



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ανάπτυξη Ψηφιακού Εργαλείου για την Εκτίμηση του SRI και την Υποστήριξη Αποφάσεων Αναβάθμισης Κτιρίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΛΕΒΗ Π. ΑΝΔΡΕΑ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ανάπτυξη Ψηφιακού Εργαλείου για την Εκτίμηση του SRI και την Υποστήριξη Αποφάσεων Αναβάθμισης Κτιρίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΛΕΒΗ Π. ΑΝΔΡΕΑ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης
Επικουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24η Φεβρουαρίου 2025.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης
Επικουρος Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δημήτρης Ασκούνης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

.....

Ανδρέας Λεβής

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

Copyright © – All rights reserved. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Ανδρέας Λεβής, 2025.

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

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στον υπολογισμό και τη βελτιστοποίηση του δείκτη SRI(Smart Readiness Indicator) για την αξιολόγηση πολλαπλών τύπων κτιρίων μέσω μιας καινοτόμου εφαρμογής.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στη θεωρία του δείκτη SRI, περιγράφοντας τη σημασία του για την αξιολόγηση των κτιρίων όσον αφορά τις έξυπνες τεχνολογίες που περιλαμβάνουν, ενώ αναλύεται και το πως δημιουργήθηκε αλλά και για ποιό σκοπό απο την Ευρωπαϊκή Ένωση. Επίσης αναλύεται διεξοδικά και με παραδείγματα ο τρόπος υπολογισμού του με τις μαθηματικές εξισώσεις που έχουν δημιουργηθεί. Το βασικό κομμάτι της εργασίας είναι η δημιουργία μιας web εφαρμογής. Η εφαρμογή περιλαμβάνει βασικές λειτουργίες διαχείρισης όπως αποθήκευση χρηστών και κτιρίων. Όμως οι σημαντικές λειτουργικές απαιτήσεις περιλαμβάνουν τον υπολογισμό του δείκτη SRI και τρόπους βελτίωσής του με συγκεκριμένες αναβαθμίσεις στις υπάρχουσες υπηρεσίες του εκάστωτε κτιρίου. Οι αναβαθμίσεις γίνονται με βάση τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη.

Συγκεκριμένα, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο σύστημα προτάσεων που αναφέραμε, το οποίο παρέχει στο χρήστη εξατομικευμένες συμβουλές για την αναβάθμιση του κτιρίου, προωθώντας τη βιωσιμότητα και την ενεργειακή απόδοση.

Παράλληλα, γίνεται τεχνική ανάλυση των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν, όπως η PostgreSQL για τη βάση δεδομένων, μερικές από τις βιβλιοθήκες της Python(FastAPI) για το backend και τους υπολογισμούς των δεικτών και η Javascript(ReactJS) για το frontend.

Τέλος, παρουσιάζεται η λειτουργία της εφαρμογής με εικόνες και παραδείγματα, αναδεικνύοντας τις δυνατότητές της να υποστηρίξει τους χρήστες στην επίτευξη πιο έξυπνων και λειτουργικών κτιρίων. Έτσι καταλήγουμε στην πλήρη ανάπτυξη και λειτουργικότητα της εφαρμογής, της οποίας τα standards ανταποκρίνονται σε πραγματικά κτίρια και μπορεί να βοηθήσει στην πλήρη αξιολόγηση από μικρές μονοκατοικίες έως και σύνθετες κτιριακές εγκαταστάσεις.

Λέξεις Κλειδιά

έξυπνο κτήριο, δείκτης, εφαρμογή, λειτουργικότητα, αναβάθμιση

Abstract

This thesis focuses on the calculation and optimization of the Smart Readiness Indicator (SRI) for evaluating multiple types of buildings through an innovative application. Initially, it provides an overview of SRI theory, describing its significance in assessing buildings in terms of the smart technologies they incorporate. It also explores the origins and purpose of the SRI as introduced by the European Union. A detailed explanation is offered regarding the calculation methodology, accompanied by mathematical equations and illustrative examples.

The core aspect of this thesis is the development of a web application that includes fundamental management features such as user and building data . In addition, the critical functional requirements analyzed involve the calculation of the SRI and, with user input, the proposal of specific upgrades to existing building services to improve the indicator. Particular emphasis is placed on the recommendation system, which provides users with personalized advice to upgrade their buildings, thereby promoting sustainability and energy efficiency.

A technical analysis of the technologies used is also conducted. These include PostgreSQL for the database, Python libraries such as FastAPI for back-end development and indicator computations, and ReactJS for the front-end. Finally, the thesis presents the functionality of the application with images and examples, showcasing its capabilities to support users in achieving smarter and more efficient buildings.

The project ends the complete development and operational functionality of the application, which adheres to real-world standards. It shows its ability to evaluate a wide range of buildings, from small single-family homes to complex building facilities, providing a comprehensive tool for the assessment of SRI.

Λέξεις Κλειδιά

Smart building, Indicator, application, data, functionalities, upgrade

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Μαρινάκη για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω στο εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων & Διοίκησης. Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τους κυρίους Ιωάννη Παπία και Φίλιππο Σερέπα για την καθοδήγησή τους και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη και την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

Ανδρέας Λεβής

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	9
Ευχαριστίες	11
1 Εισαγωγή	17
2 SRI(Smart Readiness Indicator)	19
2.1 Smart Readiness Indicator - Εισαγωγή	19
2.2 Ανάλυση του δείκτη SRI	20
2.3 Λεπτομερής Υπολογισμός και Παραδείγματα - SRI	22
2.3.1 Οι πληροφορίες των κτιρίων προς χρήση	22
2.3.2 Τομείς του κτιρίου, υπηρεσίες και μέθοδοι	23
2.3.3 Impact Criteria του κτιρίου	26
2.3.4 Εξισώσεις των επι μέρους ποσοτών - Αναλυτικός Υπολογισμός	27
2.3.5 Παράδειγμα υπολογισμού του SRI ενός κτιρίου	31
2.4 Υπάρχοντα Εργαλεία Υπολογισμού του δείκτη	37
2.4.1 U-CERT SRI digital tool	37
2.4.2 Smart Ready Go!	37
2.5 Έρευνα και Ανάπτυξη από την Ε.Ε και τους υπόλοιπους stakeholders	38
3 Υλοποίηση του SRI Upgrade tool και τρόποι υπολογισμού	41
3.1 Τι είναι το SRI Upgrade tool	41
3.2 Λόγοι δημιουργίας του SRI Upgrade tool	42
3.3 Τρόπος υπολογισμού και υλοποίησης της λειτουργικότητας	43
4 Ανάλυση Λειτουργικών Απαιτήσεων	47
4.1 Εγγραφή Χρήστη και Είσοδος στο Σύστημα	47
4.2 Διαχείριση Κτηρίων στο Προφίλ Χρήστη	48
4.3 Προσθήκη Νέου Κτηρίου και των Χαρακτηριστικών του	48
4.3.1 Πληροφορίες Κτηρίου προς συμπλήρωση	48
4.3.2 Επιλογή Τεχνικών Τομέων (Domains)	49
4.3.3 Επιλογή Υπηρεσιών και Επιπέδων επάρκειας	49
4.4 Υπολογισμός SRI και Οπτικοποίηση Αποτελεσμάτων	50
4.5 Προτάσεις Βελτίωσης και Στόχοι	50

4.6 Σύνοψη	50
5 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εφαρμογής	51
5.1 Η δομή της εφαρμογής	51
5.1.1 Βάση Δεδομένων και Αποθήκευση	51
5.1.2 Backend Λειτουργίες και Επεξεργασία Δεδομένων	52
5.1.3 Frontend και Αλληλεπίδραση με το Χρήστη	53
5.1.4 Υπολογισμός SRI και Διαγράμματα Αποτελεσμάτων	54
5.1.5 Σύστημα Προτάσεων για Βελτίωση	54
5.2 Τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν	55
5.3 Βάση δεδομένων - PostgreSQL	55
5.3.1 PostgreSQL	56
5.3.2 SQLAlchemy: Εργαλείο Σύνδεσης Backend και βάσης	57
5.4 Backend	59
5.4.1 Python	59
5.4.2 FASTapi	60
5.4.3 Σύνοψη	61
5.5 Frontend	62
5.5.1 JavaScript	62
5.5.2 ReactJS	62
5.5.3 Σύνοψη	65
5.6 Διαγράμματα και άλλες λεπτομέρειες της εφαρμογής	66
5.6.1 Highcharts.js	66
5.6.2 CORS Middleware και ο ρόλος του Middleware στην εφαρμογή	67
5.6.3 Προστασία των credentials των χρηστών μέσω OAuth2	67
6 Παρουσίαση της Εφαρμογής	69
6.1 Δημιουργία χρήστη και είσοδος στην εφαρμογή	69
6.2 Κεντρική σελίδα και Πίνακας κτηρίων	73
6.3 Προσθήκη νέου κτηρίου και εισαγωγή των χαρακτηριστικών του	76
6.4 Εμφάνιση του τελικού SRI score	81
6.5 Αναβάθμιση του SRI	84
7 Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις	87
Βιβλιογραφία	90

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Seven impact criteria categories	20
2.2	Overview of the Scoring Matrix	21
2.3	View of the Domain Weights	23
2.4	View of the scores for every level	28
2.5	SRic Equation	29
2.6	SRI different classes	30
2.7	SRf Equation	31
2.8	SRI Equation	31
2.9	Domain Weights	32
2.10	Heating Services	32
2.11	Cooling Services	33
3.1	Upgrades Table	44
5.1	Flow structure	52
5.2	Frontend vs Backend	53
5.3	Postgresql Architecture	55
5.4	Diagram of Models Structure	58
5.5	ReactJS App Flow	65
5.6	Bar Chart Example	66
6.1	Flow Diagram	69
6.2	First page	70
6.3	First page with hover on login	71
6.4	Sign Up page	71
6.5	Sign up with completed data	72
6.6	Log In page	72
6.7	Log In page along with credentials	73
6.8	Main page	73
6.9	Main page with log out option	74
6.10	Empty my buildings page	75
6.11	My buildings page	75
6.12	Add a new Building(Part 1)	76
6.13	Add a new Building(Part 2)	76
6.14	Completed Form(Part 1)	77
6.15	Completed Form(Part 2)	77

6.16	Present Domains Page	78
6.17	Present Domains Page Completed	78
6.18	Service Selection Page	79
6.19	Service Selection Page Completed (Part 1)	79
6.20	Service Selection Page Completed (Part 2)	80
6.21	Service Selection Page Completed (Part 3)	80
6.22	SRI Score Page (Part 1)	81
6.23	SRI Score Page (Part 2)	82
6.24	SRI Score Page (Part 3)	82
6.25	SRI Score Page (Part 4)	83
6.26	SRI Score Page (Part 5)	83
6.27	SRI Score Page (Part 6)	84
6.28	Upgrade SRI page	85
6.29	Unavailable target example	85
6.30	Example of Upgrade Recommendations	86
6.31	Another Example of Upgrade Recommendations	86

Κεφάλαιο **1**

Εισαγωγή

Οι κτιριακές εγκαταστάσεις αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης κοινωνίας, φιλοξενώντας ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, από κατοικίες και γραφεία έως βιομηχανικούς και εμπορικούς χώρους. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για περίπου το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και το 36% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτοί οι αριθμοί καταδεικνύουν τη σημαντική επίδραση που έχουν τα κτίρια στη βιωσιμότητα, την ενεργειακή αποδοτικότητα και το περιβάλλον.[1]

Η αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή [2]. Τα περισσότερα κτίρια εξακολουθούν να χρησιμοποιούν παλαιότερες και λιγότερο αποδοτικές τεχνολογίες θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού, με αποτέλεσμα τη σπατάλη ενέργειας. Παράλληλα, η αύξηση του αστικού πληθυσμού και η ζήτηση για νέες κτιριακές εγκαταστάσεις αυξάνουν περαιτέρω την ανάγκη για πιο αποδοτικά και περιβαλλοντικά βιώσιμα κτίρια. Η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων έχει καταστεί πλέον προτεραιότητα για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας και την εκπλήρωση των δεσμεύσεων που προκύπτουν από τη Συμφωνία των Παρισιών [3].

Η ψηφιοποίηση και η ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογιών στον κτιριακό τομέα έχουν αναδειχθεί ως βασικοί παράγοντες για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και τη βελτίωση της διαχείρισης των πόρων. Η έννοια του Smart Building αναφέρεται σε κτίρια που ενσωματώνουν προηγμένες τεχνολογίες αυτοματισμού, αισθητήρες, ελέγχους και έξυπνα συστήματα διαχείρισης με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της άνεσης των χρηστών [4]. Σε αυτό το πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU) ανέπτυξε τον Δείκτη Ετοιμότητας Έξυπνων Κτιρίων (SRI - Smart Readiness Indicator), μια μετρική που αξιολογεί το επίπεδο «έξυπνης ετοιμότητας» ενός κτιρίου, δηλαδή το πόσο προηγμένες είναι οι τεχνολογίες και οι υπηρεσίες του.[4]

Για τη λεπτομερή μελέτη και ανάλυση του SRI, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε ένα διαδικτυακό εργαλείο, το SRI Toolkit, το οποίο επιτρέπει τον υπολογισμό του δείκτη και την αναλυτική παρουσίασή του στον χρήστη, που μπορεί να είναι ο ιδιοκτήτης ή ο διαχειριστής του κτιρίου.[5] Το εργαλείο αυτό διαθέτει βασικές λειτουργίες μιας web εφαρμογής, επιτρέποντας τη δημιουργία προσωπικών προφίλ χρηστών, την

αποθήκευση πολλαπλών κτιρίων και τη συνεχή διαχείριση των δεδομένων τους.[6][7][8]

Πιο αναλυτικά για το περιεχόμενο της εφαρμογής που δημιουργήσαμε, αξίζει να αναφέρουμε τον τρόπο που εισάγονται και να αναλύονται τα κτίρια του χρήστη και τον τρόπο που γίνονται οι υπολογισμοί. Κατά την εισαγωγή ενός νέου κτιρίου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει πολλές χρήσιμες πληροφορίες για αυτό, όπως την τοποθεσία του, την ενεργειακή κλάση, το κλίμα στο οποίο βρίσκεται, το έτος ανέγερσης και πολλά άλλα. Από τις διαθέσιμες πληροφορίες που βρίσκονται στη φόρμα εισαγωγής, μόνο η γεωγραφική ζώνη και ο τύπος του κτιρίου (Residential or Non-Residential) χρησιμοποιούνται πρακτικά στον υπολογισμό του σκορ. Έτσι, ο χρήστης θα έχει πλήρως αναλυτικά αποθηκευμένο κάθε κτίριό του. Μετά την είσοδο στην εφαρμογή, ο χρήστης καλείται να τοποθετήσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες αναφορικά με τις έξυπνες τεχνολογίες και λειτουργικότητες του κτιρίου. Όλες οι διαθέσιμες υπηρεσίες και επιλογές για το κτίριο αναλύονται στο Κεφάλαιο 2. Έτσι, μετά την αποθήκευση όλων των απαραίτητων πληροφοριών λαμβάνουν χώρα οι υπολογισμοί και παρουσιάζεται μια πλήρης καρτέλα με το τελικό SRI καθώς επίσης και με άλλους υποκείμενους βοηθητικούς δείκτες σε συνδυασμό με διαγράμματα και πίνακες για την ορθή παρουσίαση των αποτελεσμάτων.[6][7]

Παρά τον πλήρη υπολογισμό και παρουσίαση του SRI Score, η εφαρμογή που υλοποιήθηκε περιλαμβάνει και ένα επιπλέον κομμάτι το οποίο αποτελεί και τη διαφοροποίηση από αρκετά ήδη υπάρχοντα εργαλεία. Γίνεται λόγος για το SRI Upgrade Tool, το οποίο αποτελεί ένα μέρος του εργαλείου κατά το οποίο, μετά τον υπολογισμό του τελικού δείκτη, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, δίνοντας ένα μεγαλύτερο σκορ από το υπάρχον σαν στόχο, να του γίνουν προτάσεις και επισημάνσεις για το πώς θα βελτιώσει το SRI του κτιρίου του, φτάνοντας όσο το δυνατόν πιο κοντά στο στόχο που έθεσε. Με άλλα λόγια, η εφαρμογή, μέσω περαιτέρω υπολογισμών, προτείνει στον χρήστη ποιες υπηρεσίες του κτιρίου του να βελτιώσει και σε τι βαθμό να το κάνει αυτό, έτσι ώστε να είναι οι μικρότερες δυνατές αλλαγές και οι αποδοτικότερες.[1]

Συνολικά, στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει πλήρης παρουσίαση του SRI Toolkit, ενώ παράλληλα θα γίνει και ανάλυση για τον δείκτη SRI γενικότερα, ενώ θα αναφερθούν και κάποιες πληροφορίες για τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήσαμε κατά την υλοποίηση της εφαρμογής.[1]

SRI(Smart Readiness Indicator)

Το SRI (Smart Readiness Indicator) αποτελεί ένα πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αξιολόγηση του επιπέδου «έξυπνότητας» των κτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, το SRI αξιολογεί πόσο «έξυπνο» είναι ένα κτήριο ως προς την ανταπόκρισή του στις ανάγκες του ενοίκου (π.χ. υγεία, άνεση, ευημερία, κλπ.), τη χρήση αποτελεσματικών στρατηγικών ελέγχου ενέργειας και τον τρόπο αλληλεπίδρασης με τα δίκτυα ενέργειας (ευελιξία ενέργειας/απόκριση ζήτησης κ.λπ.). Η εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών στα κτήρια αποτελεί μια οικονομική λύση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών άνθρακα, παρέχοντας παράλληλα βελτιωμένη άνεση στους ενοίκους. Σε επίπεδο κτηρίου, η υλοποίηση ενός προηγμένου πακέτου έξυπνων τεχνολογιών μπορεί να οδηγήσει σε μέση εξοικονόμηση 30 τοις εκατό της τελικής ενέργειας. [9]

2.1 Smart Readiness Indicator - Εισαγωγή

Η έννοια του Smart Readiness Indicator εισήχθη το 2018 από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια της αναθεώρησης της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD), με σκοπό τη δημιουργία ενός κοινού ευρωπαϊκού συστήματος για την αξιολόγηση ενός κτιρίου όσον αφορά το smartness, δηλαδή το πόσο έξυπνο είναι το κτίριο. Μετά από κανονισμούς και δοκιμές έχουμε φτάσει στην τρέχουσα φάση δοκιμών του SRI, σύμφωνα με την οποία τα κράτη μέλη της ΕΕ μπορούν, σε πρώτη φάση προαιρετικά, να εφαρμόσουν αυτό το σύστημα αξιολόγησης. Η εισαγωγή του SRI ήρθε ως απάντηση στην ανάγκη για αύξηση των επενδύσεων και στην ανακαίνιση και κατασκευή των κτιρίων και την αξιοποίηση έξυπνων, ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών στον κτιριακό τομέα σε ολόκληρη την Ευρώπη. Το SRI αξιολογεί την ικανότητα ενός κτιρίου να λειτουργεί με τρόπο που βελτιστοποιεί την ενεργειακή του απόδοση και τη συνολική του λειτουργικότητα, την ικανότητά του να προσαρμόζεται στα σήματα από το δίκτυο (ενεργειακή ευελιξία) και να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των χρηστών του κτιρίου. Συνεπώς, το SRI επικεντρώνεται κυρίως στην ηλεκτρομηχανική υποδομή των κτιρίων και όχι στον κτιριακό φλοιό. Με άλλα λόγια, για τον υπολογισμό του δείκτη πρωταρχικό ρόλο παίζουν οι παροχές του κτιρίου εσωτερικά όπως Θέρμανση, Εξαερισμός, Έλεγχος κτλ. [10][5]

2.2 Ανάλυση του δείκτη SRI

Ο δείκτης του SRI αποτελεί ένα αρκετά περίπλοκο κομμάτι στον υπολογισμό του, βασισμένο σε πολλά διαφορετικά κριτήρια και με πολλαπλά βάρη ανάλογα το κτίριο που αναλύεται. Η γενική μεθοδολογία έχει βασιστεί σε μια πολυκριτήρια ανάλυση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2020. [11]

Η βασική δομή της μεθοδολογίας είναι μια ευέλικτη και πολυδιάστατη μέθοδος αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων που στηρίζεται στην αξιολόγηση των έξυπνων υπηρεσιών που υπάρχουν σε ένα κτίριο. Οι υπηρεσίες αυτές ενεργοποιούνται από ένα συνδυασμό έξυπνων τεχνολογιών, αλλά ορίζονται με έναν τρόπο που δεν εξαρτάται από συγκεκριμένες τεχνολογίες. Η προτεινόμενη μέθοδος υπολογισμού είναι οργανωμένη σε 9 τεχνικούς τομείς (domains) και 7 βασικά κριτήρια (impact criteria). Για κάθε υπηρεσία(service), ορίζονται διάφορα επίπεδα λειτουργικότητας. Ένα υψηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας υποδεικνύει μια πιο “έξυπνη” υλοποίηση της υπηρεσίας, η οποία γενικά προσφέρει πιο ευεργετικές επιπτώσεις στους χρήστες του κτιρίου ή στο δίκτυο σε σύγκριση με υπηρεσίες που υλοποιούνται σε χαμηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας.



Σχήμα 2.1: *Seven impact criteria categories*

Στην προτεινόμενη μέθοδο, το SRI score ενός κτιρίου ή ενός συμπλέγματος κτιρίων εκφράζεται ως ποσοστό, το οποίο αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ του SRI του κτιρίου σε σύγκριση με το μέγιστο SRI score που θα μπορούσε να επιτύχει. Γενικότερα, ο υπολογισμός δεν πραγματοποιείται αυτόματα. Λόγω των πολλαπλών κριτηρίων και τομέων, υπολογίζονται διάφορα επιμέρους σκορ, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον συνολικό υπολογισμό του ενιαίου σκορ.

Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζονται όλα τα ζεύγη ανάμεσα σε Domain-Impact Criteria τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παραμετροποίηση των πιο μεγάλων σκορ. Στην ουσία έτσι προκύπτουν 63 επιμέρους ποσοστά (7 domains, 9 impact criteria). Στη συνέχεια με τη βοήθεια αυτών προκύπτουν τα επιμέρους ποσοστά των 7 κριτηρίων. Για τον υπολογισμό τους γίνεται χρήση των 9 σκορ (ένα για κάθε τομέα) για το συγκεκριμένο κριτήριο. Θα εξηγήσουμε και στη συνέχεια πιο αναλυτικά πως προκύπτουν αυτά τα ποσοστά.

Έπειτα, υπολογίζονται τα 3 σκορ των βασικών λειτουργιών (key functionalities), όπως φαίνονται στο Σχήμα 1.1. Κάθε λειτουργία περιλαμβάνει συγκεκριμένα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της.

Τέλος, το τελικό SRI score υπολογίζεται από τα επί μέρους των key functionalities και έτσι φτάνουμε στο ενιαίο ποσοστό. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται πιο αναλυτικά οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων. [12] [10]

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	%	%	%	%	%	%	%	

Σχήμα 2.2: Overview of the Scoring Matrix

Για τον υπολογισμό δεν υπάρχει μόνο ένας τύπος μεθοδολογίας αλλά δύο.

Οι δύο μέθοδοι έχουν παρόμοια δομή, αλλά η μέθοδος Α χρησιμοποιεί ένα μειωμένο σύνολο υπηρεσιών, απαιτώντας έτσι λιγότερη προσπάθεια και εξειδίκευση για την πραγματοποίηση της αξιολόγησης. Η απλουστευμένη μέθοδος Α προβλέπεται κυρίως για μικρά κτίρια με χαμηλή πολυπλοκότητα (μονοκατοικίες, μικρές πολυκατοικίες, μικρά μη κατοικημένα κτίρια κ.λπ.), ενώ η πιο λεπτομερής μέθοδος Β απευθύνεται κυρίως σε κτίρια με μεγαλύτερη πολυπλοκότητα (τυπικά μεγάλα μη κατοικημένα κτίρια, μεγάλες πολυκατοικίες).

Τόσο η μέθοδος Α όσο και η μέθοδος Β έχουν ενσωματωθεί στο ίδιο εργαλείο υπολογισμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και οι συντελεστές βαρύτητας που προτάθηκαν στη γενι-

κή μέθοδο των τεχνικών μελετών υποστήριξης. Για τεχνικούς λόγους η υλοποίηση της web εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε με χρήση της μεθόδου B. [9]

2.3 Λεπτομερής Υπολογισμός και Παραδείγματα - SRI

Για τον πλήρη υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιούνται πολλαπλές εξισώσεις με διαφορετικά βάρη κάθε φορά. Για την λεπτομερή επεξήγησή του, χρειάζεται ένας διαχωρισμός για κάθε ενδιάμεσο βοηθητικό ποσοστό. Όταν όλα τα βήματα ολοκληρωθούν τότε θα έχει καλυφθεί πλήρως ο υπολογισμός του τελικού SRI. [13]

2.3.1 Οι πληροφορίες των κτιρίων προς χρήση

Το πρώτο βήμα σε κάθε περίπτωση, είναι η καταχώρηση των δεδομένων του κτιρίου που αναλύεται. Στις περισσότερες υπάρχουσες εφαρμογές ζητούνται δεδομένα όπως Χώρα, Πόλη, Διεύθυνση, είδος κτιρίου, T.K, χρονολογία κτλ. Οι πληροφορίες αυτές είναι μεν χρήσιμες όσον αφορά την τοποθέτηση του κτιρίου στη βάση δεδομένων της εκάστοτε εφαρμογής, όμως δεν χρησιμοποιούνται ουσιαστικά στον υπολογισμό του τελικού SRI score. Για τον προσδιορισμό των βαρών που χρησιμοποιούνται στις πράξεις, απαραίτητα είναι δύο βασικά στοιχεία του κτιρίου προς ανάλυση. [13][14]

Τύπος Κτιρίου (Building Type)

Σε αυτό το πεδίο ο χρήστης έχει δύο επιλογές για το κτίριο. Αν είναι κατοικήσιμο ή μη κατοικήσιμο (Residential or non-Residential). Τα κατοικημένα κτίρια μπορεί να είναι μία απλή μονοκατοικία, μια πολυκατοικία, ένα σύμπλεγμα διαμερισμάτων και γενικότερα οποιοδήποτε κτίριο μπορεί να κατοικηθεί σε μόνιμη βάση. Από την άλλη κτίρια μη κατοικιών μπορεί να είναι ένας επαγγελματικός χώρος, μια εκκλησία, μια δημόσια υπηρεσία κτλ. Με βάση αυτή τη πληροφορία καθορίζονται εν μέρει τα βάρη που θα παίξουν ρόλο στον υπολογισμό των επί μέρους σκορ.

Γεωγραφική Ζώνη (Building Zone)

Εδώ η πληροφορία που ζητείται έχει να κάνει με το μέρος που βρίσκεται το κτίριο στον Ευρωπαϊκό χώρο με κύριο άξονα διαχωρισμού να είναι το κλίμα σε κάθε ζώνη. Εδώ οι επιλογές είναι ξανά σταθερές αλλά περισσότερες. Το κτίριο μπορεί να βρίσκεται σε 5 κλιματικές ζώνες:

- Βόρεια Ευρώπη: Δανία, Φινλανδία, Σουηδία, Νορβηγία, Ισλανδία
- Δυτική Ευρώπη: Αυστρία, Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία, Ιρλανδία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Λιχτενστάιν, Ελβετία
- Νότια Ευρώπη: Ελλάδα, Ιταλία, Μάλτα, Πορτογαλία, Ισπανία, Κύπρος
- Βόρεια-Ανατολική Ευρώπη: Τσεχία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία, Σλοβακία
- Νότια-Ανατολική Ευρώπη: Βουλγαρία, Κροατία, Ουγγαρία, Ρουμανία, Σλοβενία

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση το κλίμα στην κάθε ζώνη. Έτσι με το συνδυασμό αυτής της πληροφορίας και τον τύπο του κτιρίου θα έχουμε προσδιορίσει τα βάρη για τον υπολογισμό. Προφανώς, όλα αυτά ισχύουν για κτίρια εντός της ευρωπαϊκής ζώνης. Σε περίπτωση που απαιτείται να αναλυθεί κτίριο εκτός Ευρώπης, τότε θα πρέπει τα βάρη να είναι User-defined, δηλαδή να τα προσδιορίσει όλα ο χρήστης με βάση δική του ανάλυση για να προκύψει το αποτέλεσμα που αναζητείται. Παρακάτω φαίνεται ένα μέρος των βαρών που χρησιμοποιούνται καθορισμένα από τα παραπάνω κριτήρια και όπως βλέπουμε παρακάτω υπάρχουν 7 διαφορετικά βάρη για κάθε τομέα. [10][5]

building_type	zone	domain	dw_cr1	dw_cr2	dw_cr3	dw_cr4	dw_cr5	dw_cr6	dw_cr7
Residential	North Europe	Heating	0.299091	0.426729	0.16	0.1	0.16	0.314597	0.114286
Residential	North Europe	Domestic hot water	0.092805	0.13241	0	0.1	0	0.097617	0.114286
Residential	North Europe	Cooling	0	0	0.16	0.1	0.16	0	0.114286
Residential	North Europe	Ventilation	0.187364	0	0.16	0.1	0.16	0.197078	0.114286
Residential	North Europe	Lighting	0.036968	0	0.16	0.1	0.16	0	0
Residential	North Europe	Electricity	0.133773	0.190861	0	0.1	0	0.140708	0.114286
Residential	North Europe	Dynamic building envelope	0.05	0	0.16	0.1	0.16	0.05	0.114286
Residential	North Europe	Electric vehicle charging	0	0.05	0	0.1	0	0	0.114286
Residential	North Europe	Monitoring and control	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Residential	West Europe	Heating	0.339668	0.457216	0.16	0.1	0.16	0.346435	0.114286
Residential	West Europe	Domestic hot water	0.07621	0.102584	0	0.1	0	0.077729	0.114286
Residential	West Europe	Cooling	0.030389	0.040906	0.16	0.1	0.16	0.030995	0.114286
Residential	West Europe	Ventilation	0.178172	0	0.16	0.1	0.16	0.181721	0.114286
Residential	West Europe	Lighting	0.014649	0	0.16	0.1	0.16	0	0
Residential	West Europe	Electricity	0.110911	0.149294	0	0.1	0	0.11312	0.114286
Residential	West Europe	Dynamic building envelope	0.05	0	0.16	0.1	0.16	0.05	0.114286
Residential	West Europe	Electric vehicle charging	0	0.05	0	0.1	0	0	0.114286
Residential	West Europe	Monitoring and control	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Residential	South Europe	Heating	0.316664	0.376243	0.16	0.1	0.16	0.328405	0.114286
Residential	South Europe	Domestic hot water	0.099794	0.11857	0	0.1	0	0.103494	0.114286
Residential	South Europe	Cooling	0.068809	0.081755	0.16	0.1	0.16	0.07136	0.114286
Residential	South Europe	Ventilation	0.091952	0	0.16	0.1	0.16	0.095361	0.114286

Σχήμα 2.3: *View of the Domain Weights*

2.3.2 Τομείς του κτιρίου, υπηρεσίες και μέθοδοι

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα για τον δείκτη SRI του κτιρίου αυτό χωρίζεται σε 9 τομείς, με τη βοήθεια των οποίων είναι εφικτή μια πλήρης ανάλυση με αρκετά μεγάλη ακρίβεια όσον αφορά τις υπηρεσίες, τις οποίες προσφέρει ή είναι ικανό να προσφέρει το κτίριο. Οι τεχνικοί τομείς (technical domains) παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποδοτικότητα και στη λειτουργικότητα του κτιρίου. Ας δούμε ξεχωριστά ορισμένα από τα βασικά technical domains:

- **Heating**(Θέρμανση): Σε αυτόν τον τομέα συμπεριλαμβάνονται τα συστήματα θέρμανσης του κτιρίου, που εξασφαλίζουν άνετη θερμοκρασία για τους χρήστες. Περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως αυτόματη προσαρμογή θερμοκρασίας, διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνεται, και την αποδοτικότητα της χρήσης καυσίμων. Οι υπηρεσίες αυτές διαφέρουν ανάλογα με το είδος του κτιρίου (π.χ., οικιστικά ή εμπορικά) και τον τύπο του συστήματος θέρμανσης (π.χ., καλοριφέρ, ενδοδαπέδια θέρμανση).
- **Cooling**(Ψύξη): Ο τομέας της ψύξης σχετίζεται με τα συστήματα ψύξης και κλιματισμού που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση δροσερού εσωτερικού περιβάλλοντος σε ζεστά κλίματα ή εποχές. Οι υπηρεσίες στον τομέα αυτό περιλαμβάνουν τον έλεγχο θερμοκρασίας, την αποδοτική διαχείριση ψυκτικών συστημάτων, και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε χώρους με υψηλές απαιτήσεις σε θερμοκρασία, όπως εμπορικά ή βιομηχανικά κτίρια ή σε θερμά κλίματα όπως στη Νότια και Νοτιοανατολική Ευρώπη.
- **Ventilation**(Εξαερισμός): Αυτός ο τομέας διασφαλίζει την ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Οι υπηρεσίες εξαερισμού περιλαμβάνουν συστήματα ανανέωσης του αέρα, φιλτραρίσματος, και έλεγχο υγρασίας(αφυγραντήρες). Ο σωστός εξαερισμός είναι σημαντικός για την υγεία των χρηστών του κτιρίου, ενώ σε μεγάλα ή δημόσια κτίρια είναι απαραίτητος για την τήρηση κανονισμών υγιεινής. Σε κάθε περίπτωση εξαρτάται και από το μέγεθος του κτιρίου και από το πληθυσμό που στεγάζει ή φιλοξενεί.
- **Lighting**(Φωτισμός): Σε αυτό το κομμάτι περιλαμβάνεται ο φωτισμός εσωτερικών και εξωτερικών χώρων ενός κτιρίου. Υπηρεσίες όπως η διαχείριση της φωτεινότητας, ο αυτόματος φωτισμός ανάλογα με την παρουσία χρηστών ή εξ' αποστάσεως, ή ανάλογα την ώρα της ημέρας(Νυχτερινός φωτισμός, εξοικονόμηση την ημέρα) συμπεριλαμβάνονται. Επίσης η χρήση αποδοτικών λαμπτήρων και άλλων πηγών φωτισμού ανήκουν σε αυτόν τον τομέα. Ειδικά σε χώρους εργασίας ή εμπορικά κτίρια, η σωστή διαχείριση του φωτισμού μπορεί να μειώσει δραστικά το ενεργειακό κόστος.
- **Domestic Hot Water**(Ζεστό νερό για χρήση): Αυτός ο τομέας αφορά τα συστήματα παροχής ζεστού νερού για καθημερινή χρήση (ντους, κουζίνες, κ.λπ.). Οι υπηρεσίες στον τομέα αυτό περιλαμβάνουν τη διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή και αποθήκευση του ζεστού νερού, καθώς και τον αυτοματισμό για εξοικονόμηση ενέργειας. Παροχές που παίζουν ρόλο εδώ είναι το boiler, ο ηλιακός θερμοσίφωνας ή άλλες τεχνολογίες για τη θέρμανση του νερού. Ο τομέας είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε οικιστικά κτίρια και ξενοδοχειακές μονάδες.
- **Electricity**(Ηλεκτρικό ρεύμα): Η διαχείριση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι κρίσιμη για την αποδοτικότητα του κτιρίου. Ο τομέας αυτός περιλαμβάνει υπηρεσίες που ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας, την αποθήκευση ενέργειας (π.χ., μέσω μπαταριών), και την ολοκλήρωση με συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε κτίρια μεγάλης

κλίμακας, η αποδοτική διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μειώσει σημαντικά το λειτουργικό κόστος.

- **Dynamic Building Envelope**(Δυναμικό κέλυφος κτιρίου): Ο τομέας αυτός αφορά τις τεχνολογίες που επιτρέπουν την προσαρμογή του κελύφους του κτιρίου ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες, όπως ο ήλιος ή ο άνεμος. Περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως αυτόματα παντζούρια, δυναμικά μονωτικά υλικά, και συστήματα που μειώνουν την ενεργειακή απώλεια. Όπως είναι προφανές η μόνωση του κτιρίου είναι το πιο βασικό σε αυτόν το τομέα, για να εξασφαλιστεί μια πιο οικονομική κατοικία ή δημόσιος χώρος ανεξάρτητα των εξωτερικών συνθηκών.
- **Monitoring and Control**(Παρακολούθηση και Έλεγχος): Ο τομέας αυτός επικεντρώνεται στην παρακολούθηση και στον έλεγχο όλων των υποσυστημάτων του κτιρίου, από τα συστήματα θέρμανσης μέχρι τον φωτισμό. Οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, την ανίχνευση σφαλμάτων, και την παροχή πληροφοριών στους χρήστες για την καλύτερη διαχείριση του κτιρίου. Στις μέρες μας, τα έξυπνα κτίρια αυξάνονται όλο και περισσότερο και η αναπτυγμένη χρήση αυτοματισμών και ελέγχου συμβάλλουν σε αυτή την αύξηση.
- **Electric Vehicle Charging**(Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων): Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι υποδομές και τα συστήματα που επιτρέπουν τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (EV) σε ένα κτίριο. Αυτός ο τομέας είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη μείωση των εκπομπών ρύπων και την προώθηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ αναπτύσσεται ραγδαία καθώς η ζήτηση για EV αυξάνεται. Περιλαμβάνονται υπηρεσίες όπως σταθμοί φόρτισης, έξυπνη φόρτιση, ολοκλήρωση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων όσον αφορά τη χρήση των σταθμών. Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων συνδέεται άμεσα με τη μετάβαση σε βιώσιμες μεταφορές και μελλοντικά θα αποτελεί βασικό στοιχείο του σχεδιασμού για κτίρια, τόσο κατοικιών όσο και εμπορικών ή δημόσιων.

Οι παραπάνω τομείς καλύπτουν, άλλοι περισσότερο και άλλοι λιγότερο, τις κύριες λειτουργίες ενός κτιρίου και συνδέονται στενά με την ενεργειακή αποδοτικότητα, την άνεση και τη βιωσιμότητα. Οι υπηρεσίες στις οποίες αναλύονται είναι αρκετές και πολύ συγκεκριμένες και για την ανάλυση παίζει ρόλο ποια μεθοδολογία θα ακολουθηθεί. Στη μέθοδο A περιλαμβάνονται λιγότερες υπηρεσίες και αρκετά πιο γενικές. Αντίθετα με τη μέθοδο B περιλαμβάνονται όλες οι πιθανές υπηρεσίες σε κάθε τεχνικό τομέα.

Ένα παράδειγμα διαφοράς των δύο μεθόδων για να γίνει και πιο κατανοητό είναι στη περίπτωση του τομέα της θέρμανσης. Με τη μέθοδο B περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων τα εξής services: Heat Generator Control, Sequencing in case of different Heat generators. Με άλλα λόγια μια βασική υπηρεσία και μια δευτερεύουσα η οποία εξαρτάται από τη πρώτη εννοιολογικά. Στη μέθοδο A περιλαμβάνεται μόνο η πρώτη υπηρεσία.

Εκτός από τις δύο αυτές μεθόδους, ο εκάστοτε χρήστης μπορεί να προσθέσει και δικές του υπηρεσίες αν δε τον καλύπτουν τα υπάρχοντα. Απλά σε αυτή τη περίπτωση πρέπει ο ίδιος να καθορίσει και τα βάρη που θα χρησιμοποιηθούν. [15][13]

2.3.3 Impact Criteria του κτιρίου

Τα 7 impact criteria που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του Smart Readiness Indicator (SRI) αναλύουν πώς οι υπηρεσίες και οι τεχνολογίες ενός κτιρίου επηρεάζουν την απόδοσή του. Ας δούμε κάθε κριτήριο αναλυτικά:

- **Energy Efficiency:** Αφορά τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας στο κτίριο. Οι υπηρεσίες που σχετίζονται με αυτό το κριτήριο περιλαμβάνουν τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού και φωτισμού. Η ενεργειακή αποδοτικότητα εξετάζει πώς οι τεχνολογίες μπορούν να βελτιώσουν την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου, να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες και να ενισχύσουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- **Energy Flexibility and Storage:** Αυτό το κριτήριο εξετάζει τη δυνατότητα του κτιρίου να προσαρμόζεται στις ενεργειακές απαιτήσεις με ευελιξία, ειδικά σε σχέση με τη διαχείριση της ζήτησης. Περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες, και την ικανότητα του κτιρίου να ανταποκρίνεται σε εξωτερικά σήματα για μείωση ή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.
- **Comfort:** Αυτό το κριτήριο επικεντρώνεται στην άνεση των χρηστών του κτιρίου. Περιλαμβάνει υπηρεσίες που διασφαλίζουν την κατάλληλη θερμοκρασία, υγρασία και ποιότητα αέρα. Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού διαδραματίζουν καίριο ρόλο σε αυτό το κριτήριο, με στόχο τη δημιουργία ενός άνετου και ευχάριστου περιβάλλοντος διαβίωσης και εργασίας.
- **Convenience:** Η ευκολία χρήσης του κτιρίου αφορά τις τεχνολογίες που αυτοματοποιούν λειτουργίες και διευκολύνουν τη διαχείριση του κτιρίου από τους χρήστες. Αυτές περιλαμβάνουν συστήματα αυτοματισμού που επιτρέπουν τη ρύθμιση της θέρμανσης, φωτισμού, και άλλων συστημάτων με ελάχιστη παρέμβαση από τους χρήστες.
- **Health, Well-being and Accessibility:** Αφορά την ποιότητα ζωής των χρηστών μέσω της παροχής υγιεινών και ασφαλών συνθηκών διαβίωσης. Περιλαμβάνει τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα, τον έλεγχο της ηχορύπανσης, την παροχή καλού φωτισμού, και την εξασφάλιση ότι το κτίριο είναι προσβάσιμο για όλους, συμπεριλαμβανομένων των ατόμων με αναπηρίες.
- **Maintenance and Fault Prediction:** Η συντήρηση και η πρόβλεψη βλαβών αναφέρονται στη δυνατότητα του κτιρίου να παρακολουθεί την απόδοση των συστημάτων του και να προβλέπει προβλήματα πριν εμφανιστούν. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την έγκαιρη συντήρηση, μειώνοντας τον κίνδυνο σοβαρών βλαβών και αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων.
- **Information to Occupants:** Αυτό το κριτήριο αφορά την παροχή πληροφορίας στους χρήστες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη χρήση των συστημάτων του κτιρίου. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν τους χρήστες να

λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση της ενέργειας και την ευημερία τους, ενισχύοντας την αποδοτική διαχείριση του κτιρίου.

Αυτά τα κριτήρια συνθέτουν την ολοκληρωμένη ανάλυση της “ευφυΐας” του κτιρίου και της ικανότητάς του να εξυπηρετεί τις ανάγκες των χρηστών του με βελτιστοποιημένη απόδοση. [13]

2.3.4 Εξισώσεις των επι μέρους ποσοστών - Αναλυτικός Υπολογισμός

Μετά και την ανάλυση των τεχνικών τομέων και των πληροφοριών του κτιρίου που θα χρησιμοποιηθούν, το επόμενο βήμα είναι η προσπάθεια για τον υπολογισμό του δείκτη. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω ο δείκτης δεν υπολογίζεται με έναν τύπο αλλά υπάρχουν επι μέρους αποτελέσματα τα οποία κατόπιν συγχώνευσής τους, αποτυπώνουν το τελικό αποτέλεσμα. Οι ενδιαμέσες εξισώσεις έχουν να κάνουν αρχικά με τα σκορ για κάθε ζεύγος domain - impact criterion, έπειτα με τα σκορ μόνο κάθε κριτηρίου, στη συνέχεια βγαίνουν τα σκορ των τριών key functionalities και τελικά προκύπτει το SRI score.

Smart Readiness Score για κάθε domain - impact criterion

Αρχικά λαμβάνονται υπόψιν όλες οι επιλογές του χρήστη για τις υπηρεσίες τις οποίες επέλεξε. Άρα επιλέγει το επίπεδο επάρκειας κάθε υπηρεσίας. Τότε υπολογίζεται ένα βοηθητικό σκορ το $l(d, ic)$ όπου d : domain, ic : impact criterion. Προφανώς ο χρήστης μπορεί να μην επιλέξει όλους τους διαθέσιμους τομείς. Σε αυτή τη περίπτωση όσοι τομείς δεν επιλέχθηκαν θα έχουν σκορ 0 και δε θα συμβάλουν στους επόμενους υπολογισμούς. Ο τύπος για τη πρώτη μετρική είναι ο παρακάτω:

$$l(d, ic) = \text{sum}(I_i(FL(S)))$$

Όπου στην παραπάνω εξίσωση $FL(S)$ είναι το functionality level της κάθε υπηρεσίας S , δηλαδή το επίπεδο επάρκειας που επέλεξε ο χρήστης για αυτή την υπηρεσία. Το I είναι το σκορ που λαμβάνεται ανάλογα με την επιλογή του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε επίπεδο αντιστοιχεί ένας αριθμός στο εκάστοτε impact criterion. Δηλαδή η μορφή των δεδομένων όσον αφορά τα levels των υπηρεσιών είναι κάπως έτσι:

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4, για κάθε διαφορετικό service υπάρχουν διαφορετικά νούμερα στα πεδία score-cr. Αυτά τα σκορ αντιστοιχούν στα 7 impact criteria. Επομένως, αν ο χρήστης στην πρώτη υπηρεσία επιλέξει το level 1 τότε τα σκορ που αντιστοιχούν θα είναι 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0. Επομένως αν δεν υπάρχει καμία άλλη επιλογή από τον χρήστη (μη λαμβάνοντας υπ’ όψιν τα υποχρεωτικά services για τα οποία θα μιλήσουμε παρακάτω), τότε το $l(d, ic)$ θα είναι διάφορο του μηδενός μόνο στον τομέα Heating(στον οποίο ανήκει η υπηρεσία που επιλέξαμε), και θα είναι 1 για το πρώτο κριτήριο, 0 για το δεύτερο, 1 για το

ως μηδενικό χρησιμοποιώντας μόνο τις υποχρεωτικές υπηρεσίες και έτσι ο παρονομαστής δεν είναι 0 κάτι που θα οδηγούσε σε μη δυνατό υπολογισμό. [13]

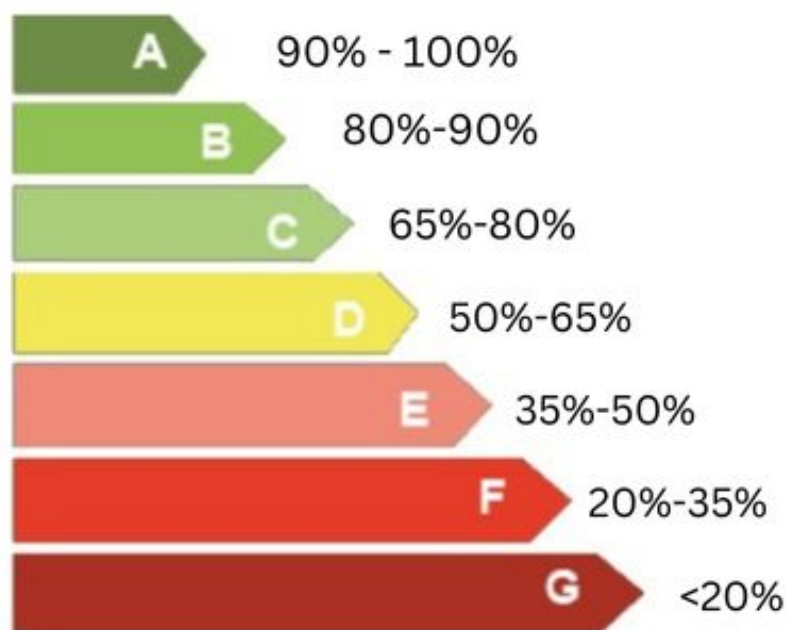
Smart Readiness Score για κάθε impact criterion

Μετά τον υπολογισμό των επιμέρους ποσοστών σειρά έχει το merge των ποσοστών με κοινό impact criterion. Με άλλα λόγια βγαίνουν 7 SR_i (Smart Readiness for every i: impact criterion) σκορ. Για καθένα από αυτά χρησιμοποιούνται τα 9 ποσοστά που αντιστοιχούν στους 9 τομείς που έχουν κοινό κριτήριο. Άρα συγχωνεύονται όλες οι στήλες του πίνακα 2.2 σε μια γραμμή. Αυτό δε γίνεται με απλή πρόσθεση αλλά χρησιμοποιούνται κάποια βάρη σε συνδυασμό με τα $I(d,ic)$, $I_{max}(d,ic)$ που δείξαμε παραπάνω πως υπολογίζονται. Ο τύπος υπολογισμού είναι ο παρακάτω:

$$SR_{ic} = \frac{\sum_{d=1}^N W_{d,ic} \times I(d,ic)}{\sum_{d=1}^N W_{d,ic} \times I_{max}(d,ic)} \times 100$$

Σχήμα 2.5: SR_{ic} Equation

Είναι εύκολο να παρατηρηθεί ότι η μετρική αυτή είναι ένα άθροισμα των επι μέρους σκορ για κάθε domain, το οποίο συνδυάζεται με κάποια βάρη. Γίνεται άθροισμα των επιμέρους 9 τιμών για κάθε impact criterion. Τα βάρη που συμμετέχουν σε αυτή την εξίσωση είναι τα domain weights που αναφέρονται στο σχήμα 2.3. Στην ουσία ανάλογα το τύπο του κτηρίου και τη γεωγραφική ζώνη αυτά τα βάρη αλλάζουν. Άρα, για κάθε domain υπάρχουν 7 βάρη που αντιστοιχούν σε κάθε impact criterion με συγκεκριμένη σειρά. Τα ίδια βάρη χρησιμοποιούνται τόσο στον αριθμητή όσο και στο παρονομαστή. Κάπως έτσι προκύπτει το αποτέλεσμα για κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Σαν επιπλέον πληροφορία τις περισσότερες φορές προστίθεται και η κλάση του κτηρίου αναφορικά με το σκορ (SRI Class). Με αυτό το τρόπο κατατάσσεται το κτήριο σε συγκεκριμένη ομάδα κτηρίων σε ένα ορισμένο εύρος ποσοστών. Παρακάτω φαίνονται οι διχωρισμοί των κλάσεων με βάση το SRI:



Σχήμα 2.6: SRI different classes

Smart Readiness Score για κάθε key functionality

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τα επι μέρους σκορ των 7 κριτηρίων για να φτιάξουμε τα 3 ποσοστά που αντιστοιχούν στις βασικές λειτουργικότητες του κτιρίου. Κάθε λειτουργικότητα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένα κριτήρια επομένως η διαδικασία του merging δεν γίνεται χρησιμοποιώντας και τα 7 ποσοστά και για τις 3 λειτουργικότητες. Αλλά, αρχικά ας αναφέρουμε τα 3 key functionalities.

