



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ  
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ  
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΣΛΑΦΤΣΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΕΜ 2668**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**



**ΚΟΖΑΝΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024**



**UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA**  
**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**FACULTY OF ENGINEERING**

**UNIVERSITY  
OF WESTERN  
MACEDONIA**

**MASTER THESIS**

**INVESTIGATION OF THE ENERGY PERFORMANCE OF A STANDARD  
DWELLING AND THE FEASIBILITY OF THE ENERGY SYSTEMS  
USING SIMULATION SOFTWARE**

**SLAFTSOS GEORGIOS**

**AEM 2668**

**SUPERVISOR: PANARAS GEORGIOS**



**KOZANI, OCTOBER 2024**

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά την αξιοποίηση και την χρησιμότητα των προγραμμάτων προσομοίωσης για την διερεύνηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και την αξιοποίηση των ενεργειακών συστημάτων τους. Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν τα λογισμικά προγράμματα προσομοίωσης TEE KENAK και DesignBuilder σε μία πρότυπη κατοικία. Σε πρώτο στάδιο ελέγχθηκε η ανταπόκριση του DesignBuilder στην προσθήκη θερμομόνωσης και στην μεταβολή της κλιματικής ζώνης. Αυτό επιτυγχάνθηκε με την σύγκριση ενός καλά μονωμένου κτιρίου σύμφωνα με το KENAK και ενός επαρκώς μονωμένου κτιρίου κατά του ΚΘΚ σε δύο κλιματικές ζώνες την Κλιματική Ζώνη Β και Γ.

Σε δεύτερο στάδιο συγκρίθηκαν οι αναλύσεις των ενεργειακών απαιτήσεων του DesignBuilder με το TEE KENAK αλλά και των ενεργειακών καταναλώσεων των απλοποιημένων ενεργειακών συστημάτων του DesignBuilder με τις ενεργειακές καταναλώσεις του TEE KENAK. Επιπλέον, ελέγχθηκε η συμβολή της μεταβολής των θερμικών πηγών με την χρήση των απλοποιημένων και των λεπτομερώς σχεδιασμένων ενεργειακών συστημάτων.

Σε τρίτο στάδιο συγκρίθηκαν οι αναλύσεις των ενεργειακών καταναλώσεων των απλοποιημένων ενεργειακών συστημάτων του DesignBuilder με τις ενεργειακές καταναλώσεις των λεπτομερώς σχεδιασμένων ενεργειακών συστημάτων. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε μια επίδειξη των δυνατοτήτων του Detailed HVAC με την προσομοίωση ειδικών αναλύσεων.

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν συμπεραίνεται ότι το DesignBuilder ανταποκρίνεται επαρκώς στις μεταβολές της θερμομόνωσης, κλιματολογικών δεδομένων και διαφορετικών πηγών ενέργειας. Ωστόσο, οι ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις υποεκτιμούνται σε σύγκριση με το TEE KENAK. Παρατηρήθηκε επιπλέον, ότι για την πιο ορθή προσομοίωση των ενεργειακών συμπεριφορών του κτιρίου είναι απαραίτητη η χρήση των λεπτομερώς σχεδιασμένων ενεργειακών συστημάτων του DesignBuilder.

## Abstract

This thesis investigates the utilization and usefulness of simulation programs for the energy performance of dwellings and the utilization of their energy systems. More specifically, the simulation software TEE KENAK and DesignBuilder were investigated in a standard dwelling. In the first stage, this thesis investigates the effects of the addition of thermal insulation and of the change of the climate zone in DesignBuilder. This was achieved by comparing a well-insulated building according to KENAK and a sufficiently insulated building against KØK in two climate zones, Climate Zone B and C.

In a second stage of the analyzes, the energy demands of DesignBuilder were compared with TEE KENAK but also, the energy consumptions of the simplified energy systems of DesignBuilder and the energy consumptions of TEE KENAK were compared. In addition, the contribution of the change of heat sources was investigated using the simplified and detailed energy systems of DesignBuilder.

In a third stage, the analyzes of the energy consumption of the simplified DesignBuilder energy systems were compared with the energy consumptions of the detailed designed energy systems. In addition, a demonstration of the capabilities of Detailed HVAC was performed by simulating special analyses.

From the analyzes carried out it is concluded that DesignBuilder adequately responds to changes in thermal insulation, climatic data and different energy sources. However, the energy requirements and consumptions are underestimated compared to TEE KENAK. It was also observed that for the most accurate simulation of the energy performance of the building it is necessary to use the detailed designed energy systems of DesignBuilder.

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Πανάρα, Αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του στα πλαίσια της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιάννη Παπαδόπουλο, υποψήφιος διδάκτορας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, και τον Βασίλη Κίλη, επίσης υποψήφιος διδάκτορας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για την βοήθεια τους στην χρήση των λογισμικών προγραμμάτων κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και του φίλους μου για την υποστήριξη τους καθόλην την διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες .....	5
Περιεχόμενα .....	6
Βασικά Σύμβολα .....	8
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	9
1.1 Ενεργειακές νομοθεσίες .....	9
1.2 Συμβατικά και ΑΠΕ συστήματα .....	13
1.2.1 Λέβητες .....	13
1.2.2 Αντλίες Θερμότητας .....	15
1.2.3 Ηλιακά θερμικά συστήματα .....	17
1.2.4 Φωτοβολταϊκά .....	22
1.3 Σκοπός και δομή εργασίας .....	26
Κεφάλαιο 2: Λειτουργία προγραμμάτων προσομοίωσης .....	27
2.1 Λειτουργία DesignBuilder .....	27
2.1.1 Μελέτη θέρμανσης (Heating Design) .....	27
2.1.2 Μελέτη κλιματισμού (Cooling Design) .....	28
2.1.3 Ρευστοδυναμική ανάλυση του κτιρίου (CFD) .....	28
2.1.4 Προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς και των συνθηκών άνεσης του κτιρίου (Simulation) .....	28
2.1.5 Παράμετροι σχεδίασης στο DesignBuilder .....	29
2.1.6 Απλοποιημένα ενεργειακά συστήματα (Simple HVAC) .....	30
2.1.7 Λεπτομερή ενεργειακά συστήματα (Detailed HVAC) .....	31
2.2 Λειτουργία TEE KENAK .....	31
Κεφάλαιο 3: Εισαγωγή του κτιρίου στα λογισμικά προσομοίωσης .....	32

3.1 Κτίριο υπό μελέτη.....	32
3.2 Ορισμός παραμέτρων λειτουργίας του κτιρίου στο DesignBuilder .....	34
3.3 Ορισμός δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων στο DesignBuilder .....	35
3.4 Ορισμός των παραμέτρων λειτουργίας στο TEE KENAK.....	43
3.5 Ορισμός δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων στο TEE KENAK .....	44
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα ενεργειακής ανάλυσης.....	47
4.1 Ενεργειακές απαιτήσεις .....	47
4.1.1 Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder .....	47
4.1.2 Ενεργειακές απαιτήσεις στο TEE KENAK .....	50
4.1.3 Σύγκριση ενεργειακών απαιτήσεων TEE KENAK-DesignBuilder.....	53
4.2 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων TEE KENAK-DesignBuilder.....	56
4.3 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διαφόρων πηγών θερμότητας στο Design-Builder.....	62
4.3.1 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διαφόρων πηγών θερμότητας στο Design- Builder (Simple HVAC) .....	62
4.3.2 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διαφόρων πηγών θερμότητας στο Design- Builder (Detailed HVAC).....	75
4.4 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων Simple HVAC-Detailed HVAC.....	83
4.5 Ειδικές αναλύσεις .....	87
4.5.1 Σύγκριση διαφορετικών καμπυλών βαθμού απόδοσης .....	87
4.5.2 Σύγκριση αντλιών θερμότητας Αέρα-Νερού και Νερού-Νερού.....	90
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα ενεργειακής ανάλυσης.....	93
Βιβλιογραφία .....	95

## Βασικά Σύμβολα

COP : Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας για θέρμανση.

EER: Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας για ψύξη.

SCOP : εποχιακός βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας για θέρμανση.

SEER: εποχιακός βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας για ψύξη.

$W_{i,[N,W,S,E]}$  : συμβολισμός εξωτερικού τοίχου, προσανατολισμός.

$W_{i,[N,W,S,E]}$  : συμβολισμός παραθύρων, προσανατολισμός.

$D_r$ : συμβολισμός εξωτερικής πόρτας.

$R_f$ : συμβολισμός οροφής.

$G_{nd}$ : συμβολισμός δαπέδου.

$U_{exw}$ : Συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικού τοίχου.

$U_{RF}$ : Συντελεστής θερμοπερατότητας οροφής

$U_{FL}$ : Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου

$U_{Dr}$ : Συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικής πόρτας

$U_{wi}$ : Συντελεστής θερμοπερατότητας παραθύρου

$a$ : Συντελεστής απορροφητικότητας αδιαφανών επιφανειών

$\epsilon$ : Συντελεστής εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας αδιαφανών επιφανειών

$g_{gw}$ : Συντελεστής διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας των διαφανών επιφανειών

$T_{cw}$ : Θερμοκρασία νερού δικτύου

$\eta_{gen}$ : Συντελεστής απόδοσης λέβητα

$\eta_{ls}$ : Συντελεστής απόδοσης δικτύου διανομής

$\eta_{em}$ : Συντελεστής απόδοσης τερματικών μονάδων

$\eta_{\theta}$ : Συνολικός συντελεστής απόδοσης συστήματος θέρμανσης

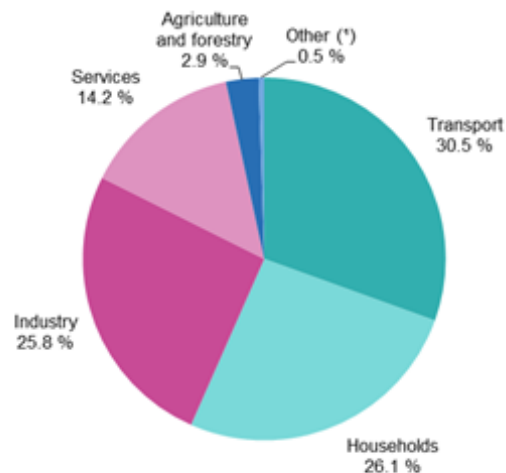


# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ενεργειακές νομοθεσίες

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού αλλά και η οικονομική ανάπτυξη οδήγησαν στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας σε όλους τους τομείς για την κάλυψη βασικών αναγκών των ανθρώπων όπως είναι η θέρμανση, ο κλιματισμός και οι μεταφορές. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία Eurostat ο κτιριακός τομέας (συνδυασμός των νοικοκυριών 26.1% και των υπηρεσιών 14.2%) αποτελούν το 40.3% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ (Εικόνα 1).

**Final energy consumption by sector, EU-27, 2018**  
(% of total, based on tonnes of oil equivalent)



(\*) Data on "international aviation" are not included in category Transport and hence are included in the category "Other".

Source: Eurostat (online data code: nrg\_bal\_s)

eurostat 

**Εικόνα 1:** Ποσοστό κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα για το 2018 (Eurostat).

Μεγάλο ποσοστό της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τα κτίρια σπαταλάται λόγω των παλαιών κατασκευών και την χρήση συστημάτων και εξοπλισμών χαμηλής ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, υπάρχουν αποδεδειγμένες λύσεις για το περιορισμό της ενεργειακής σπατάλης στα κτίρια όπως η μείωση της ζήτηση από τα κτίρια για θέρμανση και κλιματισμό με την αξιοποίηση καλύτερης θερμομόνωσης, υαλοπινάκων, την εξάλειψη θερμικών γεφυρών και την εγκατάσταση αποδοτικών συστημάτων παραγωγής και διανομής θέρμανσης/κλιματισμού. Οι προαναφερόμενες βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων συμβάλουν στην σημαντική εξοικονόμηση της ενέργειας περιορίζοντας έτσι την συνολική συμβολή του κλάδου στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα κτίρια κατέχουν κυρίαρχο ρόλο στις πολιτικές για το κλίμα και την εξοικονόμηση ενέργειας για πολλά χρόνια. Με τις ευρωπαϊκές πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων να επηρεάζουν πολλές χρήσεις των κτιρίων από την θέρμανση και τον κλιματισμό έως τον φωτισμό και τις συσκευές. Πιο συγκεκριμένα τα τελευταία χρόνια η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία του 2022 (European Commission, 2022), η Πρωτοβουλία Κύματος Ανακαίνισης του 2021 (European Commission, 2021) και το σχέδιο ανάκαμψης της ΕΕ (European Commission, 2020) εφαρμόστηκαν για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τις ενεργειακές χρήσεις των κτιρίων, τα οποία αποτελούν το 36% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG).

Λόγω της παγκόσμιας διαταραχής που προκάλεσε ο πόλεμος στην Ουκρανία η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το σχέδιο REPowerEU (European Commission, 2022) τον Μάιο του 2022 για την απεξάρτηση της ΕΕ από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα αλλά και για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης. Συνοπτικά τα μέτρα που πρότεινε το σχέδιο είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού και η επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων.

Η εξοικονόμηση ενέργεια στον κτιριακό τομέα πραγματοποιείται κυρίως μέσω της Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων (Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings EPBD - 16 Δεκεμβρίου 2002). Η EPBD ήταν η πρώτη συνεκτική νομική πράξη για την ενεργειακή πολιτική στα κτίρια. Βασικός στόχος της ήταν η μεγάλη μείωση του κόστους λειτουργίας που παρέμενε αναξιόποιτη από τον τομέα των κτιρίων, πιο συγκεκριμένα την μείωση κατά 22% σε χρονική περίοδο 10 ετών. Συνοπτικά οι κύριες πολιτικές της οδηγίας ήταν οι παρακάτω:

- Ορισμός ελάχιστων προτύπων ενεργειακής απόδοσης σε νέα κτίρια αλλά και σε υφιστάμενα κτίρια υπό ριζικής ανακαίνισης.
- Διασφάλιση επαρκούς ενημέρωσης στους υποψήφιους αγοραστές και ενοικιαστές με σκοπό να επιλέγουν κτίρια με υψηλά ενεργειακά πρότυπα.
- Εγρήγορση του ρυθμού επένδυσης για έργα ενεργειακής απόδοσης μέσω χρηματοδότησης, είτε από τρίτους είτε από το δημόσιο.

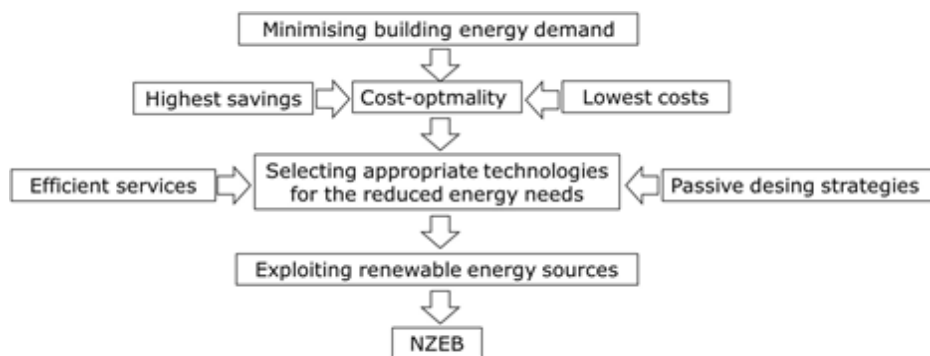
Πιο αναλυτικά η EPBD αναπτύχθηκε για την επίτευξη στοχευμένης αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων με μια πιο ολιστική προσέγγιση σε συνάρτηση με τις κτιριακές απαιτήσεις, το κόστος και άλλους παράγοντες. Κύριος στόχος της EPBD ήταν μια κοινή μεθοδολογία σε όλα τα κράτη μέλη για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων για νέα κτίρια και υφιστάμενα κτίρια υπό ριζική ανακαίνιση. Ως ενεργειακή απόδοση ορίστηκε η πρωτογενής ενέργεια η οποία συνυπολογίζεται από τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, την απόδοση των συστημάτων και τον αντίκτυπο αξιοποίησης του κάθε καυσίμου σε πρωτογενείς συμβατικούς πόρους. Η πρωτογενής ενέργεια εκτιμάται με βάση τις διαφορετικές ανάγκες που

σχετίζονται με την τυποποιημένη χρήση του κτιρίου, συνήθως μετρημένη σε kWh/m<sup>2</sup>. Αυτή η ποσότητα θα έπρεπε να αντικατοπτρίζεται σε έναν ή περισσότερους αριθμητικούς δείκτες λαμβάνοντας υπόψιν:

- Τις εσωτερικές και εξωτερικές κλιματικές συνθήκες.
- Την τοποθέτηση και τον προσανατολισμό του κτιρίου.
- Τα θερμικά χαρακτηριστικά του κελύφους.
- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα .
- Τον φυσικό αερισμό.
- Τα συστήματα θέρμανση, ψύξης, ζεστού νερού χρήσης και εξαναγκασμένου αερισμού.
- Τον φωτισμό.
- Και την παραγόμενη ενέργεια.

Το 2010 η EPBD (DIRECTIVE 2010/31/EU) αναδιατυπώθηκε για πρώτη φορά με σκοπό την ενίσχυση ορισμένων αρχικών διατάξεων και την αποτύπωση πρόσθετης εξοικονόμησης ενέργειας όπως αναφέρθηκε και στο Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: Αξιοποίηση του δυναμικού (Action Plan for Energy Efficiency: Realizing the Potential) (European Union, 2006). Σκοπός της αναδιατύπωσης ήταν η εξισορρόπηση των διάφορων εθνικών φιλοδοξιών των κρατών μελών για την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων ορίστηκαν τα ‘κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας’ (NZEBs). Σύμφωνα με την αναδιατύπωση της EPBD τα νέα δημόσια κτίρια θα πρέπει να είναι NZEB από τις 31 Δεκεμβρίου 2018 αλλά και όλα τα νέα ιδιωτικά κτίρια από τις 31 Δεκεμβρίου 2020.

Ως ‘κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση’ ορίστηκε από την ΕΕ το κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή απαιτούμενη ενέργεια θα πρέπει να καλύπτεται σε μεγάλο ποσοστό από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που να παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου. Συνοπτικά η έννοια του NZEB φαίνεται στην Εικόνα 2.



**Εικόνα 2:** Έννοια ενός κτιρίου NZEB (Delia D'Agostino, 2019)

Το 2018 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε μια νέα αναδιατύπωση της EPBD (Directive 2018/844/EU 30 Μαΐου 2018) μαζί με μια νέα βάση δεδομένων για τα κτίρια (EU Building Stock Observatory). Σκοπός της αναδιατύπωσης ήταν η στοχευμένη επιτάχυνση των ενεργειακών ανακαινίσεων, την απανθρακοποίηση στον τομέα των κτιρίων μέχρι το 2050 και την ενθάρρυνση επενδύσεων για την επίτευξη των παραπάνω στόχων. Εισάχθηκαν επίσης νέες διατάξεις για την ενίσχυση των έξυπνων τεχνολογιών και των τεχνικών συστημάτων των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένου του αυτοματισμού κτιρίων.

Η πιο πρόσφατη αναδιατύπωση της EPBD δημοσιεύτηκε το 2024 (Directive 2024/1275 24 Απριλίου 2024). Η οδηγία συμβάλει στην υλοποίηση των στόχων που τέθηκαν από την «Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία» (European Green Deal) για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 60% στον κτιριακό τομέα έως το 2030 σε σύγκριση με το 2015 αλλά και την απανθρακοποίηση του κτιρίου με στόχο την επίτευξη μηδενικών εκπομπών έως το 2050. Σκοπός της αναδιατύπωσης είναι η αύξηση του ρυθμού ανακαίνισης των κτιρίων στην ΕΕ και κυρίως τα κτίρια με την χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση. Υποστηρίζει επιπλέον την καλύτερη ποιότητα αέρα και τον ψηφιακό μετασχηματισμό των κτιρίων και των ενεργειακών συστημάτων τους. Πιο συγκεκριμένα τα μέτρα που προτείνονται από την αναθεώρηση της EPBD είναι τα παρακάτω:

- Την σταδιακή εφαρμογή ελάχιστων προτύπων ενεργειακής απόδοσης για κτίρια (δεν συμπεριλαμβάνονται οι κατοικίες) με στόχο την προώθηση την ανακαίνιση κτιρίων με την χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση.
- Εφαρμογή στόχου για την μείωση της μέσης ενεργειακής απόδοσης των κατοικιών κατά 16% έως το 2030 και κατά 20-22% έως το 2035 σε σύγκριση με το 2020.
- Εφαρμογή ενισχυμένου προτύπου για τα νέα κτίρια μηδενικών εκπομπών και για τον υπολογισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για όλο τον κύκλο ζωής του κτιρίου.
- Ενίσχυση μακροπρόθεσμων στρατηγικών ανακαίνισης.

- Αύξηση της αξιοπιστίας, της ποιότητας και την ψηφιοποίηση των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης.
- Την υιοθέτηση διαβατηρίων ανακαίνισης κτιρίων για την καθοδήγηση των ενεργειακών ανακαινίσεων.
- Την αξιοποίηση των ηλιακών τεχνικών σε όλα τα νέα κτίρια και σε ορισμένα υπάρχοντα κτίρια.
- Την σταδιακή κατάργηση λεβήτων που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, ξεκινώντας από την λήξη επιδοτήσεων σε αυτόνομους λέβητες ορυκτών καυσίμων από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2025.

Συνεπώς, οι ενεργειακές νομοθεσίες για τις παρεμβάσεις στο κέλυφος των κτιρίων μέσω την προσθήκης θερμομόνωσης, την αντικατάσταση των υαλοπινάκων και της εξάλειψης των θερμικών γεφυρών οδηγούν στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Εξίσου σημαντική είναι η αναβάθμιση των ενεργειακών συστημάτων στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Καθίσταται απαραίτητη επομένως η προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και η αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων τους για τον βέλτιστο ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων.

## 1.2 Συμβατικά και ΑΠΕ συστήματα.

### 1.2.1 Λέβητες

Οι λέβητες είναι δοχεία υπό πίεσης σχεδιασμένα να μεταφέρουν θερμότητα, η οποία έχει παραχθεί είτε από καύση είτε από ηλεκτρική αντίσταση, σε ένα ρευστό. Οι λέβητες είναι σχεδιασμένοι να καίνε ορυκτά καύσιμα (ή να χρησιμοποιούν ηλεκτρική αντίσταση) και να μεταφέρουν την παραγόμενη θερμότητα στο νερό ή στον ατμό (στους λέβητες ατμού). Ο βαθμός απόδοσης των λεβήτων εκφράζεται μέσω των παρακάτω συντελεστών:

- Βαθμός απόδοσης καύσης είναι ο λόγος της θερμότητα που προσδίδεται μείον την θερμότητα της καμινάδας προς την θερμότητα που προσδίδεται. Το εύρος των τιμών του συντελεστή είναι 75 έως 86% για λέβητες χωρίς συμπύκνωση και 88 έως 99% για λέβητες συμπύκνωσης.
- Θερμικός βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος μικτής ενέργειας εξόδου προς την προδιδόμενη θερμότητα. Ο θερμικός βαθμός απόδοσης των ηλεκτρικών λεβήτων είναι 92 με 96% ωστόσο είναι μικρότερος για τους λέβητες καύσης λόγω των θερμικών απωλειών στο εξωτερικό του λέβητα και λόγω της διακοπτόμενης λειτουργίας.

Οι λέβητες κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία και πίεση), το καύσιμο, το υλικό κατασκευής, την παροχή αέρα (φυσική ή μηχανική) και αν το μείγμα αέρα καυσίμου συμπυκνώνεται. Οι κύριες κατηγορίες των λεβήτων διαχωρίζονται ως εξής:

- **Με βάση τις συνθήκες λειτουργίας.**

- **Λέβητες χαμηλής πίεσης** είναι κατασκευασμένοι για μέγιστη πίεση ατμού 103kPa και μέγιστη πίεση και θερμοκρασία νερού 1100kPa και 120°C αντίστοιχα.
- **Λέβητες υψηλής πίεσης** είναι κατασκευασμένοι για πιέσεις μεγαλύτερης των 103kPa για ατμό και 1100kPa για νερό. Η θερμοκρασία του νερού μπορεί να ξεπερνάει του 120°C.
- **Λέβητες ατμού** χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων αλλά και για βοηθητικές χρήσεις (πλύσιμο ρούχων, αποστείρωση). Μπορούν να παρέχουν και ατμό σε εύρος θερμοκρασιών και πιέσεων για βιομηχανικές διεργασίες.
- **Λέβητες νερού** χρησιμοποιούνται για την θέρμανση χώρων και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης.

- **Με βάση το καύσιμο.**

Ως καύσιμο στους λέβητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο λιγνίτης, το ξύλο (γενικά η βιομάζα), το πετρέλαιο, τα αέρια καύσιμα και η ηλεκτρική ενέργεια.

- **Με βάση το υλικό κατασκευής.**

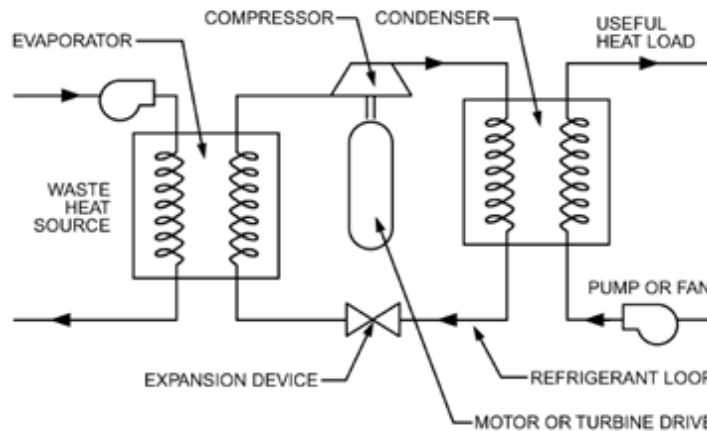
- Λέβητες από χυτοσίδηρο
- Λέβητες από χάλυβα
- Λέβητες από ανοξείδωτο χάλυβα
- Λέβητες από χαλκό
- Λέβητες από αλουμίνιο

- **Με βάση την παροχή αέρα**

- **Οι λέβητες φυσικού αερισμού** είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν με αρνητική πίεση στον θάλαμο καύσης. Αυτή η διαφορά πίεσης δημιουργείται από τα καυσαέρια που εξέρχονται από την καμινάδα.
- **Οι λέβητες μηχανικού αερισμού** χρησιμοποιούν ανεμιστήρα για την δημιουργία της απαραίτητης διαφοράς πίεσης.

## 1.2.2 Αντλίες θερμότητας

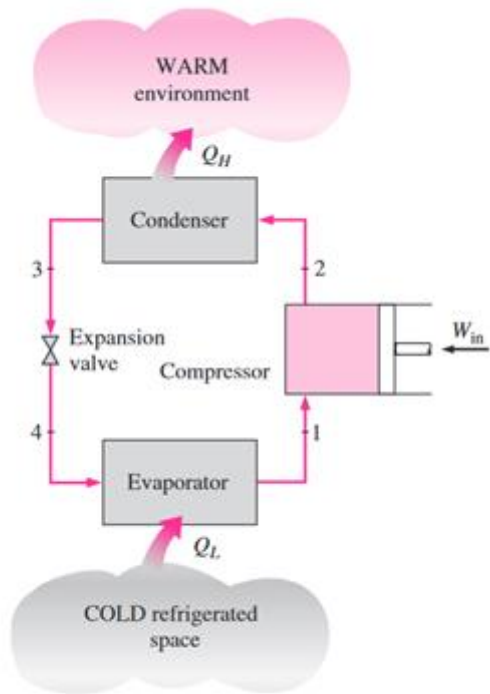
Είναι ευρέως γνωστό ότι στην φύση η θερμότητα μεταφέρεται από τις υψηλές θερμοκρασίες στις χαμηλές. Ωστόσο η αντίθετη διεργασία, δηλαδή η μεταφορά θερμότητας από τις χαμηλές στις υψηλές θερμοκρασίες απαιτεί την χρήση ειδικών συσκευών που ονομάζονται αντλία θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας είναι ένα κλειστό κύκλωμα και η βασική λειτουργία τους περιγράφεται ως εξής:



**Εικόνα 3:** Απεικόνιση υδραυλικής διάταξης αντλίας θερμότητας συμπίεσεως ατμών (ASHRAE Handbook Fundamentals)(ASHRAE, 2021)

Το ψυκτικό μέσο της αντλίας θερμότητας έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον στον ατμοποιητή και ανάλογα με την πηγή της θερμότητας, είτε ο αέρας του περιβάλλοντος έρχεται σε επαφή με τον εναλλάκτη θερμότητας με την χρήση ανεμιστήρα είτε το νερό, το οποίο απορροφά θερμότητα από το έδαφος, έρχεται σε επαφή με τον εναλλάκτη θερμότητας με την χρήση κυκλοφορητή. Το ψυκτικό μέσο θερμαίνεται στον ατμοποιητή και αλλάζει η φάση του από υγρή σε αέρια. Στην συνέχεια μεταφέρεται στον συμπιεστή όπου η πίεση του αυξάνεται. Το συμπιεσμένο πλέον αέριο μεταφέρεται στον συμπυκνωτή όπου η θερμότητα μεταδίδεται είτε απευθείας στον εσωτερικό χώρο (με την χρήση ανεμιστήρα), είτε στο κεντρικό σύστημα θέρμανσης, είτε στο σύστημα ζεστού νερού χρήσης αναλόγως με την χρήση της αντλίας θερμότητας. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία.

Η βασική λειτουργία της αντλίας θερμότητας ονομάζεται ψυκτικός κύκλος συμπίεσεως ατμών και περιγράφεται από την παραπάνω υδραυλική διάταξη (Εικόνα 3) και από τον παρακάτω ψυκτικό κύκλο (Εικόνα 4):



**Εικόνα 4:** Απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου συμπίεσως ατμών (Cengel, 2019)

**ΣΤΑΔΙΟ 1-2:** Ισεντροπική συμπίεση στον συμπιεστή(Compressor).

**ΣΤΑΔΙΟ 2-3:** Ισοθλιπτική ψύξη στον συμπυκνωτή (Condenser).

**ΣΤΑΔΙΟ 3-4:** Ισενθαλπικός σταγαλισμός στην βαλβίδα εκτόνωσης (Expansion Valve).

**ΣΤΑΔΙΟ 4-1:** Ισοθλιπτική θέρμανση στον ατμοποιητή (Evaporator).

Ο πραγματικός ψυκτικός κύκλος διαφέρει από τον ιδεατό λόγω των εξής αναντιστρεπτοτήτων:

- Μη ισεντροπική συμπίεση.
- Υπέρθερμος ατμός στην έξοδο του ατμοποιητή.
- Υπόψυκτο υγρό στην έξοδο του συμπυκνωτή.
- Πτώσεις πίεσης στον ατμοποιητή και στον συμπυκνωτή.

Η απόδοση της αντλίας θερμότητας ποσοτικοποιείται με τον λόγο της ωφέλιμης θερμότητας που μεταφέρεται στον θερμό ή ψυχρό εναλλάκτη της αντλίας θερμότητας προς την ενέργεια που καταναλώθηκε για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Η ποσότητα αυτή ονομάζεται



βαθμός απόδοσης (Coefficient of performance COP) για την θέρμανση και λόγος ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency Ratio EER) για την ψύξη.

### 1.2.3 Ηλιακά θερμικά συστήματα

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα βρίσκουν κύρια εφαρμογή στο ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων. Τα συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε θερμική μπορούν να χαρακτηριστούν σε παθητικά και ενεργά. Στα παθητικά συστήματα η θερμότητα διανέμεται με φυσική κυκλοφορία ενώ στα ενεργητικά συστήματα διανέμεται με την αυθόρμητη ή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (με χρήση αντλίας ή ανεμιστήρα) του ρευστού λειτουργίας το οποίο μπορεί να είναι ο αέρας, το νερό και το λάδι.

Τα παθητικά συστήματα κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Άμεσου κέρδους:** Η ηλιακή ενέργεια εισέρχεται στον χώρο μέσω υαλοπινάκων.
- **Έμμεσου κέρδους:** Η ηλιακή ενέργεια θερμαίνει τα εξωτερικά δομικά στοιχεία από τα οποία η θερμότητα μεταφέρεται αργά στο εσωτερικό του κτιρίου.
- **Απομονωμένου κέρδους:** Η ηλιακή ενέργεια θερμαίνει έναν προσαρτημένο χώρο ή θερμοκήπιο στο οποίο μέρος της ενέργειας χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη φυτών και το υπόλοιπο μέρος της για την θέρμανση των υπόλοιπων χώρων.

Τα ενεργητικά συστήματα απορροφούν την ηλιακή ενέργεια μέσω ενός συλλέκτη του οποίου η θερμοκρασία αυξάνεται. Η θερμική ενέργεια του συλλέκτη χρησιμοποιείται άμεσα ή μεταφέρεται σε μέσο αποθήκευσης είτε με φυσική κυκλοφορία είτε με την χρήση αντλίας, κυκλοφορητή και συστημάτων ελέγχου. Οι ηλιακοί συλλέκτες διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες με βάση την συγκέντρωση της ακτινοβολίας:

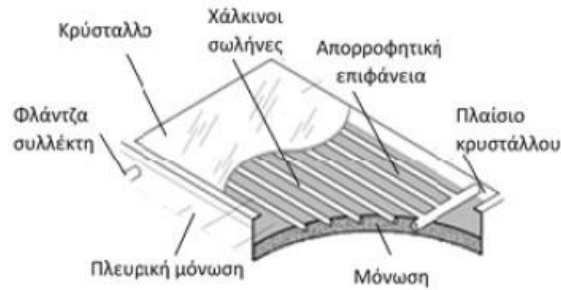
- **Μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες** όπως οι επίπεδοι συλλέκτες και οι συλλέκτες κενού. Οι επίπεδοι συλλέκτες λειτουργούν σε θερμοκρασίες μικρότερες από 80°C ενώ στους συλλέκτες κενού η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται στους 50-200°C.
- **Συγκεντρωτικοί συλλέκτες** όπως οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές, ανακλαστήρες εστιακή γραμμής τύπου Fresnel, επίπεδοι συγκεντρωτές, παραβολοειδείς συγκεντρωτές πιάτου εστιακού σημείου και ηλιοστατών πεδίου αλλά και ηλιακού πύργου. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες λειτουργούν σε εύρος θερμοκρασίες 60-2000°C και χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας.

