



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Διπλωματική εργασία

“ΣΧΟΛΕΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ 33^{ου}
ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ”

ΒΑΓΙΑΣ ΒΑΓΙΑΣ

A.M.: 2014057355

Τριμελής Επιτροπή:

Δ. Κολοκοτσά (επιβλέπουσα)

Κ. Ουγγρίνης

Θ. Τσούτσος

Χανιά

Ιούνιος 2017

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	4
2.	Περίληψη.....	6
3.	Αιτίες κλιματικής αλλαγής.....	7
4.	Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO ²	8
5.	Ο ρόλος των κτιρίων στην κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας	11
5.1	Βιοκλιματικά κτίρια.....	11
5.2	Η κατανάλωση ενέργειας στα σχολεία γενικότερα και στα σχολεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης ειδικότερα.....	12
5.3	Υφιστάμενη Ενεργειακή Συμπεριφορά των κτιρίων στην Ελλάδα	13
5.4	Υφιστάμενη ενεργειακή συμπεριφορά των Δημοτικών σχολείων στην Ελλάδα	13
5.5	Η Υφιστάμενη ενεργειακή συμπεριφορά στα σχολεία της Θεσσαλονίκης.....	13
6	Το παράδειγμα του Προγράμματος ΕΞΙΣ – Εξερευνώντας το Σχολικό Περιβάλλον του Αύριο. Οι στόχοι του προγράμματος	16
7	Μεθοδολογία	19
8	Υφιστάμενη κατάσταση του 33 ^{ου} Δημοτικού Σχολείου Θεσσαλονίκης	20
9	Μοντελοποίηση	21
9.1	Λογισμικά μοντελοποίησης.....	21
9.1.1	SketchUp.....	22
9.1.2	TRNSys.....	22
9.2	Μοντελοποίηση του κτιρίου	25
9.2.1	Θερμικές ζώνες.....	25
10	Καθορισμός ωρών λειτουργίας	33
11	Ενεργειακή απόδοση του σεναρίου για το κτίριο αναφοράς (baseline κατάσταση)...	37
12	Επεμβάσεις βελτίωσης ενεργειακής αποδοτικότητας	39
13	Ανάλυση παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας.....	40
13.1	Αλλαγή κουφωμάτων, προσθήκη μόνωσης με θερμοπρόσοψη εκτός του υπογείου	41
13.1.1	Υλικά της εξωτερικής τοιχοποιίας των νέων κτιρίων.....	41
13.1.2	Υλικά νέας οροφής	42
13.1.3	Νέα κουφώματα.....	43
13.1.4	Η συνεισφορά της Ηλιακής Καμινάδας.....	45
13.2	Προσθήκη σκιάστρου.....	47
13.3	Θερμοκήπιο	49

13.4	Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού του σχολείου	51
14	Εφαρμογή ΑΠΕ στο 33 ^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης - Η εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών συστημάτων και γεωθερμίας.....	52
15	Αναλυτικά σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας.....	55
15.1	Σύγκριση 5 σεναρίων με την baseline κατάσταση.....	56
15.1.1	Σενάριο B.1 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ	56
15.1.2	Σενάριο B.2 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ.....	59
15.1.3	Σενάριο B.3 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ	62
15.1.4	Σενάριο B.4 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ.....	65
15.1.5	Σενάριο B.5 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ, ΑΠΕ (ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ & ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ)	68
15.2	Σύγκριση αποδοτικότητας μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ανά όροφο	71
15.2.1	Υπόγειο	72
15.2.2	Ισόγειο	75
15.2.3	1 ^{ος} Όροφος	79
15.2.4	2 ^{ος} Όροφος και βιβλιοθήκη.....	83
16	Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας.....	87
17	Ανάλυση των αποτελεσμάτων	88
18	Συμπεράσματα	95
19	Προτάσεις για την συνέχεια.....	95
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	96

1. Εισαγωγή

Κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών τα περιβαλλοντικά προβλήματα αυξάνονται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Η παγκόσμια κοινότητα βιώνει αυτά τα προβλήματα μέσα από μία σειρά ασυνήθιστων φαινομένων ειδικά σε σύγκριση με προηγούμενα χρόνια. Κάποιοι από τους παράγοντες που αφύπνισαν την επιστημονική κοινότητα στο τελευταίο μισό του 20^{ου} αιώνα ήταν ,η έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση στα μεγάλα αστικά και βιομηχανικά κέντρα και τα συχνά ακραία καιρικά φαινόμενα.

Αυτά καθώς και άλλες μορφές επιβάρυνσης του περιβάλλοντος είναι αποτέλεσμα της παγκόσμιας κυριαρχίας του καπιταλιστικού συστήματος, που βλέπει την προστασία του περιβάλλοντος ως κόστος και την εκμετάλλευσή του ως κέρδος. Έτσι πολιτικές και τεχνολογικά επιτεύγματα που πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή και που θα ανέβαζαν το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων τελικά δεν εφαρμόζονται, αφού δεν προσφέρουν το αναμενόμενο κέρδος. Για παράδειγμα τέτοια τεχνικά έργα είναι έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, αντιπυρικές ζώνες κτλ. Ωστόσο τα περιβαλλοντικά προβλήματα δεν τα βιώνει όλος ο πληθυσμός το ίδιο. Για παράδειγμα την ατμοσφαιρική ρύπανση ακόμα και στα αστικά κέντρα δεν την αντιλαμβάνεται το ίδιο ο κάτοικος της Ελευσίνας και της Δραπετσώνας, με τον κάτοικο της Πεντέλης ή του Ευόσμου με τον κάτοικο του Πανοράματος. Ακόμα και άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής όπως ακραίο ψύχος, ζέστη ή πρωτοφανείς σε μέγεθος τυφώνες που καταστρέφουν ολόκληρες πόλεις δεν έχουν τον ίδιο αντίκτυπο σε κάποιον πλούσιο με κάποιον φτωχό, τόσο από άποψη πρόληψης , όσο και από άποψη αποκατάστασης, προφύλαξης της υγείας κτλ.

Στην ίδια λογική οι πολιτικές που αφορούν την ενέργεια βρίσκονται στο επίκεντρο της προσοχής πολλών κρατών και επιστημονικών φορέων σε όλη την υδρόγειο, αφού τα συμβατικά καύσιμα που αποτελούν την βάση της παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής ταυτόχρονα αποτελούν και την βασική αιτία της αύξησης της συγκέντρωσης του CO² στην ατμόσφαιρα. Η μεγάλη επίδραση των συμβατικών καυσίμων στην σύγχρονη οικονομία και βιομηχανία σήμερα είναι πιο φανερή από ποτέ. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι οι μεγάλες στρατιωτικές συγκρούσεις που έχουν ξεσπάσει τα τελευταία χρόνια σε Ουκρανία, Συρία, Λιβύη έχουν να κάνουν με την οικονομική κρίση που ταλανίζει μεγάλο κομμάτι του κόσμου. Πιο συγκεκριμένα η επέμβαση στην Λιβύη ήρθε μετά από την απόφαση της τότε κυβέρνησης να μην ανανεώσει την σύμβαση για εκμετάλλευση του Λιβυκού πετρελαίου σε Ιταλία και Γαλλία, αλλά να υπογράψει συμβόλαια με Κινέζικες εταιρείες. Αντίστοιχα η κρίση στην Ουκρανία ήρθε μετά από ισχυρή διαπάλη μεταξύ Γερμανίας (της οποίας η βιομηχανία εξαρτάται από το Ρωσικό φυσικό αέριο) και Ρωσίας για την τιμή πώλησης του φυσικού αερίου, με την Ουκρανία να είναι η βασική χώρα από την οποία περνάει ο αντίστοιχος αγωγός φυσικού αερίου. Ακόμα στην Συρία υπάρχει η διαπάλη για την εκμετάλλευση των πετρελαϊκών αποθεμάτων της χώρας έως τους

δρόμους φυσικού αερίου και πετρελαίου και από που θα περάσουν οι αντίστοιχοι αγωγοί, κάτι που ανοίγει όλο το κουβάρι εμπλοκής δεκάδων κρατών, της ΕΕ, των ΗΠΑ, της Ρωσίας, της Τουρκίας κτλ.

Στον αντίποδα ακριβώς το γεγονός ότι η παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας εξαρτώνται από τα συμβατικά καύσιμα είναι ο λόγος που τις τελευταίες δεκαετίες, χώρες που δεν έχουν προβάδισμα στους αντίστοιχους τομείς (όπως οι χώρες της ΕΕ) έχουν πρωτοστατήσει σε πρωτοβουλίες όπως το πρωτόκολλο του Κιότο. Αυτές οι πρωτοβουλίες αποφάσισαν νέες πολιτικές ώστε να αλλάξει το μείγμα της παραγωγής ενέργειας προς όφελος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και τεχνικές μείωσης κατανάλωσης και ζήτησης ενέργειας.

Ως αποτέλεσμα η ΕΕ προχώρησε σε κάποιες προσαρμογές της ενεργειακής της πολιτικής που έχουν να κάνουν με την εξοικονόμηση ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για κλιματισμό κτιρίων, ποιότητα εσωτερικού αέρα, με ταυτόχρονη ικανοποιητική θερμική άνεση. Βασικό μέτρο που πάρθηκε ήταν ότι κάθε κράτος μέλος της ΕΕ πρέπει να ακολουθήσει συγκεκριμένους κανόνες όσον αφορά την κατασκευή νέων δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων με όρους εξοικονόμησης ενέργειας και ταυτόχρονης επίτευξης θερμικής άνεσης για τους χρήστες. Αυτό είναι κρίσιμο στοιχείο της πολιτικής εξοικονόμησης ενέργειας καθώς το 40% της ενέργειας στην ΕΕ καταναλώνεται για την λειτουργία κτιρίων. [1]

2. Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη για επίτευξη μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας στο 33^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης. Το συγκεκριμένο σχολείο φιλοξενείται στις εγκαταστάσεις του φιλανθρωπικού σωματείου «Άσυλο Παίδου». Η συγκεκριμένη μελέτη εκπονήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΕΞΙΣ - Ερευνώντας το Σχολικό Περιβάλλον του Αύριο», του Πολυτεχνείου Κρήτης, και σκοπός του είναι η μετατροπή του 33^{ου} Δημοτικού Σχολείου Θεσσαλονίκης σε ένα Σχολείο Μηδενικής Ενέργειας.

Η εργασία έγινε με την χρήση και τον συνδυασμό των προγραμμάτων: SketchUp, TRNSys – TRNBuild, PVSyst, Excel.

- ✓ Στο SketchUp σχεδιάστηκε το κτίριο με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια. Σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχες θερμικές ζώνες με κριτήριο την μέγιστη δυνατή απλοποίηση του μοντέλου, χωρίς ωστόσο να μειωθεί η ακρίβειά του. Για να γίνει αυτό οι χώροι του κτιρίου συμπύχθηκαν σε ενιαίες θερμικές ζώνες, όπου αυτό ήταν δυνατόν, με βάση την γειτνίασή τους, τον προσανατολισμό, την χρήση τους και το μέγεθος.
- ✓ Στο TRNSys – TRNBuild με την χρήση του αντίστοιχου plug-in έγινε η εισαγωγή του μοντέλου από το SketchUp. Εδώ εισάγονται τα τεχνικά δομικά χαρακτηριστικά, όπως πάχος και υλικά τοίχων, οροφής, δαπέδου. Εισάγονται τα διάφορα στοιχεία με επιλογή των κατάλληλων Types, όπως PV, σκιάστρα κτλ. Στο TRNSys γίνεται η προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, με βάση τα στοιχεία που έχουμε δώσει και το αρχείο καιρού που εισάγουμε. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται μέσω των plotters και εξάγονται σε excel για την επεξεργασία τους.

Με την χρήση του TRNSys έγιναν διάφορα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας με σκοπό να πετύχουμε το 33^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης, να γίνει ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό προφανώς πέρα από βιοκλιματική κατασκευή και καινοτομίες στα υλικά κατασκευής και στην δομή συνολικά, απαιτεί και την χρήση ΑΠΕ.

Για την επίτευξη των στόχων μας επικεντρωθήκαμε:

- ✓ Στα υλικά κατασκευής, στο πάχος των εξωτερικών τοίχων και της οροφής
- ✓ Στην προσθήκη σκιάστρων
- ✓ Στην εφαρμογή ΑΠΕ, με φωτοβολταϊκά και γεωθερμία

Τα αποτελέσματα των χωριστών σεναρίων και ο συνδυασμός τους δείχνουν πως είναι εφικτό το 33^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης να γίνει κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

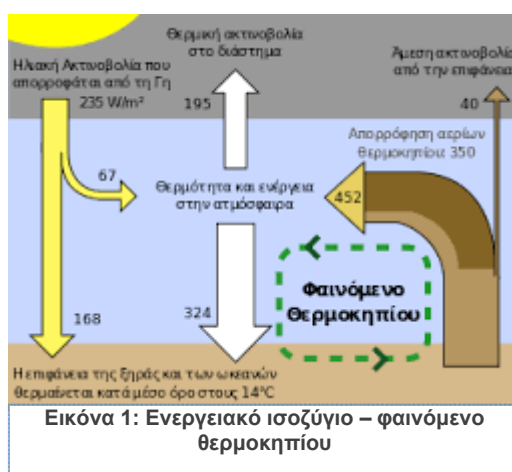
3. Αιτίες κλιματικής αλλαγής

Η έντονη οικονομική δραστηριότητα παγκοσμίως ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, έχει επιφέρει πολλαπλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Φυσικές καταστροφές, αύξηση της τρύπας του όζοντος και της στάθμης της θάλασσας, ως αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. [2] Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ενισχύεται από την συνεχή απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα διάφορων αέριων του θερμοκηπίου με κυρίαρχο το CO². Χαρακτηριστικά ο μηχανισμός εγκλωβισμού θερμότητας στην ατμόσφαιρα από τα αέρια του θερμοκηπίου φαίνεται στην Εικόνα 1.

Το βασικό αέριο του CO², εκπέμπεται βιομηχανία, από την τα μέσα μεταφοράς. Ως τελευταία χρόνια με την επιστημονικής παρθεί πρωτοβουλίες, πρωτόκολλο του Κιότο Παρισίου, όπου

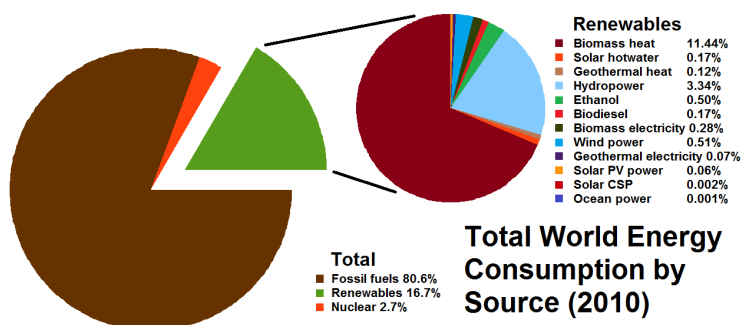
τόσο σε θέματα επιβλαβών για το

συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρέλαιο κτλ), από άλλες φιλικότερες, τις λεγόμενες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.), όσο και σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας με καινοτόμες λύσεις. Από την παρακάτω Εικόνα 2 που ακολουθεί γίνεται φανερό πως αυτή την στιγμή οι συμβατικές πηγές ενέργειας με κυρίαρχο το πετρέλαιο, διαδραματίζουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας.



θερμοκηπίου, το κυρίως από την καύση πετρελαίου, εκ τούτου τα εγρήγορση της κοινότητας έχουν όπως το και η συμφωνία του επικεντρώνονται

αντικατάσταση των περιβάλλον



Εικόνα 2: Συνολική παγκόσμια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή

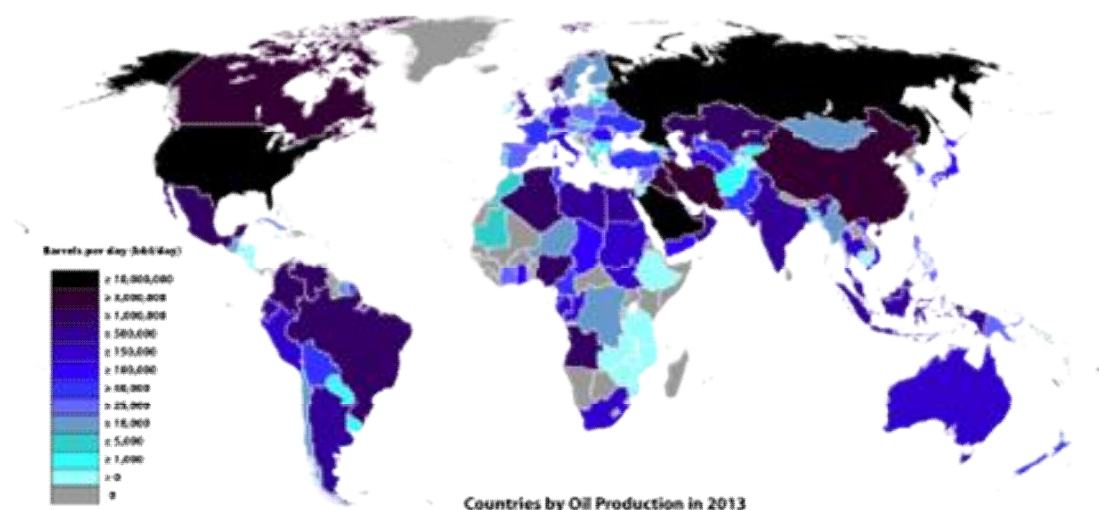
(Πηγή: REN 21 2012 Global Status Report)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Total_World_Energy_Consumption_by_Source_2010.png

Φαίνεται ξεκάθαρα πως οι βασικές πηγές ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα με 80,6% , έπονται οι ΑΠΕ με 16,7% και τέλος η πυρηνική ενέργεια με 2,7%.

4. Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO²

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει πρωτοστατήσει στις πρωτοβουλίες για μείωση των εκπομπών CO² και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό προκύπτει κατά κύριο λόγο από το γεγονός πως οι χώρες της δεν είναι πετρελαιοπαραγωγοί, ούτε έχουν κοιτάσματα φυσικού αερίου, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και στην Εικόνα 3, αλλά και στον Πίνακα 1:



Εικόνα 3: Countries producing oil 2013, bbl/day (CIA World Factbook)

EU Country	Production (bbl/day) Top 10 countries updated 2016
Norway	1,763,000
United Kingdom	978,000
Denmark	149,000
Italy	90,000
Netherlands	64,000
France	61,000
Germany	48,000
Spain	40,000
Poland	39,000
Austria	27,000
Hungary	25,000

Belgium	13,000
Estonia	13,000
Sweden	12,000
Czech Republic	11,000
Finland	10,000
Lithuania	9,100
Slovakia	9,100
Greece	8,700
Portugal	7,100
Bulgaria	3,400
Latvia	1,000
Ireland	900
Slovenia	300
Total EU production	3,382,600
Global Production	78,764,700
EU to Global oil production	4.29%

Πίνακας 1: Παραγωγή πετρελαίου στην ΕΕ συγκριτικά με την παγκόσμια παραγωγή

(Πηγή: ["World's top oil producers 2016"](#). U.S. Energy Information Administration. Retrieved 05 November 2016)

Υπολογίζοντας την έξοδο της Μ.Βρετανίας από την Ε.Ε. το ποσοστό παραγωγής πετρελαίου σε σχέση με το παγκόσμιο, πέφτει στο 3,05%. Εάν πάρουμε υπ όψιν τις μεγάλες ενεργειακές ανάγκες της ηπείρου, και το γεγονός ότι το 80,6% της ενέργειας παγκοσμίως προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, συμπεραίνουμε ότι οι χώρες της Ε.Ε. , εξαρτώνται ενεργειακά από άλλες χώρες. Αυτές κυρίως είναι η Ρωσία και χώρες της Μέσης Ανατολής, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και στην Εικόνα 4:

του σχετικού λογισμικού. Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων αφορά κάποιες ελάχιστες ενεργειακές προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα νεότευκτα κτίρια [4].

5. Ο ρόλος των κτιρίων στην κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας

Οι κατευθύνσεις της ΕΕ λοιπόν, μιλούν για κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συμβαίνει σε μία προσπάθεια όσο γίνεται μεγαλύτερης εξοικονόμησης πόρων και ενέργειας. Χαρακτηριστικές είναι οι συγκρούσεις των τελευταίων χρόνων με την κρίση σε Ουκρανία, Συρία κτλ, ζητήματα που δείχνουν την μεγάλη διαπάλη που υπάρχει για τον έλεγχο των δρόμων ενέργειας, μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πολύ παραπάνω στις σημερινές δύσκολες οικονομικές συνθήκες είναι συμφέρουσα μία πολιτική εξοικονόμησης ενέργειας ιδιαίτερα όσον αφορά τα κτίρια, τα οποία σε επίπεδο ΕΕ καταναλώνουν το 40% της ενέργειας και εκπέμπουν το 35% CO₂ [1], [5], [6], [7] καθώς η ενέργεια που εξοικονομείται μπορεί να μπει στην βιομηχανική παραγωγή κτλ, δίνοντας παραπέρα ώθηση σε οικονομίες που περνάνε κρίση.

Βέβαια ιδιαίτερο ρόλο παίζουν τα ογκώδη κτίρια, καθώς λόγω του μεγάλου τους όγκου χρειάζονται περισσότερη ενέργεια τόσο για να ψυχθούν όσο και για να θερμανθούν. Σημαντική επίπτωση στην κατανάλωση ενέργειας έχουν και τα δημόσια κτίρια καθώς λειτουργούν πολλές ώρες, πολλές φορές ακόμα και σε 24ωρη βάση (πχ Νοσοκομεία) [8]. Ενώ συνήθως στα δημόσια κτίρια επιτελείται ευαίσθητο κοινωνικό έργο που απαιτεί μεγάλη προσοχή όσον αφορά την θερμική άνεση των χρηστών, όπως στα νοσοκομεία για γιατρούς προς αποφυγή ιατρικού λάθους και για ασθενείς για γρήγορη ανάρρωση και αποφυγή επιπλοκών.

5.1 Βιοκλιματικά κτίρια

Όταν μιλάμε για εξοικονόμηση ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον το πρώτο ζητούμενο είναι η μείωση της ανάγκης για θέρμανση ή ψύξη από το ίδιο το κέλυφος, τον τρόπο κατασκευής του κτιρίου. Με την έννοια βιοκλιματικά κτίρια εννοούμε τα κτίρια που από κατασκευής τους εκμεταλλεύονται όλες τις δυνατότητες που τους παρέχει τόσο το κλίμα όσο και το μικρο- κλίμα της περιοχής, προκειμένου να πετυχαίνουν θερμική, οπτική και ακουστική άνεση, με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, με την λιγότερη δυνατή συμμετοχή αυτοματοποιημένων συστημάτων και μηχανολογικού εξοπλισμού. Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική προωθεί την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων πηγών μέσα από μία λογική και καλά σχεδιασμένη διαδικασία. Επίσης επιδιώκεται η διάδραση ανάμεσα στο κτίριο και το

περιβάλλον με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο και με σκοπό να αλλοιωθούν όσο γίνεται λιγότερο οι φυσικές συνθήκες. [9]

Το νέο κτίριο που εγκαταστάθηκε το 33^ο Δημοτικό Σχολείο είναι ένα τέτοιο κτίριο. Μεταξύ άλλων προβλέπεται η ύπαρξη ηλιακή καμινάδας στο κέντρο του κτιρίου για να βελτιώνεται η φυσική ροή αέρα τους θερινούς μήνες, αλλά και η ύπαρξη θερμοκηπίου στην νότια πλευρά προκειμένου να έχουμε θερμικά κέρδη κατά την διάρκεια του χειμώνα.

5.2 Η κατανάλωση ενέργειας στα σχολεία γενικότερα και στα σχολεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης ειδικότερα

Τα δημόσια σχολεία αποτελούν ένα κρίσιμο κομμάτι της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, με πολλά περιθώρια περαιτέρω μείωσής της.

Στην συνολική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων σημαντικό ρόλο παίζουν τα σχολεία, αυτό καθώς, απασχολούν για το 33% της ημέρας και το 75% του έτους ένα μεγάλο κομμάτι πληθυσμό. Χαρακτηριστικό είναι ότι στην ΕΕ πηγαίνουν σχολείο πάνω από 100 εκατομμύρια μαθητών ή το 20% του συνολικού πληθυσμού. [9] Ταυτόχρονα στα σχολεία πρέπει να καλυφθούν ανάγκες, θέρμανσης και ψύξης, επαρκούς φωτισμού για να γίνεται το μάθημα απρόσκοπτα και οι μαθητές να μπορούν να πάρουν το 100% από το μάθημα. Ωστόσο τα σχολεία δεν τυγχάνουν πάντα της αντίστοιχης προσοχής όσον αφορά την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας που κατά την ASHRAE στα σχολεία των ΗΠΑ αυτή η δυνατότητα αγγίζει το 25%. [10]

Πολύ παραπάνω εάν σκεφτούμε ότι υπάρχουν χώρες όπως πχ η Ν.Κορέα που το 41% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια αφορά τα δημοτικά σχολεία. [11]

Σε σχέση με άλλα δημόσια κτίρια, τα σχολεία, παίζουν έναν πολύ σημαντικό κοινωνικό ρόλο, αυτόν της εκπαίδευσης της νέας γενιάς. Οπότε η ενεργειακή απόδοση σε τέτοιου είδους κτίρια έχει μεγάλη σημασία. Αφού προκειμένου ο μαθητής να παρακολουθήσει απρόσκοπτος το μάθημα θα πρέπει να υπάρχει η βέλτιστη οπτική αλλά και θερμική άνεση, αφού η έλλειψή τους οδηγεί και σε σωματική κόυραση, πέρα από την πνευματική που αντικειμενικά φέρνει η διαδικασία της μάθησης [12].

5.3 Υφιστάμενη Ενεργειακή Συμπεριφορά των κτιρίων στην Ελλάδα

Σε αυτά τα πλαίσια παραμένει ζητούμενο και η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων και σχολείων στην Ελλάδα. Η τελική κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια κατοικιών ήταν 5,04 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου, το οποίο αντιστοιχεί στο 29,4% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για το 2012 (Commission 2014). Στην Ευρώπη, ο αντίστοιχος ο μέσος όρος είναι 289,2 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου ή 26,2%. Συνολικά για τα κτίρια του οικιακού και τριτογενή τομέα στην Ελλάδα, η τελική κατανάλωση ενέργειας έφτασε το 42% της συνολικής για το 2012, από 32% το 2000, 26% το 1990 και 20% το 1980. Σύμφωνα στατιστικά στοιχεία (ΕΛΣΤΑΤ 2013), το 60% των ελληνικών κατοικιών κατασκευάστηκαν πριν από το 1980 επομένως, δεν έχουν θερμομόνωση και υπάρχουν παλιές ηλεκτρομηχανολογικές (Η/Μ) εγκαταστάσεις. Το ίδιο συμβαίνει και στα σχολικά συγκροτήματα, όπου το 70% κατατάσσεται στις ενεργειακές κατηγορίες Δ έως Η. [13]

5.4 Υφιστάμενη ενεργειακή συμπεριφορά των Δημοτικών σχολείων στην Ελλάδα

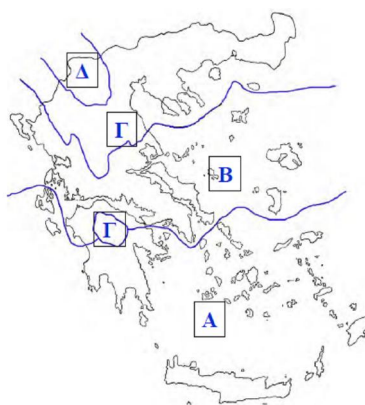
Στην Ελλάδα το 58,6% των δημοτικών σχολείων έχει κατασκευαστεί πριν από το 1975. Ως εκ τούτου, αυτά τα κτίρια δεν είναι θερμικά μονωμένα, (οι κανόνες θερμομόνωσης θεσπίστηκαν το 1979). Από την άλλη πλευρά, ένα σημαντικό ποσοστό (περίπου 42%) των σχολικών κτιρίων θεωρείται σχετικά νέο δεδομένου ότι έχουν κατασκευαστεί μετά το 1985. Τα εγκατεστημένα συστήματα θέρμανσης περιλαμβάνουν κατά 88% κεντρικούς λέβητες πετρελαίου με θερμαντικά σώματα, τοπικές αντλίες θερμότητας ή και όλων των ειδών τις ηλεκτρικές σόμπες. Μία εκτίμηση της μέσης κατανάλωσης ενέργειας σχολικών μονάδων στην Ελλάδα, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2. [14]

5.5 Η Υφιστάμενη ενεργειακή συμπεριφορά στα σχολεία της Θεσσαλονίκης

Ως εκ τούτου, η ενεργειακή αναβάθμιση στα κτίρια και ειδικότερα στο 33^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης που είναι το αντικείμενο της παρούσας ανάλυσης ενεργειακής αποδοτικότητας μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην μείωση του λειτουργικού κόστους και την βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος.

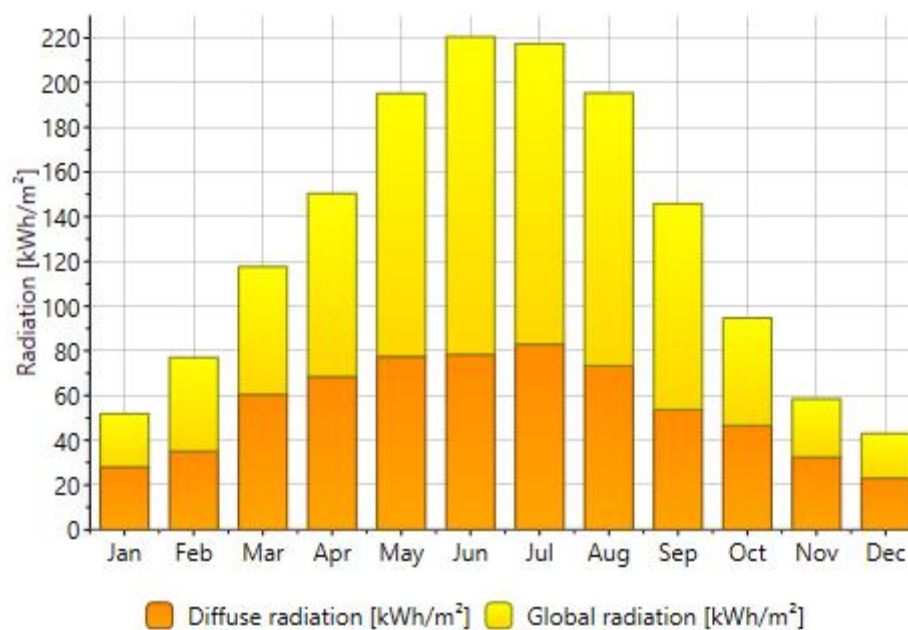
Πίνακας 2. Μέση ενεργειακή κατανάλωση σχολείων στις τρεις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας (Πηγή: [14])

Κλιματική Ζώνη	Αρ. σχολικών μονάδων	Παλαιότητα (μέσος όρος - έτη)	Έκταση (m ²)	Χωρητικότητα (μαθητές)	Ώρες λειτουργίας	Μέση κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)
A	15	47	1214	183	7.5	49.5
B	71	34	1400	197	7.3	57.1
Γ	49	37	1414	161	7.6	90.8



Εικόνα 5. Οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

Το κλίμα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης (Γ κλιματική ζώνη), όπου βρίσκεται το υπό μελέτη σχολείο, μπορεί να θεωρηθεί ως μεσογειακό, με ηπειρωτική επίδραση κατά τις διάφορες εποχές. Η θερμοκρασία παρουσιάζει κατά μέσο όρο τις μεγαλύτερες τιμές της τον Ιούλιο και τις μικρότερες τον Ιανουάριο. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος υπερβαίνει τους 20°C, ενώ κατά την ψυχρή εποχή εισβάλλουν απότομα πολύ ψυχρές αέριες μάζες και συχνά παγώνουν ποταμοί και λίμνες, ακόμα και ο Θερμαϊκός κοντά στις ακτές του. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται γύρω στους 16°C, η χαμηλότερη μέση θερμοκρασία (Ιανουάριος) γύρω στους 5,5°C και η υψηλότερη (Ιούλιος) γύρω στους 26,5°C (Εικόνα 6, Εικόνα 7). Σύμφωνα με διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα, στο διάστημα του έτους, περίπου 140 ημέρες έχουν μέγιστη θερμοκρασία πάνω από τους 25°C και περίπου 70 πάνω από τους 30°C, ενώ 107 είναι αίθριες και 73 νεφοσκεπείς. Οι ώρες ηλιοφάνειας κυμαίνονται μεταξύ 2.400 και 2.600. Το ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται γύρω στα 400-500 χιλιοστά, ενώ τα τελευταία χρόνια είναι αρκετά χαμηλότερο. (Πηγή: <http://greek-weather.org/viewtopic.php?f=158&t=1462&start=0>).



Εικόνα 6. Η ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Θεσσαλονίκης με δεδομένα από METEONORM



Εικόνα 7. Θερμοκρασία του αέρα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης με δεδομένα από METEONORM

6 Το παράδειγμα του Προγράμματος ΕΞΙΣ – Εξερευνώντας το Σχολικό Περιβάλλον του Αύριο. Οι στόχοι του προγράμματος

Σκοπός του προγράμματος είναι η δημιουργία ενός πρότυπου σχολείου σε πανευρωπαϊκό επίπεδο που ικανοποιεί δύο βασικές συνθήκες:

α) Κτιριακές εγκαταστάσεις με σχεδόν μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Η επίτευξη μηδενικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος επιτυγχάνεται:

- με σύγχρονες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που βασίζονται σε φωτοβολταϊκά και γεωθερμία
- με τις τεχνικές σχεδιασμού και τα υλικά που χρησιμοποιούνται πετυχαίνοντας βέλτιστη διαχείριση των θερμικών φορτίων
- με την ευαισθητοποιημένη χρήση του κτιρίου ώστε να αποφεύγεται η άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

Το αποτέλεσμα είναι ένα κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (zero energy), με εξισωμένο ισοζύγιο των ενεργειακών απαιτήσεων σε σχέση με την απόδοση των αυτόνομων ενεργειακών παραγωγικών συστημάτων.

Ταυτόχρονα το ίδιο το κτίριο αποτελεί ερέθισμα για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον συμπεριφορών των μαθητών, των εργαζομένων και όλης της σχολικής κοινότητας του ΑτΠ. Υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία σε σχέση με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η θερμική και οπτική άνεση στην απόδοση των μαθητών. [10]

β) Ευέλικτο παιδαγωγικό πρόγραμμα μέσα σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον μάθησης.

Ο εμπλουτισμός του παιδαγωγικού προγράμματος πραγματοποιείται με τη βοήθεια του χώρου και των στοιχείων εξοπλισμού του, καθώς αυτά συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία ως εργαλεία υποβοήθησης τόσο για τον εκπαιδευτικό όσο και για τα παιδιά, μέσα από βιωματικές και συνεργατικές παιδαγωγικές πρακτικές.

Στην κατεύθυνση αυτή θα διερευνηθούν εκπαιδευτικές μέθοδοι και δυνατότητες που θα ενσωματώνουν τις καινοτομίες του νέου σχολικού συγκροτήματος.

Ο συνδυασμός των δύο αυτών συνθηκών σηματοδοτεί ένα καινοτόμο βιοκλιματικό έργο σε ένα σχολικό περιβάλλον "ημι-ανοιχτού" τύπου δημιουργώντας ένα νέο πρωτοποριακό παράδειγμα στο οποίο μπορούν να αναφέρονται μελλοντικές μελέτες και προδιαγραφές.

Κατευθύνσεις σχεδιασμού

1) Σχολείο ημι-ανοιχτού τύπου

Χωρικά το σχολείο έχει οργανωθεί σε λειτουργικές ζώνες με μεταβαλλόμενη εμβέλεια που δημιουργούν κλειστές, ενδιάμεσες και ανοιχτές περιοχές. Το υφιστάμενο μοντέλο 'τάξη-διάδρομος-αυλή' εμπλουτίζεται με ενδιάμεσους χώρους προσφέροντας στο σχολείο τις υποδομές για διαφορετικά σενάρια μαθησιακών και ελεύθερων δραστηριοτήτων. Ο κάθε χώρος, πέρα από την προβλεπόμενη περιοχή βασικής χρήσης, έχει τη δυνατότητα επέκτασης των ορίων του μέσα από τα μεταβαλλόμενα χωρικά στοιχεία που τον καθορίζουν. Επιπρόσθετα, η κατεύθυνση του ημι-ανοιχτού τύπου εμπλουτίζει το παιδαγωγικό πρόγραμμα προσφέροντας τη δυνατότητα μαθημάτων σε όλο το εύρος του σχολείου, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί τις προϋποθέσεις διοργάνωσης δράσεων οριζόντιας μάθησης, με το χώρο να υποστηρίζει το σύνολο των διαδικασιών.

2) Μεταβλητότητα και ευελιξία

Η κάθε τάξη είναι εσωτερικά ευέλικτη και επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να διαμορφώνουν το χώρο διδασκαλίας ανάλογα με το αντικείμενο του μαθήματος και τους σκοπούς του. Μπορεί να εξυπηρετεί διαφορετικά σενάρια μαθημάτων, με αλλαγές συγκεκριμένων εξαρτημένων και ανεξάρτητων χωρικών στοιχείων:

- Εξατομικευμένο μάθημα ή εργασία όπου κάθε μαθητής έχει το μικρο-χώρο του,
- Εργασία σε μικρές ομάδες και σεμιναριακού τύπου διδασκαλία με τα στοιχεία του χώρου να συμμετέχουν στην οργάνωση υπο-περιοχών,
- Ομαδική διδασκαλία με διαλέξεις,
- Ελεύθερο μάθημα με ελεύθερη διάταξη

Επιπλέον, οι θεματικές τάξεις (πχ χημείας, εικαστικών, μουσικής) διαμορφώνονται ανάλογα με τον εξοπλισμό τους. Μπορούν να έχουν και «ανοιχτή» σχέση με τις αίθουσες διδασκαλίας (πχ με κινητά εργαστήρια).

Η κάθε τάξη, επίσης, είναι περιφερειακά εξοπλισμένη με δύο χώρους ενδιάμεσων χρήσεων για τους μαθητές της που διαμορφώνονται με τη λογική της "γωνιάς".

Οι εξωτερικοί διάδρομοι λειτουργούν τόσο ως επέκταση των αιθουσών, όσο και ως χώροι εκτόνωσης, κίνησης αλλά και στάσης με διακριτές γωνιές και ιδιαίτερο χαρακτήρα. Έχουν και αυτοί μεταβαλλόμενα όρια σε σχέση με τον εξωτερικό χώρο της αυλής.

Η αυλή, τέλος, αποτελεί συνέχεια του εσωτερικού, τόσο χωρικά όσο και λειτουργικά, διαμορφωμένη στο σύνολό της με περιοχές σημασιολογικά ορισμένες,

όπου τα παιδιά μπορούν βρουν τον ιδανικότερο τόπο να χρησιμοποιήσουν ανάλογα με τη διάθεση και τη δραστηριότητά τους.

Οι κατευθύνσεις αυτές καθοδηγήθηκαν από τις 10 + 3 αρχές για το σχεδιασμό του σχολικού χώρου, του αρχιτέκτονα και κοινωνικού ψυχολόγου Δημήτρη Γερμανού, καθηγητή ΑΠΘ, οι οποίες εκφράζονται και μέσα από τη Μέθοδο Παιδαγωγικού Σχεδιασμού του Σχολικού Χώρου (Μέθοδος Π.Σ.Χ.):

- Το σχολείο αποτελεί ένα Κέντρο Μάθησης που συνδέεται με τη γειτονιά
- Το σχολείο προσφέρει χώρους αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας με την πολιτιστική και κοινωνική ζωή της πόλης
- Ο σχολικός χώρος, εσωτερικός και υπαίθριος, έχει ενσωματωμένη τη δυνατότητα μεταβολών που εξυπηρετεί τόσο την εκπαιδευτική διαδικασία, όσο και τα κέντρα ενδιαφέροντος του παιδιού.
- Η οργάνωση του σχολικού χώρου παίρνει υπόψη της τις μορφές εκπαιδευτικής συνύπαρξης στη σχολική τάξη
- Ο σχολικός χώρος είναι ευέλικτος ώστε να διευκολύνει την εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών διδασκαλίας με διαφορετικές απαιτήσεις για τη διαρρύθμιση των επίπλων και του εξοπλισμού
- Η ευέλικτη αίθουσα διδασκαλίας ενσωματώνει τις διδακτικές δυνατότητες που προσφέρουν οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (ΤΠΕ)
- Η κατοικία αποτελεί αισθητικό πρότυπο για το σχολικό χώρο
- Ο μαθητής, καθώς και η ομάδα μαθητών έχει τη δυνατότητα να οικειοποιείται το σχολικό χώρο και να δημιουργεί το δικό της τόπο (place/ lieu)
- Υπάρχουν «ενδιάμεσοι» χώροι με εκπαιδευτικό ενδιαφέρον, που συνδέουν τον εσωτερικό και τον υπαίθριο σχολικό χώρο.
- Ο σχολικός χώρος συμβάλλει στην καλλιέργεια της οικολογικής συνείδησης των μαθητών

Πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό καθώς τα χρόνια της βασικής εκπαίδευσης διαμορφώνεται η προσωπικότητα, η γνώση, η συμπεριφορά και οι αξίες. Οπότε μία σωστή, ελκυστική και βιωματική εκπαιδευτική διαδικασία μπορεί να δημιουργήσει τις ανάλογες θεμιτές συμπεριφορές όσον αφορά την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. [2]

και οπωσδήποτε, μια μελέτη σχολικού χώρου πρέπει να παίρνει υπόψη της:

- Την κλίμακα και τις αναπτυξιακές ανάγκες του παιδιού
- Τον κόσμο της φαντασίας του παιδιού

- Αυτά που θα δουν και προβλέπεται να κάνουν στο χώρο οι χρήστες του σχολικού χώρου, παιδιά και εκπαιδευτικοί .

7 Μεθοδολογία

Προκειμένου το πρόβλημα να προσεγγιστεί με την μέγιστη δυνατή επιστημονικότητα και ακρίβεια αρχικά καταστρώθηκε ένα σχέδιο που ακολούθησε την εξής λογική: Όπως κάθε τεχνικό έργο, έτσι και το συγκεκριμένο ακολουθεί συγκεκριμένους νόμους και προδιαγραφές που έχουν καθοριστεί από την ΕΕ ή από το Ελληνικό Κοινοβούλιο.

A) Η Ελληνική και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία που πάρθηκε υπ όψιν για την μοντελοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου είναι η ακόλουθη:

- Το Ν. 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α 89), όπως αυτός τροποποιήθηκε σύμφωνα με το Ν.3851/2010.
- Τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων – Κ.ΕΝ.Α.Κ. (Φ.Ε.Κ. Β 407/9.4.2010)
- Την TOTEE 20701-1/2010: «Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»,
- Την TOTEE 20701-2/2010: «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων»,
- Την TOTEE 20701-3/2010: «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών πόλεων», και
- Την TOTEE 20701-4/2010: «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού»

B) Στην συνέχεια με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια που ήταν διαθέσιμα σχεδιάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου στο SketchUp.

Γ) Σύνδεση του SketchUp με το TRNSys. Εισαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων (κατασκευαστικά, μηχανολογικά συστήματα, εσωτερικά θερμικά κέρδη κτλ) της baseline κατάστασης.

Δ) Διενέργεια σεναρίων για επίτευξη μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας

Ε) Ανάλυση αποτελεσμάτων

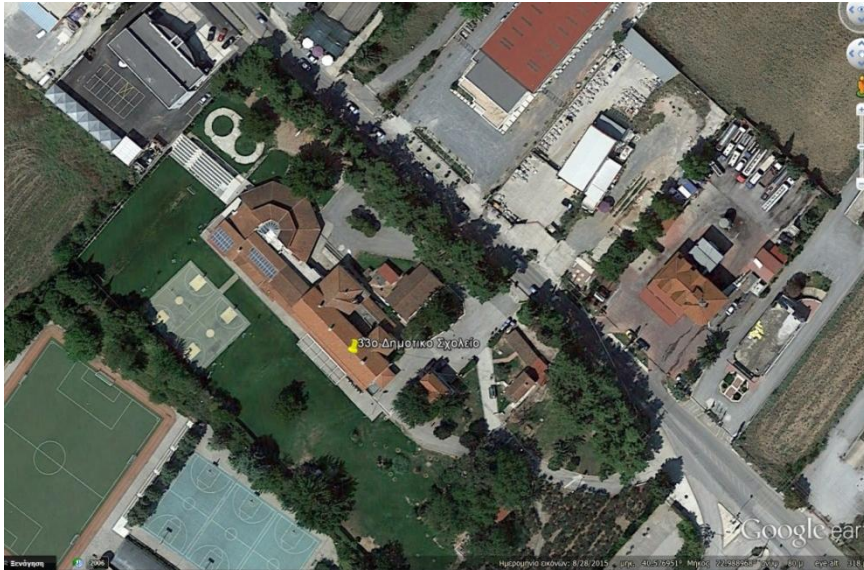
8 Υφιστάμενη κατάσταση του 33^{ου} Δημοτικού Σχολείου Θεσσαλονίκης

Το υφιστάμενο κτίριο όπου στεγάζεται τώρα το 33ο Δημοτικό Σχολείο (Εικόνα 8) αποτελείται από ισόγειο και έναν όροφο ενώ το εμβαδόν κάθε ορόφου είναι περίπου 520 m². Για να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες σε αίθουσες διδασκαλίας πραγματοποιήθηκαν προσθήκες μικρών κτιρίων. Το συνολικό εμβαδόν των υφιστάμενων εγκαταστάσεων φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Εμβαδό υφιστάμενων εγκαταστάσεων του Β' κτιριακού συγκροτήματος του Άσυλου του Παιδιού.

Εμβαδόν	Επιφάνεια (m ²)
E1 (Νηπιαγωγείο - δεν γίνονται παρεμβάσεις)	724,78
E2	519,37
E3	101,1
E4	53,88
E5	37,79
E6	57,56
E7	60,50
Σύνολο υφιστάμενων εγκαταστάσεων χωρίς το νηπιαγωγείο	830,20

Το ισόγειο του 33^{ου} Δημοτικού είναι πέτρινο και χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1930. Οι επιμέρους προσθήκες έχουν γίνει τις επόμενες δεκαετίες με διάφορα δομικά υλικά, όπως τούβλα, μπετό και ξύλο. Το σχολείο παρουσιάζει προβλήματα υγρασίας σε αίθουσες διδασκαλίας, σε τοίχους, πλάκες, δοκάρια και υποστυλώματα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις φθαρμένες υγρομονώσεις, που επιτρέπουν τη διαρροή του νερού, ή στον ελλιπή αερισμό του κτιρίου. Το κτίριο δε διαθέτει μηχανικό αερισμό ενώ η θέρμανση εξυπηρετείται μέσω κεντρικού λέβητα με καυστήρα πετρελαίου. Τμηματικά έχουν εγκατασταθεί ορισμένες μεμονωμένες μονάδες αντλιών θερμότητας. Πρόκειται για ένα σχολικό κτίριο που καλύπτει σημαντικές εκπαιδευτικές ανάγκες της περιοχής και φιλοξενεί ένα επίσης σημαντικό αριθμό μαθητών της πόλης με αυξανόμενο αριθμό μαθητών αφού πλέον το σχολείο είναι 14αθέσιο με περίπου 300 μαθητές δημοτικού.



Εικόνα 8. Δορυφορική εικόνα του υφιστάμενου 33^{ου} Δημοτικού σχολείου στο Άσυλο του Παιδιού

9 Μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση είναι απαραίτητη προκειμένου να διαπιστωθεί εάν τα υλικά κατασκευής, τα κουφώματα, η ίδια η βιοκλιματική κατασκευή, μαζί με την προσθήκη όλων των τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας είναι αρκετά για να επιτευχθεί ο σκοπός ενός ZERO Energy κτιρίου που είναι και το ζητούμενο της εργασίας. Ωστόσο δεν είναι δυνατή η διασταύρωση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης με την πραγματική κατάσταση καθώς δεν μιλάμε για ένα ήδη υπάρχον κτίριο που καλούμαστε να το βελτιώσουμε, αλλά ένα κτίριο που πρόκειται να κατασκευαστεί. Η βέλτιστη λύση σε αυτό είναι να δούμε εάν τα αποτελέσματα του κτιρίου αναφοράς προσεγγίζουν αντίστοιχες ενεργειακές καταστάσεις που υπάρχουν στην βιβλιογραφία, σε αντίστοιχες ερευνητικές εργασίες.

9.1 Λογισμικά μοντελοποίησης

Οι παραπάνω θεωρητικές τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας διερευνώνται και εφαρμόζονται μέσω υπολογιστικών εργαλείων θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων. Τα λογισμικά που αξιοποιήθηκαν για να μοντελοποιηθεί το 33^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης είναι το SketchUp και το TRNSys

9.1.1 SketchUp

Το SketchUp είναι ένα υπολογιστικό σύστημα τρισδιάστατης απεικόνισης. Χρησιμοποιείται από μία σειρά επιστημονικούς κλάδους όπως η αρχιτεκτονική, η εσωτερική διαρρύθμιση, αρχιτεκτονική τοπίου. Χρησιμοποιείται ακόμα απο πολιτικούς μηχανικούς, μέχρι και σχεδιαστές βιντεοπαιχνιδιών.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μία λειτουργική επιφάνεια σχεδιασμού, ενώ επιτρέπει την απεικόνιση της κατασκευής με διαφορετικά χρώματα ανάλογα τα κριτήρια που θα εισάγει ο χρήστης. Επιπλέον περιλαμβάνει την δυνατότητα σύνδεσης plug-in με τρίτο πρόγραμμα, επιτρέποντας έτσι την μεταφορά κατασκευαστικών δεδομένων απευθείας σε άλλα υπολογιστικά προγράμματα, όπως το TRNSys που αξιοποιείται για την μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων.

9.1.2 TRNSys

Το γενικό υπολογιστικό εργαλείο που αξιοποιήθηκε για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας είναι το μοντέλο προσομοίωσης TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation program), το οποίο είναι διαθέσιμο στο εμπόριο από το 1975. Είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον προσομοίωσης μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο και χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές για την προσομοίωση και τον σχεδιασμό κτιρίων και του εξοπλισμού τους, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τη συμπεριφορά των ατόμων μέσα σ' αυτό, καθώς και τα συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Το TRNSYS υπολογίζει μια σειρά μεταβλητών, όπως είναι η εσωτερική θερμοκρασία, η υγρασία, η ροή του αέρα, η κατανάλωση ενέργειας, η θερμική άνεση κλπ., επιλύοντας μια σειρά διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας και θερμότητας στα κτίρια. Το μοντέλο αυτό βγάζει αποτελέσματα τόσο για το σύνολο του κτιρίου, όσο και για τα επιμέρους τμήματά του. Αυτό γίνεται εφικτό και μέσω του TRNBUILD που θα δούμε στην συνέχεια

Το TRNSYS περιέχει μια εκτενή βιβλιοθήκη με πλήθος εξαρτημάτων που συνθέτουν θερμικά και ηλεκτρικά ενεργειακά συστήματα. Αναλόγως τις παρεμβάσεις που προτίθεται να πραγματοποιήσει ο χρήστης για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου επιλέγονται και τα εξαρτήματα που συνθέτουν το σύστημα και ορίζονται οι μεταξύ τους συνδέσεις

Το μοντέλο προσομοίωσης TRNSYS, αποτελείται από μια σειρά προγραμμάτων, τα οποία είναι:

- το στούντιο προσομοίωσης (simulation studio), το οποίο αποτελεί και το κεντρικό περιβάλλον του TRNSYS και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe),

- το TRNBuild.exe που αφορά την εισαγωγή στοιχείων του κτιρίου

και

- ο επεξεργαστής με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα γνωστά ως TRNSED εφαρμογές (TRNEdit.exe).

Type 56

Όταν ο χρήστης ενεργοποιεί το στούντιο προσομοίωσης εμφανίζεται ένα εργασιακό περιβάλλον που αποτελείται από μία λευκή οθόνη, μία μπάρα εργαλείων και την βιβλιοθήκη.

Ο χρήστης γνωρίζοντας τα πεδία της έρευνάς του και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που θέλει να εξάγει από το μοντέλο κάνει τις ανάλογες επιλογές τόσο για τις εισόδους, όσο και για τις εξόδους. Τα διάφορα στοιχεία είναι γνωστά ως Types και το μοντέλο ενός πολυζωνικού κτιρίου αναφέρεται ως Type 56. Ο χρήστης εισάγει τα διάφορα Types που είναι διαθέσιμα στην βιβλιοθήκη του TRNSYS που προσομοιώνουν την πραγματική κατάσταση που επιθυμεί να προσεγγίσει. Ακόμα εισάγει Types που δίνουν δεδομένα όπως μετεωρολογικά και είτε συνδέονται απευθείας με το Type 56, είτε συνδέονται με Types που θα επεξεργαστούν τα δοσμένα δεδομένα. Ακόμα η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να γίνει απευθείας από τον χρήστη αλλάζοντας τις παραμέτρους από εξωτερικά αρχεία. Τα Types που εισάγουν δεδομένα συνδέονται με άλλα Types που τα επεξεργάζονται ή με calculators. Στη συνέχεια τα Types που έχουν επεξεργαστεί τα δεδομένα τα ενώνουμε με το Type 56. Όσα αποτελέσματα θέλουμε να φαίνονται τα ενώνουμε με plotters και κατά προτίμηση με plotters with file, καθώς έτσι όχι μόνο παίρνουμε την γραφική παράσταση σε σχέση με τον χρόνο διαφόρων τιμών όπως θερμοκρασία, κατανάλωση ενέργειας ή ότι άλλο εμείς θελήσουμε αλλά δημιουργείται και εξωτερικό αρχείο που μπορούμε να αξιοποιήσουμε για να φτιάξουμε δικές μας γραφικές παραστάσεις, να βγάλουμε μέσους όρους, αθροίσματα τιμών και άλλα.

Το σύνολο αυτών των Types με τη σύνδεση τους με το Type 56 μας δίνει μία γραφική απεικόνιση της ενεργειακής συμπεριφοράς του μοντελοποιημένου κτιρίου.

Το στοιχείο Type 56 επίσης δέχεται ως είσοδο εξωτερικά αρχεία που περιγράφουν αναλυτικά το κτίριο και τις θερμικές ζώνες στις οποίες χωρίζεται.

Ως Θερμική ζώνη ορίζουμε μια περιοχή που λειτουργεί με βάση ένα σημείο ή κόμβο ελέγχου που μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρήση, είναι επομένως ένας χώρος ή ένα σύνολο χώρων σε ένα κτίριο όπου υπάρχει διαφορετική συμπεριφορά φορτίου από τους υπόλοιπους.

Για κάθε ζώνη του κτιρίου υπό μελέτη, το Type 56 θεωρεί ένα κόμβο αέρα το οποίο αναπαριστά το θερμικό δυναμικό του αέριου όγκου της ζώνης καθώς και θερμικά δυναμικά που συνδέονται άμεσα με αυτό.

TRNBuild

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτιρίου, καθώς και παράμετροι που αφορούν τις θερμικές ζώνες μεμονωμένα. Πιο συγκεκριμένα ορίζονται:

- Ιδιότητες του κτιρίου. Οι ιδιότητες περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας.
- Ο προσανατολισμός των τοίχων και των παραθύρων. Μπορούν να επιλεγθούν συνήθεις προσανατολισμοί που προϋπάρχουν στην βιβλιοθήκη του TRNBuild (N,E,W,S). Ωστόσο μπορούν να ορισθούν και νέοι – ενδιάμεσοι προσανατολισμοί. Αυτό γίνεται δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό που έχει να κάνει με την γωνία πρόσπτωσης.
- Οι εισοδοί του μοντέλου
- Οι έξοδοι του μοντέλου

Ειδικότερα για τις ζώνες του κτιρίου, καθορίζονται:

1. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

- ✓ Τα δεδομένα των τοίχων που αφορούν πάχος, υλικό, εσωτερική ή εξωτερική μόνωση κλπ.
- ✓ Καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου.
- ✓ Τα δεδομένα των παραθύρων (έκταση, ύψος και πλάτος). Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες.

2. Οι παράμετροι που αφορούν το εσωτερικό κλίμα της ζώνης:

- ❖ Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης.
- ❖ Η μέθοδος ψύξης της ζώνης.
- ❖ Η διείσδυση του αέρα. Αφορά τον φυσικό αερισμό (infiltration)
- ❖ Η μέθοδος αερισμού κάθε ζώνης αφορά τον τεχνητό αερισμό (ventilation) Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό).
- ❖ Τα εσωτερικά κέρδη κάθε ζώνης. Τα εσωτερικά κέρδη αφορούν τα ενεργειακά κέρδη από τα θερμικά φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη.
- ❖ Μέσω του TRNBuild μπορεί ο χρήστης να παρέμβει σε κάθε κόμβο αέρα-δωμάτιο και να αλλάξει
- ❖ Τον τύπο των παραθύρων
- ❖ Το πάχος και την μόνωση των τοίχων είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά

- ❖ Τον συντελεστή της θερμικής άνεσης ανάλογα την χρήση του κτιρίου
- ❖ Τα θερμικά κέρδη από ανθρώπους, φώτα ή συσκευές

9.2 Μοντελοποίηση του κτιρίου

Το υπό μελέτη κτίριο έχει συνολική επιφάνεια 5755,55 m² συμπεριλαμβανομένης και της ηλιακής καμινάδας. Οι κλιματιζόμενοι χώροι του κτιρίου έχουν συνολική επιφάνεια 4655,75 m². Το κτίριο αποτελείται από το υπόγειο, το ισόγειο, τον 1ο και 2ο όροφο, καθώς και την βιβλιοθήκη που συνδέεται μέσω ενός διαδρόμου με το κυρίως κτίριο. Το κτίριο μοντελοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού του TrnBuild και Trnsys [15]. Αρχικά μελετήθηκαν οι κατόψεις ώστε να γίνει η επιλογή των κατάλληλων θερμικών ζωνών. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την προσομοίωση με το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS 17 στο οποίο εισήχθη το μοντέλο του κτιρίου. Το κτίριο σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα Sketchup 8 (η τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου φαίνεται στις Εικόνες 9-15) και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επεξεργασία μέσω του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής κτιρίου TRNSYS 17 TRNBuild.exe, εισάγοντας πληροφορίες για την κάθε θερμική ζώνη ξεχωριστά .

9.2.1 Θερμικές ζώνες

Οι χώροι του υπό μελέτη κτιρίου ανά όροφο είναι ως εξής:

- Υπόγειο: 17 χώροι
- Ισόγειο: 23 χώροι
- 1ος όροφος: 20 χώροι
- 2ος όροφος: 2 χώροι

Επομένως το κτίριο αποτελείται από συνολικά 62 χώρους. Οι διάφοροι χώροι συμπύχτηκαν σε ενιαίες θερμικές ζώνες με τα εξής κριτήρια:

A. Χρήση χώρου

B. Ώρες λειτουργίας των χώρων

Γ. Προσανατολισμός

Οι τρεις παραπάνω παράγοντες επιλέχθηκαν ως κριτήρια καθώς καθορίζουν την κατανάλωση ενέργειας των χώρων και την χρονική διάρκεια της κατανάλωσης αυτής. Επομένως η κατανομή των θερμικών ζωνών στο κτίριο έχει ως εξής:

Θερμικές ζώνες ανά όροφο:

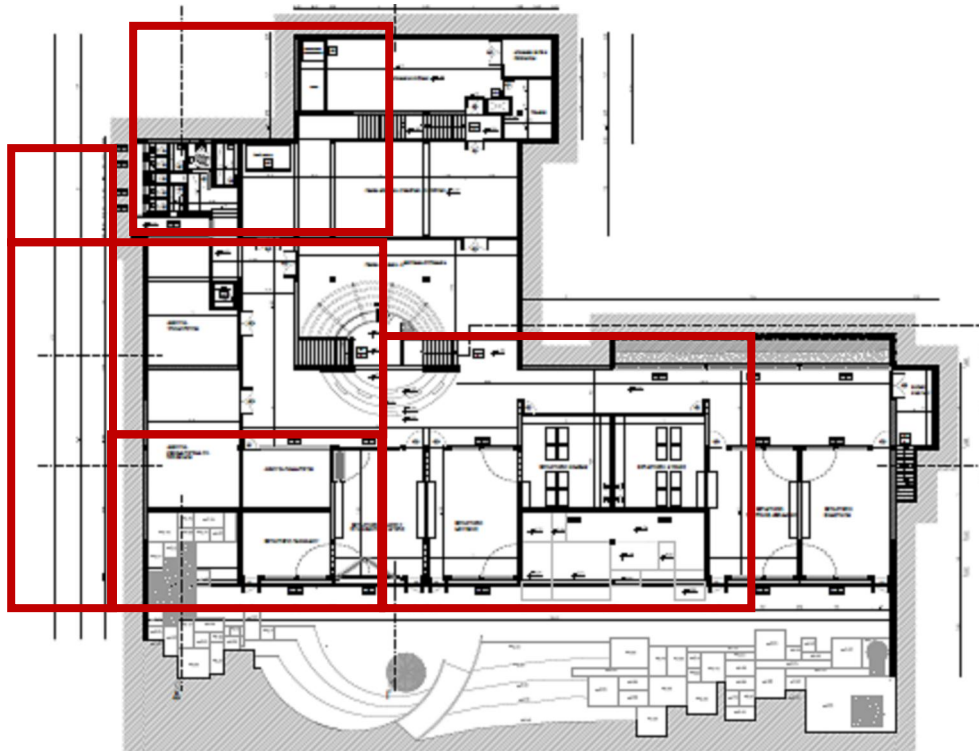
Υπόγειο: 6 θερμικές ζώνες (Εικόνα 9)

Ισόγειο: 8 θερμικές ζώνες (Εικόνα 10)

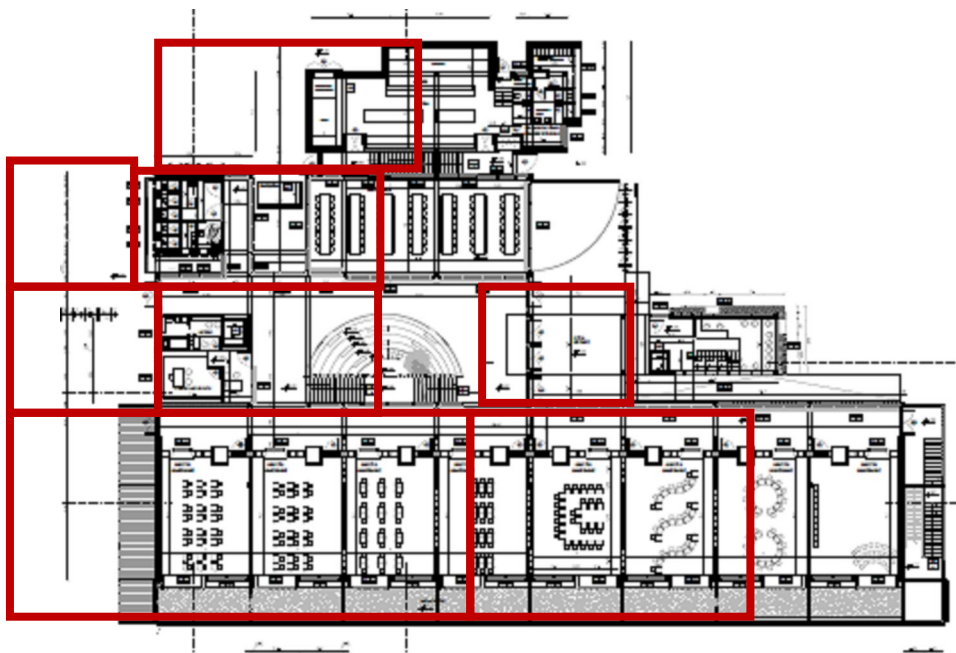
1ος όροφος: 8 θερμικές ζώνες (Εικόνα 11)

2ος όροφος: 3 θερμικές ζώνες (Εικόνα 12)

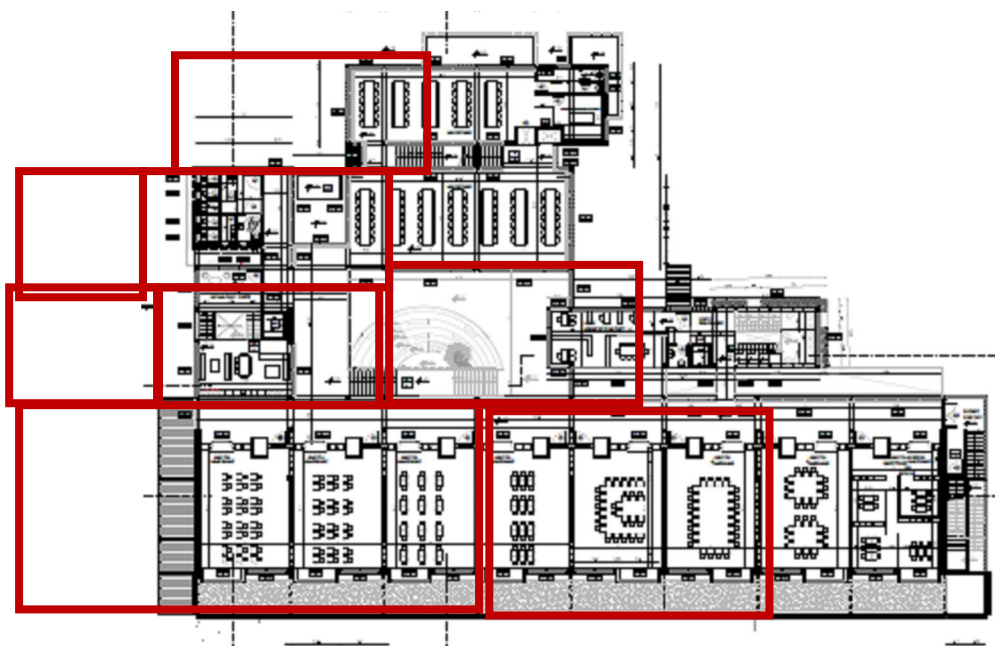
Άρα το σύνολο των θερμικών ζωνών του κτιρίου είναι 25.



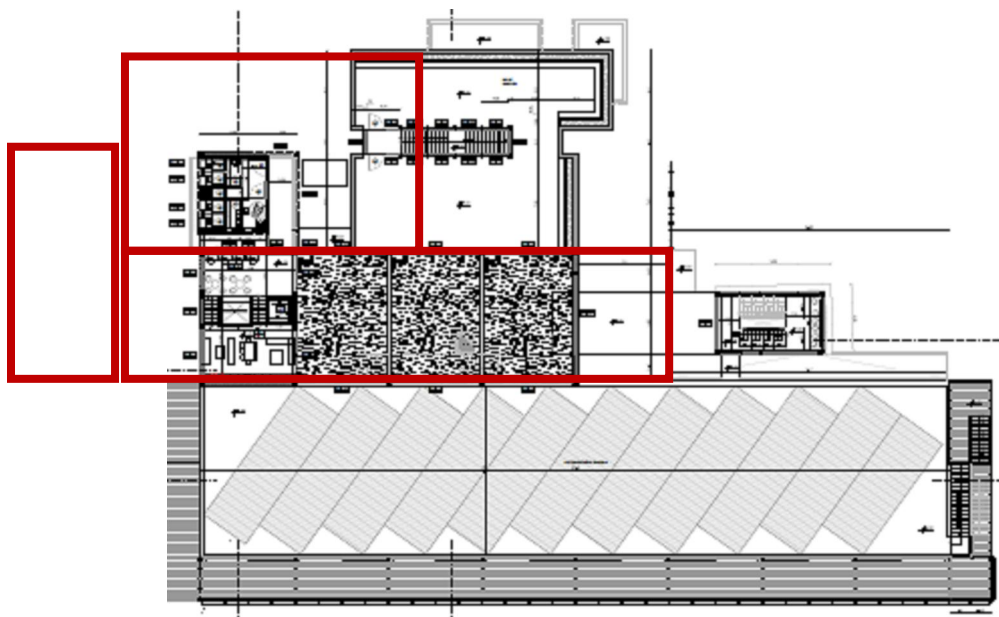
Εικόνα 9. Κάτοψη υπογείου, το οποίο χωρίσθηκε σε έξι θερμικές ζώνες



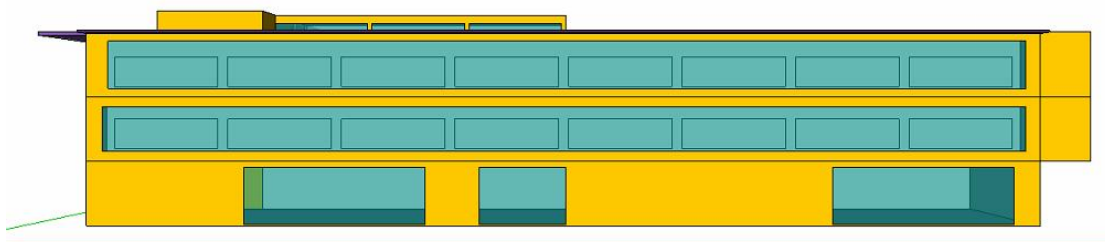
Εικόνα 10. Κάτοψη ισογείου, το οποίο χωρίσθηκε σε οκτώ θερμικές ζώνες



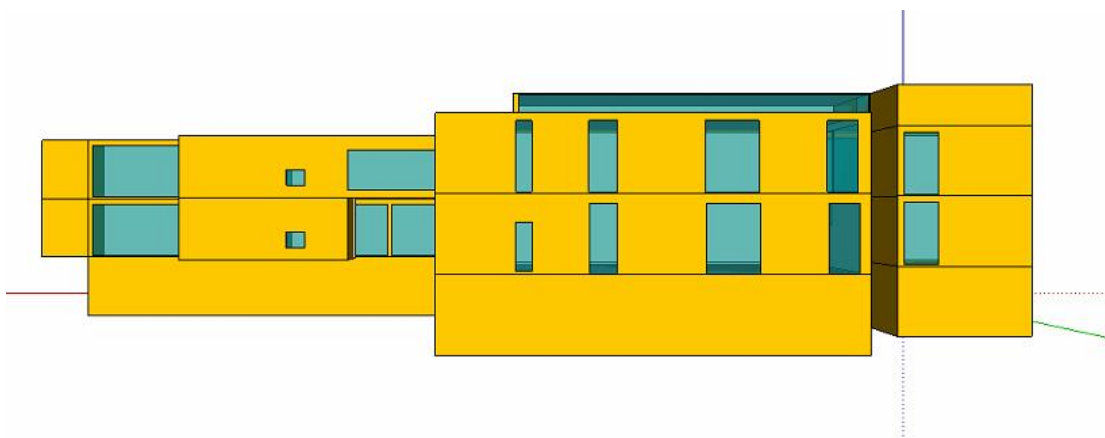
Εικόνα 11. Κάτοψη α' ορόφου, ο οποίος χωρίσθηκε σε οκτώ θερμικές ζώνες



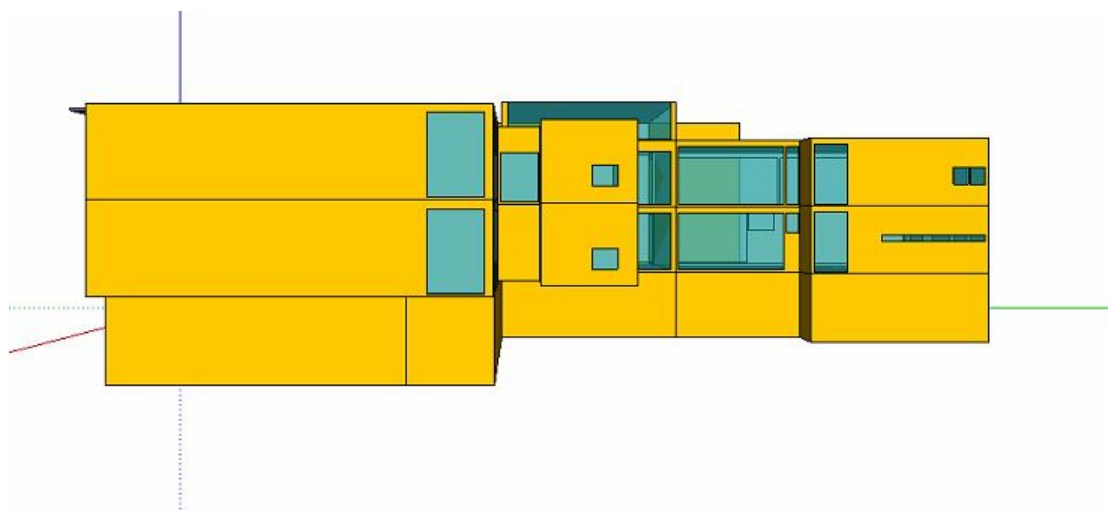
Εικόνα 12. Οροφή και κάτοψη β' ορόφου ο οποίος χωρίσθηκε σε τρεις θερμικές ζώνες.



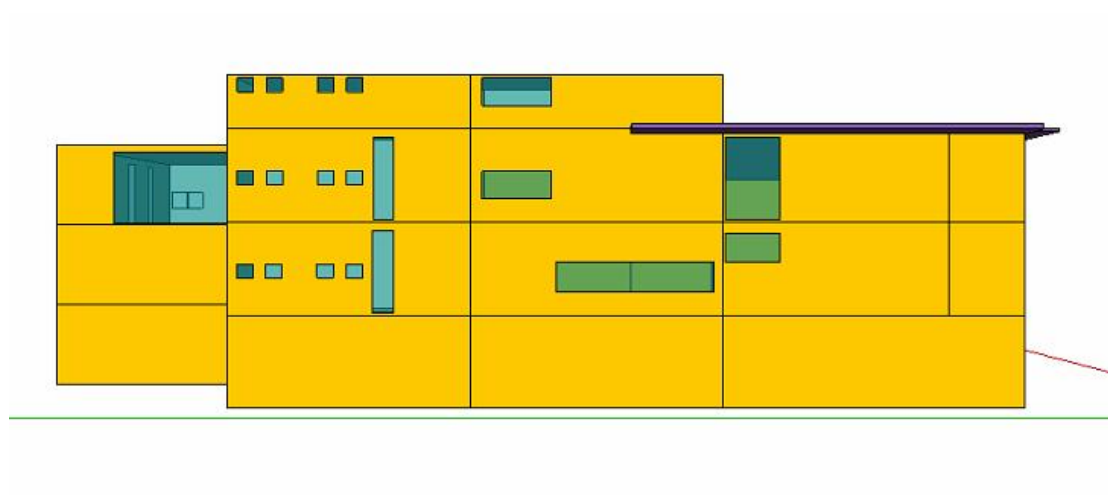
Εικόνα 13 : Μπροστινή όψη του κτιρίου



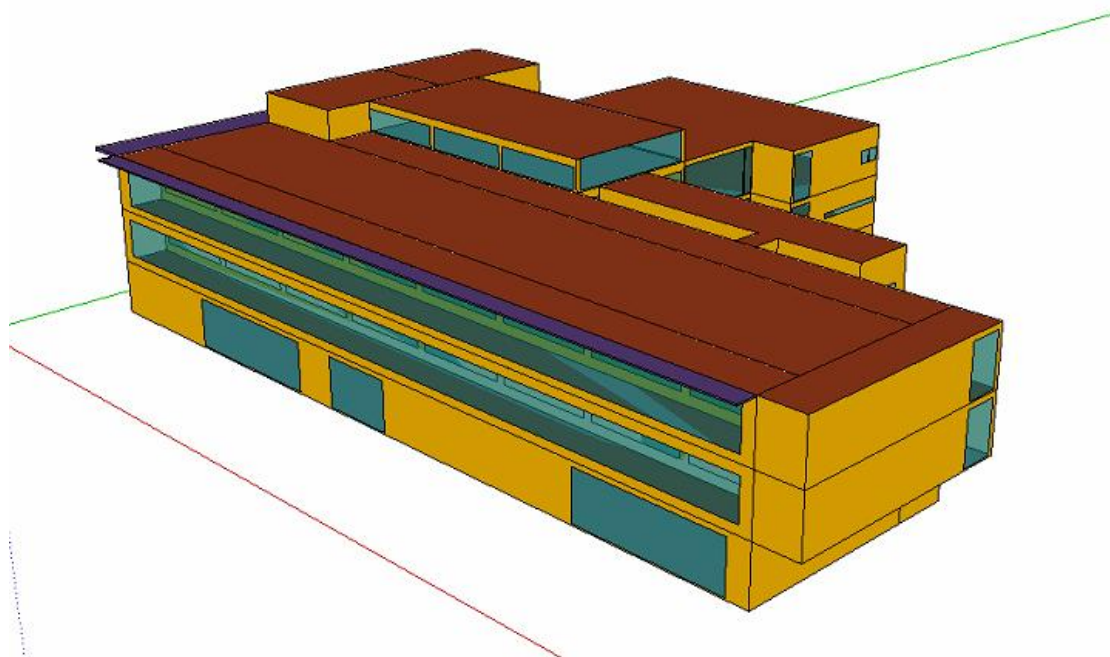
Εικόνα 14 : Πίσω όψη του κτιρίου



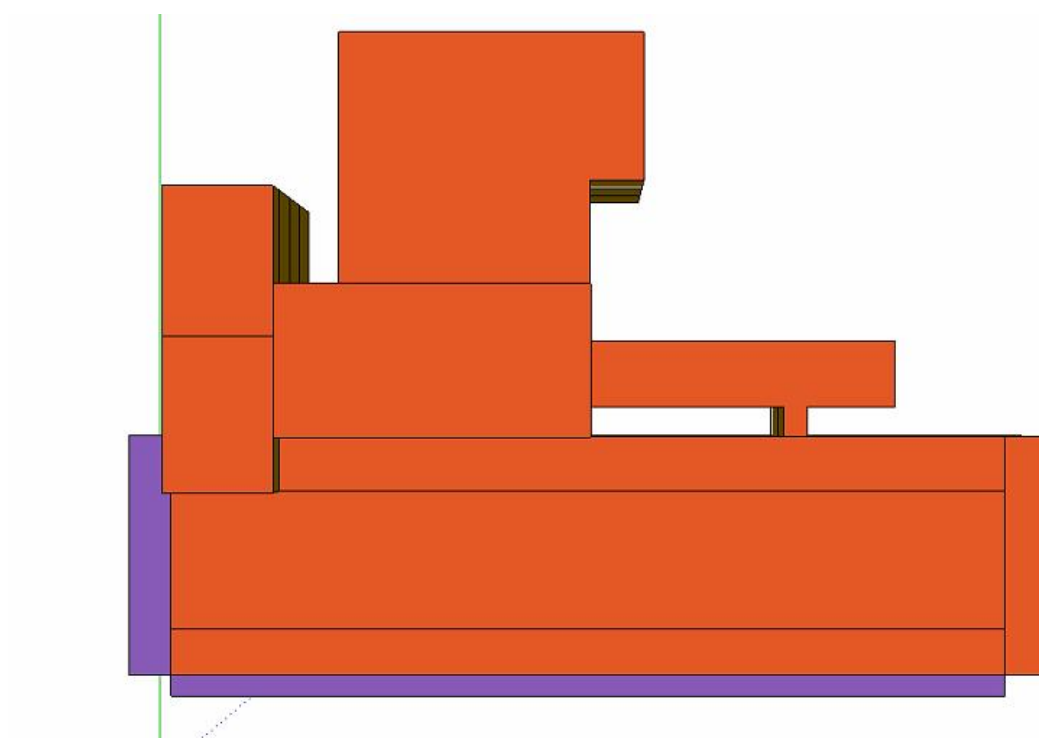
Εικόνα 15 : Πλάγια όψη του κτιρίου



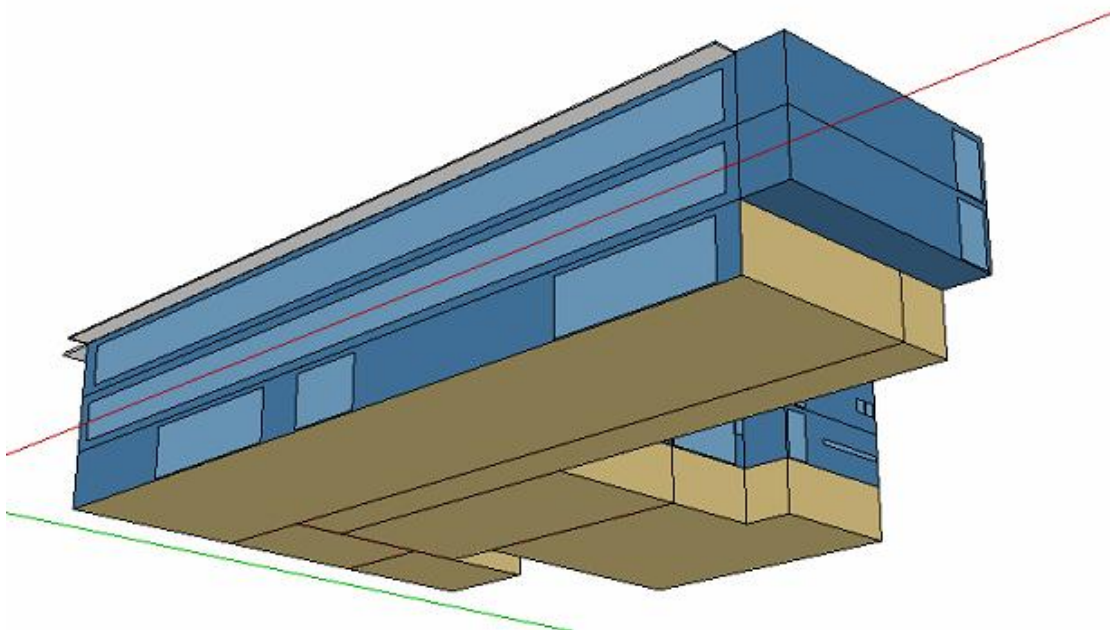
Εικόνα 16 : Πλάγια όψη του κτιρίου



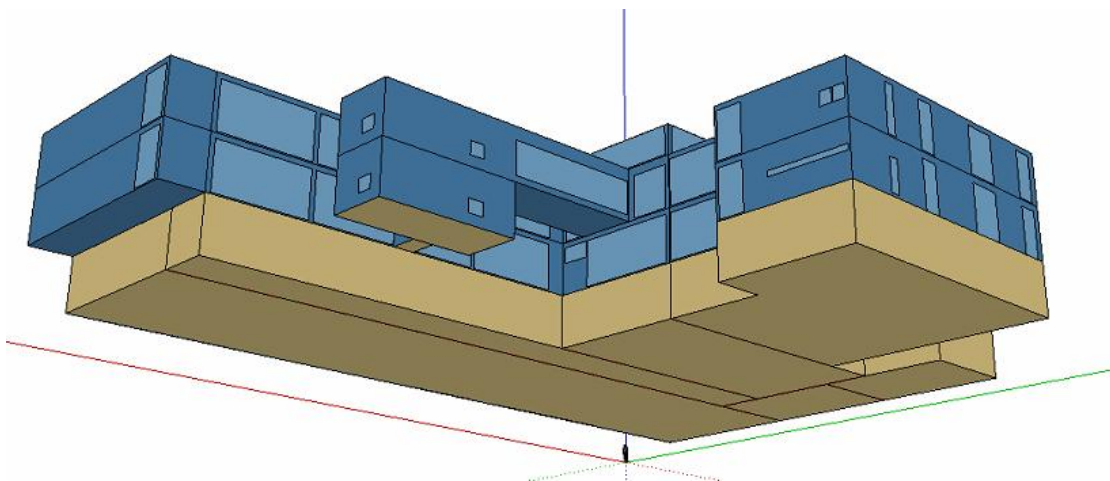
Εικόνα 17 : Γενική όψη του κτιρίου



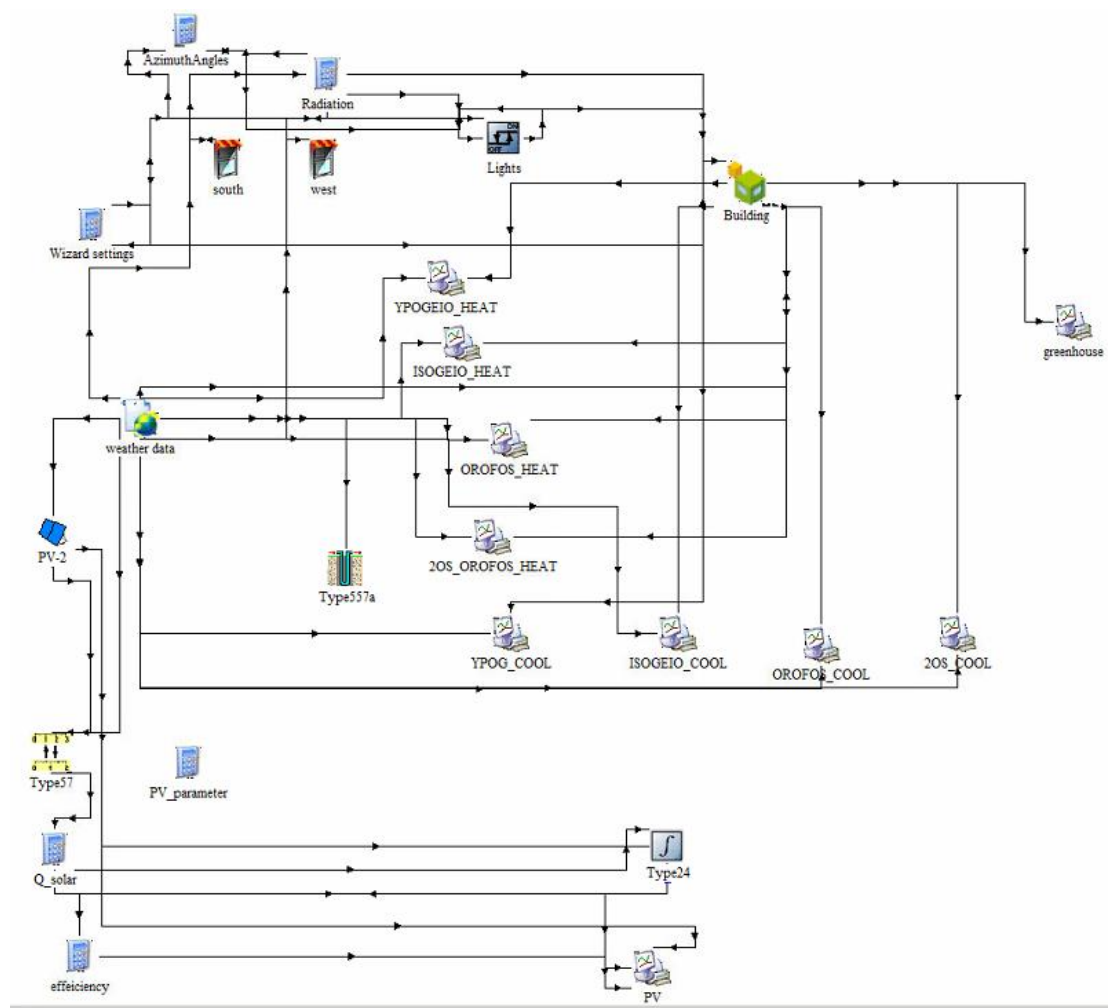
Εικόνα 18 : Κάτοψη κτιρίου



Εικόνα 19 : Μπροστινή όψη του κτιρίου - επιφάνειες σε επαφή με το έδαφος



Εικόνα 20 : Πίσω όψη κτιρίου - επιφάνειες σε επαφή με το έδαφος



Εικόνα 21 : Το μοντέλο του κτιρίου στο TRNSys

Για τη μοντελοποίηση της υφιστάμενης κατάστασης θεωρήθηκε ότι το κέλυφος του κτιρίου αποτελείται από τα δομικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στους Πίνακες 4 και 5 βάσει τυπικών κτιρίων της δεκαετίας του 80' και από τα κατασκευαστικά στοιχεία που δόθηκαν. Σχετικά με τα κουφώματα θεωρείται ότι αποτελούνται από διπλό υαλοπίνακα και πλαίσιο αλουμινίου (Πίνακας 6).

Πίνακας 4. Υφιστάμενη εξωτερική τοιχοποιία

Υλικά τοίχου κτιρίου αναφοράς			
-	Υλικό	πάχος (m)	total u - value (W/m ² * k)
Εξωτερική επιφάνεια	σοβάς	0.012	0.51
	fiber glass	0.066	
	τούβλο	0.08	
Εσωτερική επιφάνεια	σύνολο	0.158	

Πίνακας 5: Υφιστάμενη οροφή

Υλικά οροφής κτιρίου αναφοράς			
-	Υλικό	πάχος (m)	total u - value (W/m² * k)
Εξωτερική επιφάνεια	Σοβάς	0.01	0.456
	fiber glass	0.112	
	ελαφρύ σκυρόδεμα	0.019	
Εσωτερική επιφάνεια	σύνολο	0.141	

Πίνακας 6. Υφιστάμενα κουφώματα

Υλικό	Πάχος (m)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)
Διπλός Υαλοπίνακας + Κούφωμα Αλουμινίου	0,024	1,27

10 Καθορισμός ωρών λειτουργίας

Τα χαρακτηριστικά του κτιρίου εισάγονται σε κάθε θερμική ζώνη με τη βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης TrnBuild. Οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου θεωρήθηκαν αυτές ενός ολοήμερου σχολείου δηλαδή από τις 7:30 έως τις 16:00, ενώ οι ενεργειακές απαιτήσεις υπολογίσθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ώστε να ληφθεί υπόψη και η συμπεριφορά του κελύφους τους καλοκαιρινούς μήνες. Για τον λόγο αυτό διαμορφώθηκαν και οι αντίστοιχες παράμετροι στο TRNBuild, που φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 7: Παράμετροι TRNSys

Set point (°C)	
Heating	21
Cooling	26
Infiltration 1/h	
School	0.17
Entrance	1
Ventilation 1/h	
Summer	11
Winter	6
Comfort	
Clothing factor	0.8
Metabolic rate	1.4
Schedule	

Είσοδος
Αίθουσες
Κιν/γράφος & αίθουσα υπολογιστών
Αποθήκη - ψυγείο
Εστίαση

Στις Εικόνες 22, 23 και 24 που ακολουθούν, γίνεται μία σύντομη παρουσίαση της εισαγωγής του ωραρίου λειτουργίας του 33^{ου} Δημοτικού σχολείου Θεσσαλονίκης με την αξιοποίηση συγκεκριμένων παραδειγμάτων.

Εικόνα 22: Δημιουργία ημερήσιου ωραρίου λειτουργίας για τις θερμικές ζώνες των χώρων εστίασης

Schedule Type Manager

"Schedule Type" Manager

schedule type: HOUR_ESTIASH

☒ daily ☐ weekly

Daily

From	Until	Value
00:00	06:30	0.00
06:30	08:30	1.00
08:30	12:30	0.00
12:30	14:30	1.00
14:30	24:00	0.00

+ -

from until value

h: 0 6

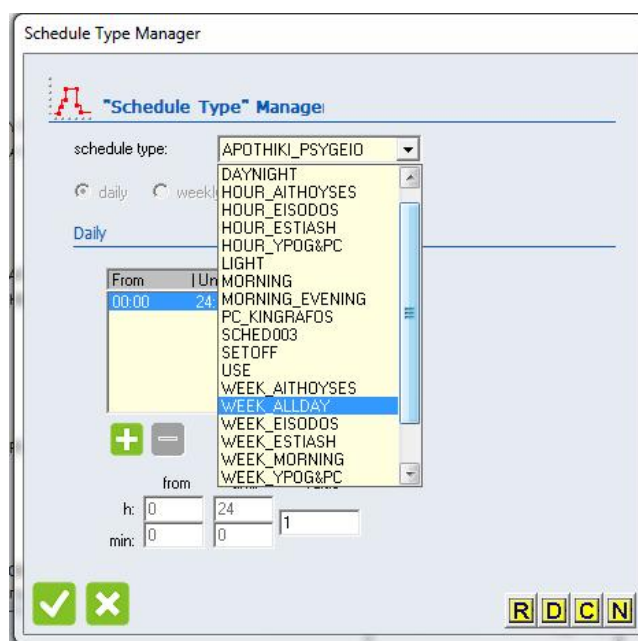
min: 0 30 0

✓ ✗

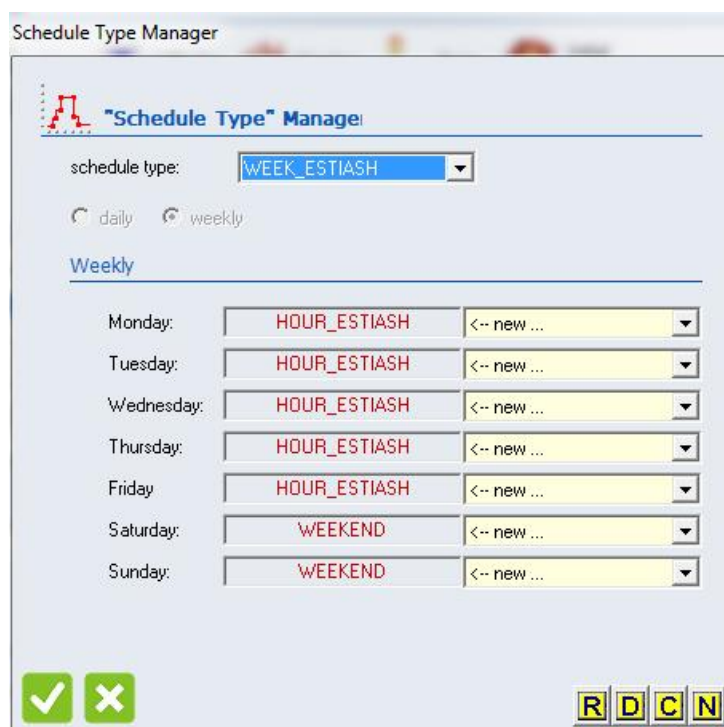
R D C N

Από την Εικόνα 22 φαίνεται ότι οι ώρες λειτουργίας των χώρων εστίασης είναι κάθε μέρα από τις 06:30 έως τις 08:30, για το πρωινό και από τις 12:30 έως τις 14:30 για το μεσημεριανό. Οι ώρες έναρξης είναι λίγο νωρίτερα από τα αντίστοιχα γεύματα καθώς πρέπει να πάρουμε υπ όψιν τους εργαζόμενους που πίνουν δουλειά νωρίτερα για να ετοιμάσουν το γεύμα, καθώς και το ότι μιλάμε για μεγάλους χώρους που η θέρμανση και ψύξη τους απαιτεί την λειτουργία των αντλιών θερμότητας για ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

Εικόνα 23: Τα διάφορα ωράρια λειτουργία που δημιουργήθηκαν για τις θερμικές ζώνες του 33^{ου} Δημοτικού σχολείου Θεσσαλονίκης



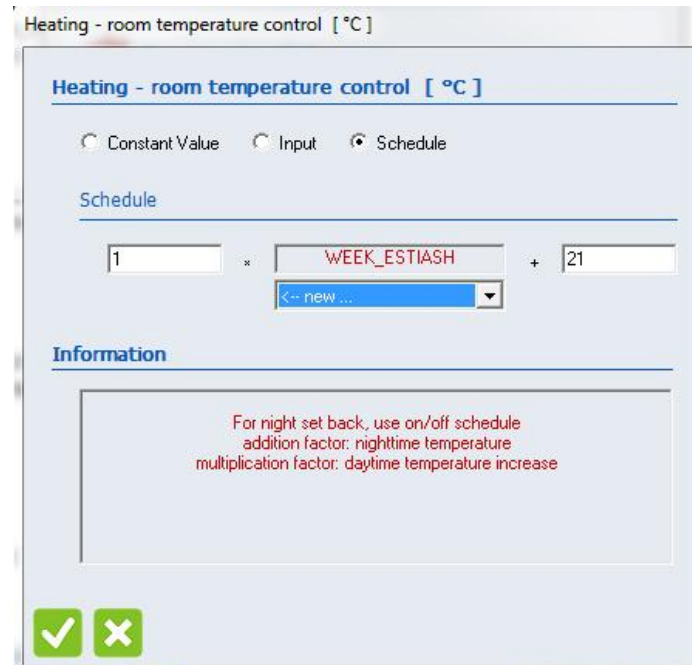
Εικόνα 24: Εισαγωγή εβδομαδιαίου ωράριου λειτουργίας στην θερμική ζώνη του χώρου εστίασης



Από την εικόνα 24 φαίνεται πως το σαββατοκύριακο έχουμε βάλει ημερήσιο πρόγραμμα «weekend», όπου οι τιμές είναι μηδενικές καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας.

Στην συνέχεια τα εβδομαδιαία ωράρια λειτουργία εισήχθησαν στο πρόγραμμα λειτουργίας του θερμοστάστη όπως φαίνεται στην εικόνα 21 που ακολουθεί:

Εικόνα 25: Εβδομαδιαία λειτουργία της Θέρμανσης στους χώρους εστίασης



Ουσιαστικά συνδυάζοντας τα δεδομένα που παρουσιάζονται στις Εικόνες 21-24 το TRNSys αντιλαμβάνεται πως στην διάρκεια του έτους η θέρμανση στους χώρους εστίασης λειτουργεί όλες τις μέρες πλην σαββατοκύριακου. Τις καθημερινές ενεργοποιείται εάν η θερμοκρασία είναι κάτω από 26 βαθμούς Κελσίου και λειτουργεί έως ότου φτάσει σε αυτά τα επίπεδα, και μόνο για τις ώρες 06:30 – 08:30 και 12:30-14:30 , οπότε και θεωρήθηκε πως λειτουργούν οι χώροι εστίασης για πρωινό και μεσημεριανό.

Βέβαια προκύπτει το ερώτημα. Με ποιον τρόπο εξασφαλίζουμε ότι δεν λειτουργεί η θέρμανση και για τους καλοκαιρινούς μήνες σε περίπτωση που η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 26 °C; Πολύ απλά μετά την προσομοίωση του μοντέλου και κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων όσα αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας που αφορούσαν θέρμανση για καλοκαιρινούς μήνες και αντίστοιχα ψύξη για τον χειμώνα, δεν τα πήραμε υπ όψιν.

Εικόνα 26: Εισαγωγή των εσωτερικών φορτίων από μηχανήματα και χρήστες σε μία θερμική ζώνη



Εικόνα 27: Εισαγωγή του set point του θερμοστάτη για θέρμανση (χειμαρινή περίοδος)

Heating Type Manager

"Heating Type" Manager

heating type: HEAT_WEEK_AITHOYSE

Room Temperature

set temperature: +21 °C

Heating Power

☒ unlimited
☐ limited

radiative part: 0 % / 100

Humidification

☒ off
☐ on

✓ ✗ R D C N

Εικόνα 28: Εισαγωγή του set point του θερμοστάτη για ψύξη (θερινή περίοδος)

Cooling Type Manager

"Cooling Type" Manager

cooling type: COOL_AITHOYSES

Room Temperature

set temperature: +26 °C

Cooling Power

☒ unlimited
☐ limited

Dehumidification

☒ off
☐ on

✓ ✗ R D C N

11 Ενεργειακή απόδοση του σεναρίου για το κτίριο αναφοράς (baseline κατάσταση)

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ανά όροφο φαίνονται στον Πίνακας 8 και Πίνακας 9.

Πίνακας 8. Ετήσια ενεργειακά φορτία υφιστάμενου κτιρίου ανά όροφο και συνολικά

ΨΥΞΗ (kWh)	ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh)	ΣΥΝΟΛΟ (kWh)
ΥΠΟΓΕΙΟ		
237717.78	84220.84	321938.62
ΙΣΟΓΕΙΟ		
82263.4	94702.07	176965.47
Α' ΟΡΟΦΟΣ		
91430.73	101465.29	192896.02
Β' ΟΡΟΦΟΣ		
25202.53	30359.44	55561.97
ΣΥΝΟΛΟ		
437053.44	310308.64	747362.08

Πίνακας 9, Συνολικά φορτία κτιρίου αναφοράς ανά μονάδα επιφάνειας

ΨΥΞΗ (kWh/m ²)	ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh/m ²)	ΣΥΝΟΛΟ (kWh/m ²)
93.87	66.65	160.52

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται αν θεωρήσουμε τυπικό σύστημα θέρμανσης ψύξης κλιματισμού με COP=2 και σύστημα θέρμανσης πετρελαίου ή φυσικού αερίου με συντελεστή απόδοσης 80% (Πίνακας 10)

Πίνακας 10, Συνολική κατανάλωση κτιρίου αναφοράς

ΨΥΞΗ (kWh)	ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh)	ΣΥΝΟΛΟ (kWh)
218526.72	248246.91	466503.63
ΨΥΞΗ (kWh/m ²)	ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh/m ²)	ΣΥΝΟΛΟ (kWh/m ²)
46.88	53.32	100.20

Επομένως η ενεργειακή ζήτηση του baseline κτιρίου εκτιμάται σε 160,52 kWh/m² και η συνολική κατανάλωσή είναι 100,20 kWh/m². **Ο υπολογισμός αυτός έρχεται σε συμφωνία με μελέτες σε σχολεία της Μεσογείου και της Ευρώπης, όπου η ενεργειακή ζήτηση των σχολείων κυμαίνεται σε περίπου 100-150 kWh/m².**

12 Επεμβάσεις βελτίωσης ενεργειακής αποδοτικότητας

Για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση διαφόρων συνδυασμών υλικών τοιχοποιίας και μονώσεων, σε συνδυασμό με τις καινοτόμες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Την προσθήκη κινητών σκιάστρων στα παράθυρα του νέου σχολείου.
- Τη δημιουργία θερμοκηπίου στο ισόγειο του νέου κτιρίου.
- Τη δημιουργία «ηλιακής καμινάδας» στο εσωτερικό του κτιρίου αυξάνοντας τη φυσική ροή του αέρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Επίσης προτείνεται να εγκατασταθούν μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στο κτίριο, ώστε η ενεργειακή του κατανάλωση να είναι σχεδόν μηδενική. Οι μονάδες ΑΠΕ που επιλέχθηκαν είναι φωτοβολταϊκά πάνελ στην οροφή του κτιρίου και μία μονάδα αντλίας θερμότητας με γεωθερμία για την κάλυψη των αναγκών σε ΖΝΧ.

Στόχος της ενεργειακής μελέτης είναι η ελαχιστοποίηση, κατά το δυνατόν, της κατανάλωσης ενέργειας για την σωστή λειτουργία του κτηρίου, με τα εξής:

- Βιοκλιματικός σχεδιασμός του κτιριακού κελύφους, αξιοποιώντας την θέση του κτιρίου, την ηλιακή ακτινοβολία, το φυσικό αερισμό και το μικροκλίμα του περιβάλλοντος χώρου.
- Τη θερμομόνωση του κτιρίου στα αδιαφανή δομικά στοιχεία αποφεύγοντας κατά το δυνατόν τη δημιουργία θερμογεφυρών, καθώς και την επιλογή κατάλληλων κουφωμάτων, δηλαδή συνδυασμό τύπου υαλοπίνακα και πλαισίων.
- Την επιλογή ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων υψηλής απόδοσης, για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό, ζεστό νερό χρήσης για την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης

- Τη χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) όπως, ηλιοθερμικά συστήματα, φωτοβολταϊκά συστήματα, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (εδάφους, υπόγειων και επιφανειακών νερών) κ.ά.
- Την εγκατάσταση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, όπως είναι ο φωτισμός και το σύστημα κλιματισμού και μηχανικού αερισμού.

Τα θεμέλια του νέου κτιρίου αποτελούνται από οπλισμένο σκυρόδεμα ακριβώς όπως σε μία συμβατική οικοδομή, ενώ ο υπόλοιπος σκελετός είναι μεταλλικός και συναρμολογήθηκε επί τόπου Εικόνα 29. Το κέλυφος του νέου σχολείου αποτελείται από πάνελ ινοτσιμέντου και διογκωμένης πολυουρεθάνης. Επίσης προστέθηκε εξωτερική θερμοπρόσοψη από εξηλασμένη πολυστερίνη. Τα ανοίγματα στα πάνελ (πόρτες, παράθυρα κτλ) είναι προκατασκευασμένα.



Εικόνα 29. Παράδειγμα μεταλλικής κατασκευής (Πηγή: http://www.commerce-innovations.com/metallika_bioklimatika_spitia.html)

Με αυτόν τον επιλεγμένο τρόπο το νέο κτίριο έχει ένα πολύ ενισχυμένο κέλυφος, ενώ η κατασκευή είναι πιο οικονομική και επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

13 Ανάλυση παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας

Με βάση το νέο κτίριο διερευνήθηκε η ενεργειακή αποδοτικότητα των παρακάτω παρεμβάσεων/σεναρίων βελτίωσης της ενεργειακής κατάστασης του υφιστάμενου κτιρίου. Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών με χρήση φωτοβολταϊκών και γεωθερμίας.

Τα βασικά σενάρια βελτίωσης του κτιριακού κελύφους περιλαμβάνουν:

1. Σ1:Αλλαγή κουφωμάτων, προσθήκη μόνωσης με θερμοπρόσοψη εκτός του υπογείου
2. Σ2: Προσθήκη σκιάστρων
3. Σ3: Χρήση θερμοκηπίου

13.1 Αλλαγή κουφωμάτων, προσθήκη μόνωσης με θερμοπρόσοψη εκτός του υπογείου

Γενικά η κατεκτημένη μέχρι σήμερα γνώση και πρακτική εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας λέει πως ο αποτελεσματικότερος τρόπος να εξοικονομήσουμε ενέργεια αφορά τα υλικά κατασκευής του κτιρίου και η ποιότητα των κουφωμάτων . Αυτό επιβεβαιώνεται και από την συγκεκριμένη διπλωματική διατριβή.

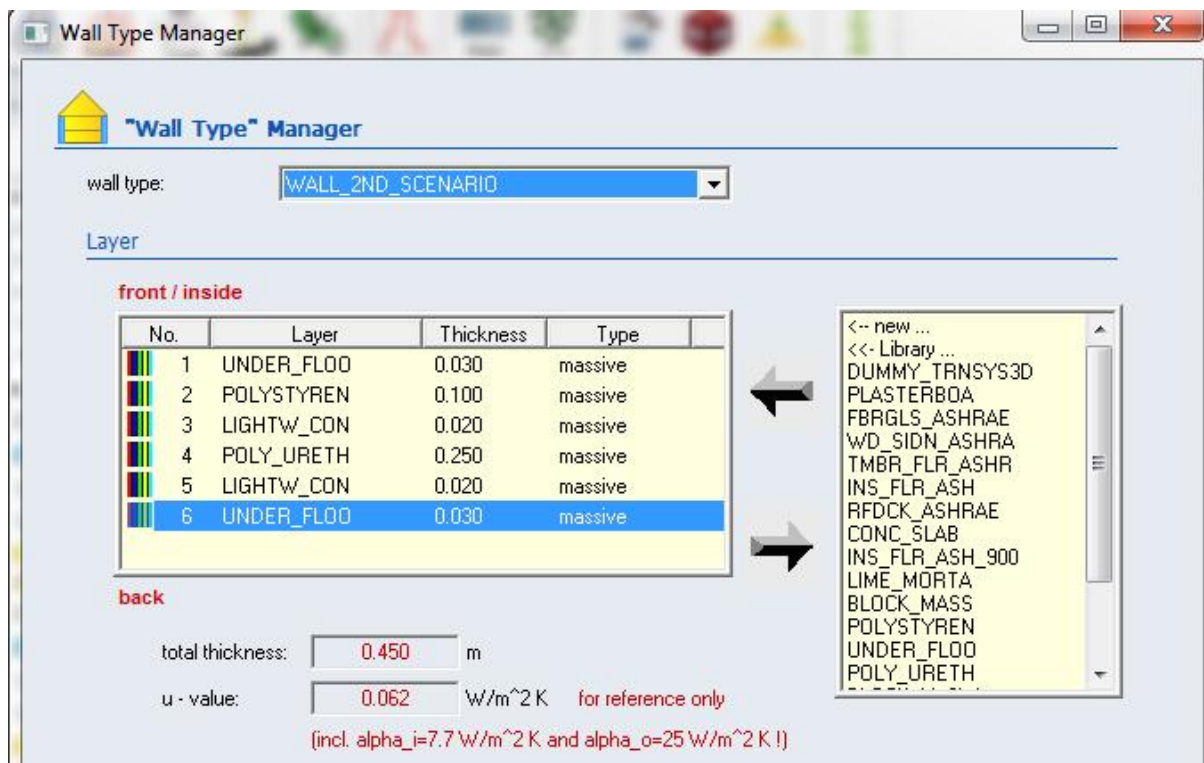
Τα προτεινόμενα δομικά χαρακτηριστικά του νέου κτιρίου φαίνονται στους Πίνακες 11,12,13 και Εικόνες 30,31,31,32,33 που ακολουθούν.

13.1.1 Υλικά της εξωτερικής τοιχοποιίας των νέων κτιρίων

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά των τοίχων του νέου κτιρίου

Σενάριο για τοίχο			
	Υλικό	πάχος (m)	total u - value (W/m2 * K)
Έξω	σοβάς	0.03	0.062
	διογκωμένη πολυστερίνη	0.1	
	ελαφρύ σκυρόδεμα	0.02	
	πάνελ πολυουρεθάνης	0.18	
	ελαφρύ σκυρόδεμα	0.02	
Μέσα	σοβάς	0.03	
συνολικό	-	0.38	

Εικόνα 30: Τα υλικά κατασκευής των εξωτερικών κτιρίων στο TRNBuild

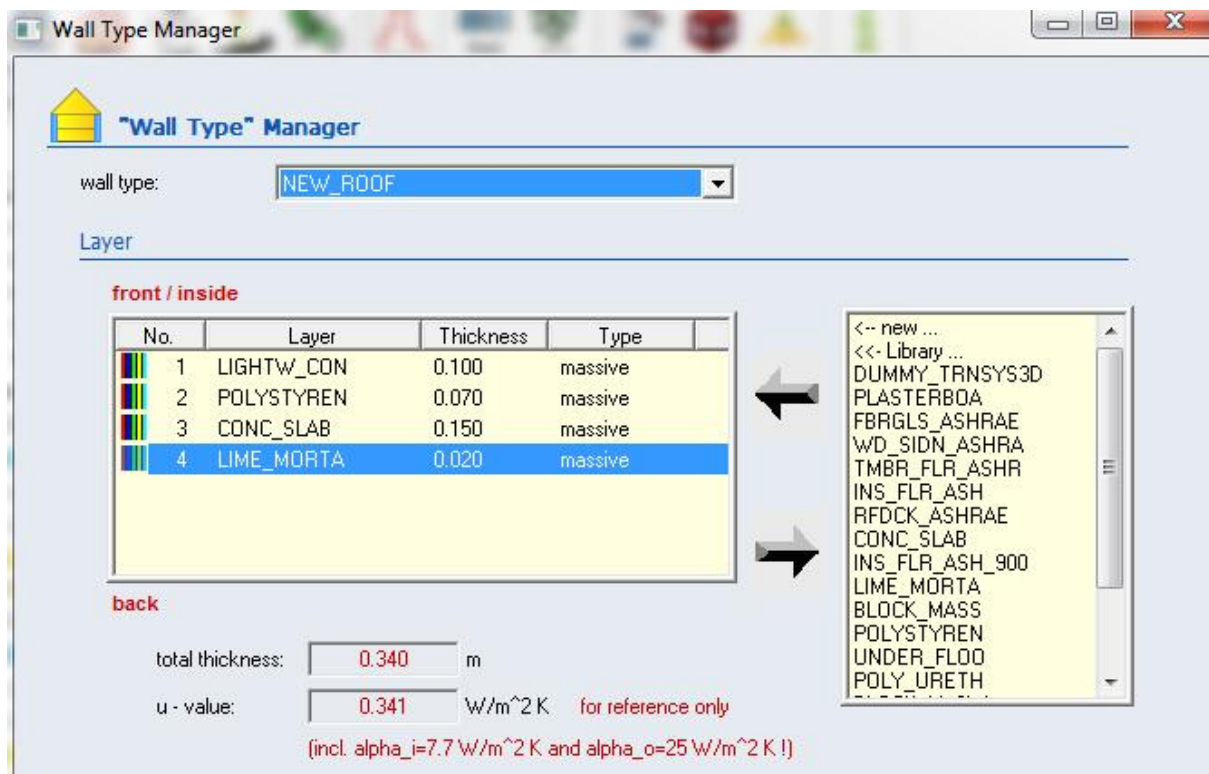


13.1.2 Υλικά νέας οροφής

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά νέας οροφής

Σενάριο για οροφή			
	Υλικό	πάχος (m)	total u - value (W/m2 * k)
Εξωτερική επιφάνεια	Σοβας	0.02	0.341
	ελαφρύ σκυρόδεμα	0.1	
	Πολυστερίνη	0.07	
Εσωτερική επιφάνεια	πλάκα σκυροδέματος	0.15	
Συνολικό	-	0.34	

Εικόνα 31: Τα υλικά κατασκευής της οροφής του νέου σχολείου στο TRNBuild



13.1.3 Νέα κουφώματα

Τα κουφώματα του νέου κτιρίου επιλέχθηκαν από την βιβλιοθήκη του TRNBuild. Από την Εικόνα 32 φαίνεται ότι από τα 5 κουφώματα που δοκιμάστηκαν, το κούφωμα Saint Gobain CLIMATOP που τελικά επιλέχθηκε είναι το πλέον ενεργειακά αποδοτικό. Αυτό φαίνεται τόσο από το ότι είναι το μόνο με τριπλό υαλοπίνακα, αρά περιμένουμε και παραπάνω μόνωση, όσο και από το ότι έχει μικρότερο U-value.

Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά νέων κουφωμάτων

Περιγραφή	Πάχος (m)	Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)
Βαρέως τύπου κούφωμα με τριπλό τζάμι πάχους 4mm, με 2 διάκενα 10mm, αέριο πλήρωσης μεταξύ των διακένων του κουφώματος κρυπτό	0,032	0,52

Εικόνα 32: Χαρακτηριστικά 5 κουφωμάτων της βιβλιοθήκης του TRNSys

WinID-Pool

Summary

C:\USERS\VAGIAS\DESKTOP\EXIS_NEW\UNTITLED17M_B17_B17.B17

No.	Used	WinID	Description	Design	U-Value	g-Value	T-sol	Rf-sol	T-vis
1	n	2003	Insulating,Kr, 1.1 71/60	4/16/4	0.86	0.598	0.426	0.266	0.706
2	y	1001	Single, 5.8	4	5.68	0.855	0.83	0.075	0.901
3	y	2002	Insulating,Ar, 1.3 71/59	4/16/4	1.27	0.591	0.426	0.266	0.706
4	y	6001	ASH140 DBLE - MOD	3.2/13/3.2	2.89	0.789	0.747	0.136	0.747
5	y	13006	Saint Gobain CLIMATOP ...	4/10/4/10/4	0.52	0.585	0.456	0.254	0.741

Εικόνα 33: Η εξωτερική τοιχοποιία και νέα κουφώματα στο TRNSys

Zone: ISOG_AITHOUSES - Airnode: ISOG_AITHOUSES

Airnodes

ISOG_AITHOUSES

ISOG_AITHOUSES

number: 1

Airnode Regime Data

volume: 3087.63 m³

capacitance: 3705.16 kJ/K

Therm. Zone

Radiation Modes

Geometry Modes

Walls

Surf	Type	Area	Category
Additional Windows			
45 ADJ_CEILING	-	771.91	ADJACENT YPOG_AITHOUSES
46 ADJ_CEILING	-	771.91	ADJACENT OR_AITHOUSES
47 WALL_2ND_SCENARIO	-	52.20	EXTERNAL W_90_90
48 WALL_2ND_SCENARIO	-	236.60	EXTERNAL S_0_90
49 ADJ_WALL	-	52.20	ADJACENT ISOG_KLIMAKWS
50 ADJ_WALL	-	30.80	ADJACENT ISOG_IATR&DIEU
89 ADJ_WALL	-	205.80	ADJACENT ISOG_DIADROMO

wall type: WALL_2ND_SCENARIO WALL_2ND_SCENARIO
 area: 236.6 m² incl. windows
 category: EXTERNAL
 geosurf: 0 48
 wall gain: 0 kJ/h

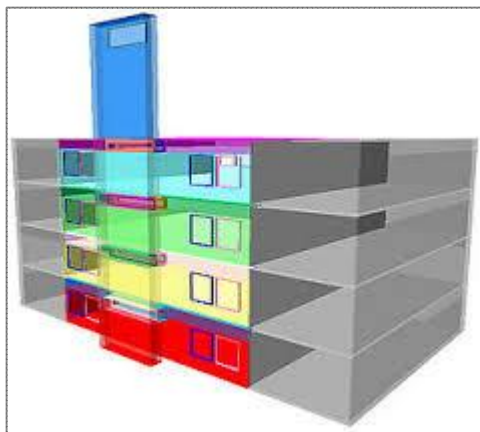
Windows

Surf	Type	Area	Category	u-Value	g-Value
196 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585
197 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585
198 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585
199 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585
200 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585
201 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585
202 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585
203 EXT_WINDOW2		12.86	EXTERNAL	0.52	0.585

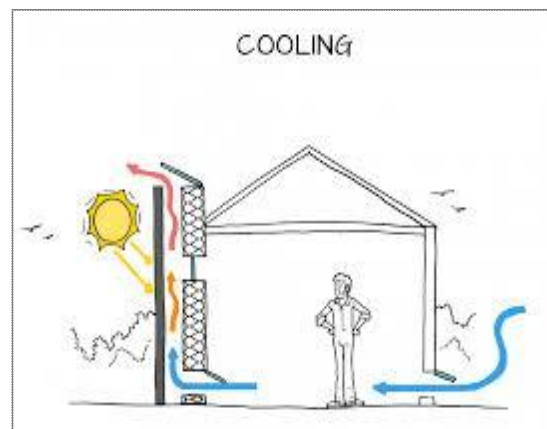
window type: EXT_WINDOW2 EXT_WINDOW2
 area: 12.864 m²
 category: EXTERNAL
 geosurf: 0 203
 gain: 0 kJ/h
 orientation: S_0_90 H_0_0

13.1.4 Η συνεισφορά της Ηλιακής Καμινάδας

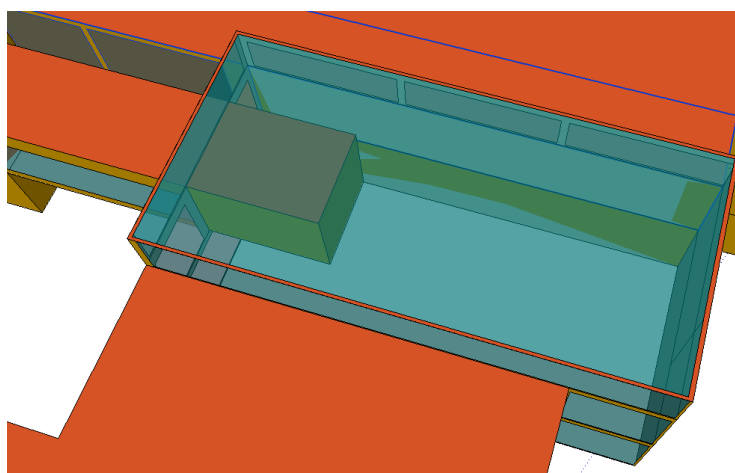
Η ηλίκιακή καμινάδα ουσιαστικά είναι μια τεχνική κατασκευή που σχεδιάζεται συνήθως στο κέντρο του κτιρίου και αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία [16]. Τα στοιχεία της οροφής της καμινάδας είναι ανοιχτά (όπως φαίνεται και στις εικόνες παρακάτω) και επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να μπει στο κτίριο και να θερμάνει τα μεταβλητά στοιχεία που βρίσκονται στην οροφή της καμινάδας και τα οποία αποτελούνται από υλικά που άγουν την θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία. Με την ηλιακή καμινάδα ουσιαστικά εκμεταλλευόμαστε την ροή του αέρα που θερμαίνεται στα υψηλά στρώματα, με αποτέλεσμα ο θερμός αέρας να βγαίνει προς τα έξω και να αντικαθίσταται από ψυχρότερες μάζες αέρα που κινούνται ανοδικά μέσα στο κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε εξοικονόμηση ενέργειας στους θερινούς μήνες καθώς προκαλούμε εμμέσως δροσισμό και άνοδο της θερμικής άνεσης λόγω της ανακυκλοφορίας – ανανέωσης του αέρα. Συγκεκριμένα η λειτουργία της φαίνεται στις παρακάτω Εικόνες:



Εικόνα 35: Διαβάθμιση της Θερμοκρασίας αέρα εντός κτιρίου



Εικόνα 34: Η ροή του αέρα με την χρήση ηλιακής καμινάδας



Εικόνα 36: Η ηλιακή καμινάδα όπως μοντελοποιήθηκε στο SketchUp

Συγκεκριμένα προκειμένου να εξακριβώσουμε την χρησιμότητα της ηλιακής καμινάδας στην συγκεκριμένη περίπτωση διενεργήσαμε 2 σενάρια, ένα με ηλιακή καμινάδα και ένα χωρίς. Ωστόσο επειδή δεν υπήρχε το στοιχείο της ηλιακής καμινάδας αυτοτελώς στο TRNSys, η προσομοίωση της ηλιακής καμινάδας έγινε με την μεταβολή της τιμής της διείσδυσης αέρα (infiltration). Οπότε στο ένα σενάριο εισαγάγαμε σε όλες τις θερμικές ζώνες τιμές infiltration=0.17 (1/h), με βάση την διεθνή βιβλιογραφία για τα σχολεία. Στο άλλο σενάριο βάλαμε την ίδια τιμή με εξαίρεση τις θερμικές ζώνες που αφορούσαν την ηλιακή καμινάδα. Το αποτέλεσμα ήταν εξοικονόμηση ενέργειας κατά **16% για τους θερινούς μήνες**, δηλαδή την περίοδο που θα αξιοποιείται η ηλιακή καμινάδα

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της κατασκευής του νέου κτιρίου με τα υλικά που προαναφέρθηκαν φαίνονται στο Πίνακα 14.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1ο (ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΟΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ)					
Κατανάλωση / μείωση φορτίου (kWh)			Κατανάλωση / μείωση φορτίου (kWh/m2)		
ΨΥΞΗ (kWh)	ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh)	ΣΥΝΟΛΟ (kWh)	ΨΥΞΗ (kW/m2)	ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kW/m2)	ΣΥΝΟΛΟ (kW/m2)
188087.04	147239.37	373129.7	32.68	25.58	64.83
58.78%	61.96%	55.76%	58.78%	61.96%	55.76%

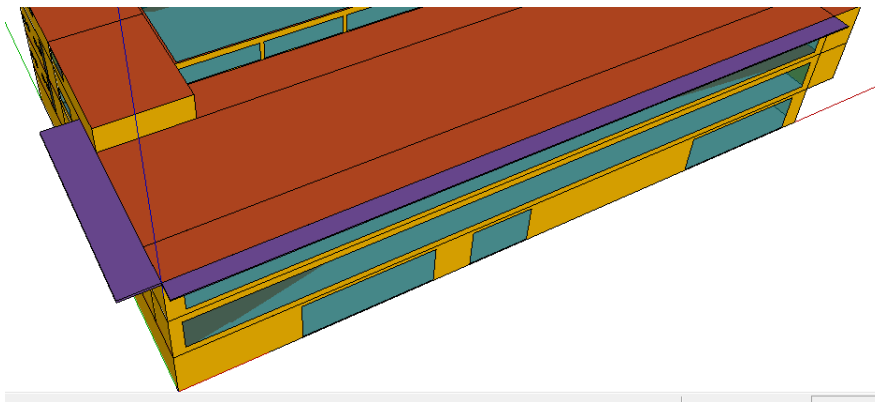
Πίνακας 14: Εξοικονόμηση ενέργειας 1^{ου} σεναρίου

Με την εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με το baseline σενάριο να αγγίζει το 55,76%, υπάρχουν πολλές δυνατότητες για την επίτευξη NZEB.

13.2 Προσθήκη σκιάστρου

Η προσθήκη σκιάστρων αποτελεί μία φθηνή και ιδιαίτερα αποτελεσματική λύση όσον αφορά την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, και κατ' επέκταση την εξοικονόμησή της. Αυτό προκύπτει από το ότι ιδιαίτερα στους θερινούς μήνες η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας από τα ανοίγματα (εξωτερικά κουφώματα), αυξάνει την θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του κτιρίου. Οπότε λογικό είναι η παρεμπόδιση της εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση των σκιάστρων να μειώνει την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη του χώρου.

Στο κτίριο υπάρχουν μεταβλητά σκιάστρα στην νότια και δυτική πλευρά του κτιρίου, όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω:



Εικόνα 37: Τα σκιάστρα στην νότια και δυτική όψη του κτιρίου, SketchUp



Εικόνα 38. Τα σκιάστρα του κτιρίου

Από την προσομοίωση του μοντέλου φαίνεται να εξοικονομούνται 34.402,45 kWh ετησίως με την εγκατάσταση σκιάστρων. Ωστόσο στο μοντέλο εισήχθησαν σταθερά

και όχι μεταβλητά σκίαστρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η αποτελεσματικότητά τους στο μοντέλο, αφού η ύπαρξη τους σε περιόδους που είναι επιθυμητή η είσοδος της ηλιακή ακτινοβολίας, όπως τους χειμερινούς μήνες, αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας.

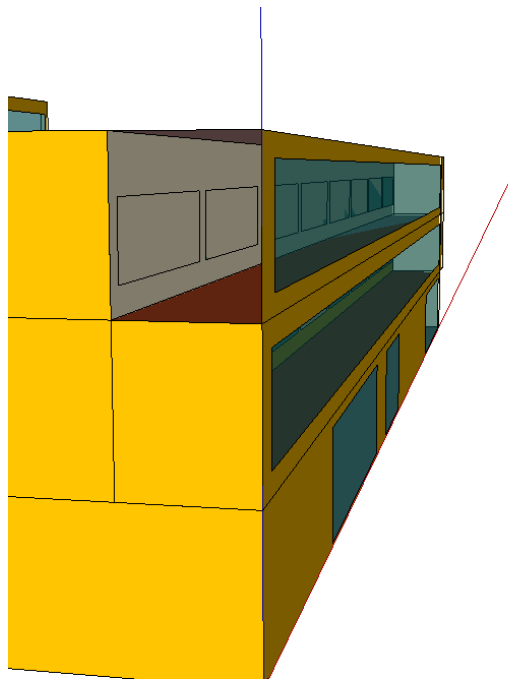
ΣΕΝΑΡΙΟ 2ο (ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΟΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ)					
Κατανάλωση / μείωση φορτίου (kWh)			Κατανάλωση / μείωση φορτίου (kWh/m ²)		
ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΣΥΝΟΛΟ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΣΥΝΟΛΟ
153684.6	147239.37	266521.52	26.70	25.58	46.31
66.32%	61.96%	68.40%	66.32%	61.96%	68.40%

Η συνεισφορά των σκιάστρων μπορεί συνολικά να φαίνεται μικρή. Ωστόσο σε σχέση με τις θερμικές ζώνες στις οποίες εφαρμόζεται υπάρχει μεγάλη πτώση των ψυκτικών φορτίων, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

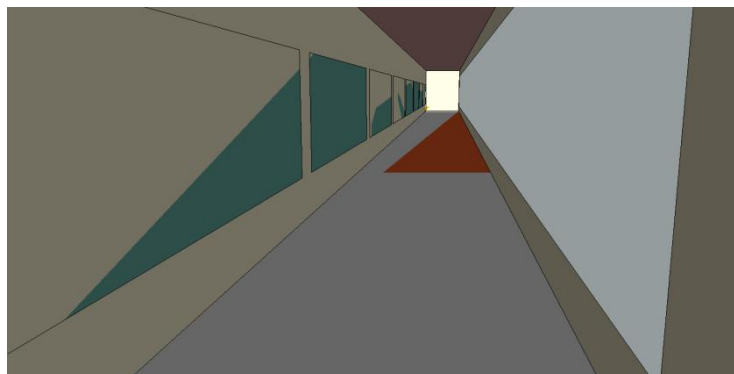
Μείωση ψυκτικών φορτίων στις θερμικές ζώνες που έχουν σκίαστρα							
Φορτία (kWh)	Αίθουσ ες ισογείο υ με σκίαστ ρς	Αίθουσ ες ισογείο υ χωρίς σκίαστ ρα	Αίθουσ ες ορόφου με σκίαστ ρς	Αίθουσ ες ορόφου υ χωρίς σκίαστ ρα	μειωση φορτίω ν ισόγειο	μείωση φορτίω ν όροφος	συνολι κή μείωσ η φορτί ων
	7612	1619	9254	1969 0	9250	2651 7	34.4 02
Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας (%)	53.00 %		53.00 %		11.42 %	25.20 %	4,72 %

13.3 Θερμοκήπιο

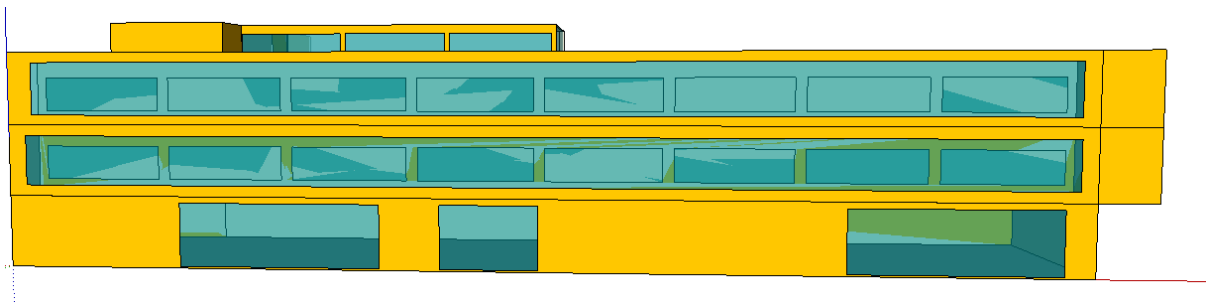
Όλοι γνωρίζουμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η βασική αρχή του είναι η συσσώρευση θερμότητας στο εσωτερικό ενός χώρου. Αυτό το φαινόμενο αξιοποιούμε με την κατασκευή ενός θερμοκηπίου στην νότια πλευρά του ισόγειου του σχολείου. Με την προσθήκη αυτή προσδοκούμε να εκμεταλλευτούμε με παθητικό τρόπο την αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου κατά τους χειμερινούς μήνες για την έμμεση θέρμανση των παρακείμενων θερμικών ζωνών. Στην προκειμένη περίπτωση αυτό αφορά την θέρμανση των αιθουσών διδασκαλίας που βρίσκονται στην νότια πλευρά του κτιρίου στο ισόγειο.



Εικόνα 39: Κοντινή άποψη του θερμοκηπίου, SketchUp



Εικόνα 40: Άποψη από το εσωτερικό του θερμοκηπίου, SketchUp



Εικόνα 41: Εξωτερική όψη του θερμοκηπίου, SketchUp

Από την προσομοίωση που έγινε η συνολική εξοικονόμηση αγγίζει το 0,19% λόγω θερμοκηπίου. Ωστόσο στις θερμικές ζώνες που γειτνιάζει το θερμοκήπιο η εξοικονόμηση φτάνει το 6,96%.

13.4 Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού του σχολείου

Ο συνδυασμός των εξαιρετικών υλικών της τοιχοποιίας, των κουφωμάτων, και των καινοτόμων επιλογών της ηλιακής καμινάδας και του θερμοκηπίου δίνουν πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα που φαίνονται στους Πίνακες 15 και 16.

Πίνακας 15. Ανάλυση συνεισφοράς των παρεμβάσεων στην μείωση των φορτίων θέρμανσης/ψύξης

A/A	Περιγραφή	Φορτία θέρμανσης (kWh, kWh/m ²)	Φορτία Ψύξης(kWh) (kWh, kWh/m ²)	Εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση (%)	Εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη (%)	Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας
Σ0	Κτίριο αναφοράς	310308.64 66.65	437053.44 93.87	-	-	
Σ1	Αλλαγή κουφωμάτων, προσθήκη μόνωσης με θερμοπρόσφυη εκτός του υπογείου	141055.32 30.30	180187.38 38.70	54.54%	58.77%	426119.38 kWh 57.02%
Σ2	Προσθήκη σκιάστρων	310308.64 66.65	402651 86.48	0%	8.54%	34402.44 kWh 7.87%
Σ3	Χρήση θερμοκηπίου	310308.64 66.65	456277.43 79.28	0.35%	0%	1366 kWh 0.2%
Σ4	Σ1+Σ2+Σ3	139689.32 30.00	145785.94 31.31			461886.82 kWh 61.80%

Συνεπώς τα συνολικά φορτία για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου ανέρχονται σε **285,475.26 kWh ή 61.31 kWh/m²**.

Τα φορτία αυτά θα καλυφθούν από τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης κλιματισμού που ενώ θα χρησιμοποιηθούν και συστήματα με COP τουλάχιστον 4.

Πίνακας 16: Συνολική μείωση φορτίων

ΣΕΝΑΡΙΟ 3ο (ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΟΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ, ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ)					
Κατανάλωση / μείωση φορτίου (kWh)			Κατανάλωση / μείωση φορτίου (kWh/m ²)		
ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΣΥΝΟΛΟ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΣΥΝΟΛΟ
153684.60	147239.37	265155.52	26.70	25.58	46.07
66.32%	61.96%	68.56%	66.32%	61.96%	68.56%

Μελετώντας τα αποτελέσματα μέχρι εδώ μπορούμε να πούμε πως η πραγματικότητα είναι ακόμα καλύτερη από την εικόνα που μας δίνει το μοντέλο, καθώς οι υψηλές τιμές της ψύξης στην πράξη θα ελαττωθούν καθώς οι σχολικές εγκαταστάσεις παραμένουν κλειστές κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

14 Εφαρμογή ΑΠΕ στο 33^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης - Η εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών συστημάτων και γεωθερμίας

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν έναν πολύ σημαντικό παράγοντα χωρίς τον οποίο είναι πρακτικά αδύνατη η επίτευξη σχεδόν μηδενικών ενεργειακών κτιρίων [17], ιδιαίτερα όσον αφορά τα σχολεία. Επιπλέον από μελέτες που έχουν γίνει είναι γνωστό πως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO² κατά 21.8 τόνους, όπως στο 7^ο Λύκειο Πειραιά. [18]

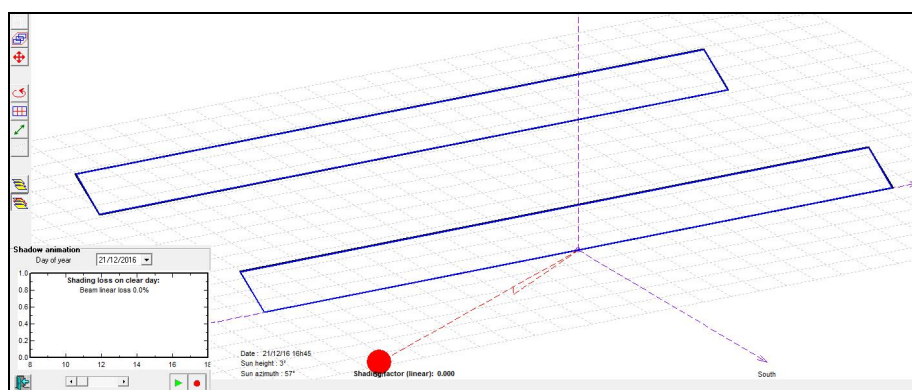
Από την εξοικονόμηση ενέργειας που πετυχαίνουμε με την μόνωση, τα σκιάστρα και το θερμοκήπιο, μας μένουν 90.318 kWh , που πρέπει να καλυφθούν με ΑΠΕ.

Για την κάλυψη αυτών των αναγκών αρχικά ερευνήθηκε η δυνατότητα παραγωγής τους με φωτοβολταϊκά. Στην Βόρεια Ελλάδα ένα πάνελ 2,5kW παράγει 3.000 kWh τον χρόνο. Οπότε βρέθηκε πως με την εγκατάσταση 30 πάνελς ισχύος 2,5kW παράγονται οι αναγκαίες 90.000 kWh/yr.

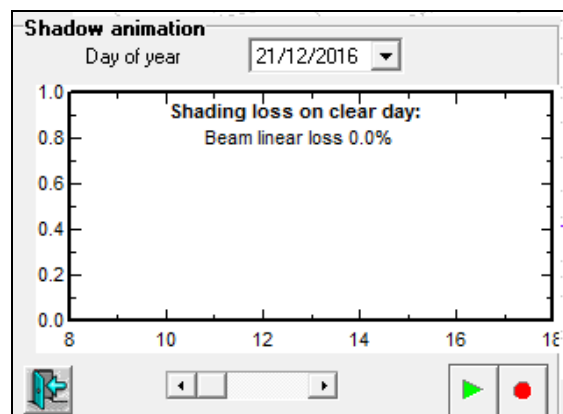
Για την εγκατάσταση των 30 πάνελς πρέπει να ερευνηθεί εάν επαρκεί ο χώρος της οροφής που βρίσκεται στην νότια πλευρά του σχολείου, καθώς έχει συνολική έκταση 935 m², με διαστάσεις 17*55. Τα πάνελς έχουν το καθένα διάσταση 1,7 m ύψος και 1,5 m μήκος, συνολικού εμβαδού 76,5 m².

Ωστόσο επειδή θα προχωρήσουμε στην εγκατάσταση 2 σειρών πάνελς, χρειάζεται να ερευνηθεί το αν θα σκιάζει το ένα το άλλο, καθώς σε μία τέτοια περίπτωση θα πέφτει ο βαθμός απόδοσης των ΦΒ. Για να εξακριβωθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PVSyst. [19]

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα πέρα από άλλες δυνατότητες που δίνει στο χρήστη (εγκατάσταση ΦΒ, επιλογή inverter, ισχύς, κλίση ΦΒ, σύνδεση με γεωγραφικό πλάτος, μέγεθος ΦΒ κτλ), δίνει ακόμα και την δυνατότητα να ερευνηθεί και το κατά πόσο τα ΦΒ που εισάγουμε σκιάζονται από οποιοδήποτε εμπόδιο (παρακείμενο κτίριο, φυσικό εμπόδιο όπως πχ δέντρα, λόφος κτλ), μεταξύ αυτών και σε μία σειρά φωτοβολταϊκών, αν σκιάζει η μία την άλλη. Αυτό γίνεται κατασκευάζοντας σε γραφικό περιβάλλον τα στοιχεία που θέλουμε με τις διαστάσεις τους και την συγκεκριμένη απόσταση που έχουν από τα Φωτοβολταϊκά. Στην συνέχεια δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να προσομοιώσει την κίνηση του ήλιου για μία μέρα, κάτι που δίνει και την δυναμική της σκίασης. Για λόγους οικονομίας χρόνου επιλέγουμε τις ημέρες του χρόνου με το μεγαλύτερο ναδίρ και ζενίθ του ήλιου, δηλαδή την 21^η Δεκεμβρίου και 21^η Ιουνίου, τις ημέρες του χειμερινού και θερινού ηλιοστασίου.

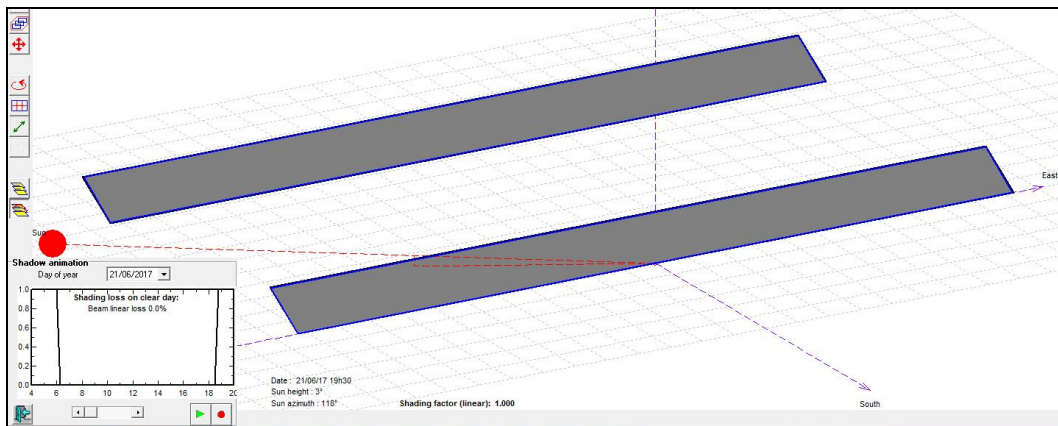


Εικόνα 42: Τα Φωτοβολταϊκά στο περιβάλλον του PVsyst, στις 21 Δεκέμβρη

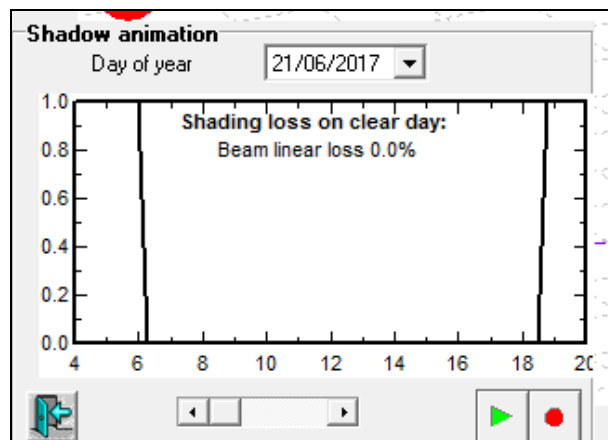


Εικόνα 43: Σκίαση των φωτοβολταϊκών στις 21 Δεκέμβρη

Στην Εικόνα 43 φαίνεται ότι στις 21 Δεκέμβρη υπάρχει μηδενική σκίαση στα φωτοβολταϊκά. Αυτό συνεπάγεται ότι δουλεύουν στο 100% της απόδοσής τους.

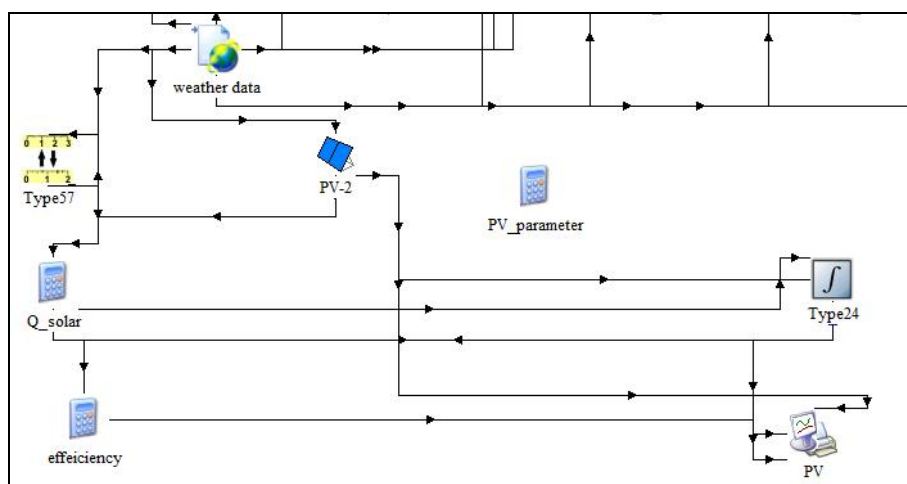


Εικόνα 44: Τα Φωτοβολταϊκά στο περιβάλλον του PVsyst, στις 21 Ιούνη



Εικόνα 45: Σκίαση των φωτοβολταϊκών στις 21 Ιούνη

Στην εικόνα 44 φαίνεται ότι στις 21 Ιουνίου υπάρχει μηδενική σκίαση στα φωτοβολταϊκά. Αυτό συνεπάγεται ότι δουλεύουν στο 100% της απόδοσής τους.



Εικόνα 46: Σχεδιασμός των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον του TRNSys

Πίνακας 17. Συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας της χρήσης φωτοβολταϊκών στην οροφή του κτιρίου

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	
Θέρμανση/ Ψύξη /Κλιματισμός	71368,80
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (kWh)	
	90317.83
ΙΣΟΖΥΓΙΟ	18949.03

Από τον Πίνακα 17 προκύπτει ότι οι προτεινόμενες λύσεις για τα υλικά του κελύφους σε συνδυασμό με τα σκίαστρα του κτιρίου και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στην οροφή, και το θερμοκήπιο επιφέρουν θετικό ισοζύγιο 18949.03 KWh το έτος που μπορεί να καλύψει μέρος των αναγκών του κτιρίου σε ηλεκτρικό φωτισμό.

Παράλληλα αν εισαχθεί σύστημα γεωθερμίας σε συνδυασμό με τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης κλιματισμού, η απόδοση COP ανεβαίνει σημαντικά (περίπου 5-6) με αποτέλεσμα το κτίριο να μπορεί καλύψει πλήρως τις ενεργειακές του ανάγκες τόσο σε φωτισμό όσο και σε ηλεκτρικές συσκευές.

Οι αντλίες γεωθερμίας έχουν κατοχυρωθεί ως μία πολύ καλή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ειδικά όταν εφαρμόζονται σε σχολικές εγκαταστάσεις. [11]

15 Αναλυτικά σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας

Προκειμένου να βρεθεί με ακρίβεια και να αναλυθεί η συνεισφορά της κάθε τεχνικής εξοικονόμησης ενέργειας, έγιναν αναλυτικά συνδυαστικά σενάρια που αφορούν τις εξής εκδοχές:

- ✓ **Σενάριο B.1** : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ
- ✓ **Σενάριο B.2** : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ
- ✓ **Σενάριο B.3** : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ
- ✓ **Σενάριο B.4** : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ
- ✓ **Σενάριο B.5** : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ, ΑΠΕ (ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ & ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ)

Έγινε σύγκριση:

- του κάθε σεναρίου ξεχωριστά με την baseline κατάσταση (κατάσταση κτιρίου αναφοράς)

- της ενεργειακής αποδοτικότητας για θερμικά και ψυκτικά φορτία ανά όροφο (υπόγειο, ισόγειο, 1^{ος} και 2^{ος} όροφος), παίρνοντας υπ όψιν την κανονικοποιημένη (kWh/m²) κατανάλωση ενέργειας.

15.1 Σύγκριση 5 σεναρίων με την baseline κατάσταση

Με την σύγκριση των συγκεκριμένων σεναρίων επιδιώκουμε να αντιληφθούμε ποιο ολοκληρωμένα την συμπεριφορά του μοντέλου, να δούμε αδύναμα σημεία και να εντοπίσουμε τις βέλτιστες πρακτικές για περαιτέρω βελτίωση.

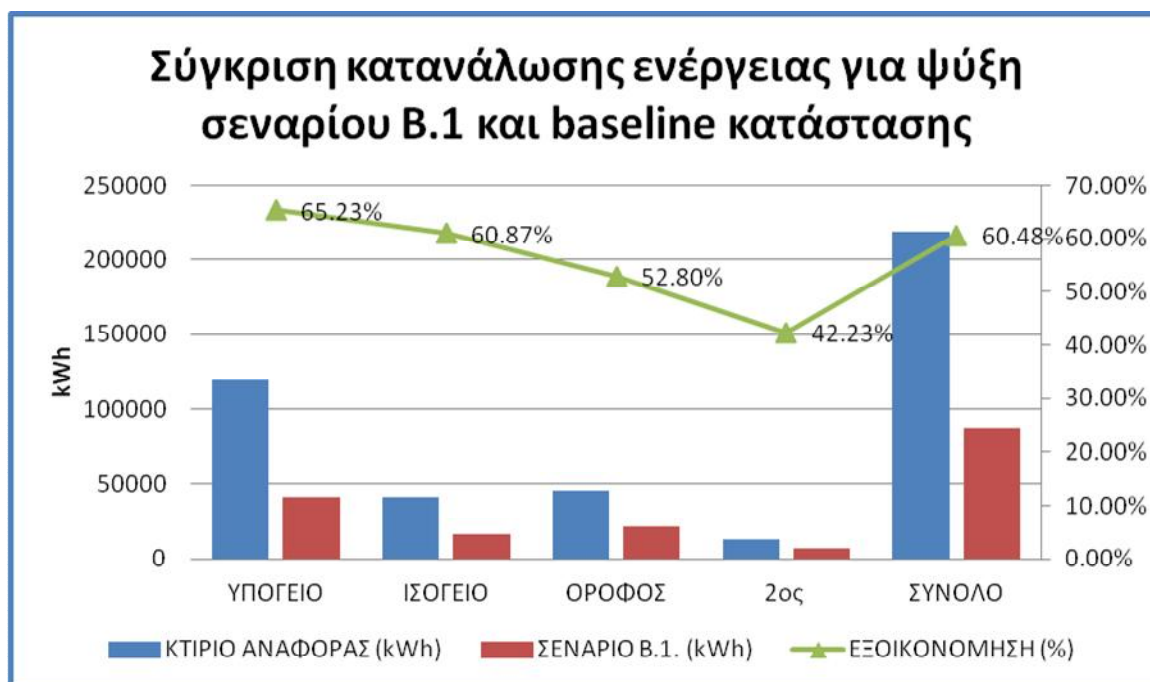
Σε όλα τα σενάρια έγινε μετατροπή του κελύφους του κτιρίου μέσω του TRNBuild. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν αντιπροσώπευαν τα ηλεκτρικά φορτία. Ωστόσο προκειμένου να διαπιστώσουμε την ενεργειακή αποδοτικότητα χρειαζόμαστε την κατανάλωση ενέργειας. Αυτό το πετυχαίνουμε χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους συντελεστές για θέρμανση και ψύξη. Επειδή για το κτίριο αναφοράς χρησιμοποιήσαμε COP=2 για ψύξη και συντελεστή 0,8 για θέρμανση, θα χρησιμοποιήσουμε τους ίδιους συντελεστές και για τα σενάρια. Ακόμα οι εξωτερικοί τοίχοι, η οροφή και τα νέα κουφώματα είναι αυτά που έχουν ήδη προαναφερθεί ότι αξιοποιούνται στα σενάρια ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου.

15.1.1 Σενάριο B.1 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ

Στο 1^ο σενάριο διερευνούμε την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας με τοποθέτηση νέων ενεργειακών κουφωμάτων, με τοίχους καλά μονωμένους αλλά χωρίς την προσθήκη θερμοπρόσωψη, όπως κανονικά προβλέπει το συγκεκριμένο τεχνικό έργο.

Πίνακας 18: Κατανάλωση ενέργειας 1^{ου} σεναρίου για τα φορτία ψύξης

ΨΥΞΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	118858	41131	45715	12601	218307
ΣΕΝΑΡΙΟ B.1. (kWh)	41330	16093	21578	7279	86281
ΔΙΑΦΟΡΑ	77528	25038	24137	5321	132025
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	65.23%	60.87%	52.80%	42.23%	60.48%

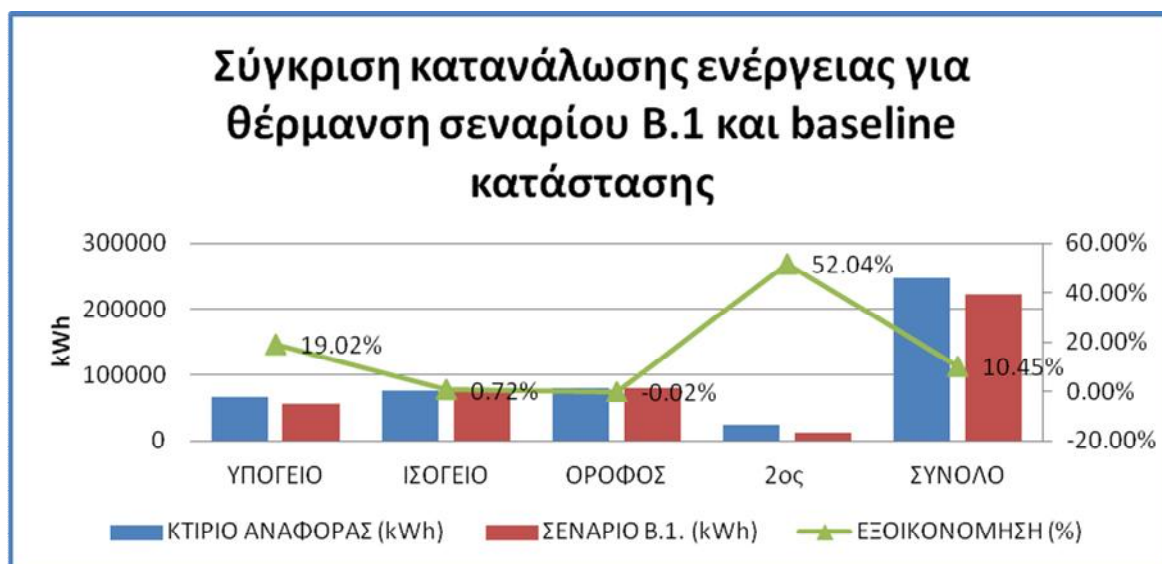


Γράφημα 1: Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη. Σενάριο B.1. VS Κτίριο Αναφοράς

Όπως φαίνεται καθαρά από τον Πίνακα 18 και το Γράφημα 1 η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται για ψύξη είναι πολύ σημαντική, και αγγίζει το 60%. Κρίσιμη από ότι φαίνεται είναι η εξοικονόμηση ενέργειας στο υπόγειο (65%), καθώς αυτό αντιπροσωπεύει στην baseline κατάσταση τις μισές ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου όσον αφορά την ψύξη.

Πίνακας 19: Κατανάλωση ενέργειας 1^{ου} σεναρίου για τα φορτία θέρμανσης

ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	67376	75761	81172	24287	248598
ΣΕΝΑΡΙΟ B.1. (kWh)	54559	75213	81191	11647	222610
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	12817	548	-19	12640	25987
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	19.02%	0.72%	-0.02%	52.04%	10.45%

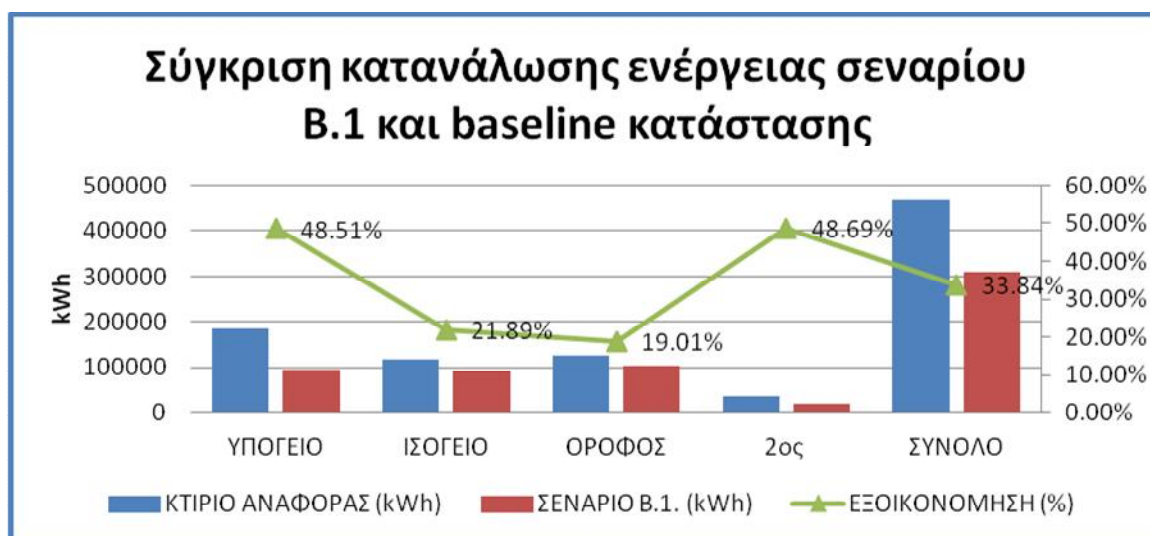


Γράφημα 2: Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Σενάριο B.1 VS Κτίριο Αναφοράς

Από τον Πίνακα 19 και το Γράφημα 2 φαίνεται πως η συγκεκριμένη τεχνική δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όσον αφορά την θέρμανση. Μάλιστα στον 1^ο όροφο έχουμε και μία ελαφριά μείωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Πίνακας 20: Συνολική κατανάλωση ενέργειας 1^{ου} σεναρίου

ΣΥΝΟΛΟ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	186235	116893	126887	36888	466905
ΣΕΝΑΡΙΟ B.1. (kWh)	95889	91306	102769	18926	308892
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	90345	25586	24118	17962	158012
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	48.51%	21.89%	19.01%	48.69%	33.84%



Γράφημα 3: Συνολική κατανάλωση ενέργειας. Σενάριο B.1. VS Κτίριο Αναφοράς

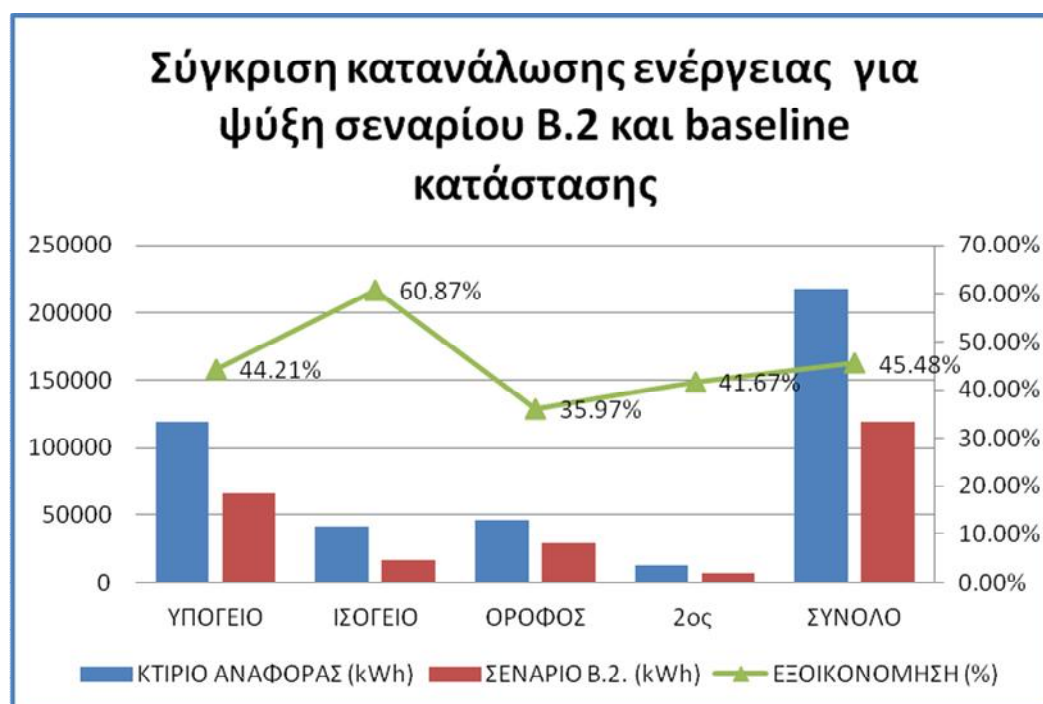
Παρά το γεγονός ότι το 1^ο σενάριο έχει πολύ χαμηλή απόδοση σε σχέση με την θέρμανση φαίνεται ότι και πάλι πετυχαίνουμε μία σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας της τάξης του 33%. Ωστόσο με τα σενάρια που έπονται θα επιλεγθούν οι κατάλληλες βελτιωτικές κινήσεις για να ξεπεραστούν τα αδύναμα σημεία ιδίως όσον αφορά το κέλυφος.

15.1.2 Σενάριο B.2 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ

Με την προσθήκη θερμοπρόσωσης ουσιαστικά επιδιώκουμε να ξεπεραστούν στον μεγαλύτερο βαθμό οι αδυναμίες κυρίως όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση που είδαμε στο 1^ο σενάριο.

Πίνακας 21: Κατανάλωση ενέργειας 2^{ου} σεναρίου για τα φορτία ψύξης

ΨΥΞΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	118858	41131	45715	12601	218307
ΣΕΝΑΡΙΟ B.2. (kWh)	66312	16093	29269	7350	119025
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	52546	25038	16446	5251	99281
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	44.21%	60.87%	35.97%	41.67%	45.48%



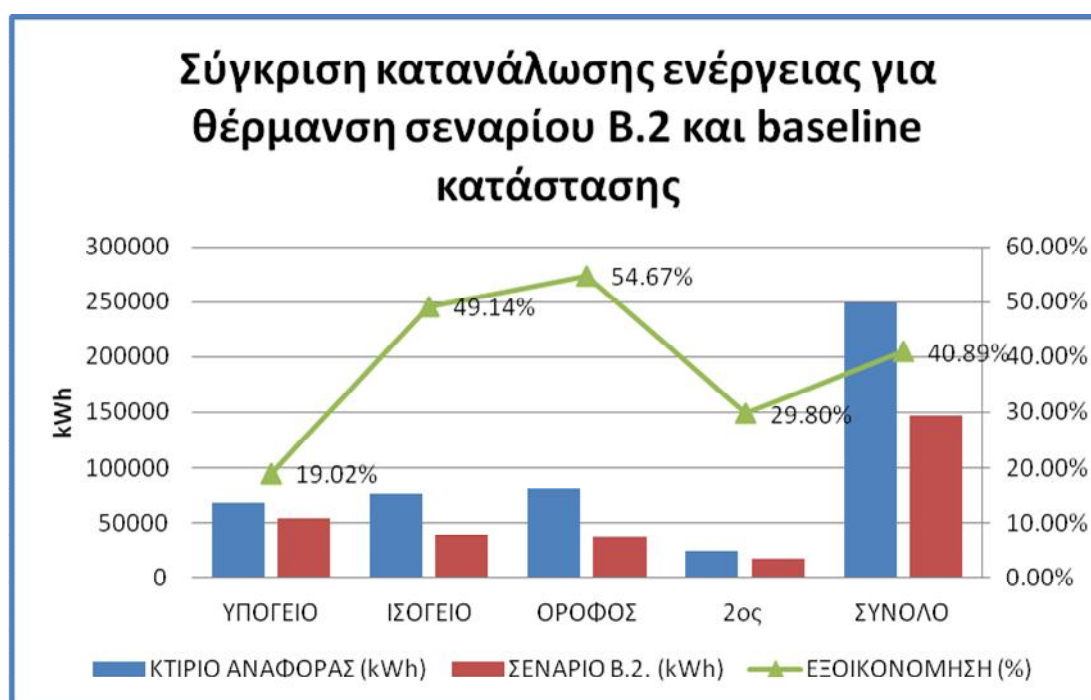
Γράφημα 4: Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη. Σενάριο B.2. VS Κτίριο Αναφοράς

Πετυχαίνουμε μία εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 45% για ψύξη. Δηλαδή περίπου 20% λιγότερη εξοικονόμηση ενέργειας από το 1^ο σενάριο. Αυτό οφείλεται

κυρίως στο ότι η ενεργειακή αποδοτικότητα πέφτει κατά 20% στο υπόγειο και κατά 16% στον 1^ο όροφο

Πίνακας 22: Κατανάλωση ενέργειας 2^{ου} σεναρίου για τα φορτία θέρμανσης

ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	67376	75761	81172	24287	248598
ΣΕΝΑΡΙΟ B.2. (kWh)	54559	38532	36798	17050	146941
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	12817	37228	44373	7237	101656
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	19.02%	49.14%	54.67%	29.80%	40.89%

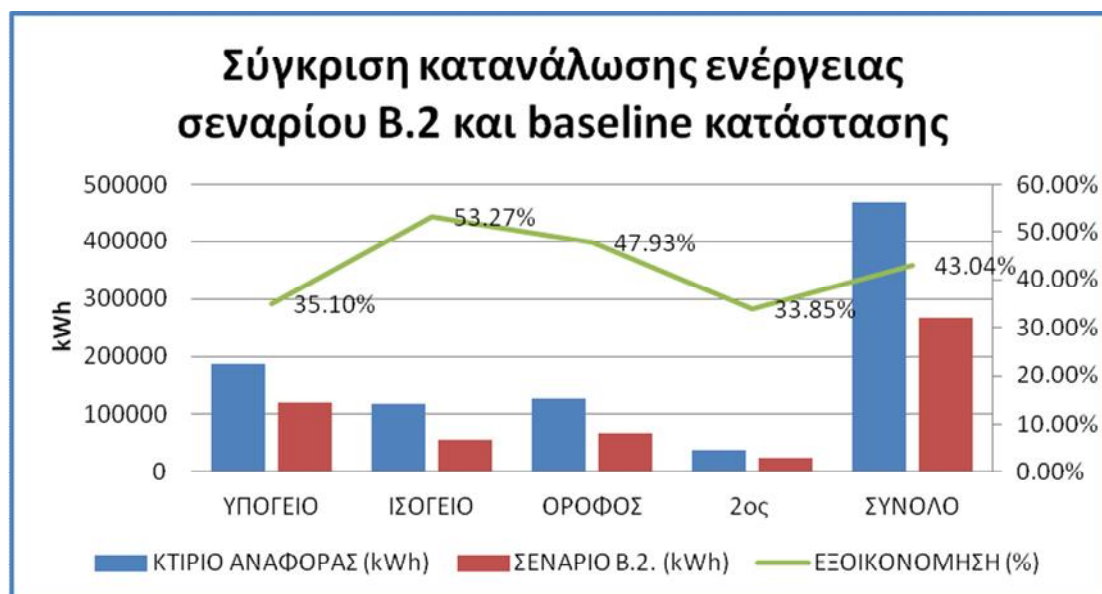


Γράφημα 5: Κατανάλωση Ενέργειας για θέρμανση. Σενάριο B.2. VS Κτίριο Αναφοράς

Στην θέρμανση πετυχαίνουμε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 41% δηλαδή 30% πάνω από το 1^ο σενάριο. Στο υπόγειο τα πράγματα παραμένουν ίδια σε σχέση με το 1^ο σενάριο, ενώ σε ισόγειο και 1^ο όροφο πετυχαίνουμε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 50%, ενώ στο 1^ο σενάριο δεν υπήρχε καμία βελτίωση στους συγκεκριμένους ορόφους.

Πίνακας 23: Συνολική κατανάλωση ενέργειας 2^{ου} σεναρίου

ΣΥΝΟΛΟ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	186235	116893	126887	36888	466905
ΣΕΝΑΡΙΟ B.2. (kWh)	120872	54626	66067	24400	265967
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	65363	62266	60819	12488	200938
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	35.10%	53.27%	47.93%	33.85%	43.04%



Γράφημα 6: Συνολική κατανάλωση ενέργειας. Σενάριο B.2. VS Κτίριο Αναφοράς

Τελικά η συνολική κατανάλωση ενέργειας με την προσθήκη θερμοπρόσωψης στο αρχικό σενάριο αγγίζει το 43%, δηλαδή έχουμε κατά 10% βελτίωση στην ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου.

Συγκρίνοντας τους πίνακες 19 και 22 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

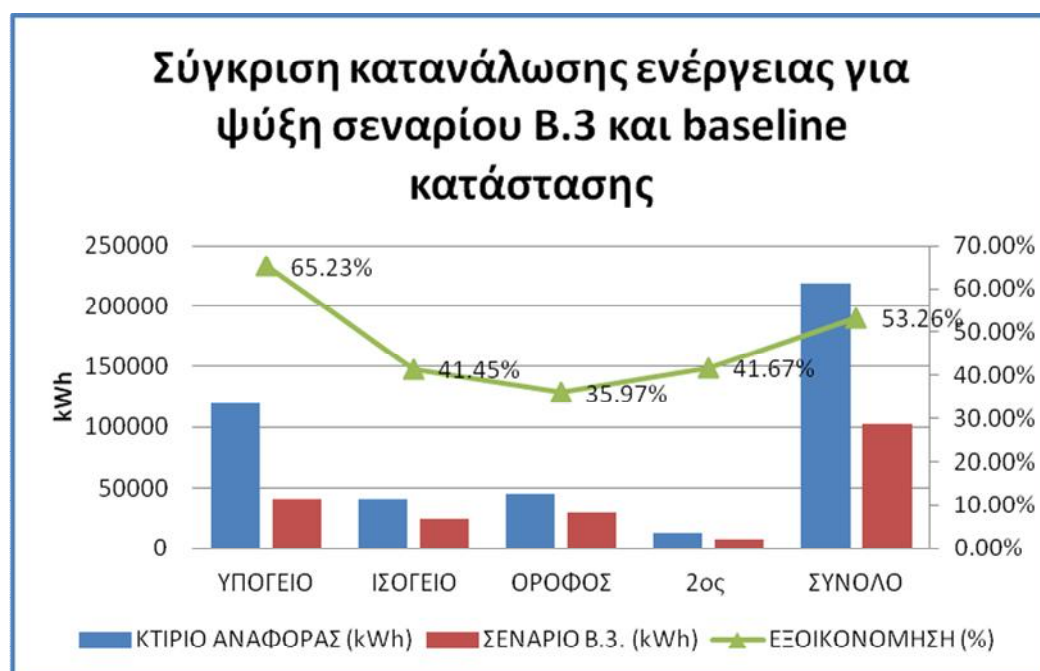
- ✓ Έχουμε σε όλους τους ορόφους βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας με εξαίρεση το υπόγειο.
- ✓ Στο ισόγειο έχουμε 31% περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας, στον 1^ο όροφο 29% και στον 2^ο όροφο εξοικονομείται 15% περισσότερη ενέργεια.
- ✓ Στο υπόγειο παρά το γεγονός ότι η εξοικονόμηση ενέργειας φτάνει το 35%, είναι πολύ λιγότερο αποδοτικό από το 48,5% του 1^{ου} σεναρίου
- ✓ Για αυτόν τον λόγο στο 3^ο σενάριο εφαρμόζουμε παντού θερμοπρόσωψη με εξαίρεση το υπόγειο

15.1.3 Σενάριο B.3 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ

Στο συγκεκριμένο σενάριο περιμένουμε ουσιαστικά τα αποτελέσματα του 1^{ου} σεναρίου για το υπόγειο και του 2^{ου} σεναρίου για τους υπόλοιπους ορόφους. Ωστόσο υπάρχει η πιθανότητα να υπάρχουν μικρές αποκλίσεις λόγω απωλειών θερμότητας από την μία θερμική ζώνη στην άλλη.

Πίνακας 24: Κατανάλωση ενέργειας 3^{ου} σεναρίου για τα φορτία ψύξης

ΨΥΞΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	118858	41131	45715	12601	218307
ΣΕΝΑΡΙΟ B.3. (kWh)	41330	24083	29269	7350	102033
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	77528	17048	16446	5251	116274
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	65.23%	41.45%	35.97%	41.67%	53.26%



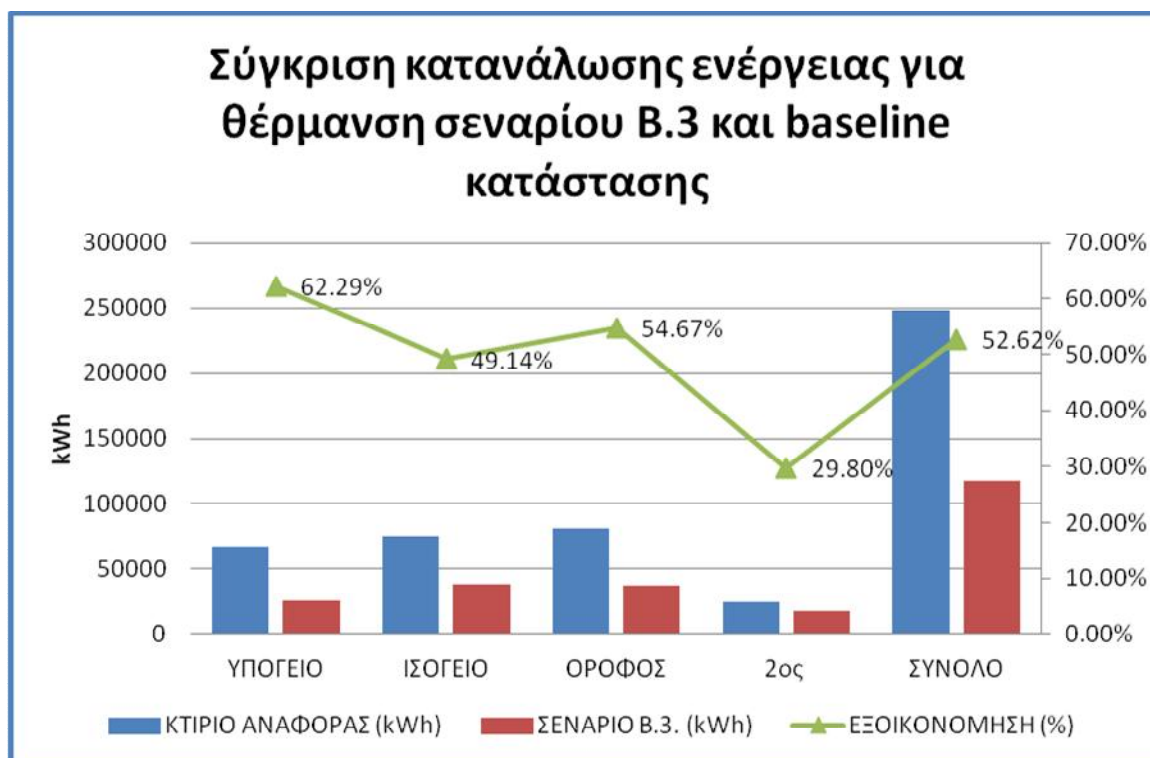
Γράφημα 7: Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη. Σενάριο B.3. VS Κτίριο Αναφοράς

Συγκρίνοντας τον Πίνακα 24 με το Πίνακα 21 βλέπουμε πως με την προσθήκη θερμοπρόσωσης σε όλους τους ορόφους πλην του υπογείου πετυχαίνουμε όσον αφορά τα φορτία ψύξης τα εξής:

- ✓ Βελτίωση κατά 20% της απόδοσης στο υπόγειο και μείωση της απόδοσης κατά 20% στο ισόγειο.
- ✓ Η κατανάλωση ενέργειας για 1^ο και 2^ο όροφο παραμένει ίδια.
- ✓ Ωστόσο συνολικά έχουμε βελτίωση όσον αφορά την ψύξη κατά 8%. Αυτό είναι λογικό, καθώς με βάση την κατάσταση του κτιρίου αναφοράς τα ψυκτικά φορτία του υπογείου είναι περίπου τριπλάσια από του ισογείου.

Πίνακας 25: Κατανάλωση ενέργειας 3^{ου} σεναρίου για τα φορτία θέρμανσης

ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	67376	75761	81172	24287	248598
ΣΕΝΑΡΙΟ Β.3. (kWh)	25409	38532	36798	17050	117791
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	41967	37228	44373	7237	13080
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	62.29%	49.14%	54.67%	29.80%	52.62%



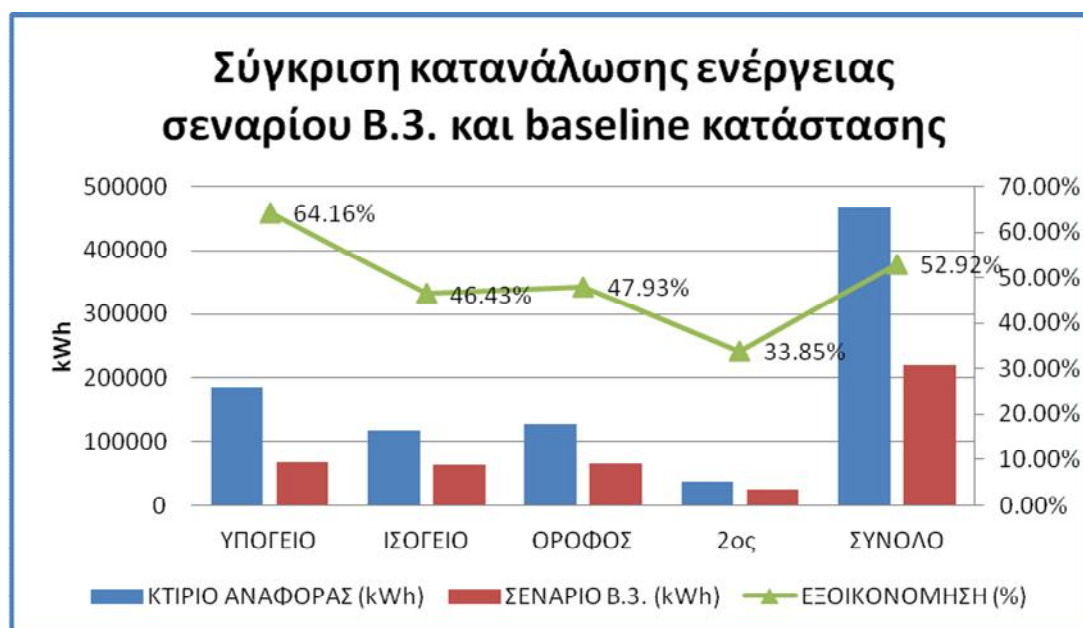
Γράφημα 8: Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Σεσάριο Β.3. VS Κτίριο Αναφοράς

Συγκρίνοντας τους Πίνακες 22 και 25 συμπεραίνουμε μία περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας του κτιρίου, όσον αφορά την θέρμανση, κατά 12% σε σχέση με το κτίριο αναφοράς.

Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας παραμένει αμετάβλητη σε σχέση με το 2^ο σεσάριο σε όλους τους ορόφους. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το υπόγειο που εμφανίζει τεράστια βελτίωση, συγκεκριμένα κατά 43%.

Πίνακας 26: Συνολική κατανάλωση ενέργειας 3^{ου} σεναρίου

ΣΥΝΟΛΟ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	186235	116893	126887	36888	466905
ΣΕΝΑΡΙΟ Β.3. (kWh)	66740	62616	66067	24400	219824
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	119495	54277	60819	12488	247080
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	64.16%	46.43%	47.93%	33.85%	52.92%



Γράφημα 9: Συνολική κατανάλωση ενέργειας. Σεναρίο Β.3. VS Κτίριο Αναφοράς

Από τον Πίνακα 26 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Έχουμε συνολικά την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας που αγγίζει το 53%, πολύ πάνω από το 33% του 1^{ου} και το 43% του 2^{ου} σεναρίου.
- Η ενεργειακή αποδοτικότητα του 1^{ου} ορόφου και του 2^{ου} ορόφου παραμένουν ακριβώς οι ίδιες με το 2^ο σενάριο.
- Η κατανάλωση ενέργειας στο ισόγειο δεν ταυτίζεται με αυτήν του 2^{ου} σεναρίου όπως περιμέναμε, αλλά αυξάνεται κατά 7%, ενώ μειώνεται κατά 25% σε σχέση με το 1^ο σενάριο.
- Αντίστοιχα το υπόγειο συμπεριφέρεται πολύ καλύτερα από το 1^ο σενάριο εξοικονομώντας 16% παραπάνω.
- Αυτό εξηγείται από το ότι το υπόγειο και το ισόγειο αλληλεπιδρούν μεταξύ τους λόγω γειννίας και ανταλλάσσουν θερμικά φορτία, επηρεάζοντας έτσι το ένα την συμπεριφορά του άλλου. Δεν συμβαίνει το ίδιο με τον 1^ο και τον 2^ο όροφο καθώς

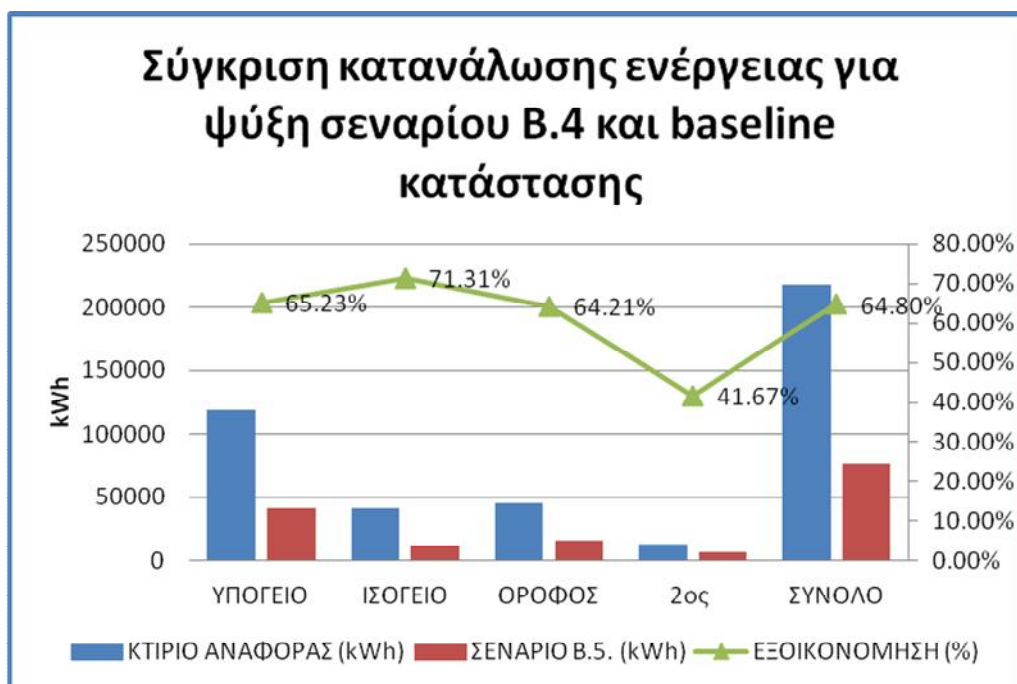
15.1.4 Σενάριο B.4 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ

Ουσιαστικά το 4^ο σενάριο είναι το ίδιο με το τρίτο, με την διαφορά ότι προστίθενται τα σκίαστρα που προβλέπονται να κατασκευαστούν στην νότια πλευρά του κτιρίου σε ισόγειο και 1^ο όροφο. Περιμένουμε τα αποτελέσματα να αφορούν την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη σε ισόγειο και 1^ο όροφο, και χωρίς μεταβολή για θέρμανση, αφού τα σκίαστρα είναι μεταβαλλόμενα, άρα τους χειμερινούς μήνες που τα θερμικά κέρδη από την ηλιακή ακτινοβολία είναι θεμιτά δεν θα χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 27: Κατανάλωση ενέργειας 1^{ου} σεναρίου για τα φορτία ψύξης

ΨΥΞΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	118858	41131	45715	12601	218307
ΣΕΝΑΡΙΟ B.4. (kWh)	41330	11801	16360	7350	76842
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	77528	29330	29355	5251	141464
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	65.23%	71.31%	64.21%	41.67%	64.80%

Πράγματι με την προσθήκη σκιάστρων επιτυγχάνεται μία πολύ σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στο ισόγειο της τάξης του 71%, κατά 30% βελτιωμένη σε σχέση με το 3^ο σενάριο και στον 1^ο όροφο πετυχαίνουμε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 64%, κατά 20% βελτιωμένη από το 3^ο σενάριο. Η ενεργειακή αποδοτικότητα στο υπόγειο και στον 2^ο όροφο που δεν έχουν σκίαστρα παραμένει αμετάβλητη.

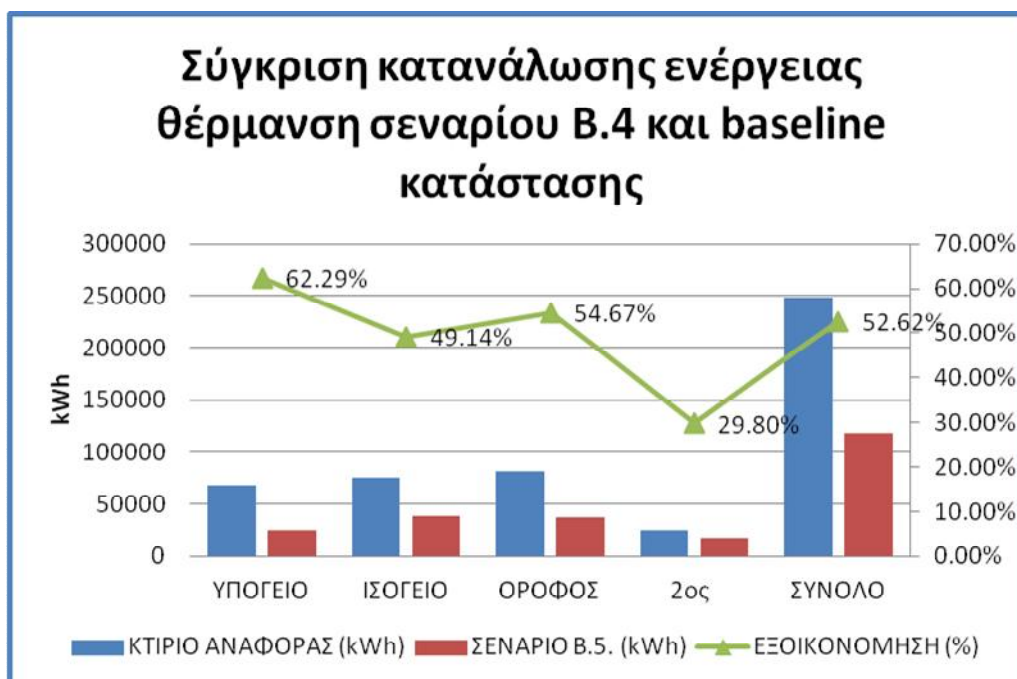


Γράφημα 10: Κατανάλωση Ενέργειας για ψύξη. Σενάριο B.4. VS Κτίριο Αναφοράς

Πίνακας 28: Κατανάλωση ενέργειας 4^{ου} σεναρίου για τα φορτία θέρμανσης

ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	67376	75761	81172	24287	248598
ΣΕΝΑΡΙΟ B.4. (kWh)	25409	38532	36798	17050	117791
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	41967	37228	44373	7237	130806
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	62.29%	49.14%	54.67%	29.80%	52.62%

Με βάση τον Πίνακα 28 δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Κάτι απολύτως λογικό.

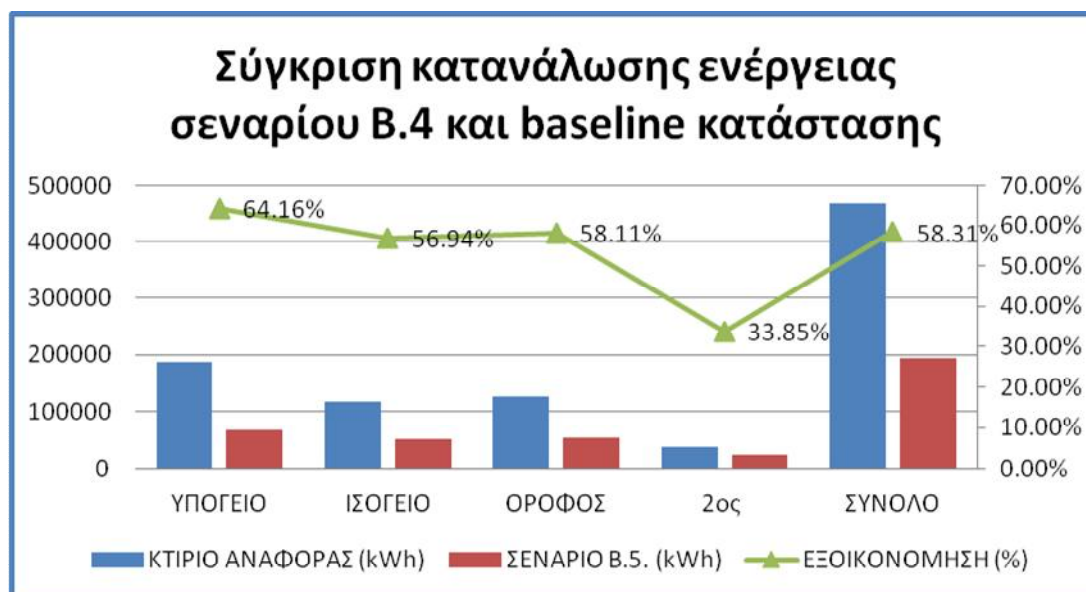


Γράφημα 11: Κατανάλωση Ενέργειας για θέρμανση. Σενάριο B.4. VS Κτίριο Αναφοράς

Πίνακας 29: Συνολική κατανάλωση ενέργειας 4^{ου} σεναρίου

ΣΥΝΟΛΟ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	186235	116893	126887	36888	466905
ΣΕΝΑΡΙΟ B.4. (kWh)	66740	50334	53158	24400	194633
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	119495	66559	73728	12488	272271
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	64.16%	56.94%	58.11%	33.85%	58.31%

Συγκρίνοντας τον Πίνακα 29 με τον Πίνακα 26 βλέπουμε μία μικρή βελτίωση της τάξης του 5,5%, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας. Βελτίωση που οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην εξοικονόμηση σε φορτία ψύξης λόγω των σκιάστρων στον 1^ο όροφο και στο ισόγειο.



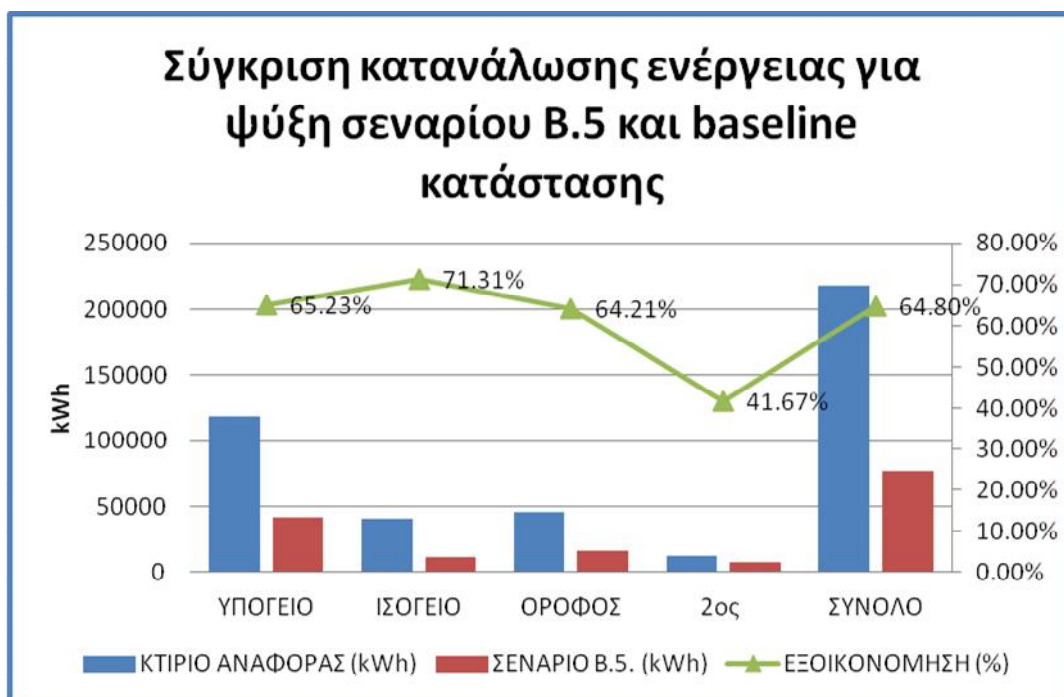
Γράφημα 12: Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας. Σενάριο B.4. VS Κτίριο Αναφοράς

15.1.5 Σενάριο B.5 : ΝΕΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ, ΜΟΝΩΣΗ, ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΩΨΗ ΕΚΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΣΚΙΑΣΤΡΑ, ΑΠΕ (ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ & ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ)

Το συγκεκριμένο σενάριο ουσιαστικά είναι το 4^ο σενάριο, με την διαφορά ότι στην συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζουμε και την παραγωγή ενέργειας από τα Φωτοβολταϊκά που θα εγκατασταθούν και από την γεωθερμία.

Πίνακας 30: Κατανάλωση ενέργειας 5^{ου} σεναρίου για τα φορτία ψύξης

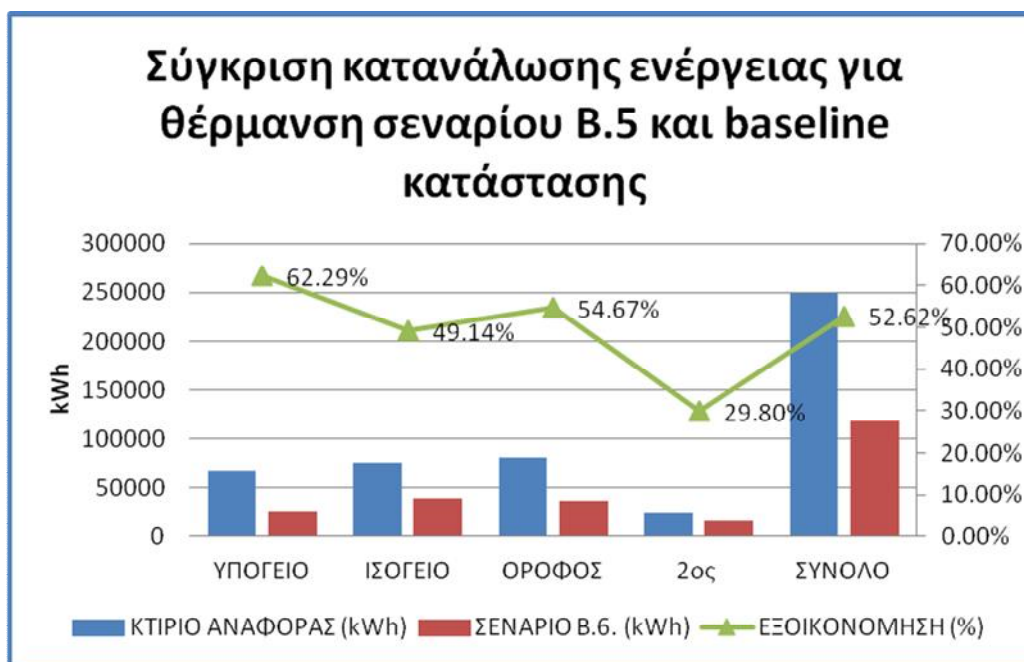
ΦΟΡΤΙΑ ΨΥΞΗΣ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	118858	41131	45715	12601	218307
ΣΕΝΑΡΙΟ B.5. (kWh)	41330	11801	16360	7350	76842
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	77528	29330	29355	5251	141464
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	65.23%	71.31%	64.21%	41.67%	64.80%



Γράφημα 13: Κατανάλωση Ενέργειας για ψύξη. Σενάριο B.5. VS Κτίριο Αναφοράς

Πίνακας 31: Κατανάλωση ενέργειας 5^{ου} σεναρίου για τα φορτία θέρμανσης

ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	67376	75761	81172	24287	248598
ΣΕΝΑΡΙΟ B.5. (kWh)	25409	38532	36798	17050	117791
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	41967	37228	44373	7237	130806
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	62.29%	49.14%	54.67%	29.80%	52.62%

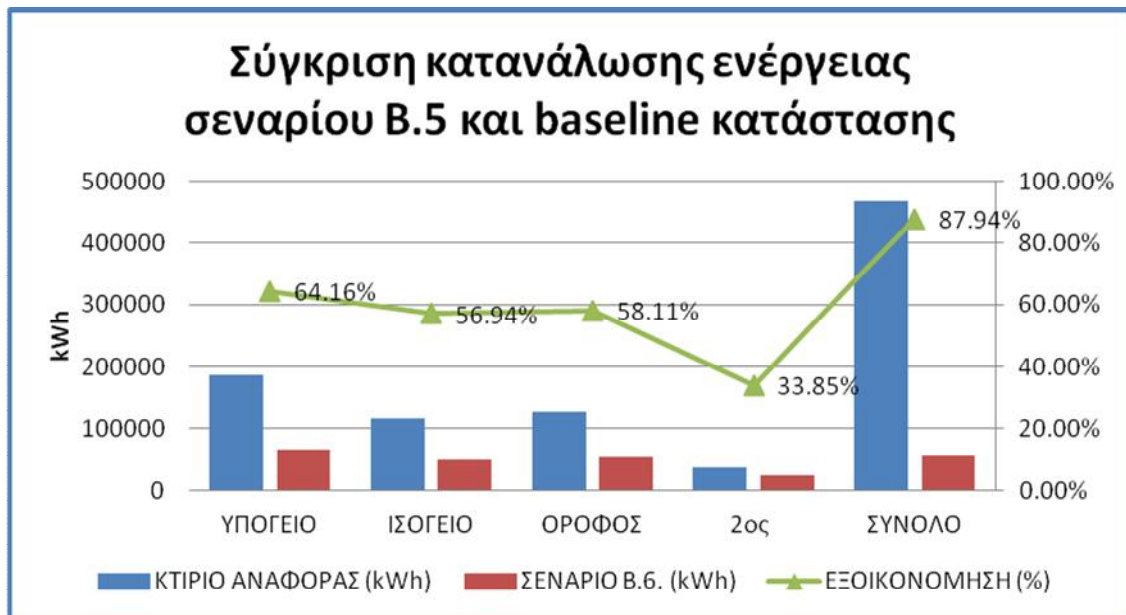


Γράφημα 14: Κατανάλωση Ενέργειας για θέρμανση. Σενάριο B.5. VS Κτίριο Αναφοράς

Δεν παρατηρούμε καμία αλλαγή στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση μεταξύ του 4^{ου} και του 5^{ου} σεναρίου, κάτι απολύτως λογικό.

Πίνακας 32: Συνολικά κατανάλωση ενέργειας 5^{ου} σεναρίου

ΣΥΝΟΛΟ					
	ΥΠΟΓΕΙΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΟΡΟΦΟΣ	2ος	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (kWh)	186235	116893	126887	36888	466905
ΣΕΝΑΡΙΟ B.5. (kWh)	66740	50334	53158	24400	56316
ΔΙΑΦΟΡΑ (kWh)	119495	66559	73728	12488	410588
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)	64.16%	56.94%	58.11%	33.85%	87.94%



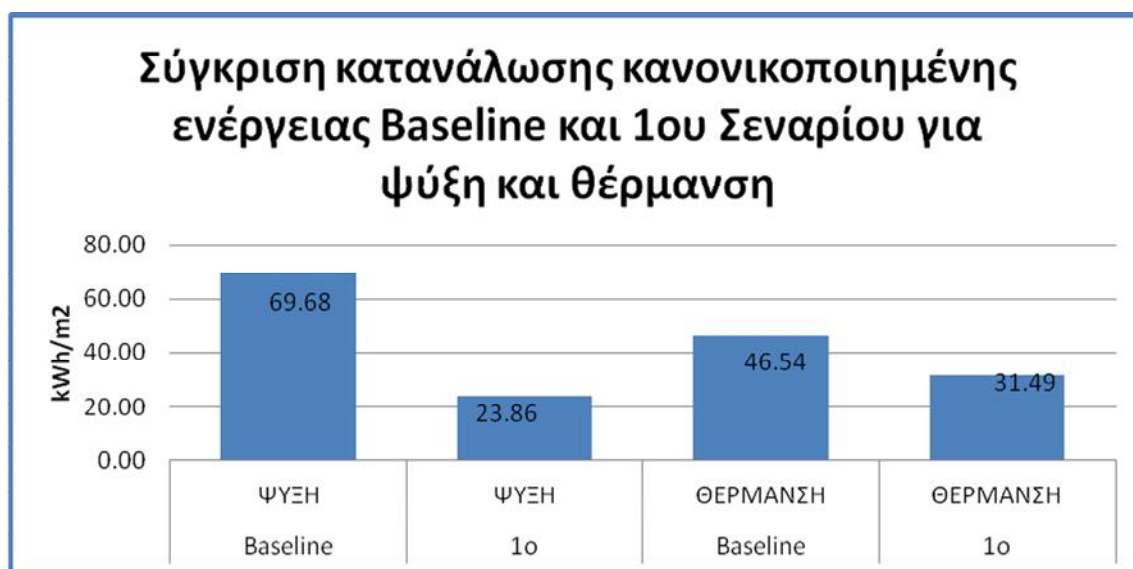
Γράφημα 15: Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας. Σενάριο B.5. VS Κτίριο Αναφοράς

Από τον Πίνακα 32 συμπεραίνουμε πως με την προσθήκη ΑΠΕ στ 4^ο σενάριο πετυχαίνουμε μία εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 88%. Αυτό βέβαια εάν υπολογίσουμε ότι το πραγματικό COP των αντλιών θερμότητας που θα εγκατασταθούν στο σχολείο θα είναι της τάξης του 3,9 και όχι του 2 με βάση το οποίο διενεργήθηκαν τα σενάρια, καταλαβαίνουμε πως στην πράξη το 33^ο Δημοτικό Σχολείο είναι ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Χαρακτηριστικό είναι ότι η κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας είναι μόλις 9,78 kWh/m² από 81,13 kWh/m² που ήταν το κτίριο αναφοράς, με COP=2. Αντίστοιχα η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας φτάνει τις 136.316 kWh/year από 1.350.024 kWh/year του κτιρίου αναφοράς. Δηλαδή η κανονικοποιημένη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι 23,7 kWh/m²

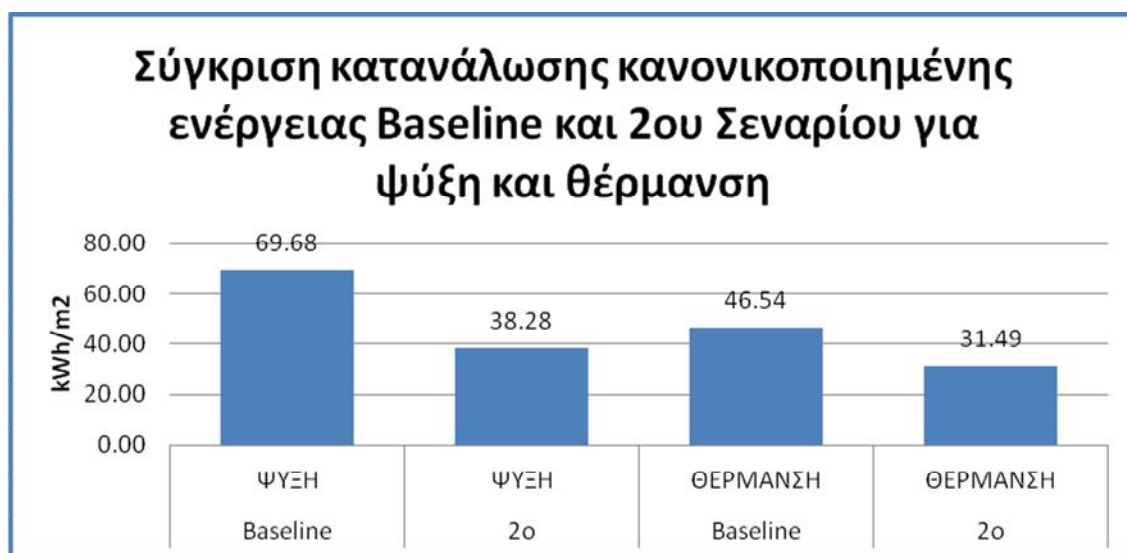
15.2 Σύγκριση αποδοτικότητας μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ανά όροφο

Σε αυτό το κομμάτι ανάλυσης των αποτελεσμάτων ερευνούμε τις βέλτιστες λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας για κάθε όροφο με κριτήριο την κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας.

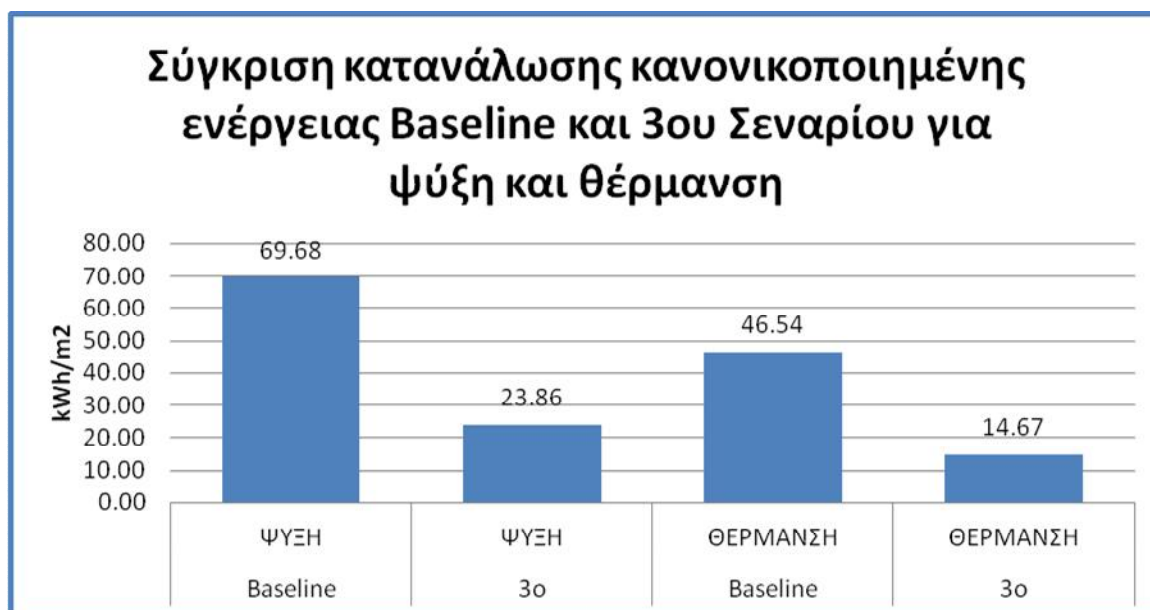
15.2.1 Υπόγειο



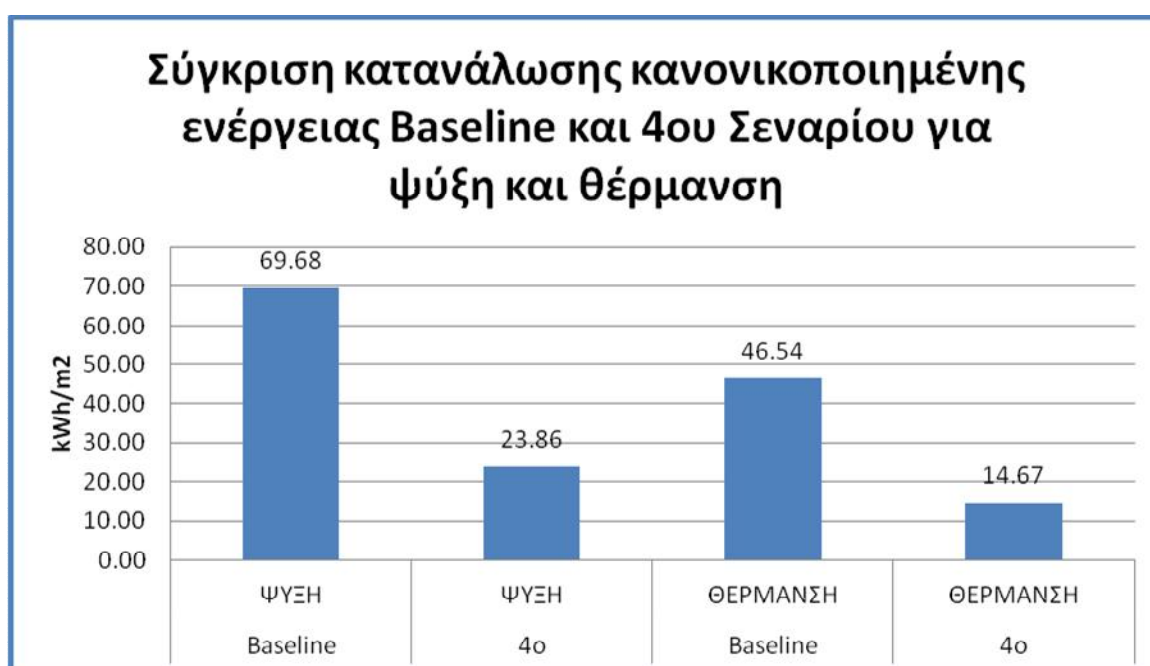
Γράφημα 16: Σύγκριση κατανάλωσης για ψύξη και θέρμανση στο 1^ο σενάριο



Γράφημα 17: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και θέρμανση για το 2^ο σενάριο



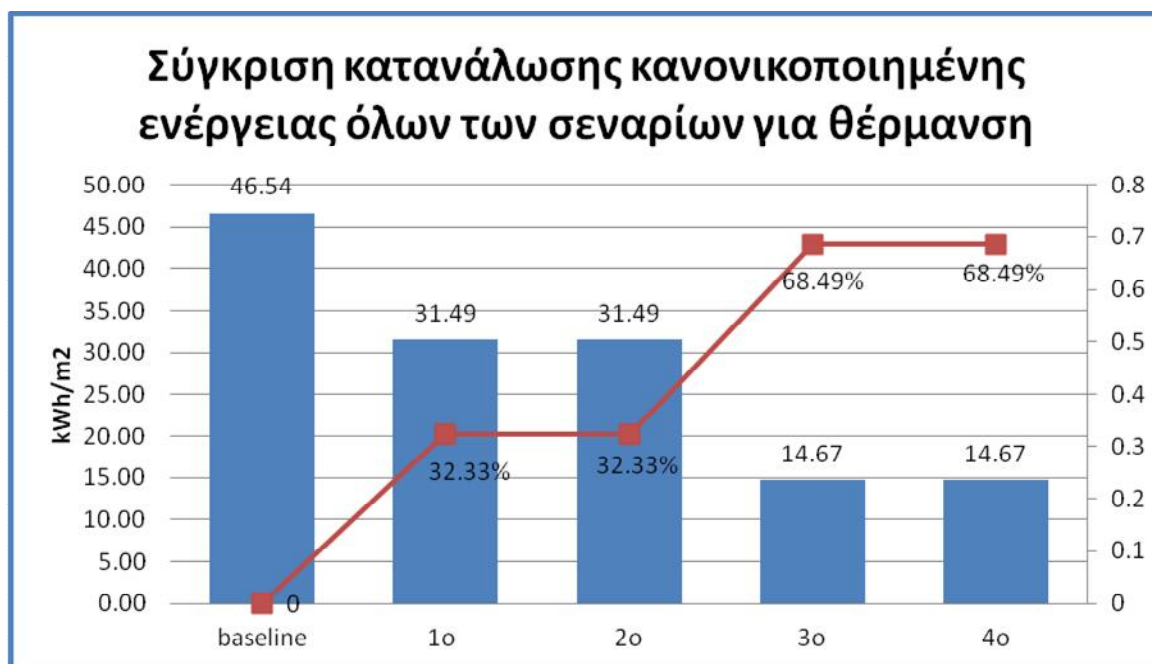
Γράφημα 18: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση στο 3^ο σενάριο



Γράφημα 19: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση στο 4^ο σενάριο

Πίνακας 33: Συγκεντρωτικός συγκριτικός πίνακας όλων των σεναρίων με το κτίριο αναφοράς για την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση

ΥΠΟΓΕΙΟ					
ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	baseline	1o	2o	3o	4o
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)	46.54	31.49	31.49	14.67	14.67
Διαφορά (kWh/m ²)	-	15.05	15.05	31.87	31.87
Εξοικονόμηση (%)	-	32.33%	32.33%	68.49%	68.49%
ΨΥΞΗ					
	baseline	1o	2o	3o	4o
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)	69.68	23.86	38.28	23.86	23.86
Διαφορά (kWh/m ²)	-	45.82	31.40	45.82	45.82
Εξοικονόμηση (%)	-	65.76%	45.06%	65.76%	65.76%

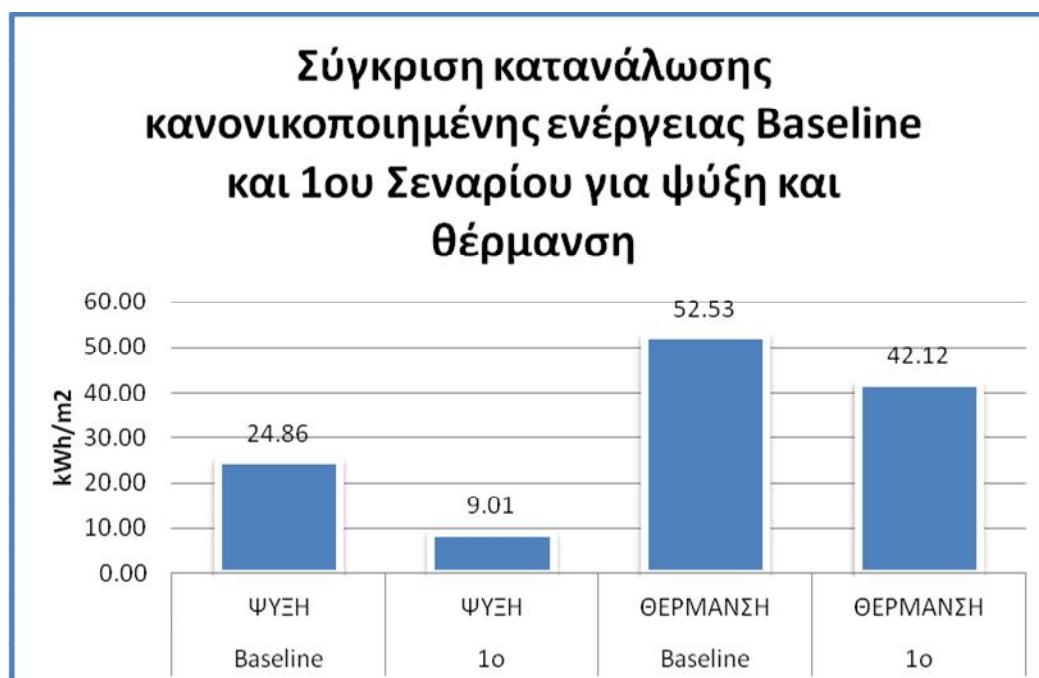


Γράφημα 20: Σύγκριση κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας για θέρμανση μεταξύ των σεναρίων και του κτιρίου αναφοράς

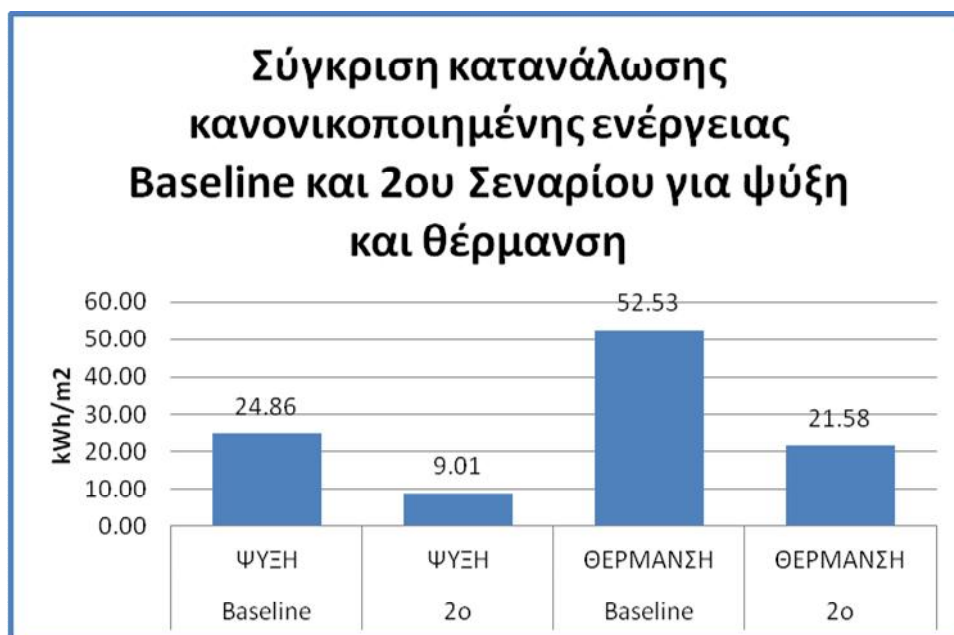


Γράφημα 21: Σύγκριση κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας για ψύξη μεταξύ των σεναρίων και του κτιρίου αναφοράς

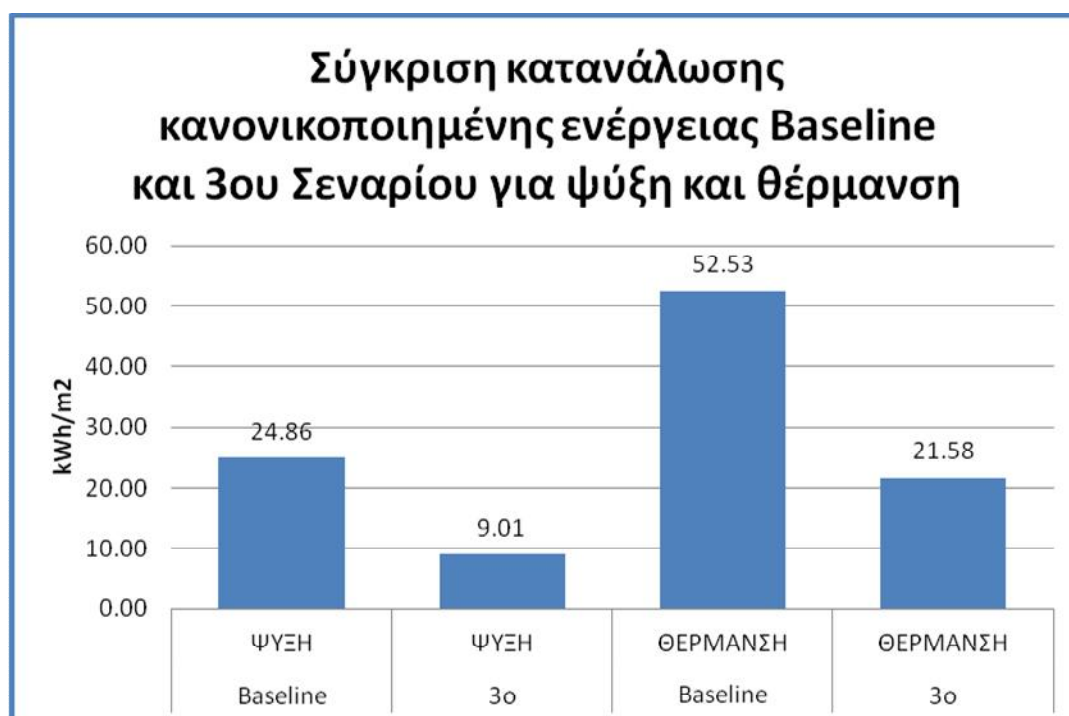
15.2.2 Ισόγειο



Γράφημα 22: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση 1ου σεναρίου



Γράφημα 23: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση 2ου σεναρίου



Γράφημα 24: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση 3ου σεναρίου



Γράφημα 25: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση 1ου σεναρίου

Πίνακας 34: Συγκεντρωτικός, συγκριτικός πίνακας ισογείου για την κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας, μεταξύ του κτιρίου αναφοράς και όλων των σεναρίων που διενεργήθηκαν

ΙΣΟΓΕΙΟ					
ΨΥΞΗ					
	baseline	1ο	2ο	3ο	4ο
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)	49.71	18.03	18.03	18.03	13.22
Διαφορά (kWh/m ²)	-	31.69	31.69	31.69	36.50
Εξοικονόμηση (%)	-	63.74%	63.74%	63.74%	73.41%

ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	baseline	1ο	2ο	3ο	4ο
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)	65.67	65.67	26.97	26.97	26.97
Διαφορά (kWh/m ²)	-	0.00	38.69	38.69	38.69
Εξοικονόμηση (%)	-	0.00%	58.92%	58.92%	58.92%

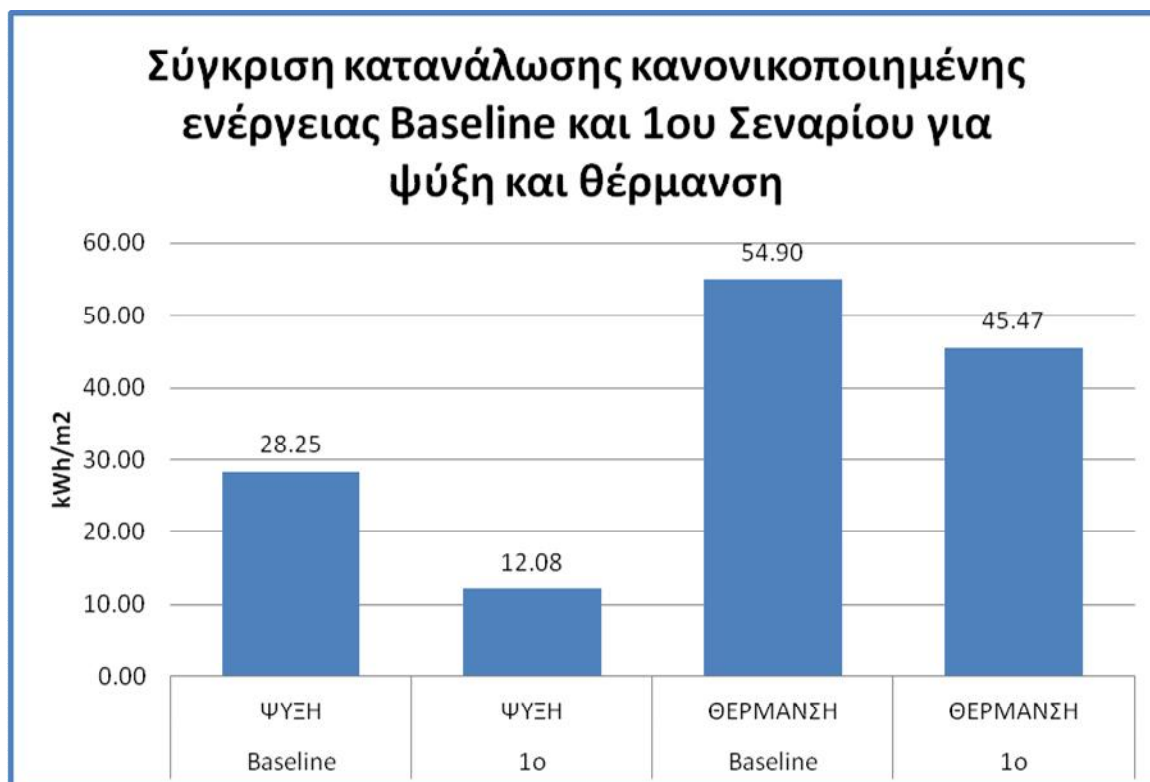


Γράφημα 26: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ σεναρίων και κτιρίου αναφοράς, για ψύξη

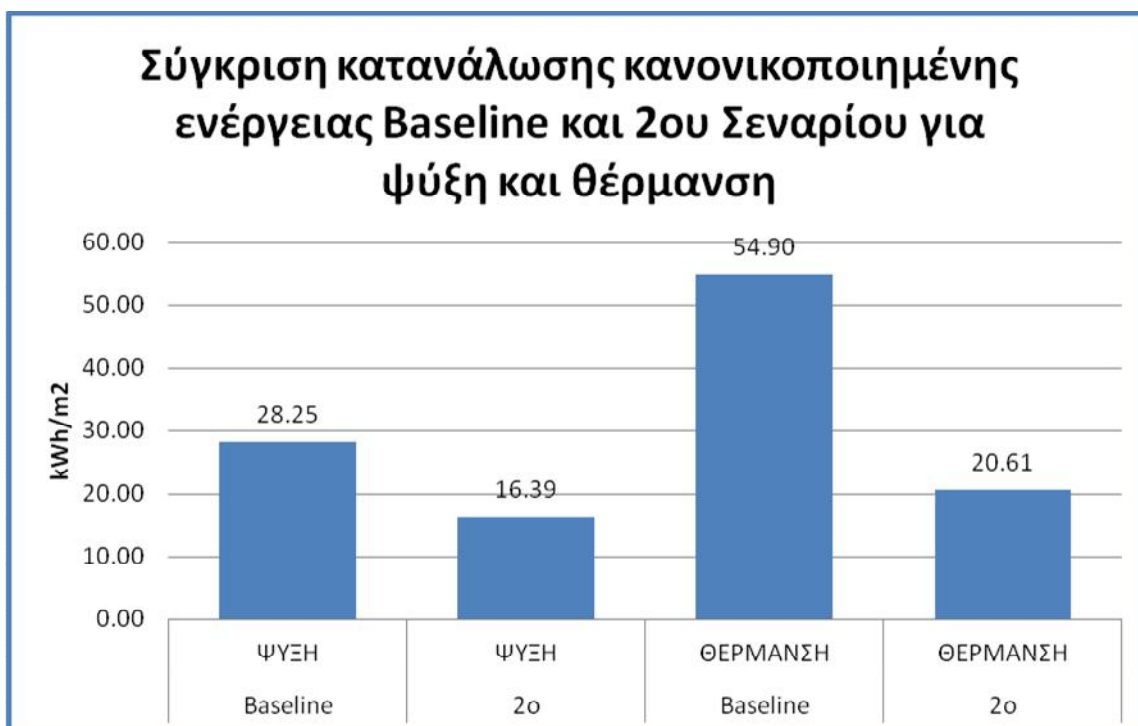


Γράφημα 27: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ σεναρίων και κτιρίου αναφοράς, για θέρμανση

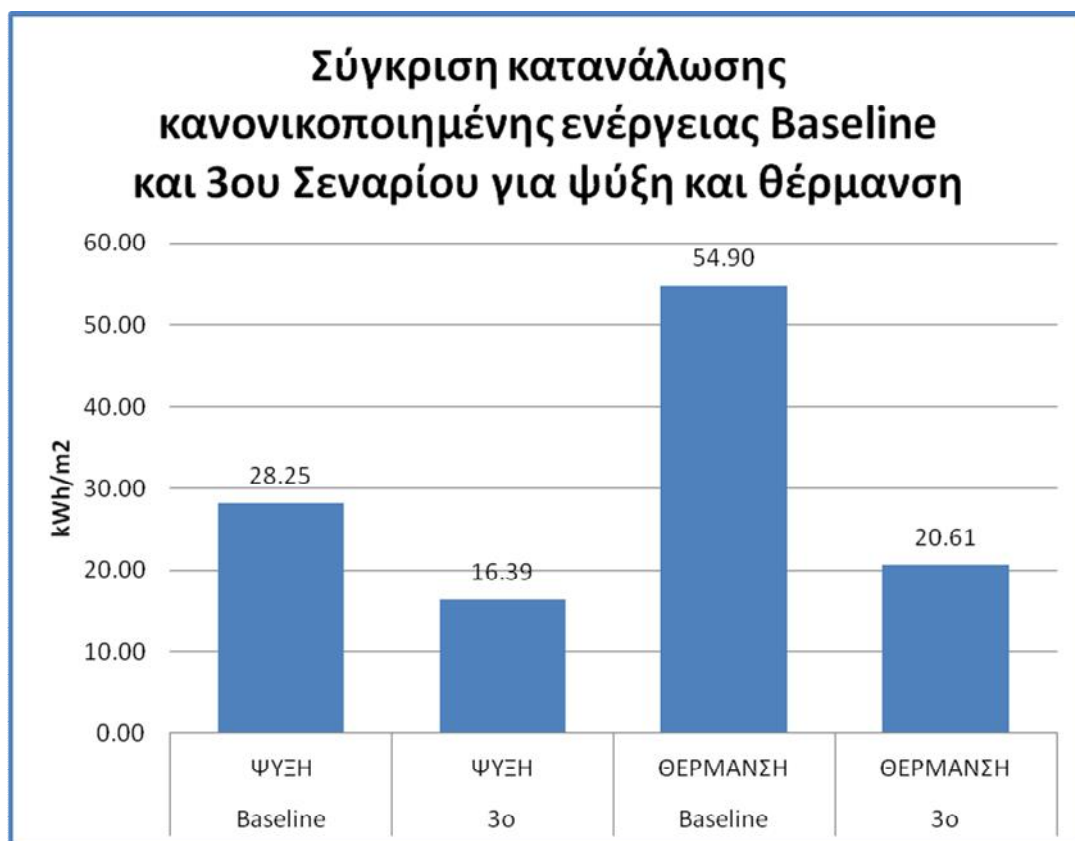
15.2.3 1^{ος} Όροφος



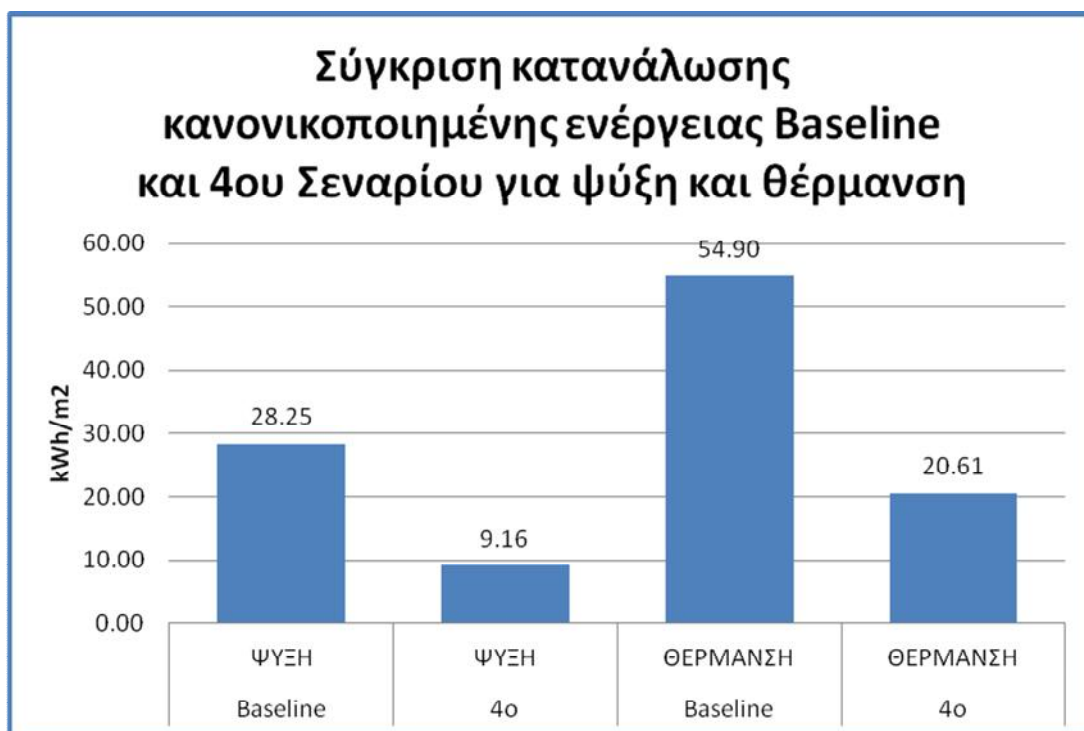
Γράφημα 28: Κατανάλωση Ενέργειας 1^{ου} σεναρίου για ψύξη και για θέρμανση



Γράφημα 29: Κατανάλωση Ενέργειας 2^{ου} σεναρίου για ψύξη και για θέρμανση



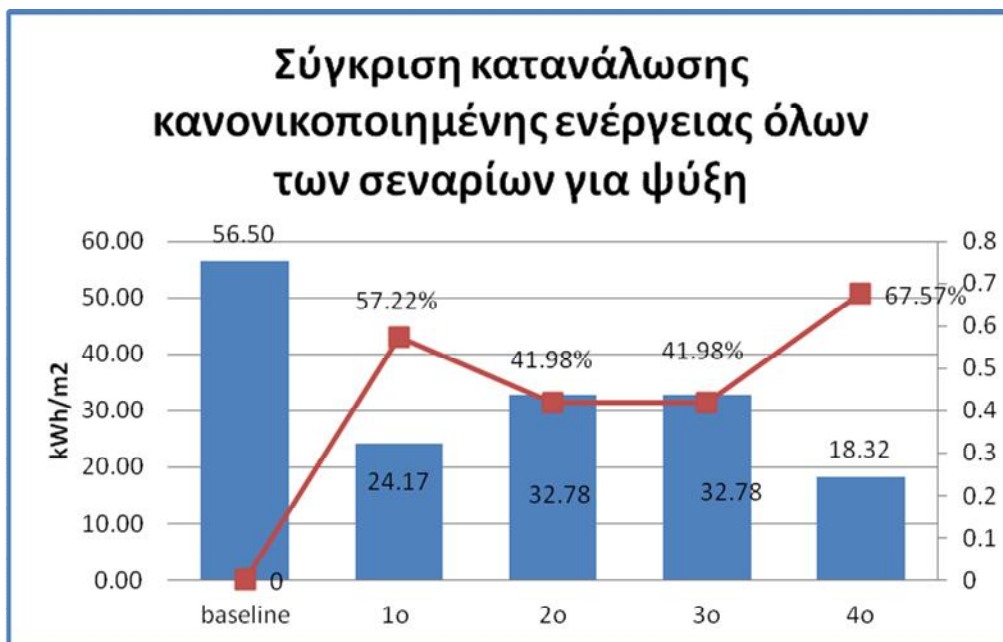
Γράφημα 30: Κατανάλωση Ενέργειας 3^{ου} σεναρίου για ψύξη και για θέρμανση



Γράφημα 31: Κατανάλωση Ενέργειας 4^{ου} σεναρίου για ψύξη και για θέρμανση

Πίνακας 35: Συγκεντρωτικός, συγκριτικός πίνακας εξοικονόμησης κανονικοποιημένης ενέργειας για θέρμανση και για ψύξη, μεταξύ του κτιρίου αναφοράς και των σεναρίων που διενεργήθηκαν

1ος ΟΡΟΦΟΣ					
ΨΥΞΗ					
	baseline	1ο	2ο	3ο	4ο
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m²)	56.50	24.17	32.78	32.78	18.32
Διαφορά (kWh/m²)	-	32.33	23.72	23.72	38.17
Εξοικονόμηση (%)	-	57.22%	41.98%	41.98%	67.57%
ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	baseline	1ο	2ο	3ο	4ο
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m²)	68.63	56.84	25.76	25.76	25.76
Διαφορά (kWh/m²)	-	11.79	42.87	42.87	42.87
Εξοικονόμηση (%)	-	17.18%	62.47%	62.47%	62.47%



Γράφημα 32: Σύγκριση εξοικονόμησης κανονικοποιημένης ενέργειας , μεταξύ σεναρίων και κτιρίου αναφοράς, για ψύξη

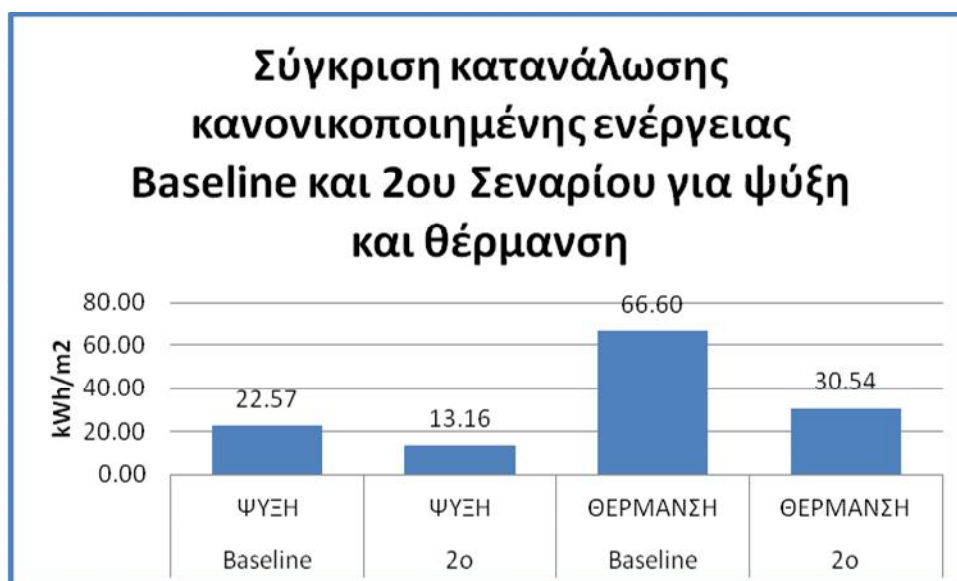


Γράφημα 33: Σύγκριση εξοικονόμησης κανονικοποιημένης ενέργειας , μεταξύ σεναρίων και κτιρίου αναφοράς, για θέρμανση

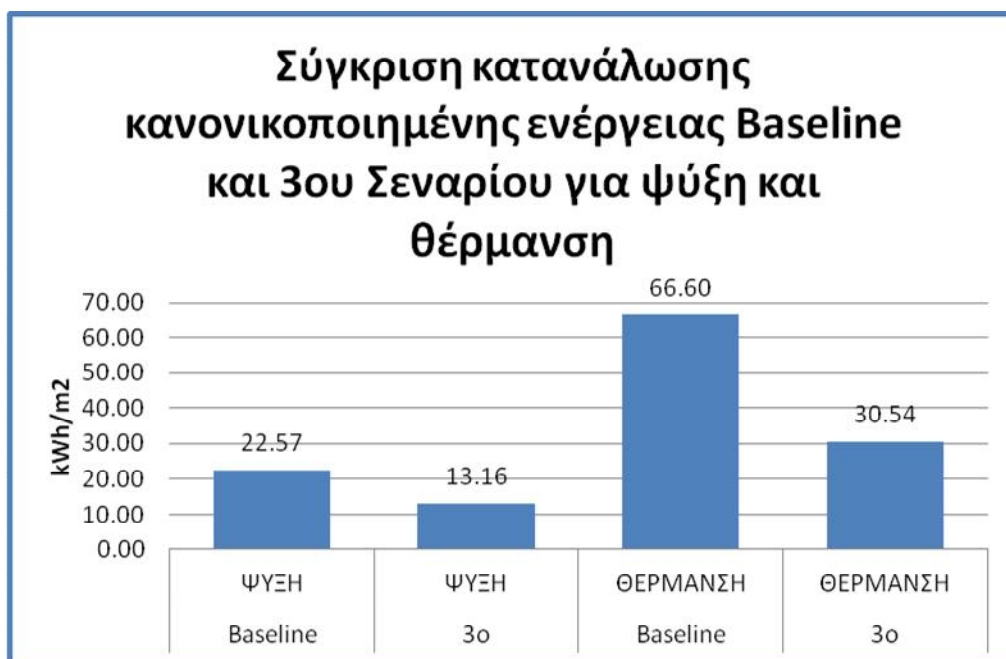
15.2.4 2^{ος} Όροφος και βιβλιοθήκη



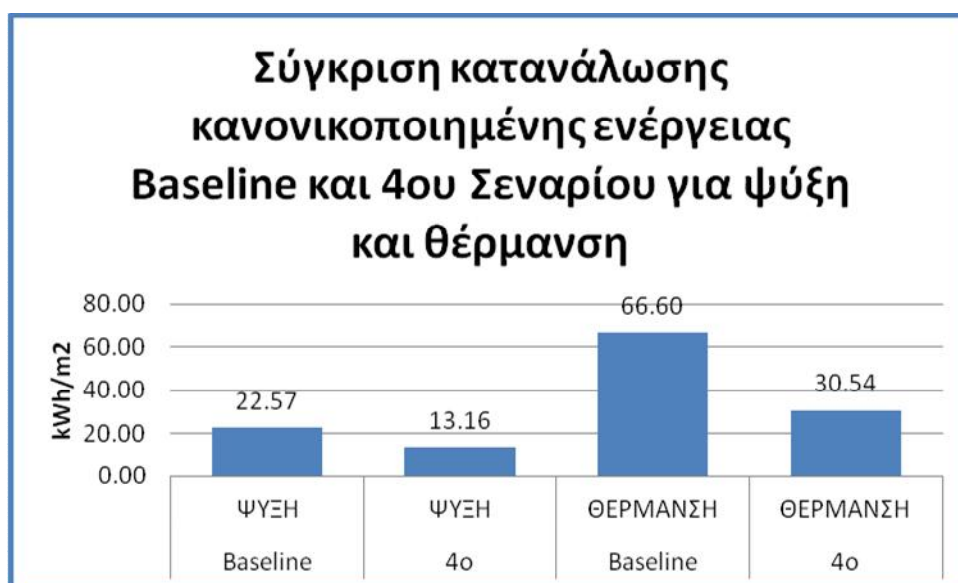
Γράφημα 34: Κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας για θέρμανση και για ψύξη, στο 1^ο σενάριο



Γράφημα 35: Κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας για θέρμανση και για ψύξη, στο 2^ο σενάριο



Γράφημα 36: Κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας για θέρμανση και για ψύξη, στο 3ο σενάριο

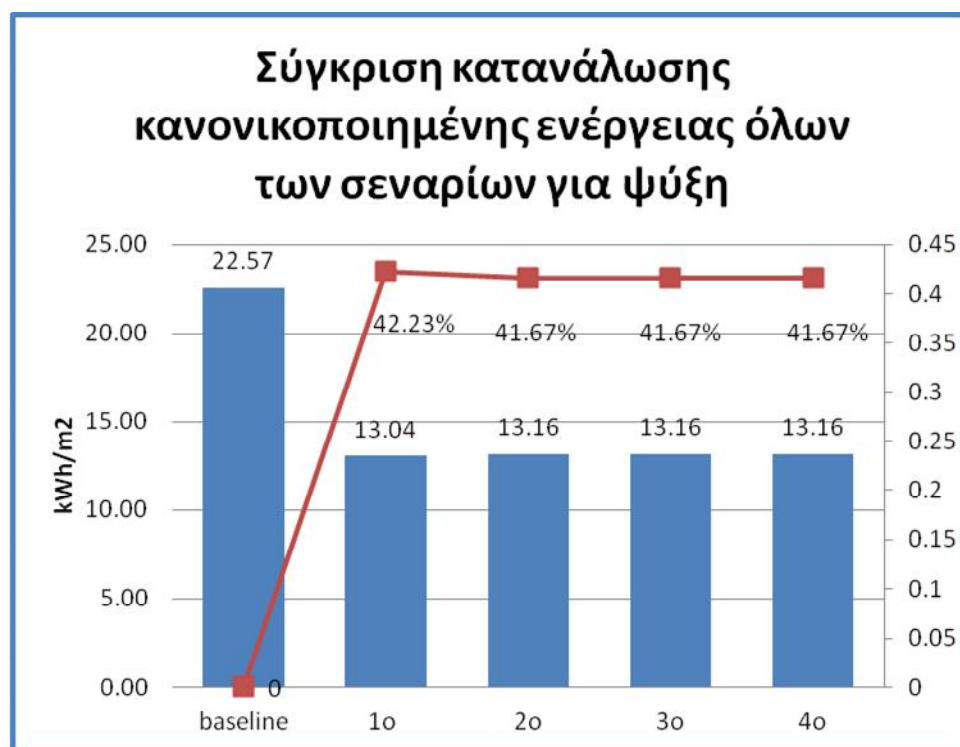


Γράφημα 37: Κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας για θέρμανση και για ψύξη, στο 4ο σενάριο

Πίνακας 36: Συγκεντρωτικός, συγκριτικός πίνακας κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας , μεταξύ κτιρίου αναφοράς και σεναρίων

2ος ΟΡΟΦΟΣ					
ΨΥΞΗ					
	baseline	1ο	2ο	3ο	4ο
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)	22.57	13.04	13.16	13.16	13.16
Διαφορά (kWh/m ²)	-	9.53	9.40	9.40	9.40
Εξοικονόμηση (%)	-	42.23%	41.67%	41.67%	41.67%

ΘΕΡΜΑΝΣΗ					
	baseline	1ο	2ο	3ο	4ο
κανονικοποιημένη κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)	66.60	49.65	30.54	30.54	30.54
Διαφορά (kWh/m ²)	-	16.95	36.07	36.07	36.07
Εξοικονόμηση (%)	-	25.45%	54.15%	54.15%	54.15%



Γράφημα 38: Σύγκριση κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας μεταξύ κτιρίου αναφοράς και σεναρίων, για ψύξη



Γράφημα 39: Σύγκριση κατανάλωσης κανονικοποιημένης ενέργειας μεταξύ κτιρίου αναφοράς και σεναρίων, για θέρμανση

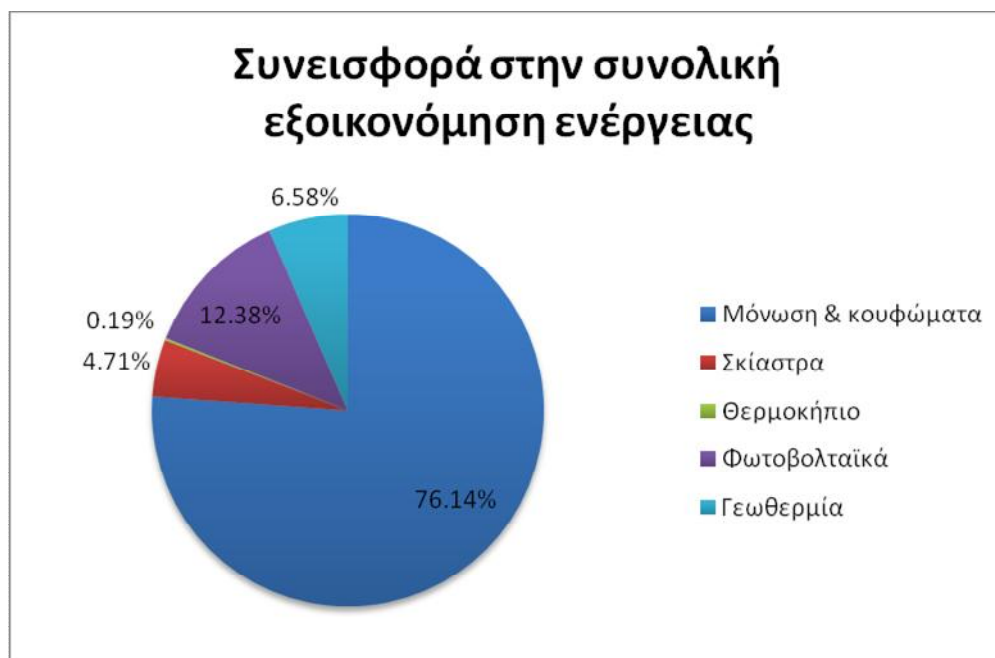
16 Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας

Το σύνολο των σεναρίων που διενεργήθηκαν αποδεικνύει ότι είναι εφικτό το 33^ο Δημοτικό Σχολείο να είναι κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Κρίσιμο ρόλο σε αυτό παίζουν τα εξής στοιχεία όπως βγαίνει ως συμπέρασμα από την μοντελοποίηση του κτιρίου:

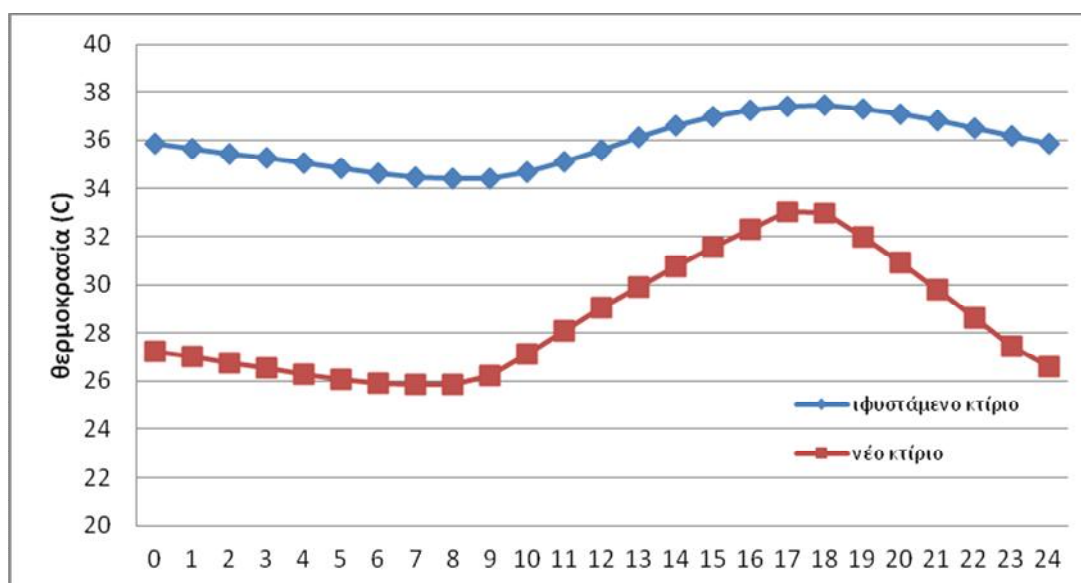
1. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός. Δηλαδή ο προσανατολισμός του κτιρίου, η προσπάθεια να αυξήσουμε τα θερμικά κέρδη από τον νότο με μεγάλα ανοίγματα και με την κατασκευή θερμοκηπίου για τον χειμώνα και να τα μειώσουμε με μεταβλητά σκίαστρα το καλοκαίρι. Η κατασκευή της ηλιακής καμινάδας στο κέντρο του κτιρίου που με τα μεταβλητά της στοιχεία στην οροφή δίνει την δυνατότητα για ανακυκλοφορία του αέρα μόνο το καλοκαίρι οπότε και υπάρχει ανάγκη για φυσικό δροσισμό
2. Τα υλικά υψηλής ενεργειακής απόδοσης που επιλέχτηκαν τόσο για την κατασκευή της τοιχοποιίας και της οροφής, όσο και των κουφωμάτων του κτιρίου.
3. Τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία που καλύπτουν τις λοιπές ανάγκες σε φορτία. Καθώς και το σύστημα γεωθερμίας που ανεβάζει την ήδη υψηλή απόδοση των αντλιών θερμότητας από 3,9 σε 5 έως 6 COP.

Εικόνα 47: Συνεισφορά των διάφορων τεχνικών του 4^{ου} σεναρίου στην εξοικονόμηση ενέργειας



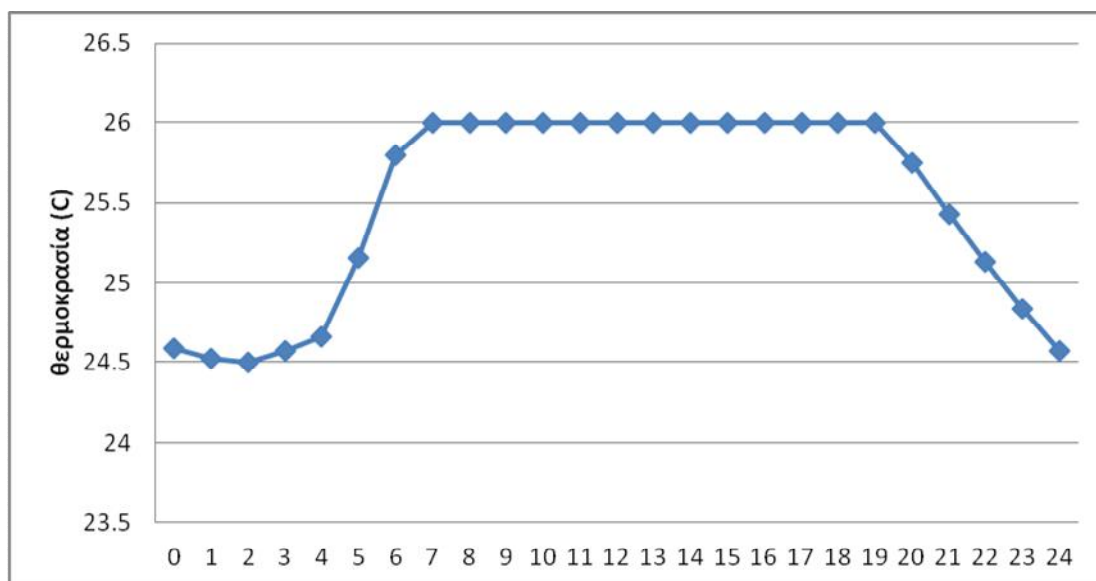
17 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Στα παρακάτω γραφήματα συγκρίνεται το θερμοκρασιακό προφίλ του κτιρίου αναφοράς και του νέου κτιρίου κατά την πιο θερμή και πιο ψυχρή ημέρα του έτους, σε κάθε όροφο. Στην **Εικόνα 48** παρουσιάζεται η σύγκριση του προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας στο υπόγειο του κτιρίου αναφοράς και του νέου κτιρίου τη θερμότερη μέρα του χρόνου, χωρίς να ληφθεί υπόψη η χρήση του κλιματισμού του κτιρίου. Όπως είναι φανερό, στο βελτιωμένο σενάριο τα επίπεδα θερμοκρασίας διατηρούνται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα κατά περίπου 8°C.



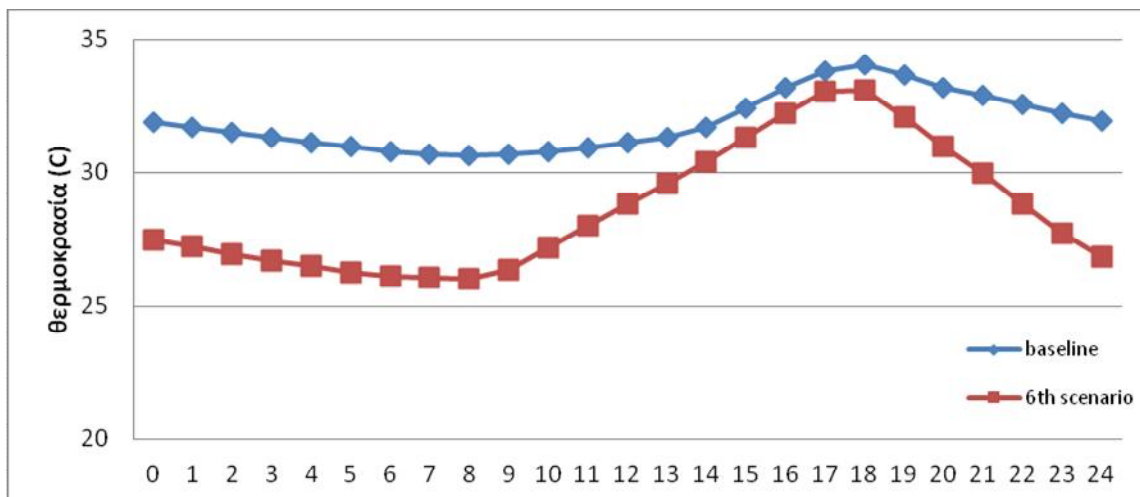
Εικόνα 48. Σύγκριση του προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας στο υπόγειο του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου τη θερμότερη μέρα του χρόνου.

Στο νέο κτίριο προβλέπεται να λειτουργήσει κεντρικό σύστημα κλιματισμού και αερισμού το οποίο θα λειτουργεί με την εγκατάσταση Συστήματος Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίου (BEMS) για την πλήρη αυτοματοποίηση του κτιρίου. Το σύστημα αυτό θα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη. Προβλέπεται σε κάθε χώρο να εγκατασταθούν κατάλληλοι αισθητήρες που να λαμβάνουν μετρήσεις και ανάλογα με τη θερμοκρασία να θέτουν σε λειτουργία το σύστημα κλιματισμού (ή να το απενεργοποιούν). Η θερμοκρασία των εσωτερικών των αιθουσών διδασκαλίας θα επηρεάζεται εκτός από την εξωτερική θερμοκρασία και από τη φυσική δραστηριότητα των μαθητών, δηλ. από τα εσωτερικά κέρδη. Σαν όριο θερμοκρασίας θέρμανσης (setpoint) για τη διασφάλιση της θερμικής άνεσης των μαθητών το χειμώνα ορίζονται οι 21°C και σαν θερμοκρασία ψύξης το καλοκαίρι οι 26°C. Επίσης θα υπάρχει η δυνατότητα μεμονωμένου χειρισμού της θερμοκρασίας σε κάθε αίθουσα ξεχωριστά. Στην **Εικόνα 49** παρουσιάζεται η εσωτερική θερμοκρασία των αιθουσών του κτιρίου μετά από την ενεργοποίηση του κλιματισμού κατά τις ώρες λειτουργίας του σχολείου.

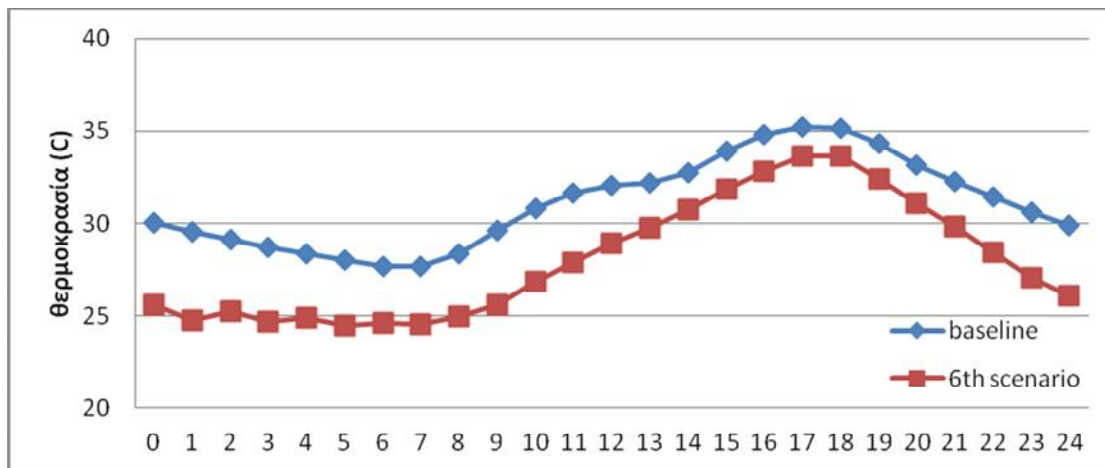


Εικόνα 49. Θερμοκρασία αιθουσών του υπογείου του σχολείου μετά από την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού.

Τα αντίστοιχα γραφήματα σύγκρισης της εσωτερικής θερμοκρασίας των αιθουσών του σχολείου για το ισόγειο και τον πρώτο όροφο κατά τη θερμότερη μέρα του χρόνου φαίνονται στην Εικόνα 50 και Εικόνα 51. Παρατηρείται ξανά η μειωμένη εσωτερική θερμοκρασία του νέου κτιρίου σε σχέση με το υφιστάμενο.



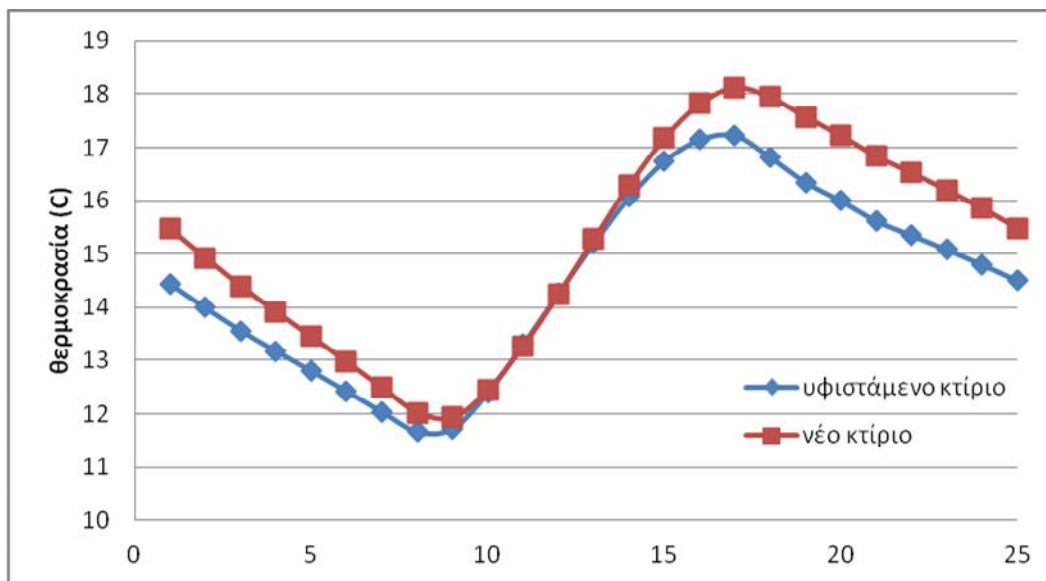
Εικόνα 50. Σύγκριση του προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας στο ισόγειο του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου τη θερμότερη μέρα του χρόνου.



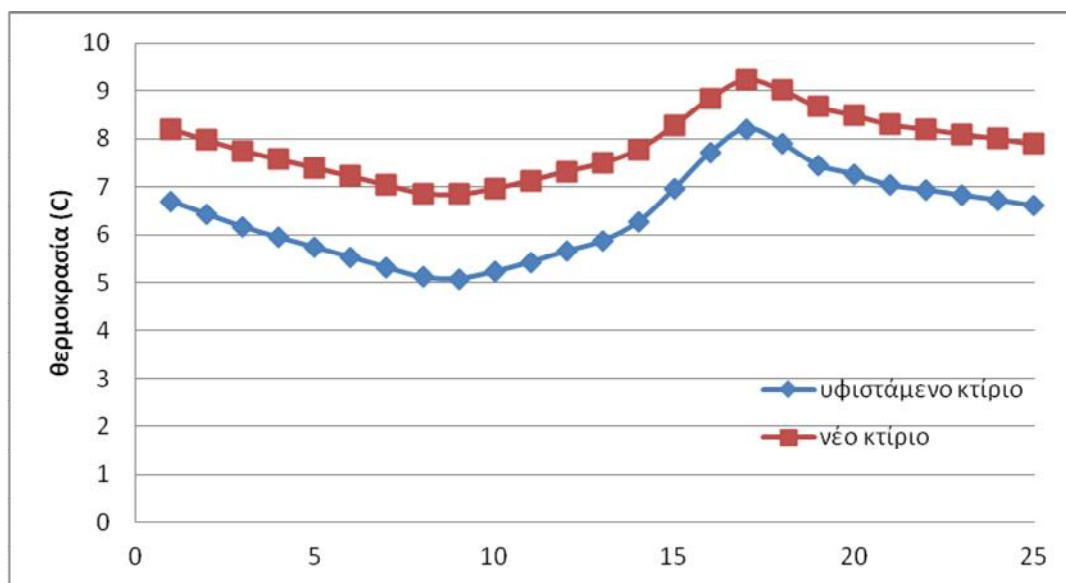
Εικόνα 51. Σύγκριση του προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας στον πρώτο όροφο του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου τη θερμότερη μέρα του χρόνου.

Σε όλα τα γραφήματα παρατηρείται επίσης μία σταδιακή αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας μετά το μεσημέρι μεταξύ 13:00 και 18:00, δηλαδή κατά τη λειτουργία του ολοήμερου προγράμματος του σχολείου. Η αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας οδηγεί σε αυτή την σταδιακή αύξηση και της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου και εξηγείται λόγω της ενισχυμένης μόνωσης του κτιρίου και λόγω της μη ενεργοποίησης του κλιματισμού και του μηχανικού αερισμού για την εκτόνωση των θερμικών φορτίων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός του νέου κτιρίου είναι βασισμένος σε πολύ μεγάλο μέρος στον φυσικό αερισμό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, γεγονός το οποίο στο παρόν στάδιο είναι πολύ δύσκολο να προσομοιωθεί με ακρίβεια στο συγκεκριμένο μοντέλο. Σε κάθε περίπτωση ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μηχανικού κλιματισμού και αερισμού, λαμβάνοντας έτσι υπόψη τη δυσμενέστερη περίπτωση από άποψη λειτουργικού κόστους.

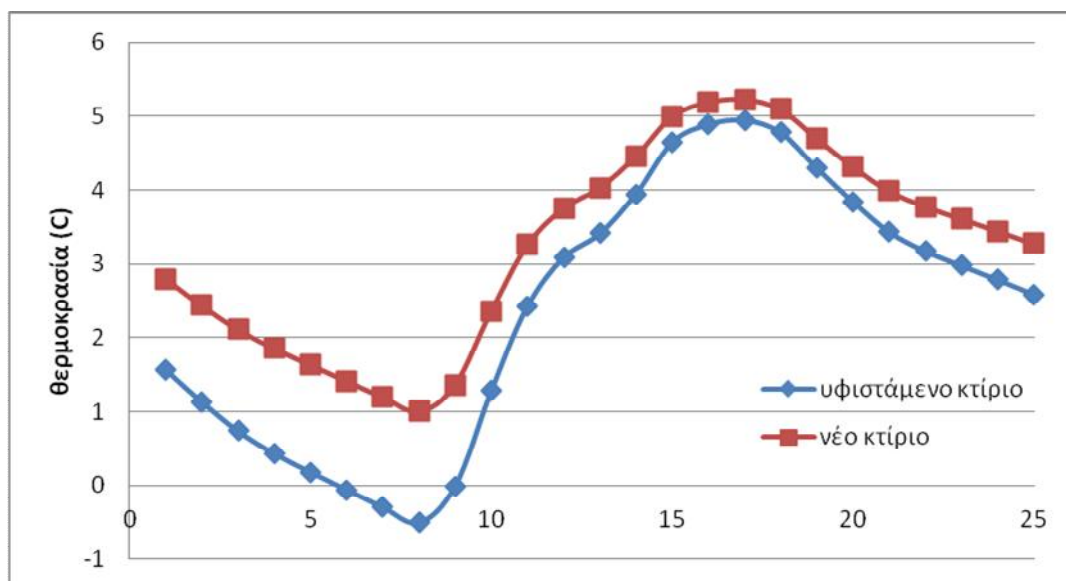
Το θερμοκρασιακό προφίλ των αιθουσών του νέου σχολείου μελετήθηκε επίσης και κατά τη διάρκεια της ψυχρότερης ημέρας του έτους σε σύγκριση με το υφιστάμενο κτίριο, χωρίς την ενεργοποίηση του κλιματισμού, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 52, Εικόνα 53 και Εικόνα 54.



Εικόνα 52. Σύγκριση του προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας στο υπόγειο του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου την ψυχρότερη μέρα του χρόνου.



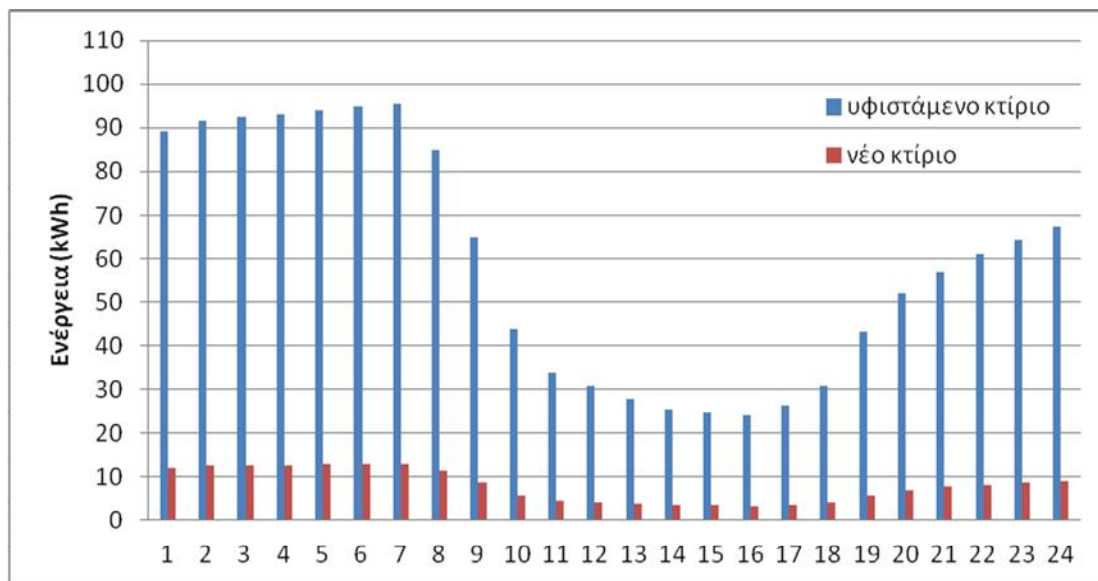
Εικόνα 53. Σύγκριση του προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας στο ισόγειο του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου την ψυχρότερη μέρα του χρόνου.



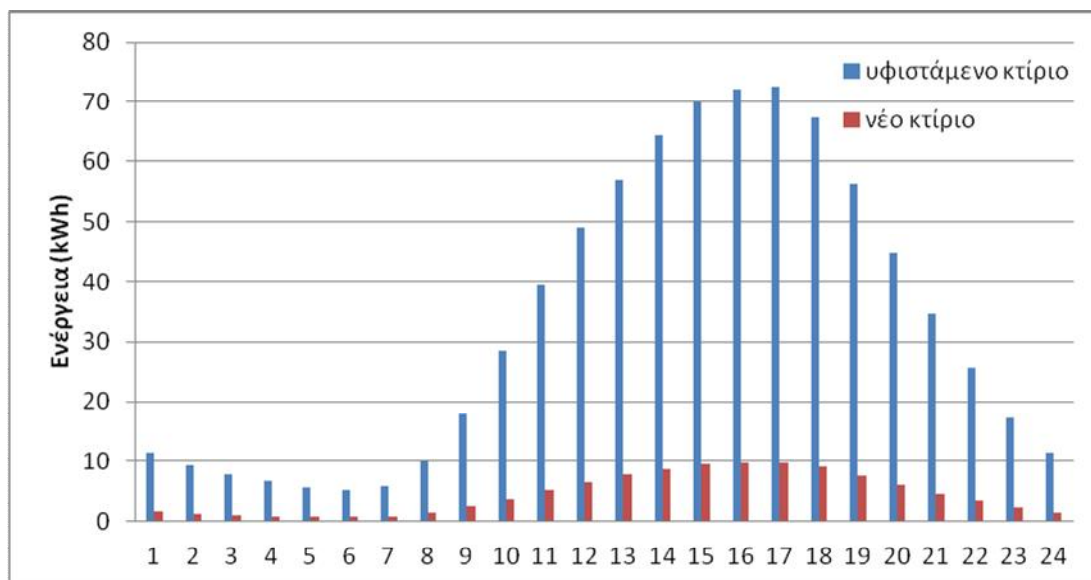
Εικόνα 54. Σύγκριση του προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας στον πρώτο όροφο του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου την ψυχρότερη μέρα του χρόνου.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται η αυξημένη θερμοκρασία στο εσωτερικό του νέου κτιρίου σε σχέση με το υφιστάμενο. Χωρίς την ενεργοποίηση του κλιματισμού η θερμοκρασία μέσα στις αίθουσες αυξάνεται λόγω των εσωτερικών κερδών αλλά είναι αρκετά χαμηλή, λόγω της χαμηλής εξωτερικής θερμοκρασίας.

Εκτός από το προφίλ της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου, όπου δε λαμβάνεται υπόψη η χρήση του κλιματισμού, μεγάλης σημασίας είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου, θεωρώντας ως θερμοκρασία ενεργοποίησης της θέρμανσης τους 21°C και της ψύξης τους 26°C . Η κατανάλωση ενέργειας στον πρώτο όροφο του κτιρίου την ψυχρότερη ημέρα και τη θερμότερη ημέρα του χρόνου, φαίνονται στην Εικόνα 55 και Εικόνα 56.

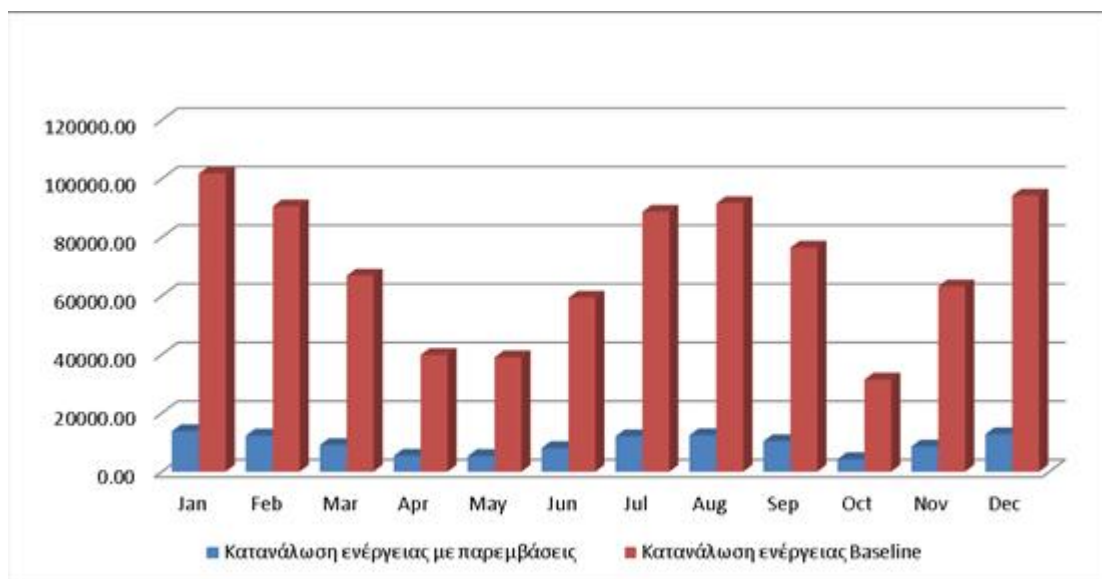


Εικόνα 55. Συνολική κατανάλωση ενέργειας στο υφιστάμενο και νέο σχολείο, στον πρώτο όροφο, την ψυχρότερη ημέρα του χρόνου



Εικόνα 56. Συνολική κατανάλωση ενέργειας στο υφιστάμενο και νέο σχολείο, στον πρώτο όροφο, τη θερμότερη ημέρα του χρόνου

Στα παραπάνω γραφήματα δεν έχει ληφθεί υπόψη το σύστημα γεωθερμίας το οποίο θα λειτουργεί για την επιπλέον κάλυψη των αναγκών σε ΖΝΧ. Τέλος στην Εικόνα 57. φαίνεται η συνολική μηνιαία κατανάλωση ενέργειας του υφιστάμενου σε σχέση με το νέο κτίριο.



Εικόνα 57. Συνολική μηνιαία κατανάλωση ενέργειας του υφιστάμενου (κόκκινο) και νέου (μπλε) κτιρίου

Οι συνολικές επεμβάσεις που προτείνονται στο κτίριο επιφέρουν μία συνολική εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 88%. Η υπόλοιπη κατανάλωση μπορεί να καλυφθεί από την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας με σύστημα γεωθερμίας. Λαμβάνοντας υπόψη το φυσικό αερισμό και το βελτιωμένο μικροκλίμα του εσωτερικού και εξωτερικού του σχολείου, όπως επίσης και την εγκατάσταση συστήματος βέλτιστου ελέγχου στην μονάδα κλιματισμού/αερισμού και στη χρήση του τεχνητού φωτισμού, τα αποτελέσματα αναμένονται να είναι ακόμα πιο ενθαρρυντικά για τη μετατροπή του παλαιού κτιρίου σε ένα νέο σχολείο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

18 Συμπεράσματα

Κατά την ανάλυση ενεργειακής αποδοτικότητας αναλύθηκαν έξι σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας με το συνδυασμό του βελτιωμένου κελύφους του νέου κτιρίου και μικρών μονάδων ΑΠΕ, ώστε να επιτευχθεί ένα σχολείο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Από τη μοντελοποίηση του κτιρίου προέκυψε ότι η συνεισφορά του κελύφους είναι με διαφορά μεγαλύτερη στην εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ αφού ληφθούν υπόψη η τοποθέτηση σκιάστρων και θερμοκηπίου, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και συστήματος γεωθερμίας δρουν προσθετικά στην επίτευξη ενός κτιρίου σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

19 Προτάσεις για την συνέχεια

Μέσα από την αναλυτική σύγκριση των αποτελεσμάτων που διαπερνάει όλη την διπλωματική εργασία εξάγεται το συμπέρασμα ότι με τις βέλτιστες λύσεις που προτείνονται το 33^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης μπορεί να γίνει σχολείο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, συνδυάζοντας την βιοκλιματική κατασκευή, σύγχρονα κατασκευαστικά υλικά υψηλής ενεργειακής απόδοσης και εφαρμόζοντας τεχνολογίες ΑΠΕ.

Ωστόσο αντικειμενικά τα αποτελέσματα του μοντέλου δεν είναι σίγουρο ότι ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα 100%. Γι αυτό τον λόγο προτείνεται μετά το πέρας της κατασκευής τους να γίνει επικύρωση των αποτελεσμάτων αρχικά συγκρίνοντας την πραγματική εσωτερική θερμοκρασία θερμικών ζωνών χρησιμοποιώντας αισθητήρες, για μια χρονική περίοδο που δεν λειτουργεί το HVAC με τις αντίστοιχες τιμές του μοντέλου. Αντίστοιχα και με μία χρονική περίοδο με τις αντλίες θερμότητας σε λειτουργία. Έτσι θα μπορέσουμε να ελέγξουμε τόσο το πόσο κοντά στην πραγματικότητα βρίσκεται το μοντέλο όσον αφορά το κέλυφος, αλλά και όσον αφορά τον μηχανολογικό εξοπλισμό.

Σε περίπτωση σημαντικής αστοχίας υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, μέσω προσθήκης φωτοβολταϊκών.

Ακόμα σημαντικό ρόλο σε κάθε περίπτωση μπορεί να διαδραματίσει η εγκατάσταση αυτοματισμών σε παράθυρα και φώτα που θα ελέγχονται από την παρουσία χρηστών στα δωμάτια και τις συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης με την χρήση ειδικών αισθητήρων.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg Andreas Thewesa,*, Stefan Maasa,**, Frank Scholzena, Danièle Waldmanna, Arno Zürbes.
- [2] «Developing an Innovative Educational Program for Energy Saving and Carbon Reduction: An Elementary School Example. Huang, Yinghsiu Chou, Ying-Chyi Yen, Hong-Wei Bai, Huan-Chen».
- [3] Official Journal of the European Union. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the council, 2012.
- [4] «T.O.T.E.E. 20701-1/2010».
- [5] EU Energy and Transport in Figures, Statistical Pocket Book 2007/2008.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- [7] «Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city».
- [8] «T. Mechanism and P. H. Sector, “ Κατανάλωση Ενέργειας στα Δημόσια Νοσοκομεία 1 ,” pp. 1–15.».
- [9] «Educational Program for Promoting the Application of Bioclimatic and Sustainable Architecture in Elementary Schools».
- [10] Net-zero energy building schools Zeiler, Wim.
- [11] «Climatic considerations in school building design in the hot–humid climate for reducing energy consumption. Perez, Yael Valerie».
- [12] «A decision support model for reducing electric energy consumption in elementary school facilities. Hong, Taehoon».
- [13] Energy consumption and potential energy savings in old school buildings. Butala, Vincenc.
- [14] Katafygiotou & Serghides 2014; Dimoudi & Kostarela 2009; Dimoudi 2013.
- [15] Dascalaki & Sermpetzoglou 2011.
- [16] Investigations of Nearly (net) Zero Energy Residential Buildings in Beijing. Tian, Zhiyong.

- [17] «Performance of a coupled cooling system with earth-to-air heat exchanger and solar chimney. Li, H. Yu, Y. Niu, F. Shafik, M. Chen, B.».
- [18] D. H. Li, Zero energy buildings and sustainable development implications – A review.
- [19] Photovoltaic systems in school units of Greece and their consequences. Agisilaos Economou.
- [20] J. S. K. Kolano, Analysis of the Possibility of Using Solar Energy To Power Selected Measuring Drives in Agriculture. Kolano, Jan Stelmach, Katarzyna.