



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Βιώσιμος Σχεδιασμός Εσωτερικού Περιβάλλοντος Κτιρίων

Μεταπτυχική Διπλωματική Εργασία

«Ανάλυση απαιτήσεων ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων στην Ευρώπη.

Η περίπτωση ενός κτιρίου στην Ελλάδα και στην Γερμανία»

Παρασκευόπουλος Ρουσλάν

Επιβλέπων καθηγητής: Γεώργιος Πανάρας

Αμβούργο, «Ιούνιος» «2026»

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίας στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Ανάλυση απαιτήσεων ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων στην
Ευρώπη. Η περίπτωση ενός κτιρίου στην Ελλάδα και στην
Γερμανία»

«Ρουσλάν Παρασκευόπουλος»

Επιτροπή Επίβλεψης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής: «Γεώργιος Πανάρας»

Αμβούργο, «Ιούνιος» «2026»

Αφιερώνεται,

Στην αγαπημένη μου σύζυγο, Κατερίνα, για την αγάπη, την κατανόηση και την αστείρευτη υπομονή με την οποία στάθηκε δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στα δύο όμορφα κορίτσια μας, τη Σίλεια και την Ηλιάνα, που με το χαμόγελο, την παρουσία και την αγάπη τους μου έδιναν καθημερινά τη δύναμη να συνεχίσω.

Η διπλωματική αυτή γράφτηκε στο Αμβούργο, σε μια ιδιαίτερη περίοδο της ζωής μας και σε μια χρονιά που σηματοδοτεί το κλείσιμο ενός σημαντικού κύκλου. Αποτελεί μια μικρή ένδειξη της βαθιάς μου ευγνωμοσύνης προς εσάς, για όλα όσα μου προσφέρετε και για τη δύναμη που μου δίνετε να προχωρώ.

Περίληψη

Ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη και συνδέεται άμεσα με τις πολιτικές ενεργειακής μετάβασης, μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και επίτευξης της κλιματικής ουδετερότητας. Στο πλαίσιο αυτό, η Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD) διαμορφώνει ένα κοινό ευρωπαϊκό πλαίσιο για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, με βασικό εργαλείο τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Certificates – EPC). Τα πιστοποιητικά αυτά επιτρέπουν την τυποποιημένη αποτύπωση της ενεργειακής επίδοσης των κτιρίων, ενισχύουν τη διαφάνεια στην αγορά ακινήτων και συμβάλλουν στον σχεδιασμό πολιτικών ενεργειακής αναβάθμισης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των απαιτήσεων ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων στην Ευρώπη, με έμφαση στη συγκριτική διερεύνηση του ελληνικού και του γερμανικού πλαισίου εφαρμογής της ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Ειδικότερα, εξετάζονται το ελληνικό σύστημα ενεργειακής πιστοποίησης μέσω του KENAK και του λογισμικού TEE-KENAK, καθώς και το γερμανικό θεσμικό πλαίσιο του Gebäudeenergiegesetz (GEG) σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία υπολογισμού DIN V 18599 και τη χρήση του λογισμικού Trimble Nova. Η εργασία συνδυάζει τη θεωρητική ανάλυση του ευρωπαϊκού και εθνικού κανονιστικού πλαισίου με την εφαρμογή του σε μελέτη περίπτωσης κατοικίας, προκειμένου να διερευνηθούν οι απαιτήσεις δεδομένων, οι υπολογιστικές διαδικασίες και η επίδραση των παραδοχών στα τελικά αποτελέσματα.

Η εφαρμογή στο κτίριο μελέτης έδειξε ότι η ποιότητα και η ακρίβεια των δεδομένων εισόδου επηρεάζουν σημαντικά την ενεργειακή αξιολόγηση. Χαρακτηριστικά, η σύγκριση των δύο σεναρίων θερμικών απωλειών έδειξε μείωση του συνολικού θερμικού φορτίου από 14,31 kW στο αρχικό σενάριο σε 6,39 kW στο σενάριο με βελτιωμένες τιμές θερμοπερατότητας, ενώ οι απώλειες μετάδοσης μειώθηκαν από 12,30 kW σε 4,38 kW. Αντίστοιχα, η ειδική απαίτηση ισχύος μειώθηκε από 167 W/m² σε 75 W/m², γεγονός που καταδεικνύει τη μεγάλη επίδραση του κελύφους και των U-values στα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Παράλληλα, στη γερμανική εφαρμογή, οι τιμές ειδικής ενεργειακής απαίτησης μειώθηκαν από 251,81 kWh/(m²·a) για τα U-Werte 1958 σε 216,86 kWh/(m²·a)

για τα U-Werte 2009, χωρίς όμως η βελτίωση αυτή να επαρκεί από μόνη της για ουσιαστική αναβάθμιση της ενεργειακής κατηγορίας.

Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης αποτελούν χρήσιμο εργαλείο συγκριτικής αξιολόγησης και ενεργειακής πολιτικής, αλλά δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως απόλυτη πρόβλεψη της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας. Η μεθοδολογία υπολογισμού, το εθνικό κανονιστικό πλαίσιο, οι παραδοχές λειτουργίας, τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του κελύφους και η ποιότητα των δεδομένων εισόδου μπορούν να οδηγήσουν σε διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα. Συνεπώς, η ενεργειακή πιστοποίηση μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται με τεχνική ακρίβεια, αξιόπιστη συλλογή δεδομένων και κατάλληλη ερμηνεία των υπολογιστικών αποτελεσμάτων.

Λέξεις – Κλειδιά

Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), Ενεργειακή απόδοση κτιρίων, EPBD, Gebäudeenergiegesetz (GEG), DIN V 18599, KENAK, Ενεργειακή πιστοποίηση, Performance gap, Απανθρακοποίηση του κτιριακού τομέα.

«Analysis of Building Energy Certification Requirements in Europe: The Case of a Building in Greece and in Germany»

«Rouslan Paraskevopoulos»

Abstract

The building sector is one of the most significant energy-consuming sectors in Europe and is directly linked to energy transition policies, the reduction of greenhouse gas emissions and the achievement of climate neutrality. Within this framework, the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) establishes a common European framework for improving the energy performance of buildings, with Energy Performance Certificates (EPCs) serving as a key instrument. These certificates provide a standardized assessment of building energy performance, enhance transparency in the real estate market and support the development of energy renovation policies.

The aim of this master's thesis is to analyse the requirements for building energy certification in Europe, with particular emphasis on the comparative investigation of the Greek and German implementation frameworks of European legislation. More specifically, the study examines the Greek energy certification system through KENAK and the TEE-KENAK software, as well as the German regulatory framework of the Gebäudeenergiegesetz (GEG), in combination with the DIN V 18599 calculation methodology and the use of the Trimble Nova software. The thesis combines a theoretical analysis of the European and national regulatory framework with its application to a case-study residential building, in order to investigate data requirements, calculation procedures and the influence of assumptions on the final results.

The application to the case-study building showed that the quality and accuracy of input data significantly affect the energy assessment. In particular, the comparison of two heat-loss scenarios showed a reduction in the total design heat load from 14.31 kW in the initial scenario to 6.39 kW in the scenario with improved thermal transmittance values. At the same time, transmission losses decreased from 12.30 kW to 4.38 kW. Similarly, the specific heat load was reduced from 167 W/m² to 75 W/m², demonstrating the strong influence of the building envelope and U-values on the assessment results. In the German application, the specific energy demand decreased from 251.81 kWh/(m²·a) for the U-values of 1958 to

216.86 kWh/(m²·a) for the U-values of 2009. However, this improvement alone was not sufficient to achieve a substantial upgrade of the building's energy classification.

The results highlight that Energy Performance Certificates are useful tools for comparative assessment and energy policy, but they should not be considered exact predictions of actual energy consumption. The calculation methodology, national regulatory framework, operational assumptions, thermal properties of the building envelope and quality of input data can all lead to variations in the final results. Therefore, energy certification can contribute significantly to the improvement of building energy performance, provided that it is applied with technical accuracy, reliable data collection and appropriate interpretation of the calculation results.

Keywords

Energy Performance Certificate (EPC), Building Energy Performance, Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), Gebäudeenergiegesetz (GEG), DIN V 18599, KENAK, Energy certification, Performance gap, Decarbonisation of the building sector.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων	xii
Κατάλογος Πινάκων	xiv
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	1
Κεφάλαιο 1: Θεωρητική προσέγγιση και ορισμοί ενεργειακής πιστοποίησης.....	3
1.1 Βασικές Έννοιες και Ορισμοί	3
1.2 Ενεργειακή απόδοση και ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων στην Ευρώπη	4
1.3 Στόχοι της ενεργειακής πολιτικής και ρόλος των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (EPC)	5
1.4 Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο και Οδηγία EPBD	6
1.5 Διεθνείς προσεγγίσεις ενεργειακής πιστοποίησης	7
1.6 Ζητήματα και ερευνητικές προκλήσεις.....	8
1.7 Σκοπός, στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας	10
1.8 Δομή της εργασίας	12
Κεφάλαιο 2: Ευρωπαϊκή πολιτική και Οδηγία EPBD στην ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων.....	14
2.1 Ο κτιριακός τομέας, η ενεργειακή απόδοση και ο ρόλος των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης	14
2.2 Το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο και η εξέλιξη της Οδηγίας EPBD	18
2.3 Η εθνική εφαρμογή στη Γερμανία: GEG και τεχνικά πρότυπα	22
2.4 Μεθοδολογική λογική της ενεργειακής πιστοποίησης: απαιτούμενα δεδομένα, υπολογιστικά βήματα και παραδοχές.....	27
2.4.1 Υπολογιστική αλληλουχία και επαναληπτικός χαρακτήρας.....	28
2.5 Διεθνείς προσεγγίσεις ενεργειακής και περιβαλλοντικής αξιολόγησης: συγκριτικό υπόβαθρο	30
2.6 Performance gap, ποιότητα δεδομένων και περιορισμοί των ενεργειακών πιστοποιητικών.....	38
2.7 Σύνδεση του θεωρητικού πλαισίου με τη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας	43
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία εφαρμογής και προετοιμασία της μελέτης περίπτωσης	46
3.1 Γερμανικός κανονισμός GEG / DIN V 18599	46
3.2 Ελληνικός κανονισμός (TEE-KENAK)	51
3.2.1 Στόχοι και μεθοδολογική προσέγγιση του κεφαλαίου	55
3.3 Περιγραφή του κτιρίου μελέτης και διαθέσιμα δεδομένα	56
3.3.1 Γεωμετρικά και χωρικά χαρακτηριστικά	57
3.3.2 Κλιματικά δεδομένα και τοποθεσία	58
3.3.3 Διαθέσιμα δεδομένα για την ενεργειακή αποτύπωση	60
3.4 Συλλογή και οργάνωση δεδομένων – επιλογή υπολογιστικού μοντέλου	60
3.4.1 Κατηγοριοποίηση και πηγές δεδομένων	61
3.4.2 Επιλογή και ρόλος του υπολογιστικού μοντέλου	63

3.4.3	Διαδικασία συλλογής, εισαγωγής και ελέγχου δεδομένων – αναλυτικά βήματα	64
3.4.4	Υπολογισμός απαιτούμενης θερμικής ισχύος και τεκμηρίωση παραδοχών	70
3.5	Συνοπτική διατύπωση της μεθοδολογίας εφαρμογής	77
3.6	Διάγραμμα ροής της μεθοδολογικής προσέγγισης και της εφαρμογής της μελέτης περίπτωσης.	78
Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε κτίριο αναφοράς: Υπολογισμός θερμικών απωλειών και διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης		80
4.1	Περιγραφή κτιρίου και εφαρμογή της μεθοδολογίας	80
4.1.1	Γεωμετρία και θερμικό κέλυφος του κτιρίου	81
4.1.2	Δομικά στοιχεία και θερμικές ιδιότητες του κελύφους	82
4.2	Μελέτη Κτιρίου με το λογισμικό KENAK	84
4.2.1	Μελέτη Πραγματικού Κτιρίου	84
4.2.1.1	Σύστημα θέρμανσης της θερμικής ζώνης στο KENAK	85
4.2.1.2	Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) στο KENAK	87
4.2.1.3	Ηλιακός Συλλέκτης στο KENAK	88
4.2.2	Μελέτη Ιδανικού Κτιρίου	89
4.2.2.1	Σενάριο Θερμομόνωσης Αδιαφανών Στοιχείων	89
4.2.3	Συγκεντρωτική αξιολόγηση ενεργειακών σεναρίων στο TEE-KENAK	96
4.2.4	Συμπεράσματα των περιπτώσεων μελέτης πραγματικού και ιδανικού κτιρίου	98
4.3.1	Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (Heizlast) και Στοιχεία Χώρου στο Λογισμικό	102
4.3.2	Αναλυτική Αξιολόγηση Θερμικών Απωλειών ανά Χώρο	104
4.3.2.1	Χώρος Διημέρευσης (Σαλοκουζίνα)	104
4.3.2.2	Υπνοδωμάτιο 1	104
4.3.2.3	Υπνοδωμάτιο 2	105
4.3.2.4	Υπνοδωμάτιο 3	105
4.3.2.5	Χώρος Υγιεινής (Μπάνιο)	106
4.3.2.6	Ζώνη Κυκλοφορίας (Διάδρομος)	106
4.4	Σύνθεση Συνολικών Αποτελεσμάτων και Μηχανολογικά Συμπεράσματα	107
4.5	Προτάσεις για τη Διαστασιολόγηση του Συστήματος Παραγωγής	108
4.6	Αναλυτική τεχνική έκθεση θερμικών απωλειών και σχολιασμός αποτελεσμάτων από τα λογισμικά	108
4.6.1	Αναλυτικός Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών ανά Χώρο	110
4.6.2	Σύνθεση Συνολικών Αποτελεσμάτων Κτιρίου	113
4.6.3	Μηχανολογικά Συμπεράσματα & Αξιολόγηση	114
4.7	Συγκριτική Αξιολόγηση και Ανάλυση Ευαισθησίας Αποτελεσμάτων	114
4.7.1	Τεχνική τεκμηρίωση συντελεστών θερμοπερατότητας στα σενάρια σύγκρισης (U-values / EnEV)	115
4.7.2	Συγκριτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων ανά Χώρο και Κτίριο	118
4.7.3	Μηχανολογικός Σχολιασμός και Συμπεράσματα Σύγκρισης	119
4.7.4	Σχολιασμός ενεργειακής κατηγορίας	124
Κεφάλαιο 5: Παραμετρική διερεύνηση και ανάλυση ευαισθησίας		125
5.1	Σκοπός και ερευνητική λογική	125

5.2	Επιλογή και περιγραφή των παραμέτρων	126
5.2.1	Συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων	126
5.2.2	Αεροστεγανότητα και ρυθμός αερισμού	127
5.2.3	Εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού και θερμική ζώνωση.....	128
5.3	Ορισμός και τεκμηρίωση σεναρίων	128
5.3.1	Βασικό σενάριο (ιστορική κατάσταση)	128
5.3.2	Σενάριο αναβαθμισμένου κελύφους	129
5.3.3	Σενάριο βελτιωμένης αεροστεγανότητας.....	129
5.3.4	Σενάρια διαφοροποίησης εσωτερικών συνθηκών.....	130
5.3.5	Συνοπτική παρουσίαση σεναρίων	130
5.4	Παρουσίαση αποτελεσμάτων παραμετρικής διερεύνησης	130
5.5	Ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis).....	131
5.6	Σύνδεση με ετήσιες ενεργειακές ανάγκες και κατηγοριοποίηση EPC	132
5.7	Συμπεράσματα παραμετρικής διερεύνησης	132
	Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	134
	Βιβλιογραφία.....	137

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-0 Το λογότυπο του ΕΑΠ, σε έγχρωμη έκδοση.....	1
Εικόνα 1 Ροή εργασιών υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου και ελέγχου συμμόρφωσης με το GEG, από την εισαγωγή δεδομένων έως την έκδοση ΠΕΑ.	25
Εικόνα 2 Κατηγορίες εισροών δεδομένων, ενδεικτικά στοιχεία και ρόλος τους στη μεθοδολογία αξιολόγησης ενεργειακής απόδοσης κτιρίου.....	28
Εικόνα 3-Σύγκριση κατηγοριών δεδομένων και απαιτούμενων εισροών για υπολογισμό ΠΕΑ μεταξύ γενικού πλαισίου EPBD, γερμανικής μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599 και ελληνικού πλαισίου KENAK/TOTEE 20701-1.....	29
Εικόνα 4 Flow chart LEED (ενεργειακό σκέλος) Ροή αξιολόγησης της ενεργειακής επίδοσης στο πλαίσιο του LEED (ενεργειακές πιστώσεις).....	34
Εικόνα 5 Διαδικασία ενεργειακής αξιολόγησης και πιστοποίησης κτιρίου με LEED BD+C v4.1	35
Εικόνα 6 Διαδικασία ενεργειακής αξιολόγησης κτιρίου με NABERS.....	36
Εικόνα 7 Τυπικό παράδειγμα γερμανικού ενεργειακού πιστοποιητικού (Energieausweis) για κτίριο κατοικίας – σελίδα ενεργειακής ανάγκης (Bedarfsausweis).....	49
Εικόνα 8 Τυπικό παράδειγμα γερμανικού ενεργειακού πιστοποιητικού (Energieausweis) για κτίριο κατοικίας – σελίδα καταγεγραμμένης ενεργειακής κατανάλωσης (Verbrauchsausweis).	50
Εικόνα 9 Ενδεικτικές τιμές τελικής ενέργειας (Vergleichswerte Endenergie) για διαφορετικούς τύπους κατοικιών, ανά κλάση ενεργειακής απόδοσης (A+ έως H).....	51
Εικόνα 10 Έντυπο Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) κτιρίου με γραφική απεικόνιση ενεργειακών κατηγοριών και κατάταξη παραδείγματος στην κατηγορία B....	53
Εικόνα 11 Ενεργειακό ισοζύγιο και συστάσεις βελτίωσης στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ): ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή και τελική χρήση και προτεινόμενα μέτρα εξοικονόμησης.	54
Εικόνα 12 Πρόσοψη κτιρίου μελέτης	57
Εικόνα 13 Κάτοψη μονοκατοικίας.....	58
Εικόνα 14 Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων θέσης-Hamburg, Germany.....	59
Εικόνα 15 Διαδικασία συλλογής δεδομένων, μοντελοποίησης και αξιολόγησης κτιρίου αναφοράς σύμφωνα με το GEG	65
Εικόνα 16 Διάγραμμα ροής της μεθοδολογικής προσέγγισης και της εφαρμογής της μελέτης περίπτωσης	79
Εικόνα 17 Καταχώρηση αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων του κελύφους της Θερμικής Ζώνης 1 στο λογισμικό KENAK.	84
Εικόνα 18 Καταχώρηση των χαρακτηριστικών του συστήματος θέρμανσης (λέβητας πετρελαίου, δίκτυο διανομής και βοηθητικές μονάδες) στο λογισμικό KENAK.....	86
Εικόνα 19 Καταχώρηση συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου στο TEE-KENAK	87
Εικόνα 20 Καταχώρηση συστήματος ψύξης με αερόψυκτο ψύκτη στο TEE-KENAK	88
Εικόνα 21 Καταχώρηση ηλιακού συλλέκτη για ZNX στο λογισμικό TEE-KENAK.....	89
Εικόνα 22 Σενάριο Αντικατάστασης Διαφανών Στοιχείων στο KENAK	91
Εικόνα 23 Σενάριο Αναβάθμισης Συστήματος Θέρμανσης στο KENAK.....	92
Εικόνα 24 Σενάριο Αναβάθμισης Συστήματος Θέρμανσης στο KENAK.....	93
Εικόνα 25 Σενάριο Αναβάθμισης Συστήματος Ψύξης στο KENAK.....	93

Εικόνα 26 Σενάριο Εγκατάστασης ZNX στο KENAK.....	94
Εικόνα 27 Σενάριο Εγκατάστασης Ηλιακού συλλέκτη στο KENAK	95
Εικόνα 28 Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος στο KENAK	95
Εικόνα 32 Ενεργειακή κατάταξη υφιστάμενου κτιρίου και σεναρίου αναβάθμισης στο πλαίσιο του προγράμματος “Εξοικονομώ 2025. Συνολικά Αποτελέσματα Ενεργειακών Σεναρίων στο KENAK.....	96
Εικόνα 33 Οικονομοτεχνική ανάλυση σεναρίου ενεργειακής αναβάθμισης στο πλαίσιο του προγράμματος “Εξοικονομώ 2025” (κόστος, εξοικονόμηση ενέργειας και περίοδος αποπληρωμής).....	97
Εικόνα 29 Επίδραση του Σεναρίου Αντλίας Θερμότητας στο Σύστημα ZNX στο KENAK	99
Εικόνα 30 Εγκατάσταση Μονάδων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Σ.Η.Θ.) στο KENAK	100
Εικόνα 31 Έλεγχος ενεργειακών και οικονομικών κριτηρίων σεναρίων στο πλαίσιο του προγράμματος “Εξοικονομώ 2025” και τελική βαθμολογία κτιρίου	101
Εικόνα 34 Παράδειγμα αποτελεσμάτων υπολογισμού Raumheizlast κατά DIN/TS 12831-1 στο εξειδικευμένο λογισμικό θερμικών φορτίων.....	102
Εικόνα 35 Παράμετροι υπολογισμού Norm-Heizlast κατά DIN/TS 12831-1 (γεωμετρία, θερμογέφυρες, αεροστεγανότητα, θερμικές απώλειες).....	103
Εικόνα 36 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για τον χώρο «Σαλοκουζίνα».....	104
Εικόνα 37 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για το «Υπνοδωμάτιο 1».....	105
Εικόνα 38 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για το «Υπνοδωμάτιο 2».....	105
Εικόνα 39 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για το «Υπνοδωμάτιο 3».....	106
Εικόνα 40 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για τον χώρο «Μπάνιο».....	106
Εικόνα 41 Πίνακας εμβαδομέτρησης και όγκου των επιμέρους ζωνών της μονοκατοικίας. Γεωμετρικά δεδομένα κτιρίου για υπολογισμό θερμικών φορτίων (μήκος, πλάτος, όγκος, επιφάνεια κελύφους)	107
Εικόνα 42 Συγκεντρωτικός πίνακας θερμικών απωλειών σχεδιασμού (Heizlast) ολόκληρου του κτιρίου.	108
Εικόνα 43 Ενδεικτική απεικόνιση ενεργειακών κλάσεων κατοικιών και τυπικών χαρακτηριστικών τους.....	121
Εικόνα 44 Κλίμακες ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων σύμφωνα με GEG (A+ έως H)	121
Εικόνα 45 Αποτελέσματα U-Werte 1958	122
Εικόνα 46 Αποτελέσματα U-Werte 2009	123

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Συγκριτικός πίνακας συστημάτων ASHRAE 90.1, LEED και NABERS ως προς στόχο, τύπο αξιολόγησης, μεθοδολογική λογική και τυπικό πεδίο εφαρμογής.	37
Πίνακας 2 Κατηγορίες δεδομένων ΠΕΑ σε EPBD, GEG/DIN V 18599 και KENAK/TOTEE.	62
Πίνακας 3 Σύγκριση χαρακτηριστικών U παλαιού κτιρίου (1958–68) και νέου κτιρίου κατά EnEV 2009.	68
Πίνακας 4 Σύγκριση θερμοφυσικών χαρακτηριστικών δομικών στοιχείων μεταξύ κτιρίου του 1958 και κτιρίου μετά το 2010.	83
Πίνακας 5 Σύγκριση συντελεστών θερμοπερατότητας και μηχανολογικής κατηγοριοποίησης δομικών στοιχείων μεταξύ Σεναρίου Υπάρχον και Σεναρίου Β.	116
Πίνακας 6 Σύγκριση απώλειες θερμότητας χώρου.	119

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

Ακολουθούν κάποια παραδείγματα:

ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΘΕ	Θεματική Ενότητα
ΠΕ	Πτυχιακή Εργασία
ΠΣ	Πρόγραμμα Σπουδών
ΣΥΝ	Συντονιστής/Συντονίστρια

Εισαγωγή

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους άξονες της ευρωπαϊκής πολιτικής για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης. Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για σημαντικό ποσοστό της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, γεγονός που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή αποτελεσματικών πολιτικών για τη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης.

Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει την Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD), η οποία καθορίζει το βασικό κανονιστικό πλαίσιο για την ενεργειακή αξιολόγηση των κτιρίων, τη θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης, την προώθηση κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και την εφαρμογή συστημάτων ενεργειακής πιστοποίησης. Βασικό εργαλείο εφαρμογής της Οδηγίας αποτελούν τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Certificates – EPC), τα οποία παρέχουν μια τυποποιημένη αποτύπωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και συμβάλλουν στη διαφάνεια της αγοράς ακινήτων και στον σχεδιασμό ενεργειακών πολιτικών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τις απαιτήσεις ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων στην Ευρώπη, εστιάζοντας στη συγκριτική ανάλυση του ελληνικού και του γερμανικού συστήματος ενεργειακής αξιολόγησης. Για τον σκοπό αυτό εξετάζονται το ελληνικό πλαίσιο εφαρμογής του KENAK και το γερμανικό θεσμικό πλαίσιο του Gebäudeenergiegesetz (GEG), καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού DIN V 18599. Η θεωρητική ανάλυση συμπληρώνεται από εφαρμογή σε μελέτη περίπτωσης, αξιοποιώντας εξειδικευμένα λογισμικά ενεργειακής αξιολόγησης και υπολογισμού, όπως τα TEE-KENAK, και Trimble Nova.

Η εργασία εξετάζει τις απαιτήσεις συλλογής δεδομένων, τις υπολογιστικές διαδικασίες και τα αποτελέσματα της ενεργειακής πιστοποίησης, αναλύοντας ζητήματα όπως η ποιότητα των δεδομένων εισόδου, το χάσμα μεταξύ υπολογιζόμενης και πραγματικής ενεργειακής κατανάλωσης (performance gap) και η συμβολή των εξειδικευμένων λογισμικών στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τελικός στόχος είναι η ανάδειξη των ομοιοτήτων και διαφορών μεταξύ των δύο εθνικών προσεγγίσεων και η διατύπωση συμπερασμάτων που μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της ενεργειακής πιστοποίησης και στην αποτελεσματικότερη εφαρμογή της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής.

Κεφάλαιο 1: Θεωρητική προσέγγιση και ορισμοί ενεργειακής πιστοποίησης

1.1 Βασικές Έννοιες και Ορισμοί

Ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους κεντρικούς πυλώνες κατανάλωσης ενέργειας σε κάθε σύγχρονη οικονομία, καθώς τα κτίρια φιλοξενούν σχεδόν το σύνολο των καθημερινών δραστηριοτήτων των πολιτών, από την κατοίκηση και την εργασία έως την αναψυχή και την παροχή υπηρεσιών. Η λειτουργία τους απαιτεί ενέργεια για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρικές συσκευές, με αποτέλεσμα να ευθύνονται για σημαντικό ποσοστό της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Παράλληλα, ο χρόνος ζωής των κτιρίων είναι μεγάλος, γεγονός που σημαίνει ότι επιλογές που γίνονται σήμερα σε επίπεδο σχεδιασμού, κατασκευής ή ανακαίνισης επηρεάζουν την ενεργειακή και περιβαλλοντική επίδοση για πολλές δεκαετίες (Economidou et al., 2020; BPIE, 2022; European Commission, 2024).

Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων συνδέεται άμεσα με την ποιότητα του δομημένου περιβάλλοντος και την υγεία των χρηστών, καθώς ανεπαρκής θερμική άνεση, κακή ποιότητα εσωτερικού αέρα ή υψηλά κόστη θέρμανσης επηρεάζουν την καθημερινότητα και την ευημερία των ανθρώπων. Ταυτόχρονα, η ενεργειακή απόδοση αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επίτευξη των κλιματικών στόχων, αφού η μείωση της κατανάλωσης στα κτίρια και η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα (European Commission, 2024; Economidou et al., 2020; BPIE, 2022). Έτσι, ο κτιριακός τομέας παίζει βασικό ρόλο για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την ενεργειακή ασφάλεια και την κοινωνική συνοχή. (Economidou et al., 2020; Olasolo-Alonso et al., 2023; European Commission, 2024).

Η συστηματική αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, και ειδικότερα η θεσμοθέτηση Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Certificates – EPC), έχει εδραιωθεί τα τελευταία χρόνια ως βασικό εργαλείο της ευρωπαϊκής πολιτικής στον κτιριακό τομέα (European Commission, 2010; European Parliament & Council, 2018; Ou et al., 2025; Sucic et al., 2026). Τα ΠΕΑ προσπαθούν να μετατρέψουν τις τεχνικές πληροφορίες σε μια απλή, ενιαία μορφή, συνήθως με μια ενεργειακή κλίμακα (κατηγορίες) και βασικούς δείκτες κατανάλωσης ή εκπομπών, ώστε να είναι εύκολα κατανοητά και από

μη ειδικούς. Με αυτόν τον τρόπο, οι αποφάσεις για αγορά, ενοικίαση ή ανακαίνιση κτιρίων μπορούν να λάβουν υπόψη την ενεργειακή διάσταση, ενώ παράλληλα δημιουργούνται κίνητρα για βελτιώσεις.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων με σημείο αναφοράς το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο και την εθνική του εφαρμογή στη Γερμανία, μέσω του νόμου Gebäudeenergiegesetz (GEG) και των συναφών προτύπων (European Commission, 2024; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020; DIN, 2018; Buildings Performance Institute Europe, 2022; Economidou et al., 2020). Η Γερμανία αποτελεί μία από τις χώρες με ιδιαίτερα ανεπτυγμένο θεσμικό και τεχνικό πλαίσιο, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη περίπτωση για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι γενικές ευρωπαϊκές κατευθύνσεις μεταφράζονται σε συγκεκριμένους κανόνες, μεθοδολογίες υπολογισμού και απαιτήσεις δεδομένων. Παράλληλα, αξιοποιούνται συγκριτικά παραδείγματα από διεθνή συστήματα, ώστε να τοποθετηθεί η ευρωπαϊκή και γερμανική προσέγγιση σε ένα ευρύτερο περιβάλλον και να αναδειχθούν κρίσιμα ζητήματα όπως το performance gap, οι περιορισμοί των προτύπων και η ποιότητα των δεδομένων.

1.2 Ενεργειακή απόδοση και ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων στην Ευρώπη

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου μπορεί να οριστεί ως ο λόγος μεταξύ των ενεργειακών υπηρεσιών που προσφέρει (π.χ. θερμική άνεση, επαρκής φωτισμός, ποιότητα αέρα) και της ενέργειας που απαιτείται για την παροχή τους, υπό καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας (βλ. ενδεικτικά Μεθοδολογία Υπολογισμού της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου, 2016· TEE, 2009).. Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η ποιότητα της θερμομόνωσης, το πόσο αεροστεγανό είναι, η σχέση τοίχων-υαλοστασίων, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, αλλά και ο τρόπος που το χρησιμοποιούν οι χρήστες. Σε ψυχρά κλίματα δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη μείωση των αναγκών για θέρμανση, ενώ σε θερμά ή μικτά κλίματα είναι πιο σημαντική η ψύξη και ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. σκίαση, ηλιακά κέρδη) (European Commission, 2010; Mouratidis, 2021).

Στην Ευρώπη, το ενδιαφέρον για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων ενισχύθηκε από την αυξανόμενη ανησυχία για την κλιματική αλλαγή και την ενεργειακή ασφάλεια (Economidou, M., et al. (2020). *Review of 50 years of EU energy efficiency policies for*

buildings. Energy and Buildings). Επειδή τα κτίρια καταναλώνουν μεγάλο μέρος της ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέληξε ότι χωρίς σημαντική βελτίωση του κτιριακού αποθέματος δεν μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι για μείωση εκπομπών και κατανάλωσης. Σταδιακά δημιουργήθηκε ένα πλαίσιο κανόνων που προωθεί τόσο την ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων όσο και τον σχεδιασμό νέων κτιρίων με υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων προέκυψε ως ανάγκη για να αποτυπωθεί η ενεργειακή συμπεριφορά με τρόπο διαφανή και συγκρίσιμο, ανεξάρτητα από το αν ο τελικός χρήστης έχει τεχνικές γνώσεις. Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες τα EPC χρησιμοποιούν κλίμακα ενεργειακών κατηγοριών με γράμματα (συνήθως από A ή A+ έως G), όπου οι υψηλότερες κατηγορίες αντιστοιχούν σε κτίρια με καλύτερη ενεργειακή απόδοση και χαμηλότερη κατανάλωση. Παράλληλα, συχνά παρουσιάζονται αριθμητικές τιμές, όπως η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο και, σε πολλές περιπτώσεις, δείκτες εκπομπών CO₂, ώστε να παρέχεται πιο αναλυτική πληροφόρηση σε όσους θέλουν να εμβαθύνουν. Έτσι, τα EPC λειτουργούν ως «γλώσσα» επικοινωνίας μεταξύ τεχνικών ειδικών, χρηστών, διοίκησης και αγοράς.

Η ύπαρξη ενός κοινού πλαισίου ενεργειακής πιστοποίησης ευνοεί επίσης τη σύγκριση κτιρίων εντός της ίδιας χώρας ή και, σε ορισμένο βαθμό, μεταξύ διαφορετικών χωρών, ενισχύοντας τη διαφάνεια στην αγορά ακινήτων. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στις δημόσιες αρχές να συγκροτούν βάσεις δεδομένων και να παρακολουθούν τη συνολική πορεία βελτίωσης του κτιριακού αποθέματος, αλλά και να εντοπίζουν κατηγορίες κτιρίων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής, όπως παλιά κτίρια με χαμηλές ενεργειακές επιδόσεις ή κτίρια που σχετίζονται με φαινόμενα ενεργειακής φτώχειας.

1.3 Στόχοι της ενεργειακής πολιτικής και ρόλος των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (EPC)

Η ενεργειακή και κλιματική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει θέσει φιλόδοξους στόχους μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με τελικό ορίζοντα την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Στο πλαίσιο αυτό, ο κτιριακός τομέας αναγνωρίζεται ως ένας από τους βασικούς τομείς παρέμβασης, λόγω του μεγάλου μεριδίου του στην τελική κατανάλωση ενέργειας και των σημαντικών δυνατοτήτων εξοικονόμησης. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων συνδέεται έτσι όχι

μόνο με περιβαλλοντικούς στόχους, αλλά και με ζητήματα ενεργειακής ασφάλειας, οικονομικής αποδοτικότητας και ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο, τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Certificates, EPC) αποτελούν βασικό εργαλείο για την τυποποιημένη αποτύπωση και την επικοινωνία της ενεργειακής επίδοσης των κτιρίων. Μέσω μιας κοινής κλίμακας ενεργειακών κατηγοριών και βασικών δεικτών κατανάλωσης, τα EPC επιτρέπουν τη συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών κτιρίων και τη διαφάνεια στην αγορά ακινήτων. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιούνται από τις δημόσιες αρχές ως πηγή δεδομένων για τον σχεδιασμό πολιτικών ανακαίνισης και την παρακολούθηση της προόδου στον κτιριακό τομέα.

1.4 Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο και Οδηγία EPBD

Το βασικό ευρωπαϊκό θεσμικό εργαλείο για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων είναι η Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD). Η EPBD καθορίζει ένα κοινό πλαίσιο αρχών και υποχρεώσεων για τα κράτη-μέλη, προβλέποντας την ύπαρξη εθνικών μεθοδολογιών υπολογισμού, ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης, συστημάτων ενεργειακής πιστοποίησης και μηχανισμών τακτικής επιθεώρησης των τεχνικών συστημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αντιμετωπίζεται πλέον ως οργανωμένο πεδίο δημόσιας πολιτικής και όχι ως αποκλειστικά τεχνικό ζήτημα. Η οδηγία δεν επιβάλλει ένα ενιαίο τεχνικό πρότυπο υπολογισμού για όλα τα κράτη-μέλη, αλλά ζητά από κάθε χώρα να αναπτύξει τη δική της ολοκληρωμένη μεθοδολογία, λαμβάνοντας υπόψη το κέλυφος, τα συστήματα και τις ενεργειακές υπηρεσίες του κτιρίου. Παράλληλα, θέτει συγκεκριμένες απαιτήσεις ως προς τη μορφή και το περιεχόμενο των ενεργειακών πιστοποιητικών, ώστε να επιτυγχάνεται ένα ελάχιστο επίπεδο συγκρισιμότητας σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι περαιτέρω λεπτομέρειες για την εξέλιξη και τις πρόσφατες αναθεωρήσεις της EPBD αναλύονται συστηματικά στο Κεφάλαιο 2.

1.4.1 Η εθνική εφαρμογή στη Γερμανία (GEG και πρότυπα)

Στη Γερμανία, η εφαρμογή των απαιτήσεων της EPBD πραγματοποιείται κυρίως μέσω του Gebäudeenergiegesetz (GEG), του νόμου για την ενέργεια των κτιρίων, ο οποίος

συγκεντρώνει σε ένα ενιαίο πλαίσιο τις εθνικές ρυθμίσεις για την ενεργειακή απόδοση, τις ελάχιστες απαιτήσεις, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη διαδικασία ενεργειακής πιστοποίησης. Σε τεχνικό επίπεδο, το GEG στηρίζεται στη σειρά προτύπων DIN V 18599, η οποία παρέχει ένα ολοκληρωμένο και ολιστικό πλαίσιο υπολογισμού της ενεργειακής επίδοσης των κτιρίων υπό τυποποιημένες συνθήκες. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή, το κτίριο δεν αντιμετωπίζεται ως άθροισμα μεμονωμένων δομικών στοιχείων ή συστημάτων, αλλά ως ενιαίο ενεργειακό σύστημα, στο οποίο το θερμικό κέλυφος, τα τεχνικά συστήματα, τα εσωτερικά φορτία, τα προφίλ χρήσης και τα κλιματικά δεδομένα συνδυάζονται σε ένα κοινό υπολογιστικό σχήμα.

Η σειρά DIN V 18599 καλύπτει όλες τις βασικές ενεργειακές ροές ενός κτιρίου, καθορίζοντας τον τρόπο υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, καθώς και των αντίστοιχων βοηθητικών ηλεκτρικών καταναλώσεων. Αρχικά προσδιορίζονται οι ενεργειακές ανάγκες σε επίπεδο θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων, στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη οι αποδόσεις των συστημάτων παραγωγής, διανομής και εκπομπής και, τέλος, τα αποτελέσματα μετατρέπονται σε τελική και πρωτογενή ενέργεια μέσω των συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας που ορίζει η νομοθεσία. Με βάση τους δείκτες αυτούς αξιολογείται η συνολική ενεργειακή επίδοση του κτιρίου και ελέγχεται η συμμόρφωσή του με τις απαιτήσεις του GEG, γεγονός που καθιστά τη σχέση μεταξύ EPBD, GEG και DIN V 18599 κεντρική για την κατανόηση του γερμανικού συστήματος ενεργειακής πιστοποίησης και για τη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας.

1.5 Διεθνείς προσεγγίσεις ενεργειακής πιστοποίησης

Πέρα από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τη Γερμανία, σε πολλές χώρες έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά συστήματα ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων, τα οποία αντανakλούν τις ιδιαίτερες θεσμικές, κλιματικές και αγοραίες συνθήκες κάθε περιοχής. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, για παράδειγμα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα πρότυπα της ASHRAE, τα οποία χρησιμοποιούνται τόσο ως τεχνική βάση για ενεργειακούς κανονισμούς όσο και ως σημείο αναφοράς για εθελοντικά σχήματα πιστοποίησης. Παράλληλα, συστήματα όπως το LEED συνδυάζουν την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης με μια ευρύτερη γκάμα

περιβαλλοντικών κριτηρίων, όπως η χρήση υλικών, η διαχείριση νερού, η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και η χωροθέτηση.

Στην Αυστραλία, το σύστημα NABERS εστιάζει στην αποτίμηση της λειτουργικής ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης για να αποδώσει βαθμολογίες απόδοσης κυρίως σε κτίρια γραφείων και άλλες χρήσεις. Η προσέγγιση αυτή διαφοροποιείται από τα τυπικά EPC της EPBD, τα οποία βασίζονται κυρίως σε υπολογιστικά μοντέλα υπό τυπικές συνθήκες, και αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα αλλά και τις προκλήσεις της χρήσης πραγματικών μετρήσεων στην πιστοποίηση. Σε χώρες της Ασίας, όπως η Σιγκαπούρη, το σύστημα Green Mark ενσωματώνει την ενεργειακή απόδοση σε ένα ολοκληρωμένο σχήμα αξιολόγησης της βιωσιμότητας των κτιρίων, συνδυάζοντας δείκτες ενέργειας με άλλες περιβαλλοντικές και λειτουργικές παραμέτρους.

Τα διεθνή αυτά παραδείγματα δείχνουν ότι δεν υπάρχει μία μοναδική, «ορθή» προσέγγιση στην ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων. Ορισμένα συστήματα βασίζονται κυρίως σε υπολογιστικά μοντέλα (asset rating), άλλα σε πραγματικές καταναλώσεις (operational rating), ενώ αρκετά επιχειρούν να συνδυάσουν στοιχεία και από τις δύο προσεγγίσεις. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις η ενεργειακή απόδοση εντάσσεται σε ευρύτερα πλαίσια βιωσιμότητας, όπου αξιολογούνται παράλληλα η χρήση πόρων, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και η ευημερία των χρηστών. Για την παρούσα εργασία, οι διεθνείς προσεγγίσεις λειτουργούν κυρίως ως συγκριτικό υπόβαθρο, αναδεικνύοντας τις ιδιαιτερότητες και τα όρια της προσέγγισης EPBD/GEG.

1.6 Ζητήματα και ερευνητικές προκλήσεις

Παρά τη θεσμική ωρίμανση του συστήματος ενεργειακής πιστοποίησης και τη σταδιακή διάδοσή του στην Ευρώπη και διεθνώς, η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει σημαντικά ζητήματα που επηρεάζουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Certificates – EPC). Ένα από τα σημαντικότερα είναι το λεγόμενο performance gap, δηλαδή η συστηματική απόκλιση μεταξύ της θεωρητικά υπολογιζόμενης ενεργειακής κατανάλωσης και της πραγματικής κατανάλωσης που καταγράφεται κατά τη λειτουργία των κτιρίων. Σε αρκετές περιπτώσεις η πραγματική κατανάλωση εμφανίζεται υψηλότερη από την προβλεπόμενη, ενώ σε άλλες χαμηλότερη, γεγονός που καταδεικνύει ότι τα υπολογιστικά μοντέλα δεν

αποτυπώνουν πάντοτε με ακρίβεια την πραγματική αλληλεπίδραση μεταξύ του κτιρίου, των τεχνικών εγκαταστάσεων και της συμπεριφοράς των χρηστών.

Οι αιτίες του performance gap είναι πολλές και αλληλένδετες. Τα τυποποιημένα προφίλ χρήσης, οι παραδοχές σχετικά με τις ώρες λειτουργίας, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και τις συνθήκες θερμικής άνεσης συχνά αποκλίνουν από τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των κτιρίων. Παράλληλα, η ποιότητα των δεδομένων εισόδου, όπως οι θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων, η πραγματική απόδοση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και η αεροστεγανότητα του κελύφους, επηρεάζει σημαντικά την αξιοπιστία των υπολογισμών, ιδιαίτερα στα υφιστάμενα κτίρια όπου η διαθέσιμη τεχνική τεκμηρίωση είναι συχνά ελλιπής ή παρωχημένη. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των προτύπων και η ανάγκη υιοθέτησης παραδοχών σε επιμέρους στάδια των υπολογισμών εισάγουν πρόσθετες πηγές αβεβαιότητας.

Σημαντική πηγή διαφοροποίησης αποτελεί επίσης το κλιματικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται στις εθνικές μεθοδολογίες υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης. Κάθε σύστημα ενεργειακής πιστοποίησης βασίζεται σε τυποποιημένα κλιματικά δεδομένα αναφοράς, τα οποία διαφοροποιούνται μεταξύ των χωρών ως προς τις εξωτερικές θερμοκρασίες, την ηλιακή ακτινοβολία και τις λοιπές μετεωρολογικές παραμέτρους. Κατά συνέπεια, κατά τη σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών χωρών δεν αρκεί η αντιπαραβολή των τελικών ενεργειακών δεικτών, αλλά απαιτείται να λαμβάνονται υπόψη και οι πραγματικές κλιματικές συνθήκες κάθε περιοχής, όπως οι βαθμοήμερες θέρμανσης (Heating Degree Days – HDD) και οι βαθμοήμερες ή βαθμοώρες ψύξης (Cooling Degree Days/Hours – CDD/CDH), οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τις υπολογιζόμενες ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου.

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα αφορά την κατανόηση και την αξιοποίηση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης από τους ίδιους τους χρήστες και την αγορά ακινήτων. Εφόσον τα πιστοποιητικά αντιμετωπίζονται αποκλειστικά ως τυπική διοικητική υποχρέωση, χωρίς να ενσωματώνονται ουσιαστικά στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων ή να συνοδεύονται από κατάλληλα οικονομικά κίνητρα και μηχανισμούς υποστήριξης ενεργειακών αναβαθμίσεων, η συμβολή τους στην επίτευξη των στόχων της ενεργειακής μετάβασης παραμένει περιορισμένη. Παράλληλα, η πολυπλοκότητα των τεχνικών πληροφοριών μπορεί να δυσχεραίνει την κατανόησή τους από μη ειδικούς χρήστες, ενώ η

αβεβαιότητα που περιβάλλει τους υπολογισμούς ενδέχεται να μειώνει την εμπιστοσύνη των πολιτών και των επαγγελματιών στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, σημαντικές ερευνητικές προκλήσεις ανακύπτουν κατά τη σύγκριση διαφορετικών συστημάτων ενεργειακής πιστοποίησης, τόσο εντός της Ευρώπης όσο και διεθνώς. Οι διαφορές στις υπολογιστικές μεθοδολογίες, στα κλιματικά δεδομένα αναφοράς, στα όρια των ενεργειακών κατηγοριών, στους συντελεστές μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας και στους δείκτες αξιολόγησης δυσχεραίνουν την άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται μελέτες που εξετάζουν σε βάθος συγκεκριμένα θεσμικά πλαίσια εφαρμογής, όπως το γερμανικό Gebäudeenergiegesetz (GEG) και το ελληνικό σύστημα KENAK, αξιολογώντας όχι μόνο τις θεωρητικές απαιτήσεις των κανονισμών αλλά και τον τρόπο με τον οποίο αυτές εφαρμόζονται στην πράξη μέσω πραγματικών δεδομένων και ρεαλιστικών σεναρίων χρήσης των κτιρίων.

1.7 Σκοπός, στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας

Σε αυτό το συνολικό πλαίσιο, σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των απαιτήσεων ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων στο ευρωπαϊκό πλαίσιο, με κύρια έμφαση στη γερμανική εφαρμογή της Οδηγίας EPBD μέσω του νόμου Gebäudeenergiegesetz (GEG) και της μεθοδολογίας DIN V 18599. Η εργασία επιδιώκει να αναλύσει τον τρόπο με τον οποίο οι ευρωπαϊκές κατευθύνσεις μετατρέπονται σε συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις και διαδικασίες υπολογισμού και να εξετάσει, μέσα από τη μελέτη περίπτωσης ενός πραγματικού κτιρίου στη Γερμανία, τον τρόπο με τον οποίο οι προβλέψεις του θεσμικού πλαισίου εφαρμόζονται στην πράξη.

Παράλληλα, αξιοποιείται το ελληνικό πλαίσιο ενεργειακής πιστοποίησης (KENAK/TOTEE) ως συμπληρωματικό σημείο αναφοράς. Η χρήση του δεν αποσκοπεί στην άμεση σύγκριση ή αξιολόγηση των δύο εθνικών κανονισμών ούτε στην αντιστοίχιση των ελληνικών και γερμανικών κλιματικών ζωνών. Αντίθετα, χρησιμοποιείται για την ανάδειξη διαφορών και ομοιοτήτων στη μεθοδολογική προσέγγιση, στις απαιτήσεις δεδομένων, στα υπολογιστικά βήματα και στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή αξιολόγηση, καθώς και για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο δύο

διαφορετικές εθνικές εφαρμογές της ίδιας ευρωπαϊκής οδηγίας προσεγγίζουν το ίδιο αντικείμενο.

Η εργασία επιδιώκει επομένως να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ των κανονιστικών κειμένων, των τεχνικών προτύπων και της πραγματικής εφαρμογής τους, αναδεικνύοντας τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τους περιορισμούς των υφιστάμενων μεθοδολογιών και των υπολογιστικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στην ενεργειακή πιστοποίηση.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού διατυπώνονται οι ακόλουθοι επιμέρους στόχοι:

- Να παρουσιαστεί και να σχολιαστεί το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο ενεργειακής πιστοποίησης, με έμφαση στην εξέλιξη της Οδηγίας EPBD, στους δείκτες ενεργειακής απόδοσης και στον ρόλο των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης.
- Να αναλυθεί το γερμανικό θεσμικό και τεχνικό πλαίσιο (GEG και DIN V 18599), αναδεικνύοντας τις απαιτήσεις δεδομένων, τις μεθοδολογίες υπολογισμού και τη διαδικασία ενεργειακής αξιολόγησης.
- Να παρουσιαστεί συνοπτικά το ελληνικό πλαίσιο KENAK/TOTEE και να επισημανθούν οι βασικές μεθοδολογικές ομοιότητες και διαφοροποιήσεις του σε σχέση με τη γερμανική προσέγγιση, χωρίς να επιχειρείται άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων ενεργειακής πιστοποίησης.
- Να παρουσιαστούν συνοπτικά επιλεγμένα διεθνή συστήματα ενεργειακής πιστοποίησης (ASHRAE/LEED, NABERS και Green Mark), ώστε να τοποθετηθεί η ευρωπαϊκή προσέγγιση σε ένα ευρύτερο διεθνές πλαίσιο.
- Να αναδειχθούν τα κυριότερα ζητήματα που καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία, όπως το performance gap, η ποιότητα των δεδομένων εισόδου και οι περιορισμοί των υπολογιστικών προτύπων.
- Να εφαρμοστεί η γερμανική μεθοδολογία σε πραγματικό κτίριο στη Γερμανία, να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα υπό το πρίσμα των θεωρητικών ζητημάτων που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Με βάση τους παραπάνω στόχους διαμορφώνονται τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

Σε ποιο βαθμό τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του GEG και της DIN V 18599 αντανακλούν τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός υφιστάμενου κτιρίου;

- Ποιες κατηγορίες δεδομένων και ποιες παραδοχές επηρεάζουν περισσότερο την τελική εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης;
- Ποιες είναι οι βασικές μεθοδολογικές ομοιότητες και διαφοροποιήσεις μεταξύ του γερμανικού πλαισίου και του ελληνικού KENAK ως προς τις απαιτήσεις δεδομένων, τη διαδικασία υπολογισμού και τα υπολογιστικά εργαλεία;
- Πώς επηρεάζουν οι διαφορετικές εθνικές εφαρμογές της EPBD την ενεργειακή αξιολόγηση ενός κτιρίου και ποια στοιχεία συμβάλλουν στη δημιουργία ή στη μείωση του performance gap;
- Με ποιον τρόπο μπορεί η ανάλυση της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης να συμβάλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της χρηστικότητας των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης;

Οι απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα αναμένεται να προκύψουν από τον συνδυασμό θεωρητικής ανάλυσης, κανονιστικής τεκμηρίωσης και πρακτικής εφαρμογής σε πραγματικό κτίριο. Με τον τρόπο αυτό η εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής της ευρωπαϊκής πολιτικής ενεργειακής πιστοποίησης σε εθνικό επίπεδο, αναδεικνύοντας τόσο τις ιδιαιτερότητες της γερμανικής προσέγγισης όσο και τα σημεία στα οποία διαφορετικές εθνικές μεθοδολογίες μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο συγκριτικό υπόβαθρο.

1.8 Δομή της εργασίας

Η εργασία δομείται σε πέντε κύρια κεφάλαια, τα οποία ακολουθούν μια συνεκτική πορεία από το γενικό θεσμικό και θεωρητικό πλαίσιο προς την εφαρμογή του στη γερμανική περίπτωση και την εμπειρική διερεύνηση. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε κεφάλαιο οικοδομεί πάνω στα προηγούμενα και παρέχει στον αναγνώστη τα απαραίτητα εργαλεία κατανόησης για τα επόμενα στάδια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων. Περιγράφεται η ιστορική εξέλιξη της Οδηγίας EPBD, οι βασικές αρχές και οι υποχρεώσεις που επιβάλλει στα κράτη-μέλη, οι δείκτες ενεργειακής απόδοσης που χρησιμοποιούνται, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο οι ενεργειακές κατηγορίες των EPC συνδέονται με τους ευρύτερους στόχους αποανθρακοποίησης. Ειδική αναφορά γίνεται στην ευελιξία που δίνεται στα κράτη-μέλη ως προς τη μεθοδολογία υπολογισμού και στις συνέπειες αυτής της ευελιξίας για τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

Το τρίτο κεφάλαιο εστιάζει στην εθνική εφαρμογή της ευρωπαϊκής πολιτικής στη Γερμανία, μέσω του νόμου GEG και των συναφών προτύπων. Παρουσιάζονται η φιλοσοφία και οι στόχοι του νόμου, το πεδίο εφαρμογής και οι βασικές κατηγορίες κτιρίων που καλύπτει, καθώς και οι μεθοδολογίες υπολογισμού και οι απαιτήσεις σε δεδομένα για την αξιολόγηση ενός κτιρίου. Τέλος, εξηγείται πώς τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνδέονται με τις ενεργειακές κατηγορίες και με τις ελάχιστες απαιτήσεις για νέα κτίρια και ανακαινίσεις.

Στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα κύρια ζητήματα και οι ερευνητικές προκλήσεις που αναδεικνύονται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο performance gap, στους περιορισμούς των υπολογιστικών προτύπων και στον ρόλο της ποιότητας των δεδομένων, με στόχο να αποσαφηνιστεί σε ποιο βαθμό τα EPC μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα και χρήσιμα εργαλεία πολιτικής. Το κεφάλαιο αυτό λειτουργεί ως γέφυρα ανάμεσα στο θεσμικό/τεχνικό υπόβαθρο και στη μελέτη περίπτωσης, καθώς διαμορφώνει το πλαίσιο των ερωτημάτων που θα διερευνηθούν στο πρακτικό μέρος.

Το πέμπτο κεφάλαιο εισάγει και αναπτύσσει τη μελέτη περίπτωσης στο γερμανικό πλαίσιο. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του επιλεγμένου κτιρίου, η μεθοδολογία εφαρμογής του GEG και της DIN V 18599, η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών και η ερμηνεία τους σε σχέση με τα ευρύτερα ζητήματα που τέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Στο τέλος του κεφαλαίου διατυπώνονται τα βασικά συμπεράσματα και προτείνονται κατευθύνσεις βελτίωσης του συστήματος ενεργειακής πιστοποίησης.

Κεφάλαιο 2: Ευρωπαϊκή πολιτική και Οδηγία EPBD στην ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων

2.1 Ο κτιριακός τομέας, η ενεργειακή απόδοση και ο ρόλος των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης

Σε συνέχεια της συνοπτικής παρουσίασης του κτιριακού τομέα και του ρόλου των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης στο Κεφάλαιο 1, στην ενότητα αυτή ο ίδιος άξονας εξετάζεται πιο αναλυτικά, με έμφαση στη σύνδεσή του με την ευρωπαϊκή ενεργειακή και κλιματική πολιτική. Ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που τον καθιστά κεντρικό πεδίο παρέμβασης για την ευρωπαϊκή ενεργειακή και κλιματική πολιτική. Τα κτίρια δεν συνιστούν απλώς χώρους στέγασης ανθρώπινων δραστηριοτήτων, αλλά σύνθετα τεχνικά συστήματα, τα οποία απαιτούν συνεχή παροχή ενεργειακών υπηρεσιών, όπως θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες άνεσης, λειτουργικότητας και υγιεινής των χρηστών τους. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων συνδέεται συνεπώς όχι μόνο με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και με την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας, τη μείωση του λειτουργικού κόστους, τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος και τη στήριξη των μακροπρόθεσμων στόχων απανθρακοποίησης.

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου μπορεί να οριστεί ως ο βαθμός στον οποίο αυτό είναι ικανό να παρέχει τις απαιτούμενες ενεργειακές υπηρεσίες με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση πόρων και με τη μικρότερη δυνατή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η επίδοση αυτή δεν εξαρτάται από έναν μόνο παράγοντα, αλλά από ένα πλέγμα αλληλεπιδρώντων μεταβλητών, όπως η γεωμετρία και η μορφή του κτιρίου, η ποιότητα του κελύφους, οι θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων, οι τεχνολογίες θέρμανσης και ψύξης, η απόδοση των συστημάτων, τα προφίλ χρήσης, οι τοπικές κλιματικές συνθήκες και η συμπεριφορά των χρηστών. Για τον λόγο αυτό, η ενεργειακή αξιολόγηση των κτιρίων δεν μπορεί να περιορίζεται σε μεμονωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά, αλλά απαιτεί μια συνθετική προσέγγιση που να εξετάζει το κτίριο ως ενιαίο ενεργειακό σύστημα.

Η ανάγκη για συστηματική και τυποποιημένη αποτίμηση της ενεργειακής επίδοσης κατέστη ιδιαίτερα έντονη όταν έγινε σαφές ότι η αγορά ακινήτων, οι δημόσιες πολιτικές και οι επενδυτικές αποφάσεις χρειάζονταν συγκρίσιμα και κατανοητά στοιχεία για την ενεργειακή ποιότητα των κτιρίων. Σε αυτό το πλαίσιο αναδείχθηκαν τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Certificates, EPC), τα οποία αποτελούν τον βασικό μηχανισμό τυποποιημένης αποτύπωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων στο ευρωπαϊκό πλαίσιο. Μέσω των EPC, σύνθετες τεχνικές πληροφορίες που αφορούν το κέλυφος, τα Η/Μ συστήματα, την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές μετατρέπονται σε μία μορφή περισσότερο αναγνώσιμη και αξιοποιήσιμη για ιδιοκτήτες, ενοικιαστές, επενδυτές, τεχνικούς συμβούλους και δημόσιες αρχές.

Ένα σημαντικό στοιχείο που αναδεικνύει τη βαρύτητα των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης είναι ότι αποτελούν μια κοινή «γλώσσα» μεταξύ διαφορετικών εμπλεκομένων στον κτιριακό τομέα. Ενώ η λεπτομερής τεχνική ανάλυση ενός κτιρίου μπορεί να περιλαμβάνει απαιτητικούς υπολογισμούς και εξειδικευμένους δείκτες, το EPC συμπυκνώνει την πληροφορία αυτή σε μια μορφή που μπορεί να γίνει κατανοητή από μηχανικούς, οικονομολόγους, στελέχη της αγοράς ακινήτων και απλούς χρήστες. Η ύπαρξη μιας κοινής κλίμακας ενεργειακών κατηγοριών διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των διαφορετικών ομάδων και επιτρέπει οι τεχνικές αξιολογήσεις να μεταφράζονται σε πρακτικά αξιοποιήσιμες πληροφορίες.

Τα πιστοποιητικά αυτά επιτελούν πολλαπλές λειτουργίες. Πρώτον, αποτελούν εργαλείο πληροφόρησης, καθώς παρουσιάζουν σε συνοπτική μορφή την ενεργειακή κατηγορία, τους βασικούς ενεργειακούς δείκτες, την τελική και την πρωτογενή ενέργεια και, σε αρκετές περιπτώσεις, προτάσεις για πιθανές παρεμβάσεις βελτίωσης. Δεύτερον, λειτουργούν ως εργαλείο συγκρισιμότητας, διότι επιτρέπουν την κατά προσέγγιση σύγκριση μεταξύ διαφορετικών κτιρίων μέσα στο ίδιο θεσμικό σύστημα. Τρίτον, διαθέτουν έντονο χαρακτήρα δημόσιας πολιτικής, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οργάνωση βάσεων δεδομένων, για την ιεράρχηση του κτιριακού αποθέματος ανάλογα με την ποιότητα, για τον σχεδιασμό προγραμμάτων ανακαίνισης και για την εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης.

Πέρα από τις βασικές αυτές λειτουργίες, τα EPC μπορούν να ιδωθούν και ως εργαλεία διαχείρισης κινδύνου και λήψης επενδυτικών αποφάσεων. Για έναν επενδυτή ή έναν χρηματοδοτικό οργανισμό, η ενεργειακή κατηγορία ενός κτιρίου παρέχει έμμεση

πληροφόρηση για τον μελλοντικό κίνδυνο αυξημένων λειτουργικών δαπανών ή υποχρεωτικών επεμβάσεων αναβάθμισης, ιδιαίτερα σε ένα περιβάλλον όπου οι κανονιστικές απαιτήσεις και οι τιμές ενέργειας εξελίσσονται δυναμικά. Κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατηγορίας ενδέχεται να απαιτήσουν σημαντικές επενδύσεις για να ανταποκριθούν σε μελλοντικά πρότυπα, ενώ κτίρια υψηλής κατηγορίας μπορούν να θεωρηθούν περισσότερο «ανθεκτικά» σε ρυθμιστικές και αγοραίες μεταβολές. Με αυτή την έννοια, το EPC συνδέεται άμεσα με τη μακροχρόνια αξία και τη βιωσιμότητα μιας επένδυσης στον κτιριακό τομέα.

Η αξία των EPC συνδέεται επίσης με τον ρόλο τους στην αγορά ακινήτων. Σε ένα περιβάλλον όπου η ενεργειακή κατανάλωση και το λειτουργικό κόστος αποκτούν ολοένα μεγαλύτερη σημασία, η ενεργειακή κατηγορία ενός κτιρίου λειτουργεί σταδιακά ως στοιχείο ποιότητας και ως δείκτης δυνητικής οικονομικής επιβάρυνσης ή εξοικονόμησης. Με αυτή την έννοια, το πιστοποιητικό δεν αποτελεί μόνο ένα κανονιστικό έγγραφο, αλλά και ένα μέσο μέσω του οποίου η ενεργειακή ποιότητα εισάγεται στην οικονομική και εμπορική αποτίμηση του κτιρίου. Η τάση αυτή ενισχύεται ακόμη περισσότερο από τις πρόσφατες ευρωπαϊκές εξελίξεις, στις οποίες τα EPC συνδέονται πιο άμεσα με στρατηγικές ανακαίνισης και με την ταξινόμηση των ενεργειακά πιο αδύναμων κτιρίων.

Παράλληλα, τα πιστοποιητικά διαθέτουν και μια εμφανή παιδαγωγική και επιδραστική διάσταση. Η υποχρέωση προβολής της ενεργειακής κατηγορίας σε αγγελίες πώλησης ή μίσθωσης, καθώς και η ανάρτηση EPC σε δημόσια κτίρια, συμβάλλουν στη σταδιακή εξοικείωση των πολιτών με την έννοια της ενεργειακής απόδοσης και δημιουργούν έναν μηχανισμό κοινωνικής πίεσης για βελτίωση. Ιδιοκτήτες και διαχειριστές κτιρίων που βλέπουν το ακίνητό τους σε χαμηλή κατηγορία ενδέχεται να κινητοποιηθούν πιο έντονα προς την κατεύθυνση της αναβάθμισης, είτε για οικονομικούς λόγους είτε για λόγους εικόνας και ανταγωνιστικότητας. Αντίστοιχα, οι χρήστες γίνονται πιο απαιτητικοί ως προς τις ενεργειακές επιδόσεις των χώρων στους οποίους κατοικούν ή εργάζονται.

Επιπλέον, τα EPC συνεισφέρουν στη δημιουργία μεγάλων βάσεων δεδομένων για το κτιριακό απόθεμα, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν από τις δημόσιες αρχές για αναλυτικούς και στρατηγικούς σκοπούς. Η συγκεντρωτική καταγραφή ενεργειακών κατηγοριών, τύπων κτιρίων, χρονολογιών κατασκευής και βασικών τεχνικών χαρακτηριστικών επιτρέπει μια πιο αξιόπιστη αποτύπωση της κατάστασης του κτιριακού στόλου και συμβάλλει στον καλύτερο σχεδιασμό πολιτικών. Μέσα από τέτοιες βάσεις

δεδομένων είναι δυνατόν να εντοπίζονται περιοχές ή κατηγορίες κτιρίων με ιδιαίτερα χαμηλές επιδόσεις, να ιεραρχούνται οι ανάγκες παρέμβασης και να αξιολογείται η αποτελεσματικότητα μέτρων όπως προγράμματα επιδότησης ανακαινίσεων ή αυστηρότερες ελάχιστες απαιτήσεις.

Σε πολλές περιπτώσεις, τα ενεργειακά πιστοποιητικά συνδέονται επίσης με χρηματοδοτικά εργαλεία και σχήματα κινήτρων. Η επιλεξιμότητα ενός κτιρίου για ένταξη σε προγράμματα επιχορηγούμενων παρεμβάσεων, σε «πράσινα» δάνεια ή σε άλλες μορφές οικονομικής στήριξης εξαρτάται συχνά από την υφιστάμενη ενεργειακή κατηγορία ή από τη βελτίωση που επιτυγχάνεται μετά από μια παρέμβαση. Κατά συνέπεια, το EPC λειτουργεί ως βασικό τεκμήριο για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας και της αποτελεσματικότητας των επενδύσεων ενεργειακής αναβάθμισης, συνδέοντας άμεσα την τεχνική αξιολόγηση με τη χρηματοοικονομική διάσταση.

Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερο βάρος δίνεται και στη διάσταση των εκπομπών άνθρακα μέσα στα ενεργειακά πιστοποιητικά. Εκτός από τους δείκτες τελικής και πρωτογενούς ενέργειας, τα σύγχρονα EPC τείνουν να συμπεριλαμβάνουν και δείκτες εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, επιτρέποντας τη συσχέτιση της ενεργειακής επίδοσης με τις κλιματικές δεσμεύσεις και τους στόχους μείωσης εκπομπών. Με αυτό τον τρόπο, το πιστοποιητικό παύει να αφορά αποκλειστικά τη χρήση ενέργειας και μετατρέπεται σε εργαλείο αποτύπωσης της συμβολής ενός κτιρίου στον συνολικό κλιματικό αντίκτυπο του δομημένου περιβάλλοντος.

Παρά τη μεγάλη σημασία τους, τα EPC δεν πρέπει να θεωρούνται απόλυτη αντανάκλαση της πραγματικής ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, και ιδίως στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, η αξιολόγηση βασίζεται σε τυποποιημένες συνθήκες λειτουργίας, σε κανονικοποιημένα προφίλ χρήσης και σε προκαθορισμένα κλιματικά δεδομένα, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών κτιρίων. Αυτό σημαίνει ότι το πιστοποιητικό αποτυπώνει κυρίως τη θεωρητική ενεργειακή ποιότητα του κτιρίου ως τεχνικού αντικειμένου και όχι υποχρεωτικά τη μετρούμενη κατανάλωσή του υπό πραγματικές συνθήκες χρήσης. Η διάκριση αυτή ανάμεσα στη θεωρητική και στην πραγματική λειτουργική επίδοση είναι κεντρική για την κατανόηση τόσο των δυνατοτήτων όσο και των περιορισμών των ενεργειακών πιστοποιητικών.

Συνεπώς, η ενεργειακή πιστοποίηση πρέπει να νοηθεί ως θεμελιώδες εργαλείο τυποποιημένης αξιολόγησης και πολιτικής παρέμβασης, αλλά και ως πεδίο που ενσωματώνει μεθοδολογικούς συμβιβασμούς. Η τυποποίηση επιτρέπει τη συγκρισιμότητα, τη ρυθμιστική εφαρμογή και τη διαφάνεια, αλλά ταυτόχρονα περιορίζει την ικανότητα των πιστοποιητικών να αποτυπώνουν πλήρως την πολυπλοκότητα της πραγματικής λειτουργίας. Αυτή ακριβώς η ένταση ανάμεσα στη ρυθμιστική τυποποίηση και στη λειτουργική πραγματικότητα βρίσκεται στον πυρήνα της παρούσας εργασίας και λειτουργεί ως γέφυρα προς τις επόμενες ενότητες, όπου αναλύεται το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο και η εθνική εφαρμογή του στη Γερμανία.

2.2 Το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο και η εξέλιξη της Οδηγίας EPBD

Η Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) παρουσιάστηκε συνοπτικά στο Κεφάλαιο 1 ως το βασικό ευρωπαϊκό εργαλείο για την ενεργειακή πολιτική στον κτιριακό τομέα. Στην ενότητα αυτή η EPBD εξετάζεται αναλυτικότερα, με έμφαση στη φιλοσοφία της, στην ιστορική της εξέλιξη και στις πρόσφατες αναθεωρήσεις, ώστε να καταστεί σαφές πώς διαμορφώνει το πλαίσιο μέσα στο οποίο λειτουργούν τα εθνικά συστήματα ενεργειακής πιστοποίησης.

Η EPBD αποτελεί τον βασικό πυλώνα του ευρωπαϊκού θεσμικού πλαισίου για την ενεργειακή πολιτική στον κτιριακό τομέα. Μέσω της οδηγίας αυτής, η Ευρωπαϊκή Ένωση διαμόρφωσε ένα κοινό πλαίσιο αρχών, υποχρεώσεων και στόχων, το οποίο υποχρεώνει τα κράτη-μέλη να θεσπίζουν εθνικές μεθοδολογίες υπολογισμού, ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, συστήματα πιστοποίησης και μηχανισμούς ελέγχου της ενεργειακής ποιότητας των κτιρίων. Η σημασία της EPBD είναι ιδιαίτερα μεγάλη, διότι μετέτρεψε την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων από αποσπασματικό τεχνικό ζήτημα σε οργανωμένο και δεσμευτικό πεδίο δημόσιας πολιτικής σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της EPBD είναι ότι δεν επιβάλλει ένα ενιαίο και αυστηρά ομοιόμορφο τεχνικό σύστημα υπολογισμού για όλα τα κράτη-μέλη. Αντίθετα, απαιτεί από κάθε χώρα να διαθέτει εθνική μεθοδολογία συνολικού υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η οποία να λαμβάνει υπόψη το κέλυφος, τα τεχνικά συστήματα, τις ενεργειακές υπηρεσίες που παρέχονται στο κτίριο και, κατά περίπτωση, τη συμβολή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό, διατηρείται η δυνατότητα

προσαρμογής στις ιδιαίτερες κλιματικές, τεχνικές και αγοραίες συνθήκες κάθε κράτους, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζεται μια κοινή λογική ως προς το τι συνιστά ενεργειακή απόδοση και πώς αυτή πρέπει να αξιολογείται.

Η φιλοσοφία της EPBD βασίζεται, επομένως, σε έναν συνδυασμό εναρμόνισης και ευελιξίας. Από τη μία πλευρά, τίθενται κοινές αρχές, όπως η ανάγκη για ολοκληρωμένη αποτίμηση της ενεργειακής επίδοσης σε επίπεδο κτιρίου και όχι μόνο σε επίπεδο μεμονωμένων στοιχείων, η χρήση συγκρίσιμων δεικτών (π.χ. πρωτογενής ενέργεια) και η καθιέρωση των EPC ως βασικού εργαλείου αξιολόγησης. Από την άλλη πλευρά, αναγνωρίζεται ότι η υιοθέτηση ενός εντελώς ενιαίου τεχνικού προτύπου θα ήταν δύσκολη και πιθανώς αναποτελεσματική, λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης που παρουσιάζουν οι εθνικοί κτιριακοί στόλοι, τα κλίματα και οι αγορές ενέργειας. Η οδηγία, επομένως, καθορίζει το «τι» και το «γιατί», αφήνοντας στα κράτη-μέλη περιθώριο να καθορίσουν το «πώς».

Η ιστορική εξέλιξη της EPBD δείχνει μια σταδιακή αυστηροποίηση και εμβάθυνση των ευρωπαϊκών απαιτήσεων. Στις πρώτες φάσεις της, η οδηγία εστίασε κυρίως στη θεσμοθέτηση των EPC και στην εισαγωγή ελάχιστων ενεργειακών απαιτήσεων για νέα και σημαντικά ανακαινιζόμενα κτίρια. Σταδιακά, όμως, η ευρωπαϊκή πολιτική μετακινήθηκε από τη γενική βελτίωση της απόδοσης προς ένα πιο φιλόδοξο μοντέλο ενεργειακού μετασχηματισμού, το οποίο ενσωμάτωσε την έννοια των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nZEB) και στη συνέχεια προχώρησε ακόμη περισσότερο προς τα κτίρια μηδενικών εκπομπών. Η διαδρομή αυτή αντανακλά τη συνολική μετατόπιση της ευρωπαϊκής πολιτικής από τη λογική της σταδιακής εξοικονόμησης προς τη λογική της βαθιάς απανθρακοποίησης.

Πιο συγκεκριμένα, η σταδιακή ενίσχυση της EPBD συνδέεται με την αναγνώριση του γεγονότος ότι ο κτιριακός τομέας δεν μπορεί να συμβάλει επαρκώς στους κλιματικούς στόχους μόνο μέσω επιμέρους βελτιώσεων ή μεμονωμένων δράσεων. Αντίθετα, απαιτείται μια συστηματική και μακροπρόθεσμη στρατηγική που να οδηγεί σε ριζική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και σε ουσιαστική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές. Η έννοια των nZEB αποτέλεσε ένα πρώτο βήμα προς αυτή τη κατεύθυνση, θέτοντας ως στόχο τα νέα κτίρια να παρουσιάζουν πολύ χαμηλές ενεργειακές ανάγκες και σημαντική διείσδυση ΑΠΕ, όμως η εμπειρία εφαρμογής έδειξε ότι απαιτούνται

ακόμη πιο φιλόδοξα βήματα για να ευθυγραμμιστεί ο κτιριακός τομέας με τους συνολικούς στόχους κλιματικής ουδετερότητας.

Η αναδιατυπωμένη EPBD του 2024 αποτελεί καθοριστικό σημείο αυτής της μετάβασης. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η νέα οδηγία καθιστά τα zero-emission buildings το νέο πρότυπο για τα νέα κτίρια, προβλέποντας ότι τα νέα κτίρια που ανήκουν ή καταλαμβάνονται από δημόσιες αρχές πρέπει να ανταποκρίνονται σε αυτό το πρότυπο από το 2028, ενώ όλα τα νέα κτίρια από το 2030. Η μετάβαση αυτή δεν αφορά μόνο τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά και τον περιορισμό των λειτουργικών εκπομπών που σχετίζονται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων και την κάλυψη των αναγκών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, η EPBD ενσωματώνει πλέον πλήρως τη λογική της απανθρακοποίησης του κτιριακού τομέα στο ίδιο το κανονιστικό της υπόδειγμα.

Η έννοια του κτιρίου μηδενικών εκπομπών είναι ιδιαίτερα απαιτητική, καθώς προϋποθέτει συνδυασμό υψηλής ενεργειακής απόδοσης, εκτεταμένης αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ουσιαστικής αποφυγής ορυκτών καυσίμων στη λειτουργία. Δεν αφορά, επομένως, μόνο την τεχνική βελτίωση του κελύφους και των συστημάτων, αλλά και τον συνολικό ενεργειακό σχεδιασμό, συμπεριλαμβανομένων θεμάτων όπως η ηλεκτροκίνηση, η αποθήκευση ενέργειας και η διασύνδεση με «έξυπνα» δίκτυα. Η EPBD λειτουργεί εδώ ως θεσμικό εργαλείο που θέτει τη μεταβατική πορεία, ενώ τα κράτη-μέλη καλούνται να εξειδικεύσουν τις τεχνικές και ρυθμιστικές λεπτομέρειες.

Ένα άλλο κρίσιμο στοιχείο της νέας οδηγίας είναι η ενίσχυση του ρόλου των Minimum Energy Performance Standards (MEPS). Η λογική των MEPS συνδέει πιο άμεσα τις ενεργειακές κατηγορίες με προοδευτικές τροχιές ανακαίνισης των κτιρίων με τις χαμηλότερες επιδόσεις, επιδιώκοντας να αντιμετωπιστεί συστηματικά το ενεργειακά ασθενέστερο τμήμα του ευρωπαϊκού κτιριακού αποθέματος. Η εξέλιξη αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τον ρόλο των EPC, καθώς τα πιστοποιητικά παύουν να λειτουργούν μόνο ως έγγραφα πληροφόρησης κατά την πώληση ή τη μίσθωση και αποκτούν μεγαλύτερη βαρύτητα ως εργαλεία προγραμματισμού παρεμβάσεων και υποστήριξης της ανακαινιστικής πολιτικής.

Με την εισαγωγή των MEPS, οι ενεργειακές κατηγορίες των κτιρίων αποκτούν πιο δεσμευτικό χαρακτήρα, καθώς συνδέονται όχι μόνο με την πληροφόρηση των χρηστών αλλά και με συγκεκριμένες υποχρεώσεις ή κίνητρα για ανακαίνιση. Η ευρωπαϊκή πολιτική

στοχεύει κυρίως στις κατώτερες κατηγορίες, όπου συγκεντρώνονται τα κτίρια με τις μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες και τις χαμηλότερες επιδόσεις. Μέσα από την προοδευτική αναβάθμιση αυτών των κτιρίων, επιδιώκεται να επιτευχθεί σημαντική μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών στον κτιριακό τομέα, χωρίς να παραβλέπονται κοινωνικές παράμετροι όπως η ενεργειακή φτώχεια και η προστασία των ευάλωτων νοικοκυριών.

Παράλληλα, η EPBD δίνει αυξημένη έμφαση στην ποιότητα, στην αξιοπιστία και στη χρηστικότητα των ενεργειακών πιστοποιητικών. Η ενίσχυση του ρόλου τους στις δημόσιες πολιτικές και στην αγορά ακινήτων προϋποθέτει ότι τα πιστοποιητικά είναι τεχνικά επαρκή, διαφανή και ελέγξιμα. Για τον λόγο αυτό, η ευρωπαϊκή προσέγγιση συνδέει τα EPC με την ανάγκη για καλύτερη εκπαίδευση και εποπτεία των επιθεωρητών, για λειτουργικά συστήματα ποιοτικού ελέγχου και για ψηφιακή οργάνωση των σχετικών βάσεων δεδομένων. Οι εξελίξεις αυτές δείχνουν ότι η αξία ενός EPC δεν εξαρτάται μόνο από την ύπαρξή του ως θεσμικού εγγράφου, αλλά και από τον βαθμό αξιοπιστίας και αξιοποίησής του στο πραγματικό περιβάλλον εφαρμογής.

Η σταδιακή ψηφιοποίηση του κτιριακού τομέα και η ανάπτυξη ηλεκτρονικών μητρώων πιστοποιητικών δημιουργούν νέες δυνατότητες για την ενίσχυση της διαφάνειας και της αξιοπιστίας. Η συγκέντρωση, η τυποποίηση και η ανάλυση των δεδομένων EPC σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση της πραγματικής κατάστασης του κτιριακού αποθέματος, την ανίχνευση συστηματικών σφαλμάτων ή αποκλίσεων στις αξιολογήσεις και την προσαρμογή των πολιτικών όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο. Επιπλέον, η διασύνδεση των βάσεων δεδομένων EPC με άλλα πληροφοριακά συστήματα (π.χ. κτηματολόγιο, πολεοδομικά μητρώα, προγράμματα ανακαινίσεων) μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τη δυνατότητα στόχευσης των πολιτικών παρεμβάσεων.

Η EPBD συνδέεται επίσης με ένα ευρύτερο πλέγμα ευρωπαϊκών στρατηγικών και πολιτικών, όπως η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, το Renovation Wave και οι δεσμεύσεις της Ένωσης για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Στο πλαίσιο αυτό, ο κτιριακός τομέας αντιμετωπίζεται ως κομβικός χώρος παρέμβασης, επειδή συγκεντρώνει μεγάλο μέρος της κατανάλωσης ενέργειας, παρουσιάζει σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης και επηρεάζει άμεσα την καθημερινή ζωή των πολιτών. Η EPBD λειτουργεί λοιπόν όχι ως απομονωμένη τεχνική οδηγία, αλλά ως κεντρικό εργαλείο της ευρωπαϊκής στρατηγικής για την ενεργειακή μετάβαση του δομημένου περιβάλλοντος.

Για την παρούσα εργασία, η EPBD έχει καθοριστική σημασία, επειδή ορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να κατανοηθεί η γερμανική εφαρμογή. Το γερμανικό σύστημα ενεργειακής πιστοποίησης δεν αποτελεί ανεξάρτητη ή αυθύπαρκτη κατασκευή, αλλά εθνική μετάφραση ενός ευρύτερου ευρωπαϊκού πλαισίου στόχων, απαιτήσεων και μεθοδολογικών αρχών. Η ανάλυση της EPBD στο παρόν υποκεφάλαιο λειτουργεί επομένως ως κρίσιμη γέφυρα ανάμεσα στο θεωρητικό επίπεδο της ευρωπαϊκής πολιτικής και στο ειδικότερο πλαίσιο του GEG και της DIN V 18599 που παρουσιάζεται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

2.3 Η εθνική εφαρμογή στη Γερμανία: GEG και τεχνικά πρότυπα

Η εφαρμογή των αρχών της EPBD στη Γερμανία πραγματοποιείται κυρίως μέσω του Gebäudeenergiegesetz (GEG), δηλαδή του νόμου για την ενέργεια των κτιρίων, ο οποίος συγκροτεί το βασικό εθνικό κανονιστικό πλαίσιο για την ενεργειακή απόδοση των νέων και υφιστάμενων κτιρίων. Το GEG είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι συγκεντρώνει και ενοποιεί προηγούμενες επιμέρους ρυθμίσεις, οργανώνοντας σε ένα ενιαίο πλαίσιο τις απαιτήσεις για το κτιριακό κέλυφος, τα τεχνικά συστήματα, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη διαδικασία ενεργειακής πιστοποίησης. Με αυτόν τον τρόπο, το GEG λειτουργεί ως ο βασικός σύνδεσμος ανάμεσα στις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις και στην πρακτική εφαρμογή τους στο γερμανικό κτιριακό περιβάλλον.

Η θέσπιση του GEG αποτέλεσε το αποτέλεσμα μιας μακράς πορείας γερμανικών κανονισμών για την ενεργειακή απόδοση, οι οποίοι στο παρελθόν ήταν κατακερματισμένοι σε διαφορετικά νομοθετήματα. Προηγουμένως, η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων ρυθμιζόταν, μεταξύ άλλων, μέσω του EnEG (Energieeinsparungsgesetz), του EnEV (Energieeinsparverordnung) και του EEWärmeG (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz), τα οποία κάλυπταν επιμέρους πτυχές της εξοικονόμησης ενέργειας και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών στη θέρμανση. Η ενοποίησή τους στο GEG είχε ως στόχο να μειώσει τη ρυθμιστική πολυπλοκότητα, να αυξήσει τη συνοχή μεταξύ των απαιτήσεων και να διευκολύνει την ευθυγράμμιση της γερμανικής νομοθεσίας με τις αναθεωρημένες απαιτήσεις της EPBD.

Η ιδιαίτερη σημασία του γερμανικού πλαισίου δεν έγκειται μόνο στη νομοθετική του μορφή, αλλά και στο γεγονός ότι στηρίζεται σε ανεπτυγμένη τεχνική μεθοδολογία. Στο

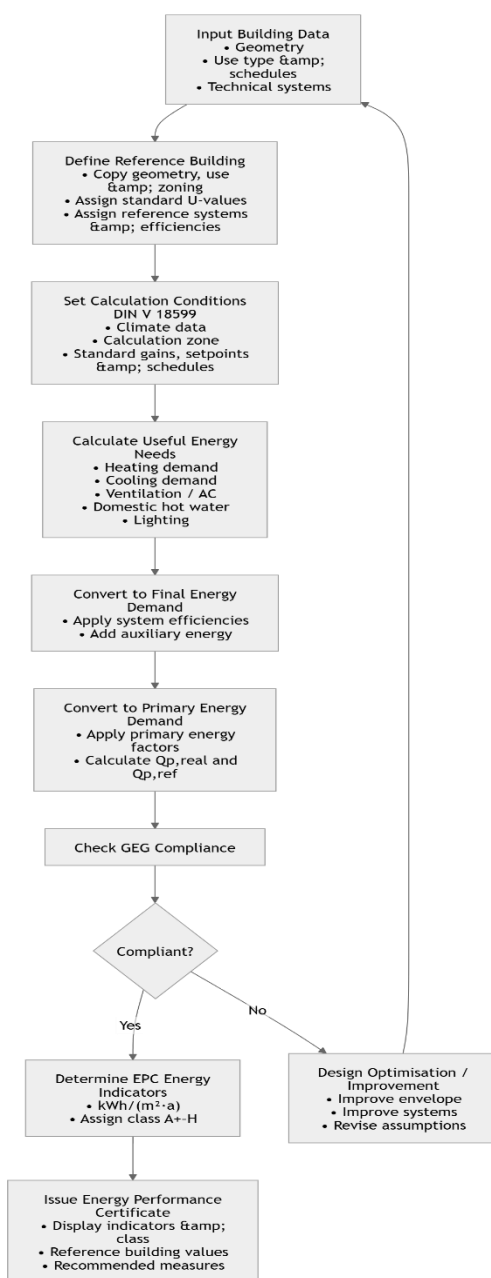
κέντρο αυτής της μεθοδολογίας βρίσκεται η σειρά προτύπων DIN V 18599, η οποία αποτελεί τη βασική γερμανική μεθοδολογία ολιστικού υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Σύμφωνα με τη dena, η DIN V 18599 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενεργειακής ισορροπίας των κτιρίων και καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών ροών που σχετίζονται με τη θέρμανση, την ψύξη, τον αερισμό, τον φωτισμό, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και τις βοηθητικές καταναλώσεις. Η σημασία της μεθοδολογίας αυτής είναι ιδιαίτερα μεγάλη, επειδή επιτρέπει την αντιμετώπιση του κτιρίου ως ολοκληρωμένου ενεργειακού συστήματος και όχι ως αθροίσματος απομονωμένων τεχνικών στοιχείων.

Η σειρά DIN V 18599 είναι δομημένη σε επιμέρους μέρη, καθένα από τα οποία επικεντρώνεται σε συγκεκριμένη πτυχή της ενεργειακής ισορροπίας. Καλύπτει, μεταξύ άλλων, τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, τον τεχνικό αερισμό, τη ρύθμιση και τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος, τα συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, τον φωτισμό και τις βοηθητικές ηλεκτρικές καταναλώσεις. Στόχος είναι να αποτυπωθεί με συνεκτικό τρόπο η ροή ενέργειας από το επίπεδο των ενεργειακών αναγκών έως το επίπεδο της τελικής και της πρωτογενούς ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις αποδόσεις των συστημάτων και τις απώλειες σε κάθε στάδιο.

Η προσέγγιση αυτή είναι απόλυτα συμβατή με το πνεύμα της EPBD, η οποία απαιτεί συνολική και όχι αποσπασματική αξιολόγηση της ενεργειακής επίδοσης. Η DIN V 18599 δεν εξετάζει μόνο τα θερμικά χαρακτηριστικά του κελύφους, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο αυτά αλληλεπιδρούν με τα συστήματα, τα εσωτερικά φορτία, τα κλιματικά δεδομένα και τις συνθήκες χρήσης. Ως αποτέλεσμα, η εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς προκύπτει μέσα από μια πιο σύνθετη και τεχνικά πλούσια διαδικασία υπολογισμού, η οποία αντανακλά καλύτερα την πολυπλοκότητα των σύγχρονων κτιρίων.

Ένα από τα κεντρικά χαρακτηριστικά της γερμανικής λογικής συμμόρφωσης είναι η έννοια του reference building ή κτιρίου αναφοράς. Το κτίριο αναφοράς διαθέτει ίδια βασική γεωμετρία, χρήση και διάταξη με το εξεταζόμενο κτίριο, αλλά φέρει προκαθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά και πρότυπες απαιτήσεις, έτσι ώστε να αποτελεί το σημείο σύγκρισης για τον έλεγχο ενεργειακής επίδοσης. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει να αξιολογηθεί όχι μόνο το απόλυτο ενεργειακό αποτέλεσμα, αλλά και η σχετική επίδοση του κτιρίου σε σχέση με ένα κανονιστικά ορισμένο επίπεδο αναφοράς. Η λογική αυτή είναι

ιδιαίτερα χρήσιμη, επειδή ενσωματώνει τη συμμόρφωση σε ένα συγκριτικό τεχνικό πλαίσιο και ταυτόχρονα ενισχύει τη δυνατότητα κανονιστικής ερμηνείας του αποτελέσματος. Στο πλαίσιο του GEG, το κτίριο αναφοράς ορίζεται ως κτίριο με ίδια γεωμετρία, χρήση και εσωτερική διάταξη με το εξεταζόμενο κτίριο, στο οποίο αποδίδονται προκαθορισμένες τιμές θερμοπερατότητας κελύφους, τυποποιημένες αποδόσεις συστημάτων και συγκεκριμένη κάλυψη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σύμφωνα με τις εκάστοτε ελάχιστες απαιτήσεις. Η κατάταξη του πραγματικού κτιρίου προκύπτει από τη σύγκριση βασικών δεικτών, και ιδίως του υπολογιζόμενου ετήσιου δείκτη πρωτογενούς ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$), με τον αντίστοιχο δείκτη του κτιρίου αναφοράς, λαμβάνοντας υπόψη και συμπληρωματικά μεγέθη όπως η τελική ενέργεια και οι εκπομπές CO_2 . Οι δείκτες αυτοί υπολογίζονται σε διαδοχικά βήματα: αρχικά προσδιορίζονται οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, φωτισμός, ZNX), στη συνέχεια μετατρέπονται σε τελική ενέργεια μέσω των αποδόσεων των συστημάτων και, τέλος, σε πρωτογενή ενέργεια μέσω κατάλληλων συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας. (Εικόνα 1) Στο Κεφάλαιο 3 η διαδικασία αυτή αποτυπώνεται αναλυτικά σε διάγραμμα ροής, όπου παρουσιάζονται τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου, τα υπολογιστικά στάδια της DIN V 18599 και το σημείο στο οποίο γίνεται ο έλεγχος συμμόρφωσης και η τελική ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου.



Εικόνα 1 Ροή εργασιών υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου και ελέγχου συμμόρφωσης με το GEG, από την εισαγωγή δεδομένων έως την έκδοση ΠΕΑ.

Στο πλαίσιο του γερμανικού συστήματος γίνεται επίσης σαφής διάκριση ανάμεσα σε demand-oriented και consumption-oriented energy certificates. Το demand-oriented πιστοποιητικό βασίζεται σε υπολογισμό της ενεργειακής απαίτησης με βάση την κατάσταση του κελύφους και των τεχνικών συστημάτων, υπό συνθήκες μέσης ή τυποποιημένης χρήσης. Το consumption-oriented πιστοποιητικό, αντίθετα, αποτυπώνει την καιρικά διορθωμένη πραγματική κατανάλωση του κτιρίου για τουλάχιστον τρία προηγούμενα έτη και επηρεάζεται περισσότερο από την πραγματική συμπεριφορά των

χρηστών. Η διάκριση αυτή έχει ουσιαστική σημασία για την παρούσα εργασία, καθώς το ενδιαφέρον της εστιάζει κυρίως στο demand-oriented σκέλος, το οποίο συνδέεται άμεσα με τη λογική της τυποποιημένης ενεργειακής αξιολόγησης και με τη μεθοδολογία του GEG/DIN V 18599.

Η ύπαρξη αυτών των δύο τύπων πιστοποιητικών αντικατοπτρίζει τη διττή φύση της ενεργειακής αξιολόγησης: από τη μια πλευρά την ανάγκη για συγκρισιμότητα και κανονιστική αποτίμηση μέσω υπολογιστικών μοντέλων, και από την άλλη πλευρά την ανάγκη για κατανόηση της πραγματικής λειτουργικής συμπεριφοράς ενός κτιρίου. Στη γερμανική πρακτική, η επιλογή μεταξύ demand-oriented και consumption-oriented πιστοποιητικού εξαρτάται από τον τύπο του κτιρίου, τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων ιστορικών δεδομένων κατανάλωσης και τον σκοπό της αξιολόγησης. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα προσπαθεί να εξισορροπήσει την κανονικοποιημένη θεωρητική αποτίμηση με την αποτύπωση της πραγματικής χρήσης.

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η πρόσφατη ενίσχυση του ρόλου της DIN V 18599 στη γερμανική πρακτική. Σύμφωνα με τη dena, από την 1η Ιανουαρίου 2023 ο υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων για efficiency houses στο πλαίσιο της ομοσπονδιακής χρηματοδότησης BEG έχει μεταβεί στη DIN V 18599, ενώ από το 2024 η υποχρεωτική εφαρμογή της επεκτείνεται στα μη ψυχρόμενα κτίρια κατοικίας και, ουσιαστικά, σε όλα τα θερμαινόμενα κτίρια στο πλαίσιο του GEG. Η εξέλιξη αυτή επιβεβαιώνει ότι η DIN V 18599 δεν αποτελεί απλώς θεωρητικό πρότυπο ή εξειδικευμένο εργαλείο για ειδικές περιπτώσεις, αλλά τον κεντρικό άξονα της σύγχρονης γερμανικής ενεργειακής αξιολόγησης. Παράλληλα, η αναφορά της dena σε νέες κατευθύνσεις για θερμογέφυρες, συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και building automation δείχνει ότι η μεθοδολογία παραμένει ζωντανή και εξελισσόμενη, προσαρμοζόμενη στις τεχνολογικές και κανονιστικές μεταβολές.

Το γερμανικό ενεργειακό πιστοποιητικό περιλαμβάνει βασικά στοιχεία που αφορούν τα γενικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα χρησιμοποιούμενα ενεργειακά συστήματα, τις βασικές ενεργειακές παραμέτρους, καθώς και δείκτες όπως τελική ενέργεια, πρωτογενής ενέργεια και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Στην περίπτωση υφιστάμενων κτιρίων, συχνά περιλαμβάνονται και ενδεικτικές προτάσεις ενεργειακής βελτίωσης, χωρίς αυτές να είναι κατ' ανάγκη δεσμευτικές. Η δομή αυτή αναδεικνύει ότι το EPC στη γερμανική

περίπτωση δεν είναι μόνο εργαλείο συμμόρφωσης, αλλά και μέσο τεχνικής ενημέρωσης και υποστήριξης μελλοντικών παρεμβάσεων.

2.4 Μεθοδολογική λογική της ενεργειακής πιστοποίησης: απαιτούμενα δεδομένα, υπολογιστικά βήματα και παραδοχές

Η ενεργειακή πιστοποίηση ενός κτιρίου αποτελεί κατ' ουσίαν μια διαδικασία μεθοδολογικής αναπαράστασης του κτιρίου σε μορφή υπολογιστικού μοντέλου. Για να καταστεί δυνατή η έκδοση ενός Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (EPC), η πραγματική κατασκευαστική και λειτουργική υπόσταση του κτιρίου πρέπει να μεταφραστεί σε ένα οργανωμένο σύνολο εισροών, κανόνων και παραδοχών που επιτρέπουν τον υπολογισμό ενεργειακών δεικτών. Η διαδικασία αυτή δεν είναι απλώς τεχνική, αλλά και ερμηνευτική, καθώς σε κάθε στάδιο προϋποθέτει επιλογές σχετικά με τη συλλογή των δεδομένων, την επάρκεια της τεκμηρίωσης και τον τρόπο ενσωμάτωσης αβέβαιων ή ελλιπών στοιχείων στο μοντέλο. Σε αυτό το πλαίσιο, η ενεργειακή πιστοποίηση μπορεί να ιδωθεί ως μια μορφή «κωδικοποίησης» της πραγματικότητας του κτιρίου σε τυποποιημένα σύνολα δεδομένων. Το κτίριο, με όλη την πολυπλοκότητα της κατασκευής, των συστημάτων και της χρήσης του, συμπυκνώνεται σε παραμέτρους που μπορούν να εισαχθούν σε έναν υπολογιστικό αλγόριθμο. Η ποιότητα αυτής της κωδικοποίησης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την αξιοπιστία του αποτελέσματος: λάθη, κενά ή υπεραπλουστεύσεις στα δεδομένα εισόδου οδηγούν αναπόφευκτα σε αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικής και πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς.

Κατηγορία δεδομένων	Ενδεικτικά στοιχεία	Ρόλος στη μεθοδολογία
Γεωμετρία και ζωνοποίηση κτιρίου	Επιφάνειες και όγκοι, προσανατολισμός, θερμαινόμενοι και μη θερμαινόμενοι χώροι, λόγος αδιαφανών/διαφανών επιφανειών, ορισμός θερμικών ζωνών με διαφορετικά προφίλ χρήσης	Καθορίζει τις θερμικές απώλειες και τα ηλιακά κέρδη, τη συμπαγότητα του κτιρίου και τις βασικές ανάγκες θέρμανσης/ψύξης. Ο τρόπος ομαδοποίησης των χώρων σε ζώνες και οι σχετικές παραδοχές χρήσης επηρεάζουν άμεσα τα υπολογιστικά αποτελέσματα.
Κατασκευαστικά και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά κελύφους	Συντελεστές θερμοπερατότητας τοίχων, οροφών, δαπέδων, κουφωμάτων· τύποι υαλοπινάκων, συστήματα σκίασης, θερμογέφυρες, στοιχεία αεροστεγανότητας	Ρυθμίζουν το μέγεθος των θερμικών απωλειών και κερδών. Στα υφιστάμενα κτίρια, η έλλειψη πλήρους τεκμηρίωσης οδηγεί συχνά σε χρήση τυπικών τιμών και απλοποιημένων προσεγγίσεων, εισάγοντας αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα.
Τεχνικά συστήματα (Θ/Ψ/ZNX/αερισμός/φωτισμός)	Τύπος συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, ZNX, φωτισμού· πηγή ενέργειας, βαθμοί απόδοσης, απώλειες διανομής και αποθήκευσης, συστήματα ελέγχου, συμμετοχή ΑΠΕ, βοηθητικές ηλεκτρικές καταναλώσεις	Καθορίζει πώς οι ενεργειακές ανάγκες μετατρέπονται σε τελική και πρωτογενή ενέργεια. Δύο κτίρια με παρόμοιο κέλυφος μπορούν να παρουσιάζουν πολύ διαφορετική ενεργειακή επίδοση λόγω διαφορών στις τεχνολογίες και στις αποδόσεις των συστημάτων.
Λειτουργικά δεδομένα και προφίλ χρήσης	Ωράρια λειτουργίας, θερμοκρασίες αναφοράς, εσωτερικά κέρδη από χρήστες και εξοπλισμό, απαιτήσεις αερισμού, υποθέσεις πληρότητας και χρήσης των χώρων	Στις περισσότερες μεθοδολογίες EPC βασίζονται σε τυποποιημένες παραδοχές ανά κατηγορία χρήσης, ώστε να εξασφαλίζεται η συγκρισιμότητα μεταξύ κτιρίων. Η τυποποίηση αυτή είναι αναγκαία, αλλά απομακρύνει το αποτέλεσμα από τη συγκεκριμένη πραγματικότητα λειτουργίας και συνδέεται άμεσα με το ζήτημα του performance gap
Κλιματικά δεδομένα	Αντιπροσωπευτικές χρονικές σειρές θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας, ανέμου και υγρασίας, κλιματικός σταθμός αναφοράς ή χαρακτηριστικό κλιματικό έτος	Εξασφαλίζουν ότι η αξιολόγηση βασίζεται σε τυποποιημένες κλιματικές συνθήκες και όχι σε τυχαίες διακυμάνσεις ενός συγκεκριμένου έτους. Ενισχύουν τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, αλλά μπορεί να υποεκτιμούν ή να υπερεκτιμούν ιδιαιτερότητες τοπικών μικροκλιματικών συνθηκών.

Εικόνα 2 Κατηγορίες εισροών δεδομένων, ενδεικτικά στοιχεία και ρόλος τους στη μεθοδολογία αξιολόγησης ενεργειακής απόδοσης κτιρίου.

2.4.1 Υπολογιστική αλληλουχία και επαναληπτικός χαρακτήρας

Η υπολογιστική διαδικασία της ενεργειακής πιστοποίησης ακολουθεί μια σχετικά τυποποιημένη αλληλουχία: αρχικά ορίζεται το κτίριο ως γεωμετρικό και λειτουργικό μοντέλο, στη συνέχεια ενσωματώνονται τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του κελύφους και τα τεχνικά συστήματα, και με βάση τα τυποποιημένα προφίλ χρήσης και τα κλιματικά δεδομένα υπολογίζονται οι ενεργειακές ανάγκες, η τελική και η πρωτογενής ενέργεια και, όπου απαιτείται, οι εκπομπές CO₂. Το τελικό αποτέλεσμα συμπυκνώνεται σε δείκτες κατανάλωσης και εκπομπών και οδηγεί στην ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου στο πιστοποιητικό.

Στην πράξη, η διαδικασία αυτή είναι επαναληπτική και όχι αυστηρά γραμμική. Κατά τη μοντελοποίηση μπορεί να προκύψουν ασυνέπειες στα δεδομένα, ανάγκη για αναθεώρηση συγκεκριμένων παραδοχών ή ανάγκη για συμπληρωματική συλλογή στοιχείων, με αποτέλεσμα ο μελετητής να επιστρέφει σε προηγούμενα βήματα και να βελτιώνει σταδιακά την ακρίβεια της αποτύπωσης. Έτσι, η ενεργειακή πιστοποίηση δεν αποτελεί μια απλή «μαύρη» διαδικασία εισαγωγής δεδομένων σε λογισμικό, αλλά μια δομημένη διαδικασία τεχνικής εκτίμησης, στην οποία η ποιότητα των δεδομένων και η ορθότητα των παραδοχών είναι εξίσου κρίσιμες με την ίδια τη μεθοδολογία υπολογισμού.

Από αυτή τη σκοπιά, το EPC πρέπει να ερμηνεύεται ως κανονικοποιημένη υπολογιστική αποτίμηση και όχι ως άμεση μέτρηση της πραγματικής κατανάλωσης. Η κατανόηση των επιμέρους βημάτων, των κατηγοριών δεδομένων και των ενσωματωμένων παραδοχών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή χρήση των αποτελεσμάτων, ιδίως όταν αυτά αξιοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων πολιτικής, επενδύσεων ή σχεδιασμού παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης.

Κατηγορία δεδομένων	Γενικό πλαίσιο EPC (EPBD)	Γερμανία – GEG / DIN V 18599	Ελλάδα – KENAK / TOTEE 20701-1
Γεωμετρία και ζωνοποίηση	Θερμικές ζώνες ανά χρήση και λειτουργία, γεωμετρία και προσανατολισμός κτιρίου	Θερμικές ζώνες και χρήσεις σύμφωνα με DIN V 18599-10 και σχετικές προδιαγραφές GEG· διακριτοποίηση σε ζώνες με τυποποιημένα προφίλ (Nutzungsprofile) bbsr-geg.bund+1	Θερμικές ζώνες σύμφωνα με KENAK και TOTEE 20701-1, με τυποποιημένα προφίλ χρήσης ανά κατηγορία κτιρίου (κατοικία, γραφείο κ.λπ.) yrep+1
Κέλυφος και θερμικά χαρακτηριστικά	U-values, θερμογέφυρες, σκιάσεις, διακριτοποίηση αδιαφανών/διαφανών στοιχείων	Ελάχιστες απαιτήσεις U-values και θερμογέφυρες σύμφωνα με GEG· χαρακτηριστικά κελύφους και κτιρίου αναφοράς καθορισμένα σε παραρτήματα GEG και σχετικές DINdatenbank.nwb+1	Ελάχιστες απαιτήσεις U-values και θερμογέφυρες σύμφωνα με KENAK / TOTEE· τυπικές τιμές για δομικά στοιχεία άγνωστης σύνθεσης kenak+1
Τεχνικά συστήματα (Θ/Ψ/ZNX/αερισμός)	Περιγραφή συστημάτων, βαθμοί απόδοσης, απώλειες, συμμετοχή ΑΠΕ	Ολοκληρωμένη αποτύπωση συστημάτων μέσω επιμέρους τμημάτων της DIN V 18599 (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ZNX, φωτισμός)· εφαρμογή αποδόσεων παραγωγής, διανομής, εκπομπής και αποθήκευσης bbsr-geg.bund+1	Αποτύπωση συστημάτων σύμφωνα με KENAK και TOTEE· τυπικοί βαθμοί απόδοσης και συντελεστές για διαφορετικούς τύπους λεβήτων, αντλιών θερμότητας, κλιματιστικών συστημάτων κ.λπ. kenak+1
Λειτουργικά δεδομένα και προφίλ χρήσης	Τυποποιημένα ωράρια, θερμοκρασίες, εσωτερικά κέρδη, απαιτήσεις αερισμού ανά κατηγορία χρήσης	Προφίλ χρήσης και εσωτερικά κέρδη καθορισμένα στη DIN V 18599-10, με τυποποιημένες τιμές ανά κατηγορία κτιρίου και ζώνης χρήσης bbsr-geg.bund	Τυποποιημένα προφίλ χρήσης και εσωτερικά κέρδη μέσω TOTEE 20701-1, ανά κατηγορία κτιρίου και χρήση ζώνης kenak
Κλιματικά δεδομένα	Αντιπροσωπευτικά κλιματικά αρχεία ή χαρακτηριστικά κλιματικά έτη	Χρήση κλιματικών δεδομένων αναφοράς (Testreferenzjahr) για κάθε κλιματική περιοχή, σύμφωνα με τις γερμανικές προδιαγραφές και παραπομπές της DIN V 18599 bbsr-geg.bund	Χρήση τυπικών κλιματικών δεδομένων ανά κλιματική ζώνη της Ελλάδας, όπως ορίζονται στον KENAK και τις σχετικές TOTEE

Εικόνα 3-Σύγκριση κατηγοριών δεδομένων και απαιτούμενων εισροών για υπολογισμό ΠΕΑ μεταξύ γενικού πλαισίου EPBD, γερμανικής μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599 και ελληνικού πλαισίου KENAK/TOTEE 20701-1.

Η σύγκριση αυτή δείχνει ότι, παρά τις διαφοροποιήσεις στις τεχνικές λεπτομέρειες και στις τυπικές τιμές, τα διαφορετικά εθνικά συστήματα (GEG / DIN V 18599 και KENAK / TOTEE) ακολουθούν μια κοινή λογική ως προς τις κατηγορίες δεδομένων που απαιτούνται για την ενεργειακή πιστοποίηση, σε αντιστοίχιση με τις γενικές απαιτήσεις της EPBD. Για τη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας, η κατανόηση αυτών των ομοιοτήτων και διαφορών είναι κρίσιμη, καθώς επιτρέπει τη συστηματική σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ του γερμανικού και του ελληνικού πλαισίου πιστοποίησης

2.5 Διεθνείς προσεγγίσεις ενεργειακής και περιβαλλοντικής αξιολόγησης: συγκριτικό υπόβαθρο

Η ευρωπαϊκή και η γερμανική προσέγγιση στην ενεργειακή πιστοποίηση δεν αποτελούν τη μοναδική διεθνή οδό για την αποτίμηση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής επίδοσης των κτιρίων. Σε διεθνές επίπεδο έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά πρότυπα, συστήματα συμμόρφωσης και σχήματα πιστοποίησης, όπως τα πρότυπα της ASHRAE (π.χ. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 για τις ΗΠΑ), τα πολυκριτηριακά συστήματα LEED και BREEAM, καθώς και λειτουργικά συστήματα αξιολόγησης όπως το NABERS στην Αυστραλία και το Green Mark στη Σιγκαπούρη.[ASHRAE, 2019; U.S. Green Building Council, n.d.; NABERS, 2020; Building and Construction Authority, n.d.]

Η συγκριτική τους εξέταση είναι χρήσιμη, διότι βοηθά να κατανοηθεί καλύτερα η ιδιαιτερότητα του ευρωπαϊκού EPC ως asset rating εργαλείου και να αναδειχθούν οι εναλλακτικές μεθοδολογικές λογικές που έχουν αναπτυχθεί διεθνώς.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της διεθνούς εικόνας είναι ότι η ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων δεν αναπτύχθηκε παντού με τον ίδιο σκοπό. Σε ορισμένες χώρες, ο κύριος στόχος ήταν η ρύθμιση της αγοράς μέσω υποχρεωτικών κωδίκων και ελάχιστων απαιτήσεων. Σε άλλες, προτεραιότητα είχε η δημιουργία εθελοντικών σχημάτων που θα επιβράβευαν την περιβαλλοντική αριστεία και θα λειτουργούσαν ως εργαλείο διαφοροποίησης στην αγορά. Αλλού, η έμφαση δόθηκε στην αποτύπωση της πραγματικής λειτουργικής επίδοσης, ώστε να ενισχυθεί η διαφάνεια και η αποτελεσματικότητα της ενεργειακής διαχείρισης. Μέσα από αυτές τις διαφορετικές αφετηρίες προέκυψαν ποικίλες προσεγγίσεις, οι οποίες σήμερα συνυπάρχουν και αλληλοεπηρεάζονται.

Μια πρώτη κατηγορία διεθνών προσεγγίσεων εκφράζεται μέσα από τα πρότυπα της ASHRAE και ιδίως μέσα από το ASHRAE 90.1, το οποίο λειτουργεί ως θεμελιώδες τεχνικό σημείο αναφοράς για ενεργειακούς κώδικες και για διαδικασίες compliance-based αξιολόγησης στις Ηνωμένες Πολιτείες.[American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019; ASHRAE, 2019].

Η λογική του ASHRAE 90.1 συνδυάζει prescriptive απαιτήσεις για συγκεκριμένα δομικά ή τεχνικά στοιχεία με performance-based προσεγγίσεις που επιτρέπουν τη σύγκριση του κτιρίου με ένα baseline ή reference building. Η ύπαρξη αυτής της baseline λογικής παρουσιάζει συγγένεια με το γερμανικό reference building, αν και το ευρύτερο θεσμικό πλαίσιο είναι διαφορετικό, καθώς το αμερικανικό υπόδειγμα συνδέεται περισσότερο με τη διαδικασία τεχνικής συμμόρφωσης παρά με τη δημόσια έκδοση υποχρεωτικών πιστοποιητικών ενεργειακής κατηγορίας για κάθε περίπτωση αγοράς ή μίσθωσης.

Τα πρότυπα της ASHRAE, και ειδικότερα το 90.1, έχουν ισχυρή επίδραση στην πρακτική του σχεδιασμού, καθώς συχνά αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία δομούνται τοπικοί ή πολιτειακοί ενεργειακοί κώδικες. Μέσα από τις δυνατότητες prescriptive συμμόρφωσης, παρέχουν έναν πιο «συνταγογραφικό» δρόμο, όπου ο σχεδιαστής ακολουθεί προκαθορισμένες απαιτήσεις για επιμέρους στοιχεία. Μέσω των performance-based επιλογών, όμως, επιτρέπουν και μεγαλύτερη ευελιξία, καθώς ο στόχος μεταφράζεται σε επίτευξη συγκεκριμένης ενεργειακής επίδοσης σε σχέση με το κτίριο αναφοράς. Σε αυτή τη διπλή λογική μπορούμε να διακρίνουμε μια μεθοδολογική συγγένεια με την ευρωπαϊκή πρακτική, παρά τις σημαντικές διαφορές στο θεσμικό πλαίσιο και στον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον τελικό χρήστη.

Μια δεύτερη σημαντική διεθνής προσέγγιση είναι το LEED, το οποίο αποτελεί ένα ευρύτερο σύστημα περιβαλλοντικής πιστοποίησης και όχι αμιγώς ενεργειακής κατάταξης.[U.S. Green Building Council, n.d.]

Στο LEED, η ενέργεια έχει υψηλή βαρύτητα, αλλά αποτελεί ένα μόνο από τα πολλά κριτήρια της συνολικής αξιολόγησης, μαζί με το νερό, τα υλικά, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, τη θέση και άλλες πτυχές της βιωσιμότητας. Αυτό σημαίνει ότι η ενεργειακή επίδοση εντάσσεται σε ένα πολυκριτηριακό σχήμα περιβαλλοντικής αριστείας και όχι σε ένα στενά κανονιστικό εργαλείο σύγκρισης κτιρίων ως προς την ενεργειακή κατανάλωση. Η διαφοροποίηση αυτή έχει σημασία, διότι δείχνει ότι η ενέργεια μπορεί να

αξιολογείται είτε ως αυτοτελές μέγεθος είτε ως συνιστώσα ευρύτερης περιβαλλοντικής ποιότητας.

Στο πλαίσιο του LEED, η ενεργειακή αξιολόγηση βασίζεται συχνά σε προσομοιώσεις που συγκρίνουν το υπό αξιολόγηση κτίριο με ένα baseline κτίριο, το οποίο ορίζεται συνήθως με βάση τις απαιτήσεις κάποιου ενεργειακού κώδικα (όπως το ASHRAE 90.1). [American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019; U.S. Green Building Council, n.d.]. Έτσι, η ενεργειακή επίδοση εκφράζεται ως ποσοστιαία βελτίωση σε σχέση με το κτίριο αναφοράς και μεταφράζεται σε αντίστοιχους πόντους στο σύστημα πιστοποίησης. Η λογική αυτή μοιάζει με την έννοια του reference building που συναντάται στο ευρωπαϊκό και γερμανικό πλαίσιο, αλλά ο στόχος είναι διαφορετικός: δεν είναι η συμμόρφωση με μια ελάχιστη απαίτηση ή η κατάταξη σε μια ενεργειακή κλίμακα, αλλά η συγκέντρωση πόντων σε ένα πολυκριτηριακό σύστημα που οδηγεί σε επίπεδα πιστοποίησης (Certified, Silver, Gold, Platinum).

Το NABERS δίνει μεγάλη έμφαση στη διαφάνεια και στην αξιοποίηση των αποτελεσμάτων για τη συνεχή βελτίωση της διαχείρισης. [NABERS, 2020] Το NABERS ανήκει στη λογική του operational rating, καθώς αξιολογεί την απόδοση με βάση την πραγματική κατανάλωση ενέργειας και την πραγματική λειτουργία του κτιρίου, αντί να βασίζεται κυρίως σε θεωρητικό υπολογιστικό μοντέλο υπό τυποποιημένες συνθήκες. Η περίπτωση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη συγκριτική θεώρηση των EPC, διότι αναδεικνύει ότι η ενεργειακή αξιολόγηση μπορεί να προσανατολίζεται περισσότερο προς την πραγματική λειτουργική συμπεριφορά και όχι μόνο προς την τεχνική ποιότητα του κτιριακού «asset».

Το NABERS δίνει μεγάλη έμφαση στη διαφάνεια και στην αξιοποίηση των αποτελεσμάτων για τη συνεχή βελτίωση της διαχείρισης. [NABERS, 2020] Η βαθμολογία βασίζεται σε μετρημένα στοιχεία, προσαρμοσμένα σε παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση, και, ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως άμεσο εργαλείο παρακολούθησης της προόδου ενός κτιρίου ή ενός χαρτοφυλακίου κτιρίων στον χρόνο. Η λογική αυτή είναι πιο κοντά σε μια «διαχειριστική» αντίληψη της ενεργειακής αξιολόγησης, σε αντίθεση με τα περισσότερο κανονιστικά EPC, τα οποία στοχεύουν κυρίως στην τυποποιημένη αποτίμηση της εγγενούς ποιότητας του κτιρίου.

Πέρα από αυτά τα γνωστά παραδείγματα, σε διάφορες χώρες έχουν αναπτυχθεί και άλλα σχήματα πιστοποίησης, όπως το BREEAM στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Green Star στην

Αυστραλία, το Green Mark στη Σιγκαπούρη και αντίστοιχα εθνικά ή περιφερειακά συστήματα. Τα περισσότερα από αυτά υιοθετούν πολυκριτηριακή λογική, στην οποία η ενέργεια αποτελεί κεντρικό αλλά όχι αποκλειστικό κριτήριο. Συχνά περιλαμβάνουν δείκτες για τις εκπομπές, τη χρήση υλικών με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, τη διαχείριση νερού, τη βιοκλιματική ποιότητα, τη συνδεσιμότητα με τα μέσα μαζικής μεταφοράς και άλλες πτυχές βιωσιμότητας. Έτσι, η ενεργειακή αξιολόγηση εντάσσεται σε ένα πιο ευρύ πλαίσιο περιβαλλοντικής και κοινωνικής επίδοσης.

Από τη διεθνή αυτή εικόνα προκύπτει ότι οι μέθοδοι αξιολόγησης μπορούν να ταξινομηθούν σχηματικά σε τρεις λογικές: στη λογική του asset rating, στη λογική του operational rating και στη λογική των πολυκριτηριακών πιστοποιήσεων βιωσιμότητας. Το ευρωπαϊκό και γερμανικό EPC εντάσσεται πρωτίστως στην πρώτη κατηγορία, επειδή αποτιμά την ενεργειακή ποιότητα του κτιρίου υπό κανονικοποιημένες συνθήκες. Τα operational ratings επιδιώκουν να αποδώσουν την πραγματική λειτουργική επίδοση, ενώ τα πολυκριτηριακά σχήματα, όπως το LEED, ενσωματώνουν την ενέργεια σε ευρύτερα πλαίσια βιωσιμότητας. Η διάκριση αυτή είναι θεμελιώδης για την παρούσα εργασία, καθώς βοηθά να αποσαφηνιστεί γιατί το EPC είναι ιδιαίτερα χρήσιμο ως εργαλείο κανονιστικής σύγκρισης, αλλά δεν αρκεί από μόνο του για να αποδώσει πλήρως τη λειτουργική πραγματικότητα ενός κτιρίου.

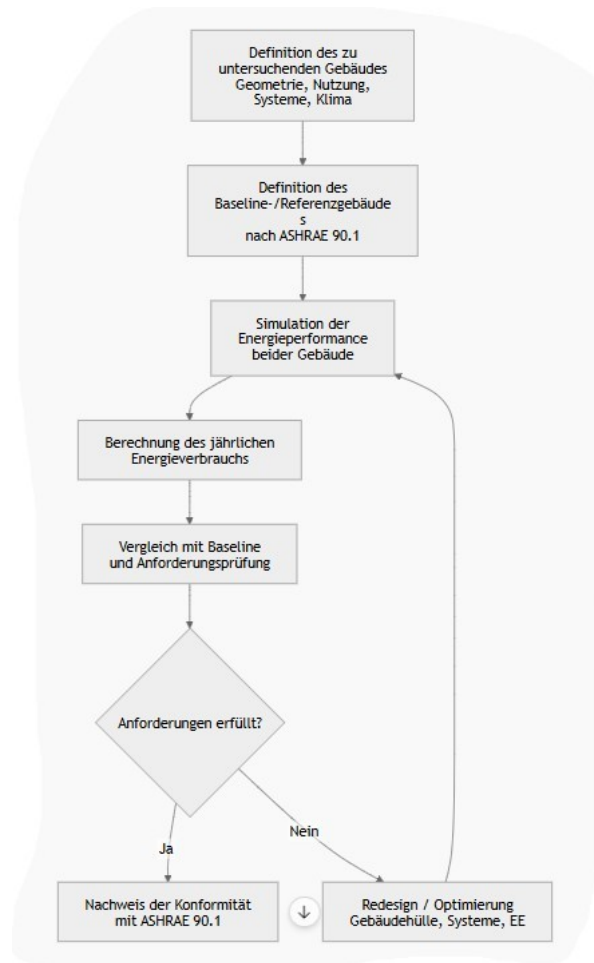
Η σύγκριση αυτή αναδεικνύει επίσης ότι κάθε προσέγγιση έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Τα asset ratings, όπως τα ευρωπαϊκά EPC, είναι ιδανικά για κανονιστική χρήση, για μαζική εφαρμογή στο σύνολο του κτιριακού αποθέματος και για χάραξη πολιτικής, καθώς στηρίζονται σε τυποποιημένες παραδοχές και επιτρέπουν συγκρίσεις σε μεγάλη κλίμακα. Τα operational ratings είναι πιο κοντά στην πραγματική λειτουργία, κατάλληλα για συνεχή βελτίωση και για σύγκριση της επίδοσης «στην πράξη», αλλά απαιτούν αξιόπιστα δεδομένα κατανάλωσης και δεν είναι πάντα εύκολα εφαρμόσιμα σε όλες τις χρήσεις ή σε όλα τα κτίρια. Τα πολυκριτηριακά συστήματα βιωσιμότητας, τέλος, προσφέρουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της περιβαλλοντικής επίδοσης, αλλά είναι πιο πολύπλοκα, συχνά εθελοντικά και απευθύνονται συνήθως σε ένα πιο περιορισμένο, συχνά «πρωτοπόρο» τμήμα της αγοράς.

Για την παρούσα εργασία, το διεθνές συγκριτικό υπόβαθρο έχει διπλή σημασία. Από τη μία πλευρά, βοηθά να γίνει σαφές ότι το ευρωπαϊκό EPC δεν είναι «μονόδρομος», αλλά συγκεκριμένη επιλογή εντός ενός ευρύτερου φάσματος δυνατών προσεγγίσεων. Από την

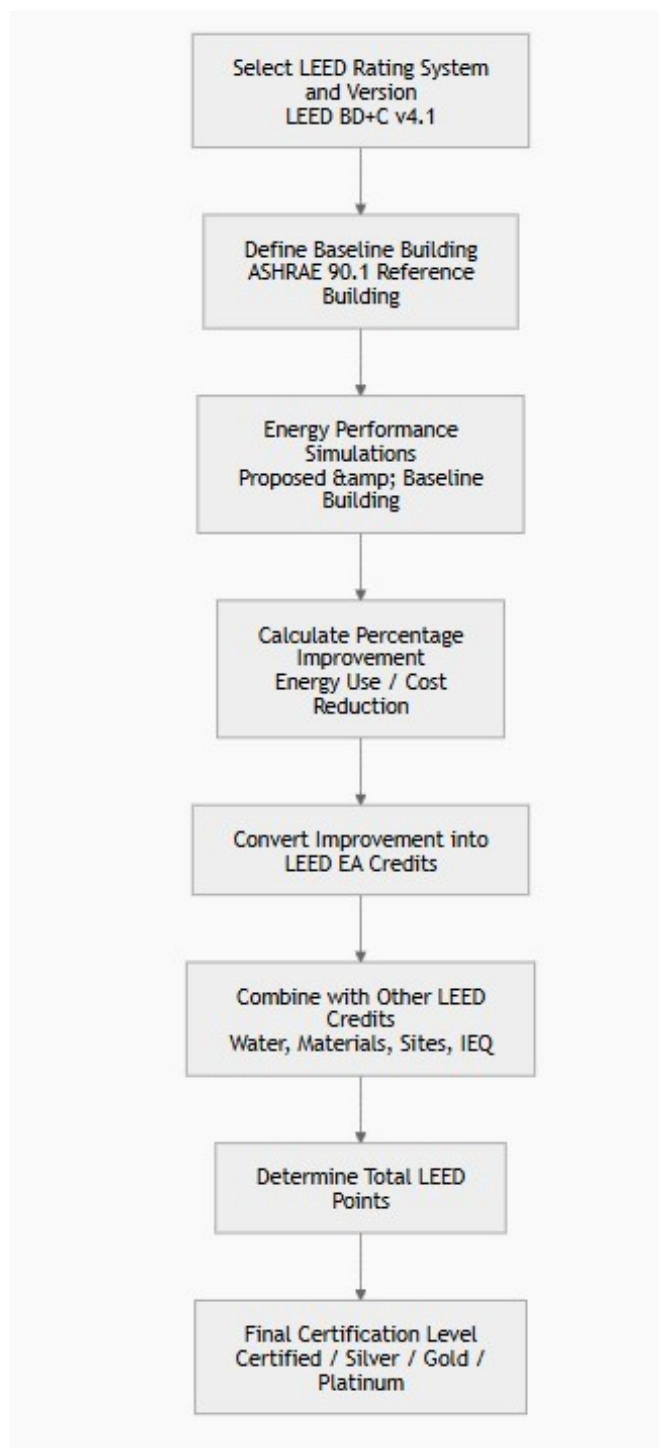
άλλη, επιτρέπει να διατυπωθούν με μεγαλύτερη σαφήνεια τα ερωτήματα γύρω από την αξιοπιστία, τη χρηστικότητα και τα όρια των EPC, ιδίως σε σχέση με το performance gap και τη διαφορά ανάμεσα στη θεωρητική και στην πραγματική ενεργειακή επίδοση. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η πλήρης κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων απαιτεί συχνά συνδυασμό διαφορετικών εργαλείων, κάτι που αποτελεί και ένα από τα ευρύτερα συμπεράσματα στα οποία στοχεύει η παρούσα ανάλυση.

Flow chart ASHRAE 90.1 (performance-based συμμόρφωση)

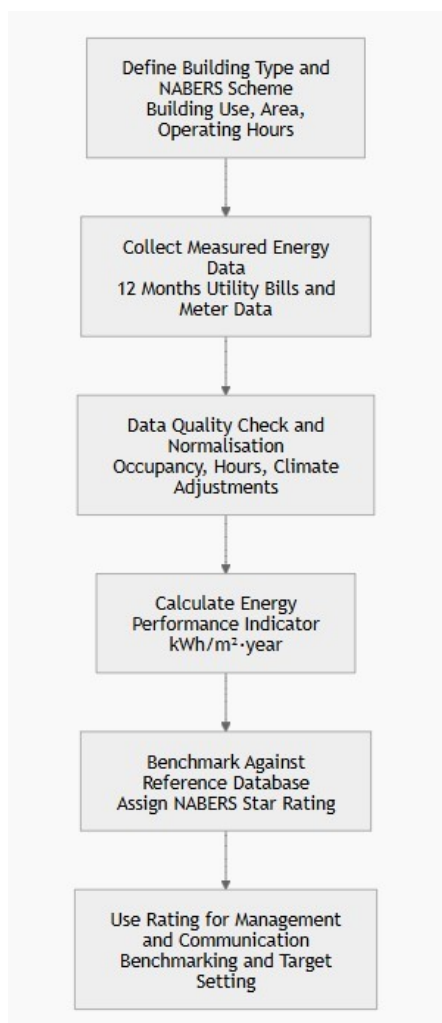
Διάγραμμα X.1: Ενδεικτική ροή ελέγχου συμμόρφωσης με το ASHRAE 90.1 (performance-based προσέγγιση)



Εικόνα 4 Flow chart LEED (ενεργειακό σκέλος) Ροή αξιολόγησης της ενεργειακής επίδοσης στο πλαίσιο του LEED (ενεργειακές πιστώσεις)



Εικόνα 5 Διαδικασία ενεργειακής αξιολόγησης και πιστοποίησης κτιρίου με LEED BD+C v4.1



Εικόνα 6 Διαδικασία ενεργειακής αξιολόγησης κτιρίου με NABERS

Σύστημα / Πρότυπο	Κύριος στόχος	Τύπος αξιολόγησης	Βασική μεθοδολογική λογική	Τυπική χρήση / πεδίο εφαρμογής
ASHRAE 90.1	Τεχνικό πρότυπο για ενεργειακούς κώδικες και συμμόρφωση	Asset / model-based, με baseline	Συνδυασμός prescriptive απαιτήσεων (ελάχιστες τιμές για κέλυφος και συστήματα) και performance-based σύγκρισης του εξεταζόμενου κτιρίου με κτίριο αναφοράς μέσω προσομοιώσεων.[American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019; ASHRAE, 2019]	Βάση για πολιτειακούς/τοπικούς κώδικες στις ΗΠΑ και για το ενεργειακό σκέλος διεθνών πιστοποιήσεων όπως το LEED.
LEED	Εθελοντική περιβαλλοντική πιστοποίηση με πολυκριτηριακή δομή	Πολυκριτηριακό σύστημα με ισχυρή ενεργειακή συνιστώσα	Χρήση ASHRAE 90.1 για ορισμό baseline, προσομοιώσεις ενέργειας, υπολογισμός ποσοστιαίας βελτίωσης και μετατροπή της σε πόντους στην κατηγορία Energy & Atmosphere, σε συνδυασμό με άλλες κατηγορίες (νερό, υλικά, τοποθεσία κ.λπ.).[U.S. Green Building Council, n.d.; ASHRAE, 2019]	Διεθνώς διαδεδομένη πιστοποίηση για νέα και υφιστάμενα κτίρια με στόχο την περιβαλλοντική αριστεία και τη διαφοροποίηση στην αγορά.
NABERS	Αποτύπωση πραγματικής λειτουργικής επίδοσης και βελτίωση της διαχείρισης	Operational rating, βασισμένο σε μετρημένα δεδομένα	Συλλογή πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας, κλιματικές και λειτουργικές διορθώσεις, υπολογισμός δείκτη απόδοσης και αντιστοίχιση σε κλίμακα αστέρων, με έμφαση στη διαφάνεια και στο benchmarking.[NABERS, 2020]	Κυρίως Αυστραλία (γραφεία, άλλες χρήσεις), αλλά και διεθνείς εφαρμογές: εργαλείο για ιδιοκτήτες και διαχειριστές κτιρίων για συνεχή βελτίωση και επικοινωνία της επίδοσης.

Πίνακας 1 Συγκριτικός πίνακας συστημάτων ASHRAE 90.1, LEED και NABERS ως προς στόχο, τύπο αξιολόγησης, μεθοδολογική λογική και τυπικό πεδίο εφαρμογής.

Τα διαγράμματα ροής που παρουσιάστηκαν για το ASHRAE 90.1, το LEED και το NABERS αναδεικνύουν τρεις διακριτές μεθοδολογικές λογικές: την κανονιστική συμμόρφωση μέσω σύγκρισης με κτίριο αναφοράς (ASHRAE 90.1), την πολυκριτηριακή περιβαλλοντική πιστοποίηση με ισχυρή ενεργειακή συνιστώσα (LEED) και την αξιολόγηση της πραγματικής λειτουργικής επίδοσης με βάση μετρημένα δεδομένα (NABERS).[American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019; U.S. Green Building Council, n.d.; NABERS, 2020] Ο συγκριτικός πίνακας συνοψίζει αυτές τις προσεγγίσεις, δείχνοντας ότι, παρότι μοιράζονται κοινά στοιχεία (χρήση κτιρίου αναφοράς, ενεργειακοί δείκτες, διαδικασίες ελέγχου), διαφοροποιούνται ουσιαστικά ως προς το αν εστιάζουν στην εγγενή ποιότητα του κτιριακού «asset», στην πραγματική λειτουργία ή σε μια ευρύτερη έννοια περιβαλλοντικής αριστείας.[Rid et al., 2017] Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η σύγκριση αυτή βοηθά να αποσαφηνιστεί η θέση του ευρωπαϊκού EPC μέσα σε αυτό το φάσμα: ως τυπικό asset rating εργαλείο, ιδιαίτερα κατάλληλο για κανονιστική χρήση και συγκρισιμότητα, αλλά με εγγενείς

περιορισμούς ως προς την αποτύπωση της λειτουργικής πραγματικότητας και του performance gap που διερευνάται στα επόμενα κεφάλαια.[Buildings Performance Institute Europe, 2022; Olasolo-Alonso et al., 2023]

2.6 Performance gap, ποιότητα δεδομένων και περιορισμοί των ενεργειακών πιστοποιητικών

Η έννοια του performance gap αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους θεωρητικούς και πρακτικούς άξονες της σύγχρονης συζήτησης για την ενεργειακή πιστοποίηση.[Semple & Jenkins, 2020; Sesana et al., 2024; Vaquero, 2020] Ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει την απόκλιση που συχνά παρατηρείται ανάμεσα στην υπολογισμένη ή προβλεπόμενη ενεργειακή επίδοση ενός κτιρίου και στην πραγματική ενεργειακή κατανάλωση που καταγράφεται κατά τη χρήση του. Η απόκλιση αυτή δεν είναι περιθωριακό φαινόμενο, αλλά δομικό χαρακτηριστικό πολλών συστημάτων αξιολόγησης που βασίζονται σε κανονικοποιημένες μεθόδους και τυποποιημένες παραδοχές.[Economidou et al., 2020; Olasolo-Alonso et al., 2023] Για τον λόγο αυτό, το performance gap έχει ιδιαίτερη σημασία τόσο για την τεχνική ερμηνεία των EPC όσο και για την αξιοπιστία τους στην αγορά και στη χάραξη πολιτικής.[Buildings Performance Institute Europe, 2022; Sesana et al., 2024]

Στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί περιπτώσεις όπου η πραγματική κατανάλωση ενέργειας αποδεικνύεται σημαντικά υψηλότερη από τις υπολογισμένες τιμές, αλλά και περιπτώσεις όπου το κτίριο καταναλώνει λιγότερο από όσο «προβλέπει» το πιστοποιητικό.[Semple & Jenkins, 2020; Aste et al., 2010; Vaquero, 2020]. Το performance gap δεν είναι επομένως πάντα προς μία κατεύθυνση, ούτε οφείλεται σε έναν μόνο παράγοντα. Αντίθετα, προκύπτει από τη σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ της μεθοδολογίας, των δεδομένων εισόδου, της συμπεριφοράς των χρηστών, της ποιότητας των συστημάτων και των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας.[Dascalaki et al., 2012; Hamdy et al., 2013; Sesana et al., 2024] Αυτό καθιστά την κατανόησή του κρίσιμη για όποιον χρησιμοποιεί τα EPC ως βάση για τεχνικές, οικονομικές ή πολιτικές αποφάσεις

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ανάλυση της μεθοδολογίας ενεργειακής πιστοποίησης, οι εθνικές μέθοδοι βασίζονται σε τυποποιημένα προφίλ χρήσης, ώστε να εξασφαλιστεί η

συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών κτιρίων.[Deutsches Institut für Normung, 2018; Karamani, 2019; Katafygiotou, 2013] Μια βασική αιτία του performance gap είναι ακριβώς αυτή η χρήση τυποποιημένων προφίλ χρήσης. Τα EPC στηρίζονται σε υποθέσεις μέσης ή τυπικής συμπεριφοράς (ωράρια λειτουργίας, θερμοκρασίες αναφοράς, εσωτερικά κέρδη, φορτία εξοπλισμού), ώστε δύο κτίρια να μπορούν να συγκριθούν υπό ισοδύναμο πλαίσιο αναφοράς.[Hamdy et al., 2013; Dascalaki et al., 2012] Στην πράξη όμως, η συμπεριφορά των χρηστών μπορεί να αποκλίνει έντονα: διαφορετικά ωράρια, διαφορετικά setpoints, διαφορετικός βαθμός αερισμού, διαφορετική χρήση συσκευών ή διαφορετικός βαθμός εκμετάλλευσης των χώρων μπορούν να μεταβάλουν σημαντικά την πραγματική κατανάλωση.[Semple & Jenkins, 2020; Vaquero, 2020] Έτσι, η θεωρητική επίδοση του πιστοποιητικού και η πραγματική λειτουργική συμπεριφορά του κτιρίου δεν ταυτίζονται κατ' ανάγκη. Ενδεικτικά, ένα κτίριο γραφείων που λειτουργεί στην πράξη σε διευρυμένο ωράριο, με έντονη χρήση εξοπλισμού πληροφορικής και με ανεπαρκή έλεγχο του φωτισμού, μπορεί να παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση από αυτή που υπολογίζεται με βάση τα τυπικά προφίλ χρήσης. Αντίστροφα, ένα κτίριο κατοικίας στο οποίο οι χρήστες είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί στη χρήση της θέρμανσης ή της ψύξης μπορεί να καταναλώνει λιγότερο από την υπολογισμένη τιμή, παρά το ότι οι τεχνικές του προδιαγραφές δεν είναι ιδανικές. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις, η απόκλιση δεν οφείλεται σε «λάθος» του πιστοποιητικού, αλλά στη διαφορά μεταξύ κανονικοποιημένης και πραγματικής συμπεριφοράς.

Εξίσου σημαντική είναι η ποιότητα των δεδομένων εισόδου. Σε υφιστάμενα κτίρια, η τεχνική τεκμηρίωση είναι συχνά ατελής, με αποτέλεσμα να απουσιάζουν ακριβή στοιχεία για δομικές στρώσεις, θερμογέφυρες, πραγματικές αποδόσεις συστημάτων, ιστορικό επεμβάσεων ή επίπεδο συντήρησης εξοπλισμού.[Karamani, 2019; Katafygiotou, 2013; Dascalaki et al., 2012] Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο μελετητής αναγκάζεται να χρησιμοποιήσει τυπικές τιμές ή τεκμηριωμένες παραδοχές, οι οποίες μεν επιτρέπουν την ολοκλήρωση της διαδικασίας, αλλά ενδέχεται να απομακρύνουν το τελικό αποτέλεσμα από την πραγματική κατάσταση του κτιρίου.[Deutsches Institut für Normung, 2018; ISO 52016-1, 2017] Όσο πιο ελλιπή ή αβέβαια είναι τα δεδομένα, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα εμφάνισης performance gap.

Στην πράξη, η ανάγκη για παραδοχές είναι ιδιαίτερα έντονη σε κτίρια παλαιότερης κατασκευής, όπου λείπουν σχέδια, δεν υπάρχουν αναλυτικές προδιαγραφές υλικών ή έχει

μεσολαβήσει σειρά επεμβάσεων χωρίς πλήρη καταγραφή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ποιότητα της ενεργειακής πιστοποίησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία και τη μεθοδικότητα του μηχανικού που τη διενεργεί, καθώς καλείται να ισορροπήσει ανάμεσα στην τήρηση των κανονιστικών οδηγιών και σε μια ρεαλιστική εκτίμηση της κατάστασης του κτιρίου. Η ίδια η μεθοδολογία αναγνωρίζει την ύπαρξη αυτών των αβεβαιοτήτων, αλλά δεν μπορεί να τις εξαλείψει πλήρως.

Μια τρίτη αιτία αφορά τα όρια των ιδίων των υπολογιστικών μοντέλων που βρίσκονται στη βάση των EPC και των εθνικών μεθοδολογιών (π.χ. DIN V 18599, KENAK/TOTEE).[Deutsches Institut für Normung, 2018; Dascalaki et al., 2012] Κάθε κανονιστική μεθοδολογία περιέχει απλουστεύσεις, επειδή ο στόχος της δεν είναι να αναπαράγει πλήρως κάθε δυναμική πτυχή της πραγματικής λειτουργίας, αλλά να παρέχει ένα συνεκτικό και εφαρμόσιμο πλαίσιο συγκρισιμότητας. Οι διαφοροποιήσεις της χρήσης στον χρόνο, οι μεταβολές των καιρικών συνθηκών, η αστοχία ή η κακή ρύθμιση των συστημάτων, η φθορά του εξοπλισμού και η αλληλεπίδραση ανθρώπων και τεχνολογιών δεν μπορούν να αποδοθούν με πλήρη ακρίβεια μέσα από ένα κανονικοποιημένο EPC.[Hamdy et al., 2013; Aste et al., 2010] Συνεπώς, το performance gap δεν είναι απλώς αποτέλεσμα λανθασμένων υπολογισμών, αλλά συνδέεται και με τα δομικά όρια κάθε τυποποιημένης διαδικασίας αξιολόγησης.

Επιπλέον, τα υπολογιστικά μοντέλα βασίζονται σε συγκεκριμένους αλγορίθμους υπολογισμού φορτίων, κατανάλωσης και αποδόσεων, οι οποίοι περιγράφουν μεν με επάρκεια τη μέση συμπεριφορά, αλλά δεν λαμβάνουν υπόψη όλες τις στοχαστικές ή μη γραμμικές πτυχές της λειτουργίας.[ISO 52016-1, 2017; Hamdy et al., 2013] Για παράδειγμα, φαινόμενα όπως η υπολειτουργία συστημάτων αυτοματισμού, η ελλιπής συντήρηση ή οι συστηματικές λανθασμένες ρυθμίσεις (π.χ. θερμοστάτες συνεχώς σε «χειροκίνητη» παράκαμψη) δύσκολα αποτυπώνονται σε μια τυποποιημένη μεθοδολογία. Παρόμοια, η επίδραση της συμπεριφοράς ενός συγκεκριμένου χρήστη σε ένα μεμονωμένο κτίριο μπορεί να είναι πολύ ισχυρή, αλλά δεν μπορεί να ενσωματωθεί πλήρως σε ένα σύστημα που έχει ως στόχο τη μαζική εφαρμογή.[Semple & Jenkins, 2020; Mohan et al., 2026]

Σε αυτό το πλαίσιο αποκτά ιδιαίτερη σημασία η διάκριση ανάμεσα σε asset rating και operational rating. Το asset rating αποτιμά το κτίριο ως τεχνικό αντικείμενο υπό πρότυπες συνθήκες, ανεξάρτητα από τη συγκεκριμένη συμπεριφορά των χρηστών. Το operational

rating, αντίθετα, αποτυπώνει τη λειτουργική επίδοση βάσει πραγματικών δεδομένων κατανάλωσης. Το πρώτο είναι εξαιρετικά χρήσιμο για κανονιστική συμμόρφωση, τεχνική σύγκριση και διαμόρφωση ενεργειακών τάξεων, ενώ το δεύτερο είναι πιο κοντά στην επιχειρησιακή πραγματικότητα και στην πραγματική ενεργειακή διαχείριση. Το performance gap αναδύεται ακριβώς μέσα στο κενό ανάμεσα στις δύο αυτές λογικές.

Η συμπληρωματική χρήση των δύο προσεγγίσεων μπορεί να προσφέρει πιο ολοκληρωμένη εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς. Το asset rating επιτρέπει να εκτιμηθεί η εγγενής ενεργειακή ποιότητα του κτιρίου και το δυναμικό βελτίωσης μέσω παρεμβάσεων στο κέλυφος και στα συστήματα, ενώ το operational rating βοηθά να εντοπιστούν προβλήματα χρήσης, λειτουργίας ή συντήρησης που επιβαρύνουν την πραγματική κατανάλωση. Σε αυτό το σχήμα, τα EPC παρέχουν το κανονικοποιημένο υπόβαθρο και οι λειτουργικές μετρήσεις προσφέρουν την αναγκαία «πραγματικότητα», με το performance gap να λειτουργεί ως δείκτης του πόσο απέχει το ένα από το άλλο.

Οι επιπτώσεις αυτής της απόκλισης είναι ουσιαστικές. Σε επίπεδο χρηστών και αγοράς, μπορεί να επηρεαστεί η εμπιστοσύνη προς το πιστοποιητικό, όταν οι πραγματικοί λογαριασμοί δεν συμφωνούν με την εικόνα που δημιουργεί η ενεργειακή κατηγορία. Σε επίπεδο πολιτικής, η απόκλιση αυτή μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια με την οποία εκτιμάται το δυναμικό εξοικονόμησης του κτιριακού αποθέματος ή η αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων. Σε επίπεδο τεχνικής αξιολόγησης, το performance gap αναδεικνύει ότι το EPC πρέπει να ερμηνεύεται πάντοτε σε συνάρτηση με τις παραδοχές, την ποιότητα των δεδομένων και τον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται.

Επιπλέον, το performance gap επηρεάζει και το πώς αντιλαμβάνονται οι πολίτες και οι επαγγελματίες τη σχέση ανάμεσα σε θεωρητικά μοντέλα και πραγματική ζωή. Εάν τα EPC γίνονται αντιληπτά ως «υποσχέσεις» για συγκεκριμένα επίπεδα κατανάλωσης, οι αποκλίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε απογοήτευση ή δυσπιστία απέναντι στα εργαλεία ενεργειακής πολιτικής συνολικά. Αντίθετα, όταν γίνεται σαφές ότι το πιστοποιητικό αποτυπώνει μια κανονικοποιημένη εκτίμηση και όχι εγγυημένη λειτουργική επίδοση, το performance gap μπορεί να ερμηνευθεί πιο νηφάλια, ως ένδειξη του πόσο η πραγματική χρήση αποκλίνει από το θεωρητικό πλαίσιο.

Η σύγχρονη βιβλιογραφία και οι ευρωπαϊκές παρεμβάσεις προτείνουν διάφορους τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος. Μία κεντρική κατεύθυνση είναι η βελτίωση της

ποιότητας των δεδομένων μέσω καλύτερης τεχνικής καταγραφής των υφιστάμενων κτιρίων, καλύτερης τεκμηρίωσης των επεμβάσεων και μεγαλύτερης ψηφιοποίησης του κτιριακού αποθέματος.[Sesana et al., 2024; Węglarz et al., 2026] Μια δεύτερη κατεύθυνση αφορά την ενίσχυση του ποιοτικού ελέγχου των EPC και των διαδικασιών έκδοσής τους, ώστε να περιοριστούν σφάλματα ή αυθαίρετες απλουστεύσεις.[Semple & Jenkins, 2020; Buildings Performance Institute Europe, 2022] Μια τρίτη κατεύθυνση συνδέεται με την πιθανή συμπληρωματική χρήση operational δεδομένων, ώστε η θεωρητική αξιολόγηση να εμπλουτίζεται από στοιχεία πραγματικής λειτουργίας όπου αυτό είναι εφικτό και χρήσιμο.[NABERS, 2020; Rid et al., 2017] Οι εξελίξεις αυτές δείχνουν ότι η πορεία των EPC δεν οδηγεί προς την κατάργησή τους, αλλά προς μια πιο σύνθετη και ώριμη χρήση τους.

Πέρα από τα παραπάνω, διερευνώνται επίσης προσεγγίσεις που συνδέουν πιο στενά τα EPC με «έξυπνα» συστήματα παρακολούθησης και διαχείρισης ενέργειας, με στόχο να μειωθεί το χάσμα ανάμεσα στη θεωρία και την πράξη. Η σταδιακή ενσωμάτωση δεδομένων κατανάλωσης από μετρητές ή συστήματα διαχείρισης κτιρίων μπορεί, σε ορισμένα πλαίσια, να επιτρέψει την περιοδική επικαιροποίηση της εικόνας ενός κτιρίου, χωρίς να αλλάζει απαραίτητα ο θεσμικός ρόλος του πιστοποιητικού. Αν και τέτοιες προσεγγίσεις βρίσκονται ακόμη σε εξέλιξη, δείχνουν τη γενικότερη κατεύθυνση προς μια πιο «δυναμική» κατανόηση της ενεργειακής επίδοσης.

Για την παρούσα εργασία, το performance gap δεν αποτελεί απλώς θεωρητική συζήτηση, αλλά κρίσιμο ερμηνευτικό εργαλείο. Η μελέτη περίπτωσης που ακολουθεί επιτρέπει να εξεταστεί πώς η ποιότητα των δεδομένων, οι κανονιστικές παραδοχές και οι τεχνικές επιλογές της γερμανικής μεθοδολογίας επηρεάζουν το παραγόμενο ενεργειακό αποτέλεσμα. Με αυτή την έννοια, η αξιολόγηση του συγκεκριμένου κτιρίου δεν θα περιοριστεί στην παρουσίαση της τελικής ενεργειακής κατηγορίας, αλλά θα προσεγγιστεί ως τεχνικό αποτέλεσμα που πρέπει να διαβαστεί μέσα στο πλαίσιο των μεθοδολογικών ορίων και δυνατοτήτων του συστήματος.

Η ανάλυση του performance gap λειτουργεί, επομένως, ως γέφυρα ανάμεσα στο θεωρητικό μέρος της εργασίας και στη μελέτη περίπτωσης. Από τη μία πλευρά, αποσαφηνίζει τις δυνατότητες και τους περιορισμούς των EPC ως εργαλείων κανονιστικής αξιολόγησης. Από την άλλη, θέτει το πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα που

θα προκύψουν από την εφαρμογή της γερμανικής μεθοδολογίας στο επιλεγμένο κτίριο, επιτρέποντας μια πιο ώριμη και κριτική ανάγνωση της ενεργειακής του κατάταξης.

2.7 Σύνδεση του θεωρητικού πλαισίου με τη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας

Το θεωρητικό και κανονιστικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες ενότητες συγκροτεί τη βάση για το εφαρμοσμένο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η ανάλυση του ρόλου των EPC, της εξέλιξης της EPBD, της γερμανικής εφαρμογής μέσω του GEG και της DIN V 18599, των διεθνών συγκριτικών αναφορών και της συζήτησης γύρω από το performance gap κατέδειξε ότι η ενεργειακή πιστοποίηση δεν είναι μια ουδέτερη ή αυτόματη διαδικασία, αλλά αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ θεσμικών κανόνων, τεχνικών προτύπων, δεδομένων εισόδου και παραδοχών. Αυτό ακριβώς το πλέγμα καθιστά αναγκαία τη μελέτη μιας συγκεκριμένης πραγματικής περίπτωσης, η οποία μπορεί να φωτίσει στην πράξη τις δυνατότητες και τα όρια του συστήματος.

Η επιλογή ενός κτιρίου στη Γερμανία ως case study επιτρέπει να εξεταστεί στην πράξη πώς λειτουργεί το σύστημα ενεργειακής πιστοποίησης μέσα σε ένα τεχνικά ώριμο και κανονιστικά ανεπτυγμένο πλαίσιο. Μέσα από τη μελέτη αυτή θα είναι δυνατό να αποτυπωθούν τα δεδομένα που απαιτούνται για τη μοντελοποίηση του κτιρίου, οι πηγές αβεβαιότητας που εμφανίζονται κατά τη συλλογή τους, οι παραδοχές που πρέπει να υιοθετηθούν και ο τρόπος με τον οποίο όλα τα παραπάνω μετασχηματίζονται σε ενεργειακό αποτέλεσμα σύμφωνα με το GEG και τη DIN V 18599. Η μελέτη περίπτωσης λειτουργεί επομένως ως κρίσιμος σύνδεσμος ανάμεσα στη θεωρία και στην εφαρμογή, μεταφέροντας τις έννοιες και τα σχήματα του Κεφαλαίου 2 σε ένα συγκεκριμένο, από παράδειγμα.

Πέρα από τη γενική αυτή σύνδεση, η case study προσέγγιση επιτρέπει να εξεταστούν ζητήματα που δύσκολα αναδεικνύονται μόνο σε θεωρητικό επίπεδο. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εφαρμογής, θα γίνει σαφές ποια δεδομένα είναι πράγματι διαθέσιμα για το επιλεγμένο κτίριο, ποια πρέπει να αναζητηθούν μέσα από πρόσθετη τεκμηρίωση ή επιτόπια διερεύνηση και σε ποια σημεία είναι αναπόφευκτο να χρησιμοποιηθούν τυπικές τιμές και παραδοχές. Έτσι, αναδεικνύεται στην πράξη ο ρόλος της ποιότητας των δεδομένων και

γίνεται πιο συγκεκριμένη η συζήτηση για το πώς η αβεβαιότητα στα στοιχεία εισόδου επηρεάζει την αξιοπιστία του τελικού αποτελέσματος.

Η συμβολή της case study προσέγγισης είναι τριπλή. Πρώτον, επιτρέπει τη διερεύνηση της διαθεσιμότητας και ποιότητας των δεδομένων που απαιτεί η ενεργειακή πιστοποίηση σε πραγματικές συνθήκες. Η μετάβαση από τις θεωρητικές απαιτήσεις του GEG και της DIN V 18599 στη συγκεκριμένη πραγματικότητα ενός κτιρίου αποκαλύπτει τόσο τα ισχυρά σημεία της μεθοδολογίας όσο και τις πρακτικές δυσκολίες εφαρμογής της. Δεύτερον, επιτρέπει την αξιολόγηση του ρόλου των παραδοχών και του βαθμού στον οποίο αυτές διαμορφώνουν το τελικό αποτέλεσμα: μέσα από δοκιμές εναλλακτικών σεναρίων ή από την ανάλυση της ευαισθησίας του μοντέλου σε συγκεκριμένες παραμέτρους, μπορεί να εκτιμηθεί σε ποια σημεία η τελική ενεργειακή κατηγορία είναι πιο «εύθραυστη» ή πιο σταθερή.

Τρίτον, η μελέτη περίπτωσης καθιστά εφικτή την πιο ώριμη και κριτική ερμηνεία της ενεργειακής κατηγορίας, όχι ως απλού τελικού αριθμού, αλλά ως σύνθετου τεχνικού προϊόντος ενός συγκεκριμένου υπολογιστικού και θεσμικού συστήματος. Η ενεργειακή κατηγορία που θα προκύψει για το υπό εξέταση κτίριο δεν αντιμετωπίζεται εδώ ως αυτονόητη και αυταπόδεικτη, αλλά ως αποτέλεσμα μιας διαδικασίας που περιλαμβάνει επιλογές, περιορισμούς και συμβιβασμούς. Με αυτό τον τρόπο, το case study δεν αποτελεί απλή εφαρμογή μιας θεωρίας, αλλά πεδίο ελέγχου της εμβέλειας και των ορίων της, στο οποίο μπορούν να δοκιμαστούν στην πράξη οι έννοιες του asset rating, του performance gap και της ποιότητας δεδομένων.

