



*Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών
Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων*

Συγκριτική Ανάλυση και Τυποποίηση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων στην Ευρώπη

**Διπλωματική Εργασία
Αναστάσιος Ανδριώτης**

Επιβλέπων: Σπηλιώτης Ευάγγελος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2025



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών
Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

Συγκριτική Ανάλυση και Τυποποίηση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων στην Ευρώπη

Διπλωματική Εργασία
Αναστάσιος Ανδριώτης

Επιβλέπων: Σπηλιώτης Ευάγγελος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 16 Οκτωβρίου 2025

.....
Σπηλιώτης Ευάγγελος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μαρινάκης Ευάγγελος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ασκούνης Δημήτριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2025

.....

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

Copyright © Αναστάσιος Ανδριώτης, 2025
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη συγκριτική ανάλυση και την τυποποίηση των Ενεργειακών Πιστοποιητικών (Energy Performance Certificates – EPCs), με κεντρικό άξονα τη σύγκριση του ελληνικού συστήματος KENAK με τα διεθνή πρότυπα ISO. Η μελέτη αυτή είναι ιδιαίτερα επίκαιρη, καθώς η κλιματική αλλαγή και οι αυξανόμενες απαιτήσεις για εξοικονόμηση ενέργειας καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη πιο αξιόπιστων και ακριβών εργαλείων αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται τα ενεργειακά πιστοποιητικά, ο ρόλος τους στην Ευρώπη και οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους εφαρμόζονται σε διάφορες χώρες. Εξετάζονται επίσης οι πρωτοβουλίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των EPCs, με στόχο τη σταδιακή μετάβαση σε πιο δυναμικά και ευέλικτα εργαλεία.

Στη συνέχεια, αναλύεται ο KENAK, με έμφαση στα πλεονεκτήματα αλλά και στους περιορισμούς του, ενώ συγκρίνεται με τη μεθοδολογία που προτείνουν τα πρότυπα ISO. Τα ISO δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στην τυποποίηση, στην ακρίβεια και στη δυνατότητα σύγκρισης αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών χωρών.

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο προσομοίωσης EnergyPlus, μέσα από το οποίο δημιουργήθηκαν ελληνικά αρχέτυπα κτιρίων. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με δεδομένα από τη βάση TABULA, ώστε να εξεταστεί κατά πόσο η προσέγγιση του ISO μπορεί να αποδώσει πιο ρεαλιστικά και αξιόπιστα αποτελέσματα σε σχέση με την τρέχουσα πρακτική του KENAK.

Τα συμπεράσματα δείχνουν ότι η ενσωμάτωση των προτύπων ISO στο ελληνικό πλαίσιο θα μπορούσε να ενισχύσει την ακρίβεια των ενεργειακών αποτιμήσεων, να περιορίσει τις αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικής και πραγματικής κατανάλωσης, και να συμβάλει στην εναρμόνιση με τα υπόλοιπα ευρωπαϊκά κράτη. Παράλληλα, συζητούνται οι πιθανές δυσκολίες εφαρμογής, καθώς και τα επόμενα βήματα για την περαιτέρω βελτίωση της μεθοδολογίας και την ανάπτυξη ενός πιο αξιόπιστου συστήματος ενεργειακών πιστοποιητικών.

Επιπλέον, η εργασία αναδεικνύει τη συμβολή που μπορεί να έχει η τυποποίηση των EPCs όχι μόνο στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, αλλά και στη χάραξη πολιτικών σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Ένα πιο αξιόπιστο και συγκρίσιμο σύστημα πιστοποίησης μπορεί να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων για επενδύσεις, την παρακολούθηση της προόδου προς τους στόχους βιωσιμότητας και τη δημιουργία εργαλείων που θα είναι πιο εύχρηστα και κατανοητά για τους πολίτες. Έτσι, η παρούσα μελέτη δεν περιορίζεται σε τεχνικό επίπεδο, αλλά συνεισφέρει και στον ευρύτερο διάλογο για την πράσινη μετάβαση και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Λέξεις Κλειδιά

Ενεργειακά Πιστοποιητικά, KENAK, ISO 52016, EnergyPlus, TABULA, Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων, Τυποποίηση, Ενεργειακή Προσομοίωση, Δυναμικά EPCs, Ενεργειακή Πολιτική

Abstract

This thesis deals with the comparative analysis and standardization of Energy Performance Certificates (EPCs), focusing on the comparison of the Greek KENAK system with international ISO standards. This study is particularly timely, as climate change and increasing demands for energy conservation make it necessary to have more reliable and accurate tools for assessing the energy performance of buildings.

The first part presents energy certificates, their role in Europe, and the different ways in which they are implemented in various countries. It also examines European Union initiatives to improve the accuracy and reliability of EPCs, with the aim of gradually transitioning to more dynamic and flexible tools.

Next, KENAK is analyzed, with an emphasis on its advantages and limitations, while comparing it with the methodology proposed by ISO standards. ISO places greater emphasis on standardization, accuracy, and the ability to compare results between different countries.

The EnergyPlus simulation tool was used to apply the methodology, through which Greek building archetypes were created. The results were compared with data from the TABULA database to examine whether the ISO approach can yield more realistic and reliable results than the current KENAK practice.

The conclusions show that the integration of ISO standards into the Greek context could enhance the accuracy of energy assessments, reduce discrepancies between theoretical and actual consumption, and contribute to harmonization with other European countries. At the same time, the potential difficulties of implementation are discussed, as well as the next steps for further improving the methodology and developing a more reliable energy certification system.

In addition, the paper highlights the contribution that standardizing EPCs can make not only to improving energy efficiency, but also to policy-making at the national and European levels. A more reliable and comparable certification system can facilitate investment decisions, monitoring progress towards sustainability goals, and the creation of tools that are more user-friendly and understandable for citizens. Thus, this study is not limited to the technical level, but also contributes to the broader dialogue on the green transition and sustainable development.

Keywords

Energy Performance Certificates (EPCs), KENAK, ISO 52016, EnergyPlus, TABULA, Building Energy Performance, Standardization, Energy Simulation, Dynamic EPCs, Energy Policy

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του προπτυχιακού κύκλου σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Το θέμα της εργασίας αφορά τη συγκριτική ανάλυση και τυποποίηση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), με αξιοποίηση διεθνών προτύπων (ISO) και εργαλείων προσομοίωσης, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη πιο αξιόπιστων και εναρμονισμένων μεθοδολογιών για την αποτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή κ. Ευάγγελο Σπηλιώτη για την ανάθεση της εργασίας και τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα ζήτημα ιδιαίτερα επίκαιρο και με μεγάλο επιστημονικό αλλά και κοινωνικό ενδιαφέρον. Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στην επιβλέπουσα της διπλωματικής μου, υποψήφια διδάκτορα του ΕΜΠ, Ντανιέλα Στογιάν, για την αδιάκοπη καθοδήγηση, την πολύτιμη υποστήριξη και τις ουσιαστικές παρατηρήσεις που συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου για τη διαρκή στήριξη και κατανόηση, καθώς και στους φίλους και συμφοιτητές μου, Γιώργο και Στάθη, για την πολύτιμη συντροφιά και ενθάρρυνσή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών και της εκπόνησης της εργασίας.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	15
1.1	Γενικά για ενεργειακά πιστοποιητικά στην Ευρώπη	15
1.2	Γιατί είναι σημαντικές οι ακριβείς αποτιμήσεις των ενεργειακών πιστοποιητικών	17
1.3	Τρόποι λειτουργίας των ΠΕΑ στην Ευρώπη.	18
1.4	Πρωτοβουλίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενίσχυση της ακρίβειας και της δυναμικότητας των EPC	20
1.5	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.	22
2	Ανάλυση του KENAK	25
2.1	Εισαγωγή του KENAK	25
2.2	Μεθοδολογία κτηρίου αναφοράς KENAK	26
2.3	Τεχνικά χαρακτηριστικά του κτηρίου αναφοράς	27
2.3.1	Παθητικά ηλιακά συστήματα	27
2.3.2	Κτιριακό κέλυφος	28
2.3.3	Σύστημα θέρμανσης	28
2.3.4	Σύστημα ψύξης	28
2.3.5	Τερματικές μονάδες	28
2.3.6	Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	28
2.3.7	Σύστημα Φωτισμού	29
2.3.8	Σύστημα ελέγχου	29
2.4	Τεχνικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη κτηρίου.	29
2.4.1	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και εσωτερικές συνθήκες.	29
2.4.2	Θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους.	30
2.4.3	Σύστημα θέρμανσης	30
2.4.4	Σύστημα ψύξης	31
2.4.5	Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	32
2.4.6	Εσωτερικά και ηλιακά κέρδη	32
2.4.7	Σύστημα αερισμού	33
2.4.8	Τερματικές μονάδες.	33
2.4.9	Σύστημα φωτισμού.	34
2.4.10	Κλιματικά δεδομένα.	34
3	Ανάλυση του προτύπου ISO 52016-1:2017	37
3.1	Εισαγωγή του προτύπου ISO 52016-1:2017	37
3.2	Μεθοδολογία ωριαίου υπολογισμού του προτύπου ISO 52016 2017	38
3.2.1	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και εσωτερικές συνθήκες	39
3.2.2	Θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους	40
3.2.3	Σύστημα θέρμανσης	41
3.2.4	Σύστημα ψύξης	43
3.2.5	Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	45
3.2.6	Εσωτερικά και ηλιακά κέρδη	46
3.2.7	Σύστημα αερισμού	48
3.2.8	Τερματικές Μονάδες	50
3.2.9	Σύστημα φωτισμού	50

3.2.10	Κλιματικά δεδομένα	51
4	Σύγκριση μεθοδολογίας KENAK με ISO 52016-1:2017	54
4.1	Μεθοδολογική Βάση	54
4.2	Θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους	56
4.3	Σύστημα Θέρμανσης	57
4.4	Σύστημα Ψύξης	58
4.5	Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	60
4.6	Εσωτερικά και Ηλιακά Κέρδη	62
4.7	Σύστημα Αερισμού	64
4.8	Τερματικές Μονάδες	66
4.9	Σύστημα Φωτισμού	67
4.10	Κλιματικά Δεδομένα	69
5	Εφαρμογή του προτύπου ISO 52016 μέσω του λογισμικού Energyplus	71
5.1	Περιγραφή του Energyplus	71
5.2	Σχέση EnergyPlus με ISO 52016:2017	73
5.3	Χρήση του EPlus για δημιουργία ελληνικών αρχέτυπων κτηρίων	74
5.4	Επεκτασιμότητα Αρχέτυπων	75
6	Ανάλυση μεθοδολογίας και Αποτελέσματα προσομοίωσης	77
6.0.1	Εισαγωγή και Περιγραφή της Πλατφόρμας TABULA	77
6.1	Δεδομένα προσομοίωσης από την Tabula	79
6.1.1	Σύστημα θέρμανσης	80
6.1.2	Σύστημα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	83
6.2	Δεδομένα προσομοίωσης εκτός Tabula	87
6.2.1	Σύστημα Ψύξης	87
6.2.2	Σύστημα φωτισμού	89
6.2.3	Σύστημα αερισμού	90
6.3	Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων με δεδομένων Tabula	91
6.3.1	Συγκριτική ανάλυση συστήματος Θέρμανσης και (ZNX)	92
6.4	Ανάλυση συστήματος ψύξης	96
7	Συμπεράσματα	99
7.1	Πως το ISO βοήθησε για να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα	99
7.2	Πως το ISO θα μπορούσε να ενσωματωθεί στον KENAK	99
7.2.1	Πιθανές δυσκολίες ενσωμάτωσης	99
7.3	Μελλοντικά βήματα για βελτίωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας	100

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Ενεργειακές κλάσεις ΠΕΑ.	16
1.2	Σχεδιάγραμμα Διπλωματικής.	23
2.1	Κλιματικές ζώνες Ελλάδας.	35
6.1	Στρατηγική Προσομοίωσης	77
6.2	Φωτογραφία υπό μελέτη κτηρίου.	79
6.3	Χαρακτηριστικά μπόιλερ πετρελαίου.	81
6.4	Plantloop, Μπόιλερ Πετρελαίου.	82
6.5	Plantloop, diagram, Μπόιλερ Πετρελαίου.	83
6.6	Μπόιλερ(ZNX).	85
6.7	Plantloop,Μπόιλερ(ZNX).	85
6.8	Plantloop,digram,Μπόιλερ(ZNX).	86
6.9	Οικιακό AC.	88
6.10	Plantloop,digram,AC.	88
6.11	Διάγραμμα καταναλώσεων θέρμανσης/ZNX.	92
6.12	Καταναλώσεις (θέρμανσης/ZNX).	93
6.13	Σύγκριση καταναλώσεων.	94
6.14	Γράφημα κατανάλωσης ηλεκτρικού μπόιλερ (ZNX).	94
6.15	Γράφημα ημερήσιας κατανάλωσης (ZNX).	95
6.16	Γράφημα κατανάλωσης (θέρμανση).	95
6.17	Γράφημα μεγίστου θερμικού φορτίου.	96
6.18	Γράφημα κατανάλωσης (Ψύξη).	96
6.19	Γράφημα μεγίστου ψυκτικού φορτίου.	98

Κατάλογος Πινάκων

1	Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών στοιχείων	41
2	Προφίλ λειτουργίας DHW για οικία με δύο κατοίκους σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ	87
3	Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας οικιακού συστήματος ψύξης	89
4	Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας οικιακού φωτισμού	90
5	Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας φυσικού αερισμού	91

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά για ενεργειακά πιστοποιητικά στην Ευρώπη

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί έναν από τους βασικούς άξονες της ευρωπαϊκής πολιτικής για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την προώθηση μιας πιο βιώσιμης οικονομίας. Τα κτίρια ευθύνονται για περίπου το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση και για το 36% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, γεγονός που τα καθιστά έναν από τους σημαντικότερους τομείς για την επίτευξη των κλιματικών στόχων της ΕΕ. Στο πλαίσιο αυτό, τα ενεργειακά πιστοποιητικά έχουν καθιερωθεί ως βασικό εργαλείο για την αξιολόγηση και τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιριακού αποθέματος, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν ως μέσο ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών. [2]

Η θεσμοθέτηση των ενεργειακών πιστοποιητικών προέκυψε κυρίως από την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD), η οποία εκδόθηκε το 2002 και αναθεωρήθηκε αρκετές φορές στη συνέχεια, με πιο πρόσφατη πρόταση αναδιτύπωσης το 2021. Στόχος της οδηγίας είναι να διασφαλίσει ότι όλα τα κράτη μέλη εφαρμόζουν συγκρίσιμα και αποτελεσματικά συστήματα αξιολόγησης, ώστε να καθίσταται δυνατή η καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου, η σύγκρισή του με ελάχιστες απαιτήσεις και η προώθηση παρεμβάσεων για τη μείωση των απωλειών. Το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ) παρέχει πληροφορίες στον ιδιοκτήτη, στον ενοικιαστή ή στον αγοραστή σχετικά με την ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου, τις εκτιμώμενες καταναλώσεις, αλλά και προτάσεις για παρεμβάσεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα. Η ύπαρξή του αποτελεί προϋπόθεση για κάθε πράξη αγοραπωλησίας ή μίσθωσης κτιρίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, εξασφαλίζοντας έτσι διαφάνεια στην αγορά ακινήτων.[3]

Η αναγκαιότητα ύπαρξης ενεργειακών πιστοποιητικών γίνεται ιδιαίτερα εμφανής όταν εξετάσει κανείς το γεγονός ότι μεγάλο ποσοστό των υφιστάμενων κτιρίων είναι παλαιό και ενεργοβόρο. Η πλειονότητα των κτιρίων στην Ευρώπη έχει ανεπαρκή θερμομόνωση, αναποτελεσματικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης, καθώς και χαμηλής απόδοσης ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, στοιχεία που αναδεικνύουν την ανάγκη για συστηματικές αναβαθμίσεις. Έτσι, τα ενεργειακά πιστοποιητικά δεν έχουν μόνο συμβολικό χαρακτήρα, αλλά αποτελούν και πρακτικό οδηγό για την ιεράρχηση και την υλοποίηση παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης. Παράλληλα, η ύπαρξή τους συμβάλλει στη συλλογή συγκρίσιμων δεδομένων σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, γεγονός που επιτρέπει την καλύτερη χάραξη πολιτικής και τον εντοπισμό βέλτιστων πρακτικών.[4]

Η Οδηγία EPBD, όπως αναθεωρήθηκε το 2010 και το 2018, καθιέρωσε μεταξύ άλλων την υποχρέωση για τα κτίρια να πληρούν ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και έθεσε τον στόχο όλα τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται μετά το 2020 να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB). Η νέα πρόταση αναδιτύπωσης του 2021 εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και του πακέτου «Fit for 55», προτείνοντας αυστηρότερα πρότυπα, την αναβάθμιση των χειρότερων ενεργειακά κτιρίων και την υιοθέτηση ενός ενιαίου «ψηφιακού δελτίου κτιρίου» (building renovation passport) για την καλύτερη καταγραφή και προγραμματισμό των ανακαινίσεων. Ουσιαστικά, η ΕΕ δεν περιορίζεται πλέον στην απλή παροχή πληροφορίας μέσω των πιστοποιητικών, αλλά τα χρησιμοποιεί ως

μοχλό για μια μακροπρόθεσμη στρατηγική εκσυγχρονισμού του κτιριακού τομέα.[3]

Παρά τα σημαντικά βήματα προόδου, έχουν εντοπιστεί ορισμένες αδυναμίες στην εφαρμογή του θεσμού. Η ποιότητα των πιστοποιητικών διαφέρει αρκετά μεταξύ των κρατών μελών, με αποτέλεσμα να υπάρχει ετερογένεια και να μην αξιοποιείται πλήρως η δυναμική τους. Ειδικοί οργανισμοί έχουν προτείνει την ενίσχυση της αξιοπιστίας των επιθεωρήσεων, την καλύτερη εκπαίδευση των εμπλεκόμενων μηχανικών, την ενσωμάτωση δεδομένων σε κεντρικές βάσεις για έρευνα και χάραξη πολιτικής, αλλά και την υποχρεωτική σύνδεση των προτάσεων που περιλαμβάνονται στο ΠΕΑ με διαθέσιμα χρηματοδοτικά εργαλεία.[1] Μια τέτοια προσέγγιση θα ενίσχυε τον πρακτικό αντίκτυπο των πιστοποιητικών και θα μετέτρεπε την απλή καταγραφή σε πραγματική κινητοποίηση για αναβάθμιση.

Στην Ελλάδα, ο θεσμός των ενεργειακών πιστοποιητικών εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της ενσωμάτωσης της οδηγίας EPBD και ρυθμίζεται από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος μέσω της Τεχνικής Οδηγίας TOTEE 20701-1/2017. Το έγγραφο αυτό καθορίζει τις εθνικές προδιαγραφές για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, τον καθορισμό παραμέτρων όπως τα κλιματικά δεδομένα, οι θερμοφυσικές ιδιότητες υλικών και οι απαιτήσεις για τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, καθώς και τις διαδικασίες έκδοσης του ΠΕΑ.[5]

Α.Π.: Α.Α.:																					
ΧΡΗΣΗ: Κτίριο ☐ Τμήμα κτιρίου ☐ Αριθμός ιδιοκτησίας: Κλιματική Ζώνη: Διεύθυνση: Τ.Κ.: Πόλη: Έτος κατασκευής: Συνολική επιφάνεια [m ²]: Θερμαινόμενη επιφάνεια [m ²]: Όνομα ιδιοκτήτη:	(Φωτογραφία κτιρίου)																				
	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</th> <th>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$EP \leq 0,33 \cdot R_n$ A+</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$0,33 \cdot R_n < EP \leq 0,5 \cdot R_n$ A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$0,5 \cdot R_n < EP \leq 0,75 \cdot R_n$ B+</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$0,75 \cdot R_n < EP \leq 1,0 \cdot R_n$ B</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>$1,0 \cdot R_n < EP \leq 1,41 \cdot R_n$ Γ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$1,41 \cdot R_n < EP \leq 1,82 \cdot R_n$ Δ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$1,82 \cdot R_n < EP \leq 2,27 \cdot R_n$ Ε</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$2,27 \cdot R_n < EP \leq 2,73 \cdot R_n$ Ζ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$2,73 \cdot R_n < EP$ Η</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	$EP \leq 0,33 \cdot R_n$ A+		$0,33 \cdot R_n < EP \leq 0,5 \cdot R_n$ A		$0,5 \cdot R_n < EP \leq 0,75 \cdot R_n$ B+		$0,75 \cdot R_n < EP \leq 1,0 \cdot R_n$ B	B	$1,0 \cdot R_n < EP \leq 1,41 \cdot R_n$ Γ		$1,41 \cdot R_n < EP \leq 1,82 \cdot R_n$ Δ		$1,82 \cdot R_n < EP \leq 2,27 \cdot R_n$ Ε		$2,27 \cdot R_n < EP \leq 2,73 \cdot R_n$ Ζ		$2,73 \cdot R_n < EP$ Η	
	ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ																			
	$EP \leq 0,33 \cdot R_n$ A+																				
	$0,33 \cdot R_n < EP \leq 0,5 \cdot R_n$ A																				
	$0,5 \cdot R_n < EP \leq 0,75 \cdot R_n$ B+																				
	$0,75 \cdot R_n < EP \leq 1,0 \cdot R_n$ B	B																			
	$1,0 \cdot R_n < EP \leq 1,41 \cdot R_n$ Γ																				
	$1,41 \cdot R_n < EP \leq 1,82 \cdot R_n$ Δ																				
$1,82 \cdot R_n < EP \leq 2,27 \cdot R_n$ Ε																					
$2,27 \cdot R_n < EP \leq 2,73 \cdot R_n$ Ζ																					
$2,73 \cdot R_n < EP$ Η																					
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ																					
Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτιρίου αναφοράς [kWh/m ²]:																					
Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²]:																					
Υπολογιζόμενες ετήσιες εκπομπές CO ₂ [kgCO ₂ /m ²]:																					
Πραγματική ετήσια κατανάλωση ενέργειας & Εκπομπές CO ₂ Ηλεκτρική ενέργεια [kWh/m ²]: Καύσιμα [kWh/m ²]: Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²]: Συνολικές ετήσιες εκπομπές CO ₂ [kg/m ²]:	Θερμική άνεση ☐ Οπτική άνεση ☐ Ακουστική άνεση ☐ Ποιότητα αέρα ☐																				

Σχήμα 1.1: Ενεργειακές κλάσεις ΠΕΑ.

Επιπλέον, σύμφωνα με το ισχύον πλαίσιο του KENAK, τα κτίρια κατατάσσονται σε ενεργειακές κλάσεις ανάλογα με την τιμή της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας. Η ταξινόμηση πραγματοποιείται σε εννέα κατηγορίες — A+, A, B+, B, Γ, Δ, E, Z, H — με την κατηγορία A+ να αντιπροσωπεύει τα πλέον αποδοτικά κτίρια και την H τα λιγότερο αποδοτικά [70]. Η ύπαρξη εναρμονισμένων και λεπτομερών προδιαγραφών διασφαλίζει την αξιοπιστία και τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει τη δημιουργία βάσης δεδομένων για την παρακολούθηση της προόδου της χώρας στους ενεργειακούς στόχους.

Σημαντικό στοιχείο που αναδεικνύεται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι ότι τα ενεργειακά πιστοποιητικά αποκτούν μεγαλύτερη αξία όταν συνδέονται με πολιτικές και οικονομικά κίνητρα. Οι ανακαινίσεις κτιρίων αποτελούν πολύπλοκες και δαπανηρές διαδικασίες, και απαιτείται συνδυασμός ρυθμιστικών, χρηματοδοτικών και ενημερωτικών εργαλείων ώστε να ενθαρρυνθεί η μαζική συμμετοχή ιδιωτών και επιχειρήσεων. Το ενεργειακό πιστοποιητικό από μόνο του δεν αρκεί για να κινητοποιήσει εκτεταμένες παρεμβάσεις, αλλά όταν συνοδεύεται από προγράμματα επιδότησης, φορολογικά κίνητρα ή χαμηλότοκα δάνεια, μπορεί να αποτελέσει καταλύτη για την αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος.[6]

Συνοψίζοντας, τα ενεργειακά πιστοποιητικά στην Ευρώπη συνιστούν ένα θεμελιώδες εργαλείο πολιτικής που προωθεί τη διαφάνεια, την ενημέρωση και την κινητοποίηση της αγοράς προς ενεργειακά αποδοτικότερα κτίρια. Η εξέλιξη της νομοθεσίας δείχνει ότι η ΕΕ τα αντιμετωπίζει πλέον όχι μόνο ως διοικητική υποχρέωση αλλά και ως μέρος μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής που στοχεύει στην επίτευξη των κλιματικών δεσμεύσεων και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Παρά τις αδυναμίες εφαρμογής και τις διαφοροποιήσεις μεταξύ κρατών, η συνεχής βελτίωση του θεσμικού πλαισίου, η ενίσχυση της αξιοπιστίας και η σύνδεσή τους με πρακτικά μέτρα στήριξης αναμένεται να αναδείξουν ακόμη περισσότερο τη σημασία των πιστοποιητικών ως εργαλείου ενεργειακής και κοινωνικής πολιτικής.

1.2 Γιατί είναι σημαντικές οι ακριβείς αποτιμήσεις των ενεργειακών πιστοποιητικών

Η αξιοπιστία των ενεργειακών πιστοποιητικών κτιρίων (Energy Performance Certificates – EPCs) αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή εφαρμογή πολιτικών ενεργειακής απόδοσης και για την προώθηση ενός βιώσιμου κτιριακού αποθέματος. Τα EPCs παρέχουν πληροφορίες για την ενεργειακή κατανάλωση και αποδοτικότητα ενός κτιρίου και λειτουργούν ως οδηγός για τους ιδιοκτήτες, ενοικιαστές και αγοραστές, ενώ παράλληλα αποτελούν εργαλείο για τις αρχές και τις πολιτικές της ΕΕ. Η ακρίβεια των αποτιμήσεων είναι καθοριστική, καθώς λανθασμένα αποτελέσματα μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις, είτε επενδυτικές είτε ρυθμιστικές, επηρεάζοντας την αξιοπιστία ολόκληρου του συστήματος. Η European Commission υπογραμμίζει ότι για να είναι αποτελεσματικά τα EPCs, οι διαδικασίες υπολογισμού πρέπει να βασίζονται σε επαληθεύσιμα δεδομένα, σύγχρονες μεθοδολογίες και εναρμονισμένα πρότυπα σε όλα τα κράτη μέλη.[2]

Η σημασία των ακριβών αποτιμήσεων γίνεται εμφανής όταν εξετάσουμε τις συνέπειες της ανακριβούς κατάταξης. Μελέτες έχουν δείξει ότι σε αρκετές χώρες τα EPCs παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με την πραγματική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων, συχνά λόγω ελλιπών δεδομένων, παραδοχών για το θερμικό κελύφος ή τα συστήματα θέρμανσης και

ψύξης, αλλά και λόγω διαφορετικής εκπαίδευσης των επιθεωρητών[7]. Αυτή η απόκλιση δημιουργεί μια ψευδή εικόνα για την ενεργειακή απόδοση και μπορεί να οδηγήσει ιδιοκτήτες και επενδυτές σε λανθασμένες αποφάσεις ανακαίνισης ή αγοράς, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, η έλλειψη αξιοπιστίας επηρεάζει την εμπιστοσύνη των αγορών ακινήτων και των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, τα οποία χρησιμοποιούν τα EPCs για την εκτίμηση κινδύνου και απόδοσης επενδύσεων σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Η ακρίβεια των EPCs είναι επίσης σημαντική για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της προόδου προς τους στόχους ενεργειακής απόδοσης και κλιματικής ουδετερότητας. Η συλλογή συγκρίσιμων και αξιόπιστων δεδομένων σε πανευρωπαϊκό επίπεδο επιτρέπει στις αρχές να εντοπίζουν τις περιοχές με χαμηλή ενεργειακή απόδοση και να σχεδιάζουν στοχευμένες πολιτικές και χρηματοδοτικά κίνητρα. Το Buildings Performance Institute Europe[1] επισημαίνει ότι η ποιότητα των EPCs ποικίλει μεταξύ των κρατών μελών, και προτείνει την ενίσχυση της εκπαίδευσης των επιθεωρητών, τη δημιουργία κεντρικών βάσεων δεδομένων και τη σύνδεση των προτάσεων των πιστοποιητικών με διαθέσιμα χρηματοδοτικά εργαλεία, ώστε οι ακριβείς αποτιμήσεις να έχουν πρακτικό αντίκτυπο. Οι αξιόπιστες εκτιμήσεις αποτελούν επίσης βάση για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων ανακαίνισης και των πολιτικών για κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB), επιτρέποντας την τεκμηριωμένη προσαρμογή των στρατηγικών σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ακόμη, η ακρίβεια των EPCs συμβάλλει στην κινητοποίηση των ιδιοκτητών και των χρηματοπιστωτικών φορέων για επενδύσεις ενεργειακής αναβάθμισης. Όταν οι πληροφορίες που παρέχονται είναι αξιόπιστες, οι ιδιοκτήτες μπορούν να αξιολογήσουν καλύτερα τα οφέλη από παρεμβάσεις όπως η αναβάθμιση θερμομόνωσης, η αντικατάσταση συστημάτων θέρμανσης ή η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ οι τράπεζες και τα προγράμματα επιδότησης μπορούν να εκτιμήσουν την επιστροφή επένδυσης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα EPCs με υψηλή ακρίβεια συνδέονται με μεγαλύτερη πιθανότητα υλοποίησης έργων ενεργειακής αναβάθμισης, γεγονός που ενισχύει τη συνολική επίδραση των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης.[7]

Τέλος, οι ακριβείς αποτιμήσεις έχουν ρόλο στη διαφάνεια της αγοράς ακινήτων και στην καθιέρωση ενός βιώσιμου οικονομικού πλαισίου για την ενέργεια. Τα EPCs επιτρέπουν στους αγοραστές και ενοικιαστές να συγκρίνουν κτίρια με βάση αντικειμενικά κριτήρια, ενθαρρύνοντας την επιλογή πιο αποδοτικών κτιρίων και ενισχύοντας την αξία των ενεργειακά αποδοτικών ακινήτων. Επιπλέον, η ακρίβεια των αποτιμήσεων επιτρέπει τη δημιουργία μηχανισμών τιμολόγησης και φορολογικών κινήτρων με βάση την πραγματική απόδοση, κάτι που αποτελεί κλειδί για τη μετάβαση σε πιο βιώσιμα κτίρια σε ευρωπαϊκό επίπεδο.[4] Συνεπώς, η προσεκτική και ακριβής αποτίμηση των ΕΠς δεν αποτελεί απλώς τεχνική λεπτομέρεια, αλλά βασικό στοιχείο της στρατηγικής για την ενεργειακή και κλιματική πολιτική στην Ευρώπη.

1.3 Τρόποι λειτουργίας των ΠΕΑ στην Ευρώπη.

Η υιοθέτηση των ενεργειακών πιστοποιητικών (Energy Performance Certificates – EPC) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στον κτιριακό τομέα και τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Τα EPC παρέχουν στους ιδιοκτήτες, αγοραστές ή ενοικιαστές σαφή εικόνα για

την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου, επιτρέποντας την αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης και την κατεύθυνση επενδύσεων σε ανακαινίσεις και τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας. Παρά την ύπαρξη κοινών κατευθύνσεων μέσω της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD), κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ έχει υιοθετήσει διαφορετική μεθοδολογία για την έκδοση EPC, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, τα κατασκευαστικά πρότυπα και την εθνική θεσμική κουλτούρα.[2]

Στη Γερμανία, το EPC στηρίζεται κυρίως στο λεγόμενο «reference building» approach, όπου η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου συγκρίνεται με ένα θεωρητικό κτίριο αναφοράς, το οποίο πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές του κανονισμού GEG. Το πραγματικό κτίριο αξιολογείται με βάση τις αποκλίσεις σε θερμομόνωση, συστήματα θέρμανσης και ψύξης, αερισμό και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά. Παράλληλα, οι μελέτες ενεργειακής απόδοσης μπορούν να χρησιμοποιούν το ISO 52016 για τον υπολογισμό της ενεργειακής ζήτησης θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και φωτισμού, ειδικά σε νέα κτίρια και σε πιστοποιήσεις asset-based. Η μέθοδος παρέχει συγκρισιμότητα και αντικειμενικότητα, αν και δεν αντικατοπτρίζει πάντα την πραγματική κατανάλωση, ιδιαίτερα σε παλαιά ή ειδικά χρησιμοποιούμενα κτίρια.[1]

Στη Γαλλία, το σύστημα EPC βασίζεται κυρίως σε πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας, τα οποία προκύπτουν από λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου και πετρελαίου θέρμανσης. Η κατανάλωση υπολογίζεται σε kWh/m²/έτος και αξιολογείται ώστε να καθοριστεί η ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου. Η μέθοδος αυτή προσφέρει πιο ρεαλιστική εικόνα της πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς, αλλά είναι ευαίσθητη στη συμπεριφορά των χρηστών και στις καιρικές συνθήκες. Το ISO 52016 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελέτες και προσομοιώσεις σε νέα ή ανακαινιζόμενα κτίρια, αλλά δεν αποτελεί βασικό εργαλείο για τα τυπικά EPC στη Γαλλία.[3]

Η Ιταλία ακολουθεί ένα υβριδικό σύστημα που συνδυάζει υπολογιστικά μοντέλα με πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης. Οι υπολογισμοί βασίζονται σε εθνικά πρότυπα για το κέλυφος, τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης και τις κλιματικές ζώνες, ενώ μπορούν να ενσωματωθούν πραγματικά δεδομένα. Το ISO 52016 χρησιμοποιείται συχνά για τον υπολογισμό της ενεργειακής ζήτησης, ειδικά σε κτίρια νέας κατασκευής ή μεγάλης ανακαινίσης, προσφέροντας διεθνώς αναγνωρισμένο πλαίσιο για τη ζήτηση ενέργειας. Η μέθοδος επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμογή στις διαφορετικές περιοχές της χώρας.[4]

Η Ελλάδα, μέσω του KENAK και των TOTEE, εφαρμόζει μια μεθοδολογία βασισμένη κυρίως σε υπολογιστικά μοντέλα και εθνικές παραμέτρους. Οι επιθεωρητές χρησιμοποιούν λογισμικά που ενσωματώνουν δεδομένα για το κέλυφος, την κατασκευή, τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης και φωτισμού, καθώς και την ηλιακή επιρροή. Το ISO 52016 δεν είναι υποχρεωτικό, αλλά τα λογισμικά μπορούν να το αξιοποιούν για διεθνείς προσομοιώσεις ζήτησης ενέργειας, διασφαλίζοντας συμβατότητα με διεθνή πρότυπα. Το σύστημα είναι αντικειμενικό και συγκρίσιμο πανελλαδικά, αλλά μπορεί να αποκλίνει από την πραγματική κατανάλωση εάν οι χρήστες λειτούργουν τα συστήματα με διαφορετικό τρόπο.[5]

Στη Σουηδία, τα EPC στηρίζονται κυρίως σε πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης, ιδιαίτερα από συστήματα τηλεθέρμανσης και προηγμένα μετρητικά συστήματα. Η έμφαση δίνεται στην πραγματική ενεργειακή χρήση, με μηχανισμούς προσαρμογής για το κλιματικό φορτίο ώστε να

μην επηρεάζεται αρνητικά η αξιολόγηση των κτιρίων λόγω ψυχρών χειμώνων. Το ISO 52016 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελέτες ενεργειακής ζήτησης νέων κτιρίων, αλλά δεν εφαρμόζεται απευθείας στα τυπικά EPC.[2]

Στην Ολλανδία, το EPC βασίζεται στο asset-based μοντέλο σύμφωνα με τον δείκτη NTA 8800. Η ενεργειακή απόδοση αξιολογείται μέσω του «energy index», ο οποίος λαμβάνει υπόψη κέλυφος, συστήματα θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού, ανεξαρτήτως συμπεριφοράς των χρηστών. Η Ολλανδία χρησιμοποιεί το ISO 52016 για τον υπολογισμό της ενεργειακής ζήτησης σε νέα κτίρια και για προσομοιώσεις προτού εφαρμοστεί η βαθμολογία NTA 8800, προσφέροντας διεθνώς αναγνωρισμένη μεθοδολογία που συμπληρώνει την εθνική μεθοδολογία.[1]

Η σύγκριση των διαφορετικών μεθοδολογιών δείχνει ότι δεν υπάρχει μία ενιαία προσέγγιση στην Ευρώπη. Οι χώρες που χρησιμοποιούν υπολογιστικά μοντέλα (Γερμανία, Ελλάδα, Ολλανδία, Ιταλία εν μέρει) επιτυγχάνουν συγκρισιμότητα και αντικειμενικότητα, ενώ μπορούν να ενσωματώνουν το ISO 52016 για διεθνή αναφορά της ενεργειακής ζήτησης. Οι χώρες που στηρίζονται σε πραγματικά δεδομένα (Γαλλία, Σουηδία) προσφέρουν πιο ρεαλιστική εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς, αλλά τα αποτελέσματα επηρεάζονται από τη συμπεριφορά των χρηστών και τις κλιματικές παραμέτρους. Η Ιταλία με το υβριδικό μοντέλο επιδιώκει ισορροπία μεταξύ των δύο προσεγγίσεων. Η διαφορετικότητα αυτή αντικατοπτρίζει την πολυμορφία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τονίζει την ανάγκη για σταδιακή εναρμόνιση, χωρίς να παραμερίζονται οι εθνικές ιδιαιτερότητες.[2]

Συμπερασματικά, τα EPC λειτουργούν όχι μόνο ως εργαλείο πιστοποίησης αλλά και ως οδηγός πολιτικής για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς και την υποστήριξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Οι διαφορές μεταξύ των χωρών παρέχουν πολύτιμη εμπειρία για τον σχεδιασμό καλύτερων μεθόδων και την σταδιακή σύγκλιση των διαδικασιών σε όλη την Ευρώπη, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι η τοπική πραγματικότητα λαμβάνεται υπόψη.

