



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίριο γραφείων με  
χρήση φωτοβολταϊκών και συστημάτων αυτοματισμού.**

Διπλωματική Εργασία

Λάρδας Βασίλειος-Χρήστος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Σεπτέμβριος 2022





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίριο γραφείων με  
χρήση φωτοβολταϊκών και συστημάτων αυτοματισμού.**

Διπλωματική Εργασία

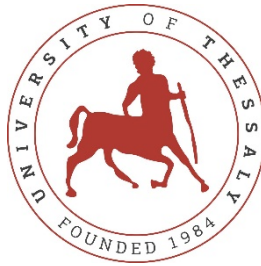
Λάρδας Βασίλειος-Χρήστος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Σεπτέμβριος 2022







**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**Energy-saving interventions in office building using  
photovoltaics and automation systems**

Diploma Thesis

Lardas Vasileios-Christos

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

September 2022



Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

**Μπαργιώτας Δημήτριος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Σταμούλης Γεώργιος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Περαντζάκης Γεώργιος**

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ  
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Λάρδας Βασίλειος-Χρήστος



### **DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS**

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Lardas Vasileios-Christos





## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κλείνει ο κύκλος των σπουδών μου στην σχολή των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά τον κύριο Δημήτριο Μπαργιώτα που επέδειξε εμπιστοσύνη προς το πρόσωπο μου και αποδέχθηκε την πρόταση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θερμές ευχαριστίες οφείλω να δώσω στον κύριο Δημήτριο Ζημέρη, που ήταν πρόθυμος να επιλύσει απορίες και προβληματισμούς μου, κατά την διάρκεια της παρούσας μελέτης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεώργιο Σταμούλη και τον κύριο Γεώργιο Περαντζάκη, που με προθυμία δέχτηκαν να γίνουν μέλη της τριμελούς επιτροπής, της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου, η οποία με στήριξε και βρίσκονταν δίπλα μου σε όλα τα στάδια της ζωής μου.



## **Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίριο γραφείων με χρήση φωτοβολταϊκών και συστημάτων αυτοματισμού**

Λάρδας Βασίλειος-Χρήστος

### **Περίληψη**

Χωρίς αμφιβολία οι συνέχεις ενεργειακές απαιτήσεις των σημερινών κοινωνιών σε συνδυασμό με την περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση, έχουν αναγκάσει την Ευρωπαϊκή Ένωση να πάρει δραστικά μέτρα για την μείωση κατανάλωσης ενέργειας σε όλους τους τομείς. Ο κτιριακός τομέας και ειδικότερα κτίρια τριτογενή τομέα καταναλώνουν τεράστια ποσά ενέργειας με άμεσο αντίκτυπο στο περιβάλλον αλλά και στην οικονομία. Επομένως η κατασκευή των νέων κτιρίων πρέπει να γίνεται με μοναδικό σκοπό τον περιορισμό των καταναλώσεων και ταυτόχρονα η άνεση των χρηστών να μην επηρεάζεται στο ελάχιστο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάσθηκε η επίδραση των διαφόρων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, στην ενεργειακή κατάσταση των κτιρίων και συνολικά στις ηλεκτρικές καταναλώσεις. Επιπλέον μελετήθηκε μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκού στην οροφή του κτιρίου με την χρήση του λογισμικού Helioscope, καθώς μια εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού. Η αξιοποίηση όλο και περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή/ιδιοπαραγωγή καθώς και η προσθήκη αυτοματισμών στα κτίρια, μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία κτιρίων με μηδενικές καταναλώσεις. Η δημιουργία κτιρίων ενεργειακής κατάταξης A+ ή A των θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην εξοικονόμηση ενέργειας/χρημάτων καθώς και στην προστασία του περιβάλλοντος.



## **Energy-saving interventions in office building using photovoltaics and automation systems**

Lardas Vasileios-Christos

### **Abstract**

Without a doubt, the continuous energy demands of today's societies, combined with the environmental and energy crisis, have forced the European Union to take drastic measures to reduce energy consumption in all sectors. The building sector and especially tertiary sector buildings consume huge amounts of energy with a direct impact on the environment as well as the economy. Therefore, the construction of new buildings must be done with the sole purpose of limiting consumption and at the same time the comfort of users should not be affected in the least. In this thesis, the effect of the various electromechanical systems, on the energy classification of the buildings and overall, on the electrical consumptions, has been examined. In addition, a photovoltaic installation on the roof of the building was studied using the Helioscope software, as well as an installation of automation systems. The use of more and more renewable energy sources in production/self-production as well as the addition of automation to buildings can lead to the creation of buildings with zero consumption. The creation of buildings with an energy rating of A+ or A will have a direct impact on saving energy/money as well as protecting the environment.