Συνήθως οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες είναι σταθεροί ως προς τον προσανατολισμό τους σε αντίθεση με τους συγκεντρωτικούς οι οποίοι είναι μη στατικοί ελεγχόμενοι από σύστημα παρακολούθηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στον κτιριακό τομέα χρησιμοποιούνται επίπεδοι συλλέκτες για την θέρμανση χώρου και για το ζεστό νερό χρήσης. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την θέρμανση πισινών ή για την προθέρμανση νερού για διεργασίες μεγάλης κλίμακας. Για την καλύτερη κάλυψη της ζήτησης του ζεστού νερού είναι απαραίτητη η χρήση δεξαμενή αποθήκευσης.

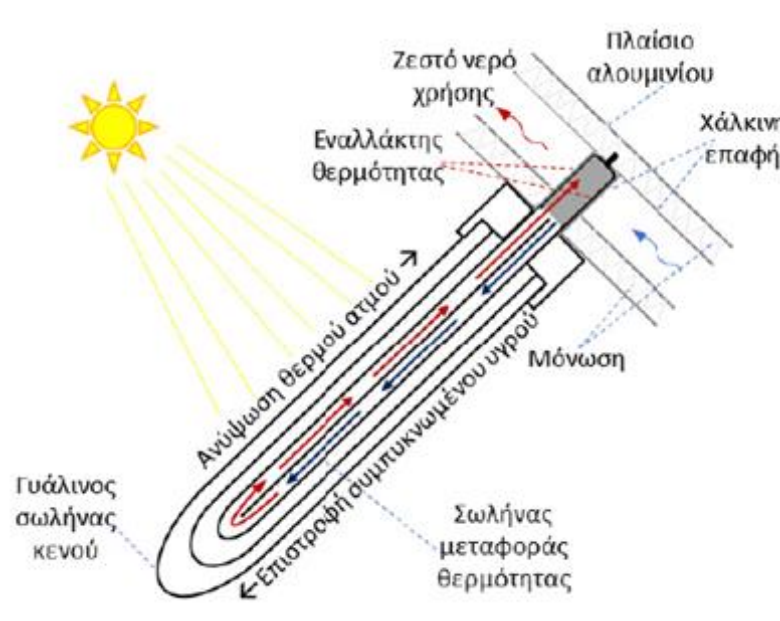
Ο επίπεδος συλλέκτης αποτελείται από:

- Το **διαφανές κάλυμα** το οποίο αποτελείται από ένα ή περισσότερα φύλλα γυαλιού ή πλαστικού. Είναι επιθυμητό το κάλυμα να έχει μεγάλη διαπερατότητα ώστε να μην μεταβάλλεται η εισερχόμενη ακτινοβολία. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντιανακλαστικές επικαλύψεις για την βελτίωση της διαπερατότητας.
- Τον **απορροφητή** ο οποίος τοποθετείται πάνω, διαμέσου ή κάτω από τις σωληνώσεις με τον βαθμό απορρόφησης να κυμαίνεται σε εύρος από 80% έως 98%. Ο ιδανικός απορροφητής απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος και αντανακλά την ηλιακή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση επιλεκτικών απορροφητικών επιφανειών.
- Το **δίκτυο σωληνών** το οποίο έχει ως σκοπό την μετάδοση της θερμότητας από την επιφάνεια του απορροφητή στο ρευστό λειτουργίας και να την μεταφορά της θερμότητας στην δεξαμενή αποθήκευσης. Συνήθως οι σωληνώσεις είναι είτε τύπου σερπαντίνας είτε ευθύγραμμης μονής ή διπλής ροής.
- Την **μόνωση** του πλαισίου η οποία χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών από τις αδιαφανείς επιφάνειες του συλλέκτη.
- Το **πλαίσιο** το οποίο χρησιμοποιείται για την προστασία των υπόλοιπων μερών από την σκόνη, την υγρασία και από τα καιρικά φαινόμενα. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το αλουμίνιο, ο γαλβανισμένος χάλυβας ή το πλαστικό ενισχυμένο με υαλοβάμβακα.



**Εικόνα 5:** Απεικόνιση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη (Καραμάνης).

Οι συλλέκτες κενού αποτελούνται από τον σωλήνα μεταφοράς θερμότητας, που φέρει το ρευστό λειτουργίας, ο οποίος περιβάλλεται από σωλήνα με υψηλό κενό με σκοπό την μείωση των απωλειών θερμότητας μέσω αγωγής και συναγωγής. Το ρευστό λειτουργίας θερμαίνεται και υπόκειται σε αλλαγή φάσης από υγρό σε αέριο. Ο ατμός μεταφέρεται στον συμπυκνωτή όπου αλλάζει η φάση του σε υγρή και απελευθερώνεται η λανθάνουσα θερμότητα του.



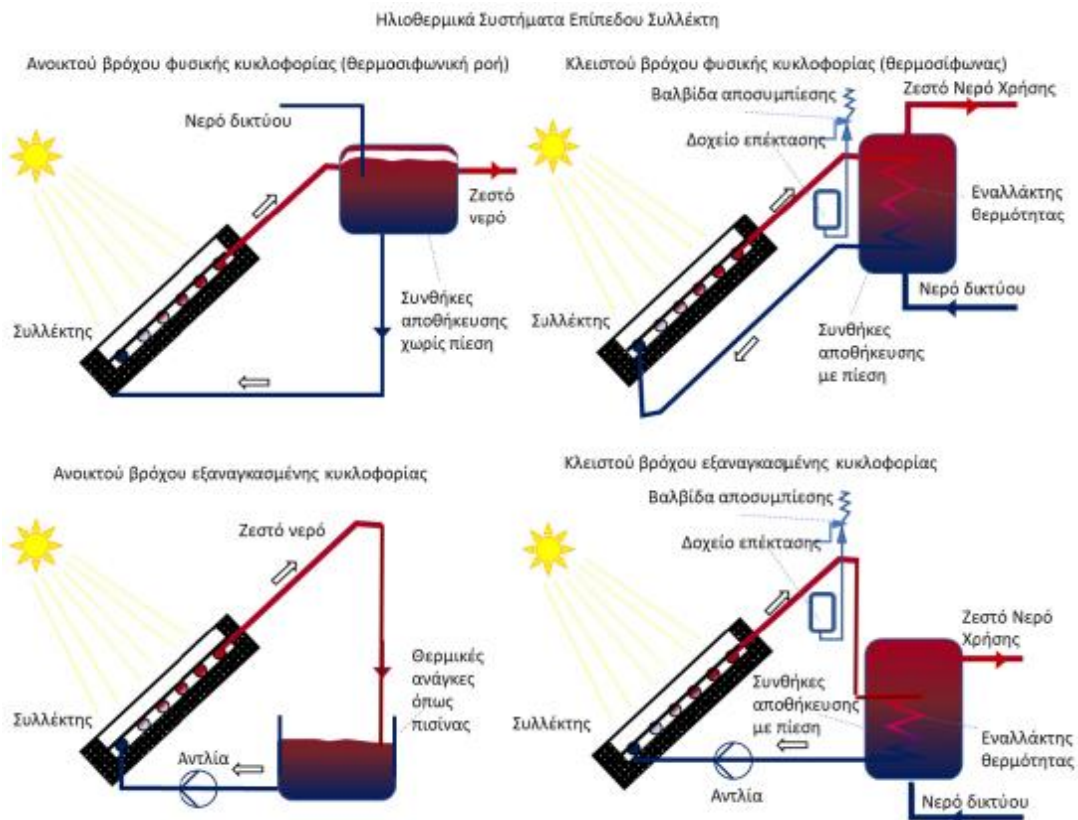
**Εικόνα 6:** Απεικόνιση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη κενού (Καραμάνης, 2022).

Τα ηλιοθερμικά συστήματα διακρίνονται στις εξής βασικές κατηγορίες:

- Ανοιχτού βρόχου φυσικής κυκλοφορίας (θερμοσιφωνική ροή)
- Κλειστού βρόχου φυσικής κυκλοφορίας (ηλιακός θερμοσίφωνα)

- Ανοιχτού βρόχου εξαναγκασμένης κυκλοφορίας
- Κλειστού βρόχου εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

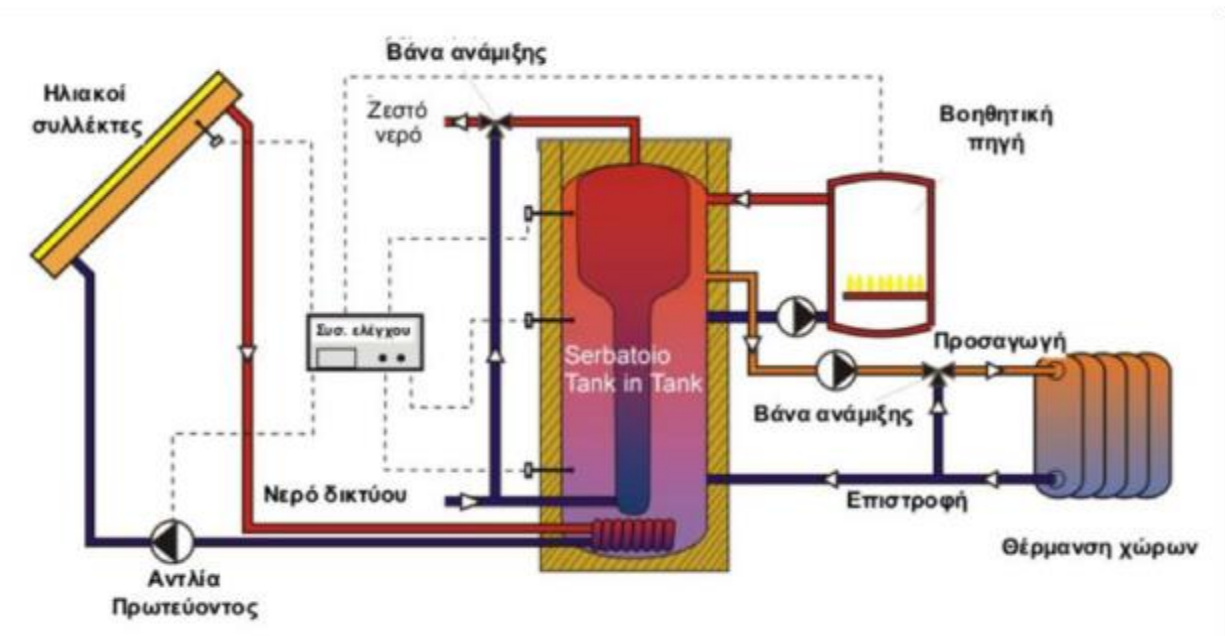
Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι το πιο απλό και διαδεδομένο θερμικό ηλιακό σύστημα. Η φυσική κυκλοφορία στο ηλιακό θερμοσίφωνα προκαλείται από την διαφοράς θερμοκρασίας καταμήκος του βρόχου. Το ρευστό λειτουργείας θερμαίνεται απόγοντας θερμότητα από τον απορροφητή και κατά συνέπεια μειώνεται η πυκνότητά του. Το θερμό ρευστό μετακινείται προς το υψηλότερο σημείο του συλλέκτη, όπου και αποθηκεύεται στην δεξαμενή. Το ψυχρό ρευστό της δεξαμενής επιστρέφει και αντικαθιστά το θερμό στον συλλέκτη με την βοήθεια της βαρύτητας ολοκληρώνοντας το σύστημα. Σε περίπτωση ανεπαρκούς ηλιακής ακτινοβολίας, κατά την χειμερινή περίοδο ή διαρκής νέφωσης, το σύστημα υποβοηθάται από ηλεκτρικούς θερμαντήρες οι οποίοι τοποθετούνται στην δεξαμενή αποθήκευσης. Η βασική διάταξη ενός θερμοσιφωνικού συστήματος αποτυπώνεται στην Εικόνα 7. Είναι προτιμότερη η χρήση του κλειστού βρόχου φυσικής κυκλοφορίας σε σχέση με του ανοιχτού βρόχου καθώς αποφεύγεται η ψύξη ή η υπερθέρμανση του νερού αλλά και η διάβρωση του συλλέκτη με την χρήση αντιψυκτικών και αντιδιαβρωτικών υγρών.



Εικόνα 7: Απεικόνιση βασικών διατάξεων θερμικού ηλιακού συλλέκτη (Καραμάνης, 2022).

Είναι προτιμότερη η χρήση συστημάτων εξαναγκασμένης κυκλοφορίας σε εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερες επιφάνειες συλλεκτών, όπως η θέρμανση χώρων, αλλά και για αρχιτεκτονικούς λόγους καθώς είναι ορατοί μόνο οι συλλέκτες. Η δεξαμενή αποθήκευσης τοποθετείται σε εσωτερικούς χώρους καθώς δεν περιορίζεται η τοποθέτησή της από την υψομετρική διαφορά, όπως στα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας, και κατά συνέπεια απαιτείται η χρήση επιπλέον σωληνώσεων και αντλίας. Τα εξαναγκασμένα συστήματα υποβοηθούμενα από συμβατικές πηγές θερμότητας όπως οι λέβητες και οι αντλίες θερμότητας αξιοποιούνται και για την θέρμανση εσωτερικών χώρων. Η βασική διάταξη των συνδυαστικών συστημάτων ηλιακών συλλεκτών κλειστού βρόχου με εξαναγκασμένη κυκλοφορία για τη θέρμανση χώρων αποτυπώνεται στην Εικόνα 8.

Οι επίπεδοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες προσανατολίζονται προς τον Νότο στο βόρειο ημισφαίριο και προς τον Βορρά στο νότιο ημισφαίριο. Η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος με μεταβολή της γωνίας κατά 10-15° περισσότερο ή λιγότερο για αύξηση της συνεισφοράς του συλλέκτη την χειμερινή περίοδο και την θερινή περίοδο αντίστοιχα.



**Εικόνα 8:** Απεικόνιση βασικής διάταξης συνδυαστικών συστημάτων ηλιακών συλλεκτών κλειστού βρόχου για τη θέρμανση χώρων (Καραμάνης, 2022).

## 1.2.4 Φωτοβολταϊκά

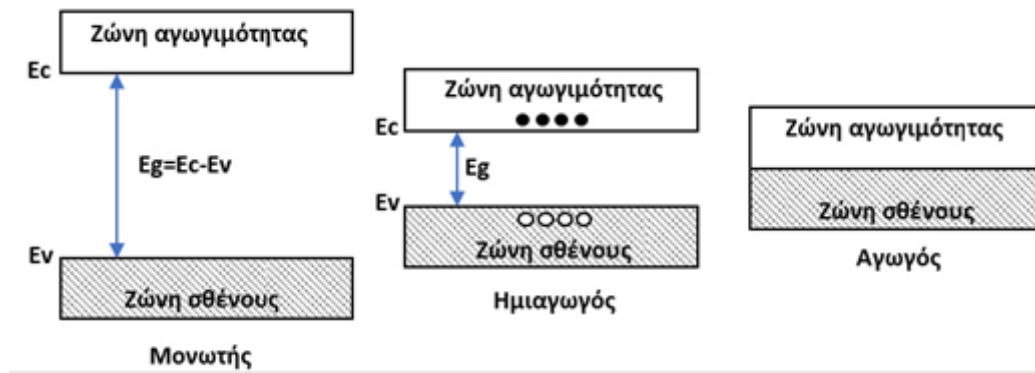
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από:

- Συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Αποθηκευτικά μέσα (Σφόνδυλος, μπαταρίες, συμπιεσμένος αέρας, υδροταμιευτήρας, υδρογόνο, μεθάνιο).
- Διαχειριστές ισχύος (Μετατροπέας ισχύς, ελεγκτής φόρτισης, ανορθωτής, μετατροπέας DC-DC).
- Άλλες ηλεκτρικές γεννήτριες.
- Συνδέσεις με τον καταναλωτή.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στα κτίρια κατηγοριοποιούνται με βάση της δύο κύριες συνδέσεις με τον καταναλωτή: τα συστήματα με διασύνδεση με το δίκτυο και τα αυτόνομα συστήματα. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα είναι είτε εγγυημένων σταθερών τιμών είτε αυτοπαραγωγής. Τα συστήματα εγγυημένων σταθερών τιμών επιτρέπουν την μεταφορά όλης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο και το κτίριο καταναλώνει ενέργεια από το δίκτυο ενώ τα συστήματα αυτοπαραγωγής επιτρέπουν την κατανάλωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το κτίριο και την κάλυψη του ελλείμματος από το δίκτυο. Στα αυτόνομα συστήματα το κτίριο δεν είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είτε αποθηκεύεται είτε καταναλώνεται άμεσα. Στα αυτόνομα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη τυχόν ελλειμμάτων.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούν ημιαγωγούς, συνήθως πυρίτιο, για την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό. Οι ημιαγωγοί είναι υλικά στα οποία το ενεργειακό χάσμα είναι αρκετά μικρό έτσι ώστε με την προσφορά ενέργειας μέσω θερμότητας ή φωτός τα ηλεκτρόνια να μεταπηδούν από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας δημιουργώντας ζεύγους οπών-ηλεκτρονίων. Στους μονωτές το ενεργειακό χάσμα είναι πολύ μεγάλο και απαιτεί μεγάλη διαφορά δυναμικού για την μεταπήδηση των ηλεκτρονίων ενώ στους αγωγούς δεν υπάρχει ενεργειακό διάκενο (Εικόνα 9).





**Εικόνα 9:** Απεικόνιση ενεργειακού χάσματος για μονωτές, ημιαγωγούς και αγωγούς (Καραμάνης, 2022).

Λόγω του περιορισμένου αριθμού οπών και ηλεκτρονίων, στην ζώνη σθένους και ζώνη αγωγιμότητας αντίστοιχα, εμφανίζεται μικρή αγωγιμότητα. Για την αύξηση της αγωγιμότητας προσθέτονται στην κρυσταλλική δομή κατάλληλες προσμίξεις. Οι εξωγενείς ημιαγωγοί δημιουργούνται με την πρόσμειξη πεντασθενή ή τρισθενών στοιχείων. Με την πρόσμειξη πεντασθενούς στοιχείου αυξάνεται η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων δημιουργώντας ημιαγωγό αρνητικού τύπου n-type. Στην πρόσμειξη τρισθενούς στοιχείου εμφανίζεται έλλειμμα ηλεκτρονίων προκαλώντας την εμφάνιση οπών στο πλέγμα δημιουργώντας ημιαγωγό θετικού τύπου p-type.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδυάζονται ημιαγωγοί τύπου p και n για την δημιουργία της επαφή p-n. Με την ένωση των ημιαγωγών οι οπές της πλευράς p και τα ηλεκτρόνια της πλευράς n διαχέονται προς την πλευρά n και p αντίστοιχα. Σε μια στενή περιοχή γύρω από την επαφή των ημιαγωγών δεν παρουσιάζεται ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές η περιοχή αυτή ονομάζεται περιοχή απογύμνωσης. Η περιοχή απογύμνωσης λειτουργεί ως φράγμα δυναμικού στην διάχυση των ηλεκτρονίων και των οπών. Για την υπερπήδηση της ζώνης απογύμνωσης είναι απαραίτητη η εφαρμογή δυναμικού εξωτερικά της διόδου. Ο ημιαγωγός χωρίζεται σε δύο περιοχές της θετική περιοχή (περιοχή n) και την αρνητική περιοχή (περιοχή p) δημιουργώντας διαφορά δυναμικού με φορά από την περιοχή n προς την p.

Με την έκθεση της διόδου p-n στο φως τα φωτόνια εισέρχονται στο κελί από την περιοχή του n ημιαγωγού έως την περιοχή απογύμνωσης στην οποία δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών. Λόγω της διαφοράς δυναμικού τα ηλεκτρόνια και οι οπές, από την απορρόφηση του φωτός, μετακινούνται στην περιοχή n και p αντίστοιχα. Ως αποτέλεσμα της κίνησης των ηλεκτρονίων και των οπών η συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων στην περιοχή n και των οπών στην περιοχή p αυξάνεται και κατά συνέπεια αυξάνεται η διαφορά δυναμικού. Με την χρήση εξωτερικού κυκλώματος τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται στην περιοχή p και συνδέονται με τις οπές παρέχοντας συνεχής ροή ηλεκτρονίων στην διόδο. Το ηλεκτρόδιο στην περιοχή n είναι ένα

αραιό μεταλλικό πλέγμα σε σχήμα σχάρας ενώ το ηλεκτρόδιο στην περιοχή p είναι ένα ενιαίο φύλλο αλουμινίου σε όλη την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

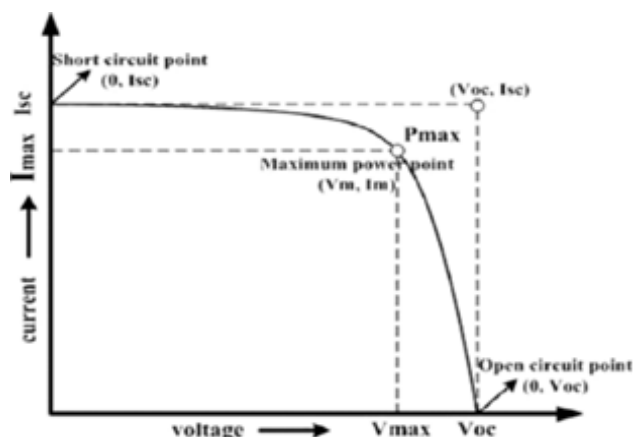
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται σε σειρά και ομαδοποιούνται σε πλαίσια. Οι κυψέλες συνδέονται σε σειρά καθώς η παράλληλη σύνδεση οδηγεί σε ρεύμα υψηλή έντασης και χαμηλής τάσης με αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγάλων απωλειών στις καλωδιώσεις.

Τα πλαίσια περικλύονται από υαλοπίνακα στην πλευρά που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία και από μεταλλικό σκελετό στις υπόλοιπες πλευρές για την προστασία των φωτοβολταϊκών κελίων και των ηλεκτρονικών συνδέσεων από τα καιρικά φαινόμενα. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευάζονται συνήθως από 36, 72, 96 και 128 φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Σε αντίθεση με άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας στα φωτοβολταϊκά στοιχεία η ηλεκτρική ενέργεια καθορίζεται από το φορτίο. Η μέγιστη τιμή της ισχύος λαμβάνεται με την κατάλληλη επιλογή της αντίστασης του φορτίου. Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη I-V και το σημείο μέγιστη ισχύς.

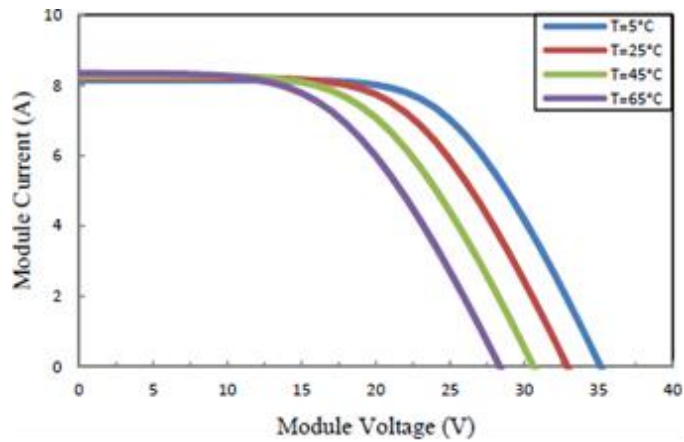
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χαρακτηρίζονται από την ισχύ ακμής  $W_p$  που ορίζεται από την ισχύ εξόδου του πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής (Standard Test Conditions STC) δηλαδή για θερμοκρασία  $25^{\circ}\text{C}$  και πλήρης ηλιακή ακτινοβολία  $1000\text{ W/m}^2$ . Ωστόσο επειδή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λειτουργούν και σε θερμοκρασίες υψηλότερες θεωρείται ότι η παραγόμενη ισχύς μεταβάλλεται κατά 0.5% για κάθε  $1^{\circ}\text{C}$  που μεταβάλλεται η θερμοκρασία (Εικόνα 11).

Η ένταση του ρεύματος του φωτοβολταϊκού στοιχείου που παρέχει στο κύκλωμα είναι πρακτικά ανάλογη με την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται (Εικόνα 12).

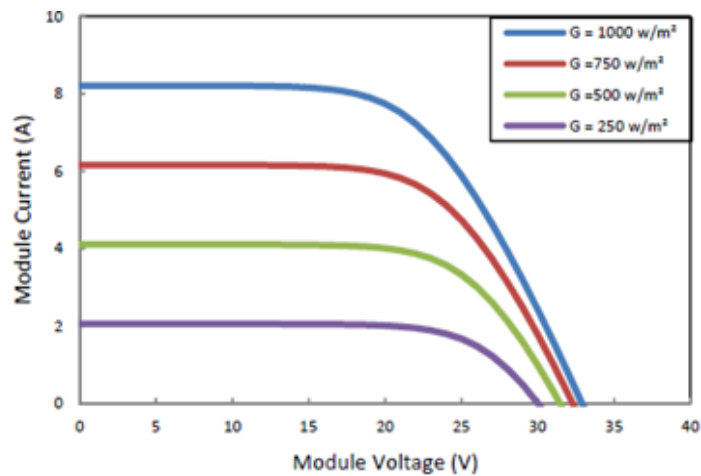


**Εικόνα 10:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκού στοιχείου.





**Εικόνα 11:** Μεταβολή της χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκού στοιχείου μιας διόδου με βάση την θερμοκρασία λειτουργίας.



**Εικόνα 12:** Μεταβολή της χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκού στοιχείου μιας διόδου με βάση την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ως πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων θεωρούνται:

- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Μεγάλο χρονικό διάστημα αξιοποίησης (20+ χρόνια λειτουργίας).
- Δεν εκπέμπονται αέρια του θερμοκηπίου κατά την λειτουργία τους (καθαρή ενέργεια).

Ενώ ως μειονεκτήματα θεωρούνται:

- Το υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- Η μεταβλητή παραγωγή ισχύος.

- Η αύξηση του κόστους για αποθήκευση της ενέργειας.

### 1.3 Σκοπός και δομή της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση του λογισμικού προγράμματος DesignBuilder στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς κατοικιών. Για την αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε ενεργειακή ανάλυση σε μία πρότυπη κατοικία συνολικής επιφάνειας 80m<sup>2</sup>. Η αξιολόγηση του DesignBuilder γίνεται με την σύγκρισή των αποτελεσμάτων της ενεργειακής ανάλυσης με το λογισμικό TEE KENAK. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε επίδειξη των δυνατοτήτων του λογισμικού στα ενεργειακά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

Σε αρχικό στάδιο γίνεται αναφορά στις δυνατότητες και λειτουργίες των λογισμικών προσομοίωσης. Σε δεύτερο στάδιο εισάγονται η γεωμετρία της μονοκατοικίας και οι παράμετροι λειτουργίας του κτιρίου και στα δύο προγράμματα προσομοίωσης. Στην συνέχεια, πραγματοποιούνται οι ενεργειακές αναλύσεις και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Πιο συγκεκριμένα αναλύονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου σε θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης στο DesignBuilder και στο TEE KENAK. Επιπλέον, αναλύεται η επίδραση της μεταβολής των πηγών ενέργειας για την θέρμανσης και το ζεστό νερό χρήσης στο DesignBuilder και με την χρήση των απλοποιημένων ενεργειακών συστημάτων (Simple HVAC) και των λεπτομερώς σχεδιασμένων ενεργειακών συστημάτων (Detailed HVAC). Παράλληλα συγκρίθηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις του TEE KENAK και του DesignBuilder καθώς και οι ενεργειακές απαιτήσεις των δύο διαφορετικών λειτουργιών του DesignBuilder. Τέλος, πραγματοποιείται επίδειξη των δυνατοτήτων του DesignBuilder με χρήση προσαρμοσμένων καμπυλών βαθμού απόδοσης καθώς και την σχεδίαση ενεργειακού συστήματος θέρμανσης και ψύξης στο οποίο χρησιμοποιείται γεωθερμική αντλία θερμότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 2.1 Λειτουργία DesignBuilder

Το DesignBuilder αποτελεί λογισμικό προσομοίωσης ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων και ενεργειακών συστημάτων. Είναι βασισμένο στο λογισμικό προσομοίωσης EnergyPlus προσφέροντας μια πιο απλοποιημένη προσομοίωση και ένα πιο φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον. Αξιοποιείται κυρίως από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και ερευνητές για την μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης της θέρμανσης, της ψύξης, του αερισμού, του φωτισμού και διάφορων διεργασιών των κτιρίων. Τα αποτελέσματα τα οποία μπορούν να διεξαχθούν από το λογισμικό είναι τα εξής:

- Μελέτη θέρμανσης (Heating Design).
- Μελέτη κλιματισμού (Cooling Design).
- Προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς και των συνθηκών άνεσης του κτιρίου (Simulation).
- Ανάλυση κόστους και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Cost and Carbon).
- Ρευστοδυναμική ανάλυση του κτιρίου (CFD).
- Προσομοίωση ηλιακής ακτινοβολίας (Daylighting).

#### 2.1.1 Μελέτη θέρμανσης (Heating Design)

Η σχεδίαση των συστημάτων θέρμανση πραγματοποιείται για την διαστασιολόγηση του εξοπλισμού θέρμανσης έτσι ώστε αυτός να ανταποκρίνεται στις ψυχρότερες συνθήκες της τοποθεσίας του κτιρίου. Η προσομοίωση είναι σταθερού σημείου όπου η εξωτερική θερμοκρασία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου ορίζονται από τα μετεωρολογικά δεδομένα που έχει ορίσει ο χρήστης. Στην ανάλυση τα ενεργειακά συστήματα θεωρούνται σε συνεχή λειτουργία και δεν προσμετρώνται τα ηλιακά και εσωτερικά κέρδη. Η προσομοίωση υπολογίζει τις θερμικές απώλειες από τα κουφώματα, το δάπεδο, την οροφή, τους εξωτερικούς και διαχωριστικούς τοίχους αλλά και από τον αερισμός (διείσδυση αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, μηχανικός αερισμός). Η απαιτούμενη θερμική ισχύς του εξοπλισμού θέρμανσης εκτιμάται από τις συνολικές θερμικές απώλειες των ζωνών του κτιρίου πολλαπλασιασμένες με έναν συντελεστή ασφαλείας, του οποίου η προκαθορισμένη τιμή από το λογισμικό είναι 1.5.

$$\text{Απαιτούμενη Θερμική Ισχύς} = \text{Συνολικές Θερμικές Απώλειες} \cdot \text{Συντελεστής Ασφαλείας}$$

**(Εξίσωση 1)**

### 2.1.2 Μελέτη κλιματισμού (Cooling Design)

Η σχεδίαση των συστημάτων ψύξης πραγματοποιείται για την διαστασιολόγηση του εξοπλισμού ψύξης έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις δυσμενέστερες θερινές συνθήκες της τοποθεσίας του κτιρίου. Η προσομοίωση είναι περιοδική σταθερής κατάστασης όπου οι εξωτερικές θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται είναι η μέγιστη θερμοκρασία ξηρού βολβού, η ελάχιστη θερμοκρασία ξηρού βολβού και η θερμοκρασία υγρού βολβού την χρονική στιγμή της μέγιστης θερμοκρασίας ξηρού βολβού. Η ανάλυση πραγματοποιείται με χρονικό βήμα 30 λεπτά. Δεν συμπεριλαμβάνεται ο άνεμος ωστόσο υπολογίζεται ο αερισμός (είτε φυσικός είτε εξαναγκασμένος), οι θερμικές απώλειες, τα ηλιακά και τα εσωτερικά κέρδη. Η απαιτούμενη ψυκτική ισχύς εκτιμάται από τα ψυκτικά φορτία κάθε ζώνης του κτιρίου πολλαπλασιασμένα με έναν συντελεστή ασφαλείας, του οποίου η προκαθορισμένη τιμή από το λογισμικό είναι 1.3.

$$\text{Απαιτούμενη Ψυκτική Ισχύς} = \text{Συνολικά Ψυκτικά Φορτία} \cdot \text{Συντελεστής Ασφαλείας}$$

**(Εξίσωση 2)**

### 2.1.3 Ρευστοδυναμική ανάλυση του κτιρίου (CFD)

Η ρευστοδυναμική ανάλυση στο DesignBuilder χρησιμοποιείται για ανάλυση στο εξωτερικό και στο εσωτερικό του κτιρίου. Η εξωτερική ανάλυση παρέχει κατανομές πίεσης και ταχύτητας στο εξωτερικό του κτιρίου και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των πιέσεων στην εισαγωγή και στην εξαγωγή των ενεργειακών συστημάτων και για τον πιο ακριβείς υπολογισμό των συντελεστών πίεσης για τις προσομοιώσεις φυσικού αερισμού. Η εσωτερική ανάλυση παρέχει κατανομές πίεσης, ταχύτητας και θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου αλλά και την ‘ηλικία του αέρα’ (age of air), δηλαδή την χρονική διάρκεια της μάζας αέρα που βρίσκεται στους εσωτερικούς χώρους, ως δείκτη άνεσης. Η εσωτερική ανάλυση αξιοποιείται κυρίως για την αξιολόγηση των συνθηκών άνεσης καθώς και της αποτελεσματικότητας των ενεργειακών συστημάτων και του φυσικού αερισμού.

### 2.1.4 Προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς και των συνθηκών άνεσης του κτιρίου (Simulation).

Η προσομοίωση στο Design Builder μπορεί να πραγματοποιηθεί για εύρος περιόδων από ημερήσια προσομοίωση έως προσομοίωση πολλαπλών ετών. Τα ωριαία βήματα ορίζονται από

τον χρήστη κατά την προσομοίωση. Τα ελάχιστα ωριαία βήματα που προτείνει το EnergyPlus και κατά προέκταση το DesignBuilder είναι 4 για προσομοίωση χωρίς συστήματα HVAC και 6 για προσομοιώσεις με συστήματα HVAC.

Η βασική μέθοδος για τις εξισώσεις μεταφοράς αγωγιμότητας (Conduction Transfer Functions CTF) στο EnergyPlus είναι η μέθοδος σταθερής κατάστασης ορισμένη από τις παρακάτω εξισώσεις γραμμικών πινάκων (Ceylan and Myers 1980; Seem 1987; Ouyang and Haghghat 1991). Αυτή η υπολογιστική μέθοδος συμπεριλαμβάνει μόνο την αισθητή θερμότητα αγνοώντας την επίδραση της υγρασίας κατά την μεταφορά θερμότητας στα δομικά στοιχεία.

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \mathbf{A}\vec{x} + \mathbf{B}\vec{u} \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

$$\vec{y} = \mathbf{C}\vec{x} + \mathbf{D}\vec{u} \quad (\text{Εξίσωση 4})$$

Όπου  $x$ : διάνυσμα μεταβλητών κατάστασης.

$u$ : διάνυσμα εισόδου.

$y$ : διάνυσμα εξόδου.

$\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}$ : πίνακες συντελεστών.

Για να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις (Εξισώσεις 3 & 4) θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα πλέγμα πεπερασμένων διαφορών στα στρώματα του δομικού στοιχείου που αναλύεται. Στην συγκεκριμένη χρήση των εξισώσεων οι μεταβλητές κατάστασης είναι οι κομβικές θερμοκρασίες, οι θερμοκρασίες του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι οι μεταβλητές εισόδου και οι προκύπτουσες ροές θερμότητας είναι οι μεταβλητές εξόδου. Οι πίνακες συντελεστών εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών του δομικού στοιχείου.

### 2.1.5 Βασικοί παράμετροι σχεδίασης στο DesignBuilder

Η τυπική διαμόρφωση των μοντέλων προσομοίωσης στο DesignBuilder πραγματοποιείται μέσω παραμέτρων σχεδίασης οι οποίες εισάγονται στο λογισμικό από τον χρήστη. Οι βασικότερες παράμετροι είναι οι εξής:

- Τοποθεσία, νομοθετική περιοχή και κανονισμοί μόνωσης.

- Γεωμετρία του κτηρίου.
- Συνθήκες λειτουργίας κτηρίου.
  - Ωράριο λειτουργίας
  - Επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες
  - Απαιτούμενος νωπός αέρας
  - Κατανάλωση Ζεστού Νερού Χρήσης
  - Εσωτερικά θερμικά κέρδη (άνθρωποι, συσκευές, εξοπλισμός)
- Δομικά στοιχεία και ανοίγματα.
- Φωτισμός.
- Ενεργειακά συστήματα.
  - Προσομοίωση με απλοποιημένα ενεργειακά συστήματα (Simple HVAC)
  - Προσομοίωση με λεπτομερώς σχεδιασμένα ενεργειακά συστήματα (Detailed HVAC)

### 2.1.6 Απλοποιημένα ενεργειακά συστήματα (Simple HVAC)

Σύμφωνα με το DesignBuilder το Simple HVAC είναι κατάλληλο για τα πρώιμα στάδια σχεδίασης ή για αναλύσεις όπου δεν θεωρείται απαραίτητη η λεπτομερής σχεδίαση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού. Τα χαρακτηριστικά απόδοσης των συστημάτων καθορίζονται με την χρήση περιορισμένων και προκαθορισμένων προτύπων διατάξεων. Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τα φορτία των χώρων και τον εποχιακό συντελεστή απόδοσης (SCOP) του συστήματος (ορισμένος από τον χρήστη). Η λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης ελέγχονται από σημεία ρύθμισης της θερμοκρασίας και ωρολόγια προγράμματα ενώ οι κυκλοφορητές, οι ανεμιστήρες και το σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης προσομοιώνονται μόνο με την χρήση ωρολογιακών προγραμμάτων. Η προσομοίωση του αερισμού (είτε φυσικού είτε εξαναγκασμένου είτε μικτού αερισμού) απλοποιείται ορίζονται μόνο την απαραίτητη τιμή του νωπού αέρα που εισέλχεται σε κάθε χώρο του κτιρίου ή την τιμή του αέρα που διεισδύει στο εσωτερικό του κτιρίου.

### 2.1.7 Λεπτομερή ενεργειακά συστήματα (Detailed HVAC)

Η λεπτομερής προσοίωση των ενεργειακών συστημάτων επιτυγχάνεται με την χρήση τυπικών εξαρτημάτων και τερματικών μονάδων του EnergyPlus τα οποία συνδέονται μεταξύ τους για την δημιουργία βρόχων διανομής. Η ενεργειακή απόδοση των ενεργειακών συστημάτων υπολογίζεται από τα φορτία των χώρων καθώς και από αναλυτικές παραμέτρους απόδοσης και ελέγχου όπως οι καμπύλες απόδοσης, σημεία ρύθμισης και διαδοχικούς ελέγχους. Επιπλέον επιτρέπει την εφαρμογή δευτερεύοντων συστημάτων και διαφορετικών τερματικών μονάδων στις διάφορες ζώνες του κτιρίου με σκοπό την ορθότερη μοντελοποίηση περίπλοκων ενεργειακών συστημάτων.

## 2.2 Λειτουργία TEE KENAK

Το TEE KENAK είναι λογισμικό του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ) το οποίο αξιοποιείται για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ελλάδα. Είναι βασισμένο στην μεθοδολογία των Ευρωπαϊκών προτύπων (ΕΛΟΤ EN ISO 13790, κ.α.)(ΤΕΕ 2009) και των ελληνικών προτύπων και τεχνικών οδηγιών (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε).

Ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης στο TEE KENAK πραγματοποιείται με την εισαγωγή της γεωμετρίας του κτιρίου και των τεχνικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων στο λογισμικό από τον χρήστη. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος των Ευρωπαϊκών προτύπων (ΕΛΟΤ EN ISO 13790). Το λογισμικό δεν προσφέρει δυνατότητα μελέτης θέρμανσης, κλιματισμού ή ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.

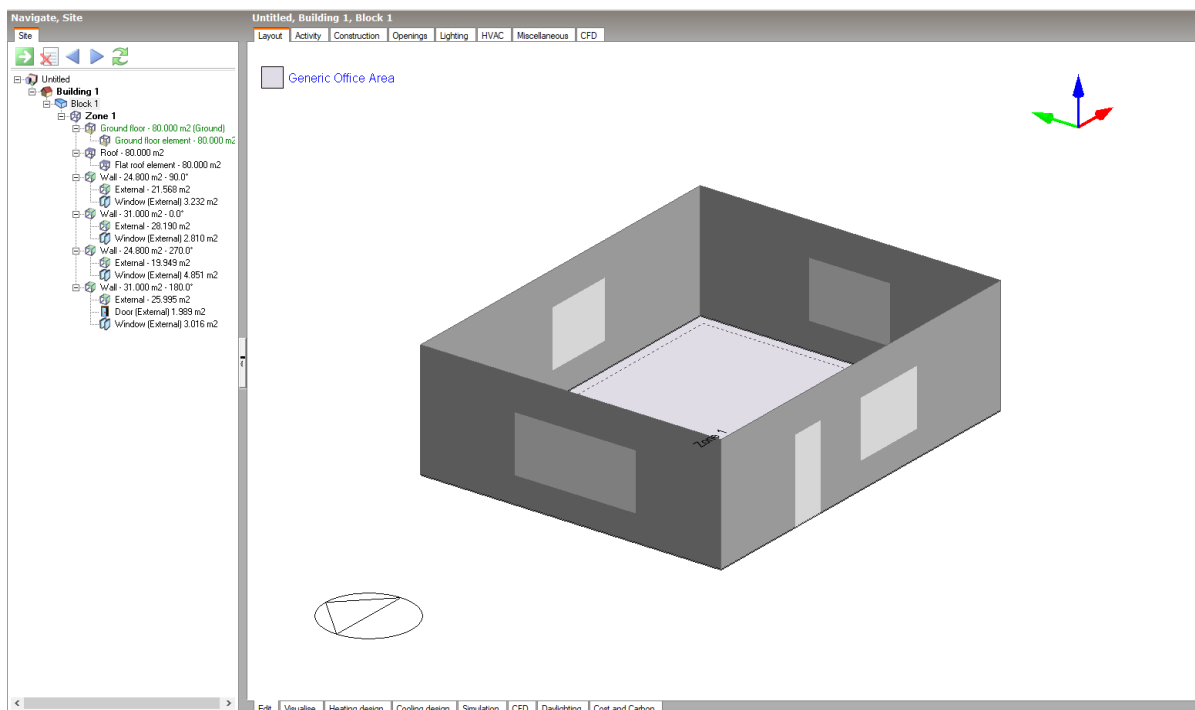
Η λειτουργία του TEE KENAK περιγράφεται στην συνέχεια κατά την ανάλυση των περιπτώσεων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ

### 3.1 Κτίριο υπό μελέτη

Το κτίριο υπό μελέτη είναι μια μονοκατοικία, με διαμόρφωση κάτοψης ορθογώνιου παραλληλόγραμου, της οποίας οι διαστάσεις είναι οι εξής: μήκος 10m, πλάτος 8m και ύψος 3.10m. Η νότια πλευρά μήκους 10m διαθέτει μια πόρτα με επιφάνεια  $1.99\text{m}^2$  και ένα παράθυρο με επιφάνεια  $3.02\text{m}^2$ . Η βόρεια, η δυτική και η ανατολική πλευρά διαθέτουν από ένα παράθυρο η καθεμία με επιφάνεια  $2.81\text{m}^2$ ,  $3.23\text{m}^2$  και  $4.85\text{m}^2$  αντίστοιχα. Η οροφή είναι επίπεδη και το κτίριο δεν διαθέτει οριζόντιες ή κατακόρυφες προεξοχές. Ο ορίζοντας του κτιρίου σε όλους τους προσανατολισμούς θεωρείται ελεύθερος. Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται το κέλυφος της μονοκατοικίας στο γραφικό περιβάλλον του DesignBuilder.

Οι τοποθεσίες που επιλέχθηκαν για το κτίριο είναι η Αθήνα (Ελληνικό) και Θεσσαλονίκη. Η μονοκατοικία θεωρείται ότι βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο από 500m, συνεπώς ανήκει στην κλιματική ζώνη Β και Γ σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων(Κ.Εν.Α.Κ). Οι τοποθεσίες επιλέχθηκαν καθώς τα κλιματικά δεδομένα των τοποθεσιών είναι διαθέσιμα σε όλα τα προγράμματα προσομοίωσης στα οποία θα πραγματοποιείται η ανάλυση.



Εικόνα 13: Το κτίριο υπό μελέτη στο περιβάλλον του Design Builder.



Στα πλαίσια αυτής της ανάλυσης διερευνούνται τέσσερα σενάρια θερμομόνωσης για να εξεταστεί η επίδραση της στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Στο πρώτο σενάριο η τοποθεσία του κτιρίου είναι η Αθήνα και οι συντελεστές θερμοπερατότητας επιλέχθηκαν έτσι ώστε να παρέχεται επαρκή θερμομονωτική προστασία σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων. Στο δεύτερο σενάριο η τοποθεσία του κτιρίου είναι επίσης η Αθήνα και οι συντελεστές επιλέχθηκαν έτσι ώστε, να τηρούν τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων Στο τρίτο σενάριο η τοποθεσία του κτιρίου είναι η Θεσσαλονίκη και οι συντελεστές θερμοπερατότητας επιλέχθηκαν έτσι ώστε να παρέχεται επαρκή θερμομονωτική προστασία σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων. Στο τέταρτο σενάριο η τοποθεσία του κτιρίου είναι επίσης η Θεσσαλονίκη και οι συντελεστές επιλέχθηκαν έτσι ώστε, να τηρούν τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. Οι ιδιότητες των δομικών υλικών συμπεριλαμβάνοντας τους συντελεστές θερμομόνωσης προσδιορίζονται λεπτομερώς για κάθε λογισμικό στα κεφάλαια 3.3 και 3.5. Συγκεντρωτικά τα δομικά στοιχεία του κτιρίου υπο μελέτη και οι μέγιστοι επιτρεπτοί συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε σενάριο παρουσιάζονται στον πίνακα 1 & 2.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (m <sup>2</sup> )	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΩΤΗΤΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (W/m <sup>2</sup> K)	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΩΤΗΤΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (W/m <sup>2</sup> K)
W <sub>l,N</sub>	Εξ. Τοίχος	Βορράς	28.919	0.70	0.50
W <sub>l,S</sub>	Εξ. Τοίχος	Νότος	25.996	0.70	0.50
W <sub>l,E</sub>	Εξ. Τοίχος	Ανατολή	19.949	0.70	0.50
W <sub>l,W</sub>	Εξ. Τοίχος	Δύση	21.568	0.70	0.50
Dr	Πόρτα	Νότος	1.99	2.80	3.00
Rf	Οροφή	-	80	0.50	0.45
Grnd	Δάπεδο	-	80	1.90	0.90
W <sub>i,N</sub>	Παράθυρο	Βορράς	2.78	-	3.00
W <sub>i,S</sub>	Παράθυρο	Νότος	3.00	-	3.00
W <sub>i,E</sub>	Παράθυρο	Ανατολή	3.23	-	3.00
W <sub>i,W</sub>	Παράθυρο	Δύση	4.88	-	3.00

**Πίνακας 1:** Δομικά στοιχεία και μέγιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας για τα σενάρια 1-2.

ΣΥΜΒ-ΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΡΟΣΑΝ-ΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (m <sup>2</sup> )	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΩΤΗΤΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (W/m <sup>2</sup> K)	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΩΤΗΤΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 4 (W/m <sup>2</sup> K)
W <sub>i,N</sub>	Εξ. Τοίχος	Βορράς	28.919	0.70	0.45
W <sub>i,S</sub>	Εξ. Τοίχος	Νότος	25.996	0.70	0.45
W <sub>i,E</sub>	Εξ. Τοίχος	Ανατολή	19.949	0.70	0.45
W <sub>i,W</sub>	Εξ. Τοίχος	Δύση	21.568	0.70	0.45
Dr	Πόρτα	Νότος	1.99	2.80	3.00
Rf	Οροφή	-	80	0.50	0.40
Grnd	Δάπεδο	-	80	0.70	0.75
W <sub>i,N</sub>	Παράθυρο	Βορράς	2.78	-	2.80
W <sub>i,S</sub>	Παράθυρο	Νότος	3.00	-	2.80
W <sub>i,E</sub>	Παράθυρο	Ανατολή	3.23	-	2.80
W <sub>i,W</sub>	Παράθυρο	Δύση	4.88	-	2.80

**Πίνακας 2:** Δομικά στοιχεία και μέγιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας για τα σενάρια 3-4.

### 3.2 Ορισμός παραμέτρων λειτουργίας του κτιρίου στο DesignBuilder

Η κύρια λειτουργία του κτιρίου είναι κατοικία επομένως ο αριθμός χρηστών ορίζεται ως 5 άτομα/m<sup>2</sup> σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 της TOTEE 20701-1. Ο ρουχισμός των χρηστών ορίστηκε ως γενικός θερινός και χειμερινός (Generic summer and winter clothing) με τιμές 1 clo για την χειμερινή περίοδο και 0.5 clo για τη θερινή περίοδο και ο μεταβολικός ρυθμός των χρηστών ορίστηκε ως 123 W/άτομο που συμβαδίζει με ελαφριά εργασία/ακινησία/περπάτημα (Light office work/Standing/Walking).

Το κτίριο λειτουργεί 18 ώρες την ημέρα, 7 μέρες την εβδομάδα σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 της TOTEE 20701-1 (TEE, 2017) και το ωράριο λειτουργίας ορίστηκε από τις 06:00 έως τις 24:00.

Η εσωτερική θερμοκρασία ορίζεται με βάση τον πίνακα 2.2 της TOTEE 20701-1. Πιο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου ορίζεται στους 20°C κατά τις ώρες λειτουργίας και 16°C τις υπόλοιπες ώρες. Ενώ κατά την θερινή περίοδο ορίζεται στους 26°C κατά τις ώρες λειτουργίας και 30°C τις υπόλοιπες ώρες.

Η θερμοκρασία και ο ρυθμός κατανάλωσης του Ζεστού Νερού Χρήσης ορίζονται στους 45°C και 2.5 l/m<sup>2</sup>/ημέρα (Πίνακας 2.5 της TOTEE 20701-1). Επειδή, η λειτουργία του

συστήματος ζεστού νερού χρήσης στο DesignBuilder βασίζεται στην χρήση ωρολόγιου προγράμματος, θεωρήθηκε ότι λειτουργεί 4 ώρες την ημέρα από τις 16:00 έως τις 21:00.

Το κτίριο δεν διαθέτει συστήματα ελέγχου της υγρασία επομένως δεν είναι απαραίτητος ο ορισμός ελάχιστων και μέγιστων τιμών της σχετικής υγρασίας ως συνέπεια διατηρούνται οι προκαθορισμένες τιμές τους (ελάχιστη 10% και μέγιστη 90%).

Ο απαιτούμενος νωπός αέρας ορίστηκε σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 της TOTEE 20701-1 ως  $15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{άτομο}$  ή  $4.167 \text{ l/s}/\text{άτομο}$ . Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητος ο ορισμός του απαιτούμενου νωπού αέρα καθώς σύμφωνα με τον KENAK, στις κατοικίες δεν απαιτείται η χρήση εξαναγκασμένου αερισμού συνεπώς ο αερισμός στις κατοικίες υπολογίζεται με την μέθοδο διείσδυσης αέρα από χαραμάδες. Η διείσδυση αέρα από χαραμάδες των ανοιγμάτων υπολογίζεται με την χρήση του πίνακα 3.26 της TOTEE 20701-1 όπου η διείσδυση αέρα από τα παράθυρα είναι  $6.8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  και από την πόρτα  $5.3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ . Επομένως, η ωριαία διείσδυση αέρα από τις χαραμάδες είναι  $105.12 \text{ m}^3/\text{h}$ . Εφόσον ο όγκος του κτιρίου είναι  $80\text{m}^2 \cdot 3.1\text{m} = 248\text{m}^3$ , τότε η διείσδυση αέρα αντιστοιχεί σε περίπου 0.4 εναλλαγές αέρα.

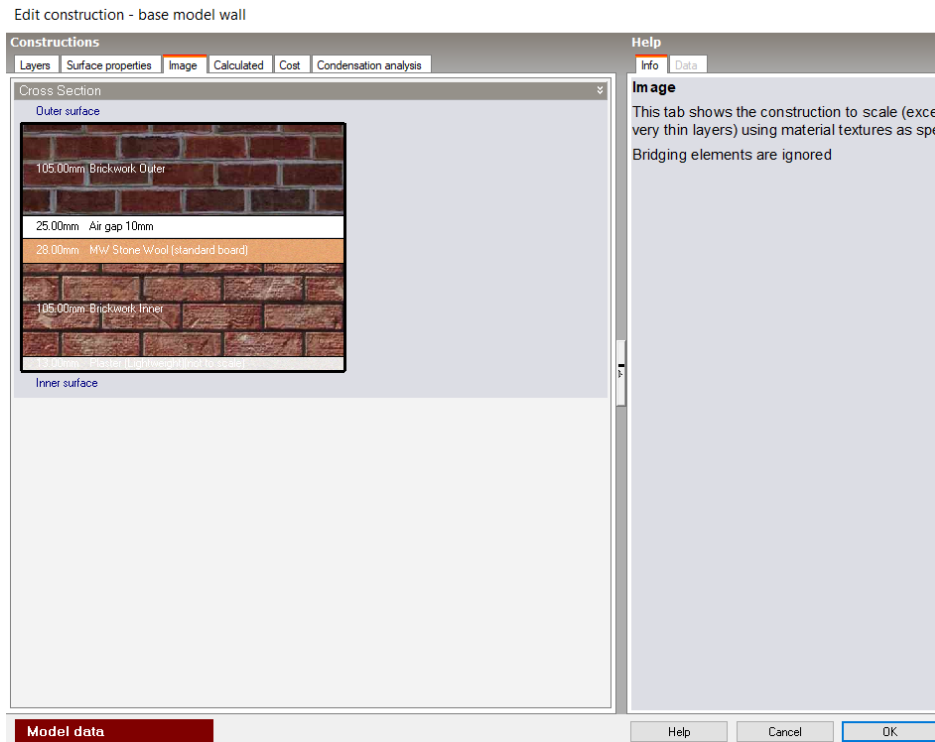
Για την ισχύ των συσκευών χρησιμοποιήθηκε η ετεροχρονισμένη ισχύς εξοπλισμού από τον πίνακα 2.8 της TOTEE 20701-1 με τιμή  $2 \text{ W}/\text{m}^2$ . Για το ποσοστό ακτινοβολίας των συσκευών, παρέμεινε η προκαθορισμένη τιμή του DesignBuilder 0.550.

### 3.3 Ορισμός των δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων στο DesignBuilder

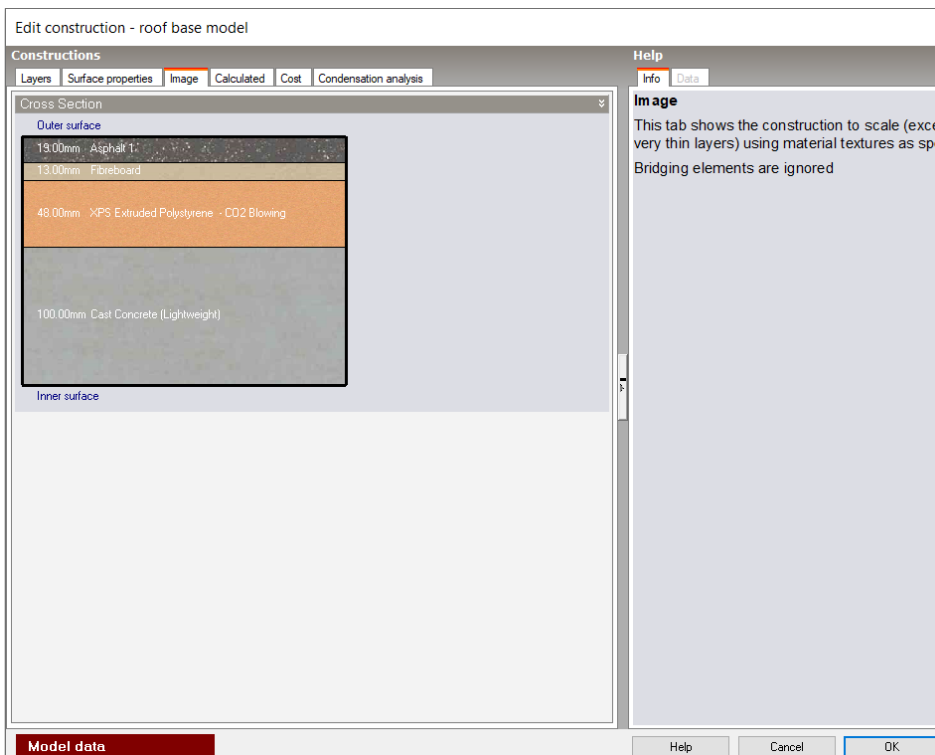
Το DesignBuilder χρησιμοποιεί δομικά στοιχεία για την μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας στους τοίχους, την οροφή, το δάπεδο και άλλων αδιαφανών στοιχείων του κελύφους. Για τα δομικά στοιχεία του κτιρίου υπό μελέτη αξιοποιήθηκαν πρότυπες διατάξεις που προσφέρει το πρόγραμμα.

Πιο συγκεκριμένα τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για το **Σενάριο 1** είναι τα εξής:

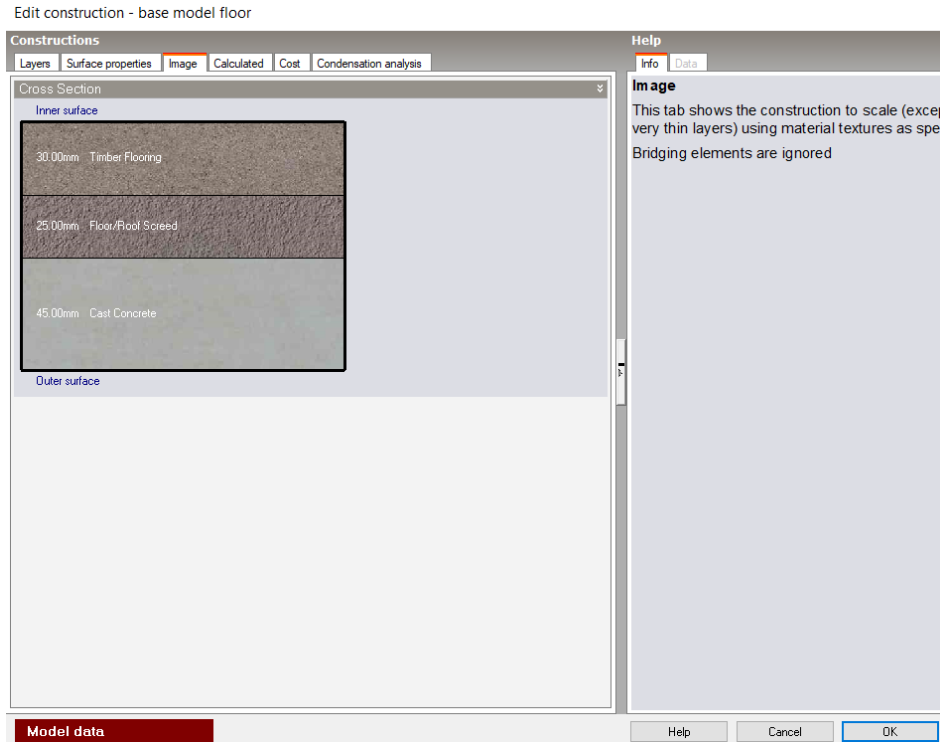
- Εξωτερικοί τοίχοι: Brick cavity with mineral insulation and lightweight plaster με συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_{\text{exw}}=0.698 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 14)
- Οροφή: Flat roof – Energy code standard – Heavyweight με συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_{\text{RF}}=0.486 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 15)
- Δάπεδο: Τροποποιημένο Combined ground floor – Uninsulated – Heavyweight με μείωση του πάχους του σκυροδέματος στα 45mm και της τσιμεντοκανιάς στα 25mm με συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_{\text{FL}}=1.904 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 16)
- Πόρτα: Project external door με συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_{\text{Dr}}=2.823 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ .



**Εικόνα 14:** Απεικόνιση στρωμάτων των εξωτερικών τοίχων-Σενάριο 1 & 3.

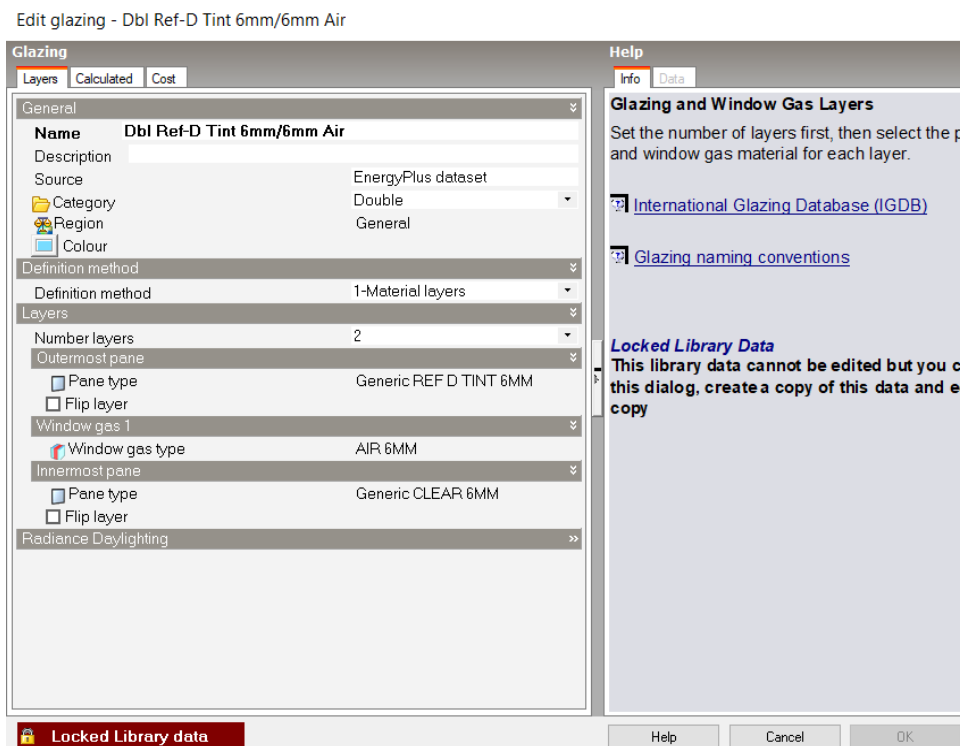


**Εικόνα 15:** Απεικόνιση στρωμάτων της οροφής-Σενάριο 1 & 3.



**Εικόνα 16:** Απεικόνιση στρωμάτων του δαπέδου -Σενάριο 1.

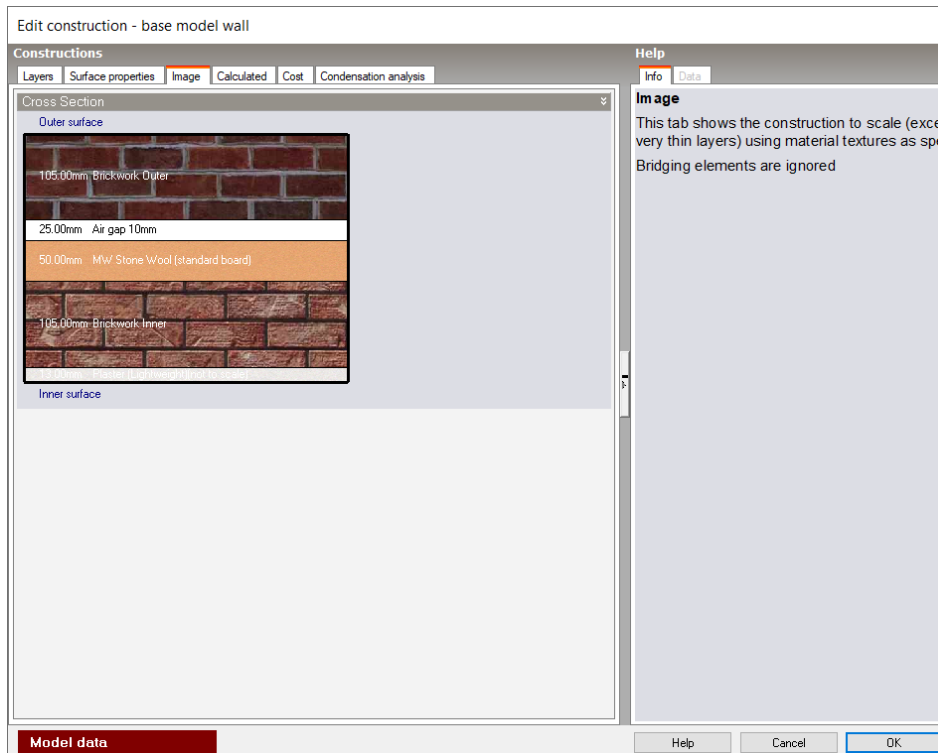
Τα διαφανή στοιχεία μοντελοποιούνται παρόμοια με τα αδιαφανή. Πιο συγκεκριμένα για το πλαίσιο των παραθύρων χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο Aluminium window frame και για τους υαλοπίνακες το πρότυπο Dbl Ref-D Tint 6mm/6mm Air με συντελεστή θερμοπερατότητας του παραθύρου  $U_{wi}=3.082 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 17).



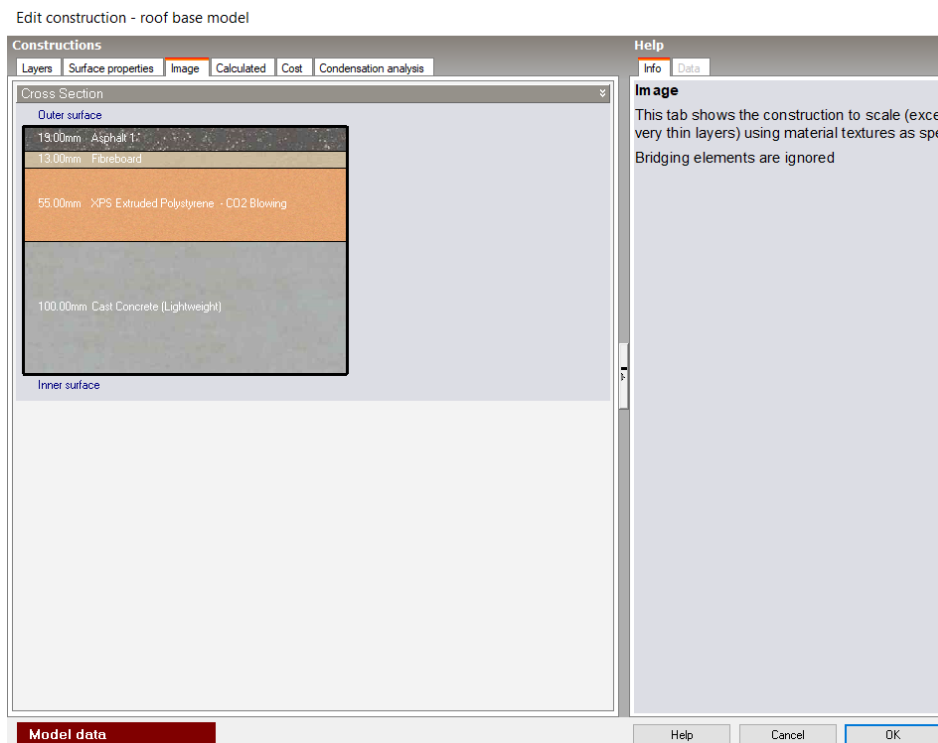
Εικόνα 17: Απεικόνιση στρωμάτων των παραθύρων-Σενάριο 1 & 3.

Στο δεύτερο σενάριο αξιοποιήθηκαν τα ίδια πρότυπα για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία με το πρώτο σενάριο με τις διαφορές στην αύξηση του πάχους της μόνωση για τους εξωτερικούς τοίχους και την οροφή και την προσθήκη μόνωση στο δάπεδο. Πιο συγκεκριμένα τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του δεύτερου σεναρίου είναι τα εξής:

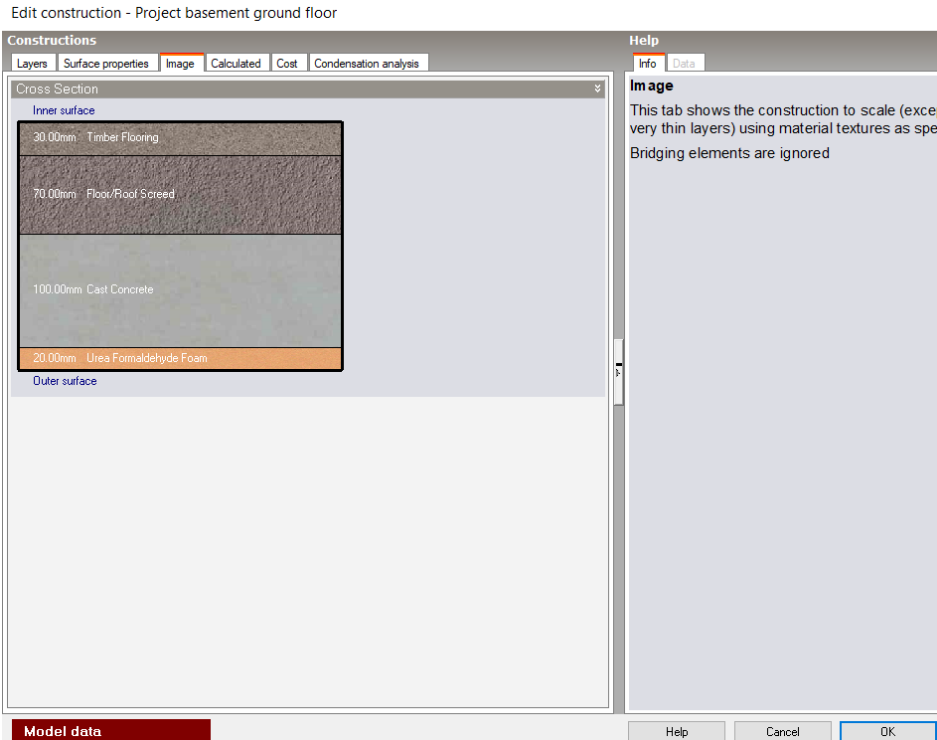
- Εξωτερικοί τοίχοι: Brick cavity with mineral insulation and lightweight plaster με πάχος μόνωσης 50mm και συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_{exw}=0.497 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 18)
- Οροφή: Flat roof – Energy code standard – Heavyweight με πάχος μόνωσης 55mm και συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{RF}=0.442 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 19)
- Δάπεδο: Τροποποιημένο Combined ground floor – Uninsulated – Heavyweight χωρίς την μείωση του σκυροδέματος και της τσιμεντοκονίας αλλά με την προσθήκη θερμομόνωσης με πάχος 20mm και συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{FL}=0.845 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 20)



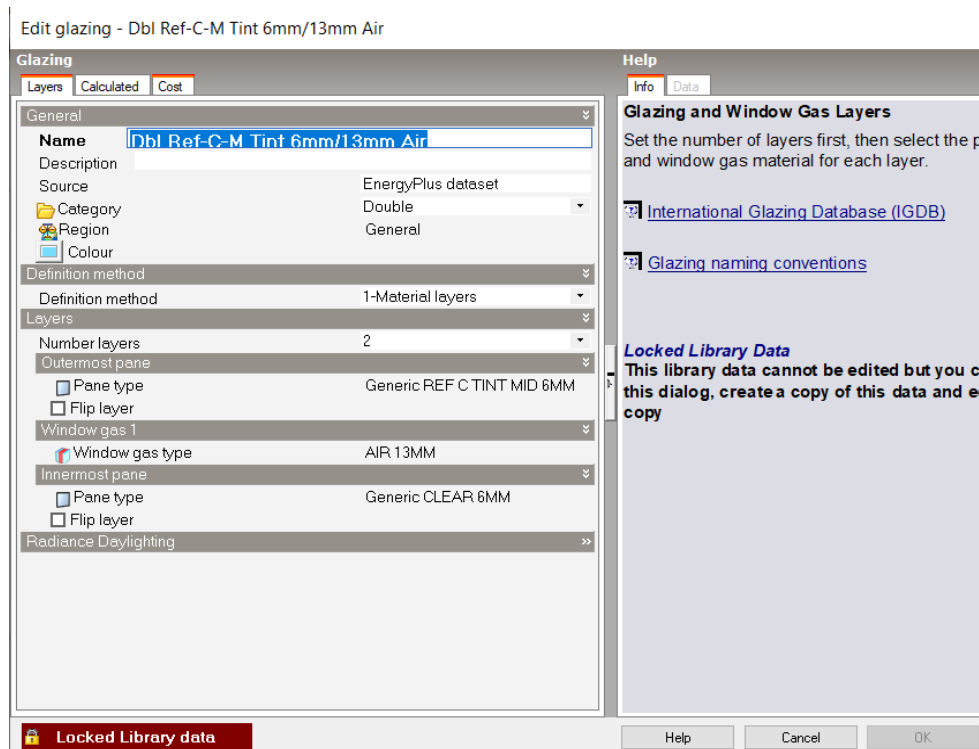
**Εικόνα 18:** Απεικόνιση στρωμάτων των εξωτερικών τοίχων-Σενάριο 2.



**Εικόνα 19:** Απεικόνιση στρωμάτων της οροφής-Σενάριο 2.



Εικόνα 20: Απεικόνιση στρωμάτων του δαπέδου-Σενάριο 2.

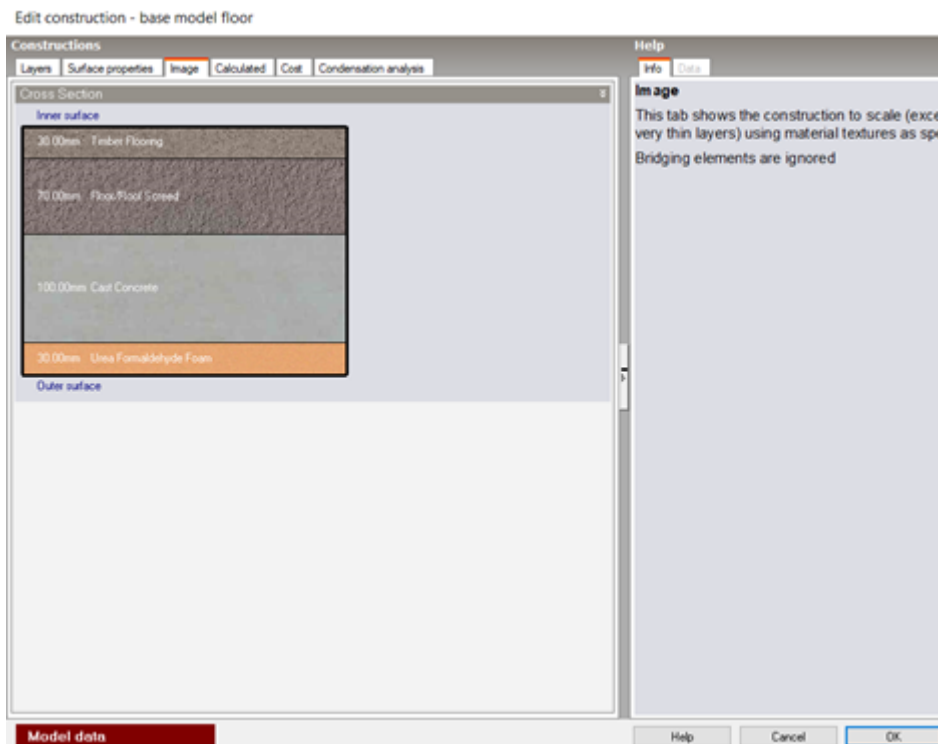


Εικόνα 21: Απεικόνιση στρωμάτων των παραθύρων-Σενάριο 2 & 4.



Τα διαφανή δομικά στοιχεία στο δεύτερο σενάριο προσομοιώθηκαν με ίδιο πρότυπο πλαισίου (Aluminium window frame) ωστόσο για τους υαλοπίνακες χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο Dbl Ref -C-M Tint 6mm/13mm Air με συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας για τα παράθυρα  $U_{wi}=2.347 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Εικόνα 21).

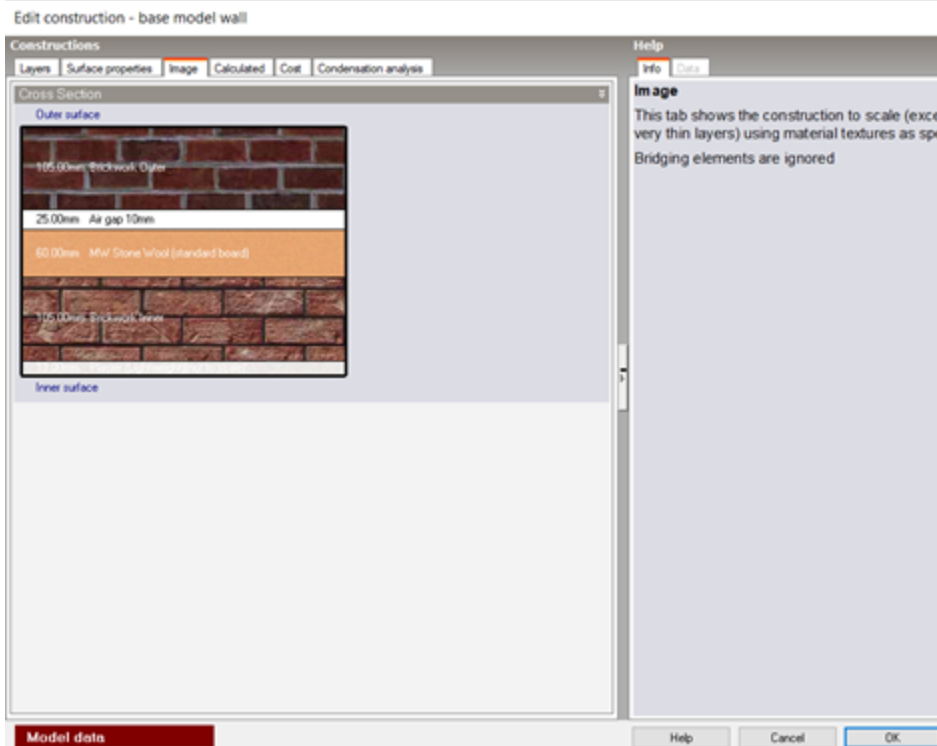
Στο τρίτο σενάριο αξιοποιήθηκαν τα ίδια πρότυπα για τα αδιαφανή και διαφανή δομικά στοιχεία με το πρώτο σενάριο με την μοναδική διαφορά την προσθήκη μόνωση στο δάπεδο (Εικόνα 22).



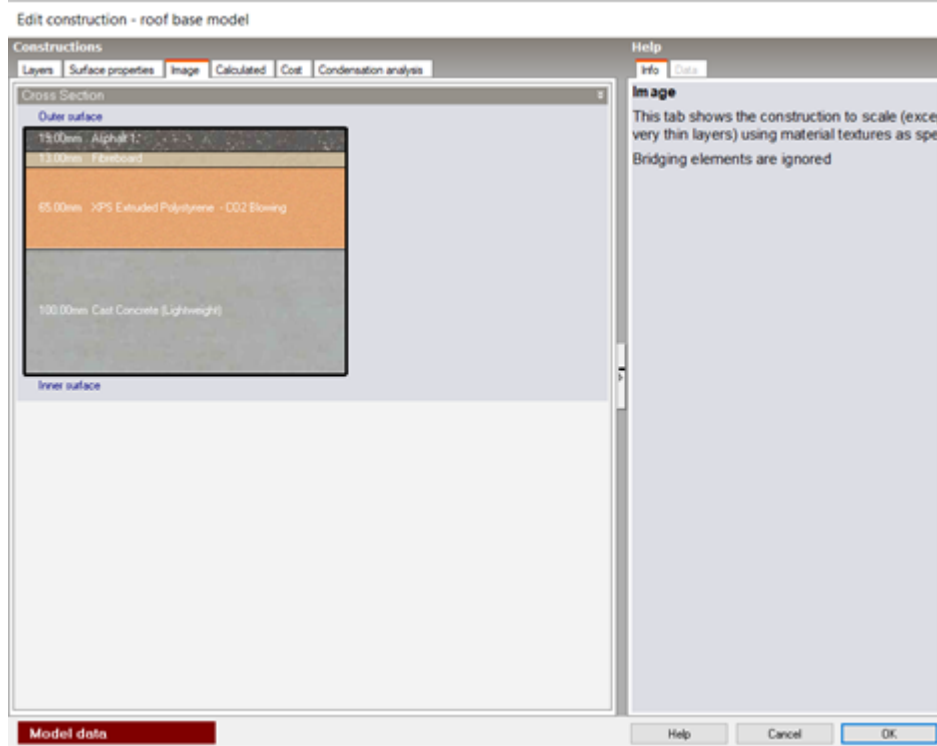
**Εικόνα 22:** Απεικόνιση στρωμάτων του δαπέδου-Σενάριο 3 & 4.

Στο τέταρτο σενάριο αξιοποιήθηκαν τα ίδια πρότυπα για τα αδιαφανή και διαφανή δομικά στοιχεία με το τρίτο σενάριο με την μοναδική διαφορά την αύξηση του πάχους της μόνωσης για τους εξωτερικούς τοίχους και την οροφή. Πιο συγκεκριμένα τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του δεύτερου σεναρίου είναι τα εξής:

- Εξωτερικοί τοίχοι: Brick cavity with mineral insulation and lightweight plaster με πάχος μόνωσης 60mm και συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_{exw}=0.497 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 18)
- Οροφή: Flat roof – Energy code standard – Heavyweight με πάχος μόνωσης 65mm και συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{RF}=0.442 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Εικόνα 19)



Εικόνα 23: Απεικόνιση στρωμάτων των εξωτερικών τοίχων-Σενάριο 4.



Εικόνα 24: Απεικόνιση στρωμάτων της οροφής-Σενάριο 4.

### 3.4 Ορισμός των παραμέτρων λειτουργία στο TEE KENAK

Το κτίριο εισάγεται στο TEE KENAK με τις ίδιες παραμέτρους όπως το DesignBuilder. Πιο συγκεκριμένα η συνολική, η θερμαινόμενη και η ψυχόμενη επιφάνεια του κτιρίου ορίστηκε 80m<sup>2</sup> και ο συνολικός, ο θερμαινόμενος και ο ψυχόμενος όγκος ορίστηκε 248m<sup>3</sup>. Το κτίριο ορίστηκε με ένα όροφο με τυπικό ύψος ορόφου 3.1m και μία θερμική ζώνη. Η έκθεση του κτιρίου θεωρήθηκε ενδιάμεση.

Οι πηγές ενέργειας που αξιοποιεί το κτίριο είναι το πετρέλαιο για την θέρμανση και το ζεστό νερό χρήσης και ο ηλεκτρισμός για την ψύξη, τον φωτισμό και τις συσκευές. Η μέση κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης και η διείσδυση αέρα από τις χαραμάδες ορίζεται όπως και στο DesignBuilder ως 2.5 l/m<sup>2</sup>/έτος( ή 72 m<sup>3</sup>/έτος) και 105 m<sup>3</sup>/h αντίστοιχα. Στις εικόνες 25 & 26 παρουσιάζονται οι παράμετροι λειτουργίας εισηγμένες στο TEE KENAK.

Επιλέξτε τα συστήματα του κτιρίου:  ΣΗΘ  Φωτοβολταϊκά  Ανεμογεννήτριες αστικού περιβάλλοντος

Γενικά | Υδρευση, αποχέτευση, άρδευση | Ανεγκυστήρες

Περιγραφή: Υπάρχον κτίριο

Χρήση κτιρίου: Μονοκατοικία

Συνολική επιφάνεια (m<sup>2</sup>): 80 Συνολικός όγκος (m<sup>3</sup>): 248

Θερμαινόμενη επιφάνεια (m<sup>2</sup>): 80 Θερμαινόμενος όγκος (m<sup>3</sup>): 248

Ψυχόμενη επιφάνεια (m<sup>2</sup>): 80 Ψυχόμενος όγκος (m<sup>3</sup>): 248

Αριθμός ορόφων: 1 Ύψος τυπικού ορόφου (m): 3.1 Ύψος ισογείου (m): 0

Έκθεση κτιρίου: Ενδιάμεσο

Αριθμός θερμικών ζωνών: 1

Αριθμός μη θερμαινόμενων χώρων: 0 Αριθμός ηλιακών χώρων: 0

Θερμομόνωση των κατακόρυφων δομικών στοιχείων

	Πηγή ενέργειας	Θέρμανση	Ψύξη	Αερισμός	ZNX	Φωτισμός	Συσκευές	Κατανάλωση	Μονάδες	Περίοδος κατανάλωσης
▶	Πετρέλαιο θέρμανσης	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	lt	00/00/00 - 01/01/10
	Ηλεκτρική	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	kWh	00/00/00 - 01/01/10
*		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			00/00/00 - 01/01/10

Συνθήκες θερμικής άνεσης  Συνθήκες ακουστικής άνεσης  Συνθήκες οπτικής άνεσης  Ποιότητα εσωτερικού αέρα

Εικόνα 25: Απεικόνιση των παραμέτρων λειτουργίας στο περιβάλλον του TEE KENAK (1/2).

Γενικά

Χρήση: Μονοκατοικία, πολυκατοικία

Συνολική επιφάνεια (m²): 80 Μέση κατανάλωση ZNX (m³/έτος): 72  Διατάξεις αυτόματου ελέγχου ZNX

Ανηγμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m³K): 165

Κατηγορία διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών: Τύπος Γ

Διείσδυση αέρα

Διείσδυση αέρα από κουφώματα (m³/h): 105 Αριθμός καμινάδων: 0 Αριθμός θυρίδων εξαερισμού: 0

Υβριδικό σύστημα δροσισμού

Αριθμός ανεμιστήρων οροφής: 0

Εικόνα 26: Απεικόνιση των παραμέτρων λειτουργίας στο περιβάλλον του TEE KENAK (2/2).

### 3.5 Ορισμός των δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων στο TEE KENAK

Τα δομικά στοιχεία και ανοίγματα ορίστηκαν όπως και στο DesignBuilder με την εξαίρεση την εκτίμηση των συντελεστών απορροφητικότητας  $\alpha$  και εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας  $\epsilon$  των αδιαφανών επιφανειών και του συντελεστή διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας  $g_{gw}$  των διαφανών επιφανειών. Ο συντελεστή απορροφητικότητας  $\alpha$  των εξωτερικών τοίχων και της οροφής λαμβάνει την τιμή 0.60 η οποία προκύπτει από τον πίνακα 3.14 της TOTEE 20701-1. Ο συντελεστής εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας  $\epsilon$  λαμβάνει την 0.80 για σύνηθες δομικό υλικό από τον πίνακα 3.15 της TOTEE 20701-1. Ο συντελεστής ηλιακής ακτινοβολίας  $g_{gw}$  παίρνει την τιμή 0.30 από τον πίνακα 3.17 της TOTEE 20701-1.

Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 27-29) παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία και ανοίγματα του κτιρίου υπό μελέτη εισαγμένα στο περιβάλλον του λογισμικού TEE KENAK και για τα τέσσερα σενάρια της ανάλυσης.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

	Τύπος	Περιγραφή	Περιγραφή (eg)	Εμβαδόν (m²)	U (W/m²K)	$\alpha$ (-)	$\epsilon$ (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
1	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Βορράς	90	28.919	0.698	0.6	0.80	1	1	1	1	1	1
2	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Νότος	180	90	25.996	0.698	0.6	0.80	1	1	1	1	1
3	Πόρτα	Πόρτα	180	90	1.988	2.823		1	1	1	1	1	1
4	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Ανατολικά	90	90	19.949	0.698	0.6	0.8	1	1	1	1	1
5	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Δυτικά	270	90	21.568	0.698	0.6	0.8	1	1	1	1	1
6	Οροφή	Οροφή	0	80	0.486	0.60	0.80	1	1	1	1	1	1
* 7													

Εικόνα 24: Απεικόνιση αδιαφανών στοιχείων στο περιβάλλον του TEE KENAK-Σενάριο 1 & 3.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος

	Τύπος	Περιγραφή	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	Κ. Βάθος (m)	Α. Βάθος (m)	Περίμετρος (m)
▶ 1		Δάπεδο	80	1.904	0		36
* 2							

**Εικόνα 25:** Απεικόνιση του δαπέδου στο περιβάλλον του TEE KENAK-Σενάριο 1.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	Τύπος ανοίγματος*	U (W/m <sup>2</sup> K)	g <sub>w</sub> (-)	F <sub>hor_h</sub> (-)	F <sub>hor_c</sub> (-)	F <sub>ov_h</sub> (-)	F <sub>ov_c</sub> (-)	F <sub>fin_h</sub> (-)	F <sub>fin_c</sub> (-)
▶ 1	Ανοιγόμενο κούφισμα	Κουφώματα Βορράς	0	90	2.81	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% διδμος με μεμβράνη χαμ. επ. με διάκενο αέρα 12mm	3.082	0.3	1	1	1	1	1	1
2	Ανοιγόμενο κούφισμα	Κουφώματα Νότος	180	90	3.016	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% διδμος με μεμβράνη χαμ. επ. με διάκενο αέρα 12mm	3.082	0.3	1	1	1	1	1	1
3	Ανοιγόμενο κούφισμα	Κουφώματα Ανατολή	90	90	3.232	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% διδμος με μεμβράνη χαμ. επ. με διάκενο αέρα 12mm	3.082	0.3	1	1	1	1	1	1
4	Ανοιγόμενο κούφισμα	Κουφώματα Δύση	270	90	4.851	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% διδμος με μεμβράνη χαμ. επ. με διάκενο αέρα 12mm	3.082	0.3	1	1	1	1	1	1
* 5														

**Εικόνα 26:** Απεικόνιση των διαφανών επιφανειών στο περιβάλλον του TEE KENAK-Σενάριο 1 & 3.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	a* (-)	e* (-)	F <sub>hor_h</sub> (-)	F <sub>hor_c</sub> (-)	F <sub>ov_h</sub> (-)	F <sub>ov_c</sub> (-)	F <sub>fin_h</sub> (-)	F <sub>fin_c</sub> (-)
▶ 1	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Βορράς	0	90	28.919	0.497	0.6	0.80	1	1	1	1	1	1
2	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Νότος	180	90	25.996	0.497	0.6	0.80	1	1	1	1	1	1
3	Πόρτα	Πόρτα	180	90	1.988	2.823			1	1	1	1	1	1
4	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Ανατολικά	90	90	19.949	0.497	0.6	0.80	1	1	1	1	1	1
5	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Δυτικά	270	90	21.568	0.497	0.6	0.8	1	1	1	1	1	1
6	Οροφή	Οροφή			80	0.442	0.60	0.80	1	1	1	1	1	1
* 7														

**Εικόνα 27:** Απεικόνιση αδιαφανών στοιχείων στο περιβάλλον του TEE KENAK-Σενάριο 2.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος

	Τύπος	Περιγραφή	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	Κ. Βάθος (m)	Α. Βάθος (m)	Περίμετρος (m)
▶ 1		Δάπεδο	80	0.845	0		36
* 2							

**Εικόνα 28:** Απεικόνιση του δαπέδου στο περιβάλλον του TEE KENAK-Σενάριο 2.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

	Τύπος	Περιγραφή	$\gamma$ (deg)	$\beta$ (deg)	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	Τύπος ανοίγματος*	U (W/m <sup>2</sup> K)	g <sub>w</sub> (-)	F <sub>hor_h</sub> (-)	F <sub>hor_c</sub> (-)	F <sub>ov_h</sub> (-)	F <sub>ov_c</sub> (-)	F <sub>fin_h</sub> (-)	F <sub>fin_c</sub> (-)
▶ 1	Αναγόμενο κούριμα	Κουφώματα Βορράς	0	90	2.81	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% Δίδυμος με μεμβράνη χαμ. εκπ. με διάκενο αέρα 12mm	2.347	0.3	1	1	1	1	1	1
2	Αναγόμενο κούριμα	Κουφώματα Νότος	180	90	3.016	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% Δίδυμος με μεμβράνη χαμ. εκπ. με διάκενο αέρα 12mm	2.347	0.3	1	1	1	1	1	1
3	Αναγόμενο κούριμα	Κουφώματα Ανατολή	90	90	3.232	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% Δίδυμος με μεμβράνη χαμ. εκπ. με διάκενο αέρα 12mm	2.347	0.3	1	1	1	1	1	1
4	Αναγόμενο κούριμα	Κουφώματα Δύση	270	90	4.851	Μεταλλικό με θ.δ. 24mm 30% Δίδυμος με μεμβράνη χαμ. εκπ. με διάκενο αέρα 12mm	2.347	0.3	1	1	1	1	1	1
* 5														

**Εικόνα 29:** Απεικόνιση των διαφανών επιφανειών στο περιβάλλον του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ-Σενάριο 2.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος

	Τύπος	Περιγραφή	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	Κ. Βάθος (m)	Α. Βάθος (m)	Περίμετρος (m)
▶ 1		Δάπεδο	80	0.698	0		36
* 2							

**Εικόνα 30:** Απεικόνιση του δαπέδου στο περιβάλλον του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ-Σενάριο 3 & 4.

Επιλέξτε τα δομικά στοιχεία της ζώνης: Αριθμός εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών: 0  Παθητικά ηλιακά

Αδιαφανείς επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς επιφάνειες

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα

	Τύπος	Περιγραφή	$\gamma$ (deg)	$\beta$ (deg)	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	a* (-)	e* (-)	F <sub>hor_h</sub> (-)	F <sub>hor_c</sub> (-)	F <sub>ov_h</sub> (-)	F <sub>ov_c</sub> (-)	F <sub>fin_h</sub> (-)	F <sub>fin_c</sub> (-)
▶ 1	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Βορράς	0	90	28.919	0.497	0.6	0.80	1	1	1	1	1	1
2	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Νότος	180	90	25.996	0.497	0.6	0.80	1	1	1	1	1	1
3	Πόρτα	Πόρτα	180	90	1.988	2.823			1	1	1	1	1	1
4	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Ανατολικά	90	90	19.949	0.497	0.6	0.80	1	1	1	1	1	1
5	Τοίχος	Εξωτερικός Τοίχος Δυτικά	270	90	21.568	0.497	0.6	0.8	1	1	1	1	1	1
6	Οροφή	Οροφή	0		80	0.442	0.60	0.80	1	1	1	1	1	1
* 7														

**Εικόνα 31:** Απεικόνιση αδιαφανών στοιχείων στο περιβάλλον του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ-Σενάριο 4.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων των λογισμικών TEE KENAK και DesignBuilder. Στο λογισμικό DesignBuilder η μοντελοποίηση πραγματοποιείται αρχικά με τα απλοποιημένα ενεργειακά συστήματα (Simple HVAC) και στην συνέχεια πραγματοποιείται λεπτομερής σχεδίαση των ενεργειακών συστημάτων (Detailed HVAC).

### 4.1 Ενεργειακές απαιτήσεις

#### 4.1.1 Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder

Ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων στο DesignBuilder πραγματοποιείται θέτοντας τους συντελεστές απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων της θέρμανση, της ψύξης και του ζεστού νερού χρήση ως COP=1, καθώς το λογισμικό δεν διαθέτει την δυνατότητα προβολής των ενεργειακών απαιτήσεων. Οι μηνιαίες απαιτήσεις του κτιρίου και για τα δύο σενάρια παρουσιάζονται παρακάτω:

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	6.3	6.6	4.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	5.7	26.5	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	4.4	4.6	1.1	0.0	0.0	0.0	12.0	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΖΝΧ</b>	3.2	2.8	3.2	3.0	3.2	3.0	3.2	3.2	3.0	3.2	3.0	3.2	37.1	kWh/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 3:**Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder-Σενάριο 1.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	5.4	5.8	3.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	6.0	23.2	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.4	8.1	8.4	3.5	0.0	0.0	0.0	24.8	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΖΝΧ</b>	3.2	2.8	3.2	3.0	3.2	3.0	3.2	3.2	3.0	3.2	3.0	3.2	37.1	kWh/m <sup>2</sup>

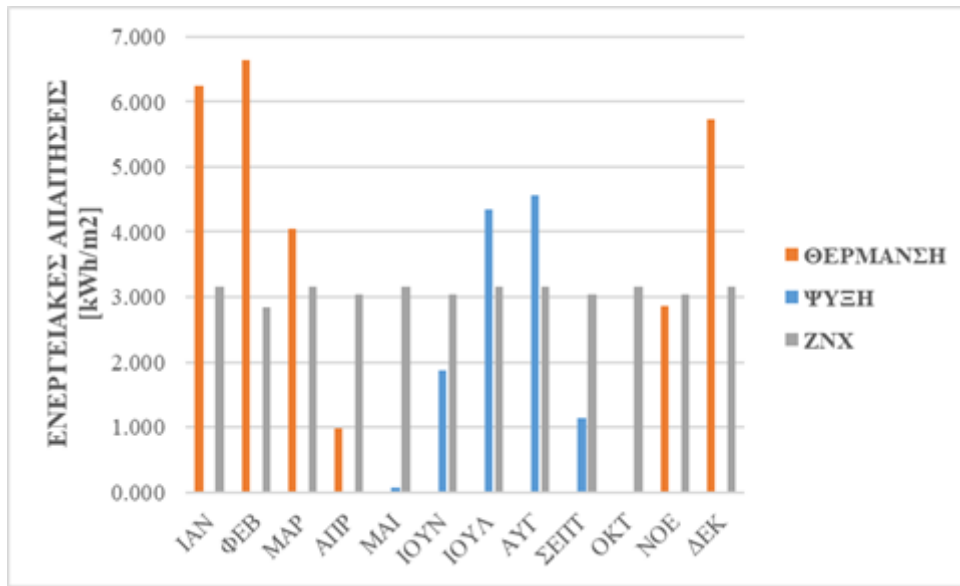
**Πίνακας 4:**Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder-Σενάριο 2.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	12.9	8.9	5.8	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	5.5	12.0	48.0	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	8.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	22.1	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΖΝΧ</b>	3.2	2.8	3.2	3.0	3.2	3.0	3.2	3.2	3.0	3.2	3.0	3.2	37.1	kWh/m <sup>2</sup>

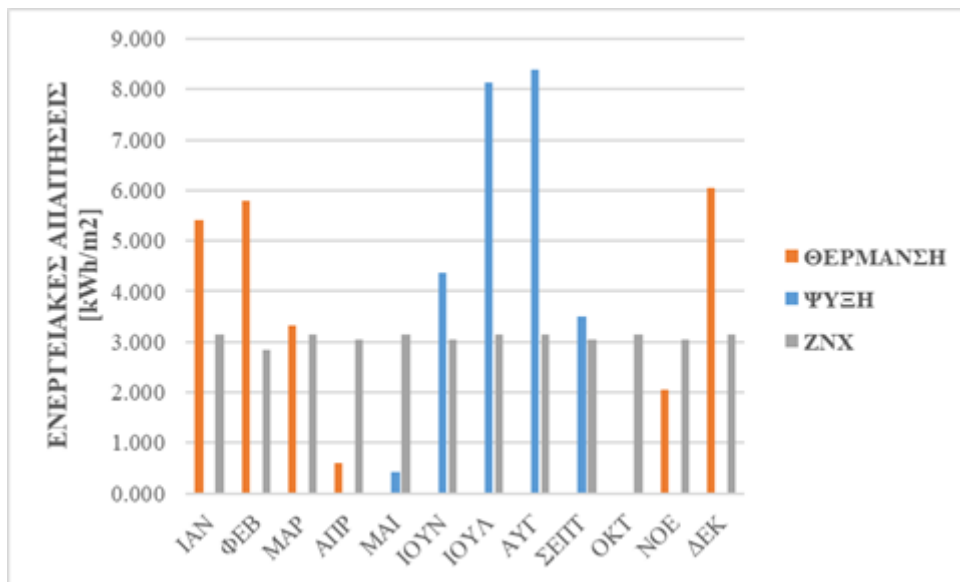
**Πίνακας 5:**Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder-Σενάριο 3.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	10.5	7.4	4.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.5	9.6	39.2	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	6.4	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	15.9	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΖΝΧ</b>	3.1	2.8	3.1	3.0	3.1	3.0	3.1	3.1	3.0	3.1	3.0	3.1	37.1	kWh/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 6:**Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder-Σενάριο 4.

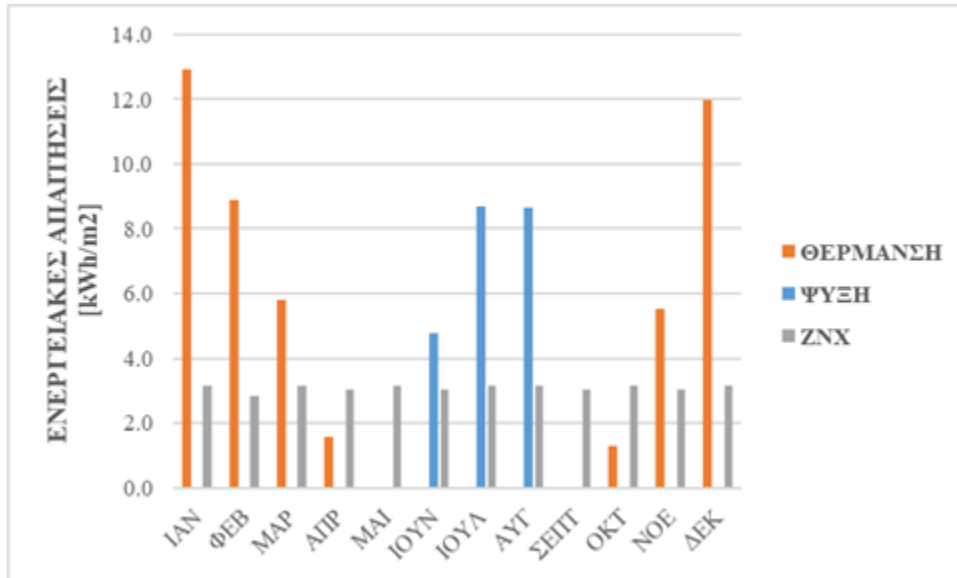


Διάγραμμα 1: Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder για σενάριο 1.

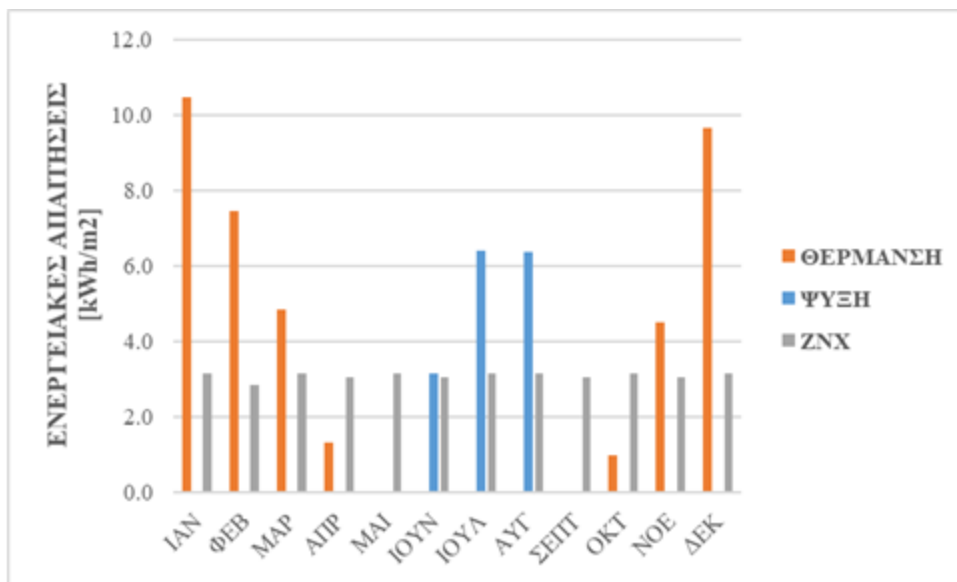


Διάγραμμα 2: Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder για σενάριο 2.





**Διάγραμμα 3:** Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder για σενάριο 3.



**Διάγραμμα 4:** Ενεργειακές απαιτήσεις στο DesignBuilder για σενάριο 4.

Από τους πίνακες 3, 4 και τα διαγράμματα 1, 2, παρατηρείται ότι στο λογισμικό DesignBuilder για την κλιματική ζώνη Β με την προσθήκη θερμομόνωσης οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για το ζεστό νερό χρήσης παραμένουν σταθερές το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς το φορτίο ζεστό νερό χρήσης δεν επηρεάζεται από την προσθήκη θερμομόνωσης. Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για την θέρμανση του κτιρίου μειώνονται κατά 12% σε ετήσια βάση. Ωστόσο, οι ενεργειακές απαιτήσεις για τον κλιματισμό του κτιρίου αυξήθηκαν κατά 107% σε ετήσια βάση.

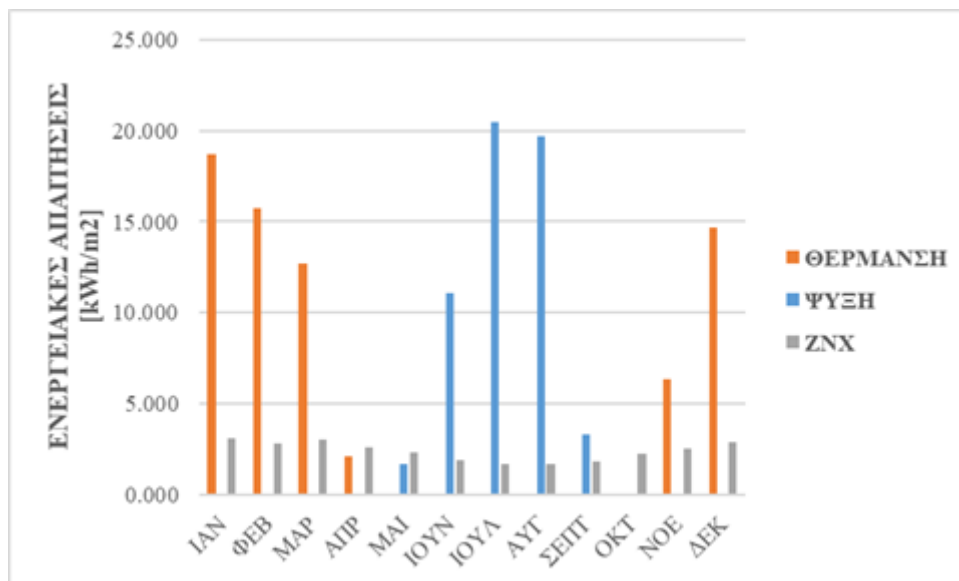
Από τους πίνακες 5 & 6 και τα διαγράμματα 3 & 4, παρατηρείται ότι το λογισμικό για την κλιματική ζώνη Γ με την προσθήκη θερμομόνωσης οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για το ζεστό νερό χρήσης παραμένουν σταθερές και οι ενεργειακές απαιτήσεις για την θέρμανση μειώνονται όπως και στην κλιματική ζώνη Β. Ωστόσο, οι ενεργειακές απαιτήσεις για τον κλιματισμό του κτιρίου μειώνονται σε αντίθεση με την κλιματική ζώνη Β. Πιο συγκεκριμένα οι ενεργειακές απαιτήσεις για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου μειώθηκαν κατά 18% και 28% αντίστοιχα σε ετήσια βάση.

#### 4.1.2 Ενεργειακές απαιτήσεις στο TEE KENAK

Οι ενεργειακές απαιτήσεις στο TEE KENAK σε αντίθεση με το DesignBuilder προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ανάλυση με αποτέλεσμα να μην απαιτείται περαιτέρω ενέργεια από τον χρήστη. Οι μηνιαίες απαιτήσεις του κτιρίου και για τα τέσσερα σενάρια παρουσιάζονται παρακάτω:

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	18.7	15.7	12.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	14.7	70.2	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	11.1	20.5	19.7	3.3	0.0	0.0	0.0	56.3	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ZNX</b>	3.1	2.8	3.0	2.6	2.3	1.9	1.7	1.7	1.8	2.2	2.5	2.9	28.5	kWh/m <sup>2</sup>

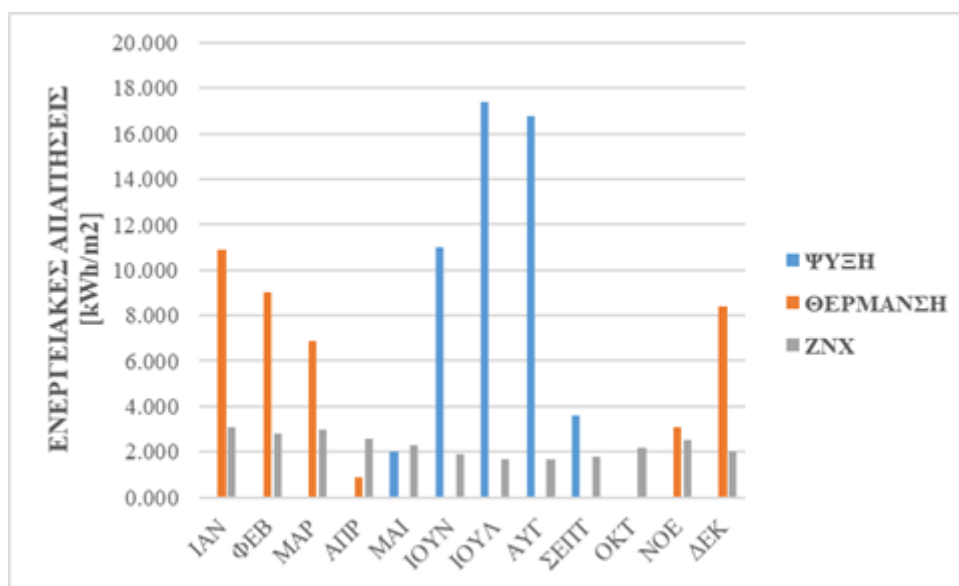
**Πίνακας 7:** Ενεργειακές απαιτήσεις στο TEE KENAK-Σενάριο 1.



**Διάγραμμα 5:** Ενεργειακές απαιτήσεις στο TEE KENAK για σενάριο 1.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	10.9	9.0	6.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	8.4	39.2	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	11.0	17.4	16.8	3.6	0.0	0.0	0.0	50.8	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ZNX</b>	3.1	2.8	3.0	2.6	2.3	1.9	1.7	1.7	1.8	2.2	2.5	2.0	27.6	kWh/m <sup>2</sup>

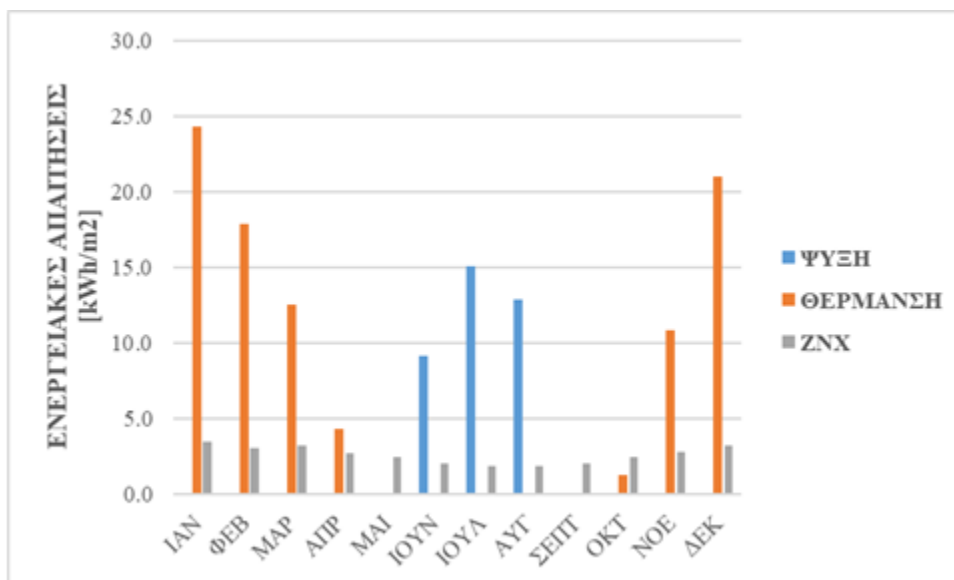
**Πίνακας 8:** Ενεργειακές απαιτήσεις στο ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ-Σενάριο 2.



**Διάγραμμα 6:** Ενεργειακές απαιτήσεις στο ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ για σενάριο 2.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	24.3	17.9	12.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.8	21.0	92.0	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	15.1	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ZNX</b>	3.4	3.0	3.2	2.7	2.4	2.0	1.8	1.8	2.0	2.4	2.8	3.2	30.7	kWh/m <sup>2</sup>

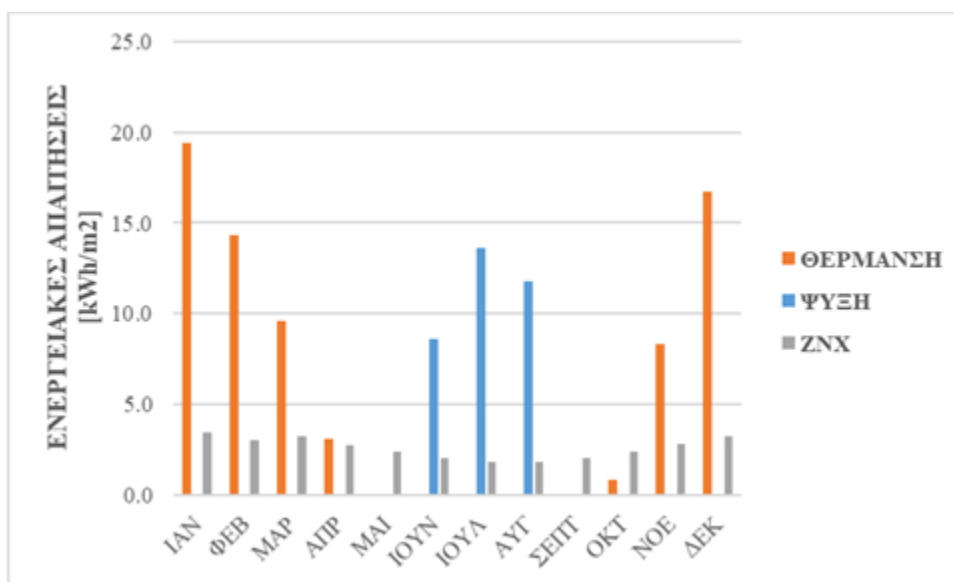
**Πίνακας 9:** Ενεργειακές απαιτήσεις στο ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ-Σενάριο 3.



Διάγραμμα 7: Ενεργειακές απαιτήσεις στο ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ για σενάριο 3.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ.</b>	19.4	14.3	9.6	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	8.3	16.7	72.2	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΨΥΞΗ</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	13.6	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΖΝΧ</b>	3.4	3.0	3.2	2.7	2.4	2.0	1.8	1.8	2.0	2.4	2.8	3.2	30.7	kWh/m <sup>2</sup>

Πίνακας 10: Ενεργειακές απαιτήσεις στο ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ-Σενάριο 4.

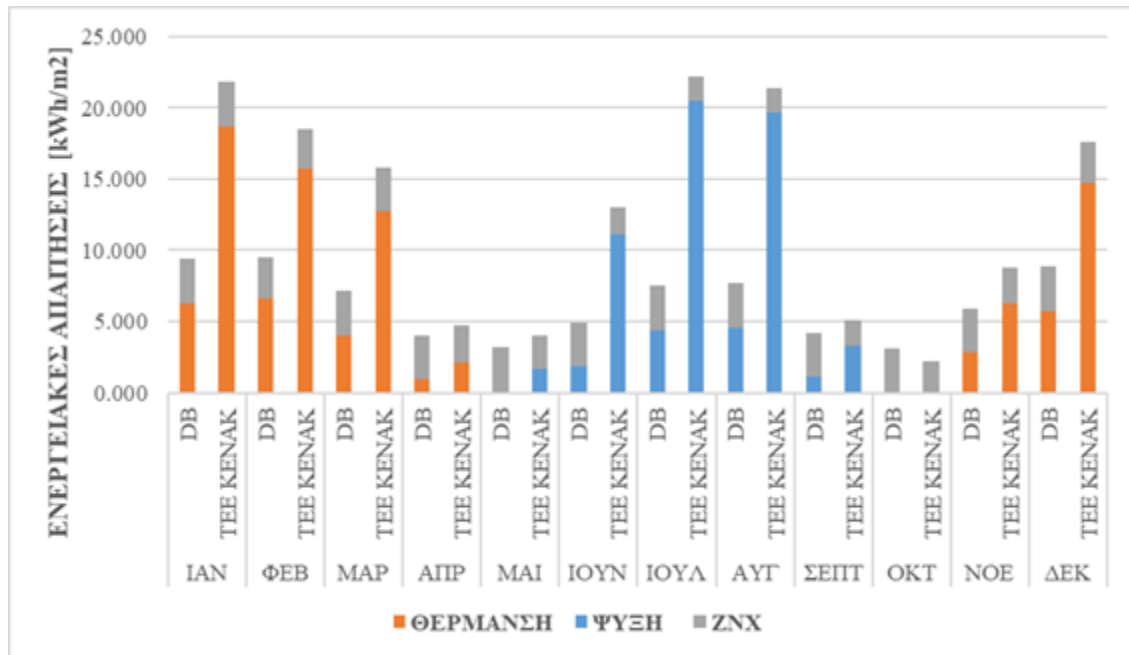


Διάγραμμα 8: Ενεργειακές απαιτήσεις στο ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ για σενάριο 4.

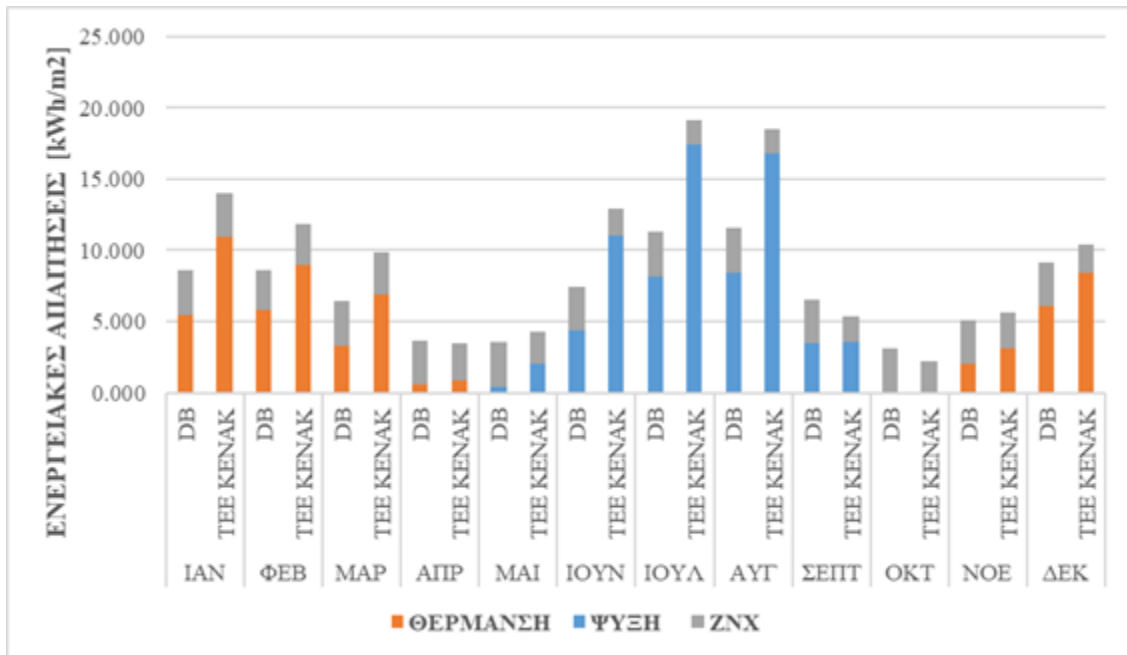
Παρατηρείται από τους πίνακες 7-8, 9-10 και τα διαγράμματα 5-6, 7-8 ότι στο λογισμικό TEE KENAK με την προσθήκη θερμομόνωσης οι ενεργειακές απαιτήσεις για το ζεστό νερό χρήσης παραμένουν σταθερές το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς το φορτίο ζεστό νερό χρήσης δεν επηρεάζεται από την προσθήκη θερμομόνωσης. Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για την θέρμανση και τον κλιματισμό του κτιρίου μειώθηκαν και στις δύο κλιματικές ζώνες. Πιο συγκεκριμένα οι ενεργειακές απαιτήσεις για την θέρμανση και την ψύξη στην κλιματική ζώνη Β μειώθηκαν κατά 44% και 10% αντίστοιχα σε ετήσια βάση ενώ στην κλιματική ζώνη Γ μειώθηκαν κατά 22% και 8% αντίστοιχα σε ετήσια βάση.

#### 4.1.3 Σύγκριση ενεργειακών απαιτήσεων TEE KENAK-DesignBuilder

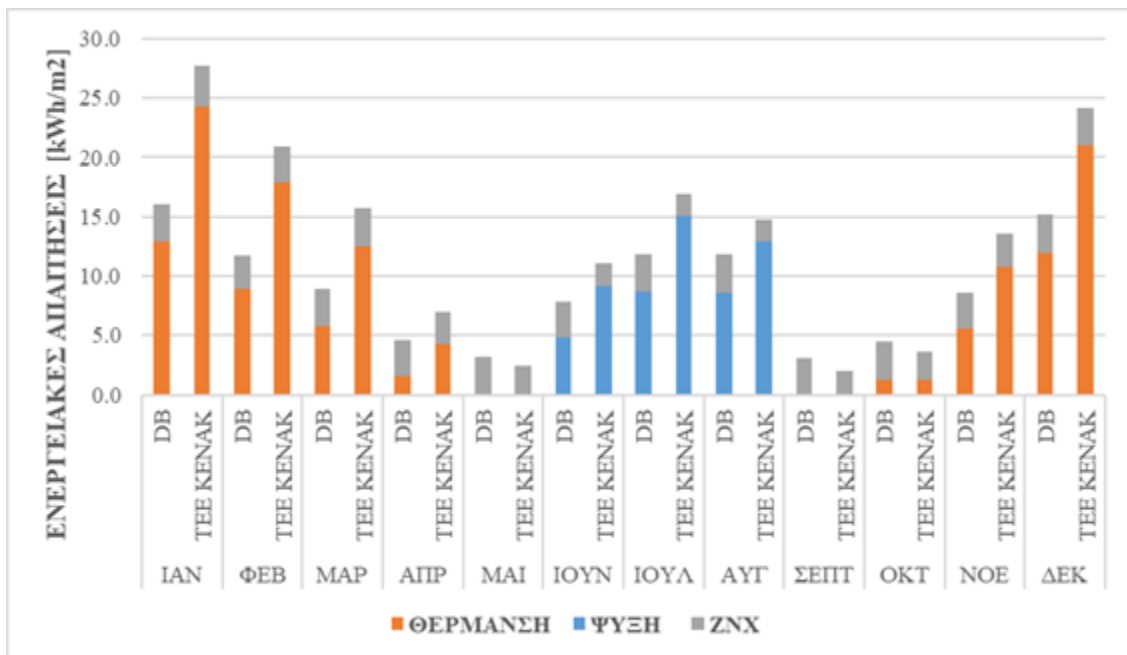
Στη συνέχεια και ειδικότερα στα διάγραμμα 9 - 12 συγκρίνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του DesignBuilder (DB) με το TEE KENAK για όλα τα σενάρια:



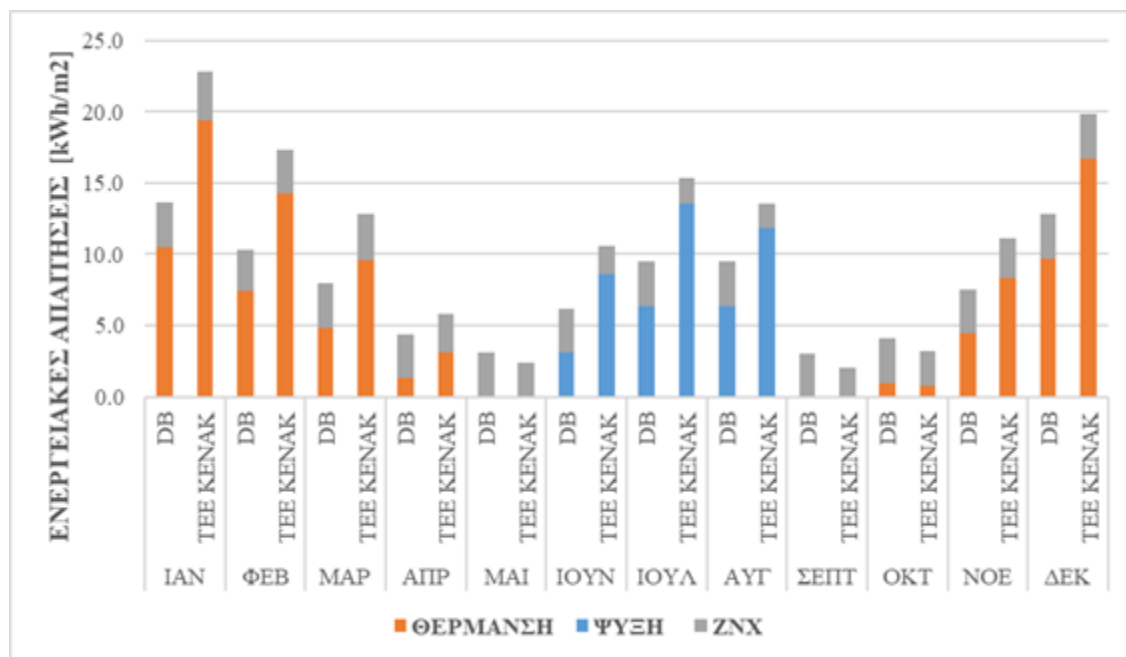
Διάγραμμα 9: Σύγκριση ενεργειακών απαιτήσεων TEE KENAK και DesignBuilder για το σενάριο 1.



Διάγραμμα 10: Σύγκριση ενεργειακών απαιτήσεων TEE KENAK και DesignBuilder για το σενάριο 2.



Διάγραμμα 11: Σύγκριση ενεργειακών απαιτήσεων TEE KENAK και DesignBuilder για το σενάριο 3.



**Διάγραμμα 12:** Σύγκριση ενεργειακών απαιτήσεων TEE KENAK και DesignBuilder για το σενάριο 4.

Με την χρήση των πινάκων 3 & 7 και του διαγράμματος 9 παρατηρείται ότι το DesignBuilder σε σχέση με το TEE KENAK υποεκτιμά το φορτίο θέρμανση κατά 62% και το φορτίο ψύξης κατά 79% σε ετήσια βάση. Ωστόσο, υπερεκτιμά το φορτίο ζεστού νερού χρήσης κατά 34% σε ετήσια βάση στο Σενάριο 1. Η υπερεκτίμηση του ζεστού νερού χρήσης είναι αναμενόμενη καθώς το DesignBuilder υπολογίζει το φορτίο ζεστού νερού χρήσης με σταθερή θερμοκρασία νερού δικτύου ( $T_{cw}=10^{\circ}\text{C}$ ) ενώ το TEE KENAK χρησιμοποιεί μεταβαλλόμενη θερμοκρασία δικτύου (TOTEE, 2010).

Με την χρήση των πινάκων 4 & 8 και του διαγράμματος 10 παρατηρείται ότι το DesignBuilder σε σχέση με το TEE KENAK υποεκτιμά το φορτίο θέρμανση κατά 41%, το φορτίο ψύξης κατά 51% σε ετήσια βάση στο Σενάριο 2. Ωστόσο, υπερεκτιμά το φορτίο ζεστού νερού χρήσης κατά 34% σε ετήσια βάση.

Με την χρήση των πινάκων 5 & 9 και του διαγράμματος 11 παρατηρείται ότι το DesignBuilder σε σχέση με το TEE KENAK υποεκτιμά το φορτίο θέρμανση κατά 48%, το φορτίο ψύξης κατά 40% σε ετήσια βάση στο Σενάριο 3. Ωστόσο, υπερεκτιμά το φορτίο ζεστού νερού χρήσης κατά 21% σε ετήσια βάση.

Με την χρήση των πινάκων 6 & 10 και του διαγράμματος 12 παρατηρείται ότι το DesignBuilder σε σχέση με το TEE KENAK υποεκτιμά το φορτίο θέρμανση κατά 46%, το φορτίο ψύξης κατά 53% σε ετήσια βάση στο Σενάριο 4. Ωστόσο, όπως και στο σενάριο 3, υπερεκτιμά το φορτίο ζεστού νερού χρήσης κατά 21% σε ετήσια βάση.

## 4.2 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων TEE KENAK-DesignBuilder (Simple HVAC)

Για την σύγκριση των ενεργειακών καταναλώσεων στα λογισμικά χρησιμοποιήθηκε λέβητας πετρελαίου με τερματικές μονάδες θερμαντικά σώματα καλοριφέρ και τοπικές αντλίες θερμότητας για την παροχή κλιματισμού τους θερινούς μήνες. Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα πετρελαίου και των τοπικών αντλιών θερμότητας θεωρήθηκαν  $\eta_{gen}=85\%$  και  $EER=3.5$  αντίστοιχα.

Το δίκτυο διανομής της θέρμανσης θεωρείται ότι βρίσκεται σε εξωτερικούς χώρους και αξιοποιούνται θερμαντικά σώματα ως τερματικές μονάδες επομένως ο συντελεστής απόδοσης του δικτύου διανομής  $\eta_{ls}=0.85$  από τον πίνακα 4.11 της TOTEE 20701-1 και ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων  $\eta_{em}=0.90$  από τον πίνακα 4.12 της TOTEE 20701-1. Για τις τοπικές αντλίες θερμότητας θεωρείται ότι το δίκτυο διανομής βρίσκεται σε εσωτερικούς χώρους επομένως ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής προκύπτει  $\eta_{ls}=0.97$  από τον πίνακα 4.11 της TOTEE 20701-1. Το σύστημα ψύξης πραγματοποιεί απευθείας διανομή αέρα επομένως θεωρείται ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων  $\eta_{em}=1$ .

Ωστόσο επειδή το Simple HVAC του DesignBuilder συγχωνεύει τους βαθμούς απόδοσης των μονάδων θέρμανσης ή ψύξης με τους βαθμούς απόδοσης του δικτύου διανομής και των τερματικών μονάδων είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται ως το γινόμενο των βαθμών απόδοσης των μονάδων θέρμανσης ή ψύξης, δικτύου διανομής και τερματικών μονάδων.

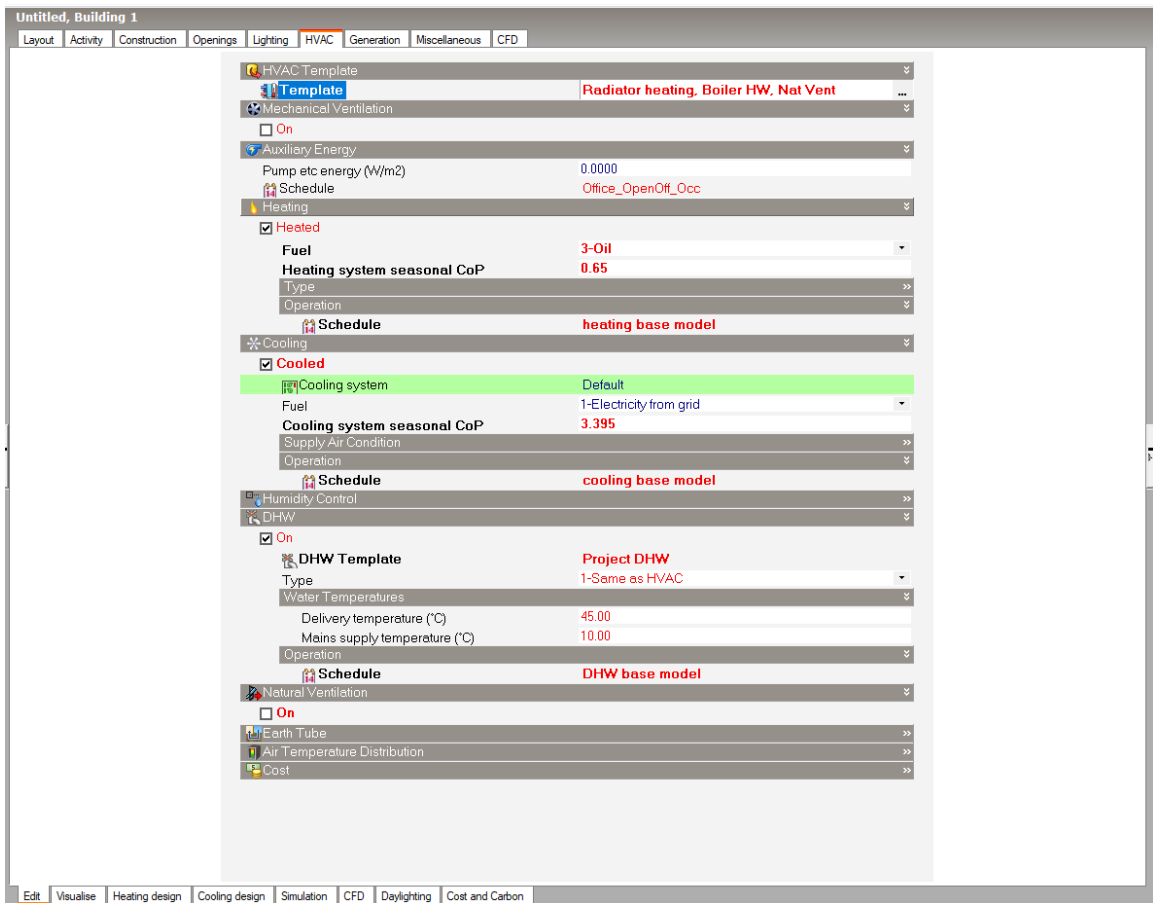
$$\eta_{\theta} = \eta_{gen} \cdot \eta_{ls} \cdot \eta_{em} \quad (\text{Εξίσωση 5})$$

$$SEER = EER \cdot \eta_{ls} \cdot \eta_{em} \quad (\text{Εξίσωση 6})$$

Από τις εξισώσεις 5 & 6 υπολογίζονται οι συνολικοί βαθμοί απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης  $\eta_{\theta}=0.65$  και  $SEER=3.395$  αντίστοιχα. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δικτύων θέρμανσης και ψύξης στο περιβάλλον του TEE KENAK και στο περιβάλλον του DesignBuilder.

Η ισχύς του κυκλοφορητή στο δίκτυο θέρμανσης και η ισχύς του ανεμιστήρα στο δίκτυο ψύξης θεωρούνται αμελητέες.





Εικόνα 32: Απεικόνιση των χαρακτηριστικών των ενεργειακών συστημάτων στο περιβάλλον του DesignBuilder- Σενάρια 1-4.

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης:  Υγρασία  Μηχανικός αερισμός  Ηλιακός συλλέκτης  Φωτισμός

Θέρμανση | Ψύξη | ΖΝΧ

Παραγωγή

	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An. (-)	COP (-)	Ιαν (-)	Φεβ (-)	Μαρ (-)	Απρ (-)	Μαϊ (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
▶ 1	Λέβητας	Πετρέλαιο	10	0.65	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0
* 2					1	1											

Δίκτυο διανομής

	Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. An. (-)	Μόνωση
▶ 1	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	10	Πάνω από 20% σε εξωτερικούς	0.85	<input type="checkbox"/>
2	Αεραγωγοί				<input type="checkbox"/>

Θερματικές μονάδες

	Τύπος	B. An. (-)
▶ 1	ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ	0.9

Βοηθητικές μονάδες

	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
1	Κυκλοφορητές	1	0
▶▶ 2		1	0

Εικόνα 33: Απεικόνιση των χαρακτηριστικών του συστήματος θέρμανσης στο περιβάλλον του TEE KENAK- Σενάρια 1-4.

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης:  Υγραση  Μηχανικός αερισμός  Ηλιακός συλλέκτης  Φωτισμός

Θέρμανση  Ψύξη  ΖΝΧ

Παραγωγή

	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	Β. Αν. (-)	EER (-)	Jan (-)	Φεβ (-)	Μαρ (-)	Απρ (-)	Μαι (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
▶ 1	Αεράμικτη Α.Θ.	Ηλεκτρικός	10	1.0	3.5	0	0	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0
* 2				1	1												

Δίκτυο διανομής

	Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	Β. Αν. (-)	Μόνωση
▶ 1	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου	60	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.97	<input type="checkbox"/>
2	Αεραγωγοί				<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες

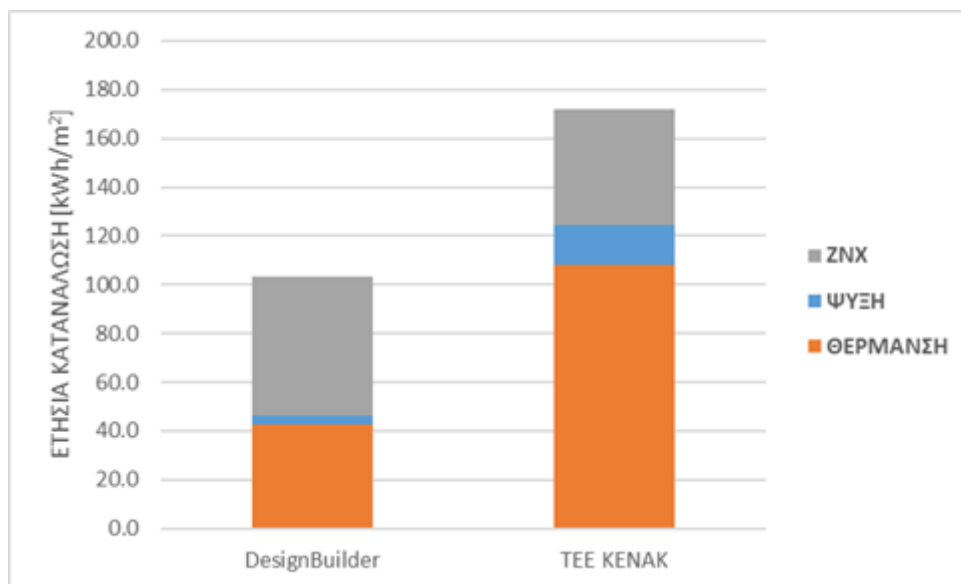
	Τύπος	Β. Αν. (-)
▶ 1	ΤΟΠΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	1.0

Βοηθητικές μονάδες

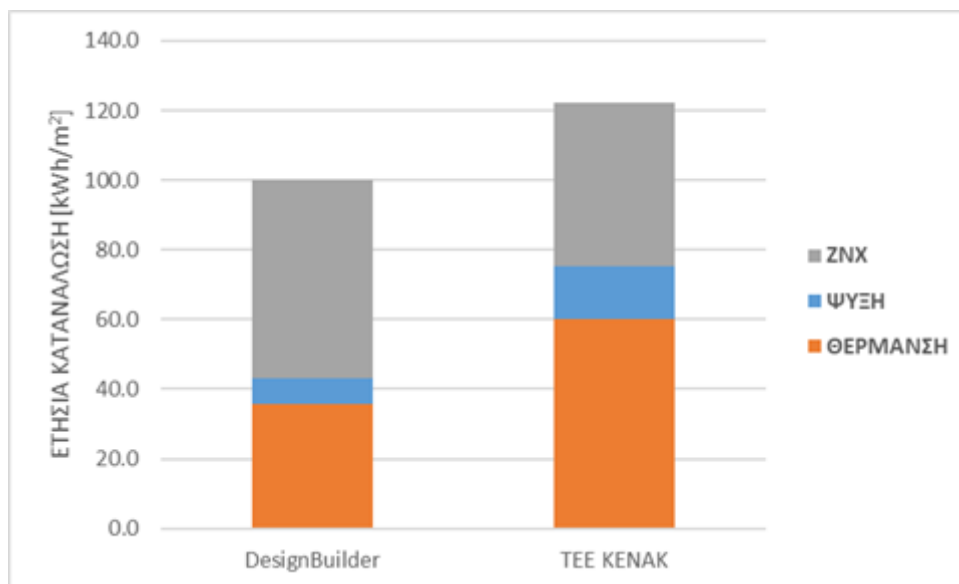
	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
1	Αντλίες	1	0
▶* 2		1	0

**Εικόνα 34:** Απεικόνιση των χαρακτηριστικών του συστήματος ψύξης στο περιβάλλον του TEE KENAK- Σενάρια 1-4.

Στα παρακάτω διαγράμματα (Διαγράμματα 13 & 14) και στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 11 & 12) συγκρίνονται οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του TEE KENAK και του DesignBuilder για τα σενάρια της κλιματικής ζώνης Β (Σενάρια 1&2).