1.4 Πρωτοβουλίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενίσχυση της ακρίβειας και της δυναμικότητας των EPC

Η Ευρωπαϊκή Ένωση τα τελευταία χρόνια έχει ενισχύσει σημαντικά τις πρωτοβουλίες της για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον κτιριακό τομέα, αναγνωρίζοντας ότι τα κτίρια αντιπροσωπεύουν περίπου το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και το 50% της κατανάλωσης φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Παράλληλα, το 85% των κτιρίων έχει κατασκευαστεί πριν από το 2000 και το 75% χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ ο ετήσιος ρυθμός ανακαίνισης παραμένει στο πολύ χαμηλό ποσοστό του 1%. Σε αυτό το πλαίσιο, η βελτίωση της ποιότητας και της ακρίβειας των Ενεργειακών Πιστοποιητικών Κτιρίων (Energy Performance Certificates – EPCs) αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την επίτευξη των στόχων της Ένωσης. Τα EPCs συνδέονται άμεσα με την ενημέρωση των πολιτών, τη διευκόλυνση της πρόσβασης σε χρηματοδοτικά εργαλεία και την κινητοποίηση επενδύσεων στον τομέα των ανακαινίσεων. Ωστόσο, μέχρι σήμερα συχνά χαρακτηρίζονταν από ανομοιογένεια, περιορισμένη ακρίβεια και έλλειψη διαδραστικότητας, γεγονός που μείωνε την αξιοπιστία τους τόσο για τους πολίτες όσο και για τις τράπεζες και τους επενδυτές.[2]

Η αναθεωρημένη Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων (EPBD 2024/1275), που δημοσιεύθηκε τον Μάιο του 2024 και τέθηκε σε ισχύ στις 28 Μαΐου 2024, θέτει ένα νέο πλαίσιο που φιλοδοξεί να μετατρέψει τα EPCs σε δυναμικά εργαλεία με υψηλότερη ακρίβεια. Η νέα αυτή προσέγγιση αποσκοπεί όχι μόνο στην καλύτερη αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, αλλά και στη διασφάλιση πιο αξιόπιστων επιθεωρήσεων και ελέγχων, ώστε οι πολίτες να έχουν πλήρη και ακριβή εικόνα για την κατάσταση των ακινήτων τους. Η εναρμόνιση μέσω ενός κοινού ευρωπαϊκού προτύπου καθιστά τα πιστοποιητικά συγκρίσιμα και πιο κατανοητά, συμβάλλοντας παράλληλα στη διευκόλυνση της χρηματοδότησης ανακαινίσεων. Με αυτόν τον τρόπο, τα EPCs λειτουργούν ως μοχλός κινητοποίησης επενδύσεων και ως μηχανισμός καθοδήγησης των ιδιοκτητών σε μια σταδιακή πορεία βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.[2]

Η νέα Οδηγία προβλέπει ότι τα EPCs θα εκδίδονται με βάση ένα κοινό ευρωπαϊκό υπόδειγμα και ενιαία κριτήρια για τις ενεργειακές κλάσεις. Έτσι, περιορίζεται η ασάφεια που επικρατούσε μέχρι σήμερα λόγω των διαφορετικών μεθοδολογιών σε εθνικό επίπεδο. Η μεγαλύτερη ακρίβεια των αξιολογήσεων θα επιτυγχάνεται μέσω της συστηματικής συλλογής δεδομένων για το κτιριακό απόθεμα και της δημιουργίας εθνικών ψηφιακών βάσεων δεδομένων, στις οποίες θα αποθηκεύονται τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των κτιρίων. Ταυτόχρονα, τα EPCs αποκτούν ψηφιακή μορφή, γεγονός που επιτρέπει την ευκολότερη πρόσβαση, την επικαιροποίηση σε πραγματικό χρόνο και τη διασύνδεση με άλλες βάσεις δεδομένων. Αυτό καθιστά τα πιστοποιητικά πιο «δυναμικά», δίνοντας τη δυνατότητα να αντανακλούν όχι μόνο την τρέχουσα κατάσταση ενός κτιρίου αλλά και τις μελλοντικές βελτιώσεις που μπορεί να γίνουν μέσα από την εφαρμογή ενός διαβατηρίου ανακαίνισης.[2]

Η έννοια του διαβατηρίου ανακαίνισης (renovation passport) ενισχύει ακόμη περισσότερο τη χρησιμότητα των EPCs, αφού παρέχει στους ιδιοκτήτες ένα πρακτικό σχέδιο για το πώς μπορούν να βελτιώσουν το κτίριό τους σε διαδοχικά βήματα. Σε συνδυασμό με τα δυναμικά EPCs, οι πολίτες δεν περιορίζονται πλέον σε μια στατική αποτύπωση, αλλά έχουν πρόσβαση σε έναν οδικό χάρτη που προσαρμόζεται στις ανάγκες τους και τις οικονομικές τους δυνατότητες. Αυτό αποτελεί καθοριστική πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς επιτρέπει την καλύτερη προετοιμασία για σταδιακές ανακαινίσεις, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα της στρατηγικής για την απανθρακοποίηση των κτιρίων.[2]

Η μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία των EPCs συνδέεται επίσης με την ενίσχυση των επιθεωρήσεων και των ελέγχων. Η Οδηγία εισάγει διατάξεις για πιο αυστηρούς ελέγχους στις επιθεωρήσεις των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού, με στόχο να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα που καταγράφονται στα πιστοποιητικά αντιστοιχούν στην πραγματική απόδοση των κτιρίων. Αυτό συμβάλλει τόσο στην εμπιστοσύνη των πολιτών όσο και στη διασφάλιση ότι τα χρηματοδοτικά εργαλεία της ΕΕ και των κρατών μελών κατευθύνονται εκεί όπου έχουν τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Η ΕΕ συνδέει έτσι τα EPCs με την ευρύτερη στρατηγική της για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών έως το 2050, καθιστώντας τα ένα από τα βασικότερα εργαλεία πολιτικής για τον κτιριακό τομέα.[2]

Επιπλέον, η ψηφιοποίηση των EPCs και η ενσωμάτωσή τους σε εθνικές ενεργειακές βάσεις δεδομένων διευκολύνει τη χάραξη πολιτικής. Οι κυβερνήσεις αποκτούν πρόσβαση σε πιο ακριβή στοιχεία για την κατάσταση του κτιριακού αποθέματος, γεγονός που καθιστά πιο αποτελεσματικό τον σχεδιασμό και την εφαρμογή μέτρων ανακαίνισης. Παράλληλα, οι τράπεζες και οι

επενδυτές αποκτούν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στη χρηματοδότηση έργων ανακαίνισης, καθώς τα πιστοποιητικά προσφέρουν αξιόπιστες και συγκρίσιμες πληροφορίες. Το αποτέλεσμα είναι ένας ενάρετος κύκλος: τα πιο ακριβή και δυναμικά EPCs οδηγούν σε περισσότερες και καλύτερα στοχευμένες ανακαινίσεις, οι οποίες με τη σειρά τους ενισχύουν την ενεργειακή απόδοση, μειώνουν το κόστος για τα νοικοκυριά και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.[2]

Τέλος, οι πρωτοβουλίες αυτές δεν έχουν μόνο τεχνικό χαρακτήρα αλλά και κοινωνική διάσταση. Μέσα από την ενίσχυση της ακρίβειας και της δυναμικότητας των EPCs, η ΕΕ στοχεύει στην προστασία των ευάλωτων νοικοκυριών και των ενοικιαστών, παρέχοντας εργαλεία που βοηθούν στη μείωση της ενεργειακής φτώχειας και στη δημιουργία πιο υγιεινών και άνετων συνθηκών διαβίωσης. Παράλληλα, η ενίσχυση της αγοράς ανακαινίσεων δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας και ενδυναμώνει τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις του κατασκευαστικού κλάδου, που αποτελούν τη συντριπτική πλειονότητα του τομέα στην ΕΕ.[2]

Συνοψίζοντας, η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω της νέας Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων εισάγει ένα φιλόδοξο πλαίσιο για την αναβάθμιση των EPCs, ενισχύοντας την ακρίβεια των αξιολογήσεων και την αξιοπιστία των ελέγχων, ενώ ταυτόχρονα καθιστά τα πιστοποιητικά πιο δυναμικά και χρήσιμα για τους πολίτες, τις επιχειρήσεις και τα κράτη μέλη. Με αυτόν τον τρόπο, τα EPCs μετατρέπονται από ένα στατικό έγγραφο σε ένα ζωντανό εργαλείο στρατηγικής σημασίας, που καθοδηγεί τις ανακαινίσεις, κινητοποιεί επενδύσεις και συμβάλλει καθοριστικά στην επίτευξη των κλιματικών και ενεργειακών στόχων της Ευρώπης για το 2030, το 2035 και τελικά για το 2050.[2]

1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην αξιολόγηση και βελτίωση της διαδικασίας παραγωγής ενεργειακών πιστοποιητικών κτιρίων στην Ελλάδα μέσω της σύγκρισης της υφιστάμενης Μεθοδολογίας KENAK με τα διεθνή πρότυπα ISO 52016-1:2017. Η ανάγκη για ακριβή, τυποποιημένα και συγκρίσιμα ενεργειακά πιστοποιητικά καθίσταται ολοένα και πιο επιτακτική λόγω των στόχων ενεργειακής αποδοτικότητας και μείωσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που έχουν τεθεί σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Το KENAK αποτελεί το εθνικό πλαίσιο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, παρέχοντας οδηγίες για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την ενεργειακή αξιολόγηση. Ωστόσο, παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς, όπως η περιορισμένη ακρίβεια στις προσομοιώσεις, η αδυναμία πλήρους αναπαράστασης των θερμικών συνθηκών των κτιρίων και η έλλειψη επαρκούς τυποποίησης που θα επέτρεπε συγκρίσιμα αποτελέσματα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Αντιθέτως, η μεθοδολογία του ISO 52016-1:2017 παρέχει ένα διεθνώς αναγνωρισμένο πλαίσιο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης, βασισμένο σε σταθερές διαδικασίες, σαφή πρότυπα εισόδων και εξόδων, καθώς και δυνατότητες λεπτομερούς προσομοίωσης της θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων. Τα πλεονεκτήματα του προτύπου περιλαμβάνουν:

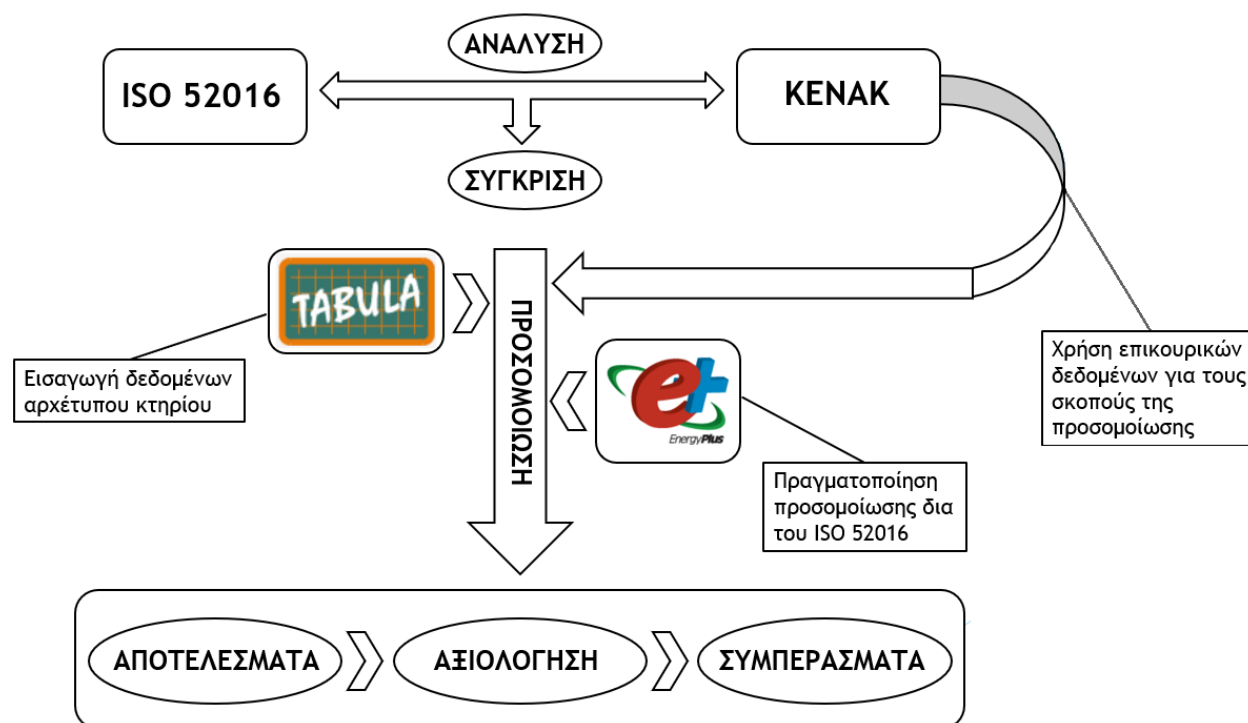
- Τυποποίηση των διαδικασιών υπολογισμού και των αποτελεσμάτων, επιτρέποντας συγκρίσιμα δεδομένα.

- Μεγαλύτερη ακρίβεια στη μοντελοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων.
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης προσαρμοσμένων αρχέτυπων κτιρίων για διαφορετικά κλιματικά δεδομένα και χρήσεις.

Η εργασία στοχεύει αρχικά στην ανάλυση και εντοπισμό των περιορισμών της Μεθοδολογίας KENAK, προκειμένου να αποτυπωθούν τα κύρια κενά που επηρεάζουν την αξιοπιστία των ενεργειακών πιστοποιητικών. Στη συνέχεια, με τη χρήση του ISO 52016-1:2017, επιχειρείται η βελτίωση της Μεθοδολογίας KENAK ώστε να παρέχει πιο αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα.

Για την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης χρησιμοποιείται το εργαλείο προσομοίωσης Energy-Plus, το οποίο επιτρέπει τη λεπτομερή μοντελοποίηση των κτιρίων σύμφωνα με τις αρχές του ISO 52016-1:2017 και την παραγωγή δεδομένων που μπορούν να συγκριθούν με τις καταναλώσεις που καταγράφονται σε εθνικές βάσεις δεδομένων, όπως το TABULA. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη δημιουργία ελληνικών αρχέτυπων κτιρίων που καλύπτουν διαφορετικές κατηγορίες χρήσης και γεωγραφικές ζώνες, καθώς και την αξιολόγηση της επεκτασιμότητας αυτών των αρχέτυπων σε παρόμοια κτίρια, παρόμοια με τις δυνατότητες που προσφέρει η βιβλιοθήκη pyBuildingsEnergy.

Η προσομοίωση παραδειγματικού κτιρίου παρέχει συγκριτικά δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης, τα οποία αντιπαραβάλλονται με τις καταναλώσεις που αναγράφονται στο TABULA, ώστε να αναδειχθεί η συνεισφορά του ISO 52016-1:2017 στη βελτίωση της ακρίβειας των ενεργειακών πιστοποιητικών. Η παρούσα μελέτη καταλήγει σε συμπεράσματα σχετικά με το πώς η εφαρμογή του προτύπου μπορεί να ενισχύσει το KENAK, εντοπίζοντας πιθανά εμπόδια στην ενσωμάτωση και προτείνοντας μελλοντικά βήματα για τη βελτίωση της μεθοδολογίας.



Σχήμα 1.2: Σχεδιάγραμμα Διπλωματικής.

Σκοπός είναι η παροχή μιας βάσης για τη σταδιακή ενσωμάτωση διεθνών προτύπων στο ελληνικό πλαίσιο ενεργειακής αξιολόγησης, συμβάλλοντας τόσο στην ακρίβεια των πιστοποιητικών όσο και στη διασφάλιση συγκρίσιμων δεδομένων σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, προωθώντας την ενεργειακή αποδοτικότητα και την αειφορία των κτιριακών υποδομών στη χώρα.

2 Ανάλυση του KENAK

2.1 Εισαγωγή του KENAK

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) συνιστά το βασικό θεσμικό εργαλείο της Ελλάδας για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στον κτιριακό τομέα. Η πρώτη του εισαγωγή έγινε το 2010 (ΦΕΚ Β' 407/2010), σηματοδοτώντας μια κομβική τομή στην ελληνική πολεοδομική και τεχνική νομοθεσία, καθώς για πρώτη φορά ενσωματώθηκαν δεσμευτικοί κανόνες που εναρμόνισαν τη χώρα με το ευρωπαϊκό πλαίσιο και συγκεκριμένα με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. Η Οδηγία αυτή, η οποία αναθεώρησε την αρχική 2002/91/ΕΚ, εισήγαγε αυστηρότερους στόχους για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα και έθεσε στο επίκεντρο την έννοια των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Nearly Zero Energy Buildings – NZEB), αναγνωρίζοντας τον καίριο ρόλο που διαδραματίζουν τα κτίρια στη διαδικασία της ενεργειακής μετάβασης. [2]

Στο ελληνικό πλαίσιο, ο KENAK αποτέλεσε το θεσμικό μέσο προσαρμογής στις νέες απαιτήσεις και διαμόρφωσε μια νέα κουλτούρα στον σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων. Εισήγαγε υποχρεωτικά πρότυπα ενεργειακής απόδοσης για όλα τα νέα κτίρια καθώς και για τα ριζικά ανακαινιζόμενα, καθιερώνοντας την υποχρέωση εκπόνησης ενεργειακής μελέτης στο στάδιο της οικοδομικής άδειας και την έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) μετά την ολοκλήρωση των εργασιών (ΥΠΕΝ, n.d.). Παράλληλα, προσδιόρισε ελάχιστες απαιτήσεις όχι μόνο για τα τεχνικά συστήματα (θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό), αλλά και για τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του κελύφους. Με αυτό τον τρόπο, η ενεργειακή αποδοτικότητα απέκτησε συγκρίσιμη και μετρήσιμη αξία, ενισχύοντας μια περισσότερο ολιστική και τεχνηριωμένη προσέγγιση στη μελέτη και την κατασκευή.[5]

Η πρώτη μεγάλη αναθεώρηση του Κανονισμού πραγματοποιήθηκε το 2017, βάσει μελέτης κόστους-αποτελεσματικότητας (cost-optimal study), σύμφωνα με το άρθρο 5 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ. Η αναθεώρηση αυτή κατέστησε το θεσμικό πλαίσιο αυστηρότερο, καθώς ενσωματώθηκαν αυξημένες απαιτήσεις για την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων, ενώ παράλληλα το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας επικαιροποίησε τις τεχνικές οδηγίες (TOTEE 20701-1/2017) και το λογισμικό TEE-KENAK, ώστε να υποστηρίζεται η πρακτική εφαρμογή του Κανονισμού (Concerted Action EPBD, 2020). Οι αλλαγές αυτές περιλάμβαναν νέα όρια θερμοπερατότητας (U-values) για όλα τα δομικά στοιχεία του κελύφους, την καθιέρωση υποχρεωτικής μελέτης σκοπιμότητας για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την πρόβλεψη κάλυψης τουλάχιστον 60% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης μέσω ηλιακών ή άλλων ισοδύναμων τεχνολογιών.[8]

Ιδιαίτερη σημασία είχε η θεσμοθέτηση του πλαισίου για τα NZEB, το οποίο έθεσε σαφές χρονοδιάγραμμα εφαρμογής: από 1ης Ιανουαρίου 2019 όλα τα νέα δημόσια κτίρια, και από 1ης Ιανουαρίου 2021 όλα τα νέα κτίρια ανεξαρτήτως χρήσης, οφείλουν να πληρούν τις απαιτήσεις σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.[10] Στην πράξη, αυτό μεταφράστηκε σε υποχρέωση κατάταξης τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία A για τα νέα κτίρια και B+ για τα υφιστάμενα, όπως ορίστηκε με την Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/85251/242 (ΦΕΚ Β' 5447/2018).

Ο KENAK δεν αποτελεί ένα απομονωμένο θεσμικό εργαλείο, αλλά μέρος μιας ευρύτερης στρατηγικής για την ενεργειακή μετάβαση και την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), προβλέπεται μεταξύ άλλων η ενεργειακή αναβάθμιση του 12–15% του κτιριακού αποθέματος μέχρι το 2030 και η μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.[10] Για την υποστήριξη αυτής της στρατηγικής έχουν θεσπιστεί και χρηματοδοτικά προγράμματα όπως το «Εξοικονομώ» και το «ΗΛΕΚΤΡΑ», τα οποία παρέχουν οικονομικά κίνητρα σε ιδιώτες και φορείς προκειμένου να προβούν σε επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, τηρώντας παράλληλα τις απαιτήσεις του KENAK.

Συνολικά, ο KENAK έχει διαμορφώσει ένα νέο πλαίσιο για τον τρόπο που σχεδιάζονται, κατασκευάζονται και ανακαινίζονται τα κτίρια στην Ελλάδα. Δεν πρόκειται απλώς για τεχνικό κανονισμό συμμόρφωσης με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, αλλά για έναν κεντρικό μηχανισμό της εθνικής ενεργειακής πολιτικής. Η εξέλιξή του αποτυπώνει τη σταδιακή μετατόπιση της χώρας προς πιο βιώσιμες πρακτικές και την υιοθέτηση απαιτήσεων που ενσωματώνουν την έννοια των NZEB και των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ωστόσο, η αποτελεσματική εφαρμογή του απαιτεί συνεχή επικαιροποίηση, προσαρμογή σε νέες τεχνολογίες και ενίσχυση των μηχανισμών υποστήριξης, ώστε να διασφαλιστεί ότι η θεωρία μετατρέπεται σε πράξη και ότι οι στόχοι της ενεργειακής πολιτικής θα επιτευχθούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

2.2 Μεθοδολογία κτηρίου αναφοράς KENAK

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί βασικό πυλώνα της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την επίτευξη των στόχων της για το 2030 και το 2050, όπως ορίζονται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/ΕΕ[12] για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD). Στην Ελλάδα, η ενσωμάτωση της εν λόγω οδηγίας πραγματοποιήθηκε μέσω του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), ο οποίος θεσπίστηκε με την Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΕΔΕΣΠΑ/170914/109/22.01.2016 και τροποποιήθηκε με την Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΕΣΕ/178581/2017. Ο KENAK εισάγει μια μεθοδολογία αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, βασισμένη σε πρότυπα υπολογισμού και κατηγοριοποίησης, με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών CO₂. [14]

Ο KENAK ενσωματώνει τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ και της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση, μέσω της εθνικής νομοθεσίας Ν. 4122/2013 και Ν. 4342/2015. Ο Κανονισμός καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για νέα και υφιστάμενα κτίρια, καθώς και τις διαδικασίες για την έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ). Επιπλέον, ορίζει τις υποχρεώσεις για την πραγματοποίηση ενεργειακών επιθεωρήσεων και την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης.[15]

Η μεθοδολογία του KENAK βασίζεται σε πρότυπα υπολογισμού όπως το EN ISO 13790 και το EN 15316, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, ζεστό νερό χρήσης και αερισμό.[11] Η αξιολόγηση πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού TEE-KENAK, το οποίο αναπτύχθηκε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ) σε συνεργασία με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ). Το TEE-KENAK επιτρέπει τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας, των εκπομπών CO₂ και της ενεργειακής κλάσης του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, καθώς και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.[16]

Ο KENAK εισάγει την έννοια του «κτιρίου αναφοράς», το οποίο χρησιμοποιείται ως πρότυπο για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης. Η κατηγοριοποίηση των κτιρίων γίνεται με βάση την ενεργειακή τους κλάση, η οποία καθορίζεται από τη σύγκριση της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας με την κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς. Η ενεργειακή κλάση κυμαίνεται από A+ (υψηλή απόδοση) έως H (χαμηλή απόδοση), με στόχο την ενθάρρυνση της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων.[11]

Για την επίτευξη υψηλότερων ενεργειακών κλάσεων, ο KENAK προτείνει στρατηγικές βελτίωσης που περιλαμβάνουν:

- Αναβάθμιση του Κτιριακού Κελύφους: Ενίσχυση της θερμομόνωσης, αντικατάσταση κουφωμάτων και βελτίωση της στεγανότητας του κτιρίου.[15]
- Αναβάθμιση Συστημάτων Θέρμανσης και Ψύξης: Εγκατάσταση συστημάτων υψηλής απόδοσης, όπως αντλίες θερμότητας και συστήματα θέρμανσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. [11]
- Εφαρμογή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, ηλιακών θερμοσιφώνων και συστημάτων αιολικής ενέργειας.[16]
- Βελτίωση Συμπεριφοράς Χρηστών: Εκπαίδευση των χρηστών για την αποτελεσματική χρήση ενέργειας και την εφαρμογή πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας.[12]

Η εφαρμογή αυτών των στρατηγικών συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, των εκπομπών CO₂ και του λειτουργικού κόστους των κτιρίων.[13]

Η μεθοδολογία του KENAK παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την αξιολόγηση και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ελλάδα. Η εφαρμογή της συμβάλλει στην επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων για την ενεργειακή αποδοτικότητα και την κλιματική αλλαγή. Η συνεχής αναβάθμιση του κανονιστικού πλαισίου και η ενίσχυση της εκπαίδευσης των επαγγελματιών του τομέα είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική εφαρμογή του KENAK και την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων.

2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς

Στο πλαίσιο της μεθοδολογίας του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), το «κτίριο αναφοράς» αποτελεί το βασικό εργαλείο συγκριτικής αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης κάθε υπό μελέτη κτιρίου. Η θεμελιώδης αρχή είναι ότι το κτίριο αναφοράς διατηρεί τα ίδια γεωμετρικά, μορφολογικά, χωροταξικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά με το εξεταζόμενο κτίριο, διαφοροποιείται όμως στα ενεργειακά και τεχνικά στοιχεία του κελύφους και των ηλεκτρομηχανολογικών του εγκαταστάσεων, τα οποία προσδιορίζονται από το άρθρο 8 του KENAK και τις αντίστοιχες TOTEE. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται δυνατή η αντικειμενική σύγκριση της πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου με μία τυποποιημένη, συμβατική κατάσταση αναφοράς.[5]

2.3.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα

Αρχικά, όσον αφορά τον σχεδιασμό, εάν το υπό μελέτη κτίριο περιλαμβάνει Παθητικά Ηλιακά Συστήματα (ΠΗΣ), αυτά δεν λαμβάνονται υπόψη για το κτίριο αναφοράς. Στη θέση τους προβλέπονται συμβατικά δομικά στοιχεία (διαφανή και αδιαφανή), με θερμικά χαρακτηριστικά

καθορισμένα στον Πίνακα Γ.1 του KENAK. Με τον τρόπο αυτό, η ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογιών αξιολογείται ως ενεργειακή βελτίωση έναντι της βασικής τυπολογίας του κτιρίου αναφοράς.[5]

2.3.2 Κτιριακό κέλυφος

Το κτιριακό κέλυφος του κτιρίου αναφοράς θεωρείται πλήρως θερμομονωμένο, σύμφωνα με τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμικής προστασίας. Οι εξωτερικές επιφάνειες χαρακτηρίζονται από συντελεστή ανάκλασης ηλιακής ακτινοβολίας ίσο με 0,60 και συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας 0,8. Παράλληλα, λαμβάνονται υπόψη σταθερά εξωτερικά σκίαστρα (πρόβολοι, περσίδες, πέργκολες, μπαλκόνια), ώστε ο μέσος συντελεστής σκίασης των ανοιγμάτων να είναι τουλάχιστον 0,50 στις νότιες όψεις και 0,60 στις ανατολικές και δυτικές. Ηλιακοί συντελεστές των υαλοστασίων ορίζονται σε $GT = 0,76$ για τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία και $GV = 0,65$ για το ορατό φάσμα. Αντίστοιχα, για τις αδιαφανείς επιφάνειες καθορίζεται μέσος συντελεστής σκίασης 0,9. Η διείσδυση αέρα μέσω κουφωμάτων τυποποιείται σε $5,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά m^2 κουφώματος, ενώ η θερμική μάζα του κτιρίου ορίζεται σε $250 \text{ kJ/K}\cdot\text{m}^2$ θερμαινόμενης επιφάνειας.[5]

2.3.3 Σύστημα θέρμανσης

Σε ότι αφορά τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, το κτίριο αναφοράς διαθέτει σύστημα θέρμανσης με κεντρικό λέβητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου, πιστοποιημένο με βαθμό ενεργειακής απόδοσης τριών αστέρων. Η διαστασιολόγηση γίνεται σύμφωνα με τις αντίστοιχες TOTEE ώστε να εξασφαλίζεται επάρκεια ακόμη και υπό δυσμενείς συνθήκες. Εάν το εξεταζόμενο κτίριο διαθέτει αντλίες θερμότητας, θεωρείται αντιστοίχως ότι και το κτίριο αναφοράς διαθέτει τοπικά συστήματα με τυπικό συντελεστή απόδοσης (COP) ίσο με 3,2 για κατοικίες ή με COP 3,2/4,3 για αερόψυκτα/υδρόψυκτα συστήματα του τριτογενή τομέα.[5]

2.3.4 Σύστημα ψύξης

Αναφορικά με την ψύξη, στο κτίριο αναφοράς για κατοικίες θεωρούνται αντλίες θερμότητας με συντελεστή ενεργειακής απόδοσης $EER = 3,0$ και με συνολική κατανάλωση ίση με το 50% της υπολογισθείσας. Για τον τριτογενή τομέα, οι τιμές EER καθορίζονται σε 2,8 για αερόψυκτες και 3,8 για υδρόψυκτες μονάδες. Επιπλέον, προβλέπεται χρήση ανεμιστήρων οροφής σε ποσοστό 30% των χώρων.[5]

2.3.5 Τερματικές μονάδες

Οι τερματικές μονάδες και τα δίκτυα διανομής θέρμανσης/ψύξης λαμβάνονται όμοια με το εξεταζόμενο κτίριο, με τυπικές τιμές ισχύος ανεμιστήρων, απωλειών δικτύου (7% για κατοικίες και 15% για τριτογενή τομέα) και ανάκτησης θερμότητας στις ΚΚΜ με βαθμό απόδοσης $\eta_R = 0,5$. Για τις κατοικίες θεωρείται φυσικός αερισμός, ενώ για τα κτίρια του τριτογενή τομέα προβλέπεται μηχανικός αερισμός με εναλλάκτη θερμότητας, συντελεστή ανάκτησης $\eta_R = 0,5$ και ειδική απορρόφηση ισχύος $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.[5]

2.3.6 Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Η κάλυψη αναγκών σε Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX) στο κτίριο αναφοράς επιτυγχάνεται μέσω του κεντρικού λέβητα, σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες και ηλεκτρική αντίσταση για εφεδρεία. Οι απώλειες δικτύου λαμβάνονται σε 20% για απλά συστήματα και σε 35% σε περίπτωση

επανακυκλοφορίας. Σε εμπορικά καταστήματα μικρής κατανάλωσης επιτρέπονται αποκεντρωμένα συστήματα, όπως ταχυθερμοσίφωνες.[5]

2.3.7 Σύστημα Φωτισμού

Σχετικά με τον φωτισμό, για κτίρια του τριτογενή τομέα υιοθετούνται οι απαιτήσεις του προτύπου EN 12464-1:2002, με εγκατεστημένη ισχύ 0,015 W/lm, χρήση λαμπτήρων φθορισμού με ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία κατηγορίας A3 και πρόβλεψη ελέγχου σβέσης τουλάχιστον του 50% των φωτιστικών σε χώρους με φυσικό φωτισμό.[5]

2.3.8 Συστήματα ελέγχου

Τέλος, για τα συστήματα ελέγχου, τα κτίρια αναφοράς ξενοδοχειακής χρήσης θεωρούνται εξοπλισμένα με ηλεκτρονικές κάρτες ενεργοποίησης/απενεργοποίησης παροχής ρεύματος στα δωμάτια, ενώ για μεγάλα κτίρια τριτογενή χρήσης (3.500 m²) λαμβάνεται υπόψη η εφαρμογή ολοκληρωμένου συστήματος ενεργειακής διαχείρισης (BEMS), το οποίο συμβάλλει σε πρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας.[5]

2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη κτιρίου.

Η μεθοδολογία του KENAK στηρίζεται κυρίως στη χρήση τυπικών τιμών και τυποποιημένων πινάκων για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, αποφεύγοντας την ανάγκη για λεπτομερή συλλογή ακριβών δεδομένων. Οι πίνακες αυτοί περιλαμβάνουν τυποποιημένους συντελεστές θερμοπερατότητας, αποδόσεις συστημάτων και προφίλ χρήσης ενέργειας, επιτρέποντας την ταχεία και συγκρίσιμη αξιολόγηση των κτιρίων με βάση πρότυπα χαρακτηριστικά. Μέσω αυτής της προσέγγισης, η εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς γίνεται συστηματική, επαναλήψιμη και πρακτικά εφαρμόσιμη σε διαφορετικά κτίρια, εξασφαλίζοντας ενιαία κριτήρια και αποτελεσματική σύγκριση χωρίς την εξάρτηση από πραγματικά, αναλυτικά δεδομένα.

2.4.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και εσωτερικές συνθήκες.

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποτελούν τον πρώτο και πλέον κρίσιμο παράγοντα για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, καθώς συνδέονται άμεσα με τη θερμική ισορροπία του [18]. Η τεχνική οδηγία ορίζει ότι για κάθε εξεταζόμενο κτίριο πρέπει να καταγράφονται με ακρίβεια η επιφάνεια, ο όγκος, ο προσανατολισμός, η σχέση επιφάνειας προς όγκο (A/V), η κατανομή των ανοιγμάτων, καθώς και τα χαρακτηριστικά των θερμικών ζωνών. Ο λόγος A/V χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η συμπαγότητα του κτιρίου· για παράδειγμα, ένα κτίριο κατοικίας με A/V = 0,85 κατατάσσεται σε πιο δυσμενή κατηγορία απωλειών σε σχέση με ένα αντίστοιχο κτίριο με A/V = 0,40 [18]. Από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. αντλούνται συγκεκριμένες τιμές θερμοπερατότητας (U-values) για το κέλυφος· ενδεικτικά, σε ζώνη B, για τοίχους χωρίς θερμομόνωση λαμβάνεται τιμή U = 1,50 W/m²K, ενώ για δώμα χωρίς μόνωση η αντίστοιχη τιμή είναι U = 2,70 W/m²K [18]. Οι παράμετροι αυτές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα θερμικά φορτία και υπογραμμίζουν τη σημασία της σωστής αποτύπωσης των γεωμετρικών δεδομένων.

Όσον αφορά τις εσωτερικές συνθήκες, η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. προβλέπει τυποποιημένες τιμές που εφαρμόζονται ανεξάρτητα από τις πραγματικές συνθήκες χρήσης, ώστε να διασφαλίζεται η ομοιογένεια στις ενεργειακές μελέτες [18]. Για κατοικίες, η θερμοκρασία σχεδιασμού θέρμανσης ορίζεται στους 20 °C και η θερμοκρασία σχεδιασμού ψύξης στους 26 °C, με σχετική υγρασία

περίπου 50% 18. Για κτίρια γραφείων, αντίστοιχα, η θερμοκρασία θέρμανσης παραμένει στους 20 °C, αλλά η θερμοκρασία ψύξης ορίζεται στους 27 °C. Επιπλέον, οι πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. παρέχουν συγκεκριμένες τιμές για τα εσωτερικά κέρδη: για κατοικίες λαμβάνονται 3,5 W/m² από φωτισμό και 2,5 W/m² από εξοπλισμό, ενώ για γραφεία οι τιμές είναι υψηλότερες, π.χ. 7 W/m² από φωτισμό και 15 W/m² από εξοπλισμό [18]. Ακόμη, το άτομο ανά χώρο εκτιμάται σε 0,04 άτομα/m² για κατοικίες και σε 0,12 άτομα/m² για γραφεία, με συντελεστές εκπομπής θερμότητας περίπου 70 W/άτομο [18]. Οι μεταβλητές αυτές, οι οποίες αντλούνται απευθείας από τους πίνακες της οδηγίας, εισάγονται στους υπολογισμούς ως δεδομένα και επηρεάζουν καθοριστικά την τελική εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου

2.4.2 Θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους.

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, οι θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους αποτελούν θεμελιώδη παράγοντα για τον υπολογισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου, καθώς καθορίζουν το μέγεθος των θερμικών απωλειών και των κερδών μέσω των δομικών στοιχείων [18]. Στα βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται η θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ), η ειδική θερμοχωρητικότητα (c) και ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U) κάθε στοιχείου. Από τους πίνακες της οδηγίας αντλούνται συγκεκριμένες τιμές υλικών, π.χ. για τούβλο πάχους 25 cm η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας είναι $\lambda = 0,72$ W/mK, ενώ για διογκωμένη πολυστερίνη είναι $\lambda = 0,035$ W/mK [18]. Στις μελέτες, τα σύνθετα στοιχεία (π.χ. εξωτερικοί τοίχοι) υπολογίζονται με βάση τις στρώσεις τους και τον αντίστοιχο συντελεστή U . Για παράδειγμα, ένας εξωτερικός τοίχος με μόνωση 5 cm πολυστερίνης εμφανίζει $U = 0,45$ W/m²K, ενώ ο ίδιος τοίχος χωρίς μόνωση ξεπερνά $U = 1,50$ W/m²K [18]. Η διαφορά αυτή δείχνει την καθοριστική σημασία της σωστής επιλογής θερμοφυσικών ιδιοτήτων για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών.

Παράλληλα, η οδηγία καθορίζει τιμές για ειδικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη θερμική συμπεριφορά. Για τοιχοποιία από σκυρόδεμα λαμβάνεται πυκνότητα 2.400 kg/m³ και ειδική θερμοχωρητικότητα $c = 1.000$ J/kgK, γεγονός που προσδίδει υψηλή θερμική αδράνεια [18]. Αντίθετα, ελαφροβαρή υλικά όπως ο αεριζόμενος σοβάς παρουσιάζουν χαμηλότερη πυκνότητα (800–1.200 kg/m³) και συνεπώς μειωμένη αποθήκευση θερμότητας. Σημαντική παράμετρος αποτελεί και ο συντελεστής θερμικής εκπομπής (ϵ), που θεωρείται για τα περισσότερα δομικά υλικά κοντά στο 0,90–0,95 18. Ενδεικτικά, τα κουφώματα με διπλό υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής (low-e) σε θερμομονωτικό πλαίσιο καταγράφουν $U = 1,8$ W/m²K, σε αντίθεση με τα παλαιότερα μονά τζάμια που εμφανίζουν $U > 5,0$ W/m²K [18]. Όλες αυτές οι τιμές, αντλούμενες από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., ενσωματώνονται στους υπολογισμούς του ενεργειακού ισοζυγίου και καθιστούν δυνατή την αξιόπιστη εκτίμηση των θερμικών απωλειών και της απόδοσης του κτιρίου.

2.4.3 Σύστημα θέρμανσης

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, το σύστημα θέρμανσης αποτελεί κρίσιμο τμήμα της ενεργειακής ανάλυσης ενός κτιρίου, καθώς καθορίζει την απαιτούμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και το συνολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος [18]. Στην τεχνική οδηγία γίνεται διάκριση ανάμεσα στα επιμέρους στάδια του συστήματος: παραγωγή θερμότητας (π.χ. λέβητες, αντλίες θερμότητας, τηλεθέρμανση), διανομή (σωληνώσεις, δίκτυο), εκπομπή (θερμαντικά σώματα, ενδοδαπέδια θέρμανση) και ρύθμιση/έλεγχος (θερμοστάτες, αυτοματισμοί). Ο συνολικός βαθμός απόδοσης (η) του συστήματος προκύπτει από το γινόμενο των επιμέρους

βαθμών απόδοσης κάθε υποσυστήματος. Για παράδειγμα, ένας λέβητας φυσικού αερίου με βαθμό απόδοσης 0,90, σε συνδυασμό με δίκτυο διανομής με απώλειες 10 % και θερμοαντικά σώματα με απόδοση 0,95, οδηγεί σε συνολική απόδοση περίπου 0,77 [18]. Οι τιμές αυτές δεν είναι αυθαίρετες, αλλά λαμβάνονται απευθείας από τους πίνακες της οδηγίας, ώστε να διασφαλίζεται η συγκρισιμότητα των μελετών.

