



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΡΙΖΙΚΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ
ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΞΗΡΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΥΠΕΡΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΤΗΡΙΟΥ
ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (nZEB)

ΜΑΝΩΛΙΤΣΗΣ ΑΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΦΟΥΝΤΗ

Αθήνα, 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	v
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	vi
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ.....	1
1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	2
1.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ.....	6
1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	7
2 ΚΤΗΡΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (Zero Energy Buildings – ZEBs, nearly Zero Energy Buildings – nZEBs)	8
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	10
2.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ nZEB.....	11
2.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ZEB-nZEB ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.	13
2.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΤΗΡΙΩΝ ZEBs-nZEBs	13
2.5.1 ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΒΕΤΙΑ	13
2.5.2 ΣΧΟΛΕΙΟ ΣΤΟ ΒΕΡΟΛΙΝΟ	14
2.5.3 ΗOCKERTON HOUSING PROJECT (ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ)	15
2.5.4 ΟΙΚΙΣΜΟΣ SOLARSIEDLUNG (SOLAR COMMUNITY)	18
3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	22
3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.	22
3.1.1 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ (ΒΑC) ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ (ΣΔΚ) ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ	23
3.1.2 ΠΡΟΤΥΠΟ EN 15232 «Ενεργειακή απόδοση κτηρίων - Η επίδραση των αυτοματισμών κτηρίου και των λειτουργιών ελέγχου στην ενεργειακή αποδοτικότητα των κτηρίων»	25
3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	30
3.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	30
3.2.2 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	33
3.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	37
4 ΜΟΝΩΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡ-ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	43
4.1 ΑΕΡΟΓΕΛΗ.....	43
4.2 ΣΑΝΙΔΕΣ ΑΕΡΙΟΥ	44

4.3	NANO-ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	44
4.4	ΜΟΝΩΤΙΚΕΣ ΣΑΝΙΔΕΣ ΚΕΝΟΥ (Vacuum Insulation Panels-VIPs)	45
4.4.1	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ VIPs	46
5	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	51
5.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	51
5.1.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	52
5.1.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	53
5.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	56
5.2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EnergyPlus	57
5.3	ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EnergyPlus.....	58
5.3.1	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	62
5.3.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	66
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	68
6.1	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ	68
6.2	ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	72
6.3	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	75
6.4	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	78
6.5	ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂	81
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	83
7.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
7.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	84
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μέσο ποσοστό των Ευρωπαϊκών κτηρίων στο ενεργειακό ισοζύγιο ανέρχεται στο 39%, ενώ στην Ελλάδα στο 34%. Δεδομένου των ιδιαίτερα υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων, για λόγους οικονομικούς αλλά και οικολογικούς, κρίνεται απαραίτητος ο σχεδιασμός νέων κτηρίων με μειωμένες ενεργειακές ανάγκες. Στην ίδια κατεύθυνση είναι αναγκαίες παρεμβάσεις στα υφιστάμενα κτήρια ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή τους συμπεριφορά και να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας.

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται ενεργειακή ανάλυση για την Καινοτόμος ανακαίνιση υφιστάμενου κτηρίου κατοικιών. Πρόκειται για μια πολυκατοικία πέντε ορόφων, 20 διαμερισμάτων συνολικά, 75m² το καθένα, κατασκευασμένη στην Αθήνα πριν το 1980. Εξετάζονται δυο κύρια σενάρια ως προς την ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου. Το πρώτο αφορά την «Συμβατική» ανακαίνιση, ενώ το δεύτερο την «Καινοτόμος» του ανακαίνιση. Το σενάριο της «Συμβατικής» ανακαίνισης βασίστηκε στο πρόγραμμα TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment), το οποίο και υλοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη». Στο δεύτερο σενάριο ανακαίνισης, γίνεται η προσπάθεια μέσω της «καινοτόμου» ανακαίνισης του κελύφους του με συστήματα ξηράς δόμησης και υπέρ-μονωτικά υλικά αλλά και μέσω της αναβάθμισης των ενεργειακών συστημάτων για τον χαρακτηρισμό του κτηρίου ως κτήριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB).

Στην υπάρχουσα κατάσταση του, το κτήριο έχει κατασκευαστεί με τις προϋποθέσεις του τότε οικοδομικού κανονισμού, δίχως να έχει τοποθετηθεί θερμομόνωση στο κέλυφος του. Κατά το σενάριο της «Συμβατικής» ανακαίνισης, τοποθετείται θερμοπρόσοψη στο κτήριο, ενώ συγχρόνως μονώνεται η ταράτσα και το δάπεδο του, πάνω από τον ανοιχτό υπόστυλο χώρο (πιλοτή). Σε ότι αφορά τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, ο λέβητας πετρελαίου αντικαθίσταται από λέβητα αερίου συμπύκνωσης, ενώ για επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας, πραγματοποιείται η εγκατάσταση Συστήματος Μηχανικού Αερισμού με πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα για ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας, σε κάθε διαμέρισμα της πολυκατοικίας ξεχωριστά. Η παραγωγή του ζεστού νερού χρήσης επιτυγχάνεται σε συνδυασμό με λέβητες αερίου συμπύκνωσης που εγκαθίστανται επίσης σε κάθε διαμέρισμα, και ηλιακών συστημάτων που τοποθετούνται στην ταράτσα του κτηρίου. Για το σενάριο της «Καινοτόμου» ανακαίνισης του κτηρίου, το κτηριακό κέλυφος αντικαθίστανται με προκατασκευασμένες τοιχοποιίες ξηράς δόμησης, στις οποίες, για επιπλέον μόνωση έχουν τοποθετηθεί και Μονωτικές Σανίδες Κενού (VIPs). Τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, αναβαθμίζονται κατά παρόμοιο τρόπο με το σενάριο της «Συμβατικής» ανακαίνισης του κτηρίου. Ταυτοχρόνως ο έλεγχος και η διαχείριση όλων των ενεργειακών συστημάτων του κτηρίου, επιτυγχάνεται με Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτηρίου (BEMs). Τέλος, για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του κτηρίου, έχει εγκατασταθεί συστοιχία φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η ενεργειακή ανάλυση και η μοντελοποίηση του κτηρίου, πραγματοποιείται με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος EnergyPlus. Η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης βασίζεται στην μέθοδο του Χρόνου Ανάκτησης Κεφαλαίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως γίνεται εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 77% στην περίπτωση της «Συμβατικής»

ανακαίνισης, 95% στην περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης, σε σχέση με τις συνολικές απαιτήσεις του κτηρίου πριν την ανακαίνιση του. Ταυτοχρόνως, η οικονομική αξιολόγηση έδειξε πως ο χρόνος απόσβεσης και των δυο περιπτώσεων είναι περίπου τα 10.5 χρόνια. Στην περίπτωση όμως της «Καινοτόμου» ανακαίνισης υπάρχει συνεχόμενη μείωση εξόδων από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς μέρος της καλύπτεται από την παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

ABSTRACT

The present study treats energy and techno-economic analysis of the deep renovation of an existing residential multi-storey building, incorporating drywall systems and super insulating materials. The examined building is a typical five storey building, with 20 apartments, 75m² each, located in Athens, being built before 1980. Two renovation cases were examined. An advanced renovation and a innovative renovation scenario. The advanced renovation scenario was based in the TABULA project (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment). During this project, residential building typologies have been developed for several European countries. Each national typology consists of a classification scheme grouping buildings according to their size, age and further parameters and a set of exemplary buildings representing the building types. Both cases were evaluated through dynamic energy simulation using the EnergyPlus software. The economic analysis was performed using the Payback Period (PP) method considering all the costs involved.

In the existing state of the building, the envelope was not insulated. In the advanced renovation case, insulation was installed at the external walls, the floor and the top of the building. The heating system was replaced by a natural gas condensing boiler with outdoor temperature compensation, while a mechanical ventilation system with heat recovery was installed for each apartment. The Domestic Hot Water (DHW) production was achieved with a combination of natural gas condensing boilers and solar panels. For the innovative renovation scenario, the external walls were replaced by prefabricated lightweight metal frame construction with drywall materials. For further thermal insulation the external walls incorporated a layer with Vacuum Insulation Panels (VIPs). The HVAC systems have been upgraded as in the advanced renovation case. Furthermore, advanced Building Energy Management Systems (BEMs) with forecasting algorithms, monitor and control the HVAC systems, ensuring the building operates at maximum levels of efficiency and removing wasted energy usage and associated costs. Finally an extended Photovoltaic system (PV) is assumed, for the electricity demands, on the roof of the building.

The results showed that the primary energy consumption was reduced by ca. 95% for the innovative refurbishment case towards the existing state of the building, while the payback period is approximately at 10.5 years.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στα πλαίσια του διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος «Συστήματα Αυτοματισμού».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια Μαρία Φούντη, καταρχήν για την ευκαιρία της συνεργασίας μου με το εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης, και επιπλέον την για την εμπιστοσύνη της ως προς την ανάθεση της συγκεκριμένης εργασίας. Η στήριξη και η καθοδήγηση της όλο αυτόν τον καιρό, έχει υπάρξει καθοριστική σε ότι αφορά την εξέλιξη μου και την απόκτηση ολοένα και περισσότερων γνώσεων.

Μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Δρ. Γιάννη Ατσόνιο για την άψογη συνεργασία, τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές καθ'όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μαζί του. Η συνύπαρξη μαζί του στο γραφείο έχει συντελέσει κατά πολύ στην βελτίωση μου ως μηχανικός. Ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω επίσης στον Δρ. Γιάννη Μανδηλαρά. Η πολύτιμη βοήθεια του όλο αυτόν τον καιρό, η καθοριστική στήριξη, οι παρεμβάσεις και οι πολύπλευρες του γνώσεις που προσφέρει και μοιράζεται από την αρχή της συνεργασίας μας, έχουν αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα στην έως τώρα σταδιοδρομία μου. Δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την Δρ. Αλεξάνδρα Μπόνου για τις συμβουλές της σε ότι αφορά τα περιβαλλοντικά ζητήματα, την ηθική της στήριξη και τη δημιουργία του τόσο ευχάριστου και παραγωγικού κλίματος στο γραφείο του εργαστήριου. Ευχαριστώ επίσης τον Δρ. Δήμο Κοντόγεωργο για την υποστήριξη του σε καίρια επιστημονικά και τεχνικά θέματα αλλά και για την πάντα άψογη και εποικοδομητική συνεργασία μας στο εργαστήριο.

Άρης Α. Μανωλίτσης

Οκτώβρης 2018

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ.

Ο κτηριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 39% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη και για το 34% στην Ελλάδα, ενώ παράλληλα το 36% των συνολικών εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε αυτόν [1, 2]. Στην κατεύθυνση αυτή, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει οδηγίες, θέτοντας ένα πλαίσιο μέτρων στις χώρες που συμμετέχουν σε αυτή, για την προώθηση της ενεργειακής εξοικονόμησης, έτσι ώστε μέχρι το 2020 η κατανάλωση ενέργειας να μην υπερβαίνει τους 1.474 εκατομμύρια ισοδύναμους τόνους πετρελαίου πρωτογενούς ενέργειας ή τους 1.078 εκατομμύρια ισοδύναμους τόνους πετρελαίου τελικής ενέργειας. Η κοινοτική οδηγία για την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτηρίων (EPBD), αναφέρει και καθορίζει τις εξής δεσμεύσεις.

- Δημοσίευση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την ανακαίνιση του εθνικού κτηριακού αποθέματος, η οποία να περιλαμβάνει ανασκόπηση του εθνικού κτηριακού αποθέματος, εξεύρεση οικονομικώς αποδοτικών προσεγγίσεων για τις ανακαινίσεις ανάλογα με το είδος κτηρίου και την κλιματική ζώνη, πολιτικές και μέτρα για την τόνωση οικονομικώς αποδοτικών ριζικών ανακαινίσεων κτηρίων και τέλος την εκτίμηση της αναμενόμενης εξοικονόμησης ενέργειας.
- Ανακαίνιση των δημοσίων κτηρίων που έχουν επιφάνεια άνω των 500m² σε ποσοστό τουλάχιστον 3% της συνολικής τους επιφάνειας.
- Προώθηση ενεργειακών ελέγχων, οι οποίοι θα διενεργούνται από ειδικευμένους εμπειρογνώμονες.
- Εγκατάσταση μετρητών ενέργειας (ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου, τηλεθέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης) που θα αντικατοπτρίζουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση.
- Διασφάλιση ακριβούς πληροφόρησης τιμολόγησης σε όλα τα στάδια (διανομείς, διαχειριστές διανομής και εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας).
- Προώθηση μέτρων για την αποδοτική χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές, όπως φορολογικά κίνητρα, χρηματοδότηση, δανεισμός, επιδοτήσεις κ.ά.

Τα νέα κτήρια, θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται, βασιζόμενα στις οδηγίες αυτές που θέτουν περιορισμούς σε ότι αφορά την ενεργειακή τους κατανάλωση. Ταυτόχρονα, στα ήδη υπάρχοντα κτήρια, που αποτελούν και την πλειοψηφία του οικιακού και του τριτογενή τομέα, πρέπει να παρεμβάσεις τέτοιες, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας [3].

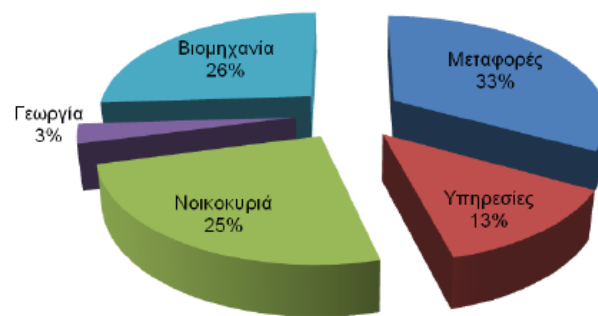
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προτείνει μια δεσμευτική νομοθεσία, στην οποία και θα βασίζονται οι εθνικές ενεργειακές πολιτικές στην κτηριακό τομέα. Σε αυτήν, θα περιλαμβάνονται οδηγίες που θα αφορούν την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, την ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας προϊόντων μέσω ενεργειακής σήμανσης και την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση.

Ανάλογα με το είδος της κτηριακής εγκατάστασης, οικιακός τομέας ή τριτογενής και το καθεστώς φορέα-ιδιοκτησίας (π.χ. δημόσια κτήρια), ο σχεδιασμός των μέτρων ενεργειακής πολιτικής μπορεί να διαφέρει, έχοντας ως στόχο την προσαρμογή στις ειδικές παραμέτρους χρήσης και βαθμών ελευθερίας που καθορίζουν την ενεργειακή ζήτηση-κατανάλωση σε επίπεδο κτηρίου. Τα προβλεπόμενα μέτρα ενεργειακής πολιτικής στον κτηριακό τομέα, οικιακό και τριτογενή, είναι τα εξής:

- Πλήρης ανάπτυξη συστήματος ενεργειακών πιστοποιητικών.
- Υποχρεωτική ποσόστωση συστημάτων ΑΠΕ για ενεργειακές ανάγκες σε νέα κτήρια.
- Πιστοποίηση εγκαταστατών μικρών συστημάτων ΑΠΕ.
- Υιοθέτηση τεχνικών χαρακτηριστικών για το σχεδιασμό και τη σήμανση ενεργειακής κατανάλωσης προϊόντων.
- Ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός δήμων και εκπόνηση τοπικών σχεδίων δράσης.
- Ειδικά προσαρμοσμένες δράσεις για δημόσιο τομέα, σχετικά με κριτήρια επιλογής και ανάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών σύμφωνα με ενεργειακή απόδοση και ανάλυση κόστους κύκλου ζωής, καθώς και εφαρμογής συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης.
- Απόσυρση/απαγόρευση προϊόντων χαμηλής ενεργειακής απόδοσης.
- Υποχρεωτικός ρυθμός ανακαίνισης κτηριακών εγκαταστάσεων δημοσίου τομέα.
- Ανάπτυξη συστήματος ενεργειακών ελέγχων στα εμπορικά κτήρια.
- Σταδιακή αντικατάσταση και τελικά ολοκληρωτική εγκατάσταση έξυπνων μετρητών στο σύνολο του κτηριακού αποθέματος.
- Βιοκλιματική ανάπλαση αστικών περιοχών και χρήση ψυχρών δομικών υλικών σε υπαίθριους χώρους.
- Υποχρεωτικοί στόχοι για εξοικονόμηση ενέργειας ανά τελικό τομέα ενεργειακής χρήσης.

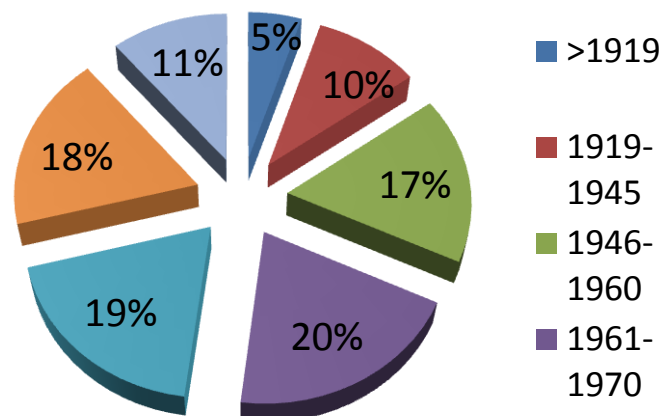
1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Το κοινό Ευρωπαϊκό Σχέδιο Δράσης (COM(2008) 781), βασίζεται στην πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μια «Ενεργειακή Πολιτική για την Ευρώπη», καθορίζοντας ένα μελλοντικό πολιτικό πρόγραμμα, προτείνοντας ένα πλαίσιο δράσεων για την επίτευξη των κύριων ενεργειακών στόχων της Ευρωπαϊκής Κοινότητας σε ότι αφορά την αειφορία, την ανταγωνιστικότητα και την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων στην Ευρώπη αποτελεί το περίπου το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης (Εικόνα 1.1), καθιστώντας τον κτηριακό τομέα ως έναν από τους σημαντικότερους χρήστες ενέργειας.



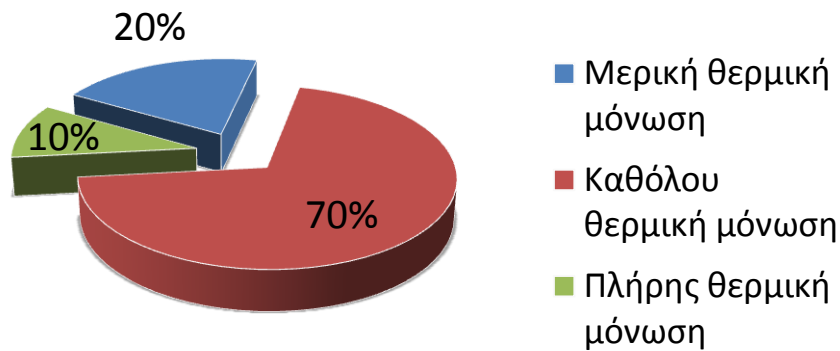
Εικόνα 1.1. Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά τομέα για το 2011 [4].

Σε έρευνα που διενήργησε η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) κατά την περίοδο Οκτωβρίου 2011-Σεπτεμβρίου 2012 (Έρευνα Κατανάλωσης σε νοικοκυριά), με τη συνεργασία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) ως τεχνικού εμπειρογνώμονα, έχουν συλλεχθεί πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών. Η ποσοστιαία κατανομή των κτηρίων με βάση την χρονολογία κατασκευής τους φαίνεται στην Εικόνα 1.2 που ακολουθεί.



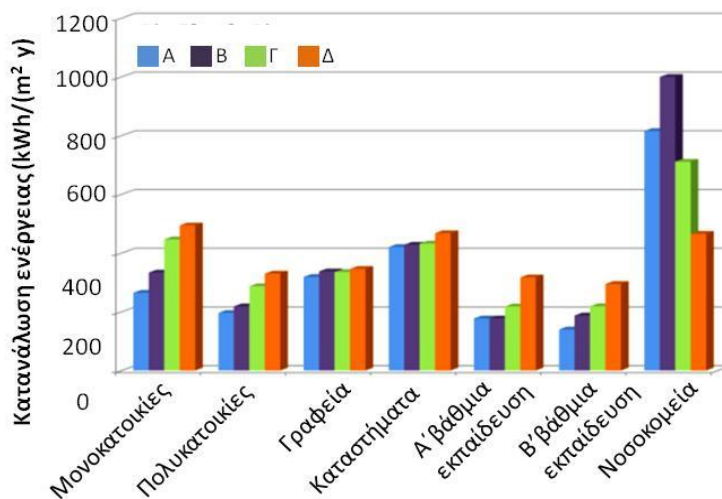
Εικόνα 1.2. Κατανομή κτηρίων ανά περίοδο κατασκευής [5]

Στην Ελλάδα, οι αρχικοί σχεδιασμοί σχετικά με τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτηρίων θεσπίστηκαν με το ΦΕΚ 362/4.7.1979. Τα προγενέστερα κτήρια, είναι ουσιαστικά κατασκευασμένα χωρίς να έχει τηρηθεί κάποιος κανονισμός θερμομόνωσης και αντιστοιχούν προσεγγιστικά στο 70% του συνολικού αποθέματος. Κατά συνέπεια, εμφανίζουν κακή ενεργειακή απόδοση καθώς δεν είναι θερμικά μονωμένα, ενώ τα ενεργειακά τους συστήματα παρουσιάζονται ιδιαίτερα ενεργοβόρα. Όμως, και από τα κτήρια που κατασκευάστηκαν έπειτα από την πρώτη εφαρμογή του κανονισμού θερμομόνωσης, εκτιμάται πως μόνο το 10% από αυτά είναι πλήρως θερμικά μονωμένα ενώ το υπόλοιπο μόνο μερικώς. (Εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3. Κατανομή κτηρίων με βάση τη θερμομόνωση τους [5].

Σύμφωνα με την έκθεση του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, για την εθνική στρατηγική ως προς τη σταδιακή ενεργειακή αναβάθμιση όλων των δημοσίων και ιδιωτικών κτηρίων στην Ελλάδα έως το 2050 [6], η ενεργειακή κατανάλωση του κτηριακού τομέας της χώρας, αυξήθηκε σημαντικά το 2012 σε σχέση με το 1990. Το 2012, τα νοικοκυριά παρουσίασαν αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας τους κατά 64.8% σε σύγκριση με το 1990, ενώ στον τριτογενή τομέα η αύξηση τριπλασιάστηκε (2.233Mtoe) Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζονται οι θεωρητικές διαφορετικές μέσες καταναλώσεις ενέργειας (αφορούν τα χαρακτηριστικά των κτηρίων), ανά χρήση κτηρίου, για καθεμία κλιματική ζώνη, με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από την έκδοση ενεργειακών Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), έως σήμερα.



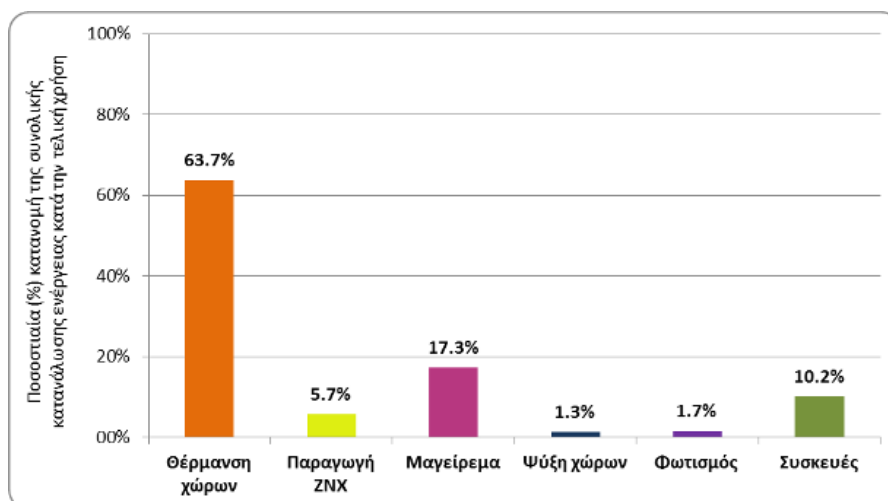
Εικόνα 1.4. Θεωρητική υπολογισθείσα ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων [5].

Η ελληνική επικράτεια είναι διαιρεμένη σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης (κανονισμός Ενεργειακής απόδοσης κτηρίων Κ.Εν.Α.Κ.). Στην κλιματική ζώνη Δ, η οποία και αποτελεί την ψυχρότερη ζώνη, όλα τα κτήρια διαφορετικής χρήσης, είναι περισσότερο ενεργοβόρα από ότι συμβαίνει για τις υπόλοιπες περιοχές της

χώρας, με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας να καταγράφεται στις μονοκατοικίες (494kWh/m²year). Επίσης, τα κτήρια γραφείων και τα καταστήματα εμφανίζουν περίπου την ίδια ενεργειακή κατανάλωση σε όλες τις κλιματικές ζώνες ενώ οι κατοικίες και τα σχολεία παρουσιάζουν αυξητική τάση προς τις ψυχρότερες ζώνες, λόγω των αυξημένων θερμικών τους αναγκών. Αντίθετα, τα νοσοκομεία, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση στις πιο θερμές ζώνες (Ζώνες Α και Β), εξαιτίας των αναγκών τους σε δροσισμό. Η υψηλότερη τιμή στην κατανάλωση ενέργειας εμφανίζεται στην κλιματική ζώνη Β, με τιμή στις 1000 kWh/(m²year) [7].

Επίσης, από την ίδια έρευνα, έχουν προκύψει τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Η κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κάθε νοικοκυριού είναι περίπου 13.944 kWh/year.
- Η μέση ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας (θέρμανση, ΖΝΧ κ.α.), ανά νοικοκυριό είναι 10.244kWh. Το 85.9% της συνολικής ετήσιας θερμικής ενέργειας καταναλώνεται για την θέρμανση των κτηρίων.
- Η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό είναι 3.750kWh. Το 38.4% της συνολικής ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, είναι για το μαγείρεμα.



Εικόνα 1.5. Ποσοστιαία (%) κατανομή της συνολικής ενέργειας κατά την τελική χρήση [7]

Επιπλέον οι ανάγκες ενός νοικοκυριού:

- Για τη θέρμανση χώρου αποτελούν το 63.7% της συνολικής ετήσιας ενέργειας που καταναλώνεται.
- Για πετρέλαιο θέρμανσης φτάνουν στο 44.1% των συνολικών ετήσιων ενεργειακών αναγκών.
- Για ηλεκτρισμό, το 26.8% στο σύνολο των ετησίων ενεργειακών αναγκών.

1.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ

Τα κτήρια (οικιακός και τριτογενής τομέας), καθίστανται τόσο ενεργοβόρα εξαιτίας των αναγκών για την κάλυψη διαφόρων απαιτήσεων που σχετίζονται με τη συνήθη χρήση τους και έχουν να κάνουν με:

- Τη θέρμανση.
- Την παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX).
- Την ψύξη.
- Τον αερισμό.
- Τον φωτισμό .

Κτήρια που στερούνται θερμομονωτικής προστασίας, παρουσιάζουν αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και μικρή ενεργειακή αποδοτικότητα. Στοιχεία δείχνουν πως η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη αναμένεται να αυξηθεί, σχεδόν κατά 150% σε παγκόσμιο επίπεδο μέχρι το 2050, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες με θερμά κλίματα κατά 300% έως 600%. Επομένως, η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων αναδεικνύεται σε σημαντικό θέμα της καθημερινότητας και η βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς σε πρωταρχικό στόχο [8]. Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2010/31/ΕΕ η οποία και έχει τεθεί σε πλήρη εφαρμογή από τις 31/12/2008 σε όλα τα κράτη μέλη, τα νέα κτήρια θα είναι υποχρεωτικά κτήρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή «παθητικά κτήρια». Ο όρος «κτήριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης», αναφέρεται σε ένα τύπο κτηρίου που θα εξασφαλίζει μέγιστη άνεση για τους ενοίκους, με ελάχιστη ή μηδενική συμβατική θέρμανση και χωρίς ενεργή ψύξη. Επίσης τα «παθητικά κτήρια», έχουν καθορισμένη μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση 15(kWh/m²year)

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων, μπορεί να πραγματοποιηθεί καταρχήν, μέσω της θερμομόνωσης του κελύφους τους, με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη παθητική θέρμανση και ψύξη. Επιπλέον ενέργεια μπορεί να εξοικονομηθεί και από την τοποθέτηση βελτιωμένων υαλοπινάκων με χαμηλούς συντελεστές θερμοπερατότητας αλλά και με άλλες πιο απλές και ταυτοχρόνως περισσότερο οικονομικές παρεμβάσεις, όπως για παράδειγμα η χρήση υλικών με καλές ανακλαστικές ιδιότητες στην τοιχοποιία και την οροφή των κτηρίων. Ταυτοχρόνως, η αναβάθμιση των ενεργειακών συστημάτων, για θέρμανση, κλιματισμό και για Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX), οδηγεί σε επιπλέον μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων [9].

Πολλές μελέτες εστιάζουν στο κατά πόσο οι παρεμβάσεις στο κέλυφος ενός κτηρίου αλλά και η αναβάθμιση των ενεργειακών του συστημάτων, συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας. Τεχνοοικονομικές μελέτες, δείχνουν πως ο χρόνος απόσβεσης για την μετατροπή ενός τυπικού κτηρίου, σε κτήριο με ελάχιστες ενεργειακές ανάγκες που να καλύπτονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε αυτό να χαρακτηριστεί πλέον ως κτήριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB), κυμαίνεται περίπου στα 8 χρόνια. Συμπληρωματικά, με την τοποθέτηση παθητικών και ενεργειακών ηλιακών συστημάτων, ο χρόνος απόσβεσης μπορεί να μειωθεί κατά έναν επιπλέον χρόνο. [10].

Συγκρίνοντας την ενεργειακή κατανάλωση παλαιών κτηρίων με ελλιπή μόνωση, με αντίστοιχες νέες κατασκευές οι οποίες είναι εναρμονισμένες με τις ισχύουσες νομοθεσίες, με σωστό ενεργειακό σχεδιασμό και χαμηλές ενεργειακές καταναλώσεις, προκύπτουν

σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις δυνατότητες που υπάρχουν στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα, αναπτύσσονται οι κατασκευές προκατασκευασμένων κτηρίων ξηράς δόμησης με ελαφρύ μεταλλικό σκελετό. Τα κτήρια αυτά, έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα τυπικά κτήρια, όπως είναι ο χρόνος κατασκευής τους σε συνδυασμό με το μειωμένο τους κόστος. Ταυτόχρονα, διαθέτουν πολύ καλές υγροθερμικές αντοχές, τα υλικά τους είναι ανακυκλώσιμα, προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, ενώ έχουν και πολύ καλή αντισεισμική συμπεριφορά σε σχέση με τα συμβατικά κτήρια. Επίσης, τα προκατασκευασμένα μέρη ενός κτηρίου μπορούν να αφαιρεθούν από την ήδη υπάρχουσα κατασκευή, να επισκευασθούν ή να βελτιωθούν, και να επανατοποθετηθούν με σχετική ευκολία στην περίπτωση που υπάρξει κάποια ανάγκη εξαιτίας οποιουδήποτε προβλήματος ή αστοχίας. Στην περίπτωση που παρατηρηθεί μείωση της αποδοτικότητας των θερμομονωτικών τους ιδιοτήτων, μπορούν να αφαιρεθούν με σχετική ευκολία και να ανακατασκευαστούν με υλικά νέας τεχνολογίας [11].

1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην εργασία αυτή, πραγματοποιείται η ενεργειακή αναβάθμιση ενός υφιστάμενου κτηρίου κατοικιών για την περιοχή της Αθήνας. Στόχος, είναι η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών, στη κατεύθυνση δημιουργίας ενός κτηρίου σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, ώστε η πρωταρχική χρήση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και για όλες τις οικιακές συσκευές να περιορίζονται στις 120kWh/(m².year). Εξετάζονται δυο βασικά σενάρια και συγκρίνονται τόσο σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου, όσο και μεταξύ τους. Το πρώτο σενάριο αφορά τη «Συμβατική» ανακαίνιση του κτηρίου, και βασίστηκε στο πρόγραμμα TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment), που υλοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη». Κατά τη «Συμβατική» αυτή ανακαίνιση του κτηρίου, τοποθετείται μόνωση στο κέλυφος του και αναβαθμίζονται τα ενεργειακά συστήματα για θέρμανση, αερισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με αποδοτικότερα. Κατά το δεύτερο σενάριο, πραγματοποιείται η «Καινοτόμος» ανακαίνιση του κτηρίου. Η ανακαίνιση αυτή, περιλαμβάνει την ολική αντικατάσταση του κελύφους του κτηρίου από προκατασκευασμένα συστήματα ξηράς δόμησης Ταυτόχρονα αναβαθμίζονται τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, με συστήματα παρόμοια όπως και κατά τη «Συμβατική» ανακαίνιση, ενώ για την καλύτερη και πιο αποδοτική τους λειτουργία χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου. Η ενεργειακή προσομοίωση, υλοποιείται χρησιμοποιώντας το λογισμικό EnergyPlus, το οποίο προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα τη ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου. Ταυτόχρονα, πραγματοποιείται και μια σύντομη οικονομική αξιολόγηση των σεναρίων ανακαίνισης, η οποία βασίζεται στη μέθοδο του Χρόνου Ανάκτησης Κεφαλαίου, προσδιορίζοντας τον Χρόνο Απόσβεσης (ΧΑ), ο οποίος και αποτελεί μια πρώτη εκτίμηση για το κατά πόσο είναι αποδοτική η κάθε επένδυση ξεχωριστά.

2 ΚΤΗΡΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (Zero Energy Buildings – ZEBs, nearly Zero Energy Buildings – nZEBs)

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κτήρια με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση χαρακτηρίζονται ως μηδενικής κατανάλωσης κτήρια (Zero Energy Buildings). Πρόκειται για κτήρια με μέγιστη άνεση για τους κατοίκους κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού, με ελάχιστη ή μηδενική συμβατική θέρμανση και ενεργή ψύξη. Η βασική αρχή των κτηρίων αυτών, είναι η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη στο βαθμό που τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης δεν είναι πλέον απαραίτητα. Για κτήρια κατοικιών η συνολική πρωταρχική ενέργεια για θέρμανση/ψύξη του χώρου, για την παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης και τις ηλεκτρικές ανάγκες περιορίζεται μεταξύ 33kWh/(m².year) έως 95kWh/(m².year), με τις περισσότερες χώρες να ορίζουν την κατανάλωση των κτηρίων αυτών μεταξύ 45 και 50 kWh/(m².year) Ουσιαστικά, για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, τα κτήρια nZEBs πρέπει να έχουν πολύ καλή θερμομόνωση με ελάχιστες θερμογέφυρες, να γίνεται χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων, να υπάρχει αεροστεγανότητα, καθώς επίσης και σύστημα εξαερισμού με ανάκτηση θερμότητας. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται, πρέπει να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανόμενης της παραγόμενης επί τόπου ή πλησίον του κτηρίου [12].

Παρόλα τα παραπάνω, τα κτήρια αυτά δεν γίνεται να μην παράγουν αέρια του θερμοκηπίου, αφού όταν για παράδειγμα δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (μέρες με συννεφιά, νυχτερινές ώρες), ή αιολική ενέργεια για τις περιπτώσεις που έχουν εγκατασταθεί σε αυτά μικρές ανεμογεννήτριες, καλύπτουν τις ανάγκες τους τροφοδοτούμενα από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή από συμβατικές πηγές. Τα κτήρια που παράγουν παραπάνω ενέργεια από αυτήν που καταναλώνουν στη διάρκεια ενός έτους, δηλαδή έχουν περίσσεια ενέργειας, ονομάζονται «θετικής ενέργειας», ενώ εκείνα που καταναλώνουν ελάχιστα παραπάνω από αυτό που παράγουν, «σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης» (nearly-zero energy buildings) ή «εξαιρετικά χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης» (ultra-lower energy houses).

Τα περισσότερα κτήρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, χρησιμοποιούν το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας για την αποθήκευση της παραγόμενης τους ενέργειας, ενώ ορισμένα από αυτά είναι και ανεξάρτητα. Η ενέργεια συνήθως συγκεντρώνεται επί τόπου μέσα από ένα συνδυασμό τεχνολογιών ΑΠΕ, ενώ η εξοικονόμηση γίνεται μέσα από σύγχρονα και αποδοτικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και φωτισμού. Ενώ το κόστος των συμβατικών πηγών ενέργειας από τα ορυκτά κυρίως καύσιμα, συνεχώς και αυξάνει, το κόστος των τεχνολογιών εναλλακτικών πηγών ενέργειας τείνει συνεχώς να μειώνεται, με τον στόχο για μηδενική κατανάλωση να φαντάζει όλο και πιο εφικτός.

Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2010/31/ΕΕ (άρθρο 2), σαν *Κτήριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nZEB)*, ορίζεται το κτήριο αυτό το οποίο έχει πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση και απαιτεί σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Η ενέργεια αυτή, καλύπτεται σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανόμενης και της ενέργειας που παράγεται επί τόπου ή πλησίον του κτηρίου.

Τα κτήρια nZEBs έχουν τα εξής χαρακτηριστικά.

