίας, η περίοδος κατασκευής των κτιρίων, καθώς και οι επιλέξιμες τεχνολογίες και παρεμβάσεις θα πρέπει να καθορίζονται προσεκτικά ώστε να διασφαλίζονται τα χαρακτηριστικά επιτυχούς έκβασης και σχέσης-κόστους αποτελεσματικότητας των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης. Αναφορικά με τα συστήματα θέρμανσης, τη θέση των παραδοσιακών λεβήτων πετρελαίου που αντικαθίστανται θα πρέπει να παίρνουν αποδοτικές αντλίες θερμότητας και λέβητες αερίου, με τις αντλίες θερμότητας να αποτελούν την κυρίαρχη μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων. Η διείσδυση των αντλιών θερμότητας, εκτός από την υψηλή τους απόδοση και τις αντίστοιχες δυνατότητες ενεργειακής εξοικονόμησης, υποστηρίζει επίσης δύο ακόμη προτεραιότητες του ελληνικού ΕΣΕΚ, που είναι ο εξηλεκτρισμός της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και η αύξηση του μεριδίου

των ΑΠΕ στον τομέα της θέρμανσης και της ψύξης. Από την άλλη πλευρά, οι λέβητες συμπύκνωσης αερίου φαίνεται να αποτελούν την καλύτερη λύση για τα κτίρια κατοικιών παλαιάς κατασκευής. Όσον αφορά τις παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης στο κέλυφος κτιρίων, οι σχεδιαζόμενες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επικεντρώνονται τόσο στην αντικατάσταση των μη αποδοτικών παραθύρων με καινούρια, όσο και στη θερμομόνωση των μη ή μερικώς μονωμένων κτιρίων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, ωστόσο, καταδεικνύουν σαφώς ότι η αντικατάσταση των παραθύρων παλαιών κτιρίων είναι η πλέον βέλτιστη παρέμβαση. Τέλος, οι πολιτικές ενεργειακής απόδοσης δεν θα πρέπει να παραβλέπουν τα ηλιακά συστήματα που στηρίζουν τόσο τον στόχο ενεργειακής απόδοσης όσο και τον στόχο για τις ΑΠΕ του ελληνικού ΕΣΕΚ.

Στον τομέα των μεταφορών, η ανάλυση δείχνει ότι οι παρεμβάσεις που είναι εύκολο να ευοδωθούν, όπως τα ελαστικά χαμηλής αντίστασης και τα συστήματα ψύξης υψηλής απόδοσης στα οχήματα, δεν έχουν ακόμη εξαντηθεί και, συνεπώς, οι μελλοντικές πολιτικές ενεργειακής απόδοσης θα πρέπει να επικεντρωθούν σε τέτοιου είδους παρεμβάσεις. Όσον αφορά τις παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας, στις οποίες περιλαμβάνονται οι αντικαταστάσεις οχημάτων ή η αλλαγή καυσίμου, οι νέες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επικεντρώνονται στον στόλο των επιχειρήσεων και, ειδικότερα, να στηρίζουν την αντικατάσταση των παλαιών συμβατικών με νέα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς και τη μετατροπή τους σε οχήματα με φυσικό αέριο ως καύσιμο.

Ένα άλλο σημαντικό εύρημα είναι οι δυνατότητες βελτίωσης της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας έναντι των υφιστάμενων πολιτικών. Οι ανακαινίσεις ενεργειακής απόδοσης σε δημόσια κτίρια, ειδικότερα, φαίνεται να επιφυλάσσουν μία από τις μεγαλύτερες προοπτικές βελτίωσης, ενώ και ο τομέας των μεταφορών παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες. Με γνώμονα τον δεσμευτικό στόχο του άρθρου 7 για την ενεργειακή απόδοση, ο χρονικός άξονας της έναρξης και υλοποίησης των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης αποτελεί αναμφίβολα μία από τις σημαντικότερες πτυχές, δεδομένου ότι ο υπολογισμός των σωρευτικών εξοικονομήσεων ενεργειακής απόδοσης συνδέεται με τα εναπομείναντα έτη από την εφαρμογή έως το τέλος της περιόδου αναφοράς. Κατά συνέπεια, ο δείκτης αποτελεσματικότητας κόστους των σωρευτικών ενεργειακών εξοικονομήσεων μπορεί να επηρεαστεί δραματικά από τις επιπτώσεις του χρονισμού των πολιτικών.

Τέλος, η πολυδιάστατη φύση της μεθοδολογίας παρέχει ευελιξία επιλογής από έναν μεγάλο αριθμό σχεδόν βέλτιστων χαρτοφυλακίων, καθιστώντας τελικά δυνατή την επιλογή μιας σειράς ενεργειών που συνάδει με την απροθυμία ανάληψης κινδύνων από την πλευρά των αποφασιζόντων, καθώς και με άλλους πολιτικούς περιορισμούς και προτιμήσεις. Επιπροσθέτως, η ανάλυση δείχνει ότι η μεθοδολογία μπορεί να στηρίξει την αξιολόγηση των διασυνδέσεων των στόχων διαφορετικών ΕΣΕΚ και να προωθήσει την αρχή της «προτεραιότητας στην ενεργειακή απόδοση».

Περαιτέρω ζητήματα για την έρευνα θα μπορούσαν να αφορούν κυρίως την εννοιολόγηση του κινδύνου και την καθιέρωση μιας ευρύτερης οπτικής στην εκτίμηση και τη διαχείριση κινδύνου. Μια πλατύτερη ανάλυση κινδύνου θα πρέπει να επεκτείνει το πεδίο της, όσον αφορά τον κίνδυνο της αγοράς, και στους εμπλεκόμενους εμπειρογνώμονες — η παρούσα εργασία περιορίζεται στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής — αλλά και, όσον αφορά τον χρηματοοικονομικό κίνδυνο, σε άλλες διαστάσεις όπως το αρχικό κόστος, που μπορούν να αποκαλύψουν μια σημαντική πλευρά του υπολογιζόμενου κινδύνου. Σχετικά με τις προτεινόμενες καμπύλες αποδοχής αποπληρωμής, περισσότερες εξειδικευμένες μελέτες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ακρίβειά τους. Όσον αφορά την αρχή «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση», η παρούσα εργασία συγκαταλέγεται οπωσδήποτε ανάμεσα στις πρώτες προσπάθειες που επιχειρούν να ρίξουν φως σε αυτή την αδιερεύνητη περιοχή. Παραπέρα ανάλυση θα μπορούσε να αποφέρει πραγματικά ενδιαφέροντα αποτελέσματα, ιδίως όσον αφορά τη σχέση ανάμεσα στην ενεργειακή απόδοση και στις διαστάσεις της ενεργειακής ασφάλειας και της ενεργειακής αγοράς. Η μοντελοποίηση του σεναρίου σε περιφερειακό επίπεδο, η διαθεσιμότητα δεδομένων σε τομείς της βιομηχανίας και της γεωργίας, που δεν ήταν διαθέσιμα στην παρούσα μελέτη, όπως και ο σχεδιασμός ειδικών μέτρων και πολιτικών θα μπορούσαν επίσης να αποτελέσουν μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας.

5.7 Βιβλιογραφία

- [5.1] United Nations Treaty Collection. (2015). Paris agreement, Chapter XXVII, Environment, Available at: https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en.
- [5.2] COM (2016) 110 final. The Road from Paris: assessing the implications of the Paris Agreement and accompanying the proposal for a Council decision on the signing, on behalf of the European Union, of the Paris agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, European Commission. Available at: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-110-EN-F1-1.PDF>
- [5.3] Bonn, M., Heitmann, N., Reichert, G., Voßwinkel, J.-S. (2015). EU Climate and Energy Policy 2030, Comments on an Evolving Framework, cep.
- [5.4] COM (2015) 80 final. A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy, European Commission. Available at: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_1&format=PDF
- [5.5] Eurelectric. (2015) Power Statistics and Trends: The five dimensions of the energy union

- [5.6] European Commission. (2018). National Energy and Climate Plans (NECPs). Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/governance-energy-union/national-energy-climate-plans>.
- [5.7] European Commission. (2018). Press Release: The Energy Union gets simplified, robust and transparent governance: Commission welcomes ambitious agreement
- [5.8] European Union Regulation (EU) 2018/1999 of the European parliament and of the council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council, the European parliament and the council of the European union, Official Journal of the European Union. (2018).
- [5.9] Bayer, E. (2018). Energy Efficiency First: A Key Principle for Energy Union Governance, RAP.
- [5.10] European Climate Foundation. (2016). Efficiency first: A new paradigm for the European energy system driving competitiveness, energy security and decarbonisation through increased energy productivity. Available at: https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2016/06/ECF_Report_v9-screen-spreads.pdf
- [5.11] Council Directive 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. (2012). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>
- [5.12] Eurostat. (2019). Energy saving statistics. Energy efficiency targets for 2020 and 2030. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_saving_statistics
- [5.13] European Commission, Directorate General for Energy. (2019). Report of the Work of the Task Force on Mobilising Efforts to Reach the EU Energy Efficiency Targets for 2020. Available at: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/report_of_the_work_of_task_force_mobilising_efforts_to_reach_eu_ee_targets_for_2020.pdf
- [5.14] Energy Efficiency Financial Institutions Group (EEFIG). (2015). Energy Efficiency – the first fuel for the EU Economy, How to drive new finance for energy efficiency investments, Final report covering Buildings, Industry and

SMEs. Available at: <http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Energy-Efficiency-%E2%80%93-the-first-fuel-for-the-EU-economy.-Recommendations-to-trigger-more-EE-investments-Oliver-Rapf-BPIE.pdf>

- [5.15] Deloitte. (2017). Integrated Annual Report Coöperatief Deloitte U.A. 2016/2017. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/about-deloitte/deloitte-nl-integrated-annual-report-2017-2018.pdf>
- [5.16] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [5.17] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [5.18] European Commission. (2017). 2030 Energy Strategy. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy>
- [5.19] Greek ministry of Environment and Energy. (2019). National Energy and Climate Plan.
- [5.20] Semertzidis, T. (2015). Can energy systems models address the resource nexus?, 7th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, Energy Procedia 83, 279-288.
- [5.21] Erbst, A., Toro, F., Reitze, F., Jochem, E. (2012). Introduction to Energy Systems Modelling, Swiss Journal of Economics and Statistics, 148:2.
- [5.22] Manfren, M., Caputo, P., Costa, G. (2011). Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models, Applied Energy, 88:1032-1048.
- [5.23] Bolwig, S., Bazbauers, G., Klitkou, A., Lund, P.-D., Blumberga, A., Gravelins, A., Blumberga, D. (2019). Review of modelling energy transitions pathways with application to energy system flexibility, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 101:440-452.
- [5.24] Council directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance.). (2018). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>

- [5.25] Labanca, N., Bertoldi, P. (2016). Energy Savings Calculation Methods under Article 7 of the Energy Efficiency Directive, Report for DG Energy, JRC Science for Policy Report.
- [5.26] Ricardo-AEA. (2015). Study evaluating the national policy measures and methodologies to implement Article 7 of the Energy Efficiency Directive, Final Report.
- [5.27] Sousa, J.-L., Martins, A.-G. (2018). Portuguese Plan for Promoting Efficiency of Electricity End-Use: Policy, Methodology and Consumer Participation, *Energies*, 11(5):1137.
- [5.28] Ringel, M., Schlomann, B., Krail, M., Rohde, C. (2016). Towards a green economy in Germany? The role of energy efficiency policies, *Applied Energy*, 179:1293-1303.
- [5.29] Fawcett, T., Rosenow, J., Bertoldi, P. (2019). Energy efficiency obligation schemes: their future in the EU, *Energy Efficiency*, 12:57-71.
- [5.30] Colladoa, R.-R., Díaza, M.-T.-S. (2017). Analysis of energy end-use efficiency policy in Spain, *Energy Policy*, 101:436-446.
- [5.31] Papastamatiou, I., Marinakis, V., Doukas, H., Psarras, J. (2015). A web tool for assessing the energy use of buildings in Greece: First results from real life application, 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, (IISA), Corfu, Greece.
- [5.32] Moser, S. (2017). Overestimation of savings in energy efficiency obligation schemes, *Energy*, 121:599-605.
- [5.33] Rosenow, J., Cowart, R., Bayer, E., Fabbri, M. (2017). Assessing the European Union's Energy Efficiency Policy: Will the Winter Package deliver on 'Efficiency First'?, *Energy Research & Social Science* 26:72-79.
- [5.34] Forouli, A., Gkonis, N., Nikas, A., Siskos, E., Doukas, H., Tourkolias, C. (2019). Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets, *Energy*, 170:818-831.
- [5.35] Almaraz, S. D. L., Azzaro-Pantel, C., Montastruc, L., Pibouleau, L., & Senties, O. B. (2013). Assessment of mono and multi-objective optimization to design a hydrogen supply chain. *International journal of hydrogen energy*, 38(33), 14121-14145.
- [5.36] Mavrotas, G., Pechak, O., Siskos, E., Doukas, H., Psarras, J. (2015), Robustness analysis in Multi-Objective Mathematical Programming using Monte Carlo simulation, *European journal of Operational Research*, 240 (1), pp. 193-201.
- [5.37] Xidonas, P., Doukas, H., Mavrotas, G., Pechak, O. (2016), Environmental corporate responsibility for investments evaluation: an alternative multi-

objective programming model, *Annals of Operations Research*, 247 (2), pp. 395-413.

- [5.38] Greek ministry of Environment and Energy. (2017). National Energy Efficiency Action Plan.
- [5.39] Centre for Renewable Energy Sources and Saving. (2015). Energy efficiency trends and policies in Greece. Available at: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-greece.pdf>
- [5.40] Nikas, A., Ntanos, E., Doukas, H. (2019a). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies, *Applied Soft Computing*, 76:140-155.
- [5.41] European Commission. (2008). Europeans' Attitudes towards Climate Change, Special Eurobarometer 300/Wave 69.2. Available at: http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_300_full_en.pdf
- [5.42] European Commission. (2013). Climate Change, Special Eurobarometer 409/Wave EB80.2. Available at: http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_409_en.pdf
- [5.43] European Commission. (2014). Financial instruments in ESIF programmes 2014-2020: A short reference guide for Managing Authorities. Available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/thefunds/fin_inst/pdf/fi_esif_2014_2020.pdf
- [5.44] European Investment Bank (EIB). (2019). What are ESIF Financial Instruments, Available at: <https://www.eib.org/en/products/blending/esif/index.htm>.
- [5.45] Nikas, A., Gkonis, N., Forouli, A., Siskos, E., Arsenopoulos, A., Papapostolou, A., Doukas, H. (2019b). Greece: From near-term actions to long-term pathways: risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework. In *Narratives of Low-Carbon Transitions: Understanding Risks and Uncertainties*. Routledge Abingdon.
- [5.46] Mavrotas, G., Florios, K. (2013). An improved version of the augmented ϵ -constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems, *Applied Mathematics and Computation*, 219:9652-9669.
- [5.47] Brook, A., Kendrick, D., Meeraus, A. (1988). GAMS: a user's guide, *ACM Signum Newsletter*, 23(3-4):10-11.
- [5.48] Piraeus Bank. (2019). Loans for Photovoltaic Systems. Available at: <https://www.piraeusbank.gr/en/idiwtes/daneia/fotovoltaika-daneio>.

- [5.49] Bullier, A., Milin, C. (2013). Alternative financing schemes for energy efficiency in buildings, ECEEE SUMMER STUDY PROCEEDINGS.
- [5.50] Energy Efficiency Financial Institutions Group (EEFIG). (2017). EEFIG underwriting toolkit, Value and risk appraisal for energy efficiency financing. Available at: https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2017/06/EEFIG_Underwriting_Toolkit_June_2017.pdf
- [5.51] C40 Cities. (2018). Clean energy business model manual. Available at: https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2008_C40_Clean_Energy_Business_Model_Manual_-_Ezgi_Kelleher.original.pdf?1543513957
- [5.52] Jackson, J. (2010). Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools, Energy Policy, 38:3865-3873.
- [5.53] Konstantellos, N. (2018). Greece: 11th conference on Credit risk management. Leverage your credit culture. ICAP Group.
- [5.54] Greek Statistical authority. (2016). Income and tax income for Greek natural persons.
- [5.55] OECD. (2019). Under Pressure: The Squeezed Middle Class, Overview and Main Findings Paris. Available at: <https://www.oecd.org/els/soc/OECD-middle-class-2019-main-findings.pdf>
- [5.56] Economist Intelligence Unit. (2012). Energy efficiency and energy savings. A view from the building sector. A report from the Economist Intelligence Unit. Available at: http://www.bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/16/EIU_CaseStudy_Report_2012.pdf
- [5.57] ICF International. (2015). Long-Term Demand Side Management Potential in the Entergy New Orleans Service Area".
- [5.58] European Commission. (2014). Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. Available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf
- [5.59] Greek statistical authority. (2018). Turnover of Greek companies.
- [5.60] Foundation for Economic & Industrial Research (IOBE). (2017). Analysis of the financial data of the Kallikratis municipalities and their progress towards accrual accounting.
- [5.61] Greek Ministry of Environment and Energy. (2016). Report on the determination of cost optimal levels of minimum energy efficiency requirements for buildings and structural elements. Available at:

<https://ec.europa.eu/energy/en/content/eu-countries-2013-cost-optimal-reports-part-1>.

- [5.62] Pallis, P., Gkonis, N., Varvagiannis, E., Braimakis, K., Karellas, S., Katsaros, M., Vourliotis, P. (2019). Cost effectiveness assessment and beyond: A study on energy efficiency interventions in Greek residential building stock, *Energy and Buildings*, 182, 1-18.
- [5.63] European council for an energy efficient economy (2018), *Between a Rock and a hard place*, Available at: https://www.eceee.org/static/media/uploads/site-2/policy-areas/eceee_april18_infographbriefing_final.pdf.
- [5.64] Centre for Renewable Energy Sources and Saving Greek Statistical authority. (2011). *Buildings Census*.
- [5.65] Pallis, P., Gkonis, N., Varvagiannis, E., Braimakis, K., Karellas, S., Katsaros, M., Vourliotis, P., Sarafianos D. (2019). Towards NZEB in Greece: a comparative study between cost optimality and energy efficiency for newly constructed residential buildings, *Energy and Buildings*, 198, 115-137.
- [5.66] Balaras, C., Dascalaki, E., Droutsa, P., Kontoyiannidis, S. (2016). Bridging the gap of actual and calculated heating energy consumption in bottom-up residential building stock modelling, *International HVAC&R Congress and Exhibition, Belgrade*.
- [5.67] Corovessi A., Metaxa K., Touloupaki E., Chrysogelos N. (2017). *Energy Poverty in Greece: Social Innovation Recommendations to tackle the phenomenon*. Available at: https://gr.boell.org/sites/default/files/energeia_final.pdf
- [5.68] Council Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. Available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0125>

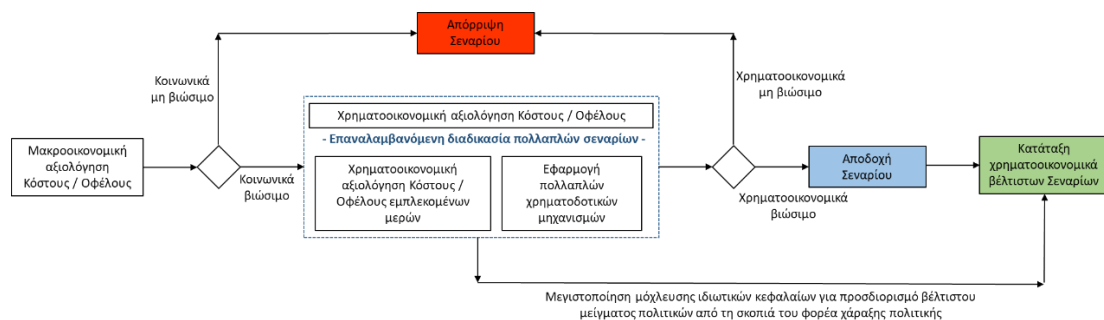
6 Multi Perspective Investment analysis tool - MuPIA

6.1 Εισαγωγή

Για τη βελτίωση και προώθηση της ενεργειακής απόδοσης, βασική προϋπόθεση αποτελεί ο «σωστός» σχεδιασμός σχετικών πολιτικών. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί από εφαρμοζόμενα μέτρα σε μια πληθώρα τομέων, όπως αυτοί των κτιρίων κατοικιών, των κτιρίων του τριτογενή τομέα, της βιομηχανίας, των μεταφορών και του αγροτικού τομέα, γεγονός που καθιστά τον εν λόγω σχεδιασμό πολύπλοκο και αποκλείει τη μονοδιάστατη προσέγγιση τους με οριζόντια, κοινών χαρακτηριστικών, πολιτικών. Επιπρόσθετα σε κάθε ένα από τους προαναφερθέντες τομείς, δύναται να εμπλακούν διαφορετικής φύσης συμμετέχοντες με διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης της συμμετοχής τους σε μια πολιτική προώθησης της ενεργειακής απόδοσης.

Είναι εμφανές λοιπόν ότι ο αποδοτικά βέλτιστος σχεδιασμός πολιτικών ενεργειακής απόδοσης αποτελεί ένα πολυπαραμετρικό πρόβλημα, για τη λύση του οποίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και να ικανοποιηθούν στο μέγιστο, όλα τα επιμέρους κριτήρια οικονομικής αποδοτικότητας των εμπλεκομένων μερών.

Το εργαλείο MuPIA (Multi Perspective Investment analysis tool) αναπτύχθηκε με στόχο να υποστηρίξει το ανωτέρω έργο των φορέων σχεδιασμού πολιτικών ενεργειακής απόδοσης. Το εργαλείο κατορθώνει να εκτελεί όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς για τη λήψη κρίσιμων αποτελεσμάτων και δεικτών ακολουθώντας μια δομημένη σειρά υπολογισμών, τα στάδια της οποίας βασίζονται στη λήψης αποφάσεων μέσω αξιολόγησης πολλαπλών σκοπιών (Εικόνα 51).



Εικόνα 51 Βασική αλληλουχία αναλύσεων που υποστηρίζονται από το εργαλείο MuPIA

Συνοπτικά το εργαλείο MuPIA μπορεί να εκτελέσει τις παρακάτω αναλύσεις και υπολογισμούς:

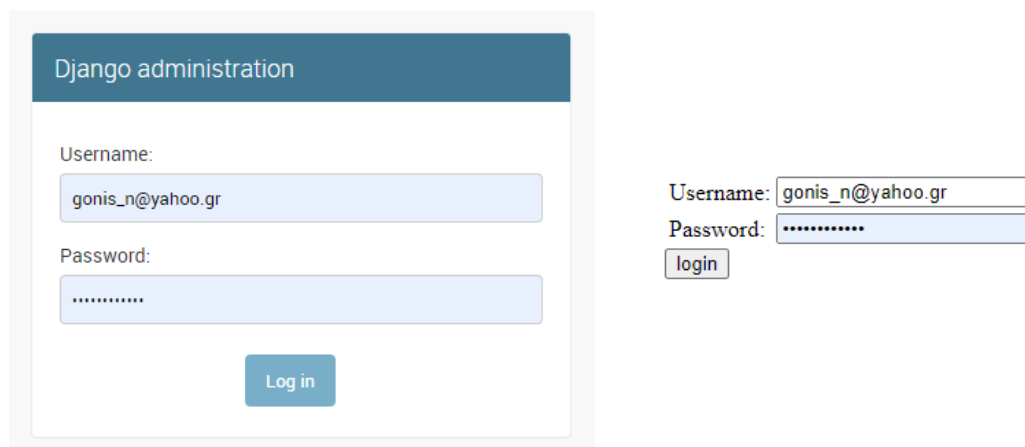
- Μακροοικονομική ανάλυση κόστους / οφέλους κοινωνικής σκοπιότητας
- Χρηματοοικονομική ανάλυση κόστους / οφέλους

- Χρηματοοικονομική ανάλυση επενδύσεων από τη σκοπιά πολλαπλών εμπλεκόμενων εμπλεκόμενου
- Σύνθεση πολιτικών μέσω εφαρμογής πολλαπλών χρηματοδοτικών Μηχανισμών
- Συγκριτική αξιολόγηση πολιτικών ενεργειακής απόδοσης
- Δυνατότητα προβολής και αποθήκευσης αποτελεσμάτων
- Ανάλυση ευαισθησίας
- Ανάλυση ρίσκου

6.2 Περιγραφή εργαλείου

1^ο Βήμα

Για τη χρήση του εργαλείου, προαπαιτούμενο αποτελεί κάποιος χρήστης, με δικαιώματα διαχειριστή, να κάνει εισαγωγή, μέσω των μοναδικών του στοιχείων εισόδου, τόσο στο περιβάλλον του εργαλείου MuPIA, όσο και στο περιβάλλον διαχείρισης των βάσεων δεδομένων του εργαλείου (Εικόνα 52) και εν συνεχεία συμπληρώσει τα βασικά στοιχεία της λειτουργίας του εργαλείου.



Εικόνα 52 Φόρμα εισαγωγής στα περιβάλλοντα εργαλείου MuPIA και βάσεων δεδομένων

2^ο Βήμα

Πρώτο βήμα αποτελεί η εισαγωγή από τον χρήστη, στη σχετική βάση δεδομένων, των μέτρων ενεργειακής απόδοσης με τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Η διαδικασία αυτή εκτελείται μέσω της συμπλήρωσης της παρακάτω φόρμας (Εικόνα 53) και της συμπλήρωσης των εξής χαρακτηριστικών:

- Το όνομα του μέτρου,
- Το κόστος κτήσης του χωρίς φόρους,
- Η χρονική διάρκεια ζωής του,

- Ο τομέας στον οποίο ανήκει (οικιακός, βιομηχανία, δημόσια κτίρια, μεταφορές κτλ)
- ο τύπος του (τεχνικό ή συμπεριφορικό)

The screenshot shows a web interface with a navigation bar at the top containing 'Home', 'Cost-Benefit Analysis', 'Investment Analysis', and 'Add New Measure'. The 'Add New Measure' form is centered and contains the following fields:

- Name:** Boiler
- Cost € (without taxes):** 8000
- Lifetime (years):** 10
- Description:** latest technology
- Category:** Industry (dropdown menu)
- Measure type:** Technical (dropdown menu)
- Submit** button

Εικόνα 53 Φόρμα εισαγωγής νέου μέτρου

Η διαδικασία αυτή εκτελείται κάθε φορά που ο χρήστης θέλει να προσθέσει κάποιο νέο μέτρο στη βάση δεδομένων και δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνεται κάθε φορά που θα γίνεται χρήση του εργαλείου.

3^ο Βήμα

Μετά τον ορισμό των μέτρων, ο χρήστης, με δικαιώματα διαχειριστή, πρέπει να μεταφερθεί στο περιβάλλον των βάσεων δεδομένων και να εμπλουτίσει με τις απαραίτητες πληροφορίες το κάθε ένα μέτρο. Οι πληροφορίες αυτές είναι:

- Εξοικονόμηση ενέργειας ανά ενεργειακό προϊόν, σύμφωνα με το Άρθρο 3 της Οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση
- Εξοικονόμηση ενέργειας ανά ενεργειακό προϊόν, σύμφωνα με το Άρθρο 7 της Οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση
- Παραγόμενα οφέλη ανά έτος σε νομισματικές μονάδες (Euro) από την εφαρμογή του μέτρου σε σχέση με κάποιο σενάριο αναφοράς:
 - Όφελος από διαφορεικό κόστος συντήρησης
 - Όφελος από αύξηση αξίας ακινήτου
 - Όφελος από αύξηση αποδοτικότητας εργαζομένων
 - Όφελος από αύξηση απασχόλησης
 - Όφελος από την βελτίωση της υγείας των πολιτών
 - Όφελος άλλων εξωτερικοτήτων (externalities)
 - Άλλα οφέλη

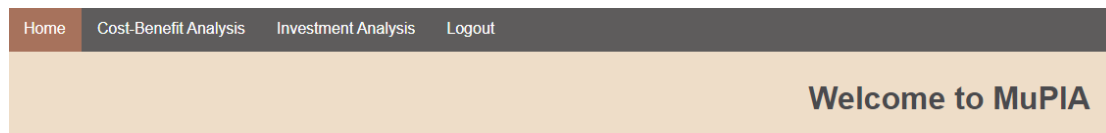
- Ετήσια κόστη σε νομισματικές μονάδες (Euro) για την υλοποίηση του μέτρου (σημειώνεται ότι το κόστος κτήσης και εγκατάστασης έχει δοθεί κατά την εισαγωγή του μέτρου)
 - ο Διαχειριστικό κόστος υλοποίησης του μέτρου
 - ο Μείωση εσόδων/ κέρδους λόγω πώλησης λιγότερης ενέργειας (για την περίπτωση που το μέτρο υλοποιηθεί από πάροχο ενέργειας)

4^ο Βήμα

Ο χρήστης, με δικαιώματα διαχειριστή, πρέπει επίσης μέσα από το περιβάλλον των βάσεων δεδομένων, να ορίσει τα κόστη ενέργειας ανά ενεργειακό προϊόν με και χωρίς φόρους και δασμούς καθώς και τον αναμενόμενο ρυθμό εξέλιξης τους.

5^ο Βήμα

Αυτό το βήμα αποτελεί επί της ουσίας και το πρώτο βήμα για την έναρξη της αξιολόγησης ενός σεναρίου πολιτικών. Ο χρήστης πρέπει αρχικά να επιλέξει αν επιθυμεί να εκτελέσει μακροοικονομική ανάλυση κόστους / οφέλους για την εξέταση του κοινωνικού αντίκτυπου της εφαρμογής ενός μέτρου ή χρηματοοικονομική ανάλυση επένδυσης από τη σκοπιά κάποιου εμπλεκόμενου μέρους, συνδυάζοντας επίσης μιας σειρά χρηματοδοτικών εργαλείων (Εικόνα 54).



Εικόνα 54 Φόρμα επιλογής τύπου ανάλυσης

6^ο Βήμα

Για την επιλογή των προς αξιολόγηση μέτρων ο χρήστης μπορεί να εφαρμόσει μια σειρά φίλτρων για ευκολότερη εύρεση των μέτρων που επιθυμεί από τη βάση δεδομένων και εν συνεχεία να τα επιλέξει ώστε να δημιουργήσει το επιθυμητό portfolio μέτρων με το οποίο θα προχωρήσει στην ανάλυση του. Στο σημείο αυτό ο χρήστης καλείται να επιλέξει και τη μεθοδολογία υπολογισμού των ενεργειακών εξοικονομήσεων, ανάμεσα σε αυτή που αφορά το Άρθρο 3 και αυτή του Άρθρου 7 της Οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση (Εικόνα 55).