## Πίνακας Περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες.....</i>	<i>xiii</i>
<i>Περίληψη.....</i>	<i>xv</i>
<i>Abstract .....</i>	<i>xvii</i>
<i>Πίνακας Περιεχομένων .....</i>	<i>xix</i>
<i>Κατάλογος Εικόνων.....</i>	<i>xxv</i>
<i>Κατάλογος πινάκων .....</i>	<i>xxix</i>
<i>Κατάλογος γραφημάτων .....</i>	<i>xxxi</i>
<i>Κεφάλαιο 1 .....</i>	<i>1</i>
<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</i>	<i>1</i>
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής .....	1
1.2 Συνεισφορά.....	2
1.3 Οργάνωση του τόμου .....	3
<i>Κεφάλαιο 2 .....</i>	<i>5</i>
<i>ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ .....</i>	<i>5</i>
<i>Κεφάλαιο 3 .....</i>	<i>7</i>
<i>ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ (Κ.Εν.Α.Κ) .....</i>	<i>7</i>
3.1 Εισαγωγή.....	7
3.2 Κτίριο Αναφοράς .....	8
3.3 Ενεργειακό Πιστοποιητικό Απόδοσης.....	8
3.4 Κλιματικές Ζώνες της ελληνικής επικράτειας.....	10
3.5 Κατηγορίες Κτιρίων.....	12
3.6 Θερμικές Ζώνες Κτιρίου .....	14
3.7 Ωράριο και Περίοδος Λειτουργίας Κτιρίου ή Θερμικών Ζωνών .....	16

<b>3.8 Επιθυμητές Εσωτερικές Συνθήκες Χώρων .....</b>	<b>19</b>
3.8.1 Θερμοκρασία Εσωτερικών Χώρων .....	19
3.8.2 Σχετική Υγρασία Εσωτερικών Χώρων .....	19
<b>3.9 Απαιτούμενος Νωπός Αέρας Εσωτερικών χώρων .....</b>	<b>22</b>
<b>3.10 Απαιτήσεις και Απαραίτητες Στάθμες Φωτισμού .....</b>	<b>25</b>
<b>Κεφάλαιο 4 .....</b>	<b>31</b>
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ.....</b>	<b>31</b>
4.1 Εισαγωγή.....	31
4.2 Κτιριακός τομέας στην Ευρώπη.....	31
4.3 Κτιριακός τομέας στην Ελλάδα.....	32
<b>Κεφάλαιο 5 .....</b>	<b>35</b>
<b>ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ- HVAC .....</b>	<b>35</b>
5.1 Εισαγωγή.....	35
5.2 Κλιματιστικές Μονάδες-HVAC .....	35
5.2.1 Ψύκτες .....	35
5.2.2 Λέβητας.....	38
5.2.3 Fan-Coils (FCU) .....	40
5.2.4 Αντλίες θερμότητας .....	41
5.2.5 Συστήματα VRV-VRF .....	45
5.2.6 Γεωθερμία.....	47
5.3 Μονάδες μηχανικού αερισμού .....	48
5.3.1 Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (KKM) .....	49
5.3.2 Συσκευές μηχανικού αερισμού με εναλλάκτη .....	50
5.4 Σενάρια Κλιματισμού.....	51
5.4.1 Σενάριο 1.....	51
5.4.2 Σενάριο 2.....	52
5.4.3 Σενάριο 3.....	52
5.5 Καταναλώσεις σεναρίων κλιματισμού .....	52
5.5.1 Ηλεκτρική κατανάλωση σεναρίου 1 .....	53
5.5.2 Ηλεκτρικές καταναλώσεις σεναρίου 2 .....	61
5.5.3 Ηλεκτρικές καταναλώσεις σεναρίου 3 .....	66
5.5.4 Αποτελέσματα Σεναρίων κλιματισμού .....	68



<b>Κεφάλαιο 6 .....</b>	<b>71</b>
<b>ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕ LED.....</b>	<b>71</b>
6.1 Εισαγωγή.....	71
6.2 Φορτία φωτισμού και επιλογή φωτιστικών μέσω Dialux Eno.....	72
6.3 Συμπεράσματα φωτοτεχνικής μελέτης .....	81
<b>Κεφάλαιο 7 .....</b>	<b>83</b>
<b>ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....</b>	<b>83</b>
7.1 Εισαγωγή.....	83
7.2 Διαστασιολόγηση ηλεκτρικής εγκατάστασης με την χρήση του προγράμματος της 4Μ .	83
<b>Κεφάλαιο 8 .....</b>	<b>97</b>
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....</b>	<b>97</b>
8.1 Εισαγωγή.....	97
8.2 Ζώνες κτιρίου .....	97
8.3 Κέλυφος .....	98
8.3.1 Δομικά στοιχεία και συντελεστές θερμοