



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

# Ανάπτυξη Υπολογιστικού Εργαλείου για Βελτιστοποίηση Χαρτοφυλακίου Ενεργειακών Παρεμβάσεων με Σκοπό την Καταπολέμηση της Ενεργειακής Φτώχειας

Διπλωματική Εργασία

Γκλαντζούνης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας,  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2020





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Ανάπτυξη Υπολογιστικού Εργαλείου για Βελτιστοποίηση Χαρτοφυλακίου Ενεργειακών Παρεμβάσεων με Σκοπό την Καταπολέμηση της Ενεργειακής Φτώχειας

Διπλωματική Εργασία

Γκλαντζούνης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας,  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16<sup>η</sup> Ιουλίου 2020.

.....

Χάρης Δούκας,  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ιωάννης Ψαρράς,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Δημήτριος Ασκούνης,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2020

.....  
ΓΚΛΑΝΤΖΟΥΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

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

Copyright © ΓΚΛΑΝΤΖΟΥΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, 2020. 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.

## **Περίληψη**

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός υπολογιστικού εργαλείου το οποίο υπολογίζει και εξετάζει τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια παρεμβάσεων που στοχεύουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας στην Ε.Ε. Αρχικά, γίνεται η καταγραφή της επικρατούσας κατάστασης ενεργειακής φτώχειας στα πλαίσια της Ε.Ε., παρουσιάζονται συνοπτικά οι πολιτικές και τα μέτρα που έχουν ληφθεί τόσο σε κεντρικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο των κρατών μελών της και αναδεικνύεται η σημασία της ενεργειακής αποδοτικότητας. Στη συνέχεια εξετάζονται οι βασικές αρχές της ανάλυσης χαρτοφυλακίου και της μεθόδου που έχει χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση της καθώς και αναλυτική περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών ανάπτυξης του εργαλείου. Τέλος, καταγράφεται η τελική μορφή του εργαλείου που αναπτύχθηκε και μελετάται μία περίπτωση πραγματικής χρήσης του εργαλείου στην Κροατία, η οποία ακολουθείται από την ενότητα των συμπερασμάτων.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Βελτιστοποίηση Χαρτοφυλακίου, Ανάλυση Δεδομένων, Οπτικοποίηση Δεδομένων, Υπολογιστικό Εργαλείο, Ενεργειακή Φτώχεια, Βελτιστοποίηση Πολλαπλών Στόχων, Αποτελεσματικότητα κατά Παρέτο, Μαθηματικός Προγραμματισμός.

## **Abstract**

The research topic of this diploma thesis is the development of a computational tool that calculates and examines the optimal portfolios of interventions aimed at tackling energy poverty in the EU. Initially, the prevailing situation of energy poverty within the EU is recorded, the policies and measures taken both at central level and at the level of its Member States are briefly presented and the importance of energy efficiency is highlighted. Subsequently, the basic principles of portfolio analysis and the method used in its implementation are analyzed and a detailed description of the technical development features of the tool is provided. Finally, the final form of the tool developed is presented and a case study of its actual use in Croatia is examined, followed by the section of conclusions.

## **Keywords**

Portfolio Optimization, Data Analysis, Data Visualization, Computational Tool, Energy Poverty, Multi Objective Optimization, Pareto Efficiency, Mathematical Programming.



## Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Ερευνητικού Πανεπιστημιακού Ινστιτούτου Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020. Η μονάδα υπάγεται στον Τομέα Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Χάρη Δούκα για την ανάθεση της παρούσας εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να εντρυφήσω στον κλάδο της ενεργειακής φτώχειας και της ανάλυσης χαρτοφυλακίου. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά και τον καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για την συμμετοχή τους στην επιτροπή εξέτασης της εργασίας. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για την καθοδήγηση που μου προσέφερε μέσω της οποίας κατέληξα στην επιλογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο Δρ. Αποστόλη Αρσενόπουλο, για τη συνεισφορά και την καθοδήγηση σε όλη την πρόοδο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη και την έμπνευση που μου παρείχε σε κάθε βήμα της ζωής μου ένα εκ των οποίων ήταν και οι σπουδές μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

**Γκλαντζούνης Κωνσταντίνος**



## Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	12
Κατάλογος Εικόνων .....	14
1.Εισαγωγή .....	17
1.1 Εισαγωγή στην Ενεργειακή Φτώχεια.....	17
1.2 Η προσπάθεια ορισμού της Ενεργειακής Φτώχειας .....	18
1.3 Δείκτες και μέτρα για τον εντοπισμό και ορισμό της Ενεργειακής Φτώχειας .....	20
1.4 Αιτίες, προβλέψεις και η συσχέτιση της ενεργειακής φτώχειας με την απανθρακοποίηση της ενεργειακής αγοράς .....	22
1.5 Οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των κρατών μελών της Ε.Ε. ....	23
1.6 Ο ρόλος των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας.....	25
1.7 Η ανάγκη συστηματοποίησης των παρεμβάσεων κατά τη ενεργειακής φτώχειας .....	27
1.8 Στόχος της παρούσας διπλωματικής .....	28
2. Η ενεργειακή αποδοτικότητα και μέτρα καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας .....	31
2.1 Ευρωπαϊκοί χρηματοδοτικοί μηχανισμοί.....	32
2.2 Πλαίσιο Ενεργειακής Ένωσης - Energy Union Framework .....	33
2.3 Horizon 2020 - Το πρόγραμμα της ΕΕ για έρευνα και καινοτομία .....	33
2.4 Ινστιτούτο Κτιριακών Επιδόσεων της Ευρώπης (Building Performance Institute of Europe - BPIE).....	34
2.5 Προγράμματα ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ε.Ε. και το Ηνωμένο Βασίλειο .....	34
2.6 Προγράμματα ενημέρωσης πολιτών.....	37
3. Μεθοδολογία ανάπτυξης του εργαλείου .....	39
3.1 Η Ανάλυση χαρτοφυλακίου .....	39
3.1.1 Η Έννοια του χαρτοφυλακίου .....	39
3.1.2 Αποτελεσματικότητα Pareto – Pareto Efficiency .....	39
3.1.2.2 Η μέθοδος Augmecon.....	42
3.1.2.3 Η μέθοδος Augmecon-2 .....	45
3.2 Κατηγορίες Παρεμβάσεων .....	45
3.2.1 Greening Home .....	46
3.2.2 Renovate Your Home .....	47
3.2.3 White Appliances .....	47
3.2.4 Smarter Home .....	47
3.2.5 Information & Communication .....	48
3.2.6 Fighting the Cold .....	48

3.2.7 RES4ALL .....	48
3.2.8 Helping Hand .....	49
3.2.9 eVoucher .....	49
3.2.10 Protection Hand .....	49
3.3 Περιορισμοί στην επιλογή του χαρτοφυλακίου παρεμβάσεων .....	50
3.4 Μοντελοποίηση του προβλήματος .....	51
3.4.1 Βελτιστοποίηση με πολλαπλά κριτήρια (Multi-objective optimization).....	51
3.4.2 Μαθηματική αποτύπωση .....	52
4. Τεχνικός σχεδιασμός- Τεχνικές προδιαγραφές .....	57
4.1 Διαδικτυακή εφαρμογή - Web application .....	57
4.2 Client-side προγραμματισμός, front-end: Η διεπαφή του χρήστη με την εφαρμογή .....	57
4.3 Server-Side Προγραμματισμός, Back-End .....	57
4.4 Αρχιτεκτονική σχεδιασμού MVC – Χρήση του Django Framework .....	58
4.5 Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων - Database Management System (DBMS) .....	60
4.6 Βελτιστοποίηση Χαρτοφυλακίου – General Algebraic Modeling System (GAMS) .....	60
4.7 Κανάλι Επικοινωνίας – Σύνδεση “Python – GAMS” .....	60
4.8 Ασφάλεια .....	61
5. Η εφαρμογή εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων παρεμβάσεων .....	63
5.1 Είσοδος στην εφαρμογή – Login Page .....	63
5.2 Αρχική σελίδα – Ευρετήριο των κατηγοριών παρεμβάσεων .....	64
5.3 Ευρετήριο παρεμβάσεων για κάθε κατηγορία.....	65
5.4 Αναλυτική Περιγραφή Κάθε Παρέμβασης .....	66
5.5 Σελίδα εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων (Portfolio optimisation) .....	68
5.5.1 Διεπαφή παραμετροποίησης των περιορισμών ανάλυσης χαρτοφυλακίου .....	68
5.5.2 Παρουσίαση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων .....	69
5.5.2.1 Γραφική απεικόνιση του Optimal Pareto Set (OPS) .....	69
5.5.2.2 Αναλυτική παρουσίαση παρεμβάσεων χαρτοφυλακίου και ανάλυση αποτελεσμάτων ....	72
6. Μελέτη περίπτωσης ανάλυσης χαρτοφυλακίου για προμηθευτή ενέργειας .....	75
7. Συμπεράσματα .....	83
Βιβλιογραφία.....	85



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Δείκτες εντοπισμού της ενεργειακής φτώχειας.....	21
Πίνακας 3.1: Σύνολα που χρησιμοποιήθηκαν στην μαθηματική μοντελοποίηση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου.....	53
Πίνακας 3.2: Σταθερές που χρησιμοποιήθηκαν στην μαθηματική μοντελοποίηση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου.....	54
Πίνακας 3.3: Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην μαθηματική μοντελοποίηση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου.....	54



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1: Μέτωπο Pareto.....	40
Εικόνα 3.2: Αποφυγή μη-ικανοποίησιμων λύσεων (infeasibilities).....	44
Εικόνα 3.3: Κατηγορίες παρεμβάσεων-μέτρων που στοχεύουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.....	46
Εικόνα 4.1: Λειτουργία των εφαρμογών Model-View-Controller.....	58
Εικόνα 5.1: Σελίδα εισόδου στην εφαρμογή (Login Page).....	63
Εικόνα 5.2: Αρχική σελίδα της εφαρμογής.....	64
Εικόνα 5.3: Σελίδα απεικόνισης ευρετηρίου παρεμβάσεων της εφαρμογής.....	65
Εικόνα 5.4: Σελίδα απεικόνισης ευρετηρίου για κάθε κατηγορία παρεμβάσεων της εφαρμογής.....	66
Εικόνα 5.5: Σελίδα αναλυτικής περιγραφής κάθε παρέμβασης της εφαρμογής.....	66
Εικόνα 5.6: Συνέχεια σελίδας αναλυτικής περιγραφής κάθε παρέμβασης της εφαρμογής.....	67
Εικόνα 5.7: Σελίδα ανάλυσης χαρτοφυλακίων της εφαρμογής, διεπαφή για τους περιορισμούς.....	68
Εικόνα 5.8: Σελίδα ανάλυσης χαρτοφυλακίων της εφαρμογής, αναμονή για υπολογισμό βέλτιστων χαρτοφυλακίων.....	69
Εικόνα 5.9: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων.....	69
Εικόνα 5.10: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Χρήση ταμπελών (labels).....	71
Εικόνα 5.11: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Μενού λειτουργιών.....	71
Εικόνα 5.12: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Επιλογή σημείου-χαρτοφυλακίου.....	72
Εικόνα 5.13: Γραφική απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών των παρεμβάσεων ενός χαρτοφυλακίου.....	72
Εικόνα 5.14: Αναλυτική παρουσίαση των παρεμβάσεων ενός χαρτοφυλακίου.....	73
Εικόνα 6.1: Περιορισμοί στο Case Study.....	75
Εικόνα 6.2: Γράφημα Pareto Front.....	76
Εικόνα 6.3: Βέλτιστο risk-driven χαρτοφυλάκιο (Optimum Portfolio risk-driven).....	77
Εικόνα 6.4: Βέλτιστο cost-driven χαρτοφυλάκιο (Optimum Portfolio cost-driven).....	77

Εικόνα 6.5: Επιλογή «γειτονιάς» βέλτιστων χαρτοφυλακίων.....	78
Εικόνα 6.6: Επιλογή συγκεκριμένου χαρτοφυλακίου.....	78
Εικόνα 6.7: Γραφική ανάλυση των στοιχείων των παρεμβάσεων ενός χαρτοφυλακίου.....	79
Εικόνα 6.8: Αναλυτική παρουσίαση παρεμβάσεων χαρτοφυλακίου.....	80





## 1.Εισαγωγή

### 1.1 Εισαγωγή στην Ενεργειακή Φτώχεια

Στην κατεύθυνση προς έναν βιώσιμο ενεργειακό τομέα, η κλιματική αλλαγή, η ασφάλεια του εφοδιασμού και η ενεργειακή φτώχεια τίθενται στο προσκήνιο. Τα δύο πρώτα ζητήματα φαίνεται να έχουν τραβήξει σημαντική προσοχή στην έρευνα όλα αυτά τα χρόνια, καθώς υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία σχετικών μελετών και αναλύσεων. Ωστόσο, έχει δοθεί λιγότερη προσοχή στον τρίτο άξονα, παρόλο που επηρεάζει τη ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων παγκοσμίως. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ενεργειακής Φτώχειας (Energy Poverty Observatory - EPOV) εκτιμά ότι η ενεργειακή φτώχεια επηρεάζει άμεσα 50 έως 125 εκατομμύρια ανθρώπους.

Ο όρος Ενεργειακή Φτώχεια - ΕΦ (Energy Poverty - EP) χρησιμοποιείται ευρέως για να περιγράψει την αδυναμία των νοικοκυριών να ικανοποιούν επαρκώς τις ενεργειακές τους ανάγκες με προσιτό κόστος. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω των χαμηλών εισοδημάτων μέρους του πληθυσμού, της κακής ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και του υψηλού ενεργειακού κόστους. Οι επιπτώσεις της ΕΦ κυμαίνονται από την εξασθενημένη κοινωνική ζωή έως τις ανθυγιεινές συνθήκες διαβίωσης, με περαιτέρω συνέπειες στη σωματική και ψυχική υγεία των ενεργειακά φτωχών ατόμων.

Η Ε.Ε. έχει υιοθετήσει αποκεντροποιημένη πολιτική για την αντιμετώπιση της ΕΦ και έχει αναθέσει την ευθύνη ορισμού και αντιμετώπισης της στα κράτη μέλη της ατομικά, εντός της επικράτειάς τους, ενθαρρύνοντας τις συνέργειες μεταξύ πολιτικών διαφορετικών τομέων και επικρατειών. Παράλληλα, έχει επενδύσει στο Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ενεργειακής Φτώχειας (Energy Poverty Observatory - EPOV), το οποίο είναι ένα ερευνητικό έργο στο οποίο ηγείται το πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ [1] και ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 2016, για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την έκταση, τις αιτίες αλλά και τους προτεινόμενους τρόπους αντιμετώπισης της ΕΦ. Ωστόσο, μόνο σε περιορισμένο αριθμό χωρών της Ε.Ε. συγκεντρώνονται επιστημονικές γνώσεις και αναλαμβάνεται δράση σε εθνικό επίπεδο.

Σε γενικές γραμμές, η ΕΦ σχετίζεται με το χαμηλό εισόδημα, την κακή ενεργειακή απόδοση κτιρίων και τις αυξημένες τιμές στην ενέργεια, με αποτέλεσμα την ανεπαρκή παροχή βασικών ενεργειακών υπηρεσιών στο σπίτι. Έχει παρατηρηθεί ότι η ΕΦ συνδέεται άμεσα με θέματα υγείας, καθώς και με την κοινωνική απομόνωση των ατόμων, με περαιτέρω επιπτώσεις στην ψυχική τους υγεία [2]. Παρά την ευρεία αναγνώριση της ΕΦ ως ένα αυξανόμενο και επείγον ζήτημα, δεν υπάρχει καθολικός ορισμός γι' αυτήν την τωρινή χρονική στιγμή. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η ΕΦ μπορεί να εκδηλωθεί με διάφορους τρόπους και βαθμούς, καθιστώντας δύσκολη τη μέτρηση και την παρακολούθηση καθολικά. Η έλλειψη καθολικού ορισμού θεωρείται συχνά εμπόδιο για την κατανόηση και την αντιμετώπιση της ΕΦ. Ωστόσο, εμπόδιο δεν είναι η έλλειψη καθολικού ορισμού της ΕΦ καθαυτή, αλλά μάλλον η έλλειψη ενός συστηματικού, ποσοτικοποιήσιμου τρόπου μέτρησης και παρακολούθησης της ΕΦ στα κράτη

μέλη της Ε.Ε. Παράλληλα, η ΕΦ συσχετίζεται από πολλούς με την πολιτική της Ε.Ε που έχει ως στόχο να είναι κλιματικά ουδέτερη (climate-neutral) έως το 2050. Σε αυτό το πλαίσιο, πολλές ενεργειακές επενδύσεις χρηματοδοτούνται μέσα από εισφορές στους λογαριασμούς ενέργειας και επιβαρύνουν εν τέλει τους πολίτες.

Η Ενεργειακή Φτώχεια αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας για πρώτη φορά περίπου πριν τρεις δεκαετίες, όταν η Brenda Boardman παρείχε για πρώτη φορά έναν ορισμό για την ΕΦ στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1991 [3]. Αρχικά αναφέρθηκε ως Φτώχεια των Καυσίμων (Fuel Poverty) και στη συνέχεια οι δύο έννοιες ταυτίστηκαν. Η Β. Boardman συνέλαβε την «Φτώχεια των Καυσίμων» ως την κατάσταση όταν ένα νοικοκυριό προκειμένου να διαθέτει οικιακή θέρμανση - και να καλύπτει τις υπόλοιπες ενεργειακές του ανάγκες – έπρεπε να δαπανήσει περισσότερο από το 10% του εισοδήματός του για το σκοπό αυτό, ένας δείκτης που χρησιμοποιείται και σήμερα ευρέως και αναλύεται εκτενέστερα στην συνέχεια.

Με απαρχή την πρωτοβουλία της ΕΕ, αρκετές χώρες έχουν παράσχει ορισμούς για την ΕΦ και τους ευάλωτους καταναλωτές (αν και μερικές φορές ασαφείς). Ωστόσο, η πλειοψηφία των γνώσεων σχετικά με αυτό το θέμα προέρχεται από τρεις χώρες - το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιρλανδία και τη Γαλλία [4].

Το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν πρωτοπόρος της έρευνας για την ΕΦ και κατέληξε σε αναθεωρημένους εθνικούς ορισμούς της ΕΦ και μηχανισμούς για τον εντοπισμό και την αντιμετώπισή της. Η ερευνητική δραστηριότητα στον συγκεκριμένο τομέα οδήγησε τελικά τον οικονομολόγο John Hills το 2012 [5] σε μια περαιτέρω εξέλιξη του ορισμού του 10% και τελικά στην χρήση του **Δείκτη Χαμηλού Εισοδήματος (Low Income High Cost - LIHC)**, ο οποίος διερευνήθηκε και υιοθετήθηκε μερικώς από άλλες χώρες μεταξύ αυτών και τη Γαλλία [5][6] και αποτελεί έναν από τους κύριους δείκτες που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών σήμερα.

## 1.2 Η προσπάθεια ορισμού της Ενεργειακής Φτώχειας

Οι διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ των κρατών μελών όσον αφορά την απασχόληση, τα συστήματα κοινωνικής ασφάλισης, τις κλιματολογικές συνθήκες, την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, την ενεργειακή κατάσταση των κτηρίων ή τις τιμές λιανικής ενέργειας οδηγούν αναπόφευκτα σε διαφορετικές πολιτικές μεταξύ των κρατών μελών της Ε.Ε ως προς τον καλύτερο τρόπο αντιμετώπισης του ζητήματος. Πολλές φορές δημιουργεί διαφορετική πολιτική αντιμετώπισης ακόμα και σε εσωτερικό κρατικό επίπεδο.

Τα παραπάνω δικαιολογούν την προσέγγιση ορισμού και αντιμετώπισης της ΕΦ σε επίπεδο κρατών μελών και όχι κεντρικά. Σε ορισμένα κράτη-μέλη της Ε.Ε (**Δανία, Γερμανία, Νορβηγία**) [7], οι κυβερνήσεις πιστεύουν ότι δεν έχει νόημα να ορίσουν την ΕΦ ως μία ξεχωριστή κατηγορία φτώχειας. Θεωρούν ότι η ενεργειακή φτώχεια σχετίζεται άμεσα με την ευρύτερη οικονομική κατάσταση των πελατών που επηρεάζονται από το ενεργειακό χρέος. Συχνά, οι πελάτες που

έχουν ενεργειακά χρέη είναι πιθανό να έχουν άλλα χρέη (λογαριασμούς για το νερό, ενοίκιο, ασφάλιση). Σε αυτά τα κράτη η φτώχεια αντιμετωπίζεται έως σήμερα ολιστικά, κυρίως μέσω της κοινωνικής πολιτικής. Όταν ρωτήθηκαν για τις προτιμήσεις τους στις επιλογές μέτρησης, οι περισσότερες χώρες (77,8%) τάσσονται υπέρ ενός εναρμονισμένου μοναδικού μέτρου φτώχειας, που θα συνοδεύεται από πιο συγκεκριμένα μέτρα που επιλέγονται ανά χώρα ανάλογα με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους [8].

Στα πλεονεκτήματα υιοθέτησης ενός κοινού ορισμού εντός της Ε.Ε. η θέσπιση ενός καθολικού ορισμού για την ΕΦ μπορεί να συνδράμει στην αναγνώριση του προβλήματος στην Ευρώπη (μεγαλύτερη προβολή), μπορεί επίσης να επιλύσει την ορολογική σύγχυση, μπορεί να παρέχει συνέργειες σε πολιτικό επίπεδο παρέχοντας συνδέσμους μεταξύ διαφορετικών τομέων: κοινωνικές πολιτικές, βιομηχανία, πολιτικές υγειονομικής περίθαλψης καθώς και την καθαρά ενεργειακή πολιτική όσον αφορά τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας ή φυσικού αερίου.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα υιοθέτησης ενός κοινού ορισμού εντός της Ε.Ε. αποτελούν κοινό τόπο οι διαφορές που παρατηρούνται σε οικονομικό, κοινωνικό και πολιτικό επίπεδο μεταξύ των χωρών της Ε.Ε. Αυτό το γεγονός έχει οδηγήσει και στον εν μέρει γεωγραφικό διαχωρισμό των χωρών της, όπως για παράδειγμα οι ιδιαιτερότητες των Νότιο-Ανατολικών χωρών και των Βόρειων. Ένας κοινός ορισμός της Ε.Φ. θα αμελήσει αυτές τις ιδιαιτερότητες.

Στις χώρες που έχουν υιοθετήσει επίσημους ορισμούς της Ενεργειακής Φτώχειας στην Ε.Ε και το Ηνωμένο Βασίλειο κατανέμονται η Αγγλία, η Γαλλία, η Ιταλία, το Βέλγιο, η Ιρλανδία, η Αυστρία, η Κύπρος, η Σλοβακία, η Ισπανία, η Βουλγαρία, η Σκωτία, η Ουαλία και η Ρουμανία. Χαρακτηριστικά στην περίπτωση της Αγγλίας, ένα νοικοκυριό ορίζεται ως ΕΦ, εάν το ποσό που θα χρειαζόταν να ξοδέψει για να διατηρήσει το σπίτι του σε «επαρκές επίπεδο ζεστασιάς» (ορίζεται από την National Calculation Methodology SAP) είναι πάνω από το εθνικό μέσο επίπεδο και εάν το υπόλοιπο εισόδημά του, μετά το κόστος στέγασης είναι κάτω από το επίσημο όριο φτώχειας (60% του μέσου εισοδήματος των νοικοκυριών).

Η Γαλλία από την άλλη χρησιμοποιεί τον δείκτη του 10% για τον εντοπισμό της ΕΦ. Η ιδιαιτερότητα της Γαλλίας είναι ότι η πρόσβαση στην ενέργεια είναι ένα κατοχυρωμένο «βασικό ανθρώπινο δικαίωμα». Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας δεν επιτρέπεται να διακόψουν την παροχή ενέργειας κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ακόμη και αν οι πελάτες τους δεν πληρώνουν τους λογαριασμούς τους. Το 36% του φτωχότερου 25% του πληθυσμού επηρεάζεται έντονα από την ενεργειακή φτώχεια, πράγμα που σημαίνει 3,5 εκατομμύρια νοικοκυριά συνολικά. Βασίζεται κυρίως στα κοινωνικά τιμολόγια που σημαίνει χαμηλότερα τιμολόγια για άτομα με χαμηλότερο εισόδημα: Είναι υποχρέωση της εταιρείας ενέργειας (Ταμείο Ενεργειακής Αλληλεγγύης, Energy Solidarity Fund) να υποστηρίζει τους οφειλέτες που παρέχουν κοινωνικά τιμολόγια για ηλεκτρική ενέργεια και φυσικό αέριο. Η Γαλλία διαθέτει επίσης το πρόγραμμα «Habiter Mieux»: ένα πρόγραμμα βελτίωσης των κατοικιών που χρηματοδοτείται από τις κρατικές και ενεργειακές εταιρείες, το οποίο επιτρέπει στους ανθρώπους με χαμηλό εισόδημα να βελτιώσουν τα σπίτια τους. Αυτό το πρόγραμμα ήταν αποτελεσματικό για τους ανθρώπους που συμμετείχαν, αλλά φτάνει μόνο σε μια μειοψηφία

των ενδιαφερόμενων ατόμων καθώς έως το 2015 μόνο 50 χιλιάδες κτίρια είχαν ανακαινιστεί από 3,5 εκατομμύρια νοικοκυριά που έχουν πληγεί [9][10].

Τέλος, το Βέλγιο αποτελεί μια επιπλέον ιδιόζουσα περίπτωση καθώς στον επίσημο ορισμό της ΕΦ συναντάται η «κρυφή ενεργειακή φτώχεια» και «μετρήσιμη ενεργειακή φτώχεια». Η κρυφή ενεργειακή φτώχεια είναι η κατάσταση που βιώνουν τα νοικοκυριά όταν περιορίζουν (αναγκαστικά ή μη) την ενεργειακή τους κατανάλωση, μειώνοντας έτσι το επίπεδο άνεσης τους. Παράλληλα, η μετρήσιμη ενεργειακή φτώχεια είναι η κατάσταση κατά την οποία τα νοικοκυριά ξοδεύουν μεγάλο μερίδιο του εισοδήματός τους στην κάλυψη των βασικών ενεργειακών τους αναγκών [7][11][12].

### 1.3 Δείκτες και μέτρα για τον εντοπισμό και ορισμό της Ενεργειακής Φτώχειας

Οι πιο διαδεδομένες επιλογές μέτρων εντοπισμού και ορισμού της ΕΦ που έχουν επιλέξει τα κράτη μέλη της Ε.Ε και το Ηνωμένο Βασίλειο ακολουθούν την εξής ταξινόμηση:

1) Αυτοαναφερόμενα / υποκειμενικά μέτρα: η ΕΦ μετράται με βάση την προσωπική αξιολόγηση των νοικοκυριών για την κατάστασή τους.

2) Αντικειμενικά μέτρα: η κατάσταση της ΕΦ μετράται βάσει δεικτών, σύμφωνα με δύο δυνατότητες:

- Απόλυτα μέτρα: βασίζονται σε παράγοντες που δεν σταθμίζονται με βάση άλλα νοικοκυριά. Σε αυτή την κατηγορία καθορίζονται επίσης βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται ώστε να θεωρούνται ότι τα νοικοκυριά δεν ανήκουν στην κατηγορία της ΕΦ.
- Σχετικά μέτρα: συγκρίνουν την κατάσταση ενός νοικοκυριού με έναν σταθμισμένο μέσο της συνολικής κατάστασης των νοικοκυριών (π.χ. κανόνας 10%, Δείκτης Χαμηλού Εισοδήματος Υψηλού Κόστους - LIHC, ενεργειακές δαπάνες μεγαλύτερες από το διπλάσιο του μέσου όρου).

