



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

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ
ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΞΥΠΝΗΣ
ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
Παντελάκη Βασίλειου

Επιβλέποντες: Ευάγγελος Μαρινάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Ιανουάριος 2024



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

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΞΥΠΝΗΣ ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
Παντελάκη Βασίλειου

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης, Επίκουρος καθηγητής

Η εργασία εξετάστηκε από την επιτροπή 1^η Μαρτίου του 2024

Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής ΕΜΠ

Ευάγγελος Μαρινάκης
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Ευάγγελος Σπηλιώτης
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος, 2024

.....
Βασίλειος Παντελάκης

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

Copyright © Βασίλειος Παντελάκης 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στην εποχή μας, η διαχείριση και η βελτίωση της απόδοσης κτηρίων αποτελούν κρίσιμη πρόκληση. Πολλά κτήρια αντιμετωπίζουν την ανάγκη για αναβαθμίσεις που θα ενισχύσουν την Βιωσιμότητα και τον Δείκτη Ετοιμότητας τους (SRI). Αυτή η ανάγκη είναι καθοριστική, όχι μόνο για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των λειτουργικών δαπανών, αλλά και για την προσαρμογή στις αναπτυσσόμενες προδιαγραφές βιωσιμότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάζεται η επιλογή εναλλακτικών μεθόδων για την αύξηση του δείκτη SRI σε ένα κτήριο. Κατά τη διάρκεια της μελέτης μας, παρατηρήσαμε διάφορες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα κτήρια σε σχέση με τη βελτίωση του SRI. Από την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας έως τις υψηλές δαπάνες συντηρήσεων, τα κτήρια συχνά αντιμετωπίζουν πολύπλοκα ζητήματα που απαιτούν ολοκληρωμένες λύσεις. Η έρευνα επικεντρώνεται στον τομέα της βελτιστοποίησης της απόδοσης του κτηρίου λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους και εφαρμόζοντας πολυκριτηριακές αναλύσεις, που αποτελούν κρίσιμο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων.

Η αναβάθμιση του SRI σε κτήρια αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόκληση στη διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης και της βιωσιμότητας. Ενώ παρατηρούνται πολλές παράμετροι που επηρεάζουν το SRI, όπως η κατανάλωση ενέργειας, η χρήση πολυκριτηριακών αναλύσεων παρέχει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη λήψη αποφάσεων. Η μελέτη περίπτωσης σε πραγματικό κτήριο αποτελεί πρακτικό παράδειγμα της εφαρμογής αυτής της προσέγγισης, ενώ η διαδικασία κοστολόγησης προσδίδει στις προτάσεις μας οικονομική αποτελεσματικότητα. Εξαιτίας των αυξανόμενων προκλήσεων και της εξέλιξης των τεχνολογιών, η συνεχής παρακολούθηση και βελτίωση των κτηρίων είναι ουσιώδης, και η προσέγγιση αυτή επισημαίνει τον ρόλο της σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτήν τη διαδικασία.

Αρχικά, πραγματοποιήσαμε μια, σφαιρική, μελέτη περίπτωσης σε ένα πραγματικό κτήριο. Καταγράψαμε το τρέχον επίπεδο SRI με την βοήθεια του μηχανικού της εγκατάστασης και στην συνέχεια, εξετάσαμε όλες τις πιθανές εναλλακτικές λύσεις αναβάθμισης του κτηρίου ως προς τον δείκτη αυτόν.

Ακολουθώντας τη διαδικασία κοστολόγησης και τη χρήση πολυκριτηριακών αναλύσεων, καταλήξαμε σε προτάσεις που συνδυάζουν βελτιωμένη απόδοση, οικονομική αποτελεσματικότητα και υψηλό δείκτη SRI. Η διαδικασία αυτή αναδεικνύει το πλήρες φάσμα δυνατοτήτων που προσφέρονται από τη χρήση πολυκριτηριακών μεθόδων για τη βελτίωση της βιωσιμότητας σε πραγματικά σενάρια.

Η μελέτη μας υπογραμμίζει τη σημασία της σύγχρονης προσέγγισης στη βελτίωση του SRI. Καθώς οι τεχνολογίες εξελίσσονται και οι προκλήσεις αυξάνονται, η συνεχής παρακολούθηση, αξιολόγηση και αναβάθμιση των κτηρίων είναι απαραίτητη. Μέσω της έξυπνης χρήσης πολυκριτηριακών μεθόδων, μπορούμε να καταλήξουμε σε προσαρμοστικές και αποτελεσματικές λύσεις που ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ανάγκες κάθε κτηρίου.

Λέξεις κλειδιά: Κτήρια, Δείκτης SRI, Εναλλακτικοί Μέθοδοι, Πολυκριτηριακή Μέθοδος, Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Κοστολόγηση

Abstract

Nowadays, managing and improving building performance pose critical challenges. Many buildings require upgrades to enhance their Sustainability and their Smart Readiness Indicator (SRI). This need is crucial not only for reducing energy consumption and operational costs but also for adapting to evolving sustainability standards.

This thesis explores alternative methods to increase the SRI in a building. Throughout our study, we observed various challenges faced by buildings in improving their SRI, ranging from increased energy consumption to high maintenance costs, demanding comprehensive solutions. The research focuses on optimizing building performance, considering various parameters, and applying multicriteria analyses, which are crucial decision-making tools.

Upgrading the SRI in buildings represents a significant challenge in managing energy efficiency and sustainability. While many parameters influence SRI, such as energy consumption, using multi-criteria analyses provides a comprehensive approach for decision-making. Our real-case study in an actual building serves as a practical example of applying this approach. The cost estimation process adds economic efficiency to our proposals. Due to increasing challenges and technological advancements, continuous monitoring and improvement of buildings are essential, emphasizing the role of modern technology in this process.

Initially, we conducted a comprehensive case study on a real building. We documented the current SRI level with the assistance of the installation engineer and then explored all possible alternative solutions to upgrade the building concerning this index.

Following the cost estimation process and using multicriteria analyses, we arrived at proposals that combine improved performance, economic efficiency, and a high SRI. This process highlights the full spectrum of possibilities offered using multicriteria methods to enhance sustainability in real-life scenarios.

Our study emphasizes the importance of a modern approach to improving the SRI. As technologies evolve and challenges increase, continuous monitoring, evaluation and upgrading of buildings are essential. Through intelligent use of multicriteria methods, we can derive adaptive and effective solutions tailored to the specific needs of each building.

Keywords: Buildings, SRI, Alternative Methods, Multicriteria Analysis, Cost estimation

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης και έχει ως θέμα την βελτίωση των τεχνολογιών των κτηρίων, εφαρμόζοντας πολυκριτήρια ανάλυση για την επίτευξη βέλτιστης δυνατής ισορροπίας μεταξύ της αύξησης του δείκτη SRI και κόστους.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει εναλλακτικές μεθόδους για τη βελτίωση των τεχνολογιών ενός κτηρίου. Με την εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης, στοχεύει στην επίτευξη μιας ισορροπίας μεταξύ της αύξησης του δείκτη SRI και των συνολικών δαπανών, λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα κριτήρια και τις προτεραιότητες που καθορίζονται από τα βάρη που ανατίθενται σε κάθε παράγοντα. Συνεπώς, η έρευνα αυτή αναζητά λύσεις που προωθούν τη βιωσιμότητα των κτηρίων με οικονομικά αποτελέσματα, υπογραμμίζοντας τη σημασία της προχωρημένης προσέγγισης στη βελτίωση του δείκτη SRI.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	21
1.2. ΦΑΣΕΙΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	22
1.3. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΜΟΥ	25
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	26
2.1. Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΈΞΥΠΝΗΣ ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑΣ	26
2.1.1. Ιστορική αναδρομή	26
2.1.2. Λειτουργίες και Μεθοδολογίες.....	28
2.1.3. Ανάλυση θεωρίας και διαδικασίας υπολογισμού του SRI.....	31
2.2. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	38
2.2.1. Ιστορική αναδρομή	38
2.2.2. Μέθοδος ΑΗΡ.....	40
2.2.3. Μέθοδος TOPSIS	43
3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	46
3.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SRI ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΟ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ	46
3.2. ΔΡΑΣΕΙΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ	56
3.3. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ	63
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	80
4.1. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	80
4.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΩΝ	81
4.3. ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	84
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	87
5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	87
5.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	88
6. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΪ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ	89
6.1. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΪ	89
6.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ	89
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΪΑ	91
8. ΠΑΡΆΡΤΗΜΑ	94

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:Σχεδιασμός ενός κτηρίου με EPB standards [11].	21
Εικόνα 2: 1 ^η Φάση υλοποίησης	23
Εικόνα 3: 2 ^η Φάση υλοποίησης	23
Εικόνα 4: 3 ^η Φάση υλοποίησης	24
Εικόνα 5: 4 ^η Φάση υλοποίησης	24
Εικόνα 6:Πλεονεκτήματα των έξυπνων τεχνολογιών σε κτήρια [9].	28
Εικόνα 7:Τρεις βασικές λειτουργίες έξυπνης ετοιμότητας στα κτήρια [12].	28
Εικόνα 8:Σχεδιάγραμμα τομέων και κριτηρίων επίδρασης [12].	29
Εικόνα 9:Εμφάνιση ποσοστού SRI κατά την αξιολόγηση του [13].	29
Εικόνα 10:Υπόδειγμα υπολογισμού SRI [12].	30
Εικόνα 11:Οι τομείς που συγκροτούν το SRI κατάλογο [12].	32
Εικόνα 12:Οι 3 πιθανές μέθοδοι αξιολόγησης [12].	32
Εικόνα 13:Smart readiness indicator ' impact scores [24].	34
Εικόνα 14:Μεθοδολογία υπολογισμού SRI [22].	34
Εικόνα 15: Παράδειγμα υπολογισμού της βαθμολογίας ενός τομέα [21].	35
Εικόνα 16:Επισκόπηση του σχήματος καθορισμού βαρών [21].	35
Εικόνα 17: Συνολική διαδικασία υπολογισμού του SRI [21].	37
Εικόνα 18: Βήματα μεθόδου [8].	38
Εικόνα 19: Σύγκριση μεθόδων [8].	40
Εικόνα 20: Πως μεταφράζεται ο δείκτης σύγκρισης ανάλογα την βαθμολογία (1-9) [28].	41
Εικόνα 21:Πίνακας τιμών του R.I. ανάλογα το μέγεθος του πίνακα [28].	42
Εικόνα 22:η δομή της μεθόδου ahp και ο υπολογισμός των βαρών των κριτηρίων [28].	43
Εικόνα 23: Προσέγγιση υπολογισμού βαρών [34].	43
Εικόνα 24:Η δομή της μεθόδου TOPSIS	44
Εικόνα 25: Όψη ακάλυπτου υπό μελέτη κτηρίου	46
Εικόνα 26: Κάτοψη υπό μελέτη κτηρίου	47
Εικόνα 27: Τελικά αποτελέσματα για το baseline SRI	55
Εικόνα 28:Τα βάρη για κάθε domain ανά impact score για το κτήριο μας.	56
Εικόνα 29: Η αναλυτική βαθμολογία για κάθε impact ανά επίπεδο λειτουργίας για το heat emission control(H-1a).	57
Εικόνα 30: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(Heating) στα επιμέρους impact του SRI.	58
Εικόνα 31: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(DHW) στα επιμέρους impact του SRI.	58
Εικόνα 32: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(Cooling) στα επιμέρους impact του SRI.	59
Εικόνα 33: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(V and L) στα επιμέρους impact του SRI.	60
Εικόνα 34: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(DE) στα επιμέρους impact του SRI	60
Εικόνα 35: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(E) στα επιμέρους impact του SRI	61
Εικόνα 36: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική (MC) στα επιμέρους impact του SRI	62
Εικόνα 37: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Heating	65
Εικόνα 38: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του DHW	67
Εικόνα 39: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Cooling	69
Εικόνα 40: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Ventilation και Lighting	72
Εικόνα 41: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του DE	73

Εικόνα 42: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Electricity	76
Εικόνα 43: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του MC.....	78
Εικόνα 44: Μέσο κόστος ανά domain.....	79
Εικόνα 45: Μέσο κόστος functionality level ανά domain.....	79
Εικόνα 46: Βάρη σεναρίου α.....	82
Εικόνα 47: Βάρη σεναρίου Β	83
Εικόνα 48: Βάρη σεναρίου Γ.....	84
Εικόνα 49:η κατάταξη των 10 καλύτερων εναλλακτικών για κάθε ένα σενάριο.....	88

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πίνακας γενικών δεδομένων του κτηρίου	47
Πίνακας 2: Πίνακας καθορισμού domain στο κτήριο	47
Πίνακας 3: Functionality level of services και οι αντίστοιχες τεχνολογίες του κτηρίου	54
Πίνακας 4: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το Heating	57
Πίνακας 5: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το DHW	58
Πίνακας 6: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το cooling	59
Πίνακας 7: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το ventilation and lighting	59
Πίνακας 8: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το DE	60
Πίνακας 9: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το electricity	61
Πίνακας 10: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το MC	61
Πίνακας 11: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Heating	65
Πίνακας 12: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του DHW	67
Πίνακας 13: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Cooling	69
Πίνακας 14: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Ventilation και Lighting	71
Πίνακας 15: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του DE	73
Πίνακας 16: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Electricity	75
Πίνακας 17: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του MC	78
Πίνακας 18: Πλαίσιο αποφασίζων 1 και αποφασίζων 2	81
Πίνακας 19: Πίνακας διμερών σχέσεων για σενάριο α	81
Πίνακας 20: Πίνακας βαρών για το σενάριο α	81
Πίνακας 21: Πίνακας βαρών για το σενάριο Β	82
Πίνακας 22: Πίνακας βαρών για το σενάριο β	83
Πίνακας 23: Πίνακας βαρών για το σενάριο Γ	84
Πίνακας 24: Πίνακας βαρών για το σενάριο γ	84
Πίνακας 25: Πίνακας κατάταξης εναλλακτικών και των τριών σεναρίων	86
Πίνακας 26: Συνολικός πίνακας (εναλλακτικών και κριτηρίων) για την μέθοδο topsis	100

1. Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό φαινόμενο που επηρεάζει τόσο την Ευρώπη όσο και τον υπόλοιπο πλανήτη, προκαλώντας προβλήματα σε παγκόσμια κλίμακα. Για να αντιμετωπίσει αυτές τις επιπτώσεις και να επιδιώξει την περιορισμένη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τους 2 °C, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) υλοποίησε τον European Climate Action το 2021. Αυτός ο νομικά δεσμευτικός κανονισμός απαιτεί από τα κράτη-μέλη της ΕΕ να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 55%, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, μέχρι το 2030 και να επιτύχουν κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 [1].

Με βάση τα δεδομένα του Eurostat, 3.541 τόνους διοξειδίου του άνθρακα διοχετεύθηκαν στο περιβάλλον το 2021 [2]. Από αυτές τις εκπομπές, οι κτηριακές μονάδες συνδράμουν σε ένα σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 36%, ποσοστό που η ΕΕ έχει ορίσει να μηδενίσει μέχρι το 2030. Ο επίτροπος ενέργειας της ΕΕ, Kadri Simson, αναφέρει ότι οι κτηριακές εγκαταστάσεις αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας με την παράλληλη εκπομπή εκπομπών CO₂, σενάριο λογικό καθώς η πλειοψηφία των κτηρίων στην Ευρώπη δεν είναι ενεργειακά αποδοτικά και ηλεκτροδοτούνται σε πλειοψηφία με ορυκτά καύσιμα. Με το 85% των σημερινών κτηρίων να αναμένεται να είναι ακόμα σε λειτουργία μέχρι το 2050, το οποίο είναι και η χρονιά-στόχος για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας, η ανάγκη για άμεσες δράσεις είναι επιτακτική. Η ΕΕ έχει ήδη αρχίσει να αναγνωρίζει προβλήματα όπως την αύξηση των λογαριασμών ενέργειας, μια επίπτωση που επηρεάζει κυρίως τα ευάλωτα νοικοκυριά, και έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους και λύσεις [3].

Στο πλαίσιο αυτό, η ανακαίνιση κτηριακών εγκαταστάσεων έχει αναδειχθεί ως κρίσιμος παράγοντας, με στόχο τον διπλασιασμό του Ευρωπαϊκού ποσοστού ανακαίνισης στο 2-3%, ώστε να επιτευχθεί μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 5-6% και μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 5% [4]. Ωστόσο, η έννοια της ανακαίνισης δεν είναι επαρκής για την επίτευξη του στόχου της μηδενικής ουδετερότητας. Έτσι, το 2018, η ΕΕ υιοθέτησε ένα νομοθετικό πλαίσιο που περιλαμβάνει την Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (2010/31/EU) [5] και την Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση (2012/27/EU) [6]. Με βάση αυτές τις οδηγίες, ένας καινούργιος στόχος δημιουργήθηκε, αυτού του 32,5 % ενεργειακής απόδοσης για το 2030 στις κτηριακές εγκαταστάσεις για όλα τα κράτη-μέλη της ΕΕ. Ταυτόχρονα, ενισχύει την χρήση της τεχνολογίας και της καινοτομίας στα κτήρια, προωθώντας την έννοια του έξυπνου κτηρίου (Smart building) και του Smart Readiness Indicator (SRI).

Στόχος πλέον αποτελεί η δημιουργία ενός καταλόγου πληροφοριών για τις ανάγκες και επιδόσεις των κτηρίων μέσω της χρήσης του SRI, ώστε να αναγνωριστούν τα προβλήματα και να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα της τεχνολογικής καινοτομίας στον κατασκευαστικό τομέα, έναν από τους πιο συντηρητικούς τομείς, μέλημα απαραίτητο και επιτακτικό για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της ΕΕ [7].

Με την πάροδο των ετών, οι συνεχείς κλιματικές αλλαγές και η περιβαλλοντική υποβάθμιση δημιουργούν μια υπαρξιακή απειλή τόσο για την Ευρώπη όσο και για τον υπόλοιπο κόσμο. Στο πλαίσιο αυτό, η European Green Deal επιδιώκει να μετασχηματίσει την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) σε μια πιο σύγχρονη, αποδοτική απέναντι στους πόρους και ανταγωνιστική οικονομία.

Αρχικά, η Ε.Ε. με στόχο την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, ανέπτυξε ένα νομοθετικό σχέδιο το οποίο ακολουθεί οδηγίες του 2010/31/ΕΕ για Energy Performance of Buildings Directive και 2012/27/ΕΕ για Energy Efficiency Directive. Το νομοθετικό σχέδιο

συμπεριλαμβάνει επίσης μέτρα για την βελτίωση της οικονομικής και κοινωνικής κατανόησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Αυτές οι οδηγίες επιβάλλουν τη δημιουργία προγραμμάτων ενεργειακής αποθήκευσης. Επίσης, συνδέεται η διαχείριση της ενέργειας με την οικονομική απόδοση του κτιρίου [8]. Συνολικά, τα παραπάνω δύο νομοσχέδια έχουν ως κοινό στόχο την επίτευξη ενός κτιριακού αποθέματος υψηλής ενεργειακής απόδοσης και απαλλαγμένου από ανθρακούχες εκπομπές έως το 2050 καθώς και τη δημιουργία σταθερού περιβάλλοντος για επενδυτικές αποφάσεις. Τα αποτελέσματα των σχεδίων αυτών θα επιφέρουν σημαντικές βελτιώσεις ως προς το περιβάλλον, και πιο συγκεκριμένα μειώνοντας την ρύπανση, την ενεργειακή κατανάλωση καθώς και δημιουργώντας κλιματικές αλλαγές. Τέλος, ένας άλλος δευτερεύον στόχος τους είναι η δυνατότητα των καταναλωτών και των επιχειρήσεων να κάνουν πιο ενημερωμένες επιλογές για την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων [9].

Στην πορεία, το έτος 2018, έγινε αναθεώρηση των οδηγιών του Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) καθώς δόθηκε έμφαση στην χρήση πιο τεχνολογικά εξελιγμένων κτιρίων, όπως για παράδειγμα στην εγκατάσταση των smart readiness indicators (SRI) στα κτίρια. Στόχος της ανάπτυξης τέτοιων τύπου κτιρίων, όπως και απαντήθηκε στην αναθεώρηση αυτού του νομοσχεδίου, ήταν αρχικά η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, τονίζοντας την βελτίωση της άνεσης τους στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων και την βελτίωση της υγείας τους και έπειτα στην ανάπτυξη της οικονομίας μια πόλης-χώρας, δημιουργώντας νέες πράσινες θέσεις εργασίας [10].

Στην συνέχεια, έγιναν ορισμένες επιπλέον τροποποιήσεις στις παραπάνω οδηγίες της Ε.Ε., έχοντας υπόψιν βέβαια τους ίδιους στόχους, τα έτη 2018 και 2019, στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων ‘Clean energy for all Europeans Package’ [11].

Η αναθεωρημένη οδηγία EPBD (2018/844/EE) έδωσε την ευκαιρία στην Ε.Ε. να εδραιώσει την θέση της όσον αφορά την εκσυγχρονίσει του κτιριακού τομέα κάτω από το πρίσμα των τεχνολογικών βελτιώσεων και την αυξήσει των ανακαινισμένων κτιρίων.

Ταυτόχρονα, η European Green Deal [13] παρείχε ένα σχέδιο με σκοπό την υλοποίηση αυτών των μετασχηματιστικών αλλαγών. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή με την σειρά της, ενέκρινε μια σειρά από προτάσεων για να καταστήσει τις πολιτικές της Ε.Ε., όσον αφορά το κλίμα, την ενέργεια, τις μεταφορές και τη φορολογία, έχοντας ως σκοπό τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 [14].

Έχοντας υπόψιν τους παραπάνω στόχους, στην European Green Deal πάρθηκε η πρωτοβουλία για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στον τομέα και την επίτευξη στόχων, στην ανακαίνιση τόσο των δημόσιων όσο και των ιδιωτικών κτιρίων. Για την πραγματοποίηση αυτού του στόχου, έχοντας ως κύριο στόχο τα ενεργειακά κέρδη και την οικονομική ανάπτυξη, το 2020 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημιούργησε και δημοσίευσε ένα νέο πλάνο ονόματι

«A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives» [15] για να ενισχύσουν την ιδέα της ανακαίνισης στην Ε.Ε.

Το Renovation Wave έχει ως πρωταρχικό στόχο την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας καθώς και την αντιμετώπιση των κτιρίων με τις χειρότερες επιδόσεις ενώ ταυτόχρονα θα δώσει προτεραιότητα στην ανακαίνιση κτιρίων με τη χρήση συγκεκριμένων ρυθμιστικών, χρηματοδοτούμενων και ευνοϊκών μέτρων. Ένας άλλος στόχος αυτού του πλάνου είναι η αποκλιμάκωση της θέρμανσης και της ψύξης, που αφορά δημόσια κτίρια και κοινωνικές

υποδομές καθώς και τον διπλασιασμό του ετήσιου ποσοστού ανακαινίσεων των κτιρίων μέχρι το έτος 2030. Την ίδια περίοδο με τη δημοσίευση του Renovation Wave, έγινε εμφάνιση ενός εγγράφου, μέσα στο οποίο αναγράφονται διαθέσιμες λύσεις του χρηματοδοτικού προϋπολογισμού της Ε.Ε. που θα μπορούσαν να στηρίζουν το Renovation Wave με διάφορους τρόπους, όπως είναι μέσω επενδύσεων, ερευνών και καινοτομιών, με τη αξιοποίηση ιδιωτικών επενδύσεων και τέλος να δοθεί προσοχή στα εμπόδια της αγοράς και στη διαθέσιμη τεχνική υποστήριξη. Η πρωτοβουλία του «Renovation Wave» βασίζεται στην εθνική μακροπρόθεσμη στρατηγική ανακαίνισης κτιρίων, σε άλλες πτυχές της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και σε πτυχές των εθνικών σχεδίων κάθε χώρας της Ε.Ε. για την ενέργεια και το κλίμα που σχετίζονται με τα κτίρια.

Στην πορεία, το 2021, η Ε.Ε. εκ νέου αναθεώρησε την οδηγία [COM(2021) 802 final]. Η πρόθεση αυτής ήταν η αύξηση των προτύπων που παρέχουν υψηλότερες φιλοδοξίες και την κάλυψη αναγκών όσον αφορά τις κλιματικές και κοινωνικές δράσεις. Έτσι, οι Ευρωπαϊκές χώρες έχουν την προσαρμοστικότητα που συνιστάται στις αντιθέσεις εντός του κτιριακού αποθέματος στην Ευρώπη [16].

Επίσης, η Ευρώπη επιδεικνύει το τρόπο με τον οποίο θα υλοποιήσει τον μηδενισμό των εκπομπών και την απεξάρτηση από τις ανθρακούχες εκπομπές στα κτίρια μέχρι το έτος του 2050. Τα μέτρα που παρουσιάζονται έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού ανακαίνισης των κτιρίων σε κάθε χώρα. Η αναθεωρημένη οδηγία θα δώσει το πάτημα για τον εκσυγχρονισμό των κτιρίων, καθιστώντας τα πιο ανθεκτικά και προσβάσιμα. Θα συμβάλει επίσης στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, στις ψηφιοποιήσεις των ενεργειακών συστημάτων των κτιρίων και στη δημιουργία υποδομών για βιώσιμη κινητικότητα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παραπάνω αναθεωρημένη οδηγία ενθάρρυνε περισσότερο μια εστιασμένη χρηματοδότηση σε επιχειρήσεις εντός του κατασκευαστικού τομέα, συμπληρώνοντας άλλες επαναστατικές δράσεις της Ε.Ε. για τη στήριξη των ευάλωτων καταναλωτών και την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω δράσεις, όπως περιγράφονται στο Climate Target Plan για το 2030 και στο “Delivering the European Green Deal Package” [17] τον Ιούλιο του 2021, η Επιτροπή παρουσίασε ότι στόχο τους είναι η μείωση των εκπομπών τουλάχιστον 60% έως το 2030 στον κατασκευαστικό τομέα σε σχέση με το έτος του 2015 και να πραγματοποιήσει μια κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050. Η επίτευξη αυτού θα πραγματοποιηθεί με τη συνεργασία με άλλες πρωτοβουλίες του European Green Deal, συγκεκριμένα με τις αναθεωρήσεις στο σύστημα παράδοσης των εκπομπών για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στα κτίρια, Energy Efficiency Directive, Renewable Energy Directive καθώς επίσης και Alternative Fuels Infrastructure Regulation.

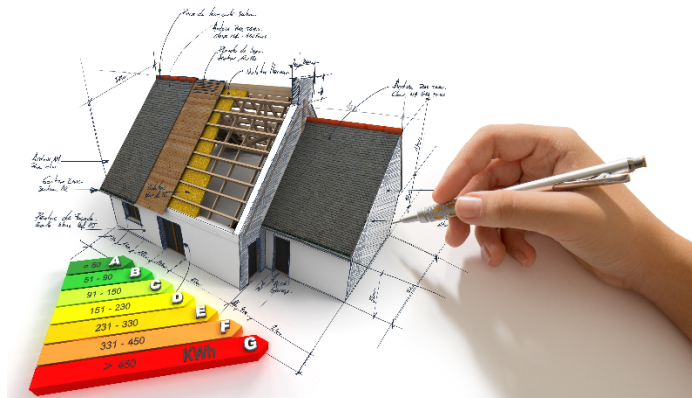
Έχοντας υπόψιν την νέα πρόταση της Επιτροπής, τα παρακάτω μέτρα συγκεντρώθηκαν:

- Σταδιακή εισαγωγή προτύπων της ελάχιστης ενεργειακή απόδοσης για την ενεργοποίηση των ανακαινίσεων σε κτίρια με τις χειρότερες επιδόσεις.
- Νέα πρότυπα για νέα κτίρια και νέα προσδοκίες τα κτίρια να είναι μηδενικών εκπομπών.
- Ενίσχυση των μακροπρόθεσμων στρατηγικών ανακαινίσεων, τα οποία θα μετονομαστούν ως εθνικά Σχέδια Ανακαίνισης Κτιρίων.

- Αύξηση της αξιοπιστίας, της ποιότητας και ψηφιοποιήσεις των Energy Performance Certificates [18], μαζί με την κλάση της ενεργειακή απόδοσης να βασίζεται σε κοινά κριτήρια.
- Ορισμός της ριζικής ανακαίνισης και μια εισαγωγή των διαβατηρίων ανακαίνισης κτιρίων.
- Εκσυγχρονισμός των κτιρίων και των συστημάτων τους, βελτιωμένο ενεργειακό σύστημα ενσωμάτωσης (για θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό, φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) [19].

Ένα από αυτά εργαλεία στα οποία βασίστηκε η Ε.Ε. για την βελτίωση του περιβάλλοντος είναι ο δείκτης smart readiness indicator, καθώς και είναι το θέμα της εργασία μας. Σε μια πρώτη ματιά οι δείκτες αυτοί, εμφανίστηκαν σαν ιδέα για πρώτη φορά το 2017, όπου και πραγματοποιήθηκε η πρώτη τεχνική μελέτη για αυτούς στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Ε.Ε.). Στην συνέχεια, έγινε για πρώτη φορά η εισαγωγή του όρου SRI στην αναθεώρηση το 2018 του EPBD ως προαιρετικό μέτρο. Τα έτη 2019 με 2020, μια δεύτερη τεχνική μελέτη του SRI έγινε γνωστή και το 2020 έγινε πράξη, κατ' εξουσιοδότηση της Επιτροπής, ο επίσημος ορισμός, η μεθοδολογία υπολογισμού του SRI καθώς και τεχνικές λεπτομέρειες για την αποτελεσματική εφαρμογή του. Το 2021, συγκροτήθηκε μια ομάδα αποκλειστικά για το SRI, παρέχοντας πληροφορίες για τον έλεγχο και την εφαρμογή του, όπου και τελικά το έτος του 2022 παίρνεται η απόφαση για την εκκίνηση των δοκιμών στα κράτη μέλη των οποίων οι κυβερνήσεις αποφασίζουν να υιοθετήσουν.

Αυτές οι χώρες δεν ήταν άλλες από την Αυστρία, τη Τσεχία, τη Κροατία, τη Δανία, τη Φιλανδία και τέλος τη Γαλλία.



ΕΙΚΟΝΑ 1:Σχεδιασμός ενός κτηρίου με EPB standards [11].

1.1. Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής

Η χρήση πολυκριτηριακών μεθόδων επιλογής εναλλακτικών αποτελεί ουσιώδες εργαλείο που συνεισφέρει σημαντικά στη λήψη σωστών και εύστοχων αποφάσεων. Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων προκλήσεων στη διαχείριση και βελτίωση της απόδοσης κτηρίων καθιστά αναγκαία την εφαρμογή ολοκληρωμένων προσεγγίσεων. Η ενσωμάτωση πολυκριτηριακών μεθόδων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων αποτελεί μία αποτελεσματική πρακτική που επιτρέπει την πλήρη αξιολόγηση διάφορων παραμέτρων.

Οι πολυκριτηριακές μέθοδοι επιτρέπουν τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση πολλών κριτηρίων ταυτόχρονα, προσφέροντας ολοκληρωμένη εικόνα των επιδόσεων και των

επιπτώσεων των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων. Μέσω της ανάλυσης αυτής, είναι δυνατόν να διαπιστωθεί ποιες λύσεις πληρούν καλύτερα τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και προδιαγραφές, επιτρέποντας την επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής.