**Διάγραμμα 13:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων TEE KENAK και DesignBuilder Σενάριο 1.



**Διάγραμμα 14:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων TEE KENAK και DesignBuilder Σενάριο 2

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ΨΥΞΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ΖΝΧ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>DesignBuilder</b>	42.7	3.5	57.1
<b>TEE KENAK</b>	108	16.6	47.2

**Πίνακας 11:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις TEE KENAK και DesignBuilder-Σενάριο 1.

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ΨΥΞΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ΖΝΧ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>DesignBuilder</b>	35.8	7.3	57.1
<b>TEE KENAK</b>	60.3	14.9	47.2

**Πίνακας 12:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις TEE KENAK και DesignBuilder-Σενάριο 2.

Στο Σενάριο 1 από το διάγραμμα 13 και τον πίνακα 11 παρατηρείται ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις υπολογισμένες από το DesignBuilder για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου

είναι μειωμένες σε σύγκριση με τις ενεργειακές καταναλώσεις του TEE KENAK. Πιο συγκεκριμένα οι ενεργειακές καταναλώσεις στην θέρμανση και στην ψύξη παρουσιάζουν μείωση 60%, 79% αντίστοιχα σε ετήσια βάση. Οι ενεργειακές καταναλώσεις του ζεστού νερού χρήσης ωστόσο είναι αυξημένες κατά 21% σε ετήσια βάση. Στο Σενάριο 2 από το διάγραμμα 14 και τον πίνακα 12 πραγματοποιούνται οι ίδιες παρατηρήσεις με το Σενάριο 1. Ωστόσο, οι μειώσεις στις καταναλώσεις στην θέρμανση και στην ψύξη είναι μικρότερες στα 41% και 51% αντίστοιχα. Η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης παραμένει σταθερή ανάμεσα στο Σενάριο 1 και 2.

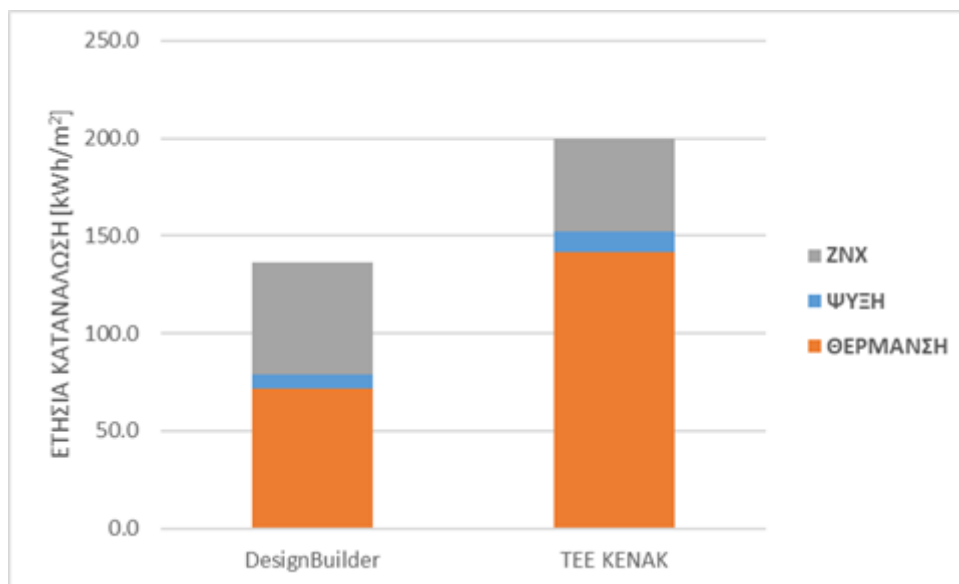
Στα παρακάτω διαγράμματα (Διαγράμματα 15 & 16) και στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 13 & 14) συγκρίνονται οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του TEE KENAK και του DesignBuilder για τα σενάρια της κλιματικής ζώνης Β (Σενάρια 3 & 4).

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ΨΥΞΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ZNX</b> (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>DesignBuilder</b>	71.8	7.5	57.1
<b>TEE KENAK</b>	141.5	10.9	47.3

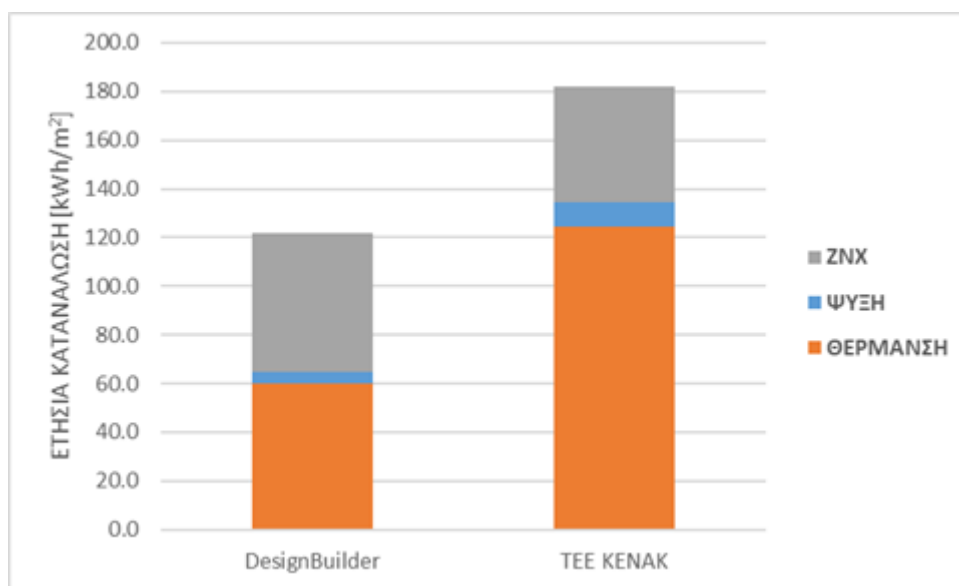
**Πίνακας 13:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις TEE KENAK και DesignBuilder-Σενάριο 3.

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ΨΥΞΗ</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>ZNX</b> (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>DesignBuilder</b>	60.2	4.7	57.1
<b>TEE KENAK</b>	124.2	10.3	47.3

**Πίνακας 14:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις TEE KENAK και DesignBuilder-Σενάριο 4.



**Διάγραμμα 15:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων TEE KENAK και DesignBuilder Σενάριο 3.



**Διάγραμμα 16:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων TEE KENAK και DesignBuilder Σενάριο 4.

Στο Σενάριο 3 από το διάγραμμα 15 και τον πίνακα 13 παρατηρείται ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις υπολογισμένες από το DesignBuilder για την θέρμανση και την ψύξη είναι μειωμένες σε σύγκριση με τις ενεργειακές καταναλώσεις του TEE KENAK ενώ για το ζεστό νερό χρήσης είναι αυξημένες. Πιο συγκεκριμένα οι ενεργειακές καταναλώσεις στην θέρμανση, στην ψύξη παρουσιάζουν μείωση 49%, 31% αντίστοιχα σε ετήσια βάση, ενώ το ζεστό νερό χρήσης αυξάνεται κατά 21% σε ετήσια βάση. Στο Σενάριο 4 από το διάγραμμα 16 και τον πίνακα 14 πραγματοποιούνται οι ίδιες παρατηρήσεις με το Σενάριο 3. Ωστόσο, οι μειώσεις στις

καταναλώσεις στην θέρμανση και στην ψύξη είναι μικρότερες στα 51% και 54% αντίστοιχα. Η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως του σεναρίου.

### **4.3 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας στο DesignBuilder**

#### **4.3.1 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας στο DesignBuilder (Simple HVAC)**

Στην συγκεκριμένη ανάλυση συγκρίνονται οι ενεργειακές καταναλώσεις και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα αναλύονται ο λέβητας πετρελαίου, ο λέβητας φυσικού αερίου, ο λέβητας βιομάζας και η αντλία θερμότητας. Σε όλους τους λέβητες θεωρείται ο βαθμός απόδοσης 85% ενώ στην αντλία θερμότητας θεωρείται ότι ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης είναι SCOP=4.6. Σε όλες τις αναλύσεις θεωρείται ότι χρησιμοποιούνται τοπικές αντλίες θερμότητας με εποχιακό συντελεστή απόδοσης SEER=3.5 για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων και το σύστημα ζεστού νερού χρήσης είναι το ίδιο με το σύστημα θέρμανσης.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 15-18, 19-22, 23-26, 27-30) & διαγράμματα (Διαγράμματα 17-18, 19-20, 21-22, 23-24) παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για κάθε πηγή θερμότητας και για τα τέσσερα σενάρια αντίστοιχα.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	7.4	7.8	4.8	1.2	0.0	0.5	1.2	1.3	0.3	0.0	3.4	8.2	kWh/m2
<b>ΣΥΣΚΕΥΕΣ</b>	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	kWh/m2
<b>ΦΩΤΙΣΜΟΣ</b>	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	3838.5	3762.4	3177.2	2201.0	1979.8	2231.0	2722.6	2759.5	2101.9	1969.1	2762.6	4050.6	kg

**Πίνακας 15:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Πετρέλαιο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	7.4	7.8	4.8	1.2	0.0	0.5	1.2	1.3	0.3	0.0	3.4	8.2	kWh/m2
<b>ΣΥΣΚΕΥΕΣ</b>	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	kWh/m2
<b>ΦΩΤΙΣΜΟΣ</b>	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	3101.9	3019.6	2613.9	1884.8	1732.9	1992.2	2475.8	2512.7	1863.1	1722.3	2299.2	3258.4	kg

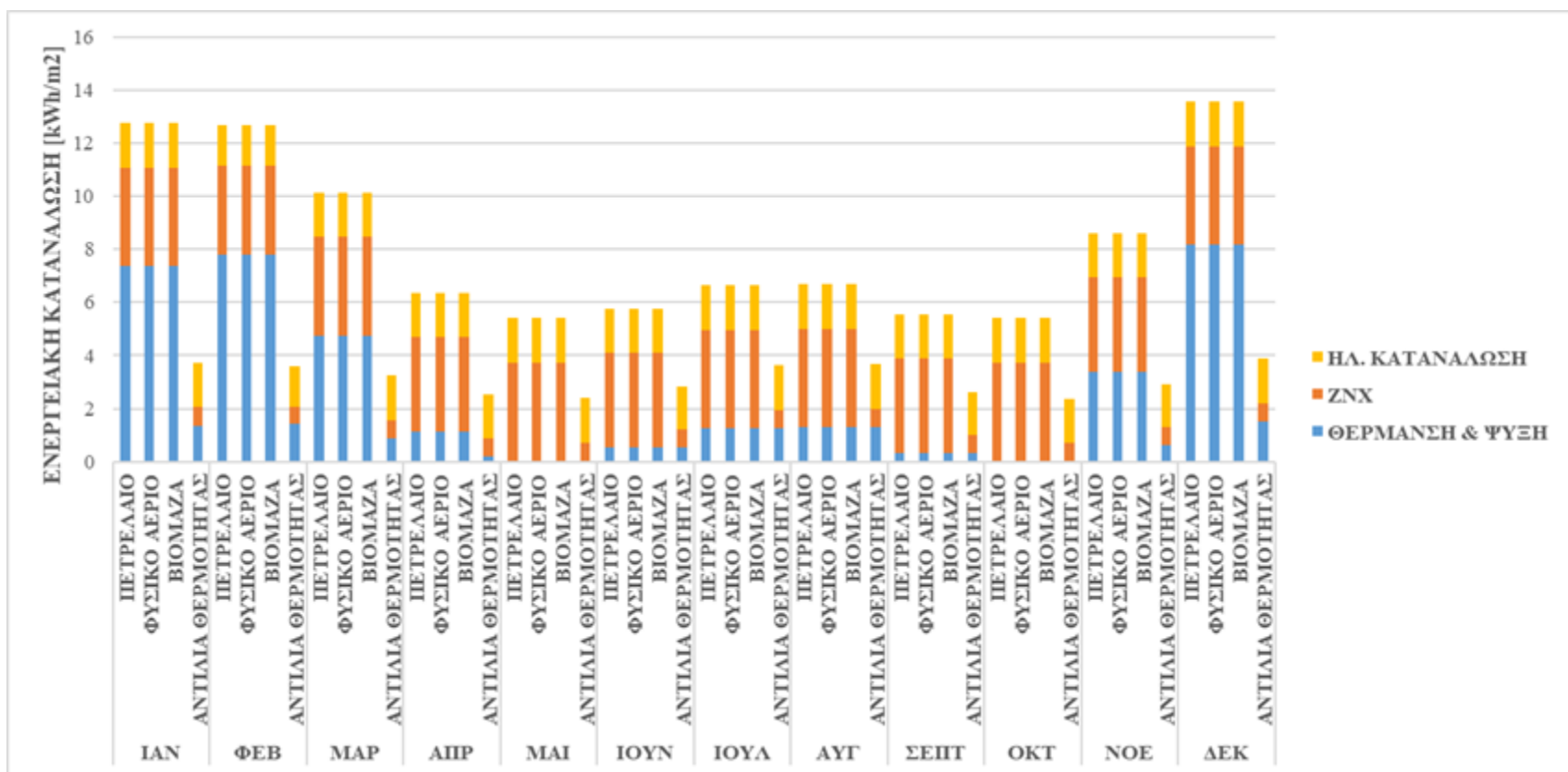
**Πίνακας 16:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Φυσικό αέριο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	7.4	7.8	4.8	1.2	0.0	0.5	1.2	1.3	0.3	0.0	3.4	8.2	kWh/m2
<b>ΣΥΣΚΕΥΕΣ</b>	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	kWh/m2
<b>ΦΩΤΙΣΜΟΣ</b>	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	1027.4	928.0	1027.4	994.2	1038.0	1319.7	1780.8	1817.8	1190.5	1027.4	994.2	1027.4	kg

**Πίνακας 17:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Βιομάζα.

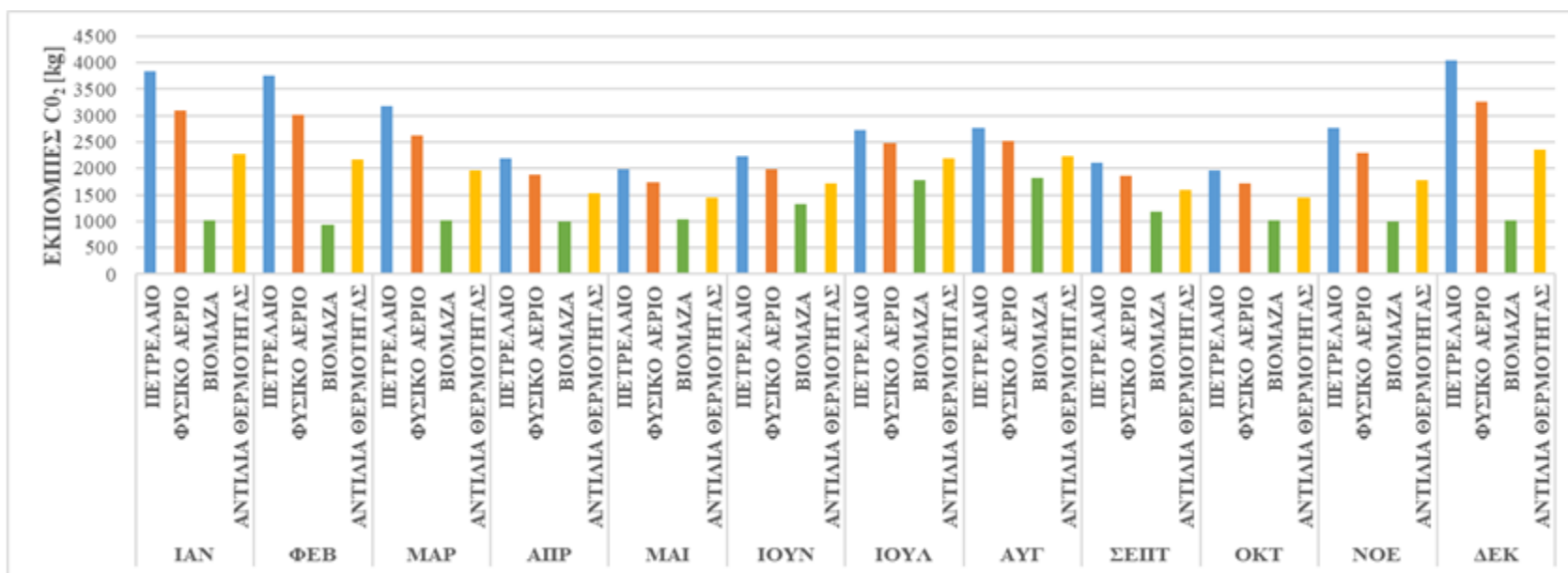
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	1.4	1.4	0.9	0.2	0.0	0.5	1.2	1.3	0.3	0.0	0.6	1.5	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	2265.9	2176.7	1974.6	1525.9	1452.9	1721.2	2195.7	2232.7	1592.1	1442.3	1773.4	2359.3	kg

Πίνακας 18: Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Αντλία θερμότητας.



Διάγραμμα 17: Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας- Σενάριο 1.





Διάγραμμα 18: Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας Σενάριο 1.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	6.4	6.8	3.9	0.7	0.1	1.2	2.3	2.4	1.0	0.0	2.4	7.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	7134.2	7082.4	5647.5	3599.8	3345.5	2924.4	4681.0	4725.8	3775.1	3272.8	4638.1	7577.0	kg

Πίνακας 19: Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Πετρέλαιο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	6.4	6.8	3.9	0.7	0.1	1.2	2.3	2.4	1.0	0.0	2.4	7.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	2917.5	2832.8	2457.3	1800.7	1795.1	2424.0	3130.6	3175.4	2274.7	1722.3	2122.0	3054.5	kg

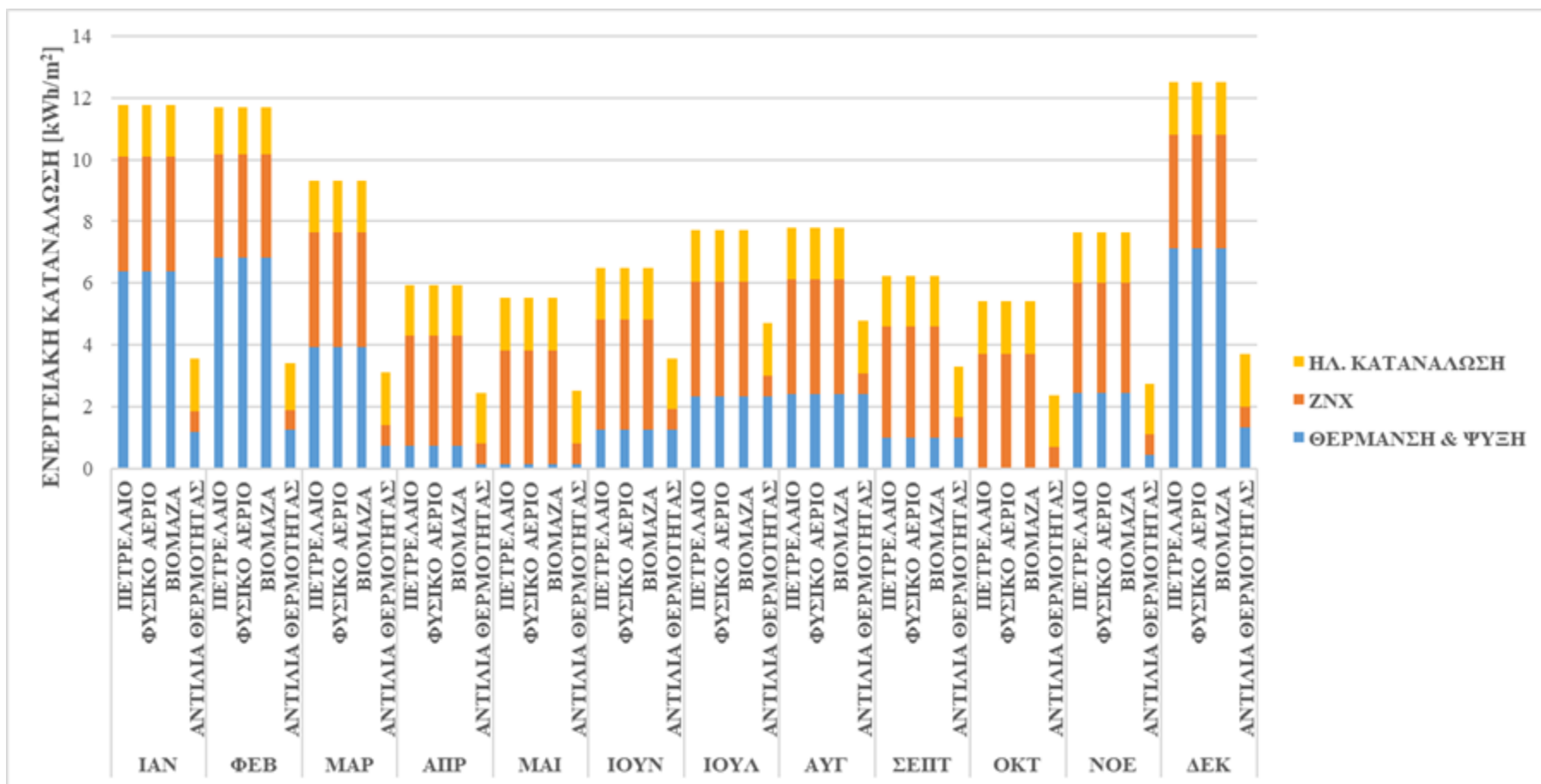
**Πίνακας 20:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Φυσικό αέριο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	6.4	6.8	3.9	0.7	0.1	1.2	2.3	2.4	1.0	0.0	2.4	7.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	1027.4	927.9	1027.4	994.2	1100.1	1751.4	2435.6	2480.4	1602.1	1027.4	994.2	1027.4	kg

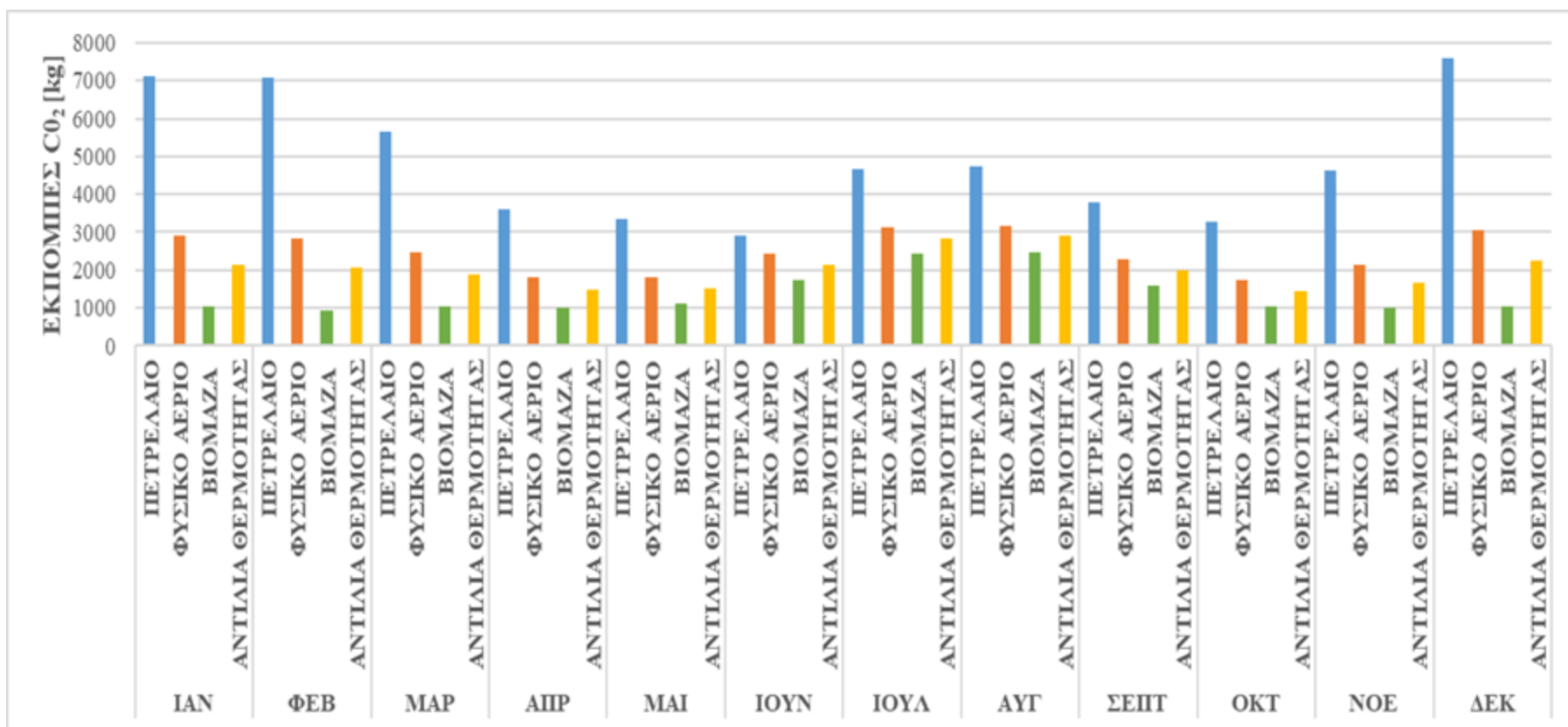
**Πίνακας 21:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Βιομάζα.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	1.2	1.3	0.7	0.1	0.1	1.2	2.3	2.4	1.0	0.0	0.4	1.3	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	2155.8	2065.2	1881.1	1475.7	1515.0	2152.9	2850.5	2895.3	2003.7	1442.3	1667.5	2237.6	kg

**Πίνακας 22:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Αντλία θερμότητας.



Διάγραμμα 19: Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 2.



Διάγραμμα 20: Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 2.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	15.2	10.5	6.8	1.8	0.0	1.4	2.5	2.5	0.0	1.5	6.5	14.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	5829.6	4441.8	3698.4	2372.7	1969.1	2730.7	3477.5	3464.7	1905.6	2353.6	3556.7	5555.4	kg

**Πίνακας 23:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 3-Πετρέλαιο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	15.2	10.5	6.8	1.8	0.0	1.4	2.5	2.5	0.0	1.5	6.5	14.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	4571.2	3521.0	2998.5	2011.5	1722.3	2491.9	3230.7	3217.9	1666.8	2006.1	2885.3	4368.9	kg

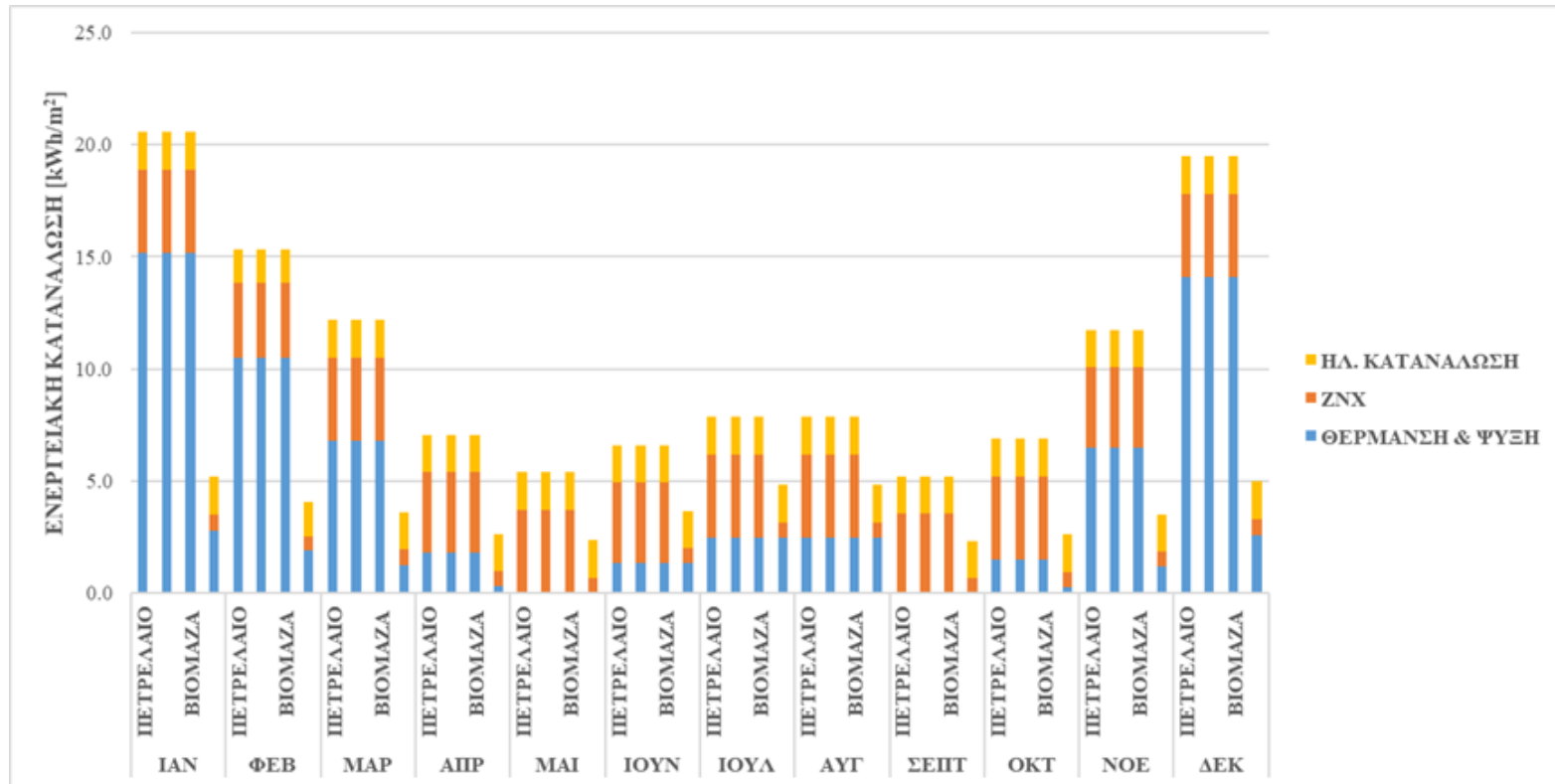
**Πίνακας 24:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 3-Φυσικό αέριο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	15.2	10.5	6.8	1.8	0.0	1.4	2.5	2.5	0.0	1.5	6.5	14.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	1027.4	928.0	1027.4	994.2	1027.4	1819.3	2535.8	2522.9	994.2	1027.4	994.2	1027.4	kg

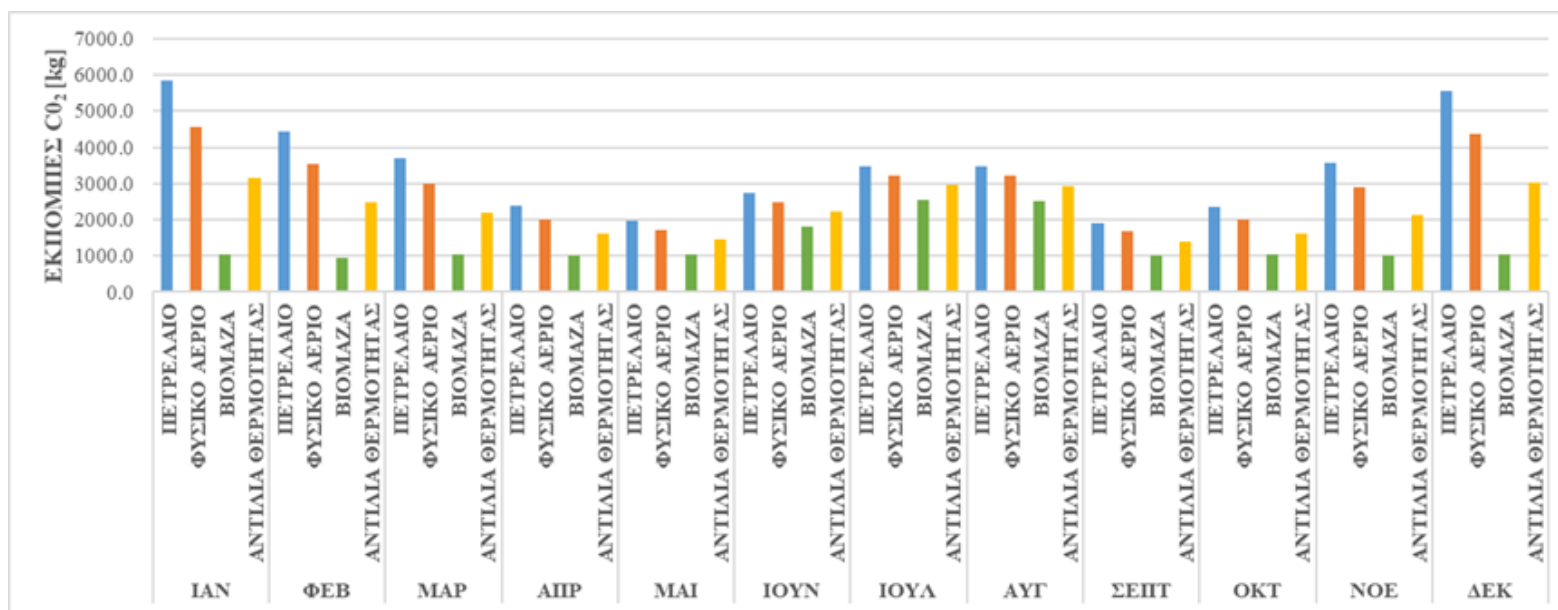
**Πίνακας 25:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 3-Βιομάζα.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	2.8	1.9	1.3	0.3	0.0	1.4	2.5	2.5	0.0	0.3	1.2	2.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΖΝΧ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	3143.1	2476.1	2204.2	1601.6	1442.3	2220.8	2950.7	2937.8	1395.8	1611.7	2123.2	3022.4	kg

Πίνακας 26: Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 3-Αντλία θερμότητας.