Επιπλέον, η επιλογή της γερμανικής περίπτωσης επιτρέπει να εξεταστεί πώς λειτουργεί ένα σύστημα ενεργειακής πιστοποίησης σε ένα περιβάλλον όπου η τεχνική μεθοδολογία είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη και η θεσμική ενσωμάτωση της EPBD βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο. Αυτό προσφέρει ένα κατάλληλο πεδίο για να διερευνηθεί κατά πόσο ένα «ώριμο» πλαίσιο μπορεί να περιορίσει τις αβεβαιότητες, να βελτιώσει την ποιότητα των πιστοποιητικών και να μειώσει το performance gap, ή αν ορισμένα όρια παραμένουν αναπόφευκτα λόγω της ίδιας της φύσης της κανονικοποιημένης αξιολόγησης.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία δεν περιορίζεται στη διερεύνηση της γερμανικής περίπτωσης, αλλά επεκτείνεται και στην εφαρμογή της ελληνικής μεθοδολογίας KENAK στο ίδιο κτιριακό παράδειγμα. Η διπλή αυτή προσέγγιση επιτρέπει τη σύγκριση δύο

διαφορετικών εθνικών συστημάτων ενεργειακής πιστοποίησης, τα οποία ενσωματώνουν μεν το ίδιο ευρωπαϊκό πλαίσιο (EPBD), αλλά διαφοροποιούνται ως προς τα δεδομένα εισόδου, τα υπολογιστικά βήματα και τον τρόπο αποτύπωσης του τελικού αποτελέσματος. Με αυτόν τον τρόπο, η μελέτη περίπτωσης λειτουργεί όχι μόνο ως πεδίο ελέγχου της γερμανικής μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599, αλλά και ως πλαίσιο κριτικής σύγκρισης με το ελληνικό σύστημα KENAK, αναδεικνύοντας τις συγκλίσεις και τις αποκλίσεις τους σε ό,τι αφορά την ενεργειακή κατηγοριοποίηση και το performance gap.

Τέλος, η σύνδεση του θεωρητικού πλαισίου με τη μελέτη περίπτωσης καθορίζει και τη δομή των επόμενων κεφαλαίων της εργασίας. Μετά την ολοκλήρωση του παρόντος Κεφαλαίου 2, το οποίο εστιάζει στις έννοιες, στα πρότυπα και στις μεθοδολογίες, το επόμενο κεφάλαιο θα επικεντρωθεί στην αναλυτική παρουσίαση του επιλεγμένου κτιρίου, στη διαδικασία συλλογής και τεκμηρίωσης των δεδομένων, στη διαμόρφωση του υπολογιστικού μοντέλου και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων. Έτσι, η εργασία μεταβαίνει από το επίπεδο της θεωρητικής τεκμηρίωσης στο επίπεδο της εφαρμοσμένης διερεύνησης, επιτρέποντας να αξιολογηθεί στην πράξη κατά πόσο το θεσμικό και μεθοδολογικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε μπορεί να αποδώσει μια τεχνικά ουσιαστική και ερμηνεύσιμη εικόνα της ενεργειακής επίδοσης ενός πραγματικού κτιρίου.

Στα επόμενα κεφάλαια η σύγκριση των αποτελεσμάτων GEG/DIN V 18599 και KENAK για το ίδιο κτίριο θα επιτρέψει να εκτιμηθεί σε ποιο βαθμό οι διαφορετικές μεθοδολογίες οδηγούν σε αποκλίσεις στην ενεργειακή κατάταξη και πώς αυτές σχετίζονται με τις παραδοχές και την ποιότητα των δεδομένων.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία εφαρμογής και προετοιμασία της μελέτης περίπτωσης

Στο κεφάλαιο αυτό εξειδικεύεται η γενική μεθοδολογία ενεργειακής πιστοποίησης που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, με στόχο την εφαρμογή της στο επιλεγμένο κτίριο κατοικίας στο Αμβούργο. Αρχικά, διατυπώνεται με σαφή και συστηματικό τρόπο η μεθοδολογία πιστοποίησης σύμφωνα με τον γερμανικό κανονισμό GEG και τη σειρά προτύπων DIN V 18599, καθώς και σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό ΚΕΝΑΚ, με έμφαση στους απαιτούμενους υπολογισμούς, στα είδη και στο επίπεδο λεπτομέρειας των δεδομένων εισόδου και στον τρόπο κατάταξης των κτιρίων σε ενεργειακές κατηγορίες μέσω του κτιρίου αναφοράς. Στη συνέχεια, συγκεντρώνονται και τεκμηριώνονται τα γεωμετρικά, δομικά, κλιματικά και λειτουργικά στοιχεία που απαιτούνται για τον χαρακτηρισμό της συγκεκριμένης κατοικίας στο πλαίσιο της γερμανικής μεθοδολογίας και, κατ' αντιστοιχία, της ελληνικής. Τέλος, περιγράφεται βήμα προς βήμα η εφαρμογή του επιλεγμένου υπολογιστικού σχήματος, το οποίο συνδυάζει εξειδικευμένο λογισμικό και αναλυτικά υπολογιστικά φύλλα, ορίζοντας ρητά τις συνθήκες λειτουργίας του πραγματικού κτιρίου και του αντίστοιχου κτιρίου αναφοράς και επιτρέποντας την εξαγωγή των δεικτών που απαιτούνται για την ενεργειακή πιστοποίηση και τη συγκριτική αξιολόγηση.

3.1 Γερμανικός κανονισμός GEG / DIN V 18599

Για την ενεργειακή αξιολόγηση του υπό μελέτη κτιρίου εφαρμόζεται το γερμανικό θεσμικό πλαίσιο του Gebäudeenergiegesetz (GEG) σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία υπολογισμού της σειράς προτύπων DIN V 18599. Όπως παρουσιάστηκε στο θεωρητικό μέρος της εργασίας, η συγκεκριμένη μεθοδολογία αποτελεί το βασικό εργαλείο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στη Γερμανία και χρησιμοποιείται τόσο για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις κανονιστικές απαιτήσεις όσο και για την έκδοση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (Energieausweis).

Η διαδικασία ξεκινά με τη διαίρεση του κτιρίου σε ενεργειακές ζώνες, σύμφωνα με τη χρήση των χώρων και τα τυποποιημένα προφίλ λειτουργίας που προβλέπει η DIN V 18599. Για κάθε ζώνη καθορίζονται οι απαιτούμενες συνθήκες λειτουργίας, οι εσωτερικές θερμικές

φορτίσεις, τα ωράρια χρήσης και οι απαιτήσεις αερισμού. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τις θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους, τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής και τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.

Οι ενεργειακές ανάγκες μετατρέπονται σε καταναλώσεις τελικής ενέργειας μέσω των αντίστοιχων τεχνικών συστημάτων και στη συνέχεια σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, με χρήση των συντελεστών που προβλέπει το GEG για κάθε ενεργειακό φορέα. Οι υπολογισμοί αυτοί οδηγούν στους δείκτες ενεργειακής επίδοσης του κτιρίου, οι οποίοι χρησιμοποιούνται τόσο για την ενεργειακή κατάταξη όσο και για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις της γερμανικής νομοθεσίας.

Βασικό χαρακτηριστικό της γερμανικής μεθοδολογίας αποτελεί η έννοια του κτιρίου αναφοράς (Referenzgebäude). Το κτίριο αναφοράς διαθέτει την ίδια γεωμετρία, χρήση και λειτουργικά χαρακτηριστικά με το εξεταζόμενο κτίριο, αλλά θεωρείται ότι πληρεί τις ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις του GEG. Η ενεργειακή επίδοση του πραγματικού κτιρίου συγκρίνεται με εκείνη του κτιρίου αναφοράς, επιτρέποντας την αντικειμενική αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του κανονισμού.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αποτυπώνονται στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (Energieausweis), στο οποίο παρουσιάζονται η κατανάλωση τελικής και πρωτογενούς ενέργειας, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και η ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου. Στα πιστοποιητικά τύπου Bedarfsausweis, τα αποτελέσματα βασίζονται αποκλειστικά στους υπολογισμούς της DIN V 18599 υπό τυποποιημένες συνθήκες λειτουργίας, ανεξάρτητα από την πραγματική συμπεριφορά των χρηστών.

Στην παρούσα εργασία η εφαρμογή της γερμανικής μεθοδολογίας πραγματοποιείται μέσω συνδυασμού εξειδικευμένου λογισμικού και αναλυτικών υπολογιστικών εργαλείων. Η γεωμετρία του κτιρίου, τα δομικά στοιχεία, τα τεχνικά συστήματα και τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του Αμβούργου εισάγονται στο λογισμικό Trimble Nova το οποίο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του κτιρίου και τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των γερμανικών προτύπων.

Τα αποτελέσματα οργανώνονται και επαληθεύονται με τη χρήση αναλυτικών υπολογιστικών φύλλων, ώστε να είναι δυνατός ο πλήρης έλεγχος των δεδομένων εισόδου, των παραδοχών και των ενδιάμεσων υπολογισμών.

Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας εξυπηρετεί τον βασικό στόχο της εργασίας, ο οποίος είναι η διερεύνηση της επίδρασης της ποιότητας των δεδομένων εισόδου, των υπολογιστικών παραδοχών και των διαθέσιμων λογισμικών στην αξιοπιστία της ενεργειακής πιστοποίησης. Τα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζουν αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του κτιρίου μελέτης, τη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς και την εφαρμογή της μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599 στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης.

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 79 ff. Gebäudeenergiegesetz (GEG) vom 1 i

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes Registriernummer: i 2

Energiebedarf

Treibhausgasemissionen i kg CO₂-Äquivalent / (m²·a)

Endenergiebedarf dieses Gebäudes i kWh/(m²·a)

Primärenergiebedarf dieses Gebäudes i kWh/(m²·a)

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

i

Anforderungen gemäß GEG²

Primärenergiebedarf

Ist-Wert i kWh/(m²·a) Anforderungswert i kWh/(m²·a)

Energetische Qualität der Gebäudehülle H_T⁻¹

Ist-Wert i W/(m²·K) Anforderungswert i W/(m²·K)

Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau) ☐ eingehalten

Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren

☐ Verfahren nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10

☐ Verfahren nach DIN V 18599

☐ Regelung nach § 31 GEG („Modellgebäudeverfahren“)

☐ Vereinfachungen nach § 50 Absatz 4 GEG

Endenergiebedarf dieses Gebäudes [Pflichtangabe in Immobilienanzeigen] i kWh/(m²·a)

Angaben zur Nutzung erneuerbarer Energien³

Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs auf Grund des § 10 Absatz 2 Nummer 3 GEG

Art:	Deckungs- anteil:	Anteil der Pflichterfül- lung:
	%	%
	%	%
	%	%
Summe:	%	%

Vergleichswerte Endenergie⁴

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

i

Effizienzhaus 40

MFH Neubau

EFH Neubau

EFH energetisch
gut modernisiert

Durchschnitt
Wohngebäudebestand

MFH energetisch nicht
wesentlich modernisiert

EFH energetisch nicht
wesentlich modernisiert

Maßnahmen zur Einsparung³

Die Anforderungen zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs werden durch eine Maßnahme nach § 45 GEG oder als Kombination gemäß § 34 Absatz 2 GEG erfüllt.

☐ Die Anforderungen nach § 45 GEG in Verbindung mit § 16 GEG sind eingehalten.

☐ Maßnahme nach § 45 GEG in Kombination gemäß § 34 Absatz 2 GEG: Die Anforderungen nach § 16 GEG werden um i % unterschritten. Anteil der Pflichterfüllung: i %

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Das GEG lässt für die Berechnung des Energiebedarfs unterschiedliche Verfahren zu, die im Einzelfall zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die ausgewiesenen Bedarfswerte der Skala sind spezifische Werte nach dem GEG pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A_n), die im Allgemeinen größer ist als die Wohnfläche des Gebäudes.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises

² nur bei Neubau sowie bei Modernisierung im Fall des § 80 Absatz 2 GEG

³ nur bei Neubau

⁴ EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus

Εικόνα 7 Τυπικό παράδειγμα γερμανικού ενεργειακού πιστοποιητικού (Energieausweis) για κτίριο κατοικίας – σελίδα ενεργειακής ανάγκης (Bedarfsausweis)

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 79 ff. Gebäudeenergiegesetz (GEG) vom 1 i

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes Registriernummer: i 3

Energieverbrauch

Treibhausgasemissionen i kg CO₂-Äquivalent / (m²·a)

Endenergieverbrauch dieses Gebäudes i kWh/(m²·a)

Primärenergieverbrauch dieses Gebäudes i kWh/(m²·a)

Endenergieverbrauch dieses Gebäudes [Pflichtangabe in Immobilienanzeigen] i kWh/(m²·a)

Verbrauchserfassung – Heizung und Warmwasser

Zeitraum	Energieträger ²	Primär-energie-faktor	Energie-verbrauch [kWh]	Anteil Warmwasser [kWh]	Anteil Heizung [kWh]	Klima-faktor
von bis						

☐ weitere Einträge in Anlage

Vergleichswerte Endenergie ³

Die modellhaft ermittelten Vergleichswerte beziehen sich auf Gebäude, in denen die Wärme für Heizung und Warmwasser durch Heizkessel im Gebäude bereitgestellt wird.

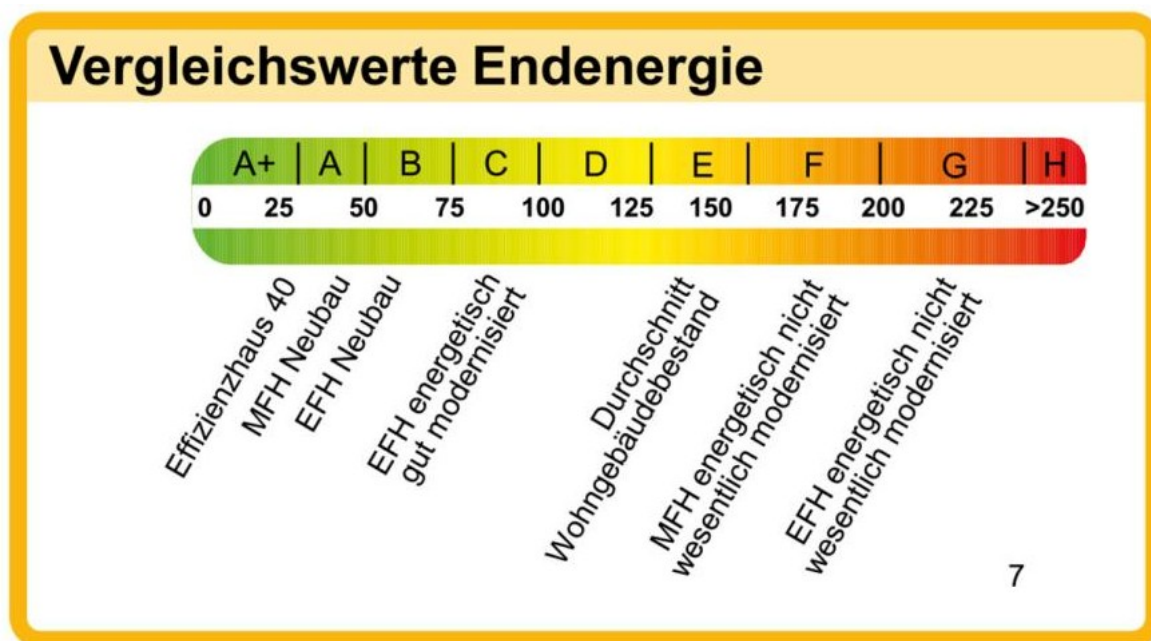
Soll ein Energieverbrauch eines mit Fern- oder Nahwärme beheizten Gebäudes verglichen werden, ist zu beachten, dass hier normalerweise ein um 15 bis 30 % geringerer Energieverbrauch als bei vergleichbaren Gebäuden mit Kesselheizung zu erwarten ist.

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung des Energieverbrauchs ist durch das GEG vorgegeben. Die Werte der Skala sind spezifische Werte pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A_n) nach dem GEG, die im Allgemeinen größer ist als die Wohnfläche des Gebäudes. Der tatsächliche Energieverbrauch eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens vom angegebenen Energieverbrauch ab.

¹ siehe Fußnote 1 auf Seite 1 des Energieausweises
² gegebenenfalls auch Leerstandszuschläge, Warmwasser- oder Kühlpauschale in kWh
³ EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus

Εικόνα 8 Τυπικό παράδειγμα γερμανικού ενεργειακού πιστοποιητικού (Energieausweis) για κτίριο κατοικίας – σελίδα καταγεγραμμένης ενεργειακής κατανάλωσης (Verbrauchsausweis).



Εικόνα 9 Ενδεικτικές τιμές τελικής ενέργειας (Vergleichswerte Endenergie) για διαφορετικούς τύπους κατοικιών, ανά κλάση ενεργειακής απόδοσης (A+ έως H).

3.2 Ελληνικός κανονισμός (TEE-KENAK)

Η ενεργειακή αξιολόγηση των κτιρίων στην Ελλάδα πραγματοποιείται σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) και τις αντίστοιχες Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (TOTEE), οι οποίες καθορίζουν τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης και τις απαιτήσεις για την έκδοση Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ). Η εφαρμογή της μεθοδολογίας πραγματοποιείται μέσω εγκεκριμένου λογισμικού, όπως το TEE-KENAK, το οποίο ενσωματώνει τις απαιτήσεις του κανονιστικού πλαισίου και επιτρέπει την τυποποιημένη ενεργειακή αξιολόγηση νέων και υφιστάμενων κτιρίων.

Η μεθοδολογία του KENAK βασίζεται στον υπολογισμό των ετήσιων ενεργειακών αναγκών για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και, όπου απαιτείται, φωτισμό, λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τις θερμοφυσικές ιδιότητες του κελύφους, τα τεχνικά συστήματα και τα κλιματικά δεδομένα της αντίστοιχης ελληνικής κλιματικής ζώνης. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται υπό τυποποιημένες συνθήκες λειτουργίας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των TOTEE και της Οδηγίας EPBD.

Κεντρικό στοιχείο της ελληνικής μεθοδολογίας αποτελεί επίσης το κτίριο αναφοράς, το οποίο διαθέτει ίδια γεωμετρία, χρήση και προσανατολισμό με το εξεταζόμενο κτίριο, αλλά θεωρείται ότι πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις του KENAK ως προς το θερμικό κέλυφος και τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Η ενεργειακή κατάταξη προκύπτει από τη σύγκριση της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του πραγματικού κτιρίου με εκείνη του κτιρίου αναφοράς, επιτρέποντας την αντικειμενική αξιολόγηση της ενεργειακής του επίδοσης.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η ελληνική μεθοδολογία χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για τη σύγκριση με το γερμανικό σύστημα GEG/DIN V 18599. Η αντιπαράβολή των δύο προσεγγίσεων επικεντρώνεται στις απαιτήσεις εισαγωγής δεδομένων, στη δομή των υπολογισμών, στον τρόπο αξιολόγησης του κτιρίου αναφοράς και στα αποτελέσματα της ενεργειακής πιστοποίησης. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η ανάδειξη των βασικών ομοιοτήτων και διαφορών μεταξύ των δύο εθνικών συστημάτων, καθώς και η αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών μεθοδολογικών επιλογών στην τελική ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου.

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (Π.Ε.Α.)- Σελίδα 1

Α.Π.: Α.Α.:		
ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	ΧΡΗΣΗ: Κτίριο ☐ Τμήμα κτιρίου ☐ Αριθμός ιδιοκτησίας: Κλιματική Ζώνη: Διεύθυνση: Τ.Κ. Πόλη: Έτος κατασκευής: Συνολική επιφάνεια [m²]: Θερμαινόμενη επιφάνεια [m²]: Όνομα ιδιοκτήτη:	(Φωτογραφία κτιρίου)
	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	
	ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
	EP ≤ 0,33·R _α A+	
	0,33·R _α < EP ≤ 0,5·R _α A	
	0,5·R _α < EP ≤ 0,75·R _α B+	
	0,75·R _α < EP ≤ 1,0·R _α B	B
	1,0·R _α < EP ≤ 1,41·R _α Γ	
	1,41·R _α < EP ≤ 1,82·R _α Δ	
	1,82·R _α < EP ≤ 2,27·R _α E	
2,27·R _α < EP ≤ 2,73·R _α Z		
2,73·R _α < EP H		
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]:	Θερμική άνεση ☐	
Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²]:	Οπτική άνεση ☐	
Συνολικές ετήσιες εκπομπές CO ₂ [kg/m ²]:	Ακουστική άνεση ☐	
	Ποιότητα αέρα ☐	

Εικόνα 10 Έντυπο Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) κτιρίου με γραφική απεικόνιση ενεργειακών κατηγοριών και κατάταξη παραδείγματος στην κατηγορία B

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (Π.Ε.Α.)- Σελίδα 2

Α.Π.: Α.Α.:						
ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ						
Πηγή ενέργειας		Τελική χρήση			Συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου (%)	
Ηλεκτρική		Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
		Φωτισμός ☐				
		Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
		Φωτισμός ☐				
Ορυκτά καύσιμα	Πετρέλαιο	Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
	Φυσικό αέριο	Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
	Άλλο:	Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
ΑΠΕ	Ηλιακή	Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
	Βιομάζα	Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
	Γεωθερμία	Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
	Άλλο:	Θέρμανση ☐	Ψύξη ☐	ZNX ☐		
	Φωτισμός ☐					
Σύνολο						
Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση [kWh/m ²]						
Θέρμανση: Ψύξη:						
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX) : Φωτισμός :						
ΑΠΕ & ΣΗΘ : (-)						
ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ						
1.						
2.						
3.						
Αριθμός σύστασης	Εκτιμώμενο αρχικό κόστος επένδυσης [€]	Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και τιμή μονάδας*			Εκτιμώμενη ετήσια μείωση εκπομπών CO ₂ * [kg/m ²]	Εκτιμώμενη περίοδος αποπληρωμής* [έτη]
		[kWh/m ²]	[%]	[€/kWh]		
1						
2						
3						
* Η εξοικονόμηση ενέργειας και τιμή μονάδας αφορά την κάθε επί μέρους σύσταση και τα ποσά δεν αθροίζονται. Ομοίως για την ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την περίοδο αποπληρωμής.						
Ημερομηνία έκδοσης ΠΕΑ:					Σφραγίδα:	
Ονοματεπώνυμο Επιθεωρητή:					Υπογραφή:	
Α.Μ. Επιθεωρητή:						

Εικόνα 11 Ενεργειακό ισοζύγιο και συστάσεις βελτίωσης στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ): ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή και τελική χρήση και προτεινόμενα μέτρα εξοικονόμησης.

Η μεθοδολογία του KENAK παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τη γερμανική προσέγγιση του GEG/DIN V 18599, καθώς και οι δύο βασίζονται σε τυποποιημένες συνθήκες λειτουργίας, στη χρήση προκαθορισμένων προφίλ χρήσης και στην αξιολόγηση του κτιρίου μέσω σύγκρισης με κτίριο αναφοράς. Ωστόσο, η ελληνική μεθοδολογία έχει προσαρμοστεί στις ιδιαιτερότητες του ελληνικού κλίματος, στις εθνικές κλιματικές ζώνες και στα χαρακτηριστικά της εγχώριας αγοράς ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, παράμετροι όπως οι θερμικές απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης, τα ηλιακά κέρδη και οι συντελεστές πρωτογενούς ενέργειας διαφοροποιούνται σε σχέση με το γερμανικό σύστημα.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ο KENAK δεν εφαρμόζεται ως πλήρης ανεξάρτητη ενεργειακή μελέτη, αλλά χρησιμοποιείται ως πλαίσιο συγκριτικής αξιολόγησης της ίδιας μελέτης περίπτωσης. Τα δεδομένα του κτιρίου στο Αμβούργο προσαρμόζονται στις απαιτήσεις της ελληνικής μεθοδολογίας, ώστε να διερευνηθεί η ενεργειακή του κατάσταση υπό τις παραδοχές και τους υπολογιστικούς κανόνες του KENAK. Η συγκριτική αυτή προσέγγιση επιτρέπει την ανάδειξη των ομοιοτήτων και διαφορών μεταξύ των δύο κανονιστικών πλαισίων, καθώς και την αξιολόγηση της επίδρασης που έχουν οι διαφορετικές μεθοδολογικές παραδοχές στην τελική ενεργειακή κατάταξη του ίδιου κτιρίου.

3.2.1 Στόχοι και μεθοδολογική προσέγγιση του κεφαλαίου

Μετά την παρουσίαση της μεθοδολογίας ενεργειακής πιστοποίησης κατά GEG (Ενότητα 3.1) και κατά KENAK (Ενότητα 3.2), στο κεφάλαιο αυτό καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο οι δύο μεθοδολογίες εφαρμόζονται στο συγκεκριμένο κτίριο μελέτης στο Αμβούργο. Βασικός στόχος δεν είναι η αξιολόγηση ή η κατάταξη του ενός εθνικού συστήματος έναντι του άλλου, αλλά η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο δύο διαφορετικές εθνικές εφαρμογές της Οδηγίας EPBD προσεγγίζουν την ενεργειακή αξιολόγηση του ίδιου κτιρίου.

Αρχικά εφαρμόζεται η γερμανική μεθοδολογία GEG/DIN V 18599, η οποία αποτελεί και τη βασική μεθοδολογία της παρούσας εργασίας. Με βάση τα γεωμετρικά, κατασκευαστικά, κλιματικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου υπολογίζονται οι ενεργειακές ανάγκες, η τελική και η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας, καθώς και η αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία, σύμφωνα με το γερμανικό θεσμικό πλαίσιο.

Στη συνέχεια, το ίδιο κτίριο μοντελοποιείται και στο περιβάλλον του TEE-KENAK, προσαρμόζοντας τα δεδομένα εισόδου στις απαιτήσεις της ελληνικής μεθοδολογίας. Η εφαρμογή αυτή δεν αποσκοπεί στην άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων ενεργειακής κατάταξης μεταξύ Ελλάδας και Γερμανίας, καθώς οι δύο κανονισμοί βασίζονται σε διαφορετικές εθνικές παραδοχές, διαφορετικά κλιματικά δεδομένα αναφοράς και διαφορετικούς συντελεστές υπολογισμού. Αντίθετα, σκοπός είναι να αναδειχθούν οι διαφοροποιήσεις που παρουσιάζονται στις απαιτήσεις εισαγωγής δεδομένων, στις παραδοχές, στα υπολογιστικά βήματα και στα αποτελέσματα που προκύπτουν από την

εφαρμογή δύο διαφορετικών εθνικών μεθοδολογιών που βασίζονται στην ίδια ευρωπαϊκή οδηγία.

Ιδιαίτερη διευκρίνιση απαιτείται ως προς τη χρήση των κλιματικών δεδομένων. Στην παρούσα εργασία δεν πραγματοποιείται αντιστοίχιση των γερμανικών κλιματικών συνθηκών με κάποια ελληνική κλιματική ζώνη, ούτε μεταβάλλεται η κλιματική ζώνη προκειμένου να καταστεί δυνατή η σύγκριση των δύο μεθοδολογιών. Σε κάθε εφαρμογή χρησιμοποιούνται τα κλιματικά δεδομένα που προβλέπονται από το αντίστοιχο εθνικό κανονιστικό πλαίσιο. Επομένως, η σύγκριση που πραγματοποιείται αφορά αποκλειστικά τη μεθοδολογική προσέγγιση και όχι την επίδραση διαφορετικών κλιματικών συνθηκών στα αριθμητικά αποτελέσματα.

Με βάση τα παραπάνω, το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει τόσο τις απαιτήσεις των δύο μεθοδολογιών όσο και τη διαδικασία εφαρμογής τους στο εξεταζόμενο κτίριο, δημιουργώντας το απαραίτητο υπόβαθρο για την ανάλυση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που ακολουθούν στα επόμενα κεφάλαια.

3.3 Περιγραφή του κτιρίου μελέτης και διαθέσιμα δεδομένα

Το κτίριο που επιλέγεται ως μελέτη περίπτωσης στην παρούσα εργασία είναι μια ισόγεια μονοκατοικία κατοικίας στην περιοχή Wandsbek-Tonndorf του Αμβούργου. Πρόκειται για υφιστάμενο κτίριο έτους κατασκευής 1957, χωρίς καταγεγραμμένες ουσιαστικές ενεργειακές αναβαθμίσεις, γεγονός που το καθιστά αντιπροσωπευτικό παράδειγμα παλαιότερου οικιακού κτιριακού αποθέματος στη Γερμανία. Η μονοκατοικία αναπτύσσεται σε έναν μόνο όροφο (ισόγειο) και χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως κατοικία, χωρίς άλλες εμπορικές ή επαγγελματικές χρήσεις.



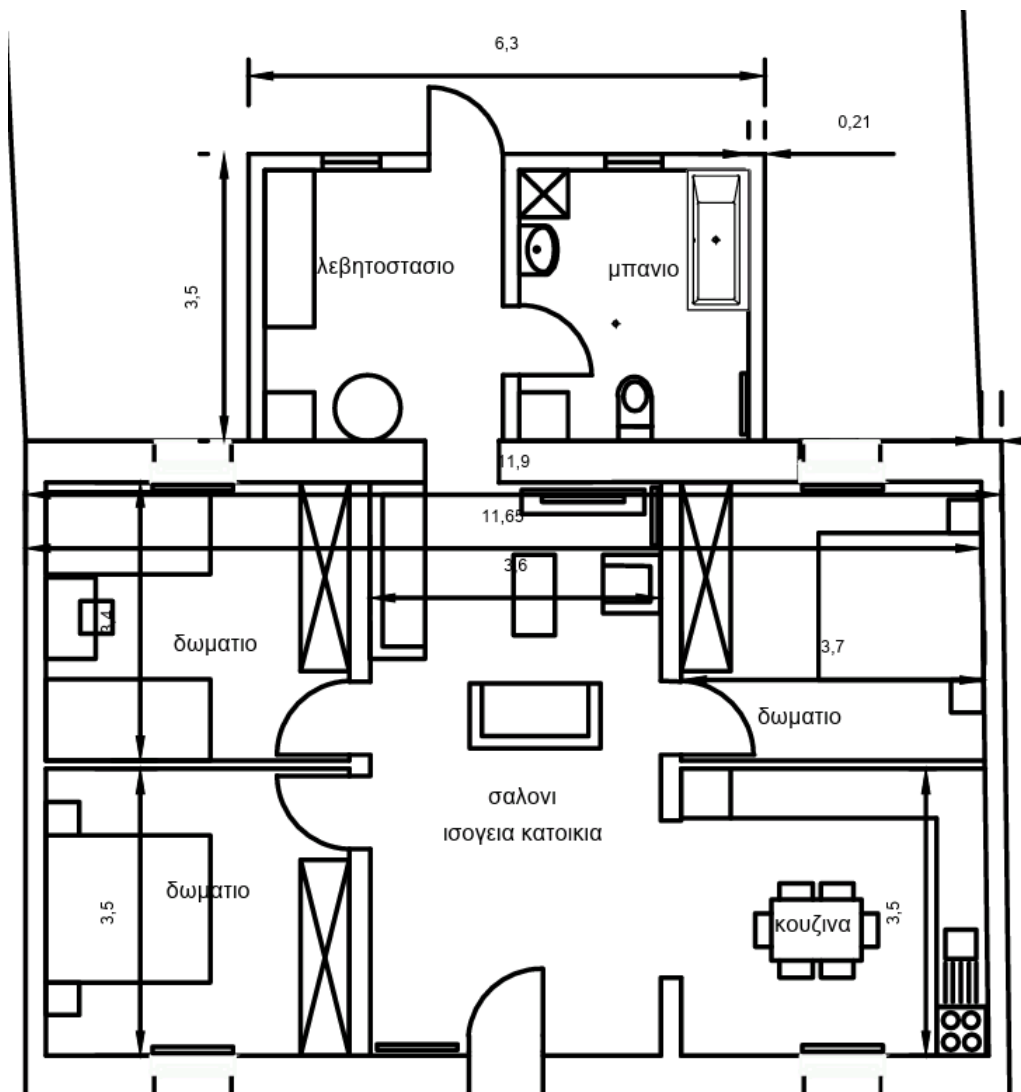
Εικόνα 12 Πρόσοψη κτιρίου μελέτης

3.3.1 Γεωμετρικά και χωρικά χαρακτηριστικά

Η κάτοψη του κτιρίου είναι σχεδόν ορθογωνική, με διαστάσεις περίπου $9,8 \text{ m} \times 12,0 \text{ m}$, γεγονός που αντιστοιχεί σε συνολική επιφάνεια βάσης $117,64 \text{ m}^2$, όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα γεωμετρικά στοιχεία. Το κτίριο αναπτύσσεται σε στάθμη ισογείου με ύψος ορόφου περίπου $3,0 \text{ m}$ και καθαρό εσωτερικό ύψος περί τα $2,8 \text{ m}$, ενώ ο συνολικός εσωτερικός όγκος της κατοικίας υπολογίζεται σε τάξη μεγέθους $240\text{--}350 \text{ m}^3$, σύμφωνα με τα στοιχεία του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τον αρχικό υπολογισμό θερμικών φορτίων.

Η εσωτερική διαρρύθμιση περιλαμβάνει πολλαπλούς κατοικήσιμους χώρους, όπως υπνοδωμάτια, σαλόνι–κουζίνα και βοηθητικούς χώρους (μπάνιο, λεβητοστάσιο κ.λπ.), όπως αποτυπώνεται στην κάτοψη και στα επιμέρους διαγράμματα χώρων. Για κάθε κύριο χώρο υπάρχουν διαθέσιμα αναλυτικά γεωμετρικά δεδομένα (μήκος, πλάτος, επιφάνεια, όγκος), τα οποία έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στη φάση υπολογισμού θερμικών απωλειών

και θα αποτελέσουν τη βάση για τη μετέπειτα θερμική ζωνοποίηση στο πλαίσιο της ενεργειακής πιστοποίησης.



Εικόνα 13 Κάτοψη μονοκατοικίας

3.3.2 Κλιματικά δεδομένα και τοποθεσία

Η μονοκατοικία που αποτελεί τη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας βρίσκεται στο Αμβούργο της Γερμανίας, περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται από δροσερό-εύκρατο κλίμα με αυξημένες απαιτήσεις θέρμανσης κατά τη χειμερινή περίοδο. Οι τοπικές κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν καθοριστικά τόσο τις θερμικές απώλειες όσο και τη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και, κατά συνέπεια, αποτελούν βασική παράμετρο των υπολογισμών σύμφωνα με τη γερμανική μεθοδολογία.

Location data	
Location	Hamburg 22045
Standard outside temperature	-9,3 °C
Year's average outside temperature	9,8 °C
Climatic region	North-West German lowlands
prevailing wind direction	ESE
Earth contact	
Area of base plate	117,64 m ²

Εικόνα 14 Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων θέσης-Hamburg, Germany

Σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στο λογισμικό υπολογισμού θερμικών απωλειών, για την περιοχή του Αμβούργου (T.K. 22045) η τυπική εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού είναι περίπου $-9,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ η μέση ετήσια εξωτερική θερμοκρασία ανέρχεται σε $9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Επιπλέον, η περιοχή κατατάσσεται στην κλιματική ενότητα *North West German Lowlands*, με επικρατούσα διεύθυνση ανέμου ESE. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται ως επίσημες παράμετροι εισόδου για την εφαρμογή της μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599 και για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών του κτιρίου.

Για την εφαρμογή του ελληνικού λογισμικού TEE-KENAK χρησιμοποιήθηκε η Κλιματική Ζώνη Γ, καθώς θεωρήθηκε ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά τις αυξημένες απαιτήσεις θέρμανσης του εξεταζόμενου κτιρίου σε σχέση με τις υπόλοιπες ελληνικές κλιματικές ζώνες. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά για την εφαρμογή της ελληνικής μεθοδολογίας και δεν αποτελεί άμεση αντιστοίχιση των κλιματικών συνθηκών του Αμβούργου με την ελληνική Κλιματική Ζώνη Γ. Σκοπός δεν είναι η εξίσωση των δύο κλιματικών περιοχών, αλλά η δυνατότητα εφαρμογής του KENAK στο ίδιο κτίριο με βάση τις απαιτήσεις του ελληνικού κανονισμού.

Κατά συνέπεια, η συγκριτική προσέγγιση που ακολουθείται στην παρούσα εργασία δεν βασίζεται στη σύγκριση διαφορετικών κλιματικών ζωνών ούτε στην άμεση αντιπαραβολή των αριθμητικών αποτελεσμάτων των δύο κανονισμών. Αντίθετα, κάθε μεθοδολογία εφαρμόζεται σύμφωνα με τις επίσημες τεχνικές προδιαγραφές της, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα κλιματικά δεδομένα, ώστε να αναδειχθούν οι διαφορές στις απαιτήσεις εισαγωγής δεδομένων, στις παραδοχές, στη διαδικασία υπολογισμού και στην ενεργειακή αξιολόγηση του ίδιου κτιρίου.

3.3.3 Διαθέσιμα δεδομένα για την ενεργειακή αποτύπωση

Για τη μελέτη περίπτωσης είναι ήδη διαθέσιμο ένα ολοκληρωμένο σύνολο γεωμετρικών, σχεδιαστικών και κλιματικών δεδομένων, το οποίο αποτελεί τη βάση για την ενεργειακή αξιολόγηση του κτιρίου. Συγκεκριμένα, έχει πραγματοποιηθεί αναλυτική γεωμετρική αποτύπωση της κατοικίας μέσω εξειδικευμένου λογισμικού υπολογισμού θερμικών απωλειών, από την οποία προκύπτουν οι διαστάσεις των χώρων, οι επιφάνειες, οι όγκοι, οι θερμαινόμενες ζώνες και τα βασικά χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του κτιρίου. Για ορισμένους χώρους είναι επίσης διαθέσιμοι υπολογισμοί θερμικών φορτίων σχεδιασμού, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά στοιχεία για την αξιολόγηση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Παράλληλα, είναι διαθέσιμη η αρχιτεκτονική κάτοψη της κατοικίας, από την οποία προκύπτουν η διάταξη των χώρων, οι εξωτερικές και εσωτερικές τοιχοποιίες, τα ανοίγματα και ο προσανατολισμός του κτιρίου. Επιπλέον, έχουν συλλεχθεί τα απαραίτητα κλιματικά δεδομένα για την περιοχή του Αμβούργου (T.K. 22045), τα οποία χρησιμοποιούνται για την επιλογή του αντίστοιχου κλιματικού αρχείου σύμφωνα με τις απαιτήσεις της DIN V 18599.

Για την ολοκλήρωση της ενεργειακής αξιολόγησης απαιτείται η συμπλήρωση επιπλέον στοιχείων που αφορούν τα δομικά χαρακτηριστικά του κελύφους, τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα και τα προφίλ χρήσης του κτιρίου. Όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα πραγματικά δεδομένα, οι αντίστοιχες παράμετροι προσδιορίζονται μέσω τεκμηριωμένων παραδοχών, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών GEG/DIN V 18599 και KENAK, ώστε να εξασφαλίζεται η συνέπεια και η συγκρισιμότητα των υπολογισμών που ακολουθούν.

3.4 Συλλογή και οργάνωση δεδομένων – επιλογή υπολογιστικού μοντέλου

Η μετάβαση από το θεωρητικό και κανονιστικό πλαίσιο στην εφαρμογή πάνω στο συγκεκριμένο κτίριο προϋποθέτει τη συστηματική συλλογή, οργάνωση και επεξεργασία των δεδομένων που απαιτούνται από τις μεθοδολογίες GEG / DIN V 18599 και KENAK. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η διαδικασία αυτή δεν περιορίζεται σε μία απλή συμπλήρωση πεδίων λογισμικού, αλλά ακολουθεί μια δομημένη πορεία βημάτων, η οποία επιτρέπει τον σαφή έλεγχο των παραδοχών και των πηγών αβεβαιότητας.

3.4.1 Κατηγοριοποίηση και πηγές δεδομένων

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας ενεργειακής πιστοποίησης στο εξεταζόμενο κτίριο απαιτείται η συστηματική συγκέντρωση και οργάνωση δεδομένων που αφορούν τόσο τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου όσο και τις συνθήκες λειτουργίας του. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν τις βασικές μεταβλητές εισόδου του υπολογιστικού μοντέλου και επηρεάζουν άμεσα τον υπολογισμό της τελικής και πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας, τη σύγκριση με το κτίριο αναφοράς και την τελική ενεργειακή κατάταξη.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, τα απαιτούμενα δεδομένα οργανώνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: (α) γεωμετρικά και χωρικά στοιχεία, (β) χαρακτηριστικά του θερμικού κελύφους, (γ) τεχνικά συστήματα και (δ) λειτουργικά και κλιματικά δεδομένα. Η κατηγοριοποίηση αυτή διευκολύνει τόσο τη συστηματική εισαγωγή των δεδομένων στο υπολογιστικό μοντέλο όσο και τη συγκριτική εφαρμογή της γερμανικής μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599 και του ελληνικού KENAK. Οι επιμέρους παράμετροι κάθε κατηγορίας παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν.

Η συλλογή των δεδομένων βασίστηκε σε συνδυασμό διαφορετικών πηγών. Τα γεωμετρικά στοιχεία προέκυψαν από την αρχιτεκτονική κάτοψη και την αναλυτική αποτύπωση του κτιρίου στα λογισμικό Trimble Nova, ενώ τα κλιματικά δεδομένα προήλθαν από τα αντίστοιχα αρχεία της περιοχής Tonndorf-Hamburg με T.K. 22045. Τα χαρακτηριστικά του κελύφους και των τεχνικών συστημάτων προσδιορίστηκαν, όπου ήταν δυνατόν, από πραγματικά στοιχεία του κτιρίου. Στις περιπτώσεις όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα, υιοθετήθηκαν τεκμηριωμένες παραδοχές και τυπικές τιμές για μονοκατοικίες της δεκαετίας του 1950 στη Γερμανία, σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία και τις απαιτήσεις της DIN V 18599. Αντίστοιχα, για τη συγκριτική εφαρμογή του KENAK χρησιμοποιήθηκαν οι προβλεπόμενες παραδοχές και τα προφίλ χρήσης των ελληνικών Τεχνικών Οδηγιών.

Η σαφής διάκριση μεταξύ πραγματικών δεδομένων, στοιχείων που προέρχονται από τα λογισμικά, βιβλιογραφικών τιμών και τεκμηριωμένων παραδοχών εξασφαλίζει τη διαφάνεια της μεθοδολογίας και διευκολύνει την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Παράλληλα, επιτρέπει την καλύτερη ερμηνεία των αποκλίσεων που ενδέχεται να εμφανιστούν μεταξύ θεωρητικών υπολογισμών και πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου (performance gap).

Οι πίνακες που ακολουθούν συνοψίζουν τα βασικά δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599 και, σε συγκριτικό επίπεδο, για την αξιολόγηση του ίδιου κτιρίου σύμφωνα με τον ελληνικό KENAK.

Κατηγορία δεδομένων	Γενικό πλαίσιο EPC (EPBD)	Γερμανία – GEG / DIN V 18599	Ελλάδα – KENAK / TOTEE 20701-1
Γεωμετρία και ζωνοποίηση	Θερμικές ζώνες ανά χρήση και λειτουργία, γεωμετρία και προσανατολισμός κτιρίου	Θερμικές ζώνες και χρήσεις σύμφωνα με DIN V 18599-10 και σχετικές προδιαγραφές GEG· διακριτοποίηση σε ζώνες με τυποποιημένα προφίλ (Nutzungsprofile)bbsr-geg.bund+1	Θερμικές ζώνες σύμφωνα με KENAK και TOTEE 20701-1, με τυποποιημένα προφίλ χρήσης ανά κατηγορία κτιρίου (κατοικία, γραφείο κ.λπ.)ypen+1
Κέλυφος και θερμικά χαρακτηριστικά	U-values, θερμογέφυρες, σκιάσεις, διακριτοποίηση αδιαφανών/διαφανών στοιχείων	Ελάχιστες απαιτήσεις U-values και θερμογέφυρες σύμφωνα με GEG· χαρακτηριστικά κελύφους και κτιρίου αναφοράς καθορισμένα σε παραρτήματα GEG και σχετικές DINdatenbank.nwb+1	Ελάχιστες απαιτήσεις U-values και θερμογέφυρες σύμφωνα με KENAK / TOTEE· τυπικές τιμές για δομικά στοιχεία άγνωστης σύνθεσηςkenak+1
Τεχνικά συστήματα (Θ/Ψ/ZNX/αερισμός)	Περιγραφή συστημάτων, βαθμοί απόδοσης, απώλειες, συμμετοχή ΔΠΕ	Ολοκληρωμένη αποτύπωση συστημάτων μέσω επιμέρους τμημάτων της DIN V 18599 (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ZNX, φωτισμός)· εφαρμογή αποδόσεων παραγωγής, διανομής, εκπομπής και αποθήκευσηςbbsr-geg.bund+1	Αποτύπωση συστημάτων σύμφωνα με KENAK και TOTEE· τυπικοί βαθμοί απόδοσης και συντελεστές για διαφορετικούς τύπους λεβήτων, αντλιών θερμότητας, κλιματιστικών συστημάτων κ.λπ.kenak+1
Λειτουργικά δεδομένα και προφίλ χρήσης	Τυποποιημένα ωράρια, θερμοκρασίες, εσωτερικά κέρδη, απαιτήσεις αερισμού ανά κατηγορία χρήσης	<u>Προφίλ χρήσης και εσωτερικά κέρδη καθορισμένα στη DIN V 18599-10, με τυποποιημένες τιμές ανά κατηγορία κτιρίου και ζώνες χρήσηςbbsr-geg.bund</u>	<u>Τυποποιημένα προφίλ χρήσης και εσωτερικά κέρδη μέσω TOTEE 20701-1, ανά κατηγορία κτιρίου και χρήση ζώνηςkenak</u>
Κλιματικά δεδομένα	Αντιπροσωπευτικά κλιματικά αρχεία ή χαρακτηριστικά κλιματικά έτη	<u>Χρήση κλιματικών δεδομένων αναφοράς (Testreferenzjahr) για κάθε κλιματική περιοχή, σύμφωνα με τις γερμανικές προδιαγραφές και παραπομπές της DIN V 18599bbsr-geg.bund</u>	Χρήση τυπικών κλιματικών δεδομένων ανά κλιματική ζώνη της Ελλάδας, όπως ορίζονται στον KENAK και τις σχετικές TOTEE

Πίνακας 2 Κατηγορίες δεδομένων ΠΕΑ σε EPBD, GEG/DIN V 18599 και KENAK/TOTEE.

Η σύγκριση αυτή δείχνει ότι, παρά τις διαφοροποιήσεις στις τεχνικές λεπτομέρειες και στις τυπικές τιμές, τα διαφορετικά εθνικά συστήματα (GEG / DIN V 18599 και KENAK / TOTEE) ακολουθούν μια κοινή λογική ως προς τις κατηγορίες δεδομένων που απαιτούνται για την ενεργειακή πιστοποίηση, σε αντιστοίχιση με τις γενικές απαιτήσεις της EPBD. Για τη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας, η κατανόηση αυτών των ομοιοτήτων και διαφορών είναι κρίσιμη, καθώς επιτρέπει τη συστηματική σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ του γερμανικού και του ελληνικού πλαισίου πιστοποίησης

3.4.2 Επιλογή και ρόλος του υπολογιστικού μοντέλου

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας της παρούσας εργασίας βασίστηκε στη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών και υπολογιστικών εργαλείων, τα οποία υποστηρίζουν τους απαιτούμενους υπολογισμούς για την ενεργειακή αξιολόγηση του κτιρίου σύμφωνα με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο. Η επιλογή τους πραγματοποιήθηκε με γνώμονα όχι μόνο τις λειτουργικές τους δυνατότητες, αλλά κυρίως τη συμβατότητά τους με τις προβλεπόμενες μεθοδολογίες υπολογισμού, την εφαρμογή των αντίστοιχων τεχνικών προτύπων και την ευρεία αποδοχή τους στην επαγγελματική πρακτική. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης βασίζονται σε εργαλεία που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της ενεργειακής πιστοποίησης και επιτρέπουν την αξιόπιστη τεκμηρίωση των υπολογισμών.

Η χρήση περισσότερων του ενός εργαλείων κρίθηκε αναγκαία, καθώς κάθε λογισμικό εξυπηρετεί διαφορετικό στάδιο της μεθοδολογίας. Το TEE-KENAK χρησιμοποιήθηκε για την ενεργειακή αξιολόγηση του κτιρίου και την ανάλυση των σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης σύμφωνα με το ελληνικό θεσμικό πλαίσιο, ενώ το Trimble Nova αξιοποιήθηκε για τους αναλυτικούς υπολογισμούς θερμικών απωλειών και τη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα DIN. Στον Πίνακα Χ παρουσιάζονται συνοπτικά τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν, το αντικείμενο εφαρμογής τους, το κανονιστικό πλαίσιο στο οποίο βασίζονται, καθώς και η καταλληλότητά τους για τον σκοπό της παρούσας εργασίας.

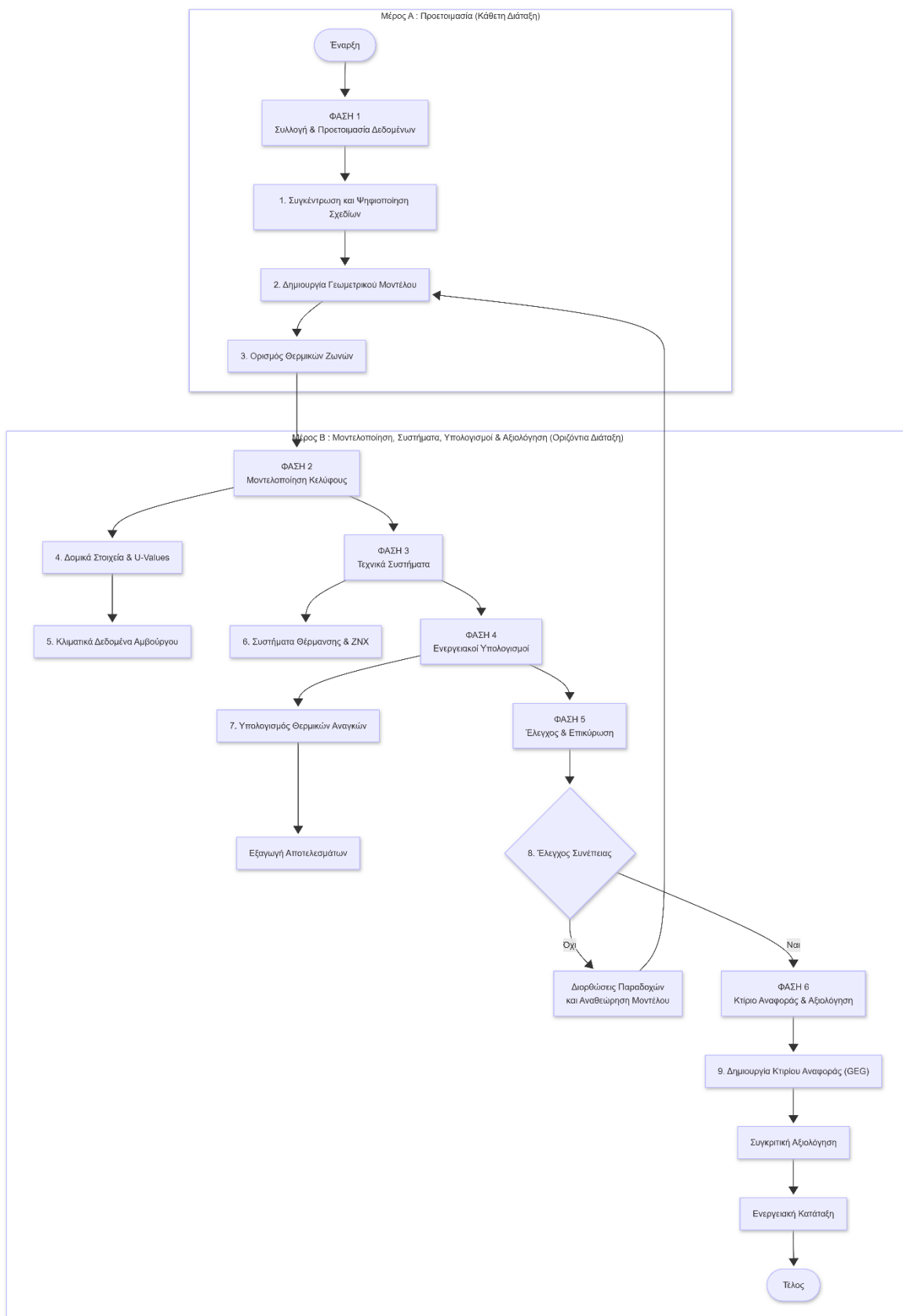
Για την εφαρμογή της γερμανικής μεθοδολογίας επιλέχθηκε ο συνδυασμός του λογισμικού Trimble Nova με συμπληρωματικά υπολογιστικά φύλλα, ώστε να εξασφαλιστεί τόσο η ορθή εφαρμογή των απαιτήσεων των προτύπων όσο και η δυνατότητα επαλήθευσης των επιμέρους υπολογισμών. Το Trimble Nova χρησιμοποιήθηκε για την αναλυτική αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου, τον καθορισμό των δομικών στοιχείων, των ανοιγμάτων και των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών τους, καθώς και για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών σύμφωνα με τα ισχύοντα γερμανικά πρότυπα. Επιπλέον, το λογισμικό επιτρέπει τη συσχέτιση του έτους κατασκευής με τυπικές τιμές θερμομονωτικών χαρακτηριστικών, διευκολύνοντας την αξιολόγηση υφιστάμενων κτιρίων όταν δεν είναι διαθέσιμη πλήρης τεχνική τεκμηρίωση.

Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν τα υπολογιστικά φύλλα Υπολογισμός θερμικών αναγκών και Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης (ZNX), τα οποία λειτούργησαν ως συμπληρωματικά εργαλεία οργάνωσης, ελέγχου και τεκμηρίωσης των αποτελεσμάτων. Στο πρώτο συγκεντρώνονται οι υπολογισμοί των θερμικών αναγκών των επιμέρους χώρων και της συνολικής απαιτούμενης θερμικής ισχύος του κτιρίου, ενώ στο δεύτερο καταγράφονται οι παράμετροι που αφορούν την παραγωγή και αποθήκευση ζεστού νερού χρήσης. Η χρήση των φύλλων αυτών ενισχύει τη διαφάνεια της διαδικασίας, καθώς καθιστά δυνατή την παρακολούθηση των ενδιάμεσων βημάτων των υπολογισμών και τη διασταύρωση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το λογισμικό.

Τέλος, για την τεχνική τεκμηρίωση της διαστασιολόγησης της εγκατάστασης αξιοποιήθηκαν στοιχεία από τα τεχνικά φυλλάδια του κατασκευαστή Danfoss, όπως οι ονομαστικές αποδόσεις, τα θερμικά φορτία και τα επιτρεπόμενα όρια λειτουργίας του εξοπλισμού. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν επικουρικά για την επαλήθευση της συμβατότητας της πραγματικής εγκατεστημένης ισχύος με τα αποτελέσματα των υπολογισμών και όχι ως υποκατάστατο των παραμέτρων που ορίζονται από το θεσμικό πλαίσιο (GEG, DIN V 18599). Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία παραμένει πλήρως εναρμονισμένη με τις απαιτήσεις των προτύπων, ενώ παράλληλα ελέγχεται η αντιστοίχιση των θεωρητικών υπολογισμών με τα χαρακτηριστικά του πραγματικού εξοπλισμού.

3.4.3 Διαδικασία συλλογής, εισαγωγής και ελέγχου δεδομένων – αναλυτικά βήματα

Η πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας οργανώνεται σε διαδοχικά βήματα, τα οποία επαναλαμβάνονται όπου χρειάζεται μέχρι να επιτευχθεί ένα συνεπές και τεκμηριωμένο υπολογιστικό μοντέλο:



Εικόνα 15 Διαδικασία συλλογής δεδομένων, μοντελοποίησης και αξιολόγησης κτιρίου αναφοράς σύμφωνα με το GEG

1. Συγκέντρωση και ψηφιοποίηση σχεδίων

Αρχικά συλλέγονται όλα τα διαθέσιμα σχέδια και διαγράμματα της μονοκατοικίας (κάτοψη ισογείου, ενδεχόμενες όψεις ή τομές, πρόχειρα σκαριφήματα) και ελέγχεται η συμφωνία τους με την πραγματική κατάσταση του κτιρίου. Τα σχέδια οργανώνονται σε ενιαίο ψηφιακό αρχείο (π.χ. μορφή CAD ή εισαγόμενο υπόβαθρο στο Trimble Nova), ώστε να αποτελέσουν τη γεωμετρική βάση του μοντέλου.

2. Δημιουργία γεωμετρικού μοντέλου στο Trimble Nova

Στο επόμενο βήμα, η κάτοψη εισάγεται στο λογισμικό Trimble Nova και επανασχεδιάζεται, όπου χρειάζεται, με ακριβείς διαστάσεις, ώστε να δημιουργηθεί το βασικό δισδιάστατο/τρισδιάστατο μοντέλο της ισόγειας μονοκατοικίας. Ορίζονται οι εξωτερικοί και εσωτερικοί τοίχοι, τα χωρίσματα, οι πόρτες και τα παράθυρα, καθώς και το ύψος ορόφου και τα βασικά επίπεδα του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται ότι οι επιφάνειες και οι όγκοι που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς προκύπτουν από ένα ενιαίο, συνεπές γεωμετρικό μοντέλο.

3. Ορισμός θερμικών ζωνών και χρήσεων χώρων

Αφού διαμορφωθεί η βασική γεωμετρία, οι επιμέρους χώροι (υπνοδωμάτια, σαλόνι-κουζίνα, μπάνιο, λεβητοστάσιο κ.λπ.) ομαδοποιούνται σε θερμικές ζώνες σύμφωνα με τη χρήση τους και τις απαιτούμενες εσωτερικές συνθήκες. Για κάθε ζώνη αποδίδεται κατηγορία χρήσης «κατοικία», ορίζονται οι αντίστοιχες θερμοκρασίες αναφοράς και τα τυπικά προφίλ λειτουργίας, σε συμφωνία με τις απαιτήσεις της DIN V 18599 και των σχετικών κανονιστικών υποθέσεων.

4. Προσδιορισμός δομικών στοιχείων και U-values

Στη συνέχεια καταχωρίζονται τα δομικά στοιχεία του κελύφους για κάθε χώρο: εξωτερικοί τοίχοι, οροφή, δάπεδο επί εδάφους, κουφώματα και υαλοπίνακες. Για κάθε στοιχείο ορίζεται η στρωματογραφία και υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value), λαμβάνοντας υπόψη την εποχή κατασκευής (1957) και τυπικές κατασκευαστικές λύσεις της περιόδου, όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία και σε οδηγούς ενεργειακής αποτίμησης υφιστάμενων κτιρίων. Όπου δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία, χρησιμοποιούνται τυπικές τιμές με συντηρητικές παραδοχές, οι οποίες καταγράφονται ρητά.

Στοιχείο (περιγραφή)	Νέο κτίριο ENEC 2009 – U (W/m ² K)	Κτίριο 1958–68 – U (W/m ² K)
Εξωτερική πόρτα	1,8	5,0
Εξωτερικός τοίχος	0,28	1,4
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0,35	–
Πλάκα δαπέδου	0,35	2,1
Στέγη / οροφή	0,20	2,1
Παράθυρο στέγης	1,4	–
Οροφή προς εξωτερικό αέρα	0,28	–
Οροφή προς μη θερμαινόμενο χώρο	0,35	0,8 (οροφή υπογείου)
Οροφή σοφίτας / τελευταίου ορόφου	0,20	–
Εξωτερικό παράθυρο	1,3	5,0
Δάπεδο προς εξωτερικό αέρα	0,28	–
Δάπεδο προς μη θερμαινόμενο χώρο	0,35	2,1 (πλάκα δαπέδου)
Εσωτερικός τοίχος προς βοηθητικό χώρο	0,20	5,0 (Innenwand)
Εσωτερικός τοίχος προς μη θερμαινόμενο χώρο	0,35	5,0 (Innenwand)

Στοιχείο (περιγραφή)	Νέο κτίριο ENEV 2009 – U (W/m ² K)	Κτίριο 1958–68 – U (W/m ² K)
Εσωτερική πόρτα	–	5,0
Εσωτερικό παράθυρο	–	5,0
Φεγγίτης οροφής / φωταγωγός	2,7	–

Πίνακας 3 Σύγκριση χαρακτηριστικών U παλαιού κτιρίου (1958–68) και νέου κτιρίου κατά ENEV 2009

Η σύγκριση των συντελεστών θερμοπερατότητας (U-values) ανάμεσα στο υφιστάμενο κτίριο της περιόδου 1958–1968 και στις τυπικές τιμές ενός νεόδμητου κτιρίου κατοικίας σύμφωνα με τον κανονισμό ENEV 2009 αναδεικνύει τη σημαντική βελτίωση της θερμικής προστασίας που έχει επιτευχθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Στο παλαιό κτίριο, οι τιμές U για το κέλυφος και τα ανοίγματα (εξωτερικοί τοίχοι περίπου 1,4 W/m²K, στέγη 2,1 W/m²K, κουφώματα και πόρτες 5,0 W/m²K) αντανακλούν κατασκευαστικές λύσεις ουσιαστικά χωρίς θερμομόνωση και με απλούς υαλοπίνακες, με αποτέλεσμα υψηλές θερμικές απώλειες και αυξημένα φορτία θέρμανσης. Αντίθετα, στο σενάριο νεόδμητου κτιρίου κατά ENEV 2009 οι αντίστοιχες τιμές μειώνονται σε επίπεδα της τάξης των 0,28–0,35 W/m²K για τους εξωτερικούς τοίχους, 0,20 W/m²K για τη στέγη και περίπου 1,3–1,8 W/m²K για τα σύγχρονα κουφώματα, λόγω της συστηματικής χρήσης εξωτερικής θερμομόνωσης και ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων υαλοστασίων. Η μείωση αυτή των U-values αποτελεί άμεση συνέπεια της αυστηροποίησης των ενεργειακών κανονισμών (ENEV, GEG, EPBD) και έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική περιορισμένη διαφυγή θερμότητας μέσω του κελύφους, τη μείωση των απαιτούμενων θερμικών φορτίων και, τελικά, την επίτευξη χαμηλότερης κατανάλωσης τελικής και πρωτογενούς ενέργειας για τη θέρμανση της κατοικίας.

5. Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων Αμβούργου

Στο μοντέλο ορίζεται η τοποθεσία «Hamburg 22045», ώστε να συσχετιστεί το κτίριο με την κατάλληλη κλιματική ζώνη («North-West German lowlands») και τις αντίστοιχες τιμές εξωτερικών θερμοκρασιών σχεδιασμού. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται τόσο στον

υπολογισμό θερμικών απωλειών όσο και στη μεταγενέστερη ενεργειακή αποτίμηση σύμφωνα με τη DIN V 18599.

6. Καταγραφή και εισαγωγή τεχνικών συστημάτων

Παράλληλα με τα γεωμετρικά στοιχεία, συλλέγονται πληροφορίες για τα τεχνικά συστήματα θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης που είναι εγκατεστημένα στη μονοκατοικία (τύπος συστήματος, καύσιμο, ισχύς, διανομή, θερμαντικά σώματα, τρόπος παραγωγής ZNX). Τα στοιχεία αυτά εισάγονται στο Trimble Nova και στα αντίστοιχα υπολογιστικά φύλλα, όπου αποδίδονται οι κατάλληλοι βαθμοί απόδοσης παραγωγής, διανομής και εκπομπής, σύμφωνα με τις σχετικές τεχνικές οδηγίες και πρότυπα.

7. Παραγωγή υπολογισμών θερμικών αναγκών και ZNX

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής δεδομένων, το λογισμικό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών ανά χώρο και συνολικά για το κτίριο, καθώς και για την εκτίμηση των αναγκών και των φορτίων που σχετίζονται με το ζεστό νερό χρήσης. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε μορφή πινάκων και μεταφέρονται στα υπολογιστικά φύλλα Υπολογισμός θερμικών αναγκών και Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης (ZNX), όπου οργανώνονται ανά ζώνη, χρήση και σύστημα, ώστε να είναι δυνατός ο περαιτέρω έλεγχος και η σύγκριση με το κτίριο αναφοράς.

8. Έλεγχος συνέπειας και διόρθωση παραδοχών

Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιείται έλεγχος συνέπειας: οι συνολικές επιφάνειες και όγκοι που προκύπτουν από το λογισμικό συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές από τα σχέδια, ελέγχεται η λογική των U-values σε σχέση με την εποχή κατασκευής και επιβεβαιώνεται ότι τα προφίλ χρήσης και οι θερμοκρασίες αναφοράς είναι συμβατά με τις απαιτήσεις της DIN V 18599. Σε περίπτωση ασυμφωνιών, το μοντέλο αναθεωρείται (π.χ. διόρθωση διαστάσεων, αναπροσαρμογή παραδοχών για δομικά στοιχεία ή αποδόσεις συστημάτων) μέχρι να επιτευχθεί ένα συνεκτικό αποτέλεσμα.

9. Προετοιμασία δεδομένων για κτίριο αναφοράς και συγκριτική αξιολόγηση
Τέλος, τα οργανωμένα δεδομένα του πραγματικού κτιρίου αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των αντίστοιχων παραμέτρων του κτιρίου αναφοράς, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του GEG. Με δεδομένη τη γεωμετρία και τη χρήση, τα χαρακτηριστικά του

κελύφους και των συστημάτων τροποποιούνται ώστε να ανταποκρίνονται στις ελάχιστες προδιαγραφές του κανονισμού, και τα δύο σύνολα δεδομένων χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη συγκριτική αξιολόγηση πρωτογενούς ενέργειας και την εξαγωγή της ενεργειακής κατάταξης.

Μέσα από αυτή τη διαδοχική διαδικασία, η συλλογή και οργάνωση των δεδομένων δεν αποτελεί απλώς ένα τυπικό διοικητικό βήμα, αλλά κρίσιμο στάδιο διαμόρφωσης του υπολογιστικού μοντέλου, από το οποίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και η ερμηνεία τους στο πλαίσιο της συζήτησης για το performance gap.

3.4.4 Υπολογισμός απαιτούμενης θερμικής ισχύος και τεκμηρίωση παραδοχών

Η μετάβαση από το υπολογιστικό μοντέλο του κτιρίου στη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης απαιτεί τον σαφή και τεκμηριωμένο προσδιορισμό της απαιτούμενης θερμικής ισχύος του συστήματος. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η διαδικασία αυτή δεν αποτελεί μέρος της τυπικής μεθοδολογίας ενεργειακής πιστοποίησης κατά GEG / DIN V 18599, αλλά αντιμετωπίζεται ως συμπληρωματικό βήμα που συνδέει την ενεργειακή αποτίμηση με τον πρακτικό σχεδιασμό της εγκατάστασης. Για τον σκοπό αυτόν, αφενός υπολογίζεται τυποποιημένο θερμικό φορτίο θέρμανσης (Norm-Heizlast) σύμφωνα με τη DIN EN 12831-1, η οποία χρησιμοποιείται στη Γερμανία ως βασικό εργαλείο διαστασιολόγησης των συστημάτων θέρμανσης, και αφετέρου αξιοποιούνται οι τιμές του ετήσιου θερμικού φορτίου και των αντίστοιχων ωρών πλήρους χρήσης, όπως εφαρμόζονται στον τεχνικό σχεδιασμό και στη λειτουργία δικτύων τηλεθέρμανσης και κεντρικών συστημάτων θέρμανσης για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της επιλεγμένης ισχύος. Το Θερμικό φορτίο θέρμανσης (Heizlast) αποτελεί το σημείο εκκίνησης για τη διαστασιολόγηση του τμήματος θέρμανσης χώρων. Σύμφωνα με τη DIN EN 12831-1, η Heizlast εκφράζει τη θερμική ισχύ που απαιτείται ώστε, υπό καθορισμένες συνθήκες υπολογισμού, να καλύπτονται οι απώλειες μετάδοσης και αερισμού και να διατηρούνται οι επιθυμητές εσωτερικές θερμοκρασίες. Για το εξεταζόμενο διαμέρισμα, το τυποποιημένο θερμικό φορτίο θέρμανσης προκύπτει από την αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων του γεωμετρικού και θερμοτεχνικού μοντέλου και ανέρχεται σε 8,8 kW. Η τιμή αυτή αφορά αποκλειστικά τη θέρμανση χώρων, καθώς δεν περιλαμβάνει

την απαίτηση για την προετοιμασία ζεστού νερού χρήσης, και αποτελεί το βασικό μέγεθος αναφοράς για τη σύγκριση με την εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος.

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να διευκρινιστεί ότι, παρότι το γερμανικό θεσμικό πλαίσιο για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων δεν επιβάλλει ρητά έναν μοναδικό αριθμό ωρών λειτουργίας θέρμανσης, οι ώρες δεν καθορίζονται αυθαίρετα «κατά την κρίση του μηχανικού», αλλά προκύπτουν μέσα από τις τυποποιημένες κλιματικές σειρές, τις θερμοκρασίες σχεδιασμού και τα προφίλ χρήσης που ενσωματώνονται στη μεθοδολογία του GEG και των προτύπων DIN V 18599 και ISO 52016-1 (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020; Deutsches Institut für Normung, 2018; International Organization for Standardization, 2017; European Commission, 2024). Η επιλογή των 1.950 ωρών λειτουργίας στην παρούσα εργασία βασίζεται σε τεκμηριωμένο εύρος τιμών για μόνιμες κατοικίες στο κλίμα της περιοχής Αμβούργου και υιοθετείται ως κανονικοποιημένη τιμή αναφοράς, προκειμένου να είναι διαφανείς οι παραδοχές και να είναι δυνατός ο έλεγχος ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, και όχι ως αυθαίρετη προσωπική εκτίμηση (Buildings Performance Institute Europe, 2022; Economidou et al., 2020; Olasolo-Alonso et al., 2023). Παράλληλα, η απαιτούμενη θερμική ισχύς σχεδιασμού P_{design} προκύπτει από τον υπολογισμό φορτίου θέρμανσης (Norm-Heizlast) στη δυσμενέστερη εξωτερική θερμοκρασία και συνδέεται άμεσα με την ονομαστική ισχύ του συστήματος P_{nom} , η οποία επιλέγεται ώστε να καλύπτει τουλάχιστον το φορτίο αιχμής με ένα μικρό περιθώριο ασφαλείας, ανεξάρτητα από τις ετήσιες ώρες λειτουργίας (Deutsches Institut für Normung, 2018; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019). Οι ώρες λειτουργίας επηρεάζουν την ετήσια ενέργεια Q_{Jahr} και τους δείκτες κατανάλωσης, αλλά δεν μεταβάλλουν τη βασική τιμή της ισχύος αιχμής που καθορίζει τη διαστασιολόγηση του εξοπλισμού (ISO 52016-1:2017; Hamdy et al., 2013). Στην πραγματική λειτουργία, το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί μόνο για περιορισμένο χρονικό διάστημα κοντά στο φορτίο αιχμής και το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου θέρμανσης καλύπτεται σε μερικό φορτίο, όπου ο εποχικός βαθμός απόδοσης διαφοροποιείται σε σχέση με την ονομαστική τιμή – με επιδείνωση σε συμβατικά on/off συστήματα και συχνά βελτίωση σε συστήματα με αναλογική ρύθμιση, όπως αντλίες θερμότητας inverter και συστήματα VRV/VRF (Hamdy et al., 2013; Mitsopoulos et al., 2018). Η παραδοχή των 1.950 ωρών λειτουργίας ερμηνεύεται, συνεπώς, ως τυπική συνολική διάρκεια λειτουργίας ενός συστήματος που έχει διαστασιολογηθεί ως προς το φορτίο αιχμής αλλά λειτουργεί

στην πράξη κυρίως σε μερικό φορτίο, σε συμφωνία με τη λογική των τυποποιημένων υπολογιστικών μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή πιστοποίηση στο πλαίσιο της EPBD και του GEG (Buildings Performance Institute Europe, 2022; European Commission, 2024; Attia et al., 2022).

- Υπολογισμός ετήσιου θερμικού φόρτου και ρόλος του Q_{Jahr}

Για τον συνολικό σχεδιασμό της σύνδεσης, ειδικά όταν από την ίδια παροχή καλύπτονται τόσο οι ανάγκες θέρμανσης όσο και οι ανάγκες ζεστού νερού χρήσης, απαιτείται να ληφθεί υπόψη ο ετήσιος θερμικός φόρτος του διαμερίσματος. Ορίζεται επομένως το μέγεθος Q_{Jahr} , το οποίο εκφράζει τη συνολική ετήσια θερμική ενέργεια (θέρμανση + ZNX) σε kWh/a. Στην παρούσα ανάλυση, ο ετήσιος θερμικός φόρτος προκύπτει από το άθροισμα της ετήσιας απαίτησης θέρμανσης – όπως υπολογίζεται με βάση τη Norm-Heizlast και τη μεθοδολογία DIN EN 12831-1 / DIN V 18599 – και της ετήσιας απαίτησης για ζεστό νερό χρήσης, όπως προκύπτει από το υπολογιστικό φύλλο Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Η συνολική τιμή που χρησιμοποιείται είναι 47.525,4 kWh/a και αποτελεί το ενεργειακό μέγεθος εισόδου για τον μετασχηματισμό της ετήσιας κατανάλωσης σε ισοδύναμη απαιτούμενη ισχύ σύνδεσης. Ο χαρακτηρισμός «περίπου» είναι σκόπιμος, διότι τόσο οι επιμέρους παράμετροι του υπολογισμού της θέρμανσης όσο και οι παράμετροι του υπολογισμού ZNX (αριθμός χρηστών, τυπικές καταναλώσεις, θερμοκρασίες, βαθμοί απόδοσης) βασίζονται σε τυποποιημένες και στρογγυλοποιημένες τιμές σχεδιασμού και όχι σε μετρημένα πραγματικά δεδομένα. Συνεπώς, το προκύπτον Q_{Jahr} εκφράζει ένα προσεγγιστικό, αλλά τεχνικά αποδεκτό, ετήσιο ενεργειακό φορτίο, κατάλληλο για σκοπούς διαστασιολόγησης και ενεργειακής αξιολόγησης. Για λόγους διαφάνειας, στο Παράρτημα παρατίθενται τα αντίστοιχα φύλλα υπολογισμού από το σχήμα πιστοποίησης και το xls, στα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά οι παραδοχές και τα ενδιάμεσα βήματα που οδηγούν στο αποτέλεσμα $Q_{Jahr} \approx 47.525,4 \text{ kWh/a}$.

- **Υπολογισμός θερμικού ετήσιου φόρτου ZNX με Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης**

- Ο θερμικός ετήσιος φόρτος για ζεστό νερό χρήσης (WW-Wärmebedarf) προκύπτει στην παρούσα εργασία με χρήση του υπολογιστικού φύλλου Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης (TWW-Speicher) το οποίο βασίζεται στη μεθοδολογία της DIN 4708 για κεντρικά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού σε κτίρια κατοικίας. Αρχικά, προσδιορίζεται ο δείκτης ενεργειακής απαίτησης (Bedarfskennzahl) N (ή NL-Zahl) του κτιρίου, μέσω τυποποιημένης διαδικασίας που λαμβάνει υπόψη τον αριθμό και τον τύπο των διαμερισμάτων, την εκτιμώμενη πληρότητα, τον αριθμό και το είδος των zapfstellen (π.χ. μπανιέρα, ντους, νιπτήρες) καθώς και τις αντίστοιχες απαιτούμενες θερμικές ποσότητες ανά zapfstelle, σύμφωνα με τα σχετικά Formblätter. Η Bedarfskennzahl αυτή εκφράζει σε συμπυκνωμένη μορφή το επίπεδο ζήτησης ζεστού νερού της εγκατάστασης και χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση του Speicher-Wassererwärmers, δηλαδή του όγκου αποθήκευσης και της απαιτούμενης θερμικής ισχύος.

Στη συνέχεια, ο ημερήσιος όγκος ζήτησης ζεστού νερού V_{Tag} (σε L/ημέρα) προσδιορίζεται ως συνάρτηση της Bedarfskennzahl και των παραδοχών χρήσης και μετατρέπεται σε ετήσιο θερμικό Bedarf μέσω της γνωστής σχέσης για την ενέργεια θέρμανσης νερού. Για νερό που θερμαίνεται τυπικά από 10 °C σε 60 °C, η απαιτούμενη ενέργεια ανά λίτρο είναι περίπου 0,058 kWh/l, οπότε ο ετήσιος WW-Wärmebedarf μπορεί να γραφεί σε γενική μορφή ως:

$$Q_{WW,Jahr} = \frac{V_{Tag} \cdot 365 \cdot c_p \cdot \Delta T}{\eta} \approx V_{Tag} \cdot 365 \cdot 0,058 \text{ kWh/l} \cdot \frac{1}{\eta}$$

όπου c_p είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού, ΔT η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κρύου και ζεστού νερού και η ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης παραγωγής. Το υπολογιστικό φύλλο TWW-Speicher υλοποιεί τον παραπάνω υπολογισμό, ενσωματώνοντας τις τυποποιημένες παραδοχές για τη χρήση και τις απώλειες, και δίνει ως αποτέλεσμα για το εξεταζόμενο διαμέρισμα έναν ετήσιο WW-Wärmebedarf ίσο με 2.855,7 kWh/a. Η τιμή αυτή ενσωματώνεται στο συνολικό ετήσιο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου ως επιμέρους συνιστώσα του Q_{Jahr} και συμβάλλει στην τελική εκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης, όπως αναλύεται παρακάτω.

- **Μετατροπή Q_{Jahr} σε απαιτούμενη ισχύ σύνδεσης Q_{WV}**

Η απαιτούμενη θερμική ισχύς σύνδεσης Q_{WV} προσδιορίζεται μέσω της συνήθως χρησιμοποιούμενης σχέσης μεταξύ ετήσιου θερμικού φόρτου και ωρών πλήρους χρήσης της εγκατάστασης:

$$Q_{WV} = \frac{Q_{Jahr}}{t_{Voll}}$$

όπου Q_{WV} είναι η απαιτούμενη ισχύς σύνδεσης σε kW, Q_{Jahr} ο ετήσιος θερμικός φόρτος σε kWh/a και t_{Voll} οι ώρες πλήρους χρήσης σε h/a. Οι ώρες πλήρους χρήσης (Vollbenutzungsstunden) εκφράζουν τον θεωρητικό χρόνο κατά τον οποίο ο παραγωγός θερμότητας θα έπρεπε να λειτουργεί στη μέγιστη ονομαστική ισχύ του, ώστε να καλύψει το ετήσιο θερμικό φορτίο του κτιρίου. Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται εκτενώς στη σχεδίαση συστημάτων τηλεθέρμανσης και κεντρικών θερμικών μονάδων, καθώς επιτρέπει τη μετατροπή ενός ετήσιου ενεργειακού μεγέθους σε ισοδύναμη ονομαστική ισχύ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση της σύνδεσης ή της μονάδας παραγωγής. Οι ώρες πλήρους χρήσης δεν προκύπτουν από μια συγκεκριμένη εξίσωση σε πρότυπο τύπου DIN EN 12831-1, αλλά από τον ορισμό τους ως λόγου μεταξύ ετήσιου θερμικού φόρτου και εγκατεστημένης θερμικής ισχύος, καθώς και από στατιστικά και εμπειρικά δεδομένα λειτουργίας πραγματικών εγκαταστάσεων. Στη σχετική τεχνική βιβλιογραφία και σε οδηγούς θέρμανσης για κτίρια κατοικίας αναφέρονται για τυπικές μονοκατοικίες (Einfamilienhäuser) ενδεικτικές τιμές της τάξης των περίπου 1.500–1.800 h/a για αποκλειστική κάλυψη θέρμανσης χώρων και περίπου 1.800–2.100 h/a όταν ο ίδιος παραγωγός θερμότητας καλύπτει τόσο τη θέρμανση χώρων όσο και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Οι τιμές αυτές αποτελούν εμπειρικά/βιβλιογραφικά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται για ελέγχους ευλογοφάνειας και πρόχειρη εκτίμηση της αναγκαίας ισχύος του παραγωγού θερμότητας και δεν συνιστούν άμεσες, δεσμευτικές απαιτήσεις των προτύπων, αλλά είναι συμβατές με τη μεθοδολογία υπολογισμού, καθώς προκύπτουν άμεσα από τον λόγο Q_{Jahr}/Φ_N .

Για το εξεταζόμενο διαμέρισμα λαμβάνεται $Q_{Jahr} = 47.525,4$ kWh/a και, με παραδοχή $t_{Voll} = 1.800$ h/a, προκύπτει:

$$Q_{WV} = \frac{47.525,4 \text{ kWh/a}}{1.800 \text{ h/a}} \approx 26,4 \text{ kW}$$

Η τιμή αυτή εκφράζει τη συνολική απαιτούμενη θερμική ισχύ του διαμερίσματος, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις ανάγκες θέρμανσης όσο και τις ανάγκες ζεστού νερού χρήσης, και συνεπώς χρησιμοποιείται ως μέγεθος αναφοράς για τη σύγκριση με την εγκατεστημένη ισχύ της σύνδεσης.

- **Συσχέτιση με Norm-Heizlast, Wohnungsstation και ρόλο ZNX**

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας συνοψίζονται στον Πίνακα Χ, ο οποίος έχει καταρτιστεί σε μορφή υπολογιστικού φύλλου (xls) για λόγους ελέγχου, τεκμηρίωσης και συγκριτικής αξιολόγησης των επιμέρους μεγεθών. Το φύλλο αυτό δεν αποτελεί αυτοτελή κανονιστική μέθοδο, αλλά λειτουργεί ως βοηθητικό εργαλείο επεξεργασίας και διασταύρωσης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη νορμοτυπική μεθοδολογία της εργασίας. Βασική αφετηρία του υπολογισμού είναι η ονομαστική θερμική ισχύς θέρμανσης του κτιρίου (Norm-Heizlast), η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με τη DIN EN 12831-1 και αποτελεί θεμελιώδες μέγεθος αναφοράς για τη θέρμανση χώρων.

Παράλληλα, στο xls εισάγονται τα χαρακτηριστικά της κατοικίας και της εγκατάστασης, δηλαδή η ωφέλιμη επιφάνεια, ο Heizungspeicher της Danfoss Wohnungsstation και η ονομαστική Anschlussleistung της Wohnungsstation. Τα δεδομένα αυτά δεν εξετάζονται απομονωμένα, αλλά συσχετίζονται με το υπολογισμένο θερμικό φορτίο του κτιρίου και με την ετήσια απαίτηση θερμικής ενέργειας, ώστε να αξιολογηθεί αν η εγκατάσταση είναι συνεπής τόσο ως προς τη θέρμανση χώρων όσο και ως προς την προετοιμασία ζεστού νερού χρήσης (ZNX).

Ο συνολικός ετήσιος θερμικός φόρτος του διαμερίσματος αποτυπώνεται στο xls ως Q_{Jahr} , ο οποίος προκύπτει από το άθροισμα του Heizwärmebedarf (θέρμανση χώρων) και του WW-Wärmebedarf (ζεστό νερό χρήσης). Με την παραδοχή $t_{\text{Voll}} = 1.800 \text{ h/εφαρμόζεται}$ στο xls η σχέση

$$Q_{\text{wv}} = \frac{Q_{\text{Jahr}}}{t_{\text{Voll}}},$$

με αποτέλεσμα να προκύπτει απαιτούμενη ισχύς σύνδεσης $Q_{\text{wv}} \approx 26,4 \text{ kW}$. Η τιμή αυτή δεν αποτελεί νέα «Heizlast», αλλά την ισχύ σύνδεσης που αντιστοιχεί στον υπολογισμένο

ετήσιο θερμικό φόρτο του διαμερίσματος, όταν από την ίδια σύνδεση εξυπηρετούνται τόσο η θέρμανση όσο και το ZNX.

Η σύγκριση των αριθμητικών αποτελεσμάτων δείχνει ότι η απαιτούμενη ισχύς σύνδεσης Q_{WN} είναι σημαντικά υψηλότερη από τη Norm-Heizlast. Η διαφορά αυτή είναι τεχνικά αναμενόμενη και επιβεβαιώνει ότι η Norm-Heizlast, σύμφωνα με τη DIN EN 12831-1, αποτυπώνει μόνο το φορτίο θέρμανσης χώρων, ενώ η ισχύς σύνδεσης λαμβάνει υπόψη το σύνολο της ετήσιας θερμικής απαίτησης, μέσω της σχέσης με τις ώρες πλήρους χρήσης. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η σύγκριση με την ονομαστική Anschlussleistung της Danfoss Wohnungsstation, η οποία υπερβαίνει τη Norm-Heizlast, γεγονός που δείχνει ότι η διαστασιολόγηση της Wohnungsstation καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις ZNX και όχι μόνο από το θερμικό φορτίο του κελύφους.

Επιπλέον, στο xls αποτυπώνεται ο δείκτης WWB-Leistungsanteil, ο οποίος καταδεικνύει το πολύ υψηλό ποσοστό συμμετοχής της λειτουργίας ZNX στη συνολική απαίτηση ισχύος της εγκατάστασης. Ο δείκτης αυτός αφορά τη συμμετοχή σε επίπεδο ισχύος και δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως ποσοστό επί του ετήσιου ενεργειακού φορτίου, καθώς ο ετήσιος WW-Wärmebedarf παραμένει χαμηλότερος από τον αντίστοιχο Heizwärmebedarf. Το εύρημα αυτό ενισχύει το συμπέρασμα ότι, σε συστήματα με Wohnungsstation και στιγμιαία παραγωγή ZNX, η ισχύς για την κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού μπορεί να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της διαστασιολόγησης.

Κρίσιμη παράμετρος της σχέσης αυτής είναι οι ώρες πλήρους χρήσης t_{voll} . Η επιλογή τους δεν είναι αυθαίρετη, αλλά βασίζεται σε τεχνικούς οδηγούς και κανονιστικά κείμενα για συστήματα Fernwärme, στα οποία δίνονται για κτίρια κατοικίας τυπικές τιμές στην περιοχή των 1.300–1.800 h/a. Οι τιμές αυτές προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία πραγματικών δεδομένων λειτουργίας κεντρικών συστημάτων θέρμανσης και αντιπροσωπεύουν τον ισοδύναμο χρόνο κατά τον οποίο η εγκατάσταση λειτουργεί θεωρητικά στο 100 % της ονομαστικής ισχύος της. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται τιμή $t_{voll} = 1.800$ h/a ως συντηρητικά υψηλή, αλλά τεκμηριωμένη παραδοχή εντός του εύρους που προτείνουν οι σχετικές κατευθυντήριες οδηγίες. Η επιλογή αυτή δηλώνεται και αιτιολογείται ρητά, ώστε ο αναγνώστης να μπορεί να αξιολογήσει την ευαισθησία του υπολογισμού της ισχύος στις επιλεγμένες ώρες πλήρους χρήσης.

Κατά συνέπεια, το xls δεν χρησιμοποιείται ως «μαύρο κουτί», αλλά ως υποστηρικτικό εργαλείο που οργανώνει, ελέγχει και παρουσιάζει με συνεκτικό τρόπο τα αποτελέσματα

των υπολογισμών. Η λογική του είναι συμβατή με τη μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί στο παρόν κεφάλαιο και ενισχύει τη διαφάνεια της ανάλυσης, καθιστώντας ευδιάκριτη τη σχέση μεταξύ Norm-Heizlast, ετήσιου θερμικού φόρτου, ώρες πλήρους χρήσης (Volllaststunden) της εγκατάστασης, απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης και τεχνικών χαρακτηριστικών της μονάδας διαμερίσματος για θέρμανση και ZNX.

3.5 Συνοπτική διατύπωση της μεθοδολογίας εφαρμογής

Στο Κεφάλαιο 3 έχει διατυπωθεί αρχικά η μεθοδολογία ενεργειακής πιστοποίησης κατά GEG / DIN V 18599 και κατά KENAK (ενότητες 3.1 και 3.2), με έμφαση στους απαιτούμενους υπολογισμούς, τα είδη δεδομένων εισόδου και τον τρόπο καθορισμού της ενεργειακής κατηγορίας μέσω κτιρίου αναφοράς. Στη συνέχεια, περιγράφηκαν τα γεωμετρικά, κλιματικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονοκατοικίας στο Αμβούργο και τα διαθέσιμα δεδομένα αποτύπωσης που θα χρησιμοποιηθούν ως βάση για το υπολογιστικό μοντέλο (ενότητα 3.3).

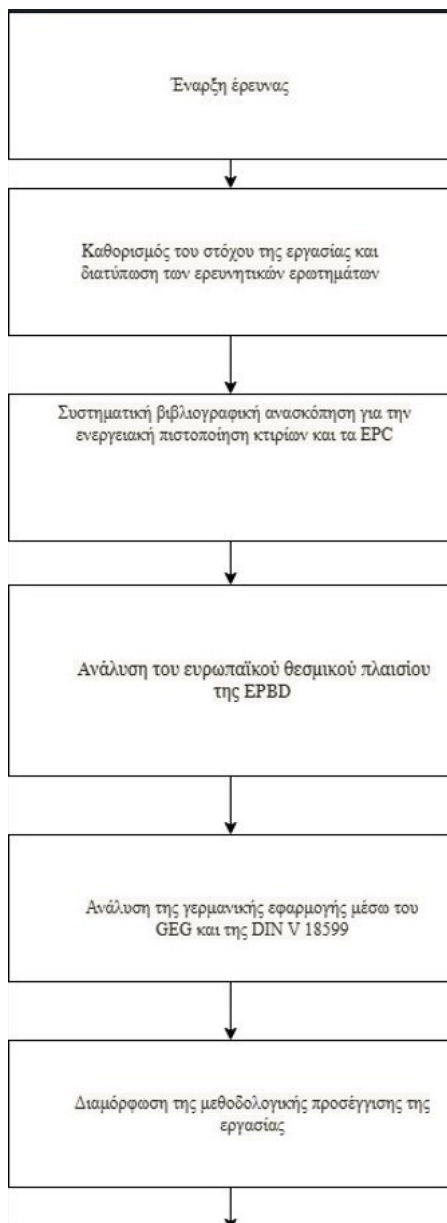
Με βάση τα παραπάνω, για την εφαρμογή του γερμανικού κανονισμού στο συγκεκριμένο κτίριο απαιτούνται, εκτός από τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά κελύφους, συγκεκριμένα στοιχεία χρήσης και λειτουργίας: κατηγορία χρήσης κατοικίας, ωράρια λειτουργίας και παρουσίας, εσωτερικές θερμοκρασίες αναφοράς, εσωτερικά κέρδη από χρήστες και συσκευές, τυπικές παροχές αερισμού και χαρακτηριστικά των τεχνικών συστημάτων θέρμανσης και ZNX. Τα στοιχεία αυτά αντλούνται από τα τυποποιημένα προφίλ της DIN V 18599 και από διαθέσιμες πληροφορίες για τη λειτουργία της κατοικίας· όπου δεν υπάρχουν πλήρη δεδομένα, υιοθετούνται τεκμηριωμένες παραδοχές, οι οποίες καταγράφονται ρητά στο υπολογιστικό μοντέλο.

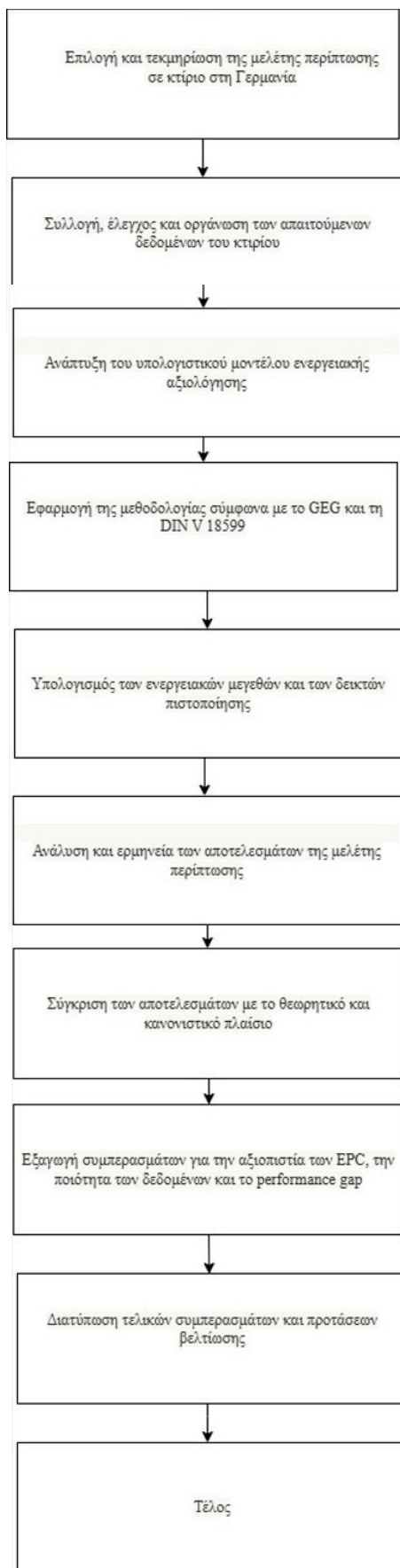
Η πρακτική υλοποίηση οργανώνεται στα διαδοχικά βήματα που περιγράφηκαν στην ενότητα 3.4: συλλογή και ψηφιοποίηση σχεδίων, δημιουργία γεωμετρικού μοντέλου στο Trimble Nova, ορισμός θερμικών ζωνών και χρήσεων, προσδιορισμός δομικών στοιχείων και U-values, εισαγωγή κλιματικών δεδομένων Αμβούργου, καταγραφή και εισαγωγή τεχνικών συστημάτων, υπολογισμός θερμικών αναγκών και αναγκών ZNX, έλεγχος συνέπειας και διαμόρφωση του κτιρίου αναφοράς σύμφωνα με τις ελάχιστες απαιτήσεις του GEG. Με τον τρόπο αυτό, η επιλογή και η χρήση του υπολογιστικού μοντέλου συνδέεται

άμεσα με τις απαιτήσεις των δύο κανονισμών και επιτρέπει την πλήρως τεκμηριωμένη ενεργειακή αξιολόγηση και συγκριτική κατάταξη του κτιρίου.

3.6 Διάγραμμα ροής της μεθοδολογικής προσέγγισης και της εφαρμογής της μελέτης περίπτωσης.

Για να αποτυπωθεί με συνοπτικό και δομημένο τρόπο η μεθοδολογική πορεία που ακολουθείται στα Κεφάλαια 3 και 4, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας από τον καθορισμό της μεθοδολογίας ενεργειακής πιστοποίησης έως την εφαρμογή της στο κτίριο μελέτης, τον υπολογισμό και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.





Εικόνα 16 Διάγραμμα ροής της μεθοδολογικής προσέγγισης και της εφαρμογής της μελέτης περίπτωσης

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε κτίριο αναφοράς: Υπολογισμός θερμικών απωλειών και διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης

4.1 Περιγραφή κτιρίου και εφαρμογή της μεθοδολογίας

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας ενεργειακής αξιολόγησης που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, μέσω της μελέτης περίπτωσης ενός υφιστάμενου κτιρίου κατοικίας. Στόχος είναι η συστηματική αποτύπωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, του θερμικού κελύφους και των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, ώστε να προσδιοριστεί η ενεργειακή επίδοση του κτιρίου και να αξιολογηθούν πιθανά σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης.

Το υπό μελέτη κτίριο αποτελεί μονοκατοικία συνολικής θερμαινόμενης επιφάνειας 118 m² και αναπτύσσεται σε μία ενιαία θερμική ζώνη (Θερμική Ζώνη 1). Η ενεργειακή αξιολόγηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μεθοδολογία του KENAK, ενώ στο πλαίσιο της συγκριτικής ανάλυσης εξετάζεται και η εφαρμογή της γερμανικής μεθοδολογίας GEG/DIN V 18599 στο ίδιο κτίριο, ώστε να αναδειχθούν οι διαφορές μεταξύ των δύο κανονιστικών πλαισίων.

Το κτίριο βρίσκεται στην Πεντάπολη του Νομού Σερρών και, σύμφωνα με τον KENAK, εντάσσεται στην Κλιματική Ζώνη Γ, η οποία χαρακτηρίζεται από αυξημένες ανάγκες θέρμανσης κατά τη χειμερινή περίοδο και σημαντικά ψυκτικά φορτία κατά τους θερινούς μήνες. Οι συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν τόσο τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών όσο και την εκτίμηση των ηλιακών κερδών και λαμβάνονται υπόψη σε όλους τους ενεργειακούς υπολογισμούς.

Η ενεργειακή αξιολόγηση βασίζεται στην αναλυτική αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου, στον καθορισμό των δομικών στοιχείων του θερμικού κελύφους και στην καταγραφή των υφιστάμενων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο υπολογιστικό μοντέλο και αποτελούν τη βάση για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών, της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και της τελικής ενεργειακής κατάταξης.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται διαδοχικά η γεωμετρική αποτύπωση του κτιρίου, τα χαρακτηριστικά του θερμικού κελύφους, τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα και τα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης που αξιολογούνται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

4.1.1 Γεωμετρία και θερμικό κέλυφος του κτιρίου

Η ακριβής αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αξιόπιστη εφαρμογή της μεθοδολογίας ενεργειακής αξιολόγησης, καθώς από αυτήν προκύπτουν οι επιφάνειες μέσω των οποίων πραγματοποιούνται οι θερμικές ανταλλαγές με το εξωτερικό περιβάλλον και τους γειτονικούς χώρους.

Η γεωμετρία της κατοικίας αποτυπώθηκε με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού ενεργειακής αξιολόγησης, από το οποίο προέκυψαν η κάτοψη της θερμικής ζώνης και τα αναπτύγματα των επιμέρους όψεων. Μέσω της διαδικασίας αυτής προσδιορίστηκαν οι αδιαφανείς και διαφανείς επιφάνειες, οι επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, οι επιφάνειες που συνορεύουν με μη θερμαινόμενους χώρους (ΜΘΧ), καθώς και τα δομικά στοιχεία που βρίσκονται σε επαφή με όμορα κτίρια.

Η κατοικία παρουσιάζει πολυγωνική κάτοψη συνολικής επιφάνειας 118 m², γεγονός που οδηγεί σε διαφορετικούς προσανατολισμούς και διαφοροποιημένες συνθήκες έκθεσης των επιμέρους όψεων. Η κατανομή των ανοιγμάτων και των αδιαφανών επιφανειών δεν είναι ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται τόσο οι θερμικές απώλειες όσο και τα ηλιακά κέρδη ανά προσανατολισμό.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η ύπαρξη δομικών στοιχείων που γειτνιάζουν με μη θερμαινόμενους χώρους και όμορα κτίρια, καθώς οι επιφάνειες αυτές αντιμετωπίζονται με διαφορετικές συνοριακές συνθήκες κατά τους υπολογισμούς του KENAK. Η ορθή κατηγοριοποίησή τους αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών και της συνολικής ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Τα αναπτύγματα των όψεων ανά προσανατολισμό παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες και χρησιμοποιούνται για την τεκμηρίωση της γεωμετρικής αποτύπωσης και την επαλήθευση της εισαγωγής των δεδομένων στο υπολογιστικό μοντέλο. Η λεπτομερής αυτή αποτύπωση διασφαλίζει ότι οι υπολογισμοί της ενεργειακής απόδοσης βασίζονται σε

ακριβή γεωμετρικά στοιχεία και ανταποκρίνονται στα πραγματικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κτιρίου.

4.1.2 Δομικά στοιχεία και θερμικές ιδιότητες του κελύφους

Μετά την αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου, ακολουθεί η αξιολόγηση των θερμικών χαρακτηριστικών του κελύφους μέσω συγκριτικής ανάλυσης δύο περιπτώσεων αναφοράς. Η πρώτη περίπτωση προσεγγίζει την κατάσταση ενός παλαιού κτιρίου του 1958, χωρίς ουσιαστική θερμομονωτική προστασία, ενώ η δεύτερη αντιστοιχεί σε κτίριο που έχει κατασκευαστεί ή αναβαθμιστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις που ισχύουν για κτίρια μετά το 2010, με βάση το πλαίσιο του KENAK και τις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες.

Η επιλογή των δύο αυτών περιπτώσεων δεν έχει μόνο συγκριτικό χαρακτήρα, αλλά αποσκοπεί στην ανάδειξη της επίδρασης που ασκεί η ποιότητα του θερμικού κελύφους στην τελική ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Στα παλαιότερα κτίρια, και ειδικότερα σε εκείνα που έχουν κατασκευαστεί πριν από την έναρξη ισχύος του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων, τα δομικά στοιχεία εμφανίζουν υψηλές τιμές θερμοπερατότητας, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες θερμικές απώλειες κατά τη χειμερινή περίοδο και υψηλότερα ψυκτικά φορτία κατά τη θερινή. Αντίθετα, στα νεότερα κτίρια που προσεγγίζουν τις απαιτήσεις του KENAK, οι μειωμένες τιμές U περιορίζουν την ανταλλαγή θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον και βελτιώνουν αισθητά τη συνολική ενεργειακή απόδοση.

Στην πρώτη περίπτωση, που αφορά το κτίριο αναφοράς του 1958, θεωρείται ότι το κέλυφος στερείται ουσιαστικής θερμομονωτικής προστασίας. Η παραδοχή αυτή είναι συμβατή με την ελληνική κατασκευαστική πρακτική της περιόδου πριν την εφαρμογή των σύγχρονων θερμομονωτικών κανονισμών. Για παλαιά κτίρια αντίστοιχης εποχής, η βιβλιογραφία καταγράφει ενδεικτικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας της τάξης του $1,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ για εξωτερικούς τοίχους, $3,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ για οροφές και $3,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ για δάπεδα, τιμές που αποτυπώνουν τη χαμηλή θερμική αντίσταση του κελύφους.

Στη δεύτερη περίπτωση εξετάζεται ένα κέλυφος που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις κτιρίου μετά το 2010, σύμφωνα με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο ενεργειακής απόδοσης. Για την Κλιματική Ζώνη Γ, στην οποία θεωρείται ότι υπάγεται η περιοχή μελέτης, τα

ανώτατα επιτρεπόμενα όρια του συντελεστή θερμοπερατότητας για τα κύρια δομικά στοιχεία του κελύφους είναι σημαντικά χαμηλότερα από εκείνα ενός παλαιού κτιρίου. Η μείωση αυτή αποτελεί τον βασικό λόγο για τον οποίο τα νεότερα κτίρια εμφανίζουν μικρότερες θερμικές απώλειες, ευνοϊκότερο ενεργειακό ισοζύγιο και βελτιωμένη κατάσταση στην ενεργειακή πιστοποίηση.

Δομικό στοιχείο	Κτίριο 1958	Κτίριο μετά το 2009	Παρατήρηση
Εξωτερικός τοίχος	1.68 W/m ² K	Σύμφωνα με τα όρια KENAK για Ζώνη Γ	Σημαντική μείωση θερμικών απωλειών
Οροφή / δώμα	3.82 W/m ² K	0.40 W/m ² K	Μεγάλη βελτίωση λόγω θερμομόνωσης
Δάπεδο	3.72 W/m ² K	Σύμφωνα με τα όρια KENAK για Ζώνη Γ	Μειωμένη ροή θερμότητας προς έδαφος ή ΜΘΧ
Κουφώματα	Υψηλή θερμοπερατότητα, παλαιού τύπου	Θερμομονωτικά κουφώματα με αισθητά χαμηλότερο U _w	Περιορισμός απωλειών και βελτίωση άνεσης

Πίνακας 4 Σύγκριση θερμοφυσικών χαρακτηριστικών δομικών στοιχείων μεταξύ κτιρίου του 1958 και κτιρίου μετά το 2010

Από τη σύγκριση των παραπάνω τιμών γίνεται σαφές ότι η διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων δεν περιορίζεται σε μια απλή ποσοτική μεταβολή των συντελεστών θερμοπερατότητας, αλλά εκφράζει ουσιαστικά δύο διαφορετικές κατασκευαστικές λογικές. Το κτίριο του 1958 αντιπροσωπεύει μία περίοδο κατά την οποία η θερμομόνωση δεν αποτελούσε κεντρικό στοιχείο του σχεδιασμού, ενώ το κτίριο μετά το 2009 ενσωματώνει τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που επιβάλλει ο σύγχρονος κανονισμός. Ως αποτέλεσμα, η μετάβαση από την πρώτη στη δεύτερη περίπτωση αναμένεται να μειώσει σημαντικά τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου και να βελτιώσει την τελική ενεργειακή του κατηγορία.

Πέρα από τους αδιαφανείς δομικούς φραγμούς, καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή συμπεριφορά διαδραματίζουν και τα διαφανή στοιχεία του κελύφους. Στην παρούσα εργασία, τα ανοίγματα εξετάζονται μέσω των βασικών παραμέτρων θερμοπερατότητας και

ηλιακής συμπεριφοράς, όπως είναι ο συντελεστής U του κουφώματος, ο ηλιακός συντελεστής g του υαλοπίνακα και η αεροπερατότητα ή άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την αεροστεγανότητα του συστήματος. Ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων επιτρέπει ακριβέστερη αποτίμηση όχι μόνο των απωλειών, αλλά και των ηλιακών κερδών και της συνολικής συμπεριφοράς των ανοιγμάτων σε ετήσια βάση.

Συνεπώς, η συγκριτική ανάλυση του κελύφους μεταξύ του σεναρίου του 1958 και του σεναρίου μετά το 20 αποτελεί το αναγκαίο υπόβαθρο για την ερμηνεία των τελικών αποτελεσμάτων της ενεργειακής αξιολόγησης. Οι διαφορές στις τιμές U δεν αποτελούν απλώς τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων, αλλά κρίσιμες μεταβλητές που καθορίζουν την ετήσια κατανάλωση ενέργειας, το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου και τη δυνατότητα επίτευξης ανώτερης ενεργειακής κατηγορίας μετά την εφαρμογή των κατάλληλων παρεμβάσεων.

4.2 Μελέτη Κτιρίου με το λογισμικό KENAK

4.2.1 Μελέτη Πραγματικού Κτιρίου

Κέλυφος

Συστήματα

Αδιαφανή

#	-	ΘΖ	Περ.	Τύπος	Περιγραφή	Επαφή	Προσα...	α	ε	Ε συν	U σταθ	Εμπ.	Πρόβ...	Τέντες ...	Κόστο...
1		ΘΖ 1	1	Τοίχος	Επαφή με ΜΘΧ (b=0.5)	Μ.Θ.Χ.	0°	0	0	93.28	1.70			☐	
2		ΘΖ 1	1	Μεσοτ...	Επαφή με Όμορο	Όμορο	0°	0	0	68.64	0.00			☐	
3		ΘΖ 1	1	Πόρτα	Επαφή με ΜΘΧ (b=0.5)	Μ.Θ.Χ.	0°	0	0	2.40	2.70			☐	
4		ΘΖ 1	1	Μεσοτ...	Επαφή με Όμορο	Όμορο	180°	0	0	2.40	4.43			☐	
5	-	ΘΖ 1	-	Πυλωτή		Αέρας	0°	0	0	118.00	2.75			☐	

= Τροποποιημένο

Διαφανή

#	ΘΖ	Περ.	Τύπος	Περιγραφή	Προσ...	Κλίση β	Μήκος	Ύψος	Εμβαδό	U _w	g _w	V	Πρόβ...	Τέντε...	Κόστος €/m ²
1	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	1	1.5	1.50	2.02	0.55	0		☐	
2	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	1	1.5	1.50	2.02	0.55	0		☐	
3	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	180°	90°	1	1.5	1.50	2.02	0.55	0		☐	
4	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	180°	90°	1	1.5	1.50	2.02	0.55	0		☐	
5	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	0.6	0.6	0.36	2.38	0.49	0		☐	
6	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	0.6	0.6	0.36	2.38	0.49	0		☐	

= Τροποποιημένο

Επαφή με έδαφος

#	ΘΖ	Περιγραφή	Τύπος	Περιγραφή	Εμβαδό	U	Κ Βάθος	Α Βάθος	Περίμετρος	Κόστος €/m ²
---	----	-----------	-------	-----------	--------	---	---------	---------	------------	-------------------------

= Τροποποιημένο

Εικόνα 17 Καταχώρηση αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων του κελύφους της Θερμικής Ζώνης 1 στο λογισμικό KENAK.

4.2.1.1 Σύστημα θέρμανσης της θερμικής ζώνης στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Συστήματα – Θέρμανση» του λογισμικού KENAK, όπου καταχωρούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος θέρμανσης που εξυπηρετεί τη Θερμική Ζώνη 1.

Στην ενότητα «Παραγωγή» έχει επιλεγεί ως σύστημα παραγωγής θερμότητας λέβητας πετρελαίου θέρμανσης ονομαστικής ισχύος 50 kW. Για το σύστημα έχουν οριστεί ο βαθμός απόδοσης παραγωγής και ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης (SCOP), ενώ παράλληλα καθορίζεται η περίοδος λειτουργίας του συστήματος κατά τους χειμερινούς μήνες. Το ποσοστό κάλυψης των θερμικών αναγκών της ζώνης από το συγκεκριμένο σύστημα είναι 100%.

Στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής» περιγράφεται το δίκτυο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας από τον λέβητα προς τους θερμαινόμενους χώρους. Το δίκτυο διέρχεται κυρίως από εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, με μικρό ποσοστό να βρίσκεται σε εξωτερικούς χώρους, γεγονός που επηρεάζει τις θερμικές απώλειες κατά τη διανομή της θερμότητας. Επιπλέον, έχει προβλεφθεί η δυνατότητα καταχώρησης αεραγωγών, χωρίς όμως να έχουν εισαχθεί σχετικά στοιχεία.

Στην ενότητα «Τερματικές Μονάδες» καταχωρούνται τα συστήματα εκπομπής θερμότητας προς τους χώρους (όπως θερμαντικά σώματα ή άλλες μονάδες εκπομπής), για τα οποία λαμβάνεται υπόψη ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης.

Τέλος, στην ενότητα «Βοηθητικές Μονάδες» προβλέπεται η καταχώρηση του βοηθητικού εξοπλισμού του συστήματος, όπως κυκλοφορητές και λοιπές ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις που συμβάλλουν στη λειτουργία της εγκατάστασης θέρμανσης. Επιπλέον, το σύστημα κατατάσσεται στην κατηγορία Δ των διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών, σύμφωνα με τις επιλογές του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος

Συστήματα

Θέρμανση

Ψύξη

ZNX

Ηλιακός συλλέκτης

Φωτισμός

Μηχανικός Αερισμός

Υγρανση

Σ.Η.Θ.

Φωτοβολταϊκά

Παραγωγή

A/A	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (KW)	B.Απ.	SCOP	B. κάλυψης	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Κόστος €
1	Λέβητας	Πετρέλαιο θέρμανσης	50.00	0.671	1.00	1.00	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	

Δίκτυο Διανομής

A/A	Τύπος	Ισχύς (KW)	Χώρος διέλευσης	B.Απ.	Μόνωση	Κόστος €
1	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	0.00	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	1.000	-	
2	Αεραγωγοί	0.00	Επιλογή	0.000		

Κατηγορία διατάξεων ελέγχου & αυτοματισμών

Δ

Τερματικές Μονάδες

A/A	Τύπος	B.Απ.	Κόστος €
1		0.940	

Βοηθητικές Μονάδες

A/A	Τύπος	Αριθμός	Ισχύς (KW)
1		1	0.000

= Τροποποιημένο

Εικόνα 18 Καταχώρηση των χαρακτηριστικών του συστήματος θέρμανσης (λέβητας πετρελαίου, δίκτυο διανομής και βοηθητικές μονάδες) στο λογισμικό KENAK

Σύστημα ψύξης της θερμικής ζώνης στο KENAK εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Συστήματα – Ψύξη» του λογισμικού KENAK, όπου καταχωρούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος ψύξης που εξυπηρετεί τη Θερμική Ζώνη. Στην ενότητα «Παραγωγή» έχει επιλεγεί ως σύστημα παραγωγής ψύξης αερόψυκτος ψύκτης με πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό και ονομαστική ισχύ 50 kW. Για το σύστημα έχουν οριστεί ο βαθμός απόδοσης παραγωγής και ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης (SEER), ενώ παράλληλα καθορίζεται η περίοδος λειτουργίας του συστήματος κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο έως Σεπτέμβριο). Το ποσοστό κάλυψης των ψυκτικών αναγκών της ζώνης από το συγκεκριμένο σύστημα είναι 50%. Στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής» περιγράφεται το δίκτυο μεταφοράς του ψυχρού μέσου προς τους κλιματιζόμενους χώρους, με τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης. Επιπλέον, έχει προβλεφθεί η δυνατότητα καταχώρησης αεραγωγών, χωρίς όμως να έχουν εισαχθεί σχετικά στοιχεία. Στην ενότητα «Τερματικές Μονάδες» καταχωρούνται τα συστήματα εκπομπής ψύξης προς τους χώρους, για τα οποία λαμβάνεται υπόψη ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης. Τέλος, στην ενότητα «Βοηθητικές Μονάδες» προβλέπεται η καταχώρηση του βοηθητικού εξοπλισμού του συστήματος, όπως κυκλοφορητές και λοιπές διατάξεις που συμβάλλουν στη λειτουργία της εγκατάστασης. Επιπλέον, το σύστημα κατατάσσεται στην κατηγορία Δ των διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών, σύμφωνα με τις επιλογές του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος Συστήματα

Θέρμανση Ψύξη ZNX Ηλιακός συλλέκτης Φωτισμός Μηχανικός Αερισμός Ύγρανση Σ.Η.Θ. Φωτοβολταϊκά

Παραγωγή ?

A/A	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (KW)	B.Απ.	SEER	B. κάλυψης	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Κόστος €
1	Αερόψυκτος ψύκτης	Ηλεκτρισμός	50.00	1.000	1.00	0.50	+	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	

Δίκτυο Διανομής

A/A	Τύπος	Ισχύς (KW)	Χώρος διέλευσης	B.Απ.	Μόνωση	Κόστος €
1	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου			1.000	-	
2	Αεραγωγοί				☐	

Κατηγορία διατάξεων ελέγχου & αυτοματισμών
Δ ?

Θερμικές Μονάδες

A/A	Τύπος	B.Απ.	Κόστος €
1		1.000	

Βοηθητικές Μονάδες

A/A	Τύπος	Αριθμός	Ισχύς (KW)	
1		1		+

= Τροποποιημένο

Εικόνα 19 Καταχώρηση συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου στο TEE-KENAK

4.2.1.2 Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Συστήματα – ZNX» του λογισμικού KENAK, όπου καταχωρούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Στην ενότητα «Παραγωγή» έχει επιλεγεί ως σύστημα παραγωγής λέβητας με πηγή ενέργειας πετρέλαιο θέρμανσης και ονομαστική ισχύ 50 kW. Για το σύστημα έχει οριστεί ο βαθμός απόδοσης παραγωγής, ενώ παράλληλα καθορίζεται η περίοδος λειτουργίας του η οποία καλύπτει ολόκληρο το έτος, από τον Ιανουάριο έως τον Δεκέμβριο. Το ποσοστό κάλυψης των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από το συγκεκριμένο σύστημα είναι 100%. Στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής» περιγράφεται το δίκτυο μεταφοράς του ζεστού νερού χρήσης. Το δίκτυο διέρχεται κυρίως από εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, με μικρό ποσοστό να βρίσκεται σε εξωτερικούς χώρους, γεγονός που επηρεάζει τις θερμικές απώλειες κατά τη διανομή, ενώ ορίζεται και ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης. Στην ενότητα «Σύστημα Αποθήκευσης» καταχωρούνται τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού, για τις οποίες λαμβάνεται υπόψη ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης. Τέλος, στην ενότητα «Βοηθητικές Μονάδες» προβλέπεται η καταχώρηση του βοηθητικού εξοπλισμού, ενώ παράλληλα ορίζεται ότι δεν υφίστανται διατάξεις αυτόματου ελέγχου ZNX, σύμφωνα με τις επιλογές του λογισμικού KENAK.

Κελύφος

Συστήματα

Θέρμανση

Ψύξη

ZNX

Ηλιακός συλλέκτης

Φωτισμός

Μηχανικός Αερισμός

Υγρανση

Σ.Η.Θ.

Φωτοβολταϊκά

Παραγωγή

A/A	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (KW)	Β. Απ.	Β. κάλυψης	Jan	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαί	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Κόστος €
1	Λέβητας	Πετρέλαιο θέρμανσης	50.00	1.000	1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Δίκτυο Διανομής

A/A	Τύπος	Ανακυκλοφορία	Χώρος διέλευσης	Β. Απ.	Κόστος €
1		☐	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	0.730	

Σύστημα Αποθήκευσης

A/A	Τύπος	Β. Απ.	Κόστος €
1		0.980	

Βοηθητικές Μονάδες

A/A	Τύπος	Αριθμός	Ισχύς (KW)		
1		1	0.000	1	1

Διατάξεις αυτομάτου ελέγχου ZNX

Όχι

= Τροποποιημένο

Εικόνα 20 Καταχώρηση συστήματος ψύξης με αερόψυκτο ψύκτη στο TEE-KENAK

4.2.1.3 Ηλιακός Συλλέκτης στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Συστήματα – Ηλιακός συλλέκτης» του λογισμικού KENAK, όπου καταχωρούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλιακού συστήματος που υποβοηθά τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Στον πίνακα προδιαγραφών έχει επιλεγεί ως τύπος ηλιακού συλλέκτη ο απλός επίπεδος συλλέκτης. Από τις διαθέσιμες επιλογές χρήσης, το σύστημα έχει οριστεί να καλύπτει ανάγκες Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX), ενώ δεν είναι επιλεγμένη η συνεισφορά του στη θέρμανση χώρων. Η συνολική επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη έχει τροποποιηθεί και οριστεί στα 5.00 τετραγωνικά μέτρα. Παράλληλα, ορίζεται ο διορθωτικός συντελεστής σκίασης, ενώ οι υπόλοιποι γεωμετρικοί συντελεστές, όπως οι γωνίες προσανατολισμού και κλίσης, καθώς και οι οπτικοί συντελεστές απόδοσης του συλλέκτη, παραμένουν προς το παρόν με μηδενικές ή προκαθορισμένες τιμές, σύμφωνα με τις επιλογές εισαγωγής του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος Συστήματα

Θέρμανση Ψύξη ZNX Ηλιακός συλλέκτης Φωτισμός Μηχανικός Αερισμός Υγρανση Σ.Η.Θ. Φωτοβολταϊκά

Ηλιακός Συλλέκτης ?

A/A	Τύπος	ZNX	Συν. α (-)	Θέρμανση	Συν. β (-)	Επιφάνεια (m ²)	γ (deg)	β (deg)	F _s (-)	Κόστος €/m ²
1	Απλός επίπεδος	☒	0.000	☐	0.000	5.00			1.000	

 = Τροποποιημένο

Εικόνα 21 Καταχώρηση ηλιακού συλλέκτη για ZNX στο λογισμικό TEE-KENAK

4.2.2 Μελέτη Ιδανικού Κτιρίου

4.2.2.1 Σενάριο Θερμομόνωσης Αδιαφανών Στοιχείων

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Έτοιμα Σενάρια – Θερμομόνωση τοίχων σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα» του λογισμικού KENAK, όπου καθορίζονται οι παρεμβάσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης για τα αδιαφανή στοιχεία του κτιρίου. Στην ενότητα των επιλογών έχει ενεργοποιηθεί η παρέμβαση για θερμομόνωση τοίχων κατά KENAK-2017 με επικάλυψη από συνθετικό επίχρισμα, με καθορισμένο συντελεστή θερμοπερατότητας U.

Ο κτιριακός τομέας στην Ευρώπη αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και, επομένως, βρίσκεται στον πυρήνα της ευρωπαϊκής στρατηγικής για κλιματική ουδετερότητα. Η Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD) έχει θεσπίσει ένα κοινό πλαίσιο απαιτήσεων και εργαλείων, με τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) να αποτελούν βασικό πυλώνα, παρέχοντας μια τυποποιημένη αποτύπωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και ενισχύοντας τη διαφάνεια στην κτηματαγορά και στον σχεδιασμό πολιτικών.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των απαιτήσεων ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων στην Ευρώπη, με ιδιαίτερη έμφαση στη γερμανική προσέγγιση, όπως αυτή αποτυπώνεται στο νομοθετικό πλαίσιο του Gebäudeenergiegesetz (GEG) και στη μεθοδολογία υπολογισμού DIN V 18599. Η εργασία συνδυάζει τη θεωρητική επισκόπηση του ευρωπαϊκού και εθνικού πλαισίου με την εφαρμογή τους σε μια μελέτη περίπτωσης κτιρίου στη Γερμανία, με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και αναλυτικού υπολογιστικού μοντέλου.

Μέσω συγκριτικής ανάλυσης των απαιτήσεων σε δεδομένα, των διαδικασιών υπολογισμού και των αποτελεσμάτων πιστοποίησης, η εργασία διερευνά ζητήματα όπως η ποιότητα των δεδομένων εισόδου, το χάσμα μεταξύ υπολογιζόμενης και πραγματικής ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και ο ρόλος των λογισμικών εργαλείων στην αξιοπιστία των ΠΕΑ. Τα ευρήματα αναδεικνύουν κρίσιμες πτυχές για τη βελτίωση της ενεργειακής πιστοποίησης και την υποστήριξη αποτελεσματικότερων πολιτικών στον κτιριακό τομέα.

W/m^2K , θερμική αντίσταση $R=2.50 m^2K/W$ και αντίστοιχο κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο. Στους κάτω πίνακες εμφανίζονται τα αποτελέσματα της μεταφοράς του σεναρίου, όπου τα στοιχεία του κελύφους έχουν τροποποιηθεί (με πράσινο φόντο). Στον πίνακα «Διαφανή», όλα τα ανοιγόμενα κουφώματα της ζώνης εμφανίζουν πλέον ανανεωμένο συντελεστή θερμοπερατότητας $U_w=2.70 W/m^2K$, συντελεστή ηλιακού κέρδους $g_w=0.54$, καθώς και καταχωρημένο το σχετικό κόστος της επέμβασης ανά τετραγωνικό μέτρο, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος

Συστήματα

Έτοιμα Σενάρια - Θερμομόνωση τοίχων σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

Στοιχεία προς αντικατάσταση

☒ Αδιαφανή
 ☐ Διαφανή

☒ Τοίχοι σε αέρα
 ☐ Τοίχοι σε ΜΘΧ
 ☐ Οροφές σε αέρα
 ☐ Οροφές σε ΜΘΧ
 ☐ Δάπεδα σε αέρα
 ☐ Δάπεδα σε ΜΘΧ

Χαρακτηριστικά νέων στοιχείων

☒ Εξοικονομώ 2025 - Παρέμβαση 2Γ1: Θερμομόνωση τοίχων κατά KENAK-2017 με επικάλυψη με συνθετικό επίχρισμα
 ☐ Εξοικονομώ 2025 - Παρέμβαση 2Γ2: Θερμομόνωση τοίχων κατά KENAK-2017 με επικάλυψη με ελαφριά πετάσματα

U : 0.4 $\text{W/m}^2\text{K}$
 R : 2.50 $\text{m}^2\text{K/W}$
 Κόστος : 180 €/m^2

Μεταφορά στον πίνακα ↓

Αδιαφανή

#	-	ΘΖ	Περ.	Τύπος	Περιγραφή	Επαφή Προ...	α	ε	Ε συν	U σταθ	Εμπ...	Πρό...	Τέντ...	Κόσ...
1		ΘΖ 1	1	Τοίχος	Επαφή με ΜΘΧ (b=0.5)	Μ.Θ...	0°	0	0	93.28	1.70			
2		ΘΖ 1	1	Μεσ...	Επαφή με Όμορο	Όμο...	0°	0	0	68.64	0.00			
3		ΘΖ 1	1	Πόρτα	Επαφή με ΜΘΧ (b=0.5)	Μ.Θ...	0°	0	0	2.40	2.70			
4		ΘΖ 1	1	Μεσ...	Επαφή με Όμορο	Όμο...	180°	0	0	2.40	4.43			
5		ΘΖ 1	-	Πυλ...		Αέρας	0°	0	0	118...	2.75			

= Τροποποιημένο

Διαφανή

#	ΘΖ	Περ.	Τύπος	Περιγραφή	Προ...	Κλίσ...	Μήκος	Υψος	Εμβ...	U _w	g _w	V	Πρό...	Τέντ...	Κόστος €/m ²
1	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15			180.00
2	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15			180.00
3	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	180°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15			180.00
4	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	180°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15			180.00
5	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	0.6	0.6	0.36	2.70	0.54	1.48			180.00
6	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	0.6	0.6	0.36	2.70	0.54	1.48			180.00

= Τροποποιημένο

Εικόνα 22 Σενάριο Αντικατάστασης Διαφανών Στοιχείων στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Έτοιμα Σενάρια – Αντικατάσταση Διαφανών» του λογισμικού KENAK, η οποία αφορά τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών για τα νέα κουφώματα του κτιρίου. Στην ενότητα των προδιαγραφών έχει επιλεγεί η αντικατάσταση των ανοιγόμενων κουφωμάτων και των ανοιγόμενων προσόψεων. Ως χαρακτηριστικά των νέων στοιχείων έχουν οριστεί μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή, ποσοστό πλαισίου 20%, δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο και εξωτερικά φύλλα με ρολά. Οι δείκτες απόδοσης του νέου συστήματος διαμορφώνονται σε $U=2.7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0.54$ και $V=4.1 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$, με ορισμένο το αντίστοιχο κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο. Μετά τη μεταφορά στον πίνακα, τα διαφανή στοιχεία της θερμικής ζώνης εμφανίζονται τροποποιημένα (με πράσινο φόντο), ενσωματώνοντας τις νέες τιμές θερμοπερατότητας, ηλιακού κέρδους και κόστους, σύμφωνα με τις επιλογές του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος

Συστήματα

Ετοιμα Σενάρια - Αντικατάσταση Διαφανών

Στοιχεία προς αντικατάσταση

☐ Αδιαφανή
☒ Διαφανή

Ανοιγόμενα Κουφώματα : ☒

Μη Ανοιγόμενα Κουφώματα : ☐

Ανοιγόμενες Προσόψεις : ☒

Μη Ανοιγόμενες Προσόψεις : ☐

Χαρακτηριστικά νέων στοιχείων

Τύπος πλαισίου : Μεταλλικό πλαίσιο με Θ/Δ ΣΤ

Ποσοστό πλαισίου : 20 %

Τύπος υαλοπίνακα : Δίδυμος υαλοπίνακας με διόκη

Εξωτερικά φύλλα : Με ρολλά

U : 2.7 W/m^2K

g : 0.54

V : 4.1 m^3/m^2

Κόστος : 300 $€/m^2$

Μεταφορά στον πίνακα ↓

Αδιαφανή

#	-	ΘΖ	Περ.	Τύπος	Περιγραφή	Επαφή Προ...	α	ε	Ε συν	U σταθ	Εμπ...	Πρό...	Τέντ...	Κόστ...
1		ΘΖ 1	1	Τοίχος	Επαφή με ΜΘΧ (b=0.5)	Μ.Θ...	0°	0	0	93.28	1.70		☐	
2		ΘΖ 1	1	Μεσ...	Επαφή με Όμορο	Όμο...	0°	0	0	68.64	0.00		☐	
3		ΘΖ 1	1	Πόρτα	Επαφή με ΜΘΧ (b=0.5)	Μ.Θ...	0°	0	0	2.40	2.70		☐	
4		ΘΖ 1	1	Μεσ...	Επαφή με Όμορο	Όμο...	180°	0	0	2.40	4.43		☐	
5	-	ΘΖ 1	-	Πυλ...		Αέρας	0°	0	0	118....	2.75		☐	

= Τροποποιημένο

Διαφανή

#	ΘΖ	Περ.	Τύπος	Περιγραφή	Προ...	Κλίση...	Μήκος	Ύψος	Εμβ...	U _w	g _w	V	Πρό...	Τέντ...	Κόστος €/m²
1	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15	☐		300.00
2	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15	☐		300.00
3	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	180°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15	☐		300.00
4	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	180°	90°	1	1.5	1.50	2.70	0.54	6.15	☐		300.00
5	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	0.6	0.6	0.36	2.70	0.54	1.48	☐		300.00
6	ΘΖ 1	1	Ανοιγόμενο κούφωμα	Σε ΜΘΧ	0°	90°	0.6	0.6	0.36	2.70	0.54	1.48	☐		300.00

= Τροποποιημένο

Εικόνα 23 Σενάριο Αναβάθμισης Συστήματος Θέρμανσης στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Ετοιμα Σενάρια – Θέρμανση» του λογισμικού KENAK, όπου εισάγεται η πρόταση για την εγκατάσταση νέου συστήματος παραγωγής θερμότητας. Στην ενότητα της πρότασης έχει επιλεγεί η προσθήκη μιας κεντρικής αερόψυκτης αντλίας θερμότητας με πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό, ονομαστική ισχύ 14 kW, βαθμό απόδοσης παραγωγής 1 και εποχιακό συντελεστή απόδοσης SCOP=3.3. Το συνολικό κόστος της επένδυσης έχει επίσης καταχωρηθεί. Στην ενότητα «Παραγωγή», το νέο σύστημα έχει εισαχθεί επιτυχώς εμφανίζοντας πράσινο φόντο, με ποσοστό κάλυψης των αναγκών της ζώνης στο 100% για τους χειμερινούς μήνες λειτουργίας. Παράλληλα, στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής» έχουν τροποποιηθεί η ισχύς του δικτύου διανομής θερμού μέσου και η επιλογή των αεραγωγών, οι οποίοι πλέον ορίζονται με κατάλληλη μόνωση, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του λογισμικού KENAK.

Πτυχιακή / Διπλωματική Εργασία

92

Κέλυφος Συστήματα

Θέρμανση Ψύξη ΖΝΧ Ηλιακός συλλέκτης Φωτισμός Μηχανικός Αερισμός Υγρανση Σ.Η.Θ. Φωτοβολταϊκά

Έτοιμα Σενάρια - Θέρμανση

Προτεινόμενες επεμβάσεις

Νέα αντλία θερμότητας για θέρμανση-ψύξη (Εξοικονομώ 2025 - Παρέμβαση 3.B)

Τύπος : Κεντρική αερόψυκτη Α.Θ. B.Απ. : 1 Ισχύς : 14 Kw Προσθήκη

Πηγή ενέργειας : Ηλεκτρισμός SCOP : 3.3 Κόστος : 10000 € Αντικατάσταση παλιού

Υπολογισμός μέγιστης ισχύος Pgen και Pznc

Παραγωγή

A/A	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (KW)	B.Απ.	SCOP	B. κάλυψης	Jan	Φεβ	Mar	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Κόστος €
1	Κεντρική αερόψυκτη Α.Θ.	Ηλεκτρισμός	14.00	1.000	3.30	1.00	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0.00

Δίκτυο Διανομής

A/A	Τύπος	Ισχύς (KW)	Χώρος διέλευσης	B.Απ.	Μόνωση	Κόστος €
1	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	2.00	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	1.000	-	
2	Αεραγωγοί	0.00	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	0.000	✓	

Κατηγορία διατάξεων ελέγχου & αυτοματισμών

Εικόνα 24 Σενάριο Αναβάθμισης Συστήματος Θέρμανσης στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Έτοιμα Σενάρια – Ψύξη» του λογισμικού KENAK, η οποία αφορά την πρόταση για την εγκατάσταση νέου συστήματος κλιματισμού και ψύξης χώρων. Στην ενότητα του σεναρίου προτείνεται η αντικατάσταση του παλιού συστήματος με μια νέα αερόψυκτη αντλία θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύος 14 kW και με δείκτη SEER=3. Στον πίνακα της «Παραγωγής», το σύστημα καταχωρείται ως υδρόψυκτος ψύκτης με πράσινο φόντο, εξασφαλίζοντας ποσοστό κάλυψης του ψυκτικού φορτίου 100% κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο έως Σεπτέμβριο), ενώ εμφανίζεται και το συνολικό κόστος της παρέμβασης. Στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής» περιγράφονται οι απαραίτητες προσαρμογές, όπου η ισχύς του δικτύου διανομής ψυχρού μέσου έχει τροποποιηθεί στα 14 kW, ενώ έχει ενεργοποιηθεί και η επιλογή μόνωσης για τους αεραγωγούς, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος Συστήματα

Θέρμανση Ψύξη ΖΝΧ Ηλιακός συλλέκτης Φωτισμός Μηχανικός Αερισμός Υγρανση Σ.Η.Θ. Φωτοβολταϊκά

Έτοιμα Σενάρια - Ψύξη

Προτεινόμενες επεμβάσεις

Νέα αντλία θερμότητας για θέρμανση-ψύξη (Εξοικονομώ 2025 - Παρέμβαση 3.B)

Τύπος : Αερόψυκτη Α.Θ. B.Απ. : 1 Ισχύς : 14 Kw Προσθήκη

Πηγή ενέργειας : Ηλεκτρισμός SEER : 3 Κόστος : 10000 € Αντικατάσταση παλιού

Παραγωγή

A/A	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (KW)	B.Απ.	SEER	B. κάλυψης	Jan	Φεβ	Mar	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Κόστος €
1	Υδρόψυκτος ψύκτης	Ηλεκτρισμός	14.00	1.000	1.00	1.00	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	10000.00

Δίκτυο Διανομής

A/A	Τύπος	Ισχύς (KW)	Χώρος διέλευσης	B.Απ.	Μόνωση	Κόστος €
1	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου	14.00	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	1.000	-	
2	Αεραγωγοί				✓	

Κατηγορία διατάξεων ελέγχου & αυτοματισμών

Εικόνα 25 Σενάριο Αναβάθμισης Συστήματος Ψύξης στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Έτοιμα Σενάρια – ZNX» του λογισμικού KENAK, όπου καθορίζεται η πρόταση ενεργειακής αναβάθμισης του συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Στην ενότητα του σεναρίου προτείνεται η προσθήκη μιας κεντρικής αερόψυκτης αντλίας θερμότητας ισχύος 18 kW με πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό. Στον πίνακα «Παραγωγή» εμφανίζεται η νέα αντλία θερμότητας (με πράσινο φόντο), η οποία καλύπτει πλέον ένα ποσοστό 10% των ετήσιων αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης, με τη λειτουργία της να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλους τους μήνες του έτους, ενώ αναγράφεται και το αντίστοιχο κόστος. Στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής», η επιλογή για την ύπαρξη ανακυκλοφορίας στο δίκτυο μεταφοράς έχει ενεργοποιηθεί (τσεκαρισμένη με πράσινο φόντο), διατηρώντας τον καθορισμένο βαθμό απόδοσης διανομής, σύμφωνα με τις επιλογές του λογισμικού KENAK.

Έτοιμα Σενάρια - ZNX

Προτεινόμενες επεμβάσεις

Νέα αντλία θερμότητας για θέρμανση-ψύξη (Εξοικονομώ 2025 - Παρέμβαση 3.B)

Τύπος : Κεντρική αερόψυκτη Α.Θ. B.Απ. / SCOP : 1 Ισχύς : 18 Kw

Πηγή ενέργειας : Ηλεκτρισμός Κόστος : €

Προσθήκη Αντικατάσταση παλιού

Παραγωγή

A/A	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (KW)	B.Απ.	B. κάλυψης	Jan	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Κόστος €
1	Αντλία Θερμότητας (Α.Θ.)	Ηλεκτρισμός	18.00	1.000	0.10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	10000.00

Δίκτυο Διανομής

A/A	Τύπος	Ανακυκλοφορία	Χώρος διέλευσης	B.Απ.	Κόστος €
1		☒	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	0.730	

Διατάξεις αυτομάτου ελέγχου ZNX
Όχι

Εικόνα 26 Σενάριο Εγκατάστασης ZNX στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Έτοιμα Σενάρια – Ηλιακός» του λογισμικού KENAK, όπου εισάγεται η πρόταση για την εγκατάσταση ενός νέου ηλιοθερμικού συστήματος. Στην ενότητα του σεναρίου ορίζεται ότι το σύστημα αφορά την περιοχή με κλιματικά δεδομένα «Μέσος όρος Ελλάδας», με επιλεκτικό επίπεδο συλλέκτη επιφάνειας 5 τ.μ., γωνία κλίσης 45 μοίρες, προσανατολισμό 180 μοίρες και συντελεστή σκίασης 1. Το σύστημα έχει επιλεγεί να συνεισφέρει τόσο στην παραγωγή ZNX όσο και στη θέρμανση χώρων. Μετά τη μεταφορά δεδομένων στον κάτω πίνακα «Ηλιακός Συλλέκτης», όλες οι προδιαγραφές εμφανίζονται συμπληρωμένες και τροποποιημένες (με πράσινο φόντο), αποτυπώνοντας τους νέους οπτικούς συντελεστές απόδοσης, τις γωνίες προσανατολισμού και κλίσης, καθώς και το κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος Συστήματα

Θέρμανση Ψύξη ZNX Ηλιακός συλλέκτης Φωτισμός Μηχανικός Αερισμός Υγρανση Σ.Η.Θ. Φωτοβολταϊκά

Έτοιμα Σενάρια - Ηλιακός

Προτεινόμενες επεμβάσεις

Νέο ηλιοθερμικό σύστημα παροχής ZNX και υποβοήθησης θέρμανσης χώρου (Εξοικονομώ 2025 - Παρέμβαση 4.Γ)

Περιοχή: Μέσος όρος Ελλάδας Επιφάνεια (m²): 5 ΖΝΧ: ☒ 0.358

Τύπος: Επιλεκτικός επίπεδος Προσανατολισμός (°): 180 Θέρμανση: ☒ 0.358

Γωνία: 45° Σκίαση: 1 Κόστος (€): 600

Μεταφορά

Ηλιακός Συλλέκτης

A/A	Τύπος	ZNX	Συν. α (-)	Θέρμανση	Συν. β (-)	Επιφάνεια (m ²)	γ (deg)	β (deg)	F _s (-)	Κόστος €/m ²
1	Επιλεκτικός επίπεδος	☒	0.358	☒	0.358	5.00	180°	45°	1.000	120.00

Εικόνα 27 Σενάριο Εγκατάστασης Ηλιακού συλλέκτη στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Φωτοβολταϊκά» του λογισμικού KENAK, στην οποία εισάγονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι κοινό για όλες τις ζώνες του κτιρίου. Στον πίνακα προδιαγραφών έχει καταχωρηθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα τύπου μονοκρυσταλλικού πυριτίου, το οποίο εμφανίζεται τροποποιημένο (με πράσινο φόντο). Για το σύστημα αυτό ορίζονται η συνολική επιφάνεια των 10.00 τετραγωνικών μέτρων και η ονομαστική του ισχύς που ανέρχεται στα 8.00 kW. Παράλληλα, καθορίζονται οι γεωμετρικές παράμετροι τοποθέτησης, με τη γωνία προσανατολισμού στις 180 μοίρες (νότιος προσανατολισμός) και τη γωνία κλίσης στις 30 μοίρες, ενώ ο διορθωτικός συντελεστής σκίασης είναι 1.000. Τέλος, η επιλογή για σύνδεση με ενεργειακό συμψηφισμό παραμένει απενεργοποιημένη, ενώ αναγράφεται και το σχετικό κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο του συστήματος, σύμφωνα με τις επιλογές του λογισμικού KENAK.

Κέλυφος Συστήματα

Θέρμανση Ψύξη ZNX Ηλιακός συλλέκτης Φωτισμός Μηχανικός Αερισμός Υγρανση Σ.Η.Θ. Φωτοβολταϊκά

Φωτοβολταϊκά

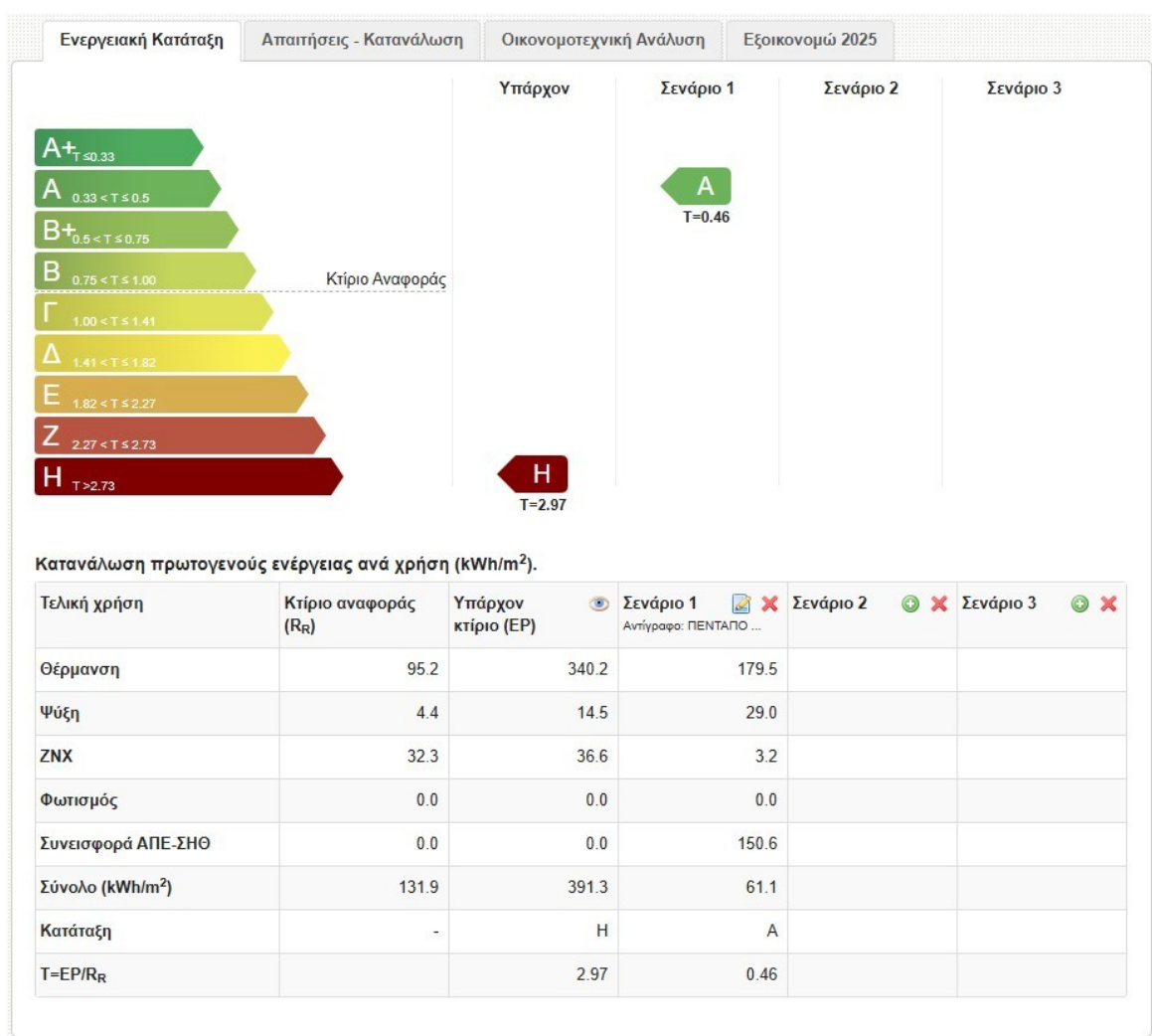
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κοινά για όλες τις ζώνες.

A/A	Τύπος	Συν. Α (-)	Επιφάνεια (m ²)	Ισχύς (KW)	γ (deg)	β (deg)	F _s (-)	Σύνδεση με συμψηφισμό	Κόστος €/m ²
1	Μονοκρυσταλλικό	1.000	10.00	8.00	180°	30	1.000	☐	180.00

Εικόνα 28 Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος στο KENAK

4.2.3 Συγκεντρωτική αξιολόγηση ενεργειακών σεναρίων στο TEE-KENAK

Μετά την καταχώρηση των επιμέρους παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης, το λογισμικό TEE-KENAK παρέχει τη δυνατότητα συγκεντρωτικής αξιολόγησης των σεναρίων, τόσο ως προς την ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου όσο και ως προς τα βασικά οικονομοτεχνικά μεγέθη. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική, καθώς επιτρέπει τη σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης με τα προτεινόμενα σενάρια βελτίωσης και συνδέει την τεχνική αξιολόγηση με την πρακτική δυνατότητα υλοποίησης των παρεμβάσεων.



Εικόνα 29 Ενεργειακή κατάταξη υφιστάμενου κτιρίου και σεναρίου αναβάθμισης στο πλαίσιο του προγράμματος “Εξοικονομώ 2025. Συνολικά Αποτελέσματα Ενεργειακών Σεναρίων στο KENAK

Η Εικόνα 32 παρουσιάζει την τελική καρτέλα «Σενάρια» του λογισμικού TEE-KENAK, όπου συγκεντρώνονται και συγκρίνονται τα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης που έχουν δημιουργηθεί για το κτίριο. Στον κεντρικό πίνακα εμφανίζεται το «Σενάριο 1», το οποίο αφορά την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης (ZNX). Στη δεξιά πλευρά της καρτέλας εμφανίζονται οι βασικές επιλογές διαχείρισης και υπολογισμού, όπως η δημιουργία νέου σεναρίου, η διαγραφή ή μετονομασία του, ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης και η αποθήκευση των αποτελεσμάτων.

Ενεργειακή Κατάταξη

Απαιτήσεις - Κατανάλωση

Οικονομοτεχνική Ανάλυση

Εξοικονομώ 2025

Οικονομοτεχνική Ανάλυση

Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον Κτίριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Λειτουργικό κόστος (€)	1380.8	4093.6	0.0		
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			24416.0		
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)			330.2		
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			84.4		
Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			0.6		
Μείωση εκπομπών CO ₂ (kg/m ²)			95.6		
Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			6.0		

Εικόνα 30 Οικονομοτεχνική ανάλυση σεναρίου ενεργειακής αναβάθμισης στο πλαίσιο του προγράμματος «Εξοικονομώ 2025» (κόστος, εξοικονόμηση ενέργειας και περίοδος αποπληρωμής)

Η Εικόνα 33 παρουσιάζει την οικονομοτεχνική αξιολόγηση του επιλεγμένου σεναρίου ενεργειακής αναβάθμισης. Στην καρτέλα αυτή αποτυπώνονται στοιχεία όπως το εκτιμώμενο κόστος παρέμβασης, η προβλεπόμενη εξοικονόμηση ενέργειας και η περίοδος αποπληρωμής. Με τον τρόπο αυτό, η αξιολόγηση δεν περιορίζεται μόνο στην ενεργειακή βελτίωση του κτιρίου, αλλά επεκτείνεται και στην οικονομική βιωσιμότητα της προτεινόμενης παρέμβασης. Η σύνδεση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο προγραμμάτων ενεργειακής αναβάθμισης, όπως το «Εξοικονομώ 2025», όπου η τεχνική απόδοση των μέτρων πρέπει να συνδυάζεται με το κόστος εφαρμογής και το αναμενόμενο όφελος για τον χρήστη.

4.2.4 Συμπεράσματα των περιπτώσεων μελέτης πραγματικού και ιδανικού κτιρίου

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν την καρτέλα «Έτοιμα Σενάρια – Αντλία Θερμότητας» του λογισμικού KENAK, όπου καθορίζεται μια συνδυασμένη πρόταση ενεργειακής αναβάθμισης για τα συστήματα του κτιρίου. Στο πάνω μέρος έχει επιλεγεί η εγκατάσταση αερόψυκτης αντλίας θερμότητας με πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό, ονομαστική ισχύ 14 kW και συγκεκριμένους δείκτες απόδοσης (SCOP=3.30 και SEER=3.00), η οποία προτείνεται να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης αλλά και ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Στον κάτω πίνακα «Παραγωγή» της ενότητας «Θέρμανση», η νέα αντλία θερμότητας έχει ενσωματωθεί επιτυχώς (με πράσινο φόντο) με ονομαστική ισχύ 14.00 kW, βαθμό απόδοσης 1.000 και SCOP 3.30, καλύπτοντας το 100% των αναγκών της θερμικής ζώνης κατά τους χειμερινούς μήνες, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του λογισμικού KENAK.

Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο				Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3				
Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Θέρμανση	43.0	31.9	23.9	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	24.1	40.3	179.0
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	5.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2
Ύγρανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNX	2.6	2.3	2.4	2.1	1.9	1.5	1.4	1.4	1.5	1.9	2.1	2.5	23.8

Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Θέρμανση	74.3	55.1	41.3	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	41.7	69.7	309.3
Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	3.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
ZNX	3.7	3.3	3.4	3.0	2.6	2.1	2.0	2.0	2.1	2.6	3.0	3.5	33.3
Ηλιακή ενέργεια για ZNX	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Φωτισμός	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ενέργεια από Φ/Β - ΣΗΘ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Σύνολο	78.0	58.3	44.7	22.7	2.6	2.8	4.9	3.4	2.1	10.0	44.7	73.2	347.6

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	5.2	5.1
Πετρέλαιο	342.6	90.4
Φυσικό αέριο	0.0	0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0.0	0.0
Ηλιακή	0.0	0.0
Βιομάζα	0.0	0.0
Γεωθερμία	0.0	0.0
Άλλη ΑΠΕ	0.0	0.0
Σύνολο	347.6	95.6

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Ετοιμα Σενάρια – Ψύξη» του λογισμικού KENAK, αποτυπώνοντας την εφαρμογή του σεναρίου της αντλίας θερμότητας στις ψυκτικές ανάγκες του κτιρίου. Στον πίνακα «Παραγωγή», το σύστημα έχει ενημερωθεί αυτόματα (με πράσινο φόντο) και εμφανίζει ως πηγή παραγωγής ψύξης την αερόψυκτη αντλία θερμότητας (αναγράφεται ως αερόψυκτος ψύκτης) με ισχύ 14.00 kW, βαθμό απόδοσης 1.000 και δείκτη SEER 3.00. Το ποσοστό κάλυψης του ψυκτικού φορτίου ορίζεται στο 100% (1.00) για τους καλοκαιρινούς μήνες από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο. Επιπλέον, στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής», η ισχύς του δικτύου διανομής ψυχρού μέσου έχει τροποποιηθεί αντίστοιχα στα 14.00 kW, σύμφωνα με τις απαιτήσεις εισαγωγής του λογισμικού KENAK.

Ενεργειακή Κατάταξη													
Απαιτήσεις - Κατανάλωση													
Οικονομοτεχνική Ανάλυση													
Εξοικονομώ 2025													
Κτίριο αναφοράς													
Υπάρχον κτίριο													
Σενάριο 1													
Σενάριο 2													
Σενάριο 3													
Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Θέρμανση	44.2	32.7	24.6	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	24.8	41.4	183.9
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	5.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2
Υγρανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNX	2.6	2.3	2.4	2.1	1.9	1.5	1.4	1.4	1.5	1.9	2.1	2.5	23.8
Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Θέρμανση	15.2	11.1	8.2	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	8.3	14.2	61.9
Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση	1.3	1.5	1.9	2.1	2.5	2.6	2.8	2.7	2.4	2.0	1.5	1.3	24.5
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	5.9	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
ZNX	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	1.1
Ηλιακή ενέργεια για ZNX	1.3	1.5	1.9	2.1	2.5	2.6	2.8	2.7	2.4	2.0	1.5	1.3	24.5
Φωτισμός	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ενέργεια από Φ/B - ΣΗΘ	6.4	7.4	10.0	11.9	14.3	15.5	16.3	15.5	12.9	10.0	7.0	5.9	133.1
Σύνολο	15.4	11.3	8.3	3.7	0.0	1.2	5.9	2.8	0.0	1.4	8.5	14.4	73.0
Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)												Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	0.0												0.0
Πετρέλαιο	0.0												0.0
Φυσικό αέριο	0.0												0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0.0												0.0
Ηλιακή	24.5												0.0
Βιομάζα	0.0												0.0
Γεωθερμία	0.0												0.0
Άλλη ΑΠΕ	0.0												0.0
Σύνολο	73.0												0.0

Εικόνα 31 Επίδραση του Σεναρίου Αντλίας Θερμότητας στο Σύστημα ZNX στο KENAK

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Ετοιμα Σενάρια – ZNX» του λογισμικού KENAK, δείχνοντας πώς το σενάριο της κεντρικής αντλίας θερμότητας επηρεάζει την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Στον πίνακα «Παραγωγή», η νέα αντλία θερμότητας έχει καταχωρηθεί (με πράσινο φόντο) με ισχύ 14.00 kW και βαθμό απόδοσης 1.000, καλύπτοντας το 100% των ετήσιων αναγκών του κτιρίου σε ZNX, με συνεχή λειτουργία («1») για όλους τους μήνες του έτους. Παράλληλα, στην ενότητα «Δίκτυο Διανομής» έχει ενεργοποιηθεί η επιλογή για την ύπαρξη ανακυκλοφορίας στο δίκτυο (τσεκαρισμένο κουτάκι με πράσινο φόντο), ενώ ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής έχει τροποποιηθεί και διαμορφωθεί στο 1.000, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του λογισμικού KENAK.

	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο			Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3				
Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Θέρμανση	15.6	11.6	8.7	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	8.7	14.6	63.2
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	4.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5
Υγρανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNX	2.6	2.3	2.4	2.1	1.9	1.5	1.4	1.4	1.5	1.9	2.1	2.5	23.8

Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσιο
Θέρμανση	21.4	15.9	11.9	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	12.0	20.0	86.5
Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
ZNX	3.3	2.9	3.0	2.6	2.3	1.9	1.8	1.7	1.9	2.3	2.6	3.1	29.4
Ηλιακή ενέργεια για ZNX	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	5.2
Φωτισμός	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ενέργεια από Φ/Β - ΣΗΘ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Σύνολο	24.6	18.8	14.9	6.8	2.3	2.2	2.5	2.3	1.9	3.5	14.6	23.1	117.4

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	1.6	1.6
Πετρέλαιο	115.9	30.6
Φυσικό αέριο	0.0	0.0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0.0	0.0
Ηλιακή	5.2	0.0
Βιομάζα	0.0	0.0
Γεωθερμία	0.0	0.0
Άλλη ΑΠΕ	0.0	0.0
Σύνολο	117.4	32.2

Εικόνα 32 Εγκατάσταση Μονάδων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Σ.Η.Θ.) στο KENAK

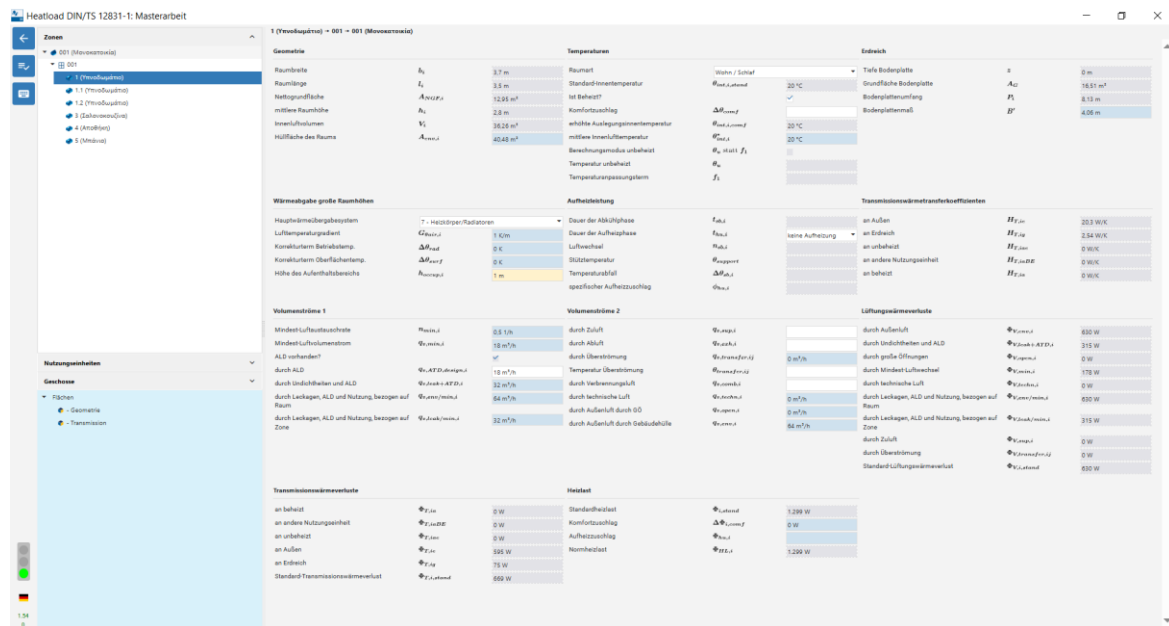
Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα «Σ.Η.Θ.» (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας) του λογισμικού KENAK, όπου εισάγονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που παράγουν ταυτόχρονα θερμική και ηλεκτρική ενέργεια και είναι κοινά για όλο το κτίριο. Στον πίνακα προδιαγραφών έχει καταχωρηθεί μια μονάδα Σ.Η.Θ. τύπου MEK (Μηχανή Εσωτερικής Καύσης) με πηγή ενέργειας το φυσικό αέριο, η οποία εμφανίζεται τροποποιημένη (με πράσινο φόντο). Για τη μονάδα αυτή έχουν οριστεί η ονομαστική ηλεκτρική ισχύς στα 10.00 kW, η ονομαστική θερμική ισχύς στα 20.00 kW, καθώς και οι αντίστοιχοι ηλεκτρικοί και θερμικοί βαθμοί απόδοσης (0.300 και 0.500). Η περίοδος λειτουργίας της καλύπτει ολόκληρο το έτος, ενώ έχει καθοριστεί και το σχετικό κόστος ανά κιλοβάτ, σύμφωνα με τις επιλογές του λογισμικού KENAK.

Ενεργειακή Κατάταξη		Απαιτήσεις - Κατανάλωση		Οικονομοτεχνική Ανάλυση		Εξοικονομώ 2025	
Κριτήρια ενεργειακών στόχων				Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	
Α - Το Α' ΠΕΑ πρέπει να έχει ενεργειακή κλάση Γ ή χαμηλότερη				H			
Β - Η πρόταση επιτυγχάνει ελάχιστη αναβάθμιση κατά 3 ενεργειακές κλάσεις				H → Α			
Γ - Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας > 30%				84.4%			
Κριτήρια κόστους				Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	
Α - κόστος παρεμβάσεων ≤ 1.20€/KWh * εξοικ/ση πρωτ. ενέργειας (KWh)				24416€ ≤ 46756.32€			
Β - κόστος παρεμβάσεων ≤ 35000€				24416€ ≤ 35000€			
Κριτήριο βαθμολόγησης		Βαθμομέρες				Βαθμολογία Κτιρίου	
Κ ₁ - Βαθμομέρες		0.873511149 (ΔΗΜΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΑΠΠΑ - Δαφνούδιον,το - ΤΚ:82042 (0.874))				50.41%	
Υπόμνημα:		Επιλέξιμο Μή Επιλέξιμο					

Συχνές Ερωτήσεις

Εικόνα 33 Έλεγχος ενεργειακών και οικονομικών κριτηρίων σεναρίων στο πλαίσιο του προγράμματος “Εξοικονομώ 2025” και τελική βαθμολογία κτιρίου

4.3 Μελέτη Κτιρίου με το λογισμικό Trimble Nova



Εικόνα 34 Παράδειγμα αποτελεσμάτων υπολογισμού Raumheizlast κατά DIN/TS 12831-1 στο εξειδικευμένο λογισμικό θερμικών φορτίων

4.3.1 Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (Heizlast) και Στοιχεία Χώρου στο Λογισμικό

Η εικόνα παρουσιάζει την καρτέλα υπολογισμού των θερμικών απωλειών (Heizlast) ενός συγκεκριμένου χώρου («ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ») σε εξειδικευμένο μηχανολογικό λογισμικό. Στο πάνω μέρος ορίζονται τα βασικά γεωμετρικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του δωματίου, όπως η επιφάνεια δαπέδου (14.28 m^2), ο συνολικός όγκος (42.84 m^3), καθώς και οι θερμοκρασίες σχεδιασμού (εσωτερική θερμοκρασία στους 20°C και εξωτερική στους -6°C). Στον κεντρικό πίνακα καταχωρούνται αναλυτικά όλα τα δομικά στοιχεία που περιβάλλουν τον χώρο, στα οποία περιλαμβάνονται εξωτερικοί τοίχοι (AW), οροφή (DA), εσωτερικοί τοίχοι (IW) σε επαφή με άλλους χώρους, καθώς και τα διαφανή ανοίγματα όπως παράθυρα (AF) και μπακονόπορτες (AT). Για κάθε δομικό στοιχείο προσδιορίζονται οι διαστάσεις του (πλάτος και ύψος), το καθαρό εμβαδό, ο προσανατολισμός του, ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-Value), καθώς και η θερμοκρασία του όμορου περιβάλλοντος, επιτρέποντας τον ακριβή υπολογισμό των διόδευσεων θερμότητας (Φ_T). Στο κάτω μέρος της καρτέλας συγκεντρώνονται τα τελικά αποτελέσματα, όπου αποτυπώνονται οι συνολικές απώλειες μέσω μετάδοσης (645 W), οι απώλειες λόγω

αερισμού (132 W), οδηγώντας στην τελική απαιτούμενη θερμική ισχύ σχεδιασμού (Heizlast) για το υπνοδωμάτιο, η οποία ανέρχεται στα 777 W (ή 54.4 W/m²).

001 (Μονοκατοικία)

Geometrie und Wärmebrücken			Temperaturen			Erdreich		
Luftvolumen des Gebäudes	V_{build}	239,74 m ³	Außentemperatur Referenzort	$\theta_{e,Ref}$	-9,3 °C	Tiefe Bodenplatte	z	0 m
Hüllfläche Gebäude	A_{env}	245,1 m ²	Referenzhöhe	h_{ref}	20 m	Abstand Grundwasser		2 m
Kategorie	$F_{all} \Delta U_{TB}$	C	Standorthöhe	h_{build}	20 m	Bodenplattenumfang	P	43,61 m
Wärmebrückenzuschlag			Temperaturgradient Außenluft	$G_{\theta,Ref}$	0 K/m	Faktor Grundwasser	f_{GW}	1
Wärmebrückenzuschlag	ΔU_{TB}	0,15 W/(m ² *K)	Außenlufttemperatur	$\theta_{e,0}$	-9,3 °C	Bodenplattenmaß	B'	5,4 m
			Temperaturkorrektur	$\Delta\theta_{e,r}$	0 K	Faktor per. Schwankung	$f_{\theta ann}$	1,45
			Zeitkonstante			Grundfläche Bodenplatte	A_G	117,64 m ²
			Auslegungsaußentemperatur	θ_e	-9,3 °C			
			Jahresmittlere Außentemperatur	$\theta_{e,m}$	9,8 °C			
			Temperatur Nachbargebäude	$\theta_{Nachbar}$	12 °C			

Zeitkonstante			Luftdichtheit			Wärmeverluste (Standardbedingungen)		
Kategorie		gering	Kategorie Luftdichtheit	D		Wärmeverlustkoeffizienten durch Transmission	$\sum H_{T,i}$	133,46 W/K
Wärmespeicherkapazität	c_{eff}	15 Wh/(m ² *K)	Luftdichtheitsprüfung	nicht durchgeführt		Wärmeverlustkoeffizienten durch Lüftung	$\sum H_{V,i}$	122,86 W/K
Wärmespeicherkapazität	C_{eff}	5,277,48 Wh/K	Anforderungen Luftdichtheit	gering		Summe	$\sum H$	256,31 W/K
Bruttovolumen	V_e	351,83 m ³	Messwert Luftdurchlässigkeit 50 Pa	$q_{env,50,measure}$		Wärmeverlustkoeffizienten		
Außenluftvolumenstrom	$q_{V,12}$	183 m ³ /h	Messwert Außen-LW 50Pa	$n_{50,measure}$		durch Transmission an Außenluft	$\sum \Phi_{T,ie}$	3,383 W
Lüftungswärmeoeffizient	$H_{V,12}$	61,43 W/K	Fläche kleine Öffnungen	$A_{small,open}$		durch Transmission an Erdreich	$\sum \Phi_{T,ig}$	496 W
Transmissionswärmeoeffizient	$H_{T,12}$	111,93 W/K	zus. Volumenstrom kleine Öffnungen	$\Delta q_{env,50,small}$		durch Transmission an unbeheizt	$\sum \Phi_{T,iae}$	113 W
Wärmetransferkoeffizient	H_{12}	173,35 W/K	zus. LW kleine Öffnungen	$\Delta n_{50,small,ope}$		durch Lüftung (Leckagen,ALD und Nutzung)	$\sum \Phi_{V,leak/min}$	1,841 W
Zeitkonstante	τ	30,44 h	Luftdurchlässigkeit	$q_{env,50}$	12 m ³ /(m ² *h)	durch Lüftung (Zuluft)	$\sum \Phi_{V,sup,i}$	0 W
			Luftwechselrate bei 50 Pa	n_{50}	12,27 1/h	durch Lüftung (Überströmung)	$\sum \Phi_{V,transfer,i}$	0 W
			LW bestimmt durch	DIN/TS 12831-1		Transmissionswärmeverluste	$\sum \Phi_T$	3,992 W
			Abschirmung Gebäude	Normal		Lüftungswärmeverluste	$\sum \Phi_V$	1,841 W
			mittlere Windgeschwindigkeit	v_{meteo}	3 m/s			
			Hauptwindrichtung	SSO				

Heizlast

Εικόνα 35 Παράμετροι υπολογισμού Norm-Heizlast κατά DIN/TS 12831-1 (γεωμετρία, θερμογέφυρες, αεροστεγανότητα, θερμικές απώλειες)

Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (Heizlast) Ολόκληρου του Κτιρίου στο Λογισμικό

Η εικόνα παρουσιάζει την τελική καρτέλα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών (Heizlast) ολόκληρου του κτιρίου, σύμφωνα με τα πρότυπα υπολογισμού. Στο πάνω μέρος εμφανίζονται τα γενικά γεωμετρικά στοιχεία της εγκατάστασης, όπως η συνολική επιφάνεια των χώρων (137.91 m²) και ο συνολικός όγκος (413.73 m³). Στον κεντρικό πίνακα καταγράφονται αναλυτικά ανά δωμάτιο (όπως κουζίνα, λουτρό, διάδρομος και υπνοδωμάτια) οι επιμέρους απώλειες και οι απαιτήσεις ισχύος. Για κάθε χώρο παρουσιάζονται οι απώλειες μέσω μετάδοσης (ΦT), οι απώλειες λόγω αερισμού (ΦV), η πρόσθετη ισχύς για τη θέρμανση μετά από διακοπή (ΦRH), καθώς και η συνολική απαιτούμενη θερμική ισχύς σχεδιασμού (ΦHL) σε Watt. Στο κάτω μέρος της καρτέλας συγκεντρώνονται τα τελικά συνολικά αποτελέσματα του κτιρίου, όπου αποτυπώνονται οι

συνολικές απώλειες μετάδοσης (4083 W), οι απώλειες αερισμού (958 W) και η συνολική ισχύς επαναθέρμανσης (0 W), οδηγώντας στην τελική συνολική απαιτούμενη θερμική ισχύ σχεδιασμού για το κτίριο, η οποία ανέρχεται στα 5041 W (ή 36.6 W/m²).

4.3.2 Αναλυτική Αξιολόγηση Θερμικών Απωλειών ανά Χώρο

Από τη μεθοδολογική επεξεργασία των επιμέρους ζωνών του κτιρίου προκύπτει μια σαφής διαφοροποίηση των θερμικών απαιτήσεων, η οποία εξαρτάται άμεσα από τη γεωμετρία, την έκθεση σε εξωτερικά στοιχεία και τις εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού.

4.3.2.1 Χώρος Δημέρευσης (Σαλοκουζίνα)

Η Σαλοκουζίνα αποτελεί τον μεγαλύτερο ενιαίο χώρο του κτιρίου, με συνολική επιφάνεια δαπέδου 53.47 m² και όγκο 160.41 m³. Όπως προκύπτει από τον υπολογισμό, εμφανίζει απώλειες μετάδοσης (ΦΤ) ίσες με 1659 W και απώλειες αερισμού (ΦΤ) 371 W, διαμορφώνοντας τη συνολική απαίτηση φορτίου (ΦΤ) στα 2030 W. Παρά το μεγάλο μέγεθός του, η ειδική του απαίτηση διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα (38.0 W/m²) λόγω της ευνοϊκής σχέσης όγκου προς εξωτερική επιφάνεια κελύφους (Εικόνα 4.2).

Room No. 3		Tag Σαλοκουζίνα	
Dwelling unit		Zone 001	
internal design temperature 20 °C		Increased internal design temperature 20 °C	
☒ Heated (DIN 12831-1)		Heating status (SIA 384/2)	
Geometry Length 5.48 m Width 7 m Ground area 38.34 m ² Storey height 3 m Ceiling thickness 0.2 m Volume 107.34 m ³ Inside height 2.8 m Energy reference area (EBF) (SIA 384/2) 0 m ²		Earth contact Area of the floor slab 45.99 m ² Exposed periphery of the floor slab 11.98 m Depth of the floor slab below ground level 0 m	
Heat loss calculation Standard transmission heat loss 1578 Watt Standard ventilation heat loss 1278 Watt Standard Heatload 2856 Watt		Design Heatload per m ² 74.5 W/m ² Design Heatload per m ³ 26.61 W/m ³ Standard heat load 2856 Watt	

Εικόνα 36 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για τον χώρο «Σαλοκουζίνα».

4.3.2.2 Υπνοδωμάτιο 1

Το Υπνοδωμάτιο 1, με επιφάνεια 15.00 m² και όγκο 45.00 m³, παρουσιάζει συνολικές απώλειες 634 W, που αντιστοιχούν σε ειδικό φορτίο 42.3 W/m². Οι απώλειες μετάδοσης

κυριαρχούν με 530 W, έναντι των απωλειών αερισμού που ανέρχονται σε 104 W (Εικόνα 4.3).

Room No. 1		Tag Υπνοδωμάτιο	
Dwelling unit		Zone 001	
internal design temperature 20 °C		Increased internal design temperature 20 °C	
☒ Heated (DIN 12831-1)		Heating status (SIA 384/2)	

Geometry		Earth contact	
Length	3,5 m	Area of the floor slab	16,51 m ²
Width	3,7 m	Exposed periphery of the floor slab	8,13 m
Ground area	12,95 m ²	Depth of the floor slab below ground level	0 m
Storey height	3 m		
Ceiling thickness	0,2 m		
Volume	36,26 m ³		
Inside height	2,8 m		
Energy reference area (EBF) (SIA 384/2)	0 m ²		

Heat loss calculation		Design Heatload per m ²	
Standard transmission heat loss	737 Watt	Design Heatload per m ²	110,01 W/m ²
Standard ventilation heat loss	688 Watt	Design Heatload per m ³	39,29 W/m ³
Standard-Heatload	1425 Watt	Standard heat load	1425 Watt

Εικόνα 37 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για το «Υπνοδωμάτιο 1».

4.3.2.3 Υπνοδωμάτιο 2

Το Υπνοδωμάτιο 2, με επιφάνεια 14.28 m² και όγκο 42.84 m³, εμφανίζει συνολικό φορτίο 777 W με ειδική απαίτηση στα 54.4 W/m². Η αυξημένη αυτή τιμή αποδίδεται στην έντονη έκθεση των εξωτερικών του τοίχων (AW) και των διαφανών στοιχείων (παράθυρα AF και μπακονόπορτες AT) σε σχέση με το εμβαδόν του, όπως αποτυπώνεται αναλυτικά στην Εικόνα 4.4.

Room No. 1.1		Tag Υπνοδωμάτιο	
Dwelling unit		Zone 001	
internal design temperature 20 °C		Increased internal design temperature 20 °C	
☒ Heated (DIN 12831-1)		Heating status (SIA 384/2)	

Geometry		Earth contact	
Length	3,4 m	Area of the floor slab	15,8 m ²
Width	3,7 m	Exposed periphery of the floor slab	6,67 m
Ground area	12,59 m ²	Depth of the floor slab below ground level	0 m
Storey height	3 m		
Ceiling thickness	0,2 m		
Volume	35,24 m ³		
Inside height	2,8 m		
Energy reference area (EBF) (SIA 384/2)	0 m ²		

Heat loss calculation		Design Heatload per m ²	
Standard transmission heat loss	665 Watt	Design Heatload per m ²	106,48 W/m ²
Standard ventilation heat loss	675 Watt	Design Heatload per m ³	38,03 W/m ³
Standard-Heatload	1340 Watt	Standard heat load	1340 Watt

Εικόνα 38 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για το «Υπνοδωμάτιο 2».

4.3.2.4 Υπνοδωμάτιο 3

Το Υπνοδωμάτιο 3 έχει τις ίδιες γεωμετρικές διαστάσεις με το Υπνοδωμάτιο 2 (14.28 m² και όγκο 42.84 m³), ωστόσο παρουσιάζει ελαφρώς μειωμένες συνολικές απώλειες στα 711

W (49.8 W/m²). Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στον προσανατολισμό και το μέγεθος των ανοιγμάτων του (Εικόνα 4.5).

Room No. 1,2		Tag Υπνοδωμάτιο	
Dwelling unit		Zone 001	
internal design temperature 20 °C		Increased internal design temperature 20 °C	
☒ Heated (DIN 12831-1)		Heating status (SIA 384/2)	
Geometry Length 3,38 m Width 3,7 m Ground area 12,51 m ² Storey height 3 m Ceiling thickness 0,2 m Volume 35,02 m ³ Inside height 2,8 m Energy reference area (EBF) (SIA 384/2) 0 m ²		Earth contact Area of the floor slab 15,75 m ² Exposed periphery of the floor slab 6,82 m Depth of the floor slab below ground level 0 m	
Heat loss calculation Standard transmission heat loss 657 Watt Standard ventilation heat loss 628 Watt Standard-Heatload 1285 Watt		Design Heatload per m ² 102,75 W/m ² Design Heatload per m ³ 36,7 W/m ³ Standard heat load 1285 Watt	

Εικόνα 39 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για το «Υπνοδωμάτιο 3».

4.3.2.5 Χώρος Υγιεινής (Μπάνιο)

Το Μπάνιο, με επιφάνεια 8.10 m² και όγκο 24.30 m³, εμφανίζει τη μέγιστη ειδική θερμική απαίτηση ανά τετραγωνικό μέτρο σε όλο το κτίριο, αγγίζοντας τα 62.6 W/m² (συνολικό φορτίο 507 W). Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη, καθώς η εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού είναι αυξημένη στους 24°C, γεγονός που μεγεθύνει τη θερμοκρασιακή διαφορά (ΔT) με το εξωτερικό περιβάλλον και αυξάνει τις μεταδόσεις θερμότητας (Εικόνα 4.6).

Room No. 5		Tag Μπάνιο	
Dwelling unit		Zone 001	
internal design temperature 24 °C		Increased internal design temperature 24 °C	
☒ Heated (DIN 12831-1)		Heating status (SIA 384/2)	
Geometry Length 2,8 m Width 3,3 m Ground area 9,24 m ² Storey height 3 m Ceiling thickness 0,2 m Volume 25,87 m ³ Inside height 2,8 m Energy reference area (EBF) (SIA 384/2) 0 m ²		Earth contact Area of the floor slab 11,62 m ² Exposed periphery of the floor slab 6,85 m Depth of the floor slab below ground level 0 m	
Heat loss calculation Standard transmission heat loss 744 Watt Standard ventilation heat loss 746 Watt Standard-Heatload 1490 Watt		Design Heatload per m ² 161,21 W/m ² Design Heatload per m ³ 57,58 W/m ³ Standard heat load 1490 Watt	

Εικόνα 40 Αναλυτικός υπολογισμός θερμικών απωλειών (Heizlast) για τον χώρο «Μπάνιο».

4.3.2.6 Ζώνη Κυκλοφορίας (Διάδρομος)

Ο Διάδρομος, με επιφάνεια 32.78 m² και όγκο 98.34 m³, λειτουργεί ως εσωτερική ζώνη διανομής. Παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλές θερμικές απώλειες (382 W συνολικά, ή 11.7 W/m²), καθώς περιβάλλεται κατά κύριο λόγο από άλλους θερμαινόμενους χώρους,

περιορίζοντας τις απώλειες μετάδοσης αποκλειστικά στα οριζόντια δομικά στοιχεία (δάπεδο και οροφή).

4.4 Σύνθεση Συνολικών Αποτελεσμάτων και Μηχανολογικά Συμπεράσματα

Η συνολική εικόνα της μονοκατοικίας αποτυπώνεται στον συγκεντρωτικό πίνακα αποτελεσμάτων (Εικόνα 4.7), ο οποίος προσφέρει τα απαραίτητα στοιχεία για τη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης.

Geometry	
Length	9,8 m
Width	12 m
Ground area	117,64 m ²
Height	3 m
Gross volume	351,83 m ³
air volume of the building	239,74 m ³
envelope of the building	245,1 m ²
Energy reference area (EBF) (SIA 384/2)	0 m ²

Εικόνα 41 Πίνακας εμβαδομέτρησης και όγκου των επιμέρους ζωνών της μονοκατοικίας. Γεωμετρικά δεδομένα κτιρίου για υπολογισμό θερμικών φορτίων (μήκος, πλάτος, όγκος, επιφάνεια κελύφους)

Το συνολικό θερμικό φορτίο σχεδιασμού του κτιρίου υπολογίζεται από το άθροισμα των επιμέρους απωλειών, σύμφωνα με τη σχέση: $\Phi_{HL,total} = \Phi_{T,total} + \Phi_{V,total} + \Phi_{RH,total}$

Καθώς η πρόσθετη ισχύς επαναθέρμανσης μετά από διακοπή ορίστηκε μηδενική (υπόθεση συνεχούς λειτουργίας), τα τελικά μεγέθη διαμορφώνονται ως εξής:

- Συνολικές Απώλειες Μετάδοσης 4083 W (81% του συνολικού φορτίου)
- Συνολικές Απώλειες Αερισμού 958 W (19% του συνολικού φορτίου)
- Συνολική Απαιτούμενη Ισχύς 5041 W (ή 5.04 kW)

Η μέση ειδική θερμική απαίτηση της μονοκατοικίας ανέρχεται σε 36.6 W/m². Η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα χαμηλή και υποδηλώνει ότι το κτίριο διαθέτει έναν πολύ ικανοποιητικό

βαθμό θερμομόνωσης στο κέλυφός του (χαμηλοί συντελεστές U), εναρμονισμένο με τις σύγχρονες απαιτήσεις για κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Η επικράτηση των απωλειών μετάδοσης (81%) επιβεβαιώνει ότι η κύρια ροή θερμότητας διαφεύγει από τα δομικά στοιχεία, ενώ το ελεγχόμενο ποσοστό του αερισμού (19%) υποδεικνύει καλή αεροστεγανότητα των κουφωμάτων. Τα συγκεντρωτικά αυτά αποτελέσματα ανά χώρο παρουσιάζονται στον τελικό πίνακα του λογισμικού (Εικόνα 4.8).

Room No.	5	Tag	Μπάνιο
Dwelling unit		Zone	001
internal design temperature	24 °C	Increased internal design temperature	24 °C
☒ Heated (DIN 12831-1)		Heating status (SIA 384/2)	
Geometry Length: 2,8 m Width: 3,3 m Ground area: 9,24 m ² Storey height: 3 m Ceiling thickness: 0,2 m Volume: 25,87 m ³ Inside height: 2,8 m Energy reference area (EBF) (SIA 384/2): 0 m ²		Earth contact Area of the floor slab: 11,62 m ² Exposed periphery of the floor slab: 6,85 m Depth of the floor slab below ground level: 0 m	
Heat loss calculation Standard transmission heat loss: 744 Watt Standard ventilation heat loss: 746 Watt Standard-Heatload: 1490 Watt		Design Heatload per m ² : 161,21 W/m ² Design Heatload per m ³ : 57,58 W/m ³ Standard heat load: 1490 Watt	

Εικόνα 42 Συγκεντρωτικός πίνακας θερμικών απωλειών σχεδιασμού (Heizlast) ολόκληρου του κτιρίου.

4.5 Προτάσεις για τη Διαστασιολόγηση του Συστήματος Παραγωγής

Με βάση το τελικό φορτίο των 5.04 kW, η επιλογή της πηγής θερμότητας (π.χ. Αντλία Θερμότητας) πρέπει να γίνει με γνώμονα την κάλυψη αυτού του φορτίου στην εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού των -6°C χωρίς υπερδιαστασιολόγηση, η οποία θα υποβάθμιζε τον εποχιακό συντελεστή απόδοσης (SCOP). Τα αποτελέσματα αυτά κρίνονται απόλυτα αξιόπιστα και αποτελούν τη βάση για τη μελέτη θέρμανσης της μονοκατοικίας στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.6 Αναλυτική τεχνική έκθεση θερμικών απωλειών και σχολιασμός αποτελεσμάτων από τα λογισμικά

Μεθοδολογία και Κλιματικά Δεδομένα Σχεδιασμού

Η παρούσα τεχνική ανάλυση αποτελεί το βασικό σκέλος της μελέτης διαστασιολόγησης του συστήματος θέρμανσης για τη μονοκατοικία του έργου. Οι υπολογισμοί

διεκπεραιώθηκαν μέσω του εξειδικευμένου λογισμικού Trimble Nova με βάση το αυστηρό ευρωπαϊκό πρότυπο αναλυτικής διαδικασίας DIN/TS 12831-1 (Detailed Procedure). Η υπό μελέτη ιδιοκτησία αφορά μια μονόροφη μονοκατοικία (Ισόγειο) με συνολική καθαρή επιφάνεια δαπέδου των κύριων χώρων ίση με $85,6 \text{ m}^2$ και καθαρό εσωτερικό όγκο αέρα $239,74 \text{ m}^3$, ενώ ο συνολικός εξωτερικός (gross) όγκος του κτιρίου (Ve,build) ανέρχεται σε $351,83 \text{ m}^3$.

Η γεωμετρία του κτιρίου καθορίζεται από εξωτερικές διαστάσεις μήκους $9,80 \text{ m}$ και πλάτους $12,00 \text{ m}$, με συνολικό ύψος ορόφου $3,00 \text{ m}$. Η συνολική εξωτερική επιφάνεια του κτιριακού κελύφους (Aen,build) είναι $245,1 \text{ m}^2$, ενώ η επιφάνεια της πλάκας εδάφους (ANGF,build) ισούται με $117,64 \text{ m}^2$.

Για τον υπολογισμό των απωλειών μετάδοσης, εφαρμόστηκε καθολική προσαύξηση λόγω θερμογεφυρών (Thermal bridge allowance) $\Delta U_{tb} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, αποτυπώνοντας μια συντηρητική αλλά ρεαλιστική προσέγγιση της κατασκευαστικής αρτιότητας. Η ενεργειακή συμπεριφορά και η θερμική αδράνεια του κτιρίου χαρακτηρίζονται από ενεργή θερμοχωρητικότητα (ceff) ίση με $15,0 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$, η οποία μεταφράζεται σε συνολική θερμοχωρητικότητα 5277 Wh/K και μια σταθερά χρόνου (Time constant) της τάξης των $11,9 \text{ h}$. Όσον αφορά την αεροστεγανότητα, δεδομένου ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί δοκιμή θύρας αεροστεγανότητας (Blower Door Test), υιοθετήθηκε η συμβατική τιμή $n_{50} = 12,3 \text{ l/h}$ υπό κανονικές συνθήκες σκίασης/έκθεσης στον άνεμο (Normal shielding).

Το σημείο αναφοράς για τις κλιματικές παραμέτρους είναι η περιοχή του Αμβούργου (T.K. 22045). Η εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού (θ_e) ορίζεται στους $-12,0 \text{ }^\circ\text{C}$, γεγονός που υποδηλώνει δριμύ χειμερινό κλίμα, ενώ η ετήσια μέση εξωτερική θερμοκρασία ($\theta_{e,m}$) είναι $8,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Οι εσωτερικές θερμοκρασίες αναφοράς ορίστηκαν στους $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ για όλους τους κύριους χώρους (Υπνοδωμάτια, Σαλοκουζίνα), με εξαίρεση το Μπάνιο, το οποίο λόγω προδιαγραφών άνεσης υπολογίζεται στους $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Για όλους τους χώρους υιοθετήθηκε ελάχιστος ρυθμός ανανέωσης αέρα $n_{\min} = 0,5 \text{ l/h}$ βάσει φυσικού ή μηχανικού αερισμού χωρίς πρόσθετες προσαυξήσεις διαλείπουσας λειτουργίας.

4.6.1 Αναλυτικός Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών ανά Χώρο

Υπνοδωμάτιο 1

Το πρώτο υπνοδωμάτιο έχει καθαρή επιφάνεια $13,0 \text{ m}^2$ και όγκο $36,3 \text{ m}^3$.

- Απώλειες Μετάδοσης (ΦΤ,stand): Ανέρχονται σε 2136 W . Αναλύοντας τα δομικά στοιχεία:
 - Νότιος εξωτερικός τοίχος (ew, S): επιφάνεια $10,7 \text{ m}^2$ με $U_k = 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ και διορθωμένο $U_{\text{clequin}} = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, προκαλεί απώλειες 533 W .
 - Νότιο παράθυρο (ewd, S): επιφάνεια $1,3 \text{ m}^2$ με $U_k = 5,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, προκαλεί απώλειες 211 W .
 - Δυτικός εξωτερικός τοίχος (ew, W): επιφάνεια $11,9 \text{ m}^2$ με διορθωμένο $U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, προκαλεί απώλειες 593 W .
 - Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος (gf, H): επιφάνεια $16,5 \text{ m}^2$ με $U_k = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ και διορθωμένο συντελεστή $0,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ λόγω συντελεστών εδάφους, προκαλεί απώλειες 192 W .
 - Οροφή (ce, H): επιφάνεια $16,5 \text{ m}^2$ με $U_k = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ και διορθωμένο $U = 1,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, προκαλεί απώλειες 608 W .
- Απώλειες Αερισμού (ΦV,stand): Ισούνται με 688 W , βασιζόμενες σε συνολική παροχή αέρα διαρροών και χρήσης $64 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Συνολικό Θερμικό Φορτίο Χώρου (ΦHL): Διαμορφώνεται στα 2823 W , αποδίδοντας ειδικό φορτίο επιφανείας $218 \text{ W}/\text{m}^2$.

Υπνοδωμάτιο 2

Το δεύτερο υπνοδωμάτιο καταλαμβάνει επιφάνεια $12,6 \text{ m}^2$ και όγκο $35,2 \text{ m}^3$.

- Απώλειες Μετάδοσης (ΦΤ,stand): Ανέρχονται σε 1907 W (1908 W αναλυτικά).
 - Βόρειος εξωτερικός τοίχος (ew, N): καθαρή επιφάνεια $11,7 \text{ m}^2$ με διορθωμένο $U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, προκαλεί απώλειες 578 W .

- Βόρειο παράθυρο (ewd, N): επιφάνεια $1,3 \text{ m}^2$ με $U_k = 5,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, επιφέρει απώλειες 213 W .
- Εσωτερικός τοίχος (IW, N): επιφάνεια $15,0 \text{ m}^2$ σε επαφή με όμορο μη θερμαινόμενο χώρο (στους 15°C), συνεισφέρει απώλειες 31 W .
- Δάπεδο (gf, H) και Οροφή (ce, H): με κοινή επιφάνεια $15,8 \text{ m}^2$, προκαλούν απώλειες 170 W και 582 W αντίστοιχα.
- Απώλειες Αερισμού ($\Phi V, \text{stand}$): Υπολογίζονται στα 675 W με συνολική ροή αέρα $63 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Συνολικό Θερμικό Φορτίο Χώρου (ΦHL): Ισούται με 2582 W , αποδίδοντας ειδικό φορτίο επιφανείας $205 \text{ W}/\text{m}^2$.

Υπνοδωμάτιο 3

Το τρίτο υπνοδωμάτιο έχει επιφάνεια $12,5 \text{ m}^2$ και όγκο $35,0 \text{ m}^3$.

- Απώλειες Μετάδοσης ($\Phi T, \text{stand}$): Ανέρχονται σε 1878 W (1879 W αναλυτικά).
 - Βόρειος εξωτερικός τοίχος (ew, N): επιφάνεια $8,5 \text{ m}^2$, προκαλεί απώλειες 358 W .
 - Ανατολικός εξωτερικός τοίχος (ew, E): επιφάνεια $11,6 \text{ m}^2$, προκαλεί απώλειες 577 W .
 - Βόρειο άνοιγμα (ewd, N): επιφάνεια $1,3 \text{ m}^2$, προκαλεί απώλειες 211 W .
 - Δάπεδο (gf, H) και Οροφή (ce, H): με επιφάνεια $15,8 \text{ m}^2$, συνεισφέρουν 172 W και 580 W αντίστοιχα.
 - Εσωτερικός τοίχος (iw, N): παρουσιάζει αρνητική ροή θερμότητας (θερμικό κέρδος) ίση με -19 W , καθώς συνορεύει με θερμότερο χώρο (Λουτρό στους 24°C).
- Απώλειες Αερισμού ($\Phi V, \text{stand}$): Υπολογίζονται στα 628 W με ροή αέρα $59 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Συνολικό Θερμικό Φορτίο Χώρου (ΦHL): Ανέρχεται σε 2507 W , αποδίδοντας ειδικό φορτίο επιφανείας $200 \text{ W}/\text{m}^2$.

Σαλοκουζίνα

Αποτελεί τη μεγαλύτερη θερμική ζώνη της κατοικίας με καθαρή επιφάνεια 38,3 m² και όγκο 107,3 m³.

- Απώλειες Μετάδοσης (ΦΤ,stand): Είναι ιδιαίτερα υψηλές λόγω του εκτεταμένου εξωτερικού κελύφους και ανέρχονται σε 4204 W.
 - Νότιος εξωτερικός τοίχος: επιφάνεια 9,4 m², προκαλεί απώλειες 465 W.
 - Νότια εξωτερική θύρα / άνοιγμα (ed, S): επιφάνεια 5,4 m², προκαλεί απώλειες 300 W.
 - Ανατολικός εξωτερικός τοίχος: επιφάνεια 12,0 m², προκαλεί απώλειες 593 W.
 - Δεύτερος Νότιος εξωτερικός τοίχος: επιφάνεια 10,9 m², προκαλεί απώλειες 540 W.
 - Δάπεδο (gf, H) και Οροφή (ce, H): με εκτεταμένη επιφάνεια 45,6 m², προκαλούν απώλειες 374 W sub-surface και 1678 W αντίστοιχα.
 - Εσωτερικοί τοίχοι (IW, N) και (iw, N): εμφανίζουν απώλειες 28 W και 46 W προς όμορους χώρους, ενώ ο μεσοτοίχος προς το Μπάνιο (iw, N) παρουσιάζει κέρδος - 32 W λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του μπάνιου (24 °C).
- Απώλειες Αερισμού (ΦV,stand): Ανέρχονται σε 1278 W λόγω της αυξημένης απαιτούμενης ροής αέρα που φτάνει τα 119 m³/h.
- Συνολικό Θερμικό Φορτίο Χώρου (ΦHL): Διαμορφώνεται στα 5482 W. Λόγω μεγάλου μεγέθους παρουσιάζει την πιο ευνοϊκή ειδική τιμή ανά μονάδα επιφανείας, ίση με 143 W/m².

Μπάνιο

Ο χώρος υγιεινής καταλαμβάνει επιφάνεια 9,2 m² με εσωτερικό όγκο 25,9 m³.

- Απώλειες Μετάδοσης (ΦΤ,stand): Ισούνται με 2179 W (2178 W αναλυτικά).
 - Βόρειος εξωτερικός τοίχος: επιφάνεια 8,3 m², προκαλεί απώλειες 461 W.
 - Βόρειο παράθυρο: επιφάνεια 0,9 m², προκαλεί απώλειες 162 W.
 - Ανατολικός εξωτερικός τοίχος: επιφάνεια 11,1 m², προκαλεί απώλειες 617 W.

- Δάπεδο (gf, H) και Οροφή (ce, H): επιφάνειας $11,6 \text{ m}^2$, προκαλούν απώλειες 196 W και 481 W αντίστοιχα.
- Εσωτερικοί τοίχοι (iw, W), (id, W) και (iw, S): Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας σχεδιασμού ($24 \text{ }^\circ\text{C}$) έναντι των διπλανών χώρων ($20 \text{ }^\circ\text{C}$), εμφανίζουν σημαντικές απώλειες μετάδοσης προς το εσωτερικό του ίδιου του κτιρίου, ίσες με 131 W , 79 W , 19 W και 32 W αντίστοιχα.
- Απώλειες Αερισμού (ΦV,stand): Ανέρχονται σε 746 W , καθώς απαιτείται μεγαλύτερος ρυθμός ανανέωσης για λόγους υγιεινής και υγρασίας (ροή αέρα $62 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Συνολικό Θερμικό Φορτίο Χώρου (ΦHL): Αγγίζει τα 2925 W . Λόγω των ειδικών συνθηκών ($24 \text{ }^\circ\text{C}$), το μπάνιο παρουσιάζει τη μέγιστη ειδική απαίτηση από όλους τους χώρους του κτιρίου, ίση με 317 W/m^2 .

4.6.2 Σύνθεση Συνολικών Αποτελεσμάτων Κτιρίου

Η συνολική εικόνα του κτιρίου προκύπτει από τη μακροσκοπική σύνθεση των επιμέρους φορτίων και των γενικών απωλειών του κτιριακού κελύφους προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η μαθηματική αποτύπωση του συνολικού φορτίου σχεδιασμού του κτιρίου (ΦHL) ορίζεται ως το άθροισμα των συνολικών απωλειών μετάδοσης και αερισμού:

$$\Phi_{HL} = \Sigma\Phi_T + \Sigma\Phi_V$$

Με βάση τα τελικά αποτελέσματα της υπολογιστικής μελέτης, προκύπτουν τα ακόλουθα κρίσιμα μεγέθη για την ιδιοκτησία:

1. Συνολικές Απώλειες Μετάδοσης ($\Sigma\Phi_T$): 12304 W ($12,30 \text{ kW}$). Η κατανομή των απωλειών αυτών αναλύεται ως εξής:
 - Το μεγαλύτερο μέρος διαφεύγει απευθείας προς τον εξωτερικό αέρα ($\Sigma\Phi_T, ie$): 10886 W .
 - Οι απώλειες μέσω της πλάκας εδάφους προς το χώμα ($\Sigma\Phi_T, ig$) ανέρχονται σε 1104 W .

- ο Οι απώλειες προς μη θερμαινόμενους χώρους ή όμορα κτίρια (ΣΦΤ,iae) διαμορφώνονται στα 315 W.
- 2. Συνολικές Απώλειες Αερισμού (ΣΦV): 2007 W (2,01 kW), οι οποίες προέρχονται αποκλειστικά από τις ανάγκες αερισμού υγιεινής και τις αναπόφευκτες διαρροές (leakage) των δομικών στοιχείων.
- 3. Συνολικό Θερμικό Φορτίο Σχεδιασμού (ΦHL): 14311 W (ή 14,31 kW).

4.6.3 Μηχανολογικά Συμπεράσματα & Αξιολόγηση

- Σχέση Μετάδοσης / Αερισμού: Οι απώλειες μέσω μετάδοσης αποτελούν το 86% του συνολικού θερμικού φορτίου της κατοικίας (12304 W έναντι 14311 W). Αυτό το εύρημα είναι εξαιρετικά βαρύνουσας σημασίας για τη διπλωματική εργασία, καθώς αποδεικνύει τεχνικά ότι το κτίριο, με βάση το έτος αναφοράς των συντελεστών U (1958), στερείται οποιασδήποτε σύγχρονης θερμομονωτικής προστασίας. Οι υψηλοί συντελεστές θερμοπερατότητας των τοίχων (1,40 W/m²K) και των παλαιών παραθύρων (5,00 W/m²K) δημιουργούν ένα εξαιρετικά ενεργοβόρο κέλυφος.
- Ειδικές Απαιτήσεις Ισχύος: Η ειδική απαίτηση ισχύος ανά μονάδα επιφανείας ανέρχεται σε 167 W/m² και ανά μονάδα καθαρού όγκου σε 60 W/m³. Οι τιμές αυτές είναι απόλυτα αντιπροσωπευτικές για κτίρια κατασκευασμένα προ του 1980 στην Ευρώπη, επιβεβαιώνοντας την άμεση ανάγκη για ριζική ενεργειακή αναβάθμιση (π.χ. προσθήκη εξωτερικής θερμομόνωσης κελύφους, αντικατάσταση κουφωμάτων με ενεργειακά υαλοστάσια χαμηλής εκπομπής και προσθήκη αντλίας θερμότητας).

4.7 Συγκριτική Αξιολόγηση και Ανάλυση Ευαισθησίας Αποτελεσμάτων

Για την ολοκληρωμένη διερεύνηση της θερμικής συμπεριφοράς της υπό μελέτη μονοκατοικίας, πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση ανάμεσα σε δύο διαφορετικές υπολογιστικές προσεγγίσεις/σενάρια δεδομένων. Η σύγκριση αυτή αποσκοπεί στην ανάδειξη των αποκλίσεων που προκύπτουν στα τελικά θερμικά φορτία, τόσο σε επίπεδο μεμονωμένων χώρων όσο και μακροσκοπικά για το σύνολο του κτιρίου.

4.7.1 Τεχνική τεκμηρίωση συντελεστών θερμοπερατότητας στα σενάρια σύγκρισης (U-values / EnEV)

Η σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών μετάδοσης στο Σενάριο Β, το οποίο βασίζεται σε βελτιωμένες τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας, συνδέεται άμεσα με την αναβάθμιση των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων του κελύφους. Για τον λόγο αυτό, πριν από τη συγκριτική αξιολόγηση των θερμικών απωλειών ανά χώρο, κρίνεται απαραίτητη η τεχνική τεκμηρίωση των τιμών U-values που χρησιμοποιήθηκαν στο υπολογιστικό μοντέλο.

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας προέκυψαν από το υπολογιστικό περιβάλλον Trimble NOVA, σύμφωνα με τη λογική των γερμανικών προδιαγραφών ενεργειακής αξιολόγησης EnEV/GEG. Η σύγκριση πραγματοποιείται μεταξύ του υφιστάμενου κτιρίου, το οποίο αντιστοιχεί σε δυσμενέστερη θερμική συμπεριφορά του κελύφους, και του Σεναρίου Β, στο οποίο εφαρμόζονται βελτιωμένες τιμές θερμοπερατότητας. Με αυτόν τον τρόπο αποτυπώνεται με σαφήνεια η επίδραση της θερμομονωτικής αναβάθμισης στη μείωση των απωλειών μετάδοσης και, κατ' επέκταση, στο απαιτούμενο θερμικό φορτίο θέρμανσης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η σύγκριση των συντελεστών θερμοπερατότητας των βασικών δομικών στοιχείων μεταξύ του υπάρχοντος κτιρίου και του Σεναρίου Β.

Δομικό Στοιχείο (Component)	Συντελεστής Υπάρχον Κτιρίου (W/m ² K)	Συντελεστής Σεναρίου Β: (W/m ² K)	Ποσοστιαία Βελτίωση (%)	Μηχανολογική Κατηγοριοποίηση (Σενάριο Β)
Εξωτερικός Τοίχος (ew)	1,40	0,35	+75,0%	Σύγχρονη Εξωτερική Θερμομόνωση
Εξωτερικό Παράθυρο (ewd)	5,00	1,30	+74,0%	Ενεργειακά Διπλά Υαλοστάσια

Δομικό Στοιχείο (Component)	Συντελεστής Υπάρχον Κτιρίου (W/m ² K)	Συντελεστής Σενάριου B: (W/m ² K)	Ποσοστιαία Βελτίωση (%)	Μηχανολογική Κατηγοριοποίηση (Σενάριο B)
Εξωτερική Θύρα (ed)	-	1,80	-	Θερμοδιακοπτόμενο Κούφωμα Εισόδου
Δάπεδο σε επαφή με έδαφος (gf)	0,38	0,38	0,0%	Σταθερό υπόστρωμα χωρίς πρόσθετη μόνωση
Οροφή / Δώμα (ce)	1,00	0,28	+72,0%	Ισχυρή Θερμομόνωση Δώματος / Στέγης
Εσωτερικός Τοίχος (προς 15 °C) (IW)	-	0,16	-	Μονωμένος Μεσοτοίχος Ζώνης
Εσωτερικός Τοίχος (προς 24 °C) (iw)	-	0,35	-	Τυπικός Εσωτερικός Τοίχος Διαχωρισμού

Πίνακας 5 Σύγκριση συντελεστών θερμοπερατότητας και μηχανολογικής κατηγοριοποίησης δομικών στοιχείων μεταξύ Σεναρίου Υπάρχον και Σεναρίου B

Συμπεράσματα από την ανάλυση των U-Values

1. Αναβάθμιση εξωτερικών τοίχων και ανοιγμάτων

Η σημαντικότερη βελτίωση παρατηρείται στα κατακόρυφα εξωτερικά στοιχεία του κελύφους και στα ανοίγματα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των εξωτερικών τοίχων μειώνεται από 1,40 W/m²K σε 0,35 W/m²K, ενώ των εξωτερικών παραθύρων από 5,00 W/m²K σε 1,30 W/m²K. Η μείωση αυτή, της τάξης του 74–75%, δείχνει ότι το Σενάριο B

βασίζεται σε ουσιαστική θερμομονωτική αναβάθμιση του κελύφους, με αποδοτικότερα εξωτερικά δομικά στοιχεία και βελτιωμένα υαλοστάσια.

2. Βελτίωση θερμικής προστασίας οροφής / δώματος

Σημαντική βελτίωση εμφανίζεται και στην οροφή/δώμα, όπου ο συντελεστής θερμοπερατότητας μειώνεται από $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ σε $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$. Η μείωση αυτή δείχνει αυξημένη θερμική προστασία του άνω οριζόντιου δομικού στοιχείου και περιορισμό των θερμικών απωλειών προς το εξωτερικό περιβάλλον. Συνεπώς, η θερμομονωτική ενίσχυση της οροφής συμβάλλει ουσιαστικά στη συνολική μείωση των απωλειών μετάδοσης.

3. Σταθερή συμπεριφορά του δαπέδου σε επαφή με το έδαφος

Το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος διατηρείται σταθερό και στα δύο σενάρια, με συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η διαφοροποίηση μεταξύ του υφιστάμενου κτιρίου και του Σεναρίου Β επικεντρώνεται κυρίως στα δομικά στοιχεία που βρίσκονται σε άμεση επαφή με τον εξωτερικό αέρα, δηλαδή στους εξωτερικούς τοίχους, στα ανοίγματα και στην οροφή. Έτσι, το δάπεδο λειτουργεί ως σταθερή παράμετρος αναφοράς στη σύγκριση των δύο σεναρίων.

4. Διαφοροποίηση εσωτερικών δομικών στοιχείων

Οι εσωτερικοί τοίχοι παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές θερμοπερατότητας ανάλογα με τον χώρο προς τον οποίο γειτνιάζουν. Ο εσωτερικός τοίχος προς χώρο θερμοκρασίας 15°C έχει συντελεστή $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη θερμική προστασία έναντι μη θερμαινόμενου ή χαμηλότερα θερμαινόμενου χώρου. Αντίστοιχα, οι εσωτερικοί τοίχοι προς χώρους θερμοκρασίας 24°C έχουν τιμή $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, αποτυπώνοντας την εσωτερική θερμική αλληλεπίδραση μεταξύ χώρων διαφορετικών θερμοκρασιακών απαιτήσεων.

5. Συνολική επίδραση των U-values στο θερμικό φορτίο

Η ανάλυση των συντελεστών θερμοπερατότητας τεκμηριώνει τη σημαντική διαφορά μεταξύ του υφιστάμενου κτιρίου και του Σεναρίου Β. Η βελτίωση των U-values στους εξωτερικούς τοίχους, στα παράθυρα και στην οροφή αποτελεί βασική αιτία της μείωσης των απωλειών μετάδοσης και, κατά συνέπεια, του απαιτούμενου θερμικού φορτίου θέρμανσης. Επομένως, οι συντελεστές θερμοπερατότητας αποτελούν κρίσιμη παράμετρο

τόσο για τη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης όσο και για τη συνολική ενεργειακή αξιολόγηση του κτιρίου.

Η παραπάνω τεκμηρίωση λειτουργεί ως βάση για τη συγκριτική αξιολόγηση που ακολουθεί, καθώς εξηγεί γιατί το Σενάριο Β παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερες θερμικές απώλειες σε σχέση με το αρχικό σενάριο. Με τον τρόπο αυτό, η σύγκριση των αποτελεσμάτων δεν περιορίζεται μόνο στην παρουσίαση αριθμητικών διαφορών, αλλά συνδέεται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κελύφους που τις προκαλούν.