Find measures for your portfolio

Calculate energy conservation based on: Category: Type:

| | Name | Lifetime | Equipment Cost |
|-------------------------------------|-------|----------|----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | BOIL | 25 | 70000.0 € |
| <input checked="" type="checkbox"/> | BOIL1 | 18 | 65000.0 € |
| <input type="checkbox"/> | BOIL2 | 17 | 58000.0 € |
| <input type="checkbox"/> | BOIL3 | 25 | 72000.0 € |

Εικόνα 55 Φόρμα αναζήτησης και επιλογής μέτρων

6^ο Βήμα

Μετά την επιλογή των μέτρων που επιθυμεί να μελετήσει ο χρήστης, προχωράει στην επιλογή των κατηγοριών κόστους και οφέλους (Εικόνα 56), που ανταποκρίνονται στην σκοπιά του εκάστοτε εμπλεκόμενου μέρους. Σημειώνεται ότι η εμφάνιση των κατηγοριών κόστους οφέλους είναι δυναμική, καθώς εμφανίζονται μόνο αυτές για τις οποίες έχουν οριστεί τιμές σε όλα τα προς αξιολόγηση μέτρα, με στόχο να επιτυγχάνονται συγκρίσεις δίκαιου χαρακτήρα.

Home Search Measure

Select Benefit and Cost Categories

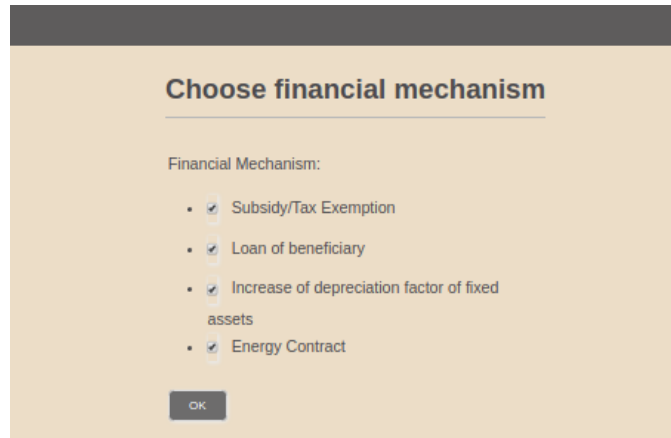
| Benefits | Costs |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Energy Savings | <input type="checkbox"/> Equipment Cost |
| <input type="checkbox"/> Tax reduction due to depreciation | <input type="checkbox"/> Maintenance Cost |
| <input type="checkbox"/> Residual Value | <input type="checkbox"/> Management Cost |
| <input type="checkbox"/> Maintenance | <input type="checkbox"/> Reduced Income |
| <input type="checkbox"/> Externalities | |
| <input type="checkbox"/> Value Growth | |
| <input type="checkbox"/> Work Efficiency | |
| <input type="checkbox"/> Employability | |
| <input type="checkbox"/> Other Benefits | |

Εικόνα 56 Φόρμα επιλογής κατηγοριών κόστους και οφέλους

7^ο Βήμα (Μόνο για την επιλογή Χρηματοοικονομική Ανάλυσης Επένδυσης)

Στην περίπτωση που ο χρήστης έχει επιλέξει να εκτελέσει ανάλυση Κόστους Οφέλους το Βήμα 7 δεν είναι διαθέσιμο καθώς αφορά την ενσωμάτωση χρηματοδοτικών μηχανισμών που δεν υπεισέρχονται στην Μακροοικονομική ανάλυση Κόστους Οφέλους.

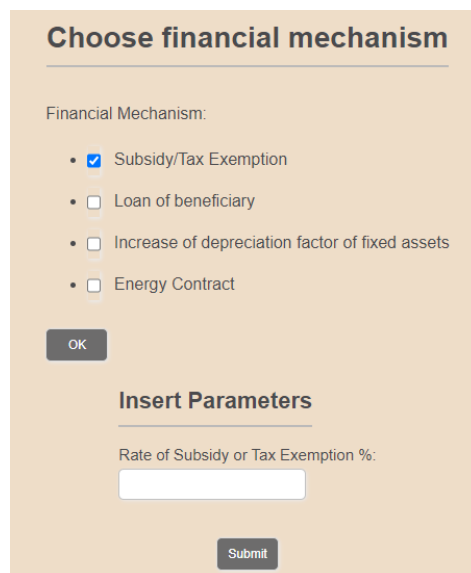
Για την επιλογή χρηματοοικονομική ανάλυσης επένδυσης εμφανίζονται επιπλέον βήματα αλληλεπίδρασης, για την εισαγωγή πολλαπλών χρηματοδοτικών μηχανισμών (Εικόνα 57).



Εικόνα 57 Φόρμα επιλογής χρηματοδοτικού μηχανισμού

Για κάθε ένα χρηματοδοτικό μηχανισμό που θα επιλεγεί, ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει τις παραμέτρους ώστε να εκτελεστούν ορθά οι υπολογισμοί των αντίστοιχων χρηματοροών.

Με την επιλογή της επιδότησης / φοροαπαλλαγής, από τον χρήστη ζητείται να συμπληρώσει το ποσοστό της επιδότησης ή αντίστοιχα το ισόποσο ποσοστό αξίας κτήσης και εγκατάστασης της φοροαπαλλαγής (Εικόνα 58).



Εικόνα 58 Φόρμα καταχώρησης στοιχείων επιδότησης/ φοροαπαλλαγής

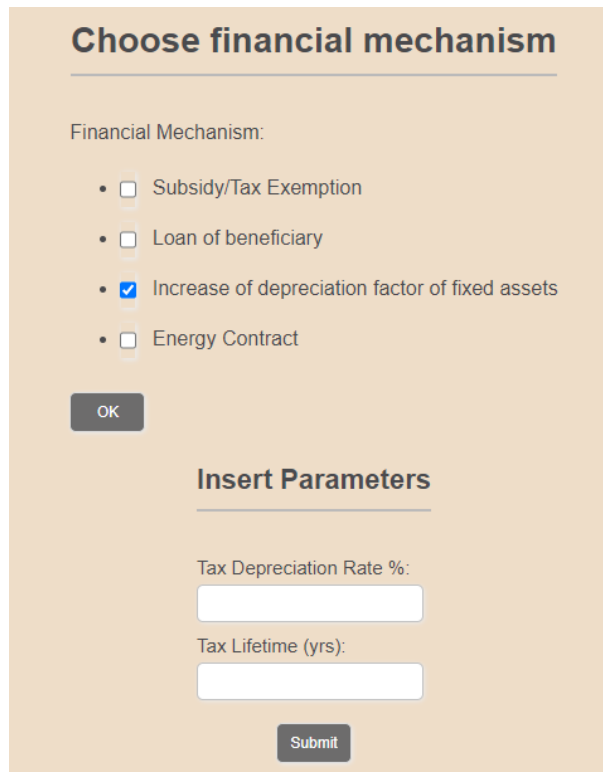
Με την επιλογή λήψης δανείου από τον ωφελούμενο του μέτρου, από τον χρήστη ζητείται να συμπληρώσει το ποσοστό του δανεισμού έναντι της συνολικής δαπάνης, το ετήσιο επιτόκιο δανεισμού, το ποσοστό της πιθανής

επιδότησης του επιτοκίου, την περίοδο αποπληρωμής του δανείου καθώς και τη πιθανή περίοδο χάριτος (Εικόνα 59).

The image shows a web form titled "Choose financial mechanism" with a light beige background. Under the heading "Financial Mechanism:", there are four radio button options: "Subsidy/Tax Exemption", "Loan of beneficiary" (which is selected), "Increase of depreciation factor of fixed assets", and "Energy Contract". Below these options is a dark grey "OK" button. The second section is titled "Insert Parameters" and contains five input fields: "Loan Rate %:", "Annual Interest Rate %:", "Annual Subsidized Interest Rate:", "Loan Period (years):" (with the value "0" entered), and "Grace Period (years):" (with the value "0" entered). A dark grey "Submit" button is located at the bottom of this section.

Εικόνα 59 Φόρμα καταχώρησης στοιχείων δανεισμού ωφελούμενου

Με την επιλογή της αύξησης συντελεστή απόσβεσης παγίου, όπου δίνεται να εφαρμοστεί μόνο σε περιπτώσεις νομικών προσώπων και αποσκοπεί στη μείωση του φορολογητέου εισοδήματος (μη εφαρμοστέος μηχανισμός για μέτρα σε νοικοκυριά), από τον χρήστη ζητείται να συμπληρώσει τον συντελεστή φορολογικής απόσβεσης παγίου και τη φορολογική διάρκεια ζωής του μέτρου (Εικόνα 60).



Choose financial mechanism

Financial Mechanism:

- Subsidy/Tax Exemption
- Loan of beneficiary
- Increase of depreciation factor of fixed assets
- Energy Contract

OK

Insert Parameters

Tax Depreciation Rate %:

Tax Lifetime (yrs):

Submit

Εικόνα 60 Φόρμα καταχώρησης στοιχείων αύξησης συντελεστή απόσβεσης παγίου

Για την επιλογή της σύμβασης ενεργειακής απόδοσης, μέσω συμμετοχής Εταιρείας Ενεργειακών Υπηρεσιών (ESCO), το εργαλείο εμφανίζει μια ξεχωριστή καρτέλα ώστε ο χρήστης να ορίσει τις συνθήκες συμμετοχής της εταιρείας ESCO στο μέτρο (Εικόνα 61).

Define ESCO participation parameters

Choose participation criterion for ESCO:

Criterion will be satisfied by:

Discount Rate %:

Take Loan

Give Criterion Values

Profit %: Contract Period (yrs): Cost Rate %:

ESCO Loan Conditions

Loan Rate %:

Annual Interest Rate %:

Annual Subsidized Interest Rate:

Loan Period (years):

Grace Period (years):

Εικόνα 61 Φόρμα καταχώρησης στοιχείων Σύμβασης Ενεργειακής Απόδοσης

Αρχικά ο χρήστης δηλώνει την ικανή και αναγκαία συνθήκη για τη συμμετοχή της ESCO στο μέτρο, που δίνεται να μεταφραστεί είτε μέσω ενός κατ' ελάχιστο επιθυμητού (i) κέρδους της ESCO, (ii) Καθαρής Παρούσας Αξίας της επένδυσης της (NPV), (iii) λόγο Οφέλους / Κόστους (B/C ratio) της επένδυσης της.