Διάγραμμα 21: Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 3.



Διάγραμμα 22: Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 3.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	12.3	8.8	5.7	1.5	0.0	0.9	1.8	1.8	0.0	1.1	5.3	11.3	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	5099.8	4002.9	3420.4	2292.8	1969.1	2451.0	3075.8	3069.0	1905.6	2259.2	3247.2	4853.2	kg

Πίνακας 27: Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 4-Πετρέλαιο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	12.3	8.8	5.7	1.5	0.0	0.9	1.8	1.8	0.0	1.1	5.3	11.3	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	4032.7	3197.1	2793.3	1952.5	1722.3	2212.2	2829.0	2822.3	1666.8	1936.4	2656.8	3850.7	kg

**Πίνακας 28:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 4-Φυσικό αέριο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	12.3	8.8	5.7	1.5	0.0	0.9	1.8	1.8	0.0	1.1	5.3	11.3	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	3.7	3.3	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	1027.4	928.0	1027.4	1539.7	2134.0	2127.3	994.2	1027.4	994.2	1027.4	994.2	1027.4	kg

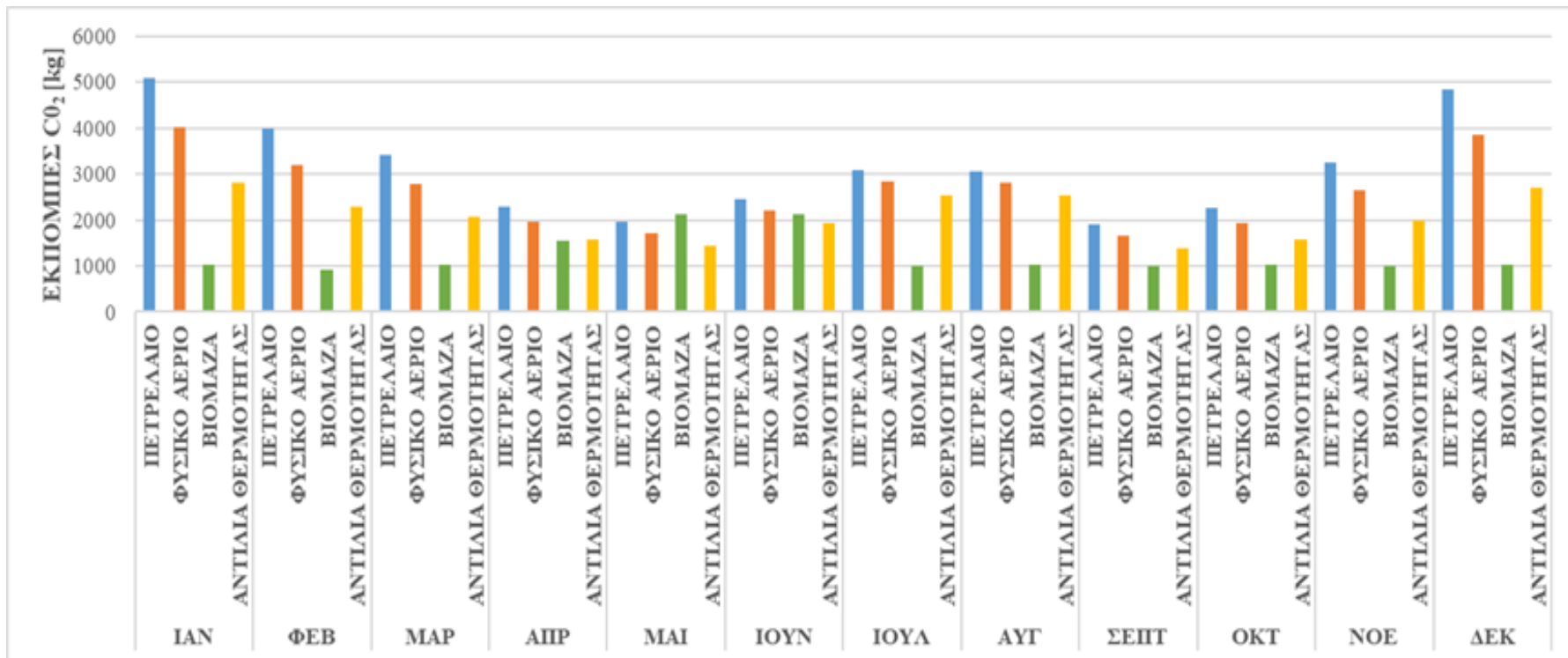
**Πίνακας 29:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 4-Βιομάζα.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	2.3	1.6	1.1	0.3	0.0	0.9	1.8	1.8	0.0	0.2	1.0	2.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	2821.6	2282.7	2081.7	1566.3	1442.3	1941.2	2548.9	2542.2	1395.8	1570.1	1986.8	2712.9	kg

**Πίνακας 30:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 4-Αντλία θερμότητας.







Διάγραμμα 24: Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 4.

Σε όλα τα σενάρια παρατηρείται ότι η κατανάλωση ενέργεια από τους λέβητες είναι η ίδια ανεξαρτήτως του καυσίμου, ενώ μειώνεται όταν χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας, το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς η αντλία θερμότητας έχει υψηλότερο βαθμό απόδοσης απ' ότι οι λέβητες. Παράλληλα παρατηρείται ότι ο λέβητας πετρελαίου εκπέμπει την μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και ακολουθείται από το φυσικό αέριο, την αντλία θερμότητας και την βιομάζα. Η βιομάζα εκπέμπει τις χαμηλότερες ποσότητες διοξειδίου καθώς θεωρείται από το λογισμικό ότι ο λέβητας βιομάζας δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα και κατά συνέπεια στα αποτελέσματα παρουσιάζονται μόνο οι εκπομπές από την ηλεκτρική κατανάλωση.

#### 4.3.2 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας στο DesignBuilder (Detailed HVAC)

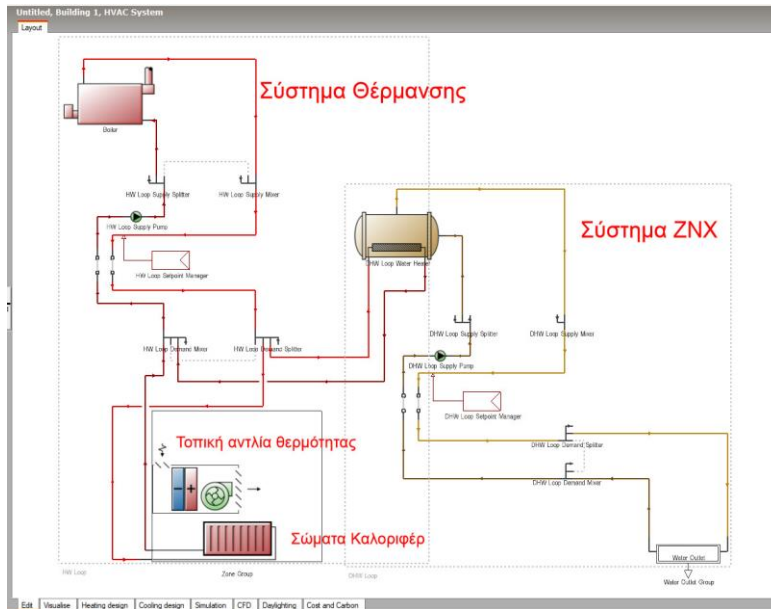
Στην συγκεκριμένη ανάλυση συγκρίνονται οι ενεργειακές καταναλώσεις και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας, όπως και στο κεφάλαιο 4.3.1. Ωστόσο, τα ενεργειακά συστήματα προσομοιώνονται με την χρήση του λεπτομερούς σχεδιασμού που προσφέρει το DesignBuilder και αναλύεται το κτίριο μόνο στην κλιματική ζώνη Β (Σενάρια 1&2).

Πιο συγκεκριμένα αναλύονται ο λέβητας πετρελαίου, ο λέβητας φυσικού αερίου, ο λέβητας βιομάζας και η αντλία θερμότητας. Σε όλους τους λέβητες θεωρείται ο βαθμός απόδοσης 85% ενώ στην αντλία θερμότητας θεωρείται ότι ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης είναι SCOP=4.6. Σε όλες τις αναλύσεις θεωρείται ότι χρησιμοποιούνται τοπικές αντλίες θερμότητας με εποχιακό συντελεστή απόδοσης SEER=3.5 για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων. Το σύστημα ζεστού νερού χρήσης είναι το ίδιο με το σύστημα θέρμανσης. Οι υπόλοιποι παράμετροι παραμένουν οι ίδιοι με την ανάλυση του κεφαλαίου 4.3.1.

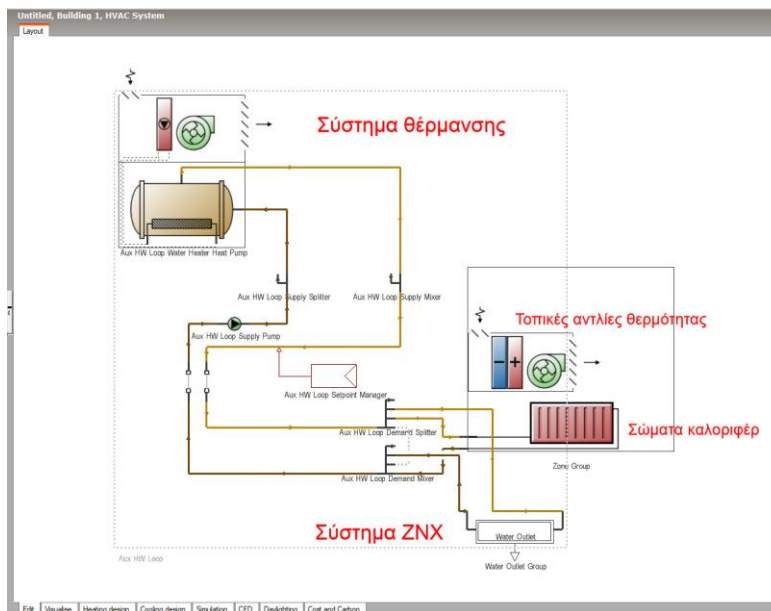
Η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος με χρήση λέβητα θεωρείται στους 80oC ενώ στο σύστημα με την αντλία θερμότητας θεωρείται στους 55oC. Το σύστημα ζεστού νερού χρήσης λειτουργεί σε θερμοκρασία 55oC και στις δύο περιπτώσεις.

Η δεξαμενή αξιοποιείται ως υδραβλικός διαχωριστής για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος ζεστού νερού χρήσης στην περίπτωση του λέβητα και του συστήματος θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης στην περίπτωση της αντλίας θερμότητας.

Στην εικόνες 35 και 36 παρουσιάζονται οι υδραυλικές διατάξεις των περιπτώσεων με τη χρήση λέβητα και αντλία θερμότητας αντίστοιχα.



**Εικόνα 35:** Απεικόνιση υδραυλικής διάταξης με λέβητα.



**Εικόνα 36:** Απεικόνιση υδραυλικής διάταξης με αντλία θερμότητας.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 31-34, 35-38) & διαγράμματα (Διαγράμματα 25-26, 27-28) παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για κάθε πηγή θερμότητας και για το σενάριο 1 και 2.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	7.3	7.6	4.8	1.2	0.3	1.5	2.6	2.1	1.2	0.0	3.4	8.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	4608.0	4447.5	3941.7	2867.6	2735.0	3353.0	4022.8	4056.2	3101.0	2484.4	3379.4	4742.9	kg

**Πίνακας 31:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Πετρέλαιο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	7.3	7.6	4.8	1.2	0.3	1.5	2.6	2.1	1.2	0.0	3.4	8.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	3674.1	3529.6	3181.5	2378.9	2336.0	2987.4	3659.3	3699.5	2749.1	2104.3	2757.3	3773.8	kg

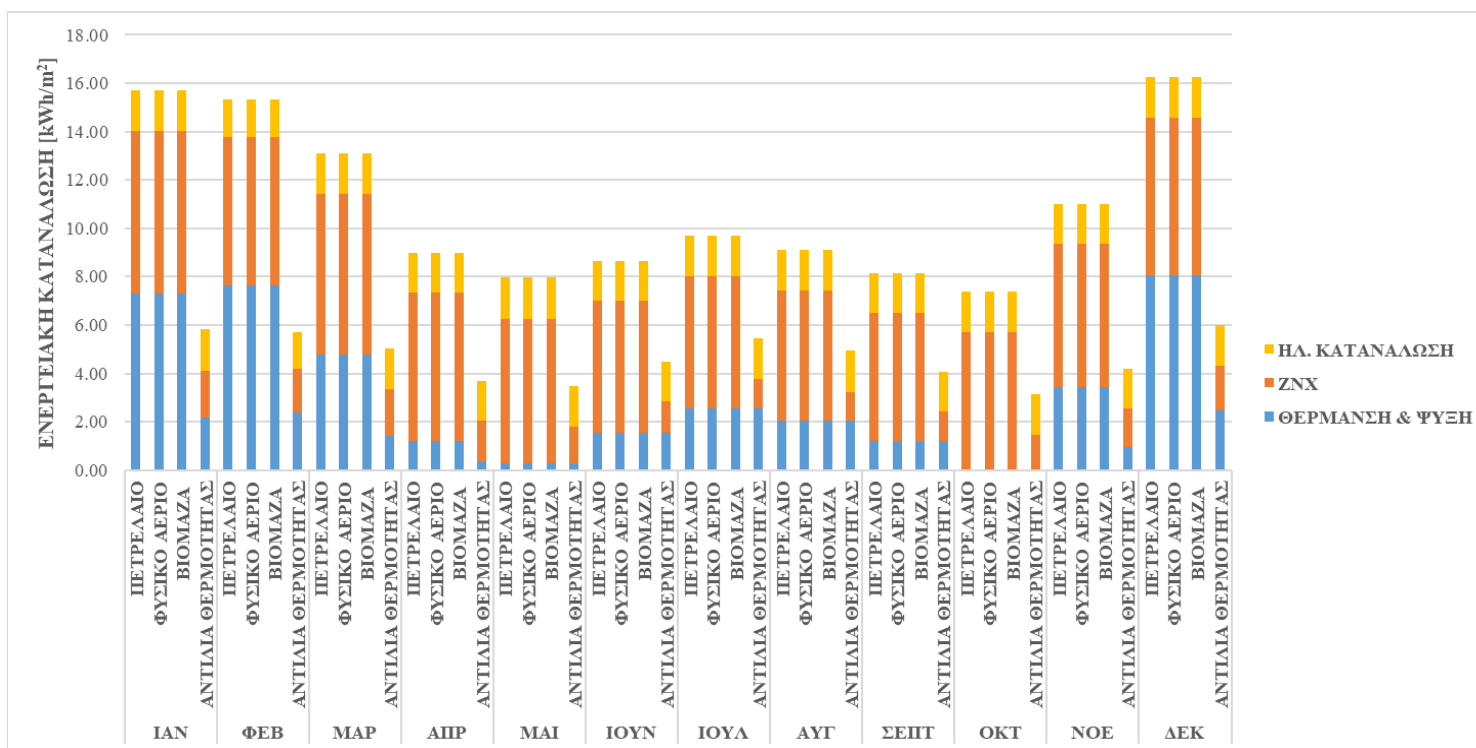
**Πίνακας 32:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Φυσικό Αέριο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	7.3	7.6	4.8	1.2	0.3	1.5	2.6	2.1	1.2	0.0	3.4	8.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	1044.0	944.3	1040.8	1002.7	1216.2	1957.6	2635.4	2694.8	1758.3	1034.0	1005.2	1044.7	kg

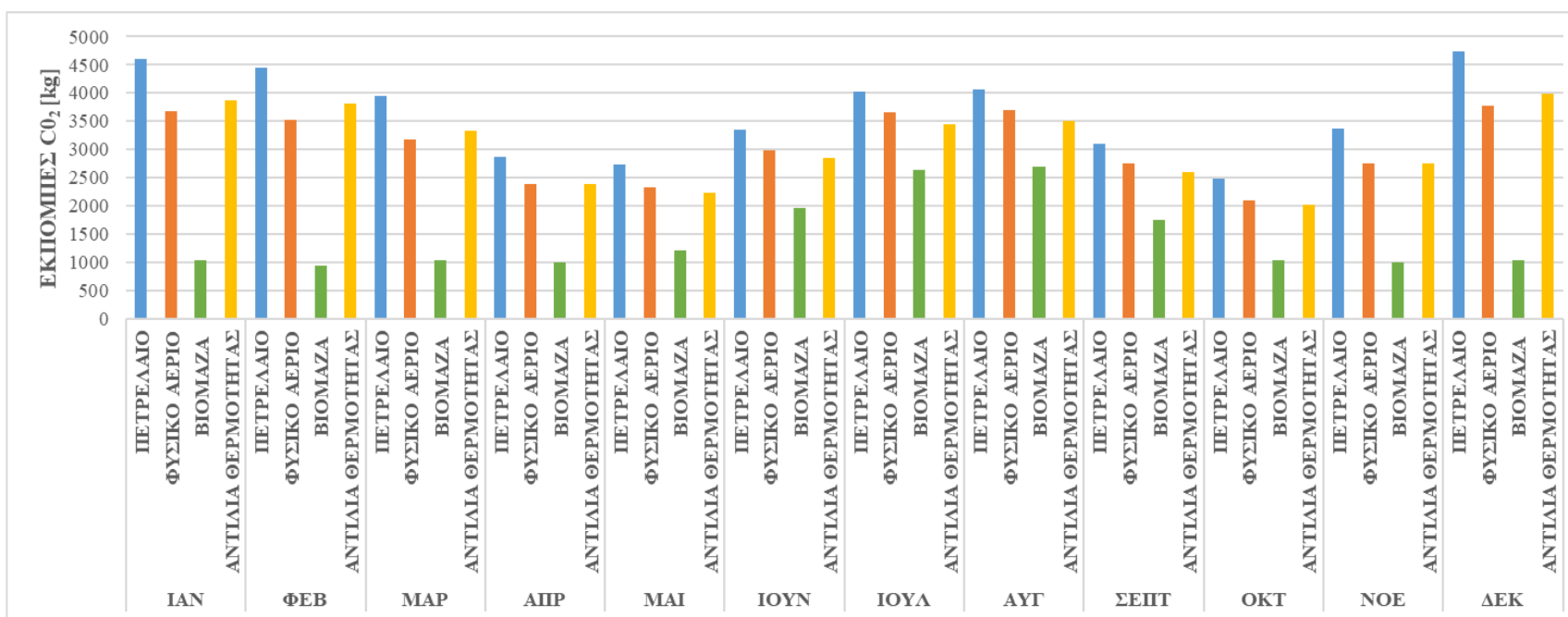
**Πίνακας 33:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Βιομάζα.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	7.3	7.6	4.8	1.2	0.3	1.5	2.6	2.1	1.2	0.0	3.4	8.1	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ΖΝΧ</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	3868.6	3811.5	3327.6	2393.6	2240.1	2850.6	3453.6	3502.0	2590.7	2029.1	2749.0	3995.1	kg

Πίνακας 34: Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 1-Αντλία Θερμότητας.



Διάγραμμα 25: Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 1.



Διάγραμμα 26: Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 1.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	5.9	6.3	3.6	0.7	0.6	2.2	3.4	3.5	1.9	0.0	2.3	6.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	4255.2	4110.6	3632.4	2503.8	2714.2	3583.3	4363.1	4424.5	3341.0	2274.9	2869.0	4131.5	kg

Πίνακας 35: Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Πετρέλαιο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	5.9	6.3	3.6	0.7	0.6	2.2	3.4	3.5	1.9	0.0	2.3	6.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	3413.5	3280.7	2953.1	2110.1	2373.3	3270.0	4052.7	4116.1	3038.8	1949.6	2380.2	3322.1	kg

**Πίνακας 36:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Φυσικό Αέριο.

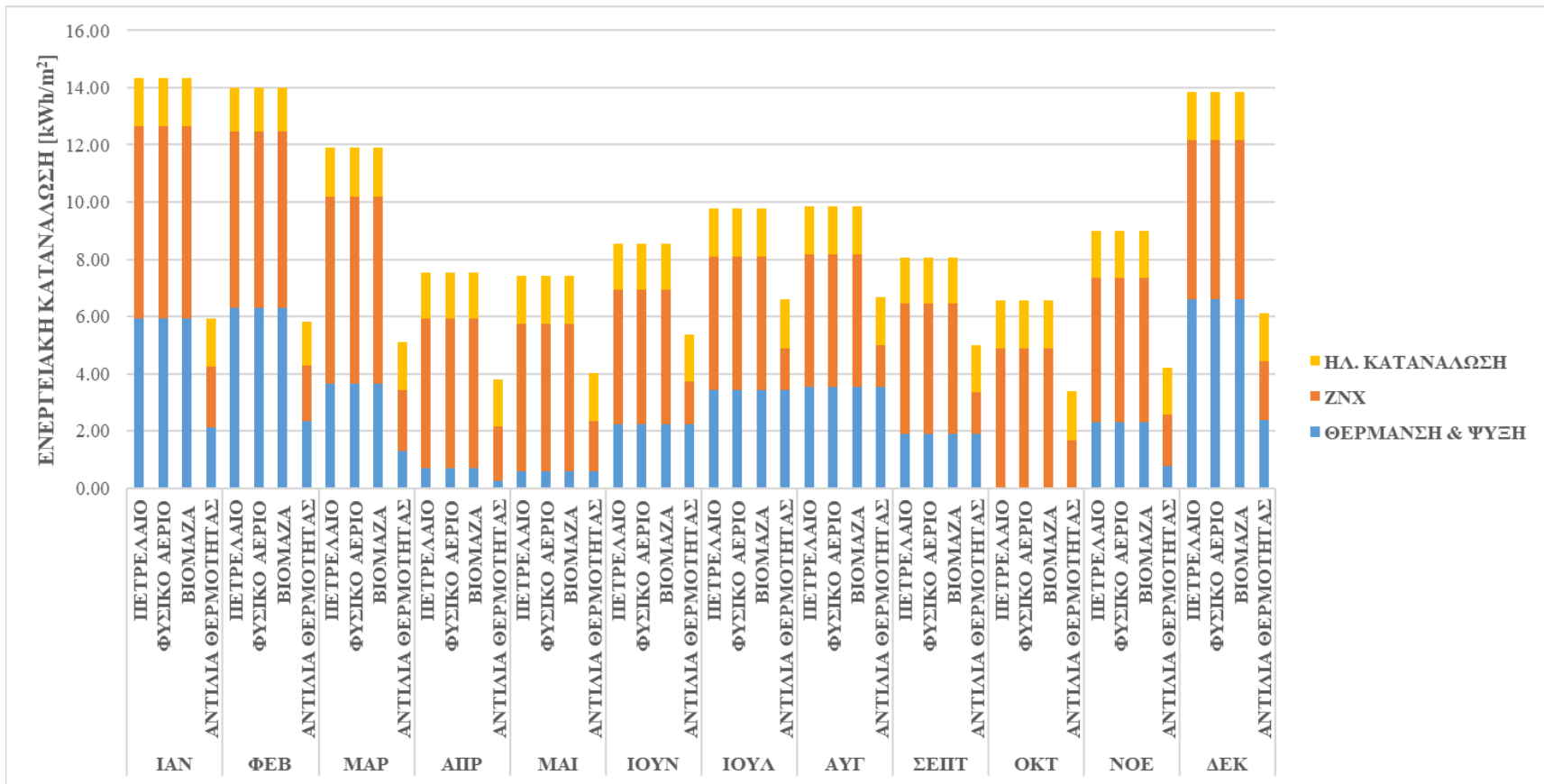
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	5.9	6.3	3.6	0.7	0.6	2.2	3.4	3.5	1.9	0.0	2.3	6.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	1043.2	943.6	1040.1	1001.6	1413.1	2387.8	3178.6	3247.5	2188.0	1033.4	1003.4	1042.6	kg

**Πίνακας 37:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Βιομάζα.

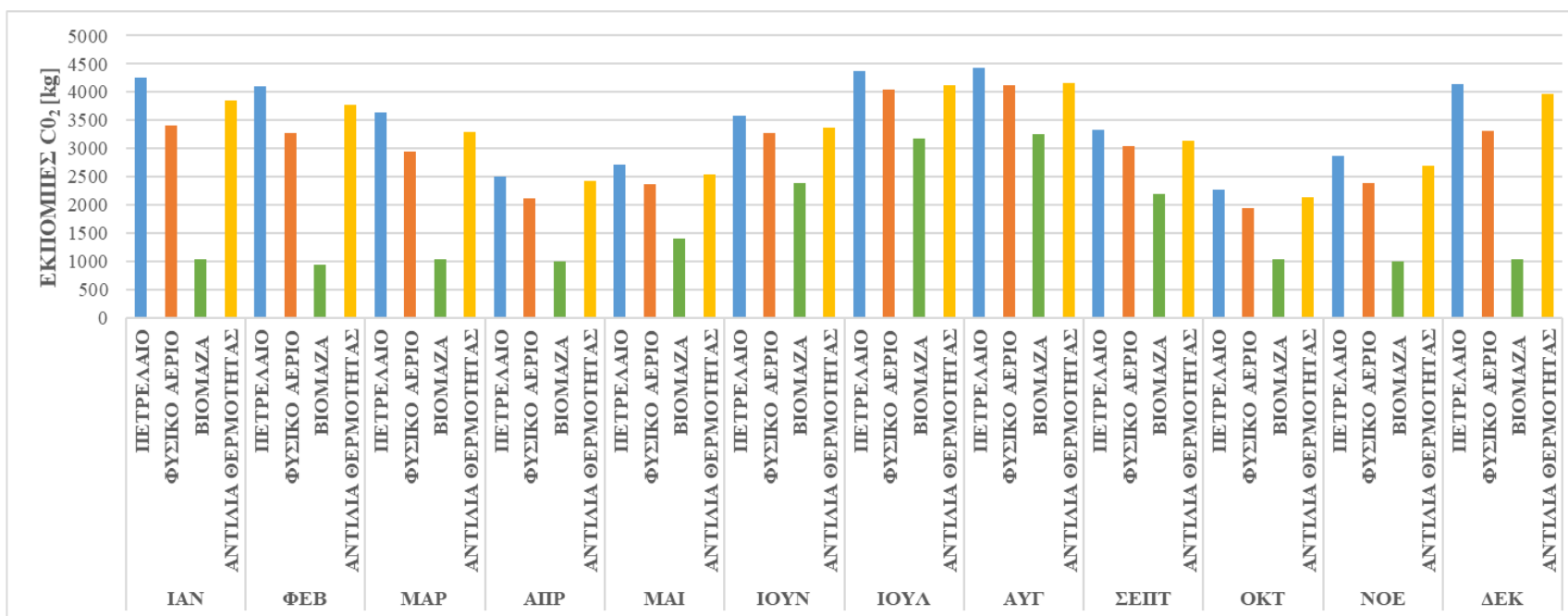
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΘΕΡΜ&amp;ΨΥΞΗ</b>	5.9	6.3	3.6	0.7	0.6	2.2	3.4	3.5	1.9	0.0	2.3	6.6	kWh/m2
<b>ΗΛ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	1.7	1.5	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	kWh/m2
<b>ZNX</b>	6.7	6.2	6.6	6.1	6.0	5.5	5.5	5.4	5.3	5.7	5.9	6.5	kWh/m2
<b>ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2</b>	3842.8	3782.0	3300.7	2417.8	2549.1	3375.4	4113.9	4166.8	3136.3	2139.4	2697.7	3974.5	kg

**Πίνακας 38:** Ενεργειακές καταναλώσεις Σενάριο 2-Αντλία Θερμότητας.





Διάγραμμα 27: Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 2.



Διάγραμμα 28: Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα διάφορων πηγών θερμότητας-Σενάριο 2.

Σε όλα τα σενάρια παρατηρείται ότι η κατανάλωση ενέργειας από τους λέβητες είναι η ίδια ανεξαρτήτως του καυσίμου, ενώ μειώνεται όταν χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας, όπως και στην ανάλυση του κεφαλαίου 4.3.1. Επιπλέον παρατηρείται ότι ο λέβητας πετρελαίου εκπέμπει την μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και ακολουθείται από την αντλία θερμότητας και το φυσικό αέριο τα οποία παρουσιάζουν παρόμοιες εκπομπές. Η βιομάζα εκπέμπει της χαμηλότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, όπως και στο κεφάλαιο 4.3.1.

#### 4.4 Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων Simple HVAC - Detailed HVAC.

Για την σύγκριση των ενεργειακών καταναλώσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση αξιοποιεί λέβητας πετρελαίου με τερματικές μονάδες θερμαντικά σώματα καλοριφέρ και η δεύτερη αξιοποιεί αντλία θερμότητας με τις ίδιες τερματικές μονάδες. Για την παροχή κλιματισμού τους θερινούς μήνες χρησιμοποιήθηκαν τοπικές αντλίες θερμότητας σε όλες τις περιπτώσεις. Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα πετρελαίου, της αντλίας θερμότητας και των τοπικών αντλιών θερμότητας θεωρήθηκαν  $\eta_{gen}=85\%$ ,  $COP=4.6$  και  $EER=3.5$  αντίστοιχα.

Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.5 το Simple HVAC του DesignBuilder συγχωνεύει τους βαθμούς απόδοσης των μονάδων θέρμανσης ή ψύξης με τους βαθμούς απόδοσης του δικτύου διανομής και των τερματικών μονάδων. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται ως το γινόμενο των βαθμών απόδοσης των μονάδων θέρμανσης ή ψύξης, δικτύου διανομής και τερματικών μονάδων. Συνεπώς οι βαθμοί απόδοσης του λέβητα πετρελαίου, της αντλίας θερμότητας και των τοπικών αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση του Simple HVAC ορίστηκαν  $\eta_{gen}=65\%$ ,  $COP=3.519$  και  $EER=3.395$  αντίστοιχα.

Η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος ζεστού νερού χρήσης ορίστηκε στους 55°C στο Simple και στο Detailed HVAC.

Οι υδραυλικές διατάξεις που αξιοποιήθηκαν στην ανάλυση του Detailed HVAC είναι οι ίδιες με τις διατάξεις της ανάλυσης του κεφαλαίου 4.3.2 (Εικόνες 35 & 36).

Στα παρακάτω διαγράμματα (Διαγράμματα 29-32) και στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 39-42) συγκρίνονται οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του Simple και του Detailed HVAC του DesignBuilder για τα σενάρια της κλιματικής ζώνης B (Σενάρια 1&2).

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ΨΥΞΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ZNX</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Simple HVAC</b>	42.7	3.5	73.4
<b>Detailed HVAC</b>	32.4	7.6	71.3

**Πίνακας 39:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις Simple και Detailed Σενάριο 1 -Λεβητας Πετρελαίου.

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ΨΥΞΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ZNX</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Simple HVAC</b>	35.8	7.3	73.4
<b>Detailed HVAC</b>	25.5	11.7	71.3

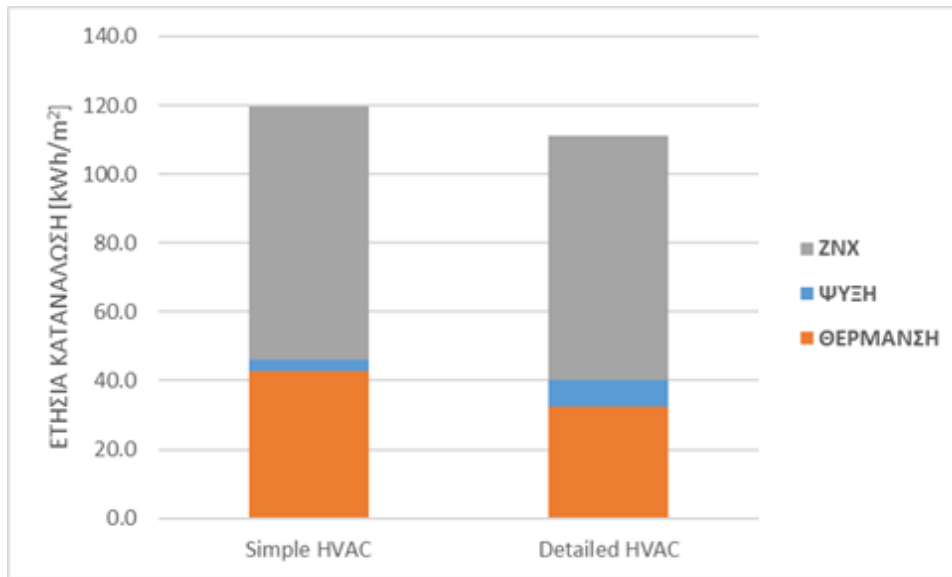
**Πίνακας 40:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις Simple και Detailed Σενάριο 2 -Λεβητας Πετρελαίου.

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ΨΥΞΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ZNX</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Simple HVAC</b>	7.9	3.5	13.5
<b>Detailed HVAC</b>	9.7	7.6	18.7

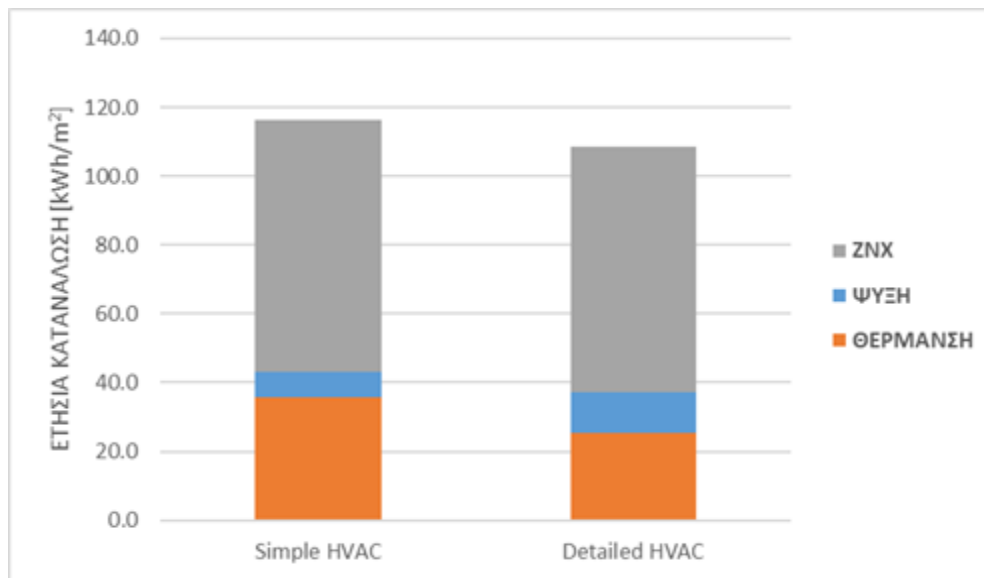
**Πίνακας 41:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις Simple και Detailed Σενάριο 1 -Αντλία Θερμότητας.