Σημαντικό βήμα για τον εντοπισμό της ενεργειακής φτώχειας αποτελεί η υιοθέτηση του δείκτη για το ικανοποιητικό καθεστώς θέρμανσης. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization), αντιστοιχεί σε 23°C στο σαλόνι και 18°C σε άλλους χώρους οποιασδήποτε οικίας, για 16 ώρες ανά ημέρα ανά εβδομάδας για νοικοκυριά με ηλικιωμένους, άτομα με αναπηρίες ή άτομα με χρόνιες ασθένειες. Στους 21°C στο σαλόνι και 18°C στα άλλα δωμάτια για 9 ώρες ανά ημέρα τις καθημερινές και 16 ώρες ανά ημέρα τα Σαββατοκύριακα είναι το ικανοποιητικά επίπεδα θέρμανσης στα λοιπά νοικοκυριά.

Πίνακας 1.1: Δείκτες εντοπισμού της ενεργειακής φτώχειας.

Όνομα δείκτη	Περιγραφή
Δείκτης 10%	Οριοθετεί το μερίδιο που καταλαμβάνουν οι ενεργειακές δαπάνες στις συνολικές δαπάνες του νοικοκυριού, όπως προκύπτει από τον επίσημο ορισμό τους για την ενεργειακή φτώχεια.
Δείκτης 2M – Δείκτης EPOV 1	Υπολογίζει το ποσοστό του πληθυσμού που το μερίδιο που καταλαμβάνουν οι ενεργειακές δαπάνες του στο αντίστοιχο εισόδημά του, είναι μεγαλύτερο από το διπλάσιο του μέσου όρου της χώρας
Δείκτης M/2	Δείκτης της κρυφής ενεργειακής φτώχειας M/2, προσμετρά το ποσοστό των νοικοκυριών που έχουν ενεργειακές δαπάνες μικρότερες από το μισό του μέσου όρου της χώρας.
Δείκτης EDEPI	Η βαθμολογία EDEPI υπολογίζεται ως ο γεωμετρικός μέσος όρος των μετρήσεων που αξιολογούν τις αιτίες και τις συνέπειες της ενεργειακής φτώχειας συμπεριλαμβάνοντας: <ul style="list-style-type: none"><li>• Το μερίδιο που έχουν οι ενεργειακές δαπάνες στο σύνολο των δαπανών των νοικοκυριών</li><li>• Το μερίδιο του 20% πιο φτωχού πληθυσμού που αδυνατεί να κρατήσει το σπίτι του ζεστό το χειμώνα και/ή δροσερό το καλοκαίρι, και</li><li>• Το μερίδιο του 20% πιο φτωχού πληθυσμού που κατοικεί σε κτίσματα με οροφές που έχουν διαρροές, με τοίχους που έχουν υγρασία και σαπισμένα κουφώματα.</li></ul>
Δείκτης LIHC	Χρησιμοποιεί δύο κατώτατα όρια για τον εντοπισμό των νοικοκυριών που βιώνουν ενεργειακή φτώχεια. Το πρώτο όριο είναι του εισοδήματος του νοικοκυριού, που έχει τεθεί ως το 60% του μέσου διαθέσιμου εισοδήματος της χώρας (όριο εισοδηματικής φτώχειας), ενώ το δεύτερο είναι του ενεργειακού κόστους που έχει το νοικοκυριό, βασισμένο στο μέσο ενεργειακό κόστος των νοικοκυριών της χώρας.
Δείκτης EPOV 2	Μη εντοπισμένη ενεργειακή φτώχεια (Hidden Energy Poverty - HEP): Αναφέρεται στην κατηγορία του πληθυσμού όπου οι ενεργειακές δαπάνες είναι μικρότερες από το μισό του εθνικού μέσου όρου [13]
Δείκτης EPOV 3	Αδυναμία να διατηρηθεί το σπίτι αρκετά ζεστό: Αφορά περιστάσεις όπου γίνεται υποκειμενική δήλωση της αδυναμίας να κρατηθεί ένα νοικοκυριό επαρκές ζεστό [14]
Δείκτης EPOV 4	Καθυστερήσεις στην πληρωμή λογαριασμών κοινής ωφέλειας: Αφορά την αυτοαναφερόμενη αδυναμία των νοικοκυριών να πληρώσουν εγκαίρως λογαριασμούς κοινής ωφέλειας. Η χρονική διάρκεια που προσμετρά ο δείκτης είναι οι τελευταίοι 12 μήνες [14]

#### 1.4 Αιτίες, προβλέψεις και η συσχέτιση της ενεργειακής φτώχειας με την απανθρακοποίηση της ενεργειακής αγοράς

Η ακαδημαϊκή έρευνα οδηγήθηκε σε τρεις βασικές αιτίες που οξύνουν την ΕΦ: τις τιμές της ενέργειας, τη μείωση των εισοδημάτων των νοικοκυριών και τα μη ενεργειακά αποδοτικά σπίτια. Ο τελευταίος παράγοντας έχει πρόσφατα μπει στο επίκεντρο της έρευνας στο πλαίσιο της ενεργειακής αποδοτικότητας και εξοικονόμησης.

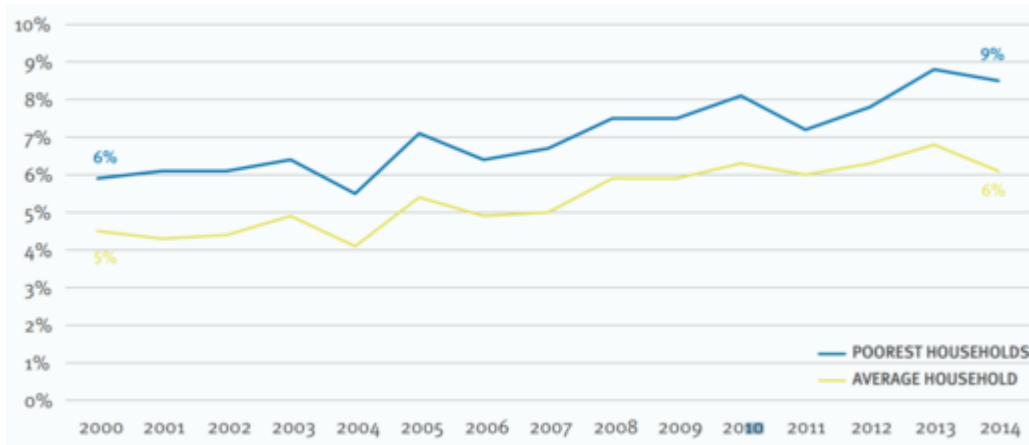
Εξαιτίας της προαναφερθείσας έλλειψης ενός κοινού ορισμού για την ΕΦ στην Ε.Ε. υπάρχουν ποικίλες και ανακριβείς προβλέψεις για τον αριθμό των ενεργειακά φτωχών πολιτών εντός της Ε.Ε. Μία από αυτές που βασίζεται στις προβλέψεις του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου [9] κάνει λόγο για 50 έως 160 εκατομμύρια ενεργειακά φτωχούς. Μία δεύτερη πρόβλεψη από τον Jerze Buzek, διευθυντή στο ITRE (Comity on Industry, Research and Energy) προσβλέπει ότι ο αριθμός των ενεργειακά φτωχών εντός της Ε.Ε κυμαίνονται μεταξύ 15 και 125 εκατομμύρια [9].

Η αύξηση των φόρων και των εισφορών στους λογαριασμούς ενέργειας αυξάνουν την ΕΦ καθώς δεν αντικατοπτρίζουν το κόστος ενέργειας που βασίζεται στην αγορά και αποτελούν μέσο χρηματοδότησης άλλων πολιτικών.

Σήμερα, σε πολλά κράτη μέλη της Ε.Ε. στους οικιακούς λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας η συνιστώσα των φόρων και των εισφορών ισούται με την συνιστώσα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι εθνικές αρχές έχουν βασίσει σε αυτά τα έσοδα την αντιστάθμιση του κόστους των ενεργειακών και των κλιματικών πολιτικών τους, συμπεριλαμβανομένης της χρηματοδότησης της απαλλαγής χρήσης του άνθρακα [7]. Η πλειοψηφία των φόρων αυτής της μορφής συνδέονται με την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται. Ως αποτέλεσμα, όσο λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται, τόσο λιγότεροι φόροι και εισφορές θα πρέπει να καταβληθούν.

Με τις τεχνολογικές εξελίξεις όπως η distributed generation, storage, electro-mobility, or micro-grids, ορισμένοι πελάτες καταναλώνουν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια και συμβάλλουν έτσι λιγότερο στις εισφορές μέσω των λογαριασμών.

Αυτά τα κόστη μετακυλίνουν στη συνέχεια σε μια μικρότερη καταναλωτική βάση. Στους πελάτες που δεν είναι πρόθυμοι ή δεν μπορούν να επενδύσουν σε τέτοιες τεχνολογίες, κυρίως πελατών χαμηλού εισοδήματος. Όπως δείχνει μια μελέτη της Κομισιόν [15], ενώ το μερίδιο εισοδήματος των μέσων ευρωπαϊκών νοικοκυριών που δαπανήθηκε για ενέργεια αυξήθηκε από 5% σε 6% μεταξύ 2000 και 2014, για τα φτωχότερα νοικοκυριά αυξήθηκε από 6% σε 9% την ίδια περίοδο.



Εικόνα 1.1: Το μέσο ποσοστό του συνολικού εισοδήματος τους που διαθέτουν τα νοικοκυριά στην Ε.Ε. για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες τους [19]

Μια εναλλακτική μέθοδος χρηματοδότησης τέτοιων μέτρων πολιτικής (περιβαλλοντική, κοινωνική κ.λπ.) είναι μέσω της γενικής φορολογίας: αυτό διασφαλίζει ότι εκείνοι με χαμηλό εισόδημα και κάτω από το φορολογικό όριο δεν απαιτείται να συνεισφέρουν, αλλά μπορούν ακόμα να έχουν πρόσβαση και να επωφελούνται από αυτές τις πολιτικές. Μια άλλη εναλλακτική λύση θα ήταν η κατανομή του κόστους σε άλλα καύσιμα.

### 1.5 Οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των κρατών μελών της Ε.Ε.

Η ένταση εμφάνισης της ΕΦ συνδέεται άμεσα με την γεωγραφική θέση ενός κράτους μέλους. Ενώ η ΕΦ εμφανίζεται σε ολόκληρη την Ε.Ε, η εμφάνιση της στα κράτη της Ανατολικής και Νότιας Ευρώπης είναι ιδιαίτερα υψηλός. Πολλαπλοί δείκτες έχουν δείξει ότι τα επίπεδα ενεργειακής φτώχειας είναι τα υψηλότερα στη Βουλγαρία (30,6 %), την Κύπρο (21,2%) και τη Ρουμανία (24,1%) [9].

Οι αιτίες για αυτό είναι ποικίλες. Πολλές ακαδημαϊκές έρευνες τόνισαν ότι τα αυξημένα επίπεδα ΕΦ στις πρώην σοσιαλιστικές χώρες μπορούν να συνδεθούν με αυξήσεις των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται με την ελευθέρωση των εθνικών αγορών ενέργειας.

Οι Bouzarovski και Tirado Herrero [16] έδειξαν ότι οι εγχώριες τιμές ενέργειας αυξήθηκαν κατά 33% στην Πολωνία, 22% στην Τσεχική Δημοκρατία και 69% στην Ουγγαρία μεταξύ 2006 και 2011. Τα επίπεδα ενεργειακής φτώχειας ήταν επίσης υψηλά στα κράτη μέλη της Νότιας Ευρώπης, κυρίως λόγω της έλλειψης επαρκών συστημάτων θέρμανσης και της ανεπαρκούς ενεργειακής αποδοτικότητας της στέγασης. Το κόστος της οικιακής ενέργειας στις χώρες της Μεσογείου επηρεάζεται επίσης από την ανάγκη ψύξης των σπιτιών το καλοκαίρι. Αυτό αντανακλάται στα δεδομένα των ερευνών EU-SILC [14], τα οποία έχουν δείξει ότι περίπου το ένα τρίτο των ερωτηθέντων στα οκτώ κράτη μέλη της ΕΕ που συνορεύουν με τη Μεσόγειο Θάλασσα ανέφεραν ότι δεν μπορούν να διατηρήσουν τα σπίτια τους αρκετά δροσερά το

καλοκαίρι. Επιπροσθέτως, στην Ελλάδα το καθεστώς λιτότητας και η πολυετής οικονομική κρίση έχει επίσης επηρεάσει τα επίπεδα ΕΦ στη χώρα.

Οι διαφορές σε επίπεδα πολιτικών αλλά και συνθηκών που εμφανίζονται μεταξύ των κρατών μελών της Ε.Ε. γίνεται εμφανής αναλύοντας την περίπτωση της Ιρλανδίας που αποτελεί ένα από τα κράτη με τα υψηλότερα επίπεδα GDP per capita [17] και από τους πρωτοπόρους στην έρευνα για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας και την περίπτωση της Βουλγαρίας η οποία έχει από τα χαμηλότερα επίπεδα GDP per capita στην Ε.Ε. και η πρόοδος της όσον αφορά την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας είναι μικρή

Η Ιρλανδία είναι ένα Δυτικό Κράτος Μέλος της ΕΕ με αρκετά υψηλό εισόδημα (77,450 US \$ GDP per capita) [15], αλλά εξακολουθεί να είναι ένα από τα πιο έντονα επηρεασμένα από την ενεργειακή φτώχεια στην Ευρώπη (20% του πληθυσμού της χαρακτηρίζεται ως ενεργειακά φτωχό χρησιμοποιώντας τον ορισμό του 10%, σύμφωνα με τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τουλάχιστον το 10% του εισοδήματός τους στην ενέργεια ) και μεταξύ των φτωχότερων νοικοκυριών το 50% εξ αυτών ανήκει στην κατηγορία των ΕΦ. Αυτό συμβαίνει επειδή η ποιότητα των κτιρίων στην Ιρλανδία χαρακτηρίζεται ως κακή ενώ ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια μεγάλου μέρους του έτους απαιτείται θέρμανση των κτιρίων. Η Ιρλανδία ακολουθεί δύο προσεγγίσεις από το 2011:

- Ένα σύνολο πολιτικών στοχεύει στη βελτίωση των σπιτιών μέσω χρηματοδοτήσεων μέτρων ενεργειακής απόδοσης και πολιτικών που υποστηρίζουν νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος. Συγκεκριμένα, παρέχει εποχικές αποζημιώσεις, καθώς και το σύστημα Better Energy / Warmer Home [11], το οποίο χρηματοδοτεί μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας.
- Επιπλέον, το 2015 η Ιρλανδία εισήγαγε ορισμένα ρηξικέλευθα μέτρα για το άνοιγμα της αγοράς του πετρελαίου καθώς πολλοί Ιρλανδοί βασίζονται στο πετρέλαιο. Ίδρυσαν λέσχες αγοραστών (Buyers' Club) για την επίτευξη καλύτερων συμβάσεων με προμηθευτές για τους πελάτες. Παράλληλα ξεκίνησαν το Oil Stamps Savings Program [12] ένα πρόγραμμα που βασίζεται σε κουπόνια, τα οποία προέρχονται από αγορές σε συγκεκριμένα καταστήματα, και συνδράμουν στην χειμερινή κατανάλωση καυσίμων για την οικιακή θέρμανση. Αυτά τα μέτρα ήταν εξαιρετικά καινοτόμα κατά την εισαγωγή τους [9].

Στον αντίποδα, η Βουλγαρία είναι μία από τις χώρες της Κεντρικής Ανατολικής Ευρώπης που πλήττεται σοβαρά από το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας. Είναι ένα από τα κράτη μέλη στην ΕΕ με το μικρότερο εισόδημα (8.032 US\$ GDP per capita [17]) και έχει απαρχαιωμένο οικοδομικό απόθεμα (το 50% του πληθυσμού κινδυνεύει από γενική φτώχεια και η πλειονότητα αυτών επηρεάζεται από την ενεργειακή φτώχεια που οδηγεί σε προβλήματα υγείας και πρόωρους θανάτους) . Ένα άλλο πρόβλημα είναι η έλλειψη δεδομένων για την δομή και την κατάσταση των κτηρίων και του πληθυσμού γενικότερα. Επίσης υπάρχει έλλειψη πόρων ώστε



να διατεθούν στην ενημέρωση των πολιτών να υποβάλουν αίτηση για χρηματοδότηση που αφορά την καταπολέμηση της ΕΦ.

Τέλος, στη Βουλγαρία η κοινωνική πολιτική επικεντρώνεται στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, αλλά μόνο σε πολύ περιορισμένο βαθμό. Υπάρχουν επίσης ορισμένα κρατικά μέτρα βελτίωσης της κτηριακής υποδομής, τα οποία είναι γενικά μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας, αλλά δεν εντάσσονται στην πολιτική καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας.

### 1.6 Ο ρόλος των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας

Τα νοικοκυριά που αδυνατούν να πληρώνουν τους λογαριασμούς ενέργειας και / ή να θερμαίνουν / ψύχουν επαρκώς τα σπίτια τους αποτελούν πρωταρχικό μέλημα για τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και τους προμηθευτές ενέργειας (πέρα από το γεγονός ότι το κόστος των καθυστερούμενων χρεώσεων που βαρύνουν τις εταιρείες μπορούν να ανέλθουν σε εκατομμύρια ευρώ [19]), ειδικά για χώρες που εκτείνονται στην Νότια και Ανατολική Ευρώπη, όπως η Ελλάδα, η Βουλγαρία, η Κροατία και η Ρουμανία. Το ίδιο ισχύει σε μικρότερο βαθμό για τις βόρειες και δυτικές χώρες, όπως η Σουηδία και οι Κάτω Χώρες, δεδομένου ότι υπάρχει μια ισχυρή διασύνδεση μεταξύ των ανθρώπων που καθυστερούν να πληρώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας και αυτών που ζουν στο όριο της φτώχειας. Ως αποτέλεσμα, είναι προς το συμφέρον των υπηρεσιών κοινής ωφελείας να εντοπίσουν και να στηρίξουν οικονομικά τους πολίτες που κατηγοριοποιούνται ως ενεργειακά φτωχοί προκειμένου να τους βοηθήσουν να ξεφύγουν από την ενεργειακή φτώχεια, διεκδικώντας παράλληλα και το χρέος τους.

Οι κυβερνήσεις θα πρέπει επίσης να ενθαρρύνουν ή ακόμη και να υποχρεώνουν τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας να αναλαμβάνουν ενέργειες που αντιμετωπίζουν αυτό το ζήτημα. Από αυτή την άποψη, οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, οι προμηθευτές ενέργειας και οι κρατικές δομές πρέπει να ενθαρρύνονται να συνεργάζονται με τους πελάτες τους για την ανακούφιση της ενεργειακής φτώχειας. Αυτή η συνεργασία πρέπει να στοχεύσει στην ανάπτυξη, υιοθέτηση, δοκιμή και διάδοση καινοτόμων συστημάτων αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας. Ως αποτέλεσμα, οι προμηθευτές ενέργειας χρειάζονται νέες προσεγγίσεις [19] για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων ενεργειακής απόδοσης τους σύμφωνα με την ΕΕΑ (European Environment Agency) [20].

Παράλληλα με την ανακούφιση της ενεργειακής φτώχειας επιτυγχάνουν βελτίωση των δημοσίων σχέσεων, προώθηση στρατηγικών εταιρικής κοινωνικής ευθύνης και μείωση του χρέους τους ειδικά στις χώρες με τα υψηλότερα επίπεδα ποσοστά ενεργειακών φτωχών καταναλωτών, όπως η Ελλάδα, η Ισπανία, η Λετονία, η Εσθονία, η Λιθουανία, η Ουγγαρία, η Πολωνία και η Βουλγαρία.

Επιπλέον ο ρόλος τους στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας είναι κομβικός καθώς διαθέτουν απαραίτητα δεδομένα και τεχνογνωσία που αφορούν την ηλεκτρική ενέργεια.

Η Brenda Boardman εκτίμησε ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο λιγότερο από το ένα τέταρτο των κονδυλίων φτάνουν στην πραγματικότητα σε άτομα που πλήττονται από την ΕΦ. Η σωστή απόδοση των κεφαλαίων που στοχεύουν στην καταπολέμηση της ΕΦ είναι δύσκολη, λόγω της έλλειψης δεδομένων. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η δυσκολία αίτησης για αυτά τα κεφάλαια, ακόμη και μεταξύ αυτών που εντάσσονται στα κοινωνικά ταμεία που πρέπει να υποβάλουν επιπλέον αίτηση.

Μία αποτελεσματική πολιτική εφαρμόστηκε στην Γαλλία όπου αποφασίστηκε η διάθεση αυτών των κονδυλίων στις τοπικές αρχές. Σε αυτό το επίπεδο η τοπική διοίκηση είναι σε θέση να εντοπίζει αποτελεσματικότερα τους ενεργειακά φτωχούς. Λεπτομερέστερα, στη Γαλλία υπάρχει μακροχρόνια και ενεργή συνεργασία μεταξύ του προμηθευτή ενέργειας EDF Energy με τις τοπικές αρχές και τις κοινωνικές υπηρεσίες στην εφαρμογή τοπικών προγραμμάτων στήριξης, καθώς και προληπτικών δράσεων κατά της ενεργειακής φτώχειας [7]. Η χρηματοδοτική συνεισφορά της EDF στο Κοινωνικό Ταμείο Στέγασης (Social Fund for Housing), το οποίο μέχρι σήμερα έχει βοηθήσει περισσότερες από 175.000 οικογένειες να πληρώσουν για τους λογαριασμούς ενέργειας, ανήλθε σε 105 εκατομμύρια € τα τελευταία 5 χρόνια [7]. Η EDF έχει επίσης συνάψει τοπικές συνεργασίες με δομές κοινωνικής διαμεσολάβησης ώστε να βοηθήσει τους πελάτες με χαμηλό εισόδημα στην επίλυση των προβλημάτων τους που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας και να παρέχει συμβουλές για τη διαχείριση της ενέργειας. Τέλος, η EDF ολοκλήρωσε συνεργασίες με ΜΚΟ όπως το Fondation Abbé Pierre για την ανάπτυξη κοινών δράσεων για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας: Η EDF είναι συνεργάτης για τα προγράμματα “2000 roofs for 2000 families”[21] και “Toits d'abord” [22] από το 2008 (Η συνεισφορά της EDF κυμαίνεται στα 2 εκατομμύρια ευρώ ετησίως).

Στην Ελλάδα και την Ισπανία τα κοινωνικά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας και ενέργειας ήταν επιτυχημένα επειδή βοήθησαν τους ανθρώπους, ωστόσο, δεν μπορούσαν να αντιμετωπίσουν τις βασικές αιτίες. Καθώς πολλοί άνθρωποι επηρεάστηκαν από αυτά τα τιμολόγια, υπήρξε μεγάλη οικονομική πίεση στους προμηθευτές ενέργειας που ήταν υποχρεωμένοι να προσφέρουν κοινωνικά τιμολόγια και στο τέλος αντιμετώπισαν οι ίδιοι οικονομικά προβλήματα και οδηγήθηκαν σε χρέη.

Στα κράτη μέλη της Ε.Ε. οι προμηθευτές προσπαθούν να συνδράμουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας παρέχοντας συμβουλές για ενεργειακή αποδοτικότητα, ρυθμίσεις πληρωμής και διαδικασιών διαχείρισης χρεών. Πολλοί προμηθευτές έχουν επίσης υπογράψει συμφωνίες με τοπικές αρχές και κοινωνικές υπηρεσίες για την υποστήριξη πελατών με χαμηλό εισόδημα ώστε να αποφευχθεί η διακοπή παροχής ενέργειας λόγω απλήρωτων λογαριασμών.

Για παράδειγμα, στην Ισπανία σε αντίθεση με τα κοινωνικά τιμολόγια πραγματοποιήθηκε μία διαφορετικού είδους παρέμβαση στην οποία εθελοντικές ομάδες βοηθούν συμβουλευτικά και

ενημερώνουν για το Social Voucher. Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας έχουν υπογράψει συμφωνίες συνεργασίας με την εκάστοτε τοπική και περιφερειακή διοίκηση (πάνω από 400 συμφωνίες σε ολόκληρη τη χώρα) για να βοηθήσουν τους πελάτες με χαμηλό εισόδημα ώστε να αποφύγουν τις διακοπές τροφοδοσίας λόγω απλήρωτων λογαριασμών. Σε περίπτωση αποτυχίας πληρωμής, η παροχή ενέργειας δεν διακόπτεται καθώς με τη χρήση κεφαλαίων που οι δημόσιες διοικήσεις αφιερώνουν για το σκοπό αυτό γίνεται η αποπληρωμή των εκπρόθεσμων λογαριασμών. Οι προμηθευτές ενέργειας έχουν επίσης ξεκινήσει αρκετές πρωτοβουλίες για τη βελτίωση της προστασίας ευάλωτων πελατών. Μια επιτυχημένη πρωτοβουλία είναι η δημιουργία ομάδων εθελοντών, οι οποίες - σε στενή συνεργασία με κοινωνικές οργανώσεις - συμβουλευτούν τους πελάτες με χαμηλό εισόδημα σχετικά με την αποδοτική κατανάλωση και τους βοηθούν να υποβάλουν αίτηση για Social Voucher.

Αντίστοιχα στην Αυστρία, αρκετές εταιρείες- προμηθευτές ενέργειας (π.χ. Verbund AG, Kelag) συμμετέχουν σε έργα με κοινωνικά ιδρύματα (Caritas, Volkshilfe) με στόχο την υποστήριξη πελατών χαμηλού εισοδήματος προσφέροντας οικονομική βοήθεια έκτακτης ανάγκης, συμβουλευτική για εξοικονόμηση ενέργειας και αντικατάσταση ενεργειακά μη-αποδοτικών και παλιών ηλεκτρικών συσκευών δωρεάν.

Στο ίδιο επίπεδο, στο Βέλγιο έχουν συναφθεί διμερείς συμφωνίες μεταξύ των κοινωνικών υπηρεσιών και των προμηθευτών ενέργειας στις Βρυξέλλες ώστε να αντιμετωπιστούν οι περιπτώσεις απλήρωτων λογαριασμών για πελάτες με χαμηλό εισόδημα. Το χρέος πληρώνεται άμεσα από κοινωνικές υπηρεσίες με αντάλλαγμα την μερική διαγραφή χρέους από τον προμηθευτή. Υπάρχει επίσης μια υποχρεωτική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των προμηθευτών ενέργειας και των κοινωνικών υπηρεσιών κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ανάκτησης, έτσι ώστε να μπορούν να βρουν μια λύση που να βασίζεται σε όλα τα στοιχεία (εισόδημα, έξοδα κ.λπ.) και όχι μόνο στο χρέος που αφορά ενεργειακές δαπάνες. Τέλος, οι προμηθευτές συμμετέχουν στην εθνική πλατφόρμα για την ΕΦ που συντονίζεται από το King Baudouin Foundation [23].

### 1.7 Η ανάγκη συστηματοποίησης των παρεμβάσεων κατά τη ενεργειακή φτώχεια

Ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτυπώνεται στο Στόχο Αειφόρου Ανάπτυξης 7 (Sustainable Development Goal 7) [24] οπού επιδιώκεται ο τερματισμός της ενεργειακή φτώχειας μέχρι το 2030. Με αυτό το στόχο οι εταιρείες κοινής ωφέλειας και οι ιδιωτικοί φορείς πρέπει να θέσουν τις βάσεις και να ενώσουν τις δυνάμεις τους για να εξαλείψουν την ενεργειακή φτώχεια ειδικά στις χώρες που η εμφάνιση τους είναι πιο έντονη (π.χ. Ελλάδα, Βουλγαρία, Κροατία). Εκατοντάδες εταιρείες του ιδιωτικού τομέα έχουν κινητοποιηθεί την τελευταία δεκαετία, έχοντας συγκεντρώσει 1,7 δισεκατομμύρια δολάρια (70% από αυτό από το 2016 και ύστερα) για να βοηθήσουν τους ενεργειακά φτωχούς πολίτες [25].

Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και οι προμηθευτές ενέργειας δράττουν την ευκαιρία να προωθήσουν ένα μέλλον ενέργειας που ψηφιοποιείται και αποκεντρώνεται,

διευκολύνοντας τη συλλογή των δεδομένων που απαιτούνται για τον εντοπισμό ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών, καθώς και τη διαμόρφωση μιας κοινής στρατηγικής για τον μετριασμό του φαινομένου με ένα έξυπνο και ολοκληρωμένο τρόπο [26][27].