Στη συνέχεια με στόχο την ικανοποίηση της ανωτέρω συνθήκης, το εργαλείο εκτελεί υπολογισμούς επίλυσης (solver) μέσω της μεταβολής μιας δεύτερης παραμέτρου που θα πρέπει να επιλέξει ο χρήστης. Οι επιλογές που δίνονται στο χρήστη είναι η μεταβολή της περιόδου της σύμβασης μεταξύ του ωφελούμενου και της ESCO και το ποσοστό διαμοιρασμού του μεταξύ τους οφέλους.

Επίσης ο χρήστης ορίζει τις υπόλοιπες απαραίτητες παραμέτρους ώστε να εκτελεστούν ορθά οι υπολογισμοί των χρηματοροών από τη πλευρά της ESCO. Αυτές είναι το επιτόκιο προεξόφλησης της ESCO και το κόστος που αναλαμβάνει η ESCO, ως ποσοστό της συνολικής δαπάνης. Τέλος δίνεται η δυνατότητα επιλογής λήψης δανείου της ESCO, όπου στη περίπτωση αυτή ζητούνται να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά δανεισμού, ομοίως με αυτά της Εικόνα 59.

8ο Βήμα

Το βήμα αυτό είναι κοινό βήμα τόσο για την μακροοικονομική ανάλυση κόστους οφέλους όσο και για τη χρηματοοικονομική ανάλυση επενδύσεων. Ζητείται από τον χρήστη η συμπλήρωση των παραμέτρων ανάλυσης του εμπλεκόμενου

μέρους για το οποίο γίνεται η αξιολόγηση. Αυτές είναι η περίοδος ανάλυσης, η οποία δύναται να επιλεγεί ίση με τη διάρκεια ζωής του εξεταζόμενου μέτρου καθώς και το επιτόκιο προεξόφλησης (Εικόνα 62).

Εικόνα 62 Φόρμα καταχώρησης στοιχείων τελικού απολογισμού αποτελεσμάτων

Τέλος με το πάτημα του “OK” προβάλλονται στον χρήστη τα αποτελέσματα των υπολογιζόμενων δεικτών:

- Εσωτερικός βαθμός Απόδοσης – IRR
- Καθαρή Παρούσα Αξία – NPV
- Έντοκη περίοδος αποπληρωμής – DPBP
- Λόγος Οφέλους / Κόστους (B/C ratio)

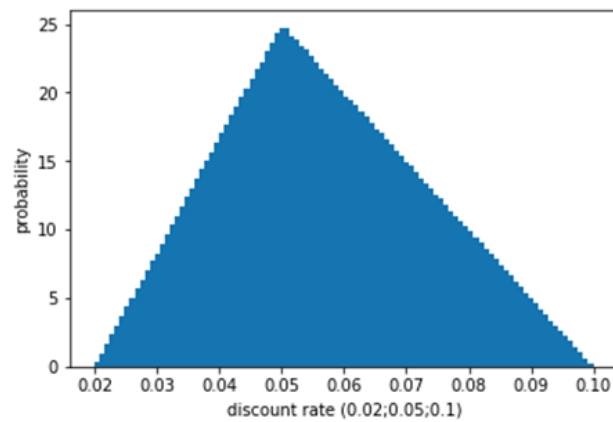
9^ο Βήμα

Τέλος το εργαλείο δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να διεξάγει ανάλυση ευαισθησίας και ανάλυση ρίσκου μεμονωμένων μέτρων ως προς τους τέσσερις ανωτέρω δείκτες αποτελεσμάτων, με τη μεταβολή προκαθορισμένων κρίσιμων παραμέτρων οι οποίες είναι: η περίοδος ανάλυσης, το επιτόκιο προεξόφλησης και η εξέλιξη των τιμών ενέργειας (Εικόνα 63).

Εικόνα 63 Φόρμα καταχώρησης στοιχείων ανάλυσης ευαισθησίας και ρίσκου

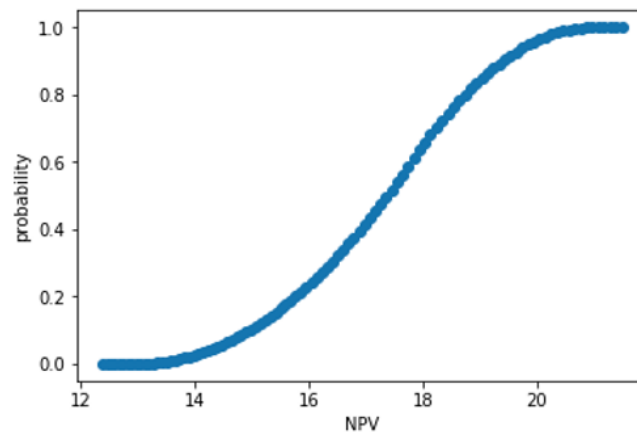
Ο χρήστης πρέπει να ορίσει τον δείκτη για τον οποίο θέλει να διεξάγει την ανάλυση και το εύρος λήψης τιμών της κρίσιμης παραμέτρου σε σχέση με την ήδη χρησιμοποιημένη (Best value). Με τη χρήση τριγωνικής κατανομής για την επιλεγμένη κρίσιμη μεταβλητή, ο χρήστης λαμβάνει ως αποτέλεσμα την

αναπαράσταση της τριγωνικής κατανομής πιθανότητας που αποτελεί και το διάγραμμα συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας όπως στο παράδειγμα της Εικόνα 64 για το επιτόκιο προεξόφλησης.



Εικόνα 64 Τριγωνική κατανομή πιθανότητας επιτοκίου προεξόφλησης

Εν συνεχεία, μέσω προσομοίωσης Monte Carlo παρατίθεται στο χρήστη το διάγραμμα σωρευτικής συνάρτησης πιθανότητας τριγωνικής κατανομής του υπό εξέταση δείκτη αξιολόγησης, με στόχο την ποσοτική αξιολόγηση του ρίσκου του εξεταζόμενου μέτρου. Παρακάτω στην Εικόνα 65 παρατίθεται σχετικό παράδειγμα αποτελέσματος διαγράμματος σωρευτικής συνάρτησης πιθανότητας τριγωνικής κατανομής Καθαρής Παρούσας Αξίας.



Εικόνα 65 Σωρευτική Συνάρτηση Πιθανότητας Τριγωνικής Κατανομής ΚΠΑ

7 Συμπεράσματα και Προοπτικές

7.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διατριβή εστίασε στην ανάπτυξη ενός σπονδυλωτού επιστημονικού υποδείγματος για την αντιμετώπιση διαφορετικής κλίμακας προβλημάτων κατά την λήψη αποφάσεων στο σχεδιασμό πολιτικών για την ενεργειακή απόδοση.

Τα βασικά συμπεράσματα των τεσσάρων μεθοδολογιών υποστήριξης αποφάσεων, διευρυνόμενης κλίμακας, που αναπτύχθηκαν σε νευραλγικούς τομείς διαμόρφωσης πολιτικών ενεργειακής απόδοσης παρουσιάζονται παρακάτω:

Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για την αναβάθμιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος κατοικιών

Στην συνιστώσα αυτή διερευνήθηκαν η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και οι δυνατότητες εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που παρέχουν δέσμες παρεμβάσεων, που αποτελούνται από μεμονωμένα ή πολλαπλά μέτρα, σε υφιστάμενα ελληνικά κτίρια μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, τα οποία ανεγέρθηκαν σε δύο κλιματικές ζώνες (Β και Γ) πριν από το 1980 και κατά την περίοδο 1980-2000. Τα βασικά συμπεράσματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Οι περίοδοι αποπληρωμής των παρεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης στη κλιματική ζώνη Γ εμφανίζονται μικρότεροι έναντι αυτών της Β λόγω των υψηλότερων θερμικών φορτίων
- Αντίστοιχα μικρότεροι είναι οι περίοδοι αποπληρωμής των παρεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, στα ανεπαρκώς μονωμένα κτίρια που κατασκευάστηκαν προ του 1980 έναντι των νεότερων.
- Οι δέσμες παρεμβάσεων με αντλίες θερμότητας έχουν τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, η περίοδος αποπληρωμής τους και το κόστος κύκλου ζωής τους κυμαίνονται από μεσαία έως πολύ υψηλά επίπεδα. Συνάγεται επομένως ότι το υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου των εν λόγω μέτρων περιορίζει την αποτελεσματικότητά τους ως προς το κόστος, παρά τις υψηλές ενεργειακές τους αποδόσεις.
- Οι δέσμες παρεμβάσεων που συνδυάζουν φωτοβολταϊκά συστήματα, έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο να επιτευχθούν οι προδιαγραφές κτιρίων nZEB, ιδίως όταν συνδυάζονται με μονάδες αντλιών θερμότητας, ωστόσο εμφανίζουν υψηλό LCC.
- Η εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου, βρίσκεται σε ένα μέσο επίπεδο στο εύρος τιμών ενεργειακής κατανάλωσης, ωστόσο παρουσιάζει μικρές

περιόδους αποπληρωμής και κόστους ανεξαρτήτως τύπου κτιρίων και κλιματικής ζώνης. Ως εκ τούτου αποτελεί μια συμβιβαστική επιλογή εξισορρόπησης ενεργειακών και οικονομικών επιδόσεων.

- Η διατήρηση υφιστάμενων λεβήτων που συνοδεύεται από αναβάθμιση της μόνωσης του κτιριακού κελύφους εμφανίζει μειωμένη εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και υψηλό κόστος κύκλου ζωής, λόγω της αυξημένης κατανάλωσης πετρελαίου.
- Οι χρηματοοικονομικές διαφορές των σεναρίων βέλτιστου κόστους από τα σενάρια για τα nZEB κυμαίνονται σε 120-180 €/m² (στην κλιματική ζώνη Β) και 200-250 €/m² (στην κλιματική ζώνη Γ) για τις μονοκατοικίες, και 140-180 €/m² (κλιματική ζώνη Β) και 180-220 €/m² (κλιματική ζώνη Γ) για τις πολυκατοικίες αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, στην περίπτωση των παλαιότερων κτιρίων της κλιματικής ζώνης Β, η επίτευξη των στόχων για nZEB με εύλογο κόστος θα είναι δυνατή μόνον εφόσον παρέχονται σημαντικά οικονομικά κίνητρα.

Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών για τον καθορισμό ενεργειακών απαιτήσεων νέων κτιρίων κατοικιών

Στη συνιστώσα αυτή διερευνήθηκε συγκριτική μελέτη βελτιστότητας κόστους και ενεργειακής απόδοσης για νεόδμητα κτίρια κατοικίας στο πλαίσιο στόχου προς κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου στην Ελλάδα. Τα βασικά συμπεράσματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Οι λέβητες φυσικού αερίου αποτελούν το βέλτιστο από πλευράς κόστους σύστημα θέρμανσης για μονοκατοικίες, ακολουθούμενοι από τις αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών, ενώ το αντίστροφο ισχύει στην περίπτωση των πολυκατοικιών.
- Για τους δύο εξεταζόμενους τύπους κτιρίων, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και οι αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών εμφανίζουν την καλύτερη ενεργειακή απόδοση, ακολουθούμενες από τις αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (σε κτίρια μονοκατοικίας).
- Τα μέτρα με βάση τις αντλίες θερμότητας τείνουν να είναι περισσότερο ανταγωνιστικά από άποψη κόστους όταν αυξάνονται τα θερμικά/ψυκτικά φορτία, όπως συμβαίνει σε κλίματα με δριμύτερους χειμώνες.
- Τα φωτοβολταϊκά είναι σε κάθε περίπτωση απαραίτητα για την επίτευξη επιπέδων κατανάλωσης κτιρίου μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, και η συμβολή τους προς τον σκοπό αυτό ενισχύεται ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με αντλίες θερμότητας, καθώς μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση/ψύξη, λόγω των συστημάτων ενεργειακού συμψηφισμού. Ωστόσο από οικονομική

άποψη, τα φωτοβολταϊκά δεν αποτελούν ελκυστική επιλογή, καθώς χαρακτηρίζονται από αυξημένο κόστος κύκλου ζωής.

- Η πρόσθετη θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους είναι μια αναγκαία αλλά όχι επαρκής (από μόνη της) συνθήκη για την επίτευξη των στόχων για κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ισχύουσες προδιαγραφές των δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους, που προβλέπονται από την ελληνική νομοθεσία, είναι ικανές να οδηγήσουν σε πολύ καλές οικονομικές αλλά και ενεργειακές αποδόσεις, καθώς οι συντελεστές θερμοπερατότητάς τους βρίσκονται κοντά στα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα.
- Οι χρηματοοικονομικές διαφορές μεταξύ των κτιρίων βέλτιστου κόστους και μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου υπολογίστηκαν σε 37-101 €/m² και 6.3-133 €/m², ανάλογα με την κλιματική ζώνη, για τις μονοκατοικίες και πολυκατοικίες αντίστοιχα.
- Οι διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες μεταξύ των κλιματικών ζωνών επηρεάζουν σημαντικά τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων. Ως εκ τούτου ο τα πρότυπα κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου θα πρέπει να είναι ευέλικτα και τοπικά προσαρμοσμένα.

Υποστήριξη διαμόρφωσης Εθνικών Σχεδίων Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης

Η συνιστώσα αυτή προτείνει μια προσέγγιση πολυστοχικής βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου για την υποστήριξη χάραξης πολιτικής για την ενεργειακή απόδοση. Στόχος είναι να υποστηριχθούν οι αποφάσεις που αφορούν τον επανασχεδιασμό του ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας, με σκοπό την επίτευξη των εθνικών στόχων ενεργειακής εξοικονόμησης έως το 2020. Τα βασικά συμπεράσματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Δεδομένου του διαθέσιμου προϋπολογισμού και των τεχνικών περιορισμών που συνδέονται με τις εξεταζόμενες δράσεις ενεργειακής απόδοσης, ο εθνικός στόχος εξοικονομήσεων ενέργειας για την περίοδο 2018 – 2020 δεν μπορεί να επιτευχθεί, επομένως θα πρέπει είτε να εξεταστεί το ενδεχόμενο εφαρμογής ενός ευρύτερου συνόλου αποδοτικότερων ως προς το κόστος και πιο εύρωστων μέτρων είτε να εξασφαλιστούν ιδιωτικά κονδύλια και συνεργασίες με τον ιδιωτικό τομέα.
- Για το σύνολο των εξεταζόμενων μέτρων, τα χαρτοφυλάκια πολιτικών που επιτυγχάνουν εξοικονόμηση μεγαλύτερη του 1 ΜΤΟΕ είναι περισσότερο ευαίσθητα στις διακυμάνσεις των παραμέτρων του μοντέλου και κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται από σημαντικά επίπεδα αβεβαιότητας επί των πραγματικών εξοικονομήσεων που μπορούν να επιτύχουν.

- Όταν λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός στον οποίο κάθε μέτρο είναι ευάλωτο απέναντι σε φραγμούς που παρεμποδίζουν την επιτυχή εφαρμογή του, μεταβάλλονται σημαντικά τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρά την προβλεπόμενη συμβολή τους στην ενεργειακή απόδοση, από τα μέτρα υψηλού κινδύνου μόνο η εισαγωγή ενεργειακών υπευθύνων και τα ΣΔΕΑ στα δημόσια κτίρια λαμβάνεται τελικά υπόψη στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια που προκύπτουν.
- Ο πολυστοχικός χαρακτήρας της διαδικασίας μοντελοποίησης παρέχει ευελιξία επιλογής από μια πληθώρα σχεδόν βέλτιστων χαρτοφυλακίων, δίνοντας τελικά τη δυνατότητα επιλογής εκείνης της πορείας δράσης που ευθυγραμμίζεται τόσο με τα επίπεδα αποστροφής κινδύνου από πλευράς αποφασιζόντων όσο και με άλλους πολιτικούς περιορισμούς και προτιμήσεις.

Υποστήριξη διαμόρφωσης πολιτικών Ενεργειακής Απόδοσης στο πλαίσιο ενός ενιαίου Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα

Η συνιστώσα αυτή εστίασε στον πολυδιάστατο σχεδιασμό πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο των εθνικών σχεδίων δράσης για την ενέργεια και το κλίμα. Η προτεινόμενη προσέγγιση συμβιβάζει τις ιδιαιτερότητες που απορρέουν από τη συμμετοχή διαφόρων εμπλεκομένων, ενσωματώνει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τεχνολογίας και μέτρων από διαφορετικούς τομείς, και παρέχει το υποστηρικτικό πλαίσιο για την ιεράρχηση της διάστασης της ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με την αρχή «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση». Τα βασικά συμπεράσματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Η κινητοποίηση πρόσθετων συνεπενδύσεων δημόσιου - ιδιωτικού τομέα, μέσα από τη χρήση χρηματοδοτικών μηχανισμών, φαίνεται να αποτελεί εφικτό μοντέλο για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο του ελληνικού ΕΣΕΚ.
- Η συνεισφορά των δικαιούχων, η οποία αντιπροσωπεύει το 65% των συνολικών επενδύσεων, δύναται να στηριχθεί, όπως φαίνεται, από δανειοδοτικές διευκολύνσεις των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, καθώς αυτά μπορούν να παρέχουν χρηματοδότηση για το ένα τέταρτο των συνολικών αναγκών των δικαιούχων (23,4%).
- Ο τομέας έχει φθάσει σε επαρκές επίπεδο ωριμότητας για την περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς των εταιρειών ενεργειακών υπηρεσιών (ESCO) τόσο στα ιδιωτικά όσο και στα δημόσια κτίρια. Για τον σκοπό αυτό, οι πολιτικές που αφορούν την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να παρέχουν ένα σταθερό και σαφές πλαίσιο για όλα τα συμβαλλόμενα μέρη μιας σύμβασης ενεργειακής απόδοσης (EPC), μέσω μηχανισμών μείωσης του κινδύνου και με εύκολη πρόσβαση σε χρηματοδότηση.

- Οι σχεδιαζόμενες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επικεντρώνονται πρωτίστως στον κτιριακό τομέα και ιδίως στην ανακαίνιση των ελληνικών νοικοκυριών.
- Επιπλέον, οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων θα πρέπει να στοχεύουν στις μεταφορές και στους στόλους οχημάτων επιχειρήσεων, δύο τομείς που αποκαλύπτουν μεγάλες δυνατότητες.
- Σύμφωνα με την ανάλυση, μια πολύ κρίσιμη πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης για την περίοδο 2021-2030 είναι η τελική περίοδος αποπληρωμής (PBP) από τη σκοπιά των συμμετεχόντων. Οι παράμετροι σχεδιασμού των πολιτικών θα πρέπει να οδηγούν σε επενδύσεις χαμηλού κινδύνου με αποδεκτές PBPs. Οι πολιτικές ενεργειακής απόδοσης που εστιάζουν στον τομέα των κατοικιών δεν θα πρέπει να καταλήγουν σε PBP μεγαλύτερη των 5 ετών, ενώ στην πλειονότητά τους οι PBPs σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να παραμένουν στο επίπεδο των 2 ετών.
- Οι σχεδιαζόμενες πολιτικές για τον δημόσιο τομέα και τις επιχειρήσεις που οδηγούν σε υψηλότερες επενδύσεις με PBP δεκαετίας, είναι επίσης αποδεκτές.
- Στον τομέα των μεταφορών, πολιτικές ενεργειακής απόδοσης με PBP άνω των 2 ετών θα πρέπει να αποφεύγονται.
- Πιο συγκεκριμένα για τον τομέα των κτιρίων κατοικίας, η περίοδος κατασκευής των κτιρίων, καθώς και οι επιλέξιμες τεχνολογίες και παρεμβάσεις θα πρέπει να καθορίζονται προσεκτικά ώστε να διασφαλίζονται τα χαρακτηριστικά επιτυχούς έκβασης και σχέσης-κόστους αποτελεσματικότητας των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.
- Αναφορικά με τα συστήματα θέρμανσης, τη θέση των παραδοσιακών λεβήτων πετρελαίου που αντικαθίστανται θα πρέπει να παίρνουν αποδοτικές αντλίες θερμότητας και λέβητες αερίου, με τις αντλίες θερμότητας να αποτελούν την κυρίαρχη μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων. Η διείσδυση των αντλιών θερμότητας, εκτός από την υψηλή τους απόδοση και τις αντίστοιχες δυνατότητες ενεργειακής εξοικονόμησης, υποστηρίζει επίσης δύο ακόμη προτεραιότητες του ελληνικού ΕΣΕΚ, που είναι ο εξηλεκτρισμός της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και η αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στον τομέα της θέρμανσης και της ψύξης.
- Οι λέβητες συμπύκνωσης αερίου φαίνεται να αποτελούν την καλύτερη λύση για τα κτίρια κατοικιών παλαιάς κατασκευής. Όσον αφορά τις παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης στο κέλυφος κτιρίων, οι σχεδιαζόμενες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επικεντρώνονται τόσο στην αντικατάσταση των μη αποδοτικών παραθύρων με καινούρια, όσο και στη θερμομόνωση (insulation) των μη ή μερικώς μονωμένων κτιρίων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης,

ωστόσο, καταδεικνύουν σαφώς ότι η αντικατάσταση των παραθύρων παλαιών κτιρίων είναι η πλέον βέλτιστη παρέμβαση.

- Οι πολιτικές ενεργειακής απόδοσης δεν θα πρέπει να παραβλέπουν τα ηλικιακά συστήματα που στηρίζουν τόσο τον στόχο ενεργειακής απόδοσης όσο και τον στόχο για τις ΑΠΕ του ελληνικού ΕΣΕΚ.
- Στον τομέα των μεταφορών οι παρεμβάσεις που είναι εύκολο να ευοδωθούν, όπως τα ελαστικά χαμηλής αντίστασης και τα συστήματα ψύξης υψηλής απόδοσης στα οχήματα, δεν έχουν ακόμη εξαντληθεί και, συνεπώς, οι μελλοντικές πολιτικές ενεργειακής απόδοσης θα πρέπει να επικεντρωθούν σε τέτοιου είδους παρεμβάσεις.
- Οι παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας, στις οποίες περιλαμβάνονται οι αντικαταστάσεις οχημάτων ή η αλλαγή καυσίμου, οι νέες πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επικεντρώνονται στον στόλο των επιχειρήσεων και, ειδικότερα, να στηρίζουν την αντικατάσταση των παλαιών συμβατικών με νέα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς και τη μετατροπή τους σε οχήματα με φυσικό αέριο ως καύσιμο.
- Οι δυνατότητες βελτίωσης της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας έναντι των υφιστάμενων πολιτικών είναι μεγάλες. Οι ανακαινίσεις ενεργειακής απόδοσης σε δημόσια κτίρια, ειδικότερα, φαίνεται να επιφυλάσσουν μία από τις μεγαλύτερες προοπτικές βελτίωσης, ενώ και ο τομέας των μεταφορών παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες.
- Με γνώμονα τον δεσμευτικό στόχο του άρθρου 7 για την ενεργειακή απόδοση, ο χρονικός άξονας της έναρξης και υλοποίησης των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης αποτελεί αναμφίβολα μία από τις σημαντικότερες πτυχές, δεδομένου ότι ο υπολογισμός των σωρευτικών εξοικονομήσεων ενεργειακής απόδοσης συνδέεται με τα εναπομείναντα έτη από την εφαρμογή έως το τέλος της περιόδου αναφοράς. Κατά συνέπεια, ο δείκτης αποτελεσματικότητας κόστους των σωρευτικών ενεργειακών εξοικονομήσεων μπορεί να επηρεαστεί δραματικά από τις επιπτώσεις του χρονισμού των πολιτικών.
- Η πολυδιάστατη φύση της μεθοδολογίας παρέχει ευελιξία επιλογής από έναν μεγάλο αριθμό σχεδόν βέλτιστων χαρτοφυλακίων, καθιστώντας τελικά δυνατή την επιλογή μιας σειράς ενεργειών που συνάδει με την απροθυμία ανάληψης κινδύνων από την πλευρά των αποφασιζόντων, καθώς και με άλλους πολιτικούς περιορισμούς και προτιμήσεις. Επιπροσθέτως, η ανάλυση δείχνει ότι η μεθοδολογία μπορεί να στηρίξει την αξιολόγηση των διασυνδέσεων των στόχων διαφορετικών ΕΣΕΚ και να προωθήσει την αρχή της «προτεραιότητας στην ενεργειακή απόδοση».

7.2 Προοπτικές

Με την ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής, μερικές σημαντικές προοπτικές για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο θα μπορούσε να είναι οι ακόλουθες:

- Περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων βελτιστότητας κόστους, μέσω συνεχούς παρακολούθησης της εξέλιξης της τεχνολογίας και του κόστους των σχετικών τεχνολογιών καθώς και των ενεργειακών προϊόντων.
- Ενσωμάτωση στη κατηγορία των ωφελειών των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σημαντικών εξωτερικότητων, για τις οποίες δεν έχουμε πρόσφατα στοιχεία αποτίμησης του αντίκτυπου τους σε νομισματικές μονάδες.
- Διερεύνηση ζητημάτων σχετικά κυρίως με την εννοιολόγηση του κινδύνου και την καθιέρωση μιας ευρύτερης προοπτικής στην εκτίμηση και διαχείριση των κινδύνων. Μια ευρύτερη ανάλυση κινδύνου θα μπορούσε να επεκτείνει τόσο το δείγμα των συμμετεχόντων εμπειρογνομώνων, όσο και τις ομάδες των ενδιαφερόμενων μερών που εκπροσωπούν.
- Βελτίωση της ακρίβειας των προτεινόμενων καμπύλων αποδοχής αποπληρωμής.
- Συμπερίληψη στη μοντελοποίηση πρόσθετων μέτρων ενεργειακής απόδοσης σε τομείς όπως αυτός της βιομηχανίας και ο αγροτικός που τα δεδομένα και στοιχεία είναι περιορισμένα.
- Συμπερίληψη πρόσθετων δεδομένων ανάλυσης για την καλύτερη αποτύπωση του κοινωνικού αντίκτυπου της εφαρμογής μέτρων ενεργειακής απόδοσης.
- Διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην ενεργειακή απόδοση και στις διαστάσεις της ενεργειακής ασφάλειας και της ενεργειακής αγοράς στο πλαίσιο της αρχής «προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση».

Παράρτημα Α: Λίστα Δημοσιεύσεων και Σημαντικών Συμμετοχών

Άρθρα σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά:

1. Energy Efficiency contribution to sustainable development: A multi-criteria approach in Greece

Neofytou, H., Sarafidis, Y., Gkonis, N., Mirasgedis, S., Askounis, D.
Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy, 2020, 15(10-12), pp. 572–604,
<https://doi.org/10.1080/15567249.2020.1849449>

2. Multi-perspective design of energy efficiency policies under the framework of national energy and climate action plans

Nikolaos Gkonis, Apostolos Arsenopoulos, Athina Stamatiou, Haris Doukas
Energy Policy, Volume 140, May 2020, 111401, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111401>

3. Towards ZEB in Greece: a comparative study between cost optimality and energy efficiency for newly constructed residential buildings

P. Pallis, N. Gkonis, E. Varvagiannis, K. Braimakis, S. Karellas, M. Katsaros, P. Vourliotis, D. Sarafianos.
Energy and Buildings, Volume 198, 1 September 2019,
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.005>

4. Energy Efficiency promotion in Greece in light of risk: evaluating policies as portfolio assets

A. Forouli, N. Gkonis, Alexandros Nikas, E. Siskos, H. Doukas, C. Tourkolias.
Energy, Volume 170, 1, March 2019, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.180>

5. Cost effectiveness assessment and beyond: A study on energy efficiency interventions in Greek residential building stock

P. Pallis, N. Gkonis, E. Varvagiannis, K. Braimakis, S. Karellas, M. Katsaros, P. Vourliotis
Energy and Buildings, Volume 182, 1 January 2019, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.024>

6. Hedging uncertainty in energy efficiency strategies: A minimax regret analysis

G. Trachanas, A. Forouli, N. Gkonis, H. Doukas
Operational Research, May 2018, <https://doi.org/10.1007/s12351-018-0409-y>

Κεφάλαια σε επιστημονικά βιβλία:

1. Greece: From near-term actions to long-term pathways: risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework.

Nikas, A., Gkonis, N., Forouli, A., Siskos, E., Arsenopoulos, A., Papapostolou, A., Kanellou, E., Karakosta, C., Doukas, H.
In Hanger-Kopp, S., Lieu, J., & Nikas, A. (eds.) Narratives of low carbon transitions: Understanding risks and uncertainties. Routledge, ISBN: 9781138311589, March 2019

2. Revision of the Technical handbook of Technical Chamber of Greece (Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης) – TOTEE-1, March 2017,

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ChC3T8hslT8%3d&tabid=281&language=el-GR>

3. Handbook for energy audits, February 2017,

http://portal.ttee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf

Ανακοινώσεις σε επιστημονικά συνέδρια:

1. Fostering innovative energy policy making through integrated approaches
A. Nikas, N. Gkonis, A. Forouli, H. Doukas
6th international conference on renewable energy sources & energy efficiency, 1-2 November 2018, Nicosia, Cyprus
2. Quantifying the impact of behavioral energy efficiency measures under the Greek Energy Efficiency Obligation Scheme for cost-effectiveness analysis
N. Gkonis, C. Tourkolias, Y. Vougiouklakis
3rd Hellenic Association of Energy Economics annual conference, 3-5 May 2018, Athens, Greece

Συμμετοχή σε Εθνικές Εκθέσεις:

1. 1st National Energy and Climate Plan, Report, Co-author, January 2019,
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=nOeUqsWGeBM%3d&tabid=37&language=el-GR>
2. 4th National Energy Efficiency Action Plan, National report, Co-author, November 2017,
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=z7orzlOj75g%3d&tabid=282&language=el-GR>

Άλλες Δημοσιεύσεις:

1. Techno-economic comparison study on various energy efficiency measures in the construction of new buildings in Greece, Report, Co-author, October 2017,
http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/sites/default/files/LSBTP_ZEB_ver1.pdf
2. Techno-economic comparison study on various energy efficiency interventions in Greek building stock, Report, Co-author, September 2017,
http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/sites/default/files/LSBTP_Cost_Optimal_v1.pdf
3. Ευρωπαϊκές Πολιτικές Εξοικονόμησης ενέργειας και Αναβάθμισης Κτιρίων, Magazine's article: Aluminium, Co-author, February 2017,
<https://www.alunet.gr/2017/01/4351v>
4. Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης ISO 50001 και η εφαρμογή τους στην Ελλάδα, Magazine's article: "Τα νέα των κατασκευαστών κτιρίων", Author, May 2015

Σημαντικές συμμετοχές:

| | |
|--------------------|---|
| National committee | Member of the national committee of the Greek ministry of environment and energy for the monitor, control and oversee the implementation of the national targets, policies and measures set out in the National Energy and Climate |
| National committee | Member of the national committee of the Greek ministry of environment and energy for the design of the National Energy Efficiency Auctions Scheme |
| EC committee | Member of the EU Commission working group " Task Force on mobilizing efforts to reach the EU energy efficiency targets for 2020 " as representative of Greece |
| National committee | Member of the " Governance Secretariat " of YPEN , which was responsible for the coordination and project management of the National Energy and Climate Plan (NECP) |

Παράρτημα

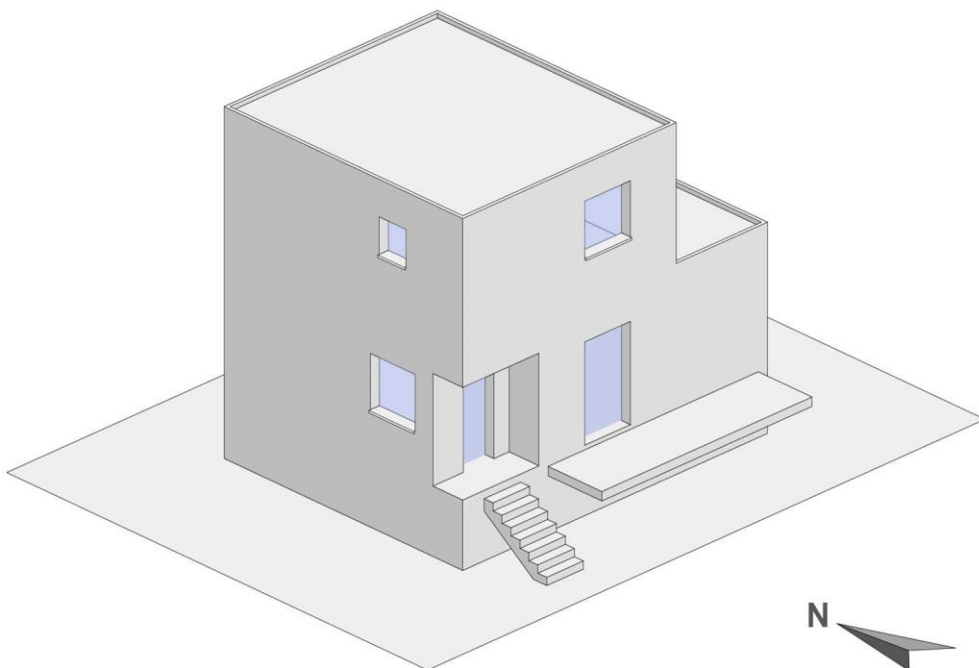
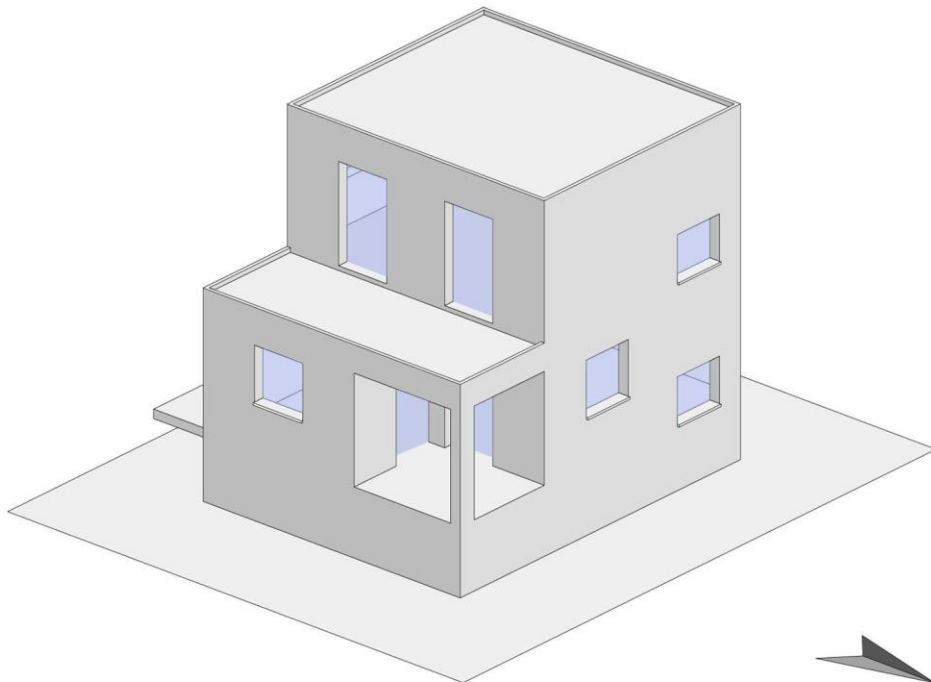
National
committee

Member of the “**Policies and Measures committee**” of YPEN, which was responsible for the analysis and draft of the current and potential policies and measures under the National Energy and Climate Plan (NECP)

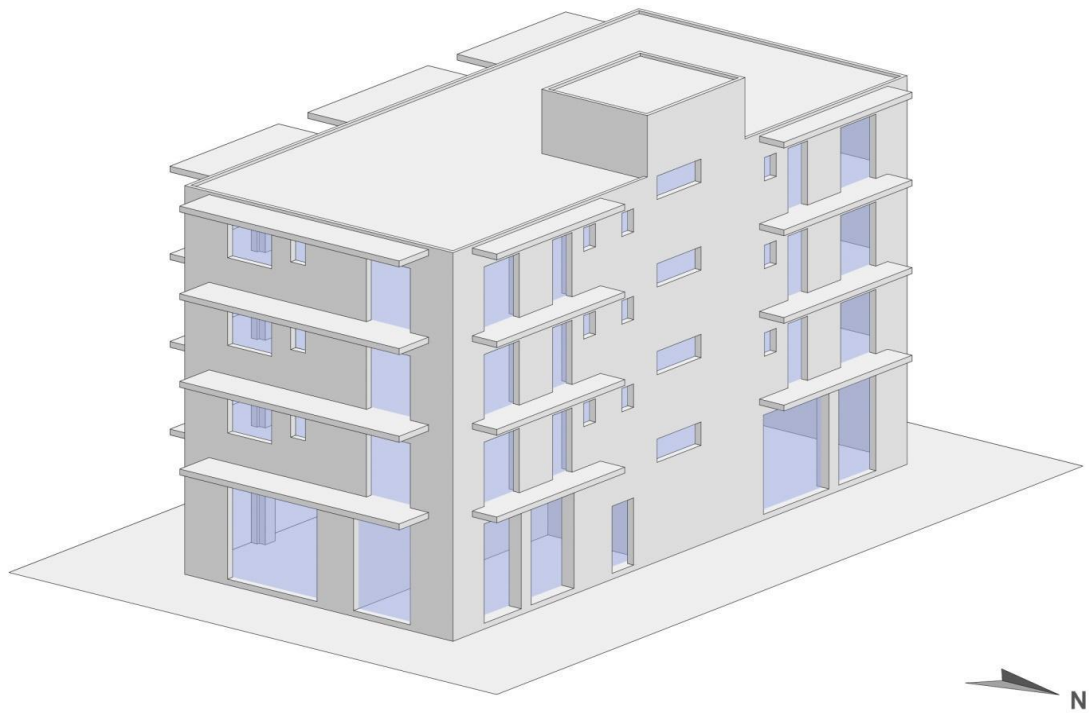
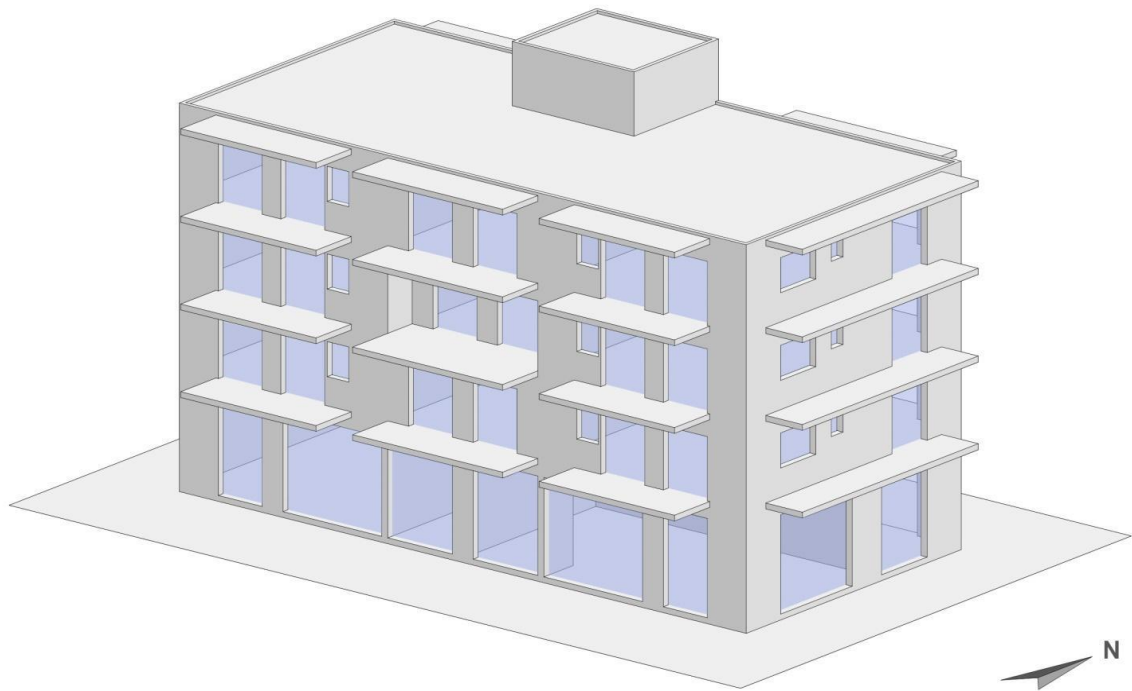
National
committee

Member of the steering committee of Greek Ministry of Environment and Energy, responsible for the reform of the **Greek Energy Performance Building regulation**

Παράρτημα Β



Τρισδιάστατη σχηματική αναπαράσταση όψεων τυπικού κτιρίου μονοκατοικίας



Τρισδιάστατη σχηματική αναπαράσταση όψεων τυπικού κτιρίου πολυκατοικίας