4.7.2 Συγκριτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων ανά Χώρο και Κτίριο

Ο παρακάτω πίνακας συγκεντρώνει τα βασικά μεγέθη των δύο σεναρίων:

- Σενάριο Α (Αρχικό Κτίριο του 1958): Υψηλά συνολικά φορτία (PHL = 14311 W).
- Σενάριο Β (Κτίριο με U τιμές του 2009): Μειωμένα συνολικά φορτία (PHL = 6389 W).

Θερμική Ζώνη / Μέγεθος Κτιρίου	Σενάριο Α: Φορτίο Χώρου (W)	Σενάριο Β : Φορτίο Χώρου (W)	Απόλυτη Απόκλιση (W)	Σχετική Μεταβολή (%)
Υπνοδωμάτιο 1 (Κωδ. 1)	2823 W	1425 W	-1398 W	-49,5%
Υπνοδωμάτιο 2 (Κωδ. 1.1)	2582 W	1340 W	-1242 W	-48,1%
Υπνοδωμάτιο 3 (Κωδ. 1.2)	2507 W	1285 W	-1222 W	-48,7%
Σαλοκουζίνα (Κωδ. 3)	5482 W	2856 W	-2626 W	-47,9%
Μπάνιο (Κωδ. 5)	2925 W	1490 W	-1435 W	-49,1%

Θερμική Ζώνη / Μέγεθος Κτιρίου	Σενάριο Α: Φορτίο Χώρου (W)	Σενάριο Β : Φορτίο Χώρου (W)	Απόλυτη Απόκλιση (W)	Σχετική Μεταβολή (%)
Συνολικές Απώλειες Μετάδοσης (ΣΦΤ)	12304 W	4382 W	-7922 W	-64,4%
Συνολικές Απώλειες Αερισμού (ΣΦV)	2007 W	2007 W	0 W	0,0%
Συνολικό Φορτίο Σχεδιασμού (ΦHL)	14311 W	6389 W	-7922 W	-55,4%
Ειδικό Φορτίο ανά Επιφάνεια (W/m ²)	167 W/m ²	75 W/m ²	-92 W/m ²	-55,1%

Πίνακας 6 Σύγκριση απώλειες θερμότητας χώρου ανά θερμική ζώνη και συνολικών απωλειών μεταξύ Σεναρίου Α και Σεναρίου Β

4.7.3 Μηχανολογικός Σχολιασμός και Συμπεράσματα Σύγκρισης

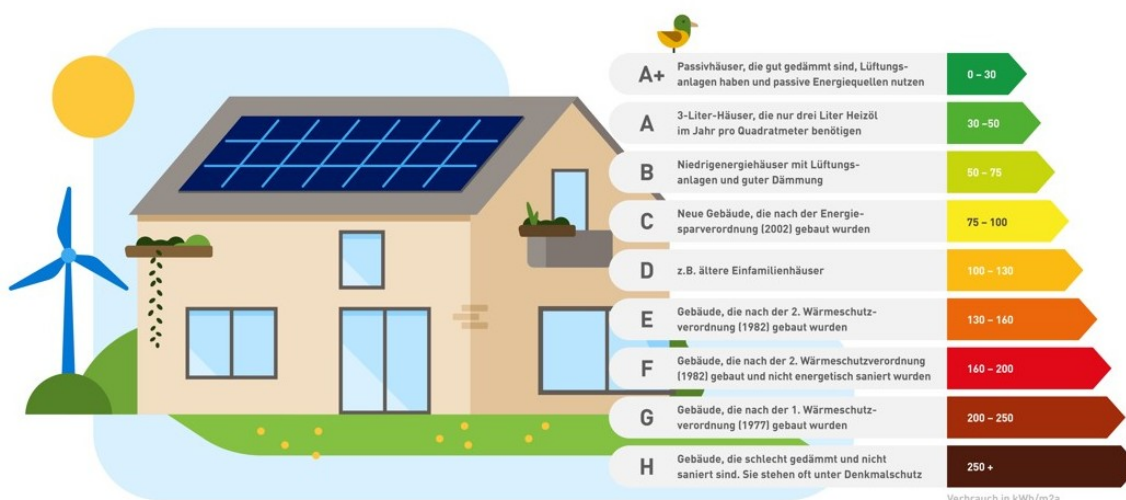
Από τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων και τη δομική ανάλυση των δύο σεναρίων προκύπτουν εξαιρετικά χρήσιμα συμπεράσματα για τη διπλωματική εργασία:

1. Σταθερότητα Φορτίων Αερισμού (ΣΦV): Παρατηρείται ότι οι απώλειες αερισμού παραμένουν απόλυτα σταθερές και στα δύο σενάρια στα 2007 W. Αυτό συμβαίνει διότι οι γεωμετρικοί όγκοι των χώρων ($V_{\text{build}} = 239,74 \text{ m}^3$), ο ελάχιστος ρυθμός ανανέωσης αέρα ($n_{\text{min}} = 0,5 \text{ 1/h}$) και η χαρακτηριστική τιμή αεροστεγανότητας ($n_{50} = 12,3 \text{ 1/h}$) είναι ταυτόσημα, εφαρμόζοντας τις ίδιες ακριβώς απαιτήσεις υγιεινής και διεύθυνσης αέρα.
2. Κατακρήμνιση των Απωλειών Μετάδοσης (ΣΦΤ): Η κύρια αιτία της τεράστιας μείωσης του συνολικού φορτίου κατά 55,4% (από τα 14,31 kW στα 6,39 kW) εντοπίζεται

αποκλειστικά στις απώλειες μετάδοσης, οι οποίες υποχώρησαν από τα 12304 W στα 4382 W (μείωση 64,4%). Η μεταβολή αυτή τεκμηριώνει μηχανολογικά ότι στο Σενάριο Β έχουν τροποποιηθεί ριζικά οι συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) των δομικών στοιχείων. Το κέλυφος στο Σενάριο Β δεν αντιστοιχεί πλέον σε ένα απροστάτευτο κτίριο του 1958, αλλά ενσωματώνει σημαντική θερμομονωτική θωράκιση (προφανώς μέσω προσθήκης θερμομόνωσης σε τοίχους/οροφή και εγκατάστασης σύγχρονων διπλών ενεργειακών υαλοστασίων).

3. Διαφοροποίηση Ειδικών Απαιτήσεων Ισχύος: Η ειδική απαίτηση ισχύος ανά μονάδα επιφανείας μειώνεται εντυπωσιακά από τα 167 W/m² στα 75 W/m². Η τιμή των 75 W/m² μετατοπίζει το κτίριο από την κατηγορία των εξαιρετικά ενεργοβόρων, ιστορικών κτισμάτων (προ του 1980) στην κατηγορία των μερικώς ή πλήρως ενεργειακά αναβαθμισμένων σύγχρονων κατοικιών.

4. Ανάκτηση Εσωτερικών Θερμικών Ροών: Σε επίπεδο μεμονωμένων χώρων, οι αποκλίσεις αγγίζουν ομοιόμορφα το -48% με -50%. Είναι αξιοσημείωτο ότι στο Μπάνιο (Κωδ. 5), παρά τη διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας σχεδιασμού στους 24 °C , το φορτίο περιορίζεται στα 1490 W (έναντι 2925 W) , γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η μειωμένη θερμοπερατότητα των εξωτερικών τοίχων περιενδύει αποτελεσματικά ακόμα και τις πιο απαιτητικές ζώνες άνεσης του κτιρίου.



Εικόνα 43 Ενδεικτική απεικόνιση ενεργειακών κλάσεων κατοικιών και τυπικών χαρακτηριστικών τους

Στην Εικόνα 43 φαίνεται η χρωματική σκάλα A+–H με αντίστοιχες τιμές κατανάλωσης σε kWh/(m²·a): τα πράσινα (A+, A, B) αντιπροσωπεύουν πολύ χαμηλή κατανάλωση, ενώ όσο πηγαίνουμε προς το κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο (C έως H) η κατανάλωση αυξάνεται. Κάθε κλάση συνοδεύεται από σύντομη περιγραφή τυπικού κτιρίου: π.χ. A+ για παθητικά σπίτια καλά μονωμένα με συστήματα αερισμού, C για νεόδμητα κτίρια μετά το EnEV 2002, F–G–H για παλαιότερα κτίρια που έχουν χτιστεί σύμφωνα με τις παλιές Wärmeschutzverordnungen ή δεν έχουν καθόλου ανακαινιστεί.

Die Effizienzklassen von A+ bis H

Energieeffizienz- klasse	Endenergie [kWh/(m ² a)]
A+	≤ 30
A	≤ 50
B	≤ 75
C	≤ 100
D	≤ 130
E	≤ 160
F	≤ 200
G	≤ 250
H	> 250

GEBÄUDEENERGIEGESETZ, ANLAGE 10 (ZU § 86)

Εικόνα 44 Κλίμακες ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων σύμφωνα με GEG (A+ έως H)

Στη Εικόνα 44 φαίνεται η ενεργειακή κλάση (A+, A, B, C, D, E, F, G, H), ενώ στη δεξιά στήλη δίπλα σε κάθε κλάση υπάρχει το αντίστοιχο όριο ή εύρος τιμών τελικής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο και έτος.

Οι τιμές είναι: A+ ≤ 30, A ≤ 50, B ≤ 75, C ≤ 100, D ≤ 130, E ≤ 160, F ≤ 200, G ≤ 250, H > 250 kWh/(m²·a), και το χρώμα αλλάζει από σκούρο πράσινο (A+) μέχρι σκούρο κόκκινο (H) όσο αυξάνεται η κατανάλωση.

Βασικές παράμετροι θέρμανσης και ZNX οικιακού σταθμού	Τιμή	Μονάδα
NL-Zahl (Αριθμός NL (αριθμός νοικοκυριών / φορτίου))	1	
Wohnfläche (Κατοικήσιμη επιφάνεια)	117,9	m ²
Heizungsspeicher (Danfoss Wohnungsstation) (Δοχείο αποθήκευσης θέρμανσης (σταθμός κατοικίας Danfoss))	120	L
Anschlussleistung (Danfoss Wohnungsstation) (Συνδεδεμένη ισχύς (σταθμός κατοικίας Danfoss))	15	kW
Heizlast (Θερμικό φορτίο θέρμανσης)	14,3	kW
Q _{wn} (Ισχύς για ζεστό νερό χρήσης (ZNX))	22,15	kW
Volllaststunden (Ώρες λειτουργίας σε πλήρες φορτίο (ετησίως))	1500	h/a
Ges.-Wärmebedarf (Συνολικός θερμικός/ενεργειακός ανάγκη (ετήσιος))	33225	kWh/a
WWB-Leistungsanteil (Ποσοστό ισχύος για ζεστό νερό χρήσης)	67,72	%
WW-Wärmebedarf (Θερμική ανάγκη για ζεστό νερό χρήσης (ZNX))	3537	kWh/a
Heizwärmebedarf (Θερμική ανάγκη για θέρμανση χώρου)	29688	kWh/a
Δείκτης πρωτογενούς ενεργειακής χρήσης	251,8066158	kWh/(m ² ·a)

Εικόνα 45 Αποτελέσματα U-Werte 1958

Στα αποτελέσματα «U-Werte 1958» καταγράφονται οι βασικές παράμετροι της μονοκατοικίας: 1 νοικοκυριό (NL-Zahl = 1,0) και κατοικήσιμη επιφάνεια 117,9 m², μαζί με τα χαρακτηριστικά της Danfoss Wohnungsstation (όγκος δοχείου 120 L, συνδεδεμένη ισχύς 15 kW).

Η υπολογισμένη Heizlast για θέρμανση χώρου με τους συντελεστές θερμοπερατότητας του 1958 είναι 14,3 kW, ενώ η απαιτούμενη ισχύς για ζεστό νερό χρήσης Q_{wn} είναι 22,15 kW, κάτι που δείχνει ότι το φορτίο ZNX είναι σημαντικό σε σχέση με το φορτίο θέρμανσης.

Για τις 1500 ώρες πλήρους φορτίου ετησίως (Volllaststunden) προκύπτει συνολικός ετήσιος θερμικός/ενεργειακός Bedarf 33.225 kWh/a, ο οποίος αναλύεται σε 29.688 kWh/a για θέρμανση χώρου και 3.537 kWh/a για ZNX.

Από αυτά, το WWB-Leistungsanteil βγαίνει περίπου 67,7%, δηλαδή πάνω από τα δύο τρίτα της ισχύος της Wohnungsstation αξιοποιούνται για προετοιμασία ζεστού νερού χρήσης κατά τις θεωρούμενες ώρες πλήρους φορτίου.

Βασικές παράμετροι θέρμανσης και ZNX οικιακού σταθμού	Τιμή	Μονάδα
NL-Zahl (Αριθμός NL (αριθμός νοικοκυριών / φορτίου))	1	
Wohnfläche (Κατοικήσιμη επιφάνεια)	117,9	m ²
Heizungsspeicher (Danfoss Wohnungsstation) (Δοχείο αποθήκευσης θέρμανσης (σταθμός κατοικίας Danfoss))	120	L
Anschlussleistung (Danfoss Wohnungsstation) (Συνδεδεμένη ισχύς (σταθμός κατοικίας Danfoss))	15	kW
Heizlast (Θερμικό φορτίο θέρμανσης)	8,806	kW
Q _{wn} (Ισχύς για ζεστό νερό χρήσης (ZNX))	19,403	kW
Volllaststunden (Ώρες λειτουργίας σε πλήρες φορτίο (ετήσιως))	1500	h/a
Ges.-Wärmebedarf (Συνολικός θερμικός/ενεργειακός ανάγκη (ετήσιος))	29104,5	kWh/a
WWB-Leistungsanteil (Ποσοστό ισχύος για ζεστό νερό χρήσης)	77,31	%
WW-Wärmebedarf (Θερμική ανάγκη για ζεστό νερό χρήσης (ZNX))	3537	kWh/a
Heizwärmebedarf (Θερμική ανάγκη για θέρμανση χώρου)	25567,5	kWh/a
Δείκτης πρωτογενούς ενεργειακής χρήσης	216,8575064	kWh/(m ² ·a)

Εικόνα 46 Αποτελέσματα U-Werte 2009

Στα αποτελέσματα «U-Werte 2009» χρησιμοποιούνται οι βελτιωμένοι συντελεστές θερμοπερατότητας· οι γεωμετρικές τιμές και τα δεδομένα της Wohnungsstation παραμένουν ίδια (NL = 1, Wohnfläche = 117,9 m², 120 L, 15 kW). Λόγω καλύτερης θερμομόνωσης, η Heizlast μειώνεται σε 8,806 kW, ενώ η ισχύς για ZNX Q_{wn} υπολογίζεται στα 19,403 kW, και ο συνολικός ετήσιος Wärmebedarf πέφτει σε 29.104,5 kWh/a (25.567,5 kWh/a για θέρμανση χώρου και σταθερά 3.537 kWh/a για ZNX).

Στο τέλος κάθε φύλλου υπολογίζεται η ειδική τελική ενεργειακή απαίτηση ανά τετραγωνικό μέτρο κατοικήσιμης επιφάνειας: για U-Werte 1958 είναι 251,81 kWh/(m²·a), ενώ για U-Werte 2009 είναι 216,86 kWh/(m²·a).

Αυτές οι τιμές προκύπτουν ουσιαστικά από τον λόγο του ετήσιου συνολικού Wärmebedarf προς τη Wohnfläche και αποτελούν τη βάση για την ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου σύμφωνα με τις κλάσεις του GEG.

4.7.4 Σχολιασμός ενεργειακής κατηγορίας

Με τιμή περίπου $252 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ για την κατάσταση του 1958, η μονοκατοικία βρίσκεται πάνω από το όριο των $250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ που χωρίζει την κλάση F από την κλάση G, οπότε μπορεί να θεωρηθεί ότι κινείται στο μεταίχμιο μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών, με σαφή ένδειξη χαμηλής ενεργειακής απόδοσης. Όταν όμως ληφθούν υπόψη οι βελτιωμένοι U-Werte του 2009, η τιμή πέφτει σε περίπου $217 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, δηλαδή εντός του εύρους $200\text{--}250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, οπότε η μονοκατοικία κατατάσσεται καθαρά στην ενεργειακή κλάση F σύμφωνα με το διάγραμμα ενεργειακών κλάσεων από A+ έως H.

Η μετάβαση από $251,8$ σε $216,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ επιβεβαιώνει ότι η αναβάθμιση του κελύφους με σύγχρονους συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) οδηγεί σε αισθητή μείωση των ετήσιων ενεργειακών αναγκών θέρμανσης (Wärmebedarf), αποδεικνύοντας τη θετική συμβολή της θερμομονωτικής αναβάθμισης στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Ωστόσο, παρά τη βελτίωση αυτή, η μονοκατοικία εξακολουθεί να κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία F, γεγονός που υποδηλώνει ότι η αναβάθμιση του κελύφους από μόνη της δεν επαρκεί για την επίτευξη υψηλότερης ενεργειακής κατηγορίας σύμφωνα με τα σύγχρονα πρότυπα. Συνεπώς, για την ουσιαστική αναβάθμιση της ενεργειακής εικόνας του κτιρίου απαιτείται ο συνδυασμός πρόσθετων παρεμβάσεων, όπως περαιτέρω ενίσχυση της θερμομόνωσης, αντικατάσταση ή αναβάθμιση των κουφωμάτων, καθώς και εγκατάσταση αποδοτικότερων συστημάτων παραγωγής θερμότητας και λοιπών ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.

Κεφάλαιο 5: Παραμετρική διερεύνηση και ανάλυση ευαισθησίας

5.1 Σκοπός και ερευνητική λογική

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται συστηματική παραμετρική διερεύνηση του υπολογιστικού μοντέλου του εξεταζόμενου κτιρίου, με στόχο να εκτιμηθεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων σε σχέση με κρίσιμες παραμέτρους του κελύφους, της αεροστεγανότητας και των εσωτερικών συνθηκών σχεδιασμού. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει να αποτυπωθεί σε ποιο βαθμό η συνολική απαιτούμενη θερμική ισχύς, οι επιμέρους θερμικές απώλειες και τα φορτία ανά χώρο εξαρτώνται από τις αρχικές παραδοχές που υιοθετούνται κατά την ενεργειακή πιστοποίηση και τη μελέτη θέρμανσης.

Η ανάγκη για παραμετρική διερεύνηση προκύπτει άμεσα από τα ευρήματα των προηγούμενων κεφαλαίων, όπου αναδείχθηκε ότι η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου επηρεάζεται έντονα από τις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων και από τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται η αεροστεγανότητα και ο αερισμός. Δεδομένου ότι οι παράμετροι αυτές δεν είναι πάντα γνωστές με ακρίβεια σε υφιστάμενα κτίρια και ότι συχνά προσεγγίζονται με εμπειρικές υποθέσεις, αποκτούν καθοριστική σημασία για το ενδεχόμενο εμφάνισης του performance gap μεταξύ υπολογισμένης και πραγματικής κατανάλωσης.

Η παραμετρική διερεύνηση που ακολουθεί έχει διττό στόχο. Από τη μία πλευρά, επιχειρεί να ποσοτικοποιήσει την επίδραση τυπικών επεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης (π.χ. βελτίωση U-values, αντικατάσταση κουφωμάτων, ενίσχυση αεροστεγανότητας) στη συνολική Heizlast και στα επιμέρους φορτία ανά χώρο. Από την άλλη πλευρά, εξετάζει τη διασπορά των αποτελεσμάτων που μπορεί να προκύψει αποκλειστικά λόγω διαφορετικών παραδοχών για τις ίδιες παραμέτρους, χωρίς αλλαγή της πραγματικής κατάστασης, αναδεικνύοντας έτσι τις πηγές μεθοδολογικής αβεβαιότητας.

5.2 Επιλογή και περιγραφή των παραμέτρων

Η επιλογή των παραμέτρων που περιλαμβάνονται στην παραμετρική διερεύνηση βασίζεται τόσο στη φυσική κατανόηση του προβλήματος όσο και στα αριθμητικά αποτελέσματα του υπολογιστικού μοντέλου. Η ανάλυση του κεφαλαίου 4 έδειξε ότι το θερμικό φορτίο του κτιρίου κυριαρχείται από τις απώλειες μετάδοσης μέσω του κελύφους και από τις απώλειες αερισμού, ενώ η συνεισφορά των εσωτερικών κερδών και άλλων επιμέρους όρων είναι δευτερεύουσα σε σχέση με τις δύο αυτές συνιστώσες. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι οι αρχικές τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας αντανakλούν παλαιές κατασκευαστικές πρακτικές, με αποτέλεσμα υψηλές θερμοαπωλεις και μεγάλη ειδική απαιτούμενη ισχύ ανά m^2 .

Σε αυτό το πλαίσιο, η παραμετρική διερεύνηση οργανώνεται γύρω από τρεις κύριες ομάδες παραμέτρων:

1. Συντελεστές θερμοπερατότητας (U-values) βασικών δομικών στοιχείων (εξωτερικοί τοίχοι, υαλοστάσια, οροφή/δώμα, δάπεδο).
2. Παράμετροι αεροστεγανότητας και ρυθμού αερισμού (n , n_{min} , πιθανές τιμές n_{50}).
3. Εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασίες αναφοράς ανά χώρο, χωρική ζώνωση).

Κάθε ομάδα παραμέτρων περιγράφεται αναλυτικά στις υποενότητες που ακολουθούν.

5.2.1 Συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων αποτελούν μία από τις σημαντικότερες εισροές του υπολογιστικού μοντέλου, καθώς καθορίζουν άμεσα τις θερμικές απώλειες μετάδοσης. Στην αρχική κατάσταση του κτιρίου, οι U-values προσδιορίστηκαν με βάση τη στρωμάτωση των τοίχων, τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των κουφωμάτων, καθώς και τις ιδιαίτερες συνθήκες της εποχής κατασκευής. Οι τιμές αυτές οδηγούν σε αυξημένες θερμικές απώλειες, χαρακτηριστικές για κτίρια χωρίς συστηματική θερμομονωτική προστασία.

Για τις ανάγκες της παραμετρικής διερεύνησης, θεωρούνται εναλλακτικές τιμές U που αντιστοιχούν σε σενάρια αναβάθμισης του κελύφους. Οι τιμές αυτές προκύπτουν είτε από τυπικές λύσεις θερμομόνωσης (π.χ. προσθήκη εξωτερικής θερμομόνωσης συγκεκριμένου πάχους και θερμικής αγωγιμότητας) είτε από τεχνικά χαρακτηριστικά σύγχρονων κουφωμάτων. Με τον τρόπο αυτό, επιτρέπεται η σύγκριση μεταξύ ενός «ιστορικού» κελύφους με υψηλές θερμοπερατότητες και ενός «αναβαθμισμένου» κελύφους με U -values που ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των U -values των υφιστάμενων κουφωμάτων με εκείνες σύγχρονων ενεργειακών κουφωμάτων, καθώς τα ανοίγματα συνήθως αποτελούν αδύναμο σημείο του κελύφους. Αντίστοιχα, η προσθήκη θερμομόνωσης σε τοίχους, δώμα ή δάπεδο μπορεί να τροποποιήσει σημαντικά τις θερμικές απώλειες, με άμεσο αντίκτυπο στην Heizlast και στην ειδική φόρτιση ανά m^2 .

5.2.2 Αεροστεγανότητα και ρυθμός αερισμού

Η δεύτερη κατηγορία παραμέτρων αφορά την αεροστεγανότητα του κτιρίου και τον ρυθμό αεραλλαγής. Σε παλαιά κτίρια, η διείσδυση αέρα από χαραμάδες, αρμούς και μη στεγανά κουφώματα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες, οι οποίες συχνά δεν είναι εύκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια. Στα υπολογιστικά πρότυπα, η συμπεριφορά αυτή προσεγγίζεται μέσω παραμέτρων όπως ο ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός αερισμού για λόγους υγιεινής (n_{min}) και, όπου υπάρχουν μετρήσεις, μέσω του δείκτη n_{50} από δοκιμές αεροστεγανότητας.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, υιοθετούνται ρεαλιστικές τιμές για τον ρυθμό αερισμού στο βασικό σενάριο, οι οποίες αντανakλούν την υφιστάμενη κατάσταση. Στη συνέχεια, εξετάζονται σενάρια βελτίωσης της αεροστεγανότητας, όπως θα μπορούσαν να προκύψουν από αντικατάσταση κουφωμάτων ή από στοχευμένες παρεμβάσεις σφράγισης. Η επίδραση των μεταβολών αυτών στις θερμικές απώλειες αερισμού αξιολογείται τόσο σε επίπεδο συνολικού κτιρίου όσο και ανά θερμική ζώνη.

5.2.3 Εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού και θερμική ζώνωση

Η τρίτη ομάδα παραμέτρων σχετίζεται με τις εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού. Στην πράξη, οι θερμοκρασίες αναφοράς που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς συχνά αποτελούν συνδυασμό νομοθετικών ελάχιστων απαιτήσεων, συνηθισμένων πρακτικών και παραδοχών για την επιθυμητή θερμική άνεση των χρηστών. Σε κατοικίες, για παράδειγμα, η θερμοκρασία σε χώρους όπως το μπάνιο είναι συνήθως υψηλότερη από εκείνη σε υπνοδωμάτια ή χώρους δευτερεύουσας χρήσης.

Στο πλαίσιο της παραμετρικής διερεύνησης, εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια στα οποία οι θερμοκρασίες σχεδιασμού διαφοροποιούνται σε επιλεγμένους χώρους, ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση αυτών των αλλαγών στα θερμικά φορτία. Παράλληλα, λαμβάνεται υπόψη η χωρική ζώνωση του κτιρίου, ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί η κατανομή των φορτίων ανά χώρο ή ομάδα χώρων και να αναδειχθούν τα τμήματα του κτιρίου με τη μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεταβολές των παραμέτρων.

5.3 Ορισμός και τεκμηρίωση σεναρίων

Με βάση τις παραμέτρους που περιγράφηκαν, η παραμετρική διερεύνηση οργανώνεται σε μία σειρά σεναρίων, τα οποία επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων του κτιρίου. Ο στόχος δεν είναι να εξαντληθούν όλες οι δυνατές παραλλαγές, αλλά να διαμορφωθεί ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο σεναρίων που να καλύπτουν:

- την ιστορική/υφιστάμενη κατάσταση του κελύφους και του αερισμού,
- μία κατάσταση αναβαθμισμένου κελύφους με βελτιωμένα U-values,
- μία κατάσταση βελτιωμένης αεροστεγανότητας,
- σενάρια διαφοροποίησης εσωτερικών συνθηκών σε κρίσιμους χώρους.

5.3.1 Βασικό σενάριο (ιστορική κατάσταση)

Το βασικό σενάριο αντιστοιχεί στην κατάσταση του κτιρίου πριν από οποιαδήποτε ενεργειακή αναβάθμιση. Στο σενάριο αυτό, οι U-values των δομικών στοιχείων

λαμβάνονται όπως προκύπτουν από την ανάλυση της υπάρχουσας κατασκευής, χωρίς πρόσθετη θερμομόνωση, ενώ ο ρυθμός αερισμού αντιστοιχεί σε τυπικές τιμές για ένα παλαιό κτίριο. Οι εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού ορίζονται σύμφωνα με τις συνήθειες πρακτικές για κατοικίες, με αυξημένη θερμοκρασία στους χώρους υγιεινής.

Το βασικό αυτό σενάριο χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς: όλα τα επόμενα σενάρια συγκρίνονται ποσοτικά με αυτό, τόσο ως προς τη συνολική απαιτούμενη θερμική ισχύ όσο και ως προς την ειδική ισχύ ανά m^2 και τα φορτία ανά χώρο.

5.3.2 Σενάριο αναβαθμισμένου κελύφους

Το δεύτερο σενάριο αντιπροσωπεύει ένα κτίριο στο οποίο έχουν πραγματοποιηθεί εκτεταμένες επεμβάσεις θερμομονωτικής αναβάθμισης. Στο σενάριο αυτό:

- Οι εξωτερικοί τοίχοι, η οροφή και το δάπεδο αποκτούν μειωμένες τιμές U , λόγω προσθήκης θερμομονωτικών στρώσεων.
- Τα υαλοστάσια αντικαθίστανται από νέα κουφώματα με σημαντικά χαμηλότερες θερμοπερατότητες.
- Ο ρυθμός αερισμού παραμένει αρχικά ίδιος με το βασικό σενάριο, ώστε να απομονωθεί η καθαρή επίδραση της αλλαγής των U -values.

Με αυτόν τον τρόπο, η σύγκριση με το βασικό σενάριο επιτρέπει να εκτιμηθεί η συμβολή της θερμομονωτικής αναβάθμισης στη μείωση της Heizlast, χωρίς επιρροή από άλλες παραμέτρους.

5.3.3 Σενάριο βελτιωμένης αεροστεγανότητας

Σε τρίτο σενάριο, εξετάζεται η επίδραση της βελτίωσης της αεροστεγανότητας. Υποτίθεται ότι το κέλυφος έχει υποστεί επεμβάσεις (π.χ. αντικατάσταση κουφωμάτων, σφράγιση αρμών) που μειώνουν τον ανεξέλεγκτο αερισμό. Ο ρυθμός αεραλλαγής προσαρμόζεται προς χαμηλότερες τιμές, ενώ μπορούν να διατηρηθούν οι U -values είτε στο αρχικό επίπεδο είτε στο αναβαθμισμένο, ανάλογα με το επιμέρους ερώτημα που εξετάζεται.

Η σύγκριση μεταξύ του σεναρίου αυτού και των προηγούμενων αναδεικνύει τη σχετική σημασία της αεροστεγανότητας έναντι της θερμομονωτικής αναβάθμισης, καθώς και την πιθανή συνέργεια των δύο παρεμβάσεων.

5.3.4 Σενάρια διαφοροποίησης εσωτερικών συνθηκών

Τέλος, ορίζονται σενάρια στα οποία μεταβάλλονται οι εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού σε επιλεγμένους χώρους. Για παράδειγμα, εξετάζεται η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στο μπάνιο ή της ελαφράς μείωσης της θερμοκρασίας σε υπνοδωμάτια. Τα σενάρια αυτά επιτρέπουν να εκτιμηθεί πόσο ευαίσθητα είναι τα συνολικά και τα τοπικά θερμικά φορτία σε αλλαγές των συνθηκών άνεσης, καθώς και να αναδειχθεί το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας από μικρές προσαρμογές στις ρυθμίσεις των θερμοστατών.

5.3.5 Συνοπτική παρουσίαση σεναρίων

Τα χαρακτηριστικά όλων των σεναρίων συνοψίζονται σε συγκεντρωτικό πίνακα, στον οποίο παρουσιάζονται οι U-values ανά δομικό στοιχείο, οι παραδοχές για τον ρυθμό αερισμού και τις εσωτερικές θερμοκρασίες, καθώς και σύντομη περιγραφή της φυσικής σημασίας κάθε σεναρίου. Ο πίνακας αυτός αποτελεί σημείο αναφοράς για τις αναλύσεις που ακολουθούν.

5.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων παραμετρικής διερεύνησης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα της παραμετρικής διερεύνησης για όλα τα σενάρια που ορίστηκαν προηγουμένως. Η παρουσίαση οργανώνεται σε τρία επίπεδα:

1. Συνολικά αποτελέσματα σε επίπεδο κτιρίου (συνολική Heizlast, ειδική ισχύς ανά m^2 , επιμερισμός απωλειών μετάδοσης και αερισμού).
2. Αποτελέσματα ανά θερμική ζώνη ή χώρο, ώστε να φανεί η χωρική κατανομή των φορτίων.

3. Ποσοτική σύγκριση μεταξύ σεναρίων, με έμφαση στα ποσοστά μεταβολής της Heizlast και των ειδικών φορτίων.

Για κάθε σενάριο, παρατίθενται πίνακες με τις βασικές τιμές και διαγράμματα (π.χ. ραβδογράμματα) που διευκολύνουν τη σύγκριση.

Σε πρώτο επίπεδο, η σύγκριση μεταξύ του βασικού σεναρίου και του σεναρίου αναβαθμισμένου κελύφους αναδεικνύει τη δραστική μείωση της συνολικής απαιτούμενης θερμικής ισχύος και της ειδικής ισχύος ανά m^2 , ως αποτέλεσμα της μείωσης των θερμοπερατοτήτων. Σε δεύτερο επίπεδο, η ανάλυση ανά χώρο δείχνει ποιες ζώνες επωφελούνται περισσότερο από τις επεμβάσεις, π.χ. χώροι με μεγάλο λόγο περιμετρικών επιφανειών προς επιφάνεια δαπέδου.

Η σύγκριση με τα σενάρια βελτιωμένης αεροστεγανότητας επιτρέπει να εκτιμηθεί η συμβολή της μείωσης των απωλειών αερισμού. Στους πίνακες παρουσιάζονται τόσο οι απόλυτες τιμές των φορτίων όσο και τα ποσοστά μείωσης σε σχέση με το βασικό σενάριο, ώστε να αναδειχθεί η σχετική σημασία της κάθε παρέμβασης.

5.5 Ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis)

Πέρα από τη σύγκριση διακριτών σεναρίων, πραγματοποιείται και πιο λεπτομερής ανάλυση ευαισθησίας, στην οποία οι παράμετροι μεταβάλλονται σταδιακά μέσα σε συγκεκριμένα εύρη τιμών. Σκοπός είναι να αποτυπωθούν:

- οι «κλίσεις» των αποτελεσμάτων ως προς κάθε παράμετρο, δηλαδή πόσο μεταβάλλεται η Heizlast ή η ειδική ισχύς για μια δεδομένη μεταβολή του U-value ή του ρυθμού αερισμού,
- οι κρίσιμες παράμετροι, για τις οποίες μικρές μεταβολές οδηγούν σε δυσανάλογα μεγάλες αλλαγές στα αποτελέσματα.

Ενδεικτικά, μπορεί να εξεταστεί η σταδιακή μείωση του U ενός εξωτερικού τοίχου από μία υψηλή τιμή (χωρίς θερμομόνωση) σε ενδιάμεσες τιμές και, τέλος, σε επίπεδα που αντανακλούν πλήρη θερμομονωτική αναβάθμιση. Για κάθε τιμή U, υπολογίζεται η αντίστοιχη συνολική Heizlast και η διαφορά της σε σχέση με το βασικό σημείο. Αντίστοιχη προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί και στα U των κουφωμάτων ή στον ρυθμό αερισμού.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας μπορούν να παρουσιαστούν σε μορφή διαγραμμάτων, όπου στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η τιμή της παραμέτρου και στον κατακόρυφο η αντίστοιχη Heizlast ή ειδική ισχύς. Η γραφική αυτή απεικόνιση επιτρέπει την οπτική αναγνώριση των παραμέτρων με τη μεγαλύτερη επίδραση και υποστηρίζει την ιεράρχηση των επεμβάσεων.

5.6 Σύνδεση με ετήσιες ενεργειακές ανάγκες και κατηγοριοποίηση EPC

Αν και το παρόν κεφάλαιο εστιάζει κυρίως στην απαιτούμενη θερμική ισχύ, τα ευρήματα της παραμετρικής διερεύνησης έχουν άμεσες συνέπειες και στις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, όπως αυτές υπολογίζονται στο πλαίσιο της ενεργειακής πιστοποίησης. Η μείωση της Heizlast αντανακλά, κατά κανόνα, μείωση των ετήσιων θερμικών αναγκών για θέρμανση, ιδίως όταν η μεταβολή οφείλεται σε βελτίωση των U-values και της αεροστεγανότητας.

Στην ενότητα αυτή συζητείται, σε ποιοτικό επίπεδο, πώς οι παραμετρικές μεταβολές που εξετάστηκαν θα επηρέαζαν την ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας και, κατ' επέκταση, τους δείκτες τελικής και πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης. Παρότι η ακριβής εκτίμηση απαιτεί ξεχωριστούς υπολογισμούς σε ετήσια βάση, μπορεί να τεκμηριωθεί ότι η υλοποίηση των εξεταζόμενων επεμβάσεων θα οδηγούσε σε βελτίωση της ενεργειακής κατηγορίας και σε μικρότερη απόκλιση μεταξύ θεωρητικής και πραγματικής κατανάλωσης, συμβάλλοντας στη μείωση του performance gap.

5.7 Συμπεράσματα παραμετρικής διερεύνησης

Η παραμετρική διερεύνηση και η ανάλυση ευαισθησίας καταδεικνύουν ότι η θερμική συμπεριφορά του εξεταζόμενου κτιρίου είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις παραμέτρους του κελύφους και της αεροστεγανότητας. Η σύγκριση μεταξύ της ιστορικής κατάστασης και των σεναρίων αναβαθμισμένου κελύφους δείχνει ότι η μείωση των U-values σε επίπεδα συμβατά με τις σύγχρονες απαιτήσεις οδηγεί σε πολύ σημαντική μείωση της συνολικής

Heizlast και της ειδικής θερμικής φόρτισης, γεγονός που έχει άμεσο αντίκτυπο στη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης.

Παράλληλα, τα σενάρια βελτιωμένης αεροστεγανότητας αναδεικνύουν ότι ο περιορισμός των απωλειών αερισμού μπορεί να προσφέρει πρόσθετη μείωση του θερμικού φορτίου, ιδίως σε χώρους με μεγάλο λόγο εξωτερικών επιφανειών προς όγκο. Ωστόσο, η σχετική συμβολή της αεροστεγανότητας πρέπει να αξιολογείται σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις για επαρκή ποιότητα εσωτερικού αέρα, ώστε να αποφεύγονται δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία και την άνεση των χρηστών.

Τέλος, η ανάλυση ευαισθησίας αναδεικνύει τις παραμέτρους εκείνες στις οποίες το μοντέλο εμφανίζει τη μεγαλύτερη εξάρτηση. Η γνώση αυτή είναι κρίσιμη τόσο για τη βελτίωση της ακρίβειας των υπολογισμών όσο και για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών επεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης. Από πλευράς ενεργειακής πολιτικής, τα ευρήματα του κεφαλαίου τεκμηριώνουν τη σημασία της λεπτομερούς και αξιόπιστης αποτίμησης των ιδιοτήτων του κελύφους και της αεροστεγανότητας, προκειμένου οι υπολογιστικές μεθοδολογίες των κανονισμών να αντανακλούν όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματική συμπεριφορά του κτιρίου και να περιορίζεται το performance gap.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση των απαιτήσεων ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων στην Ευρώπη, με έμφαση στη σύγκριση του ελληνικού και του γερμανικού συστήματος ενεργειακής αξιολόγησης. Στο πλαίσιο αυτό εξετάστηκε το ευρωπαϊκό θεσμικό υπόβαθρο της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD), η εφαρμογή του στο ελληνικό πλαίσιο μέσω του KENAK και του TEE-KENAK, καθώς και η αντίστοιχη γερμανική εφαρμογή μέσω του Gebäudeenergiegesetz (GEG), της μεθοδολογίας DIN V 18599 και του λογισμικού Trimble Nova. Η θεωρητική διερεύνηση συνδυάστηκε με εφαρμογή σε συγκεκριμένο κτίριο κατοικίας, ώστε να αξιολογηθεί στην πράξη ο τρόπος με τον οποίο οι διαφορετικές μεθοδολογίες, τα δεδομένα εισόδου και οι παραδοχές επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ενεργειακής αξιολόγησης.

Από την ανάλυση προέκυψε ότι, παρά το γεγονός ότι τα εθνικά συστήματα ενεργειακής πιστοποίησης βασίζονται στις γενικές αρχές της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, παρουσιάζουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στον τρόπο εφαρμογής τους. Το ελληνικό πλαίσιο KENAK δίνει έμφαση στη σύγκριση του εξεταζόμενου κτιρίου με το κτίριο αναφοράς, στη χρήση τυποποιημένων παραδοχών και στην παραγωγή αποτελεσμάτων μέσω του TEE-KENAK. Αντίστοιχα, το γερμανικό πλαίσιο GEG/DIN V 18599 στηρίζεται σε αναλυτικότερη τεχνική περιγραφή των επιμέρους συστημάτων, των θερμικών ζωνών, των συντελεστών θερμοπερατότητας και των ενεργειακών ροών. Η σύγκριση των δύο προσεγγίσεων έδειξε ότι η ενεργειακή αξιολόγηση του ίδιου κτιρίου δεν εξαρτάται μόνο από τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του, αλλά και από τη μεθοδολογία που εφαρμόζεται.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η εφαρμογή των υπολογιστικών σεναρίων στο κτίριο μελέτης. Στο αρχικό σενάριο, που αντιστοιχεί στην ιστορική κατάσταση του κτιρίου με δυσμενέστερες τιμές θερμοπερατότητας, το συνολικό θερμικό φορτίο υπολογίστηκε σε 14,31 kW. Αντίθετα, στο σενάριο με βελτιωμένες τιμές U-values, το συνολικό θερμικό φορτίο μειώθηκε σε 6,39 kW. Η μείωση αυτή, της τάξης του 55,4%, οφείλεται κυρίως στη μείωση των απωλειών μετάδοσης, οι οποίες υποχώρησαν από 12,30 kW σε 4,38 kW. Παράλληλα, η ειδική απαίτηση ισχύος μειώθηκε από 167 W/m² σε 75 W/m². Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν ότι το θερμικό κέλυφος και οι συντελεστές

θερμοπερατότητας αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου.

Η γερμανική εφαρμογή μέσω του Trimble Nova επιβεβαίωσε επίσης τη σημασία των δεδομένων εισόδου και των παραδοχών. Για τις τιμές U-Werte 1958, η ειδική ενεργειακή απαίτηση υπολογίστηκε σε 251,81 kWh/(m²·a), ενώ για τις βελτιωμένες τιμές U-Werte 2009 μειώθηκε σε 216,86 kWh/(m²·a). Η μείωση αυτή δείχνει ότι η αναβάθμιση του κελύφους επιδρά θετικά στην ενεργειακή εικόνα του κτιρίου. Ωστόσο, το γεγονός ότι το κτίριο εξακολουθεί να κατατάσσεται σε χαμηλή ενεργειακή κατηγορία δείχνει ότι η βελτίωση των U-values από μόνη της δεν επαρκεί πάντα για την ουσιαστική ενεργειακή αναβάθμιση. Για καλύτερο αποτέλεσμα απαιτείται συνδυασμός παρεμβάσεων στο κέλυφος, στα κουφώματα, στο σύστημα παραγωγής θερμότητας, στο ζεστό νερό χρήσης και γενικότερα στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις.

Η εργασία ανέδειξε επίσης τη σημασία του φαινομένου performance gap, δηλαδή της απόκλισης μεταξύ της υπολογιζόμενης και της πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων. Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων μεταξύ των σεναρίων έδειξε ότι μικρές ή μεγαλύτερες αλλαγές στα δεδομένα εισόδου μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές στα τελικά αποτελέσματα. Παράμετροι όπως οι συντελεστές θερμοπερατότητας, η αεροστεγανότητα, ο αερισμός, τα προφίλ χρήσης, οι εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας και η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων επηρεάζουν την αξιοπιστία της ενεργειακής αξιολόγησης. Επομένως, τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης πρέπει να αντιμετωπίζονται ως τυποποιημένη και συγκριτική αποτύπωση της ενεργειακής επίδοσης και όχι ως απόλυτη πρόβλεψη της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας.

Η χρήση εξειδικευμένων λογισμικών, όπως το TEE-KENAK και το Trimble Nova, αποδείχθηκε ιδιαίτερα σημαντική για την οργάνωση των δεδομένων, την τυποποίηση των υπολογισμών και την εξαγωγή συγκρίσιμων αποτελεσμάτων. Ταυτόχρονα, όμως, διαπιστώθηκε ότι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ορθότητα των δεδομένων που εισάγονται και από την τεχνική κρίση του μελετητή. Το λογισμικό δεν υποκαθιστά την τεχνική τεκμηρίωση, αλλά λειτουργεί ως εργαλείο εφαρμογής της μεθοδολογίας. Για τον λόγο αυτό, η σωστή αποτύπωση του κτιρίου, η τεκμηρίωση των παραδοχών και ο έλεγχος των αποτελεσμάτων αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για αξιόπιστη ενεργειακή πιστοποίηση.

Συνολικά, η διπλωματική εργασία επιβεβαιώνει ότι η ενεργειακή πιστοποίηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και την υποστήριξη των ευρωπαϊκών πολιτικών απανθρακοποίησης του κτιριακού τομέα. Η συγκριτική προσέγγιση Ελλάδας και Γερμανίας ανέδειξε τόσο τις κοινές αρχές όσο και τις διαφορές των δύο συστημάτων, ενώ η μελέτη περίπτωσης έδειξε στην πράξη τη σημασία της ποιότητας των δεδομένων, των U-values και των υπολογιστικών παραδοχών. Η αποτελεσματική αξιοποίηση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης προϋποθέτει όχι μόνο συμμόρφωση με το θεσμικό πλαίσιο, αλλά και ουσιαστική τεχνική ανάλυση, ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αξιόπιστη βάση για στοχευμένες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης.

Βιβλιογραφία

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2019). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings* (ASHRAE Standard 90.1-2019). ASHRAE.
2. ASHRAE. Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (πλαίσιο ΗΠΑ).
3. Building and Construction Authority. (n.d) CA Singapore. Green Mark Certification Scheme – technical requirements and assessment criteria.
4. Buildings Performance Institute Europe. (2022) A guidebook to European buildings efficiency: Evolution of the European regulatory framework. Buildings Performance Institute Europe
5. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2020). Gebäudeenergiegesetz (GEG) – Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden.
6. Deutsches Institut für Normung. (2018). DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
7. Economidou M. et al., “Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings” – Energy and Buildings, 2020 (ScienceDirect/Scopus).
8. European Commission. (2024). Energy Performance of Buildings Directive (EU/2024/1275) – Revised EPBD and supporting guidance.
9. Federal Republic of Germany. (2020). Buildings Energy Act (Gebäudeenergiegesetz – GEG)
10. International Organization for Standardization. (2017). *ISO 52016-1: Energy performance of buildings – Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads*.
11. Federal Republic of Germany. (2020). Buildings Energy Act (Gebäudeenergiegesetz – GEG)
12. Karamani, P. (2019). Ενεργειακή απόδοση κτιρίων: Ελληνικό και ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο (Διπλωματική εργασία). Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

13. Katafygiotou, M. (2013). Energy performance of buildings and assessment methods (Doctoral dissertation). Cyprus University of Technology.
14. NABERS. (2020). NABERS Energy for offices: Rules for collecting and using data
15. Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
16. Olasolo-Alonso, P., et al. (2023). Energy Performance of Buildings Directive implementation: A review of policies and impacts. *Energy and Buildings*.
17. van der Leer J. et al., “Implementing minimum energy performance requirements ...” – Energy Policy (ή Energy and Buildings, ανάλογα με το journal, ScienceDirect, για MEPS και recast EPBD)
18. U.S. Green Building Council. (n.d.). LEED reference guide for building design and construction (LEED v4/v4.1). U.S. Green Building Council.
19. Anastasiadou, M., Santos, G., & Santos, R. (2025). Classifying building energy performance certificates using artificial neural networks: A data-driven approach for sustainable development. *Journal of Building Engineering*, 82, Article 108345. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108345>
20. Dascalaki, E. G., Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Droutsas, K. G., & Kontoyiannidis, S. (2012). *Energy performance of buildings—EPBD in Greece*. *Energy Policy*, 45, 469–477. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.058>
21. Hamdy, M., Hasan, A., & Siren, K. (2013). *A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010*. *Energy and Buildings*, 56, 189–203. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.023>
22. Chakraborty, S., Mondal, N., & Bakli, C. (2026). *Energy performance of a trifurcated channel water cooled glass facade for building cooling*. *Energy & Buildings*, 365, 117642. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2026.117642>
23. Mitsopoulos, G., Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2018). *Parametric analysis and multi-objective optimization of a solar heating system for various building envelopes*. *Thermal Science and Engineering Progress*, 8, 307–317. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.09.007>

24. López-Ochoa, L. M., & Las-Heras-Casas, J. (2026). *Towards zero-emission buildings in Spain: First steps of the implementation of the Energy Performance of Buildings Directive 2024*. Energy & Buildings. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2026.117738>
25. Mohan, M., Dewangan, S. K., Soni, S. K., Kalbande, V. P., Choudhari, M. S., Jain, R., Chinnasamy, V., Sharma, V. K., Akhil Krishnan, S. R., & Ahn, B. (2026). *Building thermal comfort and energy savings: A review of performance, challenges, opportunities, and recommendations in phase change material integration within building elements*. Applied Thermal Engineering, 300, 131105. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2026.131105>
26. Węglarz, A., Skoczkowski, T., Bielecki, S., Kwasnowski, P., Zdanowski, P., Junak, K., & Gilewski, P. (2026). *Quantifying the role of demand side management in building energy flexibility: Evidence from Smart Readiness Indicator assessment under the EPBD framework*. Applied Energy, 420, 128199. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2026.128199>
27. Keliauskaitė, U., McWilliams, B., Sgaravatti, G., & Tagliapietra, S. (2025). *Financing European Union's buildings' decarbonisation strategy*. Energy Policy, 198, 114437. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114437>
28. Attia, S., Kurnitski, J., Kosiński, P., Borodinecs, A., Deme Belafi, Z., Kistelegdi, I., Krstić, H., Moldovan, M., Visa, I., Mihailov, N., Evstatiev, B., Banionis, K., Čekon, M., Vilčeková, S., Struhala, K., Brzón, R., & Laurent, O. (2022). *Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe*. Energy & Buildings, 267, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112165>
29. Vaquero, P. (2020). *Buildings energy certification system in Portugal: Ten years later*. Energy Reports, 6, 541–547. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.09.023>
30. Aste, N., Adhikari, R. S., & Buzzetti, M. (2010). *Beyond the EPBD: The low energy residential settlement Borgo Solare*. Applied Energy, 87(2), 629–642. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.029>

31. Rid, W., Lammers, J., & Zimmermann, S. (2017). Analysing sustainability certification systems in the German housing sector from a theory of social institutions. *Ecological Indicators*, 76, 97–110.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.022>
32. Sesana, M. M., Salvalai, G., Della Valle, N., Melica, G., & Bertoldi, P. (2024). Towards harmonising energy performance certificate indicators in Europe. *Journal of Building Engineering*, 95, Article 110323.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110323>[cite: 2]
33. Kalaycioğlu, E., & Yılmaz, A. Z. (2017). A new approach for the application of nearly zero energy concept at district level to reach EPBD recast requirements through a case study in Turkey. *Energy and Buildings*, 152, 680–700.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.040>
- López-Ochoa, L. M., Las-Heras-Casas, J., López-González, L. M., & García-Lozano, C. (2017). Environmental and energy impact of the EPBD in residential buildings in cold Mediterranean zones: The case of Spain. *Energy and Buildings*, 150, 567–582.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.023>
34. Semple, S., & Jenkins, D. (2020). Variation of energy performance certificate assessments in the European Union. *Energy Policy*, 137, Article 111127.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111127>
35. Trimble Inc. (2025). *Trimble Nova* (Version 14.x) [Computer software].
<https://mep.trimble.com>
36. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (2024). *TEE-KENAK* (Έκδοση 1.31 ή η έκδοση που χρησιμοποιήσες) [Λογισμικό υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων].
<https://portal.tee.gr>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.