Οι δράσεις στις οποίες έχουν καταλήξει και εφαρμόζουν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειες, οι κρατικοί μηχανισμοί και οι προμηθευτές ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής 4 ομάδες παρεμβάσεων [28]:

1. Οικονομικές παρεμβάσεις: Έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν ευάλωτους και ενεργειακά φτωχούς πολίτες μέσω βραχυπρόθεσμης πληρωμής λογαριασμών.
2. Προστασία ενεργειακά φτωχών πολιτών: Ο στόχος τους έγκειται στην παροχή προστασίας στους καταναλωτές όπως η απαγόρευση αποσύνδεσης. Δεν στοχεύουν στις ρίζες του προβλήματος, αλλά συνιστούν σημαντική βοήθεια για αντιμετώπιση της ενεργειακή φτώχεια.
3. Ενεργειακής αποδοτικότητας: Περιλαμβάνουν κυρίως επιδοτούμενα προγράμματα που στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της κτηριακής υποδομής και στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
4. Ενημέρωσης και πληροφόρησης: Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν εκστρατείες ευαισθητοποίησης και ενεργειακές συμβουλές για να βοηθήσουν τους πολίτες να κατανοήσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας, καθώς και να τους ενημερώσουν για τις τιμές της λιανικής αγοράς ενέργειας και τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας.

Αναλυτικότερη περιγραφή της υπάρχουσας στρατηγικής παρεμβάσεων γίνεται στο Κεφάλαιο 2 με ιδιαίτερη στόχευση στην σημασία των δράσεων ενεργειακής αποδοτικότητας.

### 1.8 Στόχος της παρούσας διπλωματικής

Όπως αναδείχθηκε στην εισαγωγή που προηγήθηκε η διοχέτευση των επενδύσεων παραμένει βασική πρόκληση για τα έργα που σχετίζονται με την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των δράσεων που πραγματοποιούνται την παρούσα χρονική στιγμή έχουν συγκεκριμένη στόχευση και αφορούν συγκεκριμένες δράσεις. Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας απαιτεί την βέλτιστη διαχείριση και συνδυασμό των γνώσεων και των πόρων που διατίθενται.

Σε αυτό το πλαίσιο η παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσει ένα υπολογιστικό εργαλείο το οποίο παράγει και εξετάζει τους βέλτιστους συνδυασμούς παρεμβάσεων που στοχεύουν στην εξάλειψη της ενεργειακής φτώχειας χρησιμοποιώντας τις αρχές της ανάλυσης χαρτοφυλακίου. Το εργαλείο απευθύνεται σε ιδιωτικούς και κρατικούς οργανισμούς ή συνδυασμό των δύο οι οποίοι θέλουν να επενδύσουν προς την κατεύθυνση εξάλειψης της ενεργειακής φτώχειας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις σημαντικές διαφορές που αφορούν τα χαρακτηριστικά κάθε χώρας αλλά και μεταξύ των δυνατοτήτων των διαφόρων κρατικών οργανισμών και προμηθευτών

ενέργειας η ανάλυση έχει παραμετροποιηθεί κατάλληλα δίνοντας στον επενδυτή την δυνατότητα να θέσει πρωτεύοντες στόχους που αφορούν το κεφάλαιο που επιδιώκει να διαθέσει, τον στόχο ενεργειακής εξοικονόμησης και τον αριθμό των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών που επιδιώκει να στοχεύσει η καμπάνια. Δευτερευόντως η εφαρμογή παραμετροποιείται σε επίπεδο κατηγοριών παρεμβάσεων όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η κλίμακα των δράσεων και τη στόχευση σε παλιότερα ή νέα κτίρια.

Στο ακόλουθο κεφάλαιο αναδεικνύεται η σημασία της ενεργειακής αποδοτικότητας στην καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας. Στα Κεφάλαια 3 και 4 αποτυπώνεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να αναπτυχθεί το εργαλείο υπολογισμού και ο τεχνικός τρόπος υλοποίησης του. Στα Κεφάλαια 5 γίνεται μία αναλυτική περιγραφή του εργαλείου που αναπτύχθηκε με τη χρήση στιγμιότυπων χρήσης του και στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται ένα case study χρήσης του από προμηθευτή ενέργειας που έχει βάση την Κροατία. Τέλος, τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας συνοψίζονται στο Κεφάλαιο 7.



## 2. Η ενεργειακή αποδοτικότητα και μέτρα καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας

Ο προσδιορισμός των βασικών αιτίων που προκαλούν την ενεργειακή φτώχεια στο ευρωπαϊκό πλαίσιο έχει προχωρήσει σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Παραδοσιακά, η έρευνα είχε εστιαστεί σε ένα σύνολο τριών βασικών παραγόντων: τις τιμές της ενέργειας, τη μείωση των εισοδημάτων των νοικοκυριών και τη διαμονή σε ένα ενεργειακά μη-αποδοτικό σπίτι. Αυτό αποτελεί και το βασικό τρίπτυχο στο οποίο αποδόθηκε η ενεργειακή φτώχεια. Ωστόσο, πιο πρόσφατα η ενεργειακή απόδοση των κατοικιών αντιμετωπίστηκε ως η πιο κύρια αιτία για τις περισσότερες από τις δυσμενείς επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας, διότι οδηγεί μεταξύ άλλων σε χαμηλά επίπεδα θερμικής άνεσης, καθώς και στην παρουσία υγρασίας και μούχλας το περίβλημα.

Επιπλέον, το 36% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα  $CO_2$  στην Ευρωπαϊκή Ένωση προέρχεται από τον οικιακό τομέα [8]. Αυτό σημαίνει ότι προκειμένου να επιτευχθούν οι κλιματικοί στόχοι πρέπει όλα τα νοικοκυριά τόσο αυτά που έχουν κατηγοριοποιηθεί ως χαμηλού εισοδήματος όσο και αυτά με υψηλό εισόδημα να είναι ενεργειακά αποδοτικά στο μέλλον. Αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα της ενεργειακής απόδοσης στα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα πρέπει να λυθεί από διαφορετική οπτική γωνία, όχι μόνο από την προοπτική της κρατικής πολιτικής αλλά και από την οπτική γωνία της Ε.Ε. για την κλιματική πολιτική.

Συγκεκριμένα, σε έρευνα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την Ενεργειακή Φτώχεια [9] προτείνεται η αναδιατύπωση των Οδηγιών Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Directive - EED) [29] και των Οδηγιών Κτηριακών Επιδόσεων των Κτιρίων (Energy Performance Building Directive - EPBD) [30] ώστε να περιλαμβάνει την υποχρέωση αναφοράς της προόδου της ενεργειακής απόδοσης σε διάφορα τμήματα των νοικοκυριών, συμπεριλαμβανομένων των νοικοκυριών χαμηλού εισοδήματος. Επίσης, ο EED προτείνεται να απαιτεί από τα κράτη μέλη να συμπεριλάβουν δευτερεύοντες στόχους για την ενεργειακή απόδοση για συγκεκριμένες ευάλωτες ομάδες όπως τα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος.

Τα εμπόδια για την επίτευξη της ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες.

- Στα εμπόδια που αφορούν την έλλειψη πληροφόρησης, καθώς πολλοί άνθρωποι δεν έχουν τις σωστές πληροφορίες για το πώς να εξοικονομήσουν ενέργεια ή οι πληροφορίες που παρέχονται δεν έχουν σχεδιαστεί για να καλύψουν τις συγκεκριμένες ανάγκες τους. Η συσχέτιση μεταξύ χαμηλότερων επιπέδων γνώσεων, χαμηλού εισοδήματος και της ενεργειακής φτώχειας περιπλέκει ιδιαίτερα την κατάσταση.
- Στη δυσκολία πρόσβασης σε χρηματοδοτικούς μηχανισμούς. Υπάρχουν άνθρωποι που ξέρουν πώς μπορούν να κάνουν τα νοικοκυριά τους πιο αποτελεσματικά, αλλά δεν έχουν

τις αρχικές αποταμιεύσεις για να επενδύσουν, ή δεν είναι αξιόπιστοι για να αποκτήσουν πρόσβαση σε χρηματοδοτήσεις.

- Στην επιλογή των κινήτρων μεταξύ του ιδιοκτήτη και του μισθωτή. Υπάρχει το δίλημμα ποιος πρέπει να πληρώσει για μία επένδυση που στοχεύει στην ενεργειακή αποδοτικότητα, όταν και οι δύο πλευρές θα επωφεληθούν. Οι ιδιοκτήτες, επιθυμούν να συνδυάσουν τις επενδύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας με αύξηση στην τιμή του ενοικίου. Στην αντίθετη πλευρά τα κίνητρα των ενοικιαστών μετριαζονται όταν η μίσθωση είναι βραχυχρόνια και δεν δικαιολογεί το κόστος των ενεργειακών επενδύσεων.

Οι πολιτικές που υποστηρίζουν την ενεργειακή αποδοτικότητα διακρίνονται σε τρεις ομάδες: γενικές πολιτικές ενεργειακής αποδοτικότητας, συγκεκριμένες πολιτικές ενεργειακής αποδοτικότητας που αφορούν τα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος και κοινωνικές πολιτικές.

Σύμφωνα με την εκτίμηση της μελέτης του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου το 2017 [9], απαιτούνται επενδύσεις μεταξύ 55 και 110 δισεκατομμυρίων ευρώ στην Ευρώπη για την επίλυση του προβλήματος της ενεργειακής αποδοτικότητας στα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα. Οι συστάσεις της μελέτης τόνισαν ότι η επιλογή των πολιτικών που θα εφαρμοστούν πρέπει να αφεθεί στα κράτη μέλη και ότι τα κράτη μέλη πρέπει αρχικά να εφαρμόσουν πρώτα διαρθρωτικές πολιτικές όπως το «Fonds Sociaux Plaquette Precarite Energetique» στη Γαλλία, που στοχεύει στην αναβάθμιση των ενεργειακά μη-αποδοτικών κτηρίων σε δημοτικό επίπεδο.

Ένα κύριο ζήτημα που περιπλέκει την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας και παράλληλα δυσκολεύει την επίτευξη ενεργειακής αποδοτικότητας είναι η έλλειψη δεδομένων που αφορούν την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων τα κράτη μέλη της Ε.Ε.

Το Ινστιτούτο Κτιριακών Επιδόσεων της Ευρώπης (The Building Performance Institute of Europe - BPIE)[38] αποτελεί την κύρια πηγή τέτοιων δεδομένων αλλά σε επίπεδο κρατών μελών δεν υπάρχουν αντίστοιχες ολοκληρωμένες πρωτοβουλίες.

## 2.1 Ευρωπαϊκοί χρηματοδοτικοί μηχανισμοί

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν την δυνατότητα να αντλήσουν χρηματοδότηση για τις παρεμβάσεις τους που στοχεύουν στην αναβάθμιση της ενεργειακής αποδοτικότητας της κτηριακής υποδομής τους από τρεις διαφορετικές πηγές:

- Το Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων (European Fund for Strategic Investments - EFSI) [31]. Ο κεντρικός πυλώνας του Επενδυτικού Σχεδίου για την Ευρώπη. Στόχος του είναι να αντιμετωπίσει την έλλειψη εμπιστοσύνης και επενδύσεων που προέκυψαν από την οικονομική και χρηματοπιστωτική κρίση και να κάνει χρήση της ρευστότητας που κατέχουν χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, εταιρείες και ιδιώτες σε μια εποχή που οι δημόσιοι πόροι είναι λιγοστοί. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) συνεργάζεται με τον στρατηγικό της εταίρο, την Ευρωπαϊκή Τράπεζα



Επενδύσεων (European Investment Bank - EIB). Το EFSI υποστηρίζει στρατηγικές επενδύσεις σε βασικούς τομείς όπως υποδομές, ενεργειακή απόδοση και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έρευνα και καινοτομία, περιβάλλον, γεωργία, ψηφιακή τεχνολογία, εκπαίδευση, υγεία και κοινωνικά έργα.

- Το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (European Fund for Regional Development - ERDF) [32]. Στοχεύει στην ενίσχυση της οικονομικής και κοινωνικής συνοχής στην Ευρωπαϊκή Ένωση διορθώνοντας τις ανισοροπίες μεταξύ των περιφερειών της. Συγκεκριμένα στοχεύει σε επενδύσεις που αφορούν την έρευνα και καινοτομία, τον ψηφιακό μετασχηματισμό, την υποστήριξη μικρό-μεσαίων επιχειρήσεων (SMEs) και την low-carbon πολιτική.
- Το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (European Social Fund – ESF) [33] είναι το βασικό ταμείο της Ευρώπης για τη αναβάθμιση των θέσεων εργασίας, την υποστήριξη των ατόμων να αποκτήσουν καλύτερες θέσεις εργασίας και τη διασφάλιση δίκαιων ευκαιριών εργασίας για όλους τους πολίτες της ΕΕ. Λειτουργεί επενδύοντας στο ανθρώπινο δυναμικό της Ευρώπης - τους εργαζόμενους, τους νέους και όλους όσους αναζητούν εργασία. Η χρηματοδότηση από το ΕΚΤ ύψους 10 δισεκατομμυρίων ευρώ ετησίως βελτιώνει τις προοπτικές απασχόλησης για εκατομμύρια Ευρωπαίους, ιδίως εκείνους που δυσκολεύονται να εργαστούν. Στα πλαίσια της ενεργειακής φτώχειας οι πόροι του ΕΚΤ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναβάθμιση των απολαβών των ενεργειακά φτωχών πολιτών.

## 2.2 Πλαίσιο Ενεργειακής Ένωσης - Energy Union Framework

Το Πλαίσιο Ενεργειακής Ένωσης (Energy Union Framework) είναι μια στρατηγική της Ενεργειακής Ένωσης με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που εγγυάται προσιτή, ασφαλή, ανταγωνιστική και βιώσιμη ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους. Μέσω του Πλαισίου Ενεργειακής Ένωσης (European Energy Framework) η Ενεργειακή Ένωση επιδιώκει τον εκσυγχρονισμό της ευρωπαϊκής ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, ενισχύει τη μετάβαση της καθαρής ενέργειας της ευρωπαϊκής οικονομίας σε βασικούς τομείς, σύμφωνα με τις δεσμεύσεις της συμφωνίας του Παρισιού [34], διασφαλίζοντας παράλληλα μια κοινωνικά δίκαιη μετάβαση. Η οικοδόμηση μιας ανθεκτικής Ενεργειακής Ένωσης με μια μελλοντοστραφή πολιτική για το κλίμα και την ενέργεια ήταν μια από τις πολιτικές προτεραιότητες της Επιτροπής Γιούνκερ.

## 2.3 Horizon 2020 - Το πρόγραμμα της ΕΕ για έρευνα και καινοτομία

Διαθέτει συνολικό προϋπολογισμό 70 δισεκατομμυρίων ευρώ για τη στήριξη διασυνοριακών έργων που εστιάζονται σε παρεμβάσεις που σχετίζονται με την ενέργεια (ενεργειακή αποδοτικότητα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και προστασία του κλίματος). Όσον αφορά τη φύση της χρηματοδότησης, οι πάροχοι κοινωνικής στέγασης θα μπορούσαν να επωφεληθούν

σημαντικά από το πρόγραμμα «Horizon 2020», δεδομένης της χρηματοδοτικής του στήριξης, παρά το γεγονός ότι η κλίμακα του επιτρέπει μόνο την εκτέλεση μερικών πιλοτικών έργων. Οι επιχορηγήσεις που προέρχονται από το πρόγραμμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν τους πολίτες να αντιμετωπίσουν την ενεργειακή φτώχεια υλοποιώντας σημαντικές ανακαινίσεις κτιρίων που υπερβαίνουν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής αποδοτικότητας, αναπτύσσοντας καινοτόμες τεχνολογίες και αντιμετωπίζοντας κοινωνικά ζητήματα που επιδεινώθηκαν από την κρίση σε πολλές περιοχές.

Οι δυνατότητες συνδυασμού χρηματοδότησης είναι μεγάλες για το Horizon 2020, δεδομένου ότι μπορεί να συγχρηματοδοτήσει έργα που υποστηρίζονται ήδη από το ESIF, ενώ χρησιμεύει επίσης ως κεφαλαιουχικό ταμείο για το Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων (EFSI) για τη δημιουργία πρόσθετων επενδύσεων, αξιοποιώντας έτσι επενδύσεις σε καινοτόμα έργα με υψηλότερα αποτελέσματα.

#### 2.4 Ινστιτούτο Κτιριακών Επιδόσεων της Ευρώπης (Building Performance Institute of Europe - BPIE)

Το BPIE [34] είναι ένα μη κερδοσκοπικό think tank με επίκεντρο την ανεξάρτητη ανάλυση και τη εξαγωγή γνώσεων, οι οποίες υποστηρίζουν την χάραξη πολιτικής βάσει τεκμηρίων στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια στην Ε.Ε.

Αποτελεί κέντρο εμπειρογνωμοσύνης για όλες τις πτυχές της ενεργειακής αποδοτικότητας, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ενεργειακής αποδοτικότητας των ευρωπαϊκών κτιρίων. Το BPIE επικεντρώνεται στην ανάλυση των εφαρμοσμένων πολιτικών, στην παροχή βελτιωτικών προτάσεων και στη μετάδοση της παραγόμενης γνώσης μέσω μελετών, παρουσιάσεων και εκδηλώσεων. Παράλληλα, προωθεί τις βέλτιστες πρακτικές για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων.

Ο στόχος του BPIE είναι η επίτευξη ενός βιώσιμου και low-carbon περιβάλλοντος. Τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των συναφών εκπομπών CO<sub>2</sub> έχουν εκτιμηθεί σε πολλές μελέτες μεταξύ 70 και 90% έως το 2050 [9], χρησιμοποιώντας την σημερινή τεχνολογία. Η πρόκληση έγκειται στη δημιουργία και εφαρμογή ενός πλαισίου πολιτικής και επενδύσεων που να υλοποιεί αυτούς τους στόχους, καθώς και τα πολλά άλλα κοινωνικά οφέλη που συνδέονται με την κτηριακή αποδοτικότητα των κτιρίων.

#### 2.5 Προγράμματα ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ε.Ε. και το Ηνωμένο Βασίλειο

Σε αρκετά κράτη μέλη της Ε.Ε. και του Ηνωμένου Βασιλείου έχουν ήδη παρατηρηθεί προγράμματα με κρατική και ιδιωτική πρωτοβουλία (προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, ΜΚΟ) τα οποία απευθύνονται στο πρόβλημα της ενεργειακής αποδοτικότητας. Μερικά παραδείγματα από αυτά είναι το «Habiter Mieux» και «Fonds Sociaux Plaque Energie Precarite Energetique» στην

Γαλλία, το «The Communities energy Grant» στην Ιρλανδία, το «Caritas Stromsparcheck» στην Γερμανία και το «Homes Energy Efficiency Programs» στην Σκωτία.

Η Γαλλία χρησιμοποιεί τον ορισμό του 10% της ενεργειακής φτώχειας. Η ιδιαιτερότητα αυτής της υπόθεσης είναι ότι η πρόσβαση στην ενέργεια είναι «βασικό δικαίωμα» στη Γαλλία. Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας δεν επιτρέπεται να διακόψουν την παροχή ενέργειας κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ακόμη και αν οι πελάτες τους δεν πληρώνουν τους λογαριασμούς τους. Στην Γαλλία υπολογίζεται ότι ο αριθμός των ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών είναι 3,5 εκατομμύρια.

Στους δήμους της Γαλλίας ένας τρόπος υποστήριξης ευάλωτων νοικοκυριών για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κατοικιών τους είναι το πρόγραμμα “Fonds Sociaux Plaquelette Precarite Energetique” (FSATME). Σε αυτό το πρόγραμμα ο εκάστοτε δήμος συγκεντρώνει ποσά από δωρεές ιδιωτών ή από τρέχοντα κρατικά προγράμματα της χώρας, με σκοπό να τα διοχετεύσει σε ευάλωτα νοικοκυριά για εργασίες ενεργειακής ανακαίνισης της οικίας τους. Το πρόγραμμα αυτό δικαιολογεί μεταξύ άλλων εργασίες θερμομόνωσης τοίχων, μόνωσης ή αντικατάστασης παραθύρων, εγκατάσταση ρυθμιζόμενου θερμοστάτη, τοποθέτηση κεντρικής θέρμανσης και αλλαγής λαμπτήρων. Από το 2010 που τρέχει το πρόγραμμα, για κάθε ευρώ της επιδότησης, παράχθηκε εργασία ύψους 3.3 € και εξοικονομήθηκε ενέργεια κόστους 8,75 € [35].

Επιπλέον, ένα από τα μέτρα που έχει επιλέξει η κυβέρνηση για την αντιμετώπιση του ζητήματος είναι το πρόγραμμα «Habiter Mieux»: ένα πρόγραμμα βελτίωσης κατοικιών που χρηματοδοτείται από κρατικές και ενεργειακές εταιρείες, το οποίο επιτρέπει στους ανθρώπους με χαμηλό εισόδημα να βελτιώσουν τα σπίτια τους. Το πρόγραμμα είναι αποτελεσματικό για τους ανθρώπους που εντάχθηκαν, αλλά αυτοί αποτελούν μόνο μια μειοψηφία των ενδιαφερόμενων ατόμων (έως το 2015 50 χιλιάδες κτίρια είχαν ανακαινιστεί από τα συνολικά 3,5 εκατομμύρια νοικοκυριά) [9][36].

Στην Ιρλανδία αντίστοιχα η SEAI είναι η δημόσια Αρχή Αειφόρου Ενέργειας της Ιρλανδίας και είναι αρμόδια στην διοχέτευση των κρατικών και ευρωπαϊκών κονδυλίων για προγράμματα και σχέδια βιώσιμης ενεργειακής ανάπτυξης. Ένα τέτοιο πρόγραμμα αποτελεί και το σχέδιο «The Communities energy Grant». Οι ιρλανδικές κοινότητες επιδοτούνται ετησίως με 28 εκατομμύρια €, ώστε να χρηματοδοτηθούν έργα ενεργειακής αναβάθμισης σπιτιών. Συγκεκριμένα δικαιολογούνται έργα για την θερμομόνωση των κτιρίων και την αλλαγή κουφωμάτων, αλλαγή συστημάτων θέρμανσης ή την αναβάθμιση συστημάτων ελέγχου θέρμανσης, λύσεις με ΑΠΕ όπως φωτοβολταϊκά πάνελ, αναβάθμιση συστημάτων φωτισμού, εγκατάσταση έξυπνων μετρητών θερμοκρασίας και κατανάλωσης ενέργειας και άλλες παρόμοιες λύσεις ενεργειακής αναβάθμισης. Το πρόγραμμα όμως θέτει και κάποιους περιορισμούς, με τις εργασίες θερμομόνωσης να περιορίζονται σε σπίτια κτισμένα προ του 2006 και εργασίες αντικατάστασης ή επισκευής θερμικών συστημάτων και λοιπές επιτρεπόμενες εργασίες, σε σπίτια προ του 2011. Κάθε κοινότητα μπορεί να λάβει από 30.000 € έως 1 εκατομμύριο, με 50% κρατική

χρηματοδότηση για την εκπόνηση του έργου της. Με τη σειρά της, η κάθε κοινότητα έχει τη δυνατότητα να χρηματοδοτήσει έως 80% των ενεργειακών αναβαθμίσεων των κτιρίων, αποδεδειγμένα ενεργειακά φτωχών νοικοκυριών που ανήκουν σε αυτήν. Συνολικά, το πρόγραμμα αυτό έχει υποστηρίξει την αναβάθμιση 18.200 κτιρίων με εξοικονομημένη ενέργεια ύψους 122,5 GWh. [37]

Στη Γερμανία, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Προστασίας της Φύσης και Πυρηνικής Ασφάλειας της Γερμανίας σε συνεργασία με την μη κερδοσκοπική οργάνωση Caritas, οργανώνουν ενεργειακούς ελέγχους με αυτοψίες που πραγματοποιούνται από ενεργειακούς συμβούλους σε οικίες νοικοκυριών που λαμβάνουν κάποιο κοινωνικό επίδομα ή έχουν χαμηλό εισόδημα. Κατά την διάρκεια των ελέγχων μετρούν την κατανάλωση ενέργειας των ψυγείων, των ηλεκτρικών κουζινών, των πλυντηρίων, του φωτισμού, των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των τηλεοράσεων και των συστημάτων θέρμανσης νερού, προκρίνοντας βιώσιμες λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Μετά τον ενεργειακό έλεγχο, το μέτρο, σαν επιπρόσθετη βοήθεια, παρέχει λάμπες led και φτηνά συστήματα ελέγχου θερμοκρασίας χωρίς κάποια οικονομική επιβάρυνση των νοικοκυριών, βοηθώντας με μια εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας μέσου όρου 15%. Παράλληλα όσα νοικοκυριά λαμβάνουν επίδομα ανεργίας, επίδομα στέγασης ή κάποιο κοινωνικό επίδομα, δικαιούνται μια επιδότηση 100€ για αγορά ψυγείου ενεργειακής κλάσης A+++ . Από το 2009 μέχρι το 2019, εκτιμάται ότι περίπου 350.000 χαμηλόμισθα νοικοκυριά έχουν επωφεληθεί από το πρόγραμμα, με μέση εξοικονόμηση 172€ στις ενεργειακές δαπάνες κάθε νοικοκυριού. [38]

Τέλος στη Σκωτία, η δράση «Homes Energy Efficiency Programs of Scotland» περιλαμβάνει προγράμματα χρηματοδότησης ενεργειακής αναβάθμισης, το «Warmer Homes Scotland», το «Equity Loan» και το «Loans Scheme for Social Landlords». Η Σκωτία που, όπως και η Ουαλία, θεωρείται μια περιφέρεια του Ηνωμένου Βασιλείου, υπό την θέσπιση της πολιτικής «Energy Efficiency» το 2015, ενεργοποίησε μια δράση/σχέδιο για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού τομέα της χώρας.

Η δράση αυτή είναι η HEEPS, «Homes Energy Efficiency Programs of Scotland» που περιλαμβάνει διάφορα προγράμματα στήριξης που παρέχουν επιδοτήσεις, δάνεια και συμβουλές για εργασίες ενεργειακής αναβάθμισης σε νοικοκυριά που ανήκουν είτε σε ευπαθείς ομάδες ή είναι σε κατάσταση ενεργειακής φτώχειας.

- Το «Warmer Homes Scotland» χρηματοδοτεί εργασίες για στεγανοποίηση και θερμομόνωση τοίχων και σοφίτων, εγκατάσταση ΑΠΕ , εγκατάσταση κεντρικών συστημάτων θέρμανσης και διασύνδεσής τους με το κεντρικό δίκτυο θέρμανσης. Το μέγιστο ύψος της χρηματοδότησης φτάνει τις 4.000 £ ανά κατοικία.
- Το «Equity Loan» που παρέχει άτοκα δάνεια σε ιδιοκτήτες κατοικιών μέχρι 40.000 £ και όχι περισσότερο από το 50% της αντικειμενικής αξίας του ακινήτου τους, για εργασίες που θα αναβαθμίσουν ενεργειακά την κατοικία τους.

- Το πρόγραμμα «Loans Scheme for Social Landlords» παρέχει δάνεια από 30.000 έως 1.000,000 £ σε δήμους ή σε συνεταιρισμούς στέγασης που έχουν στη κατοχή τους συγκροτήματα κατοικιών και τα νοικιάζουν σε νοικοκυριά, ώστε να τα αναβαθμίσουν ενεργειακά. [30]

## 2.6 Προγράμματα ενημέρωσης πολιτών

Παράλληλα με τα έργα ενεργειακής αποδοτικότητας σε αρκετά κράτη μέλη της Ε.Ε. και του Ηνωμένου Βασιλείου έχουν ήδη παρατηρηθεί προγράμματα με κρατική και ιδιωτική πρωτοβουλία (προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, ΜΚΟ) τα οποία απευθύνονται στην ελλιπή ενημέρωση και πληροφόρηση των ενεργειακά φτωχών και όχι μόνο πολιτών. Στη συνέχεια παρατίθενται μερικά από τα πιο κοινά προγράμματα/πολιτικές σε επιλεγμένες χώρες της Ε.Ε.