Η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. παρέχει επίσης συγκεκριμένες τιμές για διάφορους τύπους συστημάτων θέρμανσης, ανάλογα με την τεχνολογία και το καύσιμο που χρησιμοποιείται [18]. Για λέβητες πετρελαίου παλαιάς τεχνολογίας θεωρείται βαθμός απόδοσης 0,75, ενώ για νέους λέβητες συμπίκνωσης η τιμή φθάνει το 0,92. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις λαμβάνονται με απόδοση ίση με 1,0, αν και αυτό αντισταθμίζεται από τον υψηλό συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας του ηλεκτρισμού [18]. Ενδεικτικά, οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού παρουσιάζουν εποχιακό βαθμό απόδοσης (SCOP) 2,8–3,2, ενώ οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να ξεπεράσουν το 4,0 [18]. Στους πίνακες της οδηγίας περιλαμβάνονται και οι τυπικές απώλειες δικτύου: για παράδειγμα, σε κεντρικά δίκτυα διανομής με καλή μόνωση λαμβάνεται απώλεια 8 %, ενώ σε παλαιότερα δίκτυα χωρίς μόνωση η τιμή μπορεί να ανέλθει στο 20 % [18]. Οι παραπάνω μεταβλητές, εισαγόμενες ως τυποποιημένα δεδομένα, επιτρέπουν την αξιόπιστη εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος θέρμανσης και την αντικειμενική αξιολόγηση της αποδοτικότητάς του.

2.4.4 Σύστημα ψύξης

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, το σύστημα ψύξης περιλαμβάνει τον εξοπλισμό παραγωγής ψύξης (ψύκτες, κλιματιστικές μονάδες, αντλίες θερμότητας σε λειτουργία ψύξης), το δίκτυο διανομής (αεραγωγοί ή υδραυλικά δίκτυα), τα τερματικά στοιχεία (κλιματιστικές μονάδες, fan coils, τοπικές μονάδες διαχωρισμένου τύπου) και τον έλεγχο λειτουργίας 18. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ψύξης (ηψ) προκύπτει από το γινόμενο του βαθμού απόδοσης της παραγωγής, της διανομής, της εκπομπής και της ρύθμισης. Για παράδειγμα, μια τοπική μονάδα ψύξης (split unit) με εποχιακό δείκτη απόδοσης SEER = 3,2, σε συνδυασμό με δίκτυο διανομής με απώλειες 10 % και τερματικά στοιχεία με απόδοση 0,95, οδηγεί σε συνολική απόδοση περίπου 2,7 [18]. Η οδηγία δίνει συγκεκριμένα όρια και τιμές απόδοσης ώστε να εξασφαλίζεται η συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών μελετών και τεχνολογιών.

Η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. παρέχει επίσης πίνακες με τυπικές τιμές απόδοσης ανά κατηγορία συστήματος ψύξης [18]. Ενδεικτικά, για τοπικά συστήματα διαχωρισμένου τύπου (split units) λαμβάνονται εποχιακοί δείκτες απόδοσης SEER = 2,8–3,2, ενώ για κεντρικούς ψύκτες αέρα-νερού η τυπική τιμή είναι EER = 2,5–3,0. Αντίστοιχα, για γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σε λειτουργία ψύξης οι τιμές μπορούν να υπερβούν το 4,0 [18]. Σχετικά με τις απώλειες διανομής, η οδηγία θεωρεί ότι σε συστήματα με καλά μονωμένους αεραγωγούς οι απώλειες κυμαίνονται στο 8–10%, ενώ σε ανεπαρκώς μονωμένα δίκτυα μπορεί να φθάσουν το 20% [18]. Για τις εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού, ορίζεται θερμοκρασία 26 °C για κατοικίες και 27 °C για γραφεία, με σχετική υγρασία γύρω στο 50% [18]. Οι τυποποιημένες αυτές μεταβλητές, που αντλούνται από τους πίνακες της οδηγίας, επιτρέπουν την ακριβή εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος ψύξης και διευκολύνουν την αντικειμενική αξιολόγηση της αποδοτικότητάς του.

2.4.5 Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) αποτελεί ξεχωριστό υποσύστημα του κτιρίου που συμβάλλει σημαντικά στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, ιδιαίτερα στις κατοικίες [18]. Το σύστημα περιλαμβάνει τη μονάδα παραγωγής (λέβητες, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες, αντλίες θερμότητας), το δίκτυο διανομής και τα αποθηκευτικά δοχεία (μπόιλερ). Η οδηγία προβλέπει ότι ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ZNX (ή ZNX) προκύπτει από τον συνδυασμό των επιμέρους αποδόσεων κάθε τμήματος, δηλαδή της παραγωγής, της αποθήκευσης, της διανομής και της ρύθμισης [18]. Για παράδειγμα, σε μία εγκατάσταση με λέβητα φυσικού αερίου απόδοσης 0,85, δίκτυο διανομής με απώλειες 10% και θερμοδοχείο με απόδοση 0,95, η συνολική απόδοση του συστήματος ZNX προσεγγίζει το 0,73 [18].

Η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. καθορίζει επίσης συγκεκριμένες τυποποιημένες τιμές και συνθήκες λειτουργίας. Για κατοικίες, η ημερήσια κατανάλωση ZNX θεωρείται 50 λίτρα/άτομο στους 45 °C, ενώ για ξενοδοχεία οι ανάγκες είναι πολλαπλάσιες, με τυπική τιμή 70–90 λίτρα/άτομο/ημέρα [18]. Από τους πίνακες της οδηγίας προκύπτουν παραδείγματα τυπικών συστημάτων: ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας λαμβάνεται με απόδοση 0,95, ενώ ένα ηλιακό θερμικό σύστημα με κάλυψη 60% των αναγκών συνδυάζεται με βοηθητικό λέβητα φυσικού αερίου (απόδοση 0,85) για το υπόλοιπο ποσοστό [18]. Αντίστοιχα, για δίκτυα διανομής με καλή μόνωση οι απώλειες κυμαίνονται στο 8–10%, ενώ σε μη μονωμένα δίκτυα μπορούν να φθάσουν το 25% [18]. Στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη και οι απώλειες του θερμοδοχείου, με τυπική τιμή 2,5 kWh/24h για δοχείο 200 λίτρων. Όλες οι παραπάνω τιμές, αντλημένες από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., χρησιμοποιούνται ως τυποποιημένα δεδομένα στους υπολογισμούς, εξασφαλίζοντας συγκρισιμότητα και αντικειμενικότητα στην εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος ZNX.

2.4.6 Εσωτερικά και ηλιακά κέρδη

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, τα εσωτερικά και τα ηλιακά κέρδη αποτελούν βασικές συνιστώσες του ενεργειακού ισοζυγίου ενός κτιρίου, καθώς συμβάλλουν τόσο στη μείωση των θερμικών αναγκών θέρμανσης όσο και στην αύξηση των ψυκτικών φορτίων κατά τη θερινή περίοδο [18]. Τα εσωτερικά κέρδη προέρχονται από την παρουσία των χρηστών, τον φωτισμό και τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, ενώ τα ηλιακά κέρδη οφείλονται στην άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τα ανοίγματα ή απορροφάται από το κέλυφος. Η οδηγία καθορίζει συγκεκριμένες τιμές για κάθε κατηγορία χρήσης κτιρίου: για κατοικίες θεωρούνται εσωτερικά κέρδη από φωτισμό περίπου 3,5 W/m² και από εξοπλισμό 2,5 W/m², ενώ η παρουσία ατόμων υπολογίζεται σε 0,04 άτομα/m² με θερμική εκπομπή περίπου 70 W/άτομο [18]. Για γραφεία, οι τιμές είναι υψηλότερες, π.χ. 7 W/m² για φωτισμό, 15 W/m² για εξοπλισμό και 0,12 άτομα/m² με εκπομπή 75 W/άτομο [18]. Οι τιμές αυτές, οι οποίες προέρχονται από πίνακες της οδηγίας, χρησιμοποιούνται αυτούσιες στους υπολογισμούς ώστε να διασφαλίζεται η συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών μελετών.

Αντίστοιχα, τα ηλιακά κέρδη εξαρτώνται από τον προσανατολισμό, την επιφάνεια και τα χαρακτηριστικά των υαλοστασίων, καθώς και από τους συντελεστές σκίασης [18]. Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. περιλαμβάνονται πίνακες με τιμές συντελεστών σκίασης για διαφορετικές γεωμετρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, ένα νότιο άνοιγμα με εξωτερικό σκίαστρο τύπου προεξοχής μπορεί να έχει συντελεστή σκίασης 0,35 το καλοκαίρι, μειώνοντας σημαντικά τα ψυκτικά φορτία, ενώ χωρίς

σκίαση ο συντελεστής φθάνει το 0,90 [18]. Ο συντελεστής ηλιακής διαπερατότητας των υαλοπινάκων (g-value) καθορίζει επίσης τα ηλιακά κέρδη· για διπλό υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής τυπική τιμή είναι $g = 0,60$, ενώ για μονό υαλοπίνακα $g = 0,85$ [18]. Η συνδυασμένη αξιολόγηση εσωτερικών και ηλιακών κερδών είναι κρίσιμη για την ακριβή αποτύπωση των ενεργειακών αναγκών, καθώς τα μεν εσωτερικά κέρδη έχουν σχετικά σταθερή παρουσία, τα δε ηλιακά μεταβάλλονται έντονα κατά τη διάρκεια του έτους και ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη σκίαση. Οι τυποποιημένες αυτές τιμές από την T.O.T.E.E. εξασφαλίζουν ομοιογένεια στους υπολογισμούς και επιτρέπουν την αντικειμενική αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

2.4.7 Σύστημα αερισμού

Σύμφωνα με την T.O.T.E.E. 20701-1/2017, το σύστημα αερισμού αποτελεί βασικό στοιχείο της ενεργειακής ανάλυσης ενός κτιρίου, καθώς καθορίζει τόσο την ποιότητα του εσωτερικού αέρα όσο και τις θερμικές απώλειες ή κέρδη που συνδέονται με την ανανέωση του αέρα [18]. Η οδηγία διακρίνει ανάμεσα στον φυσικό αερισμό (διείσδυση αέρα μέσω χαραμαάδων και ανοιγμάτων) και στον μηχανικό αερισμό (με ή χωρίς ανάκτηση θερμότητας). Στην περίπτωση φυσικού αερισμού, χρησιμοποιούνται τυποποιημένες τιμές από πίνακες για τους ρυθμούς αερισμού· για κατοικίες θεωρείται 0,5 αεροαλλαγές ανά ώρα, ενώ για γραφεία 1,5–2,0 αεροαλλαγές ανά ώρα [18]. Η διείσδυση αέρα λόγω χαραμαάδων λαμβάνεται ίση με $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά m^2 εξωτερικής επιφάνειας για κτίρια χωρίς ειδική στεγανότητα, ενώ για καλύτερα αεροστεγή κελύφη η τιμή περιορίζεται σε $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά m^2 [18]. Οι τιμές αυτές, οι οποίες προέρχονται αυτούσιες από την T.O.T.E.E., εισάγονται στους υπολογισμούς ώστε να υπάρχει ενιαία βάση εκτίμησης.

Για τον μηχανικό αερισμό, η οδηγία περιλαμβάνει πίνακες με τιμές αποδόσεων και απωλειών ανάλογα με τον εξοπλισμό [18]. Ενδεικτικά, για μηχανικά συστήματα χωρίς ανάκτηση θερμότητας, ο βαθμός απόδοσης θεωρείται 0,60–0,70, ενώ για συστήματα με εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας η απόδοση μπορεί να φτάσει το 0,75–0,80 [18]. Στα κτίρια γραφείων, για παράδειγμα, η απαιτούμενη παροχή νωπού αέρα ορίζεται στα $36 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά άτομο, τιμή που εξασφαλίζει επαρκή ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Στα σχολικά κτίρια η αντίστοιχη τιμή ανέρχεται στα 20–25 m^3/h ανά άτομο [18]. Οι απώλειες του δικτύου διανομής λαμβάνονται ίσες με 8–10% για καλά μονωμένους αεραγωγούς, ενώ σε παλαιότερες εγκαταστάσεις χωρίς μόνωση μπορεί να φθάσουν το 20% [18]. Όλες αυτές οι τυποποιημένες παράμετροι, όπως δίνονται από τους πίνακες της T.O.T.E.E., διασφαλίζουν ότι οι ενεργειακοί υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο τη λειτουργικότητα αλλά και την πραγματική επίπτωση του συστήματος αερισμού στην κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.

2.4.8 Τερματικές μονάδες.

Σύμφωνα με την T.O.T.E.E. 20701-1/2017, οι τερματικές μονάδες αποτελούν το τελικό στάδιο εκπομπής θερμότητας ή ψύξης στο εσωτερικό του κτιρίου και επηρεάζουν άμεσα την ενεργειακή απόδοση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ZNX [18]. Στην οδηγία περιγράφονται διαφορετικοί τύποι τερματικών μονάδων ανάλογα με τη χρήση και τη τεχνολογία: θερμαντικά σώματα νερού για θέρμανση, fan coils ή ενδοδαπέδιες μονάδες για ψύξη και θέρμανση, καθώς και μπόνιερ και επιτοίχιες μονάδες για ZNX. Η αποτελεσματικότητα των τερματικών μονάδων καθορίζεται από τον βαθμό απόδοσης εκπομπής (ητ), ο οποίος λαμβάνει τιμές από πίνακες της T.O.T.E.E. Για παράδειγμα, για θερμαντικά σώματα νερού η τιμή του ητ θεωρείται 0,95, ενώ για fan coils με αέρα η τιμή κυμαίνεται μεταξύ 0,85–0,90 [18]. Οι τυποποιημένες τιμές

αυτές ενσωματώνονται στους υπολογισμούς ώστε να υπολογίζεται η πραγματική ενέργεια που αποδίδεται στους χώρους, λαμβάνοντας υπόψη απώλειες διανομής.

Η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. παρέχει επίσης πίνακες με τυπικές τιμές για τα διάφορα συστήματα ανά χρήση κτιρίου [18]. Για κατοικίες, οι τερματικές μονάδες θέρμανσης θεωρούνται με απόδοση 0,95, ενώ για γραφεία η απόδοση μπορεί να περιορίζεται στα 0,90 λόγω διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας και ρυθμίσεων. Στα συστήματα ψύξης, οι μονάδες τύπου fan coil ή split units λαμβάνουν βαθμό απόδοσης 0,85–0,90, ενώ για ενδοδαπέδια συστήματα η τιμή φτάνει έως 0,95 [18]. Στην περίπτωση ΖΝΧ, τα θερμοδοχεία ή οι επιτοίχιες μονάδες θεωρούνται με απόδοση 0,95–0,97, ανάλογα με τον τύπο και την μόνωση. Οι τερματικές μονάδες επηρεάζουν επίσης τον χρόνο απόκρισης του συστήματος και την κατανομή θερμοκρασιών στους χώρους· γι' αυτό οι τυποποιημένες τιμές από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. χρησιμοποιούνται ως βάση για αξιόπιστους υπολογισμούς, εξασφαλίζοντας ομοιογένεια και αντικειμενικότητα στην εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

2.4.9 Σύστημα φωτισμού.

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, το σύστημα φωτισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα των εσωτερικών κερδών και της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου, καθώς συνεισφέρει τόσο στη θερμική φόρτιση όσο και στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας [18]. Η οδηγία διακρίνει μεταξύ τεχνητού και φυσικού φωτισμού και παρέχει τυποποιημένες τιμές για την ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Για παράδειγμα, για κατοικίες θεωρείται $3,5 \text{ W/m}^2$ για φωτισμό εσωτερικών χώρων, ενώ για γραφεία η τιμή ανέρχεται σε 7 W/m^2 [18]. Οι τιμές αυτές λαμβάνονται από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. και ενσωματώνονται στους υπολογισμούς των ενεργειακών αναγκών, εξασφαλίζοντας συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών μελετών.

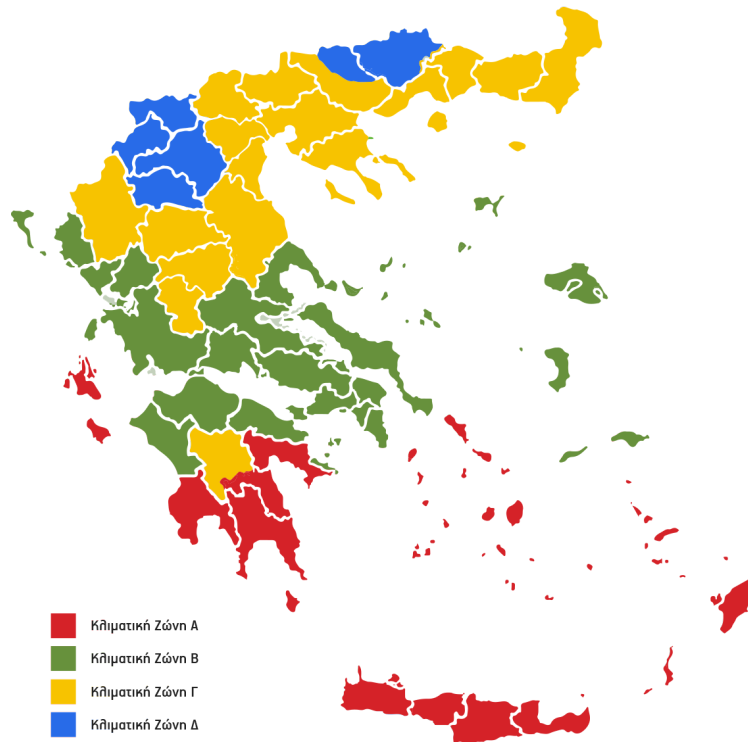
Επιπλέον, η οδηγία καθορίζει τη σημασία του φυσικού φωτισμού και των συντελεστών σκίασης για τον περιορισμό της χρήσης τεχνητού φωτισμού και την αποφυγή υπερθέρμανσης των χώρων [18]. Οι τυπικοί συντελεστές αξιοποίησης φυσικού φωτισμού (daylighting factors) για παράθυρα με νότιο προσανατολισμό κυμαίνονται μεταξύ 0,25–0,35, ενώ για ανατολικά ή δυτικά ανοίγματα είναι 0,15–0,25. Η ενσωμάτωση των παραμέτρων αυτών στους υπολογισμούς επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση των ενεργειακών κερδών από τον φωτισμό, μειώνοντας τις απαιτήσεις σε τεχνητή ενέργεια. Επίσης, οι τυποποιημένες τιμές κατανάλωσης φωτισμού διευκολύνουν την αντικειμενική αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης διαφορετικών χώρων και κτιρίων, διασφαλίζοντας ομοιογένεια στις ενεργειακές μελέτες [18].

2.4.10 Κλιματικά δεδομένα.

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, τα κλιματικά δεδομένα αποτελούν βασικό στοιχείο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, καθώς επηρεάζουν άμεσα τις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης και αερισμού. Η οδηγία παρέχει αναλυτικούς πίνακες με μεσοσταθμικές μηνιαίες και ωριαίες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας για διαφορετικές ελληνικές περιοχές.

Επιπλέον, για τη διευκόλυνση των υπολογισμών και τη ρεαλιστική αποτύπωση των τοπικών κλιματικών συνθηκών, η Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 καθορίζει την κατηγοριοποίηση της ελληνικής επικράτειας σε τέσσερις κλιματικές ζώνες (Α, Β, Γ και Δ). Η ζώνη Α αντιστοιχεί στις θερμότερες περιοχές της χώρας (π.χ. Κρήτη, Δωδεκάνησα), ενώ η ζώνη Δ περιλαμβάνει τις

ψυχρότερες περιοχές με αυξημένες ανάγκες θέρμανσης (π.χ. Φλώρινα, Κοζάνη). Οι ενδιάμεσες ζώνες Β και Γ καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας, με σταδιακή διαφοροποίηση στις θερμικές απαιτήσεις. Η ταξινόμηση αυτή αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη σωστή επιλογή συστημάτων και τον προσδιορισμό των ενεργειακών αναγκών κάθε κτιρίου.



Σχήμα 2.1: Κλιματικές ζώνες Ελλάδας.

Για παράδειγμα, για την Αθήνα (ζώνη Β), η μέση εξωτερική θερμοκρασία θέρμανσης τον Ιανουάριο είναι $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ για τη Θεσσαλονίκη (ζώνη Γ) είναι $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, τιμές που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς θερμικών φορτίων. Η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για τον Ιούλιο στην Αθήνα ανέρχεται σε περίπου $6,0\text{ kWh/m}^2/\text{ημέρα}$, ενώ στη Θεσσαλονίκη είναι περίπου $5,5\text{ kWh/m}^2/\text{ημέρα}$, παρέχοντας στοιχεία για τον υπολογισμό των ηλιακών κερδών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρέχονται πίνακες με τυποποιημένους βαθμούς ημέρας θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD) για τις ελληνικές περιοχές. Για παράδειγμα, η Αθήνα εμφανίζει 2.500 βαθμούς-ημέρα θέρμανσης και 450 βαθμούς-ημέρα ψύξης, ενώ η Θεσσαλονίκη 3.100 HDD και 400 CDD. Η ταχύτητα ανέμου και η κατεύθυνσή της λαμβάνονται επίσης υπόψη για την εκτίμηση των απωλειών θερμότητας μέσω αερισμού και διαρροών, με τυπική μέση ταχύτητα $3,5\text{ m/s}$ για την Αθήνα και $3,0\text{ m/s}$ για τη Θεσσαλονίκη [19]. Όλες οι παραπάνω τιμές, όπως δίνονται στους πίνακες της οδηγίας, χρησιμοποιούνται ως τυποποιημένα δεδομένα στους ενεργειακούς υπολογισμούς, εξασφαλίζοντας ομοιογένεια και αντικειμενικότητα στην εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων ανά περιοχή.

Σημειώσεις Κλιματικών Δεδομένων:

- Ετήσιοι Δείκτες Θερμοκρασιακών Νομέων (HDD : Οι δείκτες αυτοί εκφράζουν τη συσσωρευμένη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας αναφοράς θέρμανσης (συνήθως 18°C) και της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας για όλες τις ημέρες που η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την αναφορά. Το άθροισμα των HDD αποτελεί βασικό δείκτη για την εκτίμηση της ετήσιας θερμικής ζήτησης της κατοικίας.
- Ετήσιοι Δείκτες Ψυκτικών Νομέων (CDD : Οι δείκτες CDD υπολογίζονται ως η συσσωρευμένη διαφορά μεταξύ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας αναφοράς ψύξης (συνήθως 26°C) για όλες τις ημέρες κατά τις οποίες η θερμοκρασία υπερβαίνει την αναφορά. Το σύνολο των CDD χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης.

3 Ανάλυση του προτύπου ISO 52016-1:2017

3.1 Εισαγωγή του προτύπου ISO 52016-1:2017

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για ενεργειακή αποδοτικότητα στον κτιριακό τομέα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη εξελιγμένων προτύπων και μεθοδολογιών που μπορούν να περιγράψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, στο πλαίσιο της πολιτικής για την κλιματική αλλαγή και την απανθρακοποίηση, έχει ενισχύσει την υιοθέτηση συστημάτων αξιολόγησης και πιστοποίησης που εναρμονίζονται με διεθνή πρότυπα και πρακτικές[21]. Σε αυτό το πλαίσιο, το ISO 52016-1:2017 έρχεται να καλύψει ένα κενό, παρέχοντας μια αναλυτική και δυναμική μεθοδολογία υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών και των θερμικών φορτίων των κτιρίων[22].

Το πρότυπο καθορίζει με σαφήνεια τις διαδικασίες για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών θέρμανσης και ψύξης, των εσωτερικών θερμοκρασιών, καθώς και των αισθητών και λανθανόντων θερμικών φορτίων ενός κτιρίου [22]. Η μεθοδολογία που προτείνει βασίζεται σε δυναμική, ωριαία ανάλυση, με συνολικά 8760 χρονικά βήματα ανά έτος, επιτρέποντας έτσι την προσομοίωση σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Σε κάθε χρονικό βήμα επιλύεται μια ωριαία εξίσωση ενεργειακής ισορροπίας ανά θερμική ζώνη, η οποία ενσωματώνει τόσο τα εξωτερικά κλιματικά δεδομένα όσο και τις εσωτερικές θερμικές συνθήκες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται αναλυτική αποτύπωση των θερμικών και ενεργειακών ροών, ενώ αξιολογείται η θερμική αδράνεια και η δυναμική συμπεριφορά των συστημάτων του κτιρίου.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη ρεαλιστική απεικόνιση των πραγματικών λειτουργικών συνθηκών. Το πρότυπο επιτρέπει την εισαγωγή πραγματικών ωραρίων λειτουργίας, λαμβάνει υπόψη δυναμικές συνθήκες φόρτισης και υπολογίζει μεταβαλλόμενες αποδόσεις σε πραγματικό χρόνο, με στόχο την καλύτερη κατανόηση της απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού. Παράλληλα, περιλαμβάνει τη δυνατότητα λειτουργίας σε free-floating mode, δηλαδή σε προσομοίωση χωρίς θέρμανση ή ψύξη, προκειμένου να αξιολογηθεί η πραγματική θερμική συμπεριφορά του κτιρίου με βάση μόνο τις παθητικές του ιδιότητες.[22]

Πρέπει να επισημανθεί, ότι έχουν συμπεριληφθεί σημαντικές καινοτομίες ως προς τις δυνατότητες αξιοποίησής του. Πέρα από τον υπολογισμό ενεργειακών αναγκών, παρέχει εργαλεία για την αξιολόγηση θερμικής άνεσης των χρηστών, την ανάλυση αιχμών φορτίου (peak loads), καθώς και τη βελτίωση της διαστασιολόγησης των μηχανολογικών συστημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να υποστηρίξει τόσο τον σχεδιασμό νέων κτιρίων όσο και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας υφιστάμενων, συνεισφέροντας στη λήψη αποφάσεων για παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας [20].

Επιπλέον, το πρότυπο δίνει τη δυνατότητα για βελτιστοποίηση των ωραρίων λειτουργίας, μέσω της ανάλυσης του προφίλ χρήσης των χώρων και των εσωτερικών φορτίων. Προσφέρει επίσης ολοκληρωμένη ανάλυση επιδράσεων σκιάσεων, τόσο εσωτερικών όσο και εξωτερικών, σε συνδυασμό με γεωμετρικά χαρακτηριστικά και προσανατολισμό του κτιρίου. Έτσι, ενσωματώνει με μεγαλύτερη ακρίβεια την αλληλεπίδραση του κτιρίου με το περιβάλλον του και τις συνθήκες μικροκλίματος.[22]

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του προτύπου είναι η δυνατότητα παραμετροποίησης και προσαρμοστικότητας. Το πρότυπο επιτρέπει την εισαγωγή προφίλ λειτουργίας χρήσεων και χώρων (ωράρια, θερμικά φορτία, επιθυμητές θερμοκρασίες), καθώς και την προσαρμογή των ιδιοτήτων των συστημάτων και των δομικών στοιχείων (απόδοση εξοπλισμού, θερμική μάζα, συντελεστές θερμοπερατότητας)[22]. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο όχι μόνο για αποτίμηση αλλά και για παραμετρικές μελέτες και σενάρια βελτιστοποίησης, υποστηρίζοντας στρατηγικές που αφορούν τη μείωση κατανάλωσης, την αύξηση της διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την καλύτερη ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης.

Η χρονολογική ακρίβεια και η τεχνική ευελιξία που χαρακτηρίζουν το πρότυπο το καθιστούν κατάλληλο εργαλείο τόσο για νέα όσο και για υφιστάμενα κτίρια. Επιτρέπει τη ρεαλιστική αποτύπωση του κτιρίου ως δυναμικού συστήματος, όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος, εσωτερικών συνθηκών και τεχνικών συστημάτων συνδιαμορφώνει την ενεργειακή απόδοση[20]. Έτσι, το πρότυπο δεν λειτουργεί μόνο ως μέθοδος εκτίμησης, αλλά και ως εργαλείο ενεργειακής διαχείρισης, συνεισφέροντας στην ενίσχυση της αξιοπιστίας των ενεργειακών πιστοποιητικών και στην αποτελεσματικότερη χάραξη πολιτικών στον κτιριακό τομέα[21].

Σημαντική, είναι η προσθήκη δύο διακριτών μεθοδολογικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς το επίπεδο λεπτομέρειας και την υπολογιστική πολυπλοκότητα [22]. Η μηνιαία μέθοδος αποτελεί μια απλουστευμένη διαδικασία, η οποία βασίζεται στη χρήση μέσων τιμών και διορθωτικών συντελεστών, ώστε να παρέχει μια αξιόπιστη αλλά συγκριτικά γενικευμένη εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών, καθιστώντας την ιδιαίτερα κατάλληλη για τυποποιημένους ελέγχους συμμόρφωσης και για την έκδοση πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης [22]. Αντιθέτως, η ωριαία μέθοδος συνιστά μια πιο αναλυτική και δυναμική προσέγγιση, καθώς πραγματοποιεί υπολογισμούς με χρονικό βήμα μίας ώρας, αποτυπώνοντας με ακρίβεια την ενεργειακή ισορροπία κάθε θερμικής ζώνης και λαμβάνοντας υπόψη κρίσιμες παραμέτρους όπως η θερμική αδράνεια, η ηλιακή ακτινοβολία, τα εσωτερικά κέρδη και οι μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες [22]. Η λεπτομερής αυτή διερεύνηση καθιστά την ωριαία μέθοδο το καταλληλότερο εργαλείο για μελέτες βελτιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης, ανάλυση σεναρίων και υποστήριξη αποφάσεων σχεδιασμού [26]. Στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης, θα εστιάσουμε στην ωριαία μέθοδο.

Συνολικά, το ISO 52016-1:2017 αποτελεί μια σημαντική πρόοδο στη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Μέσα από τη δυναμική, ωριαία ανάλυση, την ενσωμάτωση πραγματικών λειτουργικών δεδομένων και τη δυνατότητα παραμετροποίησης, καταφέρνει να προσφέρει μια ολοκληρωμένη, ρεαλιστική και ευέλικτη προσέγγιση. Η συμβολή του εκτείνεται πέρα από την ενεργειακή πιστοποίηση, υποστηρίζοντας την ενεργειακή διαχείριση και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύει τη σημασία της θερμικής άνεσης και της πραγματικής απόδοσης των κτιρίων. Καθώς οι απαιτήσεις για βιώσιμα και αποδοτικά κτίρια εντείνονται, το πρότυπο προσφέρει το κατάλληλο πλαίσιο για να ανταποκριθεί ο κτιριακός τομέας στις προκλήσεις της ενεργειακής μετάβασης.

3.2 Μεθοδολογία ωριαίου υπολογισμού του προτύπου ISO 52016 2017

Ο ωριαίος υπολογισμός βασίζεται σε μια δυναμική μεθοδολογική προσέγγιση για τον προσδιορισμό των ενεργειακών αναγκών κτιρίων. Σε αντίθεση με τις παλαιότερες στατικές ή μηνιαίες μεθόδους, υιοθετεί την ανάλυση με χρονικό βήμα μιας ώρας σε ετήσια βάση (8760 χρονικά

βήματα), εξασφαλίζοντας ότι οι βραχυχρόνιες διακυμάνσεις του κλίματος, των εσωτερικών φορτίων και της χρήσης λαμβάνονται υπόψη στον ενεργειακό υπολογισμό [22]. Η μεθοδολογία αυτή επιτρέπει μια περισσότερο ρεαλιστική εκτίμηση των θερμικών και ψυκτικών αναγκών, ιδιαίτερα σε κτίρια με υψηλή ευαισθησία στις μεταβολές του περιβάλλοντος ή με σύνθετες χρήσεις.

Η βασική θεωρητική δομή στηρίζεται στη διατύπωση της εξίσωσης ενεργειακής ισορροπίας ανά θερμική ζώνη. Η εξίσωση αυτή λαμβάνει υπόψη τις θερμικές ροές μέσω του κελύφους, την ηλιακή ακτινοβολία, τις εσωτερικές θερμικές εκπομπές (φωτισμός, εξοπλισμός, άτομα), καθώς και τις απώλειες ή τα κέρδη λόγω αερισμού και διείσδυσης [23]. Η αριθμητική επίλυση σε ωριαία βάση οδηγεί στον προσδιορισμό των καθαρών θερμικών ή ψυκτικών φορτίων που απαιτούνται για τη διατήρηση των καθορισμένων εσωτερικών συνθηκών άνεσης.

Η θεμελιώδης μαθηματική αναπαράσταση του προτύπου βασίζεται σε ένα RC-μοντέλο (Resistance-Capacitance), το οποίο περιγράφει τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου ως συνδυασμό θερμικών αντιστάσεων (R) και θερμικών χωρητικότητας (C). Η διαφορική εξίσωση που προκύπτει αποτυπώνει τη μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας, καθώς και την αποθήκευση θερμικής ενέργειας στη μάζα του κτιρίου [24]. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια ισορροπία ανάμεσα στην ακρίβεια και στην υπολογιστική αποδοτικότητα, επιτρέποντας την εφαρμογή της μεθόδου τόσο σε απλουστευμένα μοντέλα όσο και σε πιο σύνθετες προσομοιώσεις.

Επιπρόσθετα, έχουν ενσωματωθεί εναρμονισμένες διαδικασίες υπολογισμού που καλύπτουν όχι μόνο τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), καθώς και την υγρασία, όπου απαιτείται [22]. Η ενιαία αυτή προσέγγιση συνάδει με την Ευρωπαϊκή Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD), παρέχοντας ένα κοινό πλαίσιο για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης. Η εισαγωγή της ωριαίας μεθοδολογίας συμβάλλει στη μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων και καθιστά το πρότυπο ένα ισχυρό εργαλείο για την έρευνα και τον ενεργειακό σχεδιασμό [25].

3.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και εσωτερικές συνθήκες

Η ωριαία μέθοδος επιτρέπει λεπτομερή δυναμική προσομοίωση των θερμικών αναγκών των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ζωνών και τις ωριαίες εσωτερικές συνθήκες, όπως προγράμματα χρήσης, αερισμός και εσωτερικά φορτία [22]. Η ολοκληρωμένη αυτή ανάλυση παρέχει ακριβή υπολογισμό θερμικών φορτίων και αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης [27].

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ζώνης

Ο όγκος της ζώνης καθορίζει τη μάζα αέρα και τη θερμική αντίδραση του χώρου:

$$V_{zone} = A_{floor} \cdot h$$

Η συνολική θερμική χωρητικότητα, που περιλαμβάνει τον αέρα και την αποτελεσματική θερμική μάζα των στοιχείων της ζώνης, εκφράζεται ως:

$$C_z = \rho_{air} c_p V_{zone} + \sum_i \rho_i c_{p,i} V_i$$

Αυτή η παράμετρος ρυθμίζει την ταχύτητα μεταβολής της θερμοκρασίας, λειτουργώντας ως φυσικός 'ρυθμιστής' των θερμικών διακυμάνσεων [28].

Εσωτερικές συνθήκες και χρονικά προγράμματα

Τα εσωτερικά φορτία περιλαμβάνουν θερμικά κέρδη από την παρουσία ανθρώπων, φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές:

$$Q_{int}(t) = Q_{occupancy}(t) + Q_{lighting}(t) + Q_{equipment}(t)$$

Ο αερισμός ή οι διαρροές αέρα υπολογίζονται ως:

$$Q_{ve}(t) = \dot{V}(t) \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_z(t) - T_{ext}(t)), \quad \dot{V}(t) = ACH(t) \cdot V_{zone}/3600$$

Η ηλιακή ακτινοβολία μέσω των παραθύρων εξαρτάται από την επιφάνεια, τον προσανατολισμό, την κλίση και τη σκίαση:

$$Q_{sol}(t) = A_{win} \cdot g \cdot I_s(t)$$

Ωριαία ενεργειακή ισορροπία

Η βασική εξίσωση ενέργειας κάθε ζώνης γράφεται ως:

$$C_z \frac{dT_z(t)}{dt} = Q_{gain}(t) - Q_{loss}(t) + Q_{sys}(t)$$

όπου τα κέρδη περιλαμβάνουν εσωτερικά φορτία, ηλιακή ακτινοβολία και τυχόν προσαγωγή θερμού αέρα, ενώ οι απώλειες περιλαμβάνουν μετάδοση, αερισμό/διαρροές και απώλειες συστημάτων. Η διακριτή μορφή για βήμα 1 ώρας δίνει:

$$T_z(t + \Delta t) = T_z(t) + \frac{\Delta t}{C_z} (Q_{gain}(t) - Q_{loss}(t) + Q_{sys}(t))$$

Ειδικές εξισώσεις για τους όρους μετάδοσης, αερισμού, ηλιακών κερδών και εσωτερικών φορτίων αναδεικνύουν την άμεση σύνδεση με τη γεωμετρία, τα υλικά και τα ωριαία προγράμματα χρήσης.

Η μέθοδος επιτρέπει την ανάλυση ευαισθησίας, αξιολογώντας πώς μικρές αλλαγές σε γεωμετρία, αερισμό ή εσωτερικά φορτία επηρεάζουν σημαντικά τις θερμικές απαιτήσεις. Η θερμοφυσική συμπεριφορά του κελύφους καθορίζει τη ροή ενέργειας μεταξύ εσωτερικού και περιβάλλοντος, επηρεάζοντας τις ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Οι κατευθύνσεις του προτύπου παρέχουν πλαίσιο για τον προσδιορισμό των θερμοφυσικών παραμέτρων των δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων, επιτρέποντας ακριβή πρόβλεψη θερμοκρασιών και θερμικών φορτίων[23][27].

3.2.2 Θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους

Η αξιολόγηση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του κελύφους αποτελεί βασικό στοιχείο για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Η θερμική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων, όπως τοίχοι, δάπεδα, οροφές και ανοίγματα, εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα, την πυκνότητα και τη θερμοχωρητικότητα, που καθορίζουν την ικανότητα των υλικών να αποθηκεύουν, να μεταφέρουν ή να απελευθερώνουν θερμότητα. Αυτές οι ιδιότητες επηρεάζουν άμεσα τη θερμική απόκριση των ζωνών και τις ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και ψύξης.

Η ωριαία μέθοδος υπολογισμού επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση θερμοκρασιών και θερμικών ροών για κάθε ζώνη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η θερμική μάζα, οι διαστάσεις των στοιχείων και τα ανοίγματα καθορίζουν τη δυναμική θερμική απόκριση, επηρεάζοντας τη διακύμανση της θερμοκρασίας και τη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας. Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ υλικών, γεωμετρίας και εσωτερικών συνθηκών χρήσης είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της ζήτησης ενέργειας και της θερμικής άνεσης.

Παραδειγματικός πίνακας θερμοφυσικών ιδιοτήτων

Πίνακας 1: Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών στοιχείων

Στοιχείο	A_i [m ²]	U_i [W/m ² K]	m_i [kg]	$c_{p,i}$ [J/kgK]	C_i [J/K]	Σημειώσεις
Τοίχος	10	0.5	800	840	672000	Τυπικό τούβλο
Δάπεδο	20	0.4	1000	900	900000	Οπλισμένο σκυρόδεμα
Οροφή	15	0.35	600	1000	600000	Μονωμένη οροφή
Παράθυρο	2	2.0	50	840	42000	Διπλό τζάμι

Ο συνολικός C_z προκύπτει από το άθροισμα των στοιχείων και του αέρα, επιτρέποντας εκτίμηση ωριαίων θερμικών ροών και θερμοκρασιακής μεταβολής. Η γνώση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων, σε συνδυασμό με κατάλληλη επιλογή υλικών, θερμική μάζα και γεωμετρία ανοιγμάτων, επιτρέπει ακριβείς υπολογισμούς για θέρμανση, ψύξη και άνεση.

3.2.3 Σύστημα θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης αποτελεί κρίσιμο υποσύστημα ενός κτιρίου, διατηρώντας τη θερμική άνεση κατά τους χειμερινούς μήνες. Η ωριαία μέθοδος του προτύπου ISO 52016 επιτρέπει την εκτίμηση των αναγκών θέρμανσης και της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη απώλειες, δυναμική απόκριση και στρατηγικές ελέγχου.

Χαρακτηριστικά συστήματος

- Τύπος: λέβητες (πετρελαίου, αερίου, βιομάζας), αντλίες θερμότητας, ηλεκτρικά σώματα ή δάπεδο.
- Βαθμός απόδοσης: παραγωγή, διανομή, εκπομπή, έλεγχος.
- Δυναμική λειτουργία: αδράνεια συστήματος, θερμική μάζα κτιρίου.
- Στρατηγικές ελέγχου: On/Off, αναλογικός, χρονικός προγραμματισμός, weather compensation.

Θεωρητικό πλαίσιο

Η περιγραφή ενός συστήματος θέρμανσης βασίζεται σε ορισμένες κρίσιμες παραμέτρους, οι οποίες σχετίζονται με τη ζήτηση, την απόδοση και τις απώλειες.

Θερμικό φορτίο

Το θερμικό φορτίο του χώρου, $Q_{\text{heat}}(t)$, εκφράζει την καθαρή ανάγκη για θέρμανση σε κάθε χρονική στιγμή t . Υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ των θερμικών απωλειών του κτιρίου $Q_{\text{loss}}(t)$ και των εσωτερικών/ηλιακών κερδών $Q_{\text{gain}}(t)$:

$$Q_{\text{heat}}(t) = Q_{\text{loss}}(t) - Q_{\text{gain}}(t)$$

Αποτελεί τη βασική παράμετρο που καθορίζει την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος.

Αποδιδόμενη θερμότητα

Η θερμότητα που παραδίδεται στον χώρο, $Q_{\text{del}}(t)$, εξαρτάται από την απόδοση του συστήματος η_{sys} . Η συνολική απόδοση προκύπτει από το γινόμενο επιμέρους αποδόσεων:

$$\eta_{\text{sys}} = \eta_{\text{gen}} \cdot \eta_{\text{dist}} \cdot \eta_{\text{em}} \cdot \eta_{\text{ctrl}}$$

Απόδοση παραγωγής

Λέβητες: Η απόδοση παραγωγής, $\eta_{\text{gen}}(t)$, μειώνεται σε μερικό φορτίο, ανάλογα με τον λόγο λειτουργίας $PLR(t)$.

Αντλίες θερμότητας: Η σχέση μεταξύ αποδιδόμενης θερμότητας και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας εκφράζεται μέσω του δείκτη COP . Η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς είναι:

$$W_{\text{el}} = \frac{Q_{\text{del}}}{COP}$$

Διανομή και εκπομπή

Κατά τη διανομή εμφανίζονται απώλειες θερμότητας $Q_{\text{dist,loss}}$, οι οποίες εξαρτώνται από τη μέση θερμοκρασία νερού στις σωληνώσεις $T_{\text{water,mean}}$ και τις συνθήκες περιβάλλοντος T_{amb} .

Η εκπομπή θερμότητας στον χώρο περιγράφεται από:

$$Q_{\text{rad}} = UA_{\text{rad}} \cdot (T_m - T_{\text{room}})$$

όπου UA_{rad} είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του σώματος και T_{room} η εσωτερική θερμοκρασία.

Στρατηγικές ελέγχου

Ο έλεγχος του συστήματος καθορίζει την ενεργειακή του συμπεριφορά.

- **Απλός έλεγχος On/Off:** Η μονάδα ενεργοποιείται όταν $T_{\text{room}} < T_{\text{set}} - \Delta$ και απενεργοποιείται όταν $T_{\text{room}} > T_{\text{set}} + \Delta$.
- **Αντιστάθμιση (weather compensation):** Η θερμοκρασία προσαγωγής ορίζεται ως γραμμική συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας T_{ext} .

Δυναμική συμπεριφορά

Η θερμική μάζα του κτιρίου περιγράφεται μέσω μιας χωρητικότητας C_{tot} , η οποία επηρεάζει τη χρονική απόκριση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Η χαρακτηριστική σταθερά χρόνου ορίζεται ως:

$$\tau = \frac{C_{\text{tot}}}{UA_{\text{tot}}}$$

και εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο το κτίριο αποκρίνεται στις μεταβολές φορτίου και ελέγχου.

Πρωτογενής ενέργεια και εκπομπές CO₂

$$E_{\text{prim}} = \frac{Q_{\text{fuel}}}{\eta_{\text{fuel2el}}}, \quad m_{\text{CO2}} = E_{\text{prim}} \cdot \text{emission factor}$$

3.2.4 Σύστημα ψύξης

Η εκτίμηση της ζήτησης ψύξης σε ένα κτίριο είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης και την ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας. Το ISO 52016 χρησιμοποιεί ωριαία μεθοδολογία, λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική αλληλεπίδραση κελύφους, εσωτερικών φορτίων, ηλιακής ακτινοβολίας και συστημάτων HVAC.

Βασική ωριαία εξίσωση ζώνης:

$$T_z(t + \Delta t) = T_z(t) + \frac{\Delta t}{C_z} (\Phi_{\text{int}} + \Phi_{\text{sol}} + \Phi_{\text{vent}} + \Phi_{\text{tr}} + \Phi_{\text{sys}})$$

όπου $\Phi_{\text{sys}} < 0$ για ψύξη. Το ψυκτικό φορτίο προκύπτει όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει το set-point ψύξης $T_{\text{set,cool}}$.

Διαχωρισμός sensible και latent

- Sensible: αλλαγή θερμοκρασίας αέρα, υπολογίζεται από αγωγιμότητα, ηλιακά και εσωτερικά κέρδη.
- Latent: φορτία λόγω υγρασίας (άνθρωποι, αερισμός, εξοπλισμός), υπολογίζεται ως $\Phi_{\text{latent,eq}} = \dot{m}_w \cdot r$, όπου $r \approx 2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$.

$$\Phi_{\text{cool,need}} = \Phi_{\text{sensible}} + \Phi_{\text{latent,eq}}$$

Μεθοδολογία υπολογισμού θερμικών και ψυκτικών Φορτίων με οικιακό split AC

Η εκτίμηση των απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη αποτελεί κρίσιμο στάδιο στον ενεργειακό σχεδιασμό και στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας κλιματιστικών συστημάτων. Η διαδικασία βασίζεται σε μία διαδοχή βημάτων, τα οποία διασφαλίζουν την ορθή εκτίμηση του φορτίου και της τελικής κατανάλωσης.

Βήμα 1 — Προσδιορισμός ανάγκης για θέρμανση ή ψύξη

Η ανάλυση εκκινεί με τη σύγκριση της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_{ext} με την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου (set-point) T_{set} .

- Αν $T_{\text{ext}} > T_{\text{set}}$, απαιτείται λειτουργία ψύξης.
- Αν $T_{\text{ext}} < T_{\text{set}}$, απαιτείται λειτουργία θέρμανσης.
- Αν $T_{\text{ext}} = T_{\text{set}}$, η ενεργοποίηση του συστήματος δεν είναι απαραίτητη.

Βήμα 2 — Έλεγχος τήρησης του set-point και προσδιορισμός θερμικού φορτίου

Καθορίζονται οι θερμικές ροές που τείνουν να απομακρύνουν τη θερμοκρασία του χώρου από το set-point.

Θερμικές απώλειες/κέρδη μέσω δομικών στοιχείων:

$$\Phi_{\text{tr}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{set}})$$

Φορτίο αερισμού/διείσδυσης:

$$\Phi_{\text{vent}} = \rho c_p \dot{V} (T_{\text{ext}} - T_{\text{set}})$$

Ηλιακά κέρδη (στην περίπτωση ψύξης):

$$\Phi_{\text{sol}} = g \cdot A_{\text{win}} \cdot I_s \cdot F_{\text{sh}}$$

Εσωτερικά κέρδη από χρήστες και εξοπλισμό:

$$\Phi_{\text{int}}$$

Συνολικό φορτίο:

Ψύξη:

$$\Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{tr}} + \Phi_{\text{vent}} + \Phi_{\text{int}} + \Phi_{\text{sol}}$$

Θέρμανση:

$$\Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{tr}} + \Phi_{\text{vent}} - \Phi_{\text{sol}} - \Phi_{\text{int}}$$

Βήμα 3 — Έλεγχος επάρκειας συστήματος

Η πραγματική απόδοση του κλιματιστικού συγκρίνεται με το υπολογισθέν φορτίο:

$$\Phi_{\text{total}} \leq \Phi_{\text{AC,avail}}$$

Αν η ανισότητα ισχύει, το σύστημα καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του χώρου.

Βήμα 4 — Περίπτωση ανεπαρκούς ισχύος

Αν το απαιτούμενο φορτίο υπερβαίνει τη μέγιστη διαθέσιμη ισχύ:

$$\Phi_{\text{total}} > \Phi_{\text{AC,avail}}$$

τότε η μονάδα λειτουργεί στη μέγιστη ισχύ της:

$$\Phi_{\text{covered}} = \Phi_{\text{AC,avail}}$$

Βήμα 5 — Υπολογισμός τελικού φορτίου και ηλεκτρικής κατανάλωσης

Η πραγματική κάλυψη του φορτίου δίνεται από:

$$\Phi_{\text{covered}} = \min(\Phi_{\text{total}}, \Phi_{\text{AC,avail}})$$

Η ηλεκτρική κατανάλωση εκτιμάται μέσω του δείκτη απόδοσης (COP ή EER):

$$P_{\text{el}} = \frac{\Phi_{\text{covered}}}{\text{COP}}$$

Συμπέρασμα

Η παραπάνω μεθοδολογία παρέχει μια συστηματική και γενικεύσιμη διαδικασία για την αποτίμηση των αναγκών σε ψύξη και θέρμανση με χρήση οικιακών split AC. Μέσω της διάκρισης των επιμέρους θερμικών ροών, του ελέγχου επάρκειας της μονάδας και του υπολογισμού της κατανάλωσης, εξασφαλίζεται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για ενεργειακές προσομοιώσεις και συγκριτική αξιολόγηση συστημάτων.

3.2.5 Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Η παραγωγή ZNX αποτελεί έναν από τους βασικούς τομείς κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια. Το ISO 52016 προτείνει δυναμική ωριαία μεθοδολογία, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τη ζήτηση όσο και τα χαρακτηριστικά του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης, επιτρέποντας ακριβείς εκτιμήσεις φορτίων και κατανάλωσης ενέργειας.

Βασική μεθοδολογία

Υπολογισμοί σε ωριαία βήματα ($\Delta t = 1 \text{ h}$):

- Ωριαία ζήτηση ZNX: $V_{\text{d,hot}}(t)$ με βάση προφίλ χρήσης.
- Θερμικό φορτίο για ανύψωση θερμοκρασίας:

$$Q_{\text{DHW}}(t) = \rho c_p V_{\text{d,hot}}(t) (T_{\text{set}} - T_{\text{mains}})$$

- Ενσωμάτωση απωλειών στο δίκτυο και στο δοχείο αποθήκευσης.
- Λειτουργία της πηγής ενέργειας (ηλεκτρικός θερμοσίφωνας).

Μεταβλητές και παράμετροι

- $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$, $c_p \approx 4180 \text{ J/(kgK)}$
- T_{mains} : θερμοκρασία παροχής, εξαρτώμενη από κλίμα/εποχή
- T_{set} : θερμοκρασία κατανάλωσης (συνήθως 50°C)
- η_{sys} : απόδοση συστήματος (ηλεκτρικός θερμοσίφωνας ≈ 1)
- $Q_{\text{loss,stor}}$: απώλειες δοχείου αποθήκευσης

Δυναμική εξίσωση ενεργειακής ισορροπίας δοχείου

$$C_{\text{stor}} \frac{dT_{\text{stor}}}{dt} = Q_{\text{in}}(t) - Q_{\text{DHW}}(t) - Q_{\text{loss,stor}}(t)$$

όπου C_{stor} η θερμική χωρητικότητα του δοχείου.

Αριθμητικό παράδειγμα — κατοικία

- Ωριαία ζήτηση: $V_{\text{d,hot}} = 0.05 \text{ m}^3/\text{h}$
- Θερμοκρασία παροχής: $T_{\text{mains}} = 15^\circ\text{C}$
- Θερμοκρασία κατανάλωσης: $T_{\text{set}} = 50^\circ\text{C}$
- Απόδοση συστήματος: $\eta_{\text{sys}} = 1$
- Χωρητικότητα δοχείου: $C_{\text{stor}} = 200 \text{ l}$

Υπολογισμός ωριαίου θερμικού φορτίου:

$$Q_{\text{DHW}} = 1000 \cdot 4180 \cdot 0.05 \cdot (50 - 15) = 7.32 \times 10^6 \text{ J} \approx 2.03 \text{ kWh}$$

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά ώρα αιχμής: $\sim 2.03 \text{ kWh}$. Σε 10 ώρες ημερήσιας χρήσης, η συνολική κατανάλωση: $\sim 20.3 \text{ kWh}$.

3.2.6 Εσωτερικά και ηλιακά κέρδη

Το ISO 52016 υιοθετεί δυναμική (hourly) μεθοδολογία για τον υπολογισμό ενεργειακών απαιτήσεων. Τα internal gains και τα solar gains επηρεάζουν άμεσα τη θερμική ισορροπία κάθε ζώνης. Οι πηγές internal gains περιλαμβάνουν χρήστες, φωτισμό και εξοπλισμό, ενώ τα solar gains σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία μέσω διαφανών στοιχείων.

Βασική εξίσωση ενεργειακής ισορροπίας

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = Q_{\text{int}}(t) + Q_{\text{sol}}(t) - Q_{\text{tr}}(t) - Q_{\text{ve}}(t) + Q_{\text{sys}}(t)$$

όπου:

- C_z : θερμοχωρητικότητα ζώνης [J/K]
- T_z : θερμοκρασία ζώνης [$^\circ\text{C}$]
- Q_{int} : internal gains [W]
- Q_{sol} : solar gains [W]
- Q_{tr} : θερμοπερατότητα [W]
- Q_{ve} : αερισμός/διείσδυση [W]
- Q_{sys} : θέρμανση/ψύξη [W]

Αριθμητικό παράδειγμα — οικιακή ζώνη

1. Καθορισμός των δεδομένων της ζώνης

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασιακής εξέλιξης μιας κλειστής ζώνης, καθορίζονται τα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά:

$$A_{\text{floor}} = 20 \text{ m}^2, \quad h = 2.8 \text{ m}, \quad V_z = 56 \text{ m}^3, \\ C_z \approx 117200 \text{ J/K}, \quad T_z = 20^\circ\text{C}, \quad T_{\text{ext}} = 0^\circ\text{C}.$$

Θερμικές ιδιότητες δομικών στοιχείων και χαρακτηριστικά αερισμού/κερδών:

- Τοίχοι: $U_{\text{wall}} = 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $A_{\text{wall}} = 10 \text{ m}^2$
- Παράθυρα: $U_{\text{win}} = 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0.6$, $A_{\text{win}} = 2 \text{ m}^2$
- Εσωτερικά κέρδη: $Q_{\text{int}} = 150 \text{ W}$
- Ηλιακή ακτινοβολία: $I_s = 200 \text{ W/m}^2$
- Αερισμός: $\text{ACH} = 0.5 \text{ h}^{-1}$

2. Υπολογισμός των θερμικών ροών

Απώλειες μέσω δομικών στοιχείων:

$$Q_{\text{tr,wall}} = U_{\text{wall}} \cdot A_{\text{wall}} \cdot (T_z - T_{\text{ext}}) = 100 \text{ W}$$

$$Q_{\text{tr,win}} = U_{\text{win}} \cdot A_{\text{win}} \cdot (T_z - T_{\text{ext}}) = 80 \text{ W}$$

Απώλειες λόγω αερισμού:

$$\dot{V} = \frac{\text{ACH} \cdot V_z}{3600} \approx 0.00778 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{ve}} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_z - T_{\text{ext}}) \approx 186.7 \text{ W}$$

Κερδοφορία από ηλιακή ακτινοβολία:

$$Q_{\text{sol}} = A_{\text{win}} \cdot g \cdot I_s = 240 \text{ W}$$

3. Συνολικό θερμικό ισοζύγιο

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{int}} + Q_{\text{sol}} - Q_{\text{tr,wall}} - Q_{\text{tr,win}} - Q_{\text{ve}} \approx 23.3 \text{ W}$$

Η μικρή θετική τιμή του Q_{total} υποδηλώνει ότι η ζώνη θερμαίνεται αργά λόγω των εσωτερικών και ηλιακών κερδών.

4. Υπολογισμός της μεταβολής θερμοκρασίας

$$\Delta T = \frac{Q_{\text{total}} \cdot \Delta t}{C_z} = \frac{23.3 \cdot 3600}{117200} \approx 0.717^\circ\text{C}$$

Σε χρονικό διάστημα μιας ώρας, η θερμοκρασία της ζώνης αυξάνεται περίπου κατά 0.7°C .

5. Συμπεράσματα

Η ωριαία δυναμική μέθοδος επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση της θερμοκρασιακής εξέλιξης μιας ζώνης με βάση τη γεωμετρία, τη θερμοχωρητικότητα, τις θερμικές απώλειες και τα κέρδη.

Τα internal gains και τα solar gains παρέχουν σημαντική συμβολή στην αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ οι απώλειες μέσω αερισμού και δομικών στοιχείων περιορίζουν το θετικό ισοζύγιο.

Η μέθοδος προσφέρει ακριβή και συστηματική προσέγγιση, χρήσιμη για ενεργειακή ανάλυση κτιρίων και σχεδιασμό συστημάτων HVAC.

3.2.7 Σύστημα αερισμού

Το σύστημα αερισμού εξασφαλίζει ποιότητα εσωτερικού αέρα (IAQ) και επηρεάζει σημαντικά το θερμικό ισοζύγιο της ζώνης. Στην ωριαία μεθοδολογία:

1. Υπολογίζονται οι παροχές αέρα (mechanical ventilation, infiltration, natural ventilation),
2. Υπολογίζεται η θερμική επιβάρυνση/όφελος από τον αερισμό (sensible + latent),
3. Εάν υπάρχει heat recovery (HR), εφαρμόζεται η επίδραση ανάκτησης,
4. Συμπεριλαμβάνεται η κατανάλωση ανεμιστήρων/αντλιών.

Το αποτέλεσμα ενσωματώνεται στην ωριαία εξίσωση ενέργειας της ζώνης ως όρος:

$$Q_{ve}(t)$$

Κύριες μεταβλητές:

$V_z [m^3]$: όγκος ζώνης, $\dot{V}(t) [m^3/s]$: παροχή αέρα, $ACH(t) [h^{-1}]$: air changes per hour,

$$\dot{m}(t) = \rho_{air} \dot{V}(t)$$

$$\rho_{air} \approx 1.2 \text{ kg/m}^3, \quad c_{p,air} \approx 1000 \text{ J/(kgK)}, \quad T_z(t), T_{ext}(t) [^\circ\text{C}], \quad x_z(t), x_{ext}(t) [\text{kg/kg}]$$

η_{HR} : αποδοτικότητα ανάκτησης θερμότητας, ε : enthalpy effectiveness,

$$P_{fan} [W], \quad \Delta p [Pa], \quad \eta_{fan}$$

Μορφές παροχής αέρα

$$\dot{V}(t) = \frac{ACH(t) V_z}{3600}, \quad \dot{V}_{inf} = C_s A_{leak} g H \frac{\Delta T}{T} \quad \text{ή} \quad \dot{V} = C \cdot \Delta p^n$$

Φυσικός αερισμός: $\dot{V}(t)$ ως συνάρτηση προγράμματος ανοίγματος παραθύρων.

Θερμικό φορτίο αερισμού

$$Q_{s,ve}(t) = \dot{m}(t) c_{p,air} (T_z(t) - T_{supply}(t)), \quad Q_{\ell,ve}(t) = \dot{m}(t) h_v (x_z(t) - x_{supply}(t)),$$

$$h_v \approx 2.5 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$Q_{ve}(t) = Q_{s,ve}(t) + Q_{\ell,ve}(t)$$

Ανάκτηση θερμότητας (heat recovery)

$$\eta_{HR} = \frac{T_{extract} - T_{supply}}{T_{extract} - T_{ext}}, \quad h_{supply} = h_{ext} + \varepsilon(h_{extract} - h_{ext})$$

$$P_{fan} = \frac{\dot{V}(t) \Delta p}{\eta_{fan}}$$

Στρατηγικές λειτουργίας

- Constant flow: σταθερή παροχή αέρα.
- Schedule-based: ρυθμιζόμενη παροχή ημέρα/νύχτα.
- Demand Controlled Ventilation (DCV): παροχή προσαρμοσμένη σε CO2 ή πληρότητα.
- Night purge: νυχτερινός αερισμός για ψύξη θερμικής μάζας.
- Bypass / free-cooling: χρήση εξωτερικού αέρα για μειωμένη κατανάλωση.

Ωριαίος αλγόριθμος

1. Εισαγωγή εισόδων: $T_{ext}(t), x_{ext}(t), I_s(t)$, occupancy schedule, $ACH(t), \eta_{HR}$, infiltration.
2. Υπολογισμός συνολικής παροχής: $\dot{V}_{total}(t) = \dot{V}_{mech} + \dot{V}_{inf} + \dot{V}_{nat}$.
3. Υπολογισμός θερμοκρασίας παροχής: $T_{supply}(t) = T_{ext} + \eta_{HR}(T_{extract} - T_{ext})$ ή T_{ext} .
4. Υπολογισμός μαζικής ροής: $\dot{m}(t) = \rho_{air} \dot{V}(t)$.
5. Υπολογισμός sensible και latent φορτίου, συνολικού $Q_{ve}(t)$.
6. Ενημέρωση θερμοκρασίας ζώνης:

$$T_z(t + \Delta t) = T_z(t) + \frac{\Delta t}{C_z} (Q_{gain} - Q_{tr} - Q_{ve} + Q_{sys})$$

7. Υπολογισμός ισχύος και ενέργειας ανεμιστήρων: $P_{fan}(t) = \dot{V} \Delta p / \eta_{fan}$, $E_{fan} = P_{fan} \Delta t$.

Συμπερασματικά σημεία

- Ο αερισμός είναι κρίσιμη παράμετρος για την ενεργειακή συμπεριφορά.
- Η ανάκτηση θερμότητας μειώνει σημαντικά τις θερμικές απώλειες.
- Ο έλεγχος (schedules, DCV, night purge) επηρεάζει την ωριαία παροχή και τις ενεργειακές απαιτήσεις.
- Η ηλεκτρική ενέργεια των ανεμιστήρων πρέπει να συμπεριληφθεί σε συνολικές εκτιμήσεις πρωτογενούς ενέργειας.

3.2.8 Τερματικές Μονάδες

Οι τερματικές μονάδες αποτελούν το τελικό στάδιο μεταφοράς ενέργειας προς τις θερμικές ζώνες ενός κτιρίου, επιτρέποντας την προσαρμογή της θέρμανσης ή ψύξης στις πραγματικές ανάγκες κάθε χώρου. Η ωριαία προσέγγιση υπολογίζει τη θερμοκρασία ζώνης με βάση τη ζήτηση, τα εσωτερικά και ηλιακά κέρδη, τις θερμικές απώλειες και την αδράνεια της μάζας. Η βασική εξίσωση ισοζυγίου θερμότητας είναι:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = Q_{\text{gain}}(t) - Q_{\text{loss}}(t) + Q_{\text{term}}(t)$$

Η θερμοκρασία ενημερώνεται κάθε ωριαίο βήμα:

$$T_z(t + \Delta t) = T_z(t) + \frac{\Delta t}{C_z} (Q_{\text{gain}} - Q_{\text{loss}} + Q_{\text{term}}), \quad \Delta t = 3600 \text{ s.}$$

Με αυτόν τον τρόπο, λαμβάνονται υπόψη η θερμική αδράνεια, οι διακυμάνσεις ζήτησης (θέρμανση, ψύξη, DHW) και οι ωριαίες ρυθμίσεις λειτουργίας των τερματικών μονάδων.

Κύριες παράμετροι τερματικών μονάδων

Οι βασικές παράμετροι περιλαμβάνουν την ονομαστική ισχύ, την απόδοση, την αδράνεια, τις θερμοκρασίες προσαγωγής και επιστροφής, την παροχή αέρα σε μονάδες fan-coil, τα ωράρια λειτουργίας, καθώς και την ενεργειακή απόδοση (COP/EER) για κλιματιστικά. Η ωριαία μεταβολή της θερμοκρασίας ζώνης προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ θερμικών κερδών, απωλειών και της συνεισφοράς των τερματικών μονάδων.

Ειδικές περιπτώσεις

Σε απλά συστήματα θέρμανσης, όπως θερμαντικά σώματα με λέβητα πετρελαίου, η θερμική ισχύς εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας προσαγωγής-ζώνης και περιορίζεται από την μέγιστη ισχύ του λέβητα.

Συμπεράσματα

Η δυναμική ωριαία προσέγγιση επιτρέπει ακριβή εκτίμηση θερμικής άνεσης και ενεργειακής απόδοσης, προσομοιώνοντας τη συμπεριφορά των τερματικών μονάδων σε πραγματικό χρόνο και διευκολύνοντας τον σχεδιασμό συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης σε οικιακά και μικρά κτίρια.

3.2.9 Σύστημα φωτισμού

Ο φωτισμός αποτελεί σημαντικό μέρος της ηλεκτρικής ζήτησης των κτιρίων και επηρεάζει τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, καθώς παράγει θερμότητα που συμβάλλει στα θερμικά κέρδη της ζώνης. Η ακριβής εκτίμηση της κατανάλωσης απαιτεί δυναμική ωριαία ανάλυση καθ' όλο το έτος, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις ωραρίου λειτουργίας και φυσικού φωτισμού.

Βασικές Παράμετροι

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν τη συμπεριφορά του φωτισμού περιλαμβάνουν την ονομαστική ισχύ, τους παράγοντες χρήσης και συντήρησης, τα ωριαία προγράμματα λειτουργίας, τον τύπο φωτιστικών (π.χ. LED, φθορισμού, πυρακτώσεως) και την αλληλεπίδραση με φυσικό φωτισμό (daylight factor). Η ηλεκτρική κατανάλωση ανά ώρα υπολογίζεται με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, ενώ ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα και προστίθεται στην ωριαία θερμική ισορροπία της ζώνης.

Θερμικά Κέρδη και Ενεργειακή Ισορροπία

Η θερμότητα από τον φωτισμό ενσωματώνεται στα θερμικά φορτία της ζώνης και επηρεάζει τη θέρμανση ή την ψύξη. Η ωριαία θερμική ισορροπία περιλαμβάνει όλα τα κέρδη και τις απώλειες, με τη θερμική συμβολή του φωτισμού να υπολογίζεται ως ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται:

$$C \frac{dT_{\text{zone}}}{dt} = \sum Q_{\text{in}} - \sum Q_{\text{out}} + Q_{\text{light}} + \dots$$

Δυναμική Ωριαία Προσομοίωση

Η ωριαία ανάλυση επιτρέπει την εκτίμηση μεταβλητής ηλεκτρικής κατανάλωσης και θερμικών κερδών, λαμβάνοντας υπόψη τον φυσικό φωτισμό, τους αισθητήρες ημέρας και τα χρονικά προγράμματα. Τα αθροιστικά αποτελέσματα για όλες τις ζώνες παρέχουν τη συνολική ηλεκτρική ζήτηση και τα θερμικά κέρδη του κτιρίου, τα οποία ενσωματώνονται στην προσομοίωση για την εκτίμηση της θερμοκρασίας ζώνης και της ενεργειακής απόδοσης.

Συμπεράσματα

Η περιγραφική, ωριαία προσέγγιση του φωτισμού επιτρέπει:

- Ακριβή εκτίμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά ζώνη και ανά ώρα.
- Ανάλυση των θερμικών επιπτώσεων του φωτισμού στο κτίριο.
- Προσομοίωση ελέγχων φωτισμού (π.χ. αισθητήρες ημέρας, χρονοδιακόπτες).
- Σύνδεση φωτισμού με τη θερμική συμπεριφορά και ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

3.2.10 Κλιματικά δεδομένα

Τα κλιματικά δεδομένα αποτελούν κρίσιμη είσοδο για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου. Η ωριαία μέθοδος απαιτεί λεπτομερή πληροφορία για τις εξωτερικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τις θερμικές απώλειες, τα ηλιακά κέρδη και τις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού. Τα δεδομένα αυτά αντλούνται συνήθως από εθνικές ή διεθνείς βάσεις δεδομένων κλίματος, αρχεία μετεωρολογικών παρατηρήσεων ή προσομοιώσεις κλίματος (π.χ. αρχεία τύπου EPW), εξασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια και συνέπεια στην προσομοίωση.

Είδη Κλιματικών Δεδομένων

- Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα: $T_{\text{ext}}(t)$
Χρησιμοποιείται στην εξίσωση θερμικών απωλειών:

$$Q_{\text{loss,trans}}(t) = \sum_i U_i \cdot A_i \cdot (T_{\text{int}}(t) - T_{\text{ext}}(t))$$

όπου U_i = συντελεστής θερμοπερατότητας στοιχείου i , A_i = επιφάνεια στοιχείου, T_{int} = θερμοκρασία ζώνης.

- Ηλιακή ακτινοβολία: $G(t)$
Θερμικά κέρδη μέσω ανοιγμάτων:

$$Q_{\text{gain,sol}}(t) = \sum_j g_j \cdot A_{\text{window},j} \cdot I_{\text{sol},j}(t)$$

όπου g_j = συντελεστής ηλιακής διείσδυσης υαλοπίνακα j , $A_{\text{window},j}$ = επιφάνεια παραθύρου, $I_{\text{sol},j}$ = προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

- Σχετική υγρασία: $RH(t)$
Επηρεάζει την άνεση και την εσωτερική υγρασία σε προσομοιώσεις υγρομετρικής ισορροπίας και ενεργειακής ανάλυσης HVAC.
- Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου: $v(t), \theta_{\text{wind}}(t)$
Χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό αερισμού και διείσδυσης αέρα:

$$Q_{\text{vent}}(t) = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V}_{\text{air}}(t) \cdot (T_{\text{int}}(t) - T_{\text{ext}}(t))$$

όπου $\dot{V}_{\text{air}}(t)$ = παροχή αέρα που εξαρτάται από τα κλιματικά χαρακτηριστικά του ανέμου.

Ωριαία Δεδομένα

Η μέθοδος απαιτεί ωριαία δεδομένα (8760 βήματα/έτος):

- $T_{\text{ext}}(t)$ – θερμοκρασία εξωτερικού αέρα
- $G_{h,\text{global}}(t)$ – παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία στην οριζόντια επιφάνεια
- $RH(t)$ – σχετική υγρασία
- $v(t), \theta_{\text{wind}}(t)$ – ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου
- Δεδομένα νεφοκάλυψης και διάχυτης ακτινοβολίας

Αυτά συνήθως αντλούνται από αρχεία EPW, διεθνείς βάσεις (IWEBC, Meteonorm) ή εθνικές μετεωρολογικές υπηρεσίες.

Προσαρμογή σε Ζώνες Κτιρίου

Το πρότυπο επιτρέπει τον υπολογισμό θερμικών φορτίων ανά ζώνη χρησιμοποιώντας τα ωριαία κλιματικά δεδομένα:

$$C_z \frac{dT_z(t)}{dt} = \sum_i U_i A_i (T_{\text{ext}}(t) - T_z(t)) + \sum_j g_j A_{\text{window},j} I_{\text{sol},j}(t) + Q_{\text{int}}(t) + Q_{\text{HVAC}}(t)$$

Όπου:

- C_z = θερμική χωρητικότητα ζώνης
- $Q_{\text{int}}(t)$ = εσωτερικά φορτία (ηλεκτρικά, φωτισμός, άνθρωποι)
- $Q_{\text{HVAC}}(t)$ = θερμική ισχύς θέρμανσης/ψύξης

Εφαρμογή στις Ενεργειακές Αναλύσεις

Η χρήση λεπτομερών κλιματικών δεδομένων επιτρέπει:

- Ακριβή εκτίμηση αναγκών θέρμανσης/ψύξης
- Προσομοίωση διακύμανσης θερμοκρασίας ζώνης ωριαία
- Υπολογισμό ηλιακών κερδών και επιπτώσεων σκίασης
- Αξιολόγηση συστήματος φωτισμού και φυσικού φωτισμού

Η ωριαία προσομοίωση επιτρέπει την ενσωμάτωση ακραίων κλιματικών καταστάσεων, σε αντίθεση με τις μεθόδους μέσω μηνιαίων δεδομένων.

4 Σύγκριση μεθοδολογίας KENAK με ISO 52016-1:2017

4.1 Μεθοδολογική Βάση

Η μεθοδολογική βάση των υπολογισμών ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων διαφοροποιείται ουσιαστικά ανάμεσα στον ελληνικό Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) και το διεθνές πρότυπο ISO 52016-1:2017, κυρίως ως προς τον χρονικό ορίζοντα ανάλυσης, τη λεπτομέρεια περιγραφής και τον βαθμό ακρίβειας.

Ο KENAK, μέσω της T.O.T.E.E. 20701-1/2017, υιοθετεί αποκλειστικά τη μηνιαία ημιστατική μεθοδολογία (quasi-steady state). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε μέσες τιμές εξωτερικών κλιματικών συνθηκών και εσωτερικών φορτίων, με υπολογισμούς που πραγματοποιούνται σε μηνιαία βάση. Ουσιαστικά, κάθε μήνας αντιμετωπίζεται ως ένα στατικό ισοζύγιο ενέργειας, στο οποίο συνεκτιμώνται οι θερμικές απώλειες μέσω αγωγιμότητας και αερισμού, τα ηλιακά κέρδη, καθώς και τα εσωτερικά φορτία από χρήστες, φωτισμό και εξοπλισμό. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αντανακλά τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ (EPBD), η οποία επιτρέπει τη χρήση απλοποιημένων μεθόδων, ώστε να καταστεί εφικτή η εφαρμογή σε ευρεία εθνική κλίμακα. Παρότι η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει πρακτικότητα και τυποποίηση, η βασική της αδυναμία είναι ότι δεν μπορεί να αποδώσει με ακρίβεια τις δυναμικές μεταβολές των θερμικών συνθηκών, καθώς και τη χρονική διαφοροποίηση των φορτίων και των προφίλ χρήσης.

Αντίθετα, το πρότυπο ISO 52016-1:2017 εισάγει την ωριαία δυναμική μεθοδολογία, η οποία αποτελεί μια σαφή αναβάθμιση σε σχέση με τα προγενέστερα πρότυπα (όπως το EN ISO 13790). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην επίλυση εξισώσεων ενεργειακής ισορροπίας για κάθε θερμική ζώνη, με χρονικό βήμα μία ώρα, καλύπτοντας έτσι το σύνολο των 8760 ωρών του έτους. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι κάθε θερμική ζώνη του κτιρίου περιγράφεται με διαφορικές εξισώσεις που συνδυάζουν τις θερμικές εισροές και εκροές, όπως:

$$C_z \cdot \frac{dT_z}{dt} = \sum Q_{\text{κέρδη}} - \sum Q_{\text{απώλειες}}$$

Η ωριαία μέθοδος ενσωματώνει άμεσα την επίδραση μεταβαλλόμενων εξωτερικών συνθηκών (θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία, άνεμος), καθώς και των χρονικά εξαρτώμενων προφίλ χρήσης, φωτισμού και εξοπλισμού.

Η βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις έγκειται στο επίπεδο ανάλυσης: ο KENAK προσεγγίζει το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου σε μακροσκοπική, μηνιαία κλίμακα, ενώ το ISO 52016-1:2017 μέσω της ωριαίας μεθόδου αποτυπώνει τη λεπτομερή δυναμική συμπεριφορά του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό συνεπάγεται σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο στην ακρίβεια όσο και στις απαιτήσεις σε δεδομένα και υπολογιστικούς πόρους.

Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

KENAK – Μηνιαία Μέθοδος

Πλεονεκτήματα:

- Εξαιρετικά απλή στην εφαρμογή, με περιορισμένο υπολογιστικό κόστος.

- Κατάλληλη για χρήση σε εθνικό επίπεδο, εξασφαλίζοντας ομοιομορφία και συγκρισιμότητα αποτελεσμάτων.
- Βασίζεται σε τυποποιημένες παραδοχές και κλιματικά δεδομένα, διευκολύνοντας την εφαρμογή σε πλήθος μελετών.

Μειονεκτήματα:

- Περιορισμένη ακρίβεια λόγω χρήσης μέσων μηνιαίων δεδομένων που δεν αντικατοπτρίζουν βραχυχρόνιες διακυμάνσεις.
- Αδυναμία αποτύπωσης μεταβατικών φαινομένων, όπως αιφνίδιες αυξομειώσεις θερμοκρασίας ή φορτίων.
- Περιορισμένη δυνατότητα αξιολόγησης καινοτόμων τεχνολογιών ή στρατηγικών εξοικονόμησης που λειτουργούν σε ωριαία ή μικρότερη κλίμακα.

ISO 52016-1:2017 – Ωριαία Μέθοδος

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ακρίβεια, καθώς λαμβάνει υπόψη τη δυναμική συμπεριφορά του κτιρίου σε 8760 ωριαία βήματα ανά έτος.
- Ακριβής αποτύπωση των χρονικά μεταβαλλόμενων προφίλ χρήσης, των εσωτερικών θερμικών κερδών, των αλληλεπιδράσεων μεταξύ θερμικών ζωνών και των κλιματικών συνθηκών.
- Δυνατότητα εκτίμησης της θερμικής άνεσης και των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), παρέχοντας πληροφορίες για την ευημερία των κατοίκων.
- Βελτιωμένη αξιολόγηση της επίδρασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκών), καθώς η ωριαία ανάλυση επιτρέπει την προσομοίωση της πραγματικής παραγωγής ενέργειας σε σχέση με τις ωριαίες κλιματικές συνθήκες και τα φορτία.
- Ικανότητα ανάλυσης του δυναμικού ευελιξίας (flexibility potential), όπως η διαχείριση φορτίου, η αποθήκευση ενέργειας ή η λειτουργία «έξυπνων» συστημάτων, που δεν μπορεί να αξιολογηθεί επαρκώς με μεσοσταθμικές μηνιαίες τιμές.
- Συγκρίσιμη αξιοπιστία με εξειδικευμένα προσομοιωτικά εργαλεία (π.χ. EnergyPlus), με το πρόσθετο πλεονέκτημα της τυποποίησης, επιτρέποντας πιο εμπεριστατωμένες προτάσεις για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Μειονεκτήματα:

- Απαιτεί σημαντικά περισσότερα δεδομένα (αναλυτικά κλιματικά αρχεία, λεπτομερή προφίλ χρήσης, τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων).
- Αυξημένο υπολογιστικό κόστος και πολυπλοκότητα σε σχέση με τη μηνιαία μέθοδο.
- Δυσκολότερη εφαρμογή σε μαζική κλίμακα, όταν ο στόχος είναι απλώς η τυποποιημένη ενεργειακή πιστοποίηση.

4.2 Θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους καθορίζουν την ικανότητα του κτιρίου να ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον και αποτελούν βασική είσοδο σε κάθε ενεργειακό υπολογισμό. Οι κύριες παράμετροι περιλαμβάνουν:

- τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U),
- τη θερμική αγωγιμότητα (λ) των υλικών,
- τη θερμοχωρητικότητα (C),
- τη θερμική αντίσταση (R) των στρώσεων,
- τη χρονική υστέρηση και την απόσβεση της θερμικής ροής.

KENAK

Στο πλαίσιο του KENAK, οι θερμοφυσικές ιδιότητες προσεγγίζονται με στατικό τρόπο. Ο υπολογισμός βασίζεται σε τυπικές τιμές των υλικών, όπως αυτές περιγράφονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017. Η θερμική συμπεριφορά του κελύφους εκφράζεται μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας (U -value), ο οποίος παραμένει σταθερός για κάθε δομικό στοιχείο, ανεξαρτήτως χρονικής μεταβολής ή θερμικής αδράνειας:

$$U = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad \text{με } R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}$$

όπου d_i είναι το πάχος της στρώσης και λ_i η θερμική αγωγιμότητα. Έτσι, η ανάλυση επικεντρώνεται στις μέσες μηνιαίες απώλειες και κέρδη, χωρίς να αποτυπώνεται η δυναμική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων.

Πλεονεκτήματα: απλότητα, ευκολία εφαρμογής, περιορισμένες απαιτήσεις σε δεδομένα.

Μειονεκτήματα: αδυναμία αποτύπωσης της αποθήκευσης θερμότητας και της χρονικής υστέρησης· μειωμένη ακρίβεια σε κτίρια με υψηλή θερμοχωρητικότητα.

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Το πρότυπο ISO 52016-1:2017 προσεγγίζει τις θερμοφυσικές ιδιότητες με δυναμικό τρόπο. Η θερμική συμπεριφορά του κελύφους ενσωματώνεται σε ωριαίες εξισώσεις ενεργειακής ισορροπίας, όπου η θερμοχωρητικότητα των υλικών (C) συμμετέχει ενεργά:

$$C \cdot \frac{dT}{dt} = Q_{\eta\lambda\alpha\kappa.} + Q_{\epsilon\sigma\omega\tau\epsilon\rho.} - Q_{\alpha\pi\omega\lambda\epsilon\iota\omega\upsilon\varsigma}$$

Η θερμοχωρητικότητα μιας στρώσης υλικού ορίζεται ως:

$$C = \rho \cdot c_p \cdot V$$

όπου ρ η πυκνότητα, c_p η ειδική θερμότητα και V ο όγκος του υλικού.

Με αυτό τον τρόπο, αποτυπώνονται η αποθήκευση θερμότητας, η απόσβεση και η χρονική υστέρηση (time lag) στην ανταπόκριση του κελύφους. Επομένως, το ISO μπορεί να αναλύσει με ακρίβεια την επίδραση διαφορετικών υλικών και στρώσεων σε πραγματικές, μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Πλεονεκτήματα: υψηλή ακρίβεια, δυναμική απεικόνιση της θερμικής αδράνειας, δυνατότητα εφαρμογής σε καινοτόμα δομικά συστήματα.

Μειονεκτήματα: αυξημένες απαιτήσεις σε δεδομένα και υπολογιστική ισχύ, μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στην εφαρμογή.

Συγκριτική αποτίμηση

Συνολικά, ο KENAK υιοθετεί μια στατική, απλουστευμένη προσέγγιση, κατάλληλη για τυποποιημένους ελέγχους συμμόρφωσης, ενώ το ISO 52016-1:2017 (ωριαία μέθοδος) ενσωματώνει τις πραγματικές δυναμικές ιδιότητες του κελύφους, προσφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια και ρεαλιστική πρόβλεψη της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Ο KENAK παρουσιάζει κενά στην αποτύπωση της θερμικής αδράνειας και της δυναμικής συμπεριφοράς του κελύφους, καθώς περιορίζεται σε έναν στατικό υπολογισμό του συντελεστή U . Αυτό οδηγεί σε αποκλίσεις μεταξύ υπολογιστικής και πραγματικής συμπεριφοράς, ειδικά σε κτίρια με μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Το ISO 52016-1:2017, μέσω της ωριαίας μεθόδου, καλύπτει αυτό το κενό ενσωματώνοντας τη χρονική υστέρηση και την αποθήκευση θερμότητας, προσφέροντας πιο ακριβή εργαλεία για τον σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κελυφών.

4.3 Σύστημα Θέρμανσης

Η απόδοση και ο τρόπος υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης ενός συστήματος θέρμανσης αποτελούν βασικό άξονα τόσο στον KENAK όσο και στο ISO 52016-1:2017. Ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζεται το σύστημα έχει άμεση σχέση με την ακρίβεια της εκτίμησης των ενεργειακών απαιτήσεων και της πραγματικής λειτουργικής συμπεριφοράς του κτιρίου.

KENAK

Στον KENAK η εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος θέρμανσης βασίζεται σε στατικές παραδοχές και τυπικούς συντελεστές. Η θερμική ζήτηση του κτιρίου προκύπτει σε μηνιαία βάση και καλύπτεται από το σύστημα θέρμανσης με συγκεκριμένη ονομαστική απόδοση η_{nom} η οποία προσαρμόζεται μέσω διορθωτικών συντελεστών. Οι απώλειες δικτύου, οι απώλειες αποθήκευσης και η μερική φόρτιση του λέβητα ενσωματώνονται σε απλοποιημένες εξισώσεις. Η πραγματική δυναμική λειτουργία (ένανση/παύση, μερικά φορτία, μεταβολές θερμοκρασίας) δεν αποτυπώνεται.

Πλεονεκτήματα:

- Απλότητα υπολογισμού.
- Ελάχιστες απαιτήσεις σε δεδομένα.
- Κατάλληλο για γρήγορη εκτίμηση και για μελέτες συμμόρφωσης.

Μειονεκτήματα:

- Δεν λαμβάνει υπόψη τη δυναμική λειτουργία του συστήματος.
- Αδυναμία ακριβούς εκτίμησης σε περιπτώσεις με μεταβαλλόμενα φορτία ή σύγχρονες τεχνολογίες (π.χ. αντλίες θερμότητας, συστήματα συμπύκνωσης).
- Περιορισμένη αντιστοίχιση με την πραγματική κατανάλωση ενέργειας.

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Το ISO 52016-1:2017 εισάγει μια δυναμική προσέγγιση και για το σύστημα θέρμανσης. Οι θερμικές ανάγκες του κτιρίου υπολογίζονται σε ωριαία βάση, και το σύστημα θέρμανσης προσομοιώνεται με την πραγματική του απόδοση ανάλογα με το φορτίο, τις συνθήκες λειτουργίας και τις απώλειες. Το ωριαίο ενεργειακό ισοζύγιο περιλαμβάνει:

$$Q_{sys}(t) = \frac{Q_{load}(t)}{\eta_{sys}(t)}$$

όπου:

- $Q_{load}(t)$: θερμικό φορτίο ανά ώρα,
- $\eta_{sys}(t)$: πραγματική απόδοση συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη μερικό φορτίο, απώλειες δικτύου και αποθήκευσης.

Η μέθοδος μπορεί να ενσωματώσει εναλλακτικές τεχνολογίες (αντλίες θερμότητας, συστήματα συμπύκνωσης, υβριδικά συστήματα) και να αποτυπώσει τις μεταβολές απόδοσης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ακρίβεια στην εκτίμηση ενεργειακής κατανάλωσης.
- Δυνατότητα ανάλυσης σύγχρονων τεχνολογιών και μεταβαλλόμενων φορτίων.
- Ρεαλιστική προσομοίωση ωριαίας λειτουργίας (start-stop), μερική φόρτιση).

Μειονεκτήματα:

- Αυξημένες απαιτήσεις σε δεδομένα για το σύστημα (χαρακτηριστικές καμπύλες απόδοσης, βαθμοί απόδοσης σε μερικά φορτία).
- Μεγαλύτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.
- Δυσκολία στην εφαρμογή για γρήγορες ή μαζικές μελέτες συμμόρφωσης.

Συγκριτική αποτίμηση

Στον KENAK το σύστημα θέρμανσης εξετάζεται με μια στατική, τυποποιημένη λογική, βασισμένη σε ονομαστικές τιμές απόδοσης και διορθωτικούς συντελεστές, που οδηγεί σε μια γενικευμένη εκτίμηση. Αντίθετα, το ISO 52016-1:2017 (ωριαία μέθοδος) ενσωματώνει την πραγματική δυναμική λειτουργία του συστήματος, αποτυπώνοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατανάλωση και τις επιπτώσεις των θερμικών φορτίων στο χρόνο.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Στον KENAK, η στατική θεώρηση της απόδοσης του συστήματος θέρμανσης και η απουσία αποτύπωσης της δυναμικής λειτουργίας (μερικά φορτία, start-stop, εποχιακές διακυμάνσεις) αποτελούν σημαντικά κενά. Αυτό οδηγεί σε εκτιμήσεις που συχνά αποκλίνουν από την πραγματική κατανάλωση. Το ISO 52016-1:2017 καλύπτει αυτό το έλλειμμα με ωριαίο υπολογισμό και δυναμική προσομοίωση της απόδοσης, παρέχοντας καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων σύγχρονων τεχνολογιών και βελτιώνοντας την ακρίβεια της εκτίμησης.

4.4 Σύστημα Ψύξης

Η εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη και η απόδοση του συστήματος ψύξης αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την ορθολογική ενεργειακή ανάλυση ενός κτιρίου. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στον KENAK και στο ISO 52016-1:2017 (ωριαία μέθοδος) παρουσιάζει ουσιαστικές διαφορές, οι οποίες επηρεάζουν το επίπεδο ακρίβειας της εκτίμησης και τον βαθμό προσαρμογής στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

KENAK

Στο πλαίσιο του KENAK, οι ψυκτικές ανάγκες υπολογίζονται σε μηνιαία βάση, με βάση τις μέσες εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες. Το σύστημα ψύξης θεωρείται ότι λειτουργεί με μια σταθερή ονομαστική απόδοση, συνήθως εκφρασμένη μέσω του συντελεστή ενεργειακής απόδοσης (EER ή COP). Οι απώλειες διανομής, αποθήκευσης και μετατροπής λαμβάνονται υπόψη με διορθωτικούς συντελεστές, ενώ η πραγματική δυναμική λειτουργία (διακυμάνσεις φορτίου, λειτουργία σε μερικό φορτίο, επιπτώσεις εξωτερικής θερμοκρασίας) δεν αποτυπώνεται.

Πλεονεκτήματα:

- Απλότητα και χαμηλό υπολογιστικό κόστος.
- Εύκολη εφαρμογή σε μελέτες συμμόρφωσης.
- Ελάχιστες απαιτήσεις σε δεδομένα για τα συστήματα.

Μειονεκτήματα:

- Αντιμετωπίζει το σύστημα ψύξης ως στατικό, χωρίς να αποτυπώνει τη μεταβολή της απόδοσης.
- Περιορισμένη ακρίβεια, ειδικά σε κτίρια με υψηλά και μεταβαλλόμενα ψυκτικά φορτία.
- Δεν λαμβάνονται υπόψη τεχνολογίες μεταβαλλόμενης παροχής (VRV/VRF) ή συστήματα με αυξημένη ευαισθησία στις εξωτερικές συνθήκες.
- Μειωμένη δυνατότητα εκτίμησης των πραγματικών συνθηκών άνεσης των χρηστών και της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), καθώς δεν αποτυπώνεται η ωριαία δυναμική συμπεριφορά του συστήματος και των φορτίων.

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Σύμφωνα με το ISO 52016-1:2017, η ψυκτική ζήτηση υπολογίζεται με βάση το ωριαίο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε θερμικής ζώνης. Το σύστημα ψύξης προσομοιώνεται δυναμικά, με την απόδοση του να μεταβάλλεται ανάλογα με:

- το ωριαίο φορτίο ψύξης,
- τη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα,
- τις συνθήκες μερικού φορτίου.

Η πραγματική κατανάλωση ενέργειας εκφράζεται ως:

$$W_{cool}(t) = \frac{Q_{cool}(t)}{EER(t)}$$

όπου:

- $Q_{cool}(t)$: ψυκτικό φορτίο ανά ώρα,
- $EER(t)$: συντελεστής ενεργειακής απόδοσης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Η μέθοδος επιτρέπει την ενσωμάτωση καινοτόμων συστημάτων (π.χ. αντλίες θερμότητας σε λειτουργία ψύξης, VRV/VRF, συστήματα free-cooling), καθώς και την εκτίμηση της επίδρασης της θερμοχωρητικότητας του κελύφους στη μείωση των αιχμιακών φορτίων.

Πλεονεκτήματα:

- Ακριβής αποτύπωση της ωριαίας κατανάλωσης και της δυναμικής λειτουργίας.
- Δυνατότητα αξιολόγησης σύγχρονων τεχνολογιών και στρατηγικών εξοικονόμησης.
- Συμβολή στη βέλτιστη διαστασιολόγηση εξοπλισμού και στην αποφυγή υπερδιαστασιολόγησης.
- Επιτρέπει την εκτίμηση των συνθηκών άνεσης των κατοίκων (occupant comfort) και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για την ευημερία και την υγεία των χρηστών.

Μειονεκτήματα:

- Αυξημένη πολυπλοκότητα και ανάγκη για περισσότερα δεδομένα (καμπύλες απόδοσης, συντελεστές σε μερικά φορτία).
- Μεγαλύτερες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ.
- Δυσκολία ενσωμάτωσης σε τυποποιημένες μελέτες συμμόρφωσης, όπου προτιμάται απλοποίηση.

Συγκριτική αποτίμηση

Στον KENAK, το σύστημα ψύξης εκτιμάται με μια στατική, τυποποιημένη μεθοδολογία, που οδηγεί σε προσεγγιστικά αποτελέσματα, επαρκή για κανονιστική συμμόρφωση αλλά ανεπαρκή για ακριβή πρόβλεψη της πραγματικής κατανάλωσης. Αντίθετα, το ISO 52016-1:2017 (ωριαία μέθοδος) εισάγει μια δυναμική προσομοίωση, επιτρέποντας τη λεπτομερή αποτύπωση των πραγματικών λειτουργικών συνθηκών και της αλληλεπίδρασης φορτίου – συστήματος – περιβάλλοντος.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Ο KENAK παρουσιάζει περιορισμούς επειδή θεωρεί το σύστημα ψύξης ως στατικό με σταθερή απόδοση, χωρίς να αποτυπώνει τη μεταβολή της πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς υπό διαφορετικές συνθήκες φορτίου και θερμοκρασίας. Έτσι, δεν αξιολογούνται σωστά τεχνολογίες όπως VRV/VRF ή free-cooling. Το ISO 52016-1:2017 με την ωριαία μέθοδο προσφέρει τη δυνατότητα προσομοίωσης της δυναμικής απόδοσης και της επίδρασης του κελύφους στα ψυκτικά φορτία, επιτρέποντας ρεαλιστικότερη πρόβλεψη και καλύτερη διαστασιολόγηση συστημάτων.

4.5 Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Η εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) αποτελεί βασικό μέρος της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζεται το ZNX επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια των υπολογισμών, καθώς συνδέεται με διαφορετικά προφίλ χρήσης, ποικιλία τεχνολογιών παραγωγής και μεταβαλλόμενες ανάγκες.

KENAK

Στον KENAK, οι υπολογισμοί για το ZNX βασίζονται σε μηνιαία ανάλυση. Οι απαιτήσεις σε ZNX υπολογίζονται από τυπικά προφίλ κατανάλωσης (ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου: κατοικία, ξενοδοχείο, γραφείο κ.λπ.). Η ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης υπολογίζεται με βάση:

- τον όγκο νερού που απαιτείται,
- τη διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ δικτύου ύδρευσης και επιθυμητής θερμοκρασίας χρήσης,
- την απόδοση του συστήματος παραγωγής (η_{gen}).

Οι απώλειες από τα δίκτυα διανομής και τις δεξαμενές αποθήκευσης λαμβάνονται υπόψη με διορθωτικούς συντελεστές. Η πραγματική χρονική διακύμανση της ζήτησης και οι δυναμικές απώλειες δεν αποτυπώνονται.

Πλεονεκτήματα:

- Απλότητα και περιορισμένες απαιτήσεις σε δεδομένα.
- Καλή προσαρμογή για τυποποιημένες μελέτες συμμόρφωσης.
- Γρήγορη εφαρμογή σε επίπεδο μηνιαίας ή ετήσιας κατανάλωσης.

Μειονεκτήματα:

- Η κατανάλωση ZNX υπολογίζεται με βάση μέσες τιμές, χωρίς δυναμική μεταβολή.
- Δεν αποτυπώνονται οι αιχμιακές απαιτήσεις και η αλληλεπίδραση με τα συστήματα αποθήκευσης.
- Περιορισμένη δυνατότητα ανάλυσης για συστήματα με ανανεώσιμες πηγές (π.χ. ηλιακά θερμικά).

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Το πρότυπο ISO 52016-1:2017 υιοθετεί μια ωριαία προσέγγιση στην εκτίμηση των απαιτήσεων ZNX. Οι ανάγκες υπολογίζονται από προφίλ χρήσης ανά ώρα, τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με τον τύπο και τη λειτουργία του κτιρίου. Η ενέργεια για την κάλυψη της ζήτησης εκφράζεται ως:

$$Q_{\text{DHW}}(t) = m_w(t) \cdot c_p \cdot [T_{\text{set}} - T_{\text{in}}(t)]$$

όπου:

- $m_w(t)$: μάζα νερού που ζητείται ανά ώρα,
- c_p : ειδική θερμοχωρητικότητα νερού,
- T_{set} : θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης,
- $T_{\text{in}}(t)$: θερμοκρασία δικτύου ύδρευσης.

Η απόδοση του συστήματος παραγωγής $\eta_{\text{gen}}(t)$ και οι απώλειες αποθήκευσης/διανομής λαμβάνονται υπόψη δυναμικά, σε συνάρτηση με τη λειτουργία του συστήματος και τις πραγματικές συνθήκες. Έτσι αποτυπώνονται με ακρίβεια οι επιπτώσεις:

- της διαλείπουσας χρήσης,
- των θερμικών απωλειών δεξαμενών,
- της συμβολής ανανεώσιμων πηγών (ηλιακά θερμικά, αντλίες θερμότητας).

Πλεονεκτήματα:

- Ακριβής αποτύπωση της πραγματικής ζήτησης με βάση ωριαία προφίλ.
- Δυνατότητα ανάλυσης διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής και αποθήκευσης.
- Ρεαλιστική προσομοίωση αιχμιακών φορτίων και θερμικών απωλειών.

Μειονεκτήματα:

- Αυξημένες απαιτήσεις σε δεδομένα (προφίλ κατανάλωσης, χαρακτηριστικά δεξαμενών, αποδόσεις).
- Υψηλότερη πολυπλοκότητα και υπολογιστικό κόστος.
- Δυσκολία ενσωμάτωσης σε τυπικές μελέτες συμμόρφωσης όπου προέχει η απλοποίηση.

Συγκριτική αποτίμηση

Στον KENAK, η παραγωγή ZNX υπολογίζεται με μια στατική μηνιαία προσέγγιση, που οδηγεί σε μια γενικευμένη εικόνα των ετήσιων αναγκών, χωρίς λεπτομερή αποτύπωση αιχμών ή δυναμικής λειτουργίας. Αντίθετα, το ISO 52016-1:2017 (ωριαία μέθοδος) ενσωματώνει την πραγματική χρονική μεταβολή της ζήτησης και της απόδοσης του συστήματος, προσφέροντας πιο ακριβή και ρεαλιστική εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για ZNX.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Στον KENAK, η ανάλυση ZNX περιορίζεται σε μέσες μηνιαίες τιμές και τυποποιημένα προφίλ, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι αιχμιακές ανάγκες, οι δυναμικές απώλειες ή η συμβολή ανανεώσιμων πηγών σε πραγματικό χρόνο. Αυτό δημιουργεί απόκλιση από τη λειτουργική πραγματικότητα, ιδίως σε χρήσεις με έντονα μεταβαλλόμενα προφίλ κατανάλωσης. Το ISO 52016-1:2017 αντιμετωπίζει αυτά τα κενά με ωριαία προσομοίωση, αποτυπώνοντας με ακρίβεια τη ζήτηση, τις απώλειες και τη συμβολή αποθήκευσης ΑΠΕ, βελτιώνοντας έτσι την ενεργειακή αξιολόγηση.

4.6 Εσωτερικά και Ηλιακά Κέρδη

Η σωστή εκτίμηση των εσωτερικών και ηλιακών κερδών είναι καθοριστική για την ανάλυση των θερμικών ισοζυγίων ενός κτιρίου, καθώς επηρεάζει άμεσα τόσο τις ανάγκες θέρμανσης όσο και τις ανάγκες ψύξης. Τα κέρδη αυτά προέρχονται από τις δραστηριότητες των χρηστών, τον εξοπλισμό και το φωτισμό (εσωτερικά), αλλά και από την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τα διαφανή στοιχεία ή απορροφάται από τις αδιαφανείς επιφάνειες (ηλιακά).

Στον **KENAK** η μεθοδολογία είναι μηνιαία και οι εσωτερικές και ηλιακές θερμικές προσόδοι υπολογίζονται με συντελεστές χρήσης και αξιοποίησης.

Εσωτερικά κέρδη: Προέρχονται από τον φωτισμό, τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και τη θερμότητα που εκλύουν οι χρήστες. Υπολογίζονται βάσει τυπικών προφίλ χρήσης ανά κατηγορία κτιρίου, με σταθερές τιμές (W/m^2).

Ηλιακά κέρδη: Υπολογίζονται μηνιαία με βάση:

- την οριζόντια και κατακόρυφη ηλιακή ακτινοβολία (από κλιματικά δεδομένα),
- τους συντελεστές διαπερατότητας των υαλοπινάκων,
- τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (προσανατολισμός, σκιάσεις),
- έναν συντελεστή αξιοποίησης κερδών, που απλοποιεί την απόδοσή τους στον θερμικό ισολογισμό.

Ουσιαστικά, τα κέρδη αντιμετωπίζονται με μέσες μηνιαίες τιμές και με εμπειρικούς διορθωτικούς συντελεστές.

Πλεονεκτήματα: Απλότητα και ταχύτητα εφαρμογής. Επαρκές για ενεργειακές μελέτες συμμόρφωσης.

Μειονεκτήματα: Δεν αποτυπώνεται η ωριαία διακύμανση της ακτινοβολίας και των εσωτερικών φορτίων. Η δυναμική αλληλεπίδραση με την αδράνεια του κελύφους απλοποιείται. Περιορισμένη ακρίβεια στην εκτίμηση αιχμιακών θερμικών φορτίων.

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Το ISO 52016-1:2017 υπολογίζει τα εσωτερικά και ηλιακά κέρδη σε ωριαία βάση, ενσωματώνοντας πλήρως τη χρονική μεταβολή τους.

Εσωτερικά κέρδη: Ορίζονται μέσα από προφίλ λειτουργίας ανά ώρα, ανάλογα με τον τύπο κτιρίου. Περιλαμβάνονται αναλυτικά:

- θερμότητα από τους χρήστες (αισθητή + λανθάνουσα),
- κέρδη από ηλεκτρικές συσκευές,
- θερμότητα από τον φωτισμό.

Ηλιακά κέρδη: Υπολογίζονται από:

$$Q_{sol}(t) = A_{gl} \cdot g \cdot I_{sol}(t) \cdot F_{sh}(t)$$

όπου:

- A_{gl} : επιφάνεια υαλοπίνακα,
- g : συντελεστής συνολικής ηλιακής διαπερατότητας,
- $I_{sol}(t)$: ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ανά ώρα,
- $F_{sh}(t)$: συντελεστής σκίασης (δυναμικός, ανάλογα με το χρόνο και τα εμπόδια).

Η μεθοδολογία επιτρέπει τη δυναμική σύζευξη των κερδών με την θερμική αδράνεια του κελύφους και τις πραγματικές κλιματικές συνθήκες. Έτσι, αποτυπώνεται ο χρονισμός των κερδών (π.χ. αιχμές μεσημέρι, χαμηλές τιμές νύχτα) και η αλληλεπίδρασή τους με τις απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης.

Πλεονεκτήματα: Ρεαλιστική αποτύπωση ωριαίων μεταβολών. Δυνατότητα ακριβούς προσομοίωσης επιπτώσεων σκιάσεων, προσανατολισμού, διαφάνειας υαλοπινάκων. Συμβατότητα με δυναμικά σενάρια χρήσης και λειτουργίας.

Μειονεκτήματα: Αυξημένες απαιτήσεις σε δεδομένα (αναλυτικά προφίλ, γεωμετρία, σκιάσεις). Υψηλότερο υπολογιστικό κόστος. Δυσκολότερη εφαρμογή σε απλοποιημένες μελέτες συμμόρφωσης.

Συγκριτική αποτίμηση

Στον KENAK τα εσωτερικά και ηλιακά κέρδη εκτιμώνται με μηνιαίες μέσες τιμές και εμπειρικούς συντελεστές, παρέχοντας μια γενική εικόνα χωρίς ωριαία ανάλυση. Αντίθετα, το ISO 52016-1:2017 ενσωματώνει τα κέρδη σε ωριαία βάση, επιτρέποντας πιο ακριβή και ρεαλιστική αποτύπωση της επίδρασής τους στη θερμική ισορροπία, κάτι κρίσιμο ειδικά για κτίρια με υψηλή υάλωση, έντονα εσωτερικά φορτία ή συστήματα ψύξης.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Στον KENAK τα εσωτερικά και ηλιακά κέρδη συχνά εκτιμώνται με απλουστευμένες παραδοχές, που δεν αποτυπώνουν πλήρως τη χρονική μεταβολή της χρήσης χώρου και της πραγματικής ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό οδηγεί σε πιθανές αποκλίσεις στην εκτίμηση της θερμικής άνεσης και της ενεργειακής απόδοσης. Το ISO 52016-1 καλύπτει αυτά τα κενά, καθώς χρησιμοποιεί ωριαία μεθοδολογία που ενσωματώνει λεπτομερέστερα σενάρια χρήσης, κλιματικά δεδομένα και δυναμική αλληλεπίδραση με το κέλυφος, παρέχοντας έτσι πιο ακριβή και προσαρμοσμένη αποτίμηση.

4.7 Σύστημα Αερισμού

Ο αερισμός αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για τη διασφάλιση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Τα συστήματα αερισμού επηρεάζουν άμεσα τις θερμικές απώλειες, τα κέρδη θερμότητας και την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Η προσέγγιση των συστημάτων αυτών διαφέρει ουσιαστικά μεταξύ KENAK και ISO 52016-1:2017.

KENAK

Στον KENAK, ο αερισμός αντιμετωπίζεται με στατική μηνιαία προσέγγιση. Η θερμική επίδραση του αέρα υπολογίζεται βάσει:

- των τυπικών ρυθμών αερισμού (ανά τύπο χώρου),
- των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών εισροής εξωτερικού αέρα,
- των σταθερών συντελεστών διείσδυσης/απώλειας.

Η επίδραση των συστημάτων εξαερισμού με ανάκτηση θερμότητας ή μεταβαλλόμενο αέρα (VAV) απλοποιείται με διορθωτικούς συντελεστές. Δεν λαμβάνεται υπόψη η ωριαία δυναμική των αερισμών ή οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας (π.χ. διαλείπουσα χρήση ή διακύμανση φορτίων).

Πλεονεκτήματα:

- Απλότητα και ταχύτητα εφαρμογής.
- Περιορισμένες απαιτήσεις σε δεδομένα και παραμέτρους.
- Εύκολη ενσωμάτωση σε τυποποιημένες μελέτες συμμόρφωσης.

Μειονεκτήματα:

- Αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης ενεργειακών απωλειών λόγω αερισμού.
- Δεν αποτυπώνεται η επίδραση δυναμικών συστημάτων με ανάκτηση θερμότητας ή μεταβλητού αέρα.
- Περιορισμένη ακρίβεια σε κτίρια με υψηλές απαιτήσεις αερισμού ή σημαντική εξωτερική διακύμανση θερμοκρασίας.

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Το ISO 52016-1:2017 προσεγγίζει τον αερισμό σε ωριαία βάση, ενσωματώνοντας:

- τους πραγματικούς ρυθμούς αερισμού ανά ώρα ($V_{air}(t)$),
- τη θερμοκρασία εισροής εξωτερικού αέρα,
- τις απώλειες και τα κέρδη θερμότητας από συστήματα ανάκτησης (HRV/ERV) και από διαρροές δικτύου.

Η ωριαία δυναμική επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση θερμικών απωλειών και επιπτώσεων στη θέρμανση/ψύξη, λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις της λειτουργίας και των κλιματικών συνθηκών:

$$Q_{vent}(t) = \rho \cdot c_p \cdot V_{air}(t) \cdot (T_{in}(t) - T_{zone}(t)) \cdot (1 - \eta_{rec})$$

όπου:

- ρ : πυκνότητα αέρα,
- c_p : ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα,
- $V_{air}(t)$: όγκος αέρα ανά ώρα,
- $T_{in}(t), T_{zone}(t)$: θερμοκρασίες εισροής και ζώνης,
- η_{rec} : απόδοση ανάκτησης θερμότητας.

Πλεονεκτήματα:

- Ακριβής πρόβλεψη θερμικών επιπτώσεων αερισμού.
- Δυνατότητα προσομοίωσης συστημάτων με ανάκτηση θερμότητας ή μεταβαλλόμενο αερισμό (VAV).
- Λεπτομερής ανάλυση αιχμιακών φορτίων και επιπτώσεων σε θέρμανση/ψύξη.

Μειονεκτήματα:

- Αυξημένες απαιτήσεις σε δεδομένα (ωριαίοι ρυθμοί αερισμού, απόδοση συστημάτων).
- Μεγαλύτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.
- Δυσκολότερη ενσωμάτωση σε απλοποιημένες μελέτες συμμόρφωσης.

Συγκριτική αποτίμηση

Ο KENAK προσφέρει μια στατική, μηνιαία εκτίμηση των θερμικών επιπτώσεων από τον αερισμό, με χαμηλή ακρίβεια αλλά γρήγορη εφαρμογή. Αντίθετα, το ISO 52016-1:2017 (ωριαία μέθοδος) επιτρέπει δυναμική, ωριαία ανάλυση, προσφέροντας ακριβή πρόβλεψη των θερμικών απωλειών, των κερδών από ανάκτηση θερμότητας και της επίδρασης μεταβαλλόμενων ρυθμών αερισμού.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Ο KENAK περιορίζεται σε στατικού τύπου υπολογισμούς για τον αερισμό, που βασίζονται σε τυποποιημένες τιμές αεραλλαγών και δεν λαμβάνουν υπόψη τις διακυμάνσεις στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ή τις επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης με άλλα συστήματα. Το ISO 52016-1, με τη δυναμική ωριαία μεθοδολογία, μπορεί να ενσωματώσει πιο ακριβείς παραμέτρους όπως ωριαίες ροές αέρα, ανάκτηση θερμότητας και επιπτώσεις στην κατανάλωση θέρμανσης και ψύξης. Έτσι, μειώνει τα κενά και επιτρέπει πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις για τη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά.

4.8 Τερματικές Μονάδες

Οι τερματικές μονάδες αποτελούν τα στοιχεία του συστήματος HVAC που παρέχουν τελικά τη θέρμανση ή την ψύξη στους χώρους. Η ενεργειακή τους συμπεριφορά καθορίζει σημαντικά την κατανάλωση και την απόδοση του συστήματος, καθώς και τη δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της θερμοκρασίας και της άνεσης των χρηστών.

KENAK

Στον KENAK, οι τερματικές μονάδες αντιμετωπίζονται με στατική προσέγγιση. Η εκτίμηση της θερμικής ή ψυκτικής απόδοσης βασίζεται σε:

- ονομαστικές αποδόσεις των μονάδων,
- τυπικούς συντελεστές μερικού φορτίου,
- μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες χώρου και εξωτερικού αέρα.

Η δυναμική συμπεριφορά των μονάδων, όπως η λειτουργία σε μερικό φορτίο ή η απόκριση σε ωριαία διακύμανση των θερμικών φορτίων, δεν λαμβάνεται υπόψη.

Πλεονεκτήματα:

- Απλότητα υπολογισμού και χαμηλές απαιτήσεις δεδομένων.
- Εύκολη εφαρμογή για τυπικές μελέτες συμμόρφωσης.
- Γρήγορη εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης.

Μειονεκτήματα:

- Δεν αποτυπώνεται η δυναμική λειτουργία των μονάδων σε μερικό φορτίο.
- Περιορισμένη ακρίβεια σε χώρους με μεταβαλλόμενα θερμικά φορτία ή εναλλαγές χρήσης.
- Αδυναμία ακριβούς εκτίμησης της επιρροής των τερματικών μονάδων σε συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο.

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Στο ISO 52016-1:2017 οι τερματικές μονάδες προσομοιώνονται δυναμικά σε ωριαία βάση, με στόχο την ακριβή αποτύπωση της απόδοσης υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Η μέθοδος περιλαμβάνει:

- την ωριαία ζήτηση θερμότητας/ψύξης του χώρου,
- την απόκριση των μονάδων σε μερικό φορτίο,
- τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας (διαλείπουσα χρήση, μεταβαλλόμενα θερμικά φορτία),

- την αλληλεπίδραση με τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος (π.χ. αερισμός, ZNX).

Η ενέργεια που παρέχεται από τις μονάδες ανά ώρα εκφράζεται συνήθως ως:

$$Q_{term}(t) = \frac{Q_{load}(t)}{\eta_{term}(t)}$$

όπου $\eta_{term}(t)$ είναι η πραγματική απόδοση της μονάδας ανά ώρα, λαμβάνοντας υπόψη την απόκριση σε μερικό φορτίο και τις απώλειες του συστήματος.

Πλεονεκτήματα:

- Ακριβής πρόβλεψη της ωριαίας απόδοσης των τερματικών μονάδων.
- Δυνατότητα αξιολόγησης μονάδων μεταβλητού φορτίου (fan coils με inverter, ψυκτικά σώματα με modulating valves).
- Λεπτομερής εκτίμηση της επίδρασης στον συνολικό ενεργειακό ισολογισμό και την άνεση.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλότερες απαιτήσεις σε δεδομένα για χαρακτηριστικές καμπύλες απόδοσης και μερικό φορτίο.
- Μεγαλύτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.
- Δυσκολία ενσωμάτωσης σε απλοποιημένες μελέτες συμμόρφωσης.

Συγκριτική αποτίμηση

Στον KENAK, οι τερματικές μονάδες εκτιμώνται με στατική, μηνιαία μέθοδο, η οποία είναι γρήγορη αλλά δεν αποτυπώνει τη δυναμική τους λειτουργία σε ωριαία βάση. Το ISO 52016-1:2017 παρέχει δυναμική ωριαία προσομοίωση, επιτρέποντας ακριβή εκτίμηση της απόδοσης, της κατανάλωσης ενέργειας και της αλληλεπίδρασης με τα υπόλοιπα στοιχεία του κτιρίου, κάτι που είναι κρίσιμο για κτίρια με συστήματα μεταβλητού φορτίου ή σύνθετα θερμικά προφίλ χρήσης.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Στον KENAK οι τερματικές μονάδες (καλοριφέρ, fan coils, κλιματιστικές μονάδες) προσεγγίζονται με απλουστευμένες αποδόσεις και στατικές παραμέτρους λειτουργίας, κάτι που δεν αντικατοπτρίζει τις μεταβαλλόμενες συνθήκες και το πραγματικό προφίλ ζήτησης. Αυτό δημιουργεί κενά στην ακριβή αποτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Το ISO 52016-1 επιτρέπει πιο λεπτομερή μοντελοποίηση με ωριαίο βήμα, όπου λαμβάνονται υπόψη τα φορτία, οι αποδόσεις ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας και η δυναμική απόκριση των συστημάτων, καλύπτοντας έτσι τα κενά του KENAK.

4.9 Σύστημα Φωτισμού

Ο φωτισμός αποτελεί σημαντικό παράγοντα ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια, καθώς τα εσωτερικά κέρδη από φωτισμό συνεισφέρουν στην αύξηση της θερμικής φόρτισης, ενώ η ίδια η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Η αξιολόγηση της ενεργειακής επίδρασης του φωτισμού διαφοροποιείται μεταξύ KENAK και ISO 52016-1:2017, με διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας.

KENAK

Στον KENAK, η κατανάλωση και τα θερμικά κέρδη από φωτισμό αντιμετωπίζονται με μηνιαία, στατική προσέγγιση. Συγκεκριμένα:

- Η ηλεκτρική κατανάλωση υπολογίζεται βάσει τυπικών τιμών ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε τύπο χώρου.
- Τα θερμικά κέρδη του φωτισμού προστίθενται στο θερμικό ισοζύγιο μέσω σταθερών συντελεστών.
- Δεν λαμβάνεται υπόψη η δυναμική λειτουργία (π.χ. ωριαία χρήση, αισθητήρες παρουσίας, dimming) ή η μεταβλητότητα της ημερήσιας ή εποχιακής χρήσης.

Πλεονεκτήματα:

- Απλότητα και ταχύτητα υπολογισμού.
- Χαμηλές απαιτήσεις σε δεδομένα.
- Εύκολη ενσωμάτωση σε τυπικές μελέτες συμμόρφωσης.

Μειονεκτήματα:

- Δεν αποτυπώνεται η ωριαία διακύμανση της ηλεκτρικής κατανάλωσης ή των θερμικών κερδών.
- Περιορισμένη ακρίβεια σε κτίρια με δυναμικό φωτισμό ή προηγμένα συστήματα αυτοματισμού.
- Αδυναμία αξιολόγησης στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας (sensor-based control, day-light harvesting).

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Το ISO 52016-1:2017 προσομοιώνει τον φωτισμό σε ωριαία βάση, επιτρέποντας την ενσωμάτωση:

- ωριαίων προφίλ χρήσης ηλεκτρικού φωτισμού $P_{light}(t)$,
- δυναμικών στρατηγικών ελέγχου (presence sensors, dimming),
- θερμικών επιπτώσεων από τον φωτισμό στο θερμικό ισοζύγιο των χώρων.

Η ωριαία προσομοίωση προσφέρει τη δυνατότητα ακριβούς υπολογισμού της επίδρασης του φωτισμού στη συνολική κατανάλωση ενέργειας και στις θερμικές απαιτήσεις:

$$Q_{light}(t) = P_{light}(t) \cdot \eta_{conv}$$

όπου η_{conv} είναι ο συντελεστής μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική ενέργεια που απορροφά ο χώρος.

Πλεονεκτήματα:

- Ακριβής πρόβλεψη της ωριαίας κατανάλωσης και των θερμικών επιπτώσεων.
- Δυνατότητα αξιολόγησης προηγμένων στρατηγικών εξοικονόμησης και αυτοματισμού.

- Λεπτομερής εκτίμηση των αιχμιακών θερμικών φορτίων και της συμβολής τους στη θέρμανση/ψύξη.

Μειονεκτήματα:

- Απαιτείται μεγαλύτερη συλλογή δεδομένων (προφίλ χρήσης, απόδοση φωτιστικών, συστήματα ελέγχου).
- Υψηλότερο υπολογιστικό κόστος.
- Δυσκολία ενσωμάτωσης σε απλοποιημένες μελέτες συμμόρφωσης.

Συγκριτική αποτίμηση

Ο KENAK παρέχει στατική, μηνιαία εκτίμηση των ενεργειακών και θερμικών επιπτώσεων του φωτισμού, με χαμηλή πολυπλοκότητα αλλά περιορισμένη ακρίβεια. Το ISO 52016-1:2017 (ωριαία μέθοδος) προσφέρει δυναμική ωριαία ανάλυση, επιτρέποντας ακριβή πρόβλεψη θερμικών φορτίων και ενεργειακής κατανάλωσης, ειδικά σε κτίρια με μεταβλητή χρήση ή προηγμένα συστήματα φωτισμού και αυτοματισμού.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Ο KENAK αντιμετωπίζει τον φωτισμό με στατικούς συντελεστές και τυποποιημένες τιμές, χωρίς να εξετάζει δυναμικά την πραγματική χρήση, την επίδραση του φυσικού φωτός και τις σύγχρονες τεχνολογίες ελέγχου φωτισμού. Αυτό δημιουργεί κενά στην αποτίμηση της πραγματικής κατανάλωσης. Το ISO 52016-1 επιτρέπει την ενσωμάτωση ωριαίων δεδομένων χρήσης, την αξιοποίηση φυσικού φωτισμού και τον υπολογισμό με βάση πιο ρεαλιστικά σενάρια, καλύπτοντας έτσι την έλλειψη λεπτομέρειας που παρουσιάζει ο KENAK.

4.10 Κλιματικά Δεδομένα

Τα κλιματικά δεδομένα αποτελούν θεμελιώδη είσοδο για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου. Περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως η εξωτερική θερμοκρασία, η υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τις θερμικές απώλειες, τα ηλιακά κέρδη και τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Η ακρίβεια και η χρονική ανάλυση των δεδομένων καθορίζει σημαντικά την αξιοπιστία των υπολογισμών.

KENAK

Στον KENAK, η μεθοδολογία χρησιμοποιεί στατικά μηνιαία κλιματικά δεδομένα, όπως μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, μέσες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και τυπικές τιμές ανέμου. Η θερμική ανάλυση γίνεται με βάση αυτά τα μηνιαία μέσα και εφαρμόζεται σε όλους τους υπολογισμούς θέρμανσης, ψύξης, ZNX, αερισμού και κερδών από φωτισμό ή εξοπλισμό.

Πλεονεκτήματα:

- Απλότητα και γρήγορη εφαρμογή σε τυποποιημένες μελέτες.
- Χαμηλές απαιτήσεις σε δεδομένα και υπολογιστική ισχύ.
- Επαρκές για γενικές εκτιμήσεις ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης.

Μειονεκτήματα:

- Δεν αποτυπώνεται η ωριαία διακύμανση των κλιματικών συνθηκών.

- Υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση αιχμιακών θερμικών φορτίων.
- Περιορισμένη δυνατότητα ανάλυσης συστημάτων που επηρεάζονται δυναμικά από τις κλιματικές συνθήκες, όπως ηλιακά θερμικά ή αντλίες θερμότητας.

ISO 52016-1:2017 (Ωριαία μέθοδος)

Το ISO 52016-1:2017 χρησιμοποιεί ωριαία κλιματικά δεδομένα, τα οποία περιλαμβάνουν:

- ωριαίες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας $T_{ext}(t)$,
- ηλιακή ακτινοβολία ανά ώρα σε διάφορες επιφάνειες $I_{sol}(t)$,
- υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου,
- δεδομένα σκιάσεων και ατμοσφαιρικής διαύγειας.

Η ωριαία ανάλυση επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση των θερμικών φορτίων, των απωλειών από το κέλυφος, των ηλιακών κερδών και της επίδρασης των συστημάτων HVAC σε πραγματικές συνθήκες:

$$Q_{loss}(t) = U \cdot A \cdot (T_{int}(t) - T_{ext}(t)) + Q_{solar}(t)$$

Πλεονεκτήματα:

- Ακριβής αποτύπωση της ωριαίας μεταβολής θερμοκρασίας και ακτινοβολίας.
- Δυνατότητα προσομοίωσης αιχμιακών φορτίων και δυναμικών συστημάτων.
- Συμβατότητα με μοντέλα που απαιτούν λεπτομερή χρονική ανάλυση (π.χ. ωριαία ZNX, αερισμός, τερματικές μονάδες).

Μειονεκτήματα:

- Απαιτεί μεγαλύτερη συλλογή δεδομένων και προετοιμασία αρχείων εισόδου.
- Υψηλότερο υπολογιστικό κόστος.
- Πολυπλοκότητα στην ενσωμάτωση σε απλοποιημένες μελέτες συμμόρφωσης.

Συγκριτική αποτίμηση

Στον KENAK, τα κλιματικά δεδομένα αντιμετωπίζονται με μηνιαία στατιστικά μέσα, παρέχοντας γρήγορη αλλά απλοποιημένη εκτίμηση των θερμικών απαιτήσεων. Το ISO 52016-1:2017 παρέχει ωριαία, δυναμικά δεδομένα, επιτρέποντας ακριβή πρόβλεψη της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, ειδικά σε συστήματα που επηρεάζονται σημαντικά από την κλιματική μεταβολή, όπως ηλιακά θερμικά, αερισμός με ανάκτηση θερμότητας και συστήματα μεταβλητού φορτίου.

Κενά του KENAK και αξιοποίηση του ISO

Ο KENAK βασίζεται σε αντιπροσωπευτικά μετεωρολογικά δεδομένα αναφοράς, τα οποία συχνά δεν αποτυπώνουν τις ωριαίες διακυμάνσεις ή τις τοπικές ιδιαιτερότητες του κλίματος. Αυτό οδηγεί σε κενά στην προσομοίωση της πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς. Το ISO 52016-1, αξιοποιώντας λεπτομερή κλιματικά αρχεία (π.χ. TMY, ωριαία δεδομένα), μπορεί να ενσωματώσει δυναμικές επιδράσεις της θερμοκρασίας, της ακτινοβολίας και της υγρασίας, παρέχοντας ακριβέστερη και πιο ρεαλιστική βάση για υπολογισμούς.

5 Εφαρμογή του προτύπου ISO 52016 μέσω του λογισμικού Energyplus

5.1 Περιγραφή του Energyplus

Εισαγωγή στο EnergyPlus

Το EnergyPlus αποτελεί ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα προσομοίωσης ολόκληρου του κτιρίου (whole-building energy simulation engine), το οποίο αναπτύσσεται και υποστηρίζεται από το National Renewable Energy Laboratory (NREL) σε συνεργασία με το U.S. Department of Energy (DOE). Σκοπός του είναι η ποσοτική ανάλυση και πρόβλεψη της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων θερμικών ισορροπιών, συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), δικτύων νερού και αέρα, συστημάτων φωτισμού και γενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η προσομοίωση πραγματοποιείται σε χρονικά βήματα που μπορούν να είναι ωριαία ή μικρότερα, επιτρέποντας λεπτομερή καταγραφή των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ κτιρίου, εξοπλισμού και περιβάλλοντος [28].

Σύντομη Ιστορία και Φιλοσοφία

Το EnergyPlus αναπτύχθηκε ως φυσικός διάδοχος προϋπαρχόντων εργαλείων, όπως τα DOE-2 και BLAST, αξιοποιώντας τα θετικά τους χαρακτηριστικά και εισάγοντας νέες δυνατότητες για πιο ρεαλιστική προσομοίωση. Ο σχεδιασμός του χαρακτηρίζεται από modular αρχιτεκτονική, που επιτρέπει την ευέλικτη επέκταση των μοντέλων και την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών. Ο πηγαίος κώδικας είναι ανοικτός, δίνοντας τη δυνατότητα στην επιστημονική κοινότητα και στους μηχανικούς να ελέγχουν, να τροποποιούν ή να αναπτύσσουν προσαρμοσμένα μοντέλα, κάτι που ενισχύει τη διαφάνεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων [29].

Βασικές Ικανότητες και Χαρακτηριστικά

- **Θερμικές Ισορροπίες Κτιρίου:** Το EnergyPlus υπολογίζει με λεπτομέρεια τα φορτία θέρμανσης και ψύξης, λαμβάνοντας υπόψη τις θερμικές ανταλλαγές μέσω του κελύφους, τα εσωτερικά κέρδη (από ανθρώπους, φωτισμό και εξοπλισμό) και την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στις επιφάνειες [30]. Οι υπολογισμοί περιλαμβάνουν δυναμικές διαφορικές εξισώσεις θερμοχωρητικότητας και μεταφοράς θερμότητας, εξασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια για χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες.
- **Συστήματα HVAC και Plant Loops:** Υποστηρίζεται πλήρης μοντελοποίηση αεροσυστημάτων (air loops) και υδραυλικών συστημάτων (plant loops), με ρεαλιστική αναπαράσταση των ροών και αλληλεπιδράσεων μέσω branch/node προσέγγισης. Περιλαμβάνονται μονάδες όπως λέβητες, αντλίες θερμότητας, ψύκτες, μονάδες κλιματισμού και μετατροπείς ενέργειας [31][34].
- **Συστήματα Ελέγχου και Επεκτασιμότητα:** Το EnergyPlus περιλαμβάνει Energy Management System (EMS) και διαθέτει APIs (όπως Python bindings) για την εφαρμογή προσαρμοσμένων ελέγχων, αυτοματισμών και co-simulation με άλλα εργαλεία [32][33].
- **Είσοδοι και Είδη Αρχείων:** Η κύρια είσοδος προέρχεται από αρχεία IDF (Input Data Files), βασισμένα στο IDD (Input Data Dictionary), ενώ για τα κλιματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται EPW αρχεία [34][35].

- Αποτελέσματα και Έξοδοι: Τα παραγόμενα αρχεία εξόδου περιέχουν δεδομένα για ισοζύγια ενέργειας, κατανάλωση καυσίμων, θερμικές συνθήκες χώρων και αποδόσεις συσκευών, αναλυόμενα είτε αυτόνομα είτε μέσω μετα-επεξεργαστικών εργαλείων [36].

Διαδικασία Μοντελοποίησης (Workflow)

- Συλλογή Δεδομένων: Περιλαμβάνει γεωμετρία κτιρίου, κατασκευαστικά υλικά και στρώματα, φορτία χρήσης, προφίλ κατοίκησης, συστήματα HVAC και EPW κλιματικά δεδομένα [36].
- Καταγραφή Εισόδων: Δημιουργία και επεξεργασία IDF/IDD αρχείων μέσω ειδικών editors ή GUI, όπως το OpenStudio [37].
- Εκτέλεση Προσομοίωσης: Το EnergyPlus επιλύει θερμικά ισοζύγια και δυναμικές αλληλεπιδράσεις συστημάτων, παρέχοντας ακριβή δεδομένα σε λεπτά έως ώρες, ανάλογα με τη σύνθετοτητα του μοντέλου [36][38].
- Ανάλυση Εξόδων: Ακολουθεί η εξαγωγή, η επεξεργασία και η γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων, επιτρέποντας συγκρίσεις σεναρίων [39].

Τεχνικά Στοιχεία Σχεδίασης

Στην προσομοίωση χρησιμοποιούνται επαναληπτικοί αλγόριθμοι για τη λύση μη-γραμμικών συστημάτων εξισώσεων. Παράλληλα, η προσέγγιση branch/node για τα plant και air loops εξασφαλίζει ρεαλιστική απεικόνιση των ροών και των αλληλεπιδράσεων [40][31]. Όσον αφορά τη μοντελοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της σκίασης, περιλαμβάνονται αλγόριθμοι για άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία, καθώς και γεωμετρικοί υπολογισμοί για δυναμικά σκιαζόμενες επιφάνειες [30].

Ισχυρά Σημεία και Περιορισμοί

Μεταξύ των πλεονεκτημάτων, ο φυσικός πυρήνας της προσομοίωσης προσφέρει υψηλή ακρίβεια, καθιστώντας το κατάλληλο για έρευνα, σχεδιασμό και υποστήριξη πολιτικών ενεργειακής διαχείρισης [41]. Πρόκειται για ένα εργαλείο ανοικτού κώδικα με ενεργή κοινότητα και συνεχή υποστήριξη από το NREL/DOE [33]. Επιπλέον, προσφέρει ευρύ φάσμα μοντέλων HVAC και plant components, τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν από τον χρήστη [42].

Ωστόσο, υπάρχουν και περιορισμοί. Η χαμπύλη εκμάθησης είναι απότομη λόγω της πολυπλοκότητας των αρχείων IDF [38], ενώ οι χρόνοι προσομοίωσης για σύνθετα μοντέλα είναι μεγάλοι [38]. Επιπλέον, η βασική διεπαφή είναι command-line, γεγονός που δυσχεραίνει τη χρήση από αρχάριους [36].

Καλές Πρακτικές (Best Practices)

Στα πλαίσια της προσομοίωσης, ακολουθούνται ορισμένα στάδια επαλήθευσης. Αρχικά χρησιμοποιούνται απλά μοντέλα και τα αποτελέσματα επαληθεύονται πριν προστεθούν περαιτέρω λεπτομέρειες [39]. Επιπλέον, γίνεται επιβεβαίωση των αρχείων EPW, ελέγχοντας την πηγή, την ακρίβεια και την επικαιρότητα των κλιματικών δεδομένων [34]. Πραγματοποιούνται επίσης δοκιμές ευαισθησίας, με παραμετρικούς ελέγχους για την αξιολόγηση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τα υλικά, τις αποδόσεις και τα προφίλ χρήσης [38]. Τέλος, αξιοποιούνται εργαλεία όπως EMS και Python APIs για αυτοματισμούς και σύνθετη προσομοίωση [32].

Συμπέρασμα

Το EnergyPlus αποτελεί ένα ολοκληρωμένο και αξιόπιστο εργαλείο προσομοίωσης ολόκληρου του κτιρίου, ικανό για σχεδιασμό, βελτιστοποίηση και επιστημονική έρευνα. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται κρίσιμα από την ποιότητα των εισόδων, τη λεπτομέρεια του μοντέλου και την εμπειρία του χρήστη στη διαδικασία προσομοίωσης.

5.2 Σχέση EnergyPlus με ISO 52016:2017

Το πρότυπο ISO 52016-1:2017 αποτελεί ένα από τα βασικά διεθνή εργαλεία για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών και των εσωτερικών θερμικών συνθηκών κτιρίων, εισάγοντας μεθοδολογίες που βασίζονται σε ωριαία ή μηνιαία χρονικά βήματα για τον υπολογισμό θερμικών ισοζυγίων και ενεργειακών φορτίων [22]. Από την άλλη πλευρά, το EnergyPlus (E+) είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης ενεργειακής απόδοσης κτιρίων που αναπτύχθηκε από το U.S. Department of Energy, παρέχοντας μια πιο λεπτομερή και φυσικά βασισμένη προσέγγιση, με δυνατότητα επίλυσης σε ωριαία ή υπο-ωριαία βήματα [44]. Η σχέση μεταξύ των δύο είναι σημαντική, καθώς το EnergyPlus μπορεί να θεωρηθεί ως ένα εργαλείο προσομοίωσης που υλοποιεί και επεκτείνει σε πολλές περιπτώσεις τις αρχές που θέτει το ISO 52016-1:2017.

Κοινά Θεμέλια: Ωριαία Θερμικά Ισοζύγια

Το ISO 52016-1:2017 προτείνει τη χρήση της ωριαίας μεθόδου για τον υπολογισμό των θερμικών ισοζυγίων κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη εσωτερικά κέρδη, ηλιακή ακτινοβολία, αερισμό και θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους [22]. Αντίστοιχα, το EnergyPlus εφαρμόζει μια παρόμοια προσέγγιση, χρησιμοποιώντας δυναμικά θερμικά ισοζύγια που βασίζονται σε φυσικές εξισώσεις θερμικής μετάδοσης και συζευγμένες επιλύσεις για ζώνες και συστήματα [32]. Έτσι, η ωριαία μεθοδολογία που εισάγει το πρότυπο βρίσκει πλήρη αντιστοίχιση στο EnergyPlus, το οποίο μάλιστα υποστηρίζει μικρότερα χρονικά βήματα (π.χ. 10 λεπτών), παρέχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια.

Εσωτερικά και Ηλιακά Κέρδη

Το ISO 52016 καθορίζει πώς τα εσωτερικά κέρδη (από άτομα, φωτισμό, εξοπλισμό) και τα ηλιακά κέρδη (μέσω παραθύρων και δομικών στοιχείων) ενσωματώνονται στα θερμικά ισοζύγια [45]. Το EnergyPlus περιλαμβάνει εξαιρετικά αναλυτικά μοντέλα για την απόδοση φωτισμού, εξοπλισμού και κατανομής φορτίων, καθώς και προηγμένους αλγόριθμους για την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας και των σκιάσεων [46]. Επομένως, το EnergyPlus όχι μόνο συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του προτύπου, αλλά επιτρέπει και πιο ρεαλιστική αναπαράσταση των φαινομένων.

Συστήματα HVAC και Ενεργειακές Ανάγκες

Σύμφωνα με το ISO 52016-1:2017, ο υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου διαχωρίζεται από την αξιολόγηση των συστημάτων HVAC, ώστε να υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ θερμικών φορτίων και κατανάλωσης [47]. Το EnergyPlus ακολουθεί αυτή τη φιλοσοφία, καθώς υπολογίζει πρώτα τις θερμικές απαιτήσεις σε επίπεδο ζώνης και έπειτα προσομοιώνει την κάλυψή τους από συγκεκριμένα συστήματα HVAC, λαμβάνοντας υπόψη τις αποδόσεις, τις απώλειες και τους ελέγχους [48]. Με αυτόν τον τρόπο, υλοποιεί πλήρως την αρχή που θέτει το ISO 52016 για τον διαχωρισμό των φάσεων υπολογισμού.

Κλιματικά Δεδομένα

Το ISO 52016 απαιτεί τη χρήση τυποποιημένων κλιματικών δεδομένων, τα οποία αντλούνται από βάσεις δεδομένων με συγκεκριμένη μορφή (π.χ. TRY, TMY) [49]. Το EnergyPlus βασίζεται σε αρχεία EPW (EnergyPlus Weather files), τα οποία περιέχουν αντίστοιχα δεδομένα

για θερμοκρασία, υγρασία, ακτινοβολία, άνεμο και βροχόπτωση, τα οποία συχνά προέρχονται από τα ίδια δατασέτς που προδιαγράφονται και στο ISO 52016 [50]. Συνεπώς, υπάρχει πλήρης συμβατότητα στη χρήση κλιματικών δεδομένων.

Συγκριτικά Πλεονεκτήματα και Σχέση

Η κύρια διαφορά ανάμεσα στο EnergyPlus και το ISO 52016 βρίσκεται στο επίπεδο λεπτομέρειας. Το ISO 52016-1:2017 αποτελεί μια τυποποιημένη μεθοδολογία για ενεργειακούς υπολογισμούς, σχεδιασμένη ώστε να είναι εφαρμόσιμη σε κανονιστικό πλαίσιο και να παρέχει εναρμονισμένα αποτελέσματα μεταξύ χωρών. Αντίθετα, το EnergyPlus είναι ένα πλήρες εργαλείο προσομοίωσης, κατάλληλο για ερευνητικές και εφαρμοσμένες μελέτες, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικύρωση, επαλήθευση και σύγκριση με τα αποτελέσματα που δίνει η μεθοδολογία του ISO 52016 [51]. Έτσι, το EnergyPlus λειτουργεί συμπληρωματικά, προσφέροντας ένα πιο λεπτομερές πεδίο δοκιμών για την εφαρμογή και την αξιολόγηση του προτύπου.

Συμπέρασμα

Η σχέση του EnergyPlus με το ISO 52016:2017 μπορεί να περιγραφεί ως συμπληρωματική και αλληλοενισχυόμενη. Το ISO παρέχει το κανονιστικό πλαίσιο και την εναρμονισμένη μεθοδολογία, ενώ το EnergyPlus προσφέρει την τεχνική δυνατότητα υλοποίησης και επέκτασής της με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια. Για ερευνητικές μελέτες, το EnergyPlus συχνά χρησιμοποιείται ως «αναφορά» για την επικύρωση των αποτελεσμάτων της ISO-μεθόδου, ενώ σε κανονιστικά πλαίσια το ISO 52016 παραμένει το βασικό εργαλείο συμμόρφωσης [51][24].

5.3 Χρήση του EPlus για δημιουργία ελληνικών αρχέτυπων κτιρίων

Δημιουργία Αρχέτυπων Κτιρίων στην Ελλάδα

Η δημιουργία αρχέτυπων κτιρίων αποτελεί βασικό βήμα για την ενεργειακή ανάλυση και τον σχεδιασμό πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας. Στην Ελλάδα, λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών, των δομικών χαρακτηριστικών και των παραδοσιακών χρήσεων κτιρίων, η χρήση ενός προσομοιωτικού εργαλείου όπως το EnergyPlus (E+) είναι ιδιαίτερα χρήσιμη [52].

Ανάγκη για Ελληνικά Αρχέτυπα Κτιρίων

Τα αρχέτυπα κτιρίων αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά δομής, γεωμετρία, θερμοφυσικά υλικά, εσωτερικές συνθήκες και συστήματα HVAC που είναι τυπικά για μια συγκεκριμένη κατηγορία κτιρίου σε μια χώρα ή περιοχή [24]. Στην Ελλάδα, η ποικιλία από παραδοσιακά κτίρια, πολυκατοικίες του 20ού αιώνα και σύγχρονα γραφειακά κτίρια απαιτεί διαφορετικά προφίλ αρχέτυπων, τα οποία πρέπει να αποτυπώνουν τα ελληνικά χαρακτηριστικά χρήσης, εποχιακής λειτουργίας και κλιματικών δεδομένων [53].

Χρήση EnergyPlus για Δημιουργία Αρχέτυπων

Το EnergyPlus παρέχει ένα πλήρες περιβάλλον για τη δημιουργία αρχέτυπων κτιρίων μέσω των εξής διαδικασιών:

1. **Καθορισμός Γεωμετρίας και Ζωνών:** Οι ζώνες θερμοκρασίας και οι επιφάνειες καθορίζονται με βάση ελληνικά κτίρια-παραδείγματα, λαμβάνοντας υπόψη το μέσο μέγεθος δωματίων, το πλήθος ορόφων και τις κατηγορίες χρήσης [54].
2. **Υλικά και Θερμοφυσικά Χαρακτηριστικά:** Τα ελληνικά κτίρια χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένα δομικά υλικά (π.χ. τούβλο, μπετόν, θερμομονωτικά στρώματα), τα οποία ενσωματώνονται στο EnergyPlus μέσω της βιβλιοθήκης υλικών και επιφανειών [55].
3. **Κλιματικά Δεδομένα:** Χρησιμοποιούνται αρχεία EPW προσαρμοσμένα για ελληνικές πόλεις, τα οποία περιλαμβάνουν θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία και ανέμους

[56]. Αυτά εξασφαλίζουν ότι οι προσομοιώσεις αντικατοπτρίζουν την πραγματική ελληνική κλιματική συμπεριφορά.

4. **Εσωτερικά Κέρδη και Χρήση Χώρων:** Το EnergyPlus επιτρέπει τον ορισμό ελληνικών προτύπων χρήσης χώρων, όπως αριθμό ατόμων, εξοπλισμό και ωράριο λειτουργίας [57]. Αυτό είναι κρίσιμο για την εκτίμηση ενεργειακών αναγκών και φορτίων θέρμανσης/ψύξης.
5. **Συστήματα HVAC και Εξοπλισμός:** Τα ελληνικά κτίρια διαθέτουν συστήματα διαφορετικής τεχνολογίας και απόδοσης. Στο EnergyPlus μπορούν να μοντελοποιηθούν με λεπτομέρεια όλες οι διαθέσιμες λύσεις, όπως κλιματιστικά split, λέβητες φυσικού αερίου ή αντλίες θερμότητας [58].

Οφέλη από τη Χρήση EnergyPlus για Ελληνικά Αρχέτυπα

Η χρήση του EnergyPlus για την ανάπτυξη ελληνικών αρχέτυπων προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα:

- **Ακρίβεια:** Οι προσομοιώσεις βασίζονται σε φυσικά μοντέλα θερμικής μετάδοσης και δυναμικών ισοζυγίων, προσφέροντας μεγαλύτερη αξιοπιστία από απλούστερα εργαλεία [51].
- **Ευελιξία:** Επιτρέπει τη δημιουργία διαφόρων σεναρίων (π.χ. διαφορετικές θερμομονώσεις ή συστήματα HVAC) για κάθε τύπο κτιρίου [59].
- **Συμβατότητα με ISO 52016:** Τα αρχέτυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συμμόρφωση ή σύγκριση με τις μεθοδολογίες του ISO 52016 [60].
- **Υποστήριξη πολιτικών και σχεδιασμού:** Επιτρέπει την αξιολόγηση προτάσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο [61].

Συμπέρασμα

Η δημιουργία ελληνικών αρχέτυπων κτιρίων μέσω του EnergyPlus αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για την ενεργειακή ανάλυση και την πολιτική σχεδίαση. Συνδυάζει τα ελληνικά κλιματικά, δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά με προηγμένα μοντέλα προσομοίωσης, επιτρέποντας την ακριβή εκτίμηση ενεργειακών αναγκών, την ανάλυση σεναρίων και τη σύνδεση με διεθνή πρότυπα όπως το ISO 52016 [52][61].

5.4 Επεκτασιμότητα Αρχέτυπων

Η επεκτασιμότητα των αρχέτυπων κτιρίων αποτελεί κρίσιμο χαρακτηριστικό για τη μοντελοποίηση, την ανάλυση και τη σύγκριση ενεργειακής απόδοσης κτιρίων σε διαφορετικά σενάρια. Η έννοια της επεκτασιμότητας αναφέρεται στην ικανότητα ενός βασικού αρχέτυπου να τροποποιείται ή να επεκτείνεται ώστε να καλύπτει διαφορετικά γεωμετρικά, λειτουργικά, κλιματικά και συστημικά χαρακτηριστικά [61].

Βασικές Αρχές Επεκτασιμότητας

Η επεκτασιμότητα αρχέτυπων απαιτεί τη χρήση μοντέλων που μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε διαφορετικές κατηγορίες κτιρίων, χώρους και κλιματικές ζώνες. Παρόμοια εργαλεία όπως το pyBuildingsEnergy χρησιμοποιούν προγραμματιστικά frameworks για τη δημιουργία παραμετρικών αρχέτυπων, επιτρέποντας στον χρήστη να αλλάζει μεγέθη, υλικά, εσωτερικά κέρδη και συστήματα HVAC χωρίς να δημιουργεί νέο μοντέλο από το μηδέν [62].

Επεκτασιμότητα στο EnergyPlus

Στο πλαίσιο του EnergyPlus, η επεκτασιμότητα επιτυγχάνεται με τα εξής:

- **Παραμετρικά μοντέλα ζωνών:** Οι ζώνες θερμοκρασίας μπορούν να οριστούν μέσω Python scripts ή API, επιτρέποντας την αυτόματη δημιουργία πολλαπλών αρχέτυπων με διαφορετικές διαστάσεις, προσανατολισμό και κατανομές χώρων [63].
- **Δυναμική εισαγωγή υλικών και στρώσεων:** Τα δομικά υλικά και οι θερμοφυσικές ιδιότητες μπορούν να αλλάζουν δυναμικά, επιτρέποντας τη δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων θερμομονωτικών χαρακτηριστικών [64].
- **Προσαρμογή εσωτερικών φορτίων και ωραρίων:** Οι παράμετροι για ανθρώπινη παρουσία, φωτισμό και εξοπλισμό μπορούν να μεταβληθούν ανάλογα με τον τύπο κτιρίου ή τη λειτουργία του, δημιουργώντας ευέλικτα και επεκτάσιμα προφίλ χρήσης [57].
- **Επαναχρησιμοποίηση συστημάτων HVAC:** Οι βασικές συνδεσμολογίες αερισμού και ψύξης/θέρμανσης μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να τροποποιηθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις, χωρίς να απαιτείται πλήρης ανασχεδίαση του αρχέτυπου [65].

Οφέλη της Επεκτασιμότητας

Η δυνατότητα επεκτασιμότητας προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα:

- **Εφαρμογή σε μεγάλα χαρτοφυλάκια κτιρίων:** Η μέθοδος επιτρέπει τη δημιουργία και εφαρμογή πολλαπλών σεναρίων ανακαίνισης σε μεγάλο αριθμό κτιρίων ταυτόχρονα.
- **Σύγκριση και επικύρωση σεναρίων:** Η παραμετρική διαμόρφωση των αρχέτυπων διευκολύνει τη σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων ενεργειακής απόδοσης [66].
- **Διεθνής προσαρμογή:** Αρχέτυπα σχεδιασμένα για συγκεκριμένες κλιματικές ζώνες μπορούν να μεταφερθούν σε άλλες [67].
- **Αποτελεσματική δημιουργία βάσεων δεδομένων:** Η χρήση επεκτάσιμων αρχέτυπων μειώνει τον χρόνο παραγωγής μεγάλου αριθμού μοντέλων για ερευνητικούς ή κανονιστικούς σκοπούς [68].
- **Συμβατότητα με εργαλεία ανάλυσης:** Η παραμετρική προσέγγιση υποστηρίζει τη χρήση Python scripts μέσω πλατφορμών όπως pyBuildingsEnergy για μαζική παραγωγή, ανάλυση και βελτιστοποίηση αρχέτυπων [62].

Εφαρμογή στην Ελλάδα

Η επεκτασιμότητα αρχέτυπων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την Ελλάδα, όπου απαιτούνται αρχέτυπα για διαφορετικούς τύπους κτιρίων (κατοικίες, γραφεία, σχολεία) και διαφορετικές κλιματικές ζώνες (π.χ. ηπειρωτική, νησιωτική, μεσογειακή) [53]. Η χρήση παραμετρικών αρχέτυπων σε EnergyPlus επιτρέπει τη δημιουργία βάσης ελληνικών αρχέτυπων που μπορούν να επεκταθούν για:

- Την προσομοίωση εναλλακτικών θερμομονωτικών παρεμβάσεων.
- Τη δοκιμή διαφορετικών σεναρίων συστημάτων HVAC.
- Την αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών και προγραμμάτων εξοικονόμησης [69].

Συμπέρασμα

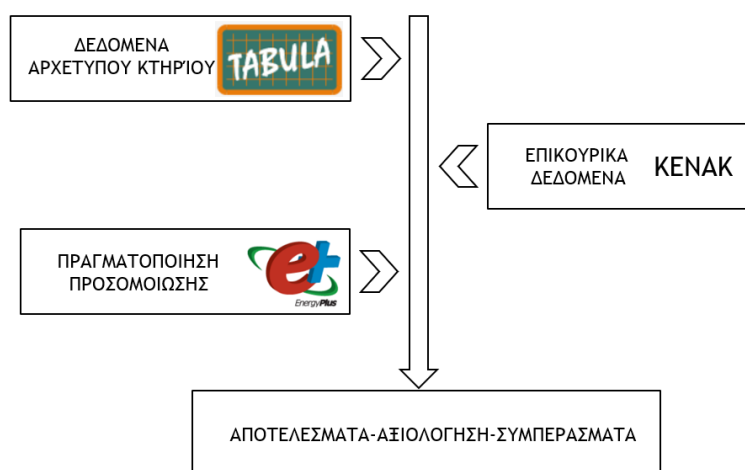
Η επεκτασιμότητα των αρχέτυπων κτιρίων αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό για την αποτελεσματική και ευέλικτη χρήση του EnergyPlus. Μέσω παραμετρικών μοντέλων, δυναμικής εισαγωγής υλικών, εσωτερικών φορτίων και συστημάτων HVAC, μπορεί να δημιουργηθεί μια βάση αρχέτυπων που προσαρμόζεται σε πολλαπλές χρήσεις, κλιματικές ζώνες και σεναριακές απαιτήσεις, ανάλογα με εργαλεία όπως το pyBuildingsEnergy [69].

6 Ανάλυση μεθοδολογίας και Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στρατηγική προσομοίωσης

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, η προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση του λογισμικού EnergyPlus. Το EnergyPlus επιλέχθηκε λόγω της δυνατότητας που παρέχει για αναλυτικό υπολογισμό θερμικών ροών, ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης (DHW) και φωτισμό, καθώς και για την αξιολόγηση της επίδρασης διαφορετικών συστημάτων HVAC και αερισμού στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου.

Για την επιλογή του κτηρίου χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα TABULA, η οποία παρέχει λεπτομερή δεδομένα τυπικών κτιρίων ανά τύπο και περιοχή στην Ευρώπη.



Σχήμα 6.1: Στρατηγική Προσομοίωσης

6.0.1 Εισαγωγή και Περιγραφή της Πλατφόρμας TABULA

Η συστηματική αποτύπωση και ανάλυση του κτηριακού αποθέματος αποτελεί κρίσιμο βήμα για την ανάπτυξη στρατηγικών ενεργειακής απόδοσης και την υποστήριξη πολιτικών βιώσιμης ανάπτυξης στον τομέα των κτιρίων. Στο πλαίσιο αυτό, το έργο TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) εισήγαγε μια μεθοδολογική προσέγγιση τυπολογικής κατηγοριοποίησης των κατοικιών στην Ευρώπη, με στόχο την ανάπτυξη αντιπροσωπευτικών ‘αρχέτυπων’ κτιρίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αξιολογήσεις ενεργειακής συμπεριφοράς σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Η διαδικτυακή πλατφόρμα TABULA WebTool αποτελεί το κύριο εργαλείο διάχυσης και αξιοποίησης των αποτελεσμάτων του έργου. Μέσω αυτής, οι ερευνητές, οι μελετητές, αλλά και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν να αντλήσουν δεδομένα για την τυπολογία των κατοικιών ανά χώρα, να συγκρίνουν χαρακτηριστικά ενεργειακής απόδοσης και να προσομοιώσουν σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας.

Δομή και Χαρακτηριστικά της Πλατφόρμας

Η πλατφόρμα βασίζεται σε μια τυπολογική μεθοδολογία, σύμφωνα με την οποία τα κτίρια ταξινομούνται σε κατηγορίες με βάση:

- τη χώρα
- τη κλιματική ζώνη
- το έτος κατασκευής
- το μέγεθος και τον τύπο (π.χ. μονοκατοικίες, πολυκατοικίες)
- τα υλικά και τις τεχνικές ιδιότητες του κελύφους.

Για κάθε χώρα παρέχονται αντιπροσωπευτικά παραδείγματα (building archetypes), τα οποία περιλαμβάνουν λεπτομερή δεδομένα για:

- **Δομικά χαρακτηριστικά:** γεωμετρία, επιφάνειες δομικών στοιχείων, θερμοφυσικές ιδιότητες, συντελεστές θερμοπερατότητας.
- **Συστήματα θέρμανσης και παροχής ενέργειας:** με έμφαση στην τεχνολογία και στην αποδοτικότητά τους.
- **Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση χώρων:** όπως εκτιμάται με βάση τυποποιημένες μεθοδολογίες υπολογισμού.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του εργαλείου είναι η δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης: οι χρήστες μπορούν να εξετάσουν τη διαχρονική εξέλιξη των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των κτιρίων, αλλά και να συγκρίνουν δεδομένα μεταξύ διαφορετικών ευρωπαϊκών χωρών. Παράλληλα, το TABULA WebTool προσφέρει τη δυνατότητα διαμόρφωσης σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης, μέσω των οποίων μπορεί να εκτιμηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας από παρεμβάσεις όπως:

- η θερμομόνωση,
- η αντικατάσταση κουφωμάτων,
- η αλλαγή συστημάτων θέρμανσης.

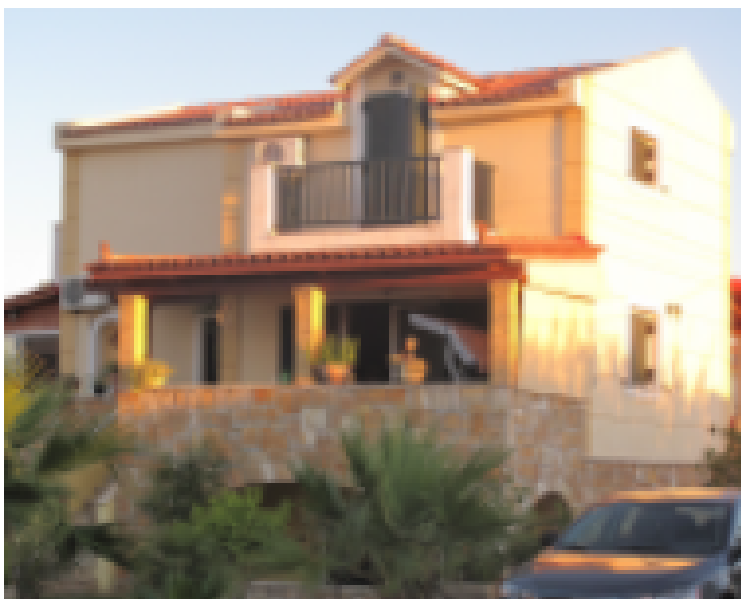
Επιστημονική και Πρακτική Σημασία

Η αξία της πλατφόρμας έγκειται στο γεγονός ότι δημιουργεί ένα κοινό πλαίσιο αναφοράς για την καταγραφή και αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηριακού αποθέματος στην Ευρώπη. Μέσω αυτής, επιτυγχάνεται:

- **Διακρατική συγκρισιμότητα:** τα δεδομένα είναι ομοιογενοποιημένα και παρουσιάζονται σε ενιαία μορφή, επιτρέποντας συγκρίσεις μεταξύ χωρών και περιόδων κατασκευής.
- **Υποστήριξη πολιτικών:** οι αρμόδιες αρχές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα για την ανάπτυξη στρατηγικών ενεργειακής αναβάθμισης σε εθνικό επίπεδο.
- **Εργαλείο για μελέτες και έρευνα:** οι ερευνητές αποκτούν πρόσβαση σε αξιόπιστα και συγκροτημένα δεδομένα, τα οποία μπορούν να ενσωματώσουν σε μοντέλα προσομοίωσης ή αναλύσεις κόστους-οφέλους.
- **Διάχυση καλών πρακτικών:** παρουσιάζονται παραδείγματα επιτυχημένων παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως οδηγός σε μελλοντικές δράσεις.

6.1 Δεδομένα προσομοίωσης από την Tabula

Το επιλεγμένο κτήριο αντιστοιχεί σε μία μονοκατοικία η οποία κατασκευάστηκε την περίοδο 2001–2010, με αρχική αναφορά επιφάνειας 217 m^2 , η οποία ωστόσο, για λόγους προσομοίωσης, έχει προσαρμοστεί σε 48 m^2 . Το κτήριο ανήκει στην Κλιματική Ζώνη Β, που χαρακτηρίζεται από ήπιο χειμώνα και θερμό καλοκαίρι, γεγονός που επηρεάζει καθοριστικά τις ενεργειακές του ανάγκες. Η περίοδος κατασκευής του συνδέεται με τη χρήση σύγχρονων δομικών υλικών και βελτιωμένων πρακτικών θερμομόνωσης σε σχέση με παλαιότερες δεκαετίες, αν και πριν την πλήρη εφαρμογή του KENAK, ενώ το μικρότερο προσομοιωμένο εμβαδόν το καθιστά πιο αντιπροσωπευτικό για μικρές κατοικίες ή τμήματα μεγαλύτερων κτηρίων, διευκολύνοντας την ανάλυση σεναρίων ενεργειακής απόδοσης.



Σχήμα 6.2: Φωτογραφία υπό μελέτη κτηρίου.

Θερμοφυσικές ιδιότητες του κτηρίου

Το υπό μελέτη κτήριο αποτελεί μονοκατοικία της περιόδου 2001–2010, η οποία, για λόγους προσομοίωσης, έχει προσαρμοστεί από το αρχικό μέγεθος των 217 m^2 σε 48 m^2 . Η μείωση του εμβαδού συνεπάγεται ότι οι επιφάνειες των δομικών στοιχείων (οροφή, τοίχοι, δάπεδο) έχουν αναλογικά περιοριστεί, ωστόσο οι συντελεστές θερμοπερατότητας (U -values) παραμένουν σταθεροί, καθώς εξαρτώνται αποκλειστικά από τη δομή και τα υλικά των στοιχείων και όχι από το συνολικό τους εμβαδόν.

Η οροφή κατασκευάστηκε ως κεραμοσκεπή επί κεκλιμένης πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος με θερμομόνωση 6 cm ($U = 0.50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), ενώ οι κύριοι εξωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από δικέλυφη οπτοπλινθοδομή με μόνωση 5 cm , παρουσιάζοντας βελτιωμένες ιδιότητες ($U = 0.70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Ωστόσο, τμήματα τοιχοποιίας χωρίς μόνωση ($U = 3.00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), καθώς και το δάπεδο επί εδάφους ή πάνω από μη θερμαινόμενο χώρο ($U = 3.00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), αναδεικνύουν σημαντικές θερμικές αδυναμίες. Επιπλέον, τα κουφώματα, με διπλούς υαλοπίνακες (12 mm) και μεταλλικό πλαίσιο, παρουσιάζουν υψηλό $U = 4.10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, γεγονός που περιορίζει την ενεργειακή απόδοση του κελύφους. Συνολικά, το κτήριο αποτυπώνει μια κατασκευαστική

πρακτική μερικών βελτιώσεων ως προς τη θερμομόνωση, αλλά και με εμφανείς ελλείψεις που καθιστούν το ενεργειακό του προφίλ μη βέλτιστο.

Σύνοψη:

- **Κτήριο:** Μονοκατοικία (2001–2010).
- **Αρχική αναφορά:** $217 \text{ m}^2 \rightarrow$ προσαρμογή σε 48 m^2 για προσομοίωση.
- Οι επιφάνειες των στοιχείων έχουν αναλογικά μειωθεί.
- Οι U-values παραμένουν αμετάβλητοι.
- **Οροφή:** Κεραμοσκεπή σε κεκλιμένη πλάκα σκυροδέματος, θερμομόνωση 6 cm, $U = 0.50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- **Κύριοι εξωτερικοί τοίχοι:** Δικέλυφη οπτοπλινθοδομή με μόνωση 5 cm, $U = 0.70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- **Δευτερεύοντες τοίχοι:** Χωρίς μόνωση, επιχρισμένοι στη μία όψη, $U = 3.00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- **Δάπεδο:** Πλάκα επί εδάφους ή πάνω από ΜΘΧ, $U = 3.00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- **Κουφώματα:** Διπλοί υαλοπίνακες (12 mm), μεταλλικό πλαίσιο, $U = 4.10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

6.1.1 Σύστημα θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης του υπό μελέτη κτηρίου βασίζεται σε έναν λέβητα πετρελαίου σταθερής θερμοκρασίας, μη συμπύκνωσης, ο οποίος είναι καλά θερμομονωμένος και συντηρημένος, αποτελώντας τον κύριο παραγωγό θερμότητας με μερίδιο 100%. Ο λέβητας χρησιμοποιεί πετρέλαιο θέρμανσης ως φορέα ενέργειας και εμφανίζει συντελεστή ενεργειακής δαπάνης 1.33, υποδηλώνοντας μέτρια απόδοση σε σύγκριση με πιο σύγχρονες τεχνολογίες.

Η διανομή της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω ενός κεντρικού δικτύου σωληνώσεων εντός του θερμικού κελύφους, με μικρό τμήμα να διέρχεται από μη θερμαινόμενους χώρους. Το δίκτυο είναι τύπου δίδυμης σωλήνωσης (two-pipe) και δεν διαθέτει θερμομόνωση, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες απώλειες, υπολογιζόμενες σε $6.2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Για την παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, ανεξάρτητα από το κύριο σύστημα θέρμανσης, ενώ η λειτουργία της κεντρικής κυκλοφορίας απαιτεί βοηθητική ηλεκτρική ενέργεια $5.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Συνολικά, το σύστημα ανταναχλά τις πρακτικές της εποχής, με βασική πηγή ενέργειας το πετρέλαιο, επαρκή θερμομονωτική προστασία στον λέβητα, αλλά και εμφανείς αδυναμίες στη θερμομόνωση του δικτύου διανομής και στην ενεργειακή αποδοτικότητα σε σύγκριση με νεότερες τεχνολογίες.

Σύνοψη:

- **Κωδικός Συστήματος:** GR.Oil.B_NC_CT.Gen.05
- **Τύπος συστήματος:**
 - Λέβητας πετρελαίου, σταθερής θερμοκρασίας, μη συμπύκνωσης.
 - Καλά θερμομονωμένος και καλά συντηρημένος.
 - Βασική πηγή θέρμανσης (100% της παραγωγής θερμότητας).
 - Φορέας ενέργειας: Πετρέλαιο θέρμανσης.

– Συντελεστής ενεργειακής δαπάνης: 1.33.

- **Δίκτυο διανομής:**

- Κεντρικό δίκτυο σωληνώσεων εντός θερμικού κελύφους.
- Μικρό ποσοστό σωληνώσεων σε μη θερμαινόμενο χώρο.
- Δίδυμη σωλήνωση (two-pipe).
- Χωρίς θερμομόνωση.
- Συγκριμένες απώλειες διανομής: 6.2 kWh/(m²a).

- **Βοηθητική ηλεκτρική κατανάλωση:** 5.5 kWh/(m²a).

Αποτύπωση στο Energyplus

Σε αυτήν την εικόνα φαίνονται τα χαρακτηριστικά του μπόιλερ πετρελαίου.

Field	Units	Obj1
Name		OIL BOILER
Fuel Type		FuelOilNo1
Nominal Capacity	W	15000
Nominal Thermal Efficiency		0,75
Efficiency Curve Temperature Evaluation Variable		
Normalized Boiler Efficiency Curve Name		
Design Water Flow Rate	m3/s	autosize
Minimum Part Load Ratio		
Maximum Part Load Ratio		1
Optimum Part Load Ratio		1
Boiler Water Inlet Node Name		OilBoiler Inlet Node
Boiler Water Outlet Node Name		OilBoiler Outlet Node
Water Outlet Upper Temperature Limit	C	90
Boiler Flow Mode		NotModulated
On Cycle Parasitic Electric Load	W	
Sizing Factor		1
End-Use Subcategory		General
Off Cycle Parasitic Fuel Load	W	

Σχήμα 6.3: Χαρακτηριστικά μπόιλερ πετρελαίου.

Το Plant Loop στο EnergyPlus

Στο EnergyPlus, το Plant Loop είναι η βασική δομή για τη μοντελοποίηση κυκλωμάτων μεταφοράς θερμότητας μέσω υγρών, που χρησιμοποιούνται για την παροχή θερμότητας ή ψύξης σε διάφορα συστήματα HVAC. Πρόκειται για ένα εικονικό «κύκλωμα» που περιλαμβάνει αντλίες, σωληνώσεις, εναλλάκτες θερμότητας και μονάδες παραγωγής θερμότητας ή ψύξης, συνδεδεμένα με καταναλωτές θερμότητας ή ψύξης (π.χ., fan coils, AHU, radiant systems).

Δομή ενός Plant Loop

Ένα τυπικό plant loop αποτελείται από δύο βασικές πλευρές:

- **Supply Side:** Η πλευρά που παράγει ή παρέχει το θερμικό μέσο (ζεστό ή κρύο νερό) και το μεταφέρει προς τα καταναλωτικά συστήματα.

- **Demand Side:** Η πλευρά που καταναλώνει τη θερμική ενέργεια, όπως μονάδες τερματικών, AHU ή fan coil units.

Μεταξύ αυτών των δύο πλευρών, συχνά υπάρχει ένας ή περισσότεροι εναλλάκτες θερμότητας (Heat Exchanger) που συνδέουν το κύκλωμα παραγωγής με τα καταναλωτικά κυκλώματα.

Field	Units	Obj2
Name		HW LOOP
Fluid Type		Water
User Defined Fluid Type		
Plant Equipment Operation Scheme Name		HOT LOOP OPER
Loop Temperature Setpoint Node Name		HW Supply Outlet Node
Maximum Loop Temperature	C	100
Minimum Loop Temperature	C	10
Maximum Loop Flow Rate	m3/s	autosize
Minimum Loop Flow Rate	m3/s	0
Plant Loop Volume	m3	autocalculate
Plant Side Inlet Node Name		HW Supply Inlet Node
Plant Side Outlet Node Name		HW Supply Outlet Node
Plant Side Branch List Name		Heating Supply Side Branches
Plant Side Connector List Name		Heating Supply Side Connectors
Demand Side Inlet Node Name		HW Demand Inlet Node
Demand Side Outlet Node Name		HW Demand Outlet Node
Demand Side Branch List Name		Heating Demand Side Branches
Demand Side Connector List Name		Heating Demand Side Connectors
Load Distribution Scheme		Optimal

Σχήμα 6.4: Plantloop, Μπόιλερ Πετρελαίου.

Χαρακτηριστικά:

- Όνομα κυκλώματος: HW LOOP
- Θερμικό μέσο: Νερό
- Σχήμα λειτουργίας: HOT LOOP OPER
- Setpoint θερμοκρασίας: HW Supply Outlet Node
- Θερμοκρασιακό εύρος: 10 °C – 100 °C
- Μέγιστη παροχή: autosize
- Ελάχιστη παροχή: 0 m³/s
- Όγκος κυκλώματος: autocalculate

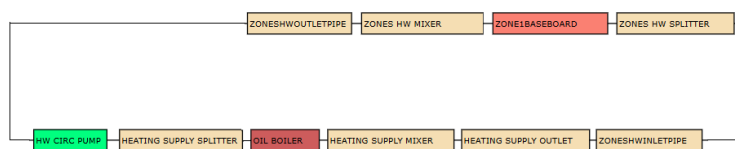
Supply Side :

- Inlet Node: HW Supply Inlet Node
- Outlet Node: HW Supply Outlet Node
- Branch List: Heating Supply Side Branches
- Connector List: Heating Supply Side Connectors

Demand Side:

- Inlet Node: HW Demand Inlet Node
- Outlet Node: HW Demand Outlet Node

- Branch List: Heating Demand Side Branches
- Connector List: Heating Demand Side Connectors
- Load Distribution Scheme: Optimal



Σχήμα 6.5: Plantloop, diagram, Μπόιλερ Πετρελαίου.

Προγράμματα λειτουργίας

Το ωράριο λειτουργίας του λέβητα πετρελαίου δημιουργήθηκε σύμφωνα με τον KENAK. Ο λέβητας λειτουργεί από τις 15:00 έως τα μεσάνυχτα και από τα μεσάνυχτα έως τις 09:00, ενώ παραμένει ανενεργός από τις 09:00 έως τις 15:00, για την περίοδο χειμερινής θέρμανσης (μέχρι 15/04 και από 01/11 έως 31/12). Από 01/05 έως 31/10 ο λέβητας παραμένει ανενεργός. Κατά τις αργίες λειτουργεί μόνο από 00:00 έως 09:00, ώστε να μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας όταν η ζήτηση είναι χαμηλή.

Επιθυμητές θερμοκρασίες

Οι επιθυμητές Θερμοκρασίες Χώρου για θέρμανση δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τον KENAK:

- Περίοδος 1 Ιανουαρίου έως 15 Απριλίου:
 - 00:00-09:00: 17 °C
 - 09:00-15:00: 0 °C
 - 15:00-24:00: 20 °C
- Περίοδος 16 Απριλίου – 31 Οκτωβρίου:
 - Θέρμανση ανενεργή (0 °C)
- Περίοδος 01 Νοεμβρίου – 31 Δεκεμβρίου:
 - 00:00-09:00: 17 °C
 - 09:00-15:00: 0 °C
 - 15:00-24:00: 20 °C

6.1.2 Σύστημα Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Το σύστημα παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) του υπό μελέτη κτηρίου βασίζεται σε τοπικούς ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι κοντά στους υποδοχείς και μέσα σε θερμαινόμενο χώρο. Πρόκειται για συσκευές άγνωστου τύπου και λειτουργικής κατηγορίας, που χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό ως φορέα ενέργειας και παρέχουν 100% της θερμικής ενέργειας ZNX. Ο συντελεστής ενεργειακής δαπάνης είναι 1.05, υποδεικνύοντας σχεδόν άμεση μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα χωρίς σημαντικές απώλειες.

Η αποθήκευση του νερού γίνεται σε αποκεντρωμένα δοχεία (decentralized hot water storage), μέσα σε θερμαινόμενο χώρο και κοντά στους υποδοχείς, γεγονός που μειώνει τις θερμικές απώλειες διανομής. Οι απώλειες που σχετίζονται με την επιφάνεια του δαπέδου υπολογίζονται σε $2.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, ενώ το τοπικό δίκτυο διανομής παρουσιάζει μικρές απώλειες $0.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Η λειτουργία του συστήματος δεν απαιτεί βοηθητική ηλεκτρική ενέργεια για κυκλοφορία νερού, καθώς η διανομή είναι τοπική χωρίς ή με πολύ μικρό δίκτυο σωληνώσεων, γεγονός που καθιστά το σύστημα ιδιαίτερα αποδοτικό και απλό στη χρήση.

Σύνοψη:

- **Κωδικός Συστήματος:** GR.ELE.Gen.01
- **Τύπος θερμοαντήρα:** Τοπικός ηλεκτρικός θερμοσίφωνας (άγνωστου τύπου και κατηγορίας).
- **Φορέας ενέργειας:** Ηλεκτρισμός
- **Συντελεστής ενεργειακής δαπάνης:** 1.05
- **Μερίδιο θερμικής παραγωγής:** 100% για ZNX
- **Αποθήκευση νερού:**
 - Αποκεντρωμένο δοχείο κοντά στους υποδοχείς
 - Εγκατάσταση μέσα σε θερμαινόμενο χώρο
- **Απώλειες θερμότητας:**
 - Ανά m^2 : $2.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
 - Δίκτυο διανομής: $0.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, λόγω τοπικού δικτύου χωρίς ή με μικρό δίκτυο σωληνώσεων
- **Βοηθητική ηλεκτρική κατανάλωση:** $0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Αποτύπωση στο Energyplus

Field	Units	Obj1
Name		Water Heater
End-Use Subcategory		Water Heater
Tank Volume	m3	0,1893
Tank Height	m	1,4
Tank Shape		VerticalCylinder
Tank Perimeter	m	
Maximum Temperature Limit	C	82,2222
Heater Priority Control		MasterSlave
Heater 1 Setpoint Temperature Schedule Name		Hot Water Set Point Temp Sc
Heater 1 Deadband Temperature Difference	deltaC	2
Heater 1 Capacity	W	4500
Heater 1 Height	m	1
Heater 2 Setpoint Temperature Schedule Name		Hot Water Set Point Temp Sc
Heater 2 Deadband Temperature Difference	deltaC	5
Heater 2 Capacity	W	4500
Heater 2 Height	m	0
Heater Fuel Type		ELECTRICITY
Heater Thermal Efficiency		0,98
Off Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate	W	10
Off Cycle Parasitic Fuel Type		ELECTRICITY
Off Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank		0
Off Cycle Parasitic Height	m	
On Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate	W	10
On Cycle Parasitic Fuel Type		ELECTRICITY
On Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank		0

Σχήμα 6.6: Μπόιλερ(ZNX).

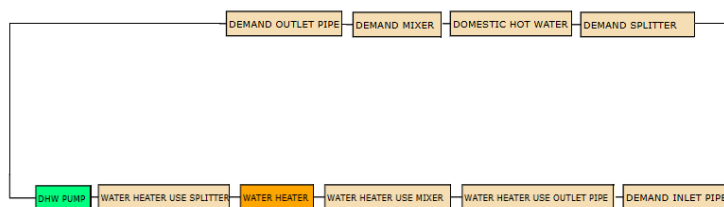
Το Plant Loop στο EnergyPlus

Field	Units	Obj1
Name		DHW Loop
Fluid Type		WATER
User Defined Fluid Type		
Plant Equipment Operation Scheme Name		DHW Loop Operation
Loop Temperature Setpoint Node Name		Water Heater Use Loop Outlet Node
Maximum Loop Temperature	C	100
Minimum Loop Temperature	C	3
Maximum Loop Flow Rate	m3/s	autosize
Minimum Loop Flow Rate	m3/s	0
Plant Loop Volume	m3	autosize
Plant Side Inlet Node Name		Water Heater Use Loop Inlet Node
Plant Side Outlet Node Name		Water Heater Use Loop Outlet Node
Plant Side Branch List Name		Water Heater Use Branches
Plant Side Connector List Name		Water Heater Use Connectors
Demand Side Inlet Node Name		Demand Inlet Node
Demand Side Outlet Node Name		Demand Outlet Node
Demand Side Branch List Name		Demand Branches
Demand Side Connector List Name		Demand Connectors
Load Distribution Scheme		OPTIMAL

Σχήμα 6.7: Plantloop,Μπόιλερ(ZNX).

Το DHW Loop είναι το κύκλωμα ζεστού νερού χρήσης, με νερό ως θερμικό μέσο, που μεταφέρει θερμότητα από τον θερμοσίφωνα προς τα σημεία κατανάλωσης. Η λειτουργία του καθορίζεται από το Plant Equipment Operation Scheme με όνομα DHW Loop Operation, ενώ

ο κόμβος Water Heater Use Loop Outlet Node ορίζεται ως σημείο setpoint θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος κυμαίνεται από 3 °C έως 100 °C, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες ζεστού νερού χωρίς υπερθέρμανση ή αχρείαστη κατανάλωση ενέργειας.



Σχήμα 6.8: Plantloop, diagram, Μπόιλερ(ZNX).

Η παροχή του νερού ρυθμίζεται δυναμικά, με μέγιστη τιμή autosize και ελάχιστη 0 m³/s, ενώ ο συνολικός όγκος του κυκλώματος υπολογίζεται επίσης autocalculate. Το κύκλωμα χωρίζεται σε δύο πλευρές:

- Supply Side: περιλαμβάνει τους κόμβους εισόδου και εξόδου (Water Heater Use Loop Inlet/Outlet Node), τους κλάδους (Water Heater Use Branches) και τους συνδέσμους (Water Heater Use Connectors).
- Demand Side: περιλαμβάνει τους κόμβους εισόδου και εξόδου (Demand Inlet/Outlet Node), τους κλάδους (Demand Branches) και τους συνδέσμους (Demand Connectors) που συνδέουν τα σημεία χρήσης ζεστού νερού.

Η κατανομή φορτίου στο κύκλωμα καθορίζεται με στρατηγική Optimal, εξασφαλίζοντας ότι η θερμότητα διανέμεται αποδοτικά ανάμεσα στα σημεία κατανάλωσης και η ζήτηση καλύπτεται με την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση.

Προγράμματα λειτουργίας

Σύμφωνα με τον KENAK, η παραγωγή ZNX πρέπει να προσαρμόζεται στις πραγματικές ανάγκες των χρηστών για την αποφυγή ενεργειακών απωλειών. Σε οικία με δύο κατοίκους, παρατηρούνται δύο κύριες περιόδους αιχμής:

- Πρωί (06:00–08:00): πλήρης λειτουργία (fraction = 1) για κάλυψη ντους και κουζίνας.
- Βράδυ (20:00–22:00): πλήρης ή υψηλή λειτουργία (fraction = 1) για πλύσιμο πιάτων και προσωπικές ανάγκες.

Κατά τις υπόλοιπες ώρες, η λειτουργία περιορίζεται σε μερικό φορτίο ή μηδενίζεται, ανάλογα με τη ζήτηση, όπως φαίνεται στον πίνακα:

Χρονική Περίοδος	Fraction	Σχόλιο
00:00–06:00	0	Χαμηλή χρήση
06:00–08:00	1	Πρωινή αιχμή
08:00–12:00	0	Χαμηλή χρήση
12:00–14:00	0.3	Ελαφρά χρήση
14:00–17:00	0	Χαμηλή χρήση
17:00–20:00	0.5	Απογευματινή μικρή αιχμή
20:00–22:00	1	Βραδινή αιχμή
22:00–24:00	0	Τέλος λειτουργίας

Πίνακας 2: Προφίλ λειτουργίας DHW για οικία με δύο κατοίκους σύμφωνα με τον KENAK

6.2 Δεδομένα προσομοίωσης εκτός Tabula

Στα δεδομένα προσομοίωσης της πλατφόρμας TABULA, τα περισσότερα αρχέτυπα κτιρίων δεν περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των κατοίκων, τα συστήματα ψύξης και τον φυσικό αερισμό. Για την πλήρη και ρεαλιστική προσομοίωση προστίθενται επιπλέον οι ακόλουθες παράμετροι: δύο κάτοικοι, σύστημα ψύξης και σύστημα αερισμού. Τα συστήματα ψύξης και ο αερισμός θα αναλυθούν στις παρακάτω υποενότητες, ώστε να περιγραφούν λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά και οι παράμετροι τους για τις ανάγκες της προσομοίωσης.

6.2.1 Σύστημα Ψύξης

Απαραίτητη είναι η προσθήκη ενός τυπικού συστήματος cooling, βασισμένου σε κοινά split inverter air-condition της ελληνικής αγοράς. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται αποκλειστικά για cooling και όχι για heating, με στόχο την αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά τους θερμούς μήνες.

Η μονάδα διαθέτει cooling capacity 9.000 BTU/h (= 2,64 kW) και heating capacity 3,15 kW (μη χρησιμοποιούμενη για heating), ενώ ο δείκτης απόδοσης cooling (EER) ανέρχεται σε περίπου 3,23. Η μέγιστη κατανάλωση ισχύος κατά τη λειτουργία cooling είναι περίπου 0,82 kW. Το σύστημα χρησιμοποιεί τεχνολογία inverter με μεταβαλλόμενο compressor, επιτρέποντας την προσαρμογή της ισχύος στις πραγματικές ανάγκες του χώρου. Η μονάδα indoor unit διαθέτει ροή αέρα περίπου 7,5–10,5 m³/min, ανάλογα με την ταχύτητα λειτουργίας του fan, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη κατανομή cooling στον θερμαινόμενο χώρο.

Σύνοψη:

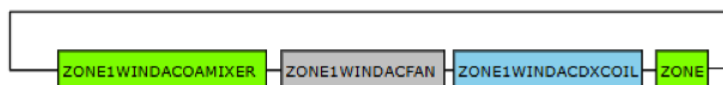
- **Τύπος συστήματος:** Split inverter air-condition (μόνο για cooling)
- **Cooling Capacity:** 9.000 BTU/h = 2,64 kW
- **Heating Capacity:** 3,15 kW (δεν χρησιμοποιείται για heating)
- **EER (Cooling Efficiency Ratio):** 3,23
- **Μέγιστη κατανάλωση ισχύος (Cooling):** 0,82 kW
- **Τεχνολογία:** Inverter, μεταβαλλόμενος compressor
- **Flow rate air (Indoor Unit):** 7,5–10,5 m³/min ανάλογα με ταχύτητα fan
- **Σκοπός:** Μόνο cooling, αξιολόγηση ενεργειακής κατανάλωσης κατά τους θερμούς μήνες

Αποτύπωση στο Energyplus

Field	Units	Obj1
Name		Zone1WindAC
Availability Schedule Name		CoolingCoilAvailSched
Maximum Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize
Maximum Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize
Air Inlet Node Name		Zone1WindACAirInletNode
Air Outlet Node Name		Zone1WindACAirOutletNode
Outdoor Air Mixer Object Type		OutdoorAir:Mixer
Outdoor Air Mixer Name		Zone1WindACOAMixer
Supply Air Fan Object Type		Fan:OnOff
Supply Air Fan Name		Zone1WindACFan
Cooling Coil Object Type		Coil:Cooling:DX:SingleSpeed
DX Cooling Coil Name		Zone1WindACDXCoil
Supply Air Fan Operating Mode Schedule Name		CYCLINGFANSCH
Fan Placement		BlowThrough
Cooling Convergence Tolerance		0.001
Availability Manager List Name		
Design Specification ZoneHVAC Sizing Object Name		

Σχήμα 6.9: Οικιακό AC.

Το Plant Loop στο EnergyPlus



Σχήμα 6.10: Plantloop,diaagram,AC.

Στοιχεία:

- ZONE1WINDACOAMIXER: Αναμειγνύει επιστρεφόμενο και εξωτερικό αέρα για σταθερή θερμοκρασία και ποιότητα αέρα.
- ZONE1WINDACFAN: Κυκλοφορεί τον αέρα μέσα στο σύστημα σύμφωνα με τις ανάγκες της ζώνης.
- ZONE1WINDACDXCOIL: Ψύχει ή θερμαίνει τον αέρα ώστε να πλησιάσει τα setpoints.
- ZONE : Η τελική ζώνη που λαμβάνει τον επεξεργασμένο αέρα για άνεση.

Ο αέρας αναμειγνύεται στον Air Mixer, περνά από τον Fan για ροή και στη DX Coil για θερμική επεξεργασία, και κατευθύνεται στη ζώνη (ZONE), καλύπτοντας τις ανάγκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Πρόγραμμα Λειτουργίας

Η λειτουργία του οικιακού συστήματος ψύξης καθορίζεται βάσει των τυποποιημένων σεναρίων του KENAK και της TOTEE 20701-1/2017.

- Έναρξη περιόδου: 1 Ιουνίου.
- Λήξη περιόδου: 30 Σεπτεμβρίου.

- **Συνολική διάρκεια:** 122 ημέρες (τετράμηνη θερινή περίοδος με υψηλά ψυκτικά φορτία).

Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας

Η απουσία των ενοίκων 09:00–15:00 οδηγεί σε πλήρη απενεργοποίηση του συστήματος κατά το συγκεκριμένο διάστημα. Η ενεργοποίηση του συστήματος περιορίζεται σε απογευματινές–βραδινές ώρες, όπου η παρουσία και οι ανάγκες θερμικής άνεσης είναι μέγιστες.

Ώρα	Κατάσταση	Σχόλιο
00:00 – 09:00	0.2	Χαμηλής λειτουργίας
09:00 – 15:00	0	Κατοικία κενή
15:00 – 17:00	0.5	Μεταβατική περίοδος
17:00 – 23:00	1	Κύρια περίοδος δροσισμού
23:00 – 24:00	0.2	Χαμηλής λειτουργίας

Πίνακας 3: Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας οικιακού συστήματος ψύξης

Θερμοκρασιακές ρυθμίσεις

- **Θερμοκρασία ρύθμισης ψύξης:** 26 °C (θερινή περίοδος, σύμφωνα με TOTEE–KENAK).
- **Θερμοκρασία ρύθμισης θέρμανσης:** 20 °° (χειμερινή περίοδος, για πληρότητα).
- **Νεκρή ζώνη θερμοκρασίας:** ± 1 °°, για αποφυγή συχνών εκκινήσεων και διατήρηση σταθερού μικροκλίματος.

6.2.2 Σύστημα φωτισμού

Σημαντική είναι η προσθήκη ενός τυπικού οικιακού συστήματος φωτισμού, βασισμένου σε σύγχρονα φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED, όπως αυτά που συναντώνται σε κατοικίες της ελληνικής αγοράς. Το σύστημα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την κάλυψη των αναγκών φωτισμού κατά τις ώρες παρουσίας, με στόχο την αποτίμηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της σχετικής συμβολής του στον συνολικό ενεργειακό ισολογισμό.

Η εγκατάσταση αντιπροσωπεύει τυπική διάταξη φωτιστικών LED με συνολική εγκατεστημένη ισχύ περίπου 10 W/m², τιμή που ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές της TOTEE 20701-1/2017 για οικιακές χρήσεις. Ο δείκτης φωτεινής απόδοσης (luminous efficacy) ανέρχεται περίπου στα 90–100 lm/Ω, εξασφαλίζοντας ικανοποιητικά επίπεδα φωτισμού (περίπου 300–500 lux στους κύριους χώρους).

Σύνοψη

- **Τύπος συστήματος:** LED φωτισμός εσωτερικών χώρων
- **Εγκατεστημένη ισχύς:** ~10 W/m²
- **Φωτεινή απόδοση (efficacy):** 90–100 lm/W
- **Στάθμη φωτισμού (illuminance):** 300–500 lux στους κύριους χώρους
- **Σκοπός:** Κάλυψη οικιακών αναγκών φωτισμού με χαμηλή κατανάλωση

Στοιχεία Συστήματος στο EnergyPlus

- **Lighting Equipment:** Αναπαριστά την εγκατεστημένη ισχύ φωτισμού στη ζώνη.

- **Lighting Schedule:** Ορίζει τα ποσοστά χρήσης κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- **Zone:** Η ζώνη όπου αποδίδεται το θερμικό κέρδος από τον φωτισμό.

Ο φωτισμός λειτουργεί μόνο στις ώρες παρουσίας, με κλιμακούμενη ένταση ανάλογα με το προφίλ χρήσης των ενοίκων.

Πρόγραμμα Λειτουργίας

Η λειτουργία του οικιακού φωτισμού καθορίζεται βάσει των τυποποιημένων σεναρίων KE-NAK/TOTEE και προσαρμόζεται στο ημερήσιο πρόγραμμα απουσίας–παρουσίας των ενοίκων.

- **Έναρξη περιόδου:** Όλο το έτος
- **Λήξη περιόδου:** Όλο το έτος (φωτισμός απαιτείται ανεξάρτητα από την εποχή)
- **Συνολική διάρκεια:** 365 ημέρες

Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας

Η κατοικία παραμένει κενή μεταξύ 09:00–15:00, οπότε ο φωτισμός είναι απενεργοποιημένος. Η κύρια χρήση εμφανίζεται τις απογευματινές–βραδινές ώρες, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας η λειτουργία περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα (standby / τοπικός φωτισμός).

Ώρα	Κλάσμα ισχύος	Σχόλιο
00:00 – 07:00	0.1	Ελάχιστος φωτισμός (νυχτερινός)
07:00 – 09:00	0.3	Πρωινή χρήση φωτισμού
09:00 – 15:00	0.0	Κατοικία κενή
15:00 – 18:00	0.3	Σταδιακή ενεργοποίηση
18:00 – 23:00	1.0	Κύρια περίοδος φωτισμού
23:00 – 24:00	0.2	Μείωση έντασης

Πίνακας 4: Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας οικιακού φωτισμού

6.2.3 Σύστημα αερισμού

Για την ολοκλήρωση της ενεργειακής προσομοίωσης κρίθηκε απαραίτητη η αναπαράσταση ενός βασικού συστήματος αερισμού, το οποίο στην υπό μελέτη κατοικία επιτυγχάνεται αποκλειστικά μέσω φυσικού αερισμού. Ο αερισμός γίνεται από δύο ανοίγματα (παράθυρα) στις κύριες όψεις του χώρου, τα οποία παρέχουν επαρκή ροή αέρα για την ανανέωση του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η επιλογή φυσικού αερισμού, έναντι μηχανικού συστήματος, θεωρείται αντιπροσωπευτική για τυπικές ελληνικές κατοικίες, όπου η χρήση παραθύρων καλύπτει τις ανάγκες φρέσκου αέρα και απομάκρυνσης εσωτερικών φορτίων. Το σύστημα, επομένως, δεν περιλαμβάνει ανεμιστήρες τροφοδοσίας ή απαγωγής, αλλά εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες και τη συμπεριφορά των ενοίκων.

Σύνοψη

- **Τύπος συστήματος:** Φυσικός αερισμός μέσω παραθύρων
- **Αριθμός ανοιγμάτων:** 2 παράθυρα
- **Τρόπος λειτουργίας:** Χειροκίνητο άνοιγμα από τους ενοίκους, κυρίως θερινή περίοδος
- **Στόχος:** Διασφάλιση ποιότητας εσωτερικού αέρα (IAQ), μείωση εσωτερικών θερμικών φορτίων

Στοιχεία Συστήματος στο EnergyPlus

- **ZoneVentilation:DesignFlowRate:** Ορίζει ρυθμό φυσικού αερισμού με βάση το άνοιγμα των παραθύρων.
- **Opening Area:** Η καθαρή επιφάνεια διατομής των δύο παραθύρων που συμμετέχουν στον αερισμό.
- **Schedule:** Περιγράφει τις ώρες κατά τις οποίες οι ένοικοι ανοίγουν τα παράθυρα.
- **Zone:** Η εσωτερική ζώνη που επωφελείται από τον φυσικό αερισμό.

Η ροή αέρα προκύπτει από διαφορές θερμοκρασίας (φαινόμενο καμινάδας) και από αιολική πίεση, ενώ η χρήση των παραθύρων ρυθμίζεται βάσει του ημερήσιου προγράμματος κατοίκησης.

Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας

Ο αερισμός εξαρτάται από την παρουσία των ενοίκων και τις ώρες που τα παράθυρα παραμένουν ανοιχτά. Κατά την απουσία (09:00–15:00) τα παράθυρα είναι κλειστά. Το κύριο άνοιγμα γίνεται απογευματινές–βραδινές ώρες, μερικώς και τις πρώτες πρωινές ώρες για δροσισμό.

Ώρα	Κλάσμα ανοίγματος	Σχόλιο
00:00 – 07:00	0.3	Νυχτερινός αερισμός (μερικό άνοιγμα)
07:00 – 09:00	0.5	Πρωινός αερισμός
09:00 – 15:00	0.0	Κατοικία κενή, παράθυρα κλειστά
15:00 – 18:00	0.5	Σταδιακό άνοιγμα
18:00 – 23:00	1.0	Κύριος αερισμός (παράθυρα πλήρως ανοιχτά)
23:00 – 24:00	0.3	Μερικό άνοιγμα

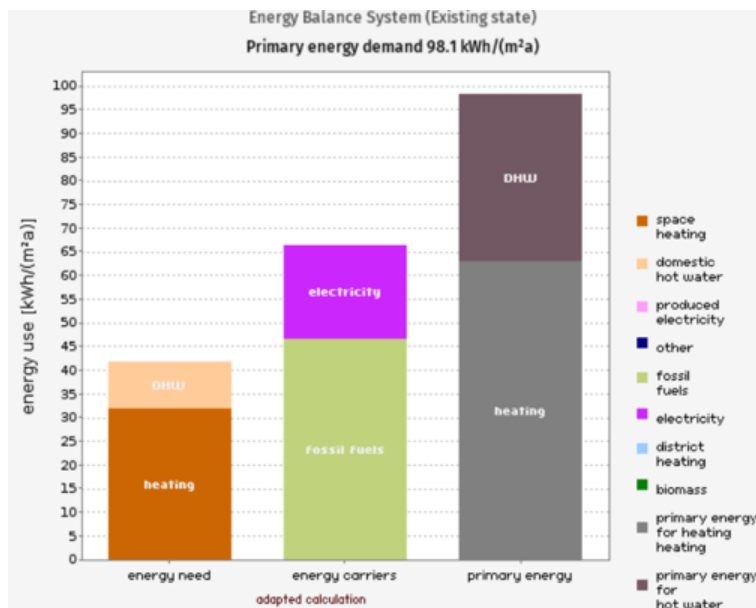
Πίνακας 5: Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας φυσικού αερισμού

6.3 Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων με δεδομένων Tabula

Η παρούσα ενότητα εστιάζει στη συγκριτική ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων του εξεταζόμενου κτιρίου, όπως αυτές προκύπτουν αφενός από τη βάση δεδομένων Tabula και αφετέρου από τις προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν στο λογισμικό EnergyPlus. Ειδικό βάρος δίδεται στη μελέτη της θέρμανσης και της ζήτησης Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX), καθώς επίσης και στην αποτίμηση της συμπεριφοράς του πρόσθετου συστήματος ψύξης, το οποίο δεν περιλαμβάνεται στα προκαθορισμένα σενάρια της Tabula. Στόχος της ανάλυσης είναι η ανάδειξη διαφορών και ομοιοτήτων μεταξύ των δύο προσεγγίσεων, καθώς και η τεκμηρίωση των επιπτώσεων της μοντελοποίησης στο EnergyPlus.

6.3.1 Συγκριτική ανάλυση συστήματος Θέρμανσης και (ZNX)

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και (ZNX) που αντλήθηκε από τα δεδομένα της Ταβύλα



Σχήμα 6.11: Διάγραμμα καταναλώσεων θέρμανσης/ZNX.

Υπολογισμός Ετήσιας Απαίτησης Πρωτογενούς Ενέργειας

Η ετήσια απαίτηση πρωτογενούς ενέργειας ενός κτηρίου προσδιορίζεται από τον δείκτη Primary Energy Demand (PED), ο οποίος εκφράζεται σε kWh/(m²·a). Για το υπό μελέτη κτήριο, ο δείκτης PED έχει υπολογισθεί σε:

$$PED = 98.1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot a)$$

Δεδομένης της συνολικής θερμαινόμενης επιφάνειας:

$$A = 48 \text{ m}^2$$

η συνολική ετήσια απαίτηση πρωτογενούς ενέργειας προκύπτει ως:

$$PED_{\text{total}} = PED \times A = 98.1 \times 48 = 4708.8 \text{ kWh/a}$$

Επομένως, το κτήριο εμφανίζει ετήσια ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας της τάξεως των

$$\approx 4.71 \text{ MWh/a.}$$

Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στο σύνολο των ενεργειακών καταναλώσεων που σχετίζονται με τη λειτουργία του κτηρίου (θέρμανση, ZNX), μετασχηματισμένων σε πρωτογενή ενέργεια.

Ανάλυση Συνολικής Απαίτησης Πρωτογενούς Ενέργειας ανά Τελική Χρήση

Η συνολική απαίτηση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναλύεται περαιτέρω ανά τελική χρήση. Συγκεκριμένα, για την υπό μελέτη κατοικία επιφανείας

$$A = 48 \text{ m}^2,$$

οι επιμέρους ενεργειακοί δείκτες έχουν υπολογιστεί ως εξής:

- Θέρμανση: $64 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot a)$
- Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX): $34.1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot a)$

Η αντίστοιχη συνολική ετήσια ενεργειακή απαίτηση για κάθε χρήση προκύπτει από το γινόμενο του επιμέρους δείκτη επί τη θερμαινόμενη επιφάνεια:

$$Q_{\text{heating}} = 64 \times 48 = 3072 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{DHW}} = 34.1 \times 48 = 1636.8 \text{ kWh/a}$$

Συνεπώς, το σύνολο των δύο βασικών ενεργειακών συνιστωσών ανέρχεται σε:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{heating}} + Q_{\text{DHW}} = 4708.8 \text{ kWh/a}$$

Η συνολική αυτή τιμή είναι συμβατή με τον υπολογισθέντα δείκτη Primary Energy Demand (PED) ίσο με

$$PED = 98.1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot a),$$

επιβεβαιώνοντας την εσωτερική συνοχή των αποτελεσμάτων.

Καταναλώσεις Θέρμανσης και (ZNX) προσομοίωσης

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι καταναλώσεις σε (GJ), των συστημάτων θέρμανσης και (ZNX).

	Electricity [GJ]	Natural Gas [GJ]	Gasoline [GJ]	Diesel [GJ]	Coal [GJ]	Fuel Oil No 1 [GJ]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.75
Cooling	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	2.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	5.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Σχήμα 6.12: Καταναλώσεις (θέρμανσης/ZNX).

Επομένως, παρουσιάζεται και ο πίνακας σύγκρισης καταναλώσεων (θέρμανσης/ZNX) μεταξύ TABULA και προσομοίωσης.

	TABULA	ENERGYPLUS
ZNX	34.1 kWh*48 = 1636,8 kWh	5.95 GJ = 1652,777 kWh
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	64 kWh*48 = 3072 kWh	12.75 GJ = 3541,666 kWh

Σχήμα 6.13: Σύγκριση καταναλώσεων.

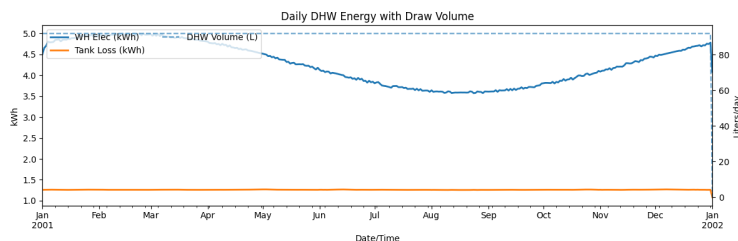
Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Η ετήσια κατανάλωση για ZNX, σύμφωνα με το πρότυπο TABULA, ανέρχεται σε 1636.8 kWh, ενώ το μοντέλο EnergyPlus υπολογίζει 1652.8 kWh, παρουσιάζοντας ελάχιστη απόκλιση της τάξης του 0.98%. Η υψηλή συμφωνία αυτή υποδηλώνει αξιοπιστία του μοντέλου και συνέπεια των αποτελεσμάτων για τη ZNX.

Αντίθετα, για τη θέρμανση, η εκτίμηση του TABULA (3072 kWh) υπολείπεται κατά περίπου 15.3% σε σχέση με την προσομοίωση του EnergyPlus (3541.7 kWh). Η αυξημένη κατανάλωση θέρμανσης στο EnergyPlus αποδίδεται πιθανότατα σε διαφοροποιήσεις των κλιματικών δεδομένων (EPW), των θερμοκρασιακών set-points και των προφίλ λειτουργίας, καθώς και σε υψηλότερους ρυθμούς αερισμού ή διαφορετικές θερμοφυσικές παραμέτρους του κελύφους. Επιπλέον, το EnergyPlus υπολογίζει δυναμικά τις απώλειες του συστήματος και τις αποδόσεις του εξοπλισμού, σε αντίθεση με το TABULA, που βασίζεται σε τυποποιημένες συνθήκες.

Συνολικά, τα αποτελέσματα για τη ZNX επιβεβαιώνουν τη συνέπεια του μοντέλου, ενώ η απόκλιση στη θέρμανση θεωρείται αναμενόμενη σε πλήρως δυναμική προσομοίωση και μπορεί να αποδοθεί σε ρεαλιστικότερες παραμέτρους λειτουργίας και θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου στο EnergyPlus.

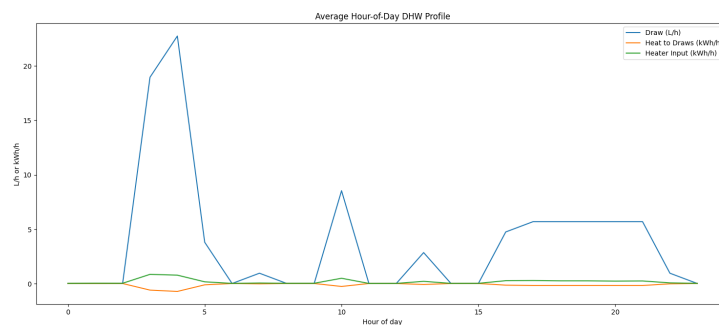
Επιπρόσθετα αποτελέσματα παρουσιάζονται μέσω πινάκων συνολικής κατανάλωσης και γραφημάτων μηνιαίας διακύμανσης:



Σχήμα 6.14: Γράφημα κατανάλωσης ηλεκτρικού μπόιλερ (ZNX).

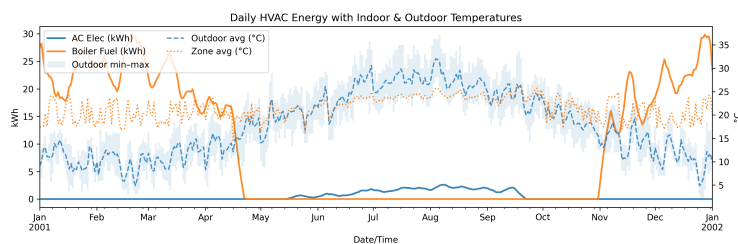
Η κυματομορφή της ημερήσιας ενέργειας ZNX παρουσιάζει σχετικά σταθερή συμπεριφορά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με μικρές εποχικές διακυμάνσεις. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ηλεκτρικού boiler κυμαίνεται μεταξύ 3.5–4.8 kWh/ημέρα, εμφανίζοντας ελαφρά μείωση τους θερινούς μήνες, γεγονός που αποδίδεται στη μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εισερχόμενου και επιθυμητού νερού. Οι θερμικές απώλειες του δοχείου παραμένουν σχεδόν σταθερές (1.2 kWh/ημέρα), υποδηλώνοντας καλή θερμομόνωση του συστήματος. Ο ημερήσιος όγκος ζήτησης ZNX (80 L/ημέρα) παραμένει σταθερός, γεγονός που υποδεικνύει

ότι οι μεταβολές της κατανάλωσης οφείλονται κυρίως σε θερμοκρασιακούς παράγοντες και όχι σε διαφοροποίηση χρήσης.



Σχήμα 6.15: Γράφημα ημερήσιας κατανάλωσης (ZNX).

Το ωριαίο προφίλ κατανάλωσης ZNX παρουσιάζει σαφείς αιχμές το πρωί και δευτερεύουσες αιχμές κατά τις μεσημβρινές και βραδινές ώρες, ακολουθώντας τυπικά πρότυπα οικιακής χρήσης. Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου του θερμοσίφωνα (Heater Input) αυξάνεται αμέσως μετά τις αιχμές κατανάλωσης, επιβεβαιώνοντας τη λειτουργία του συστήματος σε on-demand βάση για την αναπλήρωση του θερμού αποθέματος. Οι τιμές της μεταφερόμενης θερμότητας προς τις κατανalώσεις παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα, με χρονική σύμπτωση προς τις περιόδους ζήτησης, γεγονός που αποδεικνύει την επαρκή απόδοση και τον ορθό χρονισμό λειτουργίας του ηλεκτρικού boiler.



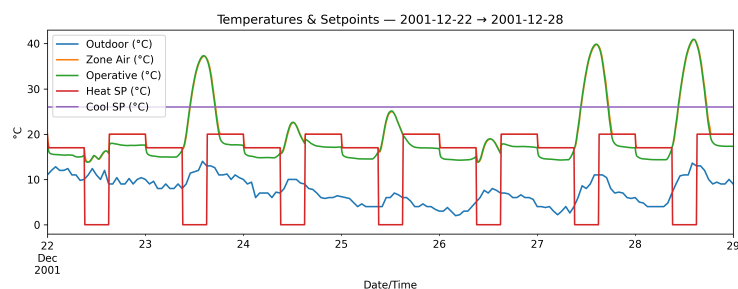
Σχήμα 6.16: Γράφημα κατανάλωσης (θέρμανση).

Παρατηρούμε πως η κατανάλωση καυσίμου παρουσιάζει έντονη εποχικότητα, με μέγιστες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, η κατανάλωση εμφανίζει περιοδικές διακυμάνσεις, πιθανώς λόγω ημερήσιων αλλαγών στη ζήτηση ή στις ρυθμίσεις του θερμοστάτη. Οι κορυφές κατανάλωσης είναι πιο έντονες σε περιόδους χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών, υποδεικνύοντας άμεση ανταπόκριση του συστήματος στις απαιτήσεις θέρμανσης.

Η μέση θερμοκρασία ζώνης (Zone avg °C) διατηρείται σε σχετικά σταθερά επίπεδα (18—22 °C), υποδεικνύοντας ότι το σύστημα επιτυγχάνει τη διατήρηση άνετων εσωτερικών συνθηκών παρά τις σημαντικές διακυμάνσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας. Η αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου αντισταθμίζει τη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού–εξωτερικού, διασφαλίζοντας αποτελεσματική θερμική άνεση.

Συμπερασματικά, η κυματομορφή κατανάλωσης του συστήματος θέρμανσης παρουσιάζει χαρακτηριστική εποχική συμπεριφορά, με αυξημένη ζήτηση κατά τη χειμερινή περίοδο και αδρανο-

ποίηση το καλοκαίρι. Η λειτουργία του boiler εξαρτάται άμεσα από τις εξωτερικές θερμοκρασίες και συμβάλλει στη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας ζώνης, αποδεικνύοντας αποτελεσματική και προσαρμοστική απόκριση στη θερμική ζήτηση.

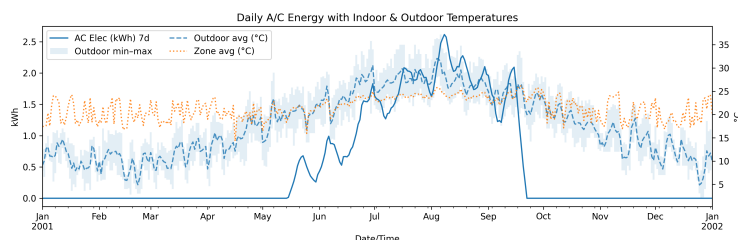


Σχήμα 6.17: Γράφημα μεγίστου θερμικού φορτίου.

Η κυματομορφή του μέγιστου θερμικού φορτίου δείχνει ότι η θερμική ζήτηση ακολουθεί στενά την επιθυμητή θερμοκρασία ζώνης, με περιοδικές αιχμές κατά τις ώρες μέγιστης λειτουργίας του συστήματος. Η διαφορά μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας υποδεικνύει την ανάγκη σταθερής παροχής θερμικής ισχύος, ιδιαίτερα κατά τις νυχτερινές ώρες. Συνολικά, το σύστημα ανταποκρίνεται γρήγορα στις απαιτήσεις θερμικής άνεσης, ενώ η δυναμική ενεργοποίηση προσφέρει περιθώρια βελτιστοποίησης για εξοικονόμηση ενέργειας.

6.4 Ανάλυση συστήματος ψύξης

Από την ενεργειακή προσομοίωση προέκυψε ότι η συνολική ετήσια κατανάλωση ψύξης ανέρχεται σε 180.56 kWh. Η ημερήσια κατανομή της κατανάλωσης απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα όπου παρουσιάζεται η συσχέτιση της ενεργειακής ζήτησης με τις αντίστοιχες εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.



Σχήμα 6.18: Γράφημα κατανάλωσης (Ψύξη).

Η κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα κλιματισμού παρουσιάζει μια ξεκάθαρη εποχιακή τάση. Από τον Ιανουάριο έως τα αρχικά του Μαΐου, η κατανάλωση ενέργειας παραμένει σχετικά χαμηλή και σταθερή, υποδεικνύοντας περιορισμένη χρήση του συστήματος κατά τους ψυχρότερους μήνες. Από τον Μάιο και μετά, παρατηρείται σημαντική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας, με κορυφές κατά τους θερινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο). Αυτή η περίοδο συμπίπτει με τις υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες, υποδεικνύοντας ότι το σύστημα κλιματισμού χρησιμοποιείται πιο έντονα για τη διατήρηση ενός άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος. Η υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας παρατηρείται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, οι οποίοι είναι συνήθως οι θερμότεροι μήνες του έτους. Αυτό υποδηλώνει ότι το σύστημα κλιματισμού

λειτουργεί στη μέγιστη ικανότητά του κατά αυτή την περίοδο. Τον Σεπτέμβριο, παρατηρείται απότομη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, η οποία παραμένει χαμηλή για το υπόλοιπο του έτους. Αυτό θα μπορούσε να δείχνει μια αλλαγή στα καιρικά πρότυπα ή την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Ανάλυση Θερμοκρασίας:

Η εμβέλεια της εξωτερικής θερμοκρασίας (που απεικονίζεται από τη σκιασμένη περιοχή) είναι ευρύτερη κατά τους θερινούς μήνες, υποδεικνύοντας μεγαλύτερη ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας. Αυτή η διακύμανση θα μπορούσε να συμβάλει στην αυξημένη χρήση του κλιματισμού καθώς το σύστημα εργάζεται για να αντισταθμίσει τις μεταβαλλόμενες εξωτερικές συνθήκες. Η μέση εξωτερική θερμοκρασία (διακεκομμένη μπλε γραμμή) και η μέση θερμοκρασία ζώνης (διακεκομμένη πορτοκαλί γραμμή) παρουσιάζουν μια αύξουσα τάση κατά τους θερινούς μήνες. Αυτή η συσχέτιση μεταξύ υψηλότερων θερμοκρασιών και αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας είναι σύμφωνη με την αναμενόμενη συμπεριφορά των συστημάτων κλιματισμού.

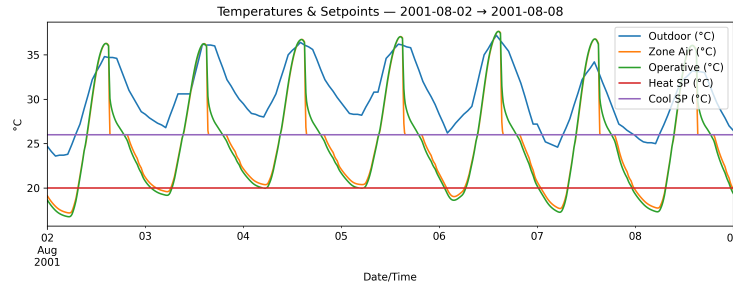
Συσχέτιση μεταξύ Θερμοκρασίας και Κατανάλωσης Ενέργειας:

Υπάρχει μια θετική συσχέτιση μεταξύ των εξωτερικών θερμοκρασιών και της κατανάλωσης ενέργειας από το σύστημα κλιματισμού. Ως εκ τούτου, καθώς οι εξωτερικές θερμοκρασίες αυξάνονται, η κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα κλιματισμού αυξάνεται επίσης. Αυτό είναι σύμφωνο με την αρχή ότι τα συστήματα κλιματισμού καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια για τη διατήρηση ενός δροσερού εσωτερικού περιβάλλοντος σε θερμότερες συνθήκες. Η σταθερότητα της εσωτερικής θερμοκρασίας (διακεκομμένη πορτοκαλί γραμμή) σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία υποδεικνύει αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος κλιματισμού στη διατήρηση ενός σταθερού εσωτερικού κλίματος.

Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Απόδοση Συστήματος:

Η απότομη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας τον Σεπτέμβριο θα μπορούσε να υποδηλώνει μια αλλαγή στα καιρικά πρότυπα ή την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Θα μπορούσε επίσης να υποδεικνύει ότι το σύστημα κλιματισμού είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί πιο αποδοτικά σε ήπιες θερμοκρασίες. Τα δεδομένα δείχνουν ότι το σύστημα κλιματισμού είναι ευαίσθητο στις αλλαγές της εξωτερικής θερμοκρασίας, με υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας να αντιστοιχεί σε υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες.

Για την αποτύπωση της συμπεριφοράς του συστήματος κατά τη μέγιστη θερμική καταπόνηση, εξετάστηκε μία θερινή περίοδος, όπου η εξωτερική θερμοκρασία ανήλθε σε υψηλές τιμές, οδηγώντας σε μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ψύξης.



Σχήμα 6.19: Γράφημα μεγίστου ψυκτικού φορτίου.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου, παρατηρούνται σημαντικές ημερήσιες διακυμάνσεις στην εξωτερική θερμοκρασία, με κορυφές γύρω στους 35°C και ελάχιστες τιμές γύρω στους 20°C. Αυτές οι διακυμάνσεις αντιπροσωπεύουν ένα τυπικό καλοκαιρινό πρότυπο, με ζεστές ημέρες και δροσερές νύκτες. Η θερμοκρασία της ζώνης και η λειτουργική θερμοκρασία ακολουθούν παρόμοια ημερήσια πρότυπα, αν και με λιγότερο ακραίες διακυμάνσεις σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία. Αυτό υποδηλώνει ότι, παρόλο που το εσωτερικό περιβάλλον επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες, το σύστημα κλιματισμού μετριάζει αποτελεσματικά αυτές τις επιπτώσεις.

Τα σημεία ρύθμισης θέρμανσης και ψύξης έχουν οριστεί σε σταθερές τιμές, στους 20°C και στους 25°C αντίστοιχα, ορίζοντας έτσι το εύρος άνεσης εντός του οποίου το σύστημα στοχεύει να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία. Η θερμοκρασία της ζώνης και η λειτουργική θερμοκρασία διατηρούνται αποτελεσματικά εντός αυτού του εύρους, δείχνοντας ότι το σύστημα κλιματισμού λειτουργεί αποδοτικά. Υπάρχει μια ξεκάθαρη συσχέτιση μεταξύ της εξωτερικής θερμοκρασίας και των θερμοκρασιών της ζώνης/λειτουργικής, με τις εσωτερικές θερμοκρασίες να υστερούν ελαφρώς στις αλλαγές της εξωτερικής θερμοκρασίας. Αυτή η υστέρηση είναι αναμενόμενη, καθώς το σύστημα κλιματισμού χρειάζεται χρόνο για να αντιδράσει στις εξωτερικές συνθήκες και να διατηρήσει το επιθυμητό εύρος άνεσης.

Συνολικά, το γράφημα δείχνει ότι το σύστημα κλιματισμού διαχειρίζεται αποτελεσματικά τις εξωτερικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, διασφαλίζοντας ένα άνετο εσωτερικό περιβάλλον.

7 Συμπεράσματα

Συνοπτικά, η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στη διερεύνηση της μεθοδολογίας και της ακρίβειας των ενεργειακών πιστοποιητικών κτιρίων, με έμφαση στη σύγκριση του ελληνικού Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) με το διεθνές πρότυπο ISO 52016-1:2017. Μέσα από τη θεωρητική ανάλυση και την εφαρμογή προσομοιώσεων στο λογισμικό EnergyPlus, εξετάστηκαν οι επιμέρους παράμετροι που επηρεάζουν τον υπολογισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς, όπως το κτιριακό κέλυφος, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, ZNX, φωτισμού και αερισμού, καθώς και τα κλιματικά δεδομένα. Η συγκριτική προσέγγιση ανέδειξε τις θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ της στατικής μεθοδολογίας του KENAK και της δυναμικής προσέγγισης του ISO 52016, επιβεβαιώνοντας τη μεγαλύτερη ακρίβεια και προσαρμοστικότητα της δεύτερης. Η εφαρμογή του προτύπου σε ελληνικά αρχέτυπα μέσω του EnergyPlus και η αξιοποίηση δεδομένων από την πλατφόρμα TABULA συνέβαλαν στην επαλήθευση των αποτελεσμάτων και στην εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων. Συνολικά, η εργασία ανέδειξε την ανάγκη σταδιακής ενσωμάτωσης δυναμικών μεθοδολογιών στον KENAK, με στόχο την ενίσχυση της αξιοπιστίας και της συγκρισιμότητας των ελληνικών ενεργειακών πιστοποιητικών σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

7.1 Πως το ISO βοήθησε για να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα

Η χρήση του προτύπου ISO 52016 ως θεωρητικής βάσης για τους αλγορίθμους του EnergyPlus απέδειξε καθοριστική για την επίτευξη ακριβέστερων αποτελεσμάτων. Το πρότυπο αυτό παρείχε μια τυποποιημένη και εγκριμένη διεθνώς μεθοδολογία για τον υπολογισμό της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, αντικαθιστώντας ευρείας κλίμακας προσεγγιστικές εκτιμήσεις με λεπτομερείς αλγορίθμους. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή μέσω του EnergyPlus επέτρεψε τη δυναμική προσομοίωση των ενεργειακών ροών, λαμβάνοντας υπόψη αλληλεπιδράσεις όπως η θερμική αδράνεια, οι μεταβλητές καιρικές συνθήκες και η συμπεριφορά των συστημάτων HVAC σε πραγματικό χρόνο. Αυτό οδήγησε σε μια ποιοτική βελτίωση της ακρίβειας σε σχέση με απλούστερες στατικές μεθόδους, καθιστώντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης πιο αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά της πραγματικής ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

7.2 Πως το ISO θα μπορούσε να ενσωματωθεί στον KENAK

Για μια πλήρη μελλοντική ενσωμάτωση του προτύπου ISO στον KENAK, προτείνεται η υιοθέτηση της μεθοδολογίας ISO 52016 (ή των εθνικά προσαρμοσμένων παραλλαγών της) ως τον επίσημο πυρήνα της νομικής μεθοδολογίας ενεργειακής πιστοποίησης. Αυτό θα σήμαινε τη δημιουργία ενός εθνικού προφίλ, σύμφωνα με το ISO 52001, που θα καθορίζει τις παράμετρους εισόδου (π.χ., καιρικά δεδομένα, προφίλ χρήσης) ειδικά για τις ελληνικές συνθήκες. Η διαδικασία πιστοποίησης θα μπορούσε να στηριχτεί σε επικυρωμένα λογισμικά που υλοποιούν αυτή την τυποποιημένη μέθοδο, με τη χρήση βάσεων δεδομένων όπως το TABULA για την παροχή αξιόπιστων δεδομένων αναφοράς για τα τυπικά δείγματα κτιρίων. Με αυτόν τον τρόπο, ο KENAK θα αποκτούσε έναν επιστημονικά αυστηρό, διαφανή και συγκρίσιμο σε ευρωπαϊκό επίπεδο πυρήνα.

7.2.1 Πιθανές δυσκολίες ενσωμάτωσης

Η ενσωμάτωση της νέας μεθοδολογίας δεν αναμένεται να παρουσιάσει ουσιαστικές δυσκολίες για τους μηχανικούς, πέραν της αρχικής εξοικείωσης με το νέο υπολογιστικό πλαίσιο και τη δια-

φορετική λογική προσέγγισης. Η κύρια πρόκληση αφορά κυρίως την προσαρμογή της μεθόδου στις ιδιαιτερότητες της χώρας, διαδικασία που είναι πολυδιάστατη και απαιτεί συντονισμένες ενέργειες σε πολλαπλά επίπεδα. Ειδικότερα, απαιτείται επικαιροποίηση των εθνικών παραμέτρων και των κλιματικών δεδομένων, ανάπτυξη ή αναβάθμιση λογισμικών εργαλείων που να ενσωματώνουν τη νέα μεθοδολογία, καθώς και αναθεώρηση των τεχνικών οδηγιών και του θεσμικού πλαισίου (KENAK, TOTEE) ώστε να διασφαλιστεί η συμβατότητα με τα διεθνή πρότυπα. Επιπλέον, η διαδικασία αυτή προϋποθέτει συνεργασία μεταξύ αρμόδιων φορέων, πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και επαγγελματικών οργανισμών, ώστε η μετάβαση να είναι ομαλή και να υποστηριχθεί από κατάλληλη τεχνική τεκμηρίωση και εκπαιδευτικό υλικό. Συνεπώς, η δυσκολία δεν έγκειται τόσο στην τεχνική εφαρμογή από τους μηχανικούς, όσο στη συνολική θεσμική και επιχειρησιακή προσαρμογή της νέας μεθοδολογίας στο εθνικό πλαίσιο.

7.3 Μελλοντικά βήματα για βελτίωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Για τη βελτίωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, τα μελλοντικά βήματα θα πρέπει να εστιάσουν σε τρεις βασικούς άξονες.

Αρχικά, στη διαδικασία βελτίωσης και επικύρωσης των δεδομένων εισόδου, καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η περαιτέρω ανάπτυξη και επέκταση της βάσης δεδομένων TABULA για τα ελληνικά κτίρια. Η εν λόγω βάση μπορεί να εμπλουτιστεί με αναλυτικότερη τυποποίηση αρχέτυπων, ώστε να αποτυπώνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια η ποικιλομορφία του ελληνικού κτηριακού αποθέματος, λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά, κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των κτιρίων. Επιπλέον, η ενσωμάτωση δεδομένων πραγματικής ενεργειακής κατανάλωσης συμβάλλει ουσιαστικά στην επικύρωση των προσομοιώσεων και στη βελτίωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, η χρήση του προτύπου ISO 52016-1:2017 παρέχει τη μεθοδολογική βάση για τη δυναμική προσομοίωση των θερμικών ισοζυγίων και την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, ψύξη και άλλες τεχνικές υπηρεσίες. Μέσω της σύνδεσης των επεκταμένων αρχέτυπων της TABULA με προσομοιώσεις που βασίζονται στο ISO 52016, επιτυγχάνεται μια ολοκληρωμένη και αντιπροσωπευτική περιγραφή της ενεργειακής συμπεριφοράς του ελληνικού κτηριακού αποθέματος, ικανή να υποστηρίξει την ανάπτυξη αξιόπιστων σεναρίων ανακαίνισης και πολιτικών ενεργειακής αναβάθμισης.

Δεύτερον, καθοριστικής σημασίας είναι η απλοποίηση και αυτοματοποίηση της συνολικής διαδικασίας προσομοίωσης, με στόχο τη μείωση της απαιτούμενης εξειδίκευσης και του χρόνου ενασχόλησης των μηχανικών. Η ανάπτυξη φιλικών προς τον χρήστη διεπαφών (front-ends) μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο προς αυτή την κατεύθυνση, επιτρέποντας την εύκολη εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων, καθώς και την αυτόματη δημιουργία των απαραίτητων αρχείων εισόδου για τα λογισμικά προσομοίωσης. Παράλληλα, οι διεπαφές αυτές δύναται να παρέχουν οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων μέσω γραφημάτων, δεικτών και ενεργειακών ισοζυγίων, διευκολύνοντας την ερμηνεία και τη σύγκριση σεναρίων από τους μελετητές. Η διασύνδεση των front-ends με δυναμικά υπολογιστικά πρότυπα, όπως το ISO 52016-1, επιτρέπει τη διατήρηση της υποκείμενης ακρίβειας και φυσικής συνέπειας του μοντέλου, χωρίς να απαιτείται άμεση αλληλεπίδραση με πολύπλοκες δομές δεδομένων ή scripting περιβάλλοντα. Μέσω της παραμετροποίησης των εισόδων (όπως αρχέτυπα, κλιματικά δεδομένα, χαρακτηριστικά συστημάτων και σεσνάκια χρήσης), επιτυγχάνεται ευελιξία και επαναληψιμότητα στις προσομοιώσεις, ενώ η αυτόματη διαχείριση εξόδων επιτρέπει την άμεση εξαγωγή δεικτών ενεργειακής απόδοσης, κατανάλωσης και θερμικής άνεσης.

Τρίτον, κρίσιμη για την αναβάθμιση της αξιοπιστίας των προσομοιώσεων είναι η ενσωμάτωση νέων παραμέτρων και σύγχρονων ενεργειακών τεχνολογιών. Στο πλαίσιο αυτό, η προχωρημένη μοντελοποίηση συστημάτων φυσικού αερίου, αντλιών θερμότητας και υβριδικών διατάξεων θέρμανσης και ψύξης επιτρέπει την ακριβέστερη εκτίμηση τόσο της ενεργειακής απόδοσης όσο και των σχετικών εκπομπών, αντανακλώντας με μεγαλύτερη πιστότητα την πραγματική λειτουργία των κτιρίων. Η δυνατότητα προσομοίωσης υβριδικών συστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αυτά τα συστήματα συνδυάζουν πολλαπλές πηγές ενέργειας και διαφορετικές τεχνολογίες, δημιουργώντας σύνθετα δυναμικά πρότυπα λειτουργίας που πρέπει να αποτυπώνονται σταθερά και αξιόπιστα. Παράλληλα, η διαδικασία προσομοίωσης δύναται να εμπλουτιστεί με την ενσωμάτωση παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως φωτοβολταϊκά ή μικρά αιολικά συστήματα, σε πραγματικό χρόνο, ώστε να εκτιμάται η συμβολή τους στην ενεργειακή αυτονομία του κτιρίου. Η συμπερίληψη αυτών των παραμέτρων επιτρέπει την ανάλυση της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ παραγωγής, κατανάλωσης και αποθήκευσης ενέργειας, καθιστώντας τα αποτελέσματα πιο ρεαλιστικά και χρήσιμα για τη λήψη αποφάσεων αναβάθμισης. Επιπλέον, η προσέγγιση αυτή δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης του βαθμού προσαρμογής του κτιρίου σε μελλοντικά κλιματικά σενάρια, αξιολογώντας την ανθεκτικότητα και βιωσιμότητα των ενεργειακών στρατηγικών. Με αυτόν τον τρόπο, η ενεργειακή πιστοποίηση δεν περιορίζεται στην απλή καταγραφή της τρέχουσας απόδοσης, αλλά επεκτείνεται στην αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης ενεργειακής ανθεκτικότητας, ενσωματώνοντας παράλληλα σενάρια κλιματικής αλλαγής και τεχνολογικής εξέλιξης. Η διαδικασία αυτή, όταν συνδυάζεται με τη χρήση αρχέτυπων κτιρίων και δυναμικών προσομοιώσεων κατά ISO 52016, καθιστά δυνατή την παραγωγή ακριβέστερων, επαναληπτικών και επεκτάσιμων σεναρίων ανάλυσης, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν πολιτικές ανακαίνισης και ενεργειακής βελτιστοποίησης σε εθνικό επίπεδο.

Αναφορές

- [1] Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2016). 9 ways to make the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) more effective.
- [2] European Commission. (2021a). Energy performance of buildings. European Commission.
- [3] European Commission. (2021b). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) (COM(2021) 802 final). European Commission.
- [4] Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*
- [5] "Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (TEE). (2017). *TOTEE 20701-1/2017: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση ΠΕΑ (ΦΕΚ Β' 4003/2017). Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.* <https://ψπεν.γο.γρ/ωπ-ζοντεντ/υπλοαδς/2021/03/TOTEE-1.πδφ>"
- [6] "Ürge-Vorsatz, D., Khosla, R., Bernhardt, R., Chan, Y.-C., Vérez, D., Hu, S., ... Cabeza, L. F. (2020). *Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector. Annual Review of Environment and Resources*, 45, 227–269. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045843>"
- [7] Fabbri, M., Franzì, L., & Zangheri, P. (2018). Accuracy of energy performance certificates: Evidence from European countries. *Energy Policy*
- [8] Zangheri, P., Fabbri, M., & Castellazzi, L. (2018). Energy performance certificates in Europe: A framework for assessing quality and reliability. *Building Research & Information*, 46(8), 864–879. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1463324>
- [9] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (n.d.). Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK).
- [10] Hellenic Ministry of Environment and Energy. (2019). National Energy and Climate Plan (NECP).
- [11] Dascalaki, E.G., Balaras, C.A., Gaglia, A.G., Kontoyiannidis, S., & Droutsas, K. (2012). Energy performance of buildings—EPBD in Greece. *Energy Policy*, 45, 469–477.
- [12] Balaras, C.A., Dascalaki, E.G., Gaglia, A.G., Kontoyiannidis, S., & Droutsas, K. (2011). An Overview of the New Hellenic Regulation on the Energy Performance of Buildings (KENAK). *Academia.edu*.
- [13] Technical Chamber of Greece (TEE). (2010). TOTEE 20701/2010: Technical Guidelines for the Implementation of KENAK.
- [14] European Commission. (2017). National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings.
- [15] Karakosta, C. (2023). Energy efficiency trends in the Greek building sector. *Energy Efficiency*, 16(2), 345–367.

- [16] National Observatory of Athens (NOA). (2010). Typology Approach for Building Stock Energy Assessment
- [17] Άρθρο 9 – Τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς. Ψπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. <https://www.opengov.gr/minenv/?p=181>
- [18] ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/TOTEE-1.pdf>
- [19] ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
- [20] Vardopoulos, I., Santamouris, M., Zorpas, A. A., Barone, G., Italos, C., & Vassiliades, C. (2024). A Comparative Study on Discrepancies in Residential Building Energy Performance Certification in a Mediterranean Context. Buildings
- [21] Buildings Performance Institute Europe. (2011). Europe’s buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings. BPIE
- [22] International Organization for Standardization. (2017). ISO 52016-1:2017. Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Calculation procedures. ISO
- [23] ISO 13790:2008. Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling. International Organization for Standardization, 2008
- [24] Hensen, J.L.M., & Lamberts, R. Building Performance Simulation for Design and Operation, 2nd edition, Routledge, 2019.
- [25] Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union.
- [26] REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations). Explanation of the new ISO 52016 — Hourly calculation method and its applications.
- [27] EPB EPB Center. (2017). EN ISO 52016-1:2017 — Hourly method examples and case studies.
- [28] Mazzarella L. Mazzarella et al. (2019). *Improvement to EN ISO 52016-1:2017 hourly heat transfer modelling with RC-networks
- [29] EnergyPlus Official Website, U.S. Department of Energy.
- [30] DOE, “EnergyPlus: History and Philosophy,” U.S. Department of Energy.
- [31] NREL, “Building Energy Modeling with EnergyPlus,” National Renewable Energy Laboratory.
- [32] U.S. DOE, EnergyPlus Engineering Reference, Technical Report.

- [33] U.S. DOE, “Energy Management System (EMS) Application Guide.”
- [34] GitHub, “EnergyPlus by NREL – Open Source Repository.”
- [35] Big Ladder Software, “EnergyPlus Input/Output Documentation.”
- [36] U.S. DOE, EnergyPlus Essentials, Technical Manual.
- [37] U.S. DOE, “EnergyPlus Output Files and Results.”
- [38] OpenStudio Documentation, NREL.
- [39] DOE, “EnergyPlus Getting Started Guide.”
- [40] DOE, “Best Practices for EnergyPlus Modeling.”
- [41] DOE, “Numerical Methods in EnergyPlus,” Technical Report.
- [42] DOE, “Validation of EnergyPlus Models.”
- [43] DOE, “HVAC and Plant Component Models in EnergyPlus.”
- [44] U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Energy Simulation Software*
- [45] ISO, *ISO 52016-1: Internal and Solar Gains Methodologies*.
- [46] NREL, *Solar and Shading Calculations in EnergyPlus*.
- [47] ISO 52016-1:2017, Section on HVAC separation principles.
- [48] DOE, *EnergyPlus HVAC System Simulation Guide*.
- [49] ISO, *Climatic Data Requirements for ISO 52016-1*.
- [50] EnergyPlus Documentation, *Weather Data Files and Sources (EPW)*.
- [51] Crawley, D. et al., *Contrasting the Capabilities of Building Energy Simulation Programs*.
- [52] Kontoleon, K., & Balaras, C., Scalable Building Archetypes Using EnergyPlus, Energy and Buildings Journal, 2021.
- [53] Karlessi, T., et al., *Characterization of Typical Greek Residential Buildings for Energy Modeling*, Renewable Energy, 2018.
- [54] DOE, *EnergyPlus Geometry and Zoning Guide*.
- [55] EnergyPlus Material Library Documentation, NREL.
- [56] Meteonorm / EnergyPlus EPW files for Greece.
- [57] ISO 52016-1:2017, *Internal Gains and Occupancy Profiles*.
- [58] DOE, *EnergyPlus HVAC Systems Modeling Guide*.
- [59] NREL, *Scenario Analysis and Parametric Studies in EnergyPlus*.
- [60] ISO 52016-1:2017, *Compliance and Verification Procedures*.

- [61] Papadopoulos, A., & Santamouris, M., *Energy Efficiency Policies and Building Archetypes in Greece*.
- [62] PyBuildingsEnergy Documentation, *Python Framework for Parametric Building Models*.
- [63] DOE, *EnergyPlus Zone and Geometry Parameterization Guide*.
- [64] EnergyPlus Material and Construction Libraries, NREL.
- [65] DOE, *EnergyPlus HVAC System Templates and Reuse*.
- [66] Crawley, D., et al., *Parametric Analysis in Building Energy Simulation*.
- [67] Hensen, J., & Lamberts, R., *Building Performance Simulation for Multiple Climatic Zones*.
- [68] Papadopoulos, A., & Santamouris, M., *Creating Large Databases of Archetypal Buildings for Policy Assessment*.
- [69] DOE/NREL, *Application of Parametric Archetypes for Energy Efficiency Assessment in Greece*.
- [70] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2019). Ετήσια Έκθεση Στατιστικών Αποτελεσμάτων Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης.