



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη Υπολογιστικού Εργαλείου για τον Σχεδιασμό Βέλτιστων Συνδυασμών
Πολιτικών Καταπολέμησης της Ενεργειακής Φτώχειας**

ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ-ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δούκας Χάρης,
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη Υπολογιστικού Εργαλείου για τον Σχεδιασμό Βέλτιστων Συνδυασμών
Πολιτικών Καταπολέμησης της Ενεργειακής Φτώχειας**

ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ-ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή Σεπτέμβριος 2020.

.....

Χάρης Δούκας,
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ιωάννης Ψαρράς,
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Δημήτριος Ασκούνης,
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

.....

ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ-ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ

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

Copyright © Λογοθέτης-Βασίλειος Λογοθέτης, 2020. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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, η αποθήκευση και διανομή για κάποιο 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 το συγγραφέα.

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

Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων	iii
Κατάλογος Πινάκων	iv
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	v
Ευχαριστίες	vii
Περίληψη.....	viii
Abstract.....	ix
1. Εισαγωγή.....	1
2. Πολιτικές καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας.....	13
2.1 Οικονομικές παρεμβάσεις και προστασία των καταναλωτών για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας	13
2.2 Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.....	14
2.3 Πολιτικές ενημέρωσης για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας μέσω συμπεριφορικών μέτρων	21
2.4 Η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.....	23
3. Ανάλυση χαρτοφυλακίου στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	24
3.1 Θεωρία Χαρτοφυλακίου	24
3.2 Η θεωρία χαρτοφυλακίου στην ενέργεια.....	26
3.3 Εφαρμογές της θεωρίας χαρτοφυλακίου στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	27
4. Ανάπτυξη εργαλείου εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.....	30
4.1 Δράσεις και περιορισμοί.....	30
4.2 Βελτιστοποίηση Pareto – Pareto Efficiency	33
4.3 Η μέθοδος «AUGMENCON 2»	33
4.4 Προτεινόμενη Διστοχική βελτιστοποίηση	35
5. Μοντελοποίηση του εργαλείου εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας με τη βοήθεια του προγράμματος GAMS.....	37
5.1 Δεδομένα εισόδου για την ανάπτυξη του εργαλείου	37
5.2 Μελέτη περίπτωσης και αποτύπωση περιορισμών για την Κροατία.....	39
5.2.1 Η ενεργειακή φτώχεια στην Κροατία	39

5.2.2 Αποτύπωση περιορισμών στο εργαλείο καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας στην περίπτωση της Κροατίας	40
5.2.3 Αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης	45
6. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα	55
Βιβλιογραφία	57

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Μεθοδολογία σύνθεσης του δείκτη EPVI.....	6
Εικόνα 2 Παράδειγμα αποτύπωσης των καθυστερήσεων πληρωμών σε παρόχους ενέργειας στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σύμφωνα με το ΕΡΟΝ για το 2018 .	7
Εικόνα 3 Σύγκριση παρουσίας προβλημάτων υγείας μεταξύ μη ενεργειακά φτωχού πληθυσμού και ενεργειακά φτωχού πληθυσμού σε 32 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	10
Εικόνα 4 Αποτύπωση της καμπύλης του αποδοτικού συνόρου	25

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.....	30
Πίνακας 2 Προτεινόμενοι περιορισμοί και οριοθέτηση δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας.....	32
Πίνακας 3 Χρησιμοποιούμενα σύνολα για την περιγραφή και την κατηγοριοποίηση των δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας.....	37
Πίνακας 4 Χρησιμοποιούμενες σταθερές για την ανάλυση των μέτρων και των περιορισμών	38
Πίνακας 5 Χρησιμοποιούμενες παράμετροι για την απεικόνιση των μέτρων και των περιορισμών	38
Πίνακας 6 Χρησιμοποιούμενη μεταβλητή απόφασης για την κατάστρωση των αντικειμενικών συναρτήσεων και των περιορισμών	38
Πίνακας 7 Αποτύπωση περιορισμών για τη μελέτη περίπτωσης της Κροατίας.....	40
Πίνακας 8 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας για τη μελέτη περίπτωσης ...	46
Πίνακας 9 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε παλαιά και νέα κτήρια.....	47
Πίνακας 10 Διαχωρισμός δράσεων σε δράσεις μικρής και μεγάλης κλίμακας	48
Πίνακας 11 Κόστος υλοποίησης της κάθε δράσης.....	49
Πίνακας 12 Εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την υλοποίηση κάθε δράσης.....	52

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Βέλτιστα Χαρτοφυλάκια (Βέλτιστες λύσεις κατά Pareto) για την μελέτη περίπτωση της Κροατίας.....	45
Διάγραμμα 2 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας για τη μελέτη περίπτωσης.....	46
Διάγραμμα 3 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας με βάση το έτος κατασκευής των κτηρίων	47
Διάγραμμα 4 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας με βάση το μέγεθος της κλίμακας των παρεμβάσεων.....	48
Διάγραμμα 5 Κατανομή των παρεμβάσεων ανά έτος υλοποίησης.....	49
Διάγραμμα 6 Κατανομή κόστους ανά παρέμβαση	50
Διάγραμμα 7 Κατανομή κόστους ανάλογα του μεγέθους της κλίμακας των παρεμβάσεων	51
Διάγραμμα 8 Κατανομή επιτευχθείσας εξοικονόμησης ενέργειας ανάλογα το έτος κατασκευής των κτηρίων	52
Διάγραμμα 9 Κατανομή επιτευχθείσας εξοικονόμησης ανά παρέμβαση	53
Διάγραμμα 10 Κατανομή επιτευχθείσας εξοικονόμησης ανά κλίμακα των παρεμβάσεων	54

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020 στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Τεχνοοικονομικά Συστήματα», στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών. Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Χάρη Δούκα για το ενδιαφέρον θέμα που μου ανέθεσε, καθώς και για την εμπιστοσύνη που έδειξε ώστε να ασχοληθώ εμπειριστατωμένα με αυτό.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο Δρ. Αποστόλη Αρσενόπουλο, για την για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη συνεργασία που είχαμε, τον πολύτιμο χρόνο και τις σημαντικές συμβουλές που μου προσέφερε, και για την ουσιαστική συμβολή του στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στηρίζει σε κάθε βήμα μου, καθώς και όλα τα άτομα που βρίσκονται δίπλα μου και με ενθαρρύνουν στις προσπάθειές μου.

Λογοθέτης-Βασίλειος Λογοθέτης

Περίληψη

Η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα πολυδιάστατο φαινόμενο το οποίο αναδεικνύεται διαρκώς τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη. Έχουν υπάρξει αρκετές προσπάθειες ορισμού και αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας, χωρίς να έχει οριοθετηθεί ένα γενικό πλαίσιο σε όλη την Ευρώπη.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός υπολογιστικού εργαλείου, το οποίο θα υπολογίζει και θα επιλέγει τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας με σκοπό την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας. Η ανάπτυξη του εργαλείου γίνεται με τη βοήθεια της θεωρίας ανάλυσης χαρτοφυλακίου.

Αρχικά παρουσιάζεται η έννοια της ενεργειακής φτώχειας, καταγράφονται συνοπτικά οι δείκτες μέτρησής της και η κατάσταση η οποία επικρατεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται πολιτικές αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας που έχουν υλοποιηθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση και αναδεικνύεται η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας και της ενεργειακής αποδοτικότητας. Έπειτα αναλύονται οι βασικές αρχές της θεωρίας χαρτοφυλακίου και οι εφαρμογές της σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας. Με τη βοήθεια της θεωρίας χαρτοφυλακίου και του προγράμματος GAMS, καταγράφεται η ανάπτυξη του υπολογιστικού εργαλείου και παρουσιάζεται μια πραγματική μελέτη περίπτωσης για την Κροατία. Τέλος, εξάγονται κάποια συμπεράσματα από τα αποτελέσματα χρήσης του εργαλείου και διατυπώνονται μελλοντικές προτάσεις για έρευνα.

Λέξεις Κλειδιά: Ενεργειακή Φτώχεια, Πολιτικές Αντιμετώπισης της Ενεργειακής Φτώχειας, Θεωρία Χαρτοφυλακίου, Ενεργειακή Αποδοτικότητα, GAMS

Abstract

Energy poverty is a multidimensional phenomenon that is widely discussed during the last years in Europe. There have been various efforts of defining energy poverty and implementing policies to tackle it. However, there is not a general framework established among Europe.

The aim of this thesis is to develop a tool that will calculate and choose the most effective portfolios of energy saving policies in order to combat energy poverty. The development of the tool is based on the portfolio analysis theory.

The structure of the thesis is the following: To begin with, the concept of energy poverty is presented, and the indicators to measure energy poverty as long as the situation among European Union countries are depicted. Then policies implemented to combat energy poverty among Europe are presented, and the importance of energy efficiency is highlighted. Moreover the basic principles of portfolio analysis are presented and applications of portfolio analysis implementations in matters of energy efficiency are depicted. The next step of the thesis is to describe the tool developed and implement a case study for Croatia. The tool was created in GAMS modeling system. Finally conclusions extracted from the results are presented and future research is proposed.

Key Words: Energy Poverty, Policies to combat Energy Poverty, Portfolio Analysis, Energy Efficiency, GAMS

1. Εισαγωγή

Η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα φαινόμενο το οποίο τα τελευταία χρόνια αναδεικνύεται όλο και περισσότερο σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Κατά γενική ομολογία, η ενεργειακή φτώχεια αφορά νοικοκυριά, τα οποία δεν έχουν τη δυνατότητα να εξυπηρετήσουν τις βασικές ενεργειακές τους ανάγκες. Οι ενεργειακές ανάγκες ενός νοικοκυριού περιλαμβάνουν την ικανοποιητική θέρμανση, ψύξη, φωτισμό αλλά και χρήση όλων των συσκευών που απαιτούν τη χρήση ενέργειας. Η επαρκής εξυπηρέτηση αυτών των αναγκών εξασφαλίζει την υγιή διαβίωση ενός νοικοκυριού και την βελτίωση στον τρόπο ζωής του. [1]

Η ενεργειακή φτώχεια θα μπορούσε παγκοσμίως να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου υπάρχει αδυναμία πρόσβασης σε ενεργειακούς πόρους, λόγω της μη ύπαρξης υποδομών δικτύου ηλεκτρισμού ή της εκμετάλλευσης φυσικών πόρων, με αποτέλεσμα ένα νοικοκυριό να μη μπορεί να εξυπηρετήσει επαρκώς τις ενεργειακές του ανάγκες. Στις ανεπτυγμένες χώρες το πρόβλημα χαρακτηρίζεται από μια πιο κοινωνικοοικονομική χροιά. Υποδομές και πρόσβαση στην ενέργεια υπάρχουν σχεδόν για όλους. Όμως παράγοντες οικονομικοί κυρίως, αλλά και κοινωνικοί, δεν επιτρέπουν σε ένα νοικοκυριό να είναι ενεργειακά επαρκές [1], [2].

Υπολογίζεται παγκοσμίως ότι περίπου ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι υποφέρουν από το καθεστώς της ενεργειακής φτώχειας. Ειδικότερα στην Ευρώπη υπολογίζονται ότι 50 με 125 εκατομμύρια άνθρωποι βρίσκονται υπό αυτό το καθεστώς, αριθμός που αντιπροσωπεύει περίπου το 10 με 25% ολόκληρου του πληθυσμού της Ευρώπης [3], [4].

Αν και η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει θεσπίσει κάποιον επίσημο ορισμό για την ενεργειακή φτώχεια, υπάρχουν αρκετοί ορισμοί που συναντώνται στην βιβλιογραφία. Σε γενικές γραμμές οι ορισμοί αυτοί, αφορούν την ανικανότητα ενός νοικοκυριού να εξυπηρετήσει τις ενεργειακές του ανάγκες [1]. Ένας άλλος ορισμός της ενεργειακής φτώχειας, είναι η απουσία επιλογών για την πρόσβαση σε επαρκείς, οικονομικά προσιτές, αξιόπιστες, υψηλής ποιότητας και περιβαλλοντικά φιλικές υπηρεσίες ενέργειας ώστε να υποστηριχθεί το νοικοκυριό.

Μέχρι τη στιγμή της σύνταξης της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι έξι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αναγνωρίσει το πρόβλημα

της ενεργειακής φτώχειας, προσπαθώντας να το αντιμετωπίσουν μέσω ενός επίσημου ορισμού. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για την Σλοβακία, την Ιρλανδία, την Γαλλία, το Βέλγιο, το Ηνωμένο Βασίλειο (όπου η Ουαλία, η Βόρεια Ιρλανδία, η Σκωτία και η Αγγλία έχουν διαφορετικούς ορισμούς) και την Κύπρο. Οι περισσότερες από αυτές τις χώρες (Ουαλία, Σκωτία, Βόρεια Ιρλανδία, Σλοβακία, Ιρλανδία, Βέλγιο, Κύπρος) εστιάζουν στην οικονομική πλευρά του προβλήματος ορίζοντας την ενεργειακή φτώχεια μέσω του ποσοστού ετήσιου εισοδήματος που καταναλώνεται από ένα νοικοκυριό για την εξυπηρέτηση των ενεργειακών αναγκών του. Η Αγγλία προσθέτει ακόμα μία παράμετρο στον ορισμό της και συγκεκριμένα το αν οι ενεργειακές δαπάνες είναι μεγαλύτερες από τον μέσο όρο των ενεργειακών δαπανών της χώρας. Αντίστοιχα, η Γαλλία εστιάζει στην κοινωνική πλευρά του προβλήματος της ενεργειακής φτώχειας. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως η ανεπάρκεια ενός ατόμου να εξασφαλίσει ικανοποιητική παροχή ενέργειας, έτσι ώστε να καλύψει τις βασικές του ανάγκες. Ωστόσο αξίζει να αναφερθεί ότι η προαναφερθείσα χώρα, λαμβάνει υπόψη στους δείκτες που χρησιμοποιεί, τις μετρήσεις υπολογισμού ποσοστού εισοδήματος για την εξυπηρέτηση των ενεργειακών αναγκών του εκάστοτε νοικοκυριού.[5], [6].

Επιπλέον στην Ευρώπη υπάρχουν χώρες, οι οποίες διαθέτουν ανεπίσημο ορισμό της ενεργειακής φτώχειας. Τέτοιες είναι η Ιταλία, η Αυστρία και η Μάλτα. Ειδικότερα, η Ιταλία και η Αυστρία εστιάζουν στο οικονομικό σκέλος της ενεργειακής φτώχειας, ενώ η Μάλτα υιοθετεί το πλαίσιο του ορισμού της Γαλλίας. Σύμφωνα με τον ορισμό της, η ενεργειακή φτώχεια αναδεικνύεται ως ένα πρόβλημα ανεπάρκειας επίτευξης του απαραίτητου επιπέδου ενεργειακών υπηρεσιών για ένα νοικοκυριό [6].

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τους διάφορους ορισμούς της ενεργειακής φτώχειας, γίνεται εμφανές ότι το πρόβλημα συνδέεται άμεσα με το εισόδημα του νοικοκυριού, και συγκεκριμένα σε τι αναλογία αυτό καταναλώνεται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Ως εκ τούτου, δύο είναι οι βασικοί πυλώνες που επηρεάζουν την ενεργειακή φτώχεια: Το εισόδημα και οι ενεργειακές ανάγκες μιας κατοικίας.

Για να μπορέσει να ποσοτικοποιηθεί η ενεργειακή φτώχεια, έχει υλοποιηθεί σημαντική προσπάθεια ανάπτυξης δεικτών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Οι δείκτες αυτοί βοηθούν στην κατηγοριοποίηση των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών και στην αποτελεσματική εφαρμογή κατάλληλων μέτρων καταπολέμησής της. Από την αναζήτηση στη βιβλιογραφία προέκυψε ότι έχουν αναπτυχθεί κάποιοι δείκτες που χρησιμοποιούνται από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τόσο σε ερευνητικό όσο και σε θεσμικό επίπεδο, οι οποίοι

βοηθούν στην κατηγοριοποίηση ενός νοικοκυριού ως φτωχού ή μη ενεργειακά. Επιπλέον, το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ενεργειακής Φτώχειας (EU Energy Poverty Observatory- EPOV)¹, είναι ένας θεσμός ο οποίος έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και έχει αναδείξει αρκετούς δείκτες μέτρησης ενεργειακής φτώχειας, οι οποίοι αναφέρονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Όσον αφορά τις χώρες οι οποίες έχουν θεσπίσει επίσημους ορισμούς, ο πιο διαδεδομένος δείκτης είναι ο **δείκτης του 10%**. Ο δείκτης αυτός αντανάκλα το ποσοστό που καταναλώνεται από το νοικοκυριό για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, σε σχέση με τις συνολικές τους ανάγκες. Οι χώρες αυτές που χρησιμοποιούν τον δείκτη του 10% είναι η Σκωτία, η Ουαλία, η Βόρειος Ιρλανδία και η Ιρλανδία. Κάποιες από αυτές τις χώρες έχουν επεκτείνει το όριο του 10%, αναφέροντας και το όριο του 20% για ακραία ενεργειακή φτώχεια (Ουαλία Σκωτία ^{2 3}), ενώ η Ιρλανδία χρησιμοποιεί μία διαβάθμιση του 15% και του 20% για υψηλή και ακραία ενεργειακή φτώχεια αντίστοιχα. [7]

Το Βέλγιο και η Κύπρος χρησιμοποιούν τον επονομαζόμενο **δείκτη 2M**, ο οποίος υπολογίζει το ποσοστό του πληθυσμού το οποίο κατέχει μερίδιο ενεργειακών δαπανών στο αντίστοιχο εισόδημα, μεγαλύτερο από το διπλάσιο του μέσου όρου της χώρας [5], [8]. Επιπρόσθετα το Βέλγιο χρησιμοποιεί τον δείκτη κρυφής ενεργειακής φτώχειας (πλέον πιο ευρέως διαδεδομένος ως **δείκτης M/2**), όπου εξετάζει εάν οι καταναλώσεις ενός νοικοκυριού για τις ενεργειακές του ανάγκες είναι αφύσικα χαμηλές, θέτοντας ως όριο το αν οι δαπάνες του νοικοκυριού είναι χαμηλότερες από το ήμισυ του μέσου όρου των δαπανών των νοικοκυριών της χώρας. [5]

Στη Σλοβακία, ο δείκτης της ενεργειακής φτώχειας προκύπτει από τον ορισμό της, ως η χρήση ενός ελαχίστου ορίου διαθέσιμου μηνιαίου εισοδήματος των νοικοκυριών, το οποίο ορίζεται από το Υπουργείο Εργασίας, Κοινωνικών Υποθέσεων και Οικογένειας. Αν το νοικοκυριό έχει χαμηλότερο διαθέσιμο εισόδημα από το παραπάνω ελάχιστο όριο, θεωρείται ενεργειακά φτωχό ⁴.

Επιπλέον ένας άλλος δείκτης που χρησιμοποιείται είναι ο **δείκτης LIHC** (Low Income High Costs). Ο συγκεκριμένος δείκτης χρησιμοποιεί δύο κατώτατα όρια για τον εντοπισμό των νοικοκυριών που βιώνουν ενεργειακή φτώχεια. Το πρώτο όριο αφορά

¹ <https://www.energy-poverty.eu/>

² <https://gov.wales/fuel-poverty-strategy>

³ <http://www.legislation.gov.uk/asp/2019/10/enacted>

⁴

<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Working%20Paper%20on%20Energy%20Poverty.pdf>

το εισόδημα του νοικοκυριού και έχει τεθεί ως το 60% του μέσου διαθέσιμου εισοδήματος της χώρας (όριο εισοδηματικής φτώχειας). Αντίστοιχα το δεύτερο είναι του ενεργειακού κόστους που έχει το νοικοκυριό, βασιζόμενο στο μέσο ενεργειακό κόστος των νοικοκυριών της χώρας. Σε περίπτωση που το νοικοκυριό βρίσκεται κάτω και από τα δύο παραπάνω όρια κατατάσσεται ως ενεργειακά φτωχό. Αυτός ο δείκτης έχει υιοθετηθεί από την Αγγλία [5]. Στη Γαλλία ο δείκτης αυτός έχει την ονομασία **LIHE** (Low Income High Expenditure) και κατατάσσει ένα σπίτι ως ενεργειακά φτωχό, όποιο σπίτι έχει υπολειπόμενο καθαρό εισόδημα μικρότερο του 60% του μέσου καθαρού εισοδήματος της χώρας αφαιρώντας όλες τις δαπάνες στέγασης (ενοίκιο, λογαριασμοί ρεύματος αερίου κτλ) ⁵

Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ενεργειακής Φτώχειας έχει υιοθετήσει τέσσερις δείκτες για την απεικόνιση των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών ⁶. Αυτοί οι δείκτες είναι:

- Η στατιστική αποτύπωση της ποσότητας των νοικοκυριών που μπορούν να διατηρήσουν την κατοικία τους ικανοποιητικά ζεστή
- Η καθυστέρηση των λογαριασμών που αφορούν την ενέργεια
- Το ποσοστό των εξόδων σε σχέση με τον μέσο όρο του πληθυσμού της εκάστοτε χώρας (Δείκτης 2M)
- Το ποσοστό των εξόδων εάν είναι αφύσικα χαμηλό σε σχέση με τον μέσο όρο (Δείκτης M/2).[5], [9], [10], [11], [12]

Συμπερασματικά, δύο είναι οι προσεγγίσεις που εφαρμόζονται σε ερευνητικό επίπεδο για την μέτρηση της ενεργειακής φτώχειας. Η μία προσέγγιση αφορά το επίπεδο εξόδων που καταναλώνει ένα νοικοκυριό για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών (expenditure approach). Συγκεκριμένα, μπορεί να αναλυθεί ως ποσοστό του εισοδήματος ενός νοικοκυριού ή να μετρηθεί και σε απόλυτο βαθμό. Αφού λοιπόν τεθεί ένα όριο βάσει των ιδιαιτεροτήτων κάθε περιοχής ή χώρας μπορεί να θεωρηθεί κάποιο νοικοκυριό ως ενεργειακά φτωχό, εάν υπερβεί το συγκεκριμένο όριο. Παραδείγματα τέτοιων προσεγγίσεων είναι το κατώφλι του 10%, ο δείκτης LIHC, δείκτης 2M και άλλα. [5], [13]

Μια δεύτερη προσέγγιση είναι η συναινετική προσέγγιση (consensual approach). Αυτή η προσέγγιση στηρίζεται στη μελέτη συνθηκών διαβίωσης των ανθρώπων στις

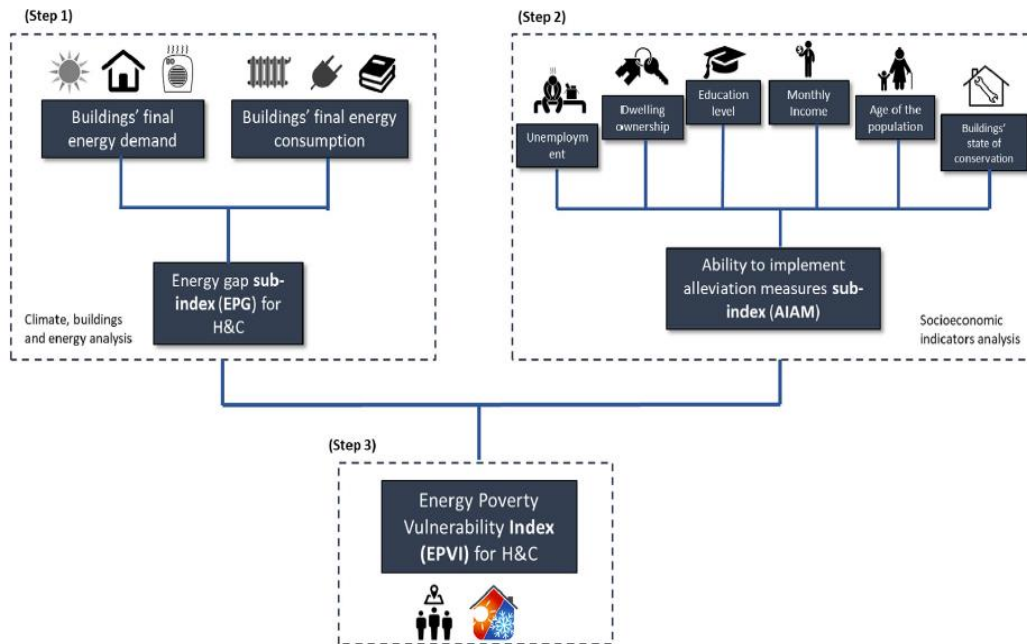
⁵

https://onpe.org/news/precarite_energetique_combien_de_personnes_peinent_chauffer_leur_logement_0

⁶ <https://www.energypoverty.eu/indicators-data>

κατοικίες τους, μέσω ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων. Οι συναινετικές προσεγγίσεις εξετάζουν την ανικανότητα των νοικοκυριών να διατηρήσουν το σπίτι τους επαρκώς ζεστό, τις καθυστερήσεις στους λογαριασμούς που αφορούν την ενέργεια, την παρουσία διαρροών σε οροφές καθώς και άλλα προβλήματα στην κατοικία όπου μπορούν να μειώνουν την ενεργειακή αποδοτικότητα της κατοικίας. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται συναινετική καθώς πάνω από το 95% του πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεωρεί ότι είναι απαραίτητη η απουσία αυτών των προβλημάτων, ώστε το νοικοκυριό να κατατάσσεται ενεργειακά επαρκές. [5], [13]

Πέραν των δεικτών που αναφέρονται σε επίσημο πλαίσιο, η βιβλιογραφία παραθέτει και μερικούς δείκτες ακόμα, οι οποίοι είναι σύνθεση πιο απλών δεικτών και προσπαθούν να αναδείξουν και να ποσοτικοποιήσουν τα ενεργειακά φτωχά νοικοκυριά [14], [15]. Παράδειγμα τέτοιων ερευνών είναι ένας δείκτης, ο οποίος βασίστηκε σε μελέτες νοικοκυριών στην Αττική, και αφορούσε την κατάταξη των ήδη υπάρχοντων δεικτών σε δύο αντικειμενικούς δείκτες, οι οποίοι είναι δείκτες που αφορούν οικονομικά στοιχεία, και σε έξι υποκειμενικούς δείκτες οι οποίοι λαμβάνουν υπ όψιν απαντήσεις σε ερωτηματολόγια. Ως αποτέλεσμα, από τους αντικειμενικούς και υποκειμενικούς δείκτες προκύπτουν τρεις σύνθετοι δείκτες οι οποίοι συγκρίνονται για πιο έγκυρο εντοπισμό των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών [16]. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η προσπάθεια ανάπτυξης δεικτών, οι οποίοι αποτυπώνουν κάποια βαθμολογία, που αντικατοπτρίζει ποσοτικά την κατάταξη ενός σπιτιού βάσει της εξυπηρέτησης των ενεργειακών αναγκών. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο δείκτης EPVI (Energy poverty vulnerability index) [17]. Επιπρόσθετο παράδειγμα, αποτελεί ο επανομαζόμενος πολυδιάστατος δείκτης ενεργειακής φτώχειας με άθροισμα με βάρη (Multi-dimensional energy poverty index with weighted sum), ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες που μπορεί να καταστήσουν ένα σπίτι ενεργειακά φτωχό, τις ποσοτικοποιεί προσδίδοντας τους ένα αντίστοιχο βάρος και μέσω του αθροίσματος με βάρη καταλήγει σε μία βαθμολογία για το νοικοκυριό. [18]



Εικόνα 1 Μεθοδολογία σύνθεσης του δείκτη EPVI

Συνθέτοντας και αναλύοντας τους δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή φτώχεια, καθίσταται δυνατή η κατηγοριοποίηση των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανάλογα με τα αίτια των προβλημάτων ενεργειακής φτώχειας που αντιμετωπίζουν.

Σε αυτήν την κατηγοριοποίηση συμβάλλει η ανάλυση των δεικτών της ενεργειακής φτώχειας από το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ενεργειακής Φτώχειας για την εκάστοτε χώρα ξεχωριστά. Το EPOV, πέραν των τεσσάρων δεικτών που αναφέρθηκαν, έχει δημιουργήσει και κάποιους δείκτες δευτερεύουσας σημασίας, μέσω των οποίων υποδεικνύονται τα ενεργειακά ευάλωτα νοικοκυριά. Αυτοί οι δείκτες, αφορούν το ρίσκο της οικονομικής φτώχειας που μπορεί να ποικίλει ανά χώρα, τις δυνατότητες και τις ελλείψεις που διαθέτει η εκάστοτε χώρα στο κτηριακό δυναμικό της, τις τιμές των καυσίμων, τον αριθμό των κατοίκων ανά νοικοκυριό και άλλα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αναλυθούν για κάθε χώρα οι ειδικές συνθήκες που καθιστούν κάποιους από τους κατοίκους της ενεργειακά φτωχούς, και δύναται να αναλυθεί η τοπολογία της ενεργειακής φτώχειας στην Ευρώπη.⁷

⁷ <https://www.energypoverty.eu/indicators-data>

χώρες με παλιό κτηριακό δυναμικό και αρκετά πιο φτωχές από το μέσο Ευρωπαϊκό επίπεδο. [20],⁹. Το γεγονός αυτό καταδεικνύεται από τους δείκτες του Ευρωπαϊκού Παρατηρητηρίου Ενεργειακής φτώχειας. Συγκεκριμένα οι δείκτες αυτοί είναι η αυξημένη παρουσία διαρροών και ελλείψεων στα κτήρια των χωρών αυτών, ενώ παρατηρείται και αυξημένη δυσκολία στην ικανότητα οι πολίτες των χωρών αυτών να διατηρήσουν επαρκώς ζεστή την κατοικία τους. Παρατηρείται ότι σε χώρες όπως η Βουλγαρία και η Λιθουανία τα ποσοστά των κατοίκων που δυσκολεύονται να διατηρήσουν ζεστή την κατοικία που διαμένουν αγγίζει το 35%. Επιπλέον για χώρες όπως η Λιθουανία, η Λετονία και η Εσθονία διαπιστώνονται προβλήματα στα κτήρια των κατοικιών σε ποσοστό 20% των συνολικών κτηρίων της χώρας.

Τέλος, οι χώρες της κεντρικής Ευρώπης, παρόλο που έχουν πιο άστατο κλίμα σε σχέση με τη νότια Ευρώπη, παρουσιάζουν ευνοϊκότερους δείκτες ενεργειακής φτώχειας¹⁰. Σύμφωνα με τις αναλύσεις του EPOV, οι χώρες αυτές παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε δείκτες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες κυρίως λόγω της οικονομικής τους ανάπτυξης. Συγκεκριμένα διαφορές παρατηρούνται σε δείκτες όπως εκείνοι της έγκαιρης εξόφλησης των λογαριασμών των κατοικιών, της ικανότητας να διατηρούν το σπίτι τους ζεστό τον χειμώνα και άλλους.¹¹ Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Γερμανία, όπου μόλις το 4% των κατοίκων καθυστερούν να πληρώσουν τους λογαριασμούς των κατοικιών τους. Σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση το ποσοστό αυτό κυμαίνεται στο 8%. Αντίστοιχη περίπτωση αποτελεί και το Λουξεμβούργο, όπου μόλις το 2% των κατοίκων του παρουσιάζει δυσκολίες να διατηρήσει την κατοικία του ζεστή τον χειμώνα. Στο Βέλγιο αυτό το ποσοστό κυμαίνεται στο 4%, ενώ ο μέσος όρος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξεως του 7%.

Συμπερασματικά, είναι εμφανές ότι σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή φτώχεια κατέχει η κοινωνικοοικονομική κατάσταση της εκάστοτε χώρας. Αναλυτικότερα, οι χώρες με μεγαλύτερη ευημερία στην Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκονται σε ευνοϊκότερη θέση όσον αφορά τα επίπεδα της ενεργειακής φτώχειας. Άλλωστε, οι χώρες αυτές διαθέτουν καλύτερο κτηριακό δυναμικό, με πιο σύγχρονα κτήρια, τα οποία δεν παρουσιάζουν προβλήματα που θα μπορούσαν να συμβάλλουν αρνητικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα του κτηρίου.

Το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας αναδεικνύεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχουν όλο και περισσότερες συζητήσεις

⁹ <https://getwarmhomes.org/>

¹⁰ <https://www.energypoverty.eu/indicators-data>

¹¹ <https://www.energypoverty.eu/indicators-data>

για το πώς θα μπορέσει η Ευρώπη, αλλά και όλος ο πλανήτης να καταφέρει να μεταβεί σε μια βιώσιμη ενεργειακά εποχή. Μια κοινωνία δεν δύναται να θεωρείται βιώσιμη ενεργειακά όταν υπάρχουν άνθρωποι που δεν μπορούν εξυπηρετήσουν τις βασικές ενεργειακές τους ανάγκες. Επίσης τα μέτρα λιτότητας που εφαρμόστηκαν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερα στον ευρωπαϊκό νότο, καθώς και οι αυξανόμενες τιμές της ενέργειας έχουν συμβάλλει στην ανάδειξη του προβλήματος. Επιπλέον πολλές είναι οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί και συσχετίζουν την ενεργειακή φτώχεια με τις επιπτώσεις στην υγεία. Ως εκ τούτου, η οπτική του προβλήματος εμπεριέχει και μια κοινωνική διάσταση, η οποία πρέπει να ληφθεί άμεσα υπόψη [4].

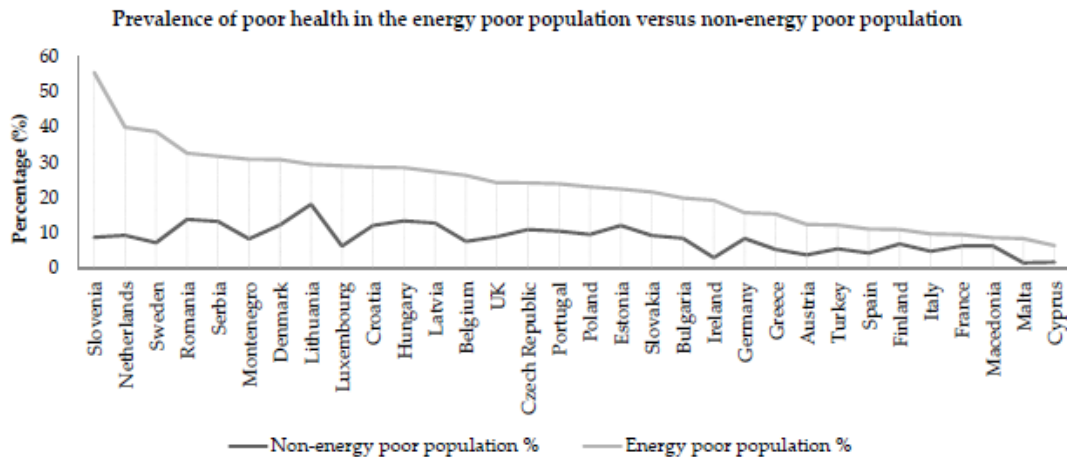
Η Ευρωπαϊκή Ένωση, παρόλο που δεν έχει επίσημο ορισμό για την ενεργειακή φτώχεια, την αποδέχεται θεσμικά. Χαρακτηριστικά, το πλαίσιο «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους», που έχει θεσπιστεί από την ίδια την Ευρωπαϊκή Ένωση¹², περιγράφει το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας και αναφέρει ότι η ενεργειακή φτώχεια συνεχώς αυξάνεται ανάμεσα στα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπρόσθετα μέσω της δημιουργίας του ΕΡΟΝ το 2016 [10], αναπτύσσεται μια πολύ καλή προσπάθεια οργάνωσης όλης της πληροφορίας και ανάδειξης της έννοιας της ενεργειακής φτώχειας.

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην ενίσχυση της ενεργειακής φτώχειας, καθώς και οι συνέπειες της, αφορούν τόσο τον οικονομικό τομέα, όσο και τον κοινωνικό-τεχνικό.

Αρχικά, η ενεργειακή φτώχεια συνδέεται με την κακή οικονομική κατάσταση ενός νοικοκυριού. Επιπρόσθετα, σε αυτήν συμβάλλει και η αύξηση των τιμών της ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου των λογαριασμών του ηλεκτρικού ρεύματος και του πετρελαίου [10].

Όσον αφορά τον κοινωνικό τομέα, η ενεργειακή φτώχεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη χαμηλή ποιότητα ζωής, τα προβλήματα υγείας, αλλά ακόμα και με την παράνομη κοπή ξυλείας και μόλυνση του αέρα λόγω καύσης μη καταλλήλων υλικών για θέρμανση [3], [4]. Σπίτια που υποφέρουν από ενεργειακή φτώχεια παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο κοινωνικού αποκλεισμού από άλλα. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 3, υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να παρουσιάσει προβλήματα υγείας κάποιος λόγω του ότι διαμένει σε ένα σπίτι το οποίο δεν είναι ενεργειακά επαρκές. Ακόμα υπάρχει σύνδεση με την ενεργειακή φτώχεια και συμπτώματα άγχους, στρες και κατάθλιψης [4], [2]

¹² https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en



Εικόνα 3 Σύγκριση παρουσίας προβλημάτων υγείας μεταξύ μη ενεργειακά φτωχού πληθυσμού και ενεργειακά φτωχού πληθυσμού σε 32 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στον τεχνικό τομέα, όπως αναφέρθηκε, το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας σχετίζεται με την εξοικονόμηση ενέργειας και την προσπάθεια παγκοσμίως, αλλά και σε ευρωπαϊκό επίπεδο να υπάρξει ενεργειακή βιωσιμότητα [1], [2], [21]. Κατοικίες οι οποίες δεν είναι ενεργειακά βιώσιμες, και έχουν προβλήματα στη μόνωση, στις συσκευές και στην ενεργειακή απόδοση, είναι κατοικίες που είναι πιο ευάλωτες στο να μην εξυπηρετούνται ενεργειακά.

Συνθέτοντας λοιπόν κοινωνικούς, οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες, η ενεργειακή φτώχεια έχει αναδειχθεί ως αποτέλεσμα όλων αυτών. Εξάλλου η καλή υγεία των πολιτών που προάγει η Ευρωπαϊκή Ένωση, επηρεάζεται αρνητικά από τις συνθήκες διαβίωσης και στέγασης των κατοίκων πολλών κρατών μελών της. Σε συνδυασμό ότι τα επίπεδα των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών στην Ευρώπη κυμαίνονται ανάμεσα στα 50-125 εκατομμύρια, η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα πολύπλευρο ζήτημα, που καταπολεμώντας την, μπορούν να υποβοηθηθούν και άλλα ζητήματα που παρουσιάζονται έντονα στην Ευρώπη, όπως η ενίσχυση της βιωσιμότητας.

Δεδομένου ότι έχει οριστεί το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας και έχουν προσδιοριστεί οι κατάλληλοι δείκτες για τη μέτρηση του προβλήματος, επακολουθεί η προσπάθεια επίλυσής του, μέσω διαφόρων πολιτικών. Τα περισσότερα πλαίσια υποβοήθησης ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών, όπως θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια, εστιάζουν στην οικονομική φύση του προβλήματος. Επίσης, υπάρχουν και αρκετές πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας, οι οποίες δεν εστιάζουν στα ενεργειακά φτωχά νοικοκυριά, αλλά στο γενικότερο πλαίσιο ανάπτυξης της βιωσιμότητας εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εστιάζει στην ανάγκη της αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας με δύο οδηγίες που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας: Την Οδηγία περί ενεργειακής επίδοσης των κτηρίων (EPBD), η οποία σημειώνει ότι είναι προαπαιτούμενο στις εθνικές στρατηγικές να συμπεριλαμβάνονται και μέτρα για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας, και την οδηγία για την ενεργειακή αποδοτικότητα, η οποία απαιτεί ότι ένα ποσοστό από τα μέτρα του Άρθρου 7 για την υποχρεωτική ενεργειακή εξοικονόμηση πρέπει να διοχετεύεται σε ευάλωτα νοικοκυριά. Για την ακρίβεια τα νοικοκυριά αυτά εντάσσονται στα νοικοκυριά που υποφέρουν από ενεργειακή φτώχεια.[22]

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι υπάρχει δυσκολία ανά την Ευρώπη στη χάραξη συγκεκριμένων πολιτικών για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας. Σε αυτό συμβάλλει η πολυδιάστατη έννοια της ενεργειακής φτώχειας, και η έλλειψη ενός κοινού ορισμού. Οι περισσότεροι δείκτες είναι αρκετά γενικευμένοι αγνοώντας κάποιες άλλες βασικές παραμέτρους που παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη του φαινομένου, όπως ο καιρός, οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, οι ιδιαιτερότητες της περιοχής.[22]

Οι πολιτικές για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας πρέπει να εστιάζουν στα τοπικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού προς εξέταση σε συνάρτηση με τις συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων. Για αυτόν τον λόγο δύνανται να αναπτυχθούν πλατφόρμες και εργαλεία τα οποία μπορούν να παραμετροποιούνται ανάλογα την περιοχή, παρέχοντας λύσεις σε προβλήματα ενεργειακής φτώχειας. Επιπρόσθετα, λαμβάνοντας υπόψη και την έλλειψη πολιτικών αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας, σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός υπολογιστικού εργαλείου, με τη βοήθεια του οποίου θα προσδιορίζονται οι βέλτιστες πολιτικές αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας στο επίπεδο της εξοικονόμησης ενέργειας. Στο υπολογιστικό εργαλείο θα εξεταστούν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς όπως θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια, αυτά κρίνονται ως τα πιο αποτελεσματικά για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας. Τα μέτρα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν στα διάφορα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και μπορούν να ποσοτικοποιηθούν ανάλογα την περιοχή.

Η διάθρωση της διπλωματικής είναι η παρακάτω:

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται πολιτικές αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας, καθώς και η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας για την καταπολέμησή της. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις οικονομικές παρεμβάσεις και στην προστασία των καταναλωτών για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας. Επιπλέον,

παρουσιάζονται διάφορα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και η σημασία των δράσεων αυτών.

Στη συνέχεια, στο **Κεφάλαιο 3** πραγματοποιείται περιγραφή της ανάλυσης χαρτοφυλακίου, η οποία θα χρειαστεί για την ανάπτυξη του εργαλείου. Ειδικότερα γίνεται αναφορά στην θεωρία χαρτοφυλακίου, ενώ παρουσιάζονται και εφαρμογές της στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Ακολουθεί το **Κεφάλαιο 4**, όπου σκιαγραφείται το προτεινόμενο πλαίσιο με τις δράσεις και τους περιορισμούς του. Επιπλέον αναλύεται και η μέθοδος «AUGMENCON 2», και ειδικότερα η διστοχική βελτιστοποίηση, που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση προτεινόμενων λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας μέσω του υπολογιστικού εργαλείου.

Στο **Κεφάλαιο 5** αναλύεται η μελέτη περίπτωσης για την ενεργειακή φτώχεια στην Κροατία που εξετάστηκε, καθώς και τα αποτελέσματα της, βάσει του υπολογιστικού εργαλείου.

Η εργασία ολοκληρώνεται στο **Κεφάλαιο 6**, με τα συμπεράσματα και τις προτάσεις για μελλοντική έρευνα στον τομέα αυτόν.

2. Πολιτικές καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας

Όπως αναλύθηκε, η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα φαινόμενο με κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές διαστάσεις. Έχουν εφαρμοστεί διάφορες πολιτικές και μέτρα στην Ευρώπη οι οποίες είτε άμεσα είτε έμμεσα καταπολέμησαν την ενεργειακή φτώχεια.

Τα μέτρα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Οικονομικές παρεμβάσεις, έτσι ώστε να υποστηριχτούν πληρωμές λογαριασμών
- Προστασία καταναλωτών ενέργειας
- Προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας, με σκοπό να βελτιώσουν την κατοικία ενεργειακά ή τις συσκευές που χρησιμοποιούνται
- Παροχή πληροφοριών και προγράμματα επαγρύπνησης του πληθυσμού στο θέμα της ενεργειακής φτώχειας, συμπεριλαμβανομένης της ενημέρωσης περί των δικαιωμάτων των πολιτών ως καταναλωτές αλλά και της εκπαίδευσης σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας. [6]

2.1 Οικονομικές παρεμβάσεις και προστασία των καταναλωτών για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας

Πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντιμετωπίζουν την ενεργειακή φτώχεια ως κοινωνικό και οικονομικό φαινόμενο, παρόμοιο με αυτό της οικονομικής ένδειας. Ως αποτέλεσμα αυτού για την καταπολέμησή της έχουν εφαρμοστεί πολιτικές που βοηθούν οικονομικά τους ενεργειακά ευάλωτους πολίτες.

Σε πολλές χώρες, οι κυβερνήσεις σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο προσεγγίζουν τους παρόχους ενέργειας ώστε να προστατεύονται οι ευάλωτοι οικονομικά καταναλωτές. Αυτή η προστασία αφορά την αποτροπή των διακοπών παροχής ενέργειας ή και την μείωση των οφειλών για την ενεργειακή κάλυψη του νοικοκυριού σε περίπτωση που εκείνο έχει συσσωρεύσει χρέη και αδυνατεί να τα καλύψει. [23]¹³ Οι χώρες που έχουν εφαρμόσει τέτοιου είδους μέτρα είναι η Ισπανία, η Αυστρία, και η Σκωτία.¹⁴

Πέραν της προστασίας των καταναλωτών πολλές χώρες προσεγγίζοντας το πρόβλημα στο οικονομικό του επίπεδο, παρέχουν στήριξη με τη μορφή επιδομάτων

¹³ http://bit.ly/energy_poverty_info

¹⁴ <https://ehu.org.uk/who-we-are>

ή εκπτώσεων στους λογαριασμούς των οικονομικά ασθενών νοικοκυριών. Ως αποτέλεσμα έχουμε αύξηση των εισροών του νοικοκυριού ή μείωση στα έξοδά του και παρέχεται μία βραχυπρόθεσμη αρωγή στο πρόβλημα ενεργειακής εξυπηρέτησης του νοικοκυριού. [24], [25]^{15 16 17}. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Ελλάδα όπου έχει θεσπιστεί το κοινωνικό οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ, μέσω της υπουργικής απόφασης υπ αριθ. ΥΠΕΝ/ΥΠΡΓ/892/152 (ΦΕΚ Β΄ 1403/01.02.2018), το οποίο λαμβάνει υπόψη διάφορα οικονομικά κριτήρια. Εάν αυτά πληρούνται βάσει της δήλωσης εισοδήματος των νοικοκυριών, μειώνεται και η χρέωση του ρεύματος σε αυτά. Άλλη μορφή διευκόλυνσης στους λογαριασμούς ενέργειας είναι η μείωση του ΦΠΑ για τα πιο ευάλωτα οικονομικά νοικοκυριά [25].

Περιπτώσεις κοινωνικής και οικονομικής βοήθειας εμφανίζονται σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες όπως η Δανία, η Σλοβακία, η Σλοβενία, η Κροατία, το Λουξεμβούργο, η Τσεχία, η Κύπρος, η Πορτογαλία, η Γαλλία, η Φινλανδία, το Βέλγιο και η Ουγγαρία. Οι χώρες αυτές κατηγοριοποιούν τους πολίτες τους με εισοδηματικά κριτήρια και τους παρέχουν μειώσεις στους λογαριασμούς ρεύματος ή αερίου, προσφέροντάς τους οικονομική υποστήριξη.[25]¹⁸

Τα μέτρα οικονομικής βοήθειας στους ευάλωτους ενεργειακά πολίτες μπορούν να λύσουν το πρόβλημά της ενεργειακής φτώχειας μόνο σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο. Για την ακρίβεια τα μέτρα αυτά προστατεύουν τους πολίτες από την ακόμα μεγαλύτερη επιδείνωση της κατάστασης. Τα κριτήρια για την υλοποίηση αυτών των μέτρων είναι κυρίως εισοδηματικά, με αποτέλεσμα να προστατεύονται κατά κύριο λόγο τα οικονομικά ανεπαρκή νοικοκυριά και όχι όλα τα ενεργειακά φτωχά. Για αυτόν τον λόγο, σε μακροπρόθεσμο επίπεδο είναι σημαντικό να εφαρμόζονται εκτός από τα οικονομικά μέτρα, και μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, έτσι ώστε να αναβαθμιστούν οι ενεργειακές υπηρεσίες που προσφέρονται στους πολίτες για να έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες. Στην παρακάτω ενότητα, παρουσιάζονται πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόζονται στην Ευρώπη.

2.2 Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας

¹⁵ <https://www.kormany.hu/hu/nemzeti-fejlesztési-miniszterium/hirek/egyszerubben-juthatnakgazartamogatashoz-a-nagycsaladosok>

¹⁶ <https://www.energy-poverty.eu/measure-policy/basic-income-support>

¹⁷ <https://www.energy-poverty.eu/measure-policy/electricity-and-gas-fund>

¹⁸ https://www.energy-poverty.eu/policies-measures?field_measure%5B0%5D=147&page=1

Βασικός πυλώνας του προβλήματος της ενεργειακής φτώχειας είναι οι ενεργειακές ανάγκες ενός νοικοκυριού, οι οποίες είναι γεγονός ότι συνδέονται άρρηκτα με την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Αυτό είναι και το στοιχείο που την διακρίνει από την οικονομική φτώχεια, δηλαδή η ανεπάρκεια να εξυπηρετηθεί ένα νοικοκυριό ενεργειακά. Τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας είναι δράσεις που μπορούν να αντιμετωπίσουν την ενεργειακή φτώχεια όχι μόνο σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο, όπως κάνουν τα περισσότερα επιδοματικά μέτρα, αλλά και σε μακροπρόθεσμο. Επιπλέον, η ιδιοκατανάλωση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών μπορούν να εξασφαλίσουν μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για το νοικοκυριό, και ως αποτέλεσμα μείωση των λογαριασμών του. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα πολιτικών και δράσεων που έχουν εφαρμοστεί, με στόχο να αυξηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των κατοικιών και να μειωθεί το ποσοστό του πληθυσμού που υποφέρει από ενεργειακή φτώχεια.

Αρκετές χώρες έχουν υιοθετήσει μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας χωρίς να εστιάζουν στην καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Παρόλαυτα το αποτέλεσμα είναι η έμμεση καταπολέμησή της. Μέτρα όπως αναβαθμίσεις των κτηρίων και του εξοπλισμού τους, εισαγωγή συστημάτων ελέγχου σε αυτά καθώς και εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας ανανεώσιμων πηγών σε νοικοκυριά τα οποία θεωρούνται οικονομικά ευάλωτα συμβάλλουν στην μείωση της ενεργειακής φτώχειας.¹⁹ [24]

Επιπλέον παρέχονται και οικονομικά κίνητρα σε οικονομικά ευάλωτους καταναλωτές για την ενεργειακή αναβάθμιση των κατοικιών τους. Αυτά τα κίνητρα είναι δάνεια με μηδενικά ή μειωμένα επιτόκια, επιδόματα όπου υποχρεωτικά χρησιμοποιούνται μόνο για αναβάθμιση της κατοικίας, αλλά και μειωμένος συντελεστής ΦΠΑ όσον αφορά έξοδα για ανακαινίσεις σε κατοικίες²⁰. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα «Εξοικονομώ Κατ' Οίκον» που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα. Το πρόγραμμα αυτό δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να αναβαθμίσουν ενεργειακά το κτήριο το οποίο διαμένουν. Ειδικότερα, επιλέγονται τα κτήρια με ενεργειακή κατηγορία χαμηλότερης ή ίσης με Δ, ενώ η τιμή ζώνης πρέπει

19

https://www.citizensinformation.ie/en/housing/housing_grants_and_schemes/warmer_homes_scheme.html

20

https://www.citizensinformation.ie/en/housing/housing_grants_and_schemes/warmer_homes_scheme.html

να είναι κάτω των 2.100€/τ.μ. Το πρόγραμμα χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.²¹

Όσον αφορά τις πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας που καταπολεμούν άμεσα την ενεργειακή φτώχεια, έχουν αναπτυχθεί προγράμματα τα οποία εστιάζουν στη μείωση του ποσοστού του πληθυσμού που υποφέρουν από ενεργειακή ένδεια, εφαρμόζοντας συγκεκριμένα μέτρα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πιο αποτελεσματικά μέτρα που ανέδειξε η αναζήτηση στη βιβλιογραφία.

- Στη Σκωτία έχει εφαρμοστεί το πρόγραμμα «Ενεργειακή αποδοτικότητα κτηρίων για τη Σκωτία» (Home Energy Efficiency Programmes for Scotland HEEPS). Το πρόγραμμα αυτό ασχολείται με την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας (Fuel Poverty) στις πιο φτωχές περιοχές. Συγκεκριμένα, παρέχει δάνεια στους ιδιοκτήτες των κατοικιών για ανακαινίσεις ενώ παράλληλα προσδίδει τη δυνατότητα σε ευάλωτα νοικοκυριά, τα οποία βρίσκονται υπό το καθεστώς ενεργειακής φτώχειας, να αναβαθμίσουν ενεργειακά την κατοικία τους και έτσι να μειώσουν τους λογαριασμούς τους. Το πρόγραμμα χρηματοδοτείται από την κυβέρνηση της Μεγάλης Βρετανίας και στοχεύει στην μείωση της ενεργειακής φτώχειας και αποτροπή της κλιματικής αλλαγής. Τα δάνεια είναι ύψους 15.000 Λιρών, χωρίς επιτόκιο. Τα μέτρα περιλαμβάνουν μόνωση των τοίχων, εγκατάσταση διπλών φύλλων στα τζάμια και εγκατάσταση καινούριου καυστήρα. Αξίζει να αναφερθεί ότι την περίοδο 2016-2017 χορηγήθηκαν δάνεια αξίας 24 εκατομμυρίων Λιρών για το πρόγραμμα αυτό. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στους καταναλωτές που έχουν χαμηλό εισόδημα. Εκτός από τα τεχνικά μέτρα εξοικονόμησης, δίνονται και συμβουλές στους κατοίκους, αναλύοντας και συμπεριφορικά μέτρα που μπορούν να εφαρμόσουν, ώστε να εξοικονομήσουν ενέργεια. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι από το 2013 έως το 2015 πάνω από 60.000 σπίτια εφάρμοσαν 66.000 μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, υπολογίζεται ότι οι κατοικίες που θα επιλεγούν στο πρόγραμμα, θα εξοικονομήσουν συνολικά 421 εκατομμύρια λίρες σε λογαριασμούς ενέργειας, ενώ παράλληλα θα μειωθούν και οι εκπομπές CO₂ περίπου κατά 1,8 εκατομμύρια τόνους. [23]

- Στην Αγγλία εφαρμόστηκε το πρόγραμμα «Ζεσταίνουμε τον Βορρά» (Warm Up North). Σε αυτό το πρόγραμμα συνεργάζονται ιδιωτικές εταιρείες με τον δημόσιο τομέα, εστιάζοντας σε περιοχές της Βορειοανατολικής Αγγλίας. Στις περιοχές αυτές είχαν εφαρμοστεί παλαιότερα ενεργειακές αναβαθμίσεις μικρής κλίμακας, αλλά λόγω

²¹ <https://www.energypoverty.eu/measure-policy/energy-efficiency-household-buildings-programme>

της δομής των κτηρίων (πέτρινοι τοίχοι σε πολλά αγροτικά σπίτια), δεν υπήρχε εύρωστη οικονομικά λύση, ώστε τα κτήρια να μετατραπούν σε ενεργειακά αποδοτικά. Ο μόνος τρόπος βελτίωσης των κατοικιών, ήταν μέσω ακριβών και μεγάλης κλίμακας παρεμβάσεων. Μεταξύ των κινήτρων που οδήγησαν στην υλοποίηση του προγράμματος είναι τα εξής: Οι αυξανόμενες τιμές ενέργειας, οι αμφισβητήσεις για την ενεργειακή ασφάλεια, το αυξανόμενο ποσοστό του ενεργειακά φτωχού πληθυσμού καθώς και το κλίμα στις περιοχές αυτές. Όσον αφορά το κλίμα, ο χειμώνας είναι βαρύς και υπάρχουν άνθρωποι που αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας λόγω του κρύου ενώ έχουν παρατηρηθεί ακόμα και θάνατοι. Σε συνδυασμό με τις υποχρεώσεις της μείωσης των εκπομπών CO₂ και την υποχρέωση αύξησης διείσδυσης των ΑΠΕ, κατέστη αναγκαίο να ληφθούν μέτρα. Ο στόχος της επένδυσης ήταν 75 με 155 εκατομμύρια λίρες για ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών και μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Μετά από πρόταση της Βρετανικής κυβέρνησης, δεν χορηγήθηκαν όλα τα χρήματα και υπήρξε αποζημίωση στις εταιρείες παροχής ενέργειας μέσω των εξοικονομήσεων στους λογαριασμούς (γνωστό μοντέλο ως “pay as you save”). Μέχρι τον Ιούλιο του 2015, πάνω από 40.000 κατοικίες με ενεργειακά φτωχούς κατοίκους είχαν ανακαινιστεί με νέα συστήματα καυστήρων.[23]

- Ένα άλλο πρόγραμμα που εφαρμόστηκε (2015 – 2017), είναι η υποστήριξη της ενεργειακής αναβάθμισης στις Βρυξέλλες στο Βέλγιο. Στόχος του έργου ήταν η ανακαίνιση των ιδιωτικών κτηρίων μέσω εκπτώσεων ή δανείων με χαμηλό επιτόκιο, έτσι ώστε τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα να μπορέσουν να αυξήσουν την θερμική άνεσή τους και την ενεργειακή απόδοση των σπιτιών τους. Ιδιαίτερα στην περιοχή του Saint-Josse, η κατάσταση των κτηρίων ήταν όλο και χειρότερη σε συνδυασμό ότι στην περιοχή διαμένουν νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα. Ο δήμος θέσπισε μια μονάδα πληροφόρησης για υποστήριξη των κατοίκων σε θέματα ανακαίνισης των σπιτιών που διαμένουν. Επισημάνθηκαν οι επιδοτήσεις σε δημοτικό επίπεδο, παρέχοντας έτσι κίνητρο στους κατοίκους να ανακαινίσουν τα σπίτια τους. Συνολικά σε δύο χρόνια χορηγήθηκαν 800.000 € σε δάνεια. Ο δήμος Βρυξελλών συνέβαλε με 400.000€. Από το πρόγραμμα αυτό ευνοήθηκαν 84 κατοικίες και υλοποιήθηκαν 2.000 μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Τα αποτελέσματα ήταν να νιώθουν πιο άνετα οι κάτοικοι στα σπίτια τους και να μειωθεί το οικολογικό αποτύπωμα των σπιτιών στην περιοχή. Επιπλέον αξίζει να αναφερθεί ότι το 90% των παρεμβάσεων αφορούσε κατοίκους ενεργειακά ευάλωτους, οι οποίοι πλέον δεν κατατάσσονται σε αυτήν την κατηγορία. [23]²²

²² <http://www.stjosse.irisnet.be/>

- Στην Βοσνία-Ερζεγοβίνη καθώς και στην Αρμενία εφαρμόζεται το πιλοτικό πρόγραμμα «Οικιακή Ενεργειακή Αποδοτικότητα για νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος» (REELIH– Residential Energy Efficiency for Low-Income Households). Σε αυτό το πρόγραμμα εμπλέκονται οι ιδιοκτήτες των σπιτιών, οι κυβερνήσεις, οι συνεταιρισμοί ιδιοκτητών ακινήτων και οικονομικοί οργανισμοί. Ο στόχος είναι να βρεθεί τρόπος ώστε οι κοινότητες να συνεργαστούν και να εξοικονομηθεί ενέργεια, επιτυγχάνοντας καλύτερες συνθήκες ζωής, μείωση στις εκπομπές CO₂, και αναδιοργάνωση της ενεργειακής κατάστασης παγκοσμίως. Στις πρώην Σοβιετικές χώρες, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα σπίτια και ιδιαίτερα οι πολυκατοικίες δεν είναι ενεργειακά αποδοτικές, έχοντας βασικές ελλείψεις μόνωσης σε τοίχους, παράθυρα και οροφές. Πάνω από το 50% των Αρμενίων και 20% των Βόσνιων ζουν σε διαμερίσματα, και το 75%-80% των διαμερισμάτων αυτών είναι χτισμένα μεταξύ του 1951 και 1991. Παράλληλα με την κατάρρευση της Σοβιετικής Ένωσης το 1991, σταμάτησαν να υπάρχουν υπηρεσίες συντήρησης αυτών των κτηρίων. Σε συνδυασμό με τους υψηλούς δείκτες ανεργίας σε αυτές τις δύο χώρες, η ενεργειακή φτώχεια είναι σε αρκετά υψηλά επίπεδα, όπου παρατηρούνται πολλές καθυστερήσεις σε πληρωμές λογαριασμών και καμία επένδυση για την αναβάθμιση των οικιακών κτηρίων. Είναι αξιοσημείωτο ότι στη Βοσνία οι οικογένειες ξοδεύουν 30 με 40% του εισοδήματός τους για τη θέρμανση τον χειμώνα. Το REELIH επιχειρεί να βοηθήσει οικογένειες που δεν μπορούν να εξασφαλίσουν δάνεια για την ενεργειακή αναβάθμιση των κατοικιών τους. Οι παρεμβάσεις περιλαμβάνουν αλλαγή οροφής, αντικατάσταση παραθύρων, πορτών και πατώματος. Αυτές οι ενεργειακές παρεμβάσεις εξοικονομούν μέχρι και 50% της κατανάλωσης των κατοικιών, δίνοντας την ευκαιρία στις ευάλωτες οικογένειες να ζεστάνουν επαρκώς το σπίτι τους.

Το REELIH έχει χρηματοδοτήσει κάποιες από αυτές τις παρεμβάσεις. Επιπρόσθετα στοχεύει να προσεγγίσει τόσο τους πολίτες, όσο και το δημόσιο και ιδιωτικό τομέα, καθώς και τις ενώσεις ιδιοκτητών ακινήτων. Με αυτόν τον τρόπο σκοπεύει να εξασφαλίσει χρηματοδότηση αλλά και σωστή πληροφόρηση προς τους κατοίκους. Επιπλέον, μέσω του προγράμματος διαπραγματεύεται τη χορήγηση δανείων από τις τράπεζες με στόχο την οικονομική ενίσχυση των χαμηλόμισθων νοικοκυριών, ενώ παράλληλα υπάρχει προσπάθεια να εξασφαλιστούν επιδόματα από την τοπική κυβέρνηση. Το έργο είναι σε εξέλιξη, αλλά τα ευρήματα έως τώρα καταδεικνύουν αλλαγές σε τέσσερα κτήρια στη Βοσνία και οχτώ στην Αρμενία, ωφελώντας πάνω από 2.300 ανθρώπους και εξασφαλίζοντας μέχρι και 50% μειώσεις στους λογαριασμούς τους. Επιπλέον έχουν αναπτυχθεί και διαδικτυακές πλατφόρμες ώστε

να τις χρησιμοποιούν οι συνεταιρισμοί ιδιοκτητών και να πληροφορηθούν για το έργο του.²³

- Στην Ισπανία έχει διεξαχθεί μια ανάλυση, όπου παρουσιάζονται οι παρεμβάσεις που μπορούν να γίνουν σε κτήρια, κατατάσσοντάς τις βάσει του κόστους τους και της εξοικονόμησης που μπορεί να επιφέρουν στα σπίτια τα οποία διαμένουν κοινωνικά ευάλωτοι πληθυσμοί. Παρουσιάζονται 250 μέτρα εξοικονόμησης, τα οποία δύναται να υλοποιηθούν σε αυτά τα σπίτια. Διαχωρίζονται ως εξής: Δραστικά μέτρα τα οποία μπορούν να υλοποιηθούν στο σπίτι, όπως μόνωση, θερμική ενίσχυση του χώρου, βελτιώσεις στο σύστημα εξαερισμού και θέρμανσης στο σπίτι (HVAC), βελτίωση του τρόπου εξασφάλισης ζεστού νερού, βελτίωση αποδοτικότητας του φωτισμού, βελτίωση της αποδοτικότητας των ηλεκτρικών συσκευών, εισαγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και ανάπτυξη αλλαγών συμπεριφορών προς εξοικονόμηση ενέργειας. Εξετάστηκαν συνολικά 300 κατοικίες, και μοντελοποιήθηκαν αντίστοιχα τα μέτρα με οικονομικό κριτήριο, έτσι να επιτευχθεί η μέγιστη εξοικονόμηση. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν, ότι μπορεί μια κατοικία να εξοικονομήσει μέχρι και 410€ ανά έτος χωρίς να επενδύσει χρήματα, ενώ αν υπάρξουν επενδύσεις, μπορούν να εξοικονομηθούν 593€ ανά έτος με χρόνο αποπληρωμής τα 8,2 έτη. Αυτή η εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει ακόμα και το 55% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουν οι κατοικίες αυτές. [26]

- Στο πλαίσιο του συμφώνου των δημάρχων, από το 2014 στην Ισπανία στην περιοχή της Pabiona, εκτελούνται ενεργειακές αναβαθμίσεις στις κατοικίες της περιοχής, με στόχο να μειωθεί το κόστος θέρμανσης και εξασφάλισης ζεστού νερού. Οι ανακαινίσεις περιλαμβάνουν την κατασκευή νέων θερμικών κελυφών κτηρίου για σπίτια κατασκευασμένα ανάμεσα από το 1950 έως το 1980, την ανανέωση των παλιών συστημάτων θέρμανσης και τη δημιουργία νέου συστήματος θέρμανσης με βιομάζα. Αυτές οι ενέργειες μείωσαν την κατανάλωση ενέργειας κατά 70%, με εξοικονόμηση περίπου 138€ ανά σπίτι.²⁴

- Επίσης στο πλαίσιο του συμφώνου των δημάρχων, στο Porto Torres, στη Σαρδηνία της Ιταλίας, μειώθηκε η ενεργειακή φτώχεια με την εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών πάνελ σε κατοικίες ευάλωτων οικογενειών. Επενδύθηκαν περίπου 250.000€ και οι οικογένειες θα μπορούν να καταναλώνουν αυτήν την ενέργεια δωρεάν, μειώνοντας έτσι τις ενεργειακές απαιτήσεις τους από τους παρόχους

²³ <https://getwarmhomes.org/>

²⁴ www.efidistrict.eu/en

ενέργειας. Υπολογίζεται ότι στα 25 επόμενα χρόνια θα ευνοηθούν 400 οικογένειες από αυτό το μέτρο.²⁵

- Επιπλέον για λογαριασμό του συμφώνου των δημάρχων εφαρμόστηκαν ανακαινίσεις σε κτήρια στην περιοχή του Rainha Dona Leonor, στο Πόρτο της Πορτογαλίας. Η περιοχή αποτελείται από 150 κατοικίες όπου ζουν οικογένειες σε κτήρια χτισμένα περίπου το 1953. Δεν είχε υπάρξει κάποια κτηριακή αναβάθμιση τα προηγούμενα χρόνια, για αυτόν τον λόγο η πολιτεία κλήθηκε να αποφασίσει μεταξύ της αναβάθμισης ή κατεδάφισης των κτηρίων αυτών. Τελικά εφαρμόστηκε μείωση των κτηρίων από 150 σε 90 και μεγάλης κλίμακας ανακαίνιση των κτηρίων που δεν κατεδαφίστηκαν. Η διάρκεια του έργου ήταν από το 2009 έως το 2015 και χρηματοδοτήθηκε από τον δήμο του Πόρτο. Εγκαταστάθηκαν νέα συστήματα θέρμανσης και ψύξης καθώς και νέα συστήματα θέρμανσης του νερού, βασιζόμενα σε ηλιακούς θερμοσίφωνες. Ως αποτέλεσμα υπήρξε ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων, μειώνοντας τις ενεργειακές ανάγκες σε 49,78 kWh/ τ.μ. Ποσοστιαία τα κόστη για ενέργεια μειώθηκαν κατά 70% ανά κάτοικο.²⁶

- Στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να ενταχθεί και η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών στα σπίτια. Έχει αποδειχθεί ότι η εγκατάσταση τους μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια και να μειώσει το ποσοστό της ενεργειακής φτώχειας [3]. Για την ακρίβεια έχει υλοποιηθεί το πρόγραμμα SMART-UP σε διάφορες χώρες της Ευρώπης (Γαλλία, Μάλτα, Ιταλία, Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο). Το SMART-UP είναι ενταγμένο στο πλαίσιο του HORIZON 2020. Οι στόχοι του προγράμματος είναι να βοηθήσει τους ευάλωτους καταναλωτές να εξοικονομήσουν ενέργεια, να μειώσουν τους λογαριασμούς τους και να εκμεταλλευτούν τη διαδικασία προφοράς-ζήτησης που προσφέρει η ενεργειακή αγορά.

Η υλοποίηση του προγράμματος ξεκινάει με την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών ώστε να υπάρξει αποτύπωση των καταναλώσεων των νοικοκυριών. Αφού ληφθούν οι πληροφορίες αυτές, προσφέρεται καθοδήγηση και συμβουλή στους κατοίκους ώστε να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση των κατοικιών τους. Είναι αξιοσημείωτο ότι προκειμένου οι ενδιαφερόμενοι να παράσχουν την έγκρισή τους για πρόσβαση σε λογαριασμούς προηγούμενων περιόδων, είναι απαραίτητη η επικοινωνία τους με εκπαιδευμένους κοινωνικούς λειτουργούς, οι οποίοι έχουν προσληφθεί από το πρόγραμμα. Στη συνέχεια υλοποιείται η εγκατάσταση του έξυπνου μετρητή.

²⁵ http://bit.ly/energy_poverty_info

²⁶ <http://bit.ly/PortoCoM>

Συνολικά, στοχεύεται να προσεγγιστούν περίπου 1.000 άτομα σε κάθε χώρα. Μόλις ολοκληρωθεί η αρχική φάση, δίνεται στους κατοίκους βιβλιογραφία, όπως και ενεργειακό ημερολόγιο, όπου μπορούν να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης παρέχονται και κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας, με τη μορφή διαγωνισμών. Μετά το πέρας 6 με 12 μηνών από την εκκίνηση του προγράμματος, θα συνταχθούν ερωτηματολόγια προς τους εμπλεκόμενους, για την αξιολόγηση του έργου. Το πρόγραμμα είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο, αλλά έχει ενταχθεί σε ανάλογα προγράμματα χωρών που στόχο έχουν την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας και του κοινωνικού αποκλεισμού. Έχουν επενδυθεί 791.493€ και υπολογίζεται ότι 5.000 νοικοκυριά θα έχουν άμεση βοήθεια από το πρόγραμμα. Τα οφέλη αναμένονται να είναι αρκετά, καθώς θα υπάρξει συνεργασία μεταξύ χωρών σε πανευρωπαϊκό επίπεδο για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. [23]

2.3 Πολιτικές ενημέρωσης για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας μέσω συμπεριφορικών μέτρων

Πέραν της επίτευξης της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω παρεμβάσεων και χρηματοδότησης των παρεμβάσεων αυτών, υπάρχει και η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης της ενεργειακής φτώχειας μέσω της εφαρμογής μέτρων συμπεριφοράς.

Για αυτόν τον σκοπό, δημιουργήθηκε την περίοδο 2011-2014 το πρόγραμμα ACHIEVE, στο οποίο εμπλέκονταν 5 ευρωπαϊκές χώρες: Η Γαλλία, η Γερμανία, η Βουλγαρία, η Σλοβακία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Σε αυτό το πρόγραμμα ο στόχος ήταν να ανιχνευτούν τα νοικοκυριά που αντιμετωπίζουν προβλήματα στην εξόφληση λογαριασμών ενέργειας και στη συνέχεια μέσω επισκέψεων στις κατοικίες αυτών των νοικοκυριών, να αποκομιστούν πληροφορίες που αφορούν την κατανάλωση. Επιστρατεύτηκαν άνεργοι, εθελοντές και φοιτητές όπου εκπαιδεύτηκαν για τις επισκέψεις αυτές. Κατά τη διάρκεια των αυτοψιών υπήρχε συμβουλευτική καθοδήγηση, έτσι ώστε το σπίτι να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας, ενώ μοιράζονταν και κάποιες μικροσυσκευές για το σκοπό αυτό (θερμοστάτες, ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες). Στη συνέχεια υπήρχε η δυνατότητα να εκτελεστεί μια πιο μακροπρόθεσμη ανάλυση για την εύρεση λύσεων βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας της κατοικίας μέσω παρεμβάσεων μεγαλύτερης κλίμακας. Το κόστος του προγράμματος ανήλθε στα 1.467.611 €, από το οποίο το 50% διανεμήθηκε για το προσωπικό και τις επισκέψεις στις κατοικίες, και τα υπόλοιπα για την διοργάνωση και τις συσκευές που χορηγήθηκαν σε αυτές. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κάλυψε το 67% του κόστους. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής: 142 άτομα εκπαιδεύτηκαν,

ανάμεσα τους 49 άνεργοι και εθελοντές, 1920 σπίτια ωφελήθηκαν από το πρόγραμμα, ενώ η εξοικονόμηση ενέργειας ανήλθε περίπου στα 150€ ανά σπίτι το έτος. Το ACHIEVE ήταν ένα παράδειγμα καλής πρακτικής αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας σε πανευρωπαϊκό επίπεδο.[23]

Αντίστοιχη πρακτική εφήρμοσε και η Ουγγαρία με το πρόγραμμα Csekkcsökkenő. Συνεργάστηκαν ο Ερυθρός Σταυρός της Ουγγαρίας, η οργάνωση «Στέγη για την Ανθρωπότητα» της Ουγγαρίας και το κοινωνικό τμήμα της περιφέρειας III στη Βουδαπέστη, έτσι ώστε να υλοποιηθούν αυτοψίες και συμβουλές στους πολίτες όσον αφορά τις κατοικίες τους, με σκοπό εκείνοι να εξοικονομήσουν ενέργεια μέσω αλλαγών συμπεριφοράς. Χορηγήθηκαν και πάλι κάποιες μικροσυσκευές εξοικονόμησης. Οι κοινωνικοί λειτουργοί εκπαιδεύτηκαν και υλοποίησαν 256 επισκέψεις σε ευάλωτες κατοικίες όπου οι κάτοικοί τους έχουν χαμηλά εισοδήματα. Παρασχέθηκαν συμβουλές και μετά το πέρας ενός έτους υπήρξε νέα επικοινωνία ώστε να καταγραφούν τα αποτελέσματα της δράσης αυτής. Το κόστος ανήλθε στα 82.800€ και επετεύχθη εξοικονόμηση 35€ ανά έτος σε κάθε κατοικία, που αντιπροσωπεύει περίπου το 3% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Η εξοικονόμηση αυτή αντιστοιχεί στα 755KWh το έτος για το κάθε σπίτι. [23]

Άλλη μία δράση που υλοποιήθηκε σε επίπεδο πολλών χωρών στην Ευρώπη ήταν η δράση REACH (Reduce Energy use And Change Habits) στο διάστημα 2014 – 2017. Επετεύχθη μεταξύ οργανισμών στην Σλοβενία, Κροατία, Βουλγαρία και Βόρεια Μακεδονία. Το πρόγραμμα απευθύνθηκε σε ενεργειακά φτωχούς πληθυσμούς στις χώρες αυτές. Ιδιαίτερα στις περιοχές αυτές το φαινόμενο είναι ακόμα πιο έντονο, γεγονός που κινητοποίησε τους οργανισμούς αυτούς να προβούν σε αυτήν την δράση. Η δράση έχει σκοπό να ενισχύσει τους ενεργειακά φτωχούς ώστε να μεταβάλλουν τις ενεργειακές τους συνήθειες, ενώ μέσω των αποτελεσμάτων να αναδειχθεί και το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας στην Ευρώπη. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα εντάχθηκαν 1600 νοικοκυριά και πάνω από 200 άτομα εκπαιδεύτηκαν ως ενεργειακοί σύμβουλοι. Αξιοσημείωτο είναι ότι ενεπλάκησαν και σχολεία, όπου διεξάχθηκαν εκπαιδεύσεις σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας. Μέχρι σήμερα, έχουν επιτευχθεί εξοικονομήσεις ενέργειας αξίας 512.000€. Η δράση αυτή είναι πολύ δυναμική καθώς έχει και στόχο όλα τα αποτελέσματά της να γίνουν γνωστά σε πανευρωπαϊκό επίπεδο ώστε να υπάρξει ενασχόληση σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση στο επίπεδο της αλλαγής συμπεριφοράς για την εξοικονόμηση ενέργειας. [23]

2.4 Η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι δράσεις και πολιτικές για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες

1. Πολιτικές επιδοματικού χαρακτήρα
2. Πολιτικές αναβάθμισης των υπηρεσιών ενέργειας, είτε με εξοικονόμηση ενέργειας είτε με εισαγωγή των ΑΠΕ και ιδιοκατανάλωση.

Η πρώτη πολιτική βοηθάει τους ενεργειακά ευάλωτους καταναλωτές, καθώς τους προσφέρει χρήματα και κάποιο χρονικό περιθώριο στο να μπορέσουν να εξυπηρετήσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες. Ωστόσο, πρόκειται για μία πολιτική βραχυπρόθεσμου χαρακτήρα, καθώς προσδίδει οικονομική βοήθεια και δεν βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης του νοικοκυριού. Σε κοινωνικό επίπεδο δεν μπορούν να αγνοηθούν τέτοιες πολιτικές και πρέπει να εφαρμόζονται. Πάραυτα, αποτελούν μία πρόσκαιρη λύση.

Αντίθετα τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, και γενικότερα της ενεργειακής βιωσιμότητας, συμβάλλουν εις βάθος στην καταπολέμηση του προβλήματος της ενεργειακής φτώχειας. Ένα σπίτι που μπορεί να παρακολουθεί την κατανάλωσή του, καθημερινά να εξοικονομεί ενέργεια, να εφαρμόζει όπου είναι εφικτό και απαραίτητο ενεργειακές αναβαθμίσεις και μπορεί να παράγει και τη δική του ενέργεια, είναι ένα σπίτι που απέχει από το καθεστώς ενεργειακής φτώχειας.

Για αυτούς τους λόγους, σε συνδυασμό με την ανάλυση της ενεργειακής φτώχειας στην Ευρώπη, αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής ένα εργαλείο, το οποίο θα προτείνει βέλτιστα μέτρα για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας μέσα από ένα προκαθορισμένο σύνολο μέτρων που εξυπηρετούν τον σκοπό αυτό. Όπως θα αναλυθεί και στα επόμενα κεφάλαια, το εργαλείο θα εξάγει κάποια χαρτοφυλάκια δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Σκοπός της διπλωματικής είναι η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού των δράσεων αυτών με σκοπό την ελαχιστοποίηση του ρίσκου και του κόστους που εμπεριέχονται σε αυτές. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί η θεωρία χαρτοφυλακίου, καθώς και η χρησιμότητα της σε προβλήματα εξοικονόμησης ενέργειας.

3. Ανάλυση χαρτοφυλακίου στην εξοικονόμηση ενέργειας

3.1 Θεωρία Χαρτοφυλακίου

Το χαρτοφυλάκιο ορίζεται ως ένας συνδυασμός από περιουσιακά στοιχεία και αξιόγραφα (μετοχές, ομόλογα κτλ). Η έννοια της θεωρίας του χαρτοφυλακίου εισήχθη το 1952 από τον Markowitz. Στόχος της θεωρίας αυτής είναι η αξιοποίηση ενός χαρτοφυλακίου των αξιόγραφων αυτών ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοσή του για ένα συγκεκριμένο επίπεδο ρίσκου.

Αρχικά εφαρμόστηκε στις επενδύσεις. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η επένδυση σε διαφορετικά αξιόγραφα έχει μικρότερο ρίσκο από ότι η επένδυση σε ένα και μόνο αξιόγραφο. Βέβαια αυτό έχει και ως αποτέλεσμα ότι η απόδοση και το ρίσκο ενός αξιόγραφου δεν πρέπει να αξιολογείται μεμονωμένα, αλλά με βάση στο πόσο συνεισφέρει στη συνολική απόδοση και το ρίσκο όλου του χαρτοφυλακίου. [27]

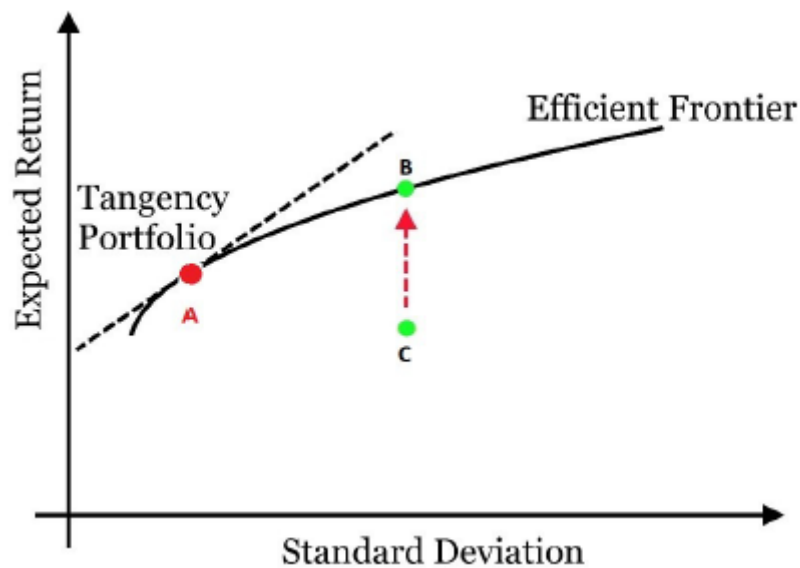
Υπάρχουν τέσσερις βασικές υποθέσεις που ικανοποιούν τη θεωρία χαρτοφυλακίου:

- Ο επενδυτικός ορίζοντας των ενδιαφερόμενων είναι καθορισμένος
- Κάθε μετοχή των επενδυτών αποτελείται από δύο μέρη: Την αναμενόμενη τιμή της μετοχής, όπου μπορεί κανείς να διακρίνει την απόδοση της μετοχής και την διακύμανση των αποδόσεων όπου υποδεικνύει το ρίσκο της μετοχής
- Το χαρτοφυλάκιο μπορεί να αναλυθεί απόλυτα από την αναμενόμενη απόδοση και την διακύμανση της απόδοσής του
- Για τη βέλτιστη λύση υποδεικνύεται ορθολογική συμπεριφορά, δηλαδή ότι για συγκεκριμένο επίπεδο ρίσκου επιλέγεται η μέγιστη απόδοση και για συγκεκριμένο επίπεδο απόδοσης επιλέγεται το μικρότερο ρίσκο

Η θεωρία χαρτοφυλακίου επιχειρεί να επιλέξει το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας. Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο είναι εκείνο που περιέχει τους καλύτερους συνδυασμούς αξιόγραφων με ποσοτικά προσδιορισμένα χαρακτηριστικά κινδύνου και απόδοσης, τα οποία μεγιστοποιούν την αναμενόμενη χρησιμότητα του επενδυτή. Με την έννοια χρησιμότητα εννοούνται τόσο το ρίσκο όσο και η απόδοση.

Ουσιαστικά για τη δημιουργία ενός χαρτοφυλακίου πρέπει πρώτον να συσταθεί το χαρτοφυλάκιο με επιλογή των αξιόγραφων και δεύτερον να δημιουργηθούν οι διάφοροι συνδυασμοί του χαρτοφυλακίου αυτού. Στη συνέχεια αξιολογούνται οι συνδυασμοί και επιλέγεται το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο, εκείνο δηλαδή που θα μεγιστοποιεί κάποια αντικειμενική συνάρτησης ωφελείας.

Για όλα τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια, όσο αυξάνεται η αναμενόμενη απόδοση, αυξάνεται και το ρίσκο και αντίστοιχα όσο μικρότερο ρίσκο υπάρχει, τόσο μειώνεται και η αναμενόμενη απόδοση. Αυτή η σχέση αναπαρίσταται με μία καμπύλη που ονομάζεται αποδοτικό σύνορο. Όλα τα χαρτοφυλάκια πάνω στο αποδοτικό σύνορο είναι αποδοτικά. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι για ένα χαρτοφυλάκιο με δεδομένο κίνδυνο, δεν υπάρχει άλλο που να εμφανίζει μεγαλύτερη απόδοση χωρίς αύξηση του κινδύνου. Έτσι, το αποδοτικό σύνορο είναι όλα τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια.



Εικόνα 4 Αποτύπωση της καμπύλης του αποδοτικού συνόρου ²⁷

Η αναμενόμενη απόδοση μίας επένδυσης για μία συγκεκριμένη περίοδο αναπαρίσταται από μια κατανομή πιθανοτήτων όλων των πιθανών εκβάσεων και των αντίστοιχων αποδόσεων. Οι επενδυτές μεγιστοποιούν την αναμενόμενη χρησιμότητα μιας χρονικής περιόδου, με τις καμπύλες να παρουσιάζουν ελαττωμένη οριακή χρησιμότητα του πλούτου. Οι επενδυτές λαμβάνουν αποφάσεις αποκλειστικά με βάση την αναμενόμενη απόδοση και το ρίσκο.

Η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου (optimal portfolio), αποσκοπεί στην κατασκευή του αποδοτικού συνόρου και την εύρεση όλων των αποδοτικών χαρτοφυλακίων. Στη συνέχεια υπάρχουν μέθοδοι επιλογής ενός εκ των αποδοτικών χαρτοφυλακίων με διάφορα κριτήρια.

²⁷ <https://www.investopedia.com/terms/e/efficientfrontier.asp>

3.2 Η θεωρία χαρτοφυλακίου στην ενέργεια

Η θεωρία χαρτοφυλακίου, παρόλο που ξεκίνησε ως οικονομικός όρος, μπορεί να επεκταθεί και σε άλλους τομείς. Η συγκεκριμένη ενότητα εστιάζει στην εφαρμογή της θεωρίας χαρτοφυλακίου στην ενέργεια.

Μια εφαρμογή της θεωρίας χαρτοφυλακίου είναι στην βελτιστοποίηση του ενεργειακού προγραμματισμού μιας ολόκληρης χώρας. Ουσιαστικά, αναζητείται το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο το οποίο θα μεγιστοποιεί τον συντελεστή χρησιμοποίησης και θα ελαχιστοποιεί το κόστος παραγωγής όλου του συστήματος. [28], [29]

Η ανάπτυξη χαρτοφυλακίου στην ενέργεια προσεγγίζεται με δύο τρόπους:

- Χαρτοφυλάκια με βάση τη χωρητικότητα και τα περιουσιακά στοιχεία που μπορούν να διατεθούν για τα ενεργειακά συστήματα
- Χαρτοφυλάκια με βάση την ενέργεια, όπου μπορεί να αλλάξει η εγκατεστημένη ισχύς και να ποικίλει μεταξύ των χαρτοφυλακίων, ώστε να ικανοποιείται η ζήτηση [30]

Στην Ελλάδα ήδη κάποιες εταιρείες αξιοποιούν το Χαρτοφυλάκιο Ενέργειας για τις μονάδες παραγωγής τους, με σκοπό την μεγιστοποίηση της εμπορικής αξίας των μονάδων που διαθέτουν. Αυτό το επιτυγχάνουν μέσω της καθημερινής ανάλυσης της αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα, αναλύοντας το χονδρεμπορικό κόστος αγοράς και του επιχειρηματικού κινδύνου, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές υποχρεώσεις της χώρας και των προμηθευτών²⁸. Κάποιες άλλες εταιρείες αναπτύσσουν χαρτοφυλάκια ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, όπως φωτοβολταϊκά συστήματα και συστήματα αιολικής ενέργειας, ώστε να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες στις ΑΠΕ με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.²⁹

Επίσης η θεωρία χαρτοφυλακίου μπορεί να εφαρμοστεί στην αξιολόγηση επενδύσεων σε ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στον τομέα της ενέργειας, αλλά και στην εύρεση μέτρων για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [31]

Επίσης υπάρχουν πολλές εφαρμογές που σκοπό έχουν να περιορίσουν την κλιματική αλλαγή, εστιάζοντας στις μειώσεις εκπομπών ή στην εύρεση αποδοτικών πολιτικών για την προστασία του περιβάλλοντος. [32]

²⁸ <https://heron.gr/epixeirimatiki-drastiriotita/chartofilakio/>
²⁹ <https://ecopress.gr/elpe-dimiourgia-chartofylakiou-ilekt/>

Επιπρόσθετα, η ανάλυση χαρτοφυλακίου επεκτείνεται και σε εναλλακτικά πεδία προστασίας του περιβάλλοντος. Έχουν υλοποιηθεί έρευνες για την εύρεση εναλλακτικών καυσίμων στα μέσα μεταφοράς, για την περιβαλλοντική διαχείριση στη γεωργία και για την δασοκομία [33]. Άλλο εξειδικευμένο παράδειγμα αποτελεί η χρήση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου για την επιλογή βέλτιστων πηγών σπόρων προς αναγέννηση των δασών λευκής ερυθρελάτης με τρόπο ευνοϊκό προς το κλίμα [34]. Παράλληλα, έχουν εξεταστεί περιπτώσεις ανάλυσης χαρτοφυλακίων στην φυτική και ζωική παραγωγή και την επίδραση των πολιτικών κλίματος στη γεωργία. [35],[36] Τέλος αξιοσημείωτες είναι και οι εφαρμογές στο πεδίο του περιβάλλοντος που έχουν υλοποιηθεί για την σωστή εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων. [37], [38].

3.3 Εφαρμογές της θεωρίας χαρτοφυλακίου στην εξοικονόμηση ενέργειας

Η θεωρία χαρτοφυλακίου έχει αποτελεσματική εφαρμογή στην εξοικονόμηση ενέργειας. Τα πιθανά χαρτοφυλάκια μπορούν να συντεθούν με τη βοήθεια διαφόρων πολιτικών και μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Στη συνέχεια αυτά τα χαρτοφυλάκια αναλύονται, με σκοπό την εύρεση βέλτιστων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε επίπεδο κόστους, εκπομπών, ρίσκου και άλλων.

Για την αναμόρφωση και την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες παρεμβάσεις που μπορούν να γίνουν σε ένα κτήριο. Αυτές οι παρεμβάσεις συνθέτουν το χαρτοφυλάκιο των πολιτικών. Παραδείγματα τέτοιων παρεμβάσεων είναι ολοκληρωτικές ανακαινίσεις στο κτήριο, εισαγωγή προηγμένων συστημάτων ελέγχων για την βελτίωση της λειτουργίας των συσκευών, αλλαγές στις συνήθειες και τις συμπεριφορές των κατοίκων που μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και έλεγχος και βελτίωση των συστημάτων λειτουργίας ενός κτηρίου.³⁰ Ανάμεσα σε αυτές τις λύσεις, με βάση κάποια κριτήρια που θέτονται, συνήθως οικονομικά, συντίθεται ένα πρόβλημα εύρεσης βέλτιστου χαρτοφυλακίου.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την έκθεση του ΚΑΠΕ (Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), το υπουργείο Ενέργειας ανέθεσε μελέτη αξιολόγησης του βέλτιστου χαρτοφυλακίου μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, με σκοπό την επίτευξη συνολικά το 65% του συνολικού στόχου εξοικονόμησης κατά την περίοδο 2014-2020 για τη χώρα. Χρησιμοποιήθηκε η θεωρία του χαρτοφυλακίου, με σκοπό να βρεθεί το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο πολιτικών

³⁰ <https://buildingefficiencyinitiative.org/articles/optimizing-energy-efficiency-across-portfolio-buildings>

εξοικονόμησης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση του κάθε μέτρου, το κόστος του και το ρίσκο του. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν τις βέλτιστες πολιτικές για την εξοικονόμηση ενέργειας με βάση τους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους αλλά και το συνεπαγόμενο επιπρόσθετο κόστος που πρέπει να βρεθεί ώστε να επιτευχθεί ο στόχος εξοικονόμησης που αναφέρθηκε.³¹

Επιπρόσθετα στην Ρουμανία έχει υλοποιηθεί η θεωρία χαρτοφυλακίου για την εύρεση καλύτερων δυνατών πολιτικών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας. Αρχικά επιλέχθηκαν τα πιο αντιπροσωπευτικά έργα εξοικονόμησης ενέργειας για τα κτήρια. Στη συνέχεια αποφασίστηκαν οι τύποι εξοικονόμησης, τα κόστη, και η διάρκεια ζωής για το κάθε έργο. Παράλληλα, εκτελέστηκαν προσομοιώσεις με βάση την θερμική άνεση για τα 8 συνολικά έργα, χρησιμοποιώντας διάφορα σενάρια αναμόρφωσης του κτηριακού δυναμικού της χώρας. Προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουν το κόστος (€/m²) κατέληξαν στα πιο αποδοτικά έργα, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Με βάση τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν, θα μπορούσε να γίνει αναμόρφωση του 3% των κτηρίων ανά έτος για τα επόμενα 30 χρόνια, αυξάνοντας κατά πολύ την ενεργειακή αποδοτικότητα της περιοχής που εξετάστηκε. [39]

Στις ΗΠΑ έχει θεσμοθετηθεί ένα σύνολο πολιτικών, γνωστό ως «Προδιαγραφές για βιώσιμο χαρτοφυλάκιο Ενέργειας» (Sustainable Energy Portfolio Standards), που περιλαμβάνει στόχους για εξοικονόμηση ενέργειας και χρήση ΑΠΕ σε μελλοντικές περιόδους. Στο πρόγραμμα αυτό, περιλαμβάνονται μέτρα, στα οποία συμμετέχουν πάροχοι ενέργειας. Μέσω της εξέτασης των πολιτικών και της εύρεσης των καλύτερων λύσεων στις διάφορες πολιτείες των ΗΠΑ, επιτυγχάνεται μέχρι και 25% εξοικονόμηση ενέργειας στις περιοχές αυτές. [40]

Επιπλέον, η εφαρμογή της θεωρίας χαρτοφυλακίου έχει εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις συμπαραγωγής θερμότητας και ενέργειας. Η συμπαραγωγή είναι αναγνωρισμένο μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας. Με τη χρήση της θεωρίας χαρτοφυλακίου γίνεται ανάλυση σε κάποιες αγορές ενέργειας για τα βέλτιστα προφίλ συμπαραγωγής με το μικρότερο δυνατό ρίσκο. Στην Ιταλία αυτό συνεπάγεται πιστοποιητικά ενεργειακής εξοικονόμησης. Έτσι λοιπόν εφαρμόζεται ένας έμμεσος τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας με τη βοήθεια της θεωρίας χαρτοφυλακίου. [41]

Στο πλαίσιο της κλιματικής πολιτικής, έχει εφαρμοστεί η θεωρία χαρτοφυλακίου, ώστε οι κυβερνήσεις των ΗΠΑ να μπορέσουν να επενδύσουν σε νέες τεχνολογίες και

³¹ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/el_neeap_2017_el.pdf

μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, με συγκεκριμένο περιορισμό στον προϋπολογισμό καθώς και στο χρόνο και στην τεχνολογία. Ο σκοπός είναι η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. [32]

Τέλος ως μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας θεωρείται και η χρήση των ΑΠΕ. Όπως αναφέρθηκε, η θεωρία χαρτοφυλακίου έχει εφαρμοστεί με σκοπό την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ελαχιστοποίηση του ενδεχόμενου ρίσκου της απόδοσης σε μία τέτοια επένδυση σε επίπεδο κοινότητας. [42]

Συμπερασματικά, η θεωρία χαρτοφυλακίου έχει πολλές εφαρμογές που συμβάλλουν στην βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Το γενικό πλαίσιο της θεωρίας αυτής είναι η σύνθεση ενός χαρτοφυλακίου με πολιτικές που μπορεί να αφορούν είτε άμεσα είτε έμμεσα δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις εκάστοτε παραμέτρους, αναλύονται με κατάλληλα εργαλεία τα χαρτοφυλάκια αυτά και γίνεται η επιλογή των βέλτιστων πρακτικών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η θεωρία χαρτοφυλακίου θα χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να βρεθούν και να αναλυθούν τα βέλτιστα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας με σκοπό την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Συνθέτοντας χαρτοφυλάκια με τις πολιτικές και τα κόστη τους, και αναλύοντας το ρίσκο της κάθε πολιτικής, δύναται να γίνει η επιλογή της πιο αποδοτικής πολιτικής εξοικονόμησης ενέργειας.

Αυτές οι πολιτικές είναι κατάλληλες για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Αυτό σημαίνει ότι εστιάζουν στις κατοικίες που υποφέρουν από ενεργειακή φτώχεια. Στη συνέχεια, θέτοντας ως περιορισμούς τις ειδικές συνθήκες της εξεταζόμενης περιοχής, επιλέγονται οι πολιτικές που θα προσδώσουν τις πιο αποδοτικές λύσεις από πλευράς κόστους, εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και μείωσης του ρίσκου που εμπεριέχεται στην εκάστοτε πολιτική.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί περαιτέρω το προτεινόμενο πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε καθώς και οι τεχνικές και οι δράσεις που εντάχθηκαν, ώστε να αναπτυχθεί ένα εργαλείο που θα παρουσιάζει τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας με στόχο την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.

4. Ανάπτυξη εργαλείου εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας

Στα προηγούμενα κεφάλαια, αναλύθηκε η έννοια της ενεργειακής φτώχειας, ο ρόλος της εξοικονόμησης ενέργειας στην καταπολέμησή της, αλλά και η συμβολή της θεωρίας χαρτοφυλακίου στην εύρεση των βέλτιστων πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας. Συνθέτοντας όλα αυτά, μπορεί να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο εργαλείο ώστε να καταπολεμηθεί η ενεργειακή φτώχεια από τη σκοπιά της εξοικονόμησης ενέργειας. Σκοπός του εργαλείου αυτού είναι η εύρεση δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας (χαρτοφυλάκια) με το ελάχιστο δυνατό κόστος επένδυσης, και ταυτόχρονη επίτευξη του ελάχιστου ρίσκου για τις δράσεις αυτές.

4.1 Δράσεις και περιορισμοί

Για τη σύνθεση του εργαλείου αυτού αρχικά πρέπει να κατασκευαστούν οι δράσεις που πρέπει να υλοποιηθούν στα νοικοκυριά προς εξέταση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αυτές οι πολιτικές και οι δράσεις.

Πίνακας 1 Προτεινόμενες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας

α/α	Δράση	Περιγραφή Δράσης
1	Μόνωση εξωτερικών τοίχων [43], ³²	Θερμική αναμόρφωση των συστημάτων μόνωσης των εξωτερικών τοίχων (για παράδειγμα αναβάθμιση των προδιαγραφών μόνωσης του κελύφους του κτηρίου), ώστε να μειωθεί το φορτίο θερμότητας των κτηρίων.
2	Μόνωση οροφής [43]	Αναμόρφωση των συστημάτων μόνωσης των οροφών των κτηρίων.
3	Διπλοί Υαλοπίνακες στα παράθυρα [43], ³³	Αναβάθμιση των παραθύρων με διπλούς υαλοπίνακες για καλύτερη μόνωση του κτηρίου
4	Αντικατάσταση ηλεκτρικών συσκευών με αποδοτικότερες [43]	Αντικατάσταση ηλεκτρικών συσκευών (πλυντηρίων, κουζίνας, ψυγείου) με συσκευές

³² https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/R01_Building%20shell-thermal%20insulation%20FINAL_GSOK.pdf

³³

https://thermansipress.gr/thermansipress/%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AC-%CF%84%CE%B6%CE%AC%CE%BC%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%80%CF%8C%CF%83%CE%BF-%CE%BA%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%AF/#.Xk_3KGqzY2w

		υψηλότερης ενεργειακής κλάσης
5	Εγκατάσταση Έξυπνων Μετρητών [44]	Εγκατάσταση έξυπνων θερμοστατών, ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, χωρίς να μειώνεται η θερμική άνεση των κατοίκων. Σε αυτό το σενάριο ο έξυπνος θερμοστάτης είναι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο και συλλέγει πληροφορίες για την θερμοκρασία του κτήριο, ενώ παράλληλα υπάρχει αλληλεπίδραση (interface) με τον χρήστη ώστε να δίνεται η δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης.
6	Πληροφόρηση σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας [26], [43], [45]	Πληροφόρηση και εύρεση λύσεων σε θέματα καθημερινών συνηθειών ώστε να επιτευχθεί από τα νοικοκυριά εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των λογαριασμών τους.
7	Εγκατάσταση Μικρών μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [23], ³⁴	Εγκατάσταση ενός μικρού συστήματος Φωτοβολταϊκών (πχ 1-10 KWp ονομαστικής ισχύος), με χρήση του συστήματος Net-Metering, ανάλογα την περιοχή και το κτήριο που θα εγκατασταθεί.
8	Αντικατάσταση/Εγκατάσταση κλιματιστικού υψηλής αποδοτικής κλάσης [43]	Εγκατάσταση κλιματιστικού υψηλής αποδοτικής κλάσης, ή αντικατάσταση του υπάρχοντος κλιματιστικού με άλλο υψηλότερης κλάσης, ανάλογα το κτήριο το οποίο εξετάζεται
9	Αντικατάσταση λεβήτων θέρμανσης πετρελαίου με λέβητες Φυσικού Αερίου[43], ³⁵	Αντικατάσταση ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου θέρμανσης με έναν φυσικού αερίου πολύ πιο αποδοτικό.

Αυτά τα μέτρα αποτελούν τη σύνθεση του χαρτοφυλακίου. Προσδιορίζοντας ποσοτικά αυτά τα μέτρα βάσει του κόστους υλοποίησης, τις εξοικονομούμενες κιλοβατώρες, και το ρίσκο που εμπεριέχεται στην υλοποίησή του, διατίθενται όλες τις πληροφορίες έτσι ώστε να διεξαχθεί η ανάλυση. Λαμβάνοντας υπόψη τα τοπικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής, οι τιμές στις παραπάνω παραμέτρους διαφέρουν.

Η σύνθεση αυτών των δράσεων, δημιουργεί τα χαρτοφυλάκια δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Στόχος είναι η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου μέτρων για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Για να επιτευχθεί αυτός ο

³⁴ https://helapco.gr/pdf/HELAPCO_PV_Investment_Guide_March2018.pdf

³⁵ <https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/STRATEGO-WP2-Background-Report-3b-Cost-of-Heat-Savings-for-the-UK-1.pdf>

στόχος πρέπει να τεθούν όρια για το πού θα εφαρμοστούν τα μέτρα, πόσα μέτρα θα εφαρμοστούν και με ποιον χρονικό ορίζοντα. Όλα αυτά τα όρια εμφανίζονται με τη μορφή περιορισμών στην ανάλυση. Τα κριτήρια της ανάλυσης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και του ρίσκου των δράσεων αυτών. Ως αποτέλεσμα αναλύοντας τις τιμές για τις δράσεις, σε συνάρτηση με τους περιορισμούς, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των μέτρων και το ρίσκο που εμπεριέχεται σε αυτά. Στην ανάλυση που η μαθηματική της απεικόνιση θα περιγραφεί παρακάτω, εφαρμόστηκαν οι εξής περιορισμοί::

Πίνακας 2 Προτεινόμενοι περιορισμοί και οριοθέτηση δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας

α/α	Περιορισμός
1	Στόχος εξοικονόμησης ενέργειας βάσει του άρθρου 7 της οδηγίας της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ για το καθεστώς της υποχρεωτικής ενεργειακής απόδοσης
2	Μέγιστος προϋπολογισμός για τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας
3	Ελάχιστη απαιτούμενη παραγωγή από ΑΠΕ
4	Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων σε κτήρια που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 και υποφέρουν από ενεργειακή φτώχεια (Παλαιά κτήρια)
5	Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων σε κτήρια που έχουν κατασκευαστεί μετά το 1980 και υποφέρουν από ενεργειακή φτώχεια (Νέα κτήρια)
6	Επιθυμητή αναλογία εξοικονόμησης ενέργειας παρεμβάσεων σε παλαιά κτήρια σε σύγκριση με νέα κτήρια
7	Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων μεγάλης κλίμακας στα κτήρια
8	Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων μικρής κλίμακας στα κτήρια
9	Μέγιστος αριθμός παρεμβάσεων
10	Ελάχιστος αριθμός παρεμβάσεων βάσει της ανάλυσης των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών στην περιοχή που εξετάζεται

Συγκεντρωτικά, η πλήρης εικόνα της ανάλυσης για της εύρεση των βέλτιστων μέτρων για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας είναι η εξής: Υπάρχει η δυνατότητα υλοποίησης εννέα μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Για την κάθε μελέτη περίπτωσης τα μέτρα που θα εξεταστούν, ποσοτικοποιούνται ως προς το κόστος, την εξοικονόμηση ενέργειας σε kWh, και το ρίσκο. Στη συνέχεια δημιουργείται το πρόβλημα βέλτιστης κατανομής των δράσεων αυτών, με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους και ρίσκου. Επιπλέον, το πρόβλημα που συντίθεται υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς που πρέπει να ικανοποιούνται. Ως αποτέλεσμα, το

πρόβλημα προς εξέταση είναι ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού και για την ακρίβεια ένα πρόβλημα διστοχικής βελτιστοποίησης, η οποία θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα.

4.2 Βελτιστοποίηση Pareto – Pareto Efficiency

Η αποτελεσματικότητα Pareto ή η βελτιστοποίηση κατά Pareto είναι μια κατάσταση όπου κανένα κριτήριο προτίμησης δεν μπορεί να βελτιωθεί χωρίς να επιδεινωθεί τουλάχιστον ένα άλλο κριτήριο προτίμησης. Εμπνευστής του Pareto Efficiency είναι ο Vilfredo Pareto (1848–1923), Ιταλός μηχανικός και οικονομολόγος, ο οποίος χρησιμοποίησε την έννοια της βελτιστοποίησης κατά Pareto ώστε να μπορέσει να υλοποιηθεί βέλτιστη κατανομή εισοδήματος.

Υπάρχουν τρεις βασικές έννοιες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση κατά Pareto

- Δεδομένης μιας αρχικής κατάστασης, η βελτιστοποίηση κατά Pareto είναι μια νέα κατάσταση όπου κάποιος από τους ενδιαφερόμενους θα κερδίσει, ενώ κανένας δε θα χάσει
- Μια κατάσταση ονομάζεται κυρίαρχη κατά Pareto εάν επιδέχεται βελτίωση κατά Pareto.
- Μια κατάσταση ονομάζεται βέλτιστη κατά Pareto, εάν καμία αλλαγή δεν θα μπορούσε να οδηγήσει σε βελτίωση κατά Pareto για όλους τους συμμετέχοντες.

Το Μέτωπο Pareto (Pareto Frontier or Front or Set) είναι το σύνολο όλων των αποδοτικών αποφάσεων του Pareto.

4.3 Η μέθοδος «AUGMENCON 2»

Η μέθοδος Augmencon 2 (augmented ϵ -constraint), είναι μία μέθοδος πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης, η οποία εφαρμόζεται σε προβλήματα με μεικτές ακέραιες μεταβλητές. Τα προβλήματα ανάλυσης χαρτοφυλακίου κατά κύριο λόγο εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία.

Τα πολυκριτηριακά προβλήματα αφορούν προβλήματα τα οποία εμπεριέχουν πάνω από μία αντικειμενικές συναρτήσεις προς βελτιστοποίηση. Τα προβλήματα αυτά έχουν την ιδιαιτερότητα ότι έχουν πάνω από μία βέλτιστη λύση. Ο σκοπός της επίλυσής τους είναι να βρεθούν οι κατά Pareto βέλτιστες λύσεις.

Η μέθοδος Augmecon είναι μία μέθοδος δημιουργίας λύσεων σε αυτά τα προβλήματα.

Ένα πρόβλημα της παρακάτω μορφής περιγράφει ένα πολυκριτήριο πρόβλημα. Συγκεκριμένα πρόκειται για παράδειγμα μεγιστοποίησης των αντικειμενικών συναρτήσεων

$$\max (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x))$$

st

$$x \in S$$

Όπου x είναι το διάνυσμα των μεταβλητών απόφασης, $f_1(x), \dots, f_p(x)$ είναι οι αντικειμενικές συναρτήσεις, S είναι ο εφικτός χώρος λύσεων.

Σκοπός είναι η επίλυση αυτών των συναρτήσεων. Για p αντικειμενικές συναρτήσεις, η Augmecon 2 βελτιστοποιεί τη μία και μετατρέπει τις υπόλοιπες σε ανισωτικούς περιορισμούς, ανάλογα αν επιθυμούμε ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση της συνάρτησης (ϵ -constraint μέθοδος). Πρέπει να είναι γνωστό το εύρος για τις $p-1$ αντικειμενικές συναρτήσεις στο σύνολο των εφικτών λύσεων. Στη συνέχεια δημιουργείται ο πίνακας πληρωμών (payoff table), δηλαδή ένας πίνακας με τις βέλτιστες λύσεις για την κάθε μία αντικειμενική συνάρτηση ξεχωριστά. Επιπροσθέτως, υλοποιείται ακόμα μία βελτιστοποίηση, η λεγόμενη λεξικογραφική βελτιστοποίηση, ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις κατά Pareto. Επιπλέον οριοθετώντας τις αντικειμενικές συναρτήσεις υπολογίζονται οι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές, ανάλογα με το αν εφαρμόζεται για μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση αντίστοιχα. Ένα ακόμα βήμα περιλαμβάνει την μετατροπή των ανισοτήτων σε ισότητες, και έτσι αποφεύγονται οι ασθενώς βέλτιστες λύσεις. Αυτό επιτυγχάνεται ενσωματώνοντας την κατάλληλη μεταβλητή απόκλισης, η οποία εξαρτάται από το εύρος της εκάστοτε αντικειμενικής συνάρτησης. Έτσι το πρόβλημα, διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{Max } (f_1(x) + \epsilon \times S_2/r_2 + 10^{-1} S_3/r_3 + \dots + 10^{-(p-2)} \times S_p/r_p)$$

st

$$f_2(x) - S_2 = \epsilon_2$$

$$f_3(x) - S_3 = \epsilon_3$$

$$f_p(x) - S_p = \epsilon_p$$

$$x \in S, S_i \in \mathbb{R}^+$$

Όπου f οι αντικειμενικές συναρτήσεις, x οι μεταβλητές απόφασης, e τα κάτω όρια τους, S οι μεταβλητές απόκλισης και p ο αριθμός των αντικειμενικών συναρτήσεων. Οι επιπρόσθετοι όροι που έχουν προστεθεί στην μεγιστοποίηση της συνάρτησης είναι ένα είδος λεξικογραφικής μεθόδου. Μέσω αυτών, ο λύτης δίνει μια σειρά προτεραιότητας από την 1 στην p συνάρτηση.[46], [47]

Όσο μικρότερη είναι η τιμή για το e τόσο μικρότερο είναι το βήμα σάρωσης του μετώπου των διαφορετικών λύσεων (Pareto front), και ως αποτέλεσμα τόσο πιο εξαντλητική είναι η διαδικασία εύρεσής τους. Παράλληλα όμως, αυξάνεται ο χρόνος επίλυσης του προβλήματος από τον υπολογιστή.

Η μέθοδος αυτή είναι μία μέθοδος, που εντάσσοντάς την σε μορφή κώδικα στα διαφορετικά εργαλεία, μπορεί να προσφέρει βέλτιστες λύσεις σε προβλήματα χαρτοφυλακίου. [47]

4.4 Προτεινόμενη Διστοχική βελτιστοποίηση

Η Βελτιστοποίηση με πολλαπλά κριτήρια (Multi-objective optimization), επίσης, είναι η διαδικασία της ταυτόχρονης βελτιστοποίησης δυο ή περισσότερων αντικρουόμενων ζητημάτων με διαφόρους περιορισμούς. Τα ζητήματα αυτά αντικατοπτρίζονται με τη μορφή διαφορετικών αντικειμενικών συναρτήσεων

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης τους συγκεκριμένου εργαλείου θα υλοποιηθεί διστοχική βελτιστοποίηση, δηλαδή βελτιστοποίηση με πολλαπλά κριτήρια για δύο αντικειμενικές συναρτήσεις. Οι δύο συναρτήσεις είναι :

1. Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους επένδυσης
2. Ελαχιστοποίηση του συνολικού ρίσκου της επένδυσης

Ως εκ τούτου το πρόβλημα είναι πολυκριτήριο, με 2 αντικειμενικές συναρτήσεις προς επίλυση. Αυτές οι δύο συναρτήσεις είναι αντικρουόμενες. Όσο αυξάνεται το κόστος της επένδυσης τόσο μειώνεται το ρίσκο. Μεταβλητές απόφασης στην προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ο αριθμός των παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Για την εύρεση λοιπόν των βέλτιστων λύσεων θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Augmecon 2. Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί η μαθηματική αποτύπωση των δράσεων και των περιορισμών που χρησιμοποιήθηκαν και θα υλοποιηθεί μία μελέτη περίπτωσης. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του

προβλήματος είναι το GAMS³⁶. Στον κώδικα που αναπτύχθηκε εντάχτηκαν οι μεταβλητές απόφασης, οι περιορισμοί, οι δράσεις ως παράμετροι για την κατάστρωση ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού, και ο κώδικας του Augmecon 2, για την επίλυση αυτού του πολυκριτηριακού προβλήματος³⁷

³⁶ <https://www.gams.com/>

³⁷ https://www.gams.com/latest/gamslib_ml/libhtml/gamslib_epscm.html

5. Μοντελοποίηση του εργαλείου εξοικονόμησης ενέργειας για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας με τη βοήθεια του προγράμματος GAMS

5.1 Δεδομένα εισόδου για την ανάπτυξη του εργαλείου

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το πρόβλημα διστοχικής βελτιστοποίησης και αναλύθηκαν οι δράσεις που θα χρησιμοποιηθούν στο εργαλείο καθώς και οι περιορισμοί του προβλήματος. Στόχος είναι να επιτευχθεί η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου εξοικονόμησης ενέργειας. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε στο περιβάλλον GAMS. Πρόκειται για ένα εργαλείο μαθηματικού προγραμματισμού, το οποίο μπορεί να επιτύχει μεθόδους βελτιστοποίησης βάσει των εισόδων που εισάγει ο εκάστοτε χρήστης.

Στο GAMS, ο χρήστης διαμορφώνει κατάλληλα τα δεδομένα του προβλήματος. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σύνολα (sets), οι μεταβλητές (variables), οι παράμετροι (parameters) και οι σταθερές (scalars) που χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να μοντελοποιηθούν οι δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την διστοχική βελτιστοποίηση και την αποτύπωση των περιορισμών του προβλήματος.