Στην Τσεχία η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας της Τσεχίας (ERU) στην ιστοσελίδα της παρέχει την δυνατότητα χρήσης ενός εργαλείου που επιτρέπει την σύγκριση τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου της αγοράς. Με αυτόν τον τρόπο, οι καταναλωτές τοποθετώντας την κατανάλωσή τους και επιλέγοντας την περιοχή διαμονής τους μπορούν να διαλέξουν την κατάλληλη ταρίφα της αγοράς επιλέγοντας τον προμηθευτή που την παρέχει, ώστε να μειώσουν τις ενεργειακές τους δαπάνες [39].

Στην Ολλανδία, ο δήμος του Ρότερνταμ, ο οργανισμός υπηρεσιών πρόνοιας DOCK, ο διαχειριστής του δικτύου Stedin και η εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας Eneco ξεκίνησαν την καμπάνια «Η Λεγεώνα της Ενέργειας», για την ευαισθητοποίηση των κατοίκων του δήμου σε θέματα που αφορούν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος της. Στην καμπάνια αυτή συμμετέχουν 30 εθελοντές, οι οποίοι περνώντας από εκπαίδευση μπορούν να παρέχουν χρήσιμες συμβουλές στους πολίτες για θέματα που έχουν να κάνουν με τον λογαριασμό τους αλλά και για πιθανούς τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας στην οικία τους, επικεντρώνοντας την προσοχή τους στην συμπεριφορά των πολιτών στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρόγραμμα επίσης παρέχει μικροσυσκευές που βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας αξίας 56€ (πρίζες με χρονοδιακόπτες, λάμπες led κ.ά.). Τα νοικοκυριά καλούνται μετά την εφαρμογή των διάφορων συμβουλών και των παροχών του προγράμματος να παρατηρούν τις ενδείξεις των μετρητών ενέργειας για να δουν αν και πόσο ωφελήθηκαν για τους επόμενους 6 μήνες [40].

Στη Γαλλία, η EDF (Électricité de France), εταιρεία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας εν μέρη κρατική και η Καθολική Αρωγή (μη κερδοσκοπικός οργανισμός) ένωσαν τις δυνάμεις τους με ένα πρόγραμμα αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας στοχεύοντας στην υποστήριξη ευάλωτων νοικοκυριών. Η στήριξη αυτή έχει χαρακτήρα ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης για ζητήματα ενεργειακής φτώχειας και συμβουλές αντιμετώπισής της. Τα ευάλωτα νοικοκυριά ενημερώνονται για τρέχοντα προγράμματα στήριξης που μπορούν να δικαιούνται συμμετοχή και εκπαιδεύονται με κάποια παραδείγματα για τρόπους μείωσης των

ενεργειακών δαπανών τους, μέσω αλλαγών της συμπεριφοράς τους προς την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στην καθημερινότητά τους [41].

Τέλος, ένα μέτρο καταπολέμησης της ενεργειακής φτώχειας στην Ελλάδα αποτελεί το πρόγραμμα «Χτίζοντας το Μέλλον» το οποίο εφαρμόζεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Το πρόγραμμα έχει ως στόχο την προώθηση μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας όπως προβλέπεται από την Ευρωπαϊκή και Εθνική Νομοθεσία. Τα μέτρα αυτά αφορούν κυρίως την ενημέρωση των πολιτών για τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και για μεθόδους βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Επίσης, μέσω του προγράμματος δίνεται στους καταναλωτές η δυνατότητα εξοικείωσης τους με τη μείωση ενεργειακών δαπανών αλλά και εύρεσης πιστοποιημένων προϊόντων και προμηθευτών της αγοράς, μέσω διαδικτυακών εφαρμογών που παρέχει. Σκοπός του προγράμματος είναι να ευαισθητοποιήσει τους καταναλωτές ως προς πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και ως προς τα οφέλη από τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων, χρησιμοποιώντας μέσα όπως στοχευμένες δράσεις ενημέρωσης, διάδοσης και πληροφόρησης σε συνδυασμό με τη σύναψη εθελοντικών συμφωνιών με κοινό σκοπό την επίτευξη του εθνικού στόχου για την εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20% μέχρι το 2020 [42].

### 3. Μεθοδολογία ανάπτυξης του εργαλείου

Ο στόχος υλοποίησης του εργαλείου όπως περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 1 είναι η παραγωγή και εξέταση χαρτοφυλακίων παρεμβάσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πλάνα επενδύσεων από κρατικούς και ιδιωτικούς οργανισμούς για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας. Το εργαλείο αναπτύχθηκε βασισμένο στις αρχές της ανάλυσης χαρτοφυλακίου. Η δομή του παρόντος κεφαλαίου έχει ως αφετηρία την εισαγωγή και διευκρίνιση βασικών πληροφοριών που αφορούν το επιστημονικό πεδίο της ανάλυσης χαρτοφυλακίου συνεχίζει με τον ορισμό και παρουσίαση των βασικών στοιχείων της εφαρμογής και καταλήγει στην μαθηματική μοντελοποίηση.

#### 3.1 Η Ανάλυση χαρτοφυλακίου

##### 3.1.1 Η Έννοια του χαρτοφυλακίου

Ένα χαρτοφυλάκιο παρεμβάσεων (επενδύσεων, σε γενικότερο επίπεδο) μπορεί να θεωρηθεί σαν μια πίτα που χωρίζεται σε κομμάτια διαφορετικών μεγεθών, κάθε ένα εκ των οποίων αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένα κατηγορία παρεμβάσεων (ή / και τύπων επενδύσεων σε γενικότερο επίπεδο) για την επίτευξη κατάλληλης κατανομής του χαρτοφυλακίου ώστε να ικανοποιηθούν οι αντικειμενικοί στόχοι του κατόχου του. Οι αντικειμενικοί στόχοι στις περισσότερες περιπτώσεις αφορούν το οικονομικό κόστος και το ρίσκο. Για αυτό το λόγο η έννοια του χαρτοφυλακίου είναι στενά συνδεδεμένη με την έννοια της ανοχής στο ρίσκο (risk-tolerance).

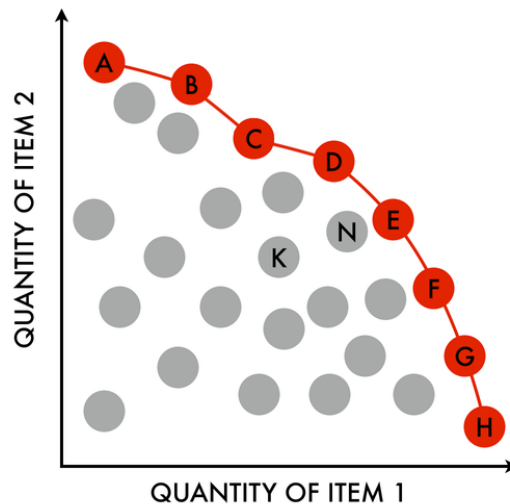
##### 3.1.2 Αποτελεσματικότητα Pareto – Pareto Efficiency

Η αποτελεσματικότητα Pareto ή η βελτιστοποίηση 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 ιδέα στις μελέτες του σχετικά με την οικονομική αποδοτικότητα και την κατανομή εισοδήματος.

Οι ακόλουθες τρεις έννοιες σχετίζονται στενά:

- Δεδομένης μιας αρχικής κατάστασης, η βελτίωση κατά Pareto είναι μια νέα κατάσταση όπου ορισμένοι συμμετέχοντες θα κερδίσουν και κανένας συμμετέχων δεν θα χάσει.
- Μια κατάσταση ονομάζεται Pareto dominated εάν επιδέχεται βελτίωση κατά Pareto.
- Μια κατάσταση ονομάζεται Pareto optimal 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.



Εικόνα 3.1: Μέτωπο Pareto (Pareto Front)

Στην φωτογραφία που προηγήθηκε οι άξονες δηλώνουν τους αντικειμενικούς στόχους που θέτουμε. Το σύνολο των σημείων [A,B,C,D,E,F,G,H] ορίζουν το σύνολο των χαρτοφυλακίων που ικανοποιούν βέλτιστα τους στόχους που έχουν τεθεί προς βελτιστοποίηση.

Το σύνολο σημείων [K,N] ορίζουν το σύνολο των χαρτοφυλακίων που είναι Pareto Weak καθώς μπορούν να βελτιστοποιηθεί τουλάχιστον ένας από τους δύο στόχους που έχουμε θέσει χωρίς να πληγεί ο άλλος.

#### 3.1.4 Εύρεση του Pareto Front με χρήση της μεθόδου Augmecon-2

Η μοντελοποίηση του προβλήματος του εργαλείου που αναπτύξαμε αποτελεί ένα πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων, συγκεκριμένα το κόστος και το ρίσκο, με ακέραιες μεταβλητές αποφάσεων τους αριθμούς των παρεμβάσεων ανά έτος.

Η Augmecon-2 είναι μία μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον George Mavrotas και τον Kostas Florios [44] η οποία είναι αποτελεσματική στην παραγωγή του μετώπου Pareto (Pareto Front) για προβλήματα Multi Objective Integer Programming (MOIP) δηλαδή πολυκριτηριακών προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού –όπου οι μεταβλητές απόφασης είναι αποκλειστικά ακέραιοι- ρυθμίζοντας κατάλληλα τις μεταβλητές του προβλήματος.

Η Augmecon-2 αποτελεί εξέλιξη της Augmecon η οποία αντίστοιχα στηρίζεται στην λογική της μεθόδου  $\epsilon$ -constraint. Για την καλύτερη κατανόηση της Augmecon-2 θα αναλυθούν συνοπτικά οι μέθοδοι  $\epsilon$ -constraint και Augmecon.



### 3.1.2.1 Η μέθοδος $\epsilon$ -constraint

Έστω ένα πρόβλημα Multi-Objective Mathematical Programming (MOMP) με αντικειμενικές συναρτήσεις τις  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)$ :

$$\text{Max}\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)\} \text{ Subject to } x \in S$$

Όπου  $x$  το διάνυσμα των  $n$ ,  $f_1, \dots, f_p$  οι  $p$  το πλήθος αντικειμενικές συναρτήσεις,  $S$  το χωρίο των εφικτών λύσεων.

Η βασική ιδέα της  $\epsilon$ -constraint είναι ότι βελτιστοποιούμε τη μια αντικειμενική θεωρώντας τις υπόλοιπες ως περιορισμούς.

Ισοδύναμα προκύπτει το εξής πρόβλημα:

$$\text{Max } \{f_1(x)\}$$

Subject to:

$$f_2(x) \geq \epsilon_2$$

$$f_3(x) \geq \epsilon_3$$

...

$$f_p(x) \geq \epsilon_p \quad x \in S \text{ (model *)}$$

Μεταβάλλοντας το RHS  $\epsilon_i$  (right hand side constraint) των αντικειμενικών που έχουμε περιορίσει αποκτούμε τις αποτελεσματικές λύσεις (Efficient Solutions-ES).

Το πρόβλημα επιλύεται πάνω σε ένα πλέγμα (grid) μεγέθους  $N_2 * N_3 * \dots * N_p$  όπου  $N_i$  είναι το εύρος της αντικειμενικής συνάρτησης  $f_i$  δηλαδή η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής. Το grid απεικονίζει τις τιμές που δύναται να λαμβάνουν οι αντικειμενικές συναρτήσεις που εξετάζουμε.

Συγκεκριμένα η εκτέλεση της μεθόδου γίνεται με την χρήση ενός βήματος  $step_i$  που προστίθεται στο RHS  $\epsilon_i$  ξεκινώντας από την ελάχιστη έως τη μέγιστη τιμή της  $N_i$ . Η τιμή του  $step_i$  υπολογίζεται ως:

$$\frac{\text{εύρος αντικειμενικής συνάρτησης}}{\text{grid points}}$$

Όπου grid points είναι αρχική σταθερά που επιλέγεται στην μέθοδο και καθορίζει την ακρίβεια της εκτέλεσης με υπολογιστικό όμως κόστος καθώς αυξάνονται σημαντικά οι επαναλήψεις.

Η επίλυση του προβλήματος ξεκινάει με  $\epsilon_2 = \min(f_2(x))$  και αυξάνοντας κατά  $step_2$  διανύει όλο το εύρος της  $f_2$ . Στη συνέχεια η διαδικασία συνεχίζει για όλες τις αντικειμενικές που έχουν οριστεί και προκύπτει το πλέγμα (grid) το οποίο απεικονίζει τους δυνατούς συνδυασμούς τιμών των αντικειμενικών.

Τρία είναι τα σοβαρά μειονεκτήματα της  $\epsilon$ -constraint [43]:

- Ο υπολογισμός του εύρους της κάθε αντικειμενικής συνάρτησης (Objective function-OF) πάνω στο σύνολο το οποίο περιέχει τις μεταβλητές απόφασης για τις οποίες λαμβάνουμε αποτελεσματικές κατά Pareto λύσεις (efficient set).
- Η αδυναμία εξασφάλισης ότι οι λύσεις που λαμβάνουμε ανήκουν στο Efficient Pareto Front και όχι στο Weak Pareto Front.
- Ο τεράστιος χρόνος επίλυσης για προβλήματα με παραπάνω από 2 αντικειμενικές συναρτήσεις.

### 3.1.2.2 Η μέθοδος Augmecon

Η καινοτομία της μεθόδου Augmecon είναι η χρήση του Payoff Table και η εφαρμογή λεξικογραφική βελτιστοποίηση. Οι δύο έννοιες αναλύονται στη συνέχεια.

Για να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε την  $\epsilon$ -constraint method πρέπει να γνωρίζουμε το εύρος κάθε αντικειμενική συνάρτησης. Ο υπολογισμός του εύρους των αντικειμενικών συναρτήσεων δεν είναι μια εύκολη διαδικασία. Η μέγιστη τιμή της αντικειμενικής είναι εύκολο να βρεθεί αφού αυτή αποκτάται αν βελτιστοποιήσουμε την αντικειμενική θεωρώντας ότι δεν υπήρχαν οι υπόλοιπες.

Ωστόσο ο υπολογισμός της ελάχιστης τιμής κάθε αντικειμενικής πάνω στο Efficient Pareto Set (EPS) δηλαδή στο σύνολο των διανυσμάτων  $dn$  για τα οποία οι αντίστοιχες τιμές των υπόλοιπων αντικειμενικών ανήκουν στο Efficient Pareto Set δεν είναι εύκολη διαδικασία και για τον υπολογισμό αυτών των ελάχιστων τιμών (nadir points) χρησιμοποιούμε τον πίνακα πληρωμών (payoff table) και την επονομαζόμενη λεξικογραφική βελτιστοποίηση.

Το payoff table λαμβάνεται ως εξής:

- Αρχικά θεωρούμε ότι υφίσταται μόνο η  $f_1$  την οποία βελτιστοποιούμε και η οποία λαμβάνει την μέγιστη τιμή της για ένα διάνυσμα  $dn$   $x_1$ . Η πρώτη γραμμή του πίνακα λοιπόν συμπληρώνεται με τις τιμές  $f_1(x_1), f_2(x_1), \dots, f_p(x_1)$ .
- Εν συνεχεία βελτιστοποιούμε μόνο την  $f_2$  σαν να μην υπήρχαν οι υπόλοιπες συναρτήσεις οπότε αυτή λαμβάνει την μέγιστη τιμή της για ένα διάνυσμα  $dn$   $x_2$ . Η δεύτερη γραμμή του πίνακα συμπληρώνεται με τις τιμές  $f_1(x_2), f_2(x_2), \dots, f_p(x_2)$ .
- Έτσι η ελάχιστη τιμή (nadir value) μιας αντικειμενικής θεωρείται η ελάχιστη τιμή από την εκάστοτε στήλη.

Η ελάχιστη τιμή της  $f_i$  αντιστοιχεί στην μικρότερη τιμή που λαμβάνει η  $f_i$  στην στήλη  $i$ . Ωστόσο πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι οι λύσεις που λαμβάνουμε από την μεμονωμένη βελτιστοποίηση της εκάστοτε αντικειμενικής ανήκουν όντως στο σύνολο των βέλτιστων λύσεων Pareto (Optimal Pareto Solutions – OPS) δηλαδή στο EPS. Στην περίπτωση πολλαπλών ακροτάτων μίας αντικειμενικής υπάρχει περίπτωση το λαμβανόμενο διάνυσμα των αντικειμενικών να μην

ανήκει στο OPS. Δηλαδή αν η μεμονωμένη βελτιστοποίηση της  $f_1$  έχει δύο (ή παραπάνω) λύσεις  $u, v$  τέτοιες ώστε  $\max f_1 = f_1(u) = f_1(v)$  τότε προφανώς το λογισμικό επίλυσης θα μας δώσει την μία από τις δύο με συνέπεια στο payoff table η εν λόγω γραμμή να είναι η  $f_1(u), f_2(u), \dots, f_p(u)$  όμως το διάνυσμα  $f_1(u), [f_2(u), \dots, f_p(u)]$  μπορεί να μην ανήκει στο OPS.

Για να αποφύγουμε αυτή την αστοχία γίνεται η λεξικογραφική βελτιστοποίηση των αντικειμενικών με αποτέλεσμα οι λαμβανόμενες λύσεις να ανήκουν στο OPS. Η λογική αυτής της βελτιστοποίησης βασίζεται στην σειριακή βελτιστοποίηση των εξεταζόμενων αντικειμενικών συναρτήσεων, δηλαδή θεωρούνται ως περιορισμοί οι βέλτιστες τιμές που έχουν βρεθεί στη σειριακή εκτέλεση για τις αντικειμενικές που έχουν προηγηθεί. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι λύσεις οι οποίες ανήκουν στο Weakly Pareto Solutions (WPS).

Αναλυτικότερα η λεξικογραφική βελτιστοποίηση γίνεται ως εξής:

Βελτιστοποιούμε την  $f_1$  σαν να μην υπήρχαν οι υπόλοιπες αντικειμενικές, λαμβάνοντας πάντα υπόψιν τους περιορισμούς που καθορίζουν το χωρίο των εφικτών λύσεων (feasible set)  $X$ . Έτσι έστω ότι λαμβάνουμε μια τιμή  $Z1^*$  (βελτιστοποιημένη  $f_1$ ) και ένα διάνυσμα μεταβλητών απόφασης  $\chi1^*$  για το οποίο λαμβάνει την τιμή αυτή. Μετά θέτουμε  $f_1 = Z1^*$  και βελτιστοποιούμε την  $f_2$  λαμβάνοντας μια τιμή  $Z2^*$  και ένα διάνυσμα  $\chi2$  για το οποίο η  $f_2$  λαμβάνει την τιμή  $Z2^*$ . Εν συνεχεία βελτιστοποιούμε την  $f_3$  θεωρώντας ως περιορισμούς τα  $f_1 = Z1^*, f_2 = Z2^*$ , οπότε λαμβάνουμε ένα  $Z3^*$  και το διάνυσμα  $\chi3$  για το οποίο λαμβάνει την τιμή αυτή κ.ο.κ. Ο πρώτος δείκτης (εδώ το 1) υποδηλώνει ότι η συνάρτηση  $f_1$  έχει βελτιστοποιηθεί στο έπακρο (θεωρώντας δηλαδή μόνο τους περιορισμούς που καθορίζουν το εφικτό χωρίο  $X$  και κανένα trade-off σε σχέση με τις άλλες αντικειμενικές).

Ένα από τα βασικά σημεία όμως που αφορά την διαφορά της λεξικογραφικής βελτιστοποίησης σε σχέση με την μη λεξικογραφική είναι ο τρόπος εξαγωγής του διανύσματος  $[\chi1^*, \chi2, \chi3, \dots, \chi k]$  ώστε να αποφευχθεί η εύρεση τυχόν weakly pareto solutions (WPS). Δηλαδή το παραπάνω διάνυσμα δεν υπολογίστηκε απλά και μόνο βελτιστοποιώντας την  $f_1$  αλλά υπολογίστηκε βελτιστοποιώντας σειριακά τις αντικειμενικές συναρτήσεις θεωρώντας τις ήδη βελτιστοποιημένες ως περιορισμούς. Με την ίδια λογική κάνουμε τα εξής: βελτιστοποιούμε την  $f_2$  στο έπακρο σαν να μην υπήρχαν οι άλλες αντικειμενικές. Μετά κρατάμε την βελτιστοποιημένη τιμή ως περιορισμό και βελτιστοποιούμε την  $f_1$ . Μετά κρατάμε ως περιορισμούς τις βελτιστοποιημένες τιμές των  $f_1, f_2$  και βελτιστοποιούμε την  $f_3$ . Τελικά θα λάβουμε ένα διάνυσμα σημείων  $[\chi21, \chi2^*, \dots, \chi2k]$  όπου πάλι ο πρώτος δείκτης (εδώ το 2) υποδηλώνει ότι η συνάρτηση  $f_2$  έχει βελτιστοποιηθεί στο έπακρο (θεωρώντας δηλαδή μόνο τους περιορισμούς που καθορίζουν το εφικτό χωρίο  $X$  και κανένα trade-off σε σχέση με τις άλλες αντικειμενικές).

Δύο επιπλέον καινοτομίες της Augmecon σε σχέση με την  $\epsilon$ -constraint είναι η μετατροπή των ανισοτήτων των περιορισμών των αντικειμενικών σε ισότητες και η πρόωρη έξοδος στην κατασκευή του πλαισίου (grid) για λύσεις οι οποίες είναι αδύνατες (infeasible) [43].

Η μετατροπή σε ισότητες γίνεται με την χρήση surplus ή slack variable  $s_i$  (ανάλογα αν επιδιώκεται η μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση της εκάστοτε αντικειμενικής). Επομένως το πρόβλημα μετατρέπεται στο κάτωθι:

$$\text{Max}\{f_1(x) + \text{eps} * (s_2/r_2 + s_3/r_3 + \dots + s_p/r_p)\}$$

Subject to:

$$f_2(x) - s_2 = \varepsilon_2$$

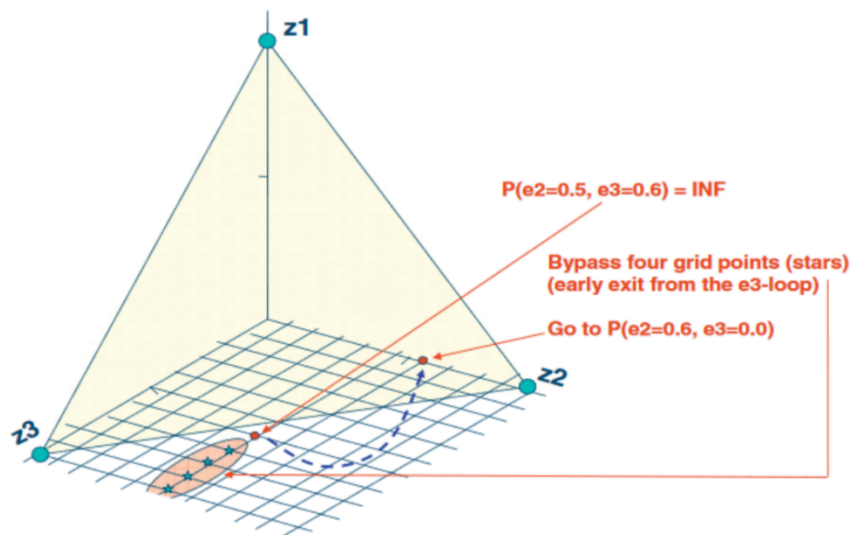
$$f_3(x) - s_3 = \varepsilon_3$$

...

$$f_p(x) - s_p = \varepsilon_p$$

$$x \in S \text{ and } s_i \in \mathbb{R}$$

Ενώ η πρόωση έξοδος για επαναλήψεις που καταλήγουν σε αδύνατες λύσει γίνεται με τον έλεγχο του RHS constraint. Στηρίζεται στην λογική ότι όταν βρεθεί μία λύση η οποία δεν είναι ικανοποιήσιμη δεν έχει νόημα να γίνει πιο αυστηρός ο περιορισμός RHS (μικρότερος για ελαχιστοποίηση, μεγαλύτερος για μεγιστοποίηση) καθώς η εξίσωση θα παραμείνει μη-ικανοποιήσιμη. Οπότε η Augmeson σταματάει τον έλεγχο για τη συγκεκριμένη αντικειμενική και προχωράει στην επόμενη. Η διαδικασία φαίνεται στην ακολουθεί φωτογραφία όπου απεικονίζεται το πλαίσιο (grid) για 3 αντικειμενικές.



Εικόνα 3.2: Αποφυγή μη-ικανοποιήσιμων λύσεων (infeasibilities). Πηγή: Mavrotas, 2009 [51].

### 3.1.2.3 Η μέθοδος Augmecon-2

Η διαφορά της Augmecon-2 [44] από την Augmecon έγκειται στη συνάρτηση βελτιστοποίησης όπου γίνεται πλέον βαροδότηση ανάλογα με την προτεραιότητα των αντικειμενικών.

Η αντικειμενικές συναρτήσεις στην Augmecon-2 συνδυάζονται στην εξής μεγιστοποίηση. Όπου οι δείκτες  $[1,2,\dots,p]$  ορίζουν την κάθε αντικειμενική συνάρτηση που θέλουμε να εξετάσουμε.

$$\text{Max}\{f_1(x) + \text{eps} * (s_2/r_2 + 10^{-1} * s_3/r_3 + \dots + 10^{p-2} * s_p/r_p)\}$$

Subject to:

$$f_2(x) - s_2 = \varepsilon_2$$

$$f_3(x) - s_3 = \varepsilon_3$$

...

$$f_p(x) - s_p = \varepsilon_p$$

$$x \in S \text{ and } s_i \in \mathbb{R}$$

Στη ανάλυση χαρτοφυλακίου του εργαλείου  $p=2$ . Συγκεκριμένα με δείκτη 1 ορίζεται το κόστος και δείκτη 2 το ρίσκο. Άρα:

$$\max (f_1(x) + \text{eps} \times (s_2 / r_2)) \quad (1)$$

Συγκεκριμένα στην ανάλυση χαρτοφυλακίου στο εργαλείο γίνεται η εξαγωγή του Payoff Table όπως περιεγράφηκε προηγουμένως για τις αντικειμενικές  $k_1$ : κόστος και  $k_2$ : ρίσκο. Επίσης, στην (1) στην θέση της  $f_1(x)$  αντικαθιστούμε με  $-f_1(x)$  γιατί αποτελεί πρόβλημα ελαχιστοποίησης. Τέλος ως  $\text{eps}$  έχει οριστεί το  $10^{-3}$

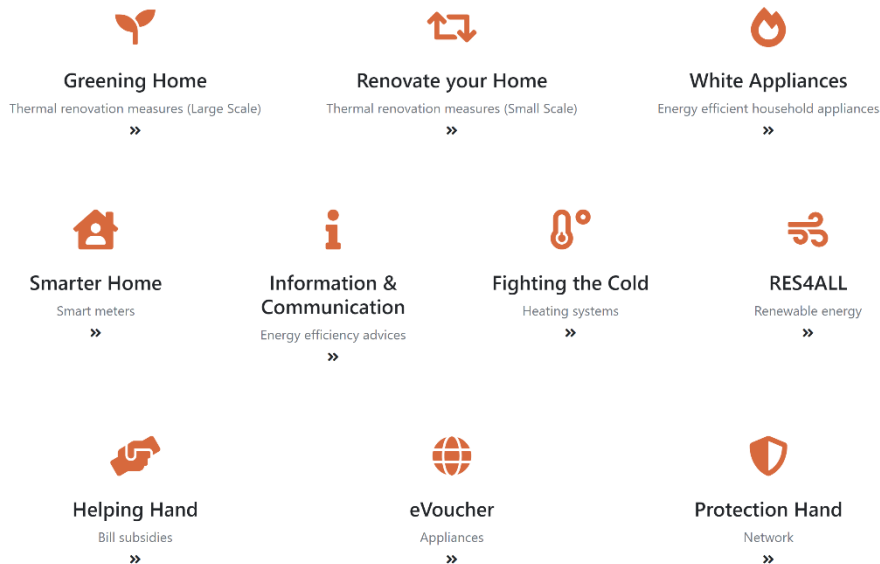
Υπολογίζονται τα εύρη  $r_1, r_2$  που ισοδυναμούν με  $\max(k_i) - \min(k_i)$  από τις τιμές του Payoff Table. Στη συνέχεια ξεκινώντας στο πλαίσιο (grid) το οποίο έχει επιλεγθεί να είναι διαστάσεων  $1000 * 1000$  γίνεται επαναληπτικά η μεγιστοποίηση της (1) μεταβάλλοντας το  $s_2$  με τον τρόπο που περιεγράφηκε προηγουμένως χρησιμοποιώντας το  $step_2$  και ξεκινώντας με RHS constraint τη μέγιστη τιμή της  $f_2$  έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της.

## 3.2 Κατηγορίες Παρεμβάσεων

Η υλοποίηση του εργαλείου απαιτούσε σε πρωταρχικό επίπεδο να καθοριστούν οι κατηγορίες παρεμβάσεων και μέτρων οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως πηγή για την εξαγωγή των

βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Η τελική κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει 10 βασικές κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Η παρουσίαση των κατηγοριών των παρεμβάσεων γίνεται ακολουθώντας την ονοματολογία που έχει δοθεί στην εφαρμογή και στην εκάστοτε κατηγορία περιγράφονται τα μέτρα που υπάγονται σε αυτή. Μέσα σε παρενθέσεις σε κάθε μέτρο δηλώνεται η ονομασία που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή.



Εικόνα 3.3: Κατηγορίες παρεμβάσεων-μέτρων που στοχεύουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας

### 3.2.1 Greening Home

Η κατηγορία Greening Home περιλαμβάνει δράσεις μεγάλου εύρους (large-scale) οι οποίες αφορούν την θερμική ανακαίνιση των κατοικιών. Πιο αναλυτικά σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται οι παρεμβάσεις:

- Μόνωση Εξωτερικών Τοίχων (Insulation-Exterior Walls). Θερμική μετασκευή των εξωτερικών συστημάτων μόνωσης των τοίχων (EWIS) (δηλαδή βελτίωση των προτύπων μόνωσης του κτιρίου) για μείωση του θερμικού φορτίου των υπό μελέτη κτιρίων.
- Μόνωση Οροφής (Insulation-Roof). Θερμική μετασκευή των στεγών (δηλ. βελτίωση των επιπέδων μόνωσης του κτιρίου) για μείωση του θερμικού φορτίου των υπό μελέτη κτιρίων.

- Εγκατάσταση Διπλών Παραθύρων (Windows-Double Pane Windows). Θερμική αναβάθμιση παραθύρων μέσω ενεργειακά αποδοτικών διπλών παραθύρων, ως τρόπος μείωσης αυτών των απωλειών.

### 3.2.2 Renovate Your Home

Η κατηγορία Renovate Your Home περιλαμβάνει δράσεις μικρού εύρους (small-scale) οι οποίες αφορούν την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων. Πιο αναλυτικά σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται οι παρεμβάσεις:

- Αποδοτικός Φωτισμός (Efficient Lighting). Πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας που εστιάζουν σε στρατηγικές ανακαίνισης χαμηλού προϋπολογισμού και αφορούν τον φωτισμό του κτιρίου.
- Μονώσεις Χαμηλού Προϋπολογισμού (Low Budget Renovations). Πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας που εστιάζουν σε στρατηγικές ανακαίνισης χαμηλού προϋπολογισμού όπως η επισκευή στεγών στεγανοποίησης και η μόνωση υδραυλικών / μόνωση εκτεθειμένων σωλήνων, καθώς και η διαρροή αέρα / στεγανοποίηση γύρω από παράθυρα και πόρτες.

### 3.2.3 White Appliances

Η κατηγορία Renovate Your Home περιλαμβάνει δράσεις οι οποίες αφορούν την ενεργειακή αποδοτικότητα των οικιακών συσκευών ενός νοικοκυριού. Πιο αναλυτικά σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται οι παρεμβάσεις:

- Αντικατάσταση Ηλεκτρικού Πλυντηρίου (Washing Machine). Αντικατάσταση ενός συμβατικού πλυντηρίου με πλυντήριο υψηλότερης ενεργειακής κλάσης.
- Αντικατάσταση Ηλεκτρικής Κουζίνας (Kitchen). Αντικατάσταση μίας συμβατικής κουζίνας με κουζίνα υψηλότερης ενεργειακής κλάσης.
- Αντικατάσταση Ηλεκτρικού Ψυγείου (Fridge). Αντικατάσταση ενός συμβατικού ψυγείου με ψυγείο υψηλότερης ενεργειακής κλάσης.

### 3.2.4 Smarter Home

Σε αυτήν την κατηγορία υπάγεται μόνο το μέτρο της εγκατάστασης έξυπνων θερμοστατών (Smart Meters). Ο έξυπνος θερμοστάτης επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς να διακυβεύεται η θερμική άνεση των επιβατών. Στα πλαίσια του εργαλείου έξυπνος θερμοστάτης θεωρείται ένας θερμοστάτης που ενεργοποιείται μέσω Wi-Fi ή άλλο πρωτόκολλο επικοινωνίας (οικιακό δίκτυο) για τη συλλογή και τη μετάδοση δεδομένων θερμοκρασίας εντός κτιρίου, η πρόσβαση στα οποία μπορεί να γίνει εξ αποστάσεως μέσω μιας πύλης ιστού ή εφαρμογής για κινητά.

### 3.2.5 Information & Communication

Η κατηγορία Information & Communication περιλαμβάνει τις παρεμβάσεις που αφορούν την ενημέρωση και εκπαίδευση των πολιτών με θέματα που αφορούν την ενεργειακή εξοικονόμηση, την ενεργειακή αποδοτικότητα αλλά και την εξοικονόμηση χρημάτων μέσω της ενημέρωσης για τους εναλλακτικούς παρόχους ενέργειας και των τιμών τους. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα μέτρα:

- Ενεργειακοί Επιθεώρηση Κτιρίων (Energy Audits). Η ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων είναι μία τυποποιημένη διαδικασία που σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχει θεσμοθετηθεί στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εντάσσεται σε δέσμη μέτρων που στοχεύουν στον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης στον τομέα των κτιρίων.
- Πλατφόρμα και Φυλλάδια Ενημέρωσης με Ενεργειακές Συμβουλές (Platform and Leaflets with Tips).
- Γραμμή Ενημέρωσης (Communication Line).
- Ενημερωτικά Εργαστήρια (Training Workshops).

### 3.2.6 Fighting the Cold

Η κατηγορία Fighting the Cold αφορά όλες τα μέτρα που συνδέονται με την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται τα μέτρα:

- Ενεργειακά Αποδοτικό Air-Conditioning (Energy Efficient Air-Conditioning). Αντικατάσταση συμβατικού κλιματιστικού με υψηλότερης ενεργειακής κλάσης.
- Αντικατάσταση Λέβητα Πετρελαίου (Boilers-Diesel). Αντικατάσταση ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την κεντρική θέρμανση του υπό μελέτη κτιρίου με έναν σύγχρονο λέβητα συμπύκνωσης λαδιού.
- Εγκατάσταση Αντλίας Θερμότητας (Heat Pump). Αντικατάσταση ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την κεντρική θέρμανση του υπό μελέτη κτηρίου με αντλία θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας.
- Εγκατάσταση Λέβητα Αερίου (Boilers-Gas). Αντικατάσταση ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την κεντρική θέρμανση του υπό μελέτη κτηρίου με λέβητα αερίου.

### 3.2.7 RES4ALL

Η κατηγορία RES4ALL (Renewable Energy Systems for All) περιλαμβάνει τις δράσεις που έχουν ως στόχο την πρόσβαση των πολιτών σε ανανεώσιμες πηγές παραγωγής. Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται τα μέτρα:

- Ηλιακά Θερμικά Πάνελ (Solar Thermal Panels). Αντικατάσταση ενός τυπικού συστήματος θερμοσιφώνου οικιακού νερού θέρμανσης (DHW), με σύστημα ηλιακού ζεστού νερού



οικιακής χρήσης (SDHW), το οποίο περιλαμβάνει έναν συμπληρωματικό ενσωματωμένο ηλεκτρικό θερμαντήρα, για την κάλυψη της συνολικής ετήσιας ζήτησης ζεστού νερού του υπό μελέτη κτηρίου.

- Λέβητες - Βιομάζα (Boilers - Biomass). Αντικατάσταση ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την κεντρική θέρμανση του υπό μελέτη κτηρίου με λέβητα που χρησιμοποιεί βιομάζα.
- Φωτοβολταϊκά Μικρής Κλίμακας (Photovoltaics). Εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής κλίμακας (δηλ. 1-10 kWp ονομαστικής ισχύος, που επιλέγεται σύμφωνα με τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας κάθε κτιρίου που μελετάται).

### 3.2.8 Helping Hand

Η κατηγορία Helping Hand απαρτίζεται από μέτρα τα οποία έχουν ως στόχο την ενίσχυση και υποστήριξη των πολιτών στην πληρωμή των ενεργειακών τους λογαριασμών. Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται:

- Επιπλέον Χρέωση Ενεργειακών Καταναλωτών για την Υποστήριξη των Ευάλωτων Ομάδων (Customer Charge). Χρέωση πελατών (π.χ. 0,04 € / kWh) για τη βοήθεια ευάλωτων πελατών.
- Επιχορήγηση (Bonus). Χρηματική επιχορήγηση ή επιχορήγηση ενέργειας (π.χ. 300kWh / έτος) που δεν υπολογίζεται στο κόστος.
- Πληρωμές σε Δόσεις (Payments in Installments).

### 3.2.9 eVoucher

Η κατηγορία eVoucher περιλαμβάνει μικρές προμηθευμένες δράσεις που έχουν την μορφή Voucher. Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται τα μέτρα:

- Voucher αγοράς ενεργειακά αποδοτικών οικιακών συσκευών (Bonus Tickets).
- Εγκατάσταση Standby Killers (Standby Killers Installations). Συσκευές για την απενεργοποίηση των συσκευών που βρίσκονται σε κατάσταση standby.

### 3.2.10 Protection Hand

Η κατηγορία Protection Hand περιλαμβάνει δράσεις που ενορχητρώνονται από κρατικούς, ιδιωτικούς και κεντρικούς ευρωπαϊκούς μηχανισμούς και στοχεύουν στην προστασία των ενεργειακά φτωχών από την διακοπή της πρόσβασης στην παροχή ενέργειας. Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται τα μέτρα:

- Απαγόρευση Διακοπής Παροχής κατά τους Χειμερινούς-Καλοκαιρινούς Μήνες (Prohibiting Disconnection Based on the Weather).
- Απαγόρευση Διακοπής Παροχής σε Ειδικές Κατηγορίες (Prohibiting Disconnection Based Customer's Needs). Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται άτομα με προβλήματα υγείας.

Προπληρωμένη Παροχή Ενέργειας για Καθορισμένο Χρονικό Διάστημα (Prepaid Amount of Energy).

### 3.3 Περιορισμοί στην επιλογή του χαρτοφυλακίου παρεμβάσεων

Η εξαγωγή των βέλτιστων χαρτοφυλακίων βασίστηκε σε μία αρχική παραμετροποίηση του προβλήματος που έπρεπε να λυθεί ώστε να ικανοποιεί τις ιδιάζουσες ανάγκες κάθε χρήστη, ο οποίος αντιστοιχεί στις χώρες που συμμετέχουν στο εργαλείο, ατομικά.

Συγκεκριμένα οι περιορισμοί που λήφθηκαν υπόψη είναι οι κάτωθι:

1. **Ελάχιστος στόχος ενεργειακής εξοικονόμησης:** Πρεσβεύει τον ελάχιστο στόχο εξοικονόμησης κάθε χώρας, μετράται σε kWh και μετράται συνολικά για το αντίκτυπο των παρεμβάσεων σε χρονικό πλαίσιο 10 ετών (2021-2030)
2. **Ελάχιστος στόχος νοικοκυριών που επωφελούνται από τις παρεμβάσεις του χαρτοφυλακίου:** Πρεσβεύει τις παρεμβάσεις που γίνονται στα νοικοκυριά που πλήττονται από την ενεργειακή φτώχεια.
3. **Μέγιστο ετήσιο κεφάλαιο που δύναται να επενδυθεί:** Περιορίζει σε ετήσιο πλαίσιο τις παρεμβάσεις που μπορούν να γίνουν.
4. **Ποσοστό παρεμβάσεων που στοχεύουν νέα κτίρια**
5. **Ποσοστό παρεμβάσεων που στοχεύουν παλιά κτίρια**
6. **Ποσοστό παρεμβάσεων που ανήκουν στην κατηγορία των μεγάλου εύρους παρεμβάσεων:** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι παρεμβάσεις που ανήκουν στην κατηγορία Greening Home (μόνωση εξωτερικών τοίχων, μόνωση οροφής, εγκατάσταση διπλών παραθύρων).
7. **Ποσοστό παρεμβάσεων που ανήκουν στην κατηγορία των μικρού εύρους παρεμβάσεων:** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλες οι παρεμβάσεις εκτός των Greening Home.
8. **Ποσοστό ενεργειακής εξοικονόμησης που προκύπτει από παρεμβάσεις σε νέα κτίρια:** Διαφέρει από τον περιορισμό «παρεμβάσεων που στοχεύουν νέα κτίρια» γιατί ο δεύτερος περιορισμός αναφέρεται σε διακριτό νούμερο παρεμβάσεων ενώ ο πρώτος αναφέρεται σε ποσοστό kWh.
9. **Ποσοστό ενεργειακής εξοικονόμησης που προκύπτει από παρεμβάσεις σε παλιά κτίρια:** Ομοίως με τον περιορισμό «ενεργειακής εξοικονόμησης που προκύπτει από

παρεμβάσεις σε νέα κτίρια».

#### 10. Ελάχιστη και Μέγιστη ενεργειακή παραγωγή από παρεμβάσεις που αφορούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι περιορισμοί που αφορούν το ποσοστό νέων και παλιών κτιρίων προφανώς αθροίζονται στην μονάδα (100%) καθώς είναι οι δύο κατηγορίες κτιρίων στο πλαίσιο του εργαλείου.

### 3.4 Μοντελοποίηση του προβλήματος

#### 3.4.1 Βελτιστοποίηση με πολλαπλά κριτήρια (Multi-objective optimization)

Η βελτιστοποίηση με πολλαπλά κριτήρια (Multi-objective optimization, επίσης γνωστή και ως βελτιστοποίηση με πολλαπλά αντικείμενα ή χαρακτηριστικά, είναι η διαδικασία της ταυτόχρονης βελτιστοποίησης δυο ή περισσότερων αντικρουόμενων ζητημάτων με διαφόρους περιορισμούς.

Το πρόβλημα που μελετήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής υπάγεται στην κατηγορία των Multi-Objective Optimization προβλημάτων καθώς επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση του οικονομικού κόστους των παρεμβάσεων και ταυτόχρονα το ρίσκο απόδοσης αυτών των παρεμβάσεων.

Σκοπός της αντικειμενικής ρίσκου είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Στην εξίσωση περιλαμβάνεται η ποσότητα των μέτρων για την κάθε δράση ανά έτος πολλαπλασιαζόμενη 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.

Η δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση είναι η αντικειμενική συνάρτηση του ρίσκου. Το ρίσκο κάθε δράσης περιλαμβάνει ποσοτικά τα εξής:

- τον χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης
- το κόστος της αρχικής επένδυσης
- τα γραφειοκρατικά προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν για την υλοποίηση της δράσης
- την αποδοχή από τους κατοίκους της δράσης
- την πολυπλοκότητα της υλοποίησης της δράσης
- την ακρίβεια των δεδομένων εξοικονόμησης που παρέχει η εκάστοτε δράση

- την δυνατότητα να εγκαταλειφθεί το μέτρο εάν τελικά κριθεί ακατάλληλο

Η έρευνα για την ποσοτικοποίηση του ρίσκου έγινε μέσω ερωτηματολογίων όπου χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος συνάθροισης ο μέσος όρος για κάθε δράση. Μια βελτίωση που θα μπορούσε να προστεθεί θα αφορούσε την εφαρμογή κατάλληλης μεθόδου πολυκριτήριας ανάλυσης.

Στην επόμενη υπό-ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά οι εκφράσεις των αντικειμενικών συναρτήσεων κόστους και ρίσκου.

### 3.4.2 Μαθηματική αποτύπωση

Το πρόβλημα εύρεσης των βέλτιστων χαρτοφυλακίων κατά Pareto αποτυπώνεται χρησιμοποιώντας τις μαθηματικές έννοιες των συνόλων, μεταβλητών, σταθερών, παραμέτρων και περιορισμών.

Τα σύνολα (sets) που χρησιμοποιούνται είναι:

Συμβολισμός	Ερμηνεία	Σύνολο Αναφοράς
k	Αντικειμενικές Συναρτήσεις	-
i	Είδος Παρέμβασης	-
i1	Είδος Παρέμβασης εκτός των PV	i
j	Έτος	-
old_rbid	Παρεμβάσεις σε Παλιά Κτίρια	i
new_rbid	Παρεμβάσεις σε Νέα Κτίρια	i
lsc_rbid	Μικρού Εύρους Παρεμβάσεις	i
ssc_rbid	Μεγάλου Εύρους Παρεμβάσεις	i
PV	Παρεμβάσεις σε Φωτοβολταϊκά	i

Πίνακας 3.1: Σύνολα που χρησιμοποιήθηκαν στην μαθηματική μοντελοποίηση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου.

Οι σταθερές (scalars) που χρησιμοποιούνται είναι:

Συμβολισμός	Ερμηνεία	Μονάδα Μέτρησης
en_sav_target	Στόχος Ενεργειακής Εξοικονόμησης	kWh
en_poor_cit	Αριθμός ΕΦ Νοικοκυριών	-
interv_old	Ποσοστό παρεμβάσεων σε παλιά κτίρια	%
interv_new	Ποσοστό παρεμβάσεων σε νέα κτίρια	%
interv_large	Ποσοστό παρεμβάσεων μεγάλου εύρους	%
interv_small	Ποσοστό παρεμβάσεων μικρού εύρους	%
new_old_ratio	Αναλογία μεταξύ των παρεμβάσεων σε παλιά και νέα κτίρια	%
max_new_buildings	Μέγιστο ποσοστό παρεμβάσεων σε νέα κτίρια	%
min_RES	Ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να παραχθεί από ΑΠΕ	%

max_RES	Μέγιστη ενέργεια που πρέπει να παραχθεί από ΑΠΕ	%
budget_per_year	Το ετήσιο πόσο που μπορεί να επενδυθεί	%
country	Χώρα που εξετάζεται	%

Πίνακας 3.2: Σταθερές που χρησιμοποιήθηκαν στην μαθηματική μοντελοποίηση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου.

Οι μεταβλητές (variables) που χρησιμοποιούνται είναι:

Συμβολισμός	Ερμηνεία	Μονάδα Μέτρησης	Σύνολα Αναφοράς
dist(j)	Απόσταση σε έτη από το έτος εξέτασης	-	j
cost(l,j)	Κόστος επένδυσης για κάθε δράση ανά έτος	€	i,j
risk(i,j)	Ρίσκο της κάθε δράσης ανά έτος	-	i,j
ensav7(i,r,j)	Εξοικονόμηση Ενέργειας βάσει του άρθρου 7 για την κάθε τεχνολογία ανά εξεταζόμενο έτος και έτος υλοποίησης της δράσης	kWh	i,r,j
res_el(i,r,j)	Παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ (Συγκεκριμένα Φωτοβολταϊκά)	kWh	i,r,j
maxcap(i)	Ανώτατο όριο δυνατότητας παρεμβάσεων για την κάθε τεχνολογία (maximum capacity)	-	i
df(j)	Συντελεστής αναγωγής για το κάθε εξεταζόμενο έτος	-	j
INTERV(i,j)	Αριθμός παρεμβάσεων για κάθε δράση ανά εξεταζόμενο έτος	-	i,j

Πίνακας 3.3: Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην μαθηματική μοντελοποίηση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου.

Η μεταβλητή INTERV(i,j) αποτελεί ουσιαστικά και την μεταβλητή απόφασης καθώς ο στόχος της ανάλυσης είναι να καθοριστούν οι παρεμβάσεις είδους i (κάθε i ορίζει μία καθορισμένη παρέμβαση) για κάθε έτος j (2021-2030).

Έχοντας ορίσει τις μεταβλητές, τις σταθερές και τα σύνολα μπορούμε να ορίσουμε μαθηματικά τους περιορισμούς που λαμβάνουμε υπόψη στην επίλυση της ανάλυσης χαρτοφυλακίου και περιεγράφηκαν προηγουμένως.

- **Ελάχιστος στόχος ενεργειακής εξοικονόμησης:**

$$\sum_{i=il(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [ensav7(i,r,j) * INTERV(i,r)] \geq en\_sav\_target$$

- Μέγιστες παρεμβάσεις ανά δράση σε κάθε έτος:

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

- Ελάχιστος στόχος νοικοκυριών που επωφελούνται από τις παρεμβάσεις του χαρτοφυλακίου:

$$\sum_i \sum_j [INTERV(i, j)] \geq en\_poor\_cit, \forall i, j$$

- Μέγιστο ετήσιο κεφάλαιο που δύναται να επενδυθεί:

$$\sum_i cost(i, j) * INTERV(i, j) \leq budget\_per\_year \forall i, j$$

- Ποσοστό παρεμβάσεων που στοχεύουν νέα κτίρια:

$$interv\_new * \{\sum_i \sum_j [INTERV(i, j)]\} = \sum_{new\_rbld(i)} \sum_j [INTERV(i, j)], \forall i, j$$

- Ποσοστό παρεμβάσεων που στοχεύουν παλιά κτίρια:

$$interv\_old * \{\sum_i \sum_j [INTERV(i, j)]\} = \sum_{old\_rbld(i)} \sum_j [INTERV(i, j)], \forall i, j$$

- Ποσοστό παρεμβάσεων που ανήκουν στην κατηγορία των μεγάλου εύρους παρεμβάσεων:

$$interv\_large * \{\sum_i \sum_j [INTERV(i, j)]\} = \sum_{lsc\_rbld(i)} \sum_j [INTERV(i, j)], \forall i, j$$

- Ποσοστό παρεμβάσεων που ανήκουν στην κατηγορία των μικρού εύρους παρεμβάσεων:

$$interv\_small * \{\sum_i \sum_j [INTERV(i, j)]\} = \sum_{ssc\_rbld(i)} \sum_j [INTERV(i, j)], \forall i, j$$

- Ποσοστό ενεργειακής εξοικονόμησης που προκύπτει απο παρεμβάσεις σε νέα κτίρια:

$$\sum_{new_{rblid}(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [ensav7(i, r, j) * INTERV(i, r)]$$

$$\leq \max\_new\_buildings * \left\{ \sum_i \sum_j \sum_{r \leq j} [ensav7(i, r, j) * INTERV(i, r)] \right\}$$

- Ποσοστό ενεργειακής εξοικονόμησης που προκύπτει απο παρεμβάσεις σε παλιά κτίρια:

$$\sum_{new_{rblid}(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [ensav7(i, r, j) * INTERV(i, r)]$$

$$\leq (1 - \max\_new\_buildings) * \left\{ \sum_i \sum_j \sum_{r \leq j} [ensav7(i, r, j) * INTERV(i, r)] \right\}$$

- Ελάχιστη και Μέγιστη ενεργειακή παραγωγή από παρεμβάσεις που αφορούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

$$\sum_{i=Pv(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [res\_el(i, r, j) * INTERV(i, r)] \leq \min\_RES \quad \forall i, j, r$$

&

$$\sum_{i=Pv(i)} \sum_j \sum_{r \leq j} [res\_el(i, r, j) * INTERV(i, r)] \geq \max\_RES \quad \forall i, j, r$$

Εν συνεχεία ορίζουμε τις μαθηματικές εξισώσεις των αντικειμενικών συναρτήσεων που θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε, δηλαδή τους στόχους του κόστους και του ρίσκου.

**Αντικειμενική Συνάρτηση Κόστους – k1:**

$$k1 = \sum_i \sum_j [INTERV(i, j) * cost(i, j)]$$

**Αντικειμενική Συνάρτηση Ρίσκου – k2:**

$$K2 = \sum_i \sum_j [INTERV(i, j) * risk(i, j) / maxcap(i)]$$



## 4. Τεχνικός σχεδιασμός- Τεχνικές προδιαγραφές

Το εργαλείο εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων ενεργειακών παρεμβάσεων σχεδιάστηκε ως μία Διαδικτυακή Εφαρμογή (Web Application) βασισμένη στην Model-View-Controller (MVC) αρχιτεκτονική σχεδιασμού χρησιμοποιώντας το πλαίσιο λογισμικού «The Django Project Framework» και την προγραμματιστική γλώσσα και περιβάλλον του General Algebraic Modeling System (GAMS). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων αναλύονται λεπτομερώς στη συνέχεια καταταγμένα σε υποκατηγορίες.

### 4.1 Διαδικτυακή εφαρμογή - Web application

Ο σχεδιασμός της εφαρμογής έγινε ως διαδικτυακή εφαρμογή για δύο κύριους λόγους. Πρώτον, οι διαδικτυακές εφαρμογές έχουν μικρότερο κύκλο ζωής ανάπτυξης λογισμικού (development life-cycle), δηλαδή πιο ευέλικτη και σύντομη διαδικασία σχεδιασμού, δημιουργίας, testing και εκτέλεσης. Η ανάπτυξη της εφαρμογής ήταν μία διαδικασία που απαιτούσε συνεχή και συχνή επικοινωνία με τους εμπλεκόμενους δυνητικούς χρήστες και αντιπροσώπους των συμμετεχόντων χωρών και ανασχεδιασμό της εφαρμογής σύμφωνα με τα σχόλια τους. Επομένως, ήταν αναγκαιότητα να ακολουθηθεί ένα ευκίνητο πλαίσιο σχεδιασμού που ενσωμάτωνε και παρουσίαζε εκ νέου τις συχνές αλλαγές γρήγορα καθιστώντας τον μικρό κύκλο ανάπτυξης λογισμικού αναγκαίο. Δεύτερον, οι διαδικτυακές εφαρμογές διακρίνονται για την ευκολία πρόσβασης και χρήσης καθώς η είσοδος στην εφαρμογή μπορεί να γίνει από έναν οποιοδήποτε φυλλομετρητή (browser) χωρίς να χρειάζεται η οποιαδήποτε εγκατάσταση επιπρόσθετου λογισμικού από τον χρήστη.

Η ανάπτυξη του λογισμικού χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Τις κατηγορίες του client-side προγραμματισμού (front-end) και του server-side προγραμματισμό (back-end) οι οποίες αναλύονται στις ενότητες που ακολουθούν.

### 4.2 Client-side προγραμματισμός, front-end: Η διεπαφή του χρήστη με την εφαρμογή

Για τον client-side προγραμματισμό χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες λογισμικού Bootstrap, version 4.4.1 [45], και jQuery, version 3.4.1 [46]. Οι γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκαν είναι η JavaScript [47], HTML5 [48] και για η στυλιστική γλώσσα CSS [49]. Για την γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η Plotly.js [50], μία open-source βιβλιοθήκη λογισμικού βασισμένη στην JavaScript.

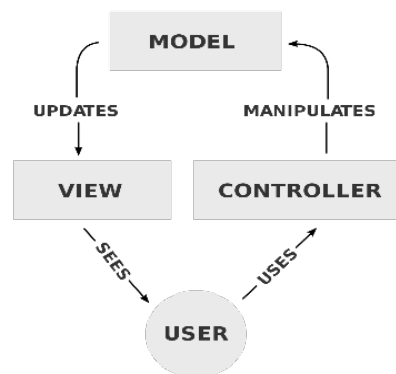
### 4.3 Server-Side Προγραμματισμός, Back-End

Τα περισσότερα δεδομένα της εφαρμογής και ο κώδικας για τις λειτουργίες της εφαρμογής αποτελούν το back-end της εφαρμογής. Το back-end περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μεταξύ των αποθηκευμένων δεδομένων, των λειτουργιών που προσφέρει η εφαρμογή και τις

παρεμβάσεις των χρηστών μέσω της διεπαφής. Το back-end της εφαρμογής που αναπτύχθηκε είναι βασισμένο στην αρχιτεκτονική σχεδιασμού Model-View-Controller (MVC) με την χρήση των γλωσσών προγραμματισμού Python 3.6 [51], Django Project Framework, version 3.0.3 [52] και το General Algebraic Modeling System (GAMS) [53]. Το Django Framework και η GAMS αναλύονται διεξοδικότερα στη συνέχεια.