	<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ΨΥΞΗ</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ZNX</b> <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Simple HVAC</b>	6.6	7.3	13.5
<b>Detailed HVAC</b>	9.1	11.7	18.7

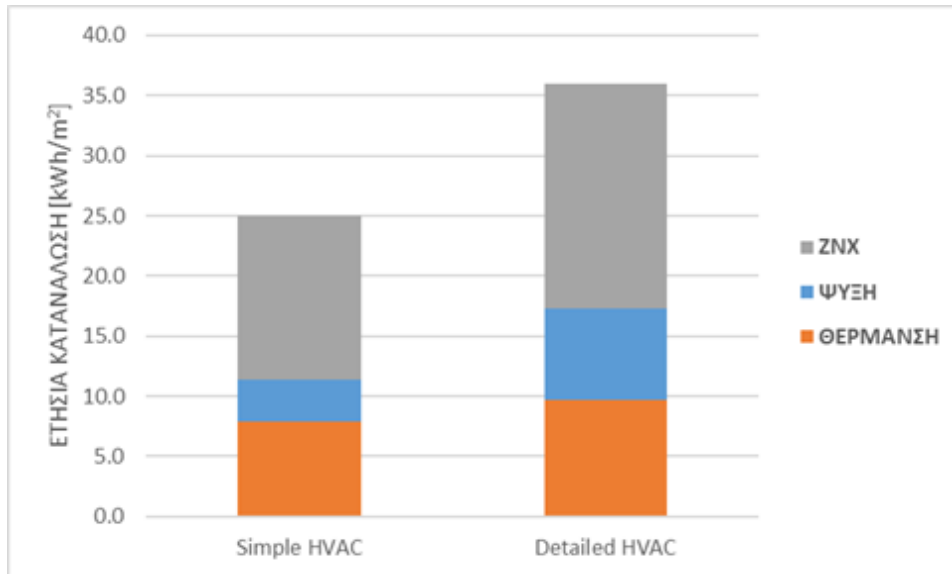
**Πίνακας 42:** Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις Simple και Detailed Σενάριο 2 -Αντλία Θερμότητας.



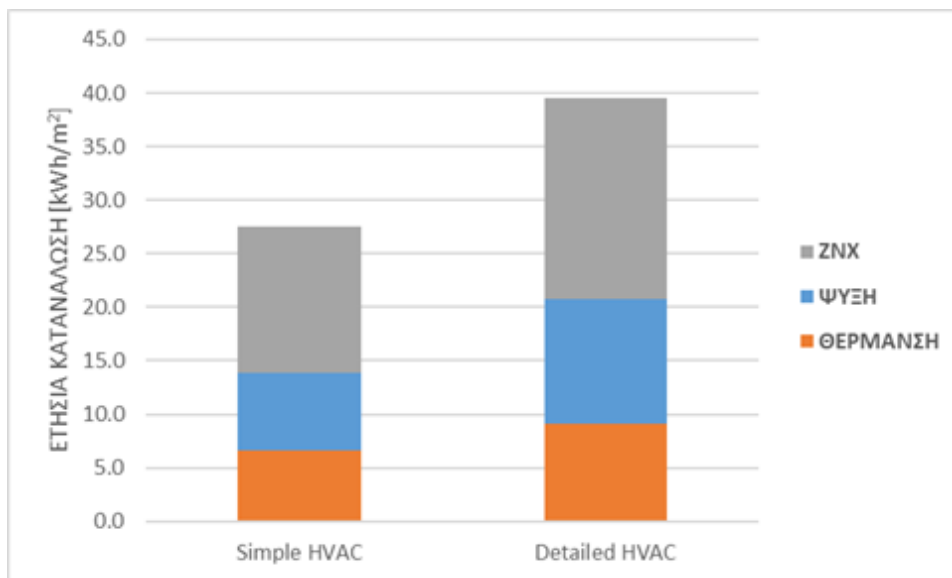
**Διάγραμμα 29:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων Simple και Detailed Σενάριο 1 -Λέβητας πετρελαίου.



**Διάγραμμα 30:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων Simple και Detailed Σενάριο 2 -Λέβητας πετρελαίου.



**Διάγραμμα 31:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων Simple και Detailed Σενάριο 1 – Αντλία Θερμότητας.



**Διάγραμμα 32:** Σύγκριση ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων Simple και Detailed Σενάριο 2 – Αντλία Θερμότητας.

Από το διάγραμμα 29-30 και τον πίνακα 39-40 παρατηρείται ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις του λέβητα πετρελαίου υπολογισμένες από το Detailed HVAC για την θέρμανση και το ζεστό νερό χρήσης είναι μειωμένες σε σύγκριση με το Simple HVAC, ενώ οι ενεργειακές καταναλώσεις για τον κλιματισμό είναι αυξημένες. Πιο συγκεκριμένα στο Σενάριο 1 οι ενεργειακές καταναλώσεις στην θέρμανση και στο ζεστό νερό χρήσης παρουσιάζουν μείωση 24%, 3% αντίστοιχα σε ετήσια βάση. Οι ενεργειακές καταναλώσεις του κλιματισμού ωστόσο είναι αυξημένες κατά 115% σε ετήσια βάση. Παράλληλα στο Σενάριο 2 οι ενεργειακές καταναλώσεις στην θέρμανση και στο ζεστό νερό χρήσης παρουσιάζουν μείωση 29%, 3% αντίστοιχα σε ετήσια βάση. Οι ενεργειακές καταναλώσεις του κλιματισμού ωστόσο είναι αυξημένες κατά 60% σε ετήσια βάση.

Από το διάγραμμα 31-32 και τον πίνακα 41-42 παρατηρείται ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας υπολογισμένες από το Detailed HVAC για την θέρμανση, την ψύξη και το ζεστό νερό χρήσης είναι αυξημένες σε σύγκριση με το Simple HVAC. Πιο συγκεκριμένα στο Σενάριο 1 οι ενεργειακές καταναλώσεις στην θέρμανση, την ψύξη και στο ζεστό νερό χρήσης παρουσιάζουν αύξηση 23%, 115% και 38% αντίστοιχα σε ετήσια βάση. Ενώ στο Σενάριο 2 οι ενεργειακές καταναλώσεις στην θέρμανση, την ψύξη και στο ζεστό νερό χρήσης παρουσιάζουν αύξηση 38%, 60% και 38% αντίστοιχα σε ετήσια βάση.

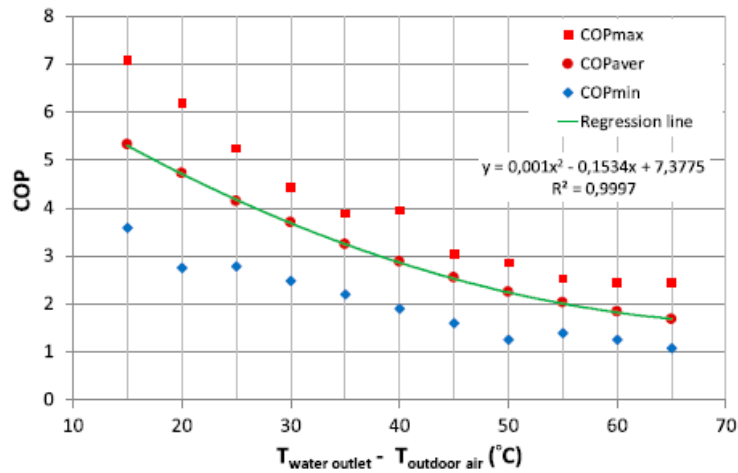
Οι διαφορές μεταξύ του Simple και του Detailed HVAC προκύπτουν κυρίως λόγω των διαφορετικών τρόπων υπολογισμού των απωλειών στις τερματικές μονάδες και στο δίκτυο. Στο Simple HVAC οι απώλειες υπολογίστηκαν με βάση τον KENAK ενώ στο Detailed οι απώλειες υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο του EnergyPlus.

Η αύξηση των υπολογισμένων ενεργειακών καταναλώσεων στην θέρμανση και στο ζεστό νερό χρήσης στην αντλία θερμότητας οφείλεται στους διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του βαθμού απόδοσης σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το Simple HVAC χρησιμοποιεί τον εποχιακό βαθμό απόδοσης για την ανάλυση ενώ το Detailed HVAC χρησιμοποιεί μια εκθετική σχέση μεταξύ του βαθμού απόδοσης και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

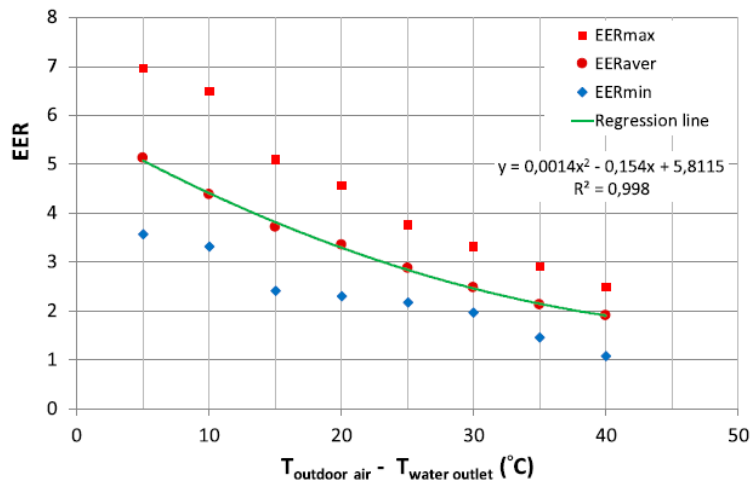
## 4.5 Ειδικές αναλύσεις.

### 4.5.1 Σύγκριση διαφορετικών καμπυλών βαθμού απόδοσης.

Ο βαθμός απόδοσης των αντλιών θερμότητας και κατά επέκταση και η ενεργειακή κατανάλωσή τους μεταβάλλεται με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η επίδραση των διαφορετικών καμπυλών του βαθμού απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα εξετάζονται η προτεινόμενη και προεπιλεγμένη καμπύλη του DesignBuilder και η εξίσωση πολυωνυμικής παλινδρόμησης βαθμών απόδοσης διαφόρων κατασκευαστών που δίνεται στην Εικόνα 37 και 38 και Εξίσωση 7 και 8 (Μουζεβίρης, 2021).



**Εικόνα 37:** Γραφική παράσταση εξίσωσης πολυωνμικής παλινδρόμησης των βαθμών απόδοσης διαφόρων κατασκευαστών για θέρμανση (Μουζεβίρης, 2021).



**Εικόνα 38:** Γραφική παράσταση εξίσωσης πολυωνμικής παλινδρόμησης των βαθμών απόδοσης διαφόρων κατασκευαστών για ψύξη (Μουζεβίρης, 2021).

$$\text{COP} = 0.001 \cdot \Delta T^2 - 0.1534 \cdot \Delta T + 7.3775 \quad (\text{Εξίσωση 7})$$

$$\text{EER} = 0.0014 \cdot \Delta T^2 - 0.154 \cdot \Delta T + 5.8115 \quad (\text{Εξίσωση 8})$$

Όπου  $\Delta T$ : η διαφορά θερμοκρασίας του νερού εξόδου της αντλίας θερμότητας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος



Ωστόσο η θερμοκρασία εξόδου του νερού έχει οριστεί στους 55°C για την θέρμανση και 6°C για την ψύξη συνεπώς οι εξίσωσεις 7 και 8 συναρτήσης μόνο της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ( $T_a$ ) προκύπτει:

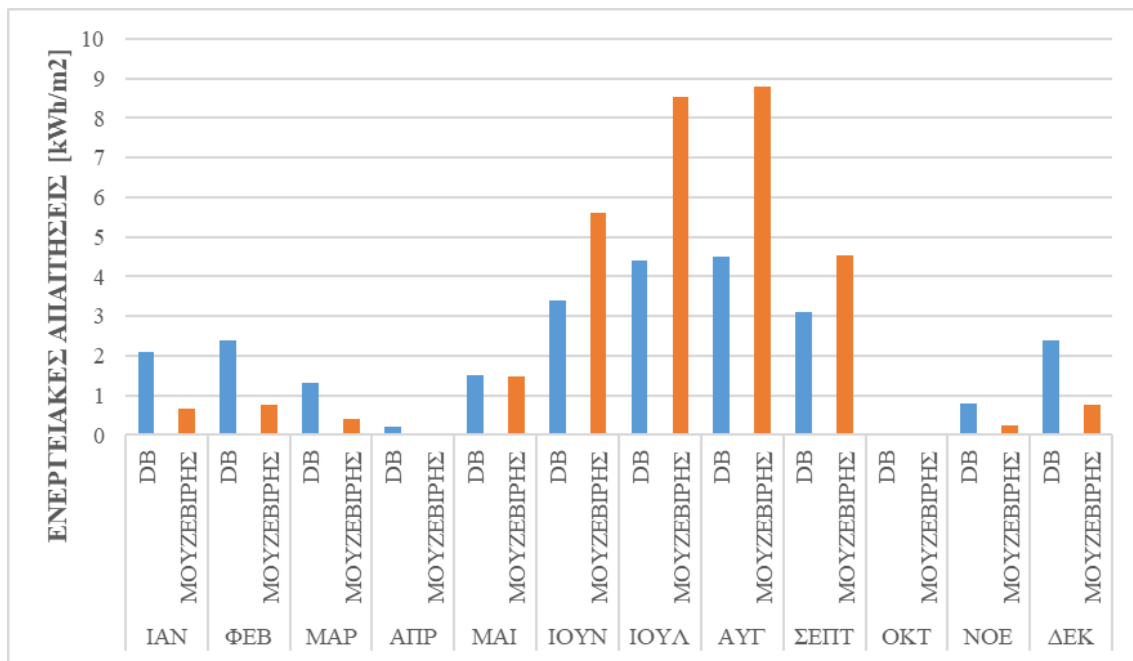
$$\text{COP} = -0.001 \cdot T_a^2 + 0.043 \cdot T_a + 1.966 \quad (\text{Εξίσωση 9})$$

$$\text{EER} = 0.0014 \cdot T_a^2 - 0.171 \cdot T_a + 6.786 \quad (\text{Εξίσωση 10})$$

Στον πίνακα 43 και στο διάγραμμα 33 παρουσιάζονται οι μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης και ψύξης των αντλιών θερμότητας με την καμπύλη COP και EER του DesignBuilder (DB) και με τις καμπύλες του Μουζεβίρη.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>DB</b>	2.1	2.4	1.3	0.2	1.5	3.4	4.4	4.5	3.1	0.0	0.8	2.4	26.1	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΜΟΥΖΕ-ΒΙΡΗΣ</b>	0.7	0.8	0.4	0.1	1.6	5.5	7.9	7.8	4.7	0.0	0.2	0.8	30.5	kWh/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 43:** Συγκριση μηνιαίων ενεργειακών καταναλώσεων θέρμανσης διαφορετικών καμπύλων COP.



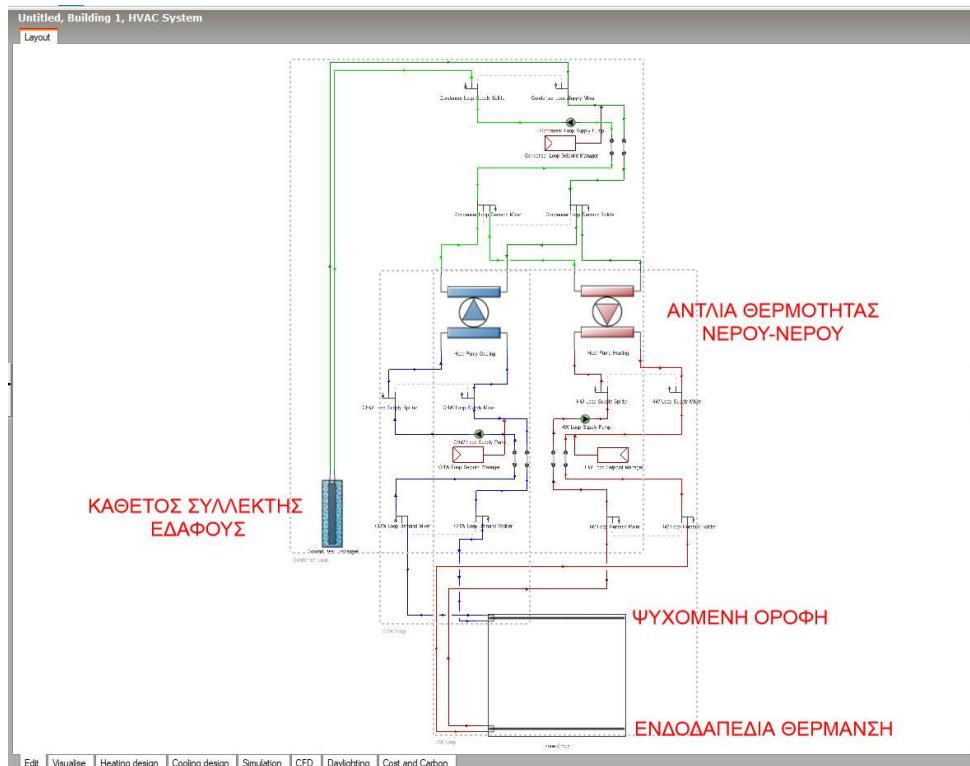
**Διάγραμμα 33:** Συγκριση μηνιαίων ενεργειακών καταναλώσεων θέρμανσης διαφορετικών καμπύλων COP.

Από τον πίνακα 43 και το διάγραμμα 33 παρατηρείται ότι με την χρήση της καμπύλης του Μουζεβίρη η κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση μειώνεται κατά 66% σε ετήσια βάση. Η μείωση της κατανάλωσης προκύπτει λόγω της εκθετικής σχέσης που αξιοποιεί το

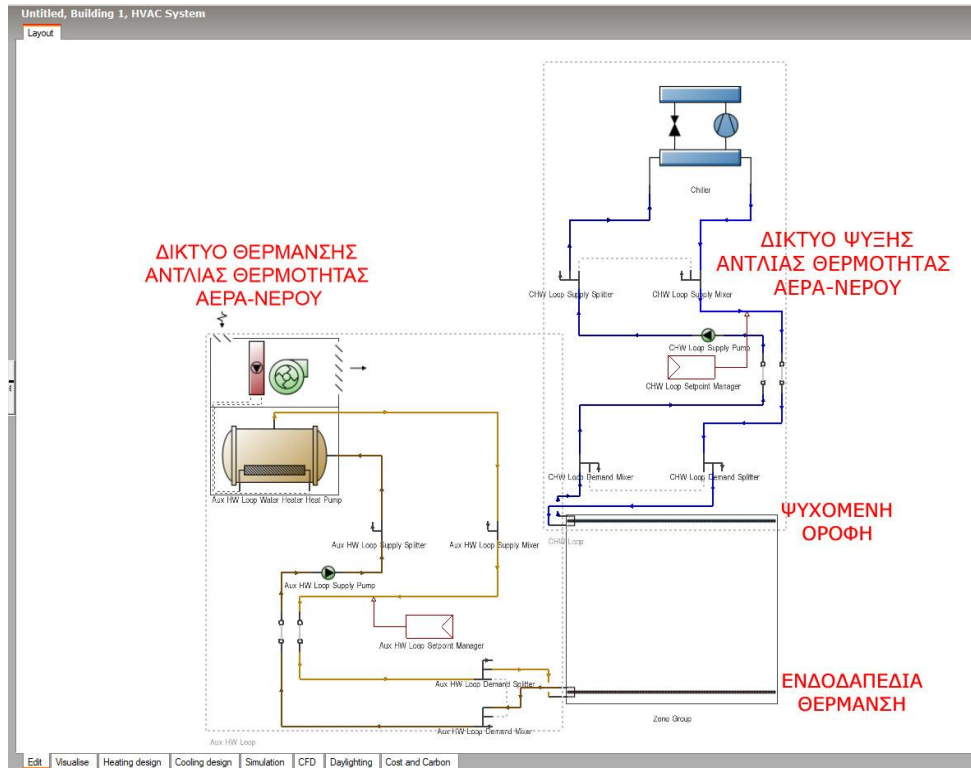
DesignBuilder όπου για χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος ο βαθμός απόδοσης είναι σημαντικά μικρότερος σε σύγκριση με την παραβολική Εξίσωση 9. Επιπλέον, παρατηρείται αύξηση 63% στην ετήσια κατανάλωση της ψύξης με την χρήση της καμπύλης του Μουζεβίρη. Η αύξηση της κατανάλωσης προκύπτει λόγω της πιο απότομης μείωσης του βαθμού απόδοσης με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος της καμπύλης του Μουζεβίρη σε σχέση με την καμπύλη του DesignBuilder.

#### 4.5.2 Σύγκριση αντλιών θερμότητας Αέρα-Νερού και Νερού-Νερού.

Σε αυτό το κεφάλαιο συγκρίνονται οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας που επιλέχθηκε για την ανάλυση είναι η Trane EXWE120 με βαθμό απόδοσης στην θέρμανση και στην ψύξη  $COP=4.3$  και  $EER=4.8$  αντίστοιχα. Για την αντλία θερμότητας αέρα-νερού ορίστηκαν οι συντελεστές απόδοσης της θέρμανσης και της ψύξης ίδιοι με της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Οι τερματικές μονάδες και στις δύο περιπτώσεις είναι ενδοδαπέδια θέρμανση και ψυχόμενη οροφή. Η υδραυλική διάταξη της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και της αντλίας θερμότητα αέρα-νερού παρουσιάζονται στις Εικόνες 38&39.



Εικόνα 38: Υδραυλική διάταξη γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στο περιβάλλον του DesignBuilder.

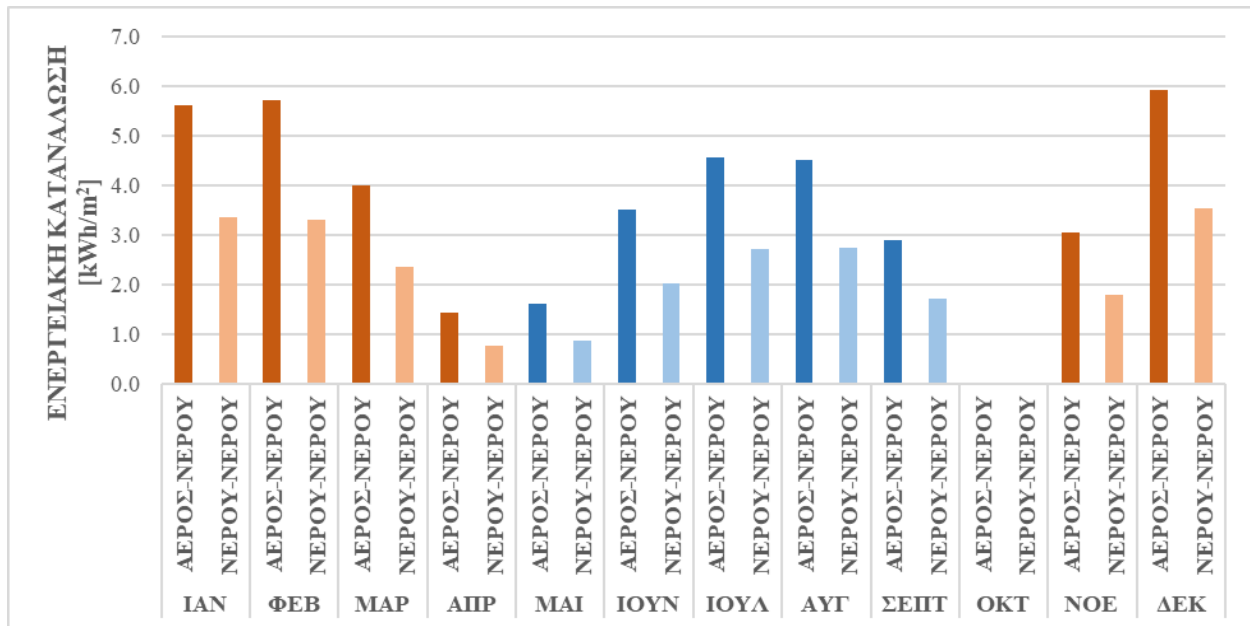


**Εικόνα 39:** Υδραυλική διάταξη αντλίας θερμότητας αέρα-νερού στο περιβάλλον του DesignBuilder.

Στον πίνακα 44 και στο διάγραμμα 34 συγκρίνονται οι μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις της θέρμανσης και της ψύξης για την γεωθερμική αντλία θερμότητας και την αντλία θερμότητας αέρα-νερού.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΗΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
<b>ΑΕΡΟΣ-ΝΕΡΟΥ</b>	5.6	5.7	4.0	1.4	1.6	3.5	4.6	4.5	2.9	0.0	3.0	5.9	42.8	kWh/m <sup>2</sup>
<b>ΝΕΡΟΥ-ΝΕΡΟΥ</b>	3.3	3.3	2.3	0.8	0.9	2.0	2.7	2.7	1.7	0.0	1.8	3.5	25.1	kWh/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 44:** Συγκριση μηνιαίων ενεργειακών καταναλώσεων θέρμανσης & ψύξης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και αντλίας θερμότητας αέρος-νερού.



**Διάγραμμα 34:** Συγκριση μηνιαίων ενεργειακών καταναλώσεων θέρμανσης & ψύξης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και αντλίας θερμότητας αέρος-νερού.

Παρατηρείται ότι με την χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας η ενεργειακή κατανάλωση για την θέρμανση και της ψύξη μειώνεται σε σύγκριση με την αντλία θερμότητας αέρος-νερού. Η μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση στη γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι αναμενόμενη λόγω την μικρότερης θερμοκρασιακής διαφοράς του εδάφους με το δίκτυο σε σύγκριση με τον αέρα και το δίκτυο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Από τις ενεργειακές αναλύσεις του Κεφαλαίου 4 συμπεραίνεται ότι η προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης του DesignBuilder ανταποκρίνεται στις μεταβολές της μόνωσης της μονοκατοικίας αλλά και τον κλιματικών δεδομένων. Για την αξιολόγηση του DesignBuilder χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TEE KENAK ως σημείο αναφοράς. Οι παράμετροι λειτουργίας του κτιρίου υπό μελέτη επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι παραμφερείς, με σκοπό την ορθότερη σύγκριση των λογισμικών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων της θέρμανσης, του κλιματισμού και του ζεστού νερού χρήσης παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση σε σύγκριση με το TEE KENAK.

Παράλληλα με την σύγκριση του DesignBuilder με το TEE KENAK πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των δύο επιλογών προσομοίωσης των ενεργειακών συστημάτων του DesignBuilder το Simple και το Detailed HVAC. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατηρήθηκε ότι η χρήση των λεπτομερώς σχεδιασμένων ενεργειακών συστημάτων του DesignBuilder είναι απαραίτητη για τον ακριβέστερο υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών στα ενεργειακά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια επίδειξη των δυνατοτήτων του DesignBuilder με την προσομοίωση ειδικών περιπτώσεων. Ειδικότερα, συγκρίθηκαν διαφορετικές καμπύλες βαθμού απόδοσης αντλιών θερμότητας καθώς και οι αντλίες θερμότητας αέρος-νερού και νερού-νερού. Από τις παραπάνω αναλύσεις παρατηρήθηκε ότι η χρήση διαφορετικών καμπυλών βαθμού απόδοσης επηρεάζει σημαντικά τις ενεργειακές καταναλώσεις των αντλιών θερμότητας. Επιπλέον, παρατηρείται ότι με την χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας οι ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου παρουσιάζουν σημαντική μείωση.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα των ενεργειακών αναλύσεων του Κεφαλαίου 4 συνοψίζονται ως εξής:

- **Ενεργειακές απαιτήσεις:**
  - **DesignBuilder Κλιματική ζώνη Β:** Μείωση των απαιτήσεων θέρμανση, αύξηση των απαιτήσεων κλιματισμού ενώ οι απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης παραμένουν σταθερές με την προσθήκη θερμομόνωσης.
  - **DesignBuilder Κλιματική ζώνη Γ:** Μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης και κλιματισμού ενώ οι απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης παραμένουν σταθερές με την προσθήκη θερμομόνωσης.
  - **TEE KENAK:** Μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων της θέρμανση και του κλιματισμού και διατήρηση των απαιτήσεων ζεστού νερού χρήσης με την προσθήκη θερμομόνωσης.

- **Σύγκριση TEE KENAK-DesignBuilder:** Το DesignBuilder υποεκτιμά τις ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανση και ψύξης σε σύγκριση με το TEE-KENAK και υπερεκτιμά τις απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης.
- **Σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων DesignBuilder-TEE KENAK:** Οι ενεργειακές καταναλώσεις για την θέρμανση και την ψύξη του DesignBuilder είναι μειωμένες σε σύγκριση με τις καταναλώσεις του TEE KENAK, ενώ τα φορτία του ζεστού νερού χρήσης είναι αυξημένες όπως και στις ενεργειακές απαιτήσεις.
- **Σύγκριση διαφορετικών πηγών ενέργειας στο Simple HVAC:** Ανεξαρτήτως θερμομόνωσης και κλιματικής ζώνης η κατανάλωση ενέργειας των λεβήτων παραμένει σταθερή με την μεταβολή των καυσίμων ενώ μειώνεται με την χρήση αντλίας θερμότητας. Παράλληλα ο λέβητας πετρελαίου εκπέμπει την μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και ακολουθείται από τον λέβητα φυσικού αερίου, τον λέβητα βιομάζας και την αντλία θερμότητας.
- **Σύγκριση διαφορετικών πηγών ενέργειας στο Detailed HVAC:** Οι ενεργειακές καταναλώσεις ακολουθούν παρόμοια μεταβολή όπως και στο Simple HVAC. Ωστόσο, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παρατηρείται αύξηση των εκπομπών της αντλίας θερμότητας.
- **Σύγκριση Simple-Detailed HVAC:** Στους λέβητες παρατηρείται μείωση στις ενεργειακές καταναλώσεις της θέρμανσης και του ζεστού νερού χρήσης ενώ παρατηρείται αύξηση στις καταναλώσεις κλιματισμού. Παράλληλα, στην αντλία θερμότητας παρατηρείται αύξηση σε όλες τις ενεργειακές καταναλώσεις.
- **Σύγκριση καμπυλών βαθμού απόδοσης:** Παρατηρείται ότι με την χρήση πιο εξακριβομένης καμπύλης βαθμού απόδοσης στις αντλίες θερμότητας παρουσιάζεται μείωση στις ενεργειακές καταναλώσεις της θέρμανσης και αύξηση στις καταναλώσεις της ψύξης.
- **Σύγκριση αντλίας θερμότητας αέρος-νερού με αντλία θερμότητας νερού-νερού:** Παρατηρείται ότι με την χρήση αντλίας θερμότητας νερού-νερού μειώνονται οι ενεργειακές καταναλώσεις για την θέρμανση και την ψύξη.

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι το DesignBuilder ανταποκρίνεται στις μεταβολές του κελύφους, των κλιματολογικών δεδομένων και των διαφόρων πηγών θερμότητας όπως αναμενόταν. Ωστόσο λόγω των μεγάλων απολίσεων με το TEE KENAK είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, συμπεραίνεται ότι η χρήση των ενεργειακών συστημάτων του DesignBuilder απαιτούν εξειδικευμένη γνώση στα ενεργειακά συστήματα για την ορθή αξιοποίησή τους.

## Βιβλιογραφία.

Martinopoulos G., Papakostas K.T., Papadopoulos A.M., A comparative review of heating systems in EU countries, based on efficiency and fuel cost, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 90 (2018) 687–699.

Aslani A. , Bakhtiar A. , Akbarzadeh M.H. , Energy-efficiency technologies in the building envelope: life cycle and adaptation assessment, *J. Build. Eng.* 21 (2019) 55–63.

Fawcett T. , Killip G. , Re-thinking energy efficiency in European policy: practitioners’ use of ‘multiple benefits’ arguments, *J. Cleaner Prod.* 210 (2019) 1171–1179.

Thonipara A. , Runst P. , Ochsner C. , Bizer K. , Energy efficiency of residential buildings in the European Union – an exploratory analysis of cross-country consumption patterns, *Energy Policy* 129 (2019) 1156–1167.

D’Agostino D. , Mazzarella L. , What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions, *J. Build. Eng.* 21 (2019) 200–212.

Economidou M. , Todeschi V. , Bertoldi P. , D’Agostino D. , Zangheri P. , Castellazzi L. , Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings, *Energy and Buildings*, 2020, 110322, ISSN 0378-7788.

Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings.

Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)

Action Plan for Energy Efficiency: Realizing the Potential (2007/2106(INI)).

Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.

Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast).

COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The European Green Deal.

Cengel Yunus A. , Boles Michael A. , Kanoglou Mehmet ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ, 9η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2020 ISBN: 978-960-418-820-8.

Καραμάνης Δ. , ANANEΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2022, ΚΑΛΛΙΠΟΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ, ISBN: 978-618-5667-29-0.

John A. Duffie, William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 2013, John Wiley & Sons Inc., ISBN 978-0-470-87366-3.

2021 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS SI EDITION, 2021 ASHRAE. ISBN 978-1-947192-90-4.

2024 ASHRAE HANDBOOK Heating, Ventilating and Air-Conditioning SYSTEMS AND EQUIPMENT SI EDITION, 2024 ASHRAE, ISBN 978-1-955516-84-6.

2023 ASHRAE HANDBOOK HVAC APPLICATIONS SI EDITION, 2023 ASHRAE, ISBN 978-1-955516-50-1.

M. H. El-Ahmar, A. -H. M. El-Sayed and A. M. Hemeida, "Mathematical modeling of Photovoltaic module and evaluate the effect of various parameters on its performance," 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, 2016, pp. 741-746, doi: 10.1109/MEPCON.2016.7836976.

CEYLAN, Hasan Tamer; MYERS, G. E. Long-time solutions to heat-conduction transients with time-dependent inputs. 1980.

OUYANG, Kunze; HAGHIGHAT, Fariborz. A procedure for calculating thermal response factors of multi-layer walls—state space method. *Building and Environment*, 1991, 26.2: 173-177.

MOUZEVIRIS, Georgios A.; PAPAKOSTAS, Konstantinos T. Comparative analysis of air-to-water and ground source heat pumps performances. *International Journal of Sustainable Energy*, 2021, 40.1: 69-84.