Η προσέγγιση αυτή αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη στον τομέα της διαχείρισης κτηρίων, όπου πληθώρα παραγόντων επηρεάζει τη βιωσιμότητα και τον Δείκτη Ετοιμότητας. Η πολυκριτηριακή ανάλυση επιτρέπει την αξιολόγηση της επίδρασης των διαφόρων παραμέτρων, όπως η κατανάλωση ενέργειας, οι λειτουργικές δαπάνες, και η περιβαλλοντική απόδοση, στη συνολική επίδοση ενός κτηρίου.

Η αντιμετώπιση πολλαπλών παραμέτρων συνιστά καίρια πτυχή, καθώς επιτρέπει την εξατομίκευση των αποφάσεων σε συγκεκριμένες ανάγκες και συνθήκες. Έτσι, η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι πιο πλήρης, λεπτομερής και εναρμονισμένη με τις συγκεκριμένες προκλήσεις που αντιμετωπίζει κάθε κτήριο.

Συνεπώς, αντικείμενο και σκοπός αυτής της εργασίας είναι η αποδοτική εφαρμογή πολυκριτηριακών μεθόδων στην επιλογή εναλλακτικών λύσεων για τη βελτίωση της απόδοσης κτηρίων ώστε να συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη ισορροπημένων και βιώσιμων αποφάσεων.

1.2. Φάσεις υλοποίησης

Πριν ξεκινήσει η υλοποίηση του οποιοδήποτε πειράματος, αφιερώσαμε σημαντικό χρόνο στην κατανόηση της θεωρία και τους λόγους που δημιουργήθηκε, εξ αρχής, ο δείκτης αξιολόγησης έξυπνης ετοιμότητας. Αυτή η θεωρητική προετοιμασία μας έδωσε σαφήνεια σχετικά με τους σκοπούς και τους στόχους που υπηρετεί ο συγκεκριμένος δείκτης.

Κατανοήσαμε πώς ο δείκτης αξιολόγησης έξυπνης ετοιμότητας δημιουργήθηκε για να αποτυπώσει την ικανότητα του κτηρίου να προσαρμόζεται και να ανταποκρίνεται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες. Αναλύσαμε τα κριτήρια που περιλαμβάνει αυτός ο δείκτης, καθώς και την σημασία τους για την έξυπνη ετοιμότητα (SRI).

Στη συνέχεια, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης θα συνέβαλλε σημαντικά στο να κατανοήσουμε πώς ο δείκτης αυτός αντιδρά σε διάφορες παραμέτρους. Με την συνεργασία με το εργαστήριο συστημάτων αποφάσεων, μπορέσαμε να αξιοποιήσουμε τις πολυκριτηριακές μεθόδους και αναλύσεις για να αναδείξουμε τις βέλτιστες λύσεις που θα βοηθήσουν στη περαιτέρω βελτίωση του δείκτη αξιολόγησης έξυπνης ετοιμότητας.

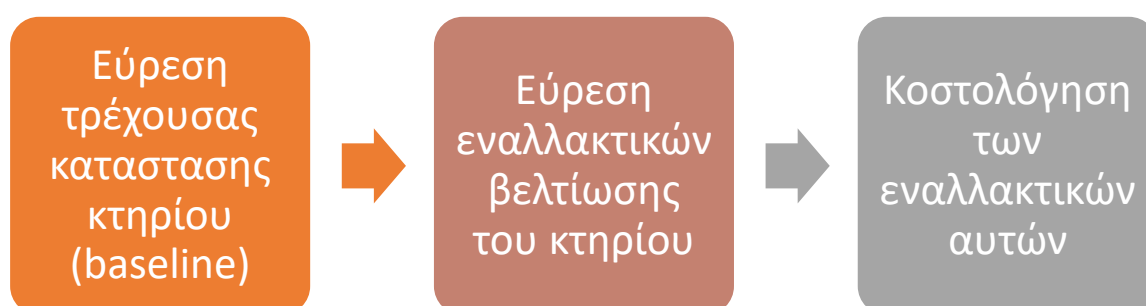
1^η Φάση Υλοποίησης: Στην αρχή της διπλωματικής εργασίας, επικεντρωθήκαμε στον καθορισμό του προβλήματος και την επιλογή του κτηρίου για τη μελέτη μας. Ο καθορισμός του προβλήματος ήταν καθοριστικός για την κατεύθυνση της έρευνας και τον καθορισμό των στόχων, ενώ η επιλογή ενός συγκεκριμένου κτηρίου για μελέτη μάς παρείχε την αναγκαία βάση και τα δεδομένα πάνω στα οποία οικοδομήσαμε την ανάλυση μας. Με αυτά τα βήματα, καθορίσαμε το σημείο εκκίνησης και το πλαίσιο της εργασίας.



ΕΙΚΟΝΑ 2: 1^η Φάση υλοποίησης

2^η Φάση Υλοποίησης: Κατά τη δεύτερη φάση, επικεντρωθήκαμε στην αξιολόγηση του δείκτη SRI στο επιλεγμένο κτήριο, το οποίο λειτούργησε ως το βασικό (baseline) μέτρο για τη μελέτη μας. Πέρα, όμως, τον καθορισμό του αρχικού αυτού επιπέδου του κτηρίου, επικεντρωθήκαμε στον εντοπισμό όλων των δυνητικών εναλλακτικών λύσεων. Αυτό περιλάμβανε τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου, και τον προσδιορισμό δυνητικών βελτιώσεων.

Στην συνέχεια, προχωρήσαμε στην κοστολόγηση των, αυτών, εναλλακτικών λύσεων. Αυτή η κοστολόγηση περιλάμβανε τον υπολογισμό τόσο των άμεσων όσο και των έμμεσων δαπανών για την υλοποίηση των επιλεγμένων εναλλακτικών. Με αυτό το τρόπο, ενσωματώσαμε τη διαδικασία της κοστολόγησης μετά τον εντοπισμό των εναλλακτικών, διευκολύνοντας έτσι την αξιολόγηση και την επιλογή των πιο οικονομικά βιώσιμων εναλλακτικών για τη βελτίωση του δείκτη SRI στο επιλεγμένο κτήριο. Αυτό το βήμα μάς έδωσε μια καλή εικόνα της τρέχουσας κατάστασης και των επιδόσεων του κτηρίου. Η ανάλυση αυτή χρησίμευσε ως σημείο αναφοράς για τις μελλοντικές συγκρίσεις και αξιολογήσεις των εναλλακτικών λύσεων που θα εξετάσουμε.



ΕΙΚΟΝΑ 3: 2^η Φάση υλοποίησης

3^η Φάση Υλοποίησης: Στην τρίτη φάση, εστίασαμε στην υλοποίηση πολυκριτηριακών μεθόδων για την αξιολόγηση και την βελτιστοποίηση του τεχνολογιών του κτηρίου και κατά συνέπεια του δείκτη SRI. Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων μάς επέτρεψε να εξετάσουμε πολλαπλούς παράγοντες ταυτόχρονα, λαμβάνοντας υπόψη τις πολυπλοκότητες και τις αλληλεξαρτήσεις τους. Αυτό το στάδιο αποτελεί τον πυρήνα της διπλωματικής μας, καθώς θα

αναδειξουμε τις βέλτιστες εναλλακτικές λύσεις που μπορούν να συνδυάσουν απόδοση, οικονομική αποτελεσματικότητα και υψηλό δείκτη SRI.



ΕΙΚΟΝΑ 4: 3^η Φάση υλοποίησης

4^η Φάση Υλοποίησης: Στην τέταρτη φάση, η εστίαση της έρευνας μας ανακατευθύνθηκε προς την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τη διατύπωση συμπερασμάτων. Η διαδικασία αυτή, μάς επιτρέπει την κατανόηση της συνολικής απόδοσης της πολυκριτηριακής ανάλυσης και των επιλεγμένων εναλλακτικών λύσεων.

Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης, εξετάσαμε εκτενώς τις διαφορές και τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων λύσεων. Αναλύσαμε την επίδραση της προσαρμογής των βαρών σε κάθε κριτήριο στους τελικούς συνδυασμούς των εναλλακτικών. Σημειώσαμε πιθανές παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση, προσφέροντας έτσι μια πλήρη εικόνα του πεδίου εφαρμογής των προτεινόμενων λύσεων. Στα συμπεράσματα μας, επισημάναμε τη συνολική αποτελεσματικότητα της πολυκριτηριακής ανάλυσης στη βελτιστοποίηση του δείκτη SRI. Καταδείξαμε πώς η προσέγγιση αυτή οδηγεί σε αποτελεσματικές λύσεις, λαμβάνοντας υπόψη, κάθε φορά, τις συγκεκριμένες ανάγκες αναβάθμισης κάθε κτηρίου. Τέλος, αναδείξαμε τη σπουδαιότητα της συνεχούς παρακολούθησης και βελτίωσης των κτηρίων, αναδεικνύοντας τον κρίσιμο ρόλο της σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτήν τη διαδικασία.



ΕΙΚΟΝΑ 5: 4^η Φάση υλοποίησης

1.3. Οργάνωση τόμου

Ο τόμος αυτός είναι οργανωμένος με σκοπό να παρέχει μια συνολική και λεπτομερή κατανόηση της διπλωματικής εργασίας με έμφαση στη μελέτη του smart readiness indicator (SRI) για ένα κτήριο στην Αττική. Η οργάνωση του τόμου ακολουθεί την συγκεκριμένη ροή:

- Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει το αντικείμενο και τον σκοπό της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τις φάσεις υλοποίησης.
- Το δεύτερο κεφάλαιο αναλύει το θεωρητικό υπόβαθρο, περιλαμβάνοντας τον δείκτη αξιολόγησης έξυπνης ετοιμότητας, τις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης, και τις τεχνικές AHP και TOPSIS.
- Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τη μελέτη περίπτωσης, επικεντρώνοντας την προσοχή στον υπολογισμό του SRI για ένα κτήριο στην Αττική, καθώς και στη διαδικασία κοστολόγησης των εναλλακτικών δράσεων.
- Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην αξιολόγηση των εναλλακτικών δράσεων μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων, περιλαμβάνοντας την κατάστρωση του προβλήματος, τον καθορισμό βαρών, και την επίλυση.
- Το πέμπτο κεφάλαιο παρέχει τα αποτελέσματα της έρευνας και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά, αξιολογώντας την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων δράσεων.
- Ενώ, το έκτο κεφάλαιο, εστιάζει στους περιορισμούς της έρευνας και προτείνει πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντικές ερευνητικές εξελίξεις.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1. Ο δείκτης αξιολόγησης έξυπνης ετοιμότητας

2.1.1. Ιστορική αναδρομή

Ο δείκτης Smart Readiness Indicator (SRI) μπορεί να οριστεί σαν ένα σύνολο μετρικών που αξιολογούν την τεχνολογική ετοιμότητα των κτιρίων για την υποστήριξη καθώς και την επ' ωφέλεια από έξυπνες τεχνολογίες και λύσεις. Με άλλα λόγια, ο δείκτης SRI σχεδιάστηκε με κύριο σκοπό να αξιολογήσει τη δυνατότητα ενός κτιρίου να χρησιμοποιεί και να ενσωματώνει έξυπνες τεχνολογίες καθώς ταυτόχρονα να συμβάλει στην ενεργειακή απόδοση, τη βιωσιμότητα και την άνεση των χρηστών.

Ο "Smart Readiness Indicator" πρωτοεμφανίστηκε σαν όρος με σκοπό την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας από την Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς και την υιοθέτηση των έξυπνων τεχνολογιών στα κτίρια.

Το 2002, η Ευρωπαϊκή Ένωση εισήγαγε έναν νόμο με το όνομα Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), προκειμένου να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων στην Ε.Ε. Αυτό γίνεται, γιατί τα κτήρια αντιστοιχούν σε μεγάλο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η EPBD προήλθε από το Πρωτόκολλο του Kyoto [20], που επιδιώκει τη μείωση των εκπομπών αερίων. Το 2010, υπήρξε αναθεώρηση του σχεδίου, όπου επικεντρώνεται περισσότερο σε κτήρια με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και σε αυτά που πληρούν βελτιωμένες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης.

Με την ανανέωση της οδηγίας τέθηκαν ορισμένοι νέοι στόχοι που είχαν ως στόχο την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, στην προώθηση της μετάβασης σε κτίρια που σχεδόν δεν καταναλώνουν ενέργεια και στην καθιέρωση ενός συνεκτικού πλαισίου για την ενεργειακή απόδοση στον τομέα των κτιρίων σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση:

- Τα κτίρια που είναι σε πώληση ή ενοικίαση πρέπει να αναγράφουν το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης.
- Τα κράτη μέλη της Ε.Ε. οφείλουν να θεσπίσουν τα απαραίτητα μέτρα για την ίδρυση προγραμμάτων επιθεώρησης για τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού ή να λάβουν μέτρα με ισοδύναμη επίδραση.
- Όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να έχουν ως προϋπόθεση να μην καταναλώνουν ενέργεια έως την 31^η Δεκεμβρίου 2020. Την ίδια προϋπόθεση θα πρέπει να πληρούν όλα τα νέα δημόσια κτίρια μετά την 31^η Δεκεμβρίου 2018.
- Τα κράτη μέλη θα πρέπει να θεσπίσουν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για νέα κτίρια, για αυτά που υπόκεινται σε μεγάλη ανακαίνιση, καθώς και για την αντικατάσταση ή αναβάθμιση στοιχείων κτιρίου.
- Τα κράτη μέλη θα πρέπει να συντάξουν λίστες με εθνικά οικονομικά μέτρα και μέσα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Το έτος 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε να χρηματοδοτεί μια σειρά από πιλοτικά έργα για την ανάπτυξη και τον προγραμματισμό μεθοδολογιών για το SRI. Αυτά τα έργα διήρκεσαν 3 χρόνια, μέχρι το 2016. Συμμετείχαν εμπειρογνώμονες από διάφορους τομείς,

συμπεριλαμβανομένων της ενεργειακής αποδοτικότητας, του αυτοματισμού κτιρίων και των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνίας.

Στις 30 Νοέμβρη 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το πακέτο «Καθαρή Ενέργεια για Όλους τους Ευρωπαίους», με στόχο να ενισχύσουν τη μετάβαση σε καθαρή ενέργεια και να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ κατά τουλάχιστον 40% έως και το 2030. Αποτέλεσμα αυτού του πακέτου ήταν να παρουσιαστεί μια πρόταση για την αναθεώρηση της οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD), δίνοντας προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση και την οικονομικά αποδοτική ανακαίνιση κτιρίων.

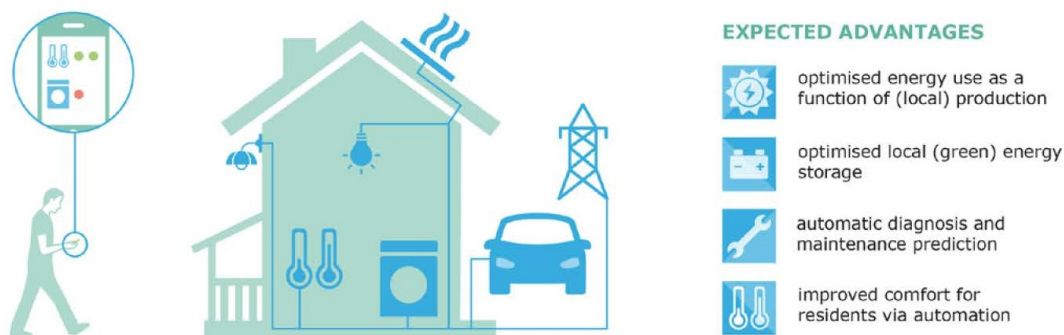
Έτσι προκλήθηκαν νέες αλλαγές στην οδηγία της EPBD, όπως η ενσωμάτωση μακροπρόθεσμων στρατηγικών για την ανακαίνιση κτιρίων, η υποστήριξη για την κινητοποίηση χρηματοδότησης και μια οπτική για την αποθέρμανση των κτιρίων έως το 2050. Ανέθετε επίσης τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών για αποτελεσματική λειτουργία των κτιρίων, εισήγαγε συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου κτιρίων ως εναλλακτική λύση στις φυσικές επιθεωρήσεις και προώθησε την ανάπτυξη υποδομής για ηλεκτροκίνητα οχήματα. Επιπλέον, η πρόταση ενίσχυσε τον σύνδεσμο μεταξύ δημόσιας χρηματοδότησης για ανακαίνιση κτιρίων και πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης, καθώς και αντιμετώπισε την ενεργειακή φτώχεια μέσω μέτρων ανακαίνισης.

Στις 11 Οκτωβρίου του 2017, η Επιτροπή Βιομηχανίας, Έρευνας και Ενέργειας (ITRE) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ψήφισε θετικά για μια προσχέδια έκθεση για την αναθεώρηση της EPBD, τονίζοντας την ενεργειακή απόδοση και την οικονομική αποδοτικότητα στην ανακαίνιση κτιρίων. Η αναθεωρημένη πρόταση της EPBD εγκρίθηκε τελικά τον Μάιο του 2018 (2018/844/EU).

Η οδηγία αυτή έδωσε τη δυνατότητα να υποδείξει την αφοσίωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως προς τον εκσυγχρονισμό των κτιρίων και την πραγματοποίηση τεχνολογικών βελτιώσεων.

Πιο συγκεκριμένα, με την αναθεώρηση του Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), το 2018, δόθηκε έμφαση στη χρήση εξελιγμένων κτιρίων. Τον Ιούνιο του ίδιου έτους έγινε δημοσίευση αυτής της αναθεώρησης, θέτοντας την απαίτηση για τα κράτη μέλη της Ε.Ε. να καθιερώσουν και να εφαρμόσουν τον δείκτη SRI για νέα αλλά και υπάρχοντα κτίρια. Κύριος στόχος τέτοιου τύπου κτιρίου ήταν η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών καθώς και τη ανάπτυξη της οικονομίας μια πόλης ή χώρας, παρέχοντας νέες πράσινες θέσεις εργασίας. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον τροποποιήσεις στις οδηγίες της Ε.Ε. το 2018 και 2019. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η εδραίωση της Ε.Ε. όσον αφορά των εκσυγχρονισμό του κτιριακού τομέα σε συνδυασμό με τις τεχνολογικές βελτιώσεις καθώς και την αύξηση ανακαινισμένων κτιρίων. Αυτό έδωσε και το πάτημα στην εμφάνιση του όρου Smart Readiness Indicator (SRI).

SMART BUILDING



ΕΙΚΟΝΑ 6:Πλεονεκτήματα των έξυπνων τεχνολογιών σε κτήρια [9].

2.1.2. Λειτουργίες και Μεθοδολογίες

Η πρώτη αυτή εκδοχή των SRI είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία τριών βασικών λειτουργιών έξυπνης ετοιμότητας στα κτήρια (Εικόνα 7).

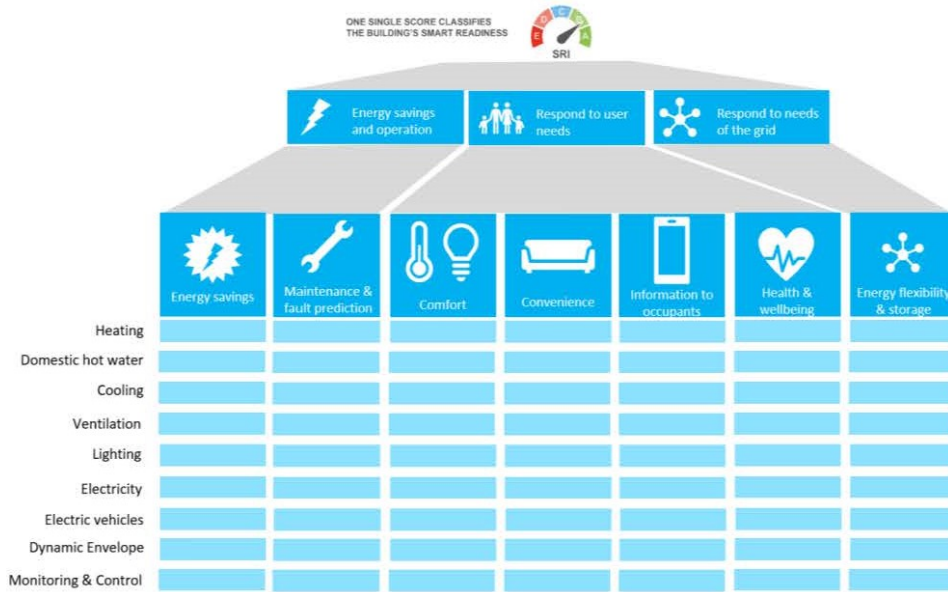
MEASURE THE TECHNOLOGICAL READINESS OF YOUR BUILDING



ΕΙΚΟΝΑ 7:Τρεις βασικές λειτουργίες έξυπνης ετοιμότητας στα κτήρια [12].

Στην πορεία, στις 22 Σεπτέμβριο του 2020, δημοσιεύτηκε μια τελική έρευνα για το smart readiness indicator, η οποία και μπήκε σε ισχύ στις 10 Ιανουαρίου του 2021. Μέσω της έρευνα των VERBEKE et al. (2020), προσδιόρισαν ότι το SRI έχει τη δυνατότητα να παρέχει κάποιες υπηρεσίες σε ένα κτίριο, οι οποίες και κατηγοριοποιούνται σε εννιά τομείς, θέρμανση, ψύξη παροχή ζεστού νερού, εξαερισμός, φωτισμός, δυναμικό κέλυφος κτηρίου, ηλεκτρισμός, φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, παρακολούθηση και έλεγχος. Ταυτόχρονα προσδιόρισαν ότι οι τομείς αυτοί έχουν κάποια επίδραση πάνω σε ένα κτίριο.

Έτσι, δημιουργήθηκε ένα σύνολο επτά κριτηρίων επιρροής, ενεργειακής αποδοτικότητας, ενεργειακής ευελιξίας, συντήρηση και πρόβλεψη σφαλμάτων, άνεση, ευκολία, υγεία και ευεξία, πληροφορίες στον χρήστη κατά μήκος όμως των παραπάνω τριών τρόπων αξιολόγησης (Εικόνα 8).



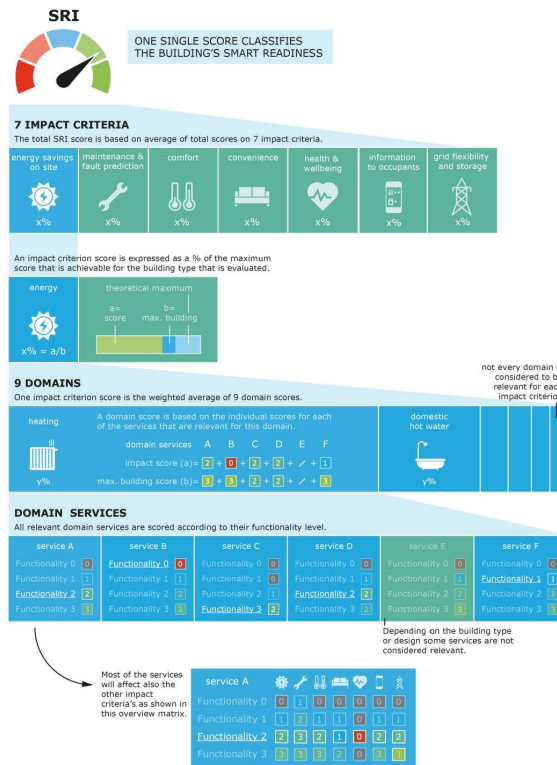
ΕΙΚΟΝΑ 8:Σχεδιάγραμμα τομέων και κριτηρίων επίδρασης [12].

Στην συνέχεια, το ποσοστό του SRI κατά την αξιολόγηση του, μπορεί να εμφανιστεί αρχικά με βάση τους τομείς σε συνδυασμό με τα κριτήρια επιρροής (μέχρι 57%). Στην πορεία, θα εμφανίσει το ποσοστό για κάθε ένα από τους εννιά τομείς και για κάθε ένα από τα επτά κριτήριο επιρροής καθώς και το ποσοστό για κάθε ένα από τις τρεις λειτουργίες. Στο τέλος θα υποδείξει το τελικό και γενικό ποσοστό του SRI (SRI<20% μέχρι SRI>90%) καθώς και την κλάση που ανήκει. Για παράδειγμα, είτε σαν ένα μοναδικό σκορ είτε σαν τρία διαφορετικά σκορ σε σχέση με τις τρεις βασικές λειτουργίες τους είτε σαν ένα πίνακα που αναδεικνύει τις βαθμολογίες του SRI ανά τομέα και κριτήριο επιρροής.

Overall SRI score (%) + SRI class									
		%				%		%	
		Optimise energy efficiency and overall in-use performance		Adapt its operation to the needs of the occupant		Adapt to signals from the grid (energy flexibility)			
		%	%	%	%	%	%	%	%
		Energy efficiency	Maintenance and fault prediction	Comfort	Convenience	Health, well-being and accessibility	Information to occupants	Energy flexibility and storage	
	Heating	%	%	%	%	%	%	%	%
	Cooling	%	%	%	%	%	%	%	%
	Domestic hot water	%	%	%	%	%	%	%	%
	Ventilation	%	%	%	%	%	%	%	%
	Lighting	%	%	%	%	%	%	%	%
	Dynamic building envelope	%	%	%	%	%	%	%	%
	Electricity	%	%				%	%	%
	Electric vehicle charging		%		%		%	%	%
	Monitoring and control	%	%	%	%	%	%	%	%

ΕΙΚΟΝΑ 9:Εμφάνιση ποσοστού SRI κατά την αξιολόγηση του [13].

Έχοντας γνώσει των παραπάνω, δημιουργήθηκε ένας τρόπος υπολογισμού του SRI πάνω σε ένα κτίριο.



EIKONA 10:Υπόδειγμα υπολογισμού SRI [12].

Όμως, πρέπει να ληφθεί υπόψιν, ότι στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του SRI συμπεριλήφθηκαν και τα αποτελέσματα των πιλοτικών έργων και διαβουλεύσεων με τα ενδιαφέροντα μέρη. Βέβαια, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ανάπτυξη και η εφαρμογή του SRI είναι μια συνεχή διαδικασία. Οι ενδιαφέροντες συνεχίζουν να βελτιώνουν και να τελειοποιούν τη μεθοδολογία, λαμβάνοντας υπόψιν τις εξελίξεις στην τεχνολογία, τα σχόλια από τα πιλοτικά έργα και τις πρακτικές εμπειρίες που αποκτήθηκαν ή θα αποκτηθούν κατά την διάρκεια της εφαρμογής τους.

Ας προστεθεί ότι, τα έξυπνα κτίρια είναι εξοπλισμένα με προηγούμενους αισθητήρες, συστήματα αυτοματισμού και αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης που τους επιτρέπουν να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα σχετικά με το περιβάλλον, τη χρήση ενέργειας και τα μοτίβα κατοίκων. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να βελτιστοποιήσουν τη λειτουργία του κτιρίου και να βελτιώσουν την άνεση και την ευημερία των κατοίκων.

Μερικά παραδείγματα τεχνολογιών έξυπνων κτιρίων περιλαμβάνουν:

- Αυτοματοποιημένα συστήματα φωτισμού που προσαρμόζουν τη φωτεινότητα και τη θερμοκρασία χρώματος των φώτων βάσει της ώρας της ημέρας, των μοτίβων κατοίκων και των επίπεδων φυσικού φωτός.
- Συστήματα HVAC που χρησιμοποιούν αισθητήρες κατοχής και προβλέψεις καιρού για να προσαρμόζουν τις θερμοκρασίες και τα επίπεδα υγρασίας σε διαφορετικά μέρη του κτιρίου.

- Έξυπνα μετρητικά και συστήματα διαχείρισης ενέργειας που παρέχουν πραγματικού χρόνου δεδομένα για τη χρήση ενέργειας και επιτρέπουν στους διαχειριστές του κτιρίου να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας και να μειώσουν το κόστος.
- Συστήματα αυτοματισμού κτιρίων που ενσωματώνουν πολλαπλά συστήματα κτιρίων, όπως φωτισμό, HVAC και ασφάλεια, για να επιτρέψουν ασύρματη λειτουργία και έλεγχο.

2.1.3. Ανάλυση θεωρίας και διαδικασίας υπολογισμού του SRI

Η SRI αξιολόγηση περιλαμβάνει μία λίστα από διαθέσιμες υπηρεσίες (Services) του κτηρίου και καθορίζει και το επίπεδο λειτουργικότητας του (functionality level), το οποίο με τη σειρά του δηλώνει το επίπεδο ευφυΐας. Για παράδειγμα, για τον έλεγχο του εξαερισμού και της ροής του αέρα μπορεί να έχουμε απλή εφαρμογή χρονικού ελέγχου μέχρι και πιο σύνθετες μεθόδους ελέγχου όπως τοπικό έλεγχο ζήτησης μέσω αισθητήρων (CO₂, VOC,...).

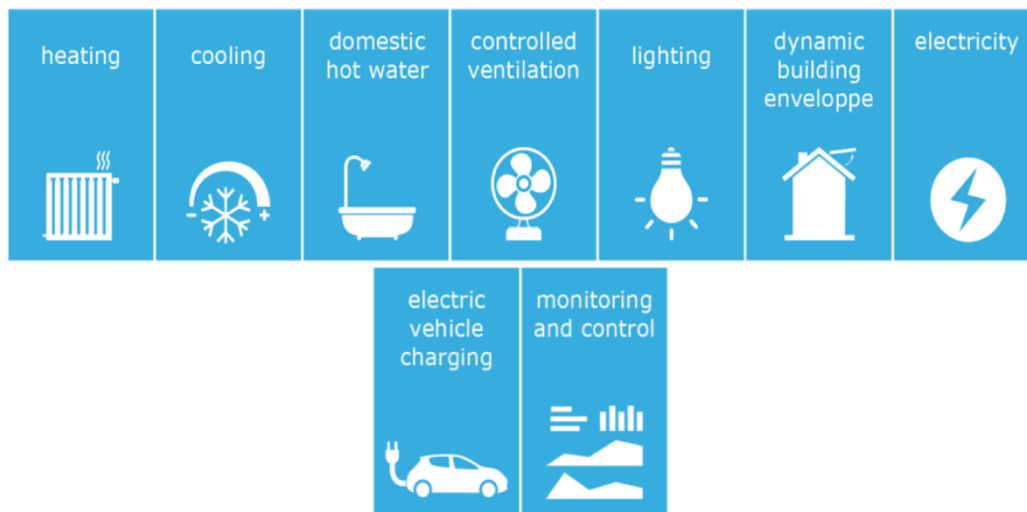
Οι υπηρεσίες αυτές σε ένα κτήριο βρίσκουν εφαρμογή σε πολλαπλούς τομείς (domain) (θέρμανση, ψύξη, φωτισμός, ηλεκτρική φόρτιση αυτοκινήτου, κ.ά.) και αυτά με την σειρά τους προκαλούν διάφορες επιπτώσεις (impacts) (ενεργειακή απόδοση, άνεση, πληροφορίες στο ένοικο, κ.ά.). Πολλά από αυτά τα services βασίζονται σε διεθνή πρότυπα και σε συμφωνία με τις προϋποθέσεις του ανανεωμένου EPBD, τρεις λειτουργίες κλειδιά (key functionalities) καθορίζουν το SRI:

1. Η ικανότητα να διατηρεί την ενεργειακή απόδοση και λειτουργία (energy efficiency performance and operation).
2. Η ικανότητα να προσαρμόζει την λειτουργία του στην ανάγκες των κατοίκων (response to the needs of the occupants).

Την ευελιξία της συνολικής ηλεκτρικής ζήτησης του κτηρίου (flexibility of a building's overall electricity demand).