#### 4.4 Αρχιτεκτονική σχεδιασμού MVC – Χρήση του Django Framework

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε στη βάση του MVC (Model-View-Controller) [54]. Το MVC είναι ένα μοτίβο σχεδιασμού λογισμικού που χρησιμοποιείτε εκτενώς για τον σχεδιασμό εφαρμογών που κατηγοριοποιούν την προγραμματιστική λογική σε τρία στοιχεία: τα μοντέλα (models), τις όψεις (views) και τους χειριστές (controllers). Διακρίνει με αυτό τον τρόπο την εσωτερική δομή των δεδομένων της εφαρμογής από την δομή δεδομένων που παρουσιάζεται και επιστρέφει στον χρήστη διατηρώντας όμως άμεση και ευκρινή σύνδεση μεταξύ των δύο δομών. Βάσει των προδιαγραφών του εργαλείου οι οποίες απαιτούσαν την προσωποποιημένη χρήση του λογισμικού από οχτώ διακριτούς χρήστες διατηρώντας όμως κοινό τον βασικό σκελετό της εφαρμογής δηλαδή τη δομή των μοντέλων, των όψεων και των controllers και παραμετροποιώντας τον ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε χρήστη. Επιπλέον, η επιλογή της αρχιτεκτονικής MVC προσέφερε την απαραίτητη συνεκτικότητα και την ευκολία για αλλαγές.



Εικόνα 4.1: Λειτουργία των εφαρμογών Model-View-Controller

Το Django Framework επιλέχθηκε λόγω της state-of-the-art τεχνολογίας του και της εκτεταμένης βιβλιογραφίας και τεκμηρίωσης που διαθέτει, συνδυασμός που το καθιστά ιδανικό για την ανάπτυξη εφαρμογών ιστού.

Συγκεκριμένα στην εφαρμογή, τα **μοντέλα (models)** της MVC αρχιτεκτονικής είναι:

- Μέτρα-Παρεμβάσεις που έχει επιλέξει να εξετάσει κάθε μία από τις συμμετέχουσες χώρες.

- Οι πόλεις που εξετάζονται στην εκάστοτε χώρα και οι κλιματολογικές ζώνες τους.
- Τα κτίρια, τα χαρακτηριστικά τους και τις ενεργειακές απαιτήσεις τους (συνολική, ηλεκτρική, θερμική).
- Χρήστες-Εκπρόσωποι Χώρων που έχουν πρόσβαση στην εφαρμογή.

Κάθε χρήστης-εκπρόσωπος χώρας έχει έναν μοναδικό συνδυασμό ονόματος χρήστη (username) και κωδικού πρόσβασης (password) που χρησιμοποιεί για να αποκτήσει πρόσβαση στην εφαρμογή. Η δυνατότητα αναγνώρισης/σύνδεσης εξατομικεύει τα δεδομένα και τις λειτουργίες της εφαρμογής με βάση τις προτιμήσεις και τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη. Για παράδειγμα, όσον αφορά τις παρεμβάσεις/μέτρα, τα δεδομένα κάθε χώρας είναι μοναδικά. Το ίδιο ισχύει για τις πόλεις και τα κτίρια αλλά και για την παραμετροποίηση του αλγορίθμου ανάλυσης χαρτοφυλακίου.

Οι **όψεις (views)** (οι διαδικτυακές σελίδες της εφαρμογής) της MVC αρχιτεκτονικής είναι:

- Σελίδα εισόδου/ταυτοποίησης.
- Αρχική σελίδα – Συνολικό ευρετήριο παρεμβάσεων, όπου παρουσιάζεται το ευρετήριο των ευρύτερων κατηγοριών των μέτρων-παρεμβάσεων (Greening Home, Renovate your Home, White Appliances, Smarter Home, Information & Communication, Fighting the Cold, RES4ALL, Helping Hand , eVoucher, Protection Hand).
- Ευρετήριο ανά κατηγορία παρεμβάσεων, όπου παρουσιάζονται και περιγράφονται τα μέτρα-παρεμβάσεις ανά κατηγορία.
- Λεπτομερής σελίδα παρουσίασης για κάθε μέτρο-παρέμβαση, όπου παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με το εκάστοτε μέτρο-παρέμβαση, ταξινομημένα ανά κλιματική ζώνη και ηλικία κτιρίων στον οποίο γίνεται η παρέμβαση.
- Σελίδα Solver. Αυτή είναι η πιο σημαντική όψη/σελίδα της εφαρμογής καθώς ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει ορισμένες παραμέτρους του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου και, στη συνέχεια, να δει τα αποτελέσματα αυτής της παραμετροποιημένης ανάλυσης. Τα αποτελέσματα είναι 1000 χαρτοφυλάκια που συμμορφώνονται με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή και απεικονίζονται ως κουκκίδες σε ένα γράφημα με άξονες το κόστος (άξονας y) και τον κίνδυνο (άξονας x). Το γράφημα προσφέρει τη δυνατότητα στους χρήστες να κάνουν κλικ στις κουκκίδες του γραφήματος που αποτελούν και ένα διακριτό χαρτοφυλάκιο η κάθε μία εκ των 1000 συνολικών. Επιλέγοντας την εκάστοτε κουκκίδα παρουσιάζεται αναλυτικά οι παρεμβάσεις του χαρτοφυλακίου που εκπροσωπεί και 4 γραφικές «πίτες» κατανομής του κόστους, ρίσκου, αριθμό παρεμβάσεων και εξοικονόμησης ενέργειας.
- Σελίδα Διαχειριστή Εφαρμογής (admin site page). Μόνο ο διαχειριστής της εφαρμογής έχει πρόσβαση σε αυτήν τη σελίδα. Χρησιμοποιείται για την τροποποίηση δεδομένων της εφαρμογής χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει τη βάση δεδομένων της εφαρμογής με queries.
- Σελίδα αποσύνδεσης (logout).

Οι **χειριστές (controllers)** είναι το μέρος του λογισμικού που αναγνωρίζει τις ενέργειες των χρηστών και τους κατευθύνει ανάλογα με τη σελίδα ή την ενέργεια που ζητήθηκε. Συγκεκριμένα, όσον αφορά αυτήν την εφαρμογή, οι χειριστές λαμβάνουν τα δεδομένα από τα url αιτήματα και επιστρέφουν τα πρότυπα HTML Django (HTML Django Templates) [55] ανάλογα.

#### 4.5 Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων - Database Management System (DBMS)

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων της εφαρμογής είναι η SQLite version 3, μια βιβλιοθήκη βασισμένη στη γλώσσα προγραμματισμού C που υλοποιεί μια μικρή, γρήγορη, αυτόνομη, υψηλής αξιοπιστίας βάση δεδομένων SQL [56]. Η βάση δεδομένων είναι άμεσα ενσωματωμένη στο πλαίσιο Django μέσω ενός Object Relation Mapper (ORM) [57]. Η δομή αυτή καθιστά εύκολη την εναλλαγή σε ένα διαφορετικό σύστημα βάσης δεδομένων και συγχρονίζεται άμεσα με τις αλλαγές migrations [58] των Django μοντέλων (models) που χρησιμοποιήθηκαν και προαναφέρθηκαν.

#### 4.6 Βελτιστοποίηση Χαρτοφυλακίου – General Algebraic Modeling System (GAMS)

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου για το εργαλείο αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το GAMS 30.2. Το GAMS είναι ένα σύστημα μοντελοποίησης υψηλού επιπέδου για μαθηματική βελτιστοποίηση. Το GAMS έχει σχεδιαστεί για μοντελοποίηση και επίλυση γραμμικών, μη γραμμικών και μικτών ακέραιων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο για πολύπλοκες εφαρμογές μοντελοποίησης μεγάλης κλίμακας και επιτρέπει στον χρήστη να κατασκευάσει μεγάλα συντηρήσιμα μοντέλα που μπορούν να προσαρμοστούν σε νέες καταστάσεις.

Η ανάλυση χαρτοφυλακίου είναι ένα πρόβλημα Mixed Integer Programming (MIP) το οποίο επιλύεται με τη χρήση του ενσωματωμένου στο GAMS solver IBM ILOG CPLEX Optimization Studio (CPLEX) version 12.10 [59].

#### 4.7 Κανάλι Επικοινωνίας – Σύνδεση “Python – GAMS”

Το κανάλι επικοινωνίας μεταξύ της εφαρμογής και του κώδικα για τη βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το GAMS Python 3.6 API (Διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών – Application programming interface) [60].

Για τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση χαρτοφυλακίου στο GAMS, χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός αρχείων GDX και Excel. Τα αρχεία δεδομένων GDX χρησιμοποιούνται για την παραμετροποίηση της ανάλυσης σύμφωνα με τα δεδομένα που δίνονται από τους χρήστες μέσω της διεπαφής χρήστη σχετικά με τους στόχους της ανάλυσης. Τα δεδομένα από αυτά τα αρχεία εισάγονται στον αλγόριθμο ανάλυσης χρησιμοποιώντας την προγραμματιστική διεπαφή μεταξύ της Python 3.6 και του GAMS. Τα αρχεία Excel

χρησιμοποιούνται για την εξατομίκευση του αλγορίθμου με βάση τα δεδομένα για τα μέτρα-παρεμβάσεις που αντιστοιχούν σε κάθε συμμετέχουσα χώρα.

#### 4.8 Ασφάλεια

Η ασφάλεια της εφαρμογής ακολουθεί την προσέγγιση ελέγχου πρόσβασης βάσει ρόλου (Role-Based Access Control approach, RBAC) [61] βασισμένη στους χρήστες-εκπροσώπους χωρών. Κάθε χρήστης έχει έναν μοναδικό συνδυασμό ονόματος χρήστη (username) και κωδικού πρόσβασης (password) που τους επιτρέπει να έχουν πρόσβαση στην εφαρμογή και τα δεδομένα τους.



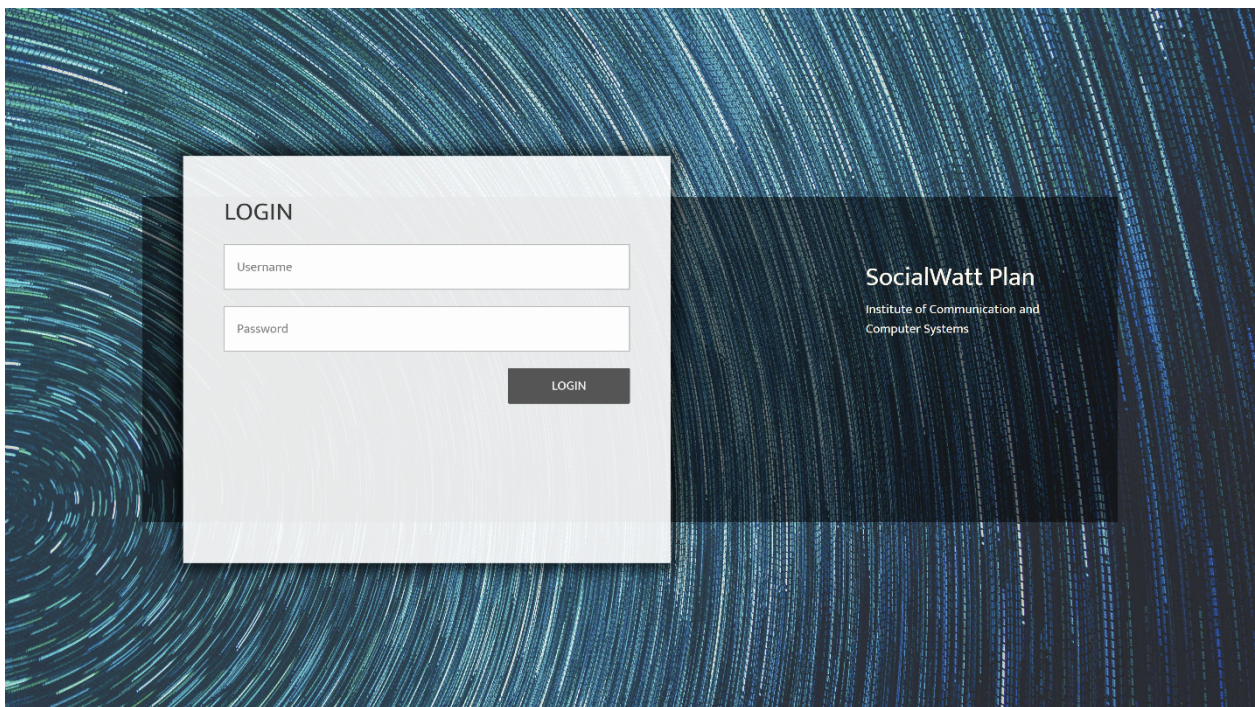
## 5. Η εφαρμογή εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων παρεμβάσεων

Σε αυτήν την ενότητα θα επιδιωχθεί η πλήρης αποτύπωση χρήσης της εφαρμογής από την οπτική των χρηστών. Η αποτύπωση θα γίνει χρησιμοποιώντας στιγμιότυπα οθόνης και αναλύοντας τις πληροφορίες αλλά και τις δυνατότητες χρήσης κάθε σελίδας.

### 5.1 Είσοδος στην εφαρμογή – Login Page

Σε αυτό το στάδιο γίνεται η ταυτοποίηση του χρήστη ώστε να έχει πρόσβαση στην εφαρμογή. Όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως οι χρήστες-χώρες που χρησιμοποιούν την εφαρμογή έχουν μοναδικούς συνδυασμούς username και password ώστε να γίνει η ταυτοποίηση τους και ταυτόχρονα η παραμετροποίηση της εφαρμογής σύμφωνα με τα δεδομένα που αφορούν κάθε χώρα. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν:

- Οι πόλεις που εξετάζονται στην εκάστοτε χώρα και οι κλιματολογικές ζώνες τους.
- Τα κτίρια, τα χαρακτηριστικά τους και τις ενεργειακές απαιτήσεις τους (συνολική, ηλεκτρική, θερμική).
- Μέτρα-Παρεμβάσεις που έχει επιλέξει να εξετάσει κάθε μία από τις συμμετέχουσες χώρες.



Εικόνα 5.1: Σελίδα εισόδου στην εφαρμογή (Login Page)

## 5.2 Αρχική σελίδα – Ευρετήριο των κατηγοριών παρεμβάσεων

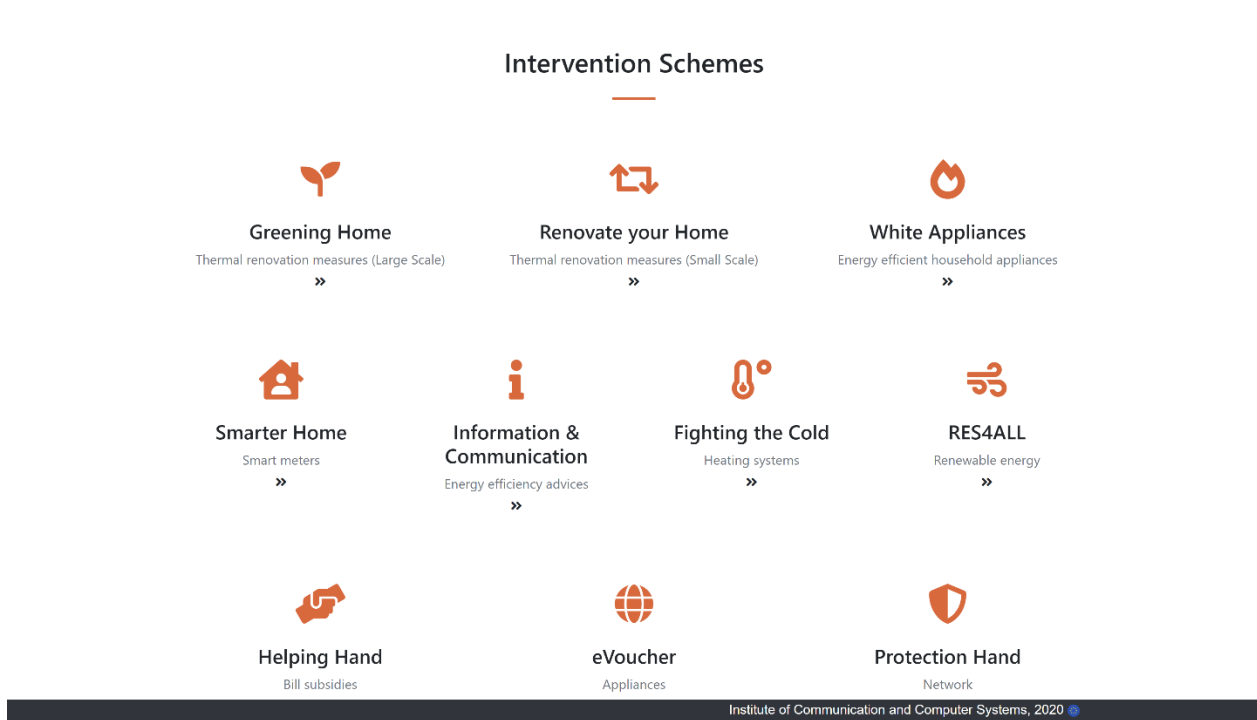
Αφού γίνει η ταυτοποίηση του χρήστη, γίνεται ανακατεύθυνση στην αρχική σελίδα της εφαρμογής όπου περιγράφεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας: «*Examine portfolios of measures for mitigating energy poverty, in the context of minimizing both the implicated cost and risk from the utility's perspective under a set of constraints*» και στη συνέχεια παρουσιάζεται το ευρετήριο-κατάλογος των κατηγοριών των παρεμβάσεων.



Εικόνα 5.2: Αρχική σελίδα της εφαρμογής.

Στο ευρετήριο κάθε κατηγορία παρεμβάσεων απεικονίζεται με ένα συναφές εικονίδιο, το όνομα της κατηγορίας και μία σύντομη περιγραφή.



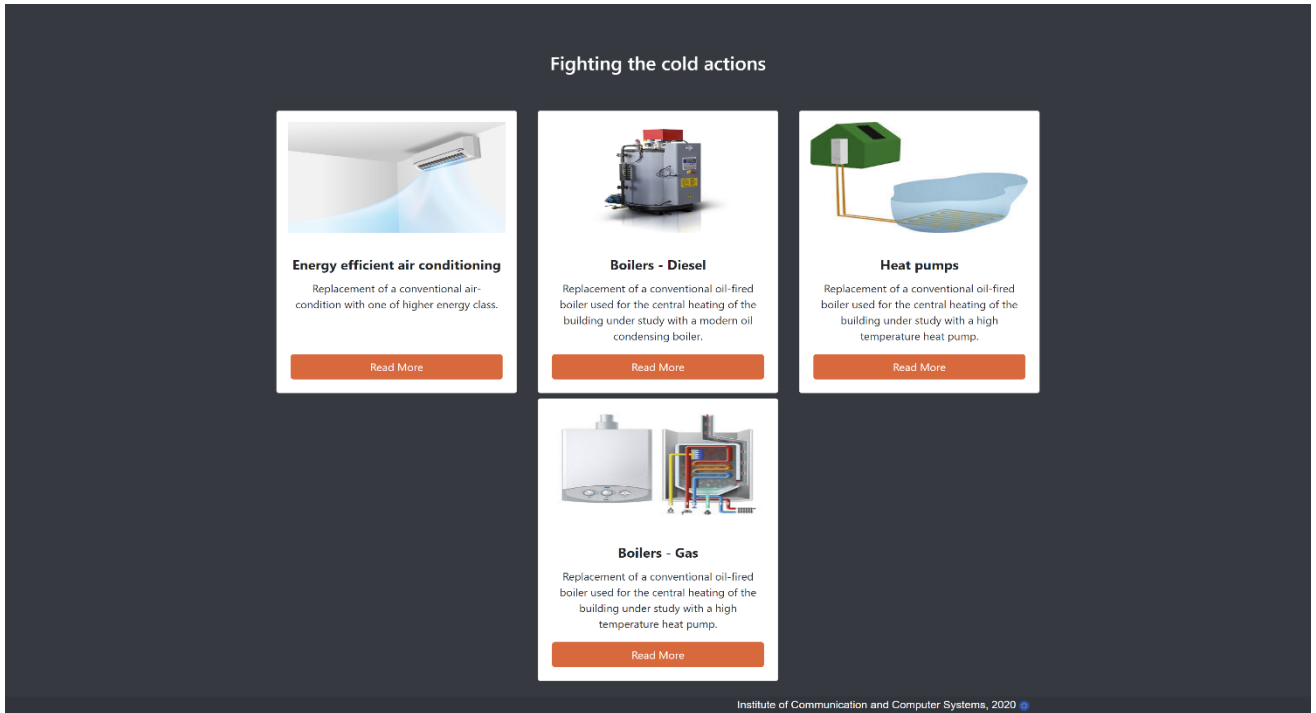


Εικόνα 5.3: Σελίδα απεικόνισης ευρετηρίου παρεμβάσεων της εφαρμογής.

### 5.3 Ευρετήριο παρεμβάσεων για κάθε κατηγορία

Μέσω του ευρετηρίου κατηγοριών που υπάρχουν στην αρχική σελίδα ο χρήστης μπορεί να κατευθυνθεί σε κάθε μία από αυτές. Στη νέα σελίδα παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι παρεμβάσεις που ανήκουν στην κατηγορία που επέλεξε. Συγκεκριμένα, κάθε παρέμβαση απεικονίζεται με μία εικόνα, τίτλο, περιγραφή της και ένα κουμπί που οδηγεί στην αναλυτική σελίδα παρουσίασης της.

Στην συγκεκριμένη εκτέλεση επιλέχθηκε η κατηγορία “Fighting the cold actions”.



Εικόνα 5.4: Σελίδα απεικόνισης ευρετηρίου για κάθε κατηγορία παρεμβάσεων της εφαρμογής.

## 5.4 Αναλυτική Περιγραφή Κάθε Παρέμβασης

Interventions Solver Admin Site Logout

### Heat pumps

**About the intervention:**  
Replacement of a conventional oil-fired boiler used for the central heating of the building under study with a high temperature heat pump.

**Focal area:**  
Technical

B climatic zone | Athens C climatic zone | Thessaloniki



**Type of Building:** OLD  
**Total Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):** 161.0  
**Thermal Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):** 145.4  
**Electrical Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):** 15.6

Institute of Communication and Computer Systems, 2020

Εικόνα 5.5: Σελίδα αναλυτικής περιγραφής κάθε παρέμβασης της εφαρμογής.

Για κάθε παρέμβαση που εξετάζεται απεικονίζονται σε μία ξεχωριστή σελίδα τα χαρακτηριστικά της. Συγκεκριμένα:

- Ο τίτλος της παρέμβασης.
- Εικόνα που σχετίζεται με την παρέμβαση.
- Η περιγραφή της παρέμβασης (About the intervention).
- Η περιοχή που εστιάζει (Focal area).
- Στοιχεία της παρέμβασης κατηγοριοποιημένα αρχικά ανά κλιματική ζώνη και δευτερευόντως ανά ηλικία κτηρίου στο οποίο γίνεται η παρέμβαση:
  - Κόστος παρέμβασης (Investment Cost) - €
  - Ενεργειακή εξοικονομεία κάθε χρόνο εξαιτίας της παρέμβασης (Energy saved) – kWh/year
  - Χρονική διάρκεια ζωής της παρέμβασης (Lifetime of measure) – έτη
  - Ποσοστό απόδοσης της παρέμβασης (Capital recovery factor)
  - Οικονομικό κόστος ανά εξοικονομούμενη kWh (Levelized cost) - €/kWh
- Στοιχεία για τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων στις οποίες θα γίνουν οι παρεμβάσεις:
  - Τύπος κτιρίου (Type of building) – παλιό/νέο (OLD/NEW)
  - Συνολικές ενεργειακές ανάγκες (Total energy consumption) – kWh/m<sup>2</sup>
  - Θερμικές ενεργειακές ανάγκες (Thermal energy consumption) – kWh/m<sup>2</sup>
  - Ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες (Electrical energy consumption) – kWh/m<sup>2</sup>

B climatic zone   Athens		C climatic zone   Thessaloniki		
<b>Type of Building:</b> OLD				
<b>Total Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):</b> 161.0				
<b>Thermal Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):</b> 145.4				
<b>Electrical Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):</b> 15.6				
				
Investment costs (€)	Energy saved (kWh/year)	Lifetime of measure (years)	Capital recovery factor	Levelised cost (€/kWh)
6400.0	16435.5	20	0.067	0.034
<hr/>				
<b>Type of Building:</b> NEW				
<b>Total Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):</b> 111.84				
<b>Thermal Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):</b> 93.93				
<b>Electrical Energy Consumption (kWh/m<sup>2</sup>):</b> 17.91				
				
Investment costs (€)	Energy saved (kWh/year)	Lifetime of measure (years)	Capital recovery factor	Levelised cost (€/kWh)
6400.0	12813.4	20	0.067	0.044

Εικόνα 5.6: Συνέχεια σελίδας αναλυτικής περιγραφής κάθε παρέμβασης της εφαρμογής.

## 5.5 Σελίδα εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων (Portfolio optimisation)

Η σελίδα εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων, η οποία συμβολίζεται ως “Solver” στην εφαρμογή αποτελεί την πιο σημαντική σελίδα της εφαρμογής. Σε αυτή την σελίδα γίνεται η παραμετροποίηση του προβλήματος εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων παρεμβάσεων σύμφωνα με τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στην υπό-ενότητα 3.4 «Περιορισμοί στην Επιλογή του Χαρτοφυλακίου Παρεμβάσεων».

### 5.5.1 Διεπαφή παραμετροποίησης των περιορισμών ανάλυσης χαρτοφυλακίου

Η παραμετροποίηση γίνεται μέσω της διεπαφής που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

The screenshot displays the 'PORTFOLIO OPTIMISATION' interface with the subtitle 'Configure your targets'. The interface includes several input fields for defining optimization targets and constraints:

- Energy Saving Target:** A field for 'Minimum (kWh)'.
- Energy Poor Households:** A field for 'Minimum (number)'.
- Utility Annual Budget:** A field for 'Maximum (million €)'.
- Share of Total Interventions (New|Old):** Two fields for 'New buildings (%)' and 'Old buildings (%)'.
- Share of Total Interventions (Large|Small):** Two fields for 'Large scale (%)' and 'Small scale (%)'.
- Share of Energy Saving:** Two fields for 'New buildings (%)' and 'Old buildings (%)'.
- RES Electricity Production:** Two fields for 'Minimum (kWh)' and 'Maximum (kWh)'.

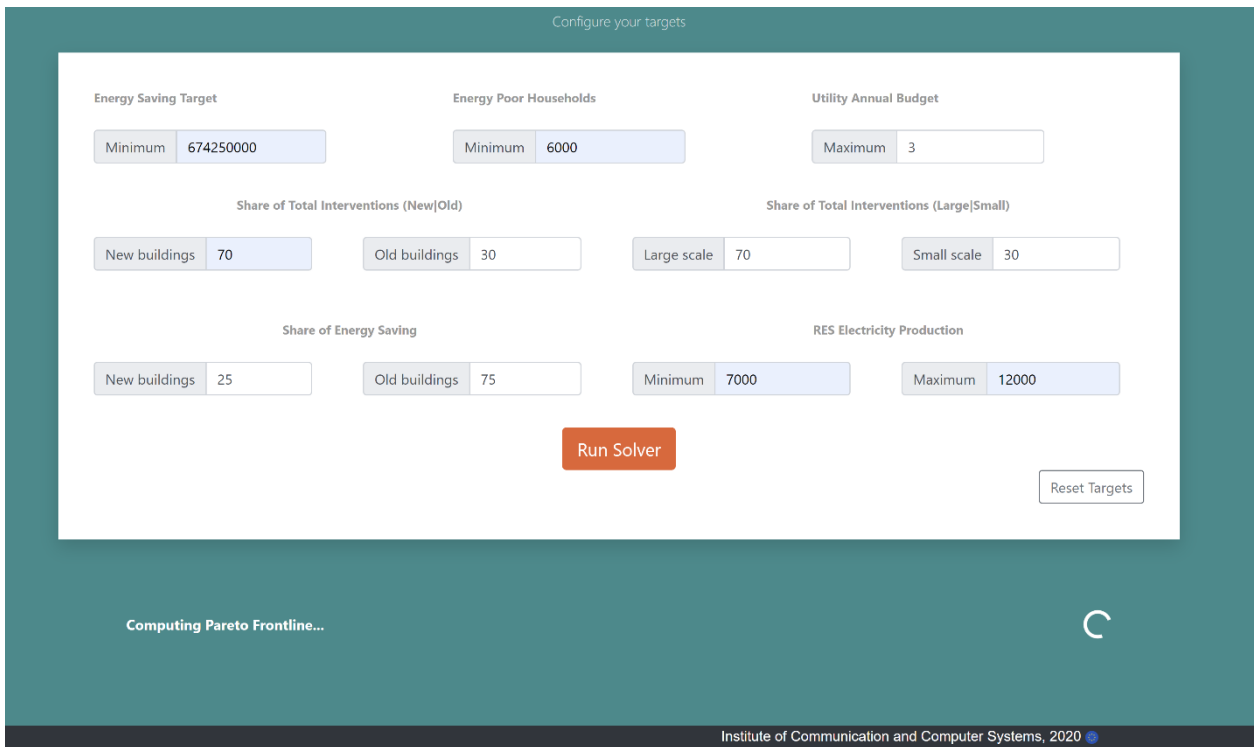
At the bottom of the form, there is a prominent orange 'Run Solver' button and a 'Reset Targets' button.