- **Energy Performance and Operation:** Εδώ περιλαμβάνονται τα κριτήρια Energy efficiency, Maintenance and fault prediction. Αυτή η λειτουργία εστιάζει στην ενεργειακή αποδοτικότητα και τη συντήρηση των συστημάτων του κτιρίου.
- **Response to User Needs:** Σε αυτή τη λειτουργία βρίσκονται τα κριτήρια Comfort, Convenience, Information to occupants, Health, well-being and accessibility. Αυτή η λειτουργία στοχεύει στην άνεση και την εξυπηρέτηση των χρηστών του κτιρίου.
- **Energy Flexibility:** Εδώ το μόνο κριτήριο που υπάρχει είναι το Energy, flexibility and storage. Αυτή η λειτουργία εστιάζει στη δυνατότητα του κτιρίου να ανταποκρίνεται ευέλικτα στις ανάγκες ενέργειας, ιδιαίτερα σε σχέση με τα δίκτυα ενέργειας

Επομένως, όσον αφορά το σκορ των 3 λειτουργιών(SR_f), αυτό προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$SR_f = \sum_{ic=1}^M W_f(ic) \times SR_{ic}$$

Σχήμα 2.7: *SRf Equation*

Όπως παρατηρούμε γίνεται μια συγχώνευση των προηγούμενων ποσοστών ξανά με τη χρήση κάποιων βαρών. Τα βάρη κάθε κριτηρίου είναι συγκεκριμένο και ισόποσο και εξαρτάται από τη λειτουργία στην οποία κατατάσσεται. Δηλαδή, το Energy, flexibility and storage που είναι μόνο του σε μια κατηγορία έχει βάρος 1. Επομένως το ποσοστό που προκύπτει στη συγκεκριμένη λειτουργία ταυτίζεται με το ποσοστό αυτού του κριτηρίου αφού δεν παίζει κάποιο άλλο κριτήριο ρόλο. Αντίστοιχα στην πρώτη λειτουργία που υπάρχουν 2 κριτήρια, το βάρος του καθενός θα είναι 0.5 ενώ στη περίπτωση που υπάρχουν 4 κριτήρια το βάρος του καθενός θα είναι 0.25. Κάπως έτσι προκύπτουν τα 3 βασικά ποσοστά που θα χρησιμοποιηθούν στον τελικό υπολογισμό. [13]

Τελικό SRI score

Αφού υπολογιστούν όλες οι παραπάνω μετρικές το τελικό σκορ προκύπτει αρκετά εύκολα από τον παρακάτω τύπο.

$$SR = \sum W_f \times SR_f$$

Σχήμα 2.8: *SRI Equation*

Η εξίσωση είναι αρκετά παρόμοια με τις προηγούμενες. Χρησιμοποιούνται μόνο τα σκορ των key functionalities. Αυτή τη φορά τα βάρη είναι ισόποσα για κάθε λειτουργία και είναι 1/3. Επομένως το τελικό SRI προκύπτει με τη πρόσθεση των 3 επί μέρους σκορ πολλαπλασιασμένα με το 1/3. Κάπως έτσι υπολογίζεται το τελικό SRI. Προφανώς, οι υπολογισμοί μεταξύ τους μπορεί να διαφέρουν λόγω της στρογγυλοποίησης που μπορεί να γίνει στις ενδιάμεσες πράξεις.

2.3.5 Παράδειγμα υπολογισμού του SRI ενός κτιρίου

Αφού ασχοληθήκαμε με τον τρόπο που υπολογίζεται ο τελικός δείκτης SRI ενός κτιρίου, θα χρησιμοποιηθούν κάποια τυχαία δεδομένα ενός κτιρίου για να φανεί και πιο κατανοητός ο υπολογισμός.[16]

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα κτήριο με κύρια χαρακτηριστικά:

- **Building Type: Residential**

- **Zone: South Europe**

Με άλλα λόγια μιλάμε για ένα οικιστικό κτήριο, στη Νότια Ευρώπη(Ελλάδα, Ιταλία κλπ). Σε αυτή τη περίπτωση τα βάρη που χρησιμοποιούνται για τα κριτήρια είναι τα εξής:

Residential	South Europe	Heating	0.316664	0.376243	0.16	0.1	0.16	0.328405	0.114286
Residential	South Europe	Domestic hot water	0.099794	0.11857	0	0.1	0	0.103494	0.114286
Residential	South Europe	Cooling	0.068809	0.081755	0.16	0.1	0.16	0.07136	0.114286
Residential	South Europe	Ventilation	0.091952	0	0.16	0.1	0.16	0.095361	0.114286
Residential	South Europe	Lighting	0.026813	0	0.16	0.1	0.16	0	0
Residential	South Europe	Electricity	0.145968	0.173432	0	0.1	0	0.15138	0.114286
Residential	South Europe	Dynamic building envelope	0.05	0	0.16	0.1	0.16	0.05	0.114286
Residential	South Europe	Electric vehicle charging	0	0.05	0	0.1	0	0	0.114286
Residential	South Europe	Monitoring and control	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Σχήμα 2.9: *Domain Weights*

Παρόλα αυτά πριν φτάσουμε να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα βάρη, ας δούμε ποιοι τομείς υπάρχουν στο εν λόγω κτήριο και ποιά τα επίπεδα επάρκειας στις υπηρεσίες αυτών των τομέων. Για ευκολία στην επίδειξη ας υποθέσουμε ότι στο κτήριο υπάρχουν μόνο τα domains: Heating, Cooling. Δηλαδή, μόνο θέρμανση και ψύξη. Από αυτούς τους τομείς οι διαθέσιμες υπηρεσίες εμφανίζονται παρακάτω:

Heating	H-1a	Heat emission control				
Heating	H-1b	Emission control for TABS (heating mode)				
Heating	H-1c	Control of distribution fluid temperature (supply or return air flow or water flow)				
Heating	H-1d	Control of distribution pumps in networks				
Heating	H-1f	Thermal Energy Storage (TES) for building heating (excluding TABS)				
Heating	H-2a	Heat generator control (all except heat pumps)				
Heating	H-2b	Heat generator control (for heat pumps)				
Heating	H-2d	Sequencing in case of different heat generators				
Heating	H-3	Report information regarding heating system performance				
Heating	H-4	Flexibility and grid interaction				

Σχήμα 2.10: *Heating Services*

Ας υποθέσουμε λοιπόν οι υπηρεσίες που επιλέγονται (ανεξαρτήτως των υποχρεωτικών υπηρεσιών προς το παρόν) είναι οι H-1a, H-2a, H-2d, H-3 για τη θέρμανση και οι C-1a, C-

Cooling	C-1a	Cooling emission control				
Cooling	C-1b	Emission control for TABS (cooling mode)				
Cooling	C-1c	Control of distribution network chilled water temperature (supply or return)				
Cooling	C-1d	Control of distribution pumps in networks				
Cooling	C-1f	Interlock: avoiding simultaneous heating and cooling in the same room				
Cooling	C-1g	Control of Thermal Energy Storage (TES) operation				
Cooling	C-2a	Generator control for cooling				
Cooling	C-2b	Sequencing of different cooling generators				
Cooling	C-3	Report information regarding cooling system performance				
Cooling	C-4	Flexibility and grid interaction				

Σχήμα 2.11: *Cooling Services*

1f, C-4 για την ψύξη. Στη συνέχεια για κάθε επιλεγμένο service πρέπει να δούμε το επίπεδο επάρκειας για αυτό άρα έστω ότι στο κτήριο ισχύουν τα εξής:

1. **H-1a: level 1**
2. **H-2a: level 2**
3. **H-2d: level 1(65%), level 2(35%)**
4. **H-3: level 3**
5. **C-1a: level 1(50%), level 2(50%)**
6. **C-1f: level 2**
7. **C-4: level 3**

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στις επιλογές υπάρχει μια λεπτομέρεια η οποία για λόγους ευκολίας δεν έχει αναλυθεί μέχρι στιγμής. Αναφερόμαστε στην επιλογή δύο επιπέδων επάρκειας στην ίδια υπηρεσία, συνδυαζόμενο από το ποσοστό ύπαρξής τους. Ο υπολογισμός παραμένει ο ίδιος απλά χρησιμοποιείται δύο φορές η ίδια υπηρεσία με διαφορετική επιλογή πολλαπλασιαζόμενη με το ποσοστό. Δηλαδή στη περίπτωση μας στην υπηρεσία H-2d αν έχει μέγιστο επίπεδο 4 τότε στο αρχικό επι μέρος σκορ θα είναι:

$$(0.65 * (\text{score}(\text{level1})) + 0.35 * (\text{score}(\text{level2}))) / \text{score}(\text{level4})$$

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι έως και 2 επίπεδα μπορούν να επιλεγθούν για μια υπηρεσία του κτηρίου και όχι παραπάνω. Στη συνέχεια, με τα υπάρχοντα δεδομένα μπορούν να ξεκινήσουν οι πράξεις για τα επι μέρους ποσοστά για όλα τα ζεύγη domain - impact criterion. Είναι προφανές ότι όλοι οι τομείς πέραν αυτών που επιλέχθηκαν δεν λαμβάνονται υπόψιν καθώς το σκορ τους είναι 0 από τον ορισμό τους. Επομένους διάφορα του μηδενός είναι μόνο τα σκορ όλων των κριτηρίων σε συνδυασμό με τη θέρμανση και τη ψύξη.[13][14]

Αρχικά λοιπόν θα βρούμε όλα τα απαραίτητα $l(d,ic)$, $l_{max}(d,ic)$ scores. Με βάση τους τύπους που φαίνονται παραπάνω αλλά και τα δεδομένα για τα σκορ ανά κριτήριο με βάση το επίπεδο επάρκειας(βλέπε σχήμα 2.4) βγαίνουν τα εξής αποτελέσματα:

$$l(\text{Heating, Energy efficiency}) = (\text{score}(H-1a, \text{level } 1) = 1) + (\text{score}(H-2a, \text{level } 2) = 2) + 0.65 * (\text{score}(H-2d, \text{level } 1) = 1) + 0.35 * (\text{score}(H-2d, \text{level } 2) = 2) + (\text{score}(H-3, \text{level } 3) = 1) \Rightarrow$$

$$l(\text{Heating, Energy efficiency}) = \mathbf{5.35}$$

Και τα υπόλοιπα με παρόμοιο τρόπο, λγότερο αναλυτικά:

- $l(\text{Heating, Energy-flexibility and storage}) = 0 + 0 + 0.65 * 0 + 0.35 * 1 + 0 = \mathbf{0.35}$
- $l(\text{Heating, Comfort}) = 1 + 2 + 0.65 * 0 + 0.35 * 0 + 0 = \mathbf{3}$
- $l(\text{Heating, Convenience}) = 1 + 0 + 0.65 * 0 + 0.35 * 0 + 0 = \mathbf{1}$
- $l(\text{Heating, Health-wellbeing and accessibility}) = \mathbf{1}$
- $l(\text{Heating, Maintenance and fault prediction}) = \mathbf{1}$
- $l(\text{Heating, Information to Occupants}) = \mathbf{3}$

Όπως παρατηρούμε δεν επηρεάζονται όλα τα κριτήρια το ίδιο από όλα τα services κάτω που είναι και το λογικό. Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζονται και τα σκορ για την ψύξη:

- $l(\text{Cooling, Energy efficiency}) = 0.5 * 1 + 0.5 * 1 + 3 + 2 = \mathbf{6}$
- $l(\text{Cooling, Energy-flexibility and storage}) = \mathbf{3}$
- $l(\text{Cooling, Comfort}) = \mathbf{3}$
- $l(\text{Cooling, Convenience}) = \mathbf{4.5}$
- $l(\text{Cooling, Health-wellbeing and accessibility}) = \mathbf{1.5}$
- $l(\text{Cooling, Maintenance and fault prediction}) = \mathbf{0}$
- $l(\text{Cooling, Information to Occupants}) = \mathbf{0}$

Στη συνέχεια με τον ίδιο τρόπο θα υπολογίσουμε τα I_{max} , στα οποία όπως έχει αναφερθεί παραπάνω χρησιμοποιούνται τα μέγιστα επίπεδα των επιλεγμένων υπηρεσιών μαζί με των υποχρεωτικών. Στη δική μας περίπτωση για τους τομείς της θέρμανσης και της ψύξης, οι υποχρεωτικές υπηρεσίες είναι οι H-3, H-4, C-1f, C-2a, C-3, C-4. Στη περίπτωση μας είχαμε ήδη χρησιμοποιήσει τις H-3, C-1f, C-4 αλλά στον υπολογισμό των I_{max} θα προστεθούν και τα μέγιστα επίπεδα των υπολοίπων. Με βάση τον τύπο τα σκορ είναι τα εξής:

- $I_{max}(\text{Heating, Energy efficiency}) = 11 - I_{max}(\text{Cooling, Energy efficiency}) = 11$
- $I_{max}(\text{Heating, Energy-flexibility and storage}) = 6 - I_{max}(\text{Cooling, Energy-flexibility and storage}) = 6$
- $I_{max}(\text{Heating, Comfort}) = 7 - I_{max}(\text{Cooling, Comfort}) = 7$
- $I_{max}(\text{Heating, Convenience}) = 7 - I_{max}(\text{Cooling, Convenience}) = 7$
- $I_{max}(\text{Heating, Health-wellbeing and accessibility}) = 3 - I_{max}(\text{Cooling, Health-wellbeing and accessibility}) = 3$
- $I_{max}(\text{Heating, Maintenance and fault prediction}) = 4 - I_{max}(\text{Cooling, Maintenance and fault prediction}) = 4$
- $I_{max}(\text{Heating, Information to Occupants}) = 3 - I_{max}(\text{Cooling, Information to Occupants}) = 3$

Μετά και τον υπολογισμό αυτό αξίζει να παρατηρήσουμε ότι τα μέγιστα σκορ τόσο της θέρμανσης όσο και της ψύξης ταυτίζονται.

Αφού λοιπόν βρούμε αυτές τις τιμές θα κάνουμε χρήση των βαρών που αναφέραμε προηγουμένως στο σχήμα 2.8 για να υπολογίσουμε τα επι μέρους ποσοστά για κάθε impact criterion σύμφωνα με τον τύπο του σχήματος 2.5. Προφανώς θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τα βάρη για τη θέρμανση και τη ψύξη αφού τα υπόλοιπα domains δεν υπάρχουν. Επομένως τα ποσοστά που προκύπτουν με βάση αυτά τα δεδομένα είναι τα εξής:

- $SR(\text{Energy efficiency}) = (0.3166 * I(\text{Heating, Energy efficiency}) + 0.0688 * I(\text{Cooling, Energy efficiency})) / (0.3166 * I_{\max}(\text{Heating, Energy efficiency}) + 0.0688 * I_{\max}(\text{Cooling, Energy efficiency})) * 100 = \mathbf{49.69\%}$
- $SR(\text{Energy-flexibility and storage}) = \mathbf{13.72\%}$
- $SR(\text{Comfort}) = \mathbf{42.86\%}$
- $SR(\text{Convenience}) = \mathbf{39.29\%}$
- $SR(\text{Health-wellbeing and accessibility}) = \mathbf{41.67\%}$
- $SR(\text{Maintenance and fault prediction}) = \mathbf{20.54\%}$
- $SR(\text{Information to Occupants}) = \mathbf{50\%}$

Έτσι έχουμε φτάσει πολύ κοντά στον τελικό υπολογισμό(παρατίθενται μόνο τα τελικά αποτελέσματα καθώς οι ενδιάμεσες πράξεις παραλήφθηκαν). Το επόμενο κομμάτι είναι ο υπολογισμός των σκορ για τις βασικές λειτουργικότητες(key functionalities). Σε αυτή τη περίπτωση θα κάνουμε χρήση του τύπου στο σχήμα 2.6 σε συνδυασμό με τα βάρη που αναφέραμε σε εκείνο το σημείο, δηλαδή ανάλογα το πόσα κριτήρια περιέχοντα στην εκάστοτε λειτουργικότητα, μοιράζονται ανάλογα και τα βάρη. Επομένως τα σκορ που προκύπτουν είναι τα εξής:

- $SR(\text{Energy Performance and Operation}) = 0.5 * SR(\text{Energy efficiency}) + 0.5 * SR(\text{Maintenance and fault prediction}) = 0.5 * 49.69 + 0.5 * 20.54 = \mathbf{35.11\%}$
- $SR(\text{Response to User Needs}) = 0.25 * SR(\text{Comfort}) + 0.25 * SR(\text{Convenience}) + 0.25 * SR(\text{Information to Occupants}) + 0.25 * SR(\text{Health-wellbeing and accessibility}) = 0.25 * 42.86 + 0.25 * 39.29 + 0.25 * 50 + 0.25 * 41.67 = \mathbf{43.45\%}$
- $SR(\text{Energy Flexibility}) = 1 * SR(\text{Energy-flexibility and storage}) = 1 * 13.72 = \mathbf{13.72\%}$

Τέλος, αφού έχουμε υπολογίσει και αυτά μένει μόνο η τελική πράξη για τον δείκτη SRI. Θα κάνουμε χρήση του τύπου στο σχήμα 2.7 με ισόποσα βάρη για τα σκορ των λειτουργιών που αναλύσαμε παραπάνω. Έτσι το τελικό σκορ προκύπτει ως εξής:

- $SRI = 0.33 * SR(\text{Energy Performance and Operation}) + 0.33 * SR(\text{Response to User Needs}) + 0.33 * SR(\text{Energy Flexibility}) = 0.33 * 35.11 + 0.33 * 43.45 + 0.33 * 13.72 = \mathbf{30.76\%}$

Κάπως έτσι δείξαμε πως υπολογίζεται μέσω των τύπων ο δείκτης SRI ενός κτιρίου. Τον ίδιο αλγόριθμο χρησιμοποιήσαμε και στην υλοποίηση της εφαρμογής που φτιάξαμε, την οποία και θα παρουσιάσουμε σε επόμενο κεφάλαιο. [13][14][15]

2.4 Υπάρχοντα Εργαλεία Υπολογισμού του δείκτη

Από τη στιγμή που ο δείκτης SRI αποτελεί ένα τόσο μεγάλο κομμάτι έρευνας και ανάπτυξης, είναι λογικό να υπάρχουν ήδη κάποια εργαλεία που επιτελούν το έργο του υπολογισμού αυτού του δείκτη, το καθένα με μικρες διαφοροποιήσεις. Παρόλα αυτά ο αλγόριθμος υπολογισμού παραμένει αυτός που αναλύσαμε με πολύ μικρές αλλαγές όσον αφορά τα βάρη ή επιπλέον υπηρεσίες μέσω των χρηστών. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές.

2.4.1 U-CERT SRI digital tool

Το ψηφιακό εργαλείο U-CERT SRI είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα που μεταφέρει το επίσημο υπολογιστικό φύλλο αξιολόγησης του SRI σε ένα περιβάλλον cloud, βελτιώνοντας την εμπειρία χρήστη τόσο για τους αξιολογητές όσο και για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων σχετικά με την απόδοση των κτιρίων. Το εργαλείο αυτό απλοποιεί τη διαδικασία εισαγωγής δεδομένων και προσφέρει διαδραστική οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, υπογραμμίζοντας τα οφέλη των έξυπνων τεχνολογιών στα κτίρια. Στόχος του είναι να καθοδηγήσει τους ιδιοκτήτες ακινήτων προς ενημερωμένες αποφάσεις για τη βελτίωση της απόδοσης των κτιρίων τους. Το εργαλείο είναι προσβάσιμο μέσω οποιουδήποτε προγράμματος περιήγησης ιστού και προσφέρει υπηρεσίες βάσει συνδρομής, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης και υποστήριξης των αξιολογητών. Η δομή του περιλαμβάνει πληροφορίες για το κτίριο, όπως στοιχεία αξιολογητή, γενικές πληροφορίες, μεθοδολογία και ημερομηνία αξιολόγησης, καθώς και διάφορους τομείς όπως θέρμανση, ζεστό νερό χρήσης, ψύξη, αερισμό, φωτισμό, δυναμικό κέλυφος κτιρίου, ηλεκτρισμό, φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, παρακολούθηση και έλεγχος. Επιπλέον, επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει βάρη στους παραπάνω δείκτες και παρέχει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου U-CERT, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με κύριο στόχο την εισαγωγή μιας νέας γενιάς συστημάτων αξιολόγησης και πιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, επικεντρωμένων στον χρήστη. [17]

2.4.2 Smart Ready Go!

Το Smart-Ready-Go! είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα που έχει σχεδιαστεί για την αξιολόγηση του Δείκτη Ετοιμότητας για Έξυπνες Τεχνολογίες (Smart Readiness Indicator - SRI) των κτιρίων. Αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου Smart και στοχεύει να αποτελέσει μια κορυφαία λύση για την αξιολόγηση των έξυπνων δυνατοτήτων των κτιρίων. Το εργαλείο απευθύνεται σε μηχανικούς κτιρίων, σχεδιαστές, αξιολογητές, ιδιοκτήτες ακινήτων, διαχειριστές εγκαταστάσεων, ενοίκους και δημόσιες αρχές. Είναι διαθέσιμο διαδικτυακά και υποστηρίζει επί του παρόντος την αγγλική γλώσσα, με προγραμματισμένη υποστήριξη και για τις 24

επίσημες γλώσσες της ΕΕ. Το Smart-Ready-Go! έχει φτάσει σε Επίπεδο Ετοιμότητας Τεχνολογίας (TRL) 9 και προβλέπεται να διατεθεί τόσο με εμπορική όσο και με ανοιχτή άδεια χρήσης. Αναπτύχθηκε από την εταιρεία Eurhyia Tech, με στόχο την παροχή ενός ολοκληρωμένου εργαλείου για την αξιολόγηση και βελτίωση της έξυπνης ετοιμότητας των κτιρίων, συμβάλλοντας στη μετάβαση προς πιο έξυπνες και βιώσιμες πόλεις. [18]

2.5 Έρευνα και Ανάπτυξη από την Ε.Ε και τους υπόλοιπους stakeholders

Βασικό μέσο αναφορικά με το SRI στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι το SRI Platform. Εκεί αναφέρονται όλες οι συναντήσεις, τα συνέδρια και τα δεδομένα σχετικά με αυτό το θέμα. Η πλατφόρμα του Smart Readiness Indicator (SRI) περιλαμβάνει πέρα από τις γενικές συνεδριάσεις, και ομάδες εργασίας. Τον Ιανουάριο του 2024, το πεδίο δράσης αυτών των ομάδων αναδιοργανώθηκε για να ενσωματώσει τις νέες δραστηριότητες των έργων LIFE που σχετίζονται με το SRI. Πλέον, κάθε ομάδα εργασίας εστιάζει σε διαφορετικές κατηγορίες ενδιαφερόμενων φορέων που εμπλέκονται ή επηρεάζονται από την ανάπτυξη και εφαρμογή του SRI. Παρακάτω εμφανίζονται οι διαφορετικές ομάδες εργασίας(Working groups):

1. Δοκιμαστική φάση κρατών μελών για το SRI: Αυτή η ομάδα έχει ως στόχο την ανταλλαγή εμπειριών και τη στήριξη της αρχικής εφαρμογής του SRI στα κράτη μέλη, συμβάλλοντας στην αξιολόγηση και την επίσημη αναφορά των κρατών που συμμετέχουν στη δοκιμή. Όλα τα κράτη μέλη καλούνται να συμμετάσχουν για να αποκτήσουν πληροφορίες από τις πιλοτικές δραστηριότητες εφαρμογής του SRI.
2. Συνεργασία έργων LIFE: Αυτή η ομάδα λειτουργεί ως σύνδεσμος μεταξύ των έργων LIFE και της ατζέντας πολιτικής για το SRI. Στόχος της είναι να εξασφαλίσει συντονισμό και συνέπεια μεταξύ των έργων LIFE, υποστηρίζοντας τις αρχές των κρατών μελών και συμβάλλοντας στην προετοιμασία της πολιτικής εφαρμογής του SRI. Στην ομάδα αυτή συμμετέχουν συναφή έργα LIFE-CET.
3. Φορείς του κτιριακού τομέα, ερευνητές και βιομηχανία: Η ομάδα αυτή επικεντρώνεται στη συγκέντρωση των απόψεων των ενδιαφερόμενων φορέων σχετικά με το SRI, συμπεριλαμβανομένης της μεθοδολογίας του (νομικό και τεχνικό πλαίσιο) και της αξίας που προσφέρει. Στόχος της είναι να παρέχει ανατροφοδότηση και συμβουλές στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Η συμμετοχή στην ομάδα αυτή είναι ανοιχτή, αλλά υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των μελών, που αναθεωρείται κάθε χρόνο.

Θεματικές, ειδικές ομάδες, σε συγκεκριμένους άξονες, συγκεντρώνουν τις προσπάθειες των ομάδων εργασίας προς συγκεκριμένους στόχους, με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της ομάδας υποστήριξης του SRI. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Επικοινωνία και εκπαίδευση: Ανάπτυξη ενημερωτικού υλικού για την προώθηση του SRI, παροχή βέλτιστων πρακτικών και παραδειγμάτων έξυπνων κτιρίων, καθώς και ενημέρωση του εκπαιδευτικού υλικού λαμβάνοντας υπόψη τις εθνικές ιδιαιτερότητες και τα υλικά που αναπτύσσονται από τα έργα LIFE.
- Παρακολούθηση: Παρακολούθηση της προόδου εφαρμογής του SRI με τη συλλογή ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων από τις φάσεις δοκιμής, τα έργα LIFE, ιδιωτικές πρωτοβουλίες και άλλους σχετικούς φορείς.
- Υπολογισμός: Αναθεώρηση και βελτίωση της υπάρχουσας μεθοδολογίας υπολογισμού με βάση τα αποτελέσματα των φάσεων δοκιμής από τις χώρες της ΕΕ.
- Στρατηγική και σχεδιασμός: Παροχή προτάσεων για τη στρατηγική υποστήριξης της εφαρμογής του SRI από την ΕΕ και για τη βελτίωση της έξυπνης ετοιμότητας των κτιρίων της ΕΕ, καθώς και προτάσεων για το σχεδιασμό των επόμενων ενεργειών.

[11][19]

Κεφάλαιο **3**

Υλοποίηση του SRI Upgrade tool και τρόποι υπολογισμού

Μετά και την εκτενή ανάλυση για το SRI στο κομμάτι της έρευνας και του υπολογισμού, μπορούμε να αναφερθούμε στο δεύτερο μέρος της εφαρμογής που υλοποιήσαμε, εκτός από τον υπολογισμό του SRI, που είναι οι προτάσεις βελτίωσης του δείκτη SRI, που το ονομάζουμε SRI Upgrade tool(βελτιστοποίηση του δείκτη). Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στο προβληματισμό γύρω από αυτή την υλοποίηση, ενώ επίσης θα υπάρξει ανάλυση της λειτουργίας βελτίωσης του δείκτη για κάθε χρήστη, με ποιό τρόπο γίνεται ο υπολογισμός και θα γίνει και χρήση των ανάλογων παραδειγμάτων.

3.1 Τι είναι το SRI Upgrade tool

Το Upgrade SRI επιτρέπει στους χρήστες να επιτύχουν έναν προκαθορισμένο στόχο όσον αφορά την αναβάθμιση του SRI score (Smart Readiness Indicator), λαμβάνοντας προτάσεις για βελτίωση συγκεκριμένων υπηρεσιών του κτιρίου. Οι προτάσεις αυτές υποδεικνύουν ποια υπηρεσία πρέπει να αναβαθμιστεί και σε ποιο level πρέπει να φτάσει. Με βάση το υπάρχον επίπεδο των υπηρεσιών, η λειτουργία υποδεικνύει τις αλλαγές που θα οδηγήσουν στην αύξηση του συνολικού σκορ, επιτρέποντας στους χρήστες να προγραμματίσουν πιο στοχευμένες βελτιώσεις. Αυτό σημαίνει ότι το εργαλείο δίνει τη δυνατότητα για βελτιώσεις μόνο στις επιλεγμένες υπηρεσίες των χρηστών, κάτι που είναι λογικό καθώς είναι πιο δύσκολη η δημιουργία μιας νέας υπηρεσίας σε ένα κτήριο σε αντίθεση με τη βελτίωση μιας ήδη υπάρχουσας.

Αυτή η λειτουργία πηγαίνει πέρα από τον κλασικό υπολογισμό του SRI score, που απλά εκτιμά την υφιστάμενη κατάσταση του κτηρίου. Εδώ, το σύστημα αξιολογεί το επίπεδο των υπηρεσιών και προτείνει συγκεκριμένες ενέργειες, δίνοντας πρακτικές λύσεις στους ιδιοκτήτες για να επιτύχουν υψηλότερη αποδοτικότητα με βάση τα θέλω τους.

3.2 Λόγοι δημιουργίας του SRI Upgrade tool

Ο βασικός σκοπός αυτής της λειτουργικότητας είναι να προσφέρει προστιθέμενη αξία στον κλασικό υπολογισμό του SRI score. Αντί να δίνεται μόνο η τρέχουσα βαθμολογία, παρέχεται μια προγνωστική δυνατότητα με συγκεκριμένες προτάσεις για την επίτευξη υψηλότερου σκορ, το οποίο είναι κρίσιμο για όσους θέλουν να βελτιώσουν το ενεργειακό προφίλ του κτηρίου τους.

Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τους ιδιοκτήτες κτηρίων και τους διαχειριστές, οι οποίοι συχνά δεν γνωρίζουν ποιες συγκεκριμένες υπηρεσίες πρέπει να βελτιώσουν και σε ποιο επίπεδο. Αντί να κάνουν τυχαίες επενδύσεις σε βελτιώσεις, έχουν μια σαφή και μεθοδευμένη κατεύθυνση για το πού πρέπει να εστιάσουν. Επί της ουσίας είναι ένας τρόπος να γίνει η έρευνα του διαχειριστή ενός κτηρίου πιο αυτοματοποιημένη. Αυτό συμβαίνει καθώς για να προκύψει η απαιτούμενη βαθμολογία του δείκτη, υπολογίζεται ένας μεγάλος όγκος συνδυασμών βελτιώσεων, δηλαδή μια ενέργεια που θα έπρεπε να αναλάβει ο ανθρώπινος παράγοντας με πολύ μικρότερη αποδοτικότητα τόσο σε χρόνο όσο και σε πόρους.

Επιπλέον, η προσθήκη αυτής της λειτουργικότητας δίνει μεγαλύτερη πρακτική χρησιμότητα στην εφαρμογή, καθιστώντας την πιο διαδραστική και όχι απλώς έναν υπολογιστή βαθμολογίας, δηλαδή ένα τυπικό calculator. Επομένως, αυτή είναι και η καινοτομία όσον αφορά τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες καθώς όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο υπάρχουν κάποιες εφαρμογές υπεύθυνες για τον πλήρη υπολογισμό του SRI, η καθεμία με μικρές έως μεγάλες διαφορές.

Το βασικό ζήτημα, λοιπόν κατά την υλοποίηση της εφαρμογής είναι να διευκολύνθει η δουλειά του ανθρώπου αναφορικά με την εύρεση κάποιας λύσης για το κτήριο το οποίο διαχειρίζεται αφήνοντας στον ίδιο μόνο το κομμάτι της εκτέλεσης και όχι της έρευνας. [20]

3.3 Τρόπος υπολογισμού και υλοποίησης της λειτουργικότητας

Αφού έγινε μια ποιοτική ανάλυση της λειτουργικότητας και των στόχων που προσπαθούμε να επιτύχουμε με αυτή, σε αυτή την ενότητα θα δούμε το πως λειτουργεί στην εφαρμογή και με ποιό τρόπο δείχνει στο χρήστη τις προτάσεις βελτίωσης του κτηρίου του.

Όπως θα φανεί και στη συνέχεια δεν ακολουθείται κάποιος περίπλοκος αλγόριθμος απλά γίνεται μια εξαντλητική αναζήτηση προς την εύρεση μιας ορθής λύσης. Πιο συγκεκριμένα οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται για την παροχή των προτάσεων βασίζονται στην αρχική αξιολόγηση του κτηρίου και των υπηρεσιών του. Το σύστημα εξετάζει το υφιστάμενο επίπεδο υπηρεσιών και υπολογίζει πώς θα επηρεαστεί το συνολικό σκορ αν αναβαθμιστούν συγκεκριμένες υπηρεσίες σε υψηλότερα επίπεδα. Με άλλα λόγια είναι το αμέσως επόμενο στάδιο από τον απλό υπολογισμό του SRI. Αφού ο χρήστης έχει επιλέξει τις υπάρχουσες υπηρεσίες σε συνδυασμό με το επίπεδο επάρκειάς τους, έχει τη δυνατότητα να τοποθετήσει ένα σκορ το οποίο ονομάζουμε SRI target score και αποτελεί τη τιμή του δείκτη που θα προσπαθήσουμε να φτάσουμε μέσω των βελτιώσεων. Στη περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει ένα σκορ χαμηλότερο από το τρέχον τότε η εφαρμογή του δείχνει σφάλμα και να επιλέξει ένα καινούργιο σκορ. Προφανώς δεν είναι λογικό να επιλέξει κάποιος χαμηλότερο σκορ από το τρέχον, αλλά χρειάζεται να καλυφθεί και αυτή η περίπτωση για λόγους επάρκειας. [21][20]

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις κάποια πολύ υψηλά σκορ δεν είναι εφικτό να υλοποιηθούν με τις υπάρχουσες υπηρεσίες καθώς παίζουν ρόλο και οι υποχρεωτικές. Δηλαδή, αν στον αρχικό υπολογισμό υπάρχουν και υποχρεωτικές υπηρεσίες που δεν έχουν συμπεριληφθεί από το χρήστη τότε αυτές πάντα θα έχουν επίπεδο επάρκειας 0 και δε θα μπορούν να συνεισφέρουν στη βελτίωση του σκορ. Άρα αν έστω και μια υποχρεωτική υπηρεσία δεν έχει τσεκαριστεί από τον χρήστη τότε εκ των πραγμάτων ο δείκτης δε μπορεί να πιάσει το τέλειο 100%. Κάτι που ούτως ή άλλως είναι πολύ δύσκολο να συμβεί απλά το εξηγούμε για να γίνει σαφές και ο ρόλος των υποχρεωτικών υπηρεσιών στον υπολογισμό.

Πιο αναλυτικά όμως ας γίνει πιο σαφές ο τρόπος του υπολογισμού. Όπως αναφέρθηκε ο χρήστης επιλέγει το στόχο που θέλει να πιάσει και στη συνέχεια περιμένει τις προτάσεις της εφαρμογής. Με τη χρήση κατάλληλων συναρτήσεων αναλύονται όλες οι υπηρεσίες που έχει επιλέξει ο χρήστης ξεχωριστά(μόνο οι επιλεγμένες και καμία άλλη). Στη συνέχεια για κάθε service αναλύονται οι εξής παράγοντες:

- Τρέχον επίπεδο επάρκειας της υπηρεσίας (π.χ., επίπεδο 1, 2, 3, 4).
- Πιθανή αναβάθμιση της υπηρεσίας και το επίπεδο στο οποίο πρέπει να αναβαθμιστεί για να επιτευχθεί ο στόχος.
- Νέα τιμή του SRI score για κάθε βελτίωση της υπηρεσίας

Επομένως, για να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι, αρχικά οι συναρτήσεις που είναι υπεύθυνες για το SRI Upgrade tool, δέχονται σαν είσοδο έναν πίνακα με τις επιλογές του χρήστη για το κτήριο και με τον στόχο που έχει θέσει για το τελικό σκορ. Στη συνέχεια για κάθε υπηρεσία με τη σειρά που είναι στο πίνακα αρχίζουμε και αυξάνουμε το επίπεδο επάρκειας της κατά 1 (αν αυτό είναι εφικτό). Έπειτα γίνεται εκ νέου υπολογισμός του δείκτη. Αν έχουμε πιάσει τον στόχο που έχει τεθεί τότε η αναζήτηση τελειώνει και δίνει σαν βελτίωση την αύξηση αυτής της υπηρεσίας κατά ένα επίπεδο. Αν όμως δεν έχουμε φτάσει το στόχο, συνεχίζει η ίδια διαδικασία και για τις επόμενες υπηρεσίες. Δηλαδή, παραμένει η αύξηση της πρώτης και αυξάνουμε κατά ένα level και τις υπόλοιπες. Σε κάθε αύξηση γίνεται και ο ανάλογος έλεγχος αν έχουμε φτάσει στο στόχο. Κάτι σημαντικό που πρέπει να αναφερθεί στο πλαίσιο των αυξήσεων είναι η περίπτωση στην οποία ο χρήστης έχει επιλέξει δύο επίπεδα επάρκειας στην ίδια υπηρεσία με τα ανάλογα ποσοστά. Σε αυτή τη περίπτωση η αύξηση του επιπέδου σημαίνει ότι ξεκινάμε από το μεγαλύτερο επίπεδο εκ των δύο και το παίρνουμε σαν 100% επάρκεια. Δηλαδή, αν έχουμε σε μια υπηρεσία επίπεδο 1(55%) και επίπεδο 2(45%), τότε στο πλαίσιο της αύξησης θα κρατήσουμε το επίπεδο 2 (100%). Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε όπως θα αναλυθεί παρακάτω στις επόμενες αυξήσεις.

Αφού ολοκληρωθεί η πρώτη αύξηση για όλες τις υπηρεσίες, αν ακόμα δεν έχουμε φτάσει τον στόχο, επιστρέφουμε στην πρώτη υπηρεσία και αυξάνουμε εκ νέου το επίπεδο επάρκειάς της κατά 1 (είναι προφανές, ότι αυτό γίνεται μόνο αν είναι εφικτό, δηλαδή αν έχουμε φτάσει στο μέγιστο επίπεδο της υπηρεσίας τότε μένει σε αυτό και την προσπερνάμε). Με αυτό το τρόπο γίνεται ένας εξαντλητικός έλεγχος για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς βελτιώσεων μέχρι να βρεθεί το σύνολο των upgrades για να βρεθεί το SRI target. Μόλις αυτό βρεθεί, τότε ολοκληρώνεται η αναζήτηση και επιστρέφεται στον χρήστη ένας πίνακας με τον νέο συνδυασμό επιπέδων επάρκειας μαζί με το νέο σκορ το οποίο προφανώς υπερβαίνει το στόχο. [21]

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα του πίνακα που επιστρέφεται στο χρήστη, οποίο περιλαμβάνει τα προτεινόμενα upgrades σε συγκεκριμένες υπηρεσίες, ενώ όσες δεν εμφανίζονται από τις επιλογές του σημαίνει ότι παραμένουν ίδιες.

New SRI Score: 45.3

Recommended Upgrades

Service Code	Original Levels	Upgraded Levels	SRI Increase (%)
C-1a	Level 1 (50%) & Level 2 (50%)	Level 4 (100%)	2.48%
C-4	Level 3 (100%)	Level 4 (100%)	1.98%
H-1a	Level 1 (100%)	Level 4 (100%)	9.09%

Σχήμα 3.1: *Upgrades Table*

Στον πίνακα επίσης εμφανίζονται και οι επιμέρους αυξήσεις για κάθε αναβάθμιση, κάτι που μπορεί να βοηθήσει τον χρήστη στο να κατανοήσει καλύτερα ποιες αναβαθμίσεις είναι πιο σημαντικές για το στόχο του και ποιες λιγότερο.

Συνοψίζοντας, αφού αναλύσαμε εκτενώς το τρόπο με τον οποίο γίνεται ο υπολογισμός των προτάσεων και τον ρόλο αυτής της λειτουργικότητας για τον χρήστη, είναι εύκολο να ειπωθεί ότι η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελεί ιδιαίτερη βοήθεια, σαν εργαλείο στα χέρια των διαχειριστών και ιδιοκτητών κτηρίων και υπάρχουν ακόμα πολλά περιθώρια ανάπτυξης αυτού του μέρους. [14] [21]

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση Λειτουργικών Απαιτήσεων

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλύσουμε τις βασικές λειτουργικές απαιτήσεις της εφαρμογής που υλοποιήθηκε για τον υπολογισμό του Smart Readiness Indicator (SRI) ενός κτιρίου. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποσκοπεί στο να προσφέρει στους χρήστες μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα για τη διαχείριση, αξιολόγηση και βελτίωση των έξυπνων δυνατοτήτων των κτηρίων τους. Οι λειτουργίες της περιλαμβάνουν τη δημιουργία και διαχείριση καταχωρήσεων κτηρίων, την ανάλυση των τεχνικών τομέων και υπηρεσιών, τον υπολογισμό των αντίστοιχων SRI σκορ και την παροχή προτάσεων βελτίωσης για την επίτευξη υψηλότερων αποτελεσμάτων. Όπως είναι λογικό για την ολοκλήρωση της εφαρμογής κάποια στοιχεία είναι απαραίτητα για να θεωρείται έγκυρη και στα πλαίσια της πλατφόρμας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αλλά ας πάρουμε κομμάτι κομμάτι τις απαιτήσεις της εφαρμογής και πώς αυτές ικανοποιούνται.

4.1 Εγγραφή Χρήστη και Είσοδος στο Σύστημα

Η πρώτη απαραίτητη λειτουργία της εφαρμογής αφορά τη δημιουργία λογαριασμού χρήστη και την είσοδο στο σύστημα. Ο χρήστης πρέπει να μπορεί να δημιουργήσει έναν προσωπικό λογαριασμό μέσω μιας διαδικασίας εγγραφής (sign up), όπου θα καταχωρεί τα βασικά του στοιχεία, όπως όνομα, email, και κωδικό πρόσβασης. Μετά την εγγραφή, ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί (login) στο σύστημα, χρησιμοποιώντας τα διαπιστευτήριά του. Είναι προφανές πως όλοι οι κωδικοί των χρηστών είναι κρυπτογραφημένοι και ασφαλείς στη βάση δεδομένων.

Η εισαγωγή του συστήματος διαχείρισης λογαριασμών εξυπηρετεί την εξατομίκευση της εμπειρίας χρήστη και τη διασφάλιση της πρόσβασης σε αποθηκευμένα δεδομένα. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να διατηρούν προφίλ που περιέχουν όλα τα κτίρια και τα SRI αποτελέσματα που έχουν δημιουργήσει ή επεξεργαστεί στο παρελθόν.

Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι δίνεται η επιλογή στο χρήστη στην αρχική σελίδα αν θέλει να εγγραφεί ή να πραγματοποιήσει είσοδο με τα δικά του credentials, και ανάλογα τι θα πατήσει υπάρχει και η λειτουργία, αν έχει κάνει λάθος, να οδηγηθεί στην άλλη επιλογή του χωρίς να επιστρέψει στην αρχική σελίδα.

4.2 Διαχείριση Κτηρίων στο Προφίλ Χρήστη

Μετά την επιτυχημένη είσοδο στην εφαρμογή, ο χρήστης έχει πρόσβαση σε μια λίστα με όλα τα κτήρια που έχει ήδη δημιουργήσει και καταχωρίσει στο προφίλ του. Αυτό το σύστημα αποθήκευσης επιτρέπει την εύκολη παρακολούθηση και διαχείριση των υπαρχουσών καταχωρήσεων. Ο χρήστης μπορεί να δει λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά κάθε κτηρίου, τα τεχνικά του σκορ και τα τελικά SRI αποτελέσματα. Παράλληλα, έχει πλήρη πρόσβαση στην τελική σελίδα με τα αναλυτικά σκορ κάθε τομέα και κριτηρίου του κτηρίου, ενώ μπορεί και να επιλέξει να του προταθούν πιθανές βελτιώσεις, μια λειτουργία που θα αναφέρουμε παρακάτω.

Η λειτουργία αυτή δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να έχουν μια σαφή εικόνα της προόδου και των αποτελεσμάτων τους, με την επιλογή να ανοίξουν και να αναθεωρήσουν προηγούμενα αποτελέσματα χωρίς να χρειάζεται να καταχωρήσουν ξανά δεδομένα για κάθε κτήριο. Επίσης έχουν τη δυνατότητα να κάνουν προσθήκη ενός νέου κτηρίου χωρίς να χρειάζεται να επιστρέψουν στη σελίδα του προφίλ τους.

4.3 Προσθήκη Νέου Κτηρίου και των Χαρακτηριστικών του

Η εφαρμογή υποστηρίζει τη δημιουργία και καταχώρηση νέων κτηρίων. Όπως φάνηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο τα χαρακτηριστικά που ζητούνται αποτελούν μια πολύπλοκη διαδικασία για να γίνουν αυτόματα, για αυτό και γίνονται σταδιακά. Αρχικά έχουμε να κάνουμε με τις γενικές πληροφορίες του κτηρίου και στη συνέχεια με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά. Προφανώς δε χρειάζονται όλες οι πληροφορίες για τον υπολογισμό του SRI αλλά από αυτές μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα, έχοντας υπόψιν ολόκληρο τον όγκο δεδομένων. Για παράδειγμα μπορεί να μη παίζει ρόλο η Χώρα του κτηρίου αλλά είναι ενδιαφέρον στατιστικό, τα μέσο σκορ σε συγκεκριμένες χώρες, ή σε συγκεκριμένες πόλεις.

4.3.1 Πληροφορίες Κτηρίου προς συμπλήρωση

Όταν ο χρήστης επιλέγει να προσθέσει ένα νέο κτήριο, του παρουσιάζεται μια ειδική φόρμα όπου πρέπει να καταχωρήσει βασικές πληροφορίες σχετικά με το κτήριο. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν:

- **Τύπος Κτηρίου:** Ο χρήστης καλείται να επιλέξει αν το κτήριο είναι οικιστικό, ή μη οικιστικό. Σημαντικό κομμάτι για τον υπολογισμό
- **Χρήση Κτηρίου:** Πιο συγκεκριμένη κατηγορία κτηρίου αναφορικά με το τύπο του, δηλαδή στη περίπτωση οικιστικού αν είναι μονοκατοικία κτλ ή στη περίπτωση μη οικιστικού αν είναι νοσοκομείο, σύμπλεγμα γραφείων κτλ.
- **Κατάσταση Κτηρίου:** Επιπλέον πληροφορία όσον αφορά αν το κτήριο είναι ανακαινισμένο ή μη, για να φανεί και αν παίζει ρόλο η χρονολογία που χτίστηκε.
- **Ενεργειακή Κλάση:** Συμπληρώνεται η ενεργειακή κλάση του κτηρίου, που δεν αποτελεί παράγοντα στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης αλλά μπορεί να δώσει πολύτιμα συμπεράσματα από πλευράς στατιστικής.

- Γεωγραφική Ζώνη και Χώρα: Ορίζεται η τοποθεσία του κτιρίου, καθώς η γεωγραφική ζώνη παίζει σημαντικό ρόλο στον τρόπο υπολογισμού του SRI, ειδικά σε σχέση με την ενεργειακή κατανάλωση και τις κλιματικές συνθήκες. Η χώρα είναι επίσης χρήσιμη για λόγους στατιστικής ζανά, και για να γίνει πιο συγκεκριμένη η τοποθεσία.
- Πόλη, Διεύθυνση, και Χρονολογία Κατασκευής: Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν τον εντοπισμό του κτιρίου σε τοπικό επίπεδο, καθώς και την αναφορά της ηλικίας του κτιρίου.

Αφού καταχωρηθούν αυτές οι πληροφορίες, το κτήριο προστίθεται στο προφίλ του χρήστη και είναι διαθέσιμο για περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία.

4.3.2 Επιλογή Τεχνικών Τομέων (Domains)

Μετά την καταχώρηση των βασικών στοιχείων του κτιρίου, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τους τεχνικούς τομείς (technical domains) που είναι παρόντες στο κτίριο. Οι τεχνικοί τομείς αντιπροσωπεύουν τις βασικές λειτουργίες του κτιρίου και περιλαμβάνουν:

- Θέρμανση
- Ψύξη
- Εξαερισμός
- Φωτισμός
- Ηλεκτρισμός
- Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων
- Έλεγχος και παρακολούθηση
- Δυναμικό κέλυφος κτηρίου
- Ζεστό νερό για χρήση

Η επιλογή των domains εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και τις διαθέσιμες υποδομές του. Κάθε δομιν περιέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες (services) που ορίζουν το επίπεδο έξυπνης ετοιμότητας του κτιρίου.

4.3.3 Επιλογή Υπηρεσιών και Επιπέδων επάρκειας

Μόλις ολοκληρωθεί η επιλογή των domains, ο χρήστης επιλέγει τις υπηρεσίες (services) που είναι ενεργές σε κάθε δομιν, καθώς και το επίπεδο (level) εφαρμογής της κάθε υπηρεσίας. Κάθε υπηρεσία προσφέρει διάφορα επίπεδα λειτουργικότητας, τα οποία ορίζουν το πόσο "έξυπνη" είναι η συγκεκριμένη υπηρεσία σε σχέση με το συνολικό κτίριο. Για παράδειγμα, στον τομέα της θέρμανσης, μπορεί να υπάρχουν υπηρεσίες όπως αυτόματη ρύθμιση θερμοκρασίας, συντήρηση μέσω αισθητήρων, ή ενσωμάτωση με έξυπνα δίκτυα.

Ο χρήστης επιλέγει το επίπεδο για κάθε υπηρεσία ανάλογα με το πραγματικό status του κτιρίου. Τα επίπεδα αυτά κυμαίνονται από βασικές λειτουργίες έως προηγμένες έξυπνες λύσεις, και κάθε επίπεδο συνεισφέρει στην τελική βαθμολογία SRI.

Γενικά, για καλύτερη κατανόηση υπάρχει το παράδειγμα στο προηγούμενο κεφάλαιο όπου φαίνονται κάποιες υπηρεσίες θέρμανσης και ψύξης.

4.4 Υπολογισμός SRI και Οπτικοποίηση Αποτελεσμάτων

Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των υπηρεσιών και των επιπέδων, η εφαρμογή προχωρά στον υπολογισμό του SRI για το κτίριο. Ο υπολογισμός αυτός βασίζεται στην ανάλυση των επιπέδων και των υπηρεσιών που έχουν επιλεγεί, με την εφαρμογή να υπολογίζει τόσο το επιμέρους σκορ κάθε domain όσο και το συνολικό SRI για το κτίριο.

Η εφαρμογή παρέχει στον χρήστη μια σειρά από οπτικά γραφήματα και πίνακες που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα. Αυτά τα γραφήματα επιτρέπουν στον χρήστη να δει τις επιδόσεις του κτιρίου σε διάφορους τομείς, όπως η ενεργειακή απόδοση, η ευελιξία ενέργειας και η άνεση των χρηστών.

4.5 Προτάσεις Βελτίωσης και Στόχοι

Μια σημαντική επιπλέον δυνατότητα της εφαρμογής είναι η παροχή προτάσεων για τη βελτίωση του SRI του κτιρίου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει έναν στόχο για το SRI, υψηλότερο από το τρέχον σκορ του κτιρίου. Η εφαρμογή, με βάση τον στόχο αυτό, αναλύει τα αποτελέσματα και προτείνει συγκεκριμένες αλλαγές στις υπηρεσίες ή στα επίπεδα εφαρμογής, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση και να επιτευχθεί το επιθυμητό σκορ. Οι αλλαγές αυτές περιλαμβάνουν κυρίως κάποια αύξηση στα επίπεδα επάρκειας κάποιων επιλεγμένων υπηρεσιών. Δηλαδή, προτείνεται στο χρηστή να αυξήσει το επίπεδο μια υπηρεσίας από level 1 σε level 2 για παράδειγμα.

4.6 Σύνοψη

Αυτή η ανάλυση των λειτουργικών απαιτήσεων προσφέρει μια λεπτομερή επισκόπηση των βασικών λειτουργιών της εφαρμογής, η οποία εξυπηρετεί τον υπολογισμό, την παρακολούθηση και τη βελτίωση της ετοιμότητας των κτηρίων, επιτρέποντας στους χρήστες να κάνουν στοχευμένες παρεμβάσεις για την αύξηση του SRI των κτιρίων τους. [14][20]

Κεφάλαιο 5

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εφαρμογής

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει εκτενής ανάλυση του τεχνικού τομέα της εφαρμογής. Δηλαδή, θα αναφερθούν οι γλώσσες που χρησιμοποιήθηκαν, κάποιες σημαντικές βιβλιοθήκες και θα δείξουμε και τη δομή της. Όλες οι τεχνολογίες θα αναλυθούν τόσο στα πλαίσια της εφαρμογής όσο και γενικότερα στον τομέα του προγραμματισμού.

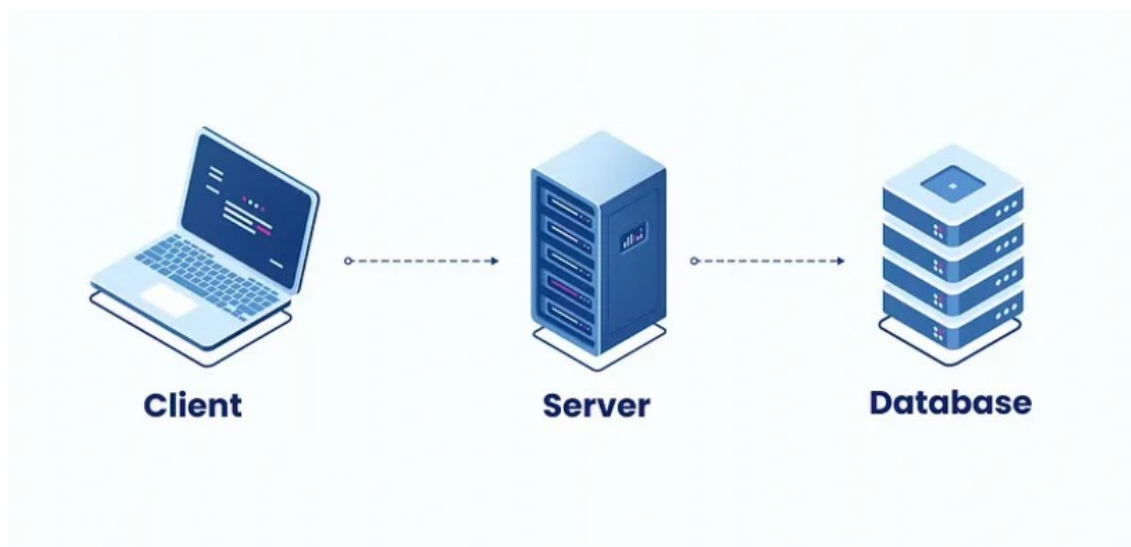
5.1 Η δομή της εφαρμογής

Η εφαρμογή που υλοποιήθηκε για τον υπολογισμό του Smart Readiness Indicator (SRI) ακολουθεί μια δομημένη αρχιτεκτονική που εξασφαλίζει την αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων και την αλληλεπίδραση των χρηστών με το σύστημα. Σε αυτήν την ενότητα, θα αναλύσουμε τη ροή της εφαρμογής από την αποθήκευση των δεδομένων μέχρι την αλληλεπίδραση των διαφόρων συστατικών της, χωρίς να αναφερθούμε σε συγκεκριμένες τεχνολογίες ή γλώσσες προγραμματισμού. Στόχος είναι να δώσουμε μια σαφή εικόνα του τρόπου λειτουργίας της εφαρμογής και του πώς τα διαφορετικά μέρη συνεργάζονται για την επίτευξη των λειτουργικών απαιτήσεων.

5.1.1 Βάση Δεδομένων και Αποθήκευση

Η βάση δεδομένων αποτελεί τον κεντρικό πυλώνα αποθήκευσης της εφαρμογής. Περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που καταχωρούνται από τους χρήστες, όπως τα στοιχεία των λογαριασμών τους, τα δεδομένα των κτιρίων, τα επιμέρους σκορ των δομικών και των υπηρεσιών, καθώς και τα συνολικά SRI αποτελέσματα. Κάθε νέα καταχώρηση που εισάγεται στην εφαρμογή (όπως νέα κτίρια, υπηρεσίες ή σκορ) αποθηκεύεται στη βάση μέσω οργανωμένων δομών, διασφαλίζοντας τη σωστή κατηγοριοποίηση και ανάκτηση των δεδομένων όποτε χρειάζεται.

Η αποθήκευση των δεδομένων είναι απολύτως απαραίτητη, καθώς επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα τους ανά πάσα στιγμή και να παρακολουθούν την πρόδοό τους. Παράλληλα, η εφαρμογή στηρίζεται σε αυτή τη βάση για να υπολογίζει τα SRI σκορ και να παρέχει προτάσεις βελτίωσης, αφού τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη βάση χρησιμεύουν ως το κύριο εργαλείο για την εκτέλεση αυτών των λειτουργιών.

Σχήμα 5.1: *Flow structure*

5.1.2 Backend Λειτουργίες και Επεξεργασία Δεδομένων

Το backend της εφαρμογής παίζει καθοριστικό ρόλο στη σύνδεση της βάσης δεδομένων με το frontend, καθώς είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση των λειτουργιών που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής. Κάθε φορά που ο χρήστης εισάγει νέα δεδομένα ή ζητά να δει ήδη υπάρχοντα δεδομένα, το backend λαμβάνει τα αιτήματα από το frontend, εκτελεί τις κατάλληλες λειτουργίες και αλληλεπιδρά με τη βάση δεδομένων για να ανακτήσει ή να αποθηκεύσει πληροφορίες.

Όταν, για παράδειγμα, ο χρήστης προσθέτει ένα νέο κτίριο ή ενημερώνει κάποια υπηρεσία, το backend λαμβάνει τις σχετικές πληροφορίες από το frontend, τις επεξεργάζεται και τις αποθηκεύει στη βάση δεδομένων. Αντίστοιχα, όταν ζητείται να εμφανιστούν παλαιότερα αποτελέσματα ή να υπολογιστεί το SRI ενός κτιρίου, το backend ανακτά τα δεδομένα από τη βάση, εκτελεί τους απαραίτητους υπολογισμούς και τα στέλνει πίσω στο frontend για παρουσίαση.

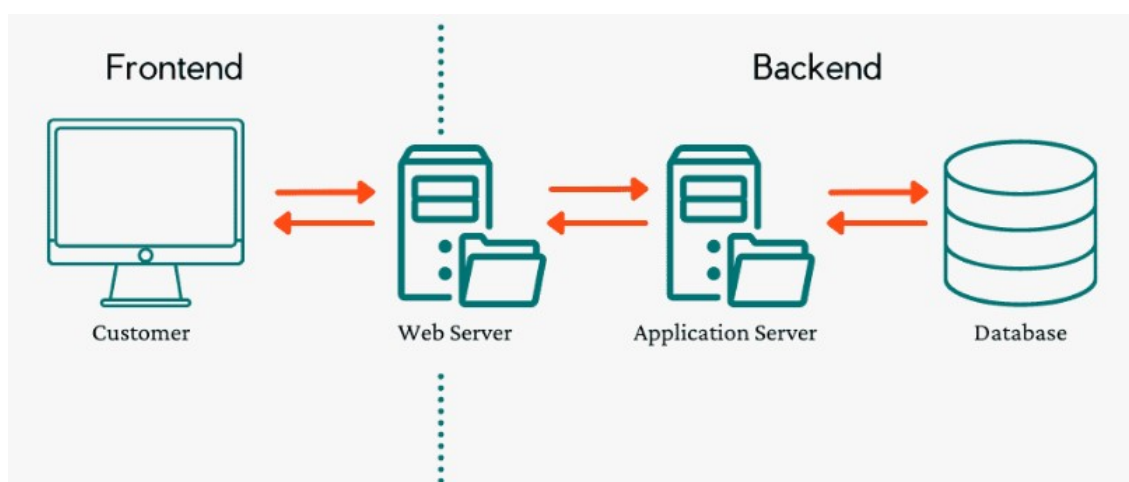
Επομένως όλες οι πράξεις και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται βρίσκονται στο backend και διαχειρίζονται ότι δεδομένα λαμβάνουν από τις υπόλοιπες δομές του συστήματος.

5.1.3 Frontend και Αλληλεπίδραση με το Χρήστη

Το frontend της εφαρμογής είναι το σημείο επαφής του χρήστη με το σύστημα και η κύρια διεπαφή μέσω της οποίας πραγματοποιείται η εισαγωγή και προβολή δεδομένων. Ο χρήστης, μέσω της διεπαφής αυτής, μπορεί να δημιουργεί νέα κτίρια, να επεξεργάζεται πληροφορίες, να επιλέγει δομείς και σειρές, να βλέπει τα σκορ του και να λαμβάνει προτάσεις για βελτίωση.

Το frontend λαμβάνει τις ενέργειες του χρήστη, όπως την εισαγωγή δεδομένων μέσω φορμών ή την επιλογή υπηρεσιών και επιπέδων, και τις στέλνει στο backend για επεξεργασία. Όταν το backend ολοκληρώσει την επεξεργασία ή τους υπολογισμούς, τα αποτελέσματα επιστρέφουν στο frontend, όπου παρουσιάζονται με οπτικό τρόπο, όπως μέσω διαγραμμάτων και πινάκων.

Η διεπαφή της εφαρμογής έχει σχεδιαστεί με τρόπο που να είναι φιλική προς τον χρήστη, επιτρέποντας την εύκολη εισαγωγή και παρακολούθηση των δεδομένων. Η ροή δεδομένων είναι απλή και ευέλικτη, επιτρέποντας την άμεση ανταπόκριση του συστήματος στις ανάγκες του χρήστη.



Σχήμα 5.2: *Frontend vs Backend*

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ολόκληρο το flow μιας κοινής εφαρμογής και φυσικά και αυτής που υλοποιήσαμε.

5.1.4 Υπολογισμός SRI και Διαγράμματα Αποτελεσμάτων

Η διαδικασία υπολογισμού του SRI είναι ένα από τα πιο βασικά κομμάτια της εφαρμογής. Μετά την καταχώρηση των δομικών, σειριών και λεελών από τον χρήστη, τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται στο backend, όπου πραγματοποιείται ο απαραίτητος υπολογισμός του SRI βάσει προκαθορισμένων αλγορίθμων.

Το backend, αξιοποιώντας τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί στη βάση, εκτελεί τους υπολογισμούς για το συνολικό SRI και τα επιμέρους σκορ. Τα αποτελέσματα αυτά επιστρέφουν στο frontend, όπου ο χρήστης μπορεί να τα δει είτε με τη μορφή αριθμητικών τιμών είτε με τη μορφή διαγραμμάτων και οπτικοποιήσεων που δείχνουν την απόδοση του κτιρίου στους διαφορετικούς τομείς.

Αυτό το σύστημα υπολογισμού και οπτικοποίησης επιτρέπει στους χρήστες να έχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της ετοιμότητας του κτιρίου τους με βάση τα δεδομένα που έχουμε αναλύσει.

5.1.5 Σύστημα Προτάσεων για Βελτίωση

Μια πρόσθετη λειτουργία της εφαρμογής είναι η δυνατότητα να εισάγει ο χρήστης έναν στόχο για το SRI του κτιρίου του, ανώτερο από το τρέχον σκορ, και να λαμβάνει προτάσεις για το πώς μπορεί να επιτύχει αυτό το σκορ. Όταν ο χρήστης ορίσει έναν στόχο, η εφαρμογή αναλύει τις υπάρχουσες υπηρεσίες και τα επίπεδα τους και, με βάση τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη βάση, παρέχει προτάσεις για βελτιώσεις.

Αυτές οι προτάσεις αφορούν συγκεκριμένες αλλαγές που μπορεί να κάνει ο χρήστης στις υπηρεσίες του κτιρίου του, όπως η αναβάθμιση σε ανώτερο επίπεδο υπηρεσιών ή η προσθήκη νέων τεχνολογιών. Το backend αναλαμβάνει τη σύγκριση των υπάρχοντων δεδομένων με τις απαιτήσεις για υψηλότερα σκορ και αποστέλλει στο frontend μια λίστα με συγκεκριμένες ενέργειες που μπορεί να ακολουθήσει ο χρήστης για την επίτευξη του στόχου του.

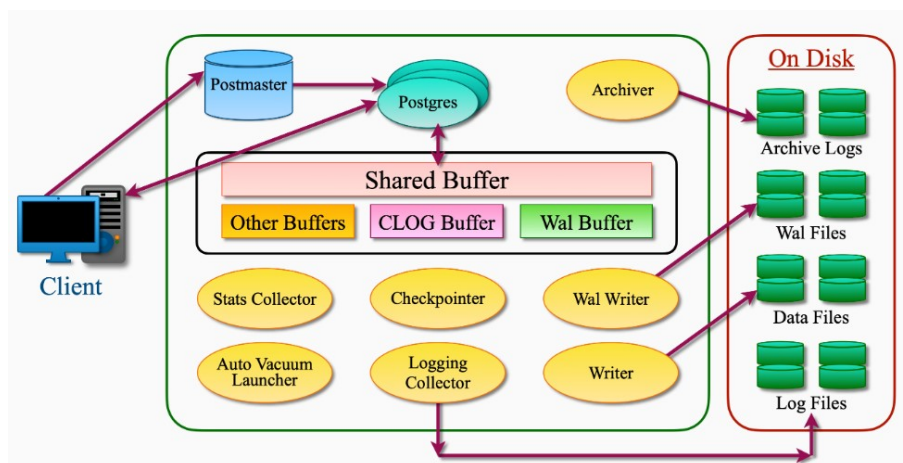
Συνοψίζοντας, η εφαρμογή λειτουργεί σε ένα αρμονικό σύνολο που περιλαμβάνει το frontend για την αλληλεπίδραση του χρήστη, το backend για την επεξεργασία των δεδομένων και τη βάση δεδομένων για την αποθήκευση και ανάκτηση των απαραίτητων πληροφοριών. Αυτή η ροή εξασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα όλων των συστημάτων και τη βέλτιστη απόδοση της εφαρμογής, διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία και τη συνεχή υποστήριξη των χρηστών στην αξιολόγηση και βελτίωση του SRI των κτιρίων τους.

5.2 Τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν

Όσον αφορά το πιο τεχνικό κομμάτι, αφού αναλύσαμε σε επιφανειακό επίπεδο τη ροή που ακολουθεί η εφαρμογή, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ποιες γλώσσες προγραμματισμού και ποιά frameworks χρησιμοποιήθηκαν. Επομένως, είναι η στιγμή να αναλυθεί το full stack της εφαρμογής όπως το ονομάζουμε. Η βάση δεδομένων υλοποιήθηκε σε PostgreSQL αλλά για τον κώδικα έγινε χρήση των SQLAlchemy, και το backend με Python και πιο συγκεκριμένα με FASTapi, ένα πιο εύχρηστο framework για την υλοποίηση των APIs, δηλαδή των ηλεκτρονικών διευθύνσεων που δημιουργήθηκαν και που ακολουθούνται στην εφαρμογή. Με άλλα λόγια τα URLs που εμφανίζονται κατά τη δοκιμή στον browser. Επίσης για το frontend χρησιμοποιήθηκε JavaScript και πιο συγκεκριμένα σε ReactJS, ένα κομμάτι της μεγάλης ποικιλίας που περιλαμβάνει η JavaScript. Τέλος σαν επιπλέον βιβλιοθήκες για τα διαγράμματα, την ασφάλεια και άλλες λειτουργίες χρησιμοποιήθηκαν τα highcharts.js, CORSMiddleware, OAuth2. Στις επόμενες ενότητες θα δούμε πιο αναλυτικά τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν. [22][23][24][25]

5.3 Βάση δεδομένων - PostgreSQL

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό του Smart Readiness Indicator (SRI) βασίζεται στην PostgreSQL για τη διαχείριση των δεδομένων. Η PostgreSQL είναι ένα ισχυρό σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων ανοικτού κώδικα, γνωστό για την αξιοπιστία, την επεκτασιμότητα και την υποστήριξή του για σύνθετες λειτουργίες. Έχει αναπτυχθεί για να υποστηρίξει έναν μεγάλο αριθμό τύπων δεδομένων και εκτεταμένων δυνατοτήτων, όπως πλήρη συμμόρφωση με το ACID, υποστήριξη για σύνθετα ερωτήματα, αποθήκευση JSON και λειτουργίες indexing για γρηγορότερη ανάκτηση δεδομένων. Η PostgreSQL χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα που απαιτούν μεγάλη σταθερότητα και αξιοπιστία, καθώς και επεκτασιμότητα για εφαρμογές που διαχειρίζονται μεγάλους όγκους δεδομένων.[24]



Σχήμα 5.3: PostgreSQL Architecture

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλύσουμε την τεχνολογία της PostgreSQL, τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται στην εφαρμογή μας, καθώς και τη διαχείριση των δεδομένων μέσω των μοντέλων της εφαρμογής με την χρήση του SQLModel.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογισμού του SRI, η PostgreSQL χρησιμοποιείται για την αποθήκευση όλων των απαραίτητων πληροφοριών, όπως τα στοιχεία του χρήστη, τα κτίρια που παρακολουθούνται, και οι επιμέρους υπολογισμοί και παράμετροι που σχετίζονται με το SRI. Οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε πίνακες της PostgreSQL και η διαχείριση αυτών γίνεται μέσω του SQLModel, το οποίο προσφέρει έναν τρόπο να ορίζονται τα μοντέλα δεδομένων της βάσης.

5.3.1 PostgreSQL

Η PostgreSQL είναι ένα σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων που υποστηρίζει SQL (Structured Query Language) για την εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών όπως η δημιουργία, η ανάκτηση και η επεξεργασία δεδομένων. Χρησιμοποιεί ένα μοντέλο σχεσιακής βάσης δεδομένων, όπου τα δεδομένα οργανώνονται σε πίνακες και μπορούν να σχετίζονται μεταξύ τους μέσω πρωτεύοντων και ξένων κλειδιών. Η PostgreSQL προσφέρει πολλές δυνατότητες, όπως:

- Υποστήριξη JSON: Επιτρέπει την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων σε μορφή JSON, κάτι που είναι χρήσιμο για τη διαχείριση ημι-δομημένων δεδομένων.
- Υποστήριξη ACID: Παρέχει εγγυήσεις για την ακεραιότητα των δεδομένων μέσω των ιδιοτήτων ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability).
- Κλιμακωσιμότητα και Απόδοση: Μπορεί να διαχειριστεί μεγάλα σύνολα δεδομένων με καλή απόδοση, κάτι που είναι κρίσιμο για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορες ερωτήσεις και ενημερώσεις.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην υλοποίησή μας, η βάση χρησιμοποιήθηκε για αποθήκευση και ανάκτηση σημαντικών δεδομένων, όπως τα δεδομένα των χρηστών, τα κτίρια, τα services, τις βαθμολογίες, και άλλα κρίσιμα δεδομένα που χρειάζονται για τον υπολογισμό του SRI.

Με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι βασικές χρήσεις της PostgreSQL στη παρούσα περίπτωση είναι οι εξής:

1. Αποθήκευση και διαχείριση των χρηστών: Κάθε χρήστης έχει το δικό του προφίλ, όπου αποθηκεύονται τα στοιχεία του, οι επιλογές κτιρίων και οι ρυθμίσεις του.
2. Αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων κτιρίων: Οι χρήστες μπορούν να προσθέτουν κτίρια με διάφορες πληροφορίες όπως η τοποθεσία, η ενεργειακή κλάση, και οι υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες στο κτίριο.
3. Αποθήκευση αποτελεσμάτων SRI: Τα αποτελέσματα των υπολογισμών του δείκτη SRI αποθηκεύονται με σκοπό να είναι διαθέσιμα για μελλοντικές αναφορές και συγκρίσεις.
4. Διαχείριση σύνθετων ερωτημάτων: Η PostgreSQL επιτρέπει τη δημιουργία σύνθετων ερωτημάτων, για την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και δεδομένων από τις επιμέρους δομές που έχουν αποθηκευτεί στη βάση. Οι πίνακες, όπως ο πίνακας "Levels" ή "Services", χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν αυτούς τους υπολογισμούς. Αυτοί οι πίνακες όπως είναι προφανές περιέχουν όλες τις πιθανές υπηρεσίες και τα επίπεδα επάρκειάς τους από τα οποία θα κληθεί να επιλέξει ο χρήστης.

[24]

5.3.2 SQLAlchemy: Εργαλείο Σύνδεσης Backend και βάσης

Η βιβλιοθήκη SQLAlchemy που χρησιμοποιούμε στη βάση δεδομένων μας παρέχει μια εύκολη στη χρήση διεπαφή για τη δημιουργία, τη διαχείριση και την αλληλεπίδραση με πίνακες της βάσης δεδομένων. Συνδυάζει τα χαρακτηριστικά του SQLAlchemy (πλαίσιο ORM για Python) και του Pydantic (πλαίσιο για τον έλεγχο των δεδομένων).[26]

Χρησιμοποιεί SQLAlchemy για να ορίζει πώς αποθηκεύονται τα δεδομένα στη βάση και Pydantic για να ορίζει την επικύρωση και τη σειριοποίηση των δεδομένων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για έργα που απαιτούν την αποθήκευση δεδομένων σε σχεσιακές βάσεις δεδομένων, όπως είναι η PostgreSQL, με ταυτόχρονη εύκολη διαχείριση των μοντέλων δεδομένων.[27]

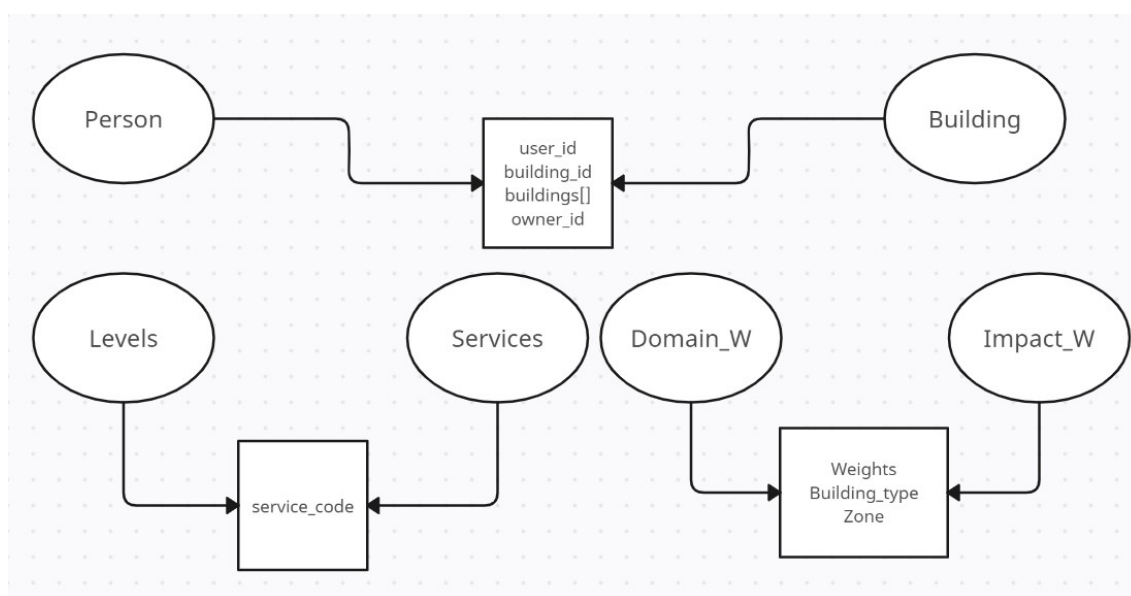
Το SQLAlchemy μας επιτρέπει να ορίσουμε τα μοντέλα της βάσης δεδομένων με Python κώδικα, κάτι που διευκολύνει τον προγραμματιστή να διαχειρίζεται τον ορισμό των πινάκων και τη δομή των δεδομένων με κώδικα που είναι πιο εύκολο να συντηρηθεί.

Στην εφαρμογή του SRI calculator, τα μοντέλα SQLAlchemy ορίζουν την αποθήκευση των δεδομένων για χρήστες, κτίρια, ζώνες, υπηρεσίες και άλλα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό του SRI. Για παράδειγμα:

- Το μοντέλο "person" αντιστοιχεί στους χρήστες της εφαρμογής, αποθηκεύοντας δεδομένα όπως όνομα χρήστη, email, και hashed κωδικούς.
- Τα μοντέλα "Domain_W" και "Impact_W" αποθηκεύουν δεδομένα σχετικά με τα βάρη των τομέων και των κριτηρίων αντίστοιχα, δηλαδή χρήσιμες πληροφορίες για τον υπολογισμό.
- Το μοντέλο "Building" αποθηκεύει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για κάθε κτίριο, όπως η ενεργειακή κλάση, η γεωγραφική ζώνη, οι τομείς που περιλαμβάνει, καθώς και οι υπολογισμοί του SRI.

Όπως φαίνεται από τα διάφορα μοντέλα, κάποιες πληροφορίες από αυτές δεν ανανεώνονται δυναμικά από το χρήστη, αλλά είναι συγκεκριμένες και δεν αλλάζουν εντός της βάσης παρά μόνο μετά από παρεμβολή του προγραμματιστή. Για την εισαγωγή αυτών των δεδομένων στη βάση χρησιμοποιήθηκαν κάποια CSV αρχεία τα οποία εγγράφηκαν αυτούσια στη βάση μέσω της Python.

Τα αρχεία περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τα βάρη τομέων, τα βάρη κριτηρίων, τα επίπεδα επάρκειας υπηρεσιών, και τις υπηρεσίες των κτηρίων. Η διαδικασία φόρτωσης χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη pandas για να αναγνωρίζει και να διαχειρίζεται τα αρχεία CSV, και στη συνέχεια τα αποθηκεύει στους αντίστοιχους πίνακες της PostgreSQL μέσω του SQLAlchemy και του engine που δημιουργείται για τη βάση δεδομένων. [24][26]



Σχήμα 5.4: *Diagram of Models Structure*

5.4 Backend

Μετά και την ανάλυση της βάσης, σειρά στη δομή της εφαρμογής έχει το βασκενδ. Βασικό μέσο υλοποίησής του αποτελεί η Python και πιο συγκεκριμένα το FASTApi. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει η επεξήγηση αυτών των εργαλείων όπως επίσης και το ρόλο τους στην εφαρμογή μας.[23]

5.4.1 Python

Η Python αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού λόγω της απλότητας και της ευελιξίας της. Στην ανάπτυξη εφαρμογών Python, η Python διακρίνεται για την ευκολία χρήσης και την υποστήριξη πλήθους βιβλιοθηκών που διευκολύνουν την υλοποίηση σύνθετων εφαρμογών με λίγες γραμμές κώδικα.[23]

Βασικά χαρακτηριστικά της Python είναι τα εξής:

- Ευκολία στη μάθηση: Με σύντομη και κατανοητή σύνταξη.
- Διαλειτουργικότητα: Μπορεί να ενσωματωθεί με C, C++, Java και άλλες γλώσσες.
- Ευρεία υποστήριξη βιβλιοθηκών: Διαθέτει πλήθος βιβλιοθηκών για διάφορες ανάγκες, όπως η επεξεργασία δεδομένων (Pandas, NumPy), η ανάπτυξη ιστοσελίδων (Django, FastAPI), και η μηχανική μάθηση (TensorFlow, Scikit-learn).
- Διαχείριση μνήμης: Περιλαμβάνει αυτόματη διαχείριση μνήμης μέσω garbage collection.

Στη περίπτωση μας, η Python χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του backend της εφαρμογής που υπολογίζει το SRI. Μέσω της Πυθων, γίνεται:

- Διαχείριση της επικοινωνίας με τη βάση δεδομένων (PostgreSQL) μέσω της βιβλιοθήκης SQLAlchemy.
- Δημιουργία και έλεγχος των μοντέλων δεδομένων (domain weights, impact weights, service levels κ.ά.) που απαιτούνται για την αποθήκευση των δεδομένων και την εκτέλεση των υπολογισμών.
- Υποστήριξη αλγορίθμων υπολογισμού για την δημιουργία και απεικόνιση του SRI score, το οποίο βασίζεται σε συνδυασμό τιμών και συντελεστών που αφορούν τις επιμέρους υπηρεσίες του κτηρίου.

Η Python, με την ισχυρή κοινότητα χρηστών και την διαθεσιμότητα βιβλιοθηκών (όπως η SQLAlchemy), μας επιτρέπει να επικεντρωθούμε περισσότερο στη λογική της εφαρμογής παρά σε τεχνικές λεπτομέρειες διαχείρισης δεδομένων και υποδομών. [26]

5.4.2 FASTApi

Το FASTApi είναι ένα σύγχρονο, γρήγορο πλαίσιο ανάπτυξης web APIs, σχεδιασμένο για τη δημιουργία RESTful εφαρμογών με γρήγορο και αποδοτικό τρόπο, βασισμένο σε σύγχρονα Python features όπως τύπους δεδομένων και ασύγχρονες λειτουργίες.[23]

Γενικά πλεονεκτήματα του FASTApi είναι τα εξής:

- Απόδοση: Πολύ κοντά σε απόδοση με τα πιο γρήγορα πλαίσια ανάπτυξης, όπως το Node.js, χάρη στη χρήση του Starlette ως framework και του Pydantic για την επικύρωση δεδομένων.
- Εύκολη διαχείριση τύπων δεδομένων: Χρησιμοποιεί τύπους δεδομένων της Python για την αυτόματη επικύρωση εισόδων και εξόδων.
- Ασύγχρονη λειτουργία: Παρέχει υποστήριξη για ασύγχρονες λειτουργίες (async/await) από την αρχή, γεγονός που βελτιώνει την απόδοση και τη διαχείριση ταυτόχρονων αιτήσεων.
- Αυτόματη τεκμηρίωση: Δημιουργεί αυτόματα τεκμηρίωση μέσω Swagger UI ή ReDoc(στη δοκιμή της εφαρμογής μας κάναμε χρήση του Swagger UI), διευκολύνοντας τους προγραμματιστές.

Αλλά εκτός από τα παραπάνω, αναφερόμενοι στο SRI calculator, το FASTApi μας βοήθησε σε αρκετές υλοποιήσεις του Backend όπως τις παρακάτω:

- Υποδοχή και διαχείριση αιτήσεων από τους χρήστες: Η εφαρμογή σου επιτρέπει στους χρήστες να εισάγουν νέα κτίρια, να τροποποιούν υπάρχοντα, και να υπολογίζουν το SRI. Όλες αυτές οι λειτουργίες πραγματοποιούνται μέσω HTTP αιτήσεων (requests), και το FastAPI διαχειρίζεται αυτές τις αιτήσεις (GET, POST, PUT, DELETE).
- Διαχείριση επαλήθευσης χρηστών: Η λειτουργία εγγραφής και σύνδεσης χρηστών γίνεται μέσω endpoints που υλοποιούνται με FastAPI, χρησιμοποιώντας λειτουργίες όπως η επαλήθευση credentials και η διαχείριση συνεδριών (session management).
- Υπολογισμοί SRI: Το FastAPI χειρίζεται αιτήσεις που απαιτούν την εκτέλεση υπολογισμών. Όταν ένας χρήστης επιλέγει ένα κτίριο και τις σχετικές υπηρεσίες του, το API καλεί τις λειτουργίες που υπολογίζουν το SRI βάσει των υπηρεσιών και των συντελεστών τους, και επιστρέφει το αποτέλεσμα στο χρήστη.
- Ασφάλεια: Για τη διαχείριση της ασφάλειας, το FastAPI υποστηρίζει εργαλεία όπως η βιβλιοθήκη OATH2 για την κρυπτογράφηση των κωδικών πρόσβασης, προστατεύοντας τα credentials των χρηστών.

- Ευκολία επεκτασιμότητας: Χάρη στη συμβατότητα του FastAPI με σύγχρονες τεχνικές, όπως οι διαδικασίες ασύγχρονης εκτέλεσης (async/await), το σύστημα μπορεί να διαχειριστεί μεγάλο αριθμό αιτήσεων ταυτόχρονα, εξασφαλίζοντας την ταχύτητα και την απόκριση της εφαρμογής.

[23]

Επειδή πολλά από τα παραπάνω κομμάτια ίσως να μην έχουν αναλυθεί αρκετά, ας δούμε και λίγο καλύτερα τη δομή του backend και τι λειτουργίες επιτελεί στη περίπτωσή μας. Στην υλοποίηση του backend της εφαρμογής SRI γαλσυλατορ, το FastAPI παρέχει έναν τρόπο να οργανώσουμε τις διάφορες λειτουργίες σε endpoints που αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες ενέργειες, όπως η δημιουργία νέου χρήστη, η αποθήκευση ή η ανάκτηση δεδομένων για τα κτήρια, και η εκτέλεση του υπολογισμού του δείκτη SRI.

Με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα endpoints είναι διαδρομές ή μονοπάτια στο API που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες λειτουργίες. Κάθε endpoint αντιπροσωπεύει μια λειτουργία που μπορεί να εκτελεστεί από την πλευρά του πελάτη. Για παράδειγμα:

1. POST /add_building/: Προσθέτει ένα νέο κτήριο.
2. GET /current_building/: Επιστρέφει το τρέχον κτήριο που έχει επιλεγεί.
3. POST /calculate-sri/: Υπολογίζει τον δείκτη Smart Readiness Indicator (SRI) για ένα συγκεκριμένο κτήριο.
4. POST /upgrade-sri/: Υπολογίζει όλες τις πιθανές βελτιώσεις και επιστρέφει την κατάλληλη ανάλογα το target SRI που έχει δώσει ο χρήστης.

Επομένως, με πιο απλά λόγια στις κλήσεις POST απαιτείται είσοδος δεδομένων για την εκτέλεση της συνάρτησης και μετά την έξοδο κάποιου αποτελέσματος ενώ στις κλήσεις GET έχουμε απλά ανάκτηση και παρουσίαση δεδομένων από τη βάση.[23]

Γενικότερα, ο κώδικας του backend δομείται κυρίως με τα μοντέλα που ορίζουν την είσοδο και την έξοδο των endpoints, με τις συναρτήσεις διαχείρισης των χρηστών και τις αντίστοιχες των κτηρίων και φυσικά με τις συναρτήσεις υπολογισμού και βελτίωσης του SRI.

Παράλληλα όσον αφορά τις βοηθητικές συναρτήσεις που δεν αντιστοιχούν σε κάποιο endpoint, αυτές εξυπηρετούν στη διαχείριση πολύπλοκων διαδικασιών, όπως η κρυπτογράφηση των κωδικών ή η δημιουργία και επικύρωση των tokens για την ταυτοποίηση των χρηστών. Επίσης, συμπεριλαμβάνονται συναρτήσεις που διαχειρίζονται τη σύνδεση με τη βάση δεδομένων για την αποθήκευση και την ανάκτηση δεδομένων. [23][27]

5.4.3 Σύνοψη

Ο συνδυασμός Python και FastAPI είναι εξαιρετικά αποδοτικός, καθώς επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη δημιουργία μιας σύγχρονης web εφαρμογής. Ο τρόπος με τον οποίο το FastAPI αλληλεπιδρά με την Python προσφέρει ένα υψηλό επίπεδο ευχρηστίας, χωρίς να υστερεί σε ταχύτητα ή δυνατότητες.

Η εφαρμογή SRI calculator είναι δομημένη με μια σειρά από endpoints που αλληλεπιδρούν με τη βάση δεδομένων για να αποθηκεύσουν και να ανακτήσουν δεδομένα κτιρίων και χρήστες. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού του SRI, επιτρέποντας έτσι στους χρήστες να αξιολογήσουν την έξυπνη ετοιμότητα των κτιρίων τους.

Αν και η χρήση των εργαλείων όπως SQLAlchemy και SQLAlchemy είναι σημαντική, το επίκεντρο της εφαρμογής βρίσκεται στη σωστή διαχείριση των δεδομένων και στην ταχύτητα εκτέλεσης μέσω του FastAPI, καθιστώντας το backend ταυτόχρονα αποτελεσματικό και εύκολο στη συντήρηση. [23][26]

5.5 Frontend

Σε αυτό το κομμάτι φτάνουμε στην επεξήγηση της υλοποίησης του frontend δηλαδή το κομμάτι του κώδικα που αποτελεί τη βασική αλληλεπίδραση με το χρήστη και είναι η επικοινωνία του χρήστη με το backend. Βασική γλώσσα προγραμματισμού για αυτό το μέρος του κώδικα είναι η JavaScript και πιο συγκεκριμένα η ReactJS. Παράλληλα, θα αναλύσουμε και τα βοηθητικά μέρη της εφαρμογής στο frontend, δηλαδή την HTML για τη μορφοποίηση της σελίδας και τη CSS για το styling της σελίδας.[25]

5.5.1 JavaScript

Η JavaScript είναι η βασική γλώσσα προγραμματισμού για τη δημιουργία διαδραστικών ιστοσελίδων. Είναι γλώσσα προσανατολισμένη στα αντικείμενα και χρησιμοποιείται εκτενώς σε εφαρμογές web και mobile. Κύρια χαρακτηριστικά της περιλαμβάνουν:

- Δυναμική Τυποποίηση: Δεν απαιτείται η δήλωση του τύπου των δεδομένων.
- Event-driven Programming: Ιδανική για την ανάπτυξη εφαρμογών με διαδραστικότητα, μέσω event handlers.
- DOM Manipulation: Η JavaScript επιτρέπει την απευθείας αλληλεπίδραση με το DOM (Document Object Model) για την ενημέρωση και απόκριση στις αλλαγές περιεχομένου.

[25]

5.5.2 ReactJS

Η ReactJS είναι μια βιβλιοθήκη της JavaScript, η οποία αναπτύχθηκε από το Facebook για την κατασκευή διεπαφών χρήστη. Αντί για άμεση διαχείριση του DOM, η React χρησιμοποιεί ένα εικονικό DOM (Virtual DOM), το οποίο βελτιστοποιεί την απόδοση. Τα κύρια χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

- **Components:** Η React βασίζεται στην έννοια των components, τα οποία είναι ανεξάρτητα και επαναχρησιμοποιούμενα κομμάτια κώδικα που περιέχουν HTML, CSS, JavaScript.
- **State και Props:** Το state χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων που αλλάζουν δυναμικά, ενώ τα props χρησιμοποιούνται για τη διαβίβαση δεδομένων μεταξύ των components.
- **Hooks:** Η React παρέχει hooks όπως το useState και το useEffect, που επιτρέπουν τη διαχείριση της κατάστασης και των side effects στα λειτουργικά components.

[22]

Πιο ειδικά, στην εφαρμογή του SRI Calculator, η δομή που ακολουθείται για το frontend περιλαμβάνει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. **Components:** Η εφαρμογή χρησιμοποιεί components για να διαχειρίζεται επιμέρους τμήματα της διεπαφής χρήστη (π.χ. φόρμες, πίνακες, κουμπιά).
2. **Διαχείριση καταστάσεων:** Χρησιμοποιείται το hook useState για τη διαχείριση της κατάστασης της εφαρμογής, όπως τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης ή τα αποτελέσματα του υπολογισμού του SRI.
3. **Axios για Αιτήματα HTTP:** Η βιβλιοθήκη Axios χρησιμοποιείται για την αποστολή αιτημάτων προς τον server (API) ώστε να ανακτηθούν δεδομένα ή να καταχωρηθούν νέες πληροφορίες.
4. **Routing:** Χρησιμοποιείται το useNavigate και το useParams από το React Router για τη διαχείριση της πλοήγησης στην εφαρμογή, ανάλογα με τη σελίδα και τις παραμέτρους του URL.

[22]

Semantic UI

Βασικό μέρος της υλοποίησής μας αναφορικά με την αλληλεπίδραση χρήστη και διεπαφής, είναι το Semantic UI, ως μέρος της React. Πιο συγκεκριμένα, το Semantic UI είναι ένα framework που επιτρέπει την ανάπτυξη responsive και όμορφων διεπαφών χρήστη. Παρέχει προδιαμορφωμένα στοιχεία (components) όπως buttons, forms, tables, και icons, τα οποία ενσωματώνονται εύκολα με την ReactJS μέσω του semantic-ui-react. Κάποια από τα βοηθητικά μέρη αυτού του framework, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- **Customizable CSS:** Το Semantic UI επιτρέπει την προσαρμογή της εμφάνισης μέσω προκαθορισμένων κλάσεων CSS δηλαδή κλάσεων συσχετισμένες με τη μορφοποίηση της εφαρμογής.
- **Icons, Themes:** Παρέχει έτοιμα εικονίδια και θέματα που βελτιώνουν την εμφάνιση και την ευχρηστία της εφαρμογής.

[22]

HTML, CSS

Η δομή της React εφαρμογής εξαρτάται από την HTML που επιστρέφεται από κάθε component. Κάθε component επιστρέφει ένα JSX (JavaScript XML), το οποίο είναι μια επέκταση της JavaScript που επιτρέπει την ενσωμάτωση HTML μέσα στον κώδικα.

Το CSS χρησιμοποιείται για τη μορφοποίηση των στοιχείων της διεπαφής:

- **Styling:** Το CSS συνδέεται μέσω εξωτερικών αρχείων, όπως τα `Mybuilding.css` και `Home.css`, τα οποία διαμορφώνουν την εμφάνιση των elements.
- **Κλάσεις:** Η React χρησιμοποιεί κλάσεις CSS μέσω του `className` (αντί για `class` που χρησιμοποιείται κανονικά στην HTML).

Με αυτή τη δομή, το frontend της εφαρμογής αλληλεπιδρά με το backend μέσω HTTP requests, διαχειρίζεται δυναμικά την κατάσταση της εφαρμογής και προσαρμόζει την εμφάνιση με βάση τα δεδομένα που εισάγονται από τον χρήστη. Εκτός από τα βασικά μέρη που αναλύθηκαν παραπάνω θα ήταν καλό να γίνει μια αναφορά και σε πιο συγκεκριμένες βιβλιοθήκες. [22]

State Management και Hooks

Τα hooks στο React είναι βασικά εργαλεία για τη διαχείριση της κατάστασης και των side effects.

- **useState:** Διαχειρίζεται την κατάσταση της εφαρμογής. Όταν η τιμή του state αλλάζει, το component επαναφέρει τη σελίδα με βάση τα νέα δεδομένα. Για παράδειγμα, η κατάσταση μιας φόρμας μπορεί να αποθηκεύεται με χρήση `useState` και να αλλάζει με κάθε είσοδο χρήστη όπως να αλλάζει χρώμα, γραμματοσειρά κλπ.
- **useEffect:** Χρησιμοποιείται για να εκτελείται κώδικας μετά από την απόδοση του component ή όταν αλλάζει μια συγκεκριμένη κατάσταση. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιείται για να στείλει αιτήματα στο API όταν το component φορτώνεται για πρώτη φορά.

[22]

Axios για Αιτήματα HTTP

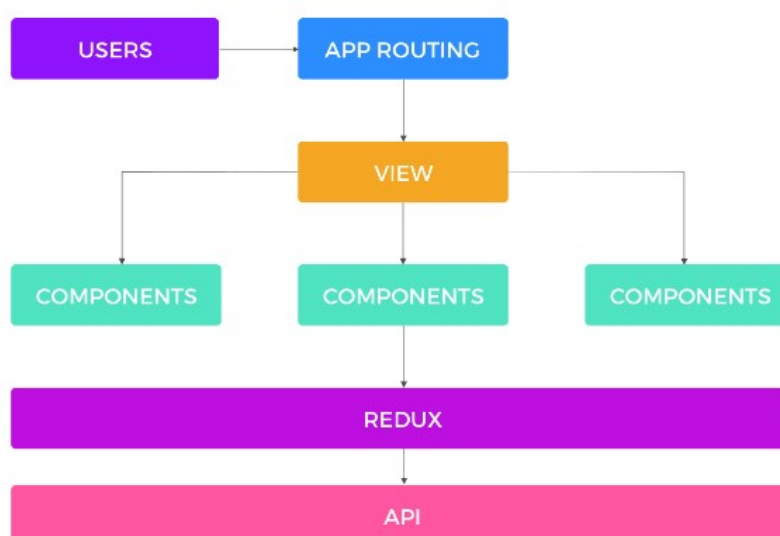
Το Axios είναι μια βιβλιοθήκη που χρησιμοποιείται για την αποστολή αιτημάτων HTTP προς τον server. Παρέχει εύκολο τρόπο να κάνουμε αιτήματα GET, POST, PUT, DELETE προς το backend. Στην περίπτωση της εφαρμογής μας, χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων όπως τα στοιχεία των κτηρίων και των υπηρεσιών, καθώς και για την ανάκτηση των αποτελεσμάτων του SRI.[25]

Routing με React Router

Η πλοήγηση στην εφαρμογή πραγματοποιείται με το React Router, επιτρέποντας στους χρήστες να μεταβαίνουν σε διαφορετικές σελίδες χωρίς να χρειάζεται να γίνει ανανέωση της σελίδας. Το React Router χρησιμοποιεί το σύστημα routing για τη διαχείριση των διευθύνσεων URL και το useNavigate hook για να επιτρέπει την πλοήγηση προγραμματιστικά.

5.5.3 Σύνοψη

Η εφαρμογή SRI Calculator χρησιμοποιεί μια συνδυασμένη προσέγγιση μεταξύ του ReactJS για τη διαχείριση των components και της διεπαφής χρήστη, του Axios για την επικοινωνία με το backend, και του Semantic UI για την εύκολη και ευέλικτη μορφοποίηση των στοιχείων. Αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει την εύκολη επεκτασιμότητα και τη διαχείριση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές με δυναμική αλληλεπίδραση και υπολογισμούς, όπως ο υπολογισμός SRI. [25] [22]



Σχήμα 5.5: ReactJS App Flow

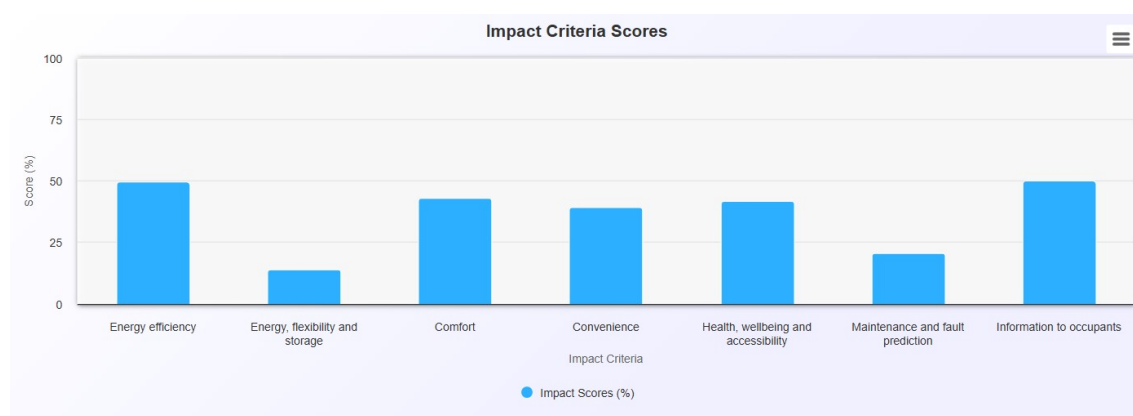
5.6 Διαγράμματα και άλλες λεπτομέρειες της εφαρμογής

Εκτός από τα βασικά μέρη της εφαρμογής μας τα οποία εξηγήθηκαν λεπτομερώς, αξίζει μια ξεχωριστή ανάλυση και για κάποια ξεχωριστά κομμάτια που αποτελούν σημεία του full stack της εφαρμογής μεν, αλλά είναι πολύ σημαντικά για τη λειτουργικότητα. Όσον αφορά τη διεπαφή με το χρήστη, είναι πολύ σημαντική η χρήση της βιβλιοθήκης highcharts.js για την υλοποίηση των διαγραμμάτων του τελικού αποτελέσματος. Εκτός από αυτό, αξίζει μια ανάλυση στο middleware που χρησιμοποιήθηκε και ποιος ήταν ο ρόλος του, ενώ επίσης και τη βιβλιοθήκη για το token του χρήστη και τη προστασία των credentials του.

5.6.1 Highcharts.js

Το Highcharts.js αποτελεί μία δημοφιλή JavaScript βιβλιοθήκη για τη δημιουργία διαδραστικών γραφημάτων σε ιστοσελίδες και εφαρμογές. Υποστηρίζει πλήθος τύπων γραφημάτων, όπως στήλες, πίτες, γραμμές, περιοχές, διασποράς κ.α. Μία από τις βασικές του δυνατότητες είναι η ευκολία με την οποία μπορεί να παραμετροποιηθεί ώστε να ανταποκρίνεται σε διάφορες ανάγκες απεικόνισης δεδομένων.[28]

Στην περίπτωση της εφαρμογής μας, δηλαδή στο SRI calculator χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση των βαθμολογιών των τομέων (Domain Scores) και των κριτηρίων επίδρασης (Impact Criteria Scores). Τα γραφήματα εμφανίζονται ως στήλες (bar charts) και έχουν ενεργοποιηθεί επιλογές εξαγωγής σε μορφές όπως PNG, JPEG, PDF, SVG, παρέχοντας στους χρήστες την ευελιξία να κατεβάσουν τα διαγράμματα σε διάφορες μορφές.



Σχήμα 5.6: *Bar Chart Example*

Η χρήση των HighchartsReact και Exporting modules επιτρέπει τη δημιουργία και προσαρμογή των γραφημάτων στο περιβάλλον της ReactJS εφαρμογής, ενώ η εξαγωγή δεδομένων παρέχει σημαντικές δυνατότητες στους τελικούς χρήστες για αποθήκευση και κοινοποίηση των αποτελεσμάτων.

[28]

5.6.2 CORS Middleware και ο ρόλος του Middleware στην εφαρμογή

Το CORS (Cross-Origin Resource Sharing) είναι ένας μηχανισμός που επιτρέπει σε servers να δηλώσουν στους φυλλομετρητές αν είναι επιτρεπτό να χρησιμοποιούν πόρους από διαφορετική προέλευση (domain). Χωρίς CORS, το Same-Origin Policy του browser εμποδίζει τις περισσότερες αιτήσεις από άλλες προελεύσεις για λόγους ασφαλείας.

Στην εφαρμογή μας, το CORS middleware του FastAPI επιτρέπει στο frontend (που τρέχει στο localhost:3000 λόγω της React) να κάνει αιτήσεις προς το API που βρίσκεται στον server (backend). Έτσι διασφαλίζεται ότι οι αιτήσεις από το μπροστά μέρος της διεπαφής μπορούν να επικοινωνούν ομαλά με τον server, ενώ παρέχεται επίσης ευελιξία και ασφάλεια για να καθοριστούν ποιες διευθύνσεις προέλευσης, μέθοδοι και επικεφαλίδες επιτρέπονται.

Ο γενικότερος ρόλος του middleware στην εφαρμογή είναι να μεσολαβεί ανάμεσα στις εισερχόμενες αιτήσεις και τις αποκρίσεις του server, επεξεργαζόμενος, φιλτράροντας ή ακόμα και τροποποιώντας αυτές τις αιτήσεις. Στο FastAPI, το middleware μπορεί να εκτελεί λειτουργίες όπως έλεγχο εξουσιοδότησης, καταγραφή, και ασφαλή διαχείριση των cookies σε κάποια σελίδα.

[29]

5.6.3 Προστασία των credentials των χρηστών μέσω OAuth2

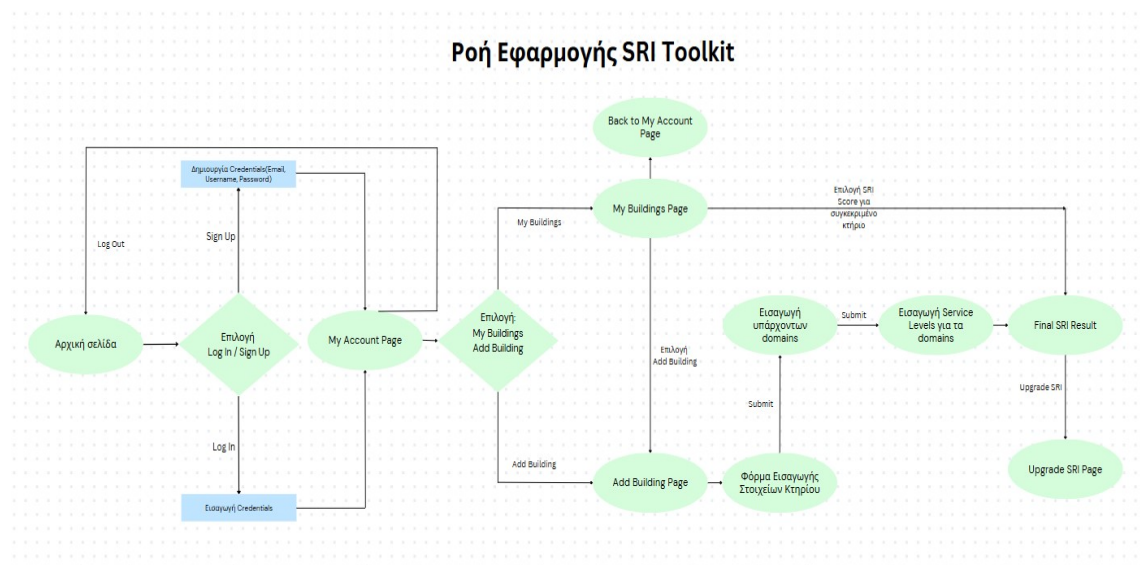
Η προστασία των credentials των χρηστών υλοποιείται με το OAuth2, που είναι ένα ευρέως διαδεδομένο πρότυπο για εξουσιοδότηση (authorization). Στην εφαρμογή, το OAuth2PasswordBearer schema χρησιμοποιείται για την ασφαλή ταυτοποίηση των χρηστών. Μετά τη διαδικασία λογιν του χρήστη δηλαδή την εισδοό του στη εφαρμογή, δημιουργείται ένα JWT (JSON Web Token) με κρυπτογράφηση (HS256 αλγόριθμος), το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες όπως το username του χρήστη και έχει ημερομηνία λήξης (30 λεπτά). Αυτό σημαίνει ότι μετά τη λήξη του χρονικού ορίου το session του χρήστη ολοκληρώνεται και είναι αναγκασμένος να πραγματοποιήσει εκ νέου είσοδο με τους κωδικούς του. Αυτό συμβαίνει στις περισσότερες εφαρμογές κυρίως για λόγους πόρων της Google. Δηλαδή, σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης παραμένει συνδεδεμένος στην εφαρμογή αλλά είναι αδρανής για αρκετή ώρα, δεν είναι οικονομικό να μένει συνδεδεμένος για πάντα μέχρι να αποφασίσει να βγει καθώς έτσι οι πόροι των servers δε θα έφταναν.

Κατά τη διάρκεια της προστασίας διαδρομών (π.χ. για την προσθήκη κτηρίων ή την ανάκτηση προφίλ χρήστη), οι αιτήσεις συνοδεύονται από αυτό το JWT token. Ο server ελέγχει την εγκυρότητά του και αν το token είναι έγκυρο, τότε επιτρέπεται η πρόσβαση του χρήστη στους πόρους της εφαρμογής. Έτσι, διασφαλίζεται ότι μόνο οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να κάνουν συγκεκριμένες ενέργειες, και τα credentials των χρηστών προστατεύονται από κακόβουλες επιθέσεις.[29]

Κεφάλαιο 6

Παρουσίαση της Εφαρμογής

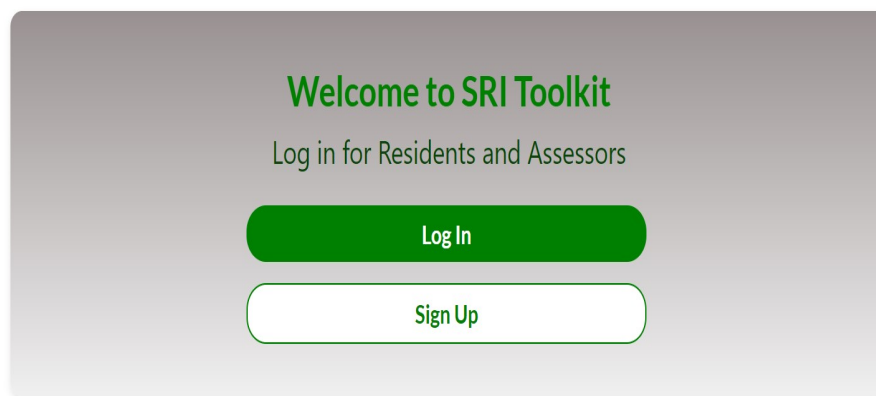
Σε αυτό κεφάλαιο, αφού έχουμε αναλύσει εκτενώς και θεωρητικά και πρακτικά το back-ground της εφαρμογής μας (SRI Calculator), θα γίνει μια πλήρης παρουσίαση, με όλες τις δυνατές επιλογές που δίνει, τόσο της λειτουργικότητάς της όσο και του interface, δηλαδή της σελίδας που θα βλέπει ο χρήστης. Παρακάτω βλέπουμε τη ροή της εφαρμογής ανάλογα με την περιήγηση του χρήστη.



Σχήμα 6.1: Flow Diagram

6.1 Δημιουργία χρήστη και είσοδος στην εφαρμογή

Καταρχήν, θα ξεκινήσουμε από τις σελίδες που έχει πρόσβαση ο χρήστης κατά την είσοδο στην εφαρμογή. Αρχικά είναι η Home page στην οποία έχει τις επιλογές για είσοδο ή εγγραφή. Η σελίδα φαίνεται παρακάτω και στη περίπτωση χωρίς interactions και στην περίπτωση που ο χρήστης κάνει hover κάποια από τις επιλογές.



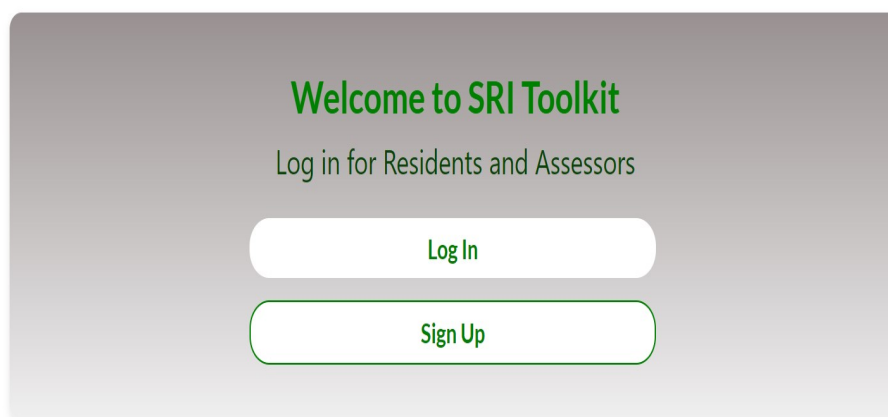
Σχήμα 6.2: *First page*

Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει πως θέλει να μπει στην εφαρμογή. Στο παραδειγμά μας ας θεωρήσουμε ότι δημιουργούμε έναν νέο χρήστη για να δούμε το πλήρες flow της σελίδας. Σε αυτή τη περίπτωση επιλέγουμε το Sign Up και οδηγούμαστε στην παρακάτω σελίδα όπου πρέπει να συμπληρώσουμε τα στοιχεία του χρήστη κάτι που φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

Όπως φαίνεται, και από αυτή τη σελίδα ο χρήστης έχει την επιλογή να κάνει είσοδο αν τυχόν επέλεξε λάθος στην αρχική. Έτσι δε χρειάζεται να πάει πίσω για να αλλάξει την επιλογή του.

Επομένως, μόλις γίνει η καταχώρηση του νέου χρήστη με το Sign Up οδηγείται στο Log In page για να κάνει την είσοδο με τα στοιχεία που μόλις έφτιαξε. Η σελίδα φαίνεται στις επόμενες εικόνες.

Ομοίως με τη προηγούμενη σελίδα ο χρήστης έχει ξανά την επιλογή να πάει αυτόματα στη σελίδα για εγγραφή αντί να χρειάζεται να γυρίσει πίσω στη Home page. Κατά την είσοδο ο χρήστης οδηγείται στη κεντρική σελίδα όπου έχει πιο πολλές επιλογές.



Σχήμα 6.3: *First page with hover on login*



Sign Up

Username

Email

Password

If you already have an account : [Log In](#)

Σχήμα 6.4: *Sign Up page*



SRI TOOLKIT

Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

Sign Up

Giannis Papadopoulos

example@mail.com

••••••••

If you already have an account : [Log In](#)

Sign Up

Σχήμα 6.5: *Sign up with completed data*



SRI TOOLKIT

Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

Log In

Username

Password

If you are a new user : [Sign Up](#)

Log In

Σχήμα 6.6: *Log In page*



SRI TOOLKIT
Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

Log In

Giannis Papadopoulos

••••••••

If you are a new user : [Sign Up](#)

Log In

Σχήμα 6.7: Log In page along with credentials

6.2 Κεντρική σελίδα και Πίνακας κτηρίων

Μετά την είσοδο του χρήστη έχει πρόσβαση στη κεντρική σελίδα της εφαρμογής η οποία περιλαμβάνει τα τρία βασικά κουμπιά για navigation στην εφαρμογή. Αυτά υπάρχουν από εδώ και στο εξής σε όλες τις σελίδες για πιο ομαλή περιήγηση και λιγότερα back buttons.



SRI TOOLKIT
Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

Giannis Papadopoulos 

Welcome to SRI Toolkit!

About the SRI Toolkit

This app provides tools and services to help evaluate the smart readiness of buildings in accordance with the Smart Readiness Indicator (SRI) framework. Use the toolkit to manage your buildings, evaluate their performance, and improve energy efficiency.



My Buildings

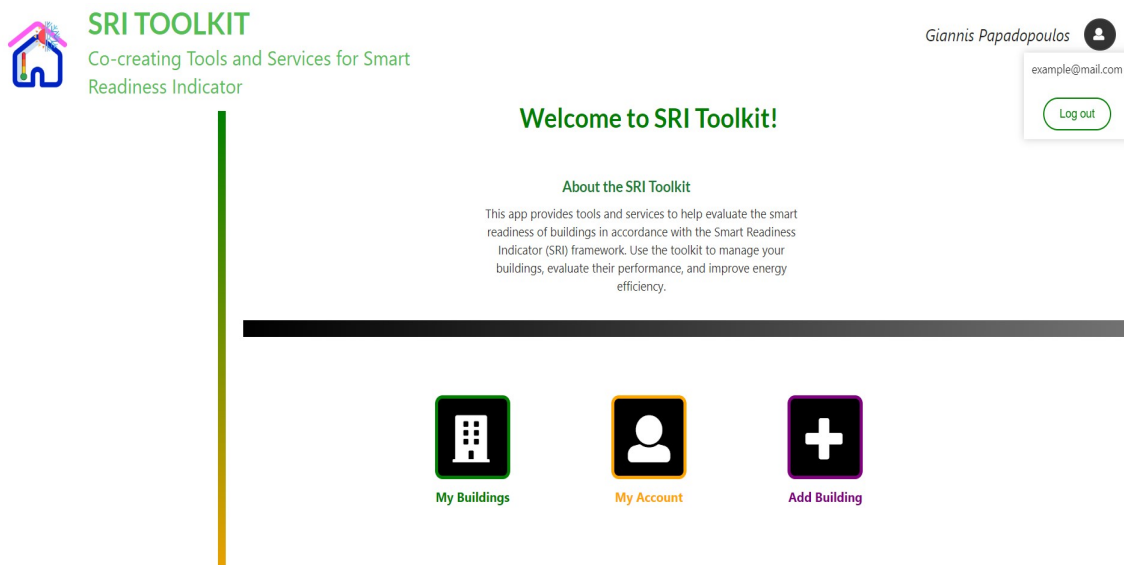


My Account



Add Building

Σχήμα 6.8: Main page



Σχήμα 6.9: Main page with log out option

Σε αυτή τη σελίδα ο χρήστης μπορεί να δει το όνομα που χρησιμοποιεί στο πάνω δεξιά μέρος και στο διπλανό κουμπί μπορεί ανά πάσα στιγμή να κάνει log out και να επιστρέψει στη home page. Παράλληλα στη μέση της σελίδας υπάρχει μια μικρή συνοπτική περιγραφή της εφαρμογής.

Όσον αφορά τις επιλογές του χρήστη, από αυτή τη σελίδα μπορεί να επιλέξει είτε το My Buildings, είτε το Add Building. Το My Account δεν προσφέρει κάτι σε αυτή τη σελίδα αφού οδηγεί στην ίδια, απλά υπάρχει για ενημερωτικό λόγο για να ξέρει ο χρήστης που τον οδηγεί όταν το πατάει στις υπόλοιπες σελίδες. Για το My Buildings, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει όλα τα αποθηκευμένα κτήριά του μαζί με τα στοιχεία τους. Το Add Building οδηγεί στη φόρμα εισαγωγής στοιχείων για ένα νέο κτήριο. Ας δούμε πως μοιάζει η σελίδα με τα κτήρια του χρήστη στην αρχή όπου είναι άδεια.

Όπως βλέπουμε υπάρχουν όλα τα στοιχεία που μπορεί να εισάγει ο χρήστης. Εκτός από αυτά περιλαμβάνει τα δύο κουμπιά που αναφέραμε και προηγουμένως το My Account και το Add Building. Το My Buildings παραλείπεται αφού βρισκόμαστε ήδη σε αυτή τη σελίδα.



Σχήμα 6.10: Empty my buildings page

Στην επόμενη εικόνα έχουμε προσθέσει κάποια κτήρια και μπορούμε να δούμε τη μορφή του πίνακα καλύτερα. Επίσης κάτι που αξίζει να σημειωθεί είναι το View SRI Score button το οποίο οδηγεί απευθείας στη σελίδα των αποτελεσμάτων για αυτό το κτήριο στη περίπτωση φυσικά που αυτά έχουν υπολογιστεί, αλλιώς είναι ανενεργό.



Σχήμα 6.11: My buildings page

6.3 Προσθήκη νέου κτηρίου και εισαγωγή των χαρακτηριστικών του

Στη συνέχεια θα δούμε το βασικό κομμάτι της λειτουργικότητας της εφαρμογής που είναι η εισαγωγή των πληροφοριών ενός κτηρίου, τόσο αναφορικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του όσο και με τα πιο γενικά. Αρχικά θα δούμε την πρώτη φόρμα για την εισαγωγή των βασικών πληροφοριών του κτηρίου όπως τη γεωγραφική ζώνη, τη τοποθεσία του, το έτος που χτίστηκε και άλλα.

SRI TOOLKIT
Co-creating
Tools and
Services for
Smart
Readiness
Indicator

Add a new Building

Giannis Papadopoulos example@mail.com Log out

Building Information

Building Name

Building Type*
Select Building Type

Building Usage
Select Building Usage

Building State
Select Building Type

Energy Class
Select Class

Zone*
Select Zone

Σχήμα 6.12: Add a new Building(Part 1)

Select Class

Zone*
Select Zone

Country
Select Country

City

State/Province/Region

Street and Number

Zip Code

Building Year
Select Year

Confirm

Σχήμα 6.13: Add a new Building(Part 2)

Παράλληλα, εκτός από την κεντρική φόρμα μπορούν να παρατηρηθούν και τα δύο κουμπιά πλοήγησης στις άλλες σελίδες, το ένα για την επιστροφή στην αρχική σελίδα και το άλλο για την είσοδο στη λίστα με τα αποθηκευμένα κτίρια.

Στα κενά πλαίσια της φόρμας άλλα έχουν συγκεκριμένες τιμές (dropdown menu) για τον χρήστη όπου θα κληθεί να επιλέξει, ενώ σε άλλα καλείται να πληκτρολογήσει ο ίδιος (όπως στη διεύθυνση). Παρακάτω φαίνεται η μορφή της φόρμας συμπληρωμένη από τον χρήστη:

SRI TOOLKIT
Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

Add a new Building Giannis Papadopoulos

Building Information

Building Name
TEST_HOME

Building Type*
Residential

Building Usage
Residential - Single family house

Building State
Original

Energy Class
Class D

Zone*
South Europe

Country

Σχήμα 6.14: Completed Form(Part 1)

Zone*
South Europe

Country
Greece

City
Athens

State/Province/Region
Attiki

Street and Number
Test Street 25

Zip Code
15773

Building Year
1960 - 1990

Confirm

Σχήμα 6.15: Completed Form(Part 2)

Μετά το Confirm από το χρήστη, αυτός παραπέμπεται στη φόρμα επιλογής των υπάρχοντων τομέων του κτιρίου. Δηλαδή, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τα Domains που βρίσκονται στο κτίριο χωρίς κάποιο περιορισμό. Ενδεικτικά, στη παρούσα περίπτωση θα επιλέξουμε σαν present domains τα Lighting, Heating.

SRI TOOLKIT
Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

Present Domains
Giannis Papadopoulos

Are the following building systems present in your building? Please check the ones that exist.

Cooling	No
Dynamic building envelope	No
Domestic hot water	No
Electricity	No
Electric vehicle charging	No
Heating	No
Lighting	No

Σχήμα 6.16: *Present Domains Page*

SRI TOOLKIT
Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

Present Domains

Domestic hot water	No
Electricity	No
Electric vehicle charging	No
Heating	Yes
Lighting	Yes
Monitoring and control	No
Ventilation	No

Show Services

Σχήμα 6.17: *Present Domains Page Completed*

Επόμενος σταθμός για τον χρήστη είναι και ο πιο σημαντικός αναφορικά με τον υπολογισμό του τελικού σκορ, και είναι η επιλογή του επιπέδου επάρκειας κάθε υπηρεσίας του

κτιρίου με βάση τα επιλεγμένα Domains. Πιο συγκεκριμένα δίνεται η δυνατότητα για επιλογή κυρίως επιπέδου επάρκειας και δευτερευόντως επιπέδου μαζί με το ποσοστό για κάθε ένα. Τα services που εμφανίζονται προς επιλογή είναι αυτά που περιέχονται στα υπάρχοντα domains και από αυτά τα services ο χρήστης είναι ελεύθερος να επιλέξει όσα θέλει από αυτά που είναι διαθέσιμα. Ενδεικτικά στο παράδειγμα μας, θα κάνουμε κάποιες επιλογές που φαίνονται παρακάτω:

Σχήμα 6.18: Service Selection Page

Σχήμα 6.19: Service Selection Page Completed (Part 1)

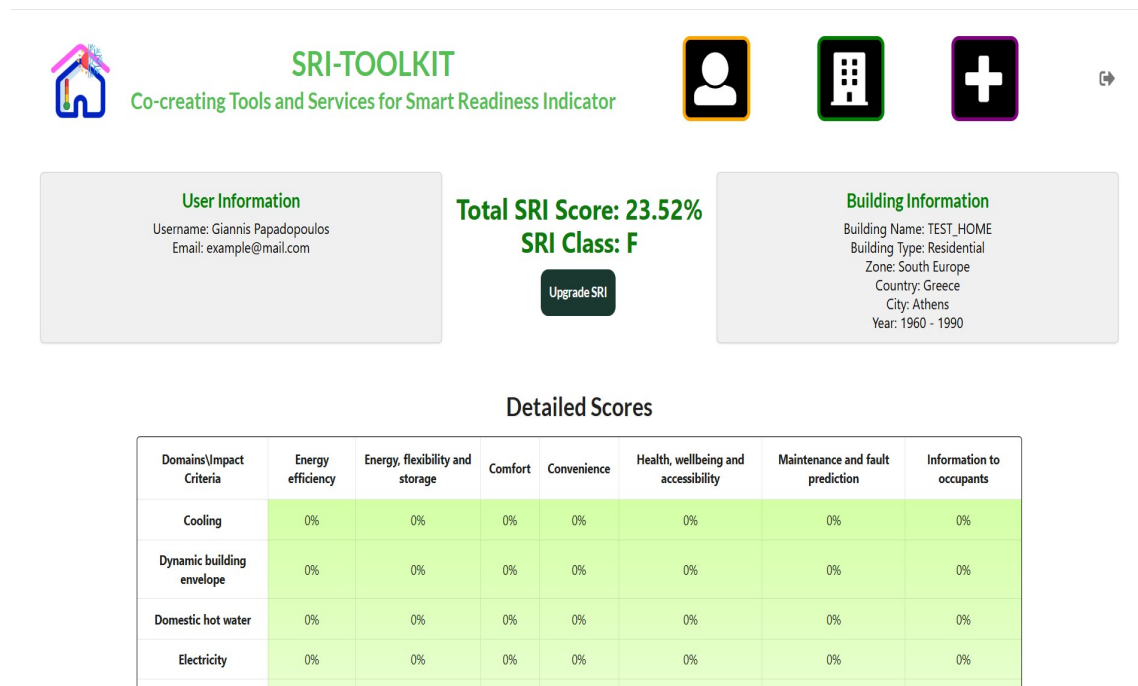
Σχήμα 6.20: *Service Selection Page Completed (Part 2)*

Σχήμα 6.21: *Service Selection Page Completed (Part 3)*

Όπως φαίνεται στις εικόνες υπάρχουν αναλυτικά οι περιγραφές όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών όπως επίσης και των επιπέδων επάρκειάς τους. Μετά την συμπλήρωση από τον χρήστη, οδηγείται στην εμφάνιση των τελικών αποτελεσμάτων μαζί με την αναλυτική εμφάνιση όλων των επιμέρους σκοπ.

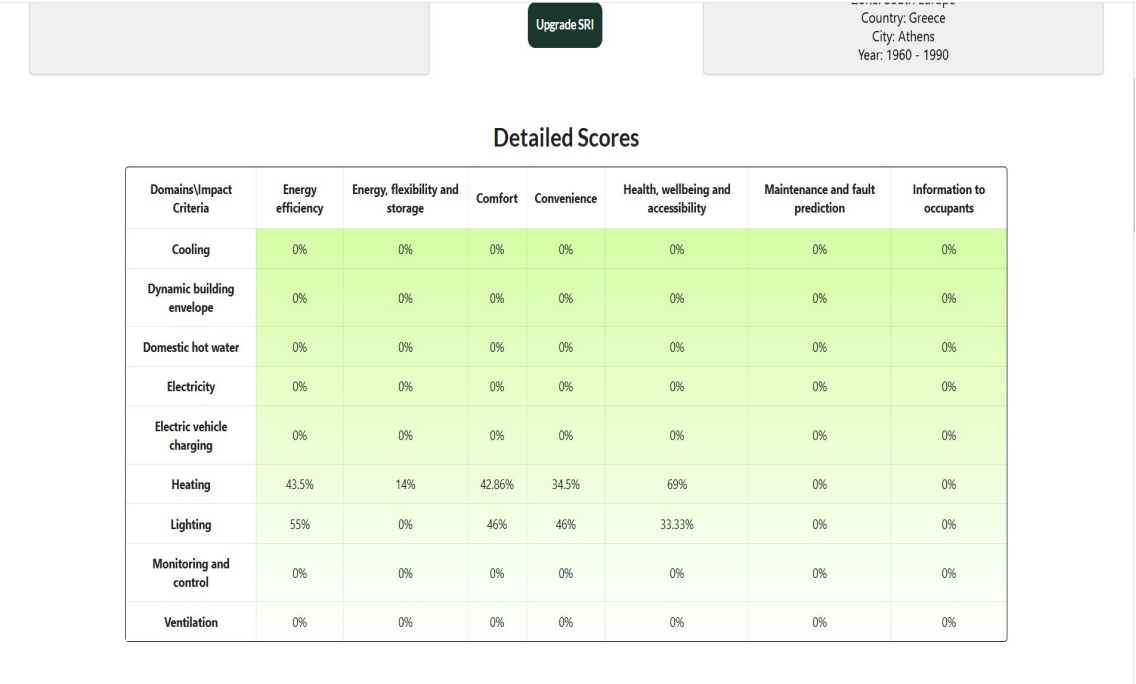
6.4 Εμφάνιση του τελικού SRI score

Μετά τις επιλογές του χρήστη όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, είναι όλα έτοιμα για τον πλήρη υπολογισμό. Στη παρούσα σελίδα αρχικά φαίνεται το συνολικό σκορ σε συνδυασμό με την κλάση SRI του κτιρίου. Ακριβώς από κάτω βρίσκεται το κουμπί με το οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προχωρήσει στην αναβάθμιση του SRI με τις κατάλληλες προτάσεις από την εφαρμογή. Δίπλα υπάρχουν δύο κάρτες με τα βασικά στοιχεία του κτιρίου και του χρήστη.