Στο κατάλογο του SRI τα services περιορίζονται μέσα σε 9 domains:

1. heating (H)
2. Cooling (C)
3. Domestic Hot Water (DHW)
4. Controlled Ventilation (CV)
5. Lighting (L)
6. Dynamic Building Envelope (DBE)
7. Electricity
8. Electric Vehicle Charging (EVC)
9. Monitoring and Control (MC)



ΕΙΚΟΝΑ 11:Οι τομείς που συγκροτούν το SRI κατάλογο [12].

Για κάθε μία υπηρεσία ορίζονται από 2 έως και 5 επίπεδα λειτουργίας. Όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο, τόσο μεγαλύτερο είναι και το επίπεδο ευφυΐας της συγκεκριμένης υπηρεσίας στο κτήριο [14].

Για το καθορισμό του επιπέδου λειτουργίας κάθε υπηρεσίας, υπάρχουν δυο βασικοί μέθοδοι αξιολόγησης, η σύντομη εκδοχή με περιορισμένο αριθμό services(A), η αναλυτική έκδοση (B) που περιλαμβάνει την πλήρη λίστα, αλλά υπάρχει και μία τρίτη, η οποία είναι συνδυασμός των 2 πρώτων (C).



ΕΙΚΟΝΑ 12:Οι 3 πιθανές μέθοδοι αξιολόγησης [12].

1. Στην Α μέθοδο έχουμε μια απλοποιημένη αξιολόγηση, κυρίως για κατοικίες και μικρά μη οικιστικά κτήρια. Η μέθοδος αυτή ακολουθεί προσέγγιση λίστας ελέγχου με περιορισμένη ή/και απλοποιημένη λίστα services. Θεωρείτε η πιο γρήγορη μέθοδος από τις υπάρχοντες, παίρνοντας λιγότερο από μία ώρα για μια μονοκατοικία. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει (online) αυτό-αξιολόγηση αλλά μόνο από επίσημο αξιολογητή μπορείς να λάβει αναγνωρισμένο certificate.
2. Στην Β μέθοδο έχουμε μια λεπτομερή αξιολόγηση SRI, εστιάζοντας κυρίως σε μη-οικιστικά κτήρια. Η αξιολόγηση κρατάει έως και μία μέρα, ανάλογα βέβαια με την έκταση και την πολυπλοκότητα του κτηρίου, όπου εξειδικευμένος αξιολογητής κρίνεται απαραίτητος.

Η C μέθοδος διαφέρει από τις προηγούμενες δύο καθώς ποσοτικοποιεί την πραγματική απόδοση του κτηρίου μέσω πληροφοριών που μαζεύει από αισθητήρες. Αυτή η μέθοδος θεωρείται μια πιθανή μελλοντική εξέλιξη για την έκδοση πιστοποιητικών.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι ένα Smart readiness service μπορεί να έχει παραπάνω από ένα αντίκτυπο, στο κτήριο, στους χρήστες του αλλά ακόμα και στο ηλεκτρικό δίκτυο. Για αυτό αναπτύχθηκε μια ομάδα από κριτήρια επιπτώσεων (impact criteria), στον αριθμό 7, για να μετρηθεί ο δείκτης SRI.

Τα impact scores είναι:

❖ Energy savings on site

Αναφέρετε στην ικανότητα του κτηρίου να εξοικονομεί ενέργεια. Όμως δεν αφορά την συνολική απόδοση του κτηρίου αλλά μονάχα την συνεισφορά της συγκεκριμένης τεχνολογίας στο κτήριο.

❖ Maintenance & fault prediction

Αναφέρετε στην αυτόματη ανίχνευση σφαλμάτων και την διάγνωση αυτών, καθώς επίσης έχει την δυνατότητα να επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση των τεχνικών συστημάτων του κτηρίου, ανιχνεύοντας συστήματα που υπολειτουργούν.

❖ Comfort

Αναφέρετε στην άνεση των κατοίκων. Η άνεση θεωρείται η συνειδητή και ασυνείδητη αντίληψη του φυσικού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβάνοντας την θερμική, ακουστική άνεση και την οπτική απόδοση.

❖ Convenience

Αναφέρετε στην άνεση των κατοίκων, δηλαδή σε τι βαθμό διευκολύνεται η ζωή τους.

❖ Health & wellbeing

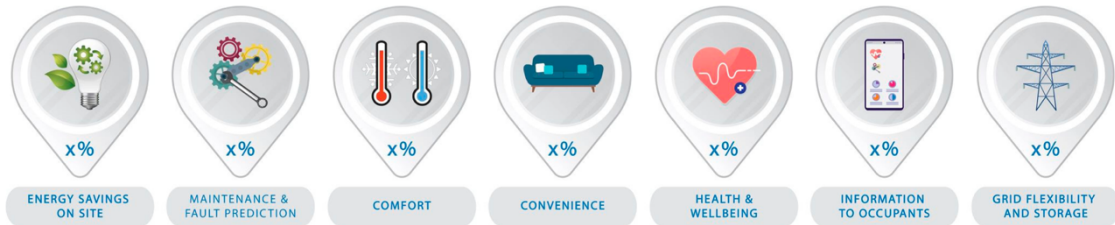
Αναφέρετε στην υγεία και ευεξία των κατοίκων. Για παράδειγμα, έξυπνοι ελεγκτές μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα σε σύγκριση με τους παλαιούς ελεγκτές και συνεπώς να αυξήσει την ευεξία και εν τέλει την υγεία τους.

❖ Information to occupants

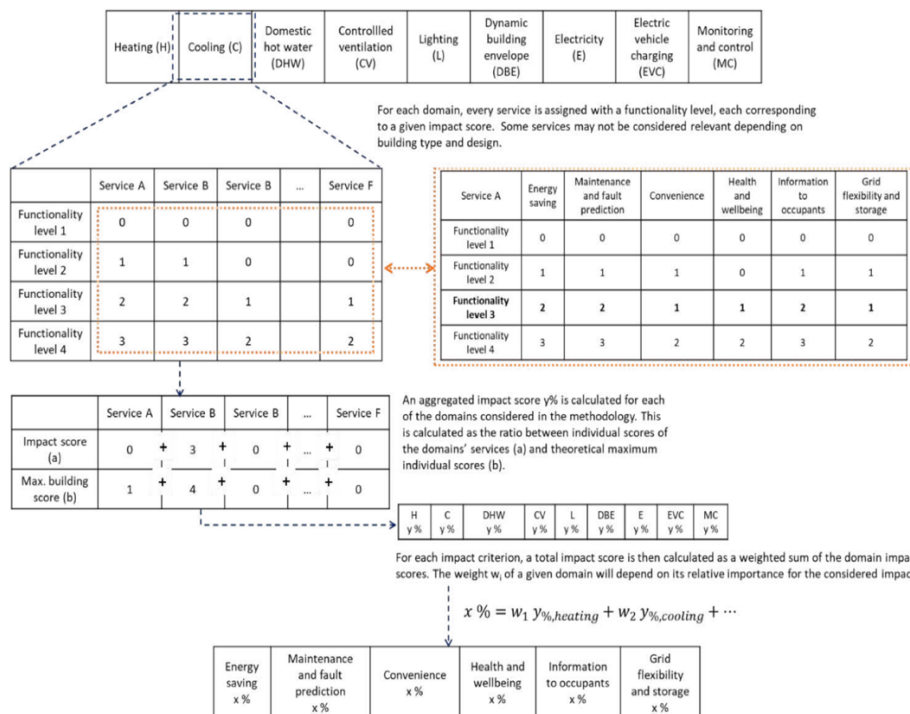
Αναφέρετε στην ενημέρωση των κατοίκων για την λειτουργία του κτηρίου.

❖ Grid flexibility and storage

Αναφέρετε στην ενεργειακή ευελιξία του κτηρίου. Η μελέτη προτείνει την εστίαση όχι μόνο στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και την ευελιξία από απομακρυσμένα δίκτυα θέρμανσης και ψύξης.



EIKONA 13: Smart readiness indicator ' impact scores [24].



EIKONA 14: Μεθοδολογία υπολογισμού SRI [22].

Με αυτόν το τρόπο προτάθηκε ο, παρακάτω, ολοκληρωμένος πίνακας που απεικονίζει την δομή των τομέων και των βαθμολογιών των επιπτώσεων.

Γενικά, το SRI είναι ένα ποσοστό που εκφράζει πόσο κοντά (ή μακριά) είναι ένα κτήριο από το μέγιστο σημείο ευφυΐας. Όσο πιο υψηλό είναι αυτό το ποσοστό, τόσο πιο ευφυή θεωρείται αυτό το κτήριο. Ο δείκτης αυτός μπορεί να εκφραστεί και σε άλλες κλίμακες, όπως βαθμολόγηση με αστέρια ακόμα και βαθμολογία με γράμματα (A, B, C).

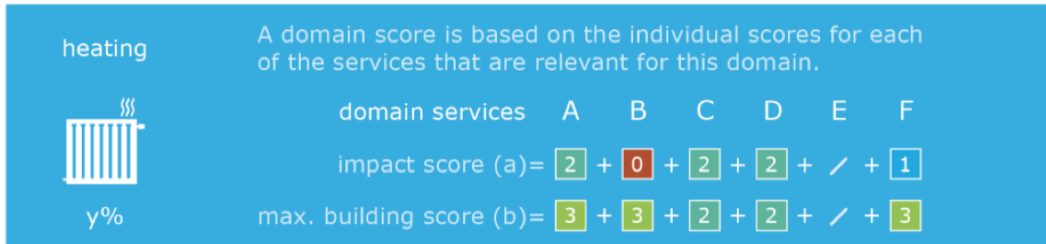
Υπάρχει ένας συγκεκριμένος τρόπος διεξαγωγής της μελέτης για τον υπολογισμό του συνολικού δείκτη και αυτός ακολουθεί μερικά καλά προ-καθορισμένα βήματα:

1. Η διαδικασία ξεκινάει με την αξιολόγηση των smart ready services, όπου προηγείται μια επιθεώρηση στο κτήριο και τα functionality level καθορίζονται και για κάθε service

υπολογίζεται και τα ατομικά impact scores όπως ορίζεται στην μεθοδολογία που αναφέραμε παραπάνω.

2. Στην συνέχεια, υπολογίζεται το impact score συνολικά για κάθε domain. Αυτή τώρα η βαθμολογία αντιπροσωπεύει την αναλογία (εκφρασμένο σε ποσοστό) της ατομικής βαθμολογίας του domain και της θεωρητικής μέγιστης τιμής του.

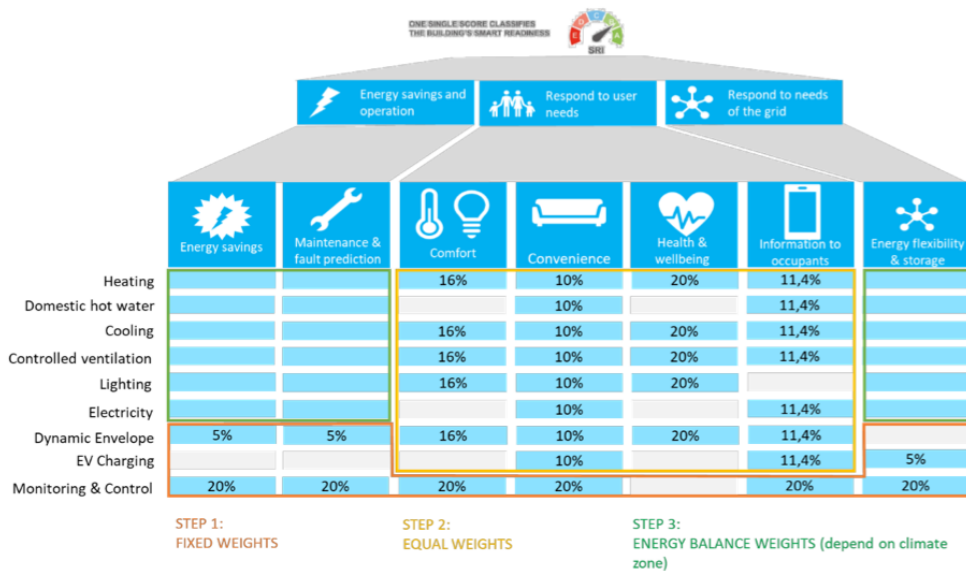
Για να βρεθεί έπειτα η βαθμολογία των κριτηρίων επιπτώσεων υπολογίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα των domain impact scores.



ΕΙΚΟΝΑ 15: Παράδειγμα υπολογισμού της βαθμολογίας ενός τομέα [21].

Η συνολική, τώρα, SRI βαθμολογία δείχνει το συνολικό επίπεδο ευφυίας του κτηρίου, όπου οι επιμέρους βαθμολογίες επιτρέπει την πρόσβαση σε συγκεκριμένα domain και impact κατηγορίες. Όμως, υπάρχουν τρία στάδια στην προσέγγιση της κατανομής των βαρών για την παραγωγή των βαθμολογιών:

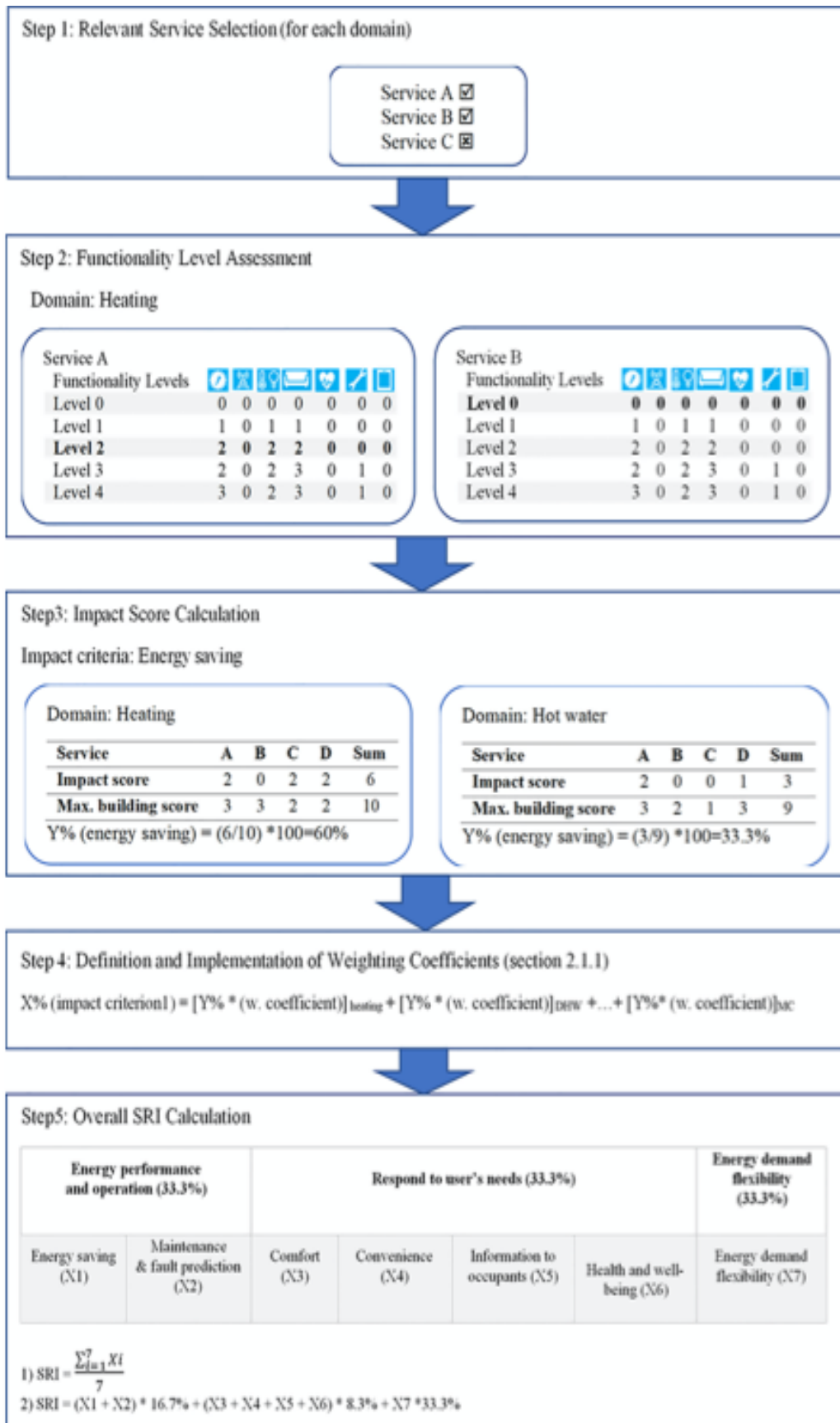
- Οι σταθερές μεταβλητές
- Οι ίσες μεταβλητές



ΕΙΚΟΝΑ 16:Επισκόπηση του σχήματος καθορισμού βαρών [21].

Για παράδειγμα, η χρήση βαρών για το ενεργειακό ισοζύγιο στη βόρεια περιοχή της Ευρώπης, έχει ως αποτέλεσμα η θέρμανση να χρίζει μεγαλύτερης βαρύτητας και συνεπώς και σημαντικότητας, γεγονός που είναι απόλυτα λογικό αφού η μέση θερμοκρασία είναι αισθητά χαμηλότερη από την υπόλοιπη Ευρώπη. Αντιστρόφως, στις νότιες περιοχές της Ευρώπης η ψύξη έχει μεγαλύτερη σημασία-βαρύτητα όσον αναφορά τα βάρη.

Η μεθοδολογία που προτείνεται παρέχει προκαθορισμένα βάρη ανά είδος κτηρίου αλλά και κλιματική ζώνη. Για αυτό ακριβώς το λόγο στη μέθοδο αυτή μερικές φορές μπορεί να περιέχει κάποια domain, services ή/και services level τα οποία να είναι μη εφαρμόσιμα ή μη επιθυμητά ή σχετικά, πρέπει το SRI να έχει πολύ ευέλικτο πλαίσιο για να μπορεί να το διευθετήσει. Ένας τρόπος να το κάνει είναι η διαδικασία διαλογής (triage process) στην οποία αναγνωρίζει όλα τα σχετικά services για το συγκεκριμένο κτήριο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση που ένα κτήριο δεν έχει θέση στάθμευσης, οπότε το domain, electric vehicle charging facilities, είναι μη εφαρμόσιμο και για αυτό παραλείπεται από την διαδικασία. Έτσι, στις περισσότερες επιθεωρήσεις κτηρίων ο αριθμός των services σπάνια αγγίζει τα 54 που κανονικά υπάρχουν στον κατάλογο στην μέθοδο B (η αναλυτική μέθοδος) και τα 27 (σύντομη μέθοδος).



EIKONA 17: Συνολική διαδικασία υπολογισμού του SRI [21].

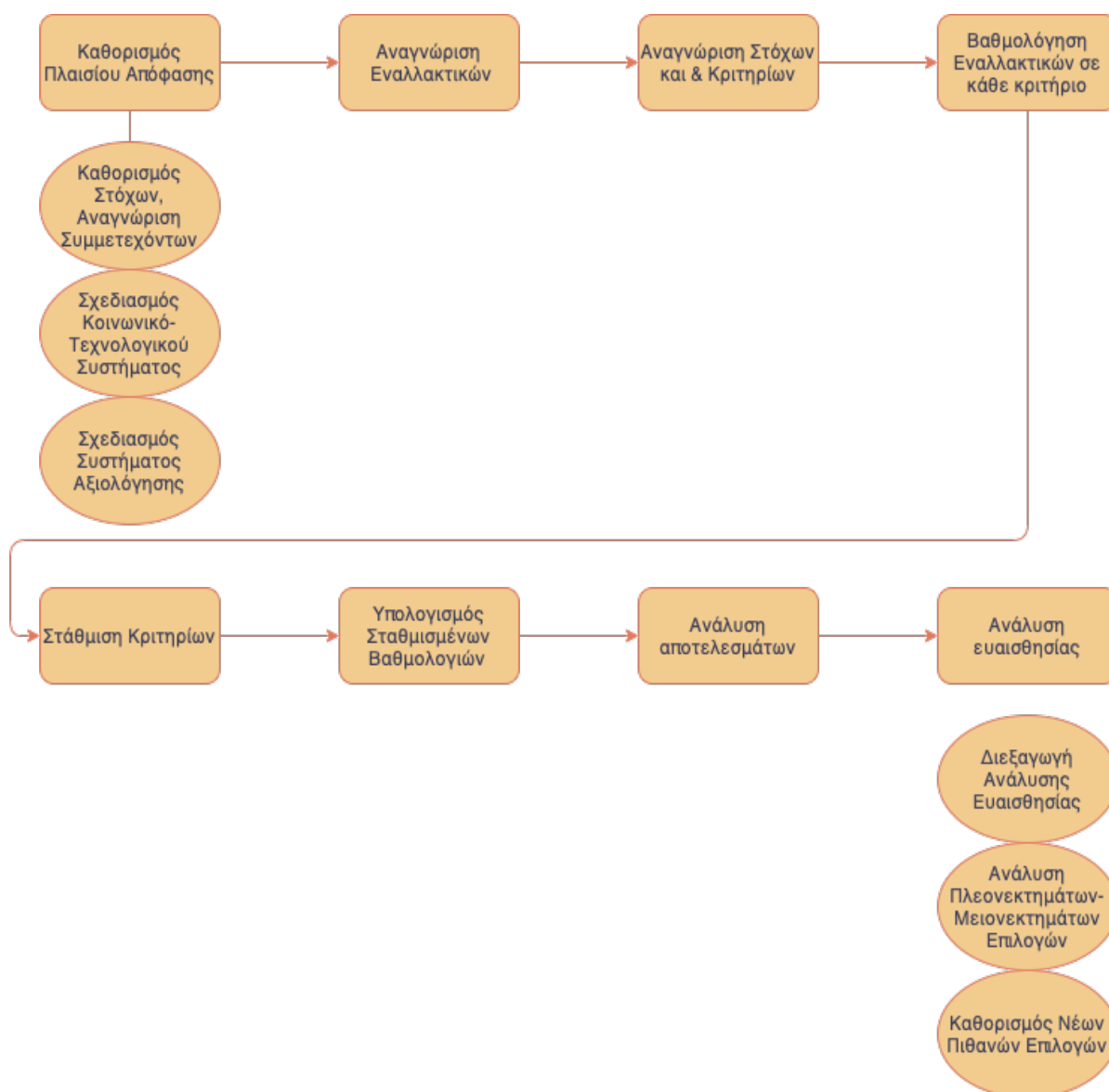
2.2. Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων

2.2.1. Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη τεκμηριωμένη προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος της σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων έγινε το 1896 από τον Pareto, όπου έγινε η πρώτη εισαγωγή μίας βασικής έννοιας της πολυκριτηριακής ανάλυσης, την έννοια της αποδοτικότητας (efficiency).

Το 1944 οι Von Neumann και Morgenstern αναπτύσσουν τη θεωρία της χρησιμότητας και το 1951 ο Koopmans επεκτείνει την έννοια της αποδοτικότητας εισάγοντας την έννοια του αποδοτικού συνόλου και το 1960, οι Charnes και Cooper συνέδεσαν την θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού και της πολυκριτήριας ανάλυσης (goal programming).

Στις επόμενες δύο δεκαετίες (1970-1990), η πολυκριτήρια ανάλυση αναπτύχθηκε ραγδαία σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε θέματα πρακτικών εφαρμογών για την αντιμετώπιση διαφόρων πολύπλοκων πραγματικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων.



ΕΙΚΟΝΑ 18: Βήματα μεθόδου [8].

Χρησιμότητα – Ταυτότητα Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Η συστηματική λογική και η μαθηματική προσέγγιση που βοηθάει τους υπεύθυνους να επιλύσουν διλήμματα που προκύπτουν από την επιδίωξη πολλών και πιθανώς αντικρουόμενων στόχων κι επιδιώξεων. Επίσης, λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κριτήρια, προσεγγίζοντας λύσεις που να εμφανίζουν τις καλύτερες επιδόσεις στην πλειονότητα των κριτηρίων ή που να ικανοποιούν τα περισσότερα εμπλεκόμενα μέρη -involved stakeholders.

Η μεγάλη διαφοροποίηση από άλλες προσεγγίσεις είναι ότι δεν αποτελεί μια διαδικασία που απλά συνθέτει όλες τις παράμετρος ενός προβλήματος, αλλά πραγματοποιεί την αναγκαία σύνθεση για την ορθή λήψη αποφάσεων (policy and decision maker) [22]. Το πολυκριτηριακό πρόβλημα χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές παραμέτρους:

1. Ένα σύνολο εναλλακτικών ενεργειών (ή απλά εναλλακτικών) $A=\{a_1, \dots, a_p\}$. Ο όρος εναλλακτική αναφέρεται στο αντικείμενο της απόφασης το οποίο και πρέπει να είναι πεπερασμένου αριθμού και καλά ορισμένο.
2. Μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων $G=\{g_1, \dots, g_q\}$. Κάθε κριτήριο συνιστά μια πραγματική συνάρτηση ορισμένη στο σύνολο A των εναλλακτικών, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει τη σύγκριση των εναλλακτικών a_1 και a_2 μέσω της χρήσης των μεγεθών $g_j(a_1)$ και $g_j(a_2)$.
3. Το σύνολο των μεγεθών των εναλλακτικών ενεργειών ως προς τα κριτήρια δίνεται συνήθως στην μορφή ενός πίνακα (πολυκριτηριακού πίνακα), με τις γραμμές να αναφέρονται στα κριτήρια και στις στήλες στις εναλλακτικές ενέργειες.

Οι επιστημονικές μέθοδοι και οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις της πολυκριτήριας ανάλυσης αναλύονται σε 4 βασικές κατηγορίες:

- Μέθοδοι Πολυκριτηρίου Μαθηματικού Προγραμματισμού–Multiobjective Mathematical Programming.

Συστήματα αξιών (Value Systems): Στοχεύει στην κατασκευή ενός συστήματος αξίας το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση των προτιμήσεων των ληπτών αποφάσεων σε ότι αφορά τα κριτήρια.

- Μέθοδοι Πολυκριτήριας Θεωρίας Χρησιμότητας -Multiattribute Utility Theory Πολυκριτήρια Βελτιστοποίησης (Multicriteria Optimization). Αποτελεί μία επέκταση του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Στοχεύει στην επίλυση προβλημάτων όπου δεν υπάρχουν διακριτές εναλλακτικές επιλογές και οι στόχοι είναι περισσότεροι τους ενός.

- Μέθοδοι Τεχνικών Σχέσεων Υπεροχής-Outranking relations

Στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της μη-συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων.

- Μέθοδοι Αναλυτικής -Σύνθετης Προσέγγισης -Aggregation Disaggregation Approach Στοχεύει στην ανάλυση της συμπεριφοράς του λήπτη αποφάσεων και τον τρόπο αντίληψης του. Με την χρήση επαναληπτικών διαδικασιών, αναλύονται και στη συνέχεια συντίθεται σε ένα σύστημα αξιών όλες οι παράμετροι του προβλήματος και η μέθοδος κρίσης του λήπτη αποφάσεων [7].

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας	<ul style="list-style-type: none"> Αναπαράσταση ποιοτικών παραγόντων Αποτύπωση της λογικής του αποφασίζοντα Επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου απόφασης 	<ul style="list-style-type: none"> Κατανόηση του μοντέλου απόφασης Παραχωρήσεις μεταξύ κριτηρίων Αβεβαιότητα των εκτιμήσεων
Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση	<ul style="list-style-type: none"> Αποτύπωση της λογικής του αποφασίζοντα Επαναχρησιμοποίηση των αποφάσεων Ταξινόμηση σε σαφώς ορισμένες κατηγορίες 	<ul style="list-style-type: none"> Κατανόηση του μοντέλου απόφασης Εισαγωγή των δεδομένων Υποκειμενικές κρίσεις
Σχέσεις Υπεροχής	<ul style="list-style-type: none"> Εναλλακτικές Προφίλ Κατώφλια κριτηρίων Κλίμακα κριτηρίων Συνασπισμοί "συμφωνίας" και "διαφωνίας" 	<ul style="list-style-type: none"> Μοντελοποίηση του προβλήματος Ονομαστική ταξινόμηση Αισιόδοξη κι απαισιόδοξη πρόβλεψη
Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης	<ul style="list-style-type: none"> Μοντελοποίηση του προβλήματος Αναπαράσταση ποιοτικών παραγόντων Κατανόηση μοντέλου απόφασης 	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλος αριθμός σχετικών συγκρίσεων Δύσκολη η επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου Φαινόμενο της αναστροφής των αξιολογήσεων

ΕΙΚΟΝΑ 19: Σύγκριση μεθόδων [8].

2.2.2. Μέθοδος AHP

Η μέθοδος AHP βρίσκεται ανάμεσα στις πιο διαδεδομένες αναλυτικές μεθόδους για την επίλυση περίπλοκων προβλημάτων αποφάσεων. Ο Saaty T.L, [23] εισήγαγε την συγκεκριμένη μεθοδολογία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς, για παράδειγμα ο Ramanathan, R [24] τη χρησιμοποίησε για να κάνει μια κοινωνικό-οικονομική αξιολόγηση, ο Gazi, K.H et al. [25] για την επιλογή της καλύτερης τοποθεσίας για την κατασκευή εστιατορίου και πολλοί άλλοι. Πρόκειται για μια θεωρία μέτρησης για την βαθμονόμηση ποσοτικών και αόριστων κριτηρίων και την επίλυση συγκρούσεων.

Η AHP μεθοδολογία χρησιμοποιείται για να ελέγξει τη συνέπεια του πίνακα σύγκρισης και να προσδιορίσει τα βάρη των κριτηρίων. Τα ακριβή νούμερα με την τεχνική AHP αιχμαλωτίζουν την ασάφεια του προβλήματος, επειδή χρησιμοποιεί αριθμητικά στοιχεία για να αντιπροσωπεύσει τη συγκριτική σχέση μεταξύ παραγόντων, ενώ παράλληλα επιτρέπει στους λήπτες αποφάσεων να εκφράσουν τις προτιμήσεις τους με λεκτικούς όρους. Συνεπώς, η AHP επιτρέπει τη συνένωση των ποσοτικών και ποιοτικών πτυχών της απόφασης, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων. Συνήθως, (βλ. Εικόνα 21) χρησιμοποιείται μια κλίμακα 9 βαθμών για να εκφραστεί ο πίνακας συγκρίσεων ζευγών στις παραδοσιακές τεχνικές AHP [26]. Σε αυτήν την εργασία, χρησιμοποιούνται σαφείς αριθμοί για να εκφράσουν έναν πίνακα συγκρίσεων ζευγών [27].

Linguistic terms ratings in terms of crisp numbers for criteria and alternative.

Linguistic terms	Crisp number (0–9 scale)
Extremely Important (EI)	9
Strongly Important (SI)	7
Important (I)	5
Fairly Important (FI)	3
Average Important (AI)	1
Fairly Not Important (FNI)	1/3
Not Important (NI)	1/5
Strongly Not Important (SNI)	1/7
Extremely Not Important (ENI)	1/9

ΕΙΚΟΝΑ 20: Πως μεταφράζεται ο δείκτης σύγκρισης ανάλογα την βαθμολογία (1-9) [28].