At the bottom of the page, the text 'Institute of Communication and Computer Systems, 2020' is visible.

Εικόνα 5.7: Σελίδα ανάλυσης χαρτοφυλακίων της εφαρμογής, διεπαφή για τους περιορισμούς.

Αφού ο χρήστης εισάγει τις τιμές για τους περιορισμούς που θέλει να εξετάσει η εφαρμογή μεταβιβάζει τις τιμές στο πρόγραμμα υπολογισμού που αναλύθηκε στην ενότητα 3.5 «Η Ανάλυση Χαρτοφυλακίου» και αναμένει για την επιστροφή των αποτελεσμάτων που αποτελούνται από στοιχεία για το Optimal Pareto Set 1000 χαρτοφυλακίων.

Ο χρήστης κατά την διάρκεια των υπολογισμών και μορφοποιήσεων των αποτελεσμάτων που διαρκεί περίπου 30 δευτερόλεπτα αναμένει στην σελίδα που φαίνεται στην ακόλουθη φωτογραφία.



Εικόνα 5.8: Σελίδα ανάλυσης χαρτοφυλακίων της εφαρμογής, αναμονή για υπολογισμό βέλτιστων χαρτοφυλακίων.

## 5.5.2 Παρουσίαση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων

### 5.5.2.1 Γραφική απεικόνιση του Optimal Pareto Set (OPS)



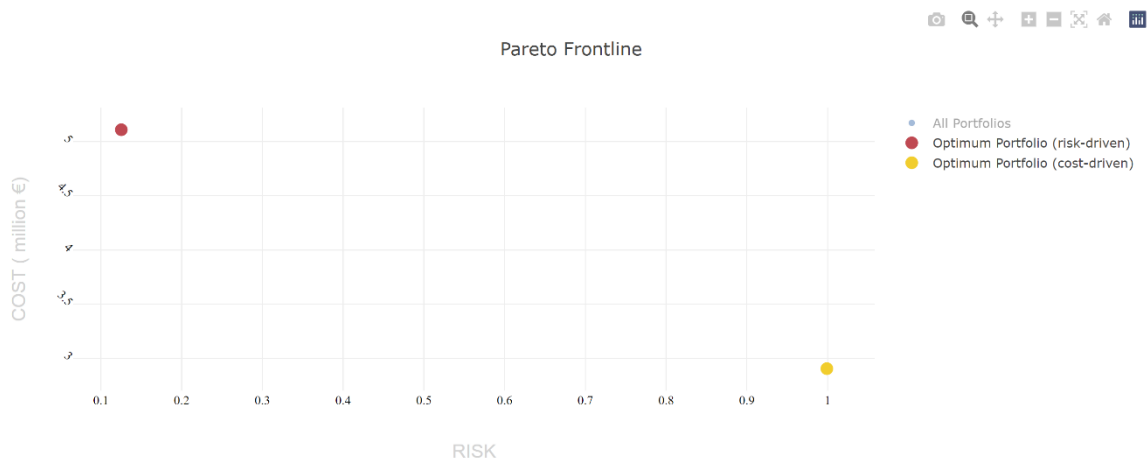
Εικόνα 5.9: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων.

Στο γράφημα που παρουσιάζεται στον χρήστη παρουσιάζονται τα 1000 βέλτιστα χαρτοφυλάκια ως σημεία στο δισδιάστατο επίπεδο με άξονες το οικονομικό κόστος (€) και το ρίσκο (για το οποίο γίνεται απεικόνιση του διαστήματος  $[\min(\text{risk}), \max(\text{risk})]$  στο διάστημα  $[0,1]$ ).

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνονται και οι ταμπέλες (labels):

- All portfolios: Όλα τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια απεικονίζονται με μπλε χρώμα.
- Optimum portfolio (risk-driven): Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο βάσει προσέγγισης ελάχιστου ρίσκου. Δηλαδή για τους χρήστες που δεν είναι ανεκτικοί στο ρίσκο (risk-tolerant).  
Ο υπολογισμός γίνεται με την ελαχιστοποίηση του δείκτη  $|\frac{drisk}{dcost}|$  με αφετηρία το χαρτοφυλάκιο με το ελάχιστο ρίσκο. Ο δείκτης αυτός βρίσκει το χαρτοφυλάκιο για το οποίο έγινε η μικρότερη μεταβολή ρίσκου σε σχέση με τη μεταβολή κόστους, καθώς πιο δεξιά κατανομή στους άξονες συνεπάγεται αύξηση ρίσκου και μείωση κόστους.
- Optimum portfolio (cost-driven): Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο βάσει προσέγγισης ελάχιστου οικονομικού κόστους και απόδοσης. Ο υπολογισμός γίνεται με την ελαχιστοποίηση του δείκτη  $|\frac{dcost}{drisk}|$  με αφετηρία το χαρτοφυλάκιο με το ελάχιστο κόστος. Ο δείκτης αυτός βρίσκει το χαρτοφυλάκιο για το οποίο έγινε η μικρότερη μεταβολή (αύξηση) κόστους σε σχέση με τη μεταβολή (μείωση) ρίσκου, καθώς πιο αριστερή κατανομή στους άξονες συνεπάγεται μείωση του ρίσκου και αύξηση του κόστους.

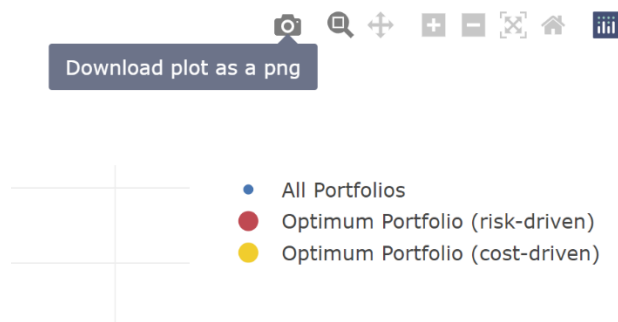
Το γράφημα είναι διαδραστικό και προσφέρει πληθώρα δυνατοτήτων στο χρήστη. Αρχικά με κλικ στις ταμπέλες (labels) που αναφέρθηκαν προηγουμένως εμφανίζονται/κρύβονται τα σημεία που αντιστοιχούν σε κάθε ταμπέλα όπως στο παράδειγμα που ακολουθεί στην φωτογραφία στην οποία έχουν κρυφτεί όλα τα χαρτοφυλάκια εκτός των “Optimum Portfolio risk-driven” και “Optimum Portfolio cost-driven”.



Εικόνα 5.10: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Χρήση ταμπελών (labels).

Οι χρήστες έχουν επίσης τη δυνατότητα των κάτωθι λειτουργιών στις οποίες έχουν πρόσβαση μέσω του menu που βρίσκεται άνω-δεξιά στο γράφημα. Στη συνέχεια αναλύονται οι λειτουργίες με σειρά εμφάνισης από αριστερά προς τα δεξιά:

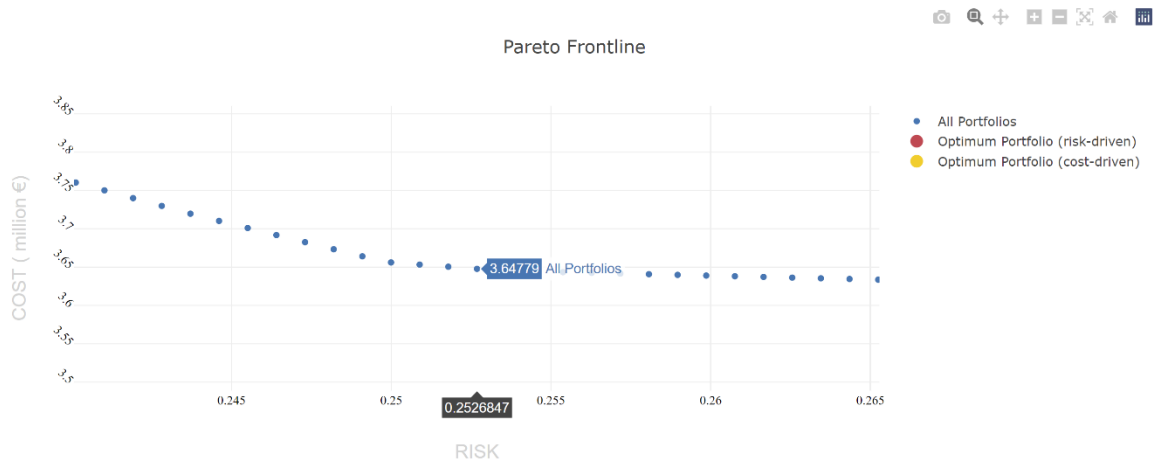
- Να κατεβάσουν το γράφημα στη μορφή .png (Download plot as png)
- Ζουμ σε περιοχή του επιπέδου που τους ενδιαφέρει.
- Μετακίνηση της απεικονιζόμενης περιοχής χωρίς να χαθεί το επίπεδο ζουμ.
- Zoom in.
- Zoom out.
- Auto-Scale.
- Επαναφορά στην αρχική κατάσταση του γραφήματος.



Εικόνα 5.11: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Μενού λειτουργιών.

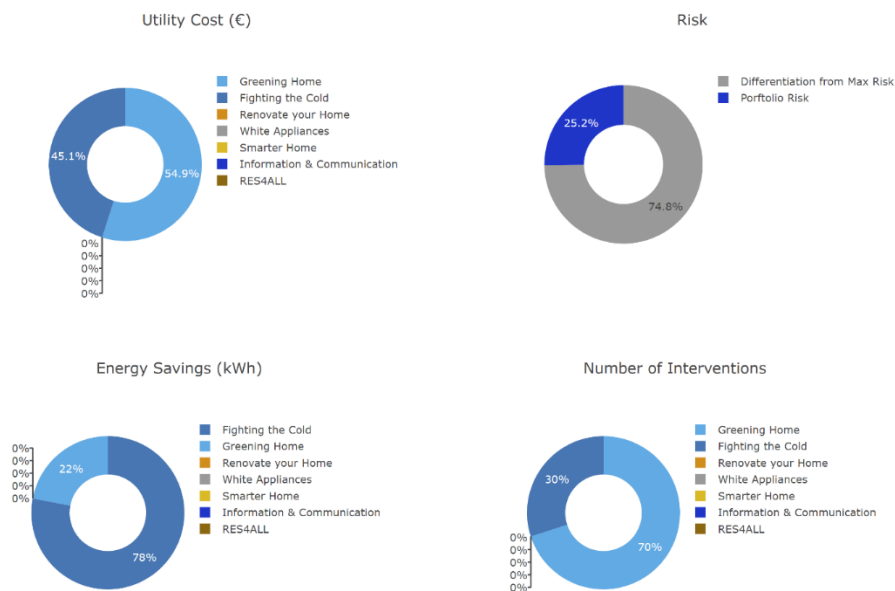
### 5.5.2.2 Αναλυτική παρουσίαση παρεμβάσεων χαρτοφυλακίου και ανάλυση αποτελεσμάτων

Ο χρήστης μέσω του γραφήματος που απεικονίζεται στην Εικόνα 5.9 μπορεί να επιλέξει το σημείο-χαρτοφυλάκιο που τον ενδιαφέρει με βάση το συνδυασμό κόστους-ρίσκου όπως φαίνεται στην φωτογραφία που ακολουθεί.



Εικόνα 5.12: Γραφική απεικόνιση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Επιλογή σημείου-χαρτοφυλακίου.

Η εφαρμογή αναγνωρίζει το σημείο που επιλέχθηκε και ο χρήστης μεταβιβάζεται σε νέα περιοχή της υπάρχουσας σελίδας όπου γίνεται αναλυτική παρουσίαση των παρεμβάσεων που περιλαμβάνονται στο χαρτοφυλάκιο και ταυτόχρονα γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων σε κυκλικά γραφήματα.



Εικόνα 5.13: Γραφική απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών των παρεμβάσεων ενός χαρτοφυλακίου.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων που γίνεται είναι η εξής:



- Γράφημα κατανομής του συνολικού οικονομικού κόστους του χαρτοφυλακίου ανά κατηγορία παρεμβάσεων (Utility Cost) - €
- Γράφημα ρίσκου σε σχέση με το χαρτοφυλάκιο μέγιστου ρίσκου (Risk)
- Γράφημα κατανομής της συνολικής εξοικονομούμενης ενέργειας ανά κατηγορία παρεμβάσεων (Energy Savings) - kWh
- Γράφημα κατανομής του συνολικού παρεμβάσεων ανά κατηγορία παρεμβάσεων (Number of Interventions)

Η αναλυτική παρουσίαση των παρεμβάσεων που περιλαμβάνονται στο χαρτοφυλάκιο που επιλέχθηκε γίνεται σε μορφή πίνακα όπου αναγράφονται αρχικά ο αριθμός του χαρτοφυλακίου, το κόστος, η εξοικονομούμενη ενέργεια και το ρίσκο. Ενώ οι παρουσιάσεις των παρεμβάσεων κατηγοριοποιείται ανά κλιματική ζώνη στην οποία στοχεύει η κάθε δράση.

Ο πίνακας για κάθε κλιματική ζώνη ή συνολικά (All Climatic Zone) περιλαμβάνει:

- Τον τύπο του κτιρίου στο οποίο αντιστοιχεί η παρέμβαση.
- Το είδος της παρέμβασης .
- Ετήσιος αριθμός παρεμβάσεων του συγκριμένου είδους παρέμβασης για το χρονικό διάστημα [2021, 2030].

Detailed Analysis for Portfolio #835											
										Cost: 3.650585 (Million €)	
										Energy Savings: 68082045 (kWh)	
										Risk: 0.25178722084154204 (Scaled)	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <span>All Climatic Zones</span> <span>Climatic Zone Athens</span> <span>Climatic Zone Thessaloniki</span> </div>											
Buildings Type	Action	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Old Buildings	Insulation-Exterior Walls <span style="color: green;">Athens</span>	68.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Old Buildings	Insulation-Exterior Walls <span style="color: orange;">Thessaloniki</span>	82.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
New Buildings	Insulation-Exterior Walls <span style="color: orange;">Thessaloniki</span>	4000.00	3285.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Old Buildings	Heat Pumps <span style="color: green;">Athens</span>	3037.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
New Buildings	Heat Pumps <span style="color: orange;">Thessaloniki</span>	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Institute of Communication and Computer Systems, 2020

Εικόνα 5.14: Αναλυτική παρουσίαση των παρεμβάσεων ενός χαρτοφυλακίου.



## 6. Μελέτη περίπτωσης ανάλυσης χαρτοφυλακίου για προμηθευτή ενέργειας

Σκοπός της ενότητας είναι να αποτυπωθεί μία πλήρης χρήση της εφαρμογής και συγκεκριμένα η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου για τις απαιτήσεις ενός προμηθευτή ενέργειας στην Κροατία ο οποίος επιθυμεί να επενδύσει κατά μέγιστο 25,000 χιλιάδες € ανά έτος για το χρονικό διάστημα [2021,2030] με στόχο συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας που ανέρχεται στις 350000 kWh. Επίσης, η καμπάνια αφορά παρεμβάσεις για τουλάχιστον 2000 ενεργειακά νοικοκυριά τα οποία έχουν κατηγοριοποιηθεί ως ενεργειακά φτωχά.

Παράλληλα με τις παραπάνω απαιτήσεις, η καμπάνια του προμηθευτή ενέργειας στοχεύει κατά 10% παρεμβάσεις που αφορούν νέα κτίρια και 90% παλιά κτίρια και οι παρεμβάσεις πρέπει να είναι σε ποσοστό 20% μεγάλης κλίμακας παρεμβάσεις και 80% μικρής κλίμακας ενώ το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που προέρχεται από παρεμβάσεις σε νέα κτίρια πρέπει να είναι 10% και 90% από παλιά κτίρια.

Τέλος, στα πλαίσια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτείται από την καμπάνια η παραγωγή τουλάχιστον 3500 kWh και το πολύ 20000 kWh.

Οι παραπάνω περιορισμοί στο επίπεδο του εργαλείου αποτυπώνονται στην διεπαφή του χρήστη στη σελίδα του “Solver”. Δηλαδή τη σελίδα εύρεσης βέλτιστων χαρτοφυλακίων.

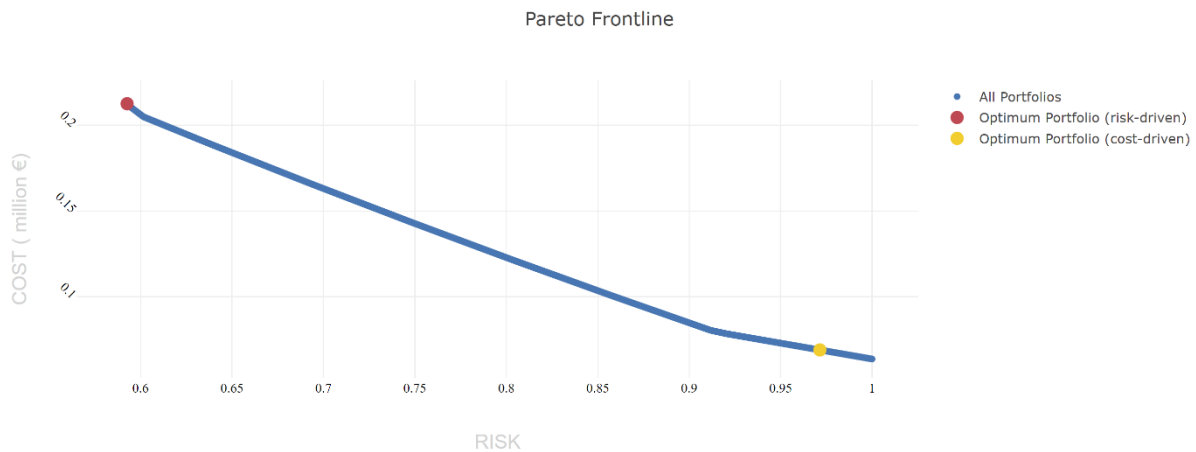
The screenshot displays the 'PORTFOLIO OPTIMISATION' interface with the following configuration options:

- Energy Saving Target:** Minimum 350000
- Energy Poor Households:** Minimum 2000
- Utility Annual Budget:** Maximum 0.025
- Share of Total Interventions (New|Old):** New buildings 10, Old buildings 90
- Share of Total Interventions (Large|Small):** Large scale 20, Small scale 80
- Share of Energy Saving:** New buildings 10, Old buildings 90
- RES Electricity Production:** Minimum 3500, Maximum 20000

Buttons: Run Solver, Reset Targets

Εικόνα 6.1: Περιορισμοί στο Case Study.

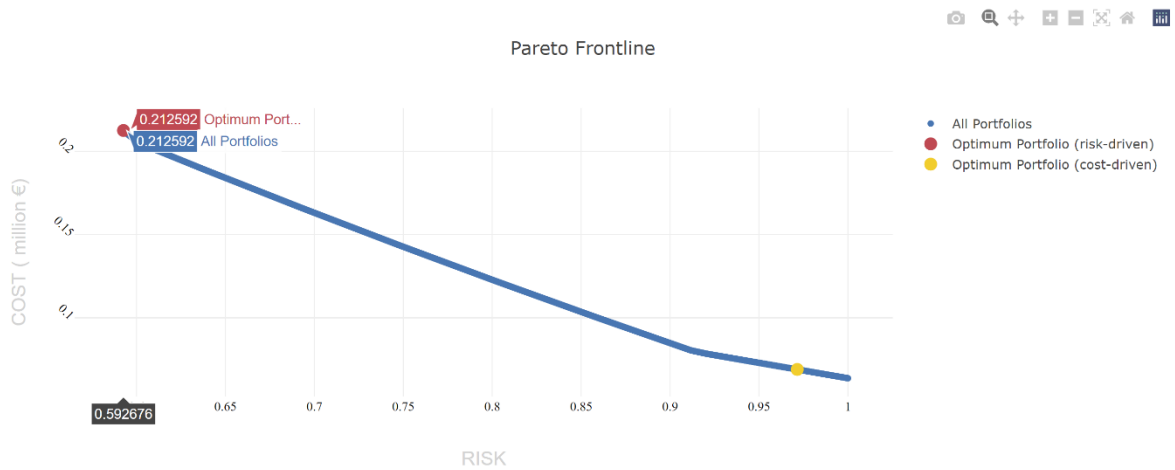
Το πρόβλημα είναι εφικτό και μετά την ανάλυση χαρτοφυλακίου που εκτελείται στο παρασκήνιο της εφαρμογής μέσω της διαδικασίας που περιεγράφηκε στα Κεφάλαια 4 και 5 σχηματίζεται το Pareto Front των χαρτοφυλακίων που ικανοποιούν βέλτιστα τους περιορισμούς που δόθηκαν με βάση τα δεδομένα που αντιστοιχούν στην έρευνα που έχει γίνει για τα κόστη και την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων στην Κροατία. Το γράφημα που ακολουθεί απεικονίζει τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια με σημεία στο επίπεδο που ορίζεται από τους άξονες κόστους και ρίσκου.



Εικόνα 6.2: Γράφημα Pareto Front.

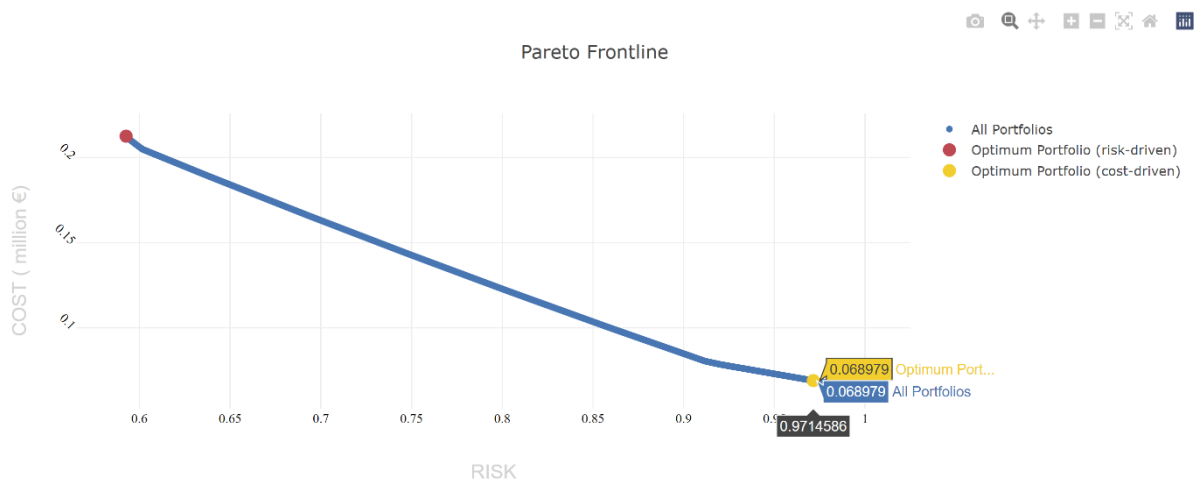
Όπως προαναφέρθηκε το Pareto Front του γραφήματος αποτελείται από σημεία που εκπροσωπούν τα 1000 διαφορετικά βέλτιστα κατά Pareto χαρτοφυλάκια παρεμβάσεων που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του προμηθευτή. Στο διαδραστικό γράφημα ο προμηθευτής έχει τη δυνατότητα να διαλέξει το βέλτιστο risk-driven χαρτοφυλάκιο (Optimum Portfolio risk-driven) το οποίο απεικονίζεται ως κόκκινο σημείο, το βέλτιστο cost-driven χαρτοφυλάκιο (Optimum Portfolio cost-driven) το οποίο απεικονίζεται ως κίτρινο σημείο ή οποιοδήποτε άλλο από τα υπόλοιπα 998 χαρτοφυλάκια που απεικονίζονται ως μπλε σημεία και έχουν σχηματίσει μία συμπαγή καμπύλη εξαιτίας της πυκνότητάς τους. Στη συνέχεια ακολουθούν οι φωτογραφίες του βέλτιστου cost-driven χαρτοφυλακίου και του βέλτιστου risk-driven χαρτοφυλακίου.

Στην περίπτωση του risk-driven χαρτοφυλακίου επιβεβαιώνεται και γραφικά ότι τοποθετείται στον τομέα του γραφήματος στον οποίο η καμπύλη είναι πλησιέστερη στον άξονα γ καθώς μειώνεται το ρίσκο των χαρτοφυλακίων όσο πιο κοντά στον άξονα αυτό βρίσκεται το χαρτοφυλάκιο. Ο υπολογισμός του υπενθυμίζεται ότι αναλύθηκε περαιτέρω στο Κεφάλαιο 5. Συγκεκριμένα το συνολικό κόστος των παρεμβάσεων του χαρτοφυλακίου είναι 0.212592 εκατομμύρια € και το ρίσκο του υπολογίζεται ότι είναι 0.592676.



Εικόνα 6.3: Βέλτιστο risk-driven χαρτοφυλάκιο (Optimum Portfolio risk-driven)

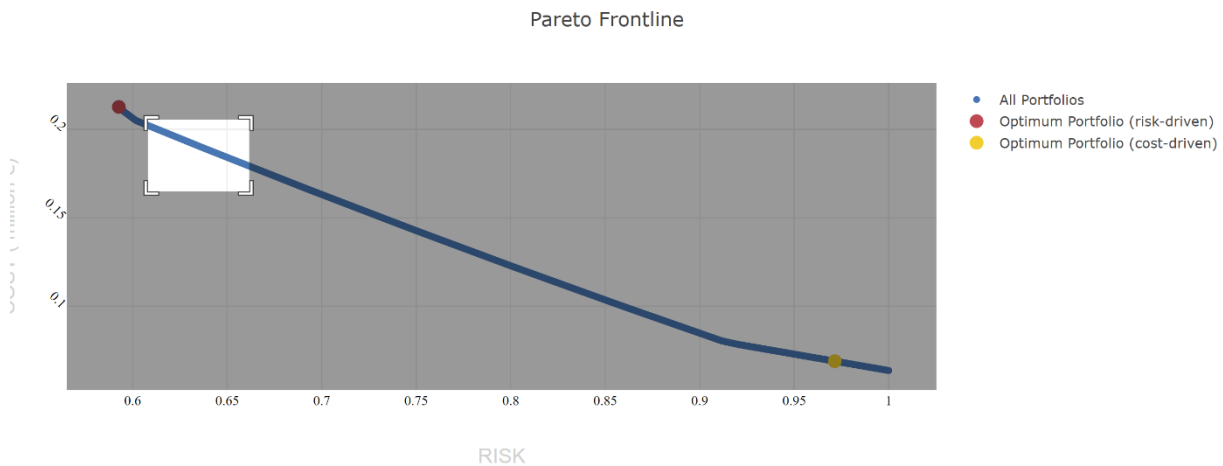
Αντίστοιχα, στην περίπτωση του cost-driven χαρτοφυλακίου επιβεβαιώνεται και γραφικά ότι τοποθετείται στον τομέα του γραφήματος στον οποίο η καμπύλη είναι πλησιέστερη στον άξονα x καθώς μειώνεται το κόστος των χαρτοφυλακίων όσο πιο κοντά στον άξονα αυτό βρίσκεται το χαρτοφυλάκιο. Ο υπολογισμός του υπενθυμίζεται ότι αναλύθηκε περαιτέρω στο Κεφάλαιο 5. Συγκεκριμένα το συνολικό κόστος των παρεμβάσεων του χαρτοφυλακίου είναι 0.068979 εκατομμύρια € και το ρίσκο του υπολογίζεται ότι είναι 0.9714586.