Πίνακας 3 Χρησιμοποιούμενα σύνολα για την περιγραφή και την κατηγοριοποίηση των δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας

Σύνολο (set)	Ερμηνεία συνόλου
k	Αντικειμενικές συναρτήσεις προς ελαχιστοποίηση (2 στο σύνολο)
i	Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας
il(i)	Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας εκτός ΑΠΕ
j	Εξεταζόμενο έτος
r	Έτος υλοποίησης του μέτρου
old_rbl(i)	Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια τα οποία κατασκευάστηκαν πριν το 1980
new_rbl(i)	Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια τα οποία κατασκευάστηκαν μετά το 1980
lsc_rbl(i)	Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας μεγάλης κλίμακας
ssc_rbl(i)	Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας μικρής κλίμακας
PV(i)	Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Πίνακας 4 Χρησιμοποιούμενες σταθερές για την ανάλυση των μέτρων και των περιορισμών

Σταθερά (scalar)	Ερμηνεία σταθεράς	Τιμή
int_rate	Επιτόκιο αναγωγής για το κάθε έτος	3%

Πίνακας 5 Χρησιμοποιούμενες παράμετροι για την απεικόνιση των μέτρων και των περιορισμών

Παράμετρος (parameter)	Ερμηνεία Παραμέτρου	Μονάδα
dist(j)	Απόσταση σε έτη από το έτος εξέτασης	-
cost(i,j)	Κόστος επένδυσης για κάθε δράση ανά έτος	€
risk(i,j)	Ρίσκο της κάθε δράσης ανά έτος	-
ensav7(i,r,j)	Εξοικονόμηση Ενέργειας για την κάθε τεχνολογία ανά εξεταζόμενο έτος και έτος υλοποίησης της δράσης	kWh
res_el(i,r,j)	Παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ ανά εξεταζόμενο έτος και έτος υλοποίησης της δράσης (Συγκεκριμένα Φωτοβολταϊκά)	kWh
maxcap(i)	Ανώτατο όριο δυνατότητας παρεμβάσεων για την κάθε τεχνολογία (maximum capacity)	-
df(j)	Συντελεστής αναγωγής για το κάθε εξεταζόμενο έτος	-

Πίνακας 6 Χρησιμοποιούμενη μεταβλητή απόφασης για την κατάστρωση των αντικειμενικών συναρτήσεων και των περιορισμών

Μεταβλητή απόφασης (Variable)	Ερμηνεία Μεταβλητής απόφασης
INTERV(i,j)	Αριθμός παρεμβάσεων για κάθε δράση ανά εξεταζόμενο έτος

Τα δεδομένα εισόδου του προβλήματος είναι το κόστος της κάθε παρέμβασης, οι κιλοβατώρες εξοικονόμησης που παρέχει κάθε παρέμβαση και το ρίσκο το οποίο εμπεριέχεται σε κάθε παρέμβαση.

Το κόστος της κάθε παρέμβασης μπορεί σε κάθε περίπτωση να αποκομιστεί από τα δεδομένα που ισχύουν στην εκάστοτε περιοχή και χώρα. Η εξοικονόμηση που παρέχει η κάθε δράση υπολογίζεται από ένα υπολογιστικό εργαλείο το οποίο αναπτύχθηκε (DREEM). Το εργαλείο αυτό, οποίο λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές συνθήκες κάθε περιοχής, υπολογίζει την εξοικονόμηση ενέργειας που παρέχεται ανάλογα και τα χαρακτηριστικά της κάθε κατοικίας. Τέλος η έρευνα για την ποσοτικοποίηση του ρίσκου έγινε μέσω ερωτηματολογίων όπου χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος συνάθροισης ο μέσος όρος για κάθε δράση.

Έχοντας τα σύνολα, τις παραμέτρους, τις σταθερές και τις μεταβλητές απόφασης του προβλήματος, μπορούν να καταστρωθούν οι αντικειμενικές συναρτήσεις προς βελτιστοποίηση και να πραγματοποιηθεί η αποτύπωση των περιορισμών.

5.2 Μελέτη περίπτωσης και αποτύπωση περιορισμών για την Κροατία

5.2.1 Η ενεργειακή φτώχεια στην Κροατία

Η Κροατία διαθέτει ηπειρωτικό κλίμα στον βορρά, αλπικό κλίμα στις κεντρικές περιοχές της και Μεσογειακό κλίμα στις περιοχές όπου βρέχονται από θάλασσα. Στον οικονομικό τομέα, το 2018, η ανεργία κυμαινόταν στο 35%. Επιπλέον παρατηρείται μείωση του ποσοστού γεννήσεων κάθε έτος, λόγω οικονομικών προβλημάτων. Ως αποτέλεσμα η ανεργία αυξάνεται και αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα στο εγγύς μέλλον με την πολιτική των συντάξεων. Με αυτόν τον τρόπο ενδεχομένως να αυξηθεί ο αριθμός συνταξιούχων που θα υποφέρουν από φτώχεια, και ως λογικό επακόλουθο από ενεργειακή φτώχεια.

Σε εθνικό επίπεδο δεν υπάρχει επίσημος ορισμός για την ενεργειακή φτώχεια στην Κροατία. Ένας ανοικτός διάλογος μεταξύ ενδιαφερόμενων είχε ενεργοποιηθεί τον Φεβρουάριο του 2019 από το Υπουργείο Υποδομών και Φυσικού σχεδιασμού της χώρας, με σκοπό να βρεθούν τα κριτήρια για να καθοριστεί ένα νοικοκυριό ενεργειακά φτωχό. Δεν έχουν εξαχθεί κάποια αποτελέσματα και η διαδικασία είναι ακόμα σε εξέλιξη.

Επιπλέον δεν υπάρχει ορισμός για το ποιος είναι εν δυνάμει ή σε κίνδυνο ενεργειακής φτώχειας, ενώ δεν υπάρχει κάποια μέθοδος αναγνώρισης και παρακολούθησης της ενεργειακής φτώχειας. Αντιστοίχως δεν έχει εφαρμοστεί και κάποια πολιτική για την αντιμετώπισή της. Τα ενεργειακά φτωχά νοικοκυριά πολύ συχνά δεν διαθέτουν πρόσβαση στις σύγχρονες μορφές ενέργειας, όπως ο ηλεκτρισμός, και δεν μπορούν να ανταποκριθούν στο κόστος της διαβίωσης υπό αποδεκτές συνθήκες.

Η ανάλυση του Ευρωπαϊκού Παρατηρητηρίου Ενεργειακής Φτώχειας για την Κροατία, υποδεικνύει ότι η ενεργειακή φτώχεια στην χώρα αυτή συνδέεται αδρά με την δημοσιονομική φτώχεια. Τα ποσοστά της ενεργειακής φτώχειας σύμφωνα με τους δείκτες του ΕΡΟΝ, είναι πάνω από τον μέσο όρο για τις δύο χαμηλότερες κατηγορίες εισοδημάτων στην Κροατία. Αυτό διαφαίνεται αρκετά έντονα στον αριθμό

των εξόδων για την ενέργεια σε σχέση με το εισόδημα και στις καθυστερήσεις που αφορούν την πληρωμή λογαριασμών.

Σύμφωνα με έρευνες, το 30% περίπου των Κροατών πολιτών υποφέρει από ενεργειακή φτώχεια. Η κυρίαρχη πολιτική που έμμεσα καταπολεμάει την ενεργειακή είναι η παροχή επιδομάτων αλληλεγγύης στα οικονομικά ευάλωτα νοικοκυριά. Τέτοια μέτρα, όπως έχει αναλυθεί, είναι μέτρα πρόσκαιρα και αμφισβητείται εάν μπορούν να καταπολεμήσουν σε βάθος χρόνου την ενεργειακή φτώχεια. Δεν υπάρχουν παροτρύνσεις για μειώσεις κατανάλωσης ή βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτηρίων για τον σκοπό αυτό. Θεωρείται λοιπόν ότι για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχεια στην Κροατία, είναι απαραίτητο να εισαχθεί ως προτεραιότητα η εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στις κατοικίες σαν πρώτο βήμα.

Ως αποτέλεσμα, το εργαλείο που αναπτύχθηκε πρόκειται να μελετήσει την περίπτωση της Κροατίας, και να προτείνει λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται τα δεδομένα που εξάχθηκαν για την περίπτωση της, και οι περιορισμοί που αναπτύχθηκαν στο πρόβλημα.

5.2.2 Αποτύπωση περιορισμών στο εργαλείο καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας στην περίπτωση της Κροατίας

Για τη μελέτη περίπτωσης της Κροατίας, αποτυπώθηκαν κάποιοι περιορισμοί στις δράσεις (Πίνακας 7). Οι περιορισμοί αυτοί δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, στο πλαίσιο του προγράμματος SocialWatt για το Horizon 2020. Σκοπός του προγράμματος είναι η ανάπτυξη, υιοθέτηση, ο έλεγχος και η διάδοση καινοτόμων στρατηγικών με σκοπό την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας.

Στο πλαίσιο του προγράμματος αρχικά προσδιορίστηκαν οι κατηγορίες παρεμβάσεων (Πίνακας 1). Μέσω του εργαλείου DREEM, οι παρεμβάσεις αυτές ποσοτικοποιούνται για την περίπτωση της Κροατίας.

Πίνακας 7 Αποτύπωση περιορισμών για τη μελέτη περίπτωσης της Κροατίας

Περιορισμός	Τιμή
Ελάχιστος στόχος εξοικονόμησης ενέργειας στην περιοχή της Κροατίας	350.000 kWh
Μέγιστος προϋπολογισμός για τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας	250.000 €
Ελάχιστη απαιτούμενη παραγωγή από ΑΠΕ	3.500 kWh

Μέγιστη απαιτούμενη παραγωγή από ΑΠΕ	20.000 KWh
Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων σε κτήρια που έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1980 και υποφέρουν από ενεργειακή φτώχεια (Παλαιά κτήρια)	90%
Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων σε κτήρια που έχουν κατασκευαστεί μετά το 1980 και υποφέρουν από ενεργειακή φτώχεια (Νέα κτήρια)	10%
Επιθυμητή αναλογία εξοικονόμησης ενέργειας παρεμβάσεων σε παλαιά κτήρια σε σύγκριση με νέα κτήρια	$\frac{9}{1}$
Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων μεγάλης κλίμακας στα κτήρια	25%
Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων μικρής κλίμακας στα κτήρια	75%
Ελάχιστος αριθμός παρεμβάσεων βάσει της ανάλυσης των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών στην περιοχή που εξετάζεται	2.000

Οι περιορισμοί αυτοί, μαζί με το ζητούμενο, δηλαδή την ελαχιστοποίηση του κόστους και του ρίσκου των παρεμβάσεων, οδηγούν στην κατάστρωση των αντικειμενικών συναρτήσεων και των περιορισμών τους, ώστε να δημιουργηθεί ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Το πρόβλημα αυτό θα επιλυθεί με την βοήθεια του Augmencon 2. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αντικειμενικές συναρτήσεις και οι περιορισμοί που εισήχθησαν στο πρόγραμμα.

- **Αντικειμενική Συνάρτηση Κόστους (€)**

$$\text{Cost} = \sum_j \{ \text{dif}(j) \sum_{i,j} [\text{cost}(i,j) * \text{INTERV}(i,j)] \}$$

Αυτή είναι η πρώτη αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση. Σκοπός της είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Στην εξίσωση περιλαμβάνεται ο αριθμός των παρεμβάσεων για την κάθε δράση ανά έτος πολλαπλασιαζόμενος επί το κόστος της κάθε δράσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο συντελεστής αναγωγής για το εξεταζόμενο έτος. Συνεπώς, αθροίζονται όλα τα κόστη από τα μέτρα που θα εφαρμοστούν με τελικό σκοπό την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης αυτής με τη βοήθεια της μεθόδου Augmencon 2.

- **Αντικειμενική Συνάρτηση Ρίσκου**

$$\text{Risk} = \frac{\sum_{i,j} [\text{risk}(i,j) * \text{INTERV}(i,j)]}{\sum_i \text{maxcap}(i)}$$

Η δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση είναι η αντικειμενική συνάρτηση του ρίσκου. Σε κάθε δράση εμπεριέχεται διαφορετικό ρίσκο. Το ρίσκο αυτό αποτελείται από τα εξής χαρακτηριστικά:

- Το κόστος της αρχικής επένδυσης
- Τα γραφειοκρατικά προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν για την υλοποίηση της δράσης

- Την αποδοχή της δράσης από τους κατοίκους
- Την πιθανή πολιτική αδράνεια στην υλοποίηση της εκάστοτε δράσης
- Την πολυπλοκότητα της υλοποίησης της δράσης
- Την ακρίβεια των δεδομένων εξοικονόμησης που παρέχει η εκάστοτε δράση
- Τη διάρκεια που χρειάζεται να υλοποιηθεί η κάθε δράση

Το ρίσκο κάθε δράσης μπορεί να πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό των παρεμβάσεων για τη δράση αυτή. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι τιμές του ρίσκου για να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους εκφράζονται ως ποσοστό επί τοις εκατό ή διαφορετικά κυμαίνονται από 0 έως 1. Η κανονικοποίηση αυτή υλοποιείται διαιρώντας το ρίσκο κάθε δράσης με τον μέγιστο αριθμό παρεμβάσεων που δύναται να πραγματοποιηθούν. Μέσω της ελαχιστοποίησης της συνάρτησης, απώτερος σκοπός είναι να επιτευχθεί το μικρότερο ρίσκο επένδυσης σε δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Συμπερασματικά, στο πρόβλημα που δημιουργήθηκε υπάρχουν δύο αντικειμενικές συναρτήσεις προς ελαχιστοποίηση καθιστώντας το ως ένα πρόβλημα διστοχικής βελτιστοποίησης. Παρακάτω περιγράφονται οι περιορισμοί και τα όρια που θέτονται στο πρόβλημα, συνθέτοντας τελικά ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού.

Αναλυτικά οι περιορισμοί που εφαρμόστηκαν είναι οι εξής:

- **Μέγιστες παρεμβάσεις ανά δράση**

$$\sum_j [\text{INTERV}(i, j)] \leq \text{maxcap}(i), \forall i, j$$

Η παραπάνω εξίσωση διασφαλίζει τον μέγιστο αριθμό παρεμβάσεων για την κάθε δράση ανά έτος, βάσει της δυνατότητας που υπάρχει να υλοποιηθούν οι παρεμβάσεις αυτές.

- **Ελάχιστο όριο παρεμβάσεων**

$$\sum_i \sum_j [\text{INTERV}(i, j)] \geq 2.000, \forall i, j$$

Ο περιορισμός αυτός θέτει ένα ελάχιστο όριο συνολικών παρεμβάσεων για όλες τις δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Το ελάχιστο όριο παρεμβάσεων κρίνεται απαραίτητο καθώς το υπολογιστικό εργαλείο αν δεν λάβει υπόψη ένα κατώτατο όριο, θα παρουσιάσει ως βέλτιστες λύσεις την μη εκτέλεση των μέτρων, καθώς με αυτόν τον τρόπο θα επιτευχθεί το χαμηλότερο κόστος και το μικρότερο ρίσκο.

- **Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων σε κτήρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1980 (Παλαιά κτήρια)**

$$0,9 * \{\sum_i \sum_j [\text{INTERV}(i, j)]\} = \sum_{\text{old_rbld}(i)} \sum_j [\text{INTERV}(i, j)], \forall i, j$$

Πρακτικά αυτή η εξίσωση οριοθετεί τις δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας βάσει του έτους κατασκευής των κτηρίων. Σύμφωνα με το περιορισμό αυτό, ο αριθμός των παρεμβάσεων στα κτήρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 οφείλει να αντικατοπτρίζει το 90% των συνολικών παρεμβάσεων.

- **Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων σε κτήρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί μετά από το 1980 (Παλαιά κτήρια)**

$$0,1 * \{\sum_i \sum_j [\text{INTERV}(i, j)]\} = \sum_{\text{new_rbld}(i)} \sum_j [\text{INTERV}(i, j)], \forall i, j$$

Με τον περιορισμό αυτό, οι παρεμβάσεις οι οποίες αφορούν τα κτήρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί μετά το 1980 οφείλουν να αντιπροσωπεύουν το 10% των συνολικών παρεμβάσεων.

- **Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων μεγάλης κλίμακας στα κτήρια**

$$0,25 * \{\sum_i \sum_j [\text{INTERV}(i, j)]\} = \sum_{\text{isc_rbld}(i)} \sum_j [\text{INTERV}(i, j)], \forall i, j$$

Στο συγκεκριμένο περιορισμό, οριοθετείται το ποσοστό των παρεμβάσεων μεγάλης κλίμακας στις κατοικίες. Οι παρεμβάσεις αυτές πρέπει να αποτελούν το 25% των συνολικών παρεμβάσεων.

- **Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων μικρής κλίμακας στα κτήρια**

$$0,75 * \{\sum_i \sum_j [\text{INTERV}(i, j)]\} = \sum_{\text{ssc_rbld}(i)} \sum_j [\text{INTERV}(i, j)], \forall i, j$$

Κατά αντιστοιχία, ζητείται ο αριθμός των παρεμβάσεων μικρής κλίμακας στα κτήρια, να ισούται με το 75% των συνολικών παρεμβάσεων.

- **Στόχος εξοικονόμησης ενέργειας για τα κτήρια με βάση το έτος κατασκευής τους (kWh)**

$$9 * \{\sum_{\text{new_rbld}(i)} \sum_{r \leq j} [\text{ensav7}(i, r, j) * \text{INTERV}(i, r)]\} = \sum_{\text{old_rbld}(i)} \sum_{r \leq j} [\text{ensav7}(i, r, j) * \text{INTERV}(i, r)], \forall i, j, r$$

και

$$\sum_{\text{new_rbld}(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [\text{ensav7}(i, r, j) * \text{INTERV}(i, r)] \leq 0.35 * \{ \sum_i \sum_j \sum_{r \leq j} [\text{ensav7}(i, r, j) * \text{INTERV}(i, r)] \}, \forall i, j, r$$

Αυτοί οι δύο περιορισμοί αποτυπώνουν τους στόχους για την εξοικονόμηση ενέργειας. Ζητείται στην πρώτη εξίσωση το σύνολο εξοικονόμησης ενέργειας για τα μέτρα που υλοποιούνται κάθε έτος σε κτήρια κατασκευασμένα πριν το 1980 να είναι η εννεαπλάσια από την εξοικονόμηση για μέτρα που υλοποιούνται σε κτήρια κατασκευασμένα μετά το 1980.

Επιπλέον εισάγεται και ένας περιορισμός για τα κτήρια τα οποία κατασκευάστηκαν μετά το 1980. Απαιτείται το ποσοστό της εξοικονομούμενης ενέργειας που αφορά παρεμβάσεις σε κτήρια που κατασκευάστηκαν μετά το 1980, να μην υπερβαίνει το 35% της συνολικής εξοικονομούμενης ενέργειας.

- **Συνολικός προϋπολογισμός επένδυσης (€)**

$$\sum_i \text{cost}(i, j) * \text{INTERV}(i, j) \leq 250.000 \forall i, j$$

Ο περιορισμός αυτός περιγράφει τον συνολικό προϋπολογισμό ανά έτος εξέτασης, ο οποίος δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 250.000 Ευρώ.

- **Στόχος επένδυσης σε κατασκευή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας (kWh)**

$$\sum_{i=\text{PV}(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [\text{res_el}(i, r, j) * \text{INTERV}(i, r)] \leq 3.500 \forall i, j, r \text{ και}$$

$$\sum_{i=\text{PV}(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [\text{res_el}(i, r, j) * \text{INTERV}(i, r)] \geq 20.000 \forall i, j, r$$

Οι παραπάνω εξισώσεις θέτουν τα άνω κάτω όρια της παραγόμενης ισχύος από Φωτοβολταϊκά σε 3.500 και 20.000 kWh. Με τον τρόπο αυτό, η εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών συστημάτων καθίσταται σε κάθε ανάλυση του υπολογιστικού εργαλείου ως απαραίτητη λύση για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας.

- **Συνολική επιθυμητή εξοικονόμηση ενέργειας**

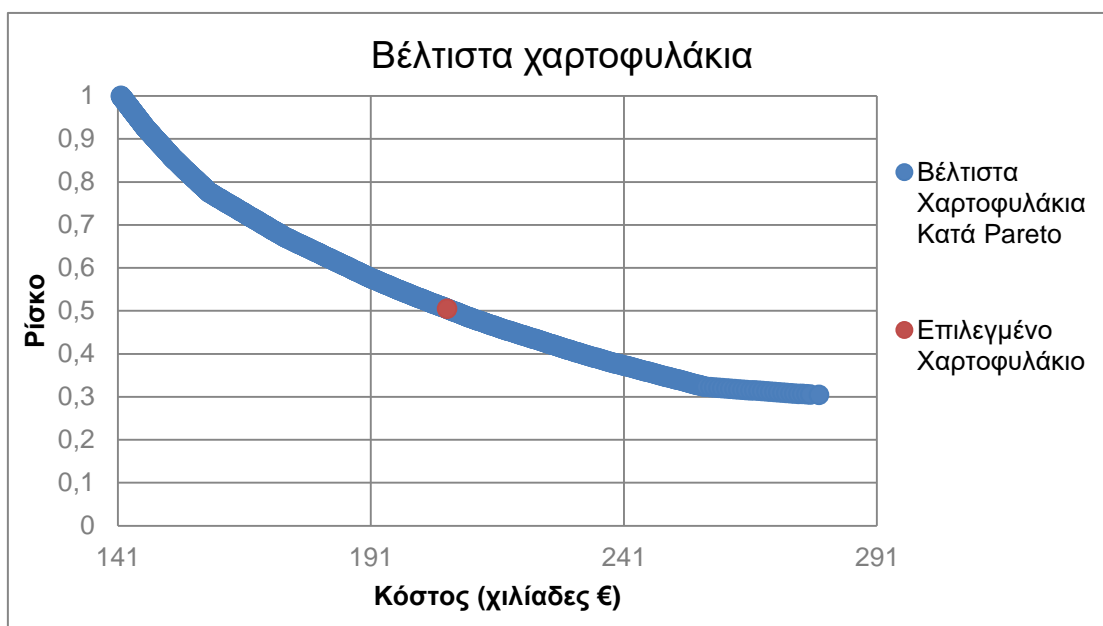
$$\sum_{i=\text{il}(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [\text{ensav7}(i, r, j) * \text{INTERV}(i, r)] \geq 350.000 \text{ kWh}$$

Τέλος στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, τέθηκε ο συγκεκριμένος περιορισμός που αφορά την συνολική εξοικονόμηση ενέργειας. Συγκεκριμένα, από τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας αφαιρείται η εγκατάσταση των Φωτοβολταϊκών, ενώ η διαφορά αυτή πρέπει να ισούται τουλάχιστον με 350.000 kWh.

5.2.3 Αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης

Το εργαλείο με βάση τα στοιχεία που αναλύθηκαν και τους περιορισμούς που εισήχθησαν, εξήγαγε 1001 βέλτιστα χαρτοφυλάκια (Βέλτιστες λύσεις κατά Pareto). Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι λύσεις αυτές:

Διάγραμμα 1 Βέλτιστα Χαρτοφυλάκια (Βέλτιστες λύσεις κατά Pareto) για την μελέτη περίπτωσης της Κροατίας



Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνονται όλα τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια δράσεων σε σχέση με το συνολικό κόστος τους (Οριζόντιος άξονας) και το αντίστοιχο ρίσκο τους (Κατακόρυφος άξονας). Αξίζει να σημειωθεί ότι το διάγραμμα αποτελείται από διακριτές τιμές και όχι συνεχείς. Η πυκνότητα όμως των αποτελεσμάτων αποτυπώνει τα χαρτοφυλάκια ως συνεχείς τιμές.

Αρχικά στο διάγραμμα φαίνεται η σχέση μεταξύ του κόστους επένδυσης της παρέμβασης και του ρίσκου. Όσο μεγαλύτερο είναι το ρίσκο, τόσο μικρότερο είναι και το κόστος επένδυσης, και αντίστοιχα όσο περισσότερα χρήματα επενδυθούν σε πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας, τόσο περισσότερο μειώνεται το ρίσκο της επένδυσης. Το ζητούμενο είναι να βρεθεί ένα αντιπροσωπευτικό σημείο όπου η σχέση μεταξύ του κόστους και του ρίσκου για την κάθε επένδυση να παρουσιάζει μία εύρωστη λύση.

Ως αποτέλεσμα, στο παραπάνω διάγραμμα σημειώνεται το χαρτοφυλάκιο το οποίο επιλέχθηκε μεταξύ όλων αυτών, ώστε να αποτυπωθεί η πιο εύρωστη λύση από πλευράς τόσο ρίσκου όσο και κόστους. Κριτήριο σε αυτήν την επιλογή ήταν το

χαρτοφυλάκιο εκείνο το οποίο παρουσίαζε πληθώρα παρεμβάσεων, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι σε περαιτέρω μείωση του ρίσκου, το κόστος θα παρουσίαζε ακόμα μεγαλύτερη άνοδο.

Το χαρτοφυλάκιο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας που επιλέχθηκε έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Συνολικό κόστος επένδυσης: 205.943,56 €

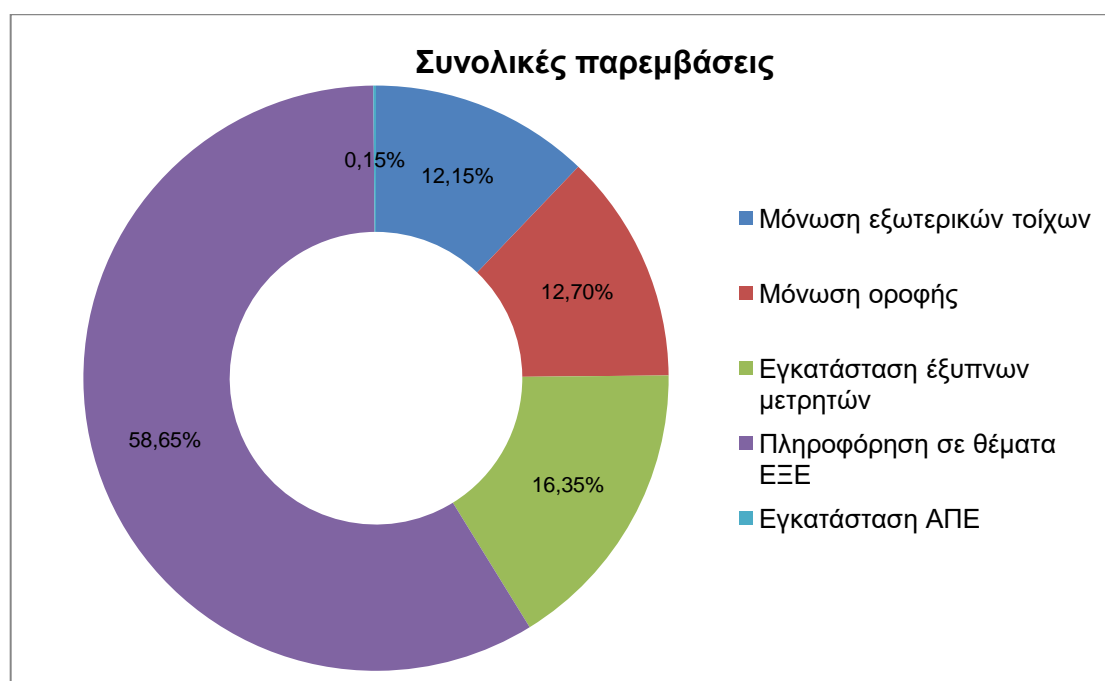
Συνολικό ρίσκο επένδυσης: 50,41%

Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή των παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας για το χαρτοφυλάκιο αυτό: Συνολικά το εργαλείο επέλεξε προς υλοποίηση πέντε από τις εννιά προτεινόμενες δράσεις:

Πίνακας 8 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας για τη μελέτη περίπτωσης

Δράση	Παρεμβάσεις
Μόνωση εξωτερικών τοίχων	243
Μόνωση οροφής	254
Εγκατάσταση έξυπνων μετρητών	327
Πληροφόρηση σε θέματα ΕΞΕ	1173
Εγκατάσταση ΑΠΕ	3
Σύνολο	2000

Διάγραμμα 2 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας για τη μελέτη περίπτωσης



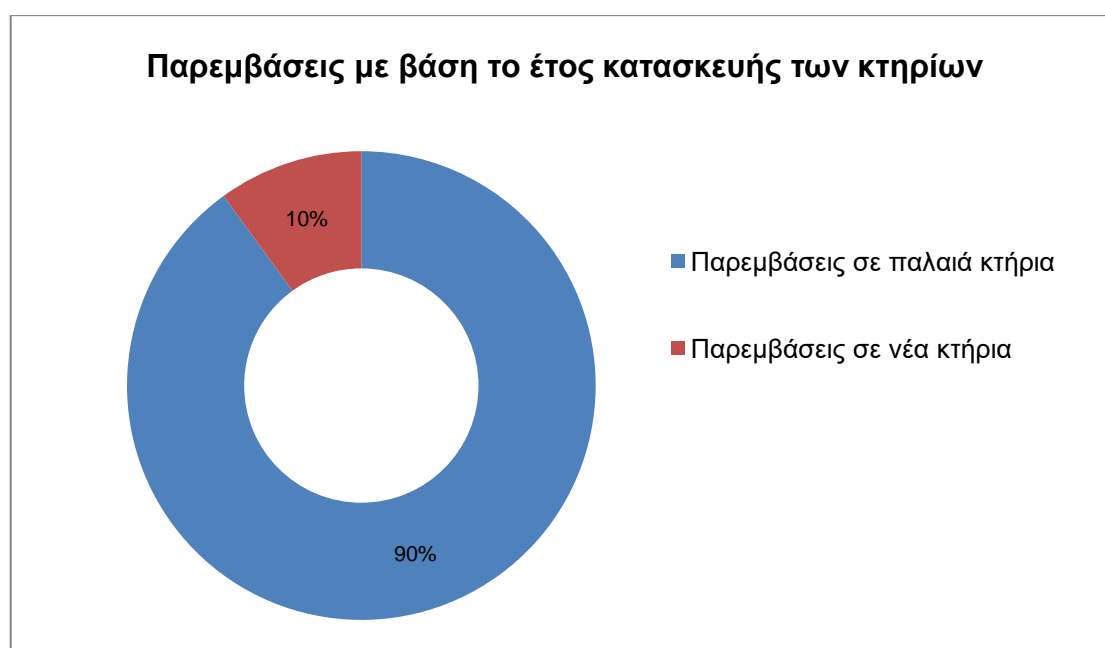
Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παρεμβάσεων το καταλαμβάνει η παροχή πληροφόρησης σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό είναι ένα λογικό συμπέρασμα, καθώς αποτελεί ένα μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας μικρής κλίμακας με σχετικά μικρό κόστος και μικρό ρίσκο. Ακολουθεί η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών, όπου αποτελεί και αυτό μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας μικρής κλίμακας. Στη συνέχεια εμφανίζονται ως αποδοτικές παρεμβάσεις η μόνωση της οροφής και των εξωτερικών τοίχων, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό καταλαμβάνει και η εγκατάσταση ΑΠΕ, όπου είναι και προαπαιτούμενο του προβλήματος όπως εκείνο αποτυπώθηκε.

Όσον αφορά τον διαχωρισμό των δράσεων σε παρεμβάσεις σε παλαιά και νέα κτήρια σύμφωνα με τα αποτελέσματα προέκυψαν τα εξής:

Πίνακας 9 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε παλαιά και νέα κτήρια

Δράση	Παρεμβάσεις
Παλαιά κτήρια - Μόνωση εξωτερικών τοίχων	243
Νέα κτήρια - Μόνωση οροφής	227
Νέα κτήρια - Μόνωση οροφής	27
Παλαιά κτήρια - Εγκατάσταση έξυπνων μετρητών	327
Παλαιά κτήρια - Πληροφόρηση σε θέματα ΕΞΕ	1000
Νέα κτήρια - Πληροφόρηση σε θέματα ΕΞΕ	173
Παλαιά κτήρια - Εγκατάσταση ΑΠΕ	3
Σύνολο	2000

Διάγραμμα 3 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας με βάση το έτος κατασκευής των κτηρίων



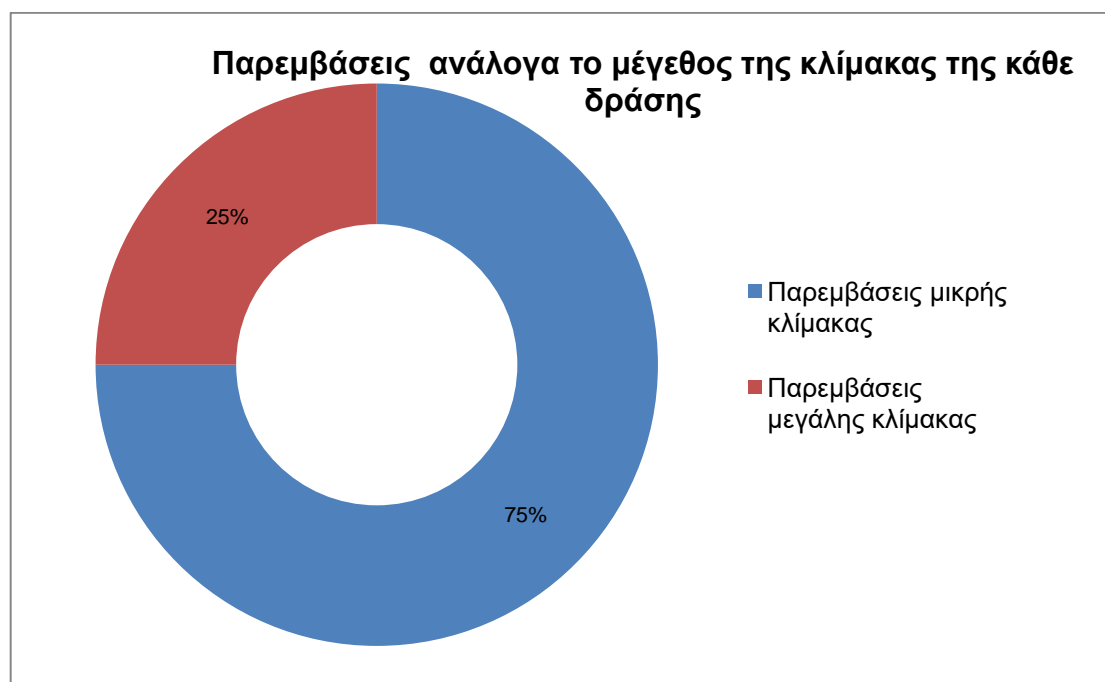
Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η ικανοποίηση του περιορισμού που ζητήθηκε για την μελέτη περίπτωσης. Το 90% των παρεμβάσεων αφορά τα κτήρια τα οποία κατασκευάστηκαν πριν το 1980, ενώ το 10% αφορά τα κτήρια τα οποία κατασκευάστηκαν μετά το 1980.

Αντίστοιχα στο διάγραμμα 4, φαίνεται ο διαχωρισμός των παρεμβάσεων σε παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας και παρεμβάσεις μικρής κλίμακας. Στον παρακάτω πίνακα διακρίνεται επίσης ποιες από τις παρεμβάσεις θεωρούνται μικρής κλίμακας και αντίστοιχα ποιες θεωρούνται μεγάλης κλίμακας:

Πίνακας 10 Διαχωρισμός δράσεων σε δράσεις μικρής και μεγάλης κλίμακας

Περιγραφή	Δράση
Παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας	<ol style="list-style-type: none">1. Μόνωση εξωτερικών τοίχων2. Μόνωση οροφής3. Διπλοί Υαλοπίνακες στα παράθυρα4. Εγκατάσταση Μικρών μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Παρεμβάσεις μικρής κλίμακας	<ol style="list-style-type: none">1. Αντικατάσταση ηλεκτρικών συσκευών με αποδοτικότερες2. Εγκατάσταση Έξυπνων Μετρητών3. Πληροφόρηση σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας4. Αντικατάσταση/Εγκατάσταση κλιματιστικού υψηλής αποδοτικής κλάσης5. Αντικατάσταση λεβήτων θέρμανσης πετρελαίου με λέβητες Φυσικού Αερίου

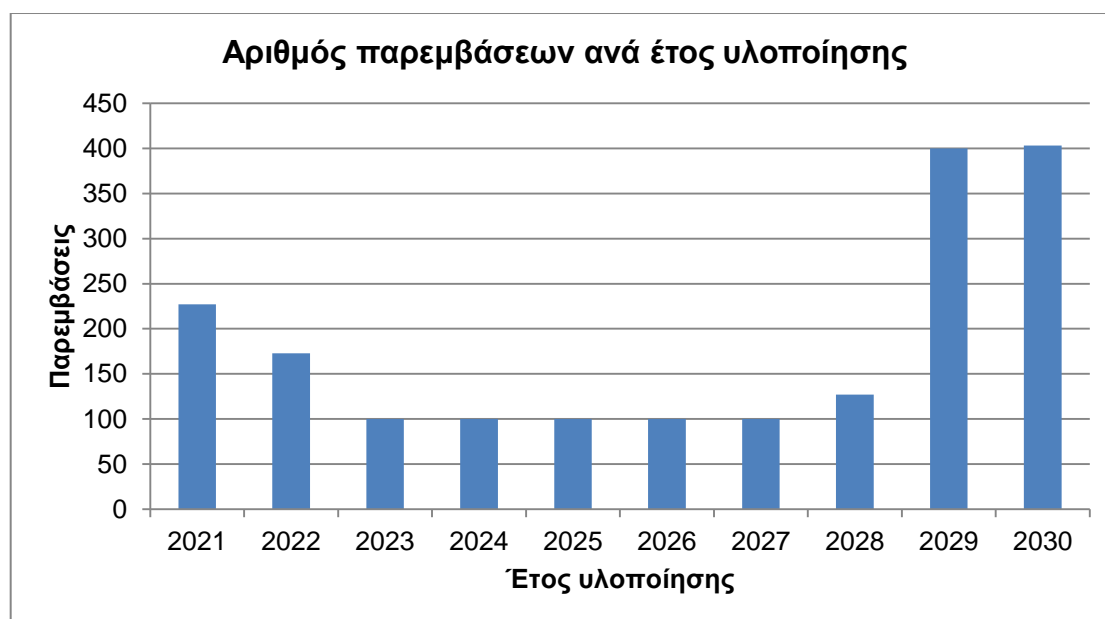
Διάγραμμα 4 Σύνολο δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας με βάση το μέγεθος της κλίμακας των παρεμβάσεων



Το παραπάνω διάγραμμα υποδεικνύει την ικανοποίηση άλλου ενός αρχικού περιορισμού. Αυτός ο περιορισμός είναι ότι το 75% των παρεμβάσεων πρέπει να είναι μικρής κλίμακας, ενώ το 25% των παρεμβάσεων μεγάλης κλίμακας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η κατανομή της υλοποίησης των παρεμβάσεων ανά έτος. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι παρεμβάσεις δύνανται να υλοποιηθούν στην περίοδο 2021-2030. Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή των παρεμβάσεων ανά το έτος υλοποίησης:

Διάγραμμα 5 Κατανομή των παρεμβάσεων ανά έτος υλοποίησης



Σύμφωνα με το διάγραμμα, παρατηρούμε ότι οι περισσότερες παρεμβάσεις υλοποιούνται στο τέλος του προτεινόμενου χρονοδιαγράμματος. Αυτό συμβαίνει ως αποτέλεσμα του επιτοκίου αναγωγής που εισάγεται με το πέρας του κάθε έτους. Μία επένδυση η οποία μπορεί να υλοποιηθεί το 2030, έχει μικρότερο κόστος από την ίδια επένδυση αν εκείνη υλοποιηθεί το 2021. Στη μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, δεν υπάρχει περιορισμός του έτους υλοποίησης του κάθε μέτρου. Ωστόσο είναι ένας παράγοντας που είναι σημαντικό να εξεταστεί για μελλοντικές μελέτες περίπτωσης.

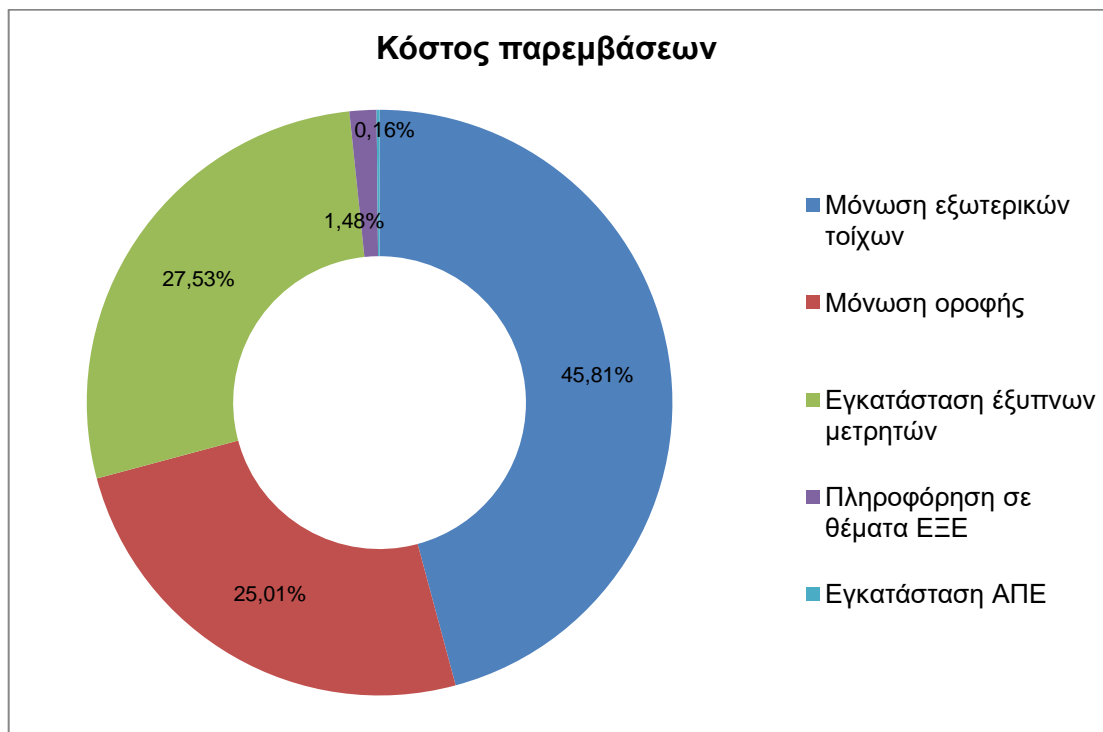
Όσον αφορά το κόστος υλοποίησης των δράσεων εκείνο κατανέμεται ως εξής:

Πίνακας 11 Κόστος υλοποίησης της κάθε δράσης

Δράση	Κόστος (€)
Μόνωση εξωτερικών τοίχων	94.347,79
Μόνωση οροφής	51.507,45
Εγκατάσταση έξυπνων μετρητών	56.687,73
Πληροφόρηση σε θέματα ΕΞΕ	3.056,75

Εγκατάσταση ΑΠΕ	334,84
Σύνολο	205.934,56

Διάγραμμα 6 Κατανομή κόστους ανά παρέμβαση



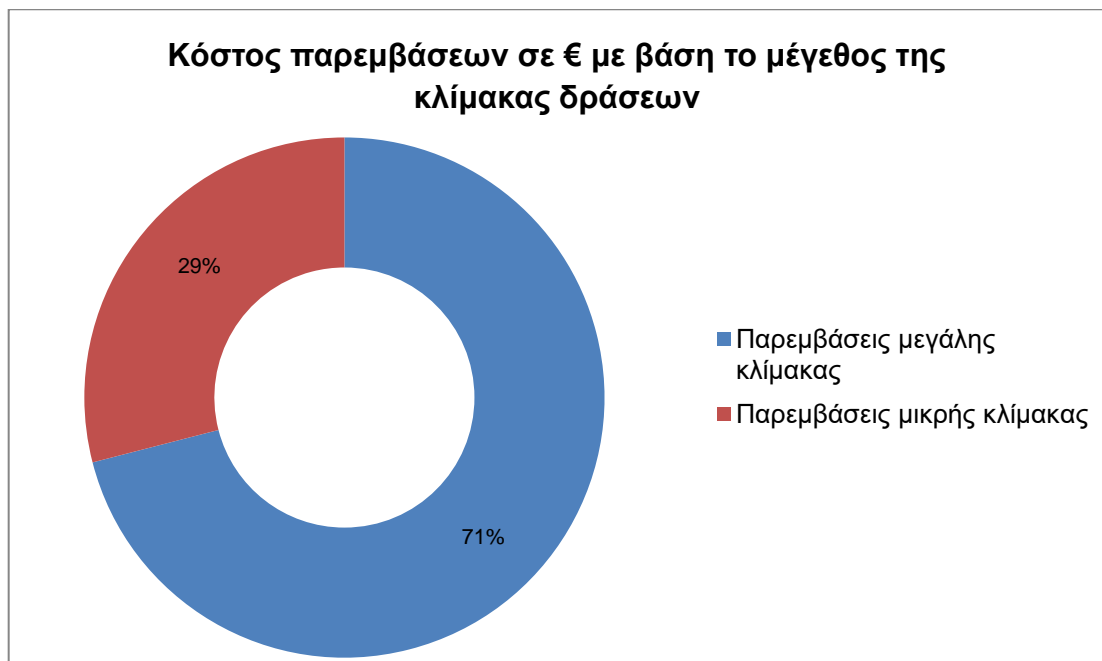
Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, η αποτύπωση του κόστους των παρεμβάσεων είναι διαφορετική από την αντίστοιχη της ποσότητας των παρεμβάσεων ανά δράση. Συγκεκριμένα, ενώ το ποσοστό των παρεμβάσεων της πληροφόρησης των πολιτών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας ανέρχεται κοντά στο 59%, καταλαμβάνει μόλις το 1,48% του συνολικού κόστους. Αυτό είναι ένα λογικό συμπέρασμα, καθώς οι παρεμβάσεις παροχής πληροφόρησης, έχουν πολύ μικρότερο κόστος από άλλες παρεμβάσεις.

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κόστους το καταλαμβάνει η μόνωση των εξωτερικών τοίχων, και στη συνέχεια ακολουθούν η μόνωση των οροφών και η εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών. Αυτό συμβαίνει επειδή οι παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας έχουν πολύ μεγαλύτερο κόστος από ότι οι παρεμβάσεις μικρότερης κλίμακας. Στην ανάλυσή που πραγματοποιήθηκε, ζητήθηκε το 25% των παρεμβάσεων να είναι μεγάλης κλίμακας. Αυτό μεταφράστηκε στο αντίστοιχο κόστος.

Για να γίνει ακόμα περισσότερο αντιληπτή η διαφορά κόστους μεταξύ των παρεμβάσεων μεγάλης κλίμακας και της μικρότερης κλίμακας, παρουσιάζεται στο

διάγραμμα 7 η κατανομή του κόστους ανάλογα το μέγεθος της κλίμακας των παρεμβάσεων:

Διάγραμμα 7 Κατανομή κόστους ανάλογα του μεγέθους της κλίμακας των παρεμβάσεων

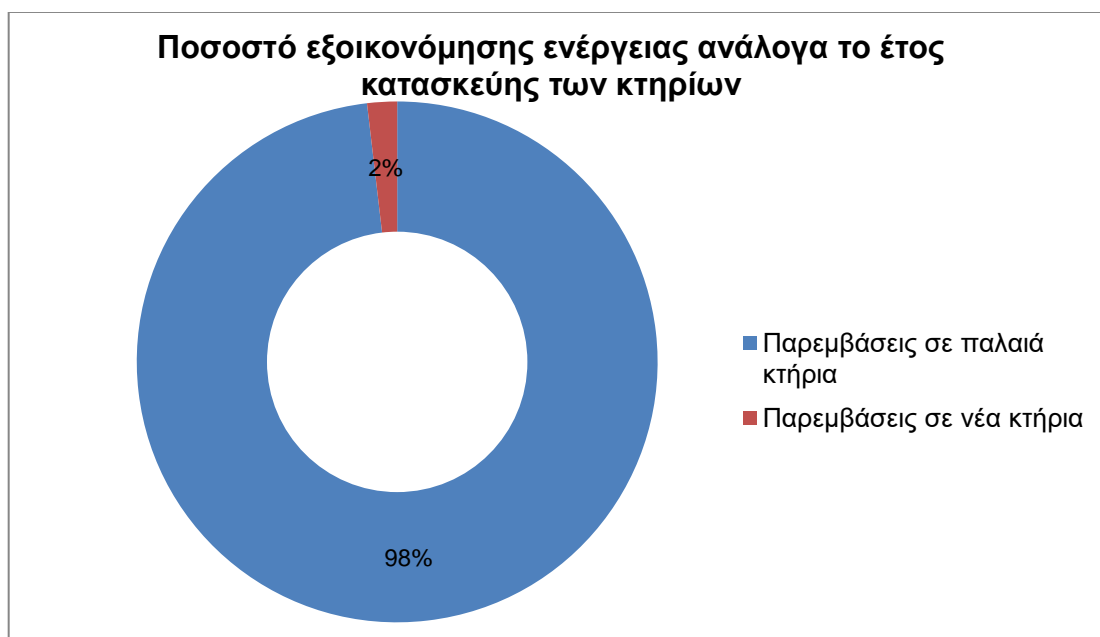


Στο διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι ενώ το ποσοστό των παρεμβάσεων μικρής κλίμακας κυμαίνεται στο 25% των συνολικών παρεμβάσεων, το κόστος υλοποίησής τους ανέρχεται στο 29% του συνολικού κόστους. Αντίστοιχα το 25% των παρεμβάσεων που αντιστοιχεί σε παρεμβάσεις μικρής κλίμακας, αντιπροσωπεύει το 71% του συνολικού κόστους του χαρτοφυλακίου.

Επιπλέον αξίζει να διερευνηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την υλοποίηση των συγκεκριμένων δράσεων. Συγκεκριμένα παρατηρείται εξοικονόμηση ενέργειας ύψους **4.153 MWh**. Επιπρόσθετα παρατηρείται παραγωγή από ΑΠΕ **19.950 kWh**. Αυτά τα αποτελέσματα ικανοποιούν κατά πολύ τους περιορισμούς που ζητήθηκαν αρχικά. Ουσιαστικά το εργαλείο κατάφερε να πετύχει αρκετά υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας, εκτελώντας τις ελάχιστες δυνατές παρεμβάσεις ώστε να επιτύχει ελαχιστοποίηση του κόστους και του ρίσκου.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται συνολικά (αφού θεωρήσουμε ότι η παραγωγή από ΑΠΕ θεωρείται εξοικονόμηση ενέργειας που θα προμηθευόταν ένα νοικοκυριό) ανέρχεται στις **4.173 MWh**. Ενδιαφέρον παρουσιάζει πώς κατανέμεται αυτή η εξοικονόμηση ενέργειας ανάλογα με το έτος κατασκευής των κτηρίων.

Διάγραμμα 8 Κατανομή επιτευχθείσας εξοικονόμησης ενέργειας ανάλογα το έτος κατασκευής των κτηρίων



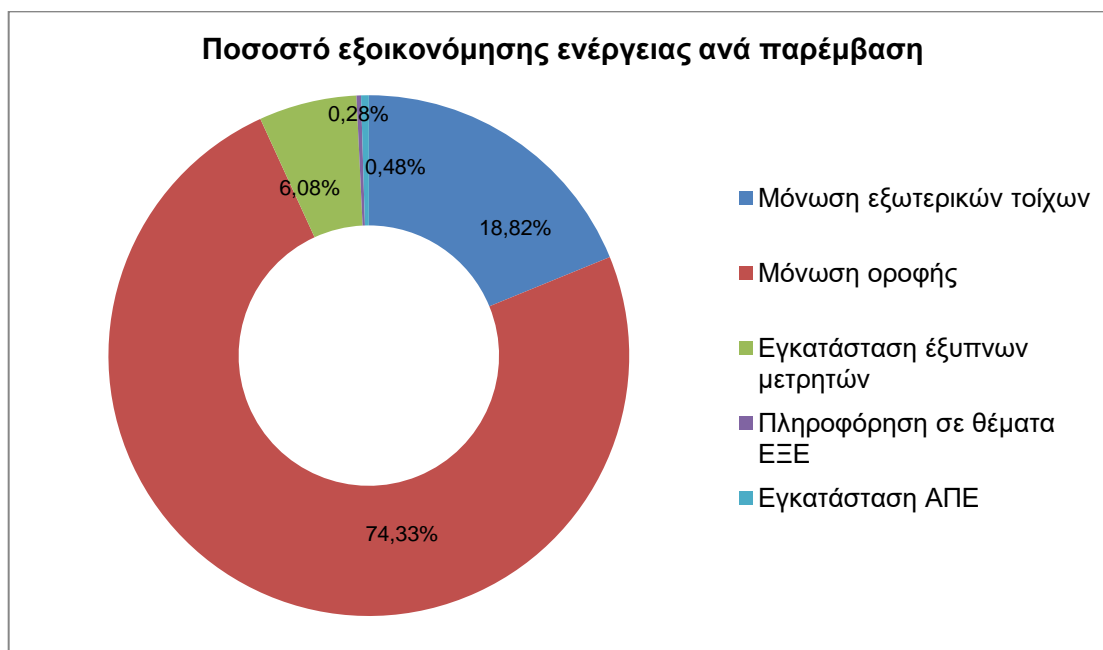
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 8, το πιο μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας επιτυγχάνεται στα κτήρια τα οποία κατασκευάστηκαν πριν το 1980. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει ζητηθεί στην διατύπωση του προβλήματος οι παρεμβάσεις σε παλαιά κτήρια να αποτελούν το 90% των συνολικών παρεμβάσεων. Οι παρεμβάσεις αυτές μπορεί να είναι και μεγάλης και μικρής κλίμακας. Ως αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και στον πίνακα 12, η συντριπτική πλειοψηφία της εξοικονόμησης ενέργειας επιτυγχάνεται σε παρεμβάσεις στα κτήρια που είναι κατασκευασμένα πριν το 1980.

Πίνακας 12 Εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την υλοποίηση κάθε δράσης

Δράση	Εξοικονόμηση ενέργειας (KWh)
Παλαιά κτήρια - Μόνωση εξωτερικών τοίχων	785.668
Νέα κτήρια - Μόνωση οροφής	3.027.045
Νέα κτήρια - Μόνωση οροφής	75.519
Παλαιά κτήρια - Εγκατάσταση έξυπνων μετρητών	253.848
Παλαιά κτήρια - Πληροφόρηση σε θέματα ΕΞΕ	10.000
Νέα κτήρια - Πληροφόρηση σε θέματα ΕΞΕ	1.730
Παλαιά κτήρια - Εγκατάσταση ΑΠΕ	19.950
Σύνολο	4.173.760

Επιπλέον παρατηρώντας τον πίνακα 11 αξίζει να αναλυθεί και η κατανομή της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται ανά δράση. Στο διάγραμμα 9, καταγράφεται το ποσοστό που καταλαμβάνει η κάθε δράση στη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας.

Διάγραμμα 9 Κατανομή επιτευχθείσας εξοικονόμησης ανά παρέμβαση



Από το παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται ότι η μόνωση της οροφής αποτελεί ένα μέτρο το οποίο προσφέρει πολύ μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τον αριθμό των παρεμβάσεων. Ενώ αποτελεί μόλις το 12,70% των παρεμβάσεων, προσφέρει εξοικονόμηση της τάξεως του 74,33%. Αντίστοιχα η μόνωση των εξωτερικών τοίχων, που αποτελεί το 12,15% των παρεμβάσεων, επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας 18,62%. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει η παροχή πληροφόρησης σε θέματα ΕΞΕ, η οποία αντιστοιχεί στο 0,28% της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας. Το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο, καθώς ενώ η παρέμβαση έχει μικρό κόστος, δεν αποτελεί δράση μεγάλης κλίμακας και εις βάθος παρέμβασης σε μία κατοικία. Παρόλαυτα αποτελεί το 58,65% των παρεμβάσεων (1173 από τις 2000 συνολικά), καθώς στους περιορισμούς ζητείται οι παρεμβάσεις μικρής κλίμακας να αντιπροσωπεύουν το 75% των παρεμβάσεων, και από πλευράς κόστους μία τέτοια παρέμβαση είναι αποδοτική.

Τα παραπάνω συνοψίζονται και στο διάγραμμα 10, όπου φαίνεται η κατανομή της εξοικονόμησης ενέργειας ανάλογα την κλίμακα των παρεμβάσεων. Όπως βλέπουμε η συντριπτική πλειοψηφία επιτυγχάνεται από παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας, ενώ οι παρεμβάσεις μικρής κλίμακας παρόλο που αποτελούν την πλειοψηφία των συνολικών παρεμβάσεων (75%), προσφέρουν μικρότερο ποσοστό.

Διάγραμμα 10 Κατανομή επιτευχθείσας εξοικονόμησης ανά κλίμακα των παρεμβάσεων



6. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει χαράξει κάποια πολιτική για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας. Από την αναζήτηση στη βιβλιογραφία κατέστη σαφές, ότι τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας μπορούν να καταπολεμήσουν αποτελεσματικά την ενεργειακή φτώχεια. Ως αποτέλεσμα αυτού, στην παρούσα διπλωματική αναπτύχθηκε ένα εργαλείο, όπου μπορεί να παραμετροποιηθεί ανάλογα την περιοχή εξέτασης, και τα ζητούμενα της, προσφέροντας βέλτιστες λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας από πλευράς κόστους και ρίσκου.

Το εργαλείο έλαβε υπόψη του κάποιες δράσεις και κάποιους περιορισμούς για τις δράσεις αυτές. Αυτές οι δράσεις μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας, συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας. Συγκεκριμένα το εργαλείο εκτελέστηκε για μία μελέτη περίπτωσης στην Κροατία. Εισήχθησαν κάποιοι περιορισμοί στις παρεμβάσεις, και το εργαλείο επιτυχημένα ικανοποίησε αυτούς τους περιορισμούς προσφέροντας τις βέλτιστες λύσεις από πλευράς συνολικού κόστους και ρίσκου.

Όπως αναφέρθηκε, το εργαλείο χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη περίπτωσης της Κροατίας. Αρχικά αυτό που μπορεί κανείς να συμπεράνει είναι ότι οι παρόλο που ζητήθηκε από το πρόβλημα οι περισσότερες παρεμβάσεις να αφορούν δράσεις μικρής κλίμακας, το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω των δράσεων μεγάλης κλίμακας. Αντίθετα οι δράσεις μικρής κλίμακας έχουν πολύ χαμηλό κόστος. Επιπλέον, το εργαλείο κατάφερε να εστιάσει στις κατοικίες οι οποίες έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1980. Ως αποτέλεσμα ένας σωστός συνδυασμός παρεμβάσεων μικρής και μεγάλης κλίμακας, μπορεί να επιφέρει αρκετά μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας με αντίστοιχο χαμηλό κόστος.

Το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους παρόχους ενέργειας, αλλά και από φορείς οι οποίοι έχουν ως σκοπό την υλοποίηση επενδύσεων για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Ο οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να εισάγει τις παραμέτρους που επιθυμεί (μέγιστος αριθμός δράσεων, κατανομή δράσεων ανάλογα την κλίμακα τους κτλ), και το εργαλείο να εξάγει τα κατάλληλα χαρτοφυλάκια με το ελάχιστο κόστος και ρίσκο.

Όσον αφορά τις προτάσεις για μελλοντική έρευνα, συνίσταται η εισαγωγή του εργαλείου αυτού σε μια πλατφόρμα, όπου ο χρήστης θα μπορεί να εισάγει τους περιορισμούς που επιθυμεί και το εργαλείο θα εξάγει τα κατάλληλα χαρτοφυλάκια. Επιπλέον ως βελτίωση του εργαλείου μπορούν επίσης να παραμετροποιηθούν

επιπρόσθετοι περιορισμοί, ώστε να εξειδικευτούν ακόμα περισσότερο οι δράσεις. Οι περιορισμοί που μπορούν να εισαχθούν είναι ενδεικτικά οι εξής:

- Ελάχιστες παρεμβάσεις ανά έτος
- Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων ανάλογα την ηλικία των κατοίκων του εκάστοτε νοικοκυριού και άλλων ειδικών κοινωνικών συνθηκών διαβίωσης (μονογονεϊκές οικογένειες, ηλικία κατοίκων)
- Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων μεταξύ διαφορετικών περιοχών εξέτασης
- Επιθυμητό ποσοστό παρεμβάσεων ανάλογα με το μέγεθος της κατοικίας
- Εισαγωγή επιπρόσθετων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (αντικατάσταση λαμπτήρων με αποδοτικότερους, κατασκευή ενεργειακών τζακιών)
- Εισαγωγή ποσοστού συμμετοχής στο κόστος και βελτιστοποίηση και του ποσοστού (πάροχοι, τοπική αυτοδιοίκηση, ιδιώτες)

Βιβλιογραφία

- [1] S. Bouzarovski, *Energy Poverty: (Dis)Assembling Europe's Infrastructural Divide*. 2017.
- [2] M. González-Eguino, "Energy poverty: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015.
- [3] D. Bartz and E. Stockmar, "Energy Atlas 2018 Facts and figures about renewables in Europe," 2018.
- [4] H. Thomson, C. Snell, and S. Bouzarovski, "Health, well-being and energy poverty in Europe: A comparative study of 32 European countries," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2017.
- [5] K. Rademaekers *et al.*, "Selecting Indicators to Measure Energy Poverty," 2016.
- [6] S. Pye, A. Dobbins, C. Baffert, J. Brajković, P. Deane, and R. De Miglio, "Addressing Energy Poverty and Vulnerable Consumers in the Energy Sector Across the EU," *L'Europe en Form.*, 2015.
- [7] D. G. on A. Energy, "A Strategy for Affordable Energy in Ireland."
- [8] S. Meyer, H. Laurence, D. Bart, M. Lucie, and M. Kevin, "Capturing the multifaceted nature of energy poverty: Lessons from Belgium," *Energy Res. Soc. Sci.*, 2018.
- [9] B. C. H. R.M. Isherwood, "Household Expenditure On fuel: Distributional Aspects," 1979.
- [10] H. Thomson and S. Bouzarovski, "Addressing Energy Poverty in the European Union: State of Play and Action," *Eur. Comm.*, 2018.
- [11] B. Legendre and O. Ricci, "Measuring fuel poverty in France: Which households are the most fuel vulnerable?," *Energy Econ.*, 2014.
- [12] J. Hills, "Getting the measure of fuel poverty: Final Report of the Fuel Poverty Review," *Case Rep.* 72, 2012.
- [13] S. T. Herrero, "Energy poverty indicators: A critical review of methods," *Indoor*

- Built Environ.*, 2017.
- [14] S. Scarpellini, P. Rivera-Torres, I. Suárez-Perales, and A. Aranda-Usón, “Analysis of energy poverty intensity from the perspective of the regional administration: Empirical evidence from households in southern Europe,” *Energy Policy*, 2015.
- [15] B. Mirza and A. Szirmai, “Towards a new measurement of energy poverty: A cross-community analysis of rural Pakistan,” 2010.
- [16] E. Ntaintasis, S. Mirasgedis, and C. Tourkolias, “Comparing different methodological approaches for measuring energy poverty: Evidence from a survey in the region of Attika, Greece,” *Energy Policy*, 2019.
- [17] J. P. Gouveia, P. Palma, and S. G. Simoes, “Energy poverty vulnerability index: A multidimensional tool to identify hotspots for local action,” *Energy Reports*, 2019.
- [18] A. Berry, “Measuring energy poverty: uncovering the multiple dimensions of energy poverty,” *Work. Pap. hal-01896838, HAL*, 2018.
- [19] M. G. L Oliveras, A Peralta, L Palència, “Energy poverty and health: Trends in the European Union before and during the economic crisis, 2007–2016,” *Health Place*, 2020.
- [20] D. B. Hess and T. Tammaru, “Modernist housing estates in the baltic countries: Formation, current challenges and future prospects,” in *Urban Book Series*, 2019.
- [21] S. Petrova, M. Gentile, S. Bouzarovski, and I. H. Mäkinen, “Perceptions of thermal comfort and housing quality: Exploring the microgeographies of energy poverty in Stakhanov, Ukraine,” *Environ. Plan. A*, 2013.
- [22] H. Doukas and V. Marinakis, “Energy poverty alleviation: effective policies, best practices and innovative schemes,” *Energy Sources, Part B Econ. Planning, Policy*, vol. 15, no. 2, pp. 45–48, Feb. 2020.
- [23] A. Zsófia, Bajomi, and Á. Gosztonyi, “Good practices to end energy poverty,” 2016.
- [24] R. and E. Committee on Industry, “Energy Poverty Workshop,” 2017.

- [25] I. Kyprianou, D. K. Serghides, A. Varo, J. P. Gouveia, D. Kopeva, and L. Murauskaite, “Energy poverty policies and measures in 5 EU countries: A comparative study,” *Energy Build.*, 2019.
- [26] J. Aranda, I. Zabalza, A. Conserva, and G. Millán, “Analysis of energy efficiency measures and retrofitting solutions for social housing buildings in Spain as a way to mitigate energy poverty,” *Sustain.*, 2017.
- [27] H. Markowitz, “Portfolio Selection Harry Markowitz,” *J. Finance*, 1952.
- [28] M. Arnesano, A. P. Carlucci, A. Corallo, G. D’Oria, and F. Pasimeni, “Extension of portfolio theory application to the problem of energy planning,” *SEEP2010 Conf. Proceedings, 29 June-2 July, Bari, Italy*, 2010.
- [29] G. Allan, I. Eromenko, P. McGregor, and K. Swales, “The regional electricity generation mix in Scotland: A portfolio selection approach incorporating marine technologies,” *Energy Policy*, 2011.
- [30] S. Awerbuch, A. Stirling, J. C. Jansen, and L. W. M. Beurskens, “Full-Spectrum Portfolio and Diversity Analysis of Energy Technologies,” in *Managing Enterprise Risk: What the Electric Industry Experience Implies for Contemporary Business*, 2006.
- [31] E. Baker and S. Solak, “Climate change and optimal energy technology R&D policy,” *Eur. J. Oper. Res.*, 2011.
- [32] G. Pugh *et al.*, “Energy R&D portfolio analysis based on climate change mitigation,” *Energy Econ.*, 2011.
- [33] K. Romejko and M. Nakano, “Portfolio analysis of alternative fuel vehicles considering technological advancement, energy security and policy,” *J. Clean. Prod.*, 2017.
- [34] K. A. Crowe and W. H. Parker, “Using portfolio theory to guide reforestation and restoration under climate change scenarios,” *Clim. Change*, 2008.
- [35] H. Mitter, C. Heumesser, and E. Schmid, “Spatial modeling of robust crop production portfolios to assess agricultural vulnerability and adaptation to climate change,” *Land use policy*, 2015.
- [36] R. Mendelsohn, “The impacts of climate change on Africa,” in *Human-Induced Climate Change: An Interdisciplinary Assessment*, 2007.

- [37] O. Marinoni, P. Adkins, and S. Hajkowicz, "Water planning in a changing climate: Joint application of cost utility analysis and modern portfolio theory," *Environ. Model. Softw.*, 2011.
- [38] S. Hua *et al.*, "How to manage future groundwater resource of China under climate change and urbanization: An optimal stage investment design from modern portfolio theory," *Water Res.*, 2015.
- [39] C. P. Simion, C. Nicolescu, and M. Cioc, "Selection of energy efficiency projects for dwelling stock to achieve optimal project portfolio at the regional level by applying LCC. An analysis based on three scenarios in the south-muntenia region of Romania," *Energies*, 2018.
- [40] M. K. Marilyn A. Brown, Dan York, "Reduced Emissions and Lower Costs: Combining Renewable Energy and Energy Efficiency into a Sustainable Energy Portfolio Standard," *Electr. J.*
- [41] G. Westner and R. Madlener, "The benefit of regional diversification of cogeneration investments in Europe: A mean-variance portfolio analysis," *Energy Policy*, 2010.
- [42] M. Shakouri and H. W. Lee, "Mean-variance portfolio analysis data for optimizing community-based photovoltaic investment," *Data Br.*, 2016.
- [43] CIRCE, "Analysis of energy efficiency measures," 2015.
- [44] J. Rosenow, P. Guertler, S. Sorrell, and N. Eyre, "The remaining potential for energy savings in UK households," *Energy Policy*, 2018.
- [45] W. Poortinga, L. Steg, C. Vlek, and G. Wiersma, "Household preferences for energy-saving measures: A conjoint analysis," *J. Econ. Psychol.*, 2003.
- [46] G. Mavrotas, "Effective implementation of the ϵ -constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems," *Appl. Math. Comput.*, 2009.
- [47] G. Mavrotas and K. Florios, "An improved version of the augmented s -constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems," *Appl. Math. Comput.*, 2013.