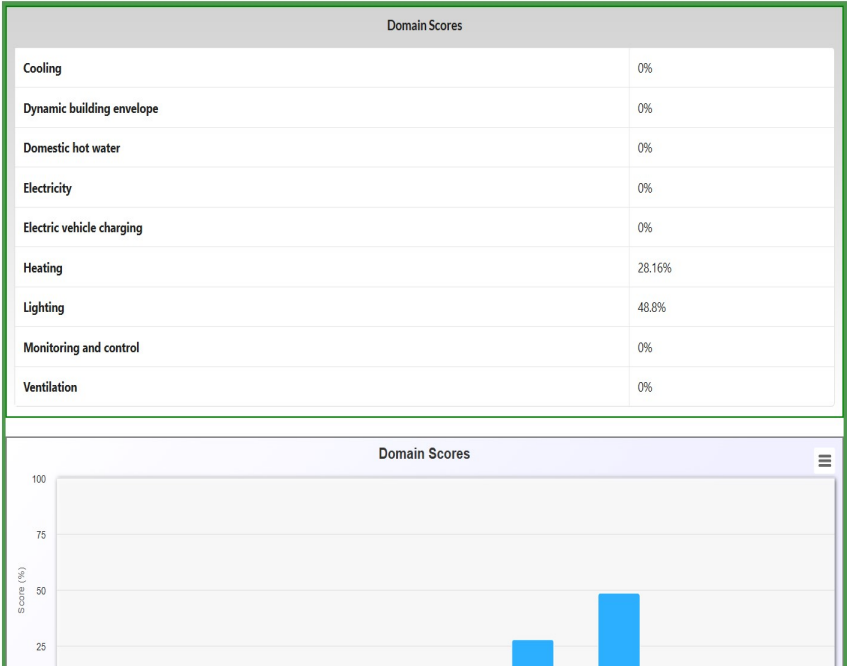


Σχήμα 6.22: SRI Score Page (Part 1)

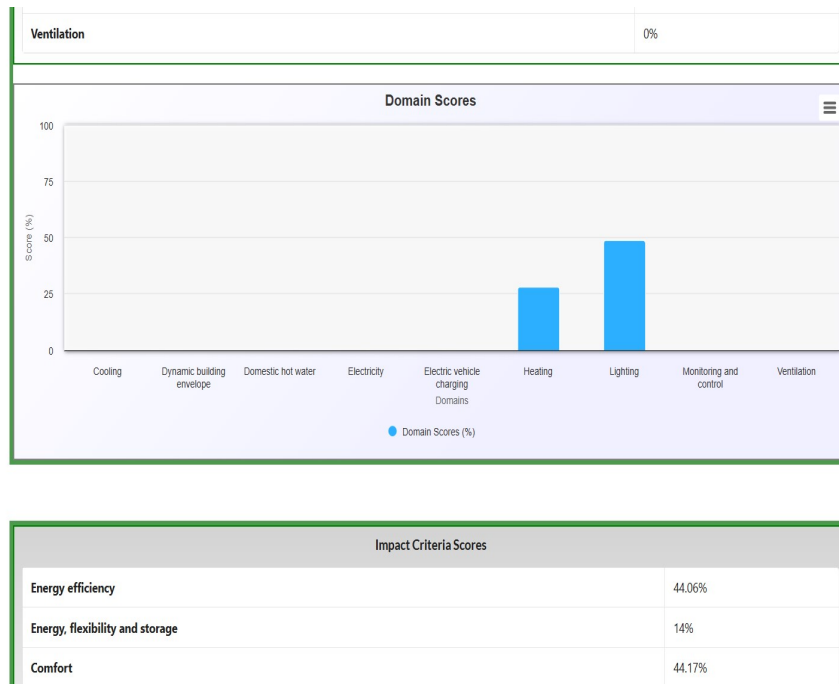
Πιο κάτω στη σελίδα υπάρχουν αναλυτικά και με γραφήματα όλα τα επί μέρους σκορ, δηλαδή για όλα τα ζεύγη Domain - Impact Criterion, αλλά και για τα Domain Scores, Impact Criteria Scores, Key Functionality Scores.



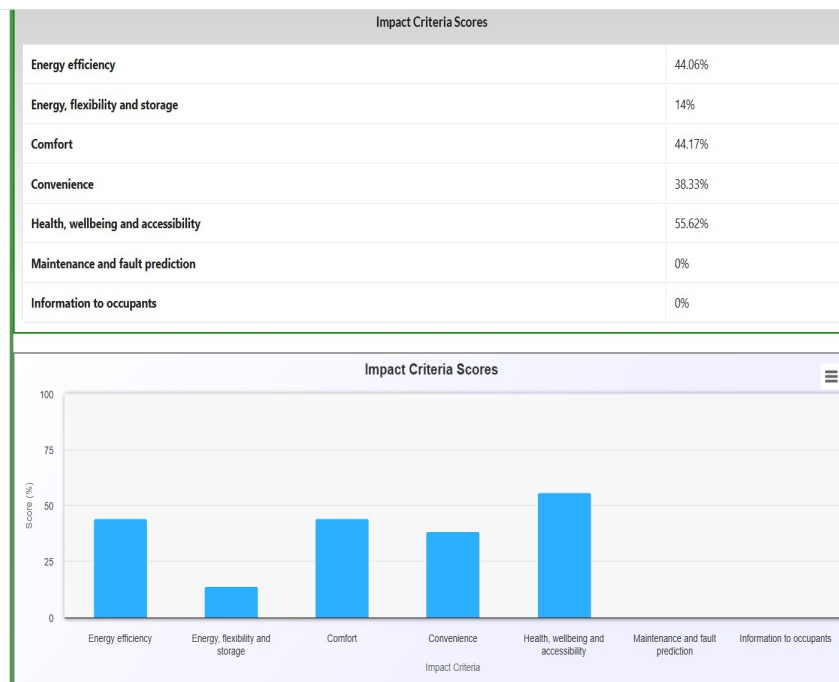
Σχήμα 6.23: SRI Score Page (Part 2)



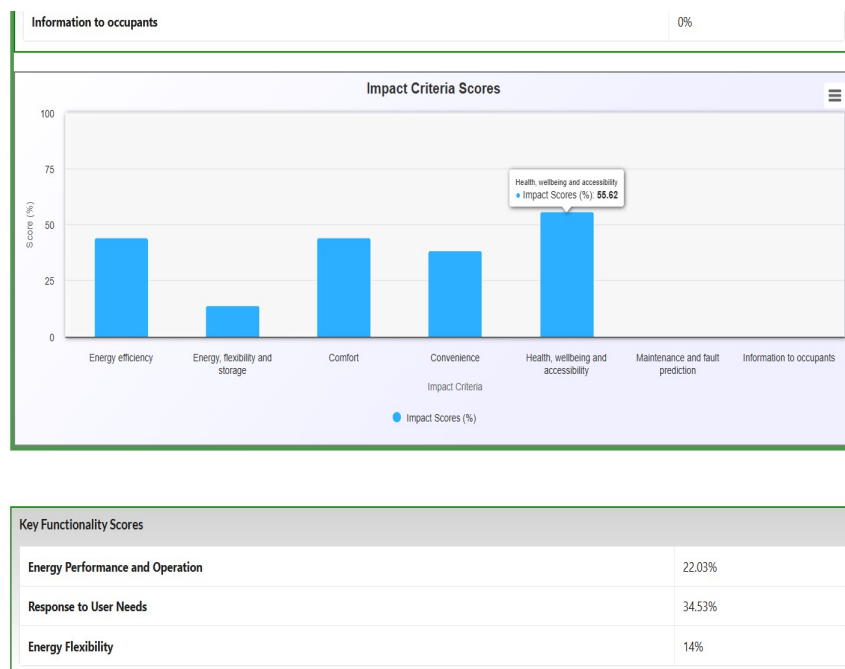
Σχήμα 6.24: SRI Score Page (Part 3)



Σχήμα 6.25: SRI Score Page (Part 4)



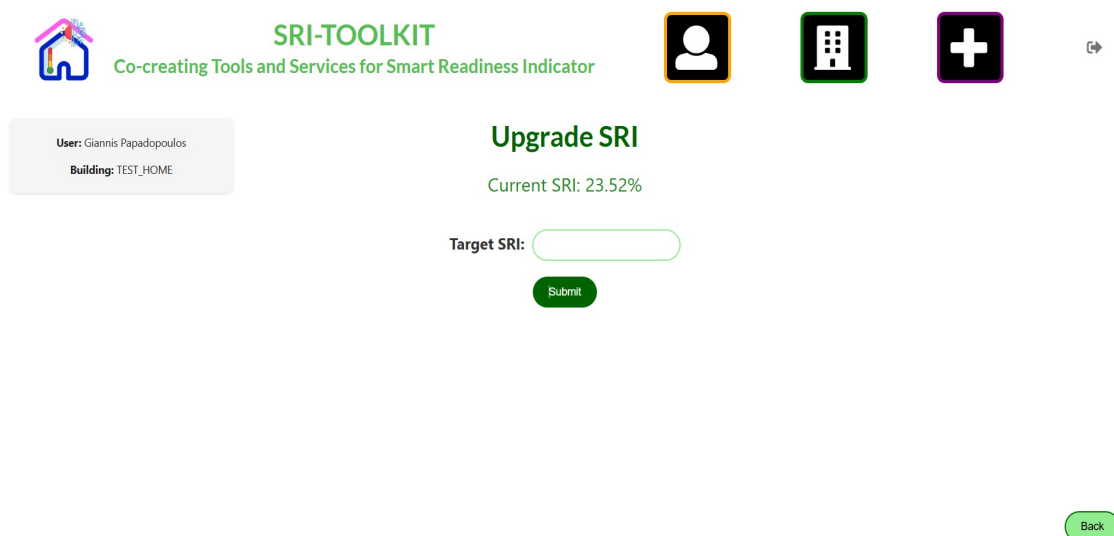
Σχήμα 6.26: SRI Score Page (Part 5)



Σχήμα 6.27: SRI Score Page (Part 6)

6.5 Αναβάθμιση του SRI

Μετά και την πλήρη εμφάνιση των αποτελεσμάτων ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να βρει προτάσεις για βελτίωση του σκορ του ανάλογα το Target Score που ο ίδιος θέτει. Παρακάτω φαίνεται η αρχική μορφή της σελίδας χωρίς να δώσει κάποιο input ο χρήστης.



SRI-TOOLKIT
Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator

User: Gianni Papadopoulos
Building: TEST_HOME

Upgrade SRI

Current SRI: 23.52%

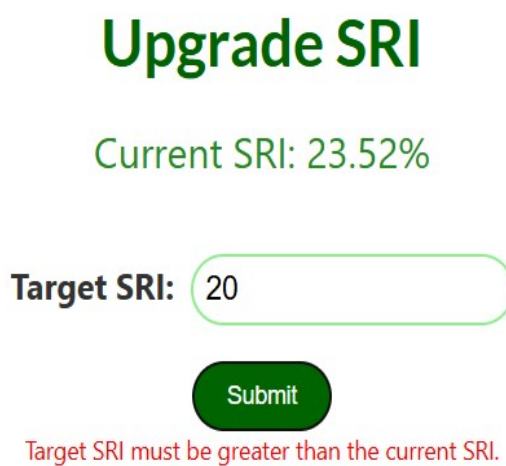
Target SRI:

Submit

Back

Σχήμα 6.28: *Upgrade SRI page*

Στη συνέχεια ο χρήστης πληκτρολογεί τον στόχο του αναφορικά με το σκορ του για το κτίριο. Είναι προφανές ότι δεν μπορεί να βάλει σαν στόχο ένα σκορ μικρότερο από το ήδη υπάρχον. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μας όπου το σκορ είναι 23.52%, ο χρήστης θέσει στόχο 20%, θα έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα:



Upgrade SRI

Current SRI: 23.52%

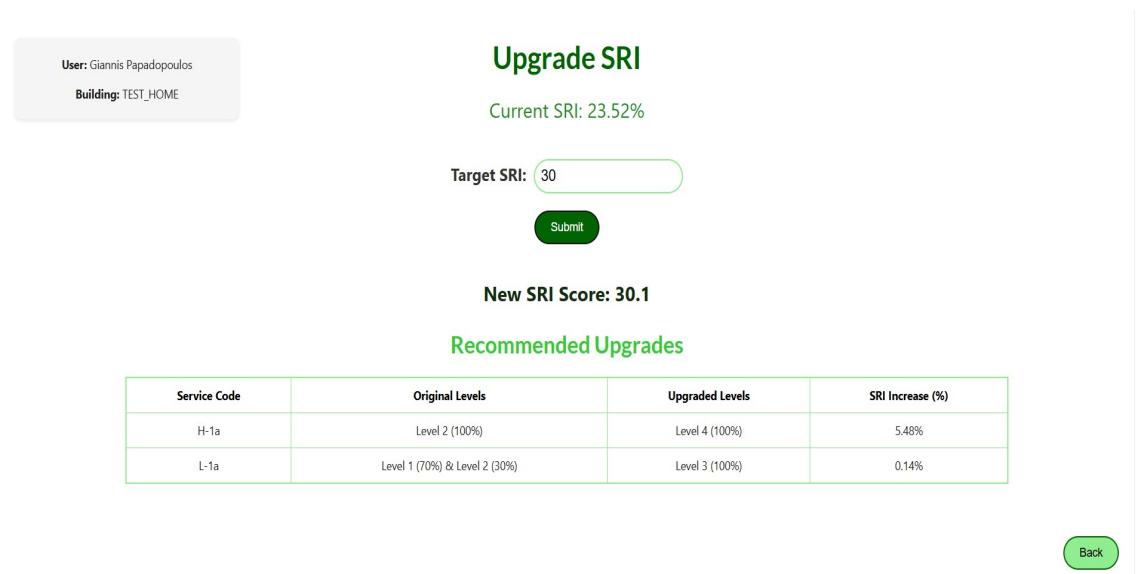
Target SRI:

Submit

Target SRI must be greater than the current SRI.

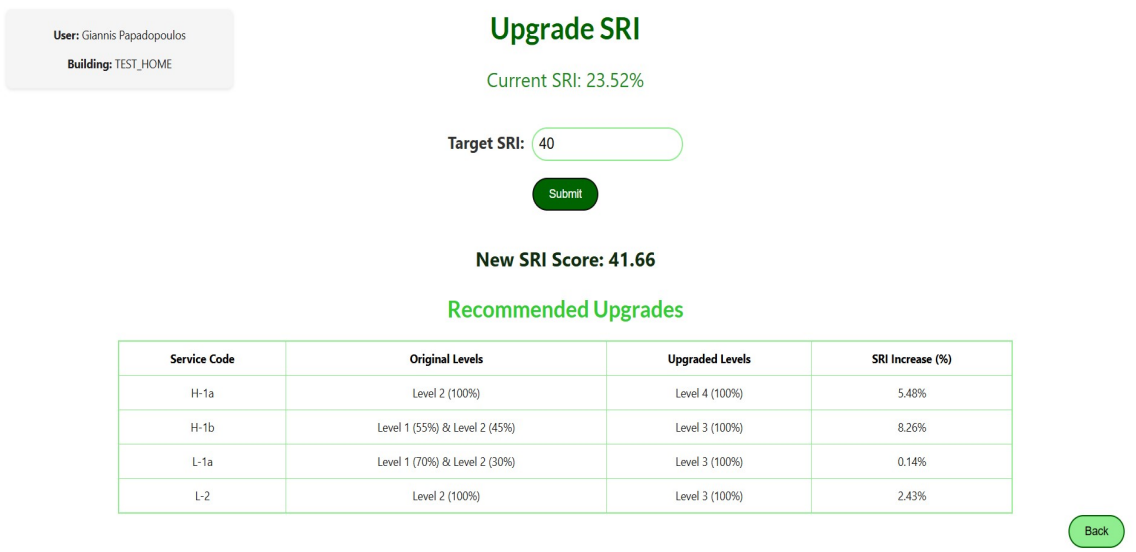
Σχήμα 6.29: *Unavailable target example*

Ας δοκιμάσουμε τώρα λοιπόν έναν εφικτό στόχο για το κτίριο. Αν στο παράδειγμά μας, ο χρήστης επιλέξει σαν στόχο το 30%, δηλαδή μια αύξηση της τάξης του 6-7%, θα προκύψουν τα παρακάτω αποτελέσματα:



Σχήμα 6.30: Example of Upgrade Recommendations

Όπως βλέπουμε, εμφανίζεται ένας πίνακας με τις μεταβολές των διαθέσιμων υπηρεσιών με τις οποίες θα φτάσει το κτίριο στο στοχευμένο ποσοστό. Πιο αναλυτικά, στον πίνακα φαίνεται το αρχικό επίπεδο επάρκειας της υπηρεσίας, το τελικό(δηλαδή μετά την αναβάθμιση) και την επι μέρους αύξηση του σκορ για κάθε υπηρεσία. Έτσι ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να κάνει μια προτεραιοποίηση ανάλογα με την αύξηση που προσφέρει κάθε υπηρεσία. Επίσης φαίνεται και το τελικό σκορ μετά τις αναβαθμίσεις το οποίο προφανώς είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο Target Score. Ένα ακόμα παράδειγμα αναβαθμίσεων για αύξηση στο 40% φαίνεται παρακάτω :



Σχήμα 6.31: Another Example of Upgrade Recommendations

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις

Συνοψίζοντας, τόσο για την εφαρμογή όσο και γενικότερα για το πλαίσιο του SRI, μπορούμε να καταλήξουμε στο ότι αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο και σημαντικό στοιχείο για τις σύγχρονες κτηριακές υποδομές και η μεγαλύτερη ανάπτυξη και ανάλυση του δείκτη θα βοηθήσει ακόμα περισσότερο στην κατανόηση των νεότερων έξυπνων τεχνολογιών.

Πιο αναλυτικά, σχετικά με την εφαρμογή SRI Toolkit, ένα σημαντικό επίτευγμα του δεύτερου μισού της εφαρμογής, δηλαδή του SRI Upgrade Tool, είναι η απλοποίηση των αναβαθμίσεων για το χρήστη. Του δίνει τη δυνατότητα, δίχως να προσθέσει μη υπάρχουσες υπηρεσίες, κατά που θα ήταν κοστοβόρο και ανά περιπτώσεις μη εφικτό, να αναβαθμίσει τις υπάρχουσες υπηρεσίες με απλές εγκαταστάσεις στα πλαίσια των οδηγιών του δείκτη. Έτσι, βάζοντας απλά έναν στόχο έχει τις συμβουλές που χρειάζεται, οι οποίες περιλαμβάνουν τις εγκαταστάσεις που απαιτείται να κάνει.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, η εφαρμογή διαθέτει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να καθίσταται εύχρηστη για τον επισκέπτη και αποδοτική στο στόχο της. Πιο τεχνικά κομμάτια για τον κώδικα και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονται στο χώρο αποθήκευσης του project.

Το ολοκληρωμένο project με ολόκληρο τον πηγαίο κώδικα για την υλοποίηση της εφαρμογής SRI Toolkit βρίσκεται στο GitHub στον σύνδεσμο <https://github.com/ntua-el19160/SRI-Calculator>. Εκεί υπάρχουν αναλυτικές οδηγίες για την υλοποίηση και την εγκατάσταση της εφαρμογής και για τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν.

Επίσης, μετά την ολοκλήρωσή της εφαρμογής στο μέγιστο των παρόντων δυνατοτήτων, είναι κατανοητό ότι υπάρχει μεγάλος χώρος για βελτίωση του δείκτη. Η βελτίωση αυτή μπορεί να επέλθει σε μεγάλο βαθμό με την αύξηση των πιθανών τεχνολογιών του κτηρίου και την μεγαλύτερη ανάλυση σε υπηρεσίες και τομείς. Περισσότερες υπηρεσίες θα προσέδιδαν περισσότερη λεπτομέρεια στον υπολογισμό και σαν αποτέλεσμα θα είχε μεγαλύτερη ακρίβεια και ορθότητα.

Σε αυτό το κομμάτι υπάγεται και η προσαρμογή του δείκτη σε περισσότερους τύπους κτηρίων. Παρότι το SRI εφαρμόζεται τόσο σε οικιστικά όσο και σε μη οικιστικά κτήρια, η μεθοδολογία του θα μπορούσε να εξειδικευτεί περισσότερο ώστε να λαμβάνει υπόψη ιδιαίτερες

ανάγκες και τεχνολογικές απαιτήσεις διαφορετικών χρήσεων (π.χ. βιομηχανικά, εμπορικά κτήρια).

Εκτός από τα παραπάνω, είναι εξίσου σημαντικό ανάλογα την περιοχή, τη χώρα και του κανονισμούς να υπάρχουν και οι ανάλογοι περιορισμοί έτσι ώστε να σώσει το χρήστη από τη διαδικασία περαιτέρω ελέγχων, καθώς πολλές υπηρεσίες μπορεί να μην επιτρέπονται ανάλογα την τοποθεσία του κτηρίου.

Παράλληλα, υπάρχουν και ολόκληροι τομείς που δεν αναλύονται όπως το οικονομικό κομμάτι των υπηρεσιών. Καθώς για πολλούς χρήστες παίζει, ίσως το σημαντικότερο ρόλο, η οικονομική απαίτηση των περισσότερων υπηρεσιών, κυρίως για την βελτίωση του κτηρίου που τους ενδιαφέρει.

Συνολικά, το SRI αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη πρωτοβουλία για την προώθηση των έξυπνων κτιρίων και της ενεργειακής απόδοσης, ωστόσο η συνεχής βελτίωση της μεθοδολογίας του και η ευρύτερη εφαρμογή του είναι απαραίτητες για να καταστεί πραγματικά χρήσιμο εργαλείο στον κλάδο των κατασκευών και της ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- [1] European Commission. *Energy performance of buildings directive*. https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en, 2021.
- [2] IPCC. *Sixth Assessment Report*. <https://www.ipcc.ch>, 2021.
- [3] United Nations. *Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>, 2015.
- [4] European Union. *Smart Readiness Indicator for Buildings*. <https://smartreadinessindicator.eu>, 2020.
- [5] Andri Panayidou Paris A. Fokaides, Christiana Panteli. *How Are the Smart Readiness Indicators Expected to Affect the Energy Performance of Buildings: First Evidence and Perspectives*. *Advanced Construction and Architecture*, 12, 2020.
- [6] Giovanni Pernigotto Andrea Gasparella Ilaria Vigna, Roberta Perneti. *Analysis of the Building Smart Readiness Indicator Calculation: A Comparative Case-Study with Two Panels of Experts*. *Energies*, 13, 2020.
- [7] SRI Observatory. sriobservatory.eu/scientific-research, 2023.
- [8] Josiane Xavier Parreira Stefan Bischof, Erwin Filtz. *Semantic Smart Readiness Indicator Framework*. *Studies on the Semantic Web*, 60, 2023.
- [9] Laura Martinez Garcia Antoniya Novakova Andrei Vladimir Litiu Detlef Olschewski Dragomir Tzanev Paris A. Fokaides Afroditi Zamanidou, Pablo Carnero Melero. *Enhancing smart readiness of buildings: bridging the knowledge gap to European citizens*. *International Journal of Sustainable Energy*, 82(2):494, 2022.
- [10] Georgios Martinopoulos Komninos Angelakoglou Konstantinos Kourtzanidis Nikolaos Nikolopoulos Vasilis Apostolopoulos, Paraskevi Giourka. *Smart readiness indicator evaluation and cost estimation of smart retrofitting scenarios - A comparative case-study in European residential buildings*. *Sustainable Cities and Society*, 43(1), 2023.
- [11] European Union. *Smart readiness indicator*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R2155>, 2020. Accessed: july 20, 2024.
- [12] European Comission. *Smart readiness indicator*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator_en, 2022. Accessed: july 20, 2024.

- [13] Spiekman M. de Wilde Pvan Dijk, H. *Methodology for the Calculation of the Smart Readiness Indicator*. CEN-ISO Technical Report, 2021.
- [14] Aagaard M. Jacobsen N. B Jensen, S. Ø. *Case Study on Smart Readiness Indicator: Application to European Buildings*. *Energy and Buildings*, 208, 2022.
- [15] Silvia Erba Amin Moazami Mohammadreza Aghaei Behzad Najafi Italo Aldo Campodonico Avendano, Kamilla Heimar Andersen. *A novel framework for assessing the smartness and the smart readiness level in highly electrified non-residential buildings: A Norwegian case study*. *Energy and Buildings*, 314(2):494, 2024.
- [16] Paris A. Fokaides Agis M. Papadopoulos Konstantinos Chatzikonstantinidis, Effrosyni Giama. *Smart Readiness Indicator (SRI) as a Decision-Making Tool for Low Carbon Buildings*. *New and Future Progress for Low-Carbon Energy Policy*, 17, 2024.
- [17] EPB Center. *U-CERT digital tool*. <https://sri.u-certproject.eu/project/bewerken/buildinginfo/>, 2023. Accessed: july 20, 2024.
- [18] European Union. *Smart Ready Go*. <https://www.smart-ready-go.eu/>, 2023. Accessed: july 20, 2024.
- [19] Detlef Olschewski Pablo Carnero Melero Paris A. Fokaides Laura Martinez, Theoklitos Klitou. *Advancing building intelligence: Developing and implementing standardized Smart Readiness Indicator (SRI) on-site audit procedure*. *Energy*, 316, 2024.
- [20] Diego Menegon Luca Finozzi Ulrich Klammsteiner Andrea Gasparellas Federico Garzia, Giovanni Pernigotto. *Assessment of the potential correlation between Smart Readiness Indicator and energy performance in a dataset of buildings in South Tyrol*. *Energy and Buildings*, 321, 2024.
- [21] Brown C Smith, A. *Improving Building Smartness: Recommendations and Upgrades for SRI Optimization*. *Journal of Smart Buildings and Sustainable Development*, 15, 2023.
- [22] *ReactJS*. <https://react.dev/>, 2023.
- [23] *FastAPI*. <https://fastapi.tiangolo.com/>, 2023.
- [24] PostgreSQL. *Postgresql Docs*. <https://www.postgresql.org/docs/>, 2023.
- [25] *JavaScript*. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/First_steps/What_is_JavaScript, 2023.
- [26] *SQLModel*. <https://sqlmodel.tiangolo.com/>, 2023.
- [27] *SQLAlchemy*. <https://www.sqlalchemy.org/>, 2023.
- [28] *Highcharts® Dashboards*. <https://www.highcharts.com/products/dashboards/>.
- [29] *CORSMiddleware*. <https://fastapi.tiangolo.com/tutorial/cors/>, 2023.