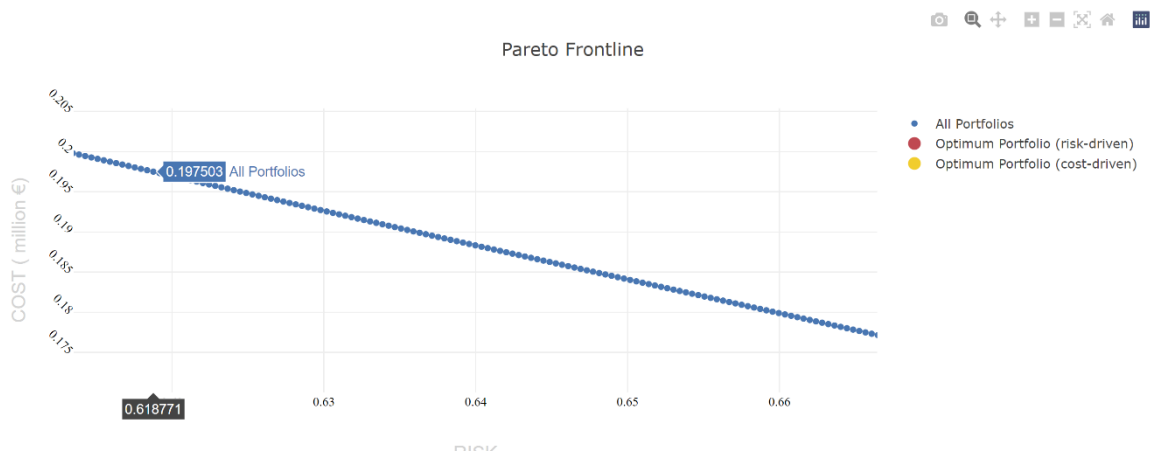
Εικόνα 6.4: Βέλτιστο cost-driven χαρτοφυλάκιο (Optimum Portfolio cost-driven)

Παρατηρούμε ότι μελετώντας τις δύο παραπάνω περιπτώσεις παρουσιάζεται το δίλημμα επιλογής ενός χαρτοφυλακίου το οποίο είναι οικονομικό αλλά ενέχει ρίσκο ως προς την αποτελεσματικότητα του ή ενός πιο ασφαλούς χαρτοφυλακίου το οποίο όμως απαιτεί περισσότερους οικονομικούς πόρους. Το παραπάνω δίλημμα υπάρχει ακόμα και όταν η επιλογή

αφορά μόνο τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια. Μελετώντας τους περιορισμούς που δόθηκαν από τον προμηθευτή θα επιλέξουμε να μελετήσουμε αναλυτικά ένα χαρτοφυλάκιο το οποίο δεν απορροφά τους μέγιστους πόρους αλλά είναι αρκετά ασφαλές ως προς το ρίσκο που ενέχει. Χρησιμοποιώντας το γράφημα γίνεται η επιλογή της «γειτονιάς» χαρτοφυλακίων που θέλουμε να μελετήσουμε και στη συνέχεια η επιλογή συγκεκριμένου χαρτοφυλακίου. Η διαδικασία που ακολουθείται αποτυπώνεται στις δύο ακόλουθες φωτογραφίες.



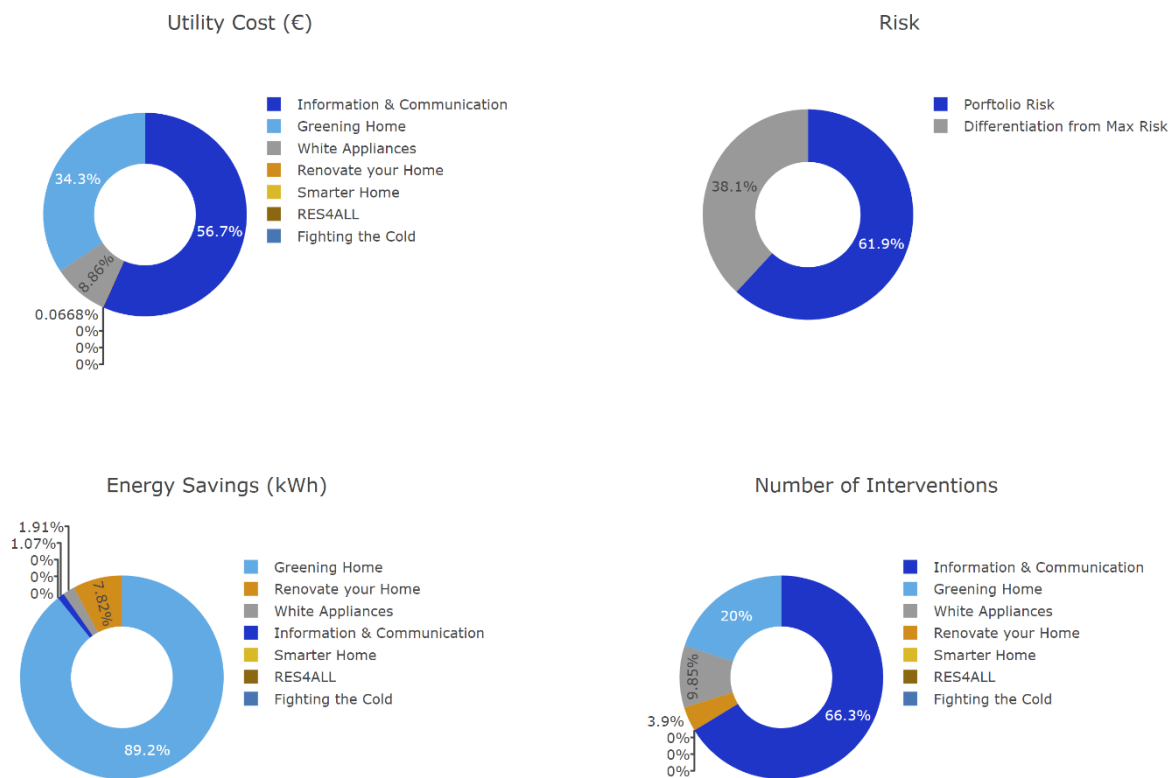
Εικόνα 6.5: Επιλογή «γειτονιάς» βέλτιστων χαρτοφυλακίων.



Εικόνα 6.6: Επιλογή συγκεκριμένου χαρτοφυλακίου.

Η επιλογή του χαρτοφυλακίου που απεικονίζεται στο σημείο με κόστος 0.197503 εκατομμύρια € και ρίσκο 0.618771 εμφανίζει τα γραφήματα συνολικής ανάλυσης των χαρακτηριστικών των παρεμβάσεων και τις αναλυτικές παρεμβάσεις ανά έτος που περιέχει το χαρτοφυλάκιο. Στην ακόλουθη Εικόνα 6.7 απεικονίζονται τα γραφήματα συνολικού κόστους, συνολικής

εξοικονομούμενης ενέργειας και συνολικού αριθμού παρεμβάσεων κατανεμημένα ανά κατηγορίες παρεμβάσεων.



Εικόνα 6.7: Γραφική ανάλυση των στοιχείων των παρεμβάσεων ενός χαρτοφυλακίου.

Παρατηρούμε ότι το χαρτοφυλάκιο που επιλέχθηκε εστιάζει κατά κύριο λόγο σε παρεμβάσεις που ανήκουν στην κατηγορία Information & Communication σε ποσοστό 56.7% και στην κατηγορία Greening Home 34.3 % επί του συνολικών παρεμβάσεων. Παρατηρούμε επίσης ότι στο γράφημα εξοικονομούμενης ενέργειας η κατηγορία Information & Communication αφορά μόνο το 1.07% της ενέργειας ενώ η κατηγορία Fighting the Cold είναι υπεύθυνη για το 89.2% της συνολικής εξοικονομούμενης ενέργειας του χαρτοφυλακίου που εξετάζεται. Αυτό οδηγεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι οι δράσεις αυτής της κατηγορίας έχουν υψηλό κόστος σε σχέση με την αποτελεσματικότητά τους αλλά έχουν εισαχθεί στο σύστημα με χαμηλό ρίσκο. Αυτό το συμπέρασμα συμφωνεί με την αρχική επιλογή του συγκεκριμένου χαρτοφυλακίου όπου ακολουθήθηκε μία risk-driven προσέγγιση. Δηλαδή χαμηλή ανεκτικότητα σε παρεμβάσεις που ενέχουν ρίσκο. Επιπλέον, σημαντική παρατήρηση για το συγκεκριμένο γράφημα είναι το ποσοστό που κατέχει η κατηγορία παρεμβάσεων Renovate your Home ή οποία ενώ κατέχει <1% ποσοστό επί του συνολικού κόστους είναι υπεύθυνη για το 7.82% της εξοικονομούμενης ενέργειας.

Όσον αφορά την κατανομή του αριθμού παρεμβάσεων παρατηρείται ένα δικαιολογημένο υψηλό ποσοστό (66.3%) για την κατηγορία Information & Communication. Τέλος το γράφημα του ρίσκου αφορά την διαφορά (38.1%) του συγκεκριμένου χαρτοφυλακίου από το χαρτοφυλάκιο με το μέγιστο ρίσκο.

Στη συνέχεια στην Εικόνα 6.8 παρουσιάζονται αναλυτικά τα περιεχόμενα του χαρτοφυλακίου που επιλέχθηκε να εξεταστεί. Ο προμηθευτής ενέργειας έχει επιλέξει να εξετάσει αποκλειστικά την περιοχή του Zagreb και την κλιματική ζώνη που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη περιοχή είτε εξαιτίας στόχευσης είτε εξαιτίας έλλειψης δεδομένων για τις άλλες περιοχές. Στην φωτογραφία που ακολουθεί λαμβάνουμε κάποια βασικά στοιχεία που αφορούν το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο όπου απεικονίζονται εκ νέου το κόστος (0.197503 εκατομμύρια ευρώ) και το ρίσκο πιο αναλυτικά από το αρχικό γράφημα της εικόνας 6.6 (0.6187710059216693). Απεικονίζεται επίσης η συνολική εξοικονομούμενη ενέργεια μέσω των παρεμβάσεων του χαρτοφυλακίου η οποία είναι 1239610 kWh. Στη συνέχεια, παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των παρεμβάσεων ανήκουν στην κατηγορία Energy Advices and Leaflets σε νοικοκυριά που στεγάζονται σε παλιά κτίρια, όπου προτείνονται 126 παρεμβάσεις το 2022, 250 το 2023, 250 το 2024, 250 το 2026 και 199 το 2027. Ενώ σημαντικές είναι και οι παρεμβάσεις που γίνονται για αντικατάσταση συμβατικών πλυντηρίων με ενεργειακά αποδοτικά πλυντήρια σε νοικοκυριά που έχουν εντοπιστεί ως ενεργειακά φτωχά και αφορούν νέα κτίρια αλλά και μονώσεις που αφορούν το εξωτερικό περιβλημά παλιότερων κτιρίων.

Detailed Analysis for Portfolio #936

Cost: 0.197503 (Million €)  
Energy Savings: 1239610 (kWh)  
Risk: 0.6187710059216693 (Scaled)

All Climatic Zones Climatic Zone Zagreb

Buildings Type	Action	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Old Buildings	Insulation-Exterior Walls Zagreb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	124.00	124.00	124.00
New Buildings	Insulation-Exterior Walls Zagreb	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
New Buildings	Efficient Lighting Zagreb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.00
New Buildings	White Appliances-Washing Machine Zagreb	79.00	118.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Old Buildings	Energy Advices and Leaflets Zagreb	0.00	126.00	250.00	250.00	250.00	250.00	199.00	0.00	0.00	0.00

Institute of Communication and Computer Systems, 2020

Εικόνα 6.8: Αναλυτική παρουσίαση παρεμβάσεων χαρτοφυλακίου.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του case study η προσοχή μας στρέφεται σε δύο βασικά στοιχεία. Αφ' ενός στη σημασία που έχει η δομή των δεδομένων και η σωστή απόδοση ρίσκου στις δράσεις καθώς για προκειμένου να επιλεγθεί ένα χαμηλού ρίσκου χαρτοφυλάκιο επενδύεται το 56.7 % του κεφαλαίο σε δράσεις που θα αποδώσουν 1.07 % της συνολικής



εξοικονομούμενης ενέργειας. Αφ' ετέρου στην αποτελεσματικότητα της ανάλυσης σε σχέση με την αρχική εκτίμηση του προμηθευτή ενέργειας καθώς τέθηκε ο στόχος εξοικονόμησης τουλάχιστον 350000 kWh με κεφάλαιο 25,000 χιλιάδες € ενώ με το χαμηλού ρίσκου χαρτοφυλάκιο που εξετάσαμε εξοικονομούνται 1239610 kWh (989610 επιπλέον kWh) με ετήσιο κόστος 197530,3 χιλιάδες €. Τα παραπάνω αποτελέσματα αναλύονται περαιτέρω στο Κεφάλαιο 7 που ακολουθεί.



## 7. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας το σύνολο της έρευνας της διπλωματικής εργασίας σε συνδυασμό με την εφαρμογή του εργαλείου τα συμπεράσματα κινούνται σε τρεις βασικούς άξονες. Στον πρώτο άξονα, με βάση τη ανάλυση που έγινε στα Κεφάλαιο 1 και Κεφάλαιο 2 και τη μελέτη περίπτωσης στο Κεφάλαιο 6 επιβεβαιώνεται η υψηλή διαφοροποίηση στην επιλογή κλίμακας των παρεμβάσεων ανάλογα με την χώρα και το επίπεδο ανάπτυξης πολιτική αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας. Ο προμηθευτής ενέργειας της περίπτωσης που εξετάστηκε ο οποίος έχει βάση στην Κροατία, η οποία αποτελεί μία χώρα με χαμηλό GDP και ανήκει στις χώρες με μη-ανεπτυγμένες πολιτικές αντιμετώπισης ενεργειακής φτώχειας, επέλεξε να ερευνήσει κυρίως τα αποτελέσματα μικρής κλίμακας παρεμβάσεων και μόνο σε μία κλιματική ζώνη λόγω περιορισμένων κεφαλαίων και έλλειψη δεδομένων.

Στον δεύτερο άξονα, εντοπίζεται η υποτίμηση των προμηθευτών ενέργειας ως προς την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων τους καθώς ως εισοδο στη μελέτη περίπτωσης που μελετήθηκε, ο συνδυασμός κόστους και εξοικονόμησης ενέργειας που επέλεξε να ερευνήσει ο προμηθευτής ήταν ιδιαίτερα χαμηλός ως προς τον στόχο εξοικονόμησης. Αυτό το φαινόμενο πιθανόν να οφείλεται στην προδιάθεση από αποτυχίες προηγούμενων στρατηγικών που εφαρμόστηκαν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας και φυσικά στο γεγονός ότι αποτελεί έναν τομέα ο οποίος δεν έχει ωριμάσει αρκετά οπότε είναι φυσιολογικό να υπάρχουν επιφυλάξεις.

Τέλος, ο τρίτος άξονας παρατηρήσεων αφορά συμπεράσματα για τις παρεμβάσεις και την επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου εξαγωγής βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Αρχικά, παρατηρήθηκε ότι οι παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας οι οποίες αφορούσαν κυρίως ανακαινίσεις σπιτιών είχαν εξαιρετικά αποτελέσματα στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά συμπεριλαμβανόταν κυρίως σε χαρτοφυλάκια τα οποία είχαν υψηλό ρίσκο. Αυτό οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο υπολογισμός ρίσκου καθώς φαίνεται πως επηρεάζεται από την υψηλή απαίτηση σε αρχικό κεφάλαιο επένδυσης και την περίοδο που απαιτείται για να γίνει η απόδοση της επένδυσης (return on investment – ROI). Αντίθετα, όπως και στη μελέτη περίπτωσης που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 6, πιο μικρές δράσεις που αφορούν την ενημέρωση πολιτών σχετικά με την ενεργειακή φτώχεια μέσω φυλλαδίων, ιστοσελίδας ή σεμιναρίων εμφανίζονται συχνά σε χαρτοφυλάκια τα οποία είναι χαμηλού ρίσκου.

Καταληκτικά, ένας τομέας που θα μπορούσε να βελτιωθεί στην υπάρχουσα ανάλυση είναι η χρήση της ιδιότητας της σωρρευτικότητας των μεγάλων ενεργειακών παρεμβάσεων καθώς παρατηρήθηκε ότι σε ορισμένα χαρτοφυλάκια οι μεγάλης κλίμακας παρεμβάσεις γινόταν στο χρονικό διάστημα 2025-2030 και ουσιαστικά χάνονταν τα οφέλη της ενεργειακής αποδοτικότητας για τα έτη 2021 έως 2024.



## Βιβλιογραφία

- [1] Ενεργειακό Παρατηρητήριο Ενέργειας( Energy Poverty Observatory - EPOV), <https://www.energypoverty.eu/>
- [2] K. Csiba, A. Bajomi, Á. Gosztonyi, Energy Poverty Handbook, 2016 Greens/EFA Gr. Eur. Parliam, doi:[10.2861/94270](https://doi.org/10.2861/94270).
- [3] B. Boardman, Fuel poverty: from Cold Homes to Affordable Warmth, Belhaven Press, London, 1991, [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Fuel%20poverty%3A%20from%20Cold%20Homes%20to%20Affordable%20Warmth&author=B.%20Boardman&publication\\_year=1991](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Fuel%20poverty%3A%20from%20Cold%20Homes%20to%20Affordable%20Warmth&author=B.%20Boardman&publication_year=1991)
- [4] S. Pye, A. Dobbins, C. Baffert, J. Brajkovic, P. Deane, R. De Miglio, Energy poverty across the EU: analysis of policies and measures, Eur. Energy Transit. Insights Policy Mak (2017) 261–280, doi:[10.1016/B978-0-12-809806-6.00030-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809806-6.00030-4).
- [5] John Hills, Getting the measure of fuel poverty, <https://sticerd.lse.ac.uk/dps/case/cr/CASEREport72.pdf>
- [6] I. Imbert, P. Nogues, M. Sevenet, Same but different: on the applicability of fuel poverty indicators across countries—Insights from France, Energy Res, Soc. Sci. 15 (2016) 75–85, doi:[10.1016/j.erss.2016.03.002](https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.03.002).
- [7] Energy Poverty – A Eurelectric Position Paper, [http://www.eemg-mediators.eu/downloads/Paper\\_on\\_Energy\\_Poverty\\_-\\_May\\_2017.pdf](http://www.eemg-mediators.eu/downloads/Paper_on_Energy_Poverty_-_May_2017.pdf)
- [8] European Energy Network – EnR Position Paper on Energy Poverty in the European Union, January 2019, <https://enr-network.org/wp-content/uploads/ENERGYPOVERTY-EnRPositionPaper-Energypoverty-Jan-2019.pdf>
- [9] Directorate-General for Internal Policies of the Union (European Parliament), Energy Poverty, 2017, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/532940dc-5e92-11ea-b735-01aa75ed71a1>
- [10] Νόμος της γαλλικής κυβέρνησης, Grenelle II της 12 Ιουλίου 2010
- [11] Παρέμβαση Better Energy / Warmer Home, [https://www.citizensinformation.ie/en/housing/housing\\_grants\\_and\\_schemes/warmer\\_homes\\_scheme.html](https://www.citizensinformation.ie/en/housing/housing_grants_and_schemes/warmer_homes_scheme.html)
- [12] Philipp-Bastian Brutscher, Making Sense of Oil Stamp Saving Schemes, <http://www.econ.cam.ac.uk/research-files/repec/cam/pdf/cwpe1203.pdf>
- [13] Household Budget Survey (HBS), 2010, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/household-budget-survey>
- [14] Εισόδημα και Συνθήκες Διαβίωσης των Νοικοκυριών (Statistics on Income and Living Conditions - SILC) <https://www.statistics.gr/en/statistics/-/publication/SFA10/2016>
- [15] European Commission, Working Paper on Energy Poverty, Vulnerable Consumer Working Group.

- [16] Stefan Bouzarovski; Sergio Tirado Herrero, Geographies of injustice: the socio-spatial determinants of energy poverty in Poland, the Czech Republic and Hungary, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14631377.2016.1242257>
- [17] World Economic Outlook (April 2020), International Monetary Fund, <https://www.imf.org/external/datamapper/datasets/WEO>
- [18] Στην Ιταλία, το κόστος των καθυστερήσεων που βαρύνουν τους λιανοπωλητές ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται ότι είναι υψηλότερο από 370 εκατομμύρια ευρώ ετησίως (πηγή: AEEGSI). Στο Βέλγιο, οι μη ανακτήσιμες χρεώσεις δικτύου ανήλθαν σε 37,2 εκατομμύρια ευρώ το 2013 (πηγή: FEBEG). Για περισσότερες λεπτομέρειες ανατρέξτε στο “Mitigating credit risk in the interest of electricity consumers”, EURELECTRIC, January 2016
- [19] Doukas, H., V. Marinakis, and J. Psarras. 2012. “Greening” the Hellenic corporate energy policy: An integrated decision support framework. International Journal of Green Energy 9 (6):487–502. doi:10.1080/15435075.2011.622023.
- [20] European Environment Agency (EEA). 2013. COM (2013) 762 final: Communication from the commission to the European parliament and the council, implementing the energy efficiency directive – commission guidance. Brussels. <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2013-762-final-communication>
- [21] Πρόγραμμα 2000 Roofs for 2000 Families, <https://www.fondation-abbe-pierre.fr/en/our-actions/building-and-renovating/2000-roofs-2000-families-2028-highly-social-housings-france>
- [22] Πρόγραμμα Toits d’abord, <https://www.housingevolutions.eu/project/toits-dabord-a-lasting-commitment-for-integration-through-housing/>
- [23] King Baudouin Foundation, <https://www.kbs-frb.be/en/Activities/Publications/2017/20170313NT1>
- [24] Στόχος αειφόρου ανάπτυξης 7 (Sustainable Development Goal 7), Ευρωπαϊκή Επιτροπή [https://ec.europa.eu/sustainable-development/goal7\\_en](https://ec.europa.eu/sustainable-development/goal7_en)
- [25] Babungi, S., and K. Skierka. 2019. Reimagining utilities as a way to end energy poverty. Power for all, available at <https://news.trust.org/item/20190513141913-3m2qy/>.
- [26] Androulaki, S., E. Spiliotis, H. Doukas, I. Papastamatiou, and J. Psarras 2014. Proposing a smart city energy assessment framework linking local vision with data sets. IISA 2014, 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, Chania, 50–56
- [27] Marinakis, V., H. Doukas, A. Sicilia, L. Madrazo, and S. Sgouridis. 2018. From Big Data to smart energy services: An application for intelligent energy management. Future Generation Computer Systems. in press. doi:10.1016/j.future.2018.04.062
- [28] Pye, S., and A. Dobbins. 2015. Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: Analysis of policies and measures, INSIGHT\_E, available at: [https://ec.europa.eu/energy/studies/energy-poverty-and-vulnerable-consumers-energy-sector-across-eu-analysis-policies-and\\_en?redir=1](https://ec.europa.eu/energy/studies/energy-poverty-and-vulnerable-consumers-energy-sector-across-eu-analysis-policies-and_en?redir=1).

- [29] Οδηγία Ενεργειακής Αποδοτικότητας (2012/27/EU), [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en)
- [30] ] Οδηγιές Κτηριακών Επιδόσεων των Κτιρίων, [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)
- [31] Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων, [https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/investment-plan-europe-juncker-plan/european-fund-strategic-investments-efsi\\_en](https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/investment-plan-europe-juncker-plan/european-fund-strategic-investments-efsi_en)
- [32] Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης, [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/funding/erdf/](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/funding/erdf/)
- [33] Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, <https://ec.europa.eu/esf/home.jsp?langId=en>
- [34] Ινστιτούτο Κτιριακών Επιδόσεων της Ευρώπης, <http://bpie.eu/>
- [35] Πρόγραμμα Fonds Sociaux Plaqueette Precarite Energetique, Γαλλία [https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fonds-sociaux\\_plaqueette-precarite-energetique.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fonds-sociaux_plaqueette-precarite-energetique.pdf)
- [36] Πρόγραμμα Habiter Mieux, Γαλλία, [https://www.anah.fr/fileadmin/anah/Mediatheque/Publications/Les\\_aides/Dossier\\_d\\_info\\_Habiter\\_Mieux.pdf](https://www.anah.fr/fileadmin/anah/Mediatheque/Publications/Les_aides/Dossier_d_info_Habiter_Mieux.pdf)
- [37] Πρόγραμμα The Communities Energy Grant, Ιρλανδία <https://www.seai.ie/publications/Community-Grant-Guidelines.pdf>
- [38] Πρόγραμμα Caritas Stromsparcheck, Γερμανία <https://www.caritas.de/glossare/stromspar-check>
- [39] Ιστοσελίδα σύγκρισης τιμών, Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Τσεχίας <http://www.eru.cz/en/informacni-centrum/kalkulatory-srovnani-nabidek>
- [40] Πρόγραμμα «Η Λεγεώνα της Ενέργειας», <https://www.dock.nl/nieuws/2016/11/het-energielegioen-van-start-in-kralingen-crooswijk/>
- [41] Σύμπραξη της EDF με την Καθολική Αρωγή, <https://www.edf.fr/collectivites/le-mag/le-mag-collectivites/actualites-edf-collectivites/le-secours-catholique-et-edf-ensemble-contre-la-precarite-energetique>
- [42] Πρόγραμμα «Χτίζοντας το Μέλλον», Ελλάδα, <http://www.ktizontastomellon.gr/>
- [43] George Mavrotas, National Technical University of Athens, “Effective implementation of ε-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming”, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0096300309002574>
- [44] George Mavrotas; Kostas Florios, National Technical University of Athens, AUGMECON-2, “A novel version of the e-constraint method for finding the exact Pareto set in Multi-Objective Interger Programming problems, <https://www.semanticscholar.org/paper/AUGMECON-2-%3A-A-novel-version-of-the-%CE%B5-constraint-in-Mavrotas-Florios/429475d3e1cda59936f9edd8fdf755ed36b8d15a>

- [45] Bootstrap, <https://getbootstrap.com/>
- [46] jQuery, <https://jquery.com/>
- [47] Javascript, <https://www.javascript.com/>
- [48] HTML5, <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Guide/HTML/HTML5>
- [49] CSS, <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>
- [50] Βιβλιοθήκη Javascript Plotly, <https://plotly.com/javascript/>
- [51] Python 3.6, <https://www.python.org/downloads/release/python-360/>
- [52] The Django Framework Project, <https://www.djangoproject.com/>
- [53] GAMS, <https://www.gams.com/>
- [54] Model-View-Controller, [https://www.tutorialspoint.com/mvc\\_framework/mvc\\_framework\\_introduction.htm](https://www.tutorialspoint.com/mvc_framework/mvc_framework_introduction.htm)
- [55] HTML Django Templates, <https://docs.djangoproject.com/en/3.0/topics/templates/>
- [56] SQLite, <https://www.sqlite.org/index.html>
- [57] Object Relation Mapper - ORM, <https://blog.bitsrc.io/what-is-an-orm-and-why-you-should-use-it-b2b6f75f5e2a>
- [58] Django Migrations, <https://docs.djangoproject.com/en/3.0/topics/migrations/>
- [59] IBM ILOG CPLEX Optimization Studio (CPLEX) version 12.10, <https://developer.ibm.com/docloud/blog/2019/12/09/cplex-optimization-studio-12-10-is-available/>
- [60] GAMS Application Programming Interface, [https://www.gams.com/latest/docs/API\\_PY\\_OVERVIEW.html](https://www.gams.com/latest/docs/API_PY_OVERVIEW.html)
- [61] Role-Based Security Access, <https://en.wikipedia.org/wiki/Ro>