Για την αξιολόγηση των βαρών των κριτηρίων με χρήση της AHP ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Δημιουργία πίνακα συγκρίσεων ζευγαριών

Για να υπολογίσουμε τα βάρη για τα διαφορετικά κριτήρια, το AHP αρχίζει να δημιουργεί ένα πίνακα σύγκρισης A με συγκρίσεις ανά ζεύγη για τα κριτήρια. Ο πίνακας είναι $M \times M$, όπου M είναι ο αριθμός των κριτηρίων αξιολόγησης που εξετάζονται. Κάθε καταχώρηση a_{ji} αντιπροσωπεύει τη σημασία του κριτηρίου j σε σχέση με το κριτήριο i . Αν $a_{ji} > 1$, τότε το κριτήριο j είναι λιγότερο σημαντικό από το κριτήριο i , ενώ αν $a_{ji} < 1$, τότε το κριτήριο j είναι λιγότερο σημαντικό από το κριτήριο i . Εάν δύο κριτήρια έχουν την ίδια σημασία, τότε η καταχώρηση a_{ji} είναι 1. Οι καταχωρήσεις a_{ji} και a_{ij} πληρούν τον ακόλουθο περιορισμό:

$$a_{ij} * a_{ji} = 1$$

Προφανώς $a_{ji} = 1$ για κάθε j . Η σχετική σημασία μεταξύ δύο κριτηρίων μετριέται σύμφωνα με μια αριθμητική κλίμακα από 1 έως 9, όπου θεωρείται ότι το κριτήριο j είναι εξίσου σημαντικό ή σημαντικότερο από το κριτήριο k . Είναι επίσης δυνατή η εκχώρηση ενδιάμεσων τιμών που δεν αντιστοιχούν σε ακριβή ερμηνεία. Οι τιμές του πίνακα A είναι από κατασκευής συνεπείς, όμως οι αξιολογήσεις ενδέχεται γενικά να είναι ελαφρώς ασυνεπείς. Ωστόσο, αυτό δεν προκαλεί ιδιαίτερες δυσκολίες για το AHP.

Βήμα 2: Δημιουργία ενός κανονικοποιημένου πίνακα σύγκρισης ζευγαριών και υπολογισμός των βαρών των κριτηρίων.

Ο κανονικοποιημένος πίνακας σύγκρισης ζευγαριών και τα βάρη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση.

$$\omega = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}}; i, j = 1, 2, 3 \dots n \quad (1)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, το ω αντιπροσωπεύει τα βάρη κάθε κριτηρίου, ενώ το n αντιπροσωπεύει τον αριθμό των κριτηρίων.

Βήμα 3: Αξιολόγηση του συντελεστή συνέπειας του πίνακα και επαλήθευση της αποδεκτότητάς του.

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή του πίνακα, έπρεπε να προσδιοριστεί η μέγιστη ιδιοτιμή (λ_{max}) για τον πίνακα σύγκρισης χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2). Έπειτα, αξιολογήθηκε ο Δείκτης Συνέπειας (CI-Consistency Index) και ο Συντελεστής Συνέπειας (CR-Consistency Ratio) εφαρμόζοντας τις εξισώσεις (3) και (4) αντίστοιχα.

Ο συντελεστής συνέπειας (CR) χρησιμοποιείται για να επαληθευτεί η συνέπεια του πίνακα σύγκρισης. Η υποκειμενική ιδέα είναι ότι ένας υψηλός συντελεστής συνέπειας υπονοεί ότι οι συγκρίσεις που έγιναν στον πίνακα είναι συνεπείς και έγκυρες.

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} * \omega_j}{\omega_i}; i, j = 1, 2, 3 \dots n \quad (2)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI}; \quad RI = \text{Random matrix index.} \quad (4)$$

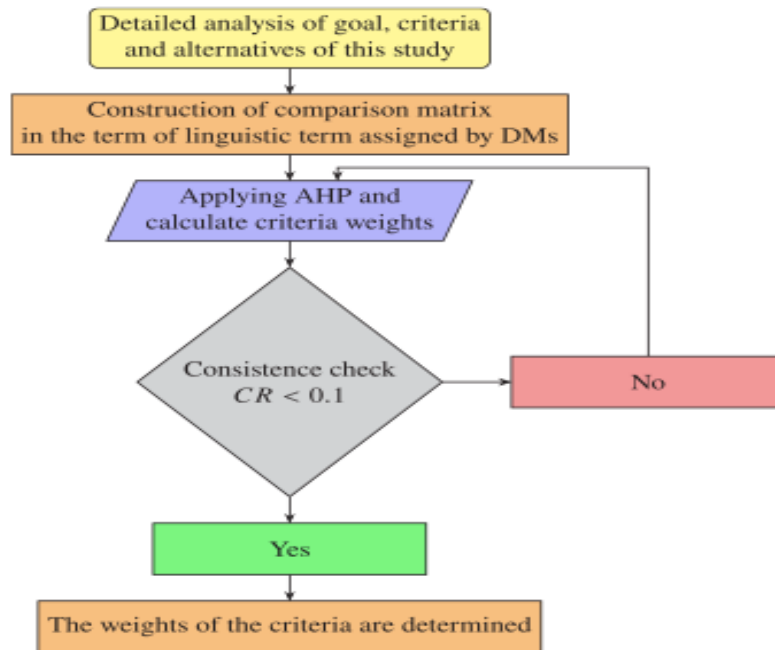
R.I. value of square matrix depend on the size of the matrix.

Matrix size (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Random Index (RI)	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

ΕΙΚΟΝΑ 21: Πίνακας τιμών του R.I. ανάλογα το μέγεθος του πίνακα [28].

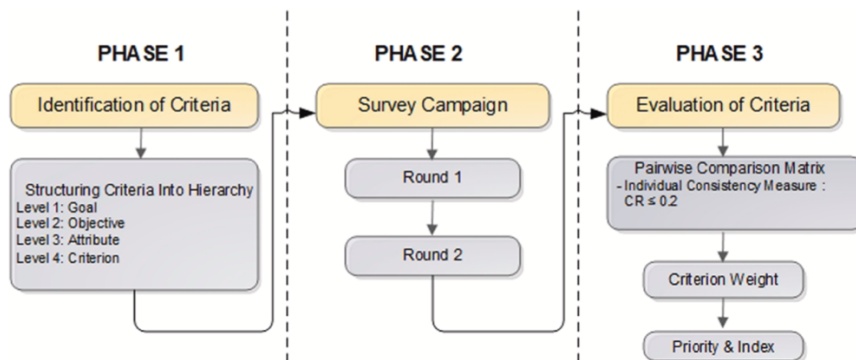
Όπου R.I. είναι ένας τυχαίος δείκτης και εξαρτάται από το μέγεθος του πίνακα. Οι τιμές του R.I. όπως υπολογίστηκαν από τον Saaty, T.L. [23], [29] δίνονται στην Εικόνα 22. Σύμφωνα με τον Saaty, T.L.[30], η τιμή C.R. <0.1 θεωρείται αποδεκτή για να διατηρηθεί η συνέπεια στις συγκρίσεις ζευγών, διαφορετικά ο πίνακας συγκρίσεων είναι ασυνεπής και χρειάζεται ανασυγκρότηση [31], [32].

Από την παραπάνω AHP μεθοδολογία, η (Εξ. 4) μας δίνει την τιμή του λόγου συνέπειας (C.R.) και το βάρος των κριτηρίων χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1). Όλο το πλαίσιο της μεθόδου AHP απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



ΕΙΚΟΝΑ 22: Η δομή της μεθόδου AHP και ο υπολογισμός των βαρών των κριτηρίων [28].

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο στόχος αυτής της πολυκριτήριας μεθόδου είναι να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων και όχι να λάβει την απόφαση. Αποδομεί ένα σύνθετο πρόβλημα και δίνει βαρύτητα στους στόχους, με αυτόν τον τρόπο βοηθά στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και της πολυπλοκότητας [34][33].

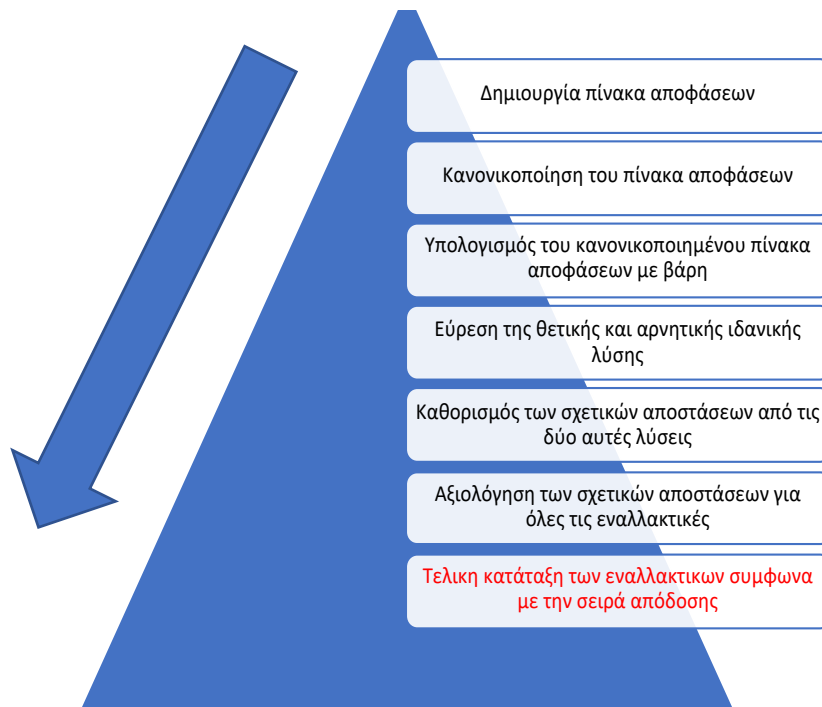


ΕΙΚΟΝΑ 23: Προσέγγιση υπολογισμού βαρών [34].

2.2.3. Μέθοδος TOPSIS

Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order by Similarity to Ideal Solution) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Hwang, C.L et al. [35] το 1981, όπου και ανανεώθηκε το 1993 [36] και βρήκε εφαρμογή σε πολλούς τομείς. Οι Amudha, M. et al. [37] την εφάρμοσε σε σταθμό πυρηνικής ενέργειας και οι Ghorui, N. et al. [38] στην επιλογή παρόχου cloud service.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι η επιλεγμένη εναλλακτική πρέπει να έχει την ελάχιστη γεωμετρική απόσταση από τη θετική ιδανική λύση (PIS) ή την ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση και την μεγαλύτερη γεωμετρική απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση (NIS) [39]. Η διαγραμματική δομή της συγκεκριμένης δομής παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



ΕΙΚΟΝΑ 24: Η δομή της μεθόδου TOPSIS

Πιο αναλυτικά, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής :

Βήμα 1: Για να βοηθήσουμε τους DM (decision-makers) δημιουργήσαμε ένα πίνακα αποφάσεων, όπου t decision maker επιλέγει από τις l εναλλακτικές σύμφωνα με το j κριτήριο και παρουσιάζεται στον πίνακα ως c_{lj}^t

$$DC_t = \begin{bmatrix} c_{11}^t & c_{12}^t & \dots & c_{1k}^t \\ c_{21}^t & c_{22}^t & \dots & c_{2k}^t \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1}^t & c_{m2}^t & \dots & c_{mk}^t \end{bmatrix}$$

Βήμα 2: Συλλογή όλων των απόψεων των DMs χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$DC = [c_{lj}]_{m \times k}; (l = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k)$$

Βήμα 3: Κανονικοποίηση του πίνακα αποφάσεων

$$\begin{cases} \bar{\alpha}_{lj} = \frac{c_{lj}}{\sum_{j=1}^k c_{lj}}, & \text{if } j \in B.C \\ \bar{\alpha}_{lj} = \frac{\sum_{j=1}^k c_{lj}}{c_{lj}}, & \text{if } j \in N.B.C \end{cases}$$

Όπου BC αφορά τα θετικά κριτήρια, ενώ το NBC τα αρνητικά κριτήρια. Και ο πίνακας αποφάσεων παίρνει αυτή τη μορφή:

$$\bar{D}C = \begin{bmatrix} \bar{\alpha}_{11} & \bar{\alpha}_{12} & \dots & \bar{\alpha}_{1k} \\ \bar{\alpha}_{21} & \bar{\alpha}_{22} & \dots & \bar{\alpha}_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{\alpha}_{m1} & \bar{\alpha}_{m2} & \dots & \bar{\alpha}_{mk} \end{bmatrix}$$

Βήμα 4: Στην συνέχεια, προσθέτουμε και τα βάρη στην εξίσωση για να πάρουμε τον κανονικοποιημένο πίνακα αποφάσεων με βάρη.

$$d_{lj} = w_j * \alpha_{lj}$$

Όπου $l=1,2,\dots,m$ και $j=1,2,\dots,k$, με w_j να είναι το βάρος του j παράγοντα, s.t. $0 \leq w_j$ for $j=1,2,\dots,k$ and $\sum_{j=1}^k w_j = 1$.

Βήμα 5: Υπολογισμός της θετικής και της αρνητικής ιδανικής λύσης. Η θετική ιδανική λύση (PIS) παρουσιάζεται ως I^+ και η αρνητική ιδανική λύση (NIS) παρουσιάζεται ως I^- και βρίσκονται από:

$$\begin{aligned} I_l^+ &= \{\bar{d}_1^+, \bar{d}_2^+, \dots, \bar{d}_k^+\} = \left\{ \left(\max \bar{d}_{lj} | l \in B.C. \right), \left(\min \bar{d}_{lj} | l \in N.B.C. \right) \right\} \\ I_l^- &= \{\bar{d}_1^-, \bar{d}_2^-, \dots, \bar{d}_k^-\} = \left\{ \left(\min \bar{d}_{lj} | l \in B.C. \right), \left(\max \bar{d}_{lj} | l \in N.B.C. \right) \right\} \end{aligned}$$

Βήμα 6: Υπολογισμός των αποστάσεων για κάθε εναλλακτική από την PIS και NIS χρησιμοποιώντας την n -διάστατη Ευκλείδεια απόσταση, η οποία καθορίζεται στις παρακάτω εξισώσεις:

$$G_l^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (d_{lj} - d_j^+)^2}$$

where $l = 1, 2, \dots, m$ and

$$G_l^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (d_{lj} - d_j^-)^2}$$

where $l = 1, 2, \dots, m$.

Βήμα 7: Υπολογισμός του συντελεστή σχετικής εγγύτητας (HI) προς το PIS και το NIS από τον παρακάτω τύπο:

$$H_l = \frac{G_l^-}{G_l^+ + G_l^-}$$

for $l = 1, 2, \dots, m$.

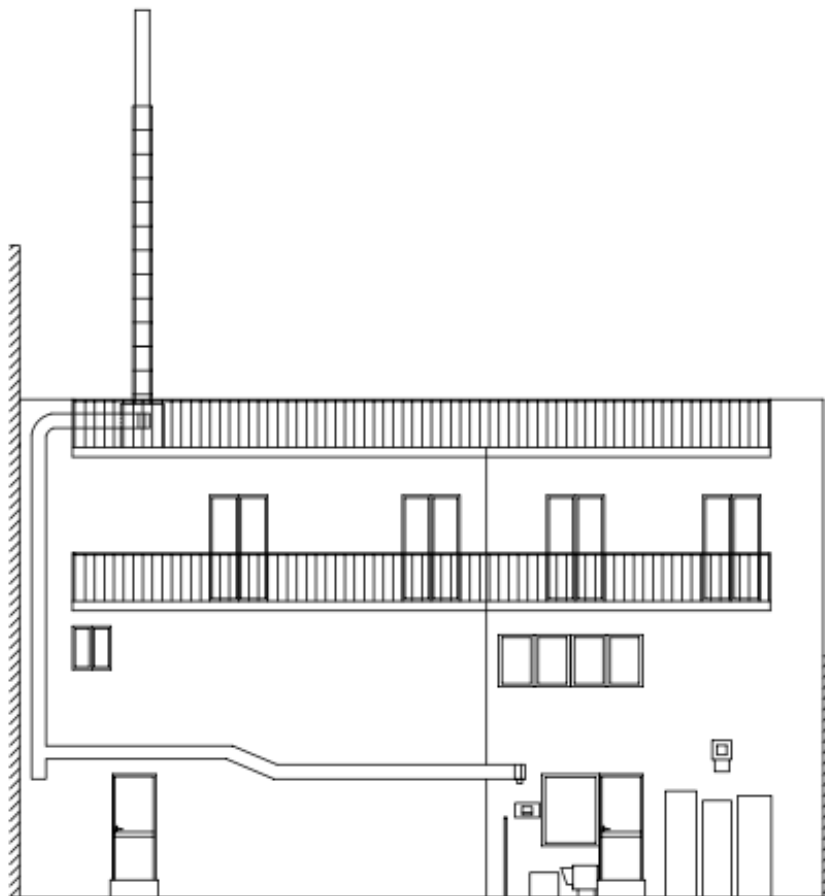
Βήμα 8: Υπολογισμός της κατάταξης των εναλλακτικών.

Ένα μέγιστο τιμής του συντελεστή σχετικής εγγύτητας (HI) δείχνει την υπερισχύουσα εναλλακτική λύση [34].

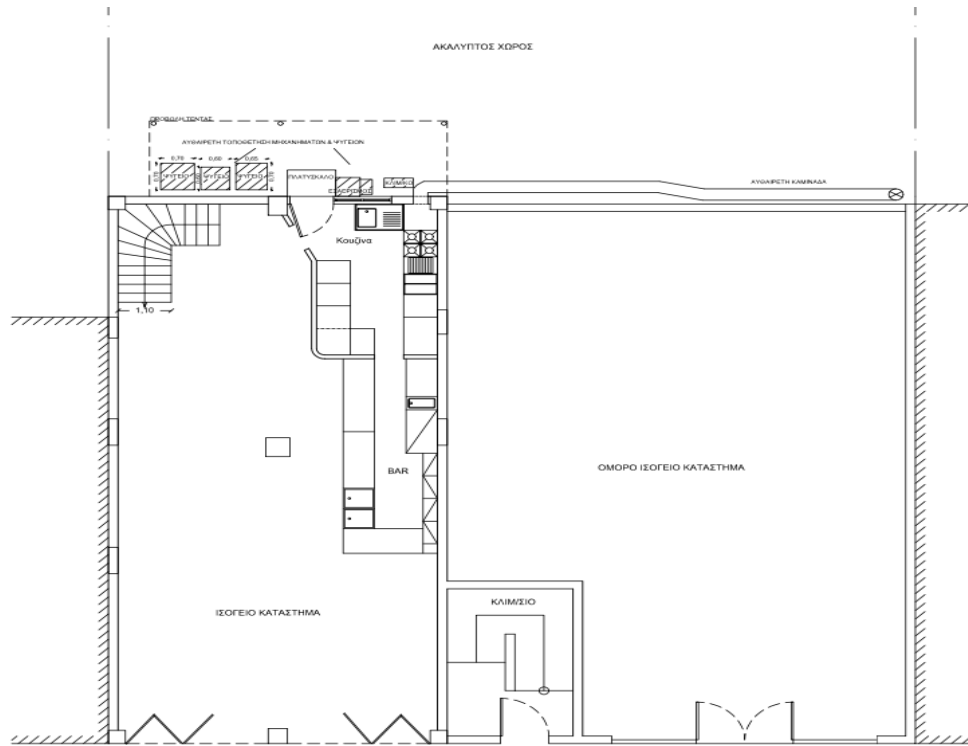
3. Μελέτη περίπτωσης

3.1. Υπολογισμός SRI για κτήριο στην Αθήνα

Αυτό το μέρος της διπλωματικής σχεδιάστηκε για να μετρήσει και να αξιολογήσει το κόστος αναβάθμισης των τεχνολογιών του κτηρίου που επιλέξαμε, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία SRI για τον προσδιορισμό της μεταβολής της έξυπνης ετοιμότητας, όταν εφαρμόζονται διάφορα σενάρια αναβάθμισης. Το υπό μελέτη κτήριο αφορά ένα κτήριο στα νότια της Αττικής και συγκεκριμένα στο Κορυδαλλό. Είναι ένα μαγαζί εστίασης 250 τ.μ. κατασκευής δεκαετίας του 90' και πρόσφατα ανακαινισμένο, το 2022.



ΕΙΚΟΝΑ 25: Όψη ακάλυπτου υπό μελέτη κτηρίου



ΕΙΚΟΝΑ 26: Κάτοψη υπό μελέτη κτηρίου

Το SRI υπολογίστηκε για ένα βασικό (baseline) σενάριο, δηλαδή την τρέχουσα κατάσταση του κτηρίου.

Στην αρχή, καθορίστηκαν οι γενικές πληροφορίες του κτηρίου. Ο τύπος το κτηρίου, η χρήση του κτηρίου, σε ποια κλιματική ζώνη βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο, η επιφάνεια δαπέδου, η χρονολογία κατασκευής, καθώς και ποια domain είναι εγκατεστημένα ή/και μπορούν να εφαρμοστούν(heating, cooling system, domestic hot water, controlled ventilation, lighting, dynamic envelope, electricity : renewable and storage, electric vehicle charging, monitoring & control).

Building type	Building Usage	Location	Climate zone	Total useful floor area of the building	Building state
Non-residential	Non-residential-other	Greece	South Europe	200-500 m ²	Renovated

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Πίνακας γενικών δεδομένων του κτηρίου

Heating	Cooling	Domestic hot water	ventilation	Lighting	Dynamic Building Envelope	Electricity	Electric vehicle charging	Monitoring and control
1	1	1	1	1	1	1	0	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Πίνακας καθορισμού domain στο κτήριο

Στο σημείο αυτό, να σχολιάσουμε ότι υπάρχουν 3 διαθέσιμες βαθμολογίες ανάλογα την κατάσταση του κάθε domain, σύμφωνα με την SRI μεθοδολογία. Ο βαθμός '0' εκφράζει την απουσία του domain στο κτήριο αλλά δεν είναι υποχρεωτικό, σε αντίθεση με το '2' που είναι πάλι απών αλλά αυτή τη φορά είναι υποχρεωτικό. Τέλος, αν η τεχνολογία είναι παρών στο

κτήριο τότε ο βαθμός είναι το '1'. Οι βαθμολογίες αυτές προφανώς, επηρεάζουν την τελική αξιολόγηση του δείκτη SRI, καθώς καθορίζουν το συνολικό κατάλογο των services που θα πρέπει να αξιολογήσουμε.

Στο κτήριο μας, όλα τα domain είναι παρών, πέρα από το Electric vehicle charging, όπου δεν υπάρχει χώρος για την εγκατάσταση των τεχνολογιών και πόσο μάλιστα για να σταθμεύσει ένα αμάξι για φόρτιση, καθώς μιλάμε για οικιστική περιοχή. Επίσης, στην Ελλάδα δεν θεωρείται υποχρεωτικό για ένα κτήριο, για αυτούς τους λόγους θεωρούμε ότι δεν είναι υποχρεωτικό και δεν θα επηρεάσει αρνητικά την συνολική αξιολόγηση του δείκτη SRI.

Αφού εξακριβώσαμε τα βασικά στοιχεία του κτηρίου συνεχίσαμε σε μια πιο λεπτομερή μελέτη του κτηρίου. Αυτό περιλάμβανε την εξέταση του εξοπλισμού, των συστημάτων κλιματισμού, της μόνωσης, των φωτιστικών συστημάτων, των ενεργειακών καταναλώσεων και άλλων παραμέτρων που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση και την έξυπνη λειτουργικότητα του κτηρίου.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης, έγινε συλλογή δεδομένων για τις διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με το SRI. Αυτά τα δεδομένα περιλάμβαναν την κατανάλωση ενέργειας, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, την χρήση τεχνολογιών έξυπνου κτηρίου και άλλες πληροφορίες που αφορούν την απόδοση και την έξυπνη λειτουργικότητα του κτηρίου.

Πιο αναλυτικά, στον τομέα της θέρμανσης, το κτήριο είναι εξοπλισμένο με ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης με μερικούς ηλεκτρονικούς ελεγκτές που επιτρέπουν τον μερικό έλεγχο της θερμοκρασίας. Το κεντρικό σύστημα θέρμανσης λειτουργεί είτε με χειροκίνητη ενεργοποίηση /on-off είτε με λίγους θερμοστάτες για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένους χώρους. Στο τομέα της παροχής ζεστού νερού, το κτήριο είναι εξοπλισμένο με ένα σύστημα θέρμανσης νερού που περιλαμβάνει έναν θερμοσίφωνα με λειτουργία on-off και ένα χρονοδιακόπτη, για προγραμματισμένη λειτουργία. Παράλληλα, το σύστημα συνδέεται με ηλιακούς συλλέκτες, προσφέροντας έτσι την θέρμανση του ζεστού νερού μέσω ανανεώσιμων πηγών. Στον τομέα της ψύξης, το κτήριο διαθέτει ένα σύστημα κεντρικής ψύξης με θερμοστάτες σε κάθε χώρο, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με ενδείξεις και παρέχουν και μερικές αναφορές. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε κάθε χώρο ξεχωριστά, προσφέροντας έτσι μια μεγαλύτερη άνεση και ευελιξία στους χρήστες, σε σχέση με την θέρμανση. Όσον αφορά το φωτισμό, το κτήριο χρησιμοποιεί διακόπτες on-off και χειροκίνητους ρυθμιστές φωτεινότητας (manual dimmers). Αυτή η λύση παρέχει στους χρήστες τον έλεγχο του φωτισμού σε κάθε χώρο, επιτρέποντας τους να προσαρμόζουν χειροκίνητα τη φωτεινότητα σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους. Τέλος, διαθέτει επίσης παράθυρα που λειτουργούν χειροκίνητα, δεν υπάρχουν συστήματα σκίασης, ενώ ο έλεγχος της κατανάλωσης ενέργειας και το monitoring and control γίνονται χειροκίνητα με τη χρήση λίγων αισθητήρων.

Αφού συλλέξαμε πληροφορίες για τις διαθέσιμες τεχνολογίες στο κτήριο, ενσωματώσαμε αυτά τα δεδομένα στο Excel του Smart Readiness Indicator (SRI). Επιλέξαμε τα επίπεδα λειτουργικότητας (functionality levels) για κάθε ένα service, τα οποία μπορεί να είναι από 0 έως 4 ανάλογα τις προϋποθέσεις του κάθε επιπέδου, προκειμένου να καθορίσουμε το βασικό σενάριο (baseline scenario). Αυτή η διαδικασία επέτρεψε την αντιστοίχιση των διαθέσιμων τεχνολογιών με τα επίπεδα λειτουργικότητας, παρέχοντας μια βάση για την αξιολόγηση του κτηρίου σύμφωνα με την μεθοδολογία του SRI.

Code	Smart ready service	Service group	Main Functionality level as inspected	Technologies
H-1a	Heat emission control	Heat control - demand side	2	Individual room control (e.g. thermostatic valves, or electronic controller)
H-1b	Emission control for TABS (heating mode)	Heat control - demand side	2	Advanced central automatic control
H-1c	Control of distribution fluid temperature (supply or return air flow or water flow) - Similar function can be applied to the control of direct electric heating networks	Heat control - demand side	1	Outside temperature compensated control
H-1d	Control of distribution pumps in networks	Heat control - demand side	1	On off control
H-1f	Thermal Energy Storage (TES) for building heating (excluding TABS)	Heat control - demand side	1	Time-scheduled storage operation
H-2a	Heat generator control (all except heat pumps)	Control heat production facilities	1	Variable temperature control depending on outdoor temperature
H-2b	Heat generator control (for heat pumps)	Control heat production facilities	0	On/Off-control of heat generator
H-2d	Sequencing in case of different heat generators	Control heat production facilities	-	-
H-3	Report information regarding heating system performance	Information to occupants and facility managers	0	None
H-4	Flexibility and grid interaction	Flexibility and grid interaction	0	No automatic control

DHW-1a	Control of DHW storage charging (with direct electric heating or integrated electric heat pump)	Control DHW production facilities	1	Automatic control on / off and scheduled charging enable
DHW-1b	Control of DHW storage charging (using hot water generation)	Control DHW production facilities	1	Automatic control on / off and scheduled charging enable
DHW-1d	Control of DHW storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)	Control DHW production facilities	1	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge
DHW-2b	Sequencing in case of different DHW generators	Control DHW production facilities	-	-
DHW-3	Report information regarding domestic hot water performance	Information to occupants and facility managers	0	None
C-1a	Cooling emission control	Cooling control - demand side	2	Individual room control
C-1b	Emission control for TABS (cooling mode)	Cooling control - demand side	1	Central automatic control
C-1c	Control of distribution network chilled water temperature (supply or return)	Cooling control - demand side	1	Outside temperature compensated control
C-1d	Control of distribution pumps in networks	Cooling control - demand side	2	Multi-Stage control
C-1f	Interlock: avoiding simultaneous heating and	Cooling control - demand side	0	No interlock

	cooling in the same room			
C-1g	Control of Thermal Energy Storage (TES) operation	Cooling control - demand side	0	Continuous storage operation
C-2a	Generator control for cooling	Control cooling production facilities	0	On/Off-control of cooling production
C-2b	Sequencing of different cooling generators	Control cooling production facilities	4	Sequencing based on dynamic priority list, including external signals from grid
C-3	Report information regarding cooling system performance	Information to occupants and facility managers	1	Central or remote reporting of current performance KPIs (e.g. temperatures, submetering energy usage)
C-4	Flexibility and grid interaction	Flexibility and grid interaction	0	No automatic control
V-1a	Supply air flow control at the room level	Air flow control	1	Clock control
V-1c	Air flow or pressure control at the air handler level	Air flow control	4	Automatic flow or pressure control with pressure reset: Load dependent supplies of air flow for the demand of all connected rooms (for variable air volume systems with VFD).
V-2c	Heat recovery control: prevention of overheating	Air temperature control	2	Modulate or bypass heat recovery based on multiple room temperature sensors or predictive control
V-2d	Supply air temperature control at the air handling unit level	Air temperature control	2	Variable set point with outdoor temperature compensation
V-3	Free cooling with mechanical ventilation system	Free cooling	0	No automatic control
V-6	Reporting information regarding IAQ		1	Air quality sensors (e.g. CO2) and real time autonomous monitoring

		Feedback - Reporting information		
L-1a	Occupancy control for indoor lighting	Artificial lighting control	0	Manual on/off switch
L-2	Control artificial lighting power based on daylight levels	Control artificial lighting power based on daylight levels	1	Manual (per room / zone)
DE-1	Window solar shading control	Window control	0	No sun shading or only manual operation
DE-2	Window open/closed control, combined with HVAC system	Window control	0	Manual operation or only fixed windows
DE-4	Reporting information regarding performance of dynamic building envelope systems	Feedback - Reporting information	0	No reporting
E-2	Reporting information regarding local electricity generation	Feedback - Reporting information	0	None
E-3	Storage of (locally generated) electricity	DER - Storage	0	None
E-4	Optimizing self-consumption of locally generated electricity	DER- Optimization	0	None
E-5	Control of combined heat and power plant (CHP)	DER - Generation Control	0	CHP control based on scheduled runtime management and/or current heat energy demand
E-8	Support of (micro)grid operation modes	DSM- Storage	0	None

E-11	Reporting information regarding energy storage	Feedback - Reporting information	1	Current state of charge (SOC) data available
E-12	Reporting information regarding electricity consumption	Feedback - Reporting information	1	reporting on current electricity consumption on building level
EV-15	EV Charging Capacity	EV Charging	-	-
EV-16	EV Charging Grid balancing	EV Charging - Grid	-	-
EV-17	EV charging information and connectivity	EV Charging - connectivity	-	-
MC-3	Run time management of HVAC systems	HVAC interaction control	0	Manual setting
MC-4	Detecting faults of technical building systems and providing support to the diagnosis of these faults	Fault detection	0	No central indication of detected faults and alarms
MC-9	Occupancy detection: connected services	TBS interaction control	0	None
MC-13	Central reporting of TBS performance and energy use	Feedback - Reporting information	0	None
MC-25	Smart Grid Integration	Smart Grid Integration	0	None - No harmonization between grid and TBS; building is operated independently from the grid load
MC-28	Reporting information regarding demand side management	Feedback - Reporting information	0	None

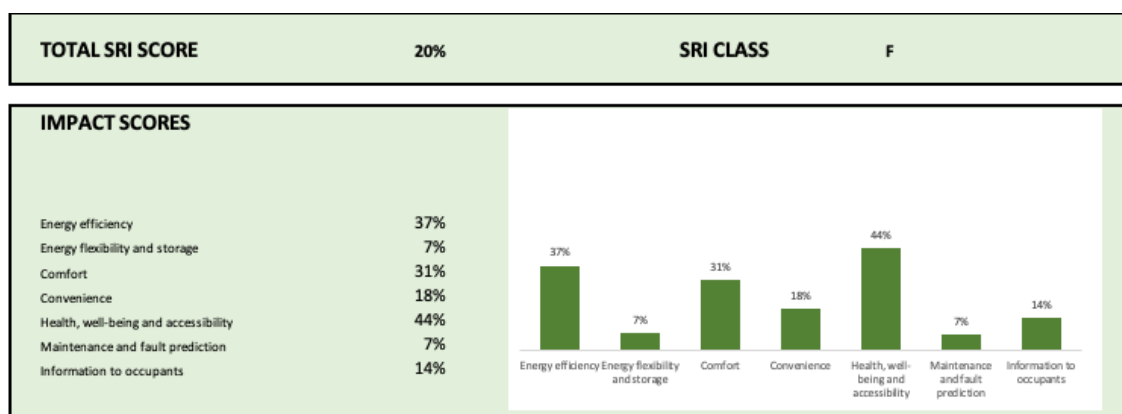
	performance and operation			
MC-29	Override of DSM control	Override control	0	No DSM control
MC-30	Single platform that allows automated control & coordination between TBS + optimization of energy flow based on occupancy, weather and grid signals	Single platform that allows automated control & coordination between TBS + optimization of energy flow based on occupancy, weather and grid signals	0	None

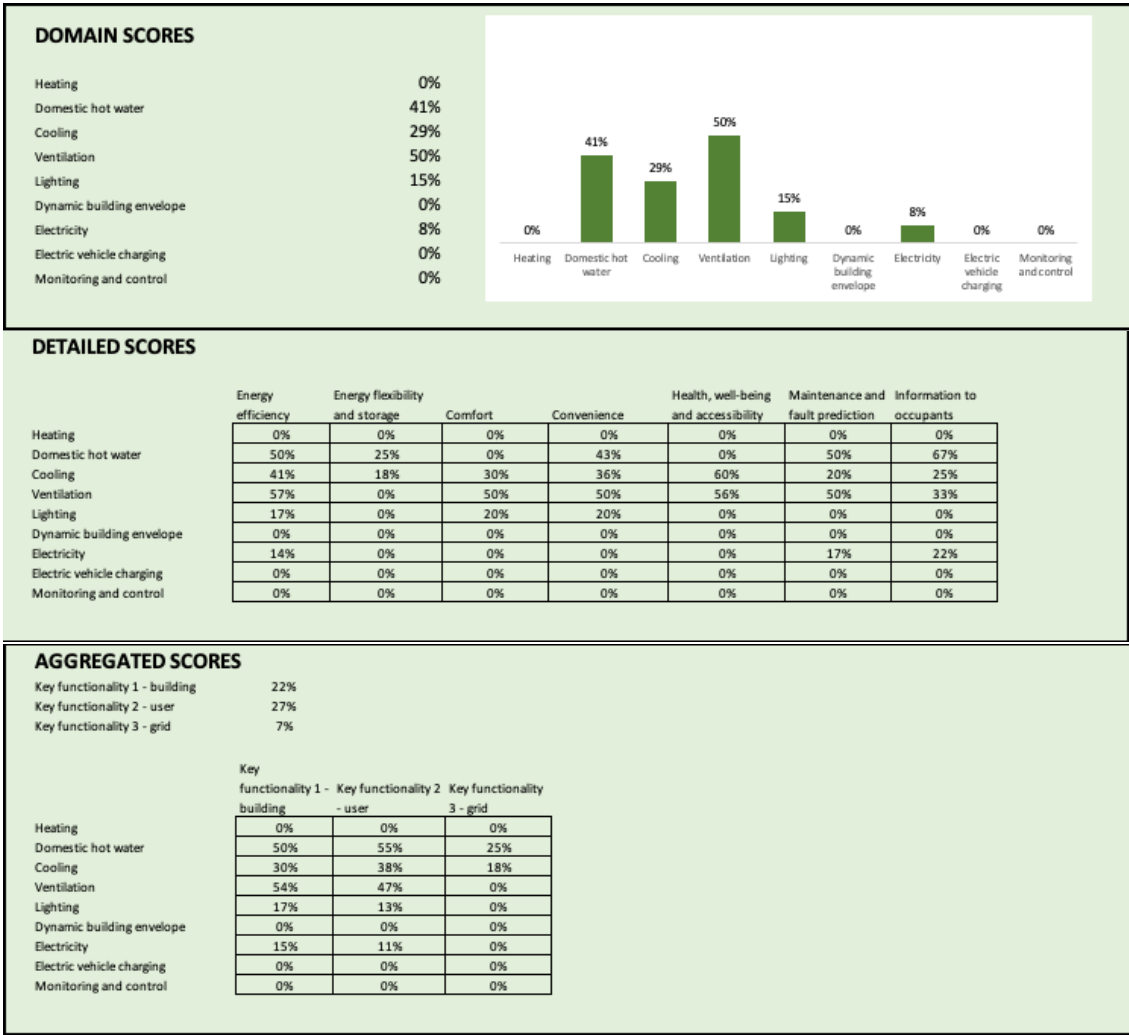
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Functionality level of services και οι αντίστοιχες τεχνολογίες του κτηρίου

Όπου « - » χρησιμοποιήθηκε για να δηλώσουμε τα service που δεν βρίσκουν εφαρμογή στο κτήριο μας και για αυτό δεν επηρεάζουν την SRI μεθοδολογία και συνεπώς δεν συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση της εργασίας μας.

Σε αυτό το σημείο είναι κρίσιμο να κατανοήσουμε την γενικότητα των functionality level και την πιθανή ασάφεια στην τοποθέτηση τους ανάμεσα στα επιλεγμένα ή στα επόμενα/προηγούμενα επίπεδα. Αυτή η παρατήρηση είναι σημαντική και πρέπει να την συμπεριλάβουμε υπόψη όταν θα βγάλουμε τα αποτελέσματα. Η απόφαση που λάβαμε για τη συνοχή της εργασίας μας και τη διατήρηση ενός συνεπούς προτύπου. Κρατώντας πάντα το χαμηλότερο επίπεδο όταν υπήρχε δίλλημα, δίνοντας έτσι περισσότερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα.

Αφού καθορίσαμε τα επίπεδα των υπηρεσιών-services για όλα τα domain καταφέραμε να εξάγουμε την συνολική βαθμολογία του δείκτη SRI για το συγκεκριμένο κτήριο.





EIKONA 27: Τελικά αποτελέσματα για το baseline SRI

Μετά την διεξαγωγή της ανάλυσης των δεδομένων μας, παρουσιάζονται αναλυτικά αποτελέσματα σε διάφορους πίνακες. Οι πίνακες που δημιουργήθηκαν ήταν οι εξής:

1. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει την συνολική βαθμολογία (20%) και την τάξη του (F) για το κτήριο που μελετήσαμε.
2. Στην συνέχεια έχουμε τους δύο πίνακες για μεμονωμένα η βαθμολογία για κάθε ξεχωριστό impact score και domain score.
3. Στο πίνακα με τα detailed scores παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των 2 παραπάνω πινάκων.
4. Τέλος, παρουσιάζονται οι συγκεντρωτικές βαθμολογίες για τα 3 key functionality (building, user, grid).

Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν μεγάλη έμφαση των τεχνολογιών για την υγεία και την άνεση των ανθρώπων και έπειτα στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Οι τεχνολογίες επικεντρώνονται κυρίως σε συστήματα θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού και φωτισμού, ενώ όσο αναφορά το τομέα της πληροφορίας είναι μηδενικός.

3.2. Δράσεις αναβάθμισης

Καθώς έχουμε καθορίσει τα επίπεδα λειτουργικότητας για το βασικό σενάριο, προτείνονται διάφορες δράσεις αναβάθμισης που καλύπτουν όλα τα επίπεδα έως το μέγιστο δυνατό. Κάθε ένα από αυτά τα επίπεδα αποτελεί μια εναλλακτική δράση για τη βελτίωση του SRI του κτηρίου και αποτελούν μια δεξαμενή με 121 πιθανές εναλλακτικές. Αυτές οι δράσεις επανεξετάζουν τις υφιστάμενες τεχνολογίες, προσθέτουν νέες λειτουργίες και ενισχύουν την ικανότητα ανταπόκρισης σε διάφορες ανάγκες. Καθώς επιλέγουμε προς αναβάθμιση κάποια επίπεδα, επιδιώκουμε μια πιο ολοκληρωμένη έξυπνη λύση για το κτήριο, επιτρέποντας την καλύτερη απόδοση, άνεση και ενεργειακή αποδοτικότητα. Συνεπώς, κάθε επίπεδο αναβάθμισης παρέχει μια συγκεκριμένη συμβολή στη συνολική ικανότητα του κτηρίου.

Κάθε επίπεδο λειτουργίας έχει ένα συγκεκριμένο βαθμό για κάθε impact score, και το οποίο αυξάνεται ή στην χειρότερη παραμένει ίδιος όταν ανεβαίνει επίπεδο η υπηρεσία. Όπως είδαμε και από την θεωρία ο συνολικός βαθμός του δείκτη SRI, υπολογίζεται απλά αθροίζοντας όλες τις επιμέρους βαθμολογίες με τα αντίστοιχα βάρη που έχουν οριστεί από την θεωρία (βλ. Θεωρητικό υπόβαθρο) διαιρώντας με την μέγιστη ικανή βαθμολογία που μπορεί να επιτευχθεί στο κτήριο αυτό. Συνεπώς, η μεταβολή στην συνολική βαθμολογία που επιφέρει η κάθε εναλλακτική δεν επηρεάζεται αν συνδυάσουμε και άλλες εναλλακτικές πριν ή μετά από αυτή. Για αυτό ακριβώς το λόγο για να βρούμε την αύξηση που επιφέρει κάθε εναλλακτική στην συνολική βαθμολογία του SRI, δημιουργήσαμε μεμονωμένα σενάρια για κάθε μία από αυτές και μετρήσαμε σε κάθε μία την αύξηση.

Ας πάρουμε για παράδειγμα, την υπηρεσία με κωδικό H-1a που αφορά την θέρμανση και πιο συγκεκριμένα, την τεχνολογία για τον σωστό έλεγχο αυτής. Το κτήριο μας έχει την τεχνολογία του επιπέδου 2, καθώς έχει ανεξάρτητο ψηφιακό θερμοστάτη σε κάθε δωμάτιο (όπως αναφέραμε και παραπάνω). Αυτό σημαίνει ότι παίρνει και την αντίστοιχη βαθμολογία σε κάθε ένα από τα επιμέρους impact score του δείκτη SRI, δηλαδή energy efficiency =2, energy flexibility=0, comfort=2, convenience= 2, health=2, M&fp= 0 και information=0(βλ. Εικόνα 29).

South Europe							
	Energy efficiency	Energy flexibility and storage	Comfort	Convenience	Health, well-being and accessibility	Maintenance and fault prediction	Information to occupants
Heating	0.30	0.42	0.16	0.1	0.2	0.36	0.11
Domestic hot water	0.11	0.15	0.00	0.1	0	0.13	0.11
Cooling	0.12	0.16	0.16	0.1	0.2	0.14	0.11
Ventilation	0.09	0.00	0.16	0.1	0.20	0.10	0.11
Lighting	0.12	0.00	0.16	0.1	0.00	0.00	0.00
Electricity	0.02	0.02	0.00	0.1	0.00	0.02	0.11
Dynamic building envelope	0.05	0	0.16	0.1	0.20	0.05	0.11
Electric vehicle charging	0	0.05	0	0.1	0	0	0.11
Monitoring and control	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
IMPACT WEIGHTINGS							
	Energy efficiency	Energy flexibility and storage	Comfort	Convenience	Health, well-being and accessibility	Maintenance and fault prediction	Information to occupants
	0.17	0.33	0.08	0.08	0.08	0.17	0.08

ΕΙΚΟΝΑ 28:Τα βάρη για κάθε domain ανά impact score για το κτήριο μας

Τώρα αυτό που εξετάζουμε σε κάθε εναλλακτική είναι η διαφορά στην βαθμολογία του κάθε impact από την αρχική βαθμολογία που είχαμε στο baseline scenario. Θα πάρουμε ξανά το παράδειγμα του heat emission control. Έστω ότι θέλουμε η μία εναλλακτική μας να είναι η αναβάθμιση στο επίπεδο 4. Διαπιστώνουμε εύκολα, ότι η διαφορά από το επίπεδο 2 που είναι

το baseline scenario βρίσκεται μόνο στο energy efficiency =2, στο convenience=1 και στο M&fr=1, που στην συνολική βαθμολογία του SRI επιφέρει αύξηση της τάξης 0.015 ή 1.5%.

code	service	1						
H-1a	Heat emission control	Service group: Heat control - demand side						
Functionality levels		IMPACTS						
		Energy efficiency	Energy flexibility and storage	Comfort	Convenience	Health, well-being and accessibility	Maintenance and fault prediction	Information to occupants
level 0	No automatic control	0	0	0	0	0	0	0
level 1	Central automatic control (e.g. central thermostat)	1	0	1	1	1	0	0
level 2	Individual room control (e.g. thermostatic valves, or electronic controller)	2	0	2	2	2	0	0
level 3	Individual room control with communication between controllers and to BACS	2	0	2	3	2	1	0
level 4	Individual room control with communication and occupancy detection	3	0	2	3	2	1	0

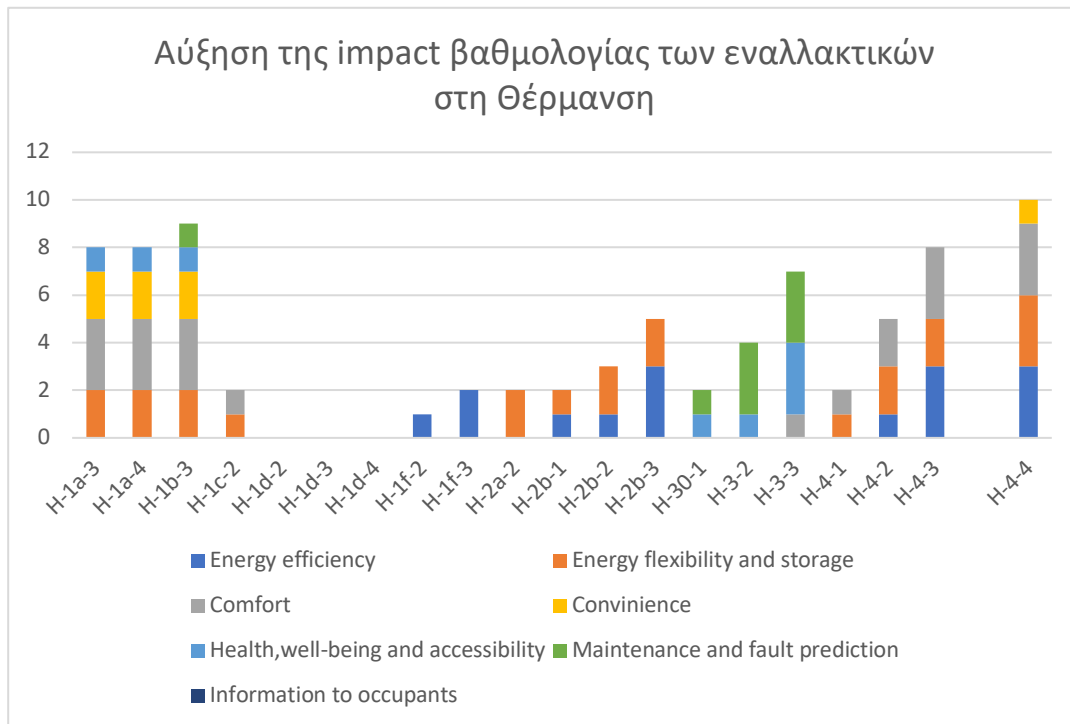
ΕΙΚΟΝΑ 29: Η αναλυτική βαθμολογία για κάθε impact ανά επίπεδο λειτουργίας για το heat emission control(H-1a)

Στους παρακάτω πίνακες παρατηρούμε τη συνολική αύξηση του δείκτη SRI για κάθε εναλλακτική πρόταση. Ωστόσο, για να αναλύσουμε περαιτέρω την επίδραση κάθε εναλλακτικής στο SRI, θα παρουσιάσουμε επίσης διαγράμματα για την επιμέρους αύξηση σε κάθε impact. Αυτά τα διαγράμματα προσφέρουν μια λεπτομερή εικόνα για το πως επηρεάζει η κάθε εναλλακτική το SRI καθώς και τα επιμέρους domain και impact.

Ακολουθώντας την ίδια ακριβώς διαδικασία για κάθε μία από τις 121 εναλλακτικές έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise
H-1a/3	0.0085	H-1f/2	0.037	H-3/2	0.002
H-1a/4	0.015	H-1f/3	0.054	H-3/3	0.018
H-1b/3	0.018	H-2a/2	0.008	H-4/1	0.003
H-1c/2	0.006	H-2b/1	0.025	H-4/2	0.029
H-1d/2	0.006	H-2b/2	0.033	H-4/3	0.065
H-1d/3	0.006	H-2b/3	0.068	H-4/4	0.068
H-1d/4	0.006	H-3/1	0.001		

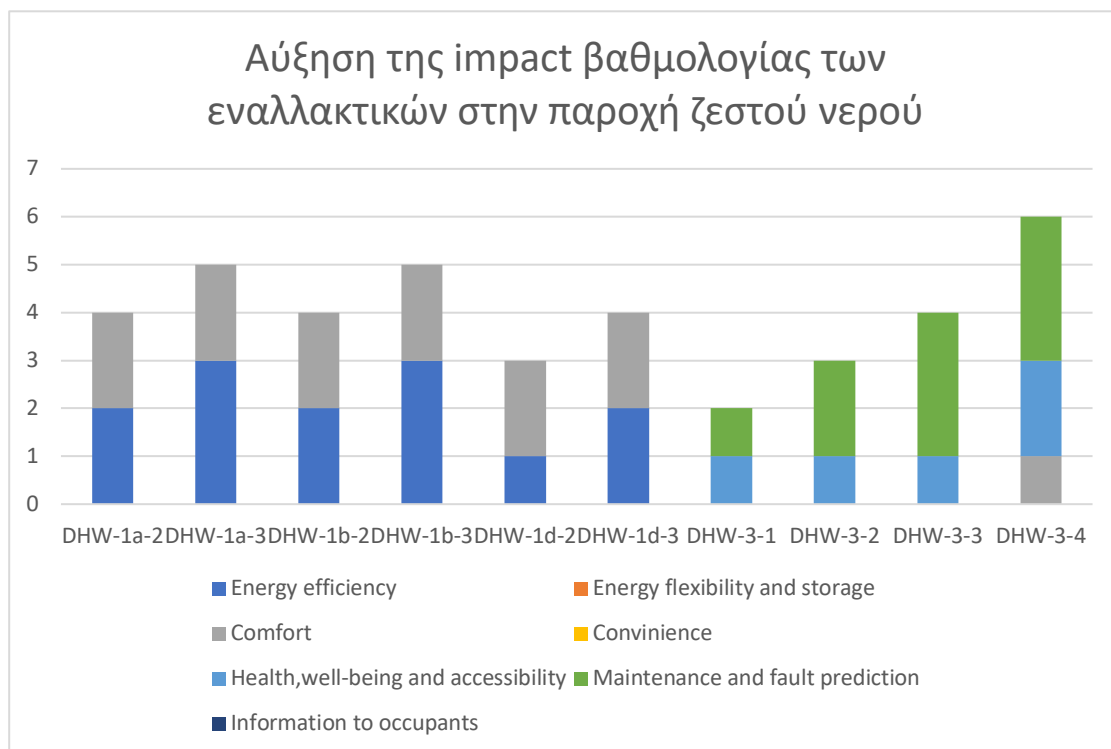
ΠΙΝΑΚΑΣ 4:Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το Heating



ΕΙΚΟΝΑ 30: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(Heating) στα επιμέρους impact του SRI

Code/level	SRI_raise	Code/level	SRI_raise	Code/level	SRI_raise
DHW-1a/2	0.009	DHW-1d/2	0.009	DHW-3/3	0.008
DHW-1a/3	0.016	DHW-1d/3	0.018	DHW-3/4	0.012
DHW-1b/2	0.009	DHW-3/1	0.006		
DHW-1b/3	0.016	DHW-3/2	0.007		

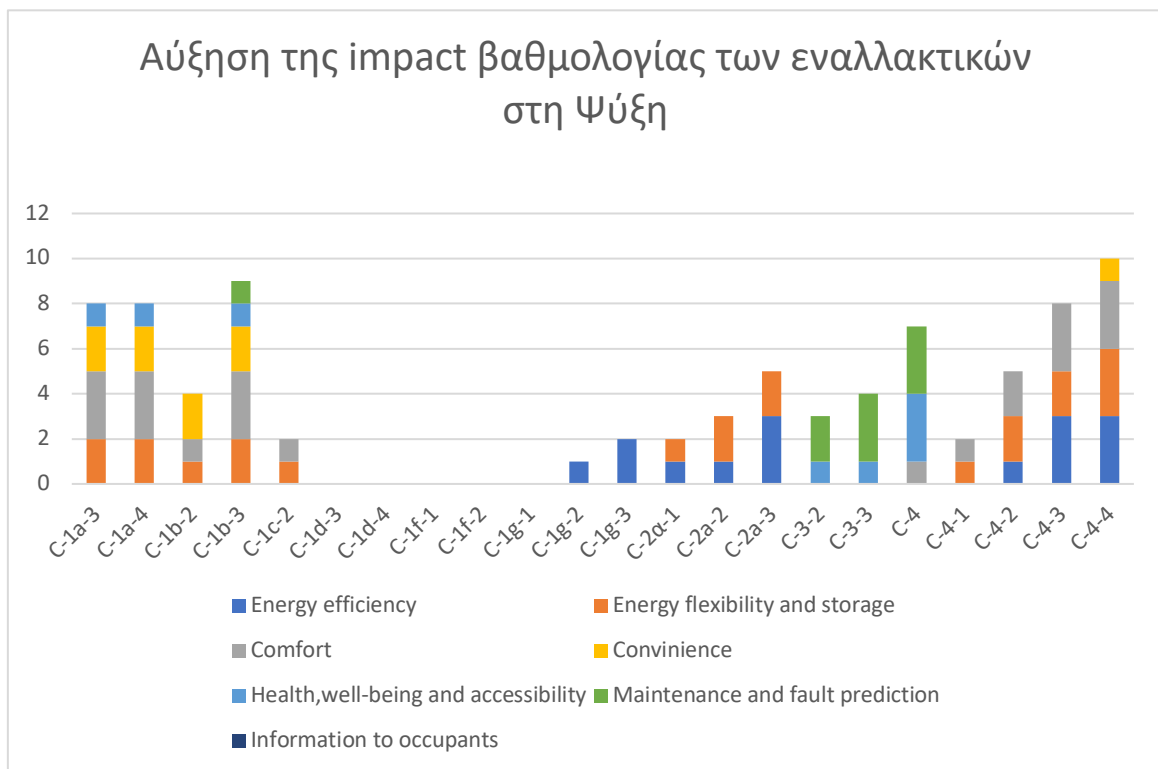
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το DHW



ΕΙΚΟΝΑ 31: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(DHW) στα επιμέρους impact του SRI

Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise
C-1a/3	0.008	C-1f/2	0.002	C-3/3	0.009
C-1a/4	0.010	C-1g/1	0.012	C-4/1	0.017
C-1b/2	0.008	C-1g/2	0.018	C-4/2	0.031
C-1b/3	0.010	C-1g/3	0.011	C-4/3	0.035
C-1c/2	0.005	C-2a/1	0.015	C-4/4	0.013
C-1d/3	0.005	C-2a/2	0.028		
C-1d/4	0.005	C-2a/3	0.001		
C-1f/1	0.007	C-3/2	0.002		

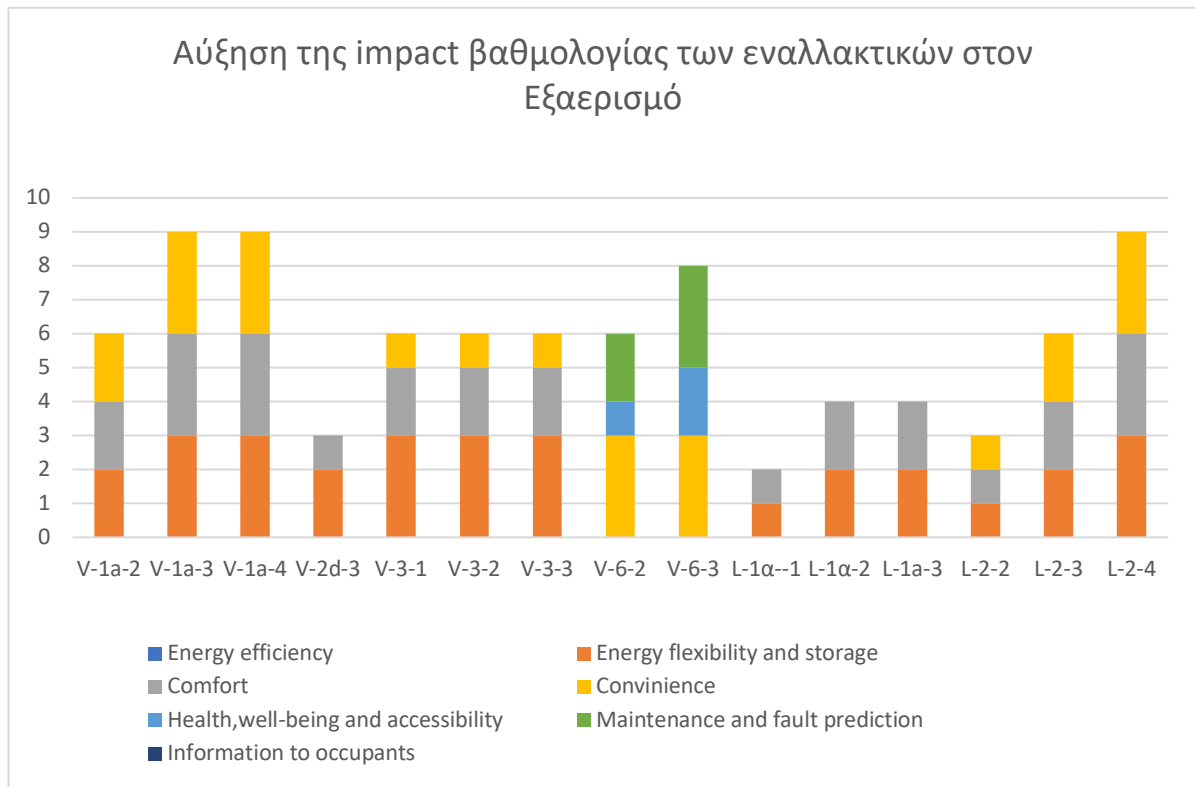
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το cooling



ΕΙΚΟΝΑ 32: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(Cooling) στα επιμέρους impact του SRI

Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise
V-1a/2	0.019	V-3/2	0.019	L-1a/2	0.013
V-1a/3	0.021	V-3/3	0.021	L-1a/3	0.018
V-1a/4	0.010	V-6/2	0.023	L-2/2	0.021
V-2d/3	0.012	V-6/3	0.011	L-2/3	0.016
V-3/1	0.012	L-1a/1	0.015	L-2/4	0.021

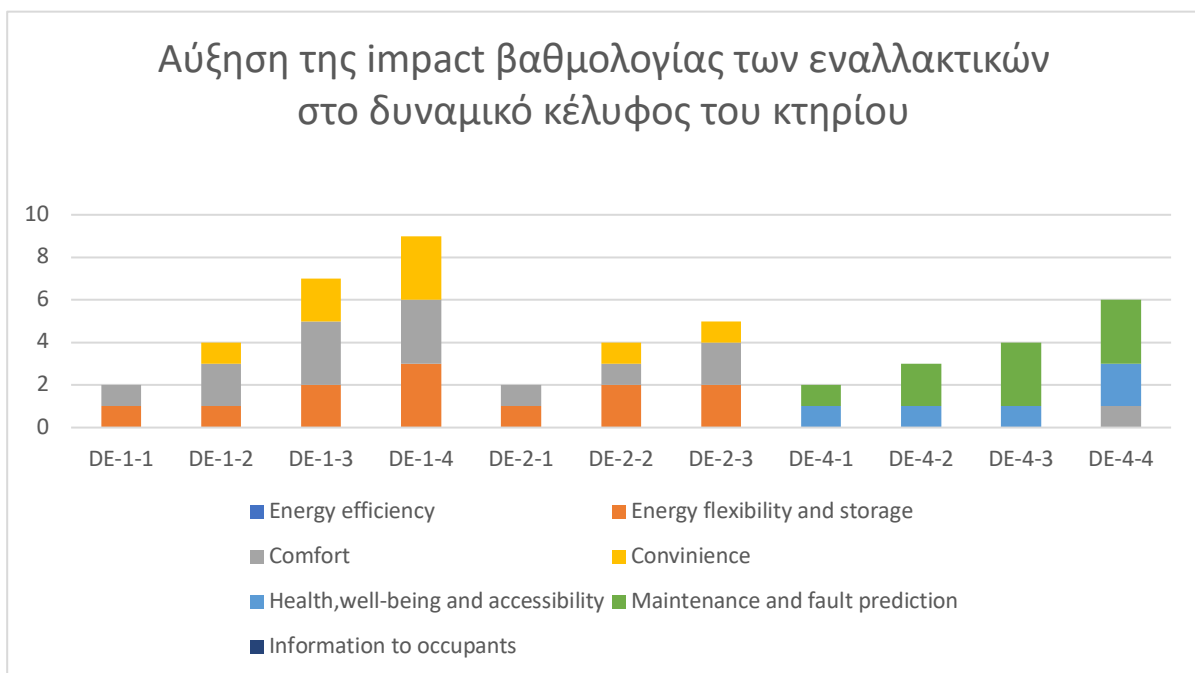
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το ventilation and lighting



ΕΙΚΟΝΑ 33: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(V and L) στα επιμέρους impact του SRI

Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise
DE-1/1	0.024	DE-2/1	0.031	DE-4/2	0.015
DE-1/2	0.017	DE-2/2	0.018	DE-4/3	0.017
DE-1/3	0.021	DE-2/3	0.022	DE-4/4	0.018
DE-1/4	0.027	DE-4/1	0.023		

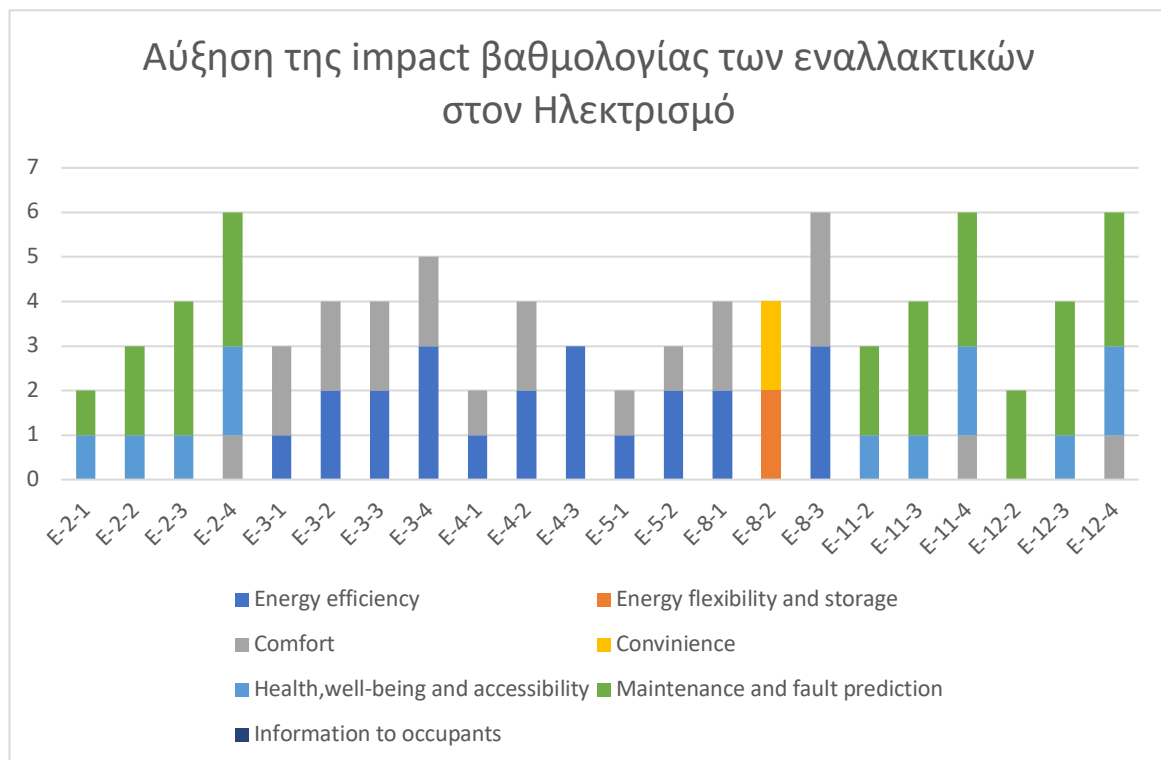
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το DE



ΕΙΚΟΝΑ 34: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(DE) στα επιμέρους impact του SRI

Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise
E-2/1	0.020	E-4/1	0.018	E-11/2	0.019
E-2/2	0.015	E-4/2	0.015	E-11/3	0.015
E-2/3	0.016	E-4/3	0.017	E-11/4	0.016
E-2/4	0.017	E-5/1	0.018	E-12/2	0.017
E-3/1	0.016	E-5/2	0.015	E-12/3	0.019
E-3/2	0.017	E-8/1	0.017	E-12/4	0.015
E-3/3	0.017	E-8/2	0.017		
E-3/4	0.019	E-8/3	0.017		

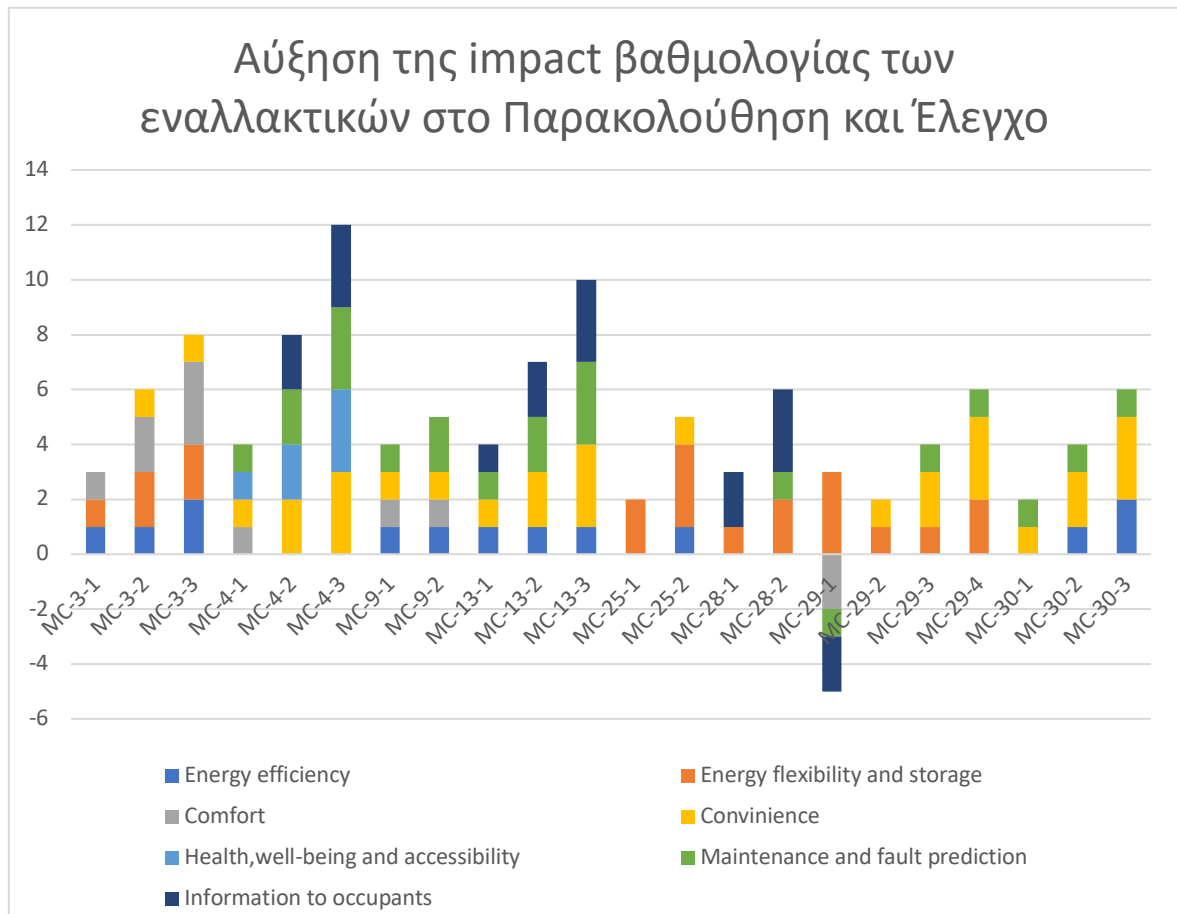
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το electricity



ΕΙΚΟΝΑ 35: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική(E) στα επιμέρους impact του SRI

Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise	Code/level	SRI raise
MC-3/1	0.017	MC-13/1	0.026	MC-29/2	0.024
MC-3/2	0.018	MC-13/2	0.034	MC-29/3	0.030
MC-3/3	0.040	MC-13/3	0.042	MC-29/4	0.040
MC-4/1	0.055	MC-25/1	0.030	MC-30/1	0.019
MC-4/2	0.034	MC-25/2	0.044	MC-30/2	0.026
MC-4/3	0.044	MC-28/1	0.026	MC-30/3	0.033
MC-9/1	0.026	MC-28/2	0.040		
MC-9/2	0.030	MC-29/1	0.026		

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Αύξηση του δείκτη SRI για όλες τις εναλλακτικές που αφορούν το MC



ΕΙΚΟΝΑ 36: Η αύξηση που επιφέρει η κάθε εναλλακτική (MC) στα επιμέρους impact του SRI

Κάθε πρόταση αντιστοιχεί σε μία κάθετη στήλη στα γραφήματα. Κάθε domain αναπαρίστανται με ένα χρωματικό κουτί ή πλαίσιο που απεικονίζεται στην κατάλληλη θέση στην κάθετη γραμμή της πρότασης.

Με παρόμοιο τρόπο, λοιπόν, συμπληρώνουμε και τα 57 services. Αυτό αποτελεί την ολοκλήρωση μίας πρώτης φάσης στο πείραμα που διεξάγουμε. Στην συνέχεια του πειράματος, μπαίνουμε σε μία δεύτερη φάση, που δεν είναι άλλη από την κοστολόγηση όλων των πιθανών σεναρίων για την βελτίωση του τρέχοντος, ή αλλιώς baseline, σεναρίου.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για τον υπολογισμό του Smart Readiness Indicator (SRI) με βάση διάφορες εναλλακτικές προτάσεις/δράσεις αποδεικνύεται ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την κατανόηση της συνολικής επίδρασης και των επιμέρους συνιστωσών. Η επιμέρους ανάλυση μέσω των διαγραμμάτων που δόθηκαν θα αποκαλύψει τις συγκεκριμένες συνεισφορές κάθε πρότασης στα διάφορα impact. Συνολικά, αυτή η ενότητα παρέχει ένα ολοκληρωμένο κατάλογο όλων των εναλλακτικών, ανοίγοντας τον δρόμο για την επόμενη φάση της ανάλυσης μας, που δεν είναι άλλη από την κοστολόγηση κάθε μία από αυτές, με σκοπό να μπορέσουμε να έχουμε όλα τα κριτήρια για την πολυκριτήρια ανάλυση που θα ακολουθηθεί.

3.3. Κοστολόγηση εναλλακτικών δράσεων

Καθώς ολοκληρώσαμε την ανάλυση των εναλλακτικών δράσεων για την αύξηση του SRI, προχωρούμε πλέον στο στάδιο της κοστολόγησης. Η κοστολόγηση αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα για την αποτελεσματική εκτίμηση της βιωσιμότητας και εφικτότητας κάθε εναλλακτικής λύσης.

Όπως είδαμε στη προηγούμενη ενότητα, διατυπώσαμε διάφορα σενάρια αναβάθμισης για το κτήριο λαμβάνοντας υπόψη διάφορες τεχνολογίες και μέτρα που μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση και την άνεση των κατοίκων. Για παράδειγμα, αναβαθμίσεις στις υπάρχοντες τεχνολογίες, εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου θέρμανσης, ψύξης και χρήση κάποιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [40].

Στην συνέχεια, μετά από έρευνα για τις διάφορες τεχνολογίες και μέτρα, το οποίο περιλαμβάνει την ανάγνωση βέλτιστων πρακτικών, την συλλογή τεχνικών προδιαγραφών εξοπλισμού και την ανάλυση των πιθανών οφελών και κόστων τους. Βέβαια, σημαντική ήταν και η συμβολή του υπεύθυνου μηχανικού που επιμελήθηκε την πρόσφατη ανακαίνιση του κτηρίου, με τον οποίο έγινε η συν-αξιολόγηση της τεχνικής εφικτότητας και της πιθανής απόδοσης των σεναρίων αναβάθμισης.

Την παραπάνω έρευνα ακολούθησε η εύρεση του κόστους για κάθε σενάριο αναβάθμισης (συνολικά 121 περιπτώσεων). Αυτή περιλαμβάνει την εκτίμηση του κόστους εξοπλισμού και την τα υλικά που θα απαιτηθούν για την υλοποίηση της αναβάθμισης, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι εργατικές αμοιβές.

Συνεπώς η γραμμή που τηρήθηκε ήταν η ακόλουθη. Η αρχή έγινε από τα 10 services που έχει το heat domain, όπου στο πρώτο service το baseline μας έχει functionality level 2. Οπότε και εμείς αξιολογήσαμε την αναβάθμιση και το κόστος του συγκεκριμένου service από επίπεδο 2 σε επίπεδο 3 και στην συνέχεια το κόστος από το επίπεδο 2 στο επίπεδο 4. Όπως θα δούμε και στην συνέχεια ως σημείο αναφοράς έχουμε πάντα το baseline μας ώστε να μπορούν όλες οι αναβαθμίσεις να αξιολογηθούν σύμφωνα κάτω από την ίδια βάση/αρχή αναφοράς.

Στον επερχόμενο πίνακα θα προβάλλονται λεπτομερείς πληροφορίες για κάθε εναλλακτική λύση. Για κάθε επιλογή, θα παρουσιάζονται οι απαιτούμενες τεχνολογίες ή/και υλικά που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο της αναβάθμισης. Αυτή, η προσέγγιση επιτρέπει μια λεπτομερή κατανόηση των απαιτήσεων και του αντίστοιχου κόστους για την εφαρμογή τους, βοηθώντας στην επιλογή της πλέον κατάλληλης αναβάθμισης για το κτήριο.

Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος(€)	Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος(€)
H-1a/3	Individual room control with communication between controllers and to BACS	20000	H-2b/1	Multi-stage control of heat generator capacity depending on the load or demand (e.g. on/off of several compressors)	5000
H-1a/4	Individual room control with	50000	H-2b/2		15000

	communication and occupancy detection			Variable control of heat generator capacity depending on the load or demand (e.g. hot gas bypass, inverter frequency control)	
H-1b/3	Advanced central automatic control with intermittent operation and/or room temperature feedback control	35000	H-2b/3	Variable control of heat generator capacity depending on the load AND external signals from grid	40000
H-1c/2	Demand based control	40000	H-3/1	Central or remote reporting of current performance KPIs (e.g. temperatures, submetering energy usage)	2500
H-1d/2	Multi-Stage control	12000	H-3/2	Central or remote reporting of current performance KPIs and historical data	7000
H-1d/3	Variable speed pump control (pump unit (internal) estimations)	35000	H-3/3	Central or remote reporting of performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	15000
H-1d/4	Variable speed pump control (external demand signal)	60000	H-4/1		1000

				Scheduled operation of heating system	
H-1f/2	Load prediction based storage operation	100000	H-4/2	Self-learning optimal control of heating system	5000
H-1f/3	Heat storage capable of flexible control through grid signals (e.g. DSM)	200000	H-4/3	Heating system capable of flexible control through grid signals (e.g. DSM)	15000
H-2a/2	Variable temperature control depending on the load (e.g. depending on supply water temperature set point)	12000	H-4/4	Optimized control of heating system based on local predictions and grid signals (e.g. through model predictive control)	25000

ΠΙΝΑΚΑΣ 11:Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Heating



ΕΙΚΟΝΑ 37: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Heating

Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος (€)	Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος(€)
DHW-1a/2	Automatic control on / off and scheduled	5250	DHW-1d/3	Automatic control of solar storage charge	5500

	charging enable and multi-sensor storage management			(Prio. 1) and supplementary storage charge, demand-oriented supply and return temperature control and multi-sensor storage management	
DHW-1a/3	Automatic charging control based on local availability of renewables or information from electricity grid (DR, DSM)	10000	DHW-3/1	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	3000
DHW-1b/2	Automatic on/off control, scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management	2100	DHW-3/2	Actual values and historical data	5000
DHW-1b/3	DHW production system capable of automatic charging control based on external signals (e.g. from district heating grid)	4300	DHW-3/3	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	8000
DHW-1d/2	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge and demand-oriented supply or multi-sensor storage management	4000	DHW-3/4	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking; also including predictive management	15000

				and fault detection	
--	--	--	--	---------------------	--

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του DHW



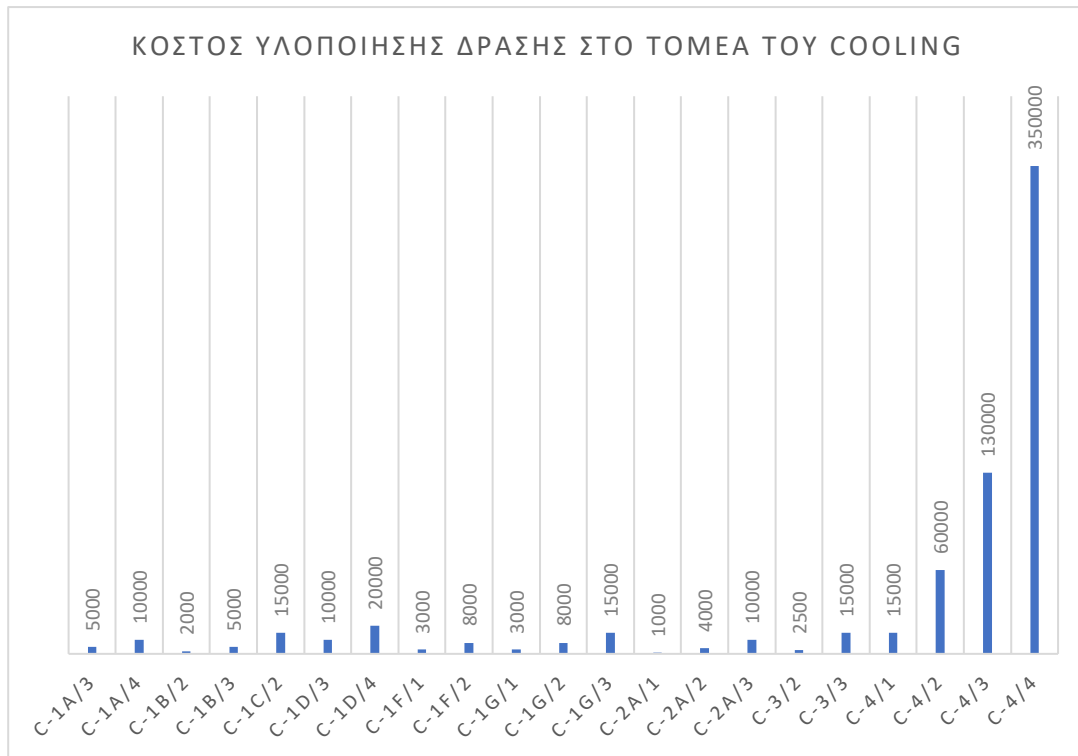
ΕΙΚΟΝΑ 38: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του DHW

CODE/LEVEL	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	ΚΟΣΤΟΣ (€)	CODE/LEVEL	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	ΚΟΣΤΟΣ(€)
C-1a/3	Individual room control with communication between controllers and to BACS	5000	C-1g/3	Cold storage capable of flexible control through grid signals (e.g. DSM)	15000
C-1a/4	Individual room control with communication and occupancy detection	10000	C-2a/1	Multi-stage control of cooling production capacity depending on the load or demand (e.g. on/off of several compressors)	1000
C-1b/2	Advanced central automatic control	2000	C-2a/2	Variable control of cooling production	4000

				capacity depending on the load or demand (e.g. hot gas bypass, inverter frequency control)	
C-1b/3	Advanced central automatic control with intermittent operation and/or room temperature feedback control	5000	C-2a/3	Variable control of cooling production capacity depending on the load AND external signals from grid	10000
C-1c/2	Demand based control	15000	C-3/2	Central or remote reporting of current performance KPIs and historical data	2500
C-1d/3	Variable speed pump control (pump unit (internal) estimations)	10000	C-3/3	Central or remote reporting of performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	15000
C-1d/4	Variable speed pump control (external demand signal)	20000	C-3/4	Central or remote reporting of performance evaluation including forecasting and/or benchmarking; also including predictive management and fault detection	18000
C-1f/1	Partial interlock (minimising risk of simultaneous heating and cooling e.g. by sliding setpoints)	3000	C-4/1	Scheduled operation of cooling system	15000

C-1f/2	Total interlock (control system ensures no simultaneous heating and cooling can take place)	8000	C-4/2	Self-learning optimal control of cooling system	60000
C-1g/1	Time-scheduled storage operation	3000	C-4/3	Cooling system capable of flexible control through grid signals (e.g. DSM)	130000
C-1g/2	Load prediction based storage operation	8000	C-4/4	Optimized control of cooling system based on local predictions and grid signals (e.g. through model predictive control)	350000

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Cooling

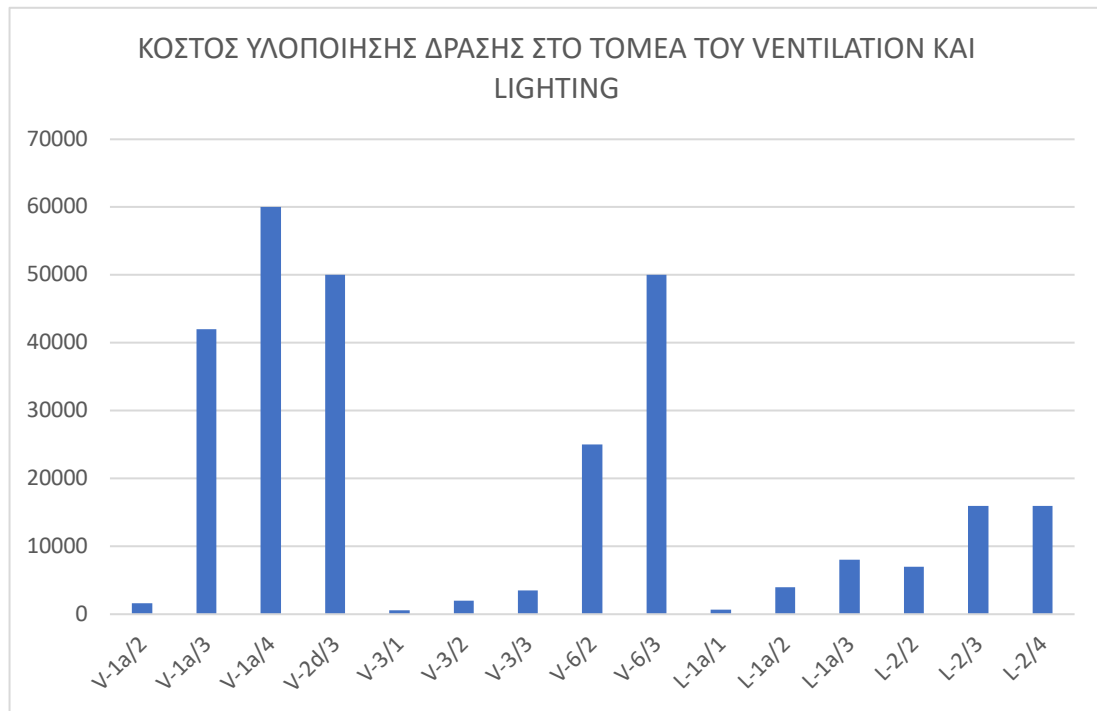


ΕΙΚΟΝΑ 39: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Cooling

Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος (€)	Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος(€)
V-1a/2	Occupancy detection control	1600	V-6/3	Real time monitoring & historical information of IAQ available to occupants + warning on maintenance needs or occupant actions (e.g. window opening)	50000
V-1a/3	Central Demand Control based on air quality sensors (CO ₂ , VOC, humidity, ...)	42000	L-1a/1	Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal	700
V-1a/4	Local Demand Control based on air quality sensors (CO ₂ , VOC,...) with local flow from/to the zone regulated by dampers	60000	L-1a/2	Automatic detection (auto on / dimmed or auto off)	4000
V-2d/3	Variable set point with load dependant compensation. A control loop enables to control the supply air temperature. The setpoint is defined as a function of the loads in the room	50000	L-1a/3	Automatic detection (manual on / dimmed or auto off)	8000
V-3/1	Night cooling	600	L-2/2	Automatic switching	7000
V-3/2	Free cooling: air flows modulated during all periods of time to minimize the amount of	2000	L-2/3	Automatic dimming	16000

	mechanical cooling				
V-3/3	H,x- directed control: The amount of outside air and recirculation air are modulated during all periods of time to minimize the amount of mechanical cooling. Calculation is performed on the basis of temperatures and humidity (enthalpy).	3500	L-2/4	Automatic dimming including scene-based light control (during time intervals, dynamic and adapted lighting scenes are set, for example, in terms of illuminance level, different correlated colour temperature (CCT) and the possibility to change the light distribution within the space according to e. g. design, human needs, visual tasks)	16000
V-6/2	Real time monitoring & historical information of IAQ available to occupants	25000			

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Ventilation και Lighting

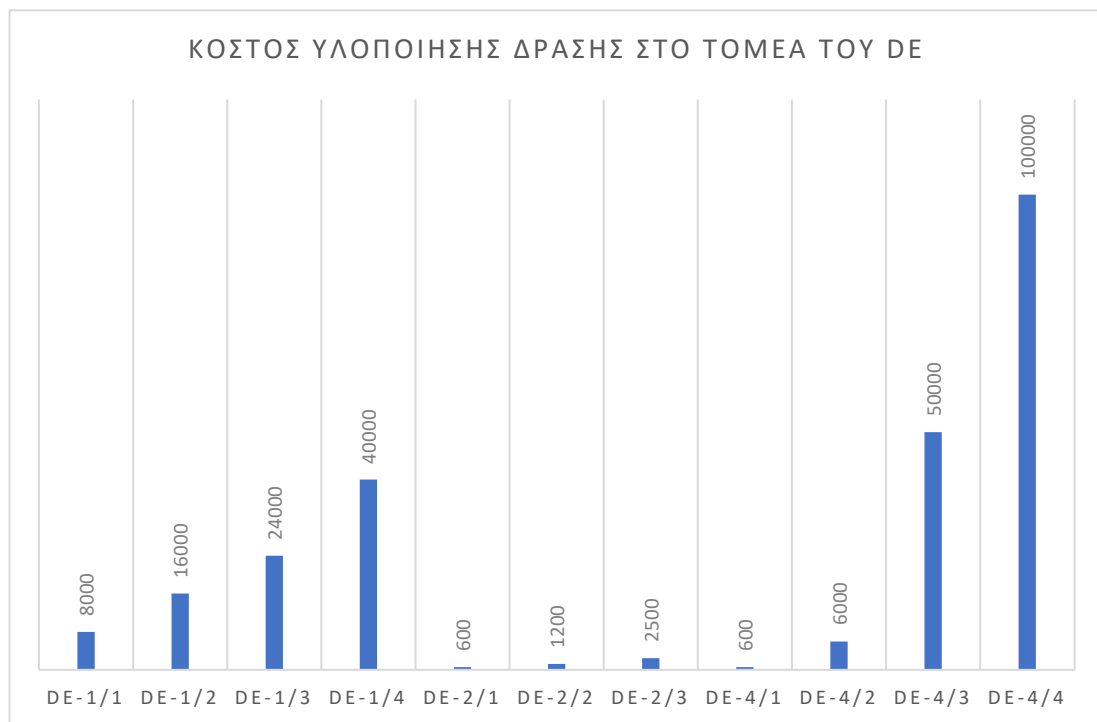


ΕΙΚΟΝΑ 40: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Ventilation και Lighting

Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος (€)	Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος(€)
DE-1/1	Motorized operation with manual control	8000	DE-2/3	Level 2 + Centralized coordination of operable windows, e.g. to control free natural night cooling	2500
DE-1/2	Motorized operation with automatic control based on sensor data	16000	DE-4/1	Position of each product & fault detection	600
DE-1/3	Combined light/blind/HVAC control	24000	DE-4/2	Position of each product, fault detection & predictive maintenance	6000
DE-1/4	Predictive blind control (e.g. based on weather forecast)	40000	DE-4/3	Position of each product, fault detection, predictive maintenance, real-time sensor data (wind, lux, temperature...)	50000

DE-2/1	Open/closed detection to shut down heating or cooling systems	600	DE-4/4	Position of each product, fault detection, predictive maintenance, real-time & historical sensor data (wind, lux, temperature...)	100000
DE-2/2	Level 1 + Automised mechanical window opening based on room sensor data	1200			

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του DE



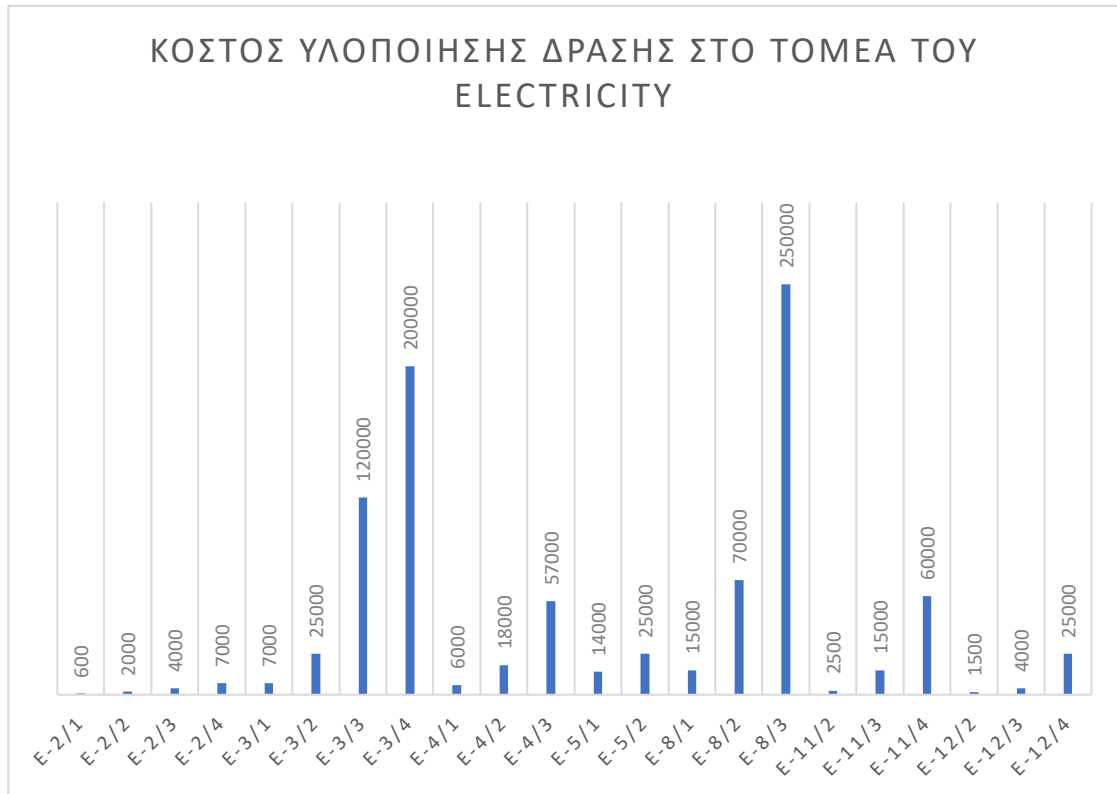
ΕΙΚΟΝΑ 41: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του DE

Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος (€)	Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος(€)
E-2/1	Current generation data available	600	E-5/1	CHP runtime control influenced by the fluctuating availability of RES; overproduction will be fed into the grid	14000

E-2/2	Actual values and historical data	2000	E-5/2	CHP runtime control influenced by the fluctuating availability of RES and grid signals; dynamic charging and runtime control to optimise self-consumption of renewables	25000
E-2/3	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	4000	E-8/1	Automated management of (building-level) electricity consumption based on grid signals	15000
E-2/4	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking; also including predictive management and fault detection	7000	E-8/2	Automated management of (building-level) electricity consumption and electricity supply to neighbouring buildings (microgrid) or grid	70000
E-3/1	On site storage of electricity (e.g. electric battery)	7000	E-8/3	Automated management of (building-level) electricity consumption and supply, with potential to continue limited off-grid operation (island mode)	250000
E-3/2	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller based on grid signals	25000	E-11/2	Actual values and historical data	2500
E-3/3	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with	120000	E-11/3	Performance evaluation including forecasting	15000

	controller optimising the use of locally generated electricity			and/or benchmarking	
E-3/4	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller optimising the use of locally generated electricity and possibility to feed back into the grid	200000	E-11/4	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking; also including predictive management and fault detection	60000
E-4/1	Scheduling electricity consumption (plug loads, white goods, etc.)	6000	E-12/2	real-time feedback or benchmarking on building level	1500
E-4/2	Automated management of local electricity consumption based on current renewable energy availability	18000	E-12/3	real-time feedback or benchmarking on appliance level	4000
E-4/3	Automated management of local electricity consumption based on current and predicted energy needs and renewable energy availability	57000	E-12/4	real-time feedback or benchmarking on appliance level with automated personalized recommendations	25000

ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του Electricity



ΕΙΚΟΝΑ 42: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του Electricity

Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος (€)	Code/level	Τεχνολογίες	Κόστος(€)
MC-3/1	Runtime setting of heating and cooling plants following a predefined time schedule	10500	MC-25/1	Demand side management possible for (some) individual TBS, but not coordinated over various domains	20000
MC-3/2	Heating and cooling plant on/off control based on building loads	20000	MC-25/2	Coordinated demand side management of multiple TBS	45000
MC-3/3	Heating and cooling plant on/off control based on predictive control or grid signals	20000	MC-28/1	Reporting information on current DSM status, including managed energy flows	3500
MC-4/1	With central indication of	13000	MC-28/2	Reporting information on	5500

	detected faults and alarms for at least 2 relevant TBS			current historical and predicted DSM status, including managed energy flows	
MC-4/2	With central indication of detected faults and alarms for all relevant TBS	22000	MC-29/1	DSM control without the possibility to override this control by the building user (occupant or facility manager)	4000
MC-4/3	With central indication of detected faults and alarms for all relevant TBS, including diagnosing functions	35000	MC-29/2	Manual override and reactivation of DSM control by the building user	8500
MC-9/1	Occupancy detection for individual functions, e.g. lighting	5000	MC-29/3	Scheduled override of DSM control (and reactivation) by the building user	15000
MC-9/2	Centralised occupant detection which feeds in to several TBS such as lighting and heating	15000	MC-29/4	Scheduled override of DSM control and reactivation with optimised control	40000
MC-13/1	Central or remote reporting of realtime energy use per energy carrier	3500	MC-30/1	Single platform that allows manual control of multiple TBS	15000
MC-13/2	Central or remote reporting of realtime energy use per energy carrier, combining TBS of at least 2 domains in one interface	12000	MC-30/2	Single platform that allows automated control & coordination between TBS	60000

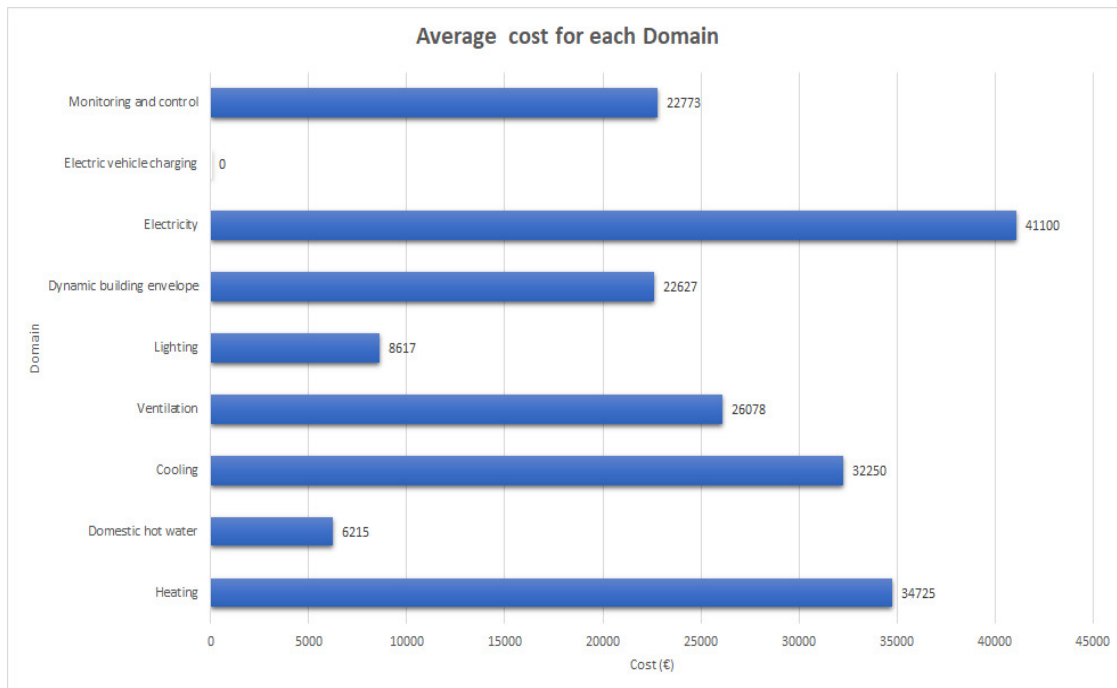
MC-13/3	Central or remote reporting of realtime energy use per energy carrier, combining TBS of all main domains in one interface	25000	MC-30/3	Single platform that allows automated control & coordination between TBS + optimization of energy flow based on occupancy, weather and grid signals	100000

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Κόστος και τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση της εναλλακτικής στο τομέα του MC

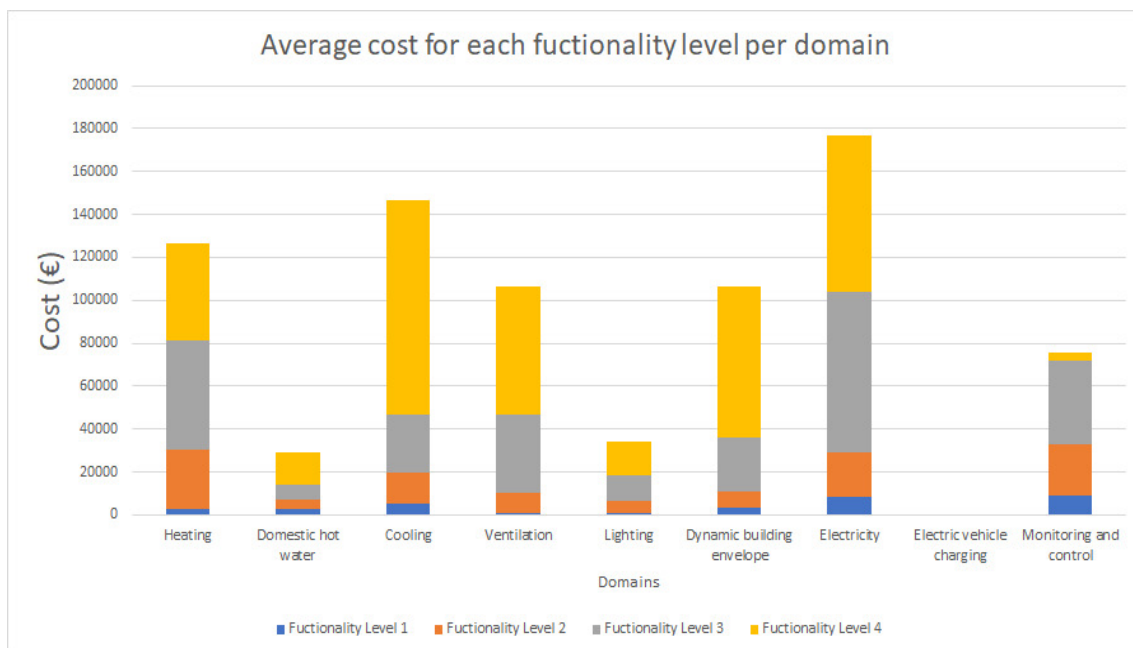


ΕΙΚΟΝΑ 43: Κόστος υλοποίησης κάθε δράσης στο τομέα του MC

Παρουσιάσαμε παραπάνω αναλυτικά, τις τεχνολογίες που χρειάζονται να εφαρμοστούν στο κτήριο ώστε να αναβαθμιστεί το επίπεδο του δείκτη SRI. Στην συνέχεια, θα παρουσιάσουμε γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν μετά την κοστολόγηση.



ΕΙΚΟΝΑ 44: Μέσο κόστος ανά domain



ΕΙΚΟΝΑ 45: Μέσο κόστος functionality level ανά domain

Αυτό που παρατηρούμε από τα συνολικά διαγράμματα, είναι ότι τα domain, που χρειάζεται να δαπανήσουμε περισσότερα χρήματα, για να υλοποιήσουμε τις δράσεις αναβάθμισης είναι κατά σειρά το electricity, heating και cooling. Ενώ, αν εστιάσουμε στα επίπεδα λειτουργικότητας, θα εντοπίσουμε την τεράστια διαφορά στο κόστος για την αναβάθμιση στο επίπεδο 4 και γενικά, το κόστος για κάθε αναβάθμιση αυξάνεται όσο αυξάνεται και το επίπεδο λειτουργικότητας.

4. Αξιολόγηση Εναλλακτικών Δράσεων με τη Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων

4.1. Κατάστρωση του προβλήματος

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει χρήση της μεθόδου TOPSIS, τα χαρακτηριστικά της οποίας έχουν αναλυθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εύρεση του βασικού σεναρίου (baseline scenario) και την μετέπειτα κοστολόγηση των εναλλακτικών δράσεων και την εξακρίβωση της συμβολής αυτών στο συνολικό δείκτη SRI. Σκοπός της εφαρμογής της μεθόδου είναι η εύρεση των βέλτιστων εναλλακτικών δράσεων για την βελτίωση των τεχνολογιών στο κτήριο και κατ' επέκταση του δείκτη έξυπνης ετοιμότητας [21].

Πριν αρχίσουμε την όποια επεξεργασία των δεδομένων μας, κρίνεται απαραίτητο να καθορίσουμε το πλαίσιο του προβλήματος. Στην μελέτη μας, θα ορίσουμε 3 διαφορετικούς αποφασίζων. Ο πρώτος ενδιαφέρεται αποκλειστικά στην αύξηση του δείκτη SRI δίνοντας βαρύτητα συνάμα στην ενεργειακή αποδοτικότητα του κτηρίου και την άνεση. Στο δεύτερο σενάριο ο αποφασίζων ενδιαφέρεται μεν για την συνολική αύξηση του SRI, αλλά τον απασχολεί εξίσου το συνολικό κόστος της αναβάθμισης. Ενώ, στο τρίτο και τελευταίο σενάριο το κόστος είναι ο κύριος παράγοντας που μας απασχολεί και στην συνέχεια μας ενδιαφέρει η πληροφορία που παρέχει το κτήριο στον χρήστη αλλά και η έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων.

Αρχικά, η κάθε επέμβαση στις τεχνολογίες του κτηρίου που αναβαθμίζει οποιαδήποτε υπηρεσία αποτελεί και μια εναλλακτική δράση και για κάθε δράση εφαρμόζονται τα αντίστοιχα κριτήρια. Οι δράσεις (όπως είδαμε και στην ενότητα 3.2) είναι (121) στον αριθμό, ενώ τα κριτήρια είναι (9), το κόστος, ο συνολικός δείκτης SRI και τα υπόλοιπα (7) είναι τα επιμέρους impact score που συγκροτούν το δείκτη αυτό. Ανάλογα με το πόσο σημαντικό θεωρείται το κάθε κριτήριο, του αποδίδεται ένα αντίστοιχο βάρος (βλ. ενότητα 4.2), το οποίο επηρεάζει τα αποτελέσματα της μεθόδου.

Για τον υπολογισμό της υπεροχής, που προκύπτει μέσω της TOPSIS χρησιμοποιήθηκε το Microsoft Excel σε συνδυασμό με το λογισμικό MATLAB. Με την βοήθεια αυτών των λογισμικών, δίνοντας τους ως δεδομένα τις τιμές που λαμβάνει το κάθε κριτήριο για όλες τις δράσεις ξεχωριστά και τα αντίστοιχα βάρη. Ακολουθώντας την μεθοδολογία TOPSIS, αφού έχοντας τον ολοκληρωμένο πίνακα αποφάσεων υπολογίσαμε τον κανονικοποιημένο πίνακα και στην συνέχεια προσθέσαμε τα αντίστοιχα βάρη για κάθε κριτήριο. Τέλος, υπολογίσαμε την ευκλείδεια απόσταση από την ιδανική θετική και αρνητική τιμή, ώστε να γίνει η κατάταξη των δράσεων και η εύρεση της βέλτιστης εφαρμογής τους στο κτήριο (βλ. ενότητα 4.3).

ΚΡΙΤΗΡΙΑ/ΣΕΝΑΡΙΑ	ΑΠΟΦΑΣΙΖΩΝ		
	1	2	3
SRI	+	+	
Κόστος		+	+
Energy efficiency	+		
Energy flexibility	+		
Comfort			
Convenience			
Health-well being			
Maintenance			+

4.2. Καθορισμός βαρών

Για τον ορισμό των βαρών κρίθηκε σκόπιμο να οριστούν τρία σενάρια, ανάλογα με το εκτιμώμενο προφίλ του εκάστοτε αποφασίζων. Σε αυτό το στάδιο της μελέτης μας, χρησιμοποιήσαμε την θεωρία της AHP για τον καθορισμό των βαρών (βλ. ενότητα 2.2.2). Με γνώμονα αυτό, χρησιμοποιήθηκε μία 9-βάθμια λεκτική κλίμακα, τα στοιχεία της οποίας αντιστοιχίζονται σε μία αριθμητική τιμή (Εικόνα 20) [41], [42].

Σενάριο A

Στο πρώτο σενάριο (Σενάριο A) καταβάλλεται προσπάθεια να προσεγγιστεί η βαρύτητα των κριτηρίων που θέτει ο αποφασίζων 1, ο οποίος αποφασίζει με γνώμονα την αύξηση του SRI και των δύο επιμέρους impact score (energy efficiency, energy flexibility). Τα υπόλοιπα κριτήρια θα θεωρήσουμε ότι έχουν ίδια σχετική βαρύτητα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διμερές σχέσεις που προέκυψαν:

	SRI	Κόστος	Energy efficiency	Energy flexibility	Comfort	Convenience	Health-well being	Maintenance	Info to occupants
SRI	1	1/5	3	3	7	7	7	7	7
Κόστος	5	1	1/5	1/5	3	3	3	3	3
Energy efficiency	1/3	5	1	1	5	5	5	5	5
Energy flexibility	1/3	5	1	1	5	5	5	5	5
Comfort	1/7	1/3	1/5	1/5	1	1	1	1	1
Convenience	1/7	1/3	1/5	1/5	1	1	1	1	1
Health-well being	1/7	1/3	1/5	1/5	1	1	1	1	1
Maintenance	1/7	1/3	1/5	1/5	1	1	1	1	1
Info to occupants	1/7	1/3	1/5	1/5	1	1	1	1	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: Πίνακας διμερών σχέσεων για σενάριο A

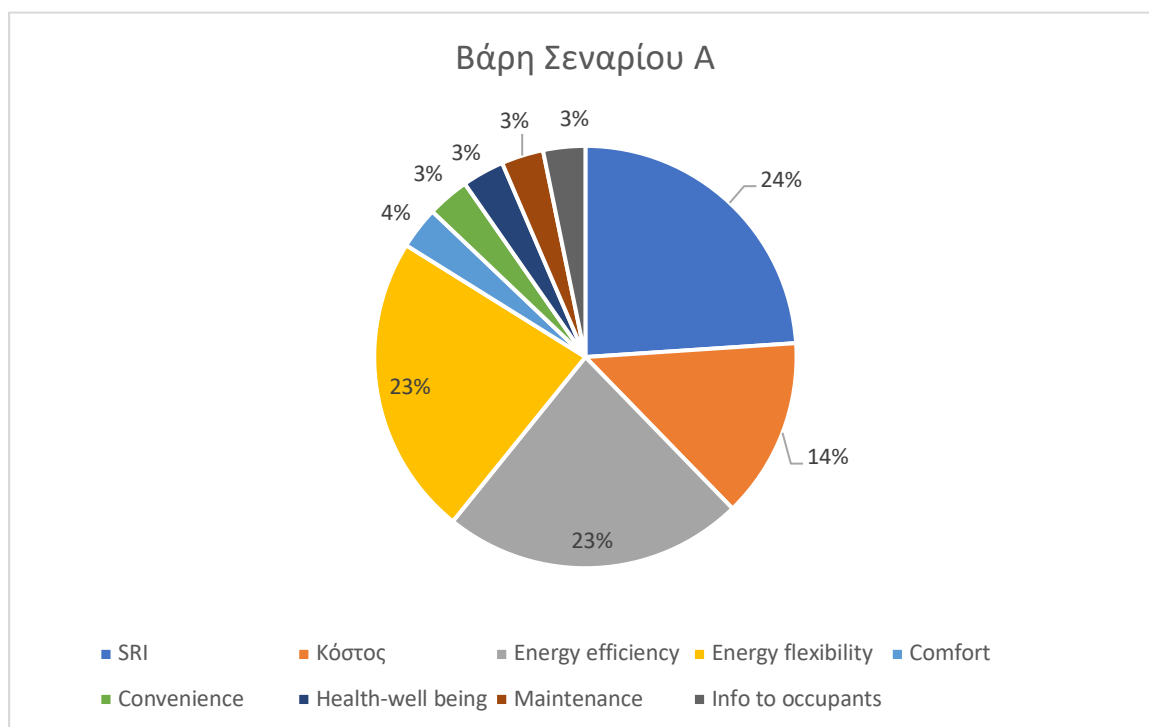
Στην συνέχεια ακολουθώντας τη μεθοδολογία της AHP προκύπτουν τα βάρη για κάθε ένα κριτήριο και όπως υποθέσαμε στην αρχή, διατυπώνεται και στον τελικό πίνακα παρακάτω.

SRI	Κόστος	Energy efficiency	Energy flexibility	Comfort	Convenience	Health-well being	Maintenance	Info to occupants
0.2733	0.1573	0.1951	0.1951	0.0344	0.0344	0.0344	0.0344	0.0344

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: Πίνακας βαρών για το σενάριο A

Διαπιστώνουμε ότι πράγματι την μεγαλύτερη βαρύτητα την έχει ο δείκτης SRI, ακολουθούν το energy efficiency και energy flexibility, με ίδια αλλά χαμηλότερη βαρύτητα τα impact score

Comfort, Convenience, Health-well being, Maintenance, Info to occupants και τέλος το κόστος.



ΕΙΚΟΝΑ 46: Βάρη σεναρίου A

Σενάριο B

Ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία, με την μόνη διαφορά ότι ο αποφασίζων 2 θέτει σημαντική βαρύτητα στην αύξηση του δείκτη SRI αλλά τον ενδιαφέρει επίσης και το συνολικό κόστος. Σύμφωνα με αυτά, παίρνουμε τον εξής πίνακα διμερών σχέσεων:

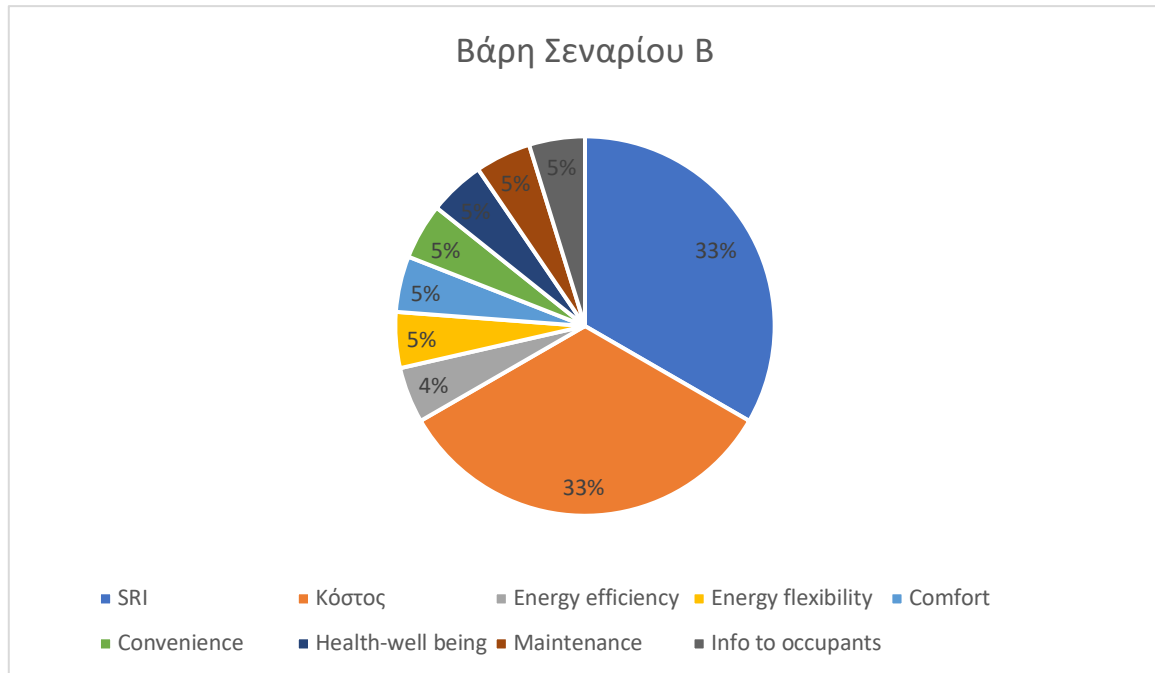
	SRI	Κόστος	Energy efficiency	Energy flexibility	Comfort	Convenience	Health-well being	Maintenance	Info to occupants
SRI	1	1	7	7	7	7	7	7	7
Κόστος	1	1	7	7	7	7	7	7	7
Energy efficiency	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	
Energy flexibility	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Comfort	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Convenience	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Health-well being	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Maintenance	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Info to occupants	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: Πίνακας βαρών για το σενάριο B

SRI	Κόστος	Energy efficiency	Energy flexibility	Comfort	Convenience	Health-well being	Maintenance	Info to occupants
0.3333	0.3333	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476

ΠΙΝΑΚΑΣ 22: Πίνακας βαρών για το σενάριο Β

Διαπιστώνουμε ότι σε αυτό το σενάριο, τα βάρη του SRI και του κόστους αποτελούν το 33% του συνολικού ενώ, τα υπόλοιπα από 5%.



ΕΙΚΟΝΑ 47: Βάρη σεναρίου Β

Σενάριο Γ

Στο τελευταίο σενάριο ο αποφασίζων 3 έχει θέσει τις προτεραιότητες του διαφορετικά από τις δύο προηγούμενες. Όπου το κόστος παίζει το πιο σημαντικό ρόλο και δευτερεύον παράγοντα Maintenance και Info to occupants. Συνεπώς, ο πίνακας διμερών σχέσεων:

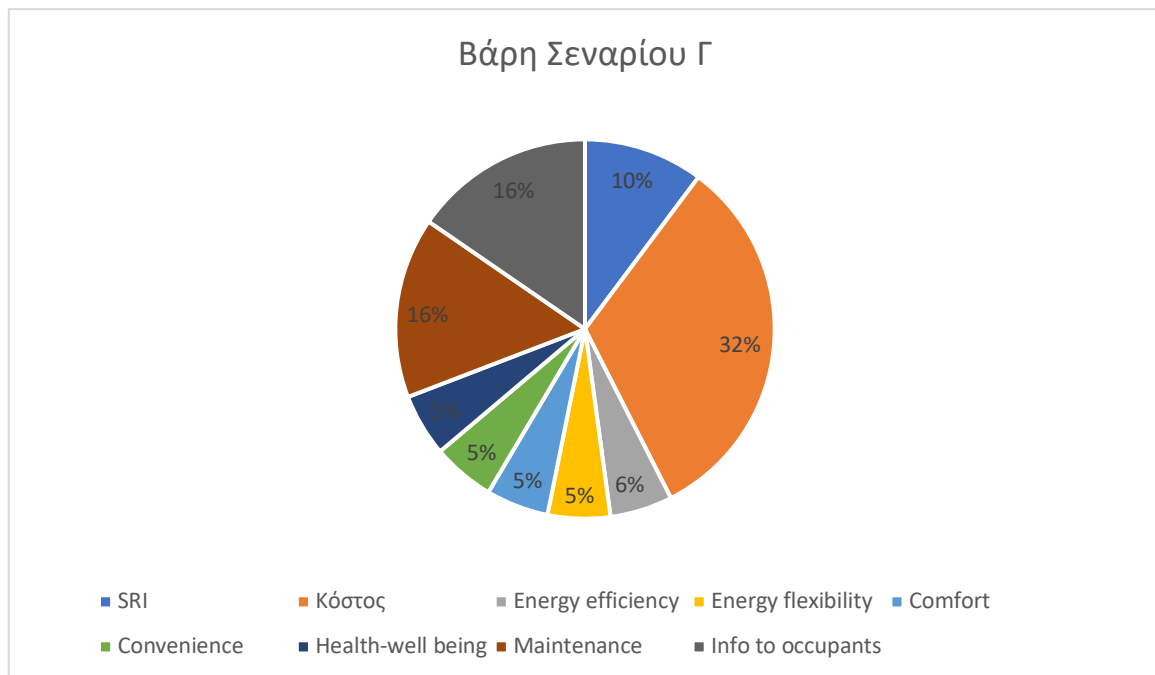
	SRI	Κόστος	Energy efficiency	Energy flexibility	Comfort	Convenience	Health-well being	Maintenance	Info to occupants
SRI	1	0.2	3	3	3	3	3	1/3	1/3
Κόστος	5	1	7	7	7	7	7	3	3
Energy efficiency	1/3	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Energy flexibility	1/3	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Comfort	1/3	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Convenience	1/3	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Health-well being	1/3	1/7	1	1	1	1	1	1	1
Maintenance	3	1/3	3	3	3	3	3	1	3

Info to occupants	3	1/3	3	3	3	3	3	3	1
-------------------	---	-----	---	---	---	---	---	---	---

ΠΙΝΑΚΑΣ 23: Πίνακας βαρών για το σενάριο Γ

SRI	Κόστος	Energy efficiency	Energy flexibility	Comfort	Convenience	Health-well being	Maintenance	Info to occupants
0.1021	0.3229	0.0533	0.0533	0.0533	0.0533	0.0533	0.1541	0.1541

ΠΙΝΑΚΑΣ 24: Πίνακας βαρών για το σενάριο Γ



ΕΙΚΟΝΑ 48: Βάρη σεναρίου Γ

4.3. Επίλυση και Αποτελέσματα

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μπορεί να περιγραφεί με μία ακολουθία πράξεων (2.2.3). Αρχικά, με τον πίνακα αποφάσεων, ο οποίος περιλάμβανε όλες τις εναλλακτικές δράσεις (121) και τα αντίστοιχα κριτήρια αξιολόγησης (βλ. Παράρτημα).

Στην συνέχεια, προχωρήσαμε στην κανονικοποίηση του αρχικού πίνακα. Αυτό σημαίνει ότι προσαρμόσαμε τις τιμές του πίνακα, ώστε να βρίσκονται σε ένα κοινό εύρος, συνήθως από 0 έως 1, ώστε να είναι εφικτή η από κοινού αξιολόγηση όλων των κριτηρίων. Η κανονικοποίηση βοηθά στην αποφυγή προκαταλήψεων λόγω της κλίμακας των τιμών.

Εν συνεχεία, δημιουργήσαμε τον κανονικοποιημένο πίνακα με αντίστοιχες βαρύτητες που υπολογίσαμε στην προηγούμενη ενότητα (4.2). Αυτός ο πίνακας λαμβάνει υπόψη τα βάρη που έχουν ανατεθεί σε κάθε κριτήριο, δημιουργώντας ένα πίνακα με κριτήρια που έχουν διαφορετική σημασία για την τελική αξιολόγηση. Βάσει του κανονικοποιημένου πίνακα με βαρύτητα, υπολογίσαμε τις τελικές βαθμολογίες για κάθε πρόταση. Έτσι, μπορούμε να δούμε ποιες προτάσεις ξεχώρισαν ως οι καλύτερες με βάση τα δεδομένα και τις βαρύτητες που θέσαμε.

Στο τέλος της μεθοδολογίας TOPSIS έγινε η κατάταξη των εναλλακτικώς λύσεων. Έτσι λοιπόν, έχουμε μια σαφή εικόνα των καλύτερων εναλλακτικών λύσεων, με βάση τα κριτήρια και την σημαντικότητα που έχουμε ορίσει εξαρχής για τα τρία σενάρια.

Τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

Code/level	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο Γ	Code/level	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο Γ
H-1a/3	90	69	80	L-1a/1	59	71	51
H-1a/4	97	72	105	L-1a/2	66	53	57
H-1b/3	70	57	76	L-1a/3	44	48	61
H-1c/2	111	106	104	L-2/2	31	65	55
H-1d/2	93	110	90	L-2/3	64	54	74
H-1d/3	109	119	103	L-2/4	34	24	67
H-1d/4	115	121	111	DE-1/1	26	59	64
H-1f/2	110	78	115	DE-1/2	61	74	79
H-1f/3	119	68	119	DE-1/3	46	50	88
H-2a/2	91	70	83	DE-1/4	37	21	99
H-2b/1	23	18	48	DE-2/1	14	41	37
H-2b/2	13	7	69	DE-2/2	38	44	43
H-2b/3	4	3	98	DE-2/3	27	32	39
H-3/1	101	109	34	DE-4/1	24	77	26
H-3/2	99	108	18	DE-4/2	55	92	17
H-3/3	42	87	11	DE-4/3	92	114	96
H-4/1	96	93	68	DE-4/4	116	122	113
H-4/2	15	8	38	E-2/1	29	79	27
H-4/3	1	2	35	E-2/2	51	90	13
H-4/4	2	1	56	E-2/3	50	88	10
DHW-1a/2	80	46	63	E-2/4	40	85	8
DHW-1a/3	60	15	66	E-3/1	41	58	59
DHW-1b/2	78	45	53	E-3/2	72	40	94
DHW-1b/3	52	14	47	E-3/3	118	97	117
DHW-1d/2	79	73	65	E-3/4	120	111	120
DHW-1d/3	43	27	52	E-4/1	47	62	60
DHW-3/1	89	103	32	E-4/2	69	38	84
DHW-3/2	86	101	22	E-4/3	103	26	109
DHW-3/3	84	100	14	E-5/1	54	66	78
DHW-3/4	74	98	15	E-5/2	77	43	95
C-1A/3	81	64	42	E-8/1	62	30	75
C-1A/4	76	60	50	E-8/2	112	84	112
C-1B/2	83	80	54	E-8/3	121	120	121
C-1B/3	71	55	23	E-11/2	33	82	12
C-1C/2	100	94	92	E-11/3	65	95	21
C-1D/3	98	112	89	E-11/4	105	117	100
C-1D/4	106	115	97	E-12/2	45	86	16
C-1F/1	88	102	73	E-12/3	35	83	9
C-1F/2	102	113	86	E-12/4	73	99	30
C-1G/1	75	96	70	MC-3/1	56	39	72
C-1G/2	48	63	71	MC-3/2	53	16	81
C-1G/3	85	51	87	MC-3/3	8	4	58
C-2A/1	57	37	49	MC-4/1	3	25	20
C-2A/2	17	9	44	MC-4/2	10	56	4
C-2A/3	104	11	77	MC-4/3	5	34	1

C-3/2	95	105	24	MC-9/1	22	42	29
C-3/3	87	104	28	MC-9/2	16	35	19
C-3/4	94	76	82	MC-13/1	20	33	7
C-4/1	63	12	108	MC-13/2	9	20	5
C-4/2	58	6	118	MC-13/3	6	13	2
C-4/3	117	116	121	MC-25/1	21	28	85
C-4/4	121	36	36	MC-25/2	11	5	102
V-1a/2	30	29	101	MC-28/1	18	47	6
V-1a/3	68	67	110	MC-28/2	7	10	3
V-1a/4	114	81	107	MC-29/1	39	22	116
V-2d/3	108	31	45	MC-29/2	25	61	62
V-3/1	67	23	40	MC-29/3	19	52	33
V-3/2	32	19	41	MC-29/4	12	17	91
V-3/3	28	89	31	MC-30/1	49	91	46
V-6/2	36	118	93	MC-30/2	82	75	106
v-6/3	107	71	51	MC-30/3	113	49	114

ΠΙΝΑΚΑΣ 25: Πίνακας κατάταξης εναλλακτικών και των τριών σεναρίων

Αυτά αποτελούν τα τελικά αποτελέσματα και για τα τρία σεναρία συγκεντρωμένα. Έτσι μπορεί να γίνει μια πρώτη σύγκριση της κατάταξης των εναλλακτικών, και γίνεται εύκολα αντιληπτό η μεγάλη διαφορά αποτελεσμάτων ανάλογα την αρχική επιθυμία του κάθε αποφασίζων και τον μετέπειτα καθορισμό των βαρών σύμφωνα με αυτήν.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα συζητηθεί το συνολικό κόστος που προκύπτει από την εφαρμογή των εναλλακτικών δράσεων σε 2 διαφορετικές περιπτώσεις και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα.

5. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα συζητηθούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα που αποκομίσαμε από την αρχική μας έρευνα σε μια μελέτη περίπτωσης σε ένα κτήριο στην Αθήνα και συγκεκριμένα στον Κορυδαλλό.

Η παρούσα μελέτη παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της ανάλυσης κόστους και βελτίωσης του Smart Readiness Indicator (SRI) για το υπό μελέτη κτήριο μας. Η διαδικασία περιλαμβάνει αρχικά την θέτιση όλων των πιθανών εναλλακτικών, την κοστολόγηση αυτών, καθώς και την εφαρμογή της μεθόδου AHP για την θέσπιση σει βαρών, και της χρήση της μεθόδου TOPSIS για την κατάταξη των καλύτερων εναλλακτικών για την επίτευξη των στόχων του κάθε αποφασίζων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τη βελτιστοποίηση του Δείκτη Έξυπνης Ετοιμότητας (SRI) στο κτήριο ανέδειξε σημαντικά ευρήματα αλλά και προκλήσεις, οι οποίες θα συζητηθούν παρακάτω.

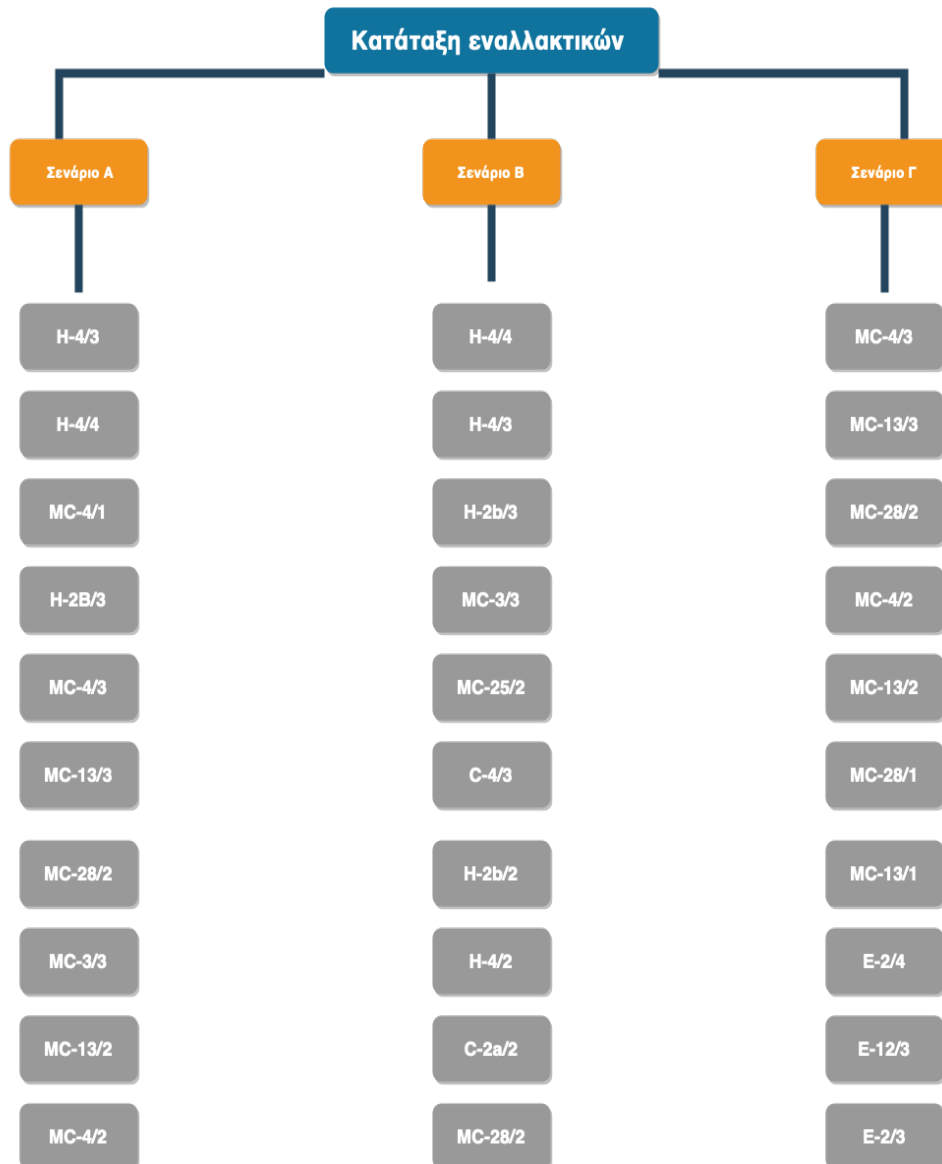
5.1. Αποτελέσματα

Στο πλαίσιο της εργασίας μας, ξεκινήσαμε με τον καθορισμό του βασικού σεναρίου (baseline scenario), προκειμένου να αξιολογήσουμε το τρέχον επίπεδο έξυπνης ετοιμότητας του κτηρίου. Έπειτα, εντοπίσαμε και αναλύσαμε όλες τις εναλλακτικές προτάσεις που μπορούν να αναβαθμίσουν τις τεχνολογίες στο κτήριο και να αυξήσουν τον συνολικό δείκτη SRI.

Στην συνέχεια, εφαρμόσαμε την μέθοδο Analytic Hierarchy Process (AHP) για τον καθορισμό των βαρών για κάθε ένα από τα (9) κριτήρια, λαμβάνοντας υπόψη τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις ανάλογα με το προφίλ του αποφασίζοντα. Τα βάρη αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια στη μέθοδο Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) για την αξιολόγηση και κατάταξη των εναλλακτικών.

Τα τελικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.3 καθρεπτίζουν τα ίδια συμπεράσματα με τις δέκα κορυφαίες εναλλακτικές λύσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις προτεραιότητες και τα βάρη που καθορίστηκαν από τη μέθοδο AHP. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει έναν ολοκληρωμένο και εξειδικευμένο τρόπο επιλογής των εναλλακτικών που προάγουν την έξυπνη τεχνολογική εξέλιξη του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις προτιμήσεις των αποφασίζων όσο και τους περιορισμούς στο κόστος.

Η σειρά κατάταξης για κάθε σενάριο διακρίνουμε ότι διαφέρει αρκετά μεταξύ τους και αυτό οφείλεται κατά βάση στα διαφορετικά βάρη που θέσαμε για κάθε μία. Στην πρώτο σενάριο (μέλημα μας είναι η αύξηση του SRI και ταυτόχρονα εστιάζουμε στο energy efficiency και energy flexibility) τις πρώτες θέσεις τις καταλαμβάνουν εναλλακτικές από το τομέα Heating και στην συνέχεια ακολουθούν κατά βάση από τον τομέα του Monitoring and Control. Στο δεύτερο σενάριο (εστιάζουμε στην αύξηση του συνολικού SRI και στο κόστος παράλληλα) οι εναλλακτικές που έχουμε στις πρώτες θέσεις αυτήν την φορά είναι από τρεις τομείς, Heating, Cooling, Monitoring and Control και τέλος στο τρίτο σενάριο (εστιάζουμε στην αύξηση του τομέα Maintenance και Info to occupants, έχοντας υπόψιν το κόστος αναβάθμισης) διαπιστώνουμε ότι τις πρώτες θέσεις τις καταλαμβάνουν εναλλακτικές δράσεις κατά βάση από τον τομέα του MC ενώ για πρώτη φορά βλέπουμε εναλλακτικές δράσεις μέσα στις δέκα καλύτερες από τον τομέα του Electricity.



ΕΙΚΟΝΑ 49: Η κατάταξη των 10 καλύτερων εναλλακτικών για κάθε ένα σενάριο

Αυτό που διακρίνουμε από τα αποτελέσματα είναι ότι ανάλογα το σενάριο και τα αντίστοιχα βάρη στο κάθε ένα, παίρνουμε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα, όπως μπορούμε να διακρίνουμε από την Εικόνα 49. Αλλά, υπάρχουν μερικές εναλλακτικές όπως η H-4/3 ή MC-4/2 που καταλαμβάνουν υψηλές θέσεις ανεξάρτητα από τα σενάρια. Αυτό είναι λογικό επειδή σχεδόν όλα τα επιμέρους score είναι υψηλά και το κόστος σχετικά χαμηλά.

5.2. Συμπεράσματα

Μετά από εκτενή ανάλυση και αξιολόγηση των διαφόρων εναλλακτικών για την αναβάθμιση της τεχνολογίας του κτηρίου και του δείκτη SRI, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα:

- Καταρχάς, η χρήση της μεθόδου AHP αποδείχθηκε κρίσιμη για τον καθορισμό βαρών και προτεραιοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη τις προσωπικές προτιμήσεις και προτεραιότητες του εκάστοτε αποφασίζοντάς. Αυτή η εξατομίκευση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων επιτρέπει την πιο ακριβή αντιστοίχιση των εναλλακτικών με τις προσδοκίες και τις ανάγκες του χρήστη.

- Επιπλέον, η μέθοδος TOPSIS, που βασίζεται στην αντιστοίχιση των εναλλακτικών με την ιδανική λύση, παρέχει έναν αντικειμενικό και συγκριτικό τρόπο αξιολόγησης. Οι κορυφαίες εναλλακτικές που προκύπτουν από αυτήν την διαδικασία ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στα κριτήρια και τις προτεραιότητες του αποφασίζων
- Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι ο δείκτης SRI δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην έννοια της ενεργειακής απόδοσης. Παρόλο που η ενεργειακή αποδοτικότητα παραμένει σημαντικός παράγοντας, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορούμε να αυξήσουμε το δείκτη SRI αναβαθμίζοντας άλλους τομείς του κτηρίου. Ειδικότερα, το σενάριο Γ δείχνει ότι εφαρμόζοντας εναλλακτικές από τον τομέα του monitoring επίσης ανεβάζει τον δείκτη. Αυτό επισημαίνει την πολυπλοκότητα της έννοιας του δείκτη της έξυπνης ετοιμότητας του κτηρίου και την ανάγκη για ολοκληρωμένη προσέγγιση για την βελτίωση του κτηρίου.

6. Περιορισμοί και προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης

6.1. Περιορισμοί

Κατά την εκτέλεση της έρευνας μας και της αξιολόγησης της εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, προέκυψαν κάποιοι περιορισμοί που αξίζει να επισημανθούν. Καταρχάς, η συλλογή η συλλογή ακριβών δεδομένων για τα χαρακτηριστικά των κτηρίων και των τεχνολογιών αποτελεί πρόκληση λόγω της διαφορετικότητας των υπάρχοντων κτηρίων στην αγορά.

Επιπλέον, η εφαρμογή της μεθοδολογίας μας μπορεί να συναντήσει προκλήσεις όσον αφορά την αντικειμενικότητα των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της τεχνολογικής απόδοσης. Η επικρατούσα αβεβαιότητα και η αντίληψη των εννοιών μπορεί να διαφέρει μεταξύ διαφορετικών εμπειρογνομώνων, ενδεχομένως επηρεάζοντας την αντικειμενική αξιολόγηση.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ευαίσθητη στη διαθεσιμότητα αξιόπιστων και συγκρίσιμων δεδομένων για τις διάφορες τεχνολογίες. Η έλλειψη συγκρίσιμων δεδομένων μπορεί να περιορίσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Με την υπάρχουσα μεθοδολογία του SRI, στην αρχή της μελέτης κάθε κτηρίου, καθορίζει ο εκάστοτε μελετητής ποια domain θα συμπεριληφθούν στην αξιολόγηση του συνολικού δείκτη, συνεπώς με τον δείκτη αυτό δεν μπορεί να είναι δίκαια η σύγκριση από κτήριο σε κτήριο, καθώς δεν έχουν κοινή βάση αφετηρίας.

Τέλος, η αναγκαιότητα για συνεχή παρακολούθηση και ενημέρωση των τεχνολογιών και των δεδομένων αποτελεί έναν άλλο περιορισμό, καθώς οι εξελίξεις στον τομέα των τεχνολογιών του κτηρίου συνεχίζονται.

6.2. Προτάσεις εξέλιξης

Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης μας, προτείνονται ορισμένες κατευθύνσεις για περαιτέρω εξέλιξη και βελτίωση της βιωσιμότητας στα κτήρια.

Αρχικά, προτείνεται η ενίσχυση των τεχνολογιών που συνδέονται με την υγεία, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ευεξία και την προσβασιμότητα, καθώς αυτά αποδείχθηκαν κρίσιμοι παράγοντες για τη βελτίωση του δείκτη SRI. Ειδικότερα, η χρήση της τεχνολογίας για την παροχή πληροφοριών στους κατοίκους και τον αποτελεσματικό έλεγχο των κτηριακών συστημάτων μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο.

Εάν η προτεινόμενη προσέγγιση υιοθετηθεί ευρέως από όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη σε κάθε κράτος μέλος. Η εφαρμογή της στην πράξη μπορεί να συμβάλει στην εξέλιξη των κτηρίων προς πιο βιώσιμες και έξυπνες λύσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε χώρας. Το γεγονός ότι κάθε χώρα θα μπορεί να επικεντρωθεί σε διαφορετικούς τομείς, ανάλογα με τα μειονεκτήματα και τις ανάγκες της, καθιστά την προσέγγιση ευέλικτη και προσαρμόσιμη στις τοπικές συνθήκες.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης προσέγγισης ευρέως στην ΕΕ, αναμένεται να δημιουργήσει ένα πλαίσιο συνεργασίας και αλληλεγγύης, ενθαρρύνοντας τη μεταφορά γνώσης και την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των χωρών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια ομοιόμορφη προσέγγιση για την αναβάθμιση των κτηρίων, αξιοποιώντας τις εμπειρίες και καινοτομίες κάθε χώρας. Η διασυνοριακή συνεργασία θα μπορούσε να ενισχύσει την αποδοτικότητα των προσπαθειών, προσφέροντας συγκριτικά πλεονεκτήματα και ενισχύοντας την κοινή βάση γνώσης.

Αυτή η ενιαία προσέγγιση σε επίπεδο ΕΕ μπορεί να οδηγήσει σε συντονισμένες προσπάθειες για τη μείωση της κλιματικής επίδρασης των κτηρίων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η επιτυχημένη υλοποίηση θα μπορούσε επίσης να υποστηρίξει την επίτευξη των κοινών στόχων της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση και τη βιώσιμη ανάπτυξη, ενισχύοντας την οικονομική αποδοτικότητα και την καινοτομία σε επίπεδο Ευρώπης.

7. Βιβλιογραφία

- [1] Κωνσταντίνος Καρτάλης, Χάρης Κοκκώσης, Δημήτρης Οικονόμου, Μάνθος Σανταμούρης, Ηλίας Αγαθαγγελίδης, Αναστάσιος Πολύδωρος, ‘Οι Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ανάπτυξη’.
- [2] ‘eurostat’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>
- [3] Κ. Φ. Τσέτσα Ηλιάνα – Γεωργία, ‘Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία Προοπτικές και Προκλήσεις’, 2020.
- [4] European Commission, ‘Energy performance of buildings directive’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [5] ‘DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings’, *Official Journal of the European Union*, 19 Δεκέμβριος 2010. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>
- [6] ‘DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC’, 25 Οκτώβριος 2012.
- [7] Joana Gomes, ‘Energy-efficient buildings should be ‘new normal’, says EU’s Simson’.
- [8] Apostolopoulos, V et al, ‘Smart readiness indicator evaluation and cost estimation of smart retrofitting scenarios .A comparative case study in European buildings.’
- [9] Fokaides, P.A, Panteli, C & Panayidou, A, ‘How Are the smart readiness indicators expected to affect the energy performance of building : First Evidence and Perspectives.’
- [10] ‘European Commission’.
- [11] ‘Clean energy for all Europeans package’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en#documents
- [12] ‘ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2018/844 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 30ής Μαΐου 2018 για την τροποποίηση της οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και της οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση’, *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*.
- [13] ‘The European Green Deal’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [14] ‘European Commission’.
- [15] European Commission, Directorate-General for Energy, ‘A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή].

Διαθέσιμο

στο:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662>

[16] LITIU, A. V., SEPPANEN, O., PANTELIS, S., & HOGELING, J., ‘The smart readiness indicator for buildings: current status and next steps.’ *REHVA JOURNAL*, 28-33., 2021.

[17] Directorate-General for Climate Action, ‘Delivering the European Green Deal.’ [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/delivering-european-green-deal-2021-07-14_en

[18] European Commission, Directorate-General for Energy, ‘Certificates and inspections’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/certificates-and-inspections_en

[19] HBRC Journal, ‘A tool for Measuring the Smart Readiness Indicator of HBRC Journal , Volume 18’.

[20] Ιωάννης Ψαρράς, ‘Πρωτόκολλο του Κιότο’.

[21] Bahareh Ramezani a,†, Manuel. Gameiro da Silva b, Nuno Simões a,c, ‘Application of smart readiness indicator for Mediterranean buildings in retrofitting actions’, *Energy&Buildings*, ScienceDirect, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111173>.

[22] Γκάτσι Έ & Μεμα, G, ‘Βελτίωση αλγορίθμων παραγωγής προτάσεων πολλαπλών κριτηρίων που βασίζονται στο συνεργατικό φιλτράρισμα’.

[23] Saaty, T. L., ‘Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*’, 2008.

[24] R. Ramanathan, ‘A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment’, *J. Environ. Manag.* 2001 63 27–35, 2001, doi: <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0455>.

[25] Kamal Hossain Gazi^{1*}, Sankar Prasad Mondal¹, Banashree Chatterjee², Neha Ghorui³, Arijit Ghosh⁴ and Debashis De⁵, ‘A new synergistic strategy for ranking restaurant locations: A decision-making approach based on the hexagonal fuzzy numbers’, 2023, doi: <https://doi.org/10.1051/ro/2023025>.

[26] Ting Kuo *, Ming-Hui Chen, ‘On using pairwise comparison in the analytic hierarchy process: Validity is goal while consistency is means’, *Inf. Sci.* 648 2023 119630, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.119630>.

[27] Ali E. Abbas , Andrea C. Hupman, ‘Scale dependence in weight and rate multicriteria decision methods’, *Eur. J. Oper. Res.*-2217© 2023 Elsevier BV, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.12.038>.

[28] Doli Adhikari , Kamal Hossain Gazi , Bibhas Chandra Giri , Fariba Azizzadeh , Sankar Prasad Mondal, ‘Empowerment of women in India as different perspectives based on the AHP-TOPSIS inspired multi-criterion decision making method’, *τ. Results in Control and Optimization*, ScienceDirect, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100271>.

- [29] Saaty, T. L., ‘The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation’, 1980.
- [30] Saaty, T. L., ‘How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research’, 1990.
- [31] M. Mohd Fakhur Razi, R. Eida Nadirah, M. Nurhayati, M.F.R. Misran, E.N. Roslin, N.M. Nur, ‘Ahp-consensus judgement on transitional decision-making: with a discussion on the relation towards open innovation’, *σ. J. Open Innov. Technol., Mark. Complex.*, 6 (3) (2020), σσ. 1-17,, doi: 10.3390/joitmc6030063.
- [32] D. Ergu, G. Kou, Y. Peng, Y. Shi, ‘A simple method to improve the consistency ratio of the pair-wise comparison matrix in ANP’, *Eur J Oper Res 213 1 2011*, σσ. 246–259, doi: 10.1016/j.ejor.2011.03.014.
- [33] Wedley, W.C, ‘Consistency prediction for incomplete AHP matrices.’, *τχ. Math. Comput. Model.* 17 (4–5), 151–161, 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90183-](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90183-).
- [34] M. Hamidah , I. Mohd Hasmadi , L.S.L. Chua , W.S.Y. Yong , K.H. Lau , και I. Faridah-Hanum c, H.Z. Pakhriazad a, ‘Development of a protocol for Malaysian Important Plant Areas criterion weights using Multi-criteria Decision Making - Analytical Hierarchy Process (MCDM-AHP)’, *Glob. Ecol. Conserv.*, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02033>.
- [35] C-L. Hwang, K.Yoon, ‘Methods for multiple attribute decision making,in Multiple attribute decision making ’, 1981, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3.
- [36] Hwang C-L, Lai Y-J, Liu T-Y, ‘A new approach for multiple objective decision making’, *τχ. Comput Oper Res* 1993;20(8):889–99, 1993, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)90109-V](http://dx.doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-V).
- [37] Amudha M, Manickam R, Saravanan V, Anusuya P, Gayathri R., ‘A study on TOPSIS MCDM techniques and its application.’, *τ. ISBN: 978-81-948459-4-2*, *τχ. Data Anal Artif Intell* 2021;1(1):09–14..
- [38] Ghorui N, Mondal SP, Chatterjee B, Ghosh A, Pal A, De D, et al, ‘Selection of cloud service providers using MCDM methodology under intuitionistic fuzzy uncertainty’, *Soft Comput* 2023;27:2403–23.
- [39] Y.-W. Jiao-jiao Zhong, ‘Dynamic multicriteria group decision-making method with automatic reliability and weight calculation’, *σ. Information Sciences* 634 (2023) 400-422, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.03.092>.
- [40] Arditi, D και Nawakorawit, K., ‘Project cost estimation by multiple regression analysis’, 1999, doi: *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(6), 395-403.
- [41] Σκαμαγκούλη , Α, ‘Πολυρκτηριακή προσέγγιση σε προβλήματα ανάθεσης σε θέσεις εργασίας’.
- [42] Γεωργία Λειβαδάρου, ‘ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΑΡΟΧΟΥ 3PL ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑHP’. 2020.

8. Παράρτημα

	SRI	Cost	Energy efficiency	Energy flexibility	Comfort	Conv.	Health	M&FP	Info
<i>H-1a/3</i>	0.008	20000	0	2	3	2	1	0	0
<i>H-1a/4</i>	0.015	50000	0	2	3	2	1	0	0
<i>H-1b/3</i>	0.018	35000	0	2	3	2	1	1	0
<i>H-1c/2</i>	0.006	40000	0	1	1	0	0	0	0
<i>H-1d/2</i>	0.006	12000	0	0	0	0	0	0	0
<i>H-1d/3</i>	0.006	35000	0	0	0	0	0	0	0
<i>H-1d/4</i>	0.006	60000	0	0	0	0	0	0	0
<i>H-1f/2</i>	0.037	100000	1	0	0	0	0	0	0
<i>H-1f/3</i>	0.054	200000	2	0	0	0	0	0	0
<i>H-2a/2</i>	0.008	12000	0	2	0	0	0	0	0
<i>H-2b/1</i>	0.025	5000	1	1	0	0	0	0	0
<i>H-2b/2</i>	0.033	15000	1	2	0	0	0	0	0
<i>H-2b/3</i>	0.068	40000	3	2	0	0	0	0	0
<i>H-3/1</i>	0.001	2500	0	0	0	0	1	1	0
<i>H-3/2</i>	0.002	7000	0	0	0	0	1	3	0
<i>H-3/3</i>	0.018	15000	0	0	1	0	3	3	0
<i>H-4/1</i>	0.003	1000	0	1	1	0	0	0	0
<i>H-4/2</i>	0.029	5000	1	2	2	0	0	0	0

<i>H-4/3</i>	0.06 5	15000	3	2	3	0	0	0	0
<i>H-4/4</i>	0.06 8	25000	3	3	3	1	0	0	0
<i>DH W-1a/2</i>	0.00 9	5250	2	0	2	0	0	0	0
<i>DH W-1a/3</i>	0.01 6	10000	3	0	2	0	0	0	0
<i>DH W-1b/2</i>	0.00 9	2100	2	0	2	0	0	0	0
<i>DH W-1b/3</i>	0.01 6	4300	3	0	2	0	0	0	0
<i>DH W-1d/2</i>	0.00 9	4000	1	0	2	0	0	0	0
<i>DH W-1d/3</i>	0.01 8	5500	2	0	2	0	0	0	0
<i>DH W-3/1</i>	0.00 6	3000	0	0	0	0	1	1	0
<i>DH W-3/2</i>	0.00 7	5000	0	0	0	0	1	2	0
<i>DH W-3/3</i>	0.00 8	8000	0	0	0	0	1	3	0
<i>DH W-3/4</i>	0.01 2	15000	0	0	1	0	2	3	0
<i>C-1A/3</i>	0.00 8	5000	0	2	3	2	1	0	0
<i>C-1A/4</i>	0.01 0	10000	0	2	3	2	1	0	0
<i>C-1B/2</i>	0.00 8	2000	0	1	1	2	0	0	0
<i>C-1B/3</i>	0.01 0	5000	0	2	3	2	1	1	0

C-1C/2	0.00 5	15000	0	1	1	0	0	0	0
C-1D/3	0.00 5	10000	0	0	0	0	0	0	0
C-1D/4	0.00 5	20000	0	0	0	0	0	0	0
C-1F/1	0.00 7	3000	0	0	0	0	0	0	0
C-1F/2	0.00 2	8000	0	0	0	0	0	0	0
C-1G/1	0.01 2	3000	0	0	0	0	0	0	0
C-1G/2	0.01 8	8000	1	0	0	0	0	0	0
C-1G/3	0.01 1	15000	2	0	0	0	0	0	0
C-2A/1	0.01 5	1000	1	1	0	0	0	0	0
C-2A/2	0.02 8	4000	1	2	0	0	0	0	0
C-2A/3	0.00 1	10000	3	2	0	0	0	0	0
C-3/2	0.00 2	2500	0	0	0	0	1	2	0
C-3/3	0.00 9	15000	0	0	0	0	1	3	0
C-3/4	0.00 5	18000	0	0	1	0	3	3	0
C-4/1	0.01 7	15000	0	1	1	0	0	0	0
C-4/2	0.03 1	60000	1	2	2	0	0	0	0
C-4/3	0.03 5	13000 0	3	2	3	0	0	0	0
C-4/4	0.01 3	35000 0	3	3	3	1	0	0	0
V-1a/2	0.01 9	1600	0	2	2	2	0	0	0
V-1a/3	0.02 1	42000	0	3	3	3	0	0	0
V-1a/4	0.01 0	60000	0	3	3	3	0	0	0

V-2d/3	0.01 2	50000	0	2	1	0	0	0	0
V-3/1	0.01 2	600	0	3	2	1	0	0	0
V-3/2	0.01 9	2000	0	3	2	1	0	0	0
V-3/3	0.02 1	3500	0	3	2	1	0	0	0
V-6/2	0.02 3	25000	0	0	0	3	1	2	0
v-6/3	0.01 1	50000	0	0	0	3	2	3	0
L-1a/1	0.01 5	700	0	1	1	0	0	0	0
L-1a/2	0.01 3	4000	0	2	2	0	0	0	0
L-1a/3	0.01 8	8000	0	2	2	0	0	0	0
L-2/2	0.02 1	7000	0	1	1	1	0	0	0
L-2/3	0.01 6	16000	0	2	2	2	0	0	0
L-2/4	0.02 1	16000	0	3	3	3	0	0	0
DE-1/1	0.02 4	8000	0	1	1	0	0	0	0
DE-1/2	0.01 7	16000	0	1	2	1	0	0	0
DE-1/3	0.02 1	24000	0	2	3	2	0	0	0
DE-1/4	0.02 7	40000	0	3	3	3	0	0	0
DE-2/1	0.03 1	600	0	1	1	0	0	0	0
DE-2/2	0.01 8	1200	0	2	1	1	0	0	0
DE-2/3	0.02 2	2500	0	2	2	1	0	0	0
DE-4/1	0.02 3	600	0	0	0	0	1	1	0
DE-4/2	0.01 5	6000	0	0	0	0	1	2	0

<i>DE-4/3</i>	0.01 7	50000	0	0	0	0	1	3	0
<i>DE-4/4</i>	0.01 8	10000 0	0	0	1	0	2	3	0
<i>E-2/1</i>	0.02 0	600	0	0	0	0	1	1	
<i>E-2/2</i>	0.01 5	2000	0	0	0	0	1	2	0
<i>E-2/3</i>	0.01 6	4000	0	0	0	0	1	3	0
<i>E-2/4</i>	0.01 7	7000	0	0	1	0	2	3	0
<i>E-3/1</i>	0.01 9	7000	1	0	2	0	0	0	0
<i>E-3/2</i>	0.01 6	25000	2	0	2	0	0	0	0
<i>E-3/3</i>	0.01 7	12000 0	2	0	2	0	0	0	0
<i>E-3/4</i>	0.01 7	20000 0	3	0	2	0	0	0	0
<i>E-4/1</i>	0.01 8	6000	1	0	1	0	0	0	0
<i>E-4/2</i>	0.01 5	18000	2	0	2	0	0	0	0
<i>E-4/3</i>	0.01 7	57000	3	0	0	0	0	0	0
<i>E-5/1</i>	0.01 8	14000	1	0	1	0	0	0	0
<i>E-5/2</i>	0.01 5	25000	2	0	1	0	0	0	0
<i>E-8/1</i>	0.01 7	15000	2	0	2	0	0	0	0
<i>E-8/2</i>	0.01 7	70000	0	2	0	2	0	0	0
<i>E-8/3</i>	0.01 7	25000 0	3	0	3	0	0	0	0
<i>E-11/2</i>	0.01 9	2500	0	0	0	0	1	2	0
<i>E-11/3</i>	0.01 5	15000	0	0	0	0	1	3	0
<i>E-11/4</i>	0.01 6	60000	0	0	1	0	2	3	0

<i>E-12/2</i>	0.01 7	1500	0	0	0	0	0	2	0
<i>E-12/3</i>	0.01 9	4000	0	0	0	0	1	3	0
<i>E-12/4</i>	0.01 5	25000	0	0	1	0	2	3	0
<i>MC-3/1</i>	0.01 7	10500	1	1	1	0	0	0	0
<i>MC-3/2</i>	0.01 8	20000	1	2	2	1	0	0	0
<i>MC-3/3</i>	0.04 0	20000	2	2	3	1	0	0	0
<i>MC-4/1</i>	0.05 5	13000	0	0	1	1	1	1	0
<i>MC-4/2</i>	0.03 4	22000	0	0	0	2	2	2	2
<i>MC-4/3</i>	0.04 4	35000	0	0	0	3	3	3	3
<i>MC-9/1</i>	0.02 6	5000	1	0	1	1	0	1	0
<i>MC-9/2</i>	0.03 0	15000	1	0	1	1	0	2	0
<i>MC-13/1</i>	0.02 6	3500	1	0	0	1	0	1	1
<i>MC-13/2</i>	0.03 4	12000	1	0	0	2	0	2	2
<i>MC-13/3</i>	0.04 2	25000	1	0	0	3	0	3	3
<i>MC-25/1</i>	0.03 0	20000	0	2	0	0	0	0	0
<i>MC-25/2</i>	0.04 4	45000	1	3	0	1	0	0	0
<i>MC-28/1</i>	0.02 6	3500	0	1	0	0	0	0	2
<i>MC-28/2</i>	0.04 0	5500	0	2	0	0	0	1	3
<i>MC-29/1</i>	0.02 6	4000	0	3	-2	0	0	-1	-2
<i>MC-29/2</i>	0.02 4	8500	0	1	0	1	0	0	0
<i>MC-29/3</i>	0.03 0	15000	0	1	0	2	0	1	0

<i>MC-29/4</i>	0.04 0	40000	0	2	0	3	0	1	0
<i>MC-30/1</i>	0.01 9	15000	0	0	0	1	0	1	0
<i>MC-30/2</i>	0.02 6	60000	1	0	0	2	0	1	0
<i>MC-30/3</i>	0.03 3	10000 0	2	0	0	3	0	1	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 26: Συνολικός πίνακας(εναλλακτικών και κριτηρίων) για την μέθοδο TOPSIS