- Δομικά στοιχεία υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών.
- Ενεργειακά Συστήματα (H/M εγκαταστάσεις) πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης.
- Σημαντικό μέρος της ενεργειακής τους κατανάλωσης καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.

Στον Πίνακα 2.1, αποτυπώνονται οι επιλογές που υπάρχουν για την παροχή ενέργειας σε ένα ZEB και αναφέρονται επίσης οι διαφορές της on-site και off-site ενέργειας [13].

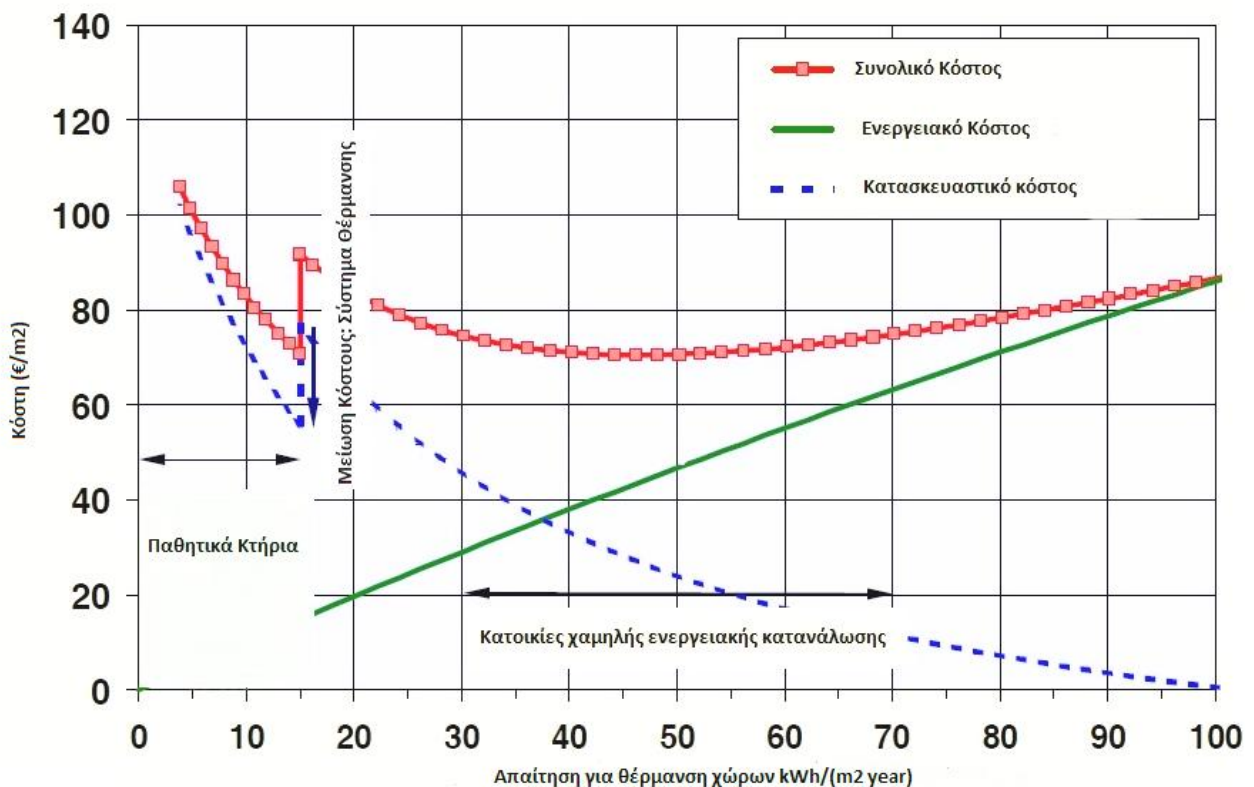
Πίνακας 2.1. Επιλογές παροχής ενέργειας σε κτήρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης

Επιλογές παροχής ενέργειας στο ZEB	Παραδείγματα
<i>Μείωση της απαιτούμενης ενέργειας μέσω τεχνολογιών χαμηλής κατανάλωσης</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Φυσικός φωτισμός • Υψηλά αποδοτικός εξοπλισμός θέρμανσης, ψύξης, αερισμού. • Φυσικός αερισμός
Παροχή ενέργειας από πηγές που βρίσκονται στον χώρο του κτηρίου (on-site)	
<i>Εγκατεστημένα συστήματα ΑΠΕ στο κτήριο</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Φωτοβολταϊκά πάνελς • Ηλιακοί συλλέκτες. • Μικρές ανεμογεννήτριες στο κτήριο
<i>Εγκατεστημένα συστήματα ΑΠΕ στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Φωτοβολταϊκά πάνελς • Ηλιακού συλλέκτες. • Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί. • Ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες στο οικόπεδο του κτηρίου.
Παροχή ενέργειας από πηγές που δεν βρίσκονται στον χώρο του κτηρίου	
<i>Εγκατεστημένα συστήματα ΑΠΕ που είναι διαθέσιμα εκτός του χώρου του κτηρίου για παραγωγή ενέργειας στο κτήριο.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Βιομάζα, pellets, biodiesel.
<i>Αγορά ενέργειας από συστήματα ενεργειακά συστήματα ΑΠΕ που βρίσκονται εκτός του χώρου του κτηρίου.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ανεμογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά συστήματα, Υδροηλεκτρικοί σταθμοί ιδιοκτησίας εταιρειών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. • Αγορά credits εκπομπής ρύπων

Ένα κτήριο nZEB, κατηγοριοποιείται ανάλογα τα συστήματα Α.Π.Ε. που χρησιμοποιεί για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Η κατηγοριοποίηση αυτή, γίνεται προκειμένου να προτρέπονται οι κατασκευαστές και οι ιδιοκτήτες nZEBs ώστε να στρέφονται πρώτα στην εκμετάλλευση άμεσα διαθέσιμων και τοπικών πηγών ενέργειας και κατόπιν να διερευνούν πιο δύσκολες επιλογές. Σύμφωνα αυτήν, τα nZEBs, διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες: Α,Β,Γ,Δ. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν υπάρχει κάποιος ενιαίος ορισμός και μια ενιαία τυποποιημένη μεθοδολογία για τον έλεγχο και τον χαρακτηρισμό ενός κτηρίου ως nZEB, ούτε και υπάρχει κάποια βέλτιστη κατηγορία για τα nZEBs. Ο ορισμός και η κατηγορία των κτηρίων αυτών, εξαρτάται από τους στόχους που τίθενται από τους σχεδιαστές των κτηρίων αυτών και τους ιδιοκτήτες του. Για παράδειγμα ορισμένοι ιδιοκτήτες μπορεί ενδιαφέρονται κυρίως για την απόσβεση και του κόστους λειτουργίας και κατασκευής, ενώ κάποιοι άλλοι για την αποφυγή έκλυσης ρύπων. Έτσι σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζονται οι διαθέσιμες επιλογές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας από Α.Π.Ε [14-16].

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

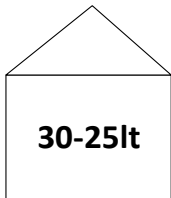
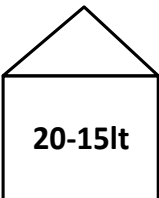
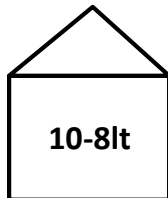
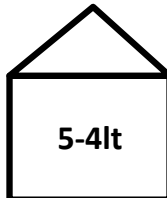

Το κύριο πλεονέκτημα των κτηρίων μηδενικής και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, είναι η μείωση του λειτουργικού κόστους με συνέπεια τις μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την περιβαλλοντική αειφορία. Το κόστος μια επένδυσης στα κτήρια αυτά, είναι υψηλότερο σε σύγκριση με τα συμβατικά κτήρια, ωστόσο το χαμηλό λειτουργικό κόστος καθιστά αυτά τα κτήρια πιο οικονομικά καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου απαιτεί περισσότερες προσπάθειες και επενδύσεις στο σχεδιασμό και την κατασκευή του κτηρίου. Όμως, όταν η ενεργειακή απόδοση βελτιώνεται με απλά οικονομικά μέτρα, υπάρχουν σημαντικά οφέλη. Ταυτόχρονα η μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό έχει σαν αποτέλεσμα εκτός από τη μείωση του λειτουργικού κόστους και την εξοικονόμηση κόστους στον εξοπλισμό σε σχέση με τα συμβατικά κτήρια. Σε κτήρια μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, η εξοικονόμηση κόστους από τη συντήρηση των ενεργειακών συστημάτων μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος από τα επιπλέον έξοδα του κτηρίου [17].



Εικόνα 2.1 Κόστος κατασκευής κτηρίων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης [17]

Ταυτόχρονα, εκτιμάται πως η μείωση στη κατανάλωση ενέργειας καθώς το 40% της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη και το 34% στην Ελλάδα προέρχεται από τα κτήρια αυτά, αντιστοιχεί σε 3.3 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου CO₂ ετησίως, η οποία ισοδυναμεί με την απομάκρυνση 100 εκατομμυρίων αυτοκινήτων μόνιμα από τους δρόμους [18]. Στον Πίνακα 2.2, παρουσιάζονται οι τυπικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εξαιτίας των ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση, για κτήρια κατασκευασμένα με διαφορετικά κατασκευαστικά δεδομένα.

Πίνακας 2.2 Τυπικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για απαιτήσεις θέρμανσης

Ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης Συμβατικής κατοικίας	225-200 kWh/(m ² .year)	160-140 kWh/(m ² .year)	90-70 kWh/(m ² .year)	30-20 kWh/(m ² .year)	15-0 kWh/(m ² .year)
Δεδομένα Κτηρίου (κανονισμοί)	Κατοικίες προ του 1979	Κανονισμός Θερμομόνωσης 1979	ΚΕΝΑΚ	Κατοικίες Χαμηλής Ενεργειακής Κατανάλωσης	Παθητικές Κατοικίες
Κατασκευαστικά δεδομένα	Τελείως ανεπαρκής θερμομόνωση	Ανεπαρκής θερμική μόνωση	Κατοικίες που θα χρειαστούν αναβάθμιση μετά το 2020	Χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κατοικίες	Πολύ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κατοικίες
Εκπομπές CO ₂	60kg	40kg	20kg	10kg	1.5kg
Κατανάλωση ενέργειας σε λίτρα πετρελαίου θέρμανσης ανά m ² και έτος	 30-25lt	 20-15lt	 10-8lt	 5-4lt	 0.75lt

2.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ nZEB.

Η ενεργειακή απόδοση κτηρίων, σαν έννοια θεσπίστηκε στην Οδηγία 2002/91/ΕΚ. Η οδηγία αυτή, καθορίζει τις απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης για τη θέρμανση, την ψύξη, το φωτισμό και την ηλεκτρική ενέργεια στα κτήρια. Με το Νόμο 3661 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις» (Φ.Ε.Κ. 89 – 19/5/2008), η οδηγία αυτή ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο. Με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ, η οποία και αποτελεί την κύρια υπάρχουσα νομοθετική πράξη σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, δίνεται έμφαση στην επίτευξη μακροπρόθεσμων στόχων με τα κτήρια nZEB.

Ως προς την υλοποίηση της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ, εκδόθηκε ο Κανονισμός 244/2012/ΕΕ (16/1/2012), σύμφωνα με τον οποίο καθορίζεται συγκριτικό μεθοδολογικό πλαίσιο για τον υπολογισμό των επιπέδων του βέλτιστου κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και των δομικών στοιχείων. Από το 2012, τα κτήρια nZEBs υποστηρίζονται από τις δράσεις υλοποίησης στο πλαίσιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση, η οποία θέτει μια σειρά υποχρεώσεων στα κράτη μέλη της ΕΕ σχετικά με τους εθνικούς στόχους επίτευξης της ενεργειακής απόδοσης. Για την Ελλάδα, ο στόχος ενεργειακής απόδοσης για το 2020, είναι η επίτευξη τελικής κατανάλωσης ενέργειας στα 18.4 Mtoe.

Ταυτοχρόνως, κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. οφείλει:

- Να καθορίσει τις προδιαγραφές των ενεργειακών απαιτήσεων τόσο για τα στοιχεία κελύφους των κτηρίων όσο και για τα ποσοστά κάλυψης των αναγκών σε ενέργεια από ΑΠΕ.

- Να καθορίσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κτηρίων του με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές συνθήκες, οι οποίες περιλαμβάνουν με την σειρά τους τον αριθμητικό δείκτη της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας (primary energy consumption) σε κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο κατ'έτος (kWh/m²year).
- Να ετοιμάσει τους ενδιάμεσους στόχους για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των νέων κτηρίων.
- Να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές και τα οικονομικά ή άλλα μέτρα που έχουν ληφθεί για την προώθηση των κτηρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, περιλαμβανομένων λεπτομερειών που αφορούν τις εθνικές απαιτήσεις και τα μέτρα για τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στα νέα κτήρια και τα υφιστάμενα κτήρια που υφίστανται Καινοτόμος ανακαίνιση.

Τέλος, το κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ θα πρέπει επίσης, να λάβει τα απαιτούμενα μέτρα προώθησης και χρηματοδότησης για την προώθηση των κτηρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Η μεθοδολογία με την οποία υπολογίζεται η ενεργειακή απόδοση των nZEB πρέπει:

- Να είναι εναρμονισμένη στα κράτη-μέλη.
- Να υπάρχουν μηχανισμοί ελέγχου ποιότητας και διαδικασίας.
- Να υπάρχουν ποινές σε περιπτώσεις μη εφαρμογής των κανονισμών.

Κατά τη μεθοδολογία υπολογισμού, λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα.

- Τα πραγματικά θερμικά χαρακτηριστικά του κτηρίου (θερμοχωρητικότητα, θερμομόνωση, θερμογέφυρες).
- Η εγκατάσταση θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού χρήσης (ZNX).
- Η εγκατάσταση κλιματισμού, συμπεριλαμβανομένων και των χαρακτηριστικών των θερμομονώσεων της.
- Ο φυσικός και μηχανικός αερισμός που μπορεί να περιλαμβάνει και την αεροστεγανότητα.
- Η εγκατάσταση του γενικού φωτισμού (για τα κτήρια του τριτογενή τομέα)
- Ο σχεδιασμός και τη θέση του προσανατολισμού του κτηρίου.
- Τα παθητικά και υβριδικά ηλιακά συστήματα και την ηλιακή προστασία.
- Η παθητική θέρμανση και ο δροσισμός.
- Οι κλιματικές συνθήκες του εσωτερικού χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τις συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικού κλίματος.
- Τα εσωτερικά φορτία.

Επιπλέον, θα πρέπει να υπολογίζονται τα βέλτιστα επίπεδα κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης για νέα και υφιστάμενα κτήρια και δομικά στοιχεία. Θα πρέπει να προδιαγράφονται:

- Οι κανόνες για να συγκρίνονται τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης.
- Τα μέτρα που ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- Οι δέσμες και παραλλαγές αυτών των μέτρων, με βάση την απόδοση της πρωτογενούς ενέργειας και το κόστος υλοποίησης τους,
- Ο τρόπος εφαρμογής των εν λόγω κανόνων σε επιλεγμένα κτήρια αναφοράς με σκοπό τον προσδιορισμό των επιπέδων βέλτιστου κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης.

2.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ZEB-nZEB ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.

Γενικά, ανάλογα με το εάν τα κτήρια ZEBs και nZEBs είναι διασυνδεδεμένα ή μη στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, διαχωρίζονται σε:

Off grid ZEBs

Τα κτήρια αυτά, είναι αποκομμένα από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες αποκλειστικά από δικές τους πηγές ενέργειας. Για να συμβεί κάτι τέτοιο, είναι αναγκαία η ύπαρξη συσσωρευτών για τις περιόδους που δεν είναι δυνατόν να παραχθεί ενέργεια (νηνεμία, συννεφιασμένος καιρός, βραδινές ώρες). Στις περιπτώσεις που υπάρξει πλεόνασμα ενέργειας, αυτή πρέπει να αποθηκεύεται καθώς δεν μπορεί να εξαχθεί στο δίκτυο. Μειονέκτημα των κτηρίων αυτών, αποτελεί πως απαιτούνται πολλές μονάδες συσσωρευτών με αποτέλεσμα το κόστος να είναι αρκετά αυξημένο [14, 15].

On-grid ZEBs.

Πρόκειται για τη συνηθέστερη μορφή ZEB. Τα κτήρια αυτά είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος. Στην περίπτωση που η παραγόμενη ενέργεια υπερκαλύπτει τις ανάγκες του κτηρίου, μπορεί να εξαχθεί στο δίκτυο. Ταυτοχρόνως μπορεί να γίνει και εισαγωγή ενέργειας από συστήματα ΑΠΕ κατά τις περιόδους που η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι δυνατόν να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου [14, 15].

2.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΤΗΡΙΩΝ ZEBs-nZEBs

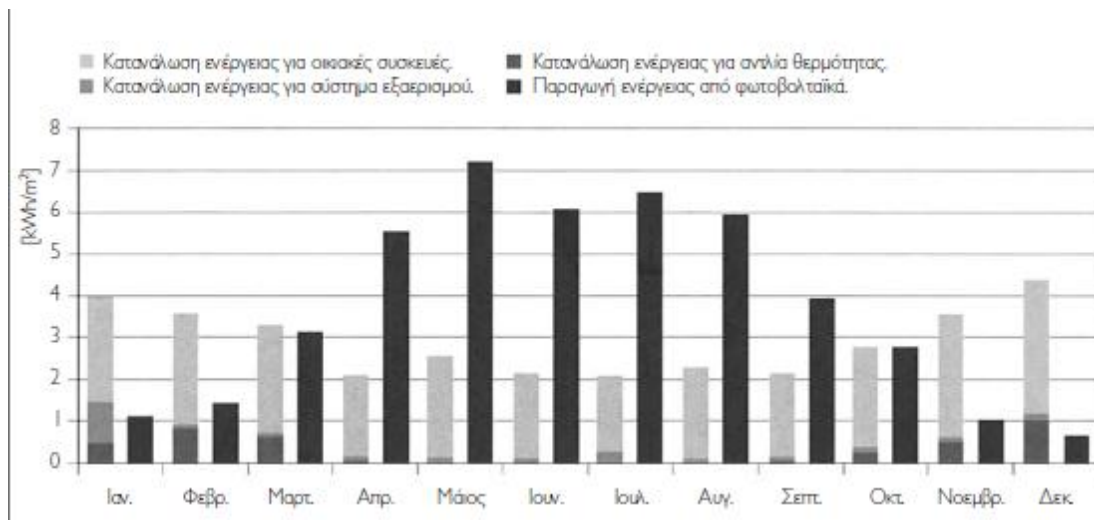
2.5.1 ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΒΕΤΙΑ

Το κτήριο αυτό, είναι κατασκευασμένο στην πόλη Riehen της Ελβετίας. Πρόκειται για ένα κτήριο δυο κατοικιών, σχεδιασμένο με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού για μέγιστη ενεργειακή απόδοση, στο οποίο υπάρχει εγκατεστημένη γεωθερμική αντλία θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ενός μέρους των αναγκών για ζεστό νερό χρήσης, θερμικά ηλιακά ($8m^2$) για την κάλυψη των κυρίων αναγκών ζεστού νερού χρήσης και εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό σύστημα (14kWp) για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Κατά τη διάρκεια 2 ετών, η ενέργεια που παράχθηκε ήταν περίπου 30% περισσότερη όση καταναλώθηκε ετησίως. Δηλαδή παράχθηκαν $115kWh/m^2$ και καταναλώθηκαν $87kWh/m^2$ [19].



Εικόνα 2.2. Κτήριο κατοικίας στην πόλη Riehen της Ελβετίας [20]

Το ενεργειακό ισοζύγιο για την κατοικία, φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 2.3



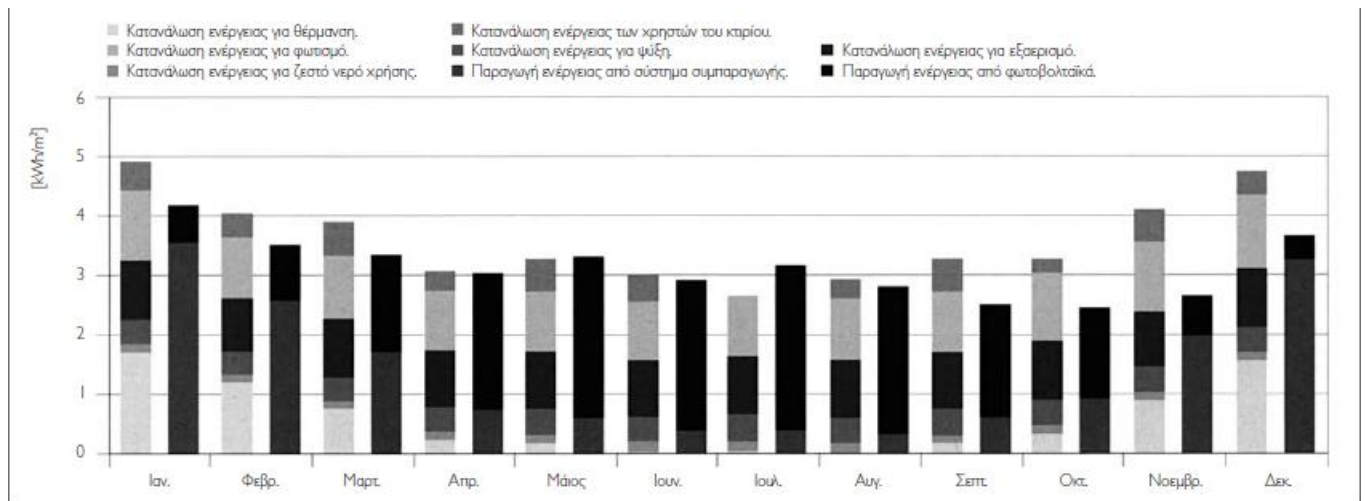
Εικόνα 2.3. Ετήσιο Ενεργειακό ισοζύγιο για την κατοικία στο Riehen της Ελβετίας [20]

2.5.2 ΣΧΟΛΕΙΟ ΣΤΟ ΒΕΡΟΛΙΝΟ

Στο σχολείο του Hohen Neuendorf στο Βερολίνο, εφαρμόστηκαν αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, με την παραγωγή θερμικής ενέργειας στο κτήριο να γίνεται από λέβητα βιομάζας ισχύος 220kW_{th} . Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό, τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών, τον κλιματισμό και αερισμό, γίνεται η χρήση εγκατάστασης συμπαραγωγής με βιομάζα (10kW_{th}) και με φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 55kW_p το οποίο είναι εγκατεστημένο στη στέγη του κτηρίου. Κατά την ενεργειακή προσομοίωση του κτηρίου προέκυψε έλλειμμα πρωτογενούς ενέργειας κατά $6\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{year})$. Ύστερα από την αναγωγή της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ενέργειας στο κτήριο σε πρωτογενή οι εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα μάζας υπολογίστηκαν σε $2\text{kg CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{year}$. Στην περίπτωση κατά την οποία δεν γίνει δυνατή η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, το έλλειμμα αυτό αντισταθμίζεται με επιπλέον παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκών συστημάτων συνολικής ισχύος 16kW_p .



Εικόνα 2.4. Το σχολείο Hohen Neuendorf στο Βερολίνο [20].



Εικόνα 2.5. Το Ενεργειακό Ισοζύγιο του σχολείου Hohen Neuendorf στο Βερολίνο [20]

2.5.3 HOCKERTON HOUSING PROJECT (ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ)

Η μικρή κοινότητα 5 κατοικιών στο Hockerton του Ηνωμένου Βασιλείου, χωροθετείται σε μια έκταση πρώην αγροτικών εκτάσεων. Ο βασικός σκοπός του σχεδιασμού ήταν η δημιουργία της πρώτης κοινότητας μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου στη Μεγάλη Βρετανία, η οποία θα ελαχιστοποιούσε την ενεργειακή κατανάλωση και θα χρησιμοποιούσε ανακυκλωμένα υλικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής της. Μέρος των κατοικιών καλύπτεται από το έδαφος, ενώ ο παθητικός ηλιακός σχεδιασμός καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες για τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων κατά τη διάρκεια του χειμώνα, χωρίς να χρησιμοποιείται κάποιο επιπλέον ενεργειακό σύστημα θέρμανσης.



Εικόνα 2.6. Άποψη της οροφής του κτηρίου

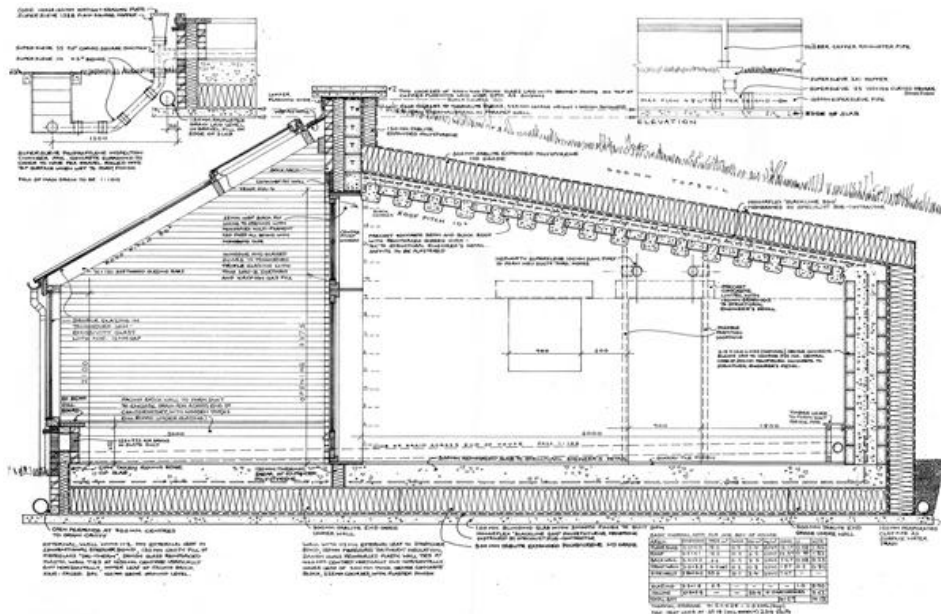
Η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία των κατοικιών καλύπτεται από δύο ανεμογεννήτριες ισχύος 5kW και 6kW αντίστοιχα, σε συνδυασμό με συστοιχίες φωτοβολταϊκών συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 7.65kW. Ταυτοχρόνως τα δίκτυα κοινής ωφέλειας όπως της ύδρευσης και της αποχέτευσης είναι αυτόνομα, άρα πρόκειται για ένα κτήριο εκτός δικτύου (off grid). Η κατασκευή αυτή, πραγματοποιήθηκε το 1998 και αποτελεί το πρώτο αυτόνομο οικολογικό κτήριο στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Κατά την υλοποίηση του έργου αλλά και κατά την διάρκεια του σχεδιασμού υπήρξαν αρκετοί στόχοι ως προς την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου όπως:

- Η ελαχιστοποίηση των αναγκών για θέρμανση.
- Επίτευξη μηδενικού ισοζυγίου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
- Αυτονομία από δίκτυα κοινής ωφέλειας.
- Εκμετάλλευση των Α.Π.Ε. για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.
- Χρήση απλών τεχνικών κατασκευής και οικολογικών υλικών.
- Δημιουργία κατοικιών με ανταγωνιστικό κόστος, με μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο οικονομικό όφελος για τους χρήστες.
- Παροχή της δυνατότητας στους ενοίκους να ελέγχουν όλες τις υποδομές και τα ενεργειακά συστήματα με την ελάχιστη δυνατή απαίτηση για την συντήρησή τους
- Αύξηση της βιοποικιλότητας.
- Επίτευξη των παραπάνω στόχων χωρίς τη μείωση του επιπέδου και των ανέσεων διαβίωσης.

Βασική προτεραιότητα ήταν η κατασκευή ενός κελύφους που θα εκμεταλλευόταν το μέγιστο δυνατό την θερμική του μάζα. Κάτι τέτοιο έγινε εφικτό με την χρησιμοποίηση 20εκ. σκυροδέματος στους εσωτερικούς τοίχους, 30εκ. στην πλάκα της οροφής και 50εκ. στους εξωτερικούς τοίχους. Για τη μόνωση του κτηρίου, τοποθετήθηκαν 30εκ. διογκωμένης πολυστερίνης στο δάπεδο, την οροφή και τους τοίχους του. Στις πλάκες και του τοίχους αποφεύχθηκε η διάνοιξη τρυπών για σωλήνες, ώστε η μόνωση και οι μεμβράνες να είναι αδιάτρητες. Επιπλέον η οροφή του κτηρίου καλυπτόταν κατά 40εκ. εδάφους, μειώνοντας με αυτόν την μεταφορά θερμότητας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος. Για την υδατοστεγάνωση των πλακών τοποθετήθηκε μια γεωμεμβράνη πολυαιθυλενίου. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value) της εξωτερικής τοιχοποιίας, της οροφής και του δαπέδου ήταν 0.11W/m²K. Οι γυάλινες επιφάνειες του κτηρίου, αποτελούνταν από διπλούς και τριπλούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής με αέριο argon στο διάκενο τους με U-value=1.111W/m²K. Η ηλιακή θέρμανση του χώρου ήταν εντελώς παθητική, αφού η θερμότητα

μεταφερόταν από το ηλιακό θερμοκήπιο στους υπόλοιπους χώρους της κατοικίας από τα ανοίγματα που υπάρχουν μεταξύ των χώρων του κτηρίου.



Εικόνα 2.7. Τομή του κτηρίου όπου και αποτυπώνεται η διάταξη των εσωτερικών χώρων και η μόνωση του κελύφους του κτηρίου

Ο φυσικός αερισμός και δροσισμός του κτηρίου, επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των ανοιγμάτων που βρίσκονται στο κέλυφος του κτηρίου καθώς και των ανοιγμάτων που βρίσκονται μεταξύ του ηλιακού θερμοκηπίου και των κύριων χώρων των κατοικιών. Σε ότι αφορά τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, υπάρχει εγκατεστημένο ένα μηχανικό σύστημα αερισμού το οποίο και τροφοδοτεί με νωπό αέρα τους χώρους του κτηρίου. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός χρησιμοποιεί συστήματα ανάκτησης θερμότητας ώστε να εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που εξέρχεται από το κτήριο.

Στο σύστημα παραγωγής ΖΝΧ, χρησιμοποιείται μια αντλία θερμότητας αέρα-νερού το οποίο και αποθηκεύεται σε μια θερμομονωμένη δεξαμενή χωρητικότητας 1500lt. Για την μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, χρησιμοποιείται ο ζεστός αέρας που βρίσκεται στο ανώτερο σημείο του ηλιακού θερμοκηπίου. Με αυτόν τον τρόπο, η εξοικονόμηση ενέργειας πλησιάζει περίπου το 70% για τη συγκεκριμένη διαδικασία. Επιπλέον, για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, όλες οι συσκευές απενεργοποιούνται πλήρως όταν δεν χρησιμοποιούνται και δεν παραμένουν σε κατάσταση αναμονής.



Εικόνα 2.8. Η νότια όψη των κατοικιών με το ηλιακό θερμοκήπιο

Η θέρμανση των εσωτερικών χώρων, πραγματοποιείται με την εκμετάλλευση παθητικών ηλιακών κερδών και την θερμότητα που εκπέμπουν οι χρήστες και ο εξοπλισμός. Η θερμότητα αποθηκεύεται στη θερμική μάζα του κελύφους και απελευθερώνεται όταν η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων γίνει χαμηλότερη από αυτή του κελύφους.

Η ενεργειακή κατανάλωση κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους λειτουργίας των κατοικιών ήταν 20.500kWh για το σύνολο τους. Κάθε κατοικία κατανάλωσε κατά τη διάρκεια του έτους 4100kWh ενέργειας, δηλαδή 11.2kWh ενέργειας ημερησίως. Η ποσότητα αυτή, αντιστοιχεί στο 25% της ενεργειακής κατανάλωσης των νέων συμβατικών κατοικιών και το 10% των υπαρχόντων κατοικιών στην Μεγάλη Βρετανία.

2.5.4 ΟΙΚΙΣΜΟΣ SOLARSIEDLUNG (SOLAR COMMUNITY)

Ο οικισμός Solar Community (Solarsiedlung), βρίσκεται στην Γερμανική πόλη Freiburg, η οποία χαρακτηρίζεται ως η ηλιακή πρωτεύουσα της Ευρώπης, καθώς είναι από τις πιο ηλιόλουστες περιοχές της Γερμανίας με ήπιο σχετικά κλίμα και μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες 2°C τον χειμώνα και 20°C το καλοκαίρι.



Εικόνα 2.9. Ο οικισμός Solarsiedlung [20].

Η κοινότητα Solarsiedlung, χωρίζεται σε δυο επιμέρους ενότητες. Την ενότητα των κατοικιών και την ενότητα των μικτών χρήσεων η οποία και περιλαμβάνει γραφεία και καταστήματα. Η περιοχή και η τοποθεσία ευνοεί τον παθητικό και τον ενεργειακό ηλιακό σχεδιασμό των κτηρίων. Το χειμώνα η ανάγκη για θέρμανση είναι απαραίτητη, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, καθώς επιτυγχάνεται επαρκής αερισμός και φυσικός δροσισμός, η ανάγκη για ψύξη δεν κρίνεται αναγκαία. Ο νότιος προσανατολισμός των βασικών χώρων των κτηρίων, εξυπηρετεί την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για την επίτευξη φυσικής θέρμανσης αλλά και αερισμού.

Τα κτήρια μικτής χρήσης, θεωρούνται ως ένα από τα πιο σύγχρονα κτήρια μικτών χρήσεων στην Ευρώπη, που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία. Το συγκεκριμένο κτήριο εκτείνεται σε μήκος 125 μέτρων, καταλαμβάνοντας έκταση 6.034 m². Στο ισόγειο, περιλαμβάνονται καταστήματα, στον πρώτο και στον δεύτερο όροφο χώροι γραφείων και πάνω από αυτούς 8 διαμερίσματα, τα οποία έχουν πρόσβαση σε φυτεμένο δώμα. Η περιοχή των κατοικιών περιλαμβάνει 10 κτήρια σε 5 σειρές και συνολικά 50 διαμερίσματα, τα οποία και καταλαμβάνουν έκταση ίση με 6.745 m². Τα 58 συνολικά διαμερίσματα της κοινότητας, το καθένα από τα οποία καταλαμβάνει έκταση 75~200 m² φιλοξενούν περίπου 170 κατοίκους.



Εικόνα 2.10. Το κτήριο μικτών χρήσεων με τις εκτεταμένες γυάλινες επιφάνειες, τις αιολικές καμινάδες για τον φυσικό δροσισμό και αερισμό, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα [20]

Η ενεργειακή αυτονομία των κτηρίων, επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η βιομάζα. Η ενέργεια που παράγουν αξιοποιείται για τη λειτουργία του εξοπλισμού τους καθώς και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Η θέρμανση επιτυγχάνεται με την καύση ροκανιδιών ξύλου. Φωτοβολταϊκές συστοιχίες με νότιο προσανατολισμό και κλίση 22° η οποία και κρίνεται ως η ιδανικότερη για την ταυτόχρονη μέγιστη παραγωγή ενέργειας αλλά και σκιασμού των εσωτερικών χώρων, καλύπτουν το σύνολο των ορόφων των κατοικιών. Ο οικισμός είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο κοινής ωφέλειας, στο οποίο, καθώς η παραγωγή ενέργειας στο σύνολο της κοινότητας, είναι μεγαλύτερη από αυτή που χρειάζεται για τη λειτουργία της, διοχετεύεται το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας και λαμβάνεται από αυτό τις περιόδους που υπάρχει έλλειψη.



Εικόνα 2.11 Η οροφή των κτηρίων στην οποία βρίσκονται τα φωτοβολταϊκά πάνελς [20]

Σε ότι αφορά το κέλυφος των κτηρίων, αυτό είναι πολύ καλά μονωμένο, με μέση τιμή $U_{value}=0.28W/m^2K$. Πιο συγκεκριμένα, οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν $U_{value}=0.12 W/m^2K$, η οροφή των

κτηρίων έχει $U_{\text{value}}=0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ και τα δάπεδα έχουν $U_{\text{value}}=0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Συγχρόνως, η πολύ καλή αεροστεγάνωση εμποδίζει τη διείσδυση του αέρα και τις απώλειες θερμότητας με τους υαλοπίνακες των κτηρίων να είναι υψηλής θερμομονωτικής ικανότητας με $U_{\text{value}}=0.7\text{W/m}^2\text{K}$ και συντελεστή απορρόφησης $g_{\text{value}}>55\%$. Το πολύ καλό μονωμένο κέλυφος του κτηρίου καθιστά την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης πολλές φορές περιττό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ότι με εξωτερικές θερμοκρασίες 6°C , οι εσωτερικές διατηρούνται στους 24°C χωρίς την ανάγκη λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης. Η επιπλέον ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας οφείλεται στο σύστημα αερισμού το οποίο χρησιμοποιεί εναλλάκτη θερμότητας για ανάκτηση θερμότητας.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στις οροφές των κτηρίων έχουν εγκατασταθεί φωτοβολταϊκοί συλλέκτες. Η έκταση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών κυμαίνεται συνήθως μεταξύ $0.21\sim 0.51 \text{ m}^2/\text{m}^2$ ωφέλιμου εσωτερικού χώρου. Σε κάθε κατοικία αντιστοιχεί ένα σύστημα φωτοβολταϊκών συλλεκτών, βασισμένο στις ανάγκες της και το μέγεθος της, με την εγκατεστημένη ισχύς ανά κατοικία να ποικίλει μεταξύ 3-12kW. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών συλλεκτών του οικισμού, οι οποίοι καταλαμβάνουν έκταση 3.150 m^2 , ξεπερνά τα 455kW. Τα 333kW προέρχονται από τα κτήρια κατοικιών ενώ τα 112kW από κτήρια μικτών χρήσεων. Τα κτήρια μικτών χρήσεων παράγουν ετησίως ενέργεια ίση με 18kWh/m^2 ενώ καταναλώνουν 17kWh/m^2 . Κάθε διαμέρισμα καταναλώνει κατά μέσο όρο 2.200kWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, ενώ παράγει 6.280kWh , όταν μια Συμβατική κατοικία στην Καλιφόρνια καταναλώνει την τριπλάσια ενέργεια, ενώ στο Οντάριο του Καναδά την πενταπλάσια και στο Τέξας την εξαπλάσια

3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

Η χρήση αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων, έχει ως στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης αλλά και την πλήρη αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού για κάθε κτήριο σε κάθε τόπο. Η μέγιστη αξιοποίηση του δυναμικού μέσω ενός βέλτιστου συνδυασμού τεχνολογιών και συστημάτων, επιφέρει ιδιαίτερη μείωση στις ενεργειακές ανάγκες ενός κτηριακού συνόλου. Παράλληλα, μειώνεται η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων για θέρμανση, ψύξη, αερισμό και φωτισμό, με αποτέλεσμα την μικρότερη διαστασιολόγηση τους, μείωση στο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, μειωμένο ηλεκτρικό φορτίο αιχμής κατά τη διάρκεια περιόδων με ιδιαίτερα δύσκολα καιρικά φαινόμενα, και ταυτόχρονη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από ρύπους σε επίπεδο κτηρίου και σε επίπεδο δικτύου.

Τα ενεργειακά αυτά συστήματα, επίσης μπορούν να αξιοποιήσουν τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) με αποτέλεσμα την βελτίωση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών συνθηκών ενός τόπου. Η συνθήκη αυτή, αποτελεί σημαντική συμβολή στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος χωρίς να επιβαρύνεται το περιβάλλον, συμβάλλοντας και με τεχνό-οικονομικά οφέλη σε μια αειφόρο ανάπτυξη τόσο σε τοπικό όσο σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

Με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός κτηρίου, ο ενεργειακός του σχεδιασμός βασίζεται στην εξής μεθοδολογία

- Ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών ενός κτηρίου με κατάλληλο σχεδιασμό συστημάτων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Βελτιστοποίηση σε επίπεδο σχηματισμού, λειτουργίας και εγκατάστασης των ενεργειακών συστημάτων με ταυτόχρονη μέγιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων ΑΠΕ.
- Ενεργειακή διαχείριση σε επίπεδο παραγωγής ενέργειας και τελικής χρήσης (demand and supply sides).

Ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου, επιτυγχάνεται και με τον κατάλληλο βιοκλιματικό σχεδιασμό του, ενσωματώνοντας τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας, κατάλληλα παθητικά ηλιακά συστήματα, συστήματα φυσικού φωτισμού και ηλιοπροστασίας, φυσικού αερισμού και τεχνικές παθητικού δροσισμού. Συγχρόνως η εγκατάσταση και ορθολογική χρήση ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης αλλά και συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης, συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των ενεργειακών αναγκών, για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, ενός κτηρίου. Εγκαταστάσεις με τεχνολογίες τηλεθέρμανσης, τηλεψύξης με βιομάζα ή γεωθερμία, ηλεκτροδότηση με φωτοβολταϊκά, αιολικά και άλλα συστήματα ΑΠΕ, παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, ελαχιστοποιούν

επίσης την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτηρίου. Τέλος, η χρήση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτηρίων (ΣΔΚ), εξασφαλίζει τη μέγιστη απόδοση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων ενός κτηρίου και τη βέλτιστη αποδοτική λειτουργία όλων των ενεργειακών του συστημάτων.

3.1.1 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ (BAC) ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ (ΣΔΚ) ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Η εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου των ενεργειακών συστημάτων ενός κτηρίου, για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, ζεστό νερό χρήσης και φωτισμό, ευνοεί κατά πολύ την εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτά. Ταυτοχρόνως, τα Συστήματα Διαχείρισης Κτηρίων (ΣΔΚ), παρακολουθούν και ελέγχουν την λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων, λαμβάνοντας και αναλύοντας συνεχώς δεδομένα, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της απόδοσης τους με ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από αυτά.

ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (Building Management System)

Με την εφαρμογή των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτηρίων (Building Management Systems), δύναται να προκύψει σημαντική εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε ένα κτήριο ακόμη και της τάξεως του 20%. Τα BMS χρειάζεται ώστε να παρακολουθούνται τα ενεργειακά συστήματα ενός κτηρίου και να ορίζονται οι ενεργειακοί στόχοι (Monitoring and Targeting) [21], ώστε να διατηρούνται οι συνθήκες άνεσης (θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα, φωτισμός) σε επιθυμητά επίπεδα με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του κτηρίου να λειτουργεί με ασφάλεια με τη βέλτιστη του απόδοση. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης, μπορεί να παρακολουθεί τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού και αερισμού, τον φωτισμό και τα συστήματα τεχνητής σκίασης, να αξιοποιεί τυχόν συστήματα που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, να διαχειρίζεται και να ελέγχει την αιχμή του ηλεκτρικού φορτίου ανάλογα με τις ώρες αιχμής και το τιμολόγιο χρέωσης. Συνολικά, η σωστή διαχείριση της ενέργειας μπορεί να μειώσει τα λειτουργικά κόστη ενός κτηρίου διατηρώντας ή ακόμη και βελτιώνοντας τις συνθήκες άνεσης των ενοίκων του.

Τα κεντρικά συστήματα αυτόματου ελέγχου των κτηριακών εγκαταστάσεων αποτελούνται κυρίως από τα εξής τμήματα [22]:

- Τον Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου (ΚΣΕ), ο οποίος αποτελεί το σημείο ελέγχου και παρακολούθησης του συστήματος καθώς περιέχει το λογισμικό και όλα τα δεδομένα που συνδέονται με τις λειτουργίες μιας εγκατάστασης.
- Τα αισθητήρια όργανα λήψης πληροφοριών για τη μέτρηση των παραμέτρων ελέγχου.
- Τις συσκευές εκτέλεσης των εντολών (actuators).
- Τους ελεγκτές που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων.

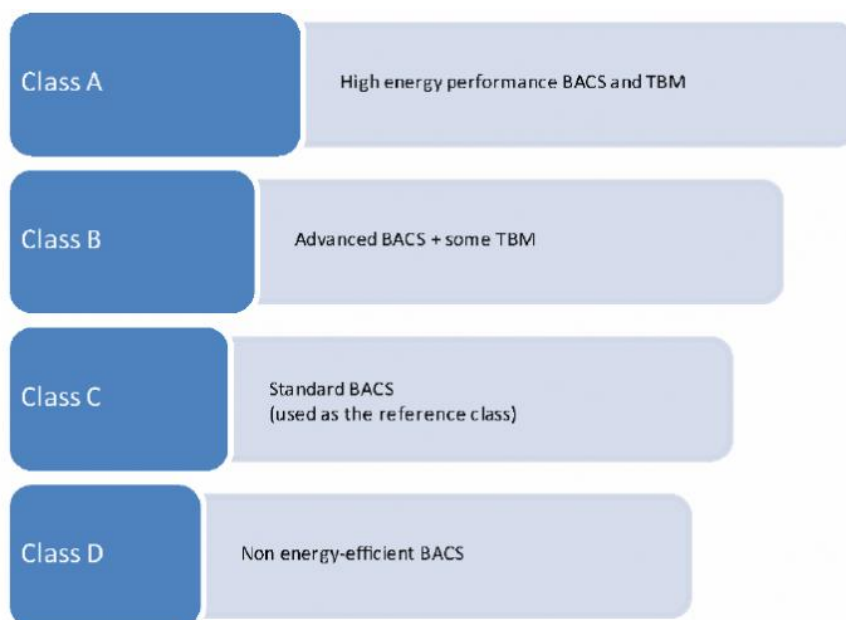
- Τα Απομακρυσμένα Κέντρα Ελέγχου (ΑΚΕ), τα οποία συλλέγουν και επεξεργάζονται τα σήματα από τα αισθητήρια και τα όργανα ελέγχου.
- Από διατάξεις επικοινωνίας και διασύνδεσης όλων των παραπάνω συστημάτων.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ ΓΝΩΜΟΝΑ ΤΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (BAC EFFICIENCY CLASS)

Οι παράμετροι που καθορίζουν την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτηρίου, παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακας 3.1. Η κατηγοριοποίηση τους είναι η εξής: Παράμετροι αυτόματου ελέγχου (automatic control), παράμετροι κτηριακών αυτοματισμών (building automation control) και παράμετροι για την τεχνική διαχείριση των κτηρίων (technical building management).

Ταυτοχρόνως, τα κτήρια (κατοικίες και κτήρια μικτών χρήσεων), κατατάσσονται σε τέσσερις διαφορετικές κλάσεις (Α,Β,С, D) ανάλογα με τα συστήματα αυτοματισμών που διαθέτουν.

- Στην κλάση D κατατάσσονται τα κτήρια τα οποία δεν διαθέτουν οποιοδήποτε σύστημα αυτοματισμού.
- Στην κλάση C, βρίσκονται τα κτήρια με συμβατικά συστήματα αυτοματισμού.
- Στην κλάση B, εντάσσονται τα κτήρια με αναβαθμισμένα συστήματα αυτοματισμών και ΣΔΚ.
- Στην κλάση Α, τοποθετούνται τα κτήρια που διαθέτουν σύγχρονα συστήματα αυτοματισμών και ΣΔΚ.



Εικόνα 3.1. Κατάταξη κτηρίων με βάση τα συστήματα αυτοματισμών [23, 24]

Πίνακας 3.1. Παράμετροι ενεργειακής συμπεριφοράς κτηρίων

Κλάση	Ενεργειακή Αποδοτικότητα
A	<p>Συστήματα BACS και TBM υψηλής απόδοσης</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δικτυωμένος αυτοματισμός χώρου με αυτόματο έλεγχο ζήτησης • Προγραμματισμένη συντήρηση • Παρακολούθηση ενέργειας • Βιώσιμη βελτιστοποίηση ενέργειας
B	<p>Πρωθιμένα συστήματα BACS και ορισμένες ειδικές λειτουργίες TBM</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δικτυωμένος αυτοματισμός χώρου χωρίς αυτόματο έλεγχο ζήτησης • Παρακολούθηση ενέργειας
C	<p>Τυπικό σύστημα BACS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δικτυωμένος κτηριακός αυτοματισμός κύριων εγκαταστάσεων • Χωρίς ηλεκτρονικό αυτοματισμό χώρου, θερμοστατικές βάνες για θερμαντικά σώματα
D	<p>Μη αποδοτικά ενεργειακά συστήματα BACS. Τα συστήματα αυτά πρέπει να αντικατασταθούν. Τα νέα κτήρια δεν θα κατασκευάζονται με τέτοια συστήματα.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Χωρίς δικτυωμένες λειτουργίες κτηριακού αυτοματισμού • Χωρίς ηλεκτρονικό αυτοματισμό χώρων • Χωρίς ενεργειακή παρακολούθηση

3.1.2 ΠΡΟΤΥΠΟ EN 15232 «Ενεργειακή απόδοση κτηρίων - Η επίδραση των αυτοματισμών κτηρίου και των λειτουργιών ελέγχου στην ενεργειακή αποδοτικότητα των κτηρίων»

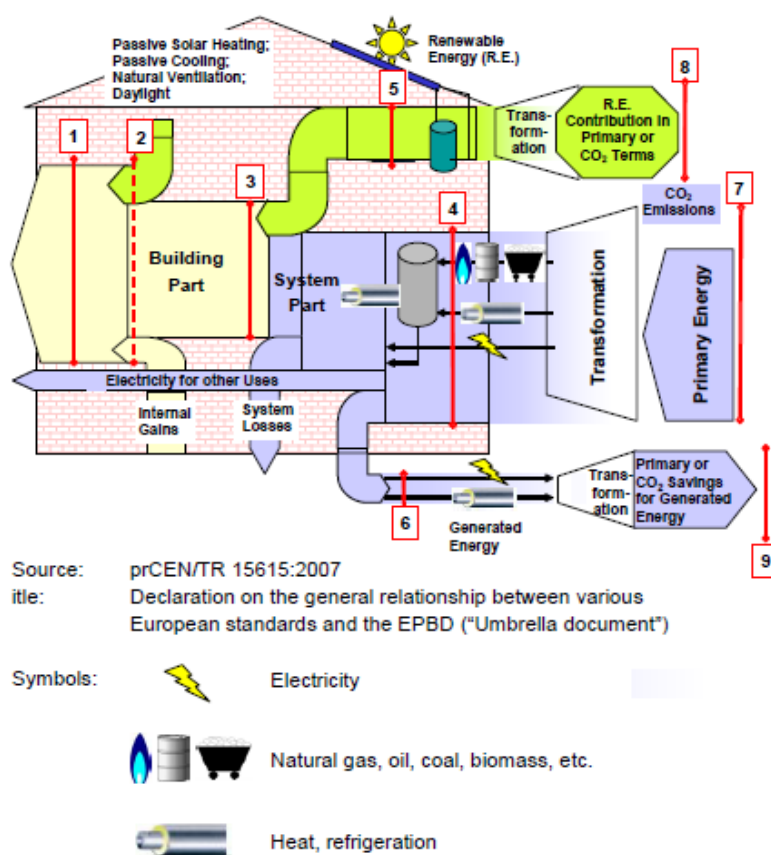
Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15232:2007 «Ενεργειακή απόδοση κτηρίων - Επίδραση λειτουργιών αυτοματισμού, ελέγχου και διαχείρισης κτηρίων), έχει σαν σκοπό την υποστήριξη της οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων (Energy Performance of Building Directive -EPMD), στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω των συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου κτηρίων (BACS) και των λειτουργιών τεχνικής διαχείρισης κτηρίων. και περιλαμβάνει:

- Μεθόδους βασιζόμενες στη μοντελοποίηση κτηρίου με εγκατεστημένους αυτοματισμούς, και οι οποίοι εφαρμόζονται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του κάθε κτηρίου, ώστε να εξοικονομείται η μέγιστη δυνατή ενέργεια.
- Αναλυτικές μεθόδους υπολογισμού και κατάταξης ενός κτηρίου σε ενεργειακή βαθμίδα, βασιζόμενες στα πρότυπα EN15023 και prEN15217.
- Μεθόδους για τον προσδιορισμό των ελαχίστων απαιτήσεων ελέγχου, αυτοματισμού και τεχνικής διαχείρισης κτηρίων, ώστε οι λειτουργίες να μπορούν να εφαρμόζονται σε κτήρια διαφορετικής πολυπλοκότητας.
- Απλοποιημένη μέθοδο για την λήψη μιας πρώτης εκτίμησης της επίδρασης των λειτουργιών στην ενεργειακή απόδοση ενός τυπικού κτηρίου.

Τα συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου (BACS), και τα συστήματα τεχνικής διαχείρισης (TBM), έχουν ιδιαίτερη συμβολή στην ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου. Τα BACS, βελτιώνουν την λειτουργικότητα και την ενεργειακή αποτελεσματικότητα των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, ΖΝΧ, φωτισμού κ.α. μέσω των αυτοματισμών. Ανάλογα με τις

ανάγκες και τα χαρακτηριστικά ενός κτηρίου, διαμορφώνονται οι λειτουργίες των ενεργειακών συστημάτων, ώστε να αποφεύγεται η σπατάλη ενέργειας και οι επιπλέον εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα. Επικουρικά, τα TBM, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία και τη διαχείριση των κτηρίων, σχετικά με την διαχείριση της ενέργειας.

Οι ενεργειακές ανάγκες των διάφορων μοντέλων κτηρίων με διαφορετικές λειτουργίες και αυτοματισμού BAC και διαχείρισης TBM, υπολογίζονται μέσω προγραμμάτων προσομοίωσης, βασιζόμενα σε διάφορα μοντέλα ροής ενέργειας όπως για παράδειγμα το μοντέλο ροής ενέργειας για ρύθμιση θέρμανσης κτηρίου.

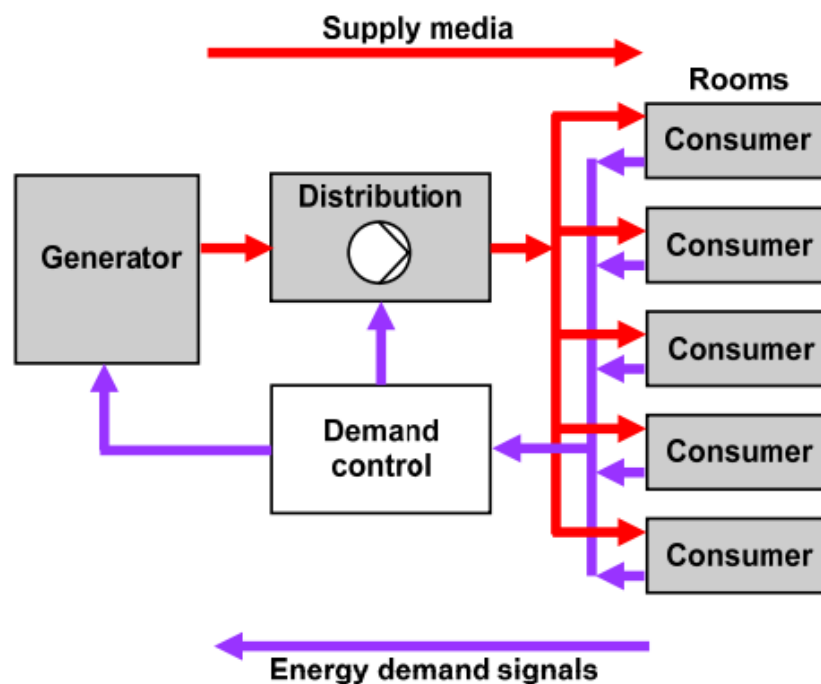


Εικόνα 3.2 Εγκατεστημένα Συστήματα Αυτοματισμού σε ένα Τυπικό Κτήριο [23, 24]

Στο μοντέλο της Εικόνα 3.2, φαίνονται ενδεικτικά ορισμένα ενεργειακά συστήματα που θα μπορούσαν να εγκατασταθούν σε ένα κτήριο. Επίσης, παρουσιάζεται σχηματικά, η ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό κ.τ.λ (1), το κέρδος από «φυσική» ενέργεια προερχόμενο από την ηλιακή ακτινοβολία, τον φυσικό αερισμό αλλά και δευτερευόντως από εσωτερικές πηγές θερμότητας (φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές κ.τ.λ.) (2). Με την ένδειξη (3), απεικονίζεται η συνολική «καθαρή» ενέργεια χρήσης του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τις (1) και (2), τις ενεργειακές ανάγκες και τα χαρακτηριστικά του κτηρίου, ενώ φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια που προέρχεται από τα ενεργειακά συστήματα (4), η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ εντός του κτηρίου(5), η παραγόμενη ενέργεια που μπορεί να εξαχθεί προς το ηλεκτρικό δίκτυο (6) που μπορεί και να περιλαμβάνει τμήμα της (5). Επίσης, διακρίνεται η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση

του κτηρίου όπως και οι εκπομπές CO₂, (7), η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση που αφορά την παραγωγή ενέργειας μέσα στο κτήριο από τα συστήματα που έχουν εγκατασταθεί σε αυτό (8), και τέλος οι πρωτογενής ενέργεια που εξοικονομείται ή οι εκπομπές CO₂ που προκύπτουν από την εξαγόμενη ενέργεια και αφαιρούνται από την (7).

Λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές απαιτήσεις και την παραγωγή ενέργειας προερχόμενη από τα ενεργειακά συστήματα ενός κτηρίου, σύμφωνα με το πρότυπο EN 15232, το μοντέλο υπολογισμού θα μπορούσε να παρασταθεί σχηματικά με το παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 3.3. Διαγράμμα ροής σύμφωνα με το πρότυπο EN 15232

Οι χώροι του κτηρίου, καθορίζουν τις ενεργειακές ανάγκες. Με τα απαραίτητα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, θα πρέπει να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες θερμικής άνεσης σε ότι αφορά, την θερμοκρασία, την υγρασία, τον αερισμό αλλά και τον φωτισμό.

Στον παρακάτω πίνακα, παραθέτονται ορισμένα από τα συστήματα αυτοματισμού τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα κτήριο κατοικίας για τον έλεγχο των συστημάτων θέρμανσης, ΖΝΧ και αερισμού, και ο τρόπος με τον οποίο εξοικονομείται ενέργεια..

Πίνακας 3.2. Συστήματα αυτοματισμού για έλεγχο εκπομπής θέρμανσης

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ		ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
0	Χωρίς Αυτόματο Έλεγχο θερμοκρασίας χώρου	Η μέγιστη παροχή δίνεται συνεχώς στα μέσα θέρμανσης με αποτέλεσμα την παροχή περιττής θερμικής ενέργειας σε συνθήκες μερικής φόρτισης.
1	Κεντρικός Αυτόματος Έλεγχος Κεντρικός αυτόματος έλεγχος είτε κατά την διανομή είτε στην παραγωγή (π.χ χρήση ελεγκτή θερμοκρασίας).	Η παροχή δίνεται στις αντίστοιχες πιθανές καταναλώσεις (π.χ. μέσω θερμοκρασίας εξωτερικού αέρα). Οι απώλειες ενέργειας σε μερική φόρτιση μειώνονται αλλά το εξωτερικό κέρδος θέρμανσης των χώρων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεμονωμένα.
2	Αυτόματος Έλεγχος μεμονωμένων χώρων Τοποθέτηση θερμοστατικών βανών ή ηλεκτρονικό ελεγκτή.	Η παροχή δίνεται βάσει της θερμοκρασίας χώρου (ελεγχόμενη μεταβλητή). Λαμβάνεται υπόψη η εξωτερική θερμοκρασία προς τον χώρο (από τα εσωτερικά φορτία).
3	Έλεγχος μεμονωμένου χώρου με επικοινωνία. Μεταξύ των ελεγκτών και των συστημάτων BACS (π.χ. χρονοπρόγραμμα)	Τα χρονοπρογράμματα επιτρέπουν τη μείωση της παροχής κατά τη διάρκεια που δεν βρίσκονται ένοικοι μέσα στο κτήριο. Οι δυνατότητες λειτουργίας και εποπτείας βελτιστοποιούν την λειτουργία.
4	Έλεγχος μεμονωμένου χώρου με επικοινωνία και έλεγχο παρουσίας μεταξύ ελεγκτών και BACS.	Σε μερική φόρτιση, ο έλεγχος παρουσίας επιφέρει πρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας. Η παροχή ενέργειας βάσει των απαιτήσεων επιφέρει ελαχιστοποίηση των απωλειών κατά την παροχή και τη διανομή

Πίνακας 3.3. Συστήματα αυτοματισμού για έλεγχο θερμοκρασίας ΖΝΧ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ		ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
0	Χωρίς Αυτόματο Έλεγχο	Στη διανομή παρέχεται συνεχώς η μέγιστη προγραμματισμένη θερμοκρασία για οποιαδήποτε κατανάλωση, με αποτέλεσμα σημαντικές απώλειες ενέργειας σε μερική φόρτιση.
1	Έλεγχος με αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας Μειώνεται η μέση θερμοκρασία ροής.	Η θερμοκρασία διανομής εξαρτάται από τη θερμοκρασία χώρου. Λαμβάνονται υπόψη τα εσωτερικά φορτία. Οι απώλειες ενέργειας είναι ιδιαίτερα χαμηλές σε συνθήκες μερικού φορτίου
2	Έλεγχος βάσει ζήτησης Μειώνεται ο ρυθμός ροής.	Η παροχή δίνεται βάσει της θερμοκρασίας χώρου (ελεγχόμενη μεταβλητή). Λαμβάνεται επίσης υπόψη η εξωτερική θερμοκρασία προς τον χώρο (από τα εσωτερικά φορτία). Ο χώρος διατηρείται με λιγότερη ενέργεια.

Πίνακας 3.4. Συστήματα αυτοματισμού για τον έλεγχο των αντλιων διανομής

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΩΝ		ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
0	Χωρίς Αυτόματο Έλεγχο.	Καμία εξοικονόμηση ενέργειας.
1	Έλεγχος on/off.	Ο κυκλοφορητής καταναλώνει ηλεκτρική ισχύ μόνο όταν απαιτείται
2	Έλεγχος πολλών βαθμίδων.	Η λειτουργία σε χαμηλή ταχύτητα μειώνει την κατανάλωση ενέργειας.
3	Έλεγχος κυκλοφορητή μεταβλητών στροφών.	Η ταχύτητα του κυκλοφορητή και η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται μειώνεται σε συνθήκες μερικού φορτίου.

Πίνακας 3.5. Συστήματα αυτοματισμού για τον έλεγχο της αποθηκευμένης θερμοκρασίας ΖΝΧ με ηλιακούς συλλέκτες και την παραγωγή θέρμανσης

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ		ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
0	Χειροκίνητη επιλογή ελέγχου ηλιακής ενέργειας ή παραγωγή θέρμανσης.	Ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω θερμοστάτη. Η επιλογή της θέρμανσης γίνεται με προεπιλογή.
1	Αυτόματος έλεγχος φόρτισης δοχείου από τους ηλιακούς συλλέκτες και φόρτιση από συμπληρωματική πηγή.	Οι ηλιακοί συλλέκτες θερμαίνουν το δοχείο ΖΝΧ μέχρι τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή. Σε περίπτωση που το νερό δεν έχει την απαιτούμενη θερμοκρασία, χρησιμοποιούνται συμπληρωματικές πηγές παραγωγής.
2	Αυτόματος έλεγχος φόρτισης δοχείου από τους ηλιακούς συλλέκτες. Φόρτιση από συμπληρωματική πηγή, παροχή βάσει ζήτησης ή διαχείριση αποθήκευσης με πολλαπλά αισθητήρια.	Η φόρτιση μέσω των ηλιακών συλλεκτών έχει προτεραιότητα. Η υπόλοιπη ενέργεια παρέχεται από την παραγωγή θέρμανσης με θερμοκρασία παροχής βάσει ζήτησης (μειώνονται οι απώλειες στην παραγωγή και στη διανομή). Με τη χρήση πολλαπλών αισθητηρίων το δοχείο αποθήκευσης ΖΝΧ διαιρείται σε ζώνες προσφέροντας βέλτιστη διαχείριση.
3	Αυτόματος έλεγχος φόρτισης δοχείου από τους ηλιακούς συλλέκτες. Φόρτιση από συμπληρωματική πηγή, παροχή βάσει ζήτησης, έλεγχος θερμοκρασίας επιστροφής και διαχείριση αποθήκευσης με πολλαπλά αισθητήρια.	Η φόρτιση μέσω των ηλιακών συλλεκτών έχει προτεραιότητα. Η υπόλοιπη ενέργεια παρέχεται από την παραγωγή θέρμανσης με θερμοκρασία παροχής βάσει ζήτησης (μειώνονται οι απώλειες στην παραγωγή και στη διανομή). Η χαμηλή θερμοκρασία επιστροφής μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας την παροχή. Αυτό απαιτείται όταν υπάρχουν λέβητες συμπίκνωσης, αντλίες θερμότητας και υποσταθμοί τηλεθέρμανσης. Η διαχείριση του δοχείου αποθήκευσης βελτιστοποιείται για χρήση μόνο των ζωνών που απαιτούνται για την αντίστοιχη ζήτηση.

Πίνακας 3.6. Συστήματα Αυτοματισμού για τον έλεγχο της αντλίας ανακυκλοφορίας ΖΝΧ, με συνεχή λειτουργία, ελεγχόμενο χρονοπρόγραμμα ή βάσει ζήτησης on/off [23].

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΖΝΧ		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ		ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
0	Χωρίς χρονοπρόγραμμα	Ανακυκλοφορία ζεστού νερού. Περιττές απώλειες θερμότητας.
1	Με χρονοπρόγραμμα	Απώλειες θερμότητας μόνο κατά την περίοδο ζήτησης.
2	Έλεγχος βάσει ζήτησης.	Απώλειες θερμότητας μόνο κατά την περίοδο ζήτησης. Με μετρητές κατανάλωσης ή μετρώντας τη θερμοκρασία της ανακυκλοφορίας προσδιορίζονται οι περίοδοι κατανάλωσης. Η λειτουργία κυκλοφορητή ανακυκλοφορίας μπορεί να καθορίσει τη χρήση.

Πίνακας 3.7. Συστήματα Αυτοματισμού για τον έλεγχο αερισμού και κλιματισμού [23, 24]

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ		ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
0	Χωρίς αυτόματο έλεγχο. Διαρκής λειτουργία συστήματος (χειροκίνητος διακόπτης)	Συνεχής παροχή αέρα που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο χώρου. Μεγάλες απώλειες ενέργειας για περιπτώσεις μικρού φορτίου ή και κατά τη διάρκεια της απουσίας.
1	Χρονοπρόγραμμα. Λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με συγκεκριμένο χρονοπρόγραμμα.	Σε συνθήκες μερικού φορτίου στον χώρο, υπάρχει παροχή αέρα που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο χώρου, με αποτέλεσμα σημαντικές απώλειες ενέργειας.
2	Έλεγχος παρουσίας. Η λειτουργία του συστήματος εξαρτάται από την παρουσία στο χώρο (φωτισμός, αισθητήρες)	Η παροχή αέρα που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο χώρου παρέχεται κατά τη διάρκεια που υπάρχει παρουσία στο χώρο.
3	Έλεγχος ζήτησης. Έλεγχος του συστήματος από αισθητήρια που μετρούν αριθμό ατόμων ή παραμέτρους εσωτερικού αέρα.	Η παροχή αέρα στο χώρο ελέγχεται από αισθητήριο ποιότητας αέρα.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΤΗΡΙΟΥ

3.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Τα συστήματα παραγωγής θερμότητας και ψύξης υψηλής απόδοσης, συγκρινόμενα με τα συμβατικά συστήματα, προσφέρουν καταρχήν πολύ υψηλούς βαθμούς απόδοσης σε συνδυασμό με τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό συμβαίνει, καθώς τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα προσαρμογής στις απαιτήσεις μερικού, θερμικού ή ψυκτικού φορτίου. Ταυτοχρόνως, ενσωματώνουν και αξιοποιούν αποτελεσματικά τις δυνατότητες των σύγχρονων αυτοματισμών, ενώ μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ρύθμιση των συνθηκών στους χώρους που είναι χωρισμένοι σε διαφορετικές θερμικές ζώνες.

ΛΕΒΗΤΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

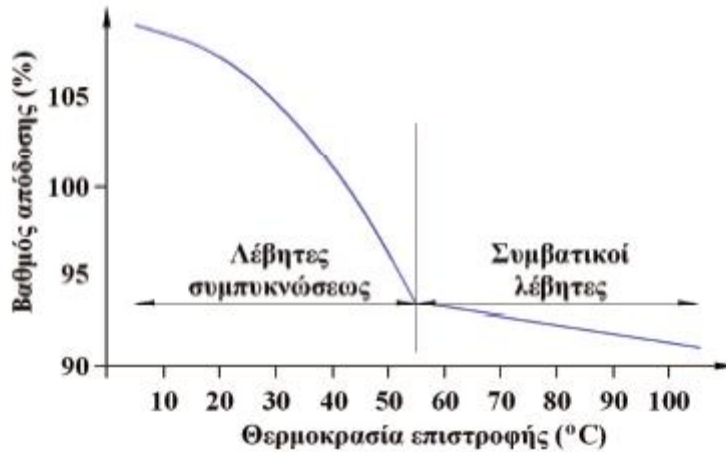
Πρόκειται για λέβητες οι οποίοι και εκμεταλλεύονται την ανακτημένη θερμότητα της συμπύκνωσης των υδρατμών στα καυσαέρια που παράγονται από την καύση των υδρογονανθράκων. Εκμεταλλευόμενοι την ανώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου, δηλαδή την θερμότητα που απελευθερώνεται με την πλήρη καύση, αλλά και τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών στα καυσαέρια. Συνεπώς, με τη συμπύκνωση των υδρατμών στα καυσαέρια, επιτυγχάνεται από τη μια η εκμετάλλευση της λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης των υδρατμών αλλά και η εκμετάλλευση τμήματος της αισθητής θερμότητας των καυσαερίων, τα οποία αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα σε θερμοκρασίες 50-60°C, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η συμπύκνωση των υδρατμών, αντί να αποβάλλονται σε θερμοκρασίες 100-120°C, όπως συμβαίνει με τους κλασσικούς λέβητες.

Οι λέβητες συμπύκνωσης, εξαιτίας των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών, είναι δυνατόν να επιτυγχάνουν πολύ υψηλές θερμικές αποδόσεις που αγγίζουν το 107-108%. Αυτό το παράδοξο κατά μια έννοια οφείλεται στο ότι ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης για όλους τους τύπους λεβήτων βασίζεται στην Κατώτερη Θερμογόνο Ικανότητα, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών. Βασιζόμενοι σε αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν να γίνει η σύγκριση η απόδοση των κλασσικών λεβήτων με εκείνη των λεβήτων συμπύκνωσης.

Τα αέρια καύσιμα, σε σχέση με τα στερεά, έχουν το πλεονέκτημα της αυξημένης περιεκτικότητας σε υδρογόνο [H₂], και το ότι δεν περιέχουν θείο [S]. Οι λέβητες συμπύκνωσης με αέριο καύσιμο (π.χ. φυσικό αέριο), έχουν την ικανότητα να εκμεταλλευτούν το 50~80% της λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών των καυσαερίων, επιτυγχάνοντας κατά τον τρόπο αυτό βαθμό απόδοσης έως και 108%.

Σημαντικό ρόλο στις εγκαταστάσεις όπου και χρησιμοποιούνται λέβητες συμπύκνωσης, έχει η θερμοκρασία επιστροφής του νερού του κυκλώματος θέρμανσης σε αυτούς. Όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία επιστροφής, τόσο μεγαλύτερη είναι η λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης που μεταφέρεται στο νερό. Σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας του εργαζόμενου μέσου (νερού), δηλαδή περίπου στους 30 έως 50°C, του κυκλώματος θέρμανσης, παρατηρείται μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, αφού έχουμε τη δυνατότητα να εκμεταλλευόμαστε το αποτέλεσμα της συμπύκνωσης καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της εγκατάστασης.

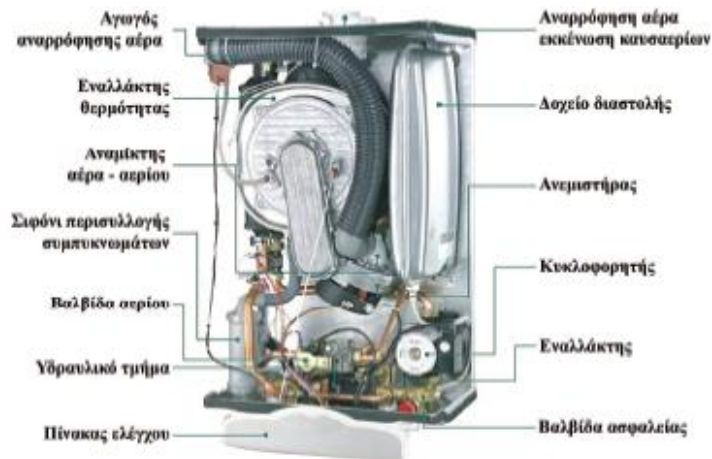
Ταυτοχρόνως, προκύπτει πως οι θερμοκρασία λειτουργίας μιας εγκατάστασης επηρεάζει τη τεχνική της συμπύκνωσης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού επιστροφής στην εγκατάσταση, υπάρχει μείωση του πεδίου της συμπύκνωσης. Για παράδειγμα, σε έναν λέβητα που λειτουργεί με μεθάνιο, όπου και η θερμοκρασία συμπύκνωσης των υδρατμών είναι περίπου 58°C, σε εγκαταστάσεις υψηλών θερμοκρασιών 80/60°C, η συμπύκνωση δεν είναι δυνατή σε εξωτερικές θερμοκρασίες κάτω από -11°C. [25]



Εικόνα 3.4. Απόδοση λέβητων συμπύκνωσης συναρτήσει της θερμοκρασίας επιστροφής των καυσαερίων

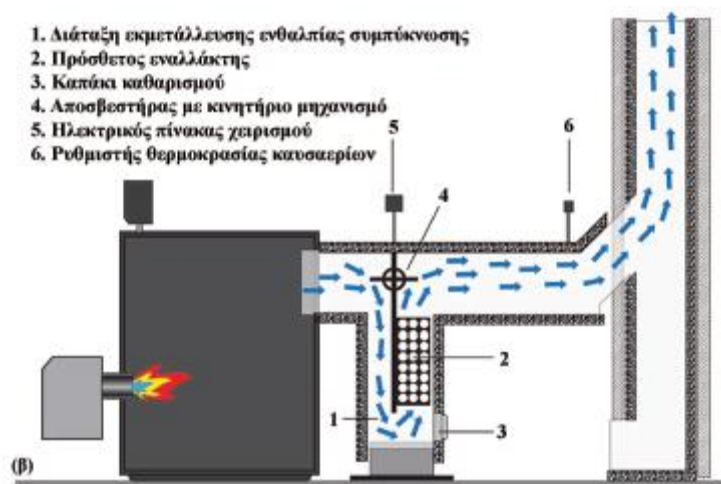
Σημαντική προϋπόθεση πρέπει να αποτελέσει πως τα συμπυκνώματα που προέρχονται από την καύση των υγρών καυσίμων πρέπει να εξουδετερώνονται πριν περάσουν στην ατμόσφαιρα. Έτσι, διακρίνονται δύο δυνατότητες με βάση την κατασκευαστική άποψη.

A) Η συμπύκνωση των υδρατμών πραγματοποιείται μέσα στον ίδιο το λέβητα. Οι επιφάνειες συναγωγής είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τους συμβατικούς λέβητες έτσι ώστε να αξιοποιείται η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών του καυσαερίου. Επιπροσθέτως, απαιτείται μια κατάλληλη διάταξη συλλογής και αποχέτευσης των συμπυκνωμάτων τοποθετημένη σε κατάλληλη θέση μέσα στο λέβητα.



Εικόνα 3.5. Λέβητας συμπύκνωσης με ενσωματωμένο εναλλάκτη [25]

B) Η συμπύκνωση των υδρατμών, γίνεται σε πρόσθετο εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης αυτός τοποθετείται στην κατασκευή του λέβητα και είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικά υλικά στη διάβρωση.



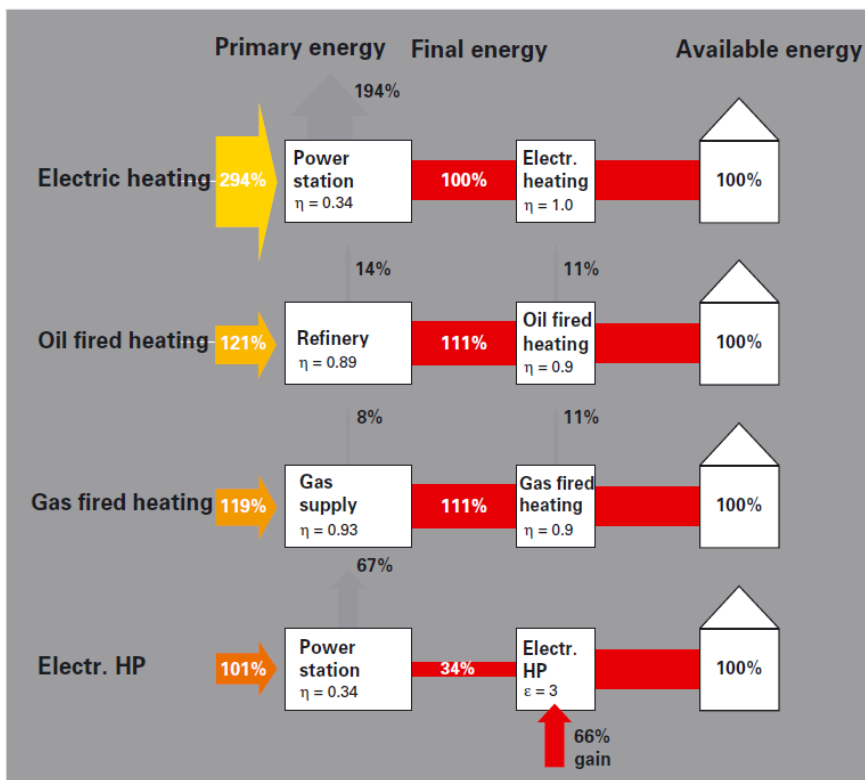
Εικόνα 3.6. Λέβητας συμπύκνωσης με πρόσθετο εναλλάκτη [25]

3.2.2 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι συσκευές που μεταφέρουν θερμότητα από έναν χώρο ή μέσο χαμηλού θερμοκρασιακού επιπέδου, σε έναν χώρο ή μέσο υψηλότερης θερμοκρασίας, ώστε να αξιοποιηθεί σε αυτόν, είτε με την μορφή θέρμανσης ή ψύξης, ονομάζονται αντλίες θερμότητας. Λειτουργούν σαν μηχανές άντλησης ενέργειας από το περιβάλλον, παράγοντας θερμότητα ή ψύξη, καταναλώνοντας ένα πολύ μικρό ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας, γύρω στο 20% ~ 40% της ονομαστικής τους ισχύος, αντλώντας την υπόλοιπη ενέργεια από αυτό.

Εξαιτίας της συναλλαγής ενέργειας με το περιβάλλον, ο βαθμός απόδοσης τους δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται από τις θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος. Η αποδοτικότητα μιας αντλίας θερμότητας, είναι αντιστρόφως ανάλογη με την εξωτερική θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέσει κάτω από τους 0°C, η αποδοτικότητας της μειώνεται γι αυτό ο μελετητής ενός ενεργειακού συστήματος με αντλία θερμότητας θα πρέπει να εξασφαλίζει τη θερμική άνεση ενός χώρου, είτε αυξάνοντας την ονομαστική ισχύ της μονάδας, είτε σχεδιάζοντας επικουρικά συστήματα για σχετική ενισχυτική λειτουργία (back-up).

Ο βαθμός απόδοσης (συντελεστής συμπεριφοράς – COP) μιας αντλίας, αποτελεί ένα μέτρο αποδοτικότητας σε τυπικές συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα, μια αντλία θερμότητας με COP=4, αποδίδει 4kWh ενέργειας, καταναλώνοντας 1kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Αντλίες θερμότητας με βαθμό απόδοσης, μεγαλύτερο από 3.3, χαρακτηρίζονται ως υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας, εντάσσονται στις ανανεώσιμες μορφές παραγωγής θερμότητας ενώ θεωρούνται πως αποτελούν καθαρή μορφή θέρμανσης και ψύξης με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.7, μια αντλία θερμότητας με συντελεστή συμπεριφοράς COP=3, για 1kWh θερμότητας, επιβαρύνει το περιβάλλον με 1.01kWh. Δηλαδή, έχει το μικρότερο ενεργειακό αποτύπωμα σε σχέση με τα υπόλοιπα ενεργειακά συστήματα



Εικόνα 3.7. Ηλεκτρική ενέργεια όταν μετετρέπεται σε θερμότητας με τη βοήθεια διάφορων ενεργειακών συστημάτων

Η κλάση λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας εξαρτάται από:

- Την εξωτερική θερμοκρασία (DB/WB).
- Τη θερμοκρασία εισόδου/ εξόδου του νερού.
- Το συντελεστή συμπεριφοράς COP που αντιστοιχεί και στις παραπάνω θερμοκρασίες.

Πίνακας 3.8 Ενεργειακή κλάση των αντλιών θερμότητας

Ενεργειακή Κλάση	Εξωτερική Θερμοκρασία DB/WB: 7/6°C	
	Θερμοκρασία νερού Εισόδου/Εξόδου 30/35 °C	Θερμοκρασία νερού Εισόδου/Εξόδου 40/45 °C
A	4.05 < COP	3.20 < COP
B	4.05 ≥ COP > 3.90	3.20 ≥ COP > 3.00
C	3.90 ≥ COP > 3.75	3.00 ≥ COP > 2.80
D	3.75 ≥ COP > 3.60	2.80 ≥ COP > 2.60
E	3.60 ≥ COP > 3.45	2.60 ≥ COP > 2.40
F	3.45 ≥ COP > 3.30	2.40 ≥ COP > 2.20
G	3.30 ≥ COP	2.20 ≥ COP

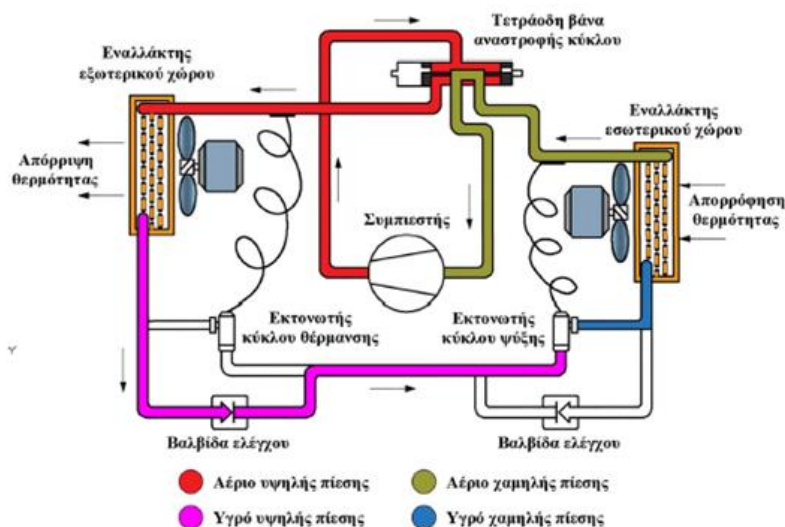
Ανάλογα με τον τρόπο που αντλούν τη θερμότητα χαρακτηρίζονται ως:

- Αερόψυκτες, όταν αντλούν τη θερμότητα από τον αέρα.
- Υδρόψυκτες, όταν αντλούν τη θερμότητα από το νερό.

ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η πηγή και ο αποδέκτης, δηλαδή με βάση τους τύπους των εναλλακτών, οι αντλίες θερμότητας χωρίζονται στις εξής τρεις κατηγορίες.

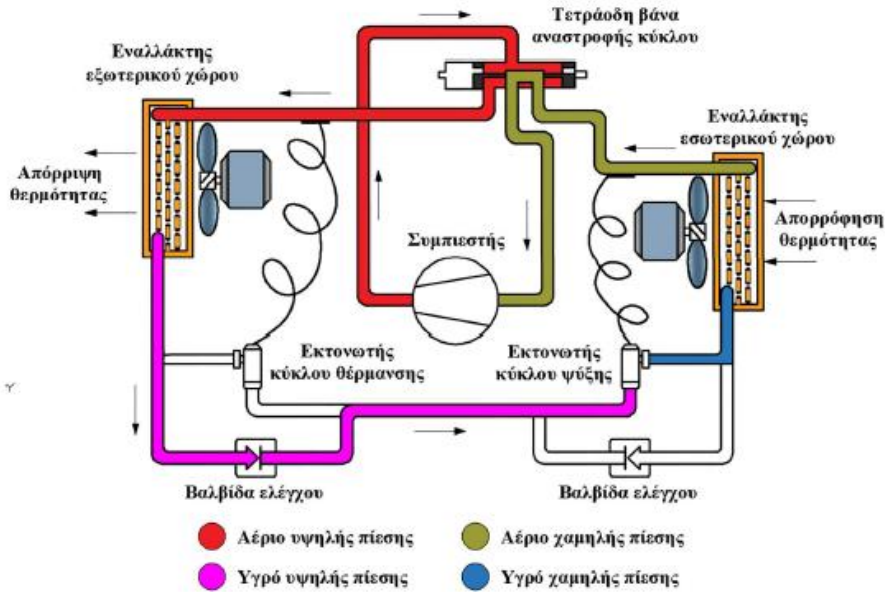
- **Αντλίες Θερμότητας αέρα/αέρα:** Πρόκειται για τον πιο συνηθισμένο τύπο αντλίας θερμότητας και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση και τη ψύξη χώρων. Είναι κοινώς τα κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου (split type). Και οι δυο εναλλάκτες είναι αέρα ψυκτικού μέσου.



Εικόνα 3.8. Αντλία θερμότητας αέρα/αέρα σε λειτουργία θέρμανσης [25]

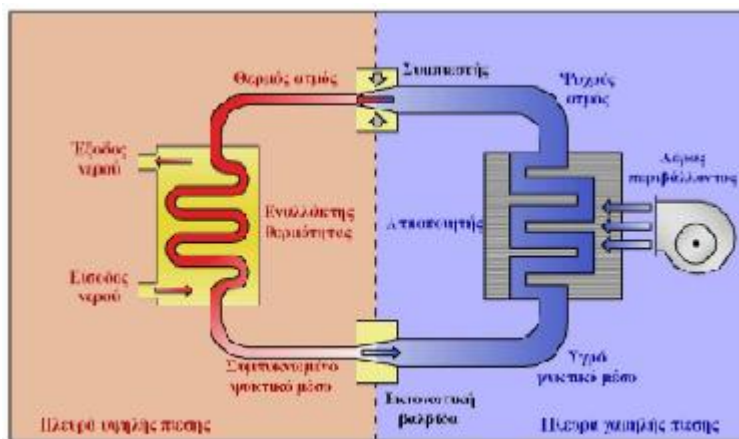
Όταν η αντλία χρησιμοποιείται για θέρμανση, ο αερόψυκτος εξατμιστής απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα, προσδίδοντας την στο ψυκτικό μέσο. Στη συνέχεια, ο αερόψυκτος συμπυκνωτής, απορρίπτει τη θερμότητα αυτή στον αέρα του χώρου που επιδιώκουμε να θερμάνουμε. Η αντλία δηλαδή, εκτελεί έναν αντίστροφο ψυκτικό κύκλο, με τον εξατμιστή, ως εναλλάκτης εσωτερικού χώρου, να λειτουργεί ως συμπυκνωτής απορρίπτοντας τη θερμότητα στο χώρο, ενώ ο συμπυκνωτής, ως εναλλάκτης εξωτερικού χώρου, να εργάζεται ως εξατμιστής απορροφώντας θερμότητα από το περιβάλλον. Η αλλαγή αυτή στον ψυκτικό κύκλο, με τη θερμότητα να μεταφέρεται προς την αντίθετη φορά, πραγματοποιείται με την τετράοδη βάνα η οποία και αλλάζει τη φορά της ροής του ψυκτικού μέσου. Με την αντιστροφή του κύκλου λειτουργίας με τη βοήθεια της τετράοδης βάνας, εξατμιστής και συμπυκνωτής ανταλλάζουν ρόλους, με την αντλία θερμότητας να λειτουργεί για την ψύξη του χώρου.

Σε ότι αφορά τους αυτοματισμούς, μια αντλία θερμότητας διαθέτει ηλεκτρονικές πλακέτες που επιτηρούν τη λειτουργία των τμημάτων της, όπως αισθητήρια που μετράνε τη θερμοκρασία και την πίεση του ψυκτικού μέσου κατά την είσοδο και την έξοδο από τον συμπιεστή, εκτελούν τις απαιτούμενες ρυθμίσεις στην τετράοδη βάνα, τις εκτονωτικές βαλβίδες και ρυθμίζουν τις στροφές των ανεμιστήρων.



Εικόνα 3.9. Αντλία θερμότητας αέρα/αέρα σε λειτουργία ψύξης [25]

- Αντλίες θερμότητας αέρα/νερού:** Οι αντλίες αυτές, χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα κεντρικού κλιματισμού μεγάλων κτηρίων και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπου και οι χώροι είναι χωρισμένοι σε θερμικές ζώνες και απαιτούνται διαφορετικές θερμοκρασίες σε αυτές. Το μέσο που θερμαίνεται ή ψύχεται είναι το νερό και αυτό πραγματοποιείται μέσω ενός εναλλάκτη ψυκτικού μέσου/νερού. Ο δεύτερος εναλλάκτης πρόκειται για αέρα/ψυκτικού μέσου και βρίσκεται στο περιβάλλον, μαζί με το συμπιεστή. Η εναλλαγή της θερμότητας, δηλαδή η άντληση και η απόρριψη, γίνεται από τον αέρα μέσω ενός αερόψυκτου εξατμιστή/συμπυκνωτή. Έπειτα, το ψυκτικό μέσο ανταλλάσσει θερμότητα με ένα δευτερεύον κύκλωμα νερού μέσω ενός υδρόψυκτου συμπυκνωτή/εξατμιστή.



Εικόνα 3.10. Αντλία θερμότητας αέρα.νερού [25]

- Αντλία θερμότητας νερού/αέρα:** Οι αντλίες αυτές, χρησιμοποιούν σαν πηγή και αποδέκτη θερμότητας το νερό, σταθερής θερμοκρασίας, ενώ ο αέρας μεταφέρει ή απάγει θερμότητα από τον χώρο που πρόκειται να κλιματιστεί. Συνεπώς, ο ένας εναλλάκτης είναι ψυκτικού μέσου/αέρα, ενώ ο δεύτερος εναλλάκτης είναι

νερού/ψυκτικού μέσου. Η εναλλαγή του κύκλου λειτουργίας της αντλίας από θέρμανση σε ψύξη γίνεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις με αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου μέσω τετράοδης βάνας [25].

3.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Για τη ψύξη- κλιματισμό ενός χώρου, υπάρχουν δυο μεγάλες κατηγορίες συστημάτων. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αέρα για τη θέρμανση και ψύξη κτηρίων και αυτά που χρησιμοποιούν νερό και αέρα. Ο αέρας που χρησιμοποιείται από τα συστήματα της πρώτης κατηγορίας, είναι σταθερής ή μεταβλητής παροχής κατάλληλα επεξεργασμένος και κλιματισμένος, ενώ για τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας, χρησιμοποιείται νερό σε κατάλληλη θερμοκρασία και παροχή που κυκλοφορεί σε δίκτυο σωληνώσεων, μεταφέροντας ή απάγοντας ποσά θερμότητας σε έναν χώρο, με τη βοήθεια τοπικών εναλλακτών επεξεργασίας αέρα (coils).

Ένα σύστημα ψύξης, έχει την εξής δομή.

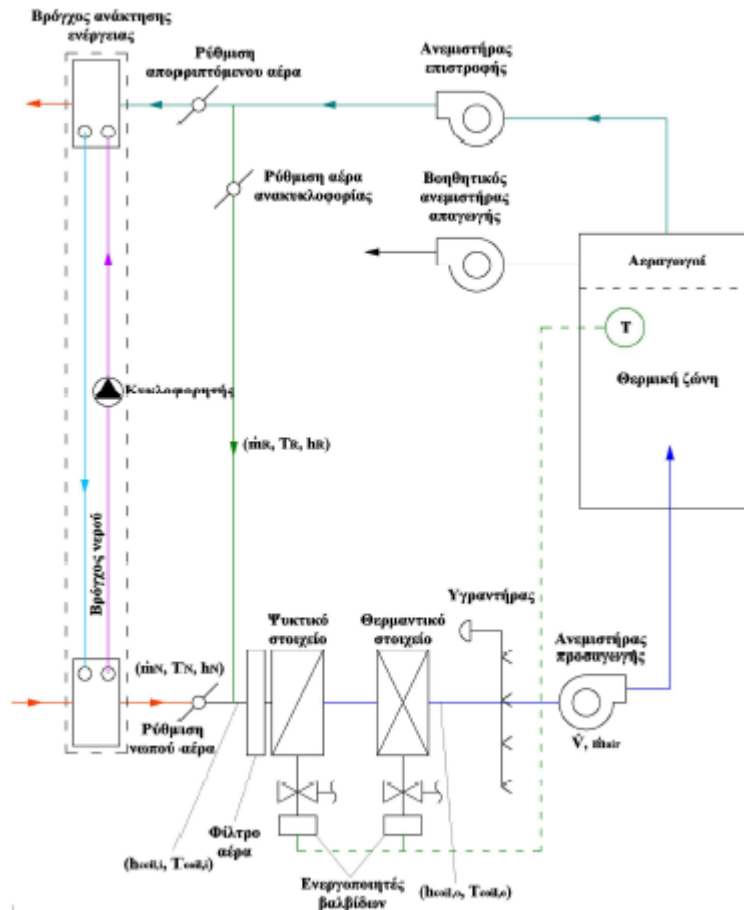
- Μια κεντρική μονάδα παραγωγής ψύξης.
- Το Σύστημα διανομής ψύξης .
- Τα τερματικά σώματα.
- Τη μονάδα ελέγχου.

Τα συστήματα αυτά, έχουν το πλεονέκτημα πως παρουσιάζουν δυνατότητα προσαρμογής στις απαιτήσεις μερικού (ψυκτικού ή θερμικού) φορτίου, καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια, λειτουργούν με σημαντική αυτονομία και ευελιξία επιτυγχάνοντας καλή ρύθμιση των συνθηκών σε χώρους που είναι χωρισμένοι σε θερμικές ζώνες, ενώ ενσωματώνουν και αξιοποιούν αποτελεσματικά τις δυνατότητες των συγχρόνων τεχνολογιών (Σημειώσεις Ζαννή).

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΑ

Τα συστήματα σταθερής παροχής αέρα, παρέχονται εργοστασιακά ως ενιαία μονάδα, μαζί με το κιβώτιο ανάμιξης αέρα ανακυκλοφορίας και νωπού αέρα, την κεντρική κλιματιστική μονάδα (KKM) ή τη μονάδα διαχείρισης αέρα (air handling unit-AHU). Η μονάδα τοποθετείται κοντά στην κεντρική μονάδα παραγωγής ψύξης (ψυκτικό συγκρότημα-chiller) ή στη μονάδα θέρμανσης (λέβητας), ώστε να διευκολύνεται η σύνδεση σωληνώσεων νερού μεταφοράς θερμότητας ή ψύξης.

Στην εικόνα 23, παρουσιάζεται ένα τέτοιο σύστημα, με τον αέρα να διέρχεται μέσα από φίλτρο, τον εναλλάκτη θέρμανσης ή ψύξης, τον υγραντήρα για τη περίπτωση της θέρμανσης, και του ανεμιστήρα για την προσαγωγή του στον κλιματιζόμενο χώρο.



Εικόνα 3.11. Σύστημα κλιματισμού σταθερής παροχής αέρα [25]

Στο εικονιζόμενο κύκλωμα, παρατηρείται πως ο ανεμιστήρας έχει τοποθετηθεί μετά από το ψυκτικό στοιχείο. Η διάταξη αυτή ονομάζεται *draw-through*, και σαν αποτέλεσμα το κρύο ρεύμα αέρα που εξέρχεται από το ψυκτικό στοιχείο θερμαίνεται από τον ανεμιστήρα και τον κινητήρα του. Κατά τον τρόπο αυτό, απαιτείται επιπλέον ψύξη του ρεύματος από το ψυκτικό μέσο ώστε αυτό να φτάσει στον κλιματιζόμενο χώρο με την απαιτούμενη θερμοκρασία. Το πρόβλημα αυτό, λύνεται τοποθετώντας τον ανεμιστήρα πριν από το ψυκτικό στοιχείο (διάταξη *blow-through*), ωστόσο η διάταξη αυτή απαιτεί επιπλέον χώρο ενώ παρουσιάζονται και προβλήματα συμπύκνωσης των υδρατμών στο ψυχόμενο ρεύμα αέρα.

Στο σύστημα κλιματισμού σταθερής παροχής αέρα, εκτός από τα βασικά του στοιχεία, δηλαδή το ψυκτικό και το θερμαντικό στοιχεία αλλά και το φίλτρο αέρα, υπάρχουν και επιμέρους στοιχεία, όπως ο υγραντήρας. Ο ρόλος του, είναι να παρέχει υδρατμούς ή εξατμιζόμενο νερό στο ρεύμα προσαγωγής κατά τη λειτουργία της θέρμανσης, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ξήρανση του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο. Ο υγραντήρας τοποθετείται μετά τα θερμαντικά ή τα ψυκτικά στοιχεία, ώστε να αποφεύγεται η επικάλυψη των υδρατμών σε αυτά σε περίπτωση που δεν ενσωματωθούν πλήρως στο ρεύμα αέρα. Ταυτοχρόνως, ο υγραντήρας αυξάνει το φορτίο της θερμαντικής συσκευής κατά το λανθάνον φορτίο που απαιτείται για την εξάτμιση των υδρατμών.

Επίσης, το σύστημα ανάκτησης θερμότητας, έχει σαν ρόλο την αξιοποίηση της θερμότητας ή του ψύχους του απαγόμενου κλιματιζόμενου αέρα από τον εσωτερικό χώρο για την ψύξη

ή την προθέρμανση του νωπού αναρροφούμενο αέρα από το περιβάλλον. Σε περιπτώσεις που η απόσταση μεταξύ των αεραγωγών επιστροφής και προσαγωγής είναι μεγάλη, χρησιμοποιείται ένα κλειστό κύκλωμα νερού με δυο εναλλάκτες θερμότητας νερού-αέρα. Συνήθως όμως, χρησιμοποιούνται απλοί πλακοειδείς εναλλάκτες για ανάκτηση θερμότητας (Εικόνα 3.12).

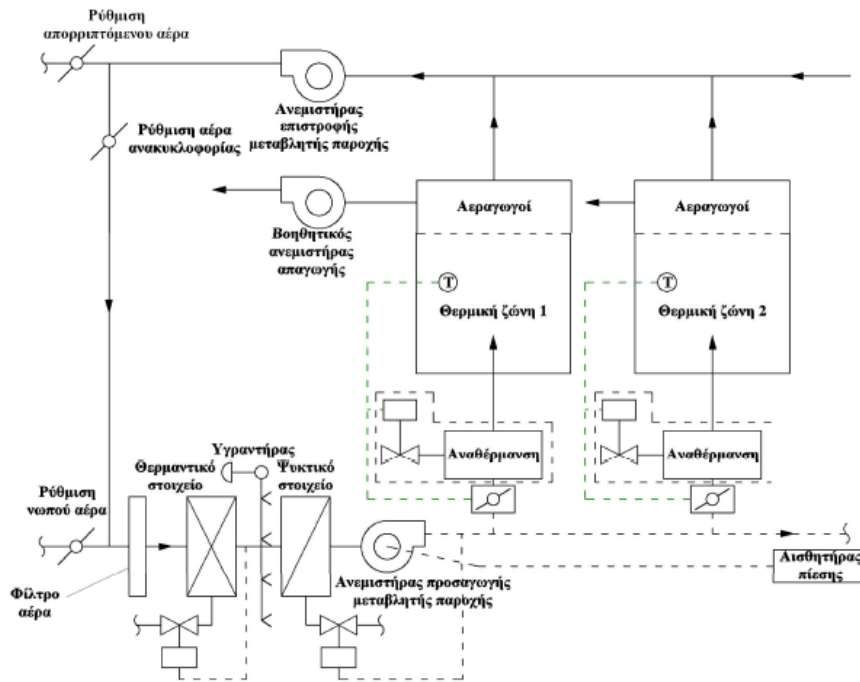


Εικόνα 3.12. Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας [26]

Η ανάκτηση και η εκμετάλλευση της θερμότητας ή της ψύξης, που απορρίπτεται στο περιβάλλον οδηγεί σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των Η/Μ εγκαταστάσεων. Έτσι, μειώνεται το μέγεθος του θερμαντικού ή του ψυκτικού εξοπλισμού αλλά και του συνόλου της ηλεκτρικής εγκατάστασης τροφοδοσίας. Η εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας που παρατηρείται με τη χρησιμοποίηση των εναλλακτών προθέρμανσης ή πρόψυξης νωπού αέρα, είναι της τάξης του 10~25% [26].

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΑ (ΜΠΑ-variable air volume-VAV)

Τα συστήματα σταθερής παροχής αέρα παρουσιάζουν αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, σε περιπτώσεις λειτουργίας μερικού φορτίου. Ταυτοχρόνως, εμφανίζουν και λειτουργικά προβλήματα σε περιπτώσεις που ένα σύστημα πρέπει να εξυπηρετήσει πολλούς χώρους ή θερμικές ζώνες με διαφορετικές απαιτήσεις ψύξης και θέρμανσης ή με διαφορετικό ωράριο λειτουργίας. Η χρήση συστημάτων μεταβαλλόμενης παροχής αέρα (variable air volume – VAV) καλύπτει τις περιπτώσεις που παρουσιάζονται τα παραπάνω προβλήματα. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με μειωμένη παροχή αέρα προς το δίκτυο στις περιπτώσεις λειτουργίας σε μερικά φορτία, ενώ εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας στον ανεμιστήρα του συστήματος, η ψυκτική ισχύς που μεταφέρεται από το πρωτεύον κύκλωμα προς την παροχή αέρα μειώνεται με αποτέλεσμα να υπάρχει περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας .



Εικόνα 3.13. Σύστημα κλιματισμού μεταβαλλόμενης παροχής αέρα [25]

Το κύκλωμα της Εικόνα 3.13, έχει τοποθετηθεί για τον κλιματισμό δυο θερμικών ζωνών. Περιλαμβάνει μια κεντρική κλιματιστική μονάδα (ΚΚΜ), με φίλτρα, θερμαντικά και ψυκτικά στοιχεία, υγραντήρα, ανεμιστήρα μεταβλητής παροχής αέρα, συναρτήσε των ψυκτικών φορτίων τα οποία εκτιμούνται με τη χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας στον κλιματιζόμενο χώρο. Σε περιπτώσεις ονομαστικής λειτουργίας, το σύστημα μεταβαλλόμενης παροχής λειτουργεί όπως ακριβώς και ένα σύστημα με σταθερή παροχή αέρα. Σε περιπτώσεις όμως λειτουργίας μερικού φορτίου, η παροχή του αέρα προσαγωγής μειώνεται, έπειτα από συνδυασμένες ενέργειες από τοπικούς ρυθμιστές παροχής του δικτύου (damper) και από τον ανεμιστήρα προσαγωγής. Ο κλιματιζόμενος αέρας προσαγωγής στους χώρους έχει σταθερή πλέον θερμοκρασία σε όλες τις θερμικές ζώνες, αλλά διαφέρει ως προς την παροχή του από το σύστημα.

Τα συστήματα ΜΠΑ χρησιμοποιούνται κυρίως ως συστήματα ψύξης και γι αυτό η εισαγωγή τους σε κτήρια γίνεται όταν απαιτείται ψύξη για μεγάλα χρονικά διαστήματα εντός του έτους και σε κτήρια με υψηλά θερμικά κέρδη. Επιπλέον εάν ένα κτήριο εμφανίζει υψηλό λανθάνον φορτίο, κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί διαφορετικού τύπου μονάδα κλιματισμού, καθώς τα συστήματα ΜΠΑ δεν μπορούν να απορροφήσουν το φορτίο αυτό, ειδικά σε λειτουργία με μερικό φορτίο.

Η διανομή της ψύξης εντός των κλιματιζόμενων χώρων εξαρτάται από την ταχύτητα της ροής του αέρα προσαγωγής. Έτσι, μειωμένη παροχή του ρεύματος αέρα σε περιπτώσεις μερικού φορτίου μπορεί να δημιουργήσει ανισοκατανομή της θερμοκρασίας σε έναν χώρο, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την θερμική άνεση. Για την αντιμετώπιση του ενδεχομένου αυτού, επιλέγεται να διατηρείται μια σταθερή παροχή αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους και να μεταβάλλονται αντισταθμιστικά οι συνθήκες του τελικού αέρα προσαγωγής στους κλιματιζόμενους χώρους. Η σταθερή παροχή του τελικού αέρα προσαγωγής με μεταβαλλόμενες συνθήκες που εξαρτώνται από το ψυκτικό φορτίο του

χώρου, επιτυγχάνεται μέσω της μίξης της μεταβαλλόμενης παροχής του ψυχόμενου αέρα από την ΚΚΜ (πρωτεύον αέρας–primary air) και της παροχής του αέρα ανακυκλοφορίας. Η συνολική τελική παροχή του προσαγόμενου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο, είναι συνήθως ίση με 4 έως και 6 ανανεώσεις αέρα την ώρα (περίπου 8 ανανεώσεις για εμπορικά κτήρια), ανεξάρτητα από το ψυκτικό φορτίο και την αρχική παροχή του πρωτεύοντος ρεύματος αέρα.

Για την ανάμιξη του αέρα ανακυκλοφορίας και του πρωτεύοντος ρεύματος αέρα, χρησιμοποιείται ένα μικρός ανεμιστήρας ώστε να εξασφαλισθεί η αναρρόφηση του πρωτεύοντος αέρα και του αέρα ανακυκλοφορίας εντός της συσκευής ανάμιξης. Η θέση του ρυθμιστή παροχής εντός του αεραγωγού, καθορίζει και την παροχή του πρωτεύοντος αέρα, η οποία και επιλέγεται με βάση τις ενδείξεις των θερμοστατών εντός των κλιματιζόμενων χώρων. Το τελικό ρεύμα αέρα, θα έχει σταθερή παροχή και μεταβαλλόμενες συνθήκες, ανάλογα με το ποσοστό της παροχής του πρωτεύοντος αέρα ως προς τη συνολική παροχή του μίγματος.

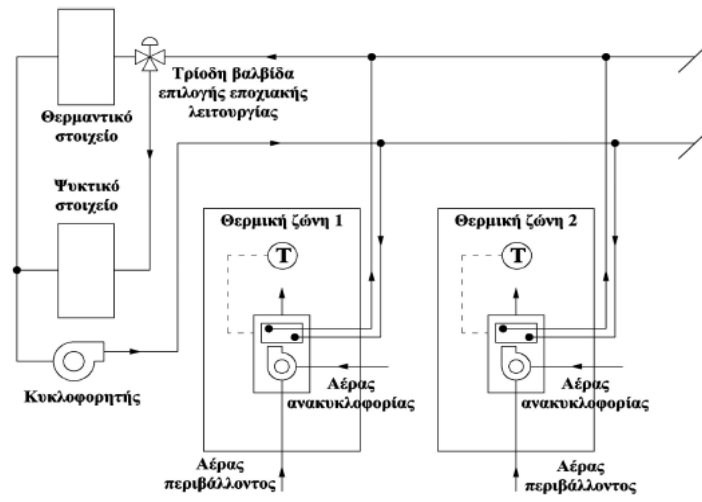
Το βασικό πλεονέκτημα ενός συστήματος μεταβαλλόμενης παροχής αέρα εκτός από την ευελιξία του συστήματος συναρτήσει των ψυκτικών φορτίων των κλιματιζόμενων χώρων, είναι η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στους ανεμιστήρες προσαγωγής και επιστροφής αλλά και η οικονομικότερη λειτουργία της ψυκτικής συσκευής. Η εκτιμώμενη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20% ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται inverter, σε σχέση με ένα σύστημα σταθερής παροχής [25].

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΑ-ΝΕΡΟΥ

Στη κατηγορία αυτή, ανήκουν τα συστήματα που χρησιμοποιούν ζεστό ή κρύο νερό για τη θέρμανση και την ψύξη ενός χώρου αντίστοιχα. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου, επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της θερμοκρασίας του νερού ή του αέρα.

Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων αέρα- νερού έγκειται στο ότι το νερό έχει ειδική θερμοχωρητικότητα περίπου 4 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα, ενώ έχει και υψηλό συντελεστή θερμότητας (20 έως 80 φορές μεγαλύτερος από αυτόν του αέρα σε εξαναγκασμένη συναγωγή). Έτσι, η απαιτούμενη παροχή του νερού είναι σαφώς μικρότερη με αποτέλεσμα τα δίκτυα μεταφοράς να είναι σημαντικά περιορισμένα όπως επίσης και η απαιτούμενη ισχύς του κυκλοφορητή να είναι επίσης σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη του ανεμιστήρα, ενώ απαιτούνται και μικρότερες επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας.

Στην Εικόνα 3.14 παρουσιάζεται ένα δισωλήνιο σύστημα ψύξης αέρα – νερού που χρησιμοποιεί έναν εναλλάκτη θερμότητας αέρα νερού για θέρμανση και για ψύξη. Η τελική προσαγωγή του αέρα στις κλιματιζόμενες θερμικές ζώνες πραγματοποιείται με μονάδες εξαναγκασμένης ροής αέρα (fan coil units) [25]. Η εναλλαγή του συστήματος μεταξύ της λειτουργίας θέρμανσης ή ψύξης γίνεται στην κεντρική μονάδα παραγωγής θερμότητας και ψύξης του συστήματος. Οι θερμοστάτες στο χώρο της κάθε θερμικής ζώνης προσαρμόζουν τη λειτουργία του ανεμιστήρα σε κάθε FCU ή την παροχή νερού στο FCU. Τέλος, ιδιαίτεροι αυτοματισμοί ελέγχουν τη λειτουργία του κεντρικού συστήματος.



Εικόνα 3.14. Δισωλήνιο σύστημα ψύξης αέρα-νερού [25]

4 ΜΟΝΩΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡ-ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

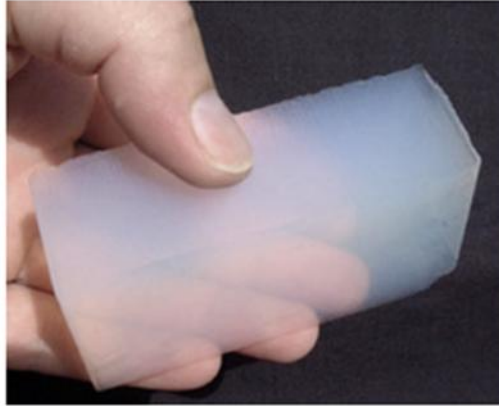
Εκτός από τα συμβατικά μονωτικά υλικά, που χρησιμοποιούνται ευρέως για την μόνωση του κελύφους των κτηρίων, υπάρχουν καινοτόμα υλικά που κατατάσσονται στην κατηγορία των υπέρ-μονωτικών υλικών, δηλαδή υλικών με θερμική αγωγιμότητα μικρότερη από αυτή το ακίνητου αέρα (0.026W/m.K) σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Ορισμένα από τα υλικά αυτά, αναλύονται συνοπτικά στις παρακάτω ενότητες.

4.1 ΑΕΡΟΓΕΛΗ

Πρόκειται για ξηρά γέλη με πολύ μεγάλο πορώδες, χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα και χαμηλό δείκτη διάθλασης. Οι πόροι του υλικού καταλαμβάνουν το 85 έως το 99.8% του συνολικού όγκου της αερογέλης, με αποτέλεσμα η πυκνότητα της να είναι περίπου 3kg/m^3 , γεγονός που την καθιστά ένα από τα ελαφρύτερα στερεά υλικά. Για τις δομικές κατασκευές χρησιμοποιείται αερογέλη με πυκνότητα από 70 έως 150kg/m^3 . Σε πίεση περιβάλλοντος ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού φτάνει τα 0.0135W/mK και μπορεί να μειωθεί επιπλέον στα 0.004W/mK σε πίεση 50mbar [27].

Συνεπώς, σε πίεση περιβάλλοντος, η αερογέλη, έχει 2 έως 3 φορές χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από τα συμβατικά θερμομονωτικά υλικά. Βασικό της πλεονέκτημα, συγκρινόμενη με τα VIP, είναι πως μπορεί να διαμορφωθεί και να προσαρμοστεί στις σχεδιαστικές ανάγκες του κτιρίου. Ωστόσο, είναι πολύ εύθραυστη αφού έχει πάρα πολύ μικρή αντοχή σε εφελκυστικές τάσεις.

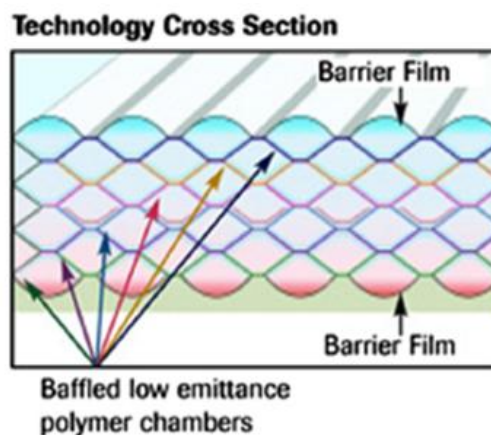
Αξιοσημείωτες είναι και οι οπτικές ιδιότητες της αερογέλης. Μπορεί να παραχθεί αδιαφανής αλλά και ημιδιαφανής και διαφανής (Εικόνα 4.1). Κατά αυτόν τον τρόπο, έχει αρκετά μεγάλο πεδίο εφαρμογής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παράθυρα, σε όψεις κτιρίων, σε οροφές αφήνοντας την ηλιακή ακτινοβολία και το φυσικό φως να την διαπεράσει [27].



Εικόνα 4.1. Απεικόνιση ημιδιαφανούς/διαφανούς αερογέλης

4.2 ΣΑΝΙΔΕΣ ΑΕΡΙΟΥ

Στις μονωτικές σανίδες αερίου (Gas-filled panels – GFP), περιέχεται αέριο μεταξύ ανακλαστικών στρώσεων οι οποίες και είναι καλυμμένες με μια προστατευτική μεμβράνη χαμηλού συντελεστή εκπομπής. Οι ανακλαστικές στρώσεις εντός των GFPs καλούνται και διαφράγματα (Εικόνα 4.2). Το αέριο εντός των κυψέλων του πυρήνα, μπορεί να είναι αέρας ή οποιοδήποτε άλλο βαρύτερο αέριο το οποίο μπορεί να συμβάλει στη μείωση της θερμικής αγωγιμότητας. Για μονωτικές σανίδες με αέριο αργό και ευγενές αέριο κρυπτό η θεωρητική τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι 0.020W/mK και 0.012W/mK αντιστοίχως. Ωστόσο στις μονωτικές σανίδες με αέριο αργό που έχουν χρησιμοποιηθεί έως τώρα στις δομικές κατασκευές, συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι περίπου 0.040W/mK [28].

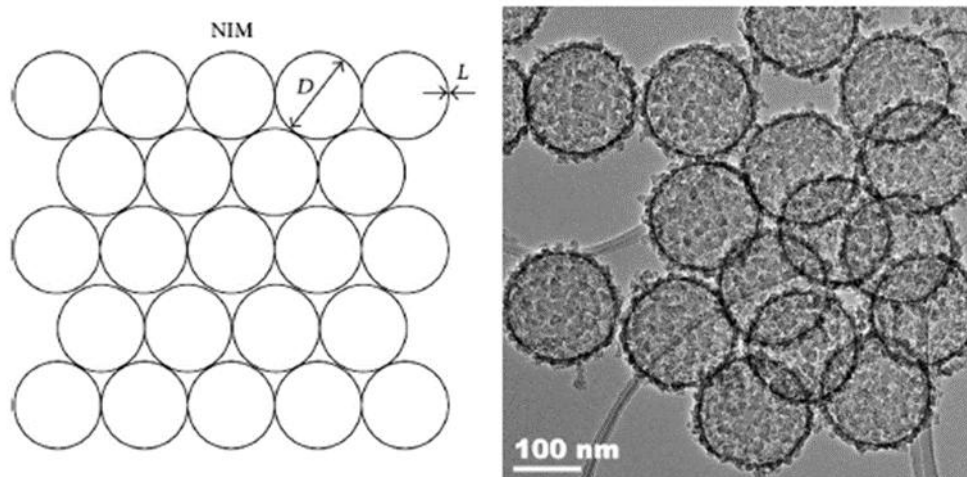


Εικόνα 4.2. Εγκάρσια τομή μονωτικής σανίδας αερίου (GFP) [28].

4.3 NANO-ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα νάνο-μονωτικά υλικά (Nano insulation materials –NIM), είναι ομογενή υλικά που οφείλουν την καλή τους θερμομονωτική ικανότητα στην δομή τους από νανοκυψέλες. Μειώνοντας τους πόρους των υλικών αυτών, ώστε ο μεγαλύτερος σε μέγεθος πόρος να είναι μικρότερος από μέση ελεύθερη διαδρομή του αέρα εντός τους, επιτυγχάνεται μείωση

στη θερμική αγωγιμότητα τους. Η τεχνολογία αυτή, μελετάται εργαστηριακά και μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί νανο-μονωτικά υλικά από κοίλα νανοσφαιρίδια πυριτίου (Εικόνα 4.3). Δείγματα σκόνης από τα σφαιρίδια αυτά, έχουν μετρηθεί εργαστηριακά, με κάποια όμως αβεβαιότητα, και έχει υπολογισθεί πως ο συντελεστής θερμικής τους αγωγιμότητας κυμαίνεται μεταξύ 0.020-0.090W/mK [29].



Εικόνα 4.3. Σχηματικό μοντέλο νανο-μονωτικού υλικού με νανοσφαιρίδια (αριστερά), όψη από μικροσκόπιο (δεξιά) [29].

4.4 ΜΟΝΩΤΙΚΕΣ ΣΑΝΙΔΕΣ ΚΕΝΟΥ (Vacuum Insulation Panels-VIPs)

Οι μονωτικές σανίδες κενού (VIPs), θεωρούνται στις μέρες μας σαν μια από τις πιο καινοτόμες λύσεις για τη θερμομόνωση του κελύφους ενός κτηρίου. Πρόκειται για ιδιαίτερα λεπτές σε πάχος σανίδες, με πολύ μικρή θερμοαγωγιμότητα που κυμαίνεται από 0.004W/mK κατά τα πρώτα χρόνια τοποθέτησης τους σε ένα κτήριο έως τα 0.008W/mK έπειτα από 25 χρόνια εφαρμογής τους. Αυτό σημαίνει πως τα υλικά αυτά είναι 5 έως 10 φορές πιο αποδοτικά, μέσα στη διάρκεια του χρόνου, σε σχέση με τα συμβατικά μονωτικά υλικά.

Κατά το παρελθόν τα VIPs έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία κυρίως για εφαρμογές σε καταψύκτες και συσκευές θερμικής αποθήκευσης. Κατά τη τελευταία δεκαετία όμως, πραγματοποιούνται μελέτες για το κατά πόσο είναι εφικτό να βρουν χώρο και στον κτηριακό τομέα. Για το λόγο αυτό, αρχικά τοποθετήθηκαν και δοκιμάστηκαν σε κτήρια υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας, με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι μονωτικές σανίδες κενού, βρίσκονται σε πρώιμα στάδια εφαρμογής στον κτηριακό τομέα. Λαμβάνοντας όμως υπόψη την αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα τους, αυξάνεται συνεχώς το ενδιαφέρον για περαιτέρω χρήση τους τόσο σε νέες όσο και σε υπό ανακαίνιση κατασκευές.

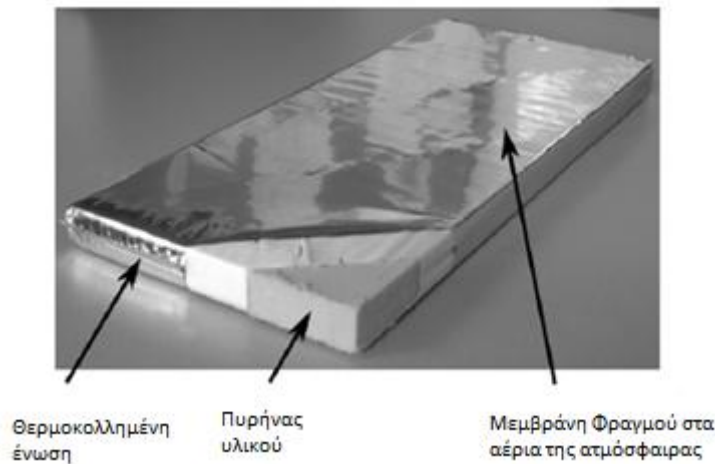
Σημαντικό πρόβλημα για τη χρήση των VIPs παραμένει το ότι υπάρχουν περιορισμένα μέχρι στιγμής στοιχεία για τη διάρκεια της απόδοσης τους, άλλα και το ότι το κόστος εφαρμογής τους στον κτηριακό τομέα είναι αρκετά υψηλό. Γι αυτό εξάλλου, η χρήση τους στην οικοδομική βιομηχανία αντιμετωπίζεται έως τώρα με σκεπτικισμό. Ωστόσο, υπάρχει πεδίο συνεχούς μελέτης και έρευνας στην κατεύθυνση της προσπάθειας για βελτίωση των υλικών

αυτών, με συνεχή πρόοδο στην τεχνολογία κατασκευής τους, με μείωση του κόστους τους, ώστε τα VIPs να καταστούν μια ανταγωνιστική λύση στον τομέα της θερμομόνωσης του κελύφους των κτηρίων.

4.4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ VIPs

ΓΕΝΙΚΑ

Οι μονωτικές σανίδες κενού, αποτελούνται από έναν πορώδη πυρήνα (core material) ο οποίος περιβάλλεται και σφραγίζεται από μια μεμβράνη με τη μορφή φακέλου (envelope barrier). Η ανοιχτού πορώδους δομή του υλικού του πυρήνα, επιτρέπει την απομάκρυνση του αέρα, οπότε δύναται να δημιουργηθούν συνθήκες κενού. Ο φάκελος είναι αεροστεγής και υδατοστεγής ώστε το VIP να μπορεί να διατηρεί τη χαμηλή τιμή εσωτερικής πίεσης και συνεπώς τις θερμομονωτικές του ιδιότητες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στην Εικόνα 4.4 διακρίνονται τα επιμέρους στοιχεία ενός μονωτικού πάνελ κενού.



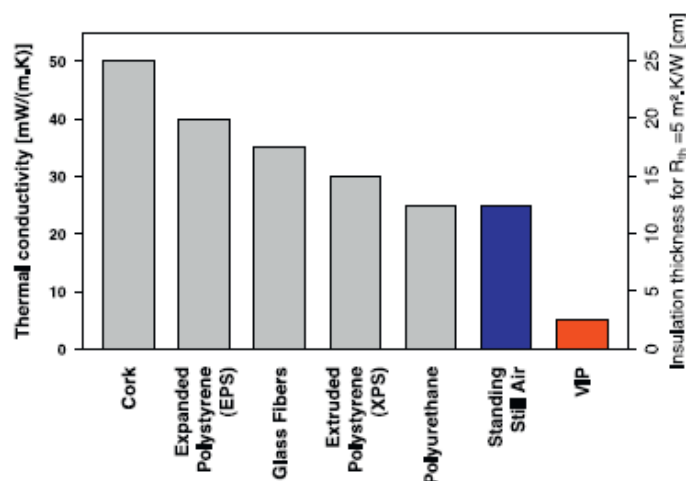
Εικόνα 4.4. Γενική δομή μονωτικού πάνελ κενού (VIP)

Το περίβλημα του VIP, αποτελείται από μια μεμβράνη πολλαπλών στρώσεων, με πάχος που κυμαίνεται από 100 έως 200μm και καλύπτει τις επιφάνειες του πυρήνα. Το περίβλημα είναι και το κρίσιμο στοιχείο του VIP, καθώς είναι υπεύθυνο για τη θερμική απόδοση και τη διάρκεια ζωής του, διατηρώντας το κενό στον πυρήνα, εμποδίζοντας τον αέρα και τους υδρατμούς να το διαπεράσουν. Όμως, η υψηλή θερμική αγωγιμότητα ενός τέτοιου περιβλήματος οδηγεί σε αυξημένη ροή θερμότητας από τις ακμές του πάνελ και τη δημιουργία ισχυρής θερμογέφυρας [30].

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας στον πυρήνα του VIP, είναι περίπου 0.004W/mK. Εάν συμπεριληφθούν και οι θερμογέφυρες που δημιουργούνται εξαιτίας των διαφορετικών υλικών, πυρήνα-μεμβράνης, η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 0.006 και 0.008W/mK. Οι χαμηλές αυτές τιμές στην ουσία επιτυγχάνονται καθώς έχει αφαιρεθεί ο αέρας από τον πυρήνα του VIP. Κατά αυτόν τον τρόπο, καθώς έχουν ελαχιστοποιηθεί τα μόρια του αέρα, δεν υπάρχει συναγωγή θερμότητας εντός του υλικού ενώ ταυτόχρονα μειώνεται σημαντικά και η αγωγή θερμότητας αφού σε συνθήκες που πλησιάζουν το κενό οι συγκρούσεις μεταξύ των ατόμων του πυρήνα του μονωτικού και των γειτονικών ατόμων του αέρα που περιλαμβάνεται σε αυτόν είναι ελάχιστες.

Οι τοιχοποιίες που μονώνονται με τις κοινές μεθόδους, καταλαμβάνουν ιδιαίτερα μεγάλο όγκο στο σύνολο του κτιρίου, λόγω των πολλαπλών στρώσεων των διαφορετικών υλικών τα οποία εφαρμόζονται σε αυτή [31]. Μια τοιχοποιία όμως μονωμένη με VIP θα κατασκευαστεί με πάχος μονωτικών υλικών από 6 έως 10 φορές μικρότερο από ότι θα συνέβαινε αν ήταν μονωμένη με συμβατικά υλικά. Τούτο συμβαίνει καθώς λόγω της διαφοράς της θερμικής αγωγιμότητας που παρουσιάζουν τα VIP σε σχέση με τα συμβατικά μονωτικά υλικά, εμφανίζουν και μεγαλύτερη θερμική αντίσταση ανά μονάδα πάχους. Για μια Συμβατική τιμή θερμικής αγωγιμότητας (0.007W/mK) μια σανίδα VIP πάχους 25mm είναι ισοδύναμη με μόνωση πετροβάμβακα πάχους 154mm ή μόνωση με EPS πάχους 121mm [32].

Στην Εικόνα 4.5, παρουσιάζεται η θερμική αγωγιμότητα διαφόρων μονωτικών υλικών σε σχέση με το πάχος τους.



Εικόνα 4.5.Θερμική απόδοση μονωτικών υλικών. Θερμική Αγωγιμότητα και πάχος μονωτικού υλικού για θερμική αντίσταση $R_{th}=5\text{m}^2\text{K/W}$ [33].

Γενικά, η συνολική μεταφορά θερμότητας μέσα στη μονωτική σανίδα κενού, μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$\lambda_{tot} = \lambda_{sol} + \lambda_{gas} + \lambda_{rad} + \lambda_{memb} \quad 4.1$$

Εξαρτάται δηλαδή από το άθροισμα των παραπάνω παραγόντων, εκ των οποίων, κάθε παράγοντας εκφράζεται από τον αντίστοιχο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του. Έτσι, η συνολική μεταφορά θερμότητας εξαρτάται από την αγωγιμότητα του πορώδους υλικού του πυρήνα, λ_{sol} , τη θερμική αγωγιμότητα του αέρα, λ_{gas} , τη μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας, λ_{rad} , και τη θερμική αγωγιμότητα λόγω της θερμογέφυρας, λ_{memb} , που δημιουργείται λόγω της εξωτερικής μεμβράνης για τη διατήρηση του κενού.

Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή μέσω του αέρα, εξαρτάται από την εσωτερική πίεση στο VIP, και ο αντίστοιχος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εκφράζεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\lambda_g(p) = \varepsilon \frac{\lambda_g^0}{1 + (p_{1/2}/p)} \quad 4.2$$

όπου το ε εκφράζει το πορώδες του υλικού, το λ_g^0 την θερμική αγωγιμότητα του αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση και $p_{1/2}$ είναι μια εμπειρική τιμή της πίεσης κατά την οποία η αγωγιμότητα του αερίου μειώνεται κατά 50%.

Η αγωγιμότητα του υλικού του πυρήνα, εξαρτάται και από την ύπαρξη υγρασίας u στο υλικό του πυρήνα του πάνελ των VIPs.

$$\lambda_{sol}(u) = \lambda_{sol,dry} + Bu \quad 4.3$$

όπου B είναι ένας εμπειρικός συντελεστής.

Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία, εκφράζεται από την εξίσωση 4.4.

$$\lambda_r = \frac{16 n^2 \sigma T^3}{3 E} \quad 4.4$$

Όπου n είναι ο δείκτης διάθλασης, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$ η σταθερά Boltzmann και E ο συντελεστής απορρόφησης [34].

Παρά τη στεγανότητα που προσφέρει η αεροστεγής μεμβράνη στο υλικό του πυρήνα των VIP, με την πάροδο του χρόνου, εισέρχεται στο εσωτερικό της μονωτικής σανίδας αέρας και υγρασία. Αυτό οφείλεται στην διάχυση μορίων, λόγω της μεγάλης διαφοράς πίεσης μεταξύ του εσωτερικού του VIP και του περιβάλλοντος, από την επιφάνεια της μεμβράνης αλλά και από τις ενώσεις που «σφραγίζουν» το VIP (heat-sealed joint). Έτσι, αυξάνεται η θερμική αγωγιμότητα του VIP με αποτέλεσμα να μειώνονται οι θερμομονωτικές του ιδιότητες [35].

Γι αυτό και όταν δίνεται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή των VIPs, η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, δίνεται για ένα εύρος χρόνου έως και τα 25 χρόνια [36].

Ο ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΩΝ VIPs

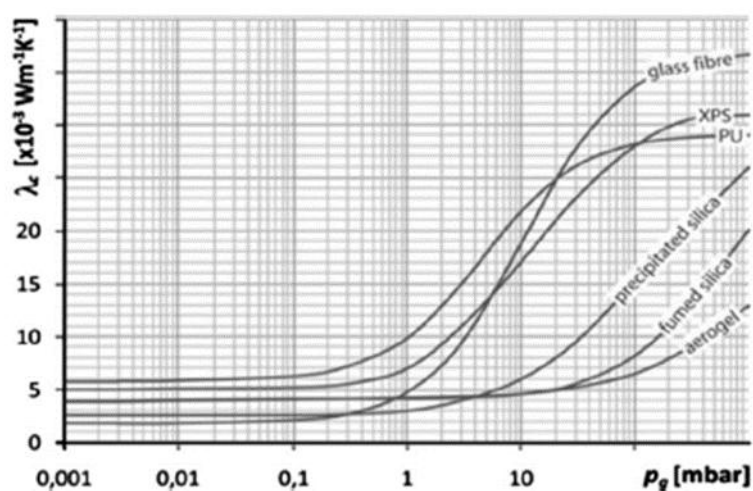
Σημαντικό ρόλο στη θερμική αντίσταση των μονωτικών σανίδων κενού, στις αυξημένες μονωτικές τους αλλά και μηχανικές τους ιδιότητες (αντίσταση σε υγρασία και υψηλές θερμοκρασίες), έχει η επιλογή του υλικού του πυρήνα των VIPs.

Γενικά, για να είναι αποδοτικό μια σανίδα VIP, πρέπει ο πυρήνας του να καλύπτει τις εξής απαιτήσεις:

- Μικρή διάμετρος των πόρων του υλικού του πυρήνα. Σε υλικά με μεγάλο πορώδες, πρέπει η πίεση να διατηρείται σε πάρα πολύ χαμηλές τιμές, ώστε να επιτυγχάνεται χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, κατάσταση δύσκολα επιτεύξιμη με βάση τις μεθόδους και τα υλικά που χρησιμοποιούνται έως τώρα. Με νανοπορώδη όμως υλικά, διατηρείται η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του πυρήνα και έτσι η πίεση δεν χρειάζεται να είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Στην παρακάτω Εικόνα 4.6 παρουσιάζεται η

Θερμική αγωγιμότητα διαφορετικών υλικών του πυρήνα συναρτήσει της εσωτερικής πίεσης στη μονωτική σανίδα κενού.

- Το υλικό του πυρήνα πρέπει να έχει τέτοιο πορώδες ώστε να διευκολύνεται η κατάσταση για δημιουργία συνθηκών κενού εντός της μονωτικής σανίδας (ανοιχτό πορώδες).
- Το υλικό του πυρήνα πρέπει να είναι ανθεκτικό στη συμπίεση καθώς η πίεση εντός του VIP κυμαίνεται μεταξύ 0.2 και 3mbar ενώ η εξωτερική πίεση είναι η ατμοσφαιρική (1atm ή 101kPa).
- Να είναι κατασκευασμένος από υλικά αδιαπέραστα στην υπέρυθη ακτινοβολία, ώστε να μειώνεται ο παράγοντας της μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία στο VIP.



Εικόνα 4.6. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων υλικών του πυρήνα των VIP σε συνάρτηση με την πίεση στο εσωτερικό του [37].

Για τη κατασκευή του πυρήνα των VIP, έχουν μελετηθεί και έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τύποι υλικών μεταξύ των οποίων, σύνθετα ινωδών-σκόνης (fibre-powder) [38] πολυκαρβονικά [39], από αφρό φαινόλης (phenolic foam), υπέρλεπτα υαλονήματα (ultrafine glass fibres) [40]

MEMBRANES ΤΩΝ VIPs

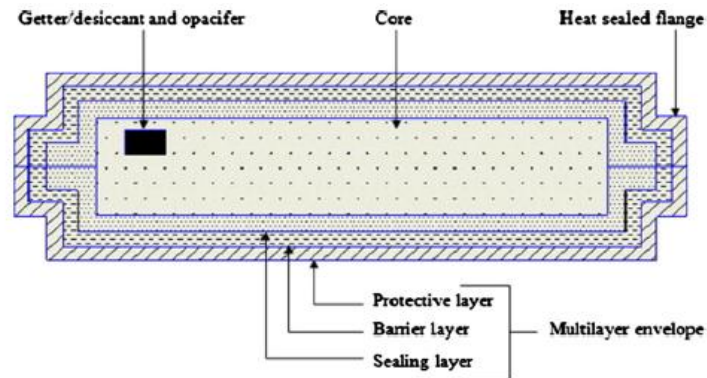
Ο σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιούνται οι μεμβράνες που περικλείουν τον πυρήνα των VIP είναι η αποτροπή της εισροής αέρα εντός αυτού διατηρώντας μια κατάσταση, όσο αυτό είναι εφικτό, κενού αέρος μέσα στον πυρήνα. Αυτή εξάλλου η ιδιότητα της κατάστασης κενού, διαφοροποιεί τις μονωτικές αυτές σανίδες σε σχέση με τα «συμβατικά» μονωτικά υλικά.

Σημαντικός παράγοντας επιλογής της κατάλληλης μεμβράνης, αποτελεί η αποφυγή των θερμογεφυρών. Λύση για τον περιορισμό τους, μπορεί να αποτελέσει η αύξηση της διάστασης των σανίδων, έτσι ώστε κατά την εγκατάστασή τους σε μια επιφάνεια να

χρησιμοποιηθεί όσο το δυνατόν μικρότερος αριθμός μονωτικών σανίδων γίνεται [41]. Στο σημείο αυτό όμως πρέπει να σημειωθεί, πως αν σε μια κατασκευή με VIP μεγάλων διαστάσεων προκύψει μια οποιαδήποτε διάτρηση, θα υπάρξει μεγαλύτερη μείωση στη συνολική θερμική αντίσταση της, σε σχέση με το εάν κάτι παρόμοιο συνέβαινε σε μια κατασκευή με περισσότερες σανίδες μικρότερων διαστάσεων.

Κατασκευαστικά, ο «φάκελος» των VIP, είναι συχνά χωρισμένος σε επιμέρους στρώσεις μεμβρανών. Έτσι έχουμε την αεροστεγή στρώση (sealing layer), τη στρώση φραγμού (barrier layer) και την προστατευτική στρώση (protective layer) όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 4.7. Η αεροστεγής μεμβράνη, αποτελεί την εσωτερική στρώση του «φακέλου» που περιβάλλει τον πυρήνα των VIP και είναι συνήθως κατασκευασμένη από πολυαιθυλένιο. Η μεσαία στρώση, χαρακτηρίζεται ως μεμβράνη φραγμού (barrier layer). Η στρώση αυτή μπορεί να είναι από φύλλα αλουμινίου ή από ένα πολυστρωματικό κάλυμμα. Ρόλος της είναι η προστασία του πυρήνα των VIP την εισχώρηση υγρασίας και αέρα. Η τελευταία στρώση του φακέλου καλείται και προστατευτική. Εξωτερικές πιέσεις και άλλοι εξωγενείς παράγοντες, είναι δυνατόν να δημιουργήσουν ζημιές στο μονωτικό υλικό. Έτσι, η προστατευτική μεμβράνη αποσκοπεί στο να κάνει τα VIPs πιο ανθεκτικά σε χρήση. Ταυτοχρόνως η προστατευτική στρώση, λειτουργεί και ως υπόστρωμα για την στρώση φραγμού.

Τέλος, τα σημεία σφράγισης της μεμβράνης των VIPs γύρω από τον πυρήνα, αποτελούν ένα αδύνατο σημείο από τα οποία μπορεί να εισέλθει αέρας και υγρασία εντός του μονωτικού υλικού. Συνεπώς, η σφράγιση πρέπει να είναι ιδιαίτερα ποιοτική και ανθεκτική ώστε μεγιστοποιείται ο χρόνος βέλτιστης απόδοσης των VIPs. Η εφαρμογή τη μεμβράνης γύρω από τον πυρήνα, επιτυγχάνεται με θερμοσυγκόλληση θερμαινόμενων υπό πίεση ράβδων στα άκρα της [42].



Εικόνα 4.7. Τομή μονωτικής σανίδας κενού [37].

5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται ενεργειακή ανάλυση σε Καινοτόμος ανακαίνιση υφιστάμενου κτηρίου κατοικιών. Πρόκειται για μια πενταόροφη πολυκατοικία, με συνολικά 20 διαμερίσματα, 75m² το καθένα, κατασκευασμένη στην Αθήνα πριν από το 1980, δηλαδή πριν από την εφαρμογή του πρώτου κανονισμού θερμομόνωσης.

Συνολικά, πραγματοποιείται η μελέτη δυο βασικών σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης με το πρώτο να αφορά την «Συμβατική» ανακαίνιση, ενώ το δεύτερο την «Καινοτόμο» ανακαίνιση του κτηρίου. Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο της «Συμβατικής» ανακαίνισης, βασίστηκε στο πρόγραμμα TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) το οποίο και υλοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη». Το πρόγραμμα αυτό, είχε σαν στόχο τη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού εργαλείου που θα περιελάμβανε τις τυπολογίες κατασκευής, των Η/Μ εγκαταστάσεων, σε συνδυασμό με την ενεργειακή αποδοτικότητα του κτηρίου και το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας [43]. Το σενάριο της «Καινοτόμου» ανακαίνισης αφορά την ανάπτυξη ενός μοντέλου κτηρίου με τοιχοποιίες ξηράς δόμησης από ελαφρύ μεταλλικό σκελετό, με ταυτόχρονη αναβάθμιση των ενεργειακών του συστημάτων, την τοποθέτηση BEMs και την χρήση Α.Π.Ε., στην κατεύθυνση δημιουργίας ενός κτηρίου σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (nZEB).

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ

Το υπό μελέτη κτήριο είναι ένα πενταόροφο κτήριο κατοικιών, κατασκευασμένο στην Αθήνα πριν από το 1979. Σε αυτό βρίσκονται 20 διαμερίσματα επιφάνειας 75m² το καθένα. Η συνολική επιφάνεια των δαπέδων του πάνω από τον ανοιχτό υπόστυλο χώρο είναι 1644m², η επιφάνεια της ταράτσας 355m², ενώ η εξωτερική τοιχοποιία καταλαμβάνει επιφάνεια 1619m².



Εικόνα 5.1 Το υπό μελέτη Κτήριο

Περιγραφή	Τιμές
Τύπος	Πολυκατοικία 5 ορόφων
Τοποθεσία	Αθήνα
Επιφάνεια δαπέδων	1644m ²
Επιφάνεια οροφής	355m ²
Επιφάνεια τοιχοποιίας	1619m ²
Επιφάνεια παραθύρων	294m ²
Βαθμομέρες Θέρμανσης	1077Kdays








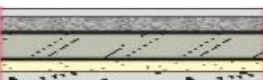
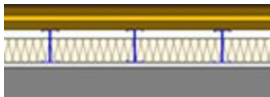
5.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ

Ο φέρον οργανισμός του κτηρίου είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με τον Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό (Γ.Ο.Κ.) του 1973. Η κατασκευή της τοιχοποιία του είναι τύπου μπατικής οπτοπλινθοδομής επιχρισμένη και από τις δυο όψεις, με το U-value να είναι ίσο με $2.20\text{W/m}^2\text{K}$. Τα στοιχεία του φέροντος οργανισμού είναι επιχρισμένα και από τις δυο όψεις με το συντελεστή θερμοπερατότητας (U-value) να είναι ίσος με $3.40\text{W/m}^2\text{K}$.

Κατά τη Συμβατική ανακαίνιση, τοποθετείται θερμομόνωση με διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) πάχους 8 εκ. εξωτερικά στα στοιχεία του φέροντος οργανισμού αλλά και στην εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας, 9εκ. στην οροφή του κτηρίου, και 6εκ. κάτω από το δάπεδο του κτηρίου. Το U-value είναι αντίστοιχα $0.44\text{W/m}^2\text{K}$, $0.41\text{W/m}^2\text{K}$, $0.39\text{W/m}^2\text{K}$ και $0.50\text{W/m}^2\text{K}$. Τέλος, τα κουφώματα του κτηρίου αντικαθίστανται από κουφώματα με συνθετικό πλαίσιο και τριπλούς υαλοπίνακες νέας γενιάς, με αέριο Αργό ανάμεσα στα κενά των υαλώσεων με συνολικό U-value ίσο με $1.25\text{W/m}^2\text{K}$.

Για τη περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης, η υπάρχουσα τοιχοποιία αντικαθίσταται πλήρως από προκατασκευασμένη τοιχοποιία ξηράς δόμησης με ελαφρύ μεταλλικό σκελετό, με τη συναρμογή της να πραγματοποιείται πάνω στο φέρον οργανισμό του κτηρίου με τη χρήση ειδικών συνδέσμων. Για επιπλέον θερμομόνωση, τοποθετούνται μονωτικές σανίδες κενού (VIPs), οι οποίες και κατατάσσονται στην κατηγορία των υπέρ-μονωτικών υλικών. Το συνολικό U-value της τοιχοποιίας είναι $0.25\text{W/m}^2\text{K}$, συνυπολογίζοντας τις γραμμικές και τις σημειακές θερμογέφυρες. Το U-value της οροφής του κτηρίου υπολογίζεται στα $0.31\text{W/m}^2\text{K}$, ενώ του δαπέδου είναι ίσο με $0.51\text{W/m}^2\text{K}$. Τα κουφώματα του κτηρίου με συνθετικό πλαίσιο και τριπλούς υαλοπίνακες παραμένουν, όπως και στην περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης. Στον Πίνακα 5.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του κελύφους του κτηρίου.

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά Κελύφους Κτηρίου

	Υπάρχουσα Κατασκευή	Συμβατική Ανακαίνιση	Καινοτόμος Ανακαίνιση	
Εξωτερική Τοιχοποιία	Επιφάνεια (m²)	1325	1325	1325
	Σχήμα			
	Τύπος κατασκευής	-Μπατική οπτοπλινθοδομή, επιχρισμένη και από τις δυο πλευρές	- Μπατική οπτοπλινθοδομή -80 mm μόνωσης (EPS)	-Γυψοσανίδα -Πετροβάμβακας -Μονωτικές σανίδες κενού (VIP) -Πετροβάμβακας -Γυψοσανίδα -Αεριζόμενη πρόσοψη
	Πάχος (m)	0.2	0.28	0.318
	U-value* [W/m².K]	2.2	0.41	0.25
Οροφή	Επιφάνεια (m²)	355	355	355
	Σχήμα			
	Τύπος κατασκευής	Συμβατικού τύπου δώμα χωρίς θερμομονωτική προστασία	-Συμβατικού Τύπου δώμα -90mm μόνωσης (EPS)	-Γυψοσανίδα -Πετροβάμβακας -Γυψοσανίδα -Πετροβάμβακας -Πλάκα Δαπέδου (οπλισμένο σκυρόδεμα)
	Πάχος (m)	0.3	0.39	0.46
	U-value* [W/m².K]	3.05	0.39	0.48
Δάπεδο	Επιφάνεια (m²)	355	355	355
	Σχήμα			
	Τύπος κατασκευής	-Δάπεδο με επικάλυψη παντός τύπου επάνω από ανοικτό υπόστυλο χώρο.	- Δάπεδο με επικάλυψη παντός τύπου επάνω από ανοικτό υπόστυλο χώρο. -60 mm μόνωσης (EPS)	-Δάπεδο -Πλάκες δαπέδου -Ηχομόνωση -Πλάκες Δαπέδου -Πετροβάμβακας -Γυψοσανίδα -Δάπεδο (Οπλισμένο σκυρόδεμα)
	Πάχος (m)	0.3	0.36	0.61
	U-value* [W/m².K]	3.1	0.5	0.51

5.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ

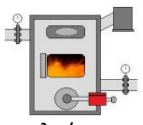
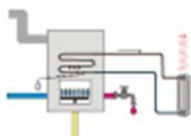
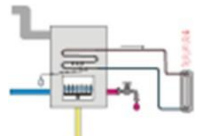
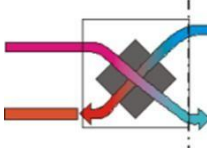
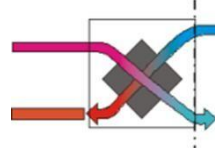
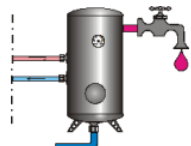
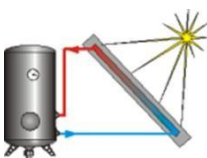
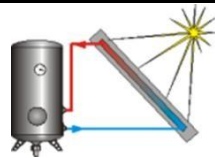
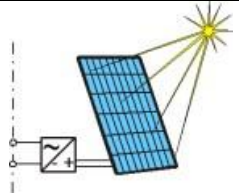
Κατά την υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου, για το σύστημα κεντρικής του θέρμανσης χρησιμοποιείται συμβατικός λέβητας πετρελαίου, υπερδιαστασιοποιημένος και παλαιάς τεχνολογίας. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος λέβητα-καυστήρα θεωρείται ίσος με 80%. Το κεντρικό δίκτυο διανομής βρίσκεται κυρίως σε μη θερμαινόμενους χώρους και οι σωληνώσεις του δικτύου είναι μη μονωμένες, με αποτέλεσμα οι απώλειες του να είναι περίπου 10%. Η παραγωγή ΖΝΧ πραγματοποιείται από τον λέβητα του κεντρικού

συστήματος θέρμανσης, ενώ το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού είναι χωρητικότητας 4000λτ. Λόγω ελλιπούς μόνωσης του δικτύου οι απώλειες υπολογίζονται στο 10%.

Στην περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης, ο λέβητας πετρελαίου αντικαθίσταται από λέβητα αερίου συμπύκνωσης, με ονομαστική απόδοση 105%, ενώ με την τοποθέτηση μόνωσης στο δίκτυο των σωληνώσεων του κυκλώματος θέρμανσης, οι απώλειες μειώνονται στο 5%. Ταυτοχρόνως, σε κάθε διαμέρισμα εγκαθίστανται σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας του απορριπτόμενου αέρα, συνολικής απόδοσης 80%. Η παραγωγή ZNX για κάθε διαμέρισμα πραγματοποιείται με συνδυασμό ενός λέβητα φυσικού αερίου συμπύκνωσης απόδοσης 110% και ηλιακού θερμοσίφωνα με επιφάνεια συλλέκτη στα 3.5m². Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν τοποθετηθεί με κατάλληλο προσανατολισμό και γωνία στην οροφή του κτηρίου, ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση τους. Οι σωληνώσεις του δικτύου ZNX έχουν μονωθεί με τις απώλειες να προσδιορίζονται στο 5%.

Σε ότι αφορά την «Καινοτόμο» ανακαίνιση, το σύστημα θέρμανσης και μηχανικού αερισμού, είναι το ίδιο όπως και στην περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης. Για επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας, έχουν τοποθετηθεί Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης (BEMs) τα οποία εποπτεύουν και ελέγχουν τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα του κτηρίου. Οι θερμοστάτες, έχουν ρυθμιστεί με χρονοπρόγραμμα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε όταν στα διαμερίσματα υπάρχουν οι ένοικοι τους, η θερμοκρασία να είναι σταθερή στους 20°C ενώ για τις υπόλοιπες ώρες στους 18°C. Επιπλέον κατά τις βραδινές ώρες, η θερμοκρασία των θερμοστατών είναι ρυθμισμένη στους 20°C στα υπνοδωμάτια και στους 18°C για τους υπόλοιπους χώρους των διαμερισμάτων. Ο έλεγχος θέρμανσης πραγματοποιείται με θερμοστατικές βάνες με την παροχή να γίνεται βάσει της θερμοκρασίας του χώρου. Σε ότι αφορά το κεντρικό σύστημα θέρμανσης, γίνεται έλεγχος του κυκλοφορητή μεταβλητών στροφών με την ταχύτητα του και την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτούνται να μειώνονται σε συνθήκες μερικού φορτίου. Η παραγωγή ZNX πραγματοποιείται με συνδυασμό ηλιακών συστημάτων και λεβήτων συμπύκνωσης αερίου απόδοσης 110%, με τις σωληνώσεις του δικτύου να είναι πλήρως μονωμένες. Οι ηλιακοί συλλέκτες για κάθε διαμέρισμα καταλαμβάνουν επιφάνεια 4m² ο καθένας και είναι τοποθετημένοι με κατάλληλο προσανατολισμό και κλίση, ώστε να έχουν την μέγιστη απόδοση. Επίσης, πραγματοποιείται αυτόματος έλεγχος φόρτισης του δοχείου αποθήκευσης από του ηλιακού συλλέκτη και φόρτιση τους από την συμπληρωματική πηγή (λέβητες συμπύκνωσης) όποτε αυτό κρίνεται απαραίτητο. Γενικά η φόρτιση μέσω των ηλιακών συλλεκτών έχει προτεραιότητα με την υπόλοιπη ζήτηση να παρέχεται από το επικουρικό σύστημα των λεβήτων αερίου συμπύκνωσης, με θερμοκρασία παροχής βάσει ζήτησης. Για τον αερισμό του κτηρίου, πραγματοποιείται έλεγχος προσαγωγής αέρα από αισθητήρια που μετρούν παραμέτρους εσωτερικού αέρα βάσει των αριθμό ατόμων ανά διαμέρισμα. Τέλος, τοποθετήθηκαν συστοιχίες φωτοβολταϊκών συστημάτων, ονομαστικής απόδοσης 18%, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τα συστήματα θέρμανσης, μηχανικού αερισμού και ZNX ενώ η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια καλύπτει μέρος των ηλεκτρικών αναγκών για τον εξοπλισμό και τον φωτισμό κάθε διαμερίσματος. Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των ενεργειακών συστημάτων του κτηρίου.

Πίνακας 5.3. Χαρακτηριστικά Ενεργειακών Συστημάτων

	Υπάρχουσα Κατασκευή	Συμβατική Ανακαίνιση	Καινοτόμος Ανακαίνιση
Σύστημα Κεντρικής Θέρμανσης	 <ul style="list-style-type: none"> -Λέβητας πετρελαίου -Ονομαστική Απόδοση: 80% -Σωληνώσεις χωρίς θερμομόνωση, (απώλειες: 10%) 	 <ul style="list-style-type: none"> -Λέβητας αερίου συμπύκνωσης -Ονομαστική απόδοση: 105% -Μονωμένες σωληνώσεις, (απώλειες: 5%) 	 <ul style="list-style-type: none"> -Λέβητας αερίου συμπύκνωσης -Ονομαστική απόδοση: 105% -Μονωμένες σωληνώσεις, (απώλειες: 5%) -Συστήματα ενεργειακής Διαχείρισης κτηρίου (BEMs)
Σύστημα Αερισμού	-	 <ul style="list-style-type: none"> -Σύστημα Μηχανικού αερισμού για κάθε διαμέρισμα -Ανάκτηση θερμότητας: 80% 	 <ul style="list-style-type: none"> - Σύστημα Μηχανικού αερισμού για κάθε διαμέρισμα -Ανάκτηση θερμότητας: 80%
Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης	 <ul style="list-style-type: none"> -Κεντρικό σύστημα παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης -Λέβητας πετρελαίου -Δοχείο αποθήκευσης 4000lt - Μη μονωμένες σωληνώσεις (απώλειες: 15%) 	 <ul style="list-style-type: none"> - Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης για κάθε διαμέρισμα -Ηλιακά συστήματα (3.5m² ηλιακών συλλεκτών ανά διαμέρισμα) -Λέβητας αερίου συμπύκνωσης -Μονωμένες σωληνώσεις δικτύου ΖΝΧ (απώλειες: 10%) 	 <ul style="list-style-type: none"> -Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης για κάθε διαμέρισμα -Ηλιακά Συστήματα (3.5m² ηλιακών συλλεκτών ανά διαμέρισμα) -Λέβητας αερίου συμπύκνωσης (110% απόδοση, 200 lt) - Μονωμένες σωληνώσεις δικτύου ΖΝΧ (απώλειες: 10%)
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	-	-	 <ul style="list-style-type: none"> -Φωτοβολταϊκά Συστήματα -Επιφάνεια: 95 m² -Ονομαστική Απόδοση: 18%

5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου, υπολογίστηκε η ετήσια ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση, τον αερισμό του και την ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή ΖΝΧ. Η μεθοδολογία και οι παραδοχές που έγιναν βασίζονται στα ευρωπαϊκά πρότυπα και καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τουλάχιστον τα εξής.

- Την πραγματική κύρια χρήση του κτηρίου, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος, (θερμοκρασία, υγρασία και αερισμός), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τον αριθμό των χρηστών.
- Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτηρίου (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία).
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους (μορφή του κτηρίου, διαφανείς και μη διαφανείς επιφάνειες, σκίαστρα κ.α.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.α.).
- Τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.α.)
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Η/Μ συστημάτων για θέρμανση, ψύξη και κλιματισμό και ΖΝΧ (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.).
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διατάξεων αυτομάτου ελέγχου και ρύθμισης λειτουργίας των Η/Μ συστημάτων.
- Το μηχανικό και φυσικό αερισμό, που περιλαμβάνει και την αεροστεγανότητα.
- Τα παθητικά και υβριδικά συστήματα για την ηλιακή προστασία.
- Την παθητική θέρμανση και δροσισμό.
- Τις κλιματικές συνθήκες του εσωτερικού χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τις συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικού κλίματος.
- Τα εσωτερικά φορτία.

Ταυτοχρόνως, συνυπολογίστηκε και η θετική επίδραση των παρακάτω παραγόντων.

- Των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, ΖΝΧ και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Του φυσικού φωτισμού.

Για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας πραγματοποιείται αναγωγή της υπολογιζόμενης τελικής κατανάλωσης καυσίμου σε πρωτογενή, με τη χρήση των συντελεστών μετατροπής του Πίνακα 5.4. Η ενεργειακή προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό EnergyPlus.

Πίνακας 5.4 Συντελεστές μετατροπής τελικής κατανάλωσης ενέργειας κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια

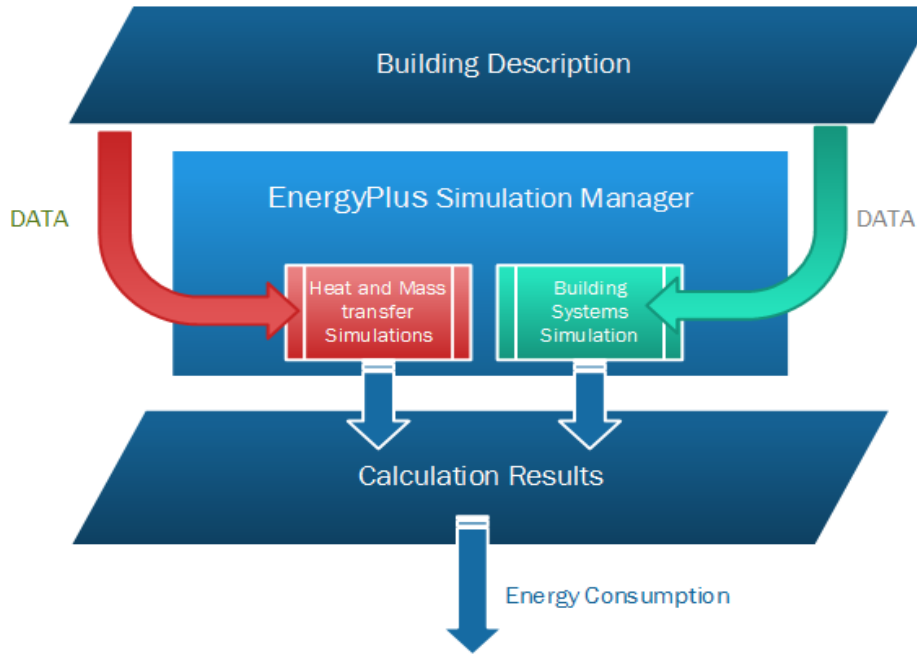
Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO ₂ /kWh)
Πετρέλαιο θέρμανσης	1.10	0.264
Φυσικό αέριο	1.05	0.196
Ηλεκτρική ενέργεια	2.90	0.989
Βιομάζα	1.00	-

5.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EnergyPlus

Το πρόγραμμα EnergyPlus είναι ένα λογισμικό που αποσκοπεί στην προσομοίωση και την ενεργειακή ανάλυση κτηρίων. Η προσομοίωση αυτή αφορά ένα μοντέλο κτηρίου, στο οποίο και γίνονται υπολογισμοί στηριζόμενοι σε θεμελιώδεις αρχές της μεταφοράς θερμότητας. Είναι βασισμένο στην ταυτόχρονη λειτουργία πολλών υποπρογραμμάτων τα οποία έχουν σαν σκοπό να υπολογίσουν τις ενεργειακές καταναλώσεις ενός κτηρίου, χρησιμοποιώντας μια πληθώρα πληροφοριών. (Εικόνα 5.2)

Σε λογισμικά ενεργειακής ανάλυσης, όπως το BLAST (Building Loads and Systems Thermodynamics) και το DOE-2 (Department of Energy-2), οι θερμικές ζώνες, τα συστήματα αερισμού, θέρμανσης, ψύξης, προσομοιώνονται διαδοχικά, χωρίς να υπάρχει κάποια ανάδραση ανάμεσα τους. Την αδυναμία αυτή, λύνει το πρόγραμμα EnergyPlus, το οποίο και εφαρμόζει μεθόδους προσομοίωσης με αλληλεπίδραση και εξάγει αποτελέσματα με χρονικό βήμα λιγότερο της μιας ώρας.

Για να πραγματοποιηθούν οι ενεργειακοί υπολογισμοί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, ήταν απαραίτητο να βρεθεί ένας τρόπος ώστε να εισαχθούν οι γραμμικές (2D) και οι σημειακές (3D) θερμογέφυρες στην ενεργειακή μελέτη του κτηρίου, καθώς το πρόγραμμα EnergyPlus εξετάζει τα προβλήματα καθώς όμως το πρόγραμμα EnergyPlus εξετάζει τα προβλήματα μεταφοράς θερμότητας ως μονοδιάστατα, έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος ώστε να εισαχθούν οι γραμμικές (2D) και οι σημειακές (3D) θερμογέφυρες στην ενεργειακή μελέτη του κτηρίου. Η μέθοδος αυτή, βασίζεται στον υπολογισμό ισοδύναμων θερμικών ιδιοτήτων των στοιχείων του κελύφους του κτηρίου σε ότι αφορά την θερμική τους αγωγιμότητα, την θερμοχωρητικότητα και την πυκνότητα τους, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η συνεισφορά των θερμογεφυρών [44].



Εικόνα 5.2 Βήματα προσομοίωσης με το πρόγραμμα EnergyPlus

5.3 ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EnergyPlus

Η εξίσωση που συσχετίζει τη ροή θερμότητας σε μια επιφάνεια ενός στοιχείου με μια άπειρη σειρά θερμοκρασιών μέσα σε ένα ευρύ χρονικό διάστημα και για τις δυο της πλευρές, δίνεται από τη σχέση:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad 6.1$$

όπου “q” είναι η ροή θερμότητας, “T” η θερμοκρασία, με “i” συμβολίζεται η εσωτερική πλευρά και με “o” η εξωτερική πλευρά ενός δομικού στοιχείου, με “t” το τρέχον χρονικό βήμα και “X”, “Y” οι συντελεστές απόκρισης.

Η βασική μορφή της λύσης της συνάρτησης μεταφοράς αγωγιμότητας είναι η:

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad 6.2$$

Για την ροή θερμότητας στην εσωτερική πλευρά και

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad 6.3$$

Για τη ροή θερμότητας στην εξωτερική πλευρά της επιφάνειας

X_j = εξωτερικός συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς με αγωγιμότητα, $j= 0,1,\dots,nz$.

Y_j = διαγώνιος συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς με αγωγιμότητα, $j= 0,1,\dots,nz$.

Z_j = εσωτερικός συντελεστής συνάρτησης μεταφοράς με αγωγιμότητα, $j= 0,1,\dots,nz$.

Φ_j = συντελεστής ροής συνάρτησης μεταφοράς με αγωγιμότητα, $j = 1,2,\dots,nq$

T_i = θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας.

T_o = θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας.

q''_{ki} = ροή θερμικής αγωγιμότητας στην εσωτερική επιφάνεια.

q''_{ko} = ροή θερμικής αγωγιμότητας στην εξωτερική επιφάνεια.

Η βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς των συναρτήσεων μεταφοράς με αγωγιμότητα χρησιμοποιεί τους παρακάτω πίνακες γραμμικών εξισώσεων:

$$\frac{d[x]}{dt} = [A][x] + [B][u] \quad 6.4$$

$$[y] = [C][x] + [D][u] \quad 6.5$$

όπου x είναι το διάνυσμα μεταβλητών κατάστασης, u είναι ένα διάνυσμα εισόδου, y το διάνυσμα εξόδου, t είναι ο χρόνος και A , B , C και D είναι οι συντελεστές πινάκων.

Η παραπάνω διατύπωση χρησιμοποιείται για την επίλυση της μεταβατικής εξίσωσης θερμικής αγωγιμότητας, με δημιουργία ενός πλέγματος πεπερασμένων διαφορών στα επιμέρους στρώματα του δομικού στοιχείου που αναλύεται. Στη περίπτωση αυτή, οι μεταβλητές κατάστασης είναι οι κομβικές θερμοκρασίες, οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος (εσωτερικές και εξωτερικές) είναι οι εισοδοί και ροές θερμότητας που προκύπτουν και στις δύο επιφάνειες είναι οι έξοδοι. Έτσι, η κατάσταση στο χώρο με τις μεταβλητές πεπερασμένων διαφορών ,παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{d \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix}}{dt} = [A] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [B] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad 6.6$$

$$\begin{bmatrix} q''_i \\ q''_o \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [D] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad 6.7$$

Όπου $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n$ είναι οι πεπερασμένες διαφορές των θερμοκρασιών στους κόμβους του πλέγματος που έχουμε δημιουργήσει, n ο αριθμός των κόμβων, T_i και T_o είναι οι εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και q''_i και q''_o είναι οι ροές θερμότητας.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ, ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

Το πρόγραμμα EnergyPlus, απαιτεί την αναλυτική περιγραφή των υλικών από τα οποία και κατασκευάζονται οι επιφάνειες του κελύφους του κτηρίου. Για κάθε υλικό ξεχωριστά, πρέπει να ορίζεται η τραχύτητα, το πάχος, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, η πυκνότητα και η θερμοχωρητικότητα του.

Field	Units	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Air Cavity Aw/001/1	Knauf Diamant 1 A\	Mineral Wool 1 A\w	Knauf Diamant 2 A\	Mineral Wool 2 A\w1	Aquapanel Outdoor
Roughness		VerySmooth	VerySmooth	VerySmooth	VerySmooth	VerySmooth	VerySmooth
Thickness	m	0.026	0.015	0.15	0.03	0.05	0.012
Conductivity	W/m-K	0.323789334	0.582820801	0.075550845	0.582820801	0.075550845	0.789632777
Density	kg/m3	1.2	1033	65.0865943	1033	23	1150
Specific Heat	J/kg-K	1000	990	847.83533	990	850	1000

Εικόνα 5.3. Περιγραφή των υλικών του κελύφους

Στη συνέχεια, κατασκευάζονται οι επιφάνειες του κελύφους του κτηρίου ώστε συγκεντρωτικά από τα υλικά από τα οποία και είναι κατασκευασμένες, να προκύψουν οι συνολικές ιδιότητες της κάθε επιφάνειας ξεχωριστά.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		ASHRAE 189.1-200	AW001/101	AW003/103	AW002/102/004/1	DA101	Exterior Door	TRIFLE PANE WIN	BD001
Outside Layer		Theoretical Glass [2	Aquapanel Outdoor	Aquapanel Outdoor	Aquapanel Outdoor	Roof Sealing Film	Typical Door	CLEAR 4.6mm	Concrete Slab
Layer 2		Air Cavity Aw/001/1	Air Cavity Aw/003/1	Air Cavity Aw/002-11	GIFA floor load pan			ARGON 1.6mm	Knauf Diamant BD1
Layer 3		Knauf Diamant 1 A\	Knauf Diamant 1 A\	Knauf Diamant 1 A\	Mineral Wool 1 DA			CLEAR 4.6mm	Mineral Wool BD1C
Layer 4		Mineral Wool 1 A\w	Mineral Wool 1 A\w	Mineral Wool 1 A\w	Knauf Diamant DA1			ARGON 1.6mm	GIFA floor load pan
Layer 5		Knauf Diamant 1 A\	Knauf Diamant 1 A\	Knauf Diamant 1 A\	Mineral Wool 2 DA			CLEAR 4.6mm	Impact Sound Insul
Layer 6		Vip Aw/001-101	Vip Aw/003-103	Vip Aw/002_102_00	Knauf Diamant DA1				GIFA floor Klima
Layer 7		Mineral Wool 2 A\w1	Mineral Wool 2 A\w1	Mineral Wool 2 A\w					Floor Covering
Layer 8		Knauf Diamant 2 A\	Knauf Diamant 2 A\	Knauf Diamant 2 A\					

Εικόνα 5.4. Αποτύπωση στρώσεων δομικών επιφανειών του κτηρίου

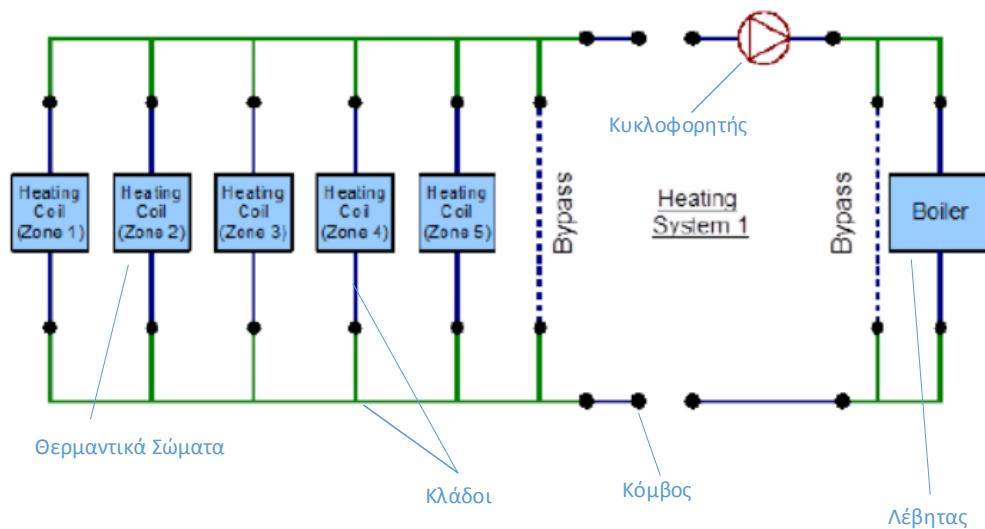
Οι αναλυτικές διαστάσεις των επιφανειών που βρίσκονται εντός θερμικών ζωνών, ορίζονται μέσα από τις συντεταγμένες τους στον χώρο. Ταυτόχρονα, εκτός από τον καθορισμό των επιφανειών (εξωτερική- εσωτερική τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο) πρέπει να περιγράφεται για το εάν είναι εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία και τον άνεμο.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ο σχεδιασμός των ενεργειακών συστημάτων για το κάθε σενάριο ανακαίνισης που εξετάστηκε, πραγματοποιήθηκε εξ' ολοκλήρου στο πρόγραμμα EnergyPlus (σύστημα θέρμανσης, σύστημα ΖΝΧ, σύστημα μηχανικού αερισμού, συστοιχία φωτοβολταϊκών). Στα βήματα κατασκευής, ορίστηκαν οι κλάδοι και οι κόμβοι του δικτύου, τοποθετήθηκαν τα απαραίτητα συστήματα στα κυκλώματα από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού, ενώ ρυθμίστηκαν οι παράμετροι (παροχή νερού, θερμοκρασία νερού) όλων των απαιτούμενων παρελκόμενων στοιχείων για τη λειτουργία των κυκλωμάτων (κυκλοφορητές και θερμοστάτες). Τέλος πραγματοποιήθηκε η διαστασιολόγηση των συστημάτων ανάλογα με

τις απαιτήσεις και τα φορτία του κάθε υπό εξέταση σεναρίου. Το γεγονός πως το περιβάλλον του προγράμματος δεν είναι γραφικό καθιστά τον σχεδιασμό ενός ενεργειακού συστήματος μια σχετικά πολύπλοκη διαδικασία η οποία μάλιστα στις περιπτώσεις σύνθετων συστημάτων απαιτεί πολλές επαληθεύσεις ως προς την ορθή τους λειτουργία.

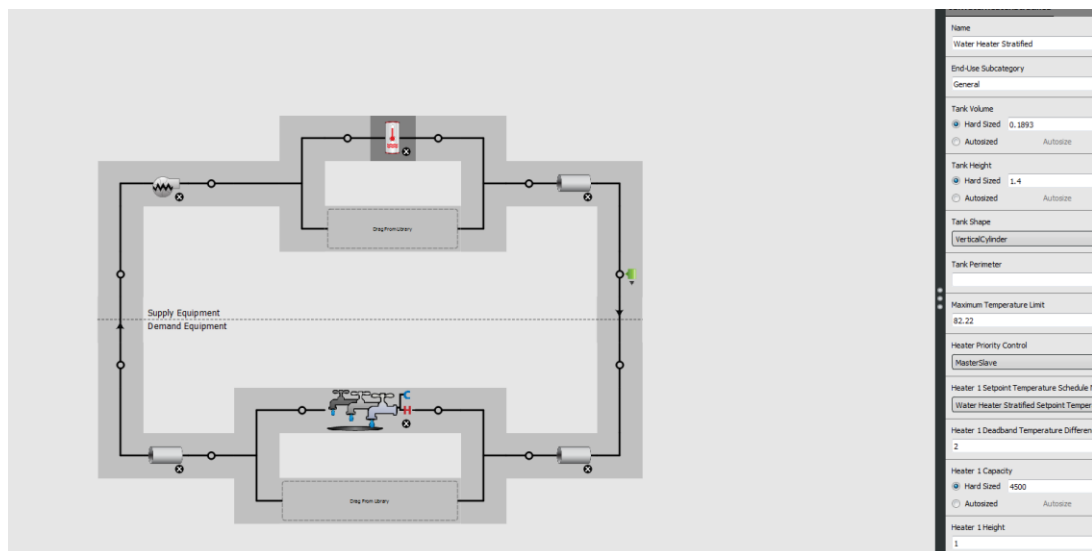
Στην παρακάτω Εικόνα 5.6 παρουσιάζεται ο αρχικός σχεδιασμός του συστήματος θέρμανσης του κτηρίου ενώ στην Εικόνα 5.6 ο τρόπος με τον οποίο αυτό υλοποιείται στο πρόγραμμα EnergyPlus. Στην Εικόνα 5.7 φαίνεται το σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης ανά διαμέρισμα.



Εικόνα 5.5. Σχεδιασμός συστήματος Κεντρικής Θέρμανσης

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Coil Heating Water	Coil Heating Water	Coil Heating Water	Coil Heating Water	Coil Heating Water	Coil Heating Water	Coil Heating Water	Coil Heating Water
Availability Schedule Name		Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete
U-Factor Times Area Value	W/K	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Maximum Water Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Water Inlet Node Name		Node 17	Node 32	Node 23	Node 39	Node 47	Node 56	Node 64	Node 71
Water Outlet Node Name		Node 18	Node 33	Node 24	Node 40	Node 48	Node 57	Node 65	Node 72
Air Inlet Node Name		Node 581	Node 645	Node 715	Node 778	Node 799	Node 802	Node 811	Node 812
Air Outlet Node Name		Node 13	Node 11	Node 27	Node 35	Node 43	Node 51	Node 59	Node 67
Performance Input Method		UFactorTimesArea	UFactorTimesArea	UFactorTimesArea	UFactorTimesArea	UFactorTimesArea	UFactorTimesArea	UFactorTimesArea	UFactorTimesArea
Rated Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Rated Inlet Water Temperature	C	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2	82.2
Rated Inlet Air Temperature	C	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
Rated Outlet Water Temperature	C	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1
Rated Outlet Air Temperature	C	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2
Rated Ratio for Air and Water Convection		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Design Water Temperature Difference	deltaC								

Εικόνα 5.6. Υλοποίηση του συστήματος Κεντρικής Θέρμανσης στο λογισμικό EnergyPlus



Εικόνα 5.7. Σχεδιασμός του κυκλώματος Ζεστού Νέρου Χρήσης ανά διαμέρισμα

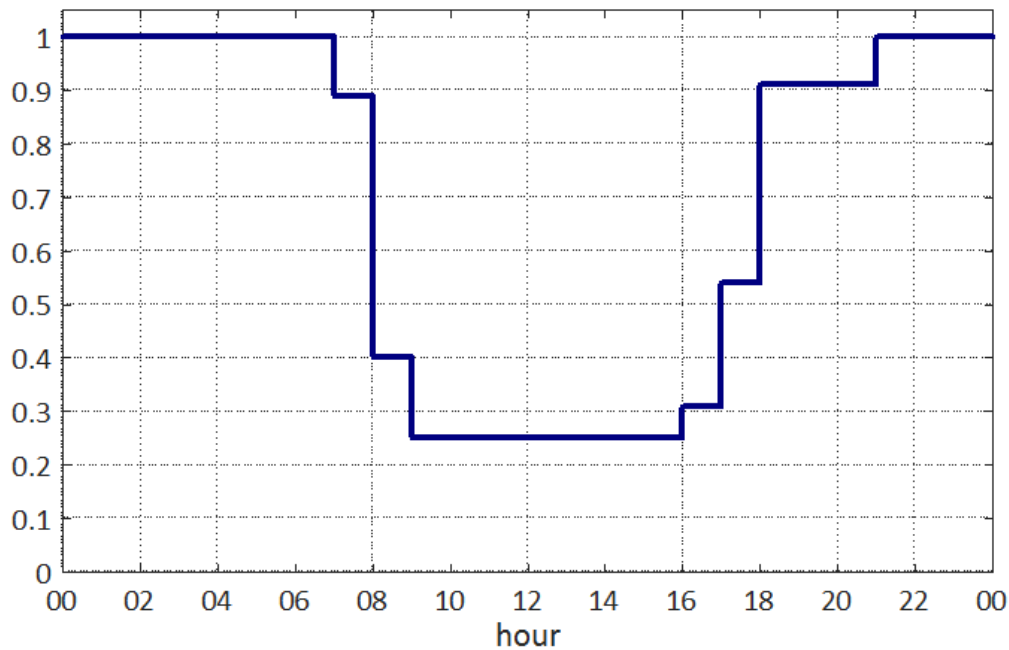
5.3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Ως προς τον ενεργειακό σχεδιασμό του κτηρίου, και τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης του, έγιναν παραδοχές, βασιζόμενες σε προδιαγραφές παραμέτρων από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.).

Πίνακας 5.5. Γενικές βασικές παραδοχές σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.

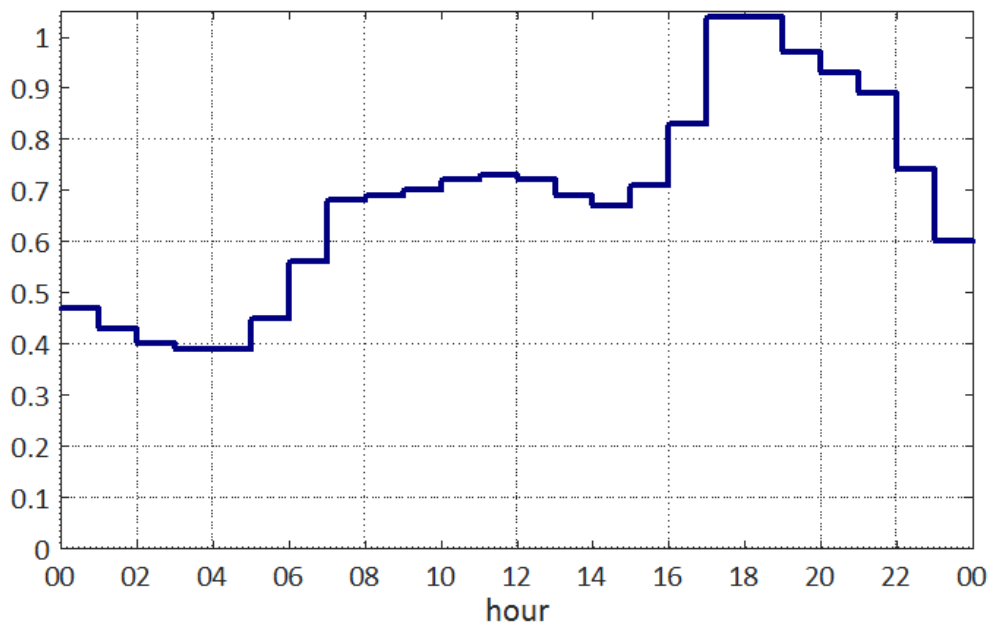
Μονοκατοικίες, Πολυκατοικίες	
Χρήστες Κτηρίου	0.05 άτομα/m ²
Αερισμός	0.26 ACH
Φωτισμός	5W/m ²
Ηλεκτρικές Συσκευές	4W/m ²
Κατανάλωση ΖΝΧ	50lt/άτομο/ημέρα

Ταυτοχρόνως, θεωρήθηκαν τα παρακάτω προφίλ λειτουργίας του κτηρίου, τα οποία βασίζονται σε όσο πιο δυνατόν ρεαλιστικά σενάρια. Στην Εικόνα 5.8 παρουσιάζεται το προφίλ της παρουσίας των ατόμων εντός των διαμερισμάτων. Με μέγιστο τη τιμή 1 οπότε και δηλώνεται πως στο διαμέρισμα βρίσκονται όλοι του οι ένοικοι, παρατηρούμε τις ωριαίες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια μιας Συμβατικής ημέρας. Οι διακυμάνσεις αυτές, έχουν γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε ο ημερήσιος συντελεστής παρουσίας να πλησιάζει τη τιμή 0.75 που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ για οικιστική χρήση του κτηρίου.



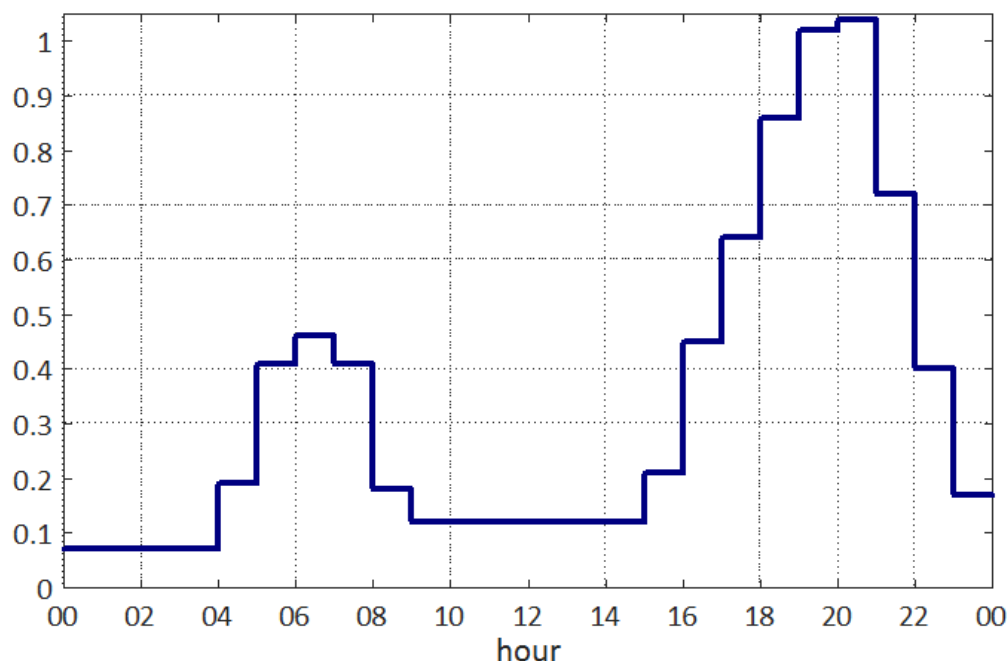
Εικόνα 5.8. Ημερήσιος συντελεστής παρουσίας

Στην παρακάτω Εικόνα 5.9, απεικονίζεται το προφίλ λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών για κάθε διαμέρισμα του κτηρίου, ώστε να εκτιμηθεί η θερμική ισχύς του ηλεκτρικού εξοπλισμού του κτηρίου ως προς τον υπολογισμό της ενεργειακής του απόδοσης. Οι ωριαίες διακυμάνσεις έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζουν ένα πραγματικό προφίλ λειτουργίας. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., η ισχύς του εξοπλισμού ορίζεται για κατοικίες στα $4\text{W}/\text{m}^2$ με μέσο συντελεστή ετεροχρονισμού ίσο με 0.5 και μέσο συντελεστή λειτουργίας 0.75.



Εικόνα 5.9. Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών/εξοπλισμού

Τέλος στην Εικόνα 5.10, φαίνεται το προφίλ λειτουργίας του φωτισμού του κάθε διαμερίσματος. Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464.1:2011, δίνονται αναλυτικά τα προτεινόμενα επίπεδα φωτισμού ανά χρήση χώρου. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. η ελάχιστη στάθμη φωτισμού για κατοικίες ορίζεται στα 200lx. Θεωρώντας πως στα διαμερίσματα χρησιμοποιούνται σύγχρονοι λαμπτήρες LED, η πυκνότητα ισχύος τους ανά 100lx, δίνεται από τον κανονισμό ίση με $2.5\text{W}/\text{m}^2/100\text{lx}$.



Εικόνα 5.10. Ημερήσιο προφίλ λειτουργίας ισχύος φωτισμού

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΚΤΗΡΙΟΥ

Για το υπό μελέτη κτήριο, θεωρήθηκε πως κάθε διαμέρισμα χωρίζεται σε δυο θερμικές ζώνες, δηλαδή σε χώρους με παρόμοια χρήση και ίδιο προφίλ λειτουργίας. Η μια ζώνη αφορά τους κοινόχρηστους χώρους του διαμερίσματος, ενώ η δεύτερη τα υπνοδωμάτια. Οι συνολικές θερμικές ζώνες του κτηρίου είναι 41, συμπεριλαμβανομένης και της θερμικής ζώνης του κλιμακοστασίου η οποία και θεωρείται ως μη θερμαινόμενος χώρος (Μ.Θ.Χ.).

ΠΡΟΦΙΛ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ-ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Για τον ενεργειακό σχεδιασμό του κτηρίου, καθορίστηκε ένα τυπικό προφίλ λειτουργίας σε κάθε θερμική ζώνη των διαμερισμάτων, ανάλογα με τη χρήση τους. Οι θερμοστάτες των συστημάτων θέρμανσης, ρυθμίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε όταν σε αυτά απουσιάζουν οι ένοικοι τους, η θερμοκρασία τους να είναι 18°C , ενώ όταν είναι κατειλημμένα οι θερμοστάτες να είναι ρυθμισμένοι στους 20°C . Κατά τις βραδινές ώρες η θερμοκρασία των θερμοστατών βρίσκεται στους 20°C στα υπνοδωμάτια και στους 18°C στους υπόλοιπους χώρους του διαμερίσματος.

ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις αερισμού όπως ορίζονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007, στο πρότυπο της ASHRAE 62.1-2010 και στην Τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86 υπολογίζεται μια μέση τιμή σε ότι αφορά τον αερισμό του κτηρίου. Στον υπολογισμό αυτό, υπολογίζεται ξεχωριστά ο αερισμός από τις διαφυγές αέρα λόγω διείσδυσης του αέρα από χαραμάδες κουφωμάτων, όσο και από τις άλλες διόδους του κτηρίου όπως για παράδειγμα οι αρμοί του (infiltration) αλλά και ο αερισμός από τη χρήση συστημάτων μηχανικού αερισμού για το υπό εξέταση κτήριο (ventilation) [45-48].

Σύμφωνα με τις παραπάνω οδηγίες, για να εξασφαλιστούν οι συνθήκες υγιεινής στο εσωτερικό του κτηρίου απαιτείται η αντικατάσταση μέρους του εσωτερικού αέρα από νωπό αέρα περιβάλλοντος. Σε γενικές γραμμές, οι απαιτήσεις νωπού αέρα πρέπει να καθορίζονται ώστε να καλύπτεται ο ελάχιστος απαιτούμενος αερισμός ($m^3/h/άτομο$), ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού ($άτομα/m^3$) ανά χρήση κτηρίου. Ο ενδεικνυόμενος απαιτούμενος αερισμός αέρα ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου για πολυκατοικίες εκτιμάται στα $0.75 m^3/h/m^2$.

Στο υπάρχον κτήριο, είναι τοποθετημένα κουφώματα με μονό υαλοπίνακα, με συνθετικό πλαίσιο χωρίς πιστοποίηση με τον αερισμό από διαφυγές αέρα λόγω διείσδυσης (infiltration), εξαιτίας της ύπαρξης χαραμάδων ανά μονάδα επιφάνειας να θεωρείται ίσος με $8.7 m^3/h/m^2$. Για τα σενάρια της «Συμβατικής» και της «Καινοτόμου» ανακαίνισης έχουν τοποθετηθεί κουφώματα με πιστοποίηση κατά EN12207, κλάσης αεροπερατότητας 4, με βάση τη συνολική επιφάνεια του κουφώματος, με την τιμή διείσδυσης του αέρα λόγω ύπαρξης χαραμάδων ανά μονάδα επιφάνειας να είναι ίση με $0.5 m^3/h/m^2$ [45-48]

ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΑΠΟ ΧΡΗΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ

Η εκλυόμενη θερμότητα επηρεάζει την εσωτερική θερμοκρασία των χώρων ως εκ τούτου και τα πραγματικά φορτία θέρμανσης και ψύξης. Γι αυτό και κατά την ενεργειακή αξιολόγηση ενός κτηρίου, θα πρέπει τα εσωτερικά αυτά κέρδη να συνυπολογίζονται. Γενικά, συμπεριλαμβάνουν τρεις βασικές κατηγορίες.

- Τον ηλεκτροφωτισμό (αισθητά κέρδη)
- Την έκλυση θερμότητας από τους ανθρώπους (αισθητά και λανθάνοντα κέρδη).
- Τον εξοπλισμό (αισθητά κέρδη στην πλειοψηφία των εφαρμογών).

Η εκλυόμενη θερμότητα χρηστών ανά χρήση κτηρίου για τον υπολογισμό της ενεργειακής του απόδοσης πραγματοποιήθηκε, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές για την εκπομπή θερμικής ισχύος ανά μονάδα μεικτής επιφάνειας κτηρίου (W/m^2) και τον μέσο συντελεστή παρουσίας χρηστών που δίνονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017. Έτσι η θερμική ισχύς ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας ορίστηκε στα $3W/m^2$ λαμβάνοντας υπόψη πως ο μέσος συντελεστής παρουσίας, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο είναι παρόντες οι χρήστες στο χώρο είναι 0.75.

Η εκλυόμενη θερμική ισχύς από ηλεκτρικό εξοπλισμό εκτιμήθηκε σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2008, λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές ισχύος ηλεκτρικών συσκευών για τον

τύπο του κτηρίου, τον μέσο συντελεστή ετεροχρονισμού αλλά και το μέσο συντελεστή πραγματικού χρόνου λειτουργίας του κτηρίου και κατά συνέπεια των ηλεκτρικών συσκευών. Η εκτιμώμενη θερμική ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών του κτηρίου θεωρήθηκε ίση με $1.5\text{W}/\text{m}^2$.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ

Κάθε κτήριο, ανάλογα με τη γενική του χρήση αλλά και τις συνήθειες των χρηστών του, παρουσιάζει διαφορετική κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας για παραγωγή Ζ.Ν.Χ., λαμβάνονται τιμές από τη διεθνή βιβλιογραφία που προτείνονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15316.4.1.2008 [48]. Οι υπολογισμοί αυτοί, γίνονται βάσει των τετραγωνικών που καταλαμβάνει η χρήση για την οποία υπάρχει απαίτηση Ζ.Ν.Χ. και όχι για το σύνολο του κτηρίου.

Η Συμβατική κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (σε θερμοκρασία 45°C) για το υπό μελέτη κτήριο, ώστε να προσδιορισθεί η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του, θεωρήθηκε ίση με $50\text{lt}/\text{άτομο}/\text{ημέρα}$.

5.3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η λήψη σημαντικών και πολύπλοκων προβλημάτων δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ακολουθώντας μια μονόπλευρη και μονοδιάστατη ανάλυση. Για το λόγο αυτό, η τεchnοοικονομική ανάλυση μπορεί να αποτελέσει πολύ χρήσιμο εργαλείο λήψης απόφασης, αφού συνθέτει και τεχνικά και οικονομικά ζητήματα, διατηρώντας τους στόχους και τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα - μελετητή.

Στην τεchnοοικονομική ανάλυση της εργασίας αυτής, χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι. Η μέθοδος ανάκτησης κεφαλαίου και ο υπολογισμός του καθαρού παρόντος κόστους. Για τον υπολογισμό του αρχικού κόστους κάθε επένδυσης, λήφθηκε υπόψη το κόστος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την αναβάθμιση του κελύφους και των παρελκόμενων των ενεργειακών συστημάτων (κόστος δομικών/μονωτικών υλικών, σωληνώσεων), το κόστος αντικατάστασης των ενεργειακών συστημάτων, καθώς και το εργατικό κόστος για όλα τα παραπάνω. Δε λήφθηκαν υπόψη και για τις δύο περιπτώσεις ανακαίνισης, τα κόστη προεργασίας του κελύφους για την εγκατάσταση της συμβατικής μόνωσης και της κατεδάφισης της τοιχοποιίας για το σενάριο της «Καινοτόμου» ανακαίνισης, καθώς σκοπός ήταν η τεchnοοικονομική ανάλυση από τη στιγμή της τοποθέτησης των μονωτικών υλικών και της προκατασκευασμένης τοιχοποιίας.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Η οικονομική ανάλυση και αξιολόγηση της επένδυσης για τα δυο σενάρια ανακαίνισης του κτηρίου, βασίστηκε στη μέθοδο του Χρόνου Ανάκτησης Κεφαλαίου. Ο χρόνος απόσβεσης (ΧΑ), που αποτελεί μια πρώτη εκτίμηση υπολογισμού της αποδοτικότητας μιας επένδυσης, προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες σχέσεις:

$$PP = \frac{C_o}{C_t} \quad (5.1)$$

Όπου C_o είναι η Αρχική Δαπάνη (ΑΔ) και C_t το Ετήσιο Όφελος (ΕΟ) της κάθε επένδυσης. Το Ετήσιο Όφελος (C_t) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$C_t = OC_{EB} - OC_{RB} \quad (5.2)$$

Όπου OC_{EB} είναι το λειτουργικό κόστος για την υπάρχουσα κατασκευή, και OC_{RB} το λειτουργικό κόστος για κάθε περίπτωση ανακαίνισης του κτηρίου.

ΚΑΘΑΡΟ ΠΑΡΟΝ ΚΟΣΤΟΣ (ΚΠΚ)

Το καθαρό παρόν κόστος (net present cost – NPC) , εκφράζει το καθαρό κέρδος μιας επένδυσης αναγόμενο στην παρούσα αξία του χρήματος. Με το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχομένων και εξερχομένων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση περιόδου, υπολογίζεται το πλεόνασμα ή έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων που χρησιμοποιήθηκαν για την επένδυση αυτή. Λαμβάνοντας υπόψη το αρχικό κόστος της επένδυσης (C_o), την ετήσια εισερχόμενη χρηματοροή (E) και το πραγματικό επιτόκιο r , προκύπτει πως:

$$NPC = -C_o + \sum_{i=1}^N \frac{E_i}{(1+r)^i} \quad (5.3)$$

Τα βήματα για τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι:

- Ο καθορισμός των ταμειακών ροών που συνδέονται με ένα έργο ή μια επένδυση καθώς και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο αυτές προκύπτουν. Οι ταμειακές ροές είναι είτε θετικές (εισροή χρημάτων), είτε αρνητικές (εκροές χρημάτων/δαπάνες).
- Η επιλογή του κατάλληλου προεξοφλητικού επιτοκίου, το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της Παρούσας αξίας των μελλοντικών ταμειακών ροών.
- Το άθροισμα της Παρούσας Αξίας όλων των ταμειακών ροών, θετικών και αρνητικών για τον υπολογισμό του NPC, ώστε να προκύψει εάν η επένδυση είναι κερδοφόρα ή ζημιογόνος.

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ

Το υπό-μελέτη κτήριο Εικόνα 5.1 προσομοιώθηκε για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις (υπάρχουσα κατάσταση, «Συμβατική» και «Καινοτόμος» ανακαίνιση), όπως περιγράφηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο με τη χρήση του προγράμματος EnergyPlus. Η προσομοίωση έγινε για ένα ολόκληρο έτος με κλιματικά δεδομένα της περιοχής της Αθήνας, προερχόμενα από τη βάση δεδομένων του προγράμματος. Τα πρόγραμμα εξήγαγε αποτελέσματα καταναλώσεων ενέργειας για θέρμανση και Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX) τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας με βάση τους συντελεστές του Πίνακας 5.4.

Τα αποτελέσματα που αφορούν την ενεργειακή ανάλυση του κτηρίου για τις τρεις περιπτώσεις, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.1 και οπτικά στην Εικόνα 6.1. Ο συνολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας του υπάρχοντος κτηριακού κελύφους είναι 6481 W/K. Με την αναβάθμιση του κελύφους, στην περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης, ο συντελεστής απωλειών θερμότητας του κελύφους μειώνεται κατά 75%, ενώ στη περίπτωση της «Καινοτόμος» ανακαίνισης, η χρήση των προκατασκευασμένων τοιχοποιιών με ελαφρύ μεταλλικό σκελετό, οδηγεί σε μείωση κατά 86%. Η επιμέρους αυτή μείωση του συντελεστή απωλειών, οφείλεται στο γεγονός ότι το U-value των προκατασκευασμένων τοιχοποιιών είναι κατά 40% μικρότερο από την περίπτωση κατά την οποία χρησιμοποιείται συμβατική μόνωση στο κέλυφος του κτηρίου..

Σε ότι αφορά την κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου για θέρμανση, στο σενάριο της «Συμβατικής» ανακαίνισης η πρωτογενή κατανάλωση μειώθηκε κατά 79%, ενώ σε αυτό της «Καινοτόμου» κατά 88%, επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση κατά 95.2 kWh/(m².year). Η περαιτέρω μείωση στην περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης οφείλεται τόσο στην επιπλέον μονωτική ικανότητα της προκατασκευασμένης τοιχοποιίας που αναλύθηκε προηγουμένως όσο και στη χρήση των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτηρίου (BEMs).

Η αναβάθμιση των συστημάτων για την παραγωγή ZNX είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας για ZNX κατά 79%. Εξαιτίας της χρήσης του ίδιου συστήματος (ατομικός λέβητας φυσικού αερίου και ηλιακοί συλλέκτες) η μείωση ενέργειας είναι η ίδια και για τα δύο σενάρια ανακαίνισης.

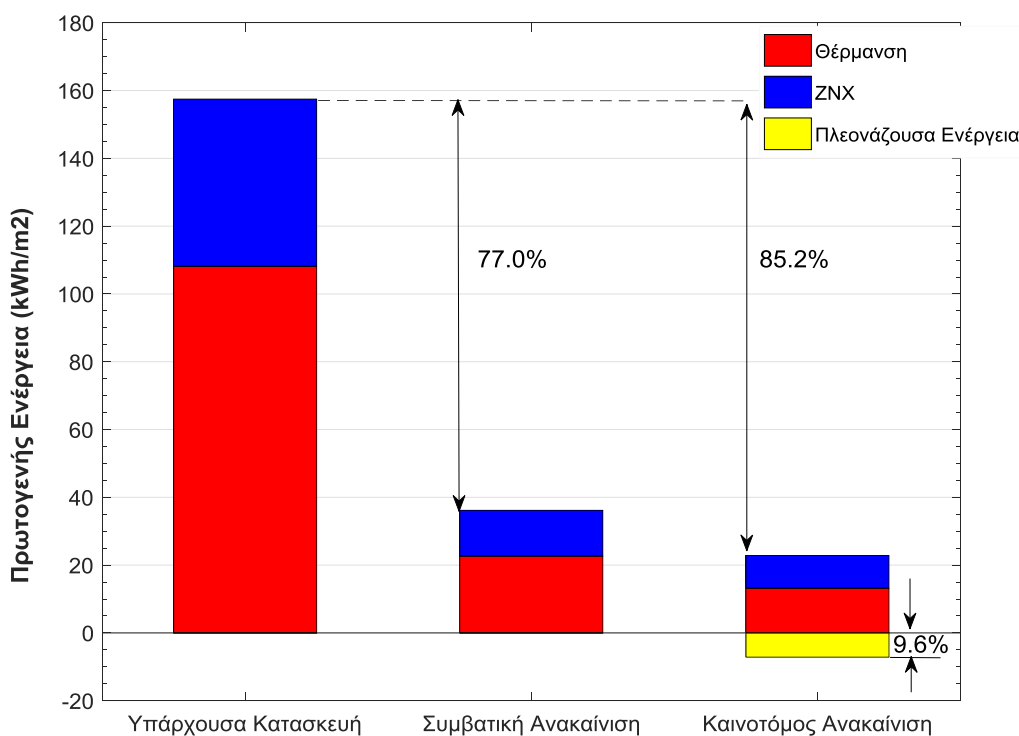
Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 15.2 kWh/(m².year). Η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται για τις ιδιοκαταναλώσεις των ενεργειακών συστημάτων του κτηρίου για θέρμανση και παραγωγή ZNX και η πλεονάζουσα ενέργεια θεωρείται ότι πωλείται στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την «Συμβατική» ανακαίνιση η συνολική πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου, μειώθηκε κατά 124.4 kWh/(m².year). Τέλος, το σενάριο της «Καινοτόμου»

ανακαίνισης είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κτηρίου με απαιτούμενη συνολική πρωταρχική χρήση ενέργειας για θέρμανση και ΖΝΧ ίση με 8.2kWh/(m²·year).

Πίνακας 6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων ενεργειακής προσομοίωσης

	Υπάρχουσα Κατασκευή	Συμβατική Ανακαίνιση	Καινοτόμος Ανακαίνιση
Συνολικός Συντελεστής Απωλειών Θερμότητας του κτηρίου [W/K]	6481	1623	905
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για Θέρμανση [kWh/m ² year]	108.1	22.6	12.9
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για ΖΝΧ [kWh/m ² year]	49.4	10.5	10.5
Ετήσια πρωτογενής Ενεργειακή Παραγωγή [kWh/m ² year]	0	0	15.2
Συνολική πρωταρχική χρήση ενέργειας [kWh/m ² year]	157.5	33.1	8.2



Εικόνα 6.1. Καταναλώσεις ενέργειας και εξοικονόμηση για τα σενάρια ανακαίνισης

Ο Πίνακας 6.2 παρουσιάζει αναλυτικά τις ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση και παραγωγή ΖΝΧ για την υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου. Παρατηρείται ότι το 70% της συνολικής πρωταρχικής χρήσης ενέργειας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και το υπόλοιπο 30% για την παραγωγή ΖΝΧ. Συνολικά απαιτούνται 153.2 kWh/(m²·year) πρωτογενούς ενέργειας (πετρέλαιο) για τη θέρμανση του κτηρίου και 4.3 kWh/(m²·year) πρωτογενούς ενέργειας (ηλεκτρισμός) για θέρμανση και παραγωγή ΖΝΧ.

Πίνακας 6.2 - Ενεργειακές καταναλώσεις για την Υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου

[kWh/m ² year]	Πετρέλαιο	Ηλεκτρισμός	Σύνολο
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για Θέρμανση	107.3	0.8	108.1
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για ΖΝΧ	45.9	3.5	49.4
Συνολικό πρωτογενές Ενεργειακό Ισοζύγιο του κτηρίου	153.2	4.3	157.5

Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει αναλυτικά τις ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση και παραγωγή ΖΝΧ για την περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης του κτηρίου. Συνολικά απαιτούνται 26.5 kWh/(m²·year) πρωτογενούς ενέργειας από φυσικό αέριο, όπου το 65% χρησιμοποιείται για θέρμανση και το υπόλοιπο 35% για την παραγωγή ΖΝΧ. Παρατηρείται αύξηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων των ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης, σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση (Πίνακας 6.2), εξαιτίας της λειτουργίας του συστήματος αερισμού και ανάκτησης θερμότητας.

Πίνακας 6.3 - Ενεργειακές καταναλώσεις για την «Συμβατική» ανακαίνιση του κτηρίου

[kWh/m ² year]	Φυσικό Αέριο	Ηλεκτρισμός	Σύνολο
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για Θέρμανση	17.2	5.4	22.6
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για ΖΝΧ	9.3	1.2	10.5
Συνολικό πρωτογενές Ενεργειακό Ισοζύγιο του κτηρίου	26.5	6.6	36.1

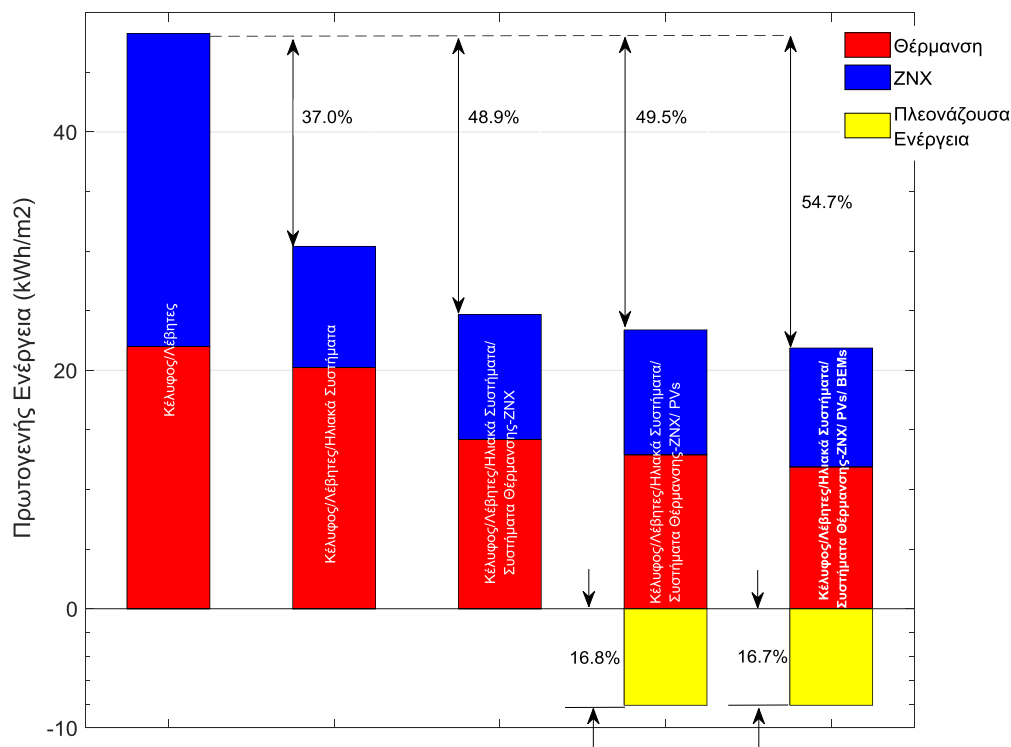
Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζεται το ενεργειακό ισοζύγιο για την περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης του κτηρίου. Παρατηρείται ότι απαιτείται μεγαλύτερο ποσό πρωτογενούς ενέργειας από φυσικό αέριο για την παραγωγή ΖΝΧ (57% της συνολικής ενέργειας) σε σχέση με την κάλυψη των αναγκών για θέρμανση (43% της συνολικής ενέργειας). Αυτό οφείλεται στην αναβάθμιση του κελύφους με τα προκατασκευασμένα συστήματα ξηράς δόμησης και τα υπέρ-μονωτικά υλικά, καθώς επίσης και στη χρήση των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτηρίου (BEMs).

Σημειώνεται πως η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιείται για να καλυφθούν οι ηλεκτρικές ανάγκες λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων για θέρμανση και ΖΝΧ. Η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση από ηλεκτρισμό των συστημάτων αυτών είναι 7.1 kWh/(m²·year). Η συνολική παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι 15.2 kWh/(m²·year), η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή τα 8.1 kWh/(m²·year), πωλείται στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 6.4. Ενεργειακό ισοζύγιο για την «Καινοτόμο» ανακαίνιση του κτηρίου

[kWh/m ² year]	Φυσικό Αέριο	Ηλεκτρισμός	Σύνολο
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για Θέρμανση	-7.0	-5.9	-12.9
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για ΖΝΧ	-9.3	-1.2	-10.5
Ετήσια πρωτογενής Ενεργειακή Παραγωγή		+15.2	+15.2
Συνολικό πρωτογενές Ενεργειακό Ισοζύγιο του κτηρίου	-16.3	+8.1	-8.2

Οι ενεργειακές καταναλώσεις και οι μειώσεις που επιφέρουν η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών, το σύστημα μηχανικού αερισμού, η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων και η εγκατάσταση των BEMs, παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.2. Σαν κατάσταση αναφοράς, ορίζεται η περίπτωση κατά την οποία έχει πραγματοποιηθεί ανακαίνιση του κελύφους του κτηρίου με τοποθέτηση προκατασκευασμένων τοιχοποιιών και αναβάθμιση των λεβήτων και των σωληνώσεων για θέρμανση και παραγωγή ΖΝΧ. Η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών οδηγεί σε μια επιμέρους εξοικονόμηση ενέργειας κατά 17.9 kWh/(m².year). Η εγκατάσταση του συστήματος μηχανικού αερισμού με ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας οδηγεί σε επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας κατά 5.7 kWh/(m².year). Επιπλέον, η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα περαιτέρω μείωση στη κατανάλωση ενέργειας, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτά χρησιμοποιείται για τη κάλυψη της λειτουργίας σε ηλεκτρισμό των ενεργειακών συστημάτων του κτηρίου. Η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που πωλείται στο δίκτυο, μεταφράζεται σε μια περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας κατά 16.8%. Τέλος, με τη λειτουργία των BEMs, τα οποία και ελέγχουν τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα του κτηρίου, επιτυγχάνονται βέλτιστες συνθήκες άνεσης για τους ενοίκους του κτηρίου, βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων και όσο το δυνατόν μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας από τη λειτουργία των BEMs είναι της τάξης του 5%.



Εικόνα 6.2. Εξοικονόμηση ενέργειας από την τοποθέτηση ηλιακών συστημάτων, την εγκατάσταση μηχανικού αερισμού, φωτοβολταϊκών συστημάτων και BEMs

6.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ

Σε αυτή την ενότητα αξιολογούνται συμβατικές παρεμβάσεις για το υπό-μελέτη κτήριο με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Οι παρεμβάσεις αυτές είναι σχεδιασμένες στο πλαίσιο των εθνικών σχεδίων δράσεων ενεργειακής απόδοσης, παρέχοντας οικονομικά κίνητρα με μορφή επιδότησης (π.χ. πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ’ Οίκον»). Τα ενδεικτικά μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου αφορούν:

1. Τη μόνωση του κελύφους του κτηρίου (τοιχοποιία, δάπεδο και οροφή) με συμβατικά μονωτικά υλικά
2. Την αντικατάσταση των κουφωμάτων με παράθυρα/υαλοπίνακες υψηλής ενεργειακής απόδοσης (τριπλοί υαλοπίνακες)
3. Την τοποθέτηση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και παραγωγής ZNX
4. Τον συνδυασμό των παραπάνω.

Ο Πίνακας 6.5 και η Εικόνα 6.3 παρουσιάζουν τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου, έπειτα από τις παρεμβάσεις, θέτοντας ως κτήριο αναφοράς το κτήριο κατά την υπάρχουσα του κατάσταση.

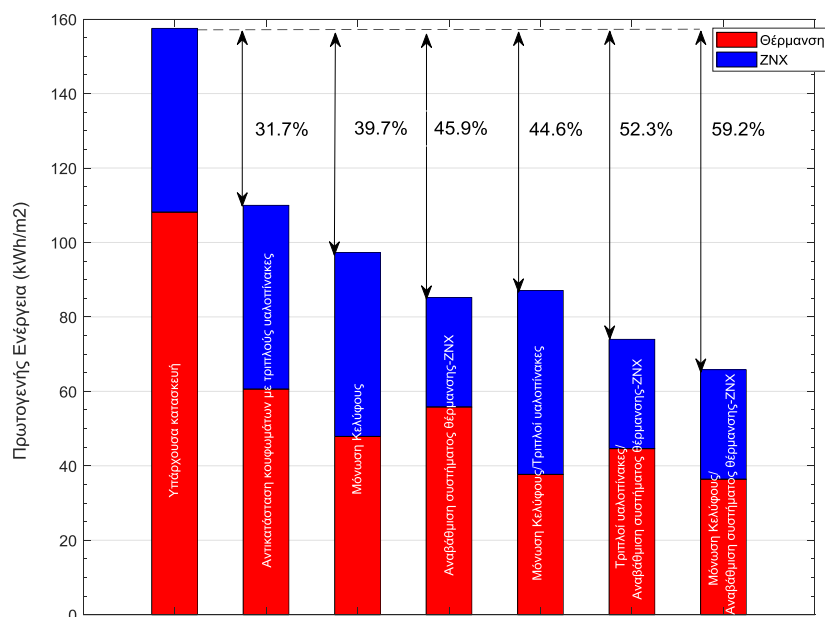
Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται από τη μόνωση του κελύφους είναι περίπου 40%, καθώς η πρωτογενής ενέργεια για θέρμανση μειώνεται κατά 63 kWh/(m²·year). Για την περίπτωση κατά την οποία οι απλοί υαλοπίνακες του κτηρίου αντικαθίστανται από τριπλά παράθυρα υψηλής ενεργειακής απόδοσης εξοικονομείται 32% συνολικής πρωτογενούς

ενέργειας, μειώνοντας τις ανάγκες για θέρμανση κατά 50 kWh/(m².year). Η αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης και ΖΝΧ εξοικονομεί συνολικά 46%, καθώς μειώνονται οι απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση κατά 52 kWh/(m².year). και για παραγωγή ΖΝΧ κατά 20 kWh/(m².year).

Η αναβάθμιση ολόκληρου του κελύφους με την τοποθέτηση συμβατικής μόνωσης και αντικατάσταση των ανοιγμάτων οδηγεί σε μείωση της συνολικής ενέργειας κατά 46% μειώνοντας τις ανάγκες για θέρμανση κατά 73 kWh/(m².year). Ο συνδυασμός της αντικατάστασης των ανοιγμάτων με την αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης και ΖΝΧ οδηγεί σε 52% εξοικονόμηση ενέργειας. Ο συνδυασμός της τοποθέτησης μόνωσης με ταυτόχρονη αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης και ΖΝΧ οδηγεί σε συνολική εξοικονόμηση κατά 59%, μειώνοντας τις απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση κατά 73 kWh/(m².year). και για παραγωγή ΖΝΧ κατά 20 kWh/(m².year).

Πίνακας 6.5. Αποτελέσματα παρεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου

[kWh/m ² year]	Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για Θέρμανση	Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για ΖΝΧ	Συνολική πρωταρχική χρήση ενέργειας
Υπάρχουσα Κατάσταση	108.1	49.4	157.5
Μόνωση Κελύφους	45.5	49.4	94.9
Αντικατάσταση κουφωμάτων με τριπλούς υαλοπίνακες	58.1	49.4	107.5
Αναβάθμιση Συστήματος θέρμανσης και συστημάτων παραγωγής ΖΝΧ	55.8	29.4	85.2
Μόνωση κελύφους και αντικατάσταση κουφωμάτων (τριπλοί υαλοπίνακες)	35.2	49.4	84.6
Αντικατάσταση υαλοπινάκων (τριπλοί υαλοπίνακες) και Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης	45.7	29.4	75.1
Μόνωση κελύφους και αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης	34.8	29.4	64.2



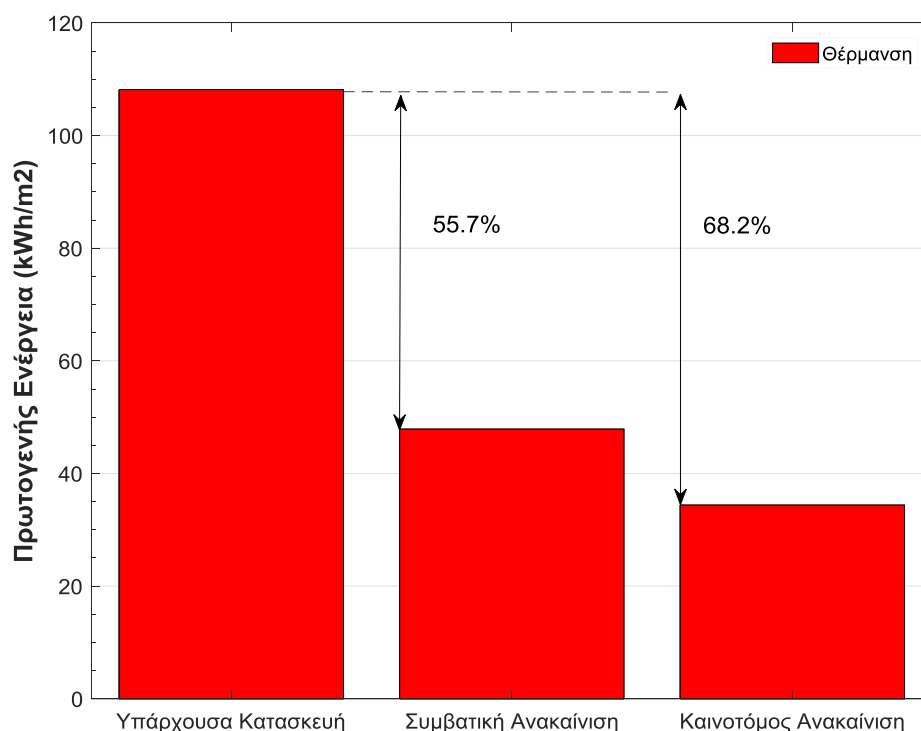
Εικόνα 6.3. Ενεργειακές καταναλώσεις και εξοικονόμηση ενέργειας για συμβατικές παρεμβάσεις ανακαίνισης του υπάρχοντος κτηρίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η μέγιστη μείωση της αναγκαίας πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μόνωσης στα αδιαφανή στοιχεία του κελύφους και την αναβάθμιση των ενεργειακών του συστημάτων για θέρμανση. Η θερμική μόνωση του κελύφους είναι σημαντικό στοιχείο για τον σχεδιασμό ενός κτηρίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Γενικά, ο στόχος πρέπει να είναι η επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερης και αποδοτικότερης μόνωσης. Στα δύο σενάρια ανακαίνισης («Συμβατική» και «Καινοτόμος» ανακαίνιση) εξετάστηκαν δύο διαφορετικοί τρόποι αναβάθμισης των αδιαφανών στοιχείων του κελύφους: α) την τοποθέτηση συμβατικής μόνωσης στην «Συμβατική» ανακαίνιση και β) στην αντικατάσταση ολόκληρου του κελύφους με προκατασκευασμένα συστήματα ξηράς δόμησης και υπέρ-μονωτικά υλικά.

Θεωρώντας πως τα ενεργειακά συστήματα για θέρμανση είναι παρόμοια σε όλες τις περιπτώσεις (λέβητας πετρελαίου ονομαστικής απόδοσης 80% και σωληνώσεις μη μονωμένες), εξετάστηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση σε κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6 και οπτικά στην Εικόνα 6.4. Παρατηρείται ότι η τοποθέτηση συμβατικής μόνωσης μειώνει τις απαιτήσεις του κτηρίου για τη θέρμανση κατά 59.4 kWh/(m²·year) για το σενάριο της «Συμβατικής» ανακαίνισης εξοικονομώντας 55%. Από την άλλη πλευρά η πλήρης αντικατάσταση του κελύφους με τα προκατασκευασμένα συστήματα ξηράς δόμησης επιτυγχάνει μείωση των αναγκών για θέρμανση κατά 68%, δηλαδή 73 kWh/(m²·year). Και για τα δύο σενάρια, περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας κατά 33.4 kWh/(m²·year) επιτυγχάνεται έπειτα από την αντικατάσταση των παλαιών λεβήτων και σωληνώσεων για τη θέρμανση των διαμερισμάτων και την παραγωγή ZNX.

Πίνακας 6.6. Πρωτογενής ενέργεια για θέρμανση του κτηρίου έπειτα από την ανακατασκευή του κελύφους του

	Υπάρχουσα Κατάσταση	Τοποθέτηση Μόνωσης («Συμβατική» Ανακαίνιση)	Τοποθέτηση Συστημάτων ξηράς δόμησης («Καινοτόμος» Ανακαίνιση)
Πρωτογενής Ενεργειακή Κατανάλωση για Θέρμανση [kWh/m² year]	108.1	47.9	34.4



Εικόνα 6.4 Εξοικονόμηση ενέργειας ύστερα από την ανακαίνιση του κελύφους του κτηρίου

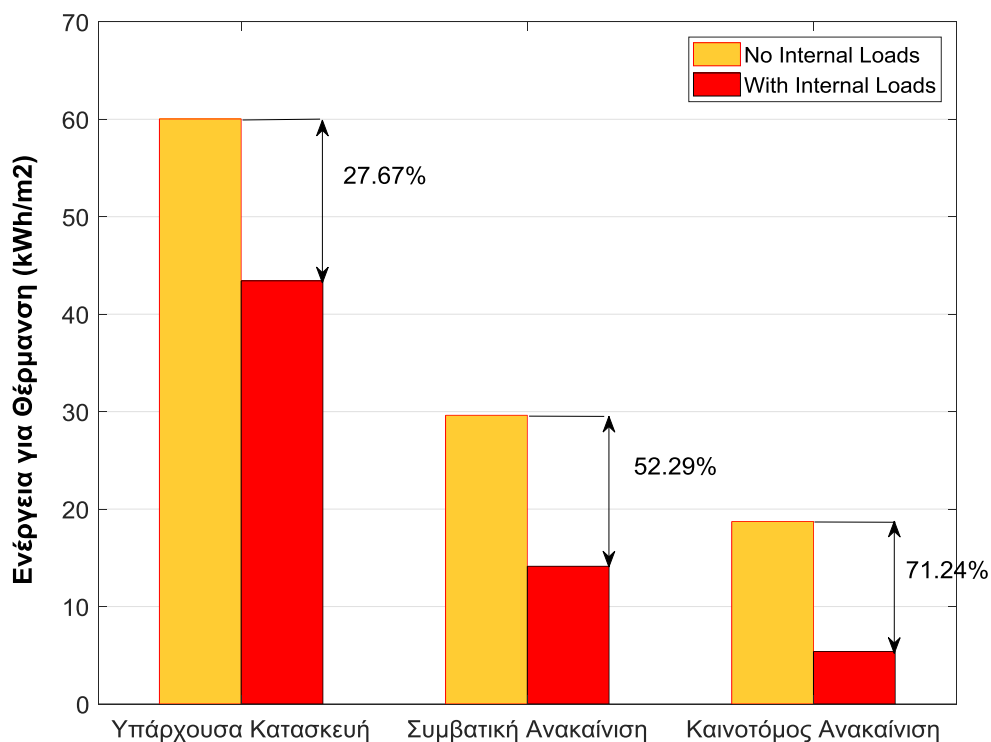
6.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ

Μια αρχική εκτίμηση των πρωτογενών ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου, σε θέρμανση, ψύξη, καθώς επίσης σε ηλεκτρισμό, έγινε θεωρώντας πως τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου είναι ιδανικά. Στη περίπτωση αυτή, υπολογίστηκαν οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις, για κάθε περίπτωση ανακαίνισης του κελύφους του κτηρίου. Τα αποτελέσματα για την περιοχή της Αθήνας που προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.7. Η ηλεκτρική κατανάλωση για τη λειτουργία των συσκευών και του φωτισμού αποτελεί το 33% της συνολικής πρωτογενής καταναλωμένης ενέργειας στην υπάρχουσα κατάσταση. Κατά την «Συμβατική» και τη «Καινοτόμος» ανακαίνιση τα μεγέθη αυτά (για φωτισμό και συσκευές) δεν αλλάζουν, όμως αποτελούν το 51% και το 59% της συνολικής καταναλωμένης ενέργειας, αντίστοιχα.

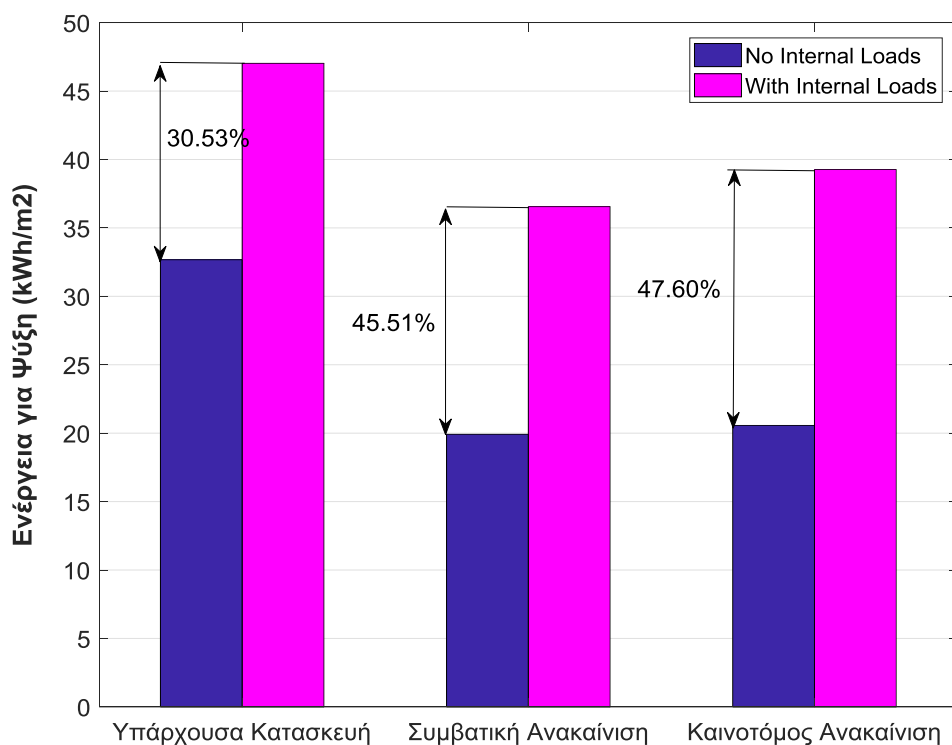
Πίνακας 6.7. Αρχική εκτίμηση ετήσιων πρωτογενών ενεργειακών καταναλώσεων για κάθε περίπτωση ανακαίνισης του κελύφους του κτηρίου

[kWh/m ² /year]	Υπάρχουσα Κατασκευή	Συμβατική Ανακαίνιση	Καινοτόμος Ανακαίνιση
Θέρμανση	43.42	14.14	5.39
Ψύξη	32.67	21.97	23.57
Ηλεκτρικές Συσκευές/ Εξοπλισμός	23.05	23.05	23.05
Φωτισμός	13.98	13.98	13.98
Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση	113.12	73.14	62.99

Στα διαγράμματα των Εικόνα 6.5 και Εικόνα 6.6 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι διαφορές για τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου για θέρμανση και ψύξη, αντίστοιχα στις περιπτώσεις, με και χωρίς τα εσωτερικά φορτία εξαιτίας των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού, όπως αυτά θεωρήθηκαν με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ.



Εικόνα 6.5. Ετήσια ενέργεια για θέρμανση με και χωρίς εσωτερικά φορτία



Εικόνα 6.6. Ετήσια ενέργεια για ψύξη με και χωρίς εσωτερικά φορτία

Από το διάγραμμα της θέρμανσης (Εικόνα 6.5), παρατηρείται ότι τα εσωτερικά φορτία από τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό μειώνουν σε κάθε περίπτωση τις ενεργειακές ανάγκες κατά περίπου 17 kWh/(m².year). Αυτή η μείωση είναι 28% για την υπάρχουσα κατάσταση, όμως στις περιπτώσεις της «Συμβατικής» και της «Καινοτόμου» ανακαίνισης αποτελεί το 52% και 71%, αντίστοιχα.

Από το διάγραμμα της ψύξης (Εικόνα 6.6), τα εσωτερικά φορτία των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού αυξάνουν τις ανάγκες για ψύξη κατά περίπου 16 kWh/(m².year). Δηλαδή αυξάνουν τις ανάγκες για ψύξη κατά 31% στην υπάρχουσα κατάσταση και κατά 46% και 48% στις περιπτώσεις τις «Συμβατικής» και της «Καινοτόμου» ανακαίνισης, αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι τα εσωτερικά φορτία των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού δε θα πρέπει να αμελούνται από τις ενεργειακές μελέτες, καθώς είναι σημαντικά τόσο στον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών όσο και στη διαστασιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης ενός κτηρίου.

6.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Το αρχικό κόστος για κάθε περίπτωση ανακαίνισης του κτηρίου, προκύπτει από το συνδυασμό του κόστους για την αναβάθμιση του κελύφους και των ενεργειακών συστημάτων του κτηρίου. Ο Πίνακας 6.8 που ακολουθεί, συνοψίζει το κόστος της κάθε επένδυσης ξεχωριστά.

Πίνακας 6.8. Συνολικά κόστη αναβαθμίσεων

Τύπος Ανακαίνισης	Κόστος Αναβάθμισης Κελύφους (€)	Κόστος Αναβάθμισης Ενεργειακών Συστημάτων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Συμβατική Ανακαίνιση	223986.00	59200.00	283186.00
Καινοτόμος Ανακαίνιση	280506.00	68800.00	349306.00

Για την οικονομική ανάλυση των υπό μελέτη περιπτώσεων, λαμβάνονται υπόψη τα ετήσια έξοδα από την κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ΖΝΧ του κτηρίου. Για την περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης, οι ηλεκτρικές ανάγκες για τη λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων του κτηρίου, καλύφθηκαν εξ' ολοκλήρου από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη συστοιχία των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών. Στον Πίνακα 6.9 παρουσιάζεται το ετήσιο κόστος των ενεργειακών αναγκών για την υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου αλλά και ξεχωριστά για τις περιπτώσεις των ανακαινίσεων. Κατά την «Συμβατική Ανακαίνιση», προκύπτει μείωση στα λειτουργικά έξοδα για τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου κατά 26254.00€/έτος (86% μείωση του κόστους), ενώ για την περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης του κτηρίου η μείωση εκτιμάται σε 28997.00€/έτος (94.5% μείωση του κόστους). Ταυτοχρόνως, για τη «Καινοτόμο» ανακαίνιση, λαμβάνοντας υπόψη την κάλυψη των εξόδων για ηλεκτρικό ρεύμα από την παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, εξοικονομούνται περίπου 880.0€/έτος.

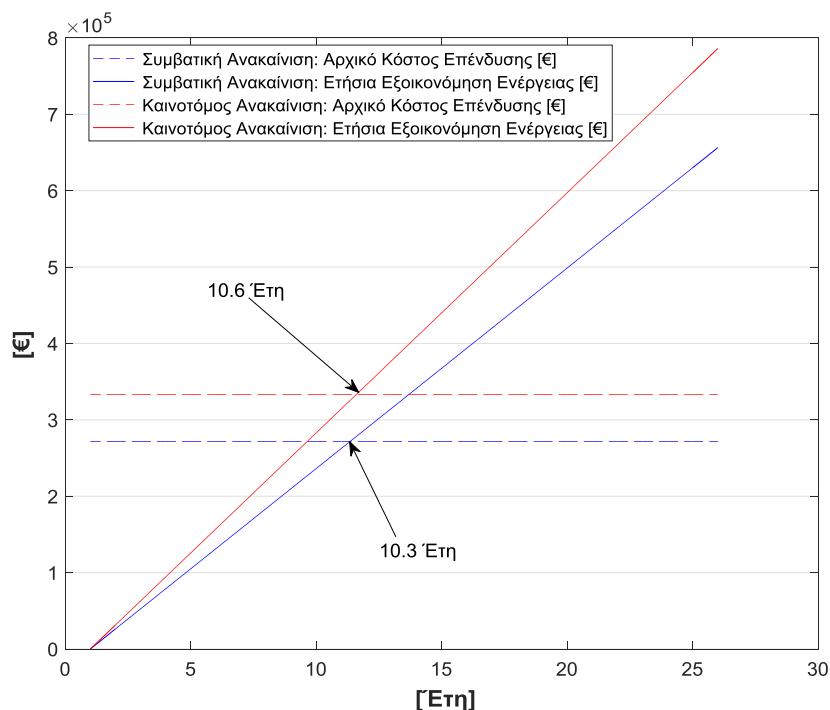
Πίνακας 6.9. Ετήσιο κόστος ενεργειακής κατανάλωσης, Ετήσια μείωση εξόδων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, Συνολικά ετήσια λειτουργικά κόστη

	Υπάρχουσα Κατασκευή	Συμβατική Ανακαίνιση	Καινοτόμος Ανακαίνιση
Κόστος Ενεργειακής Κατανάλωσης [€]	-30562.90	-4308.70	-1565.90
Μείωση εξόδων για ηλεκτρική ενέργεια [€]	0.00	0.00	2455.50
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος [€]	-30562.90	-4308.70	+879.60

Εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία του Χρόνου Ανάκτησης Κεφαλαίου, η οποία περιγράφηκε στην ενότητα 5.3.2, συγκρίνοντας τη μείωση του λειτουργικού κόστους για τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου, σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση και λαμβάνοντας υπόψη τα έξοδα που απαιτούνται ύστερα από τις παρεμβάσεις στο κέλυφος και τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, προέκυψε ο Χρόνος Απόσβεσης (PP) για κάθε ξεχωριστό σενάριο.

Για την περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης, ο χρόνος απόσβεσης είναι ίσος με 10.3 έτη, ενώ για το σενάριο της «Καινοτόμου» ανακαίνισης είναι στα 10.6 έτη. Επίσης, για την «Καινοτόμο» ανακαίνιση, από το χρονικό διάστημα που αποσβένεται το αρχικό κεφάλαιο

έως τα 25 έτη, λόγω μέρους της κάλυψης των ηλεκτρικών αναγκών από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα η μείωση του κόστους για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος υπολογίζεται περίπου στα 12000.00€. Στο διάγραμμα της Εικόνα 6.7, παριστάνονται σχηματικά οι χρόνοι απόσβεσης για κάθε μια επένδυση ξεχωριστά.



Εικόνα 6.7. Αρχικά κόστη επενδύσεων, ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας και Χρόνοι απόσβεσης για τα σενάρια ανακαίνισης

Λαμβάνοντας υπόψη πως η μέση επιδότηση για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση κυμαίνεται περίπου στο 35% του συνολικού κόστους της παρέμβασης, ο χρόνος απόσβεσης μειώνεται και για τις δύο περιπτώσεις φτάνοντας τα 6.4 έτη για την περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης και τα 6.9 έτη για την περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης.

Σε ότι αφορά τις συμβατικές παρεμβάσεις που μελετήθηκαν και στην προηγούμενη ενότητα (6.2), ο Πίνακας 6.10 παρουσιάζει τα κόστη αναβαθμίσεων και το ετήσιο λειτουργικό κόστος σε κάθε περίπτωση. Η μόνωση του κελύφους κατέχει το μεγαλύτερο αρχικό κόστος επένδυσης σε σχέση με την αντικατάσταση των υαλοπινάκων και των συστημάτων θέρμανσης και ΖΝΧ. Το μικρότερο λειτουργικό κόστος επιτυγχάνεται με το συνδυασμό της τοποθέτησης συμβατικής μόνωσης και αντικατάστασης των ενεργειακών συστημάτων.

Πίνακας 6.10. Κόστη αναβαθμίσεων, Ετήσια Κόστη ενεργειακής κατανάλωσης

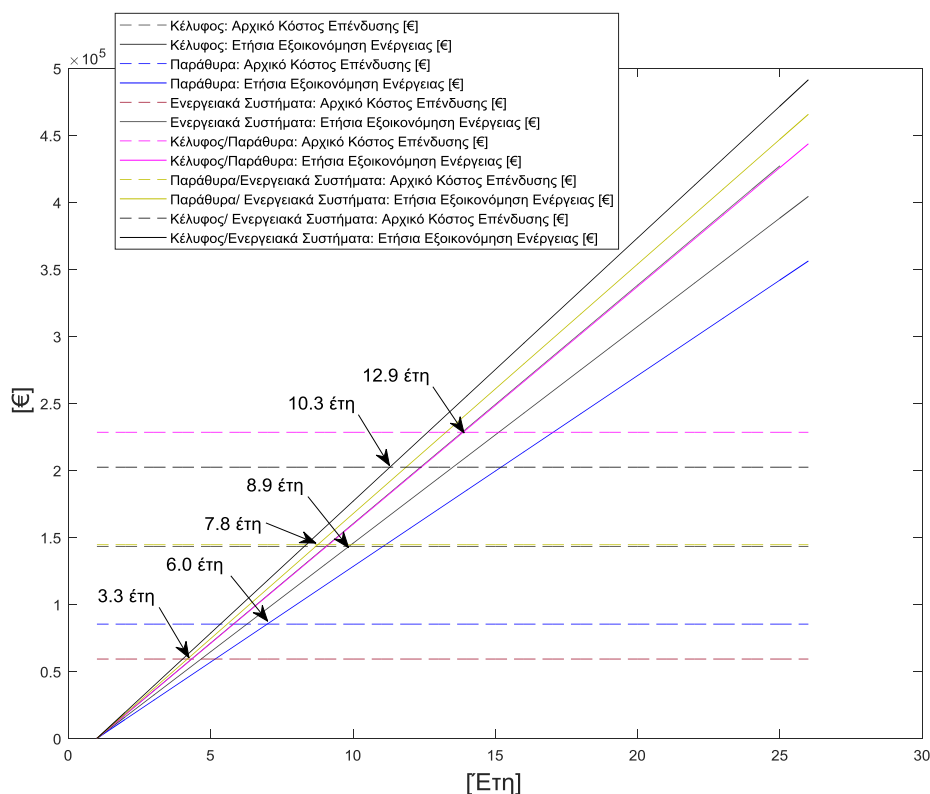
Τύπος Ανακαίνισης	Αρχικό Κόστος Επένδυσης [€]	Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος [€]
Μόνωση Κελύφους	143136.0	8830.8
Αντικατάσταση Υαλοπινάκων	85260.0	10308.7
Αναβάθμιση Ενεργειακών Συστημάτων	59200.0	6757.2
Κέλυφος & Υαλοπίνακες	228396.0	6812.1
Υαλοπίνακες & Ενεργειακά Συστήματα	144460.0	5932.4
Κέλυφος & Ενεργειακά Συστήματα	170336.0	4901.2

Καθώς ο χρόνος απόσβεσης δεν μπορεί να αποτελέσει από μόνος του κριτήριο επιλογής για την εκάστοτε παρέμβαση, υπολογίστηκε και η καθαρή παρούσα αξία (NPV) ώστε να εκφραστεί και το καθαρό κέρδος της κάθε αναβάθμισης ξεχωριστά για το χρονικό διάστημα των 25 ετών, λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες τιμές φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. (Πίνακας 6.11). Στον Πίνακα 6.12 παρουσιάζονται οι χρόνοι απόσβεσης και η καθαρή παρούσα αξία για διάστημα 25 ετών των 6 διαφορετικών συμβατικών επεμβάσεων.

Πίνακας 6.11 Τιμές Φυσικού Αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας

Φυσικό Αέριο	Ηλεκτρισμός		
	Καταναλώσεις [kWh]		
Κόστος [€/kWh]	<1000	1000~2500	2500~5000
	0.207	0.166	0.162

Η οικονομικά βέλτιστη παρέμβαση με βάση τον χρόνο απόσβεσης, είναι η περίπτωση της αναβάθμισης των ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης και ΖΝΧ αφού εκτιμάται πως αποσβένεται το αρχικό κόστος σε 3.3 έτη και παρέχοντας λειτουργικά κέρδη για περίοδο 25 ετών από την εξοικονόμηση ενέργειας ίσα με 360071.0 €. Η αναβάθμιση του κελύφους τοποθετώντας μόνωση και αντικαθιστώντας τους υαλοπίνακες αποσβένει το αρχικό κόστος στο μέγιστο χρόνο απόσβεσης (περίπου 13 έτη). Τέλος, η οικονομική ανάλυση για την περίπτωση του συνδυασμού της τοποθέτησης μόνωσης και της αναβάθμισης των ενεργειακών συστημάτων, όπου σύμφωνα με την ενότητα 6.2 ήταν η παρέμβαση με τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας, έδειξε ότι δεν αποτελεί τη βέλτιστη οικονομική λύση, καθώς αποσβένει το αρχικό κόστος σε περίπου 10 έτη.



Εικόνα 6.8. Αρχικά κόστη επενδύσεων, ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας και Χρόνοι απόσβεσης για τις συμβατικές παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας

Πίνακας 6.12. Χρόνοι απόσβεσης, Λειτουργικά κέρδη ανακαίνισης στα 25 έτη

Τύπος Ανακαίνισης	Χρόνος απόσβεσης [Έτη]	Λειτουργικά κέρδη [€]
Μόνωση Κελύφους	8.9	237891.0
Αντικατάσταση Υαλοπινάκων	6.0	250351.0
Αναβάθμιση Ενεργειακών Συστημάτων	3.3	360071.0
Κέλυφος & Υαλοπίνακες	12.9	189583.0
Υαλοπίνακες & Ενεργειακά Συστήματα	7.8	324265.0
Κέλυφος & Ενεργειακά Συστήματα	9.8	292655.0

6.5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂

Κατά την εξέταση της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων που υπόκεινται σε ενεργειακές αναβαθμίσεις, συγκρίνεται η ενέργεια που εξοικονομείται αλλά και το κόστος του κύκλου ζωής της παρέμβασης, ως προς τον προσδιορισμό της σχέσης κόστους και αποτελεσματικότητας. Υπάρχει όμως η περίπτωση, οι παρεμβάσεις που πραγματοποιούνται, στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας ή και ο κύκλος ζωής αυτών να μην αποτελούν την βέλτιστη λύση σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εκτιμώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δύναται να υπάρξουν πληροφορίες ώστε να υλοποιηθεί ένας πιο βιώσιμος σχεδιασμός [49]. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ποσοτικοποιούνται εν μέρει, υπολογίζοντας τις εκπομπές των αερίων που προέρχονται από τις απαιτήσεις του κτηρίου για θέρμανση, ψύξη αλλά και παραγωγή ΖΝΧ.

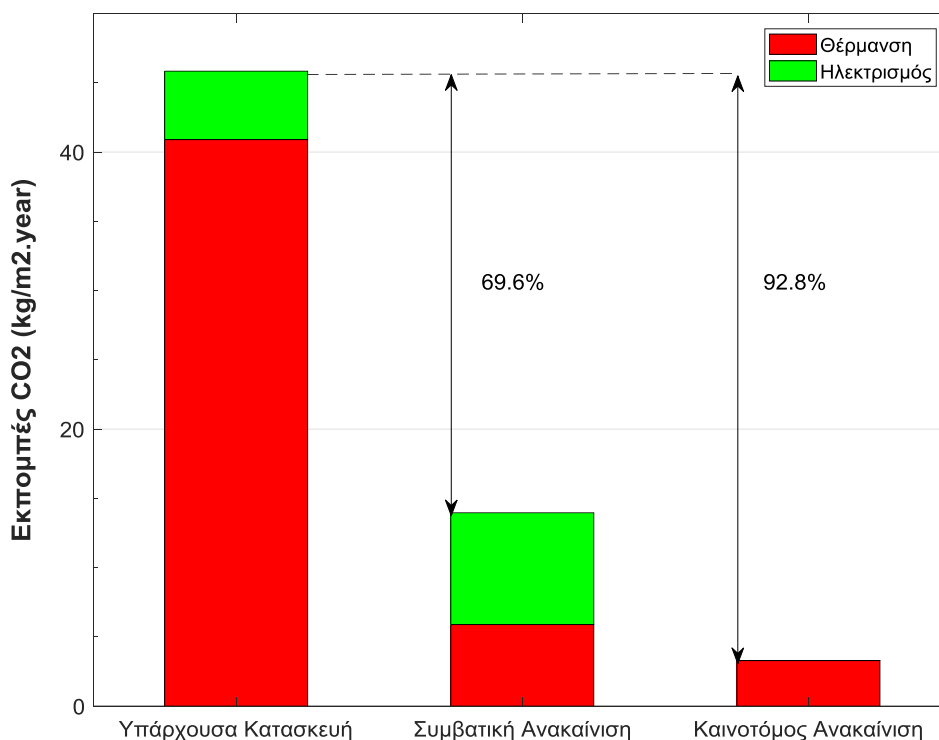
Το λογισμικό EnergyPlus, βασιζόμενο στους συντελεστές εκπομπών, μπορεί να υπολογίσει έως και δεκατρείς διαφορετικούς ρυπαντές. Για τον υπολογισμό του όγκου των ρυπαντών αυτών, η ενεργειακή κατανάλωση του κάθε καυσίμου (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρισμός) που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων, πολλαπλασιάζεται με τους συντελεστές εκπομπών.

Οι συντελεστές εκπομπών για την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια και τους χρησιμοποιούμενους τύπους καυσίμου, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.13.

Πίνακας 6.13. Δείκτες εκπομπών CO₂ για ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο και πετρέλαιο θέρμανσης

	tCO ₂ /MWh
Ηλεκτρική Ενέργεια	1.149
Πετρέλαιο Θέρμανσης	0.267
Φυσικό Αέριο	0.202

Στο διάγραμμα της παρουσιάζονται οι εκπομπές CO₂ για τα εξεταζόμενα σενάρια. Για την υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου, οι ετήσιες εκπομπές CO₂ είναι ίσες με 40.9 kgCO₂/(m².year). Στην περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης του κτηρίου, οι ετήσιες εκπομπές CO₂ μειώνονται κατά 70% φτάνοντας τα 13.5 kgCO₂/(m².year), ενώ κατά την Καινοτόμος ανακαίνιση του κτηρίου, η μείωση σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου, είναι της τάξης του 93%, και είναι ίση με 3.0kgCO₂/(m².year).



Εικόνα 6.9. Ετήσιες εκπομπές CO₂ για τα εξεταζόμενα σενάρια ανακαίνισης

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή, πραγματοποιήθηκε μελέτη και ενεργειακή ανάλυση σε δυο σενάρια ανακαίνισης ενός υφιστάμενου πενταόροφου κτηρίου κατοικιών για την περιοχή της Αθήνας. Κατά την «Συμβατική» ανακαίνιση του κτηρίου, το κέλυφος του κτηρίου μονώθηκε πλήρως με θερμομονωτικά υλικά EPS ενώ αναβαθμίστηκαν τα συστήματα θέρμανσης και παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης. Στην «Καινοτόμο» του ανακαίνιση, οι τοιχοποιίες του κτηρίου αντικαταστάθηκαν εξ' ολοκλήρου από προκατασκευασμένες τοιχοποιίες ξηράς δόμησης με ελαφρύ μεταλλικό σκελετό, με τα ενεργειακά του συστήματα να παραμένουν ίδια όπως και στην περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης. Επιπροσθέτως, για την κάλυψη των ηλεκτρικών απαιτήσεων του κτηρίου, τοποθετήθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελς στην οροφή του κτηρίου. Για επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας, και ορθολογική λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων χρησιμοποιήθηκαν Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης (BEMs).

Από την ενεργειακή προσομοίωση του κτηρίου με το λογισμικό EnergyPlus, προέκυψε πως η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου για την «Συμβατική» ανακαίνιση ήταν μειωμένη κατά 79% συγκρινόμενη με την υπάρχουσα κατασκευή. Η επιπλέον αναβάθμιση στο κέλυφος του, με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων συστημάτων ξηράς δόμησης μονωμένων με μονωτικές σανίδες κενού (VIPs), η χρήση BEMs και η κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του κτηρίου από την ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα οδήγησαν σε μια επιπλέον μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου, συγκρινόμενη με την περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης, κατά 15.8% ενώ η συνολική μείωση για το σενάριο της «Καινοτόμου» ανακαίνισης, σε σχέση με την αρχική κατάσταση του κτηρίου συνολικά έφτασε το 94.8%. Συγκεντρωτικά, οι πρωτογενείς καταναλώσεις ενέργειας για όλες τις υπό εξέταση περιπτώσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1

Πίνακας 7.1 Καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας για τις υπό εξέταση περιπτώσεις

[kWh/m ² /year]	Υπάρχουσα Κατασκευή	Συμβατική Ανακαίνιση	Καινοτόμος Ανακαίνιση
Θέρμανση	108.1	14.14	5.39
ZNX	49.4	10.5	10.5
Ψύξη	42.4	31.9	34.8
Ηλεκτρικές Συσκευές/ Εξοπλισμός	23.05	23.05	23.05
Φωτισμός	13.98	13.98	13.98
Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας			15.2
Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση	237.2	102.0	80.0

Συμπερασματικά, καθώς για το σενάριο της «Καινοτόμου» ανακαίνισης, το κτήριο έχει πολύ καλή θερμομόνωση, γίνεται χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων, συστημάτων αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, μέρος των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ η συνολική πρωταρχική χρήση ενέργειας για θέρμανση/ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών περιορίζεται από τις 237.2kWh/(m².year) στις 80.0kWh/(m².year), το κτήριο μπορεί να χαρακτηριστεί ως κτήριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Σε ότι αφορά την οικονομική ανάλυση, η περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου τόσο για το σενάριο της «Συμβατικής» όσο και της «Καινοτόμου» ανακαίνισης ήταν σχεδόν η ίδια. Πιο συγκεκριμένα, ο Χρόνος Απόσβεσης, είναι κατά 2.5 μήνες πιο σύντομος για την περίπτωση της «Συμβατικής» ανακαίνισης του κτηρίου. Για την «Καινοτόμο» ανακαίνιση όμως, μετά το πέρας των 10.6 ετών, υπάρχουν συνεχόμενη μείωση των εξόδων για ηλεκτρική ενέργεια εξαιτίας της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Παράλληλα, η αναβάθμιση του κελύφους, μειώνει κατά πολύ το συνολικό συντελεστή απωλειών θερμότητας του κτηρίου ενώ, το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που έχουν οι προκατασκευασμένες τοιχοποιίες με συστήματα ξηράς δόμησης, καθιστούν την παρέμβαση αυτή αρκετά δελεαστική. Τέλος, με το κεντρικό σύστημα ελέγχου του κτηρίου, βασιζόμενο στο πρότυπο EN 15232, επιτυγχάνονται βέλτιστες συνθήκες, άνεσης για τους ενοίκους της πολυκατοικίας, λειτουργίας για τις συσκευές, με επιμέρους μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Η παρούσα εργασία, μπορεί να αποτελέσει αφορμή για επιπλέον εξέταση παραμέτρων στην κατεύθυνση της τεχνοοικονομικής μελέτης του κτηρίου.

Σε ότι αφορά την ενεργειακή του μελέτη, θα μπορούσε να εξεταστεί η τοποθέτηση κεντρικού συστήματος ψύξης, καθώς η μείωση της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων στην περίπτωση της «Καινοτόμου» ανακαίνισης έχει ενδεχομένως σημαντική επιρροή στα ψυκτικά φορτία. Ταυτοχρόνως θα ήταν ενδιαφέρουσα η προσθήκη και η μελέτη επιπλέον συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Προτείνεται η μελέτη συστήματος γεωθερμίας, οριζοντίου κλειστού γεωεναλλάκτη, η κατασκευή του οποίου στο σκάμμα του περιβάλλοντα χώρου του κτηρίου, σε μικρό βάθος, θα μπορούσε να αποτελέσει την πιο οικονομική κατασκευαστική λύση. Επίσης η εγκατάσταση επιπλέον παθητικών ηλιακών συστημάτων για τη θέρμανση του κτηρίου, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης.

Τα ενεργειακά αποτελέσματα έδειξαν πως σημαντικό ποσοστό επί της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενέργειας οφείλεται στο φωτισμό και τις ηλεκτρικές συσκευές (εσωτερικά φορτία). Μια μελλοντική εργασία που θα μελετήσει τη χρήση συσκευών και φωτισμού υψηλής ενεργειακής απόδοσης μπορεί να αναδείξει την ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στην κατεύθυνση αυτή.

Στην παρούσα εργασία, οι τοιχοποιίες του κτηρίου αντικαταστάθηκαν πλήρως από προκατασκευασμένες τοιχοποιίες ξηράς δόμησης, ενώ για επιπλέον θερμομόνωση χρησιμοποιήθηκαν μονωτικά πάνελ κενού (VIPs). Μια μελλοντική εργασία, θα μπορούσε να

εξετάσει τη χρήση των VIPs για μόνωση συμβατικής τοιχοποιίας με παράλληλη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις τοιχοποιίες ξηράς δόμησης.

Πέρα από την ενεργειακή μελέτη, στο πεδίο εφαρμογής της περιβαλλοντικής ανάλυσης στον κτηριακό τομέα, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση σε ότι αφορά τον κύκλο ζωής του κτηρίου. Η ανάλυση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment) είναι η κατάλληλη μεθοδολογία για το σκοπό αυτό η οποία χαίρει ευρείας αποδοχής από τη βιομηχανία και την ερευνητική κοινότητα.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] International Energy Agency, Energy conservation in buildings and community systems, ECBCS News, International Energy Agency, (54) (2011).

[2] Eurostat, Simplified energy balances - annual data, <http://ec.europa.eu/eurostat>, Last update: 08-06-2017.

[3] Corrado V., Ballarini I., Paduos S., P. E., Refurbishment of the residential building stock toward the nearly-zero energy target through the application of the building typology, in: 71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2016, Turin, Italy.

[4] EUROSTAT, Energy balance (2018 edition).

[5] Υ.Π.Κ.Ε. (ΥΠΕΝ), Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός «Οδικός Χάρτης για το 2050», Μάρτιος 2012.

[6] Υ.Π.Κ.Ε. (ΥΠΕΝ), Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτήρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτηριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ), Αθήνα, Δεκέμβριος 2014.

[7] Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας 2011-2012.

[8] International Energy Agency and Climate change, World Energy Outlook Special Report, 2015.

[9] Y. Huang, J.-I. Niu, A review of the advance of HVAC technologies as witnessed in ENB publications in the period from 1987 to 2014, Energy and Buildings, 130 (2016) 33-45.

[10] S. D.K., D. S., K. M.C., M. M., Energy Efficient refurbishment toward nearly zero energy houses, for the Mediterranean region, 7th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, Energy Procedia 83, 2015, pp. 533-543.

[11] C.T. Haas, W.R. Fagerlund, Preliminary research on prefabrication, pre-assembly, modularization and off-site fabrication in construction, The Construction Industry Institute, University of Texas, 2002.

[12] D'Agostino D, Zzngheri P, Cuniberti B, Paci D, B. P., Synthesis Report on the National Plans for Nearly Zero Buildings (nZEBs), European Commission, JRC Science for Policy Report, 2016.

[13] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, Zero Energy Buildings: A critical look at the definition, in: ACEEE Summer Study, Pacific Grove, California, August 14-18, 2006.

[14] Institute of Zero Energy Buildings, <http://inzeb.org/>

[15] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), www.cres.gr

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[16] O.M. Jensen, Towards very low energy buildings energy saving and saving and CO2 emission reduction by changing European building regulations to very low energy standards, , EuroACE, (2009).

[17] F. Wolfgang, Passive House Planning Package, Darmstadt, Passive House Institute, April 2004.

[18] Climate Change 2007: Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change.

[19] Κ. Ιωάννης, Π. Κωνσταντίνος, Κτήρια Μηδενικής Ενέργειας, Κτίριο, 6 (2012) 83-89.

[20] Zero Energy Buildings, <http://www.zeroenergybuildings.org>, 2018.

[21] Κ.Α.Π.Ε., Οδηγός Συστημάτων Ενεργειακής Διαχείρισης Κτηρίων, 1997.

[22] D. Clements-Croome, D.J. Croome, Intelligent Buildings: Design, Management and Operation, Thomas Telford, 2004.

[23] Siemens, Building automation impact on energy efficiency, Application per EN15232 Building automation - impact on energy efficiency, Application per EN 15232 European Building Automation and Controls association product certification, 2018.

[24] J. Sinopoli, Smart Buildings – A Handbook for the design and operation of Building Technology Systems, Spicewood Publishing, 2006.

[25] Δ. Κατσαπρακάκης, Μ. Μονιάκης, Θερμανση- Ψυξη-Κλιματισμός, 2015.

[26] Γ. Ζαννής, Συμβατικά συστήματα Η/Μ κτηρίων, Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας, ΔΠΜΣ «Συστήματα Αυτοματισμού», 2016.

[27] R. Baetens, B.P. Jelle, A. Gustavsen, Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review, Energy and Buildings, 43 (4) (2011) 761-769.

[28] R. Baetens, B.P. Jelle, A. Gustavsen, S. Grynning, Gas-filled panels for building applications: A state-of-the-art review, Energy and Buildings, 42 (11) (2010) 1969-1975.

[29] S. Grandcolas, B. Jelle, L. Sandberg, A. Gustavsen, Hollow silica nanospheres as a superinsulating material, 11th international vacuum insulation symposium (IVIS 2013), Dubendorf, Zurich, Switzerland, 19-20 September, 2013.

[30] R. Baetens, B.P. Jelle, J.V. Thue, M.J. Tenpierik, S. Grynning, S. Uvsløkk, A. Gustavsen, Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond, Energy and Buildings, 42 (2) (2010) 147-172.

[31] B. Jelle, A. Gustavsen, R. Baetens, Beyond vacuum insulation panels- how may it be achieved, 9th international vacuum insulation symposium (IVIS 2009), London, UK, 17-18 September, 2009.

[32] I. Mandilaras, I. Atsonios, G. Zannis, M. Founti, Thermal performance of a building envelope incorporating ETICS with vacuum insulation panels and EPS, Energy and Buildings, 85 (0) (2014) 654-665.

[33] M. Bouquerel, T. Duforestel, D. Baillis, G. Rusaouen, Mass transfer modeling in gas barrier envelopes for vacuum insulation panels: A review, Energy and Buildings, 55 (2012) 903-920.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[34] H. Simmler, S. Brunner, U. Heinemann, H. Schwab, K. Kumaran, P. Mukhopadhyaya, D. Quénard, H. Sallée, K. Noller, E. Küçükpinar-Niarchos, C. Stramm, M. Tenpierik, H. Cauberg, M. Erb, IEA/ECBCS Annex 39, Vacuum Insulation Panels - Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications (Subtask A), September 2005.

[35] H. Schwab, U. Heinemann, A. Beck, H.-P. Ebert, J. Fricke, Prediction of Service Life for Vacuum Insulation Panels with Fumed Silica Kernel and Foil Cover, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 28 (4) (2005) 357-374.

[36] J.-H. Kim, F.E. Boafu, S.-M. Kim, J.-T. Kim, Aging performance evaluation of vacuum insulation panel (VIP), *Case Studies in Construction Materials*, 7 (2017) 329-335.

[37] S.E. Kalnæs, B.P. Jelle, Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways, *Applied Energy*, 116 (Supplement C) (2014) 355-375.

[38] Mukhopadhyaya P, Kuraman K, Normandin N, v.D. Reenen, Fibre-powder composite as core material for vacuum insulation panels, in: 9th International Vacuum Insulation Symposium (IVIS 2009), London, UK, 17-18 September, 2009. .

[39] J.-S. Kwon, H. Jung, I.S. Yeo, T.-H. Song, Outgassing characteristics of a polycarbonate core material for vacuum insulation panels, *Vacuum*, 85 (8) (2011) 839-846.

[40] X. Di, Y. Gao, C. Bao, Y. Hu, Z.g. Xie, Optimization of glass fiber based core materials for vacuum insulation panels with laminated aluminum foils as envelopes, *Vacuum*, 97 (2013) 55-59.

[41] G. Walkili Karim, T. Nussbaumjer, R. Brundi, Thermal performance of VIP assemblies in building constructions, 7th International Vacuum Insulation Symposium (IVIS), Empa, Zurich, 2005.

[42] S. Marouani, Investigation of the resistance welding of multilayers aluminum-coated polymer complexes used as envelopes of vacuum insulation panels, *Materials & Design* (1980-2015), 36 (2012) 546-556.

[43] Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks, EPISCOPE project, <http://episcope.eu>

[44] I.A. Atsonios, A.A. Manolitsis, I.D. Mandilaras, D.A. Kontogeorgos, M.A. Founti, The effect of Vacuum Insulation Panels on the energy efficiency of lightweight steel-framed drywall buildings, in: 5th International Conference Energy in Buildings, ASHRAE, Athens, Greece, 12 November 2016.

[45] T.O.T.E.E. 20701-1/2017, Αναλυτικές Εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (σύμφωνα με την αναθεώρηση του Κ.Εν.Α.Κ. 2017.

[46] T.O.T.E.E. 2425/86, Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτηριακών χώρων.

[47] ASHRAE Standard 62.1-2010, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.

[48] BS EN 15251:2007, Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, 2007.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[49] Liesen, Richard J. 1997. Atmospheric Pollution Prediction in a Building Energy Simulation Program, April 1997, BLAST Support Office, Department of Mechanical Engineering. Champaign, Illinois: University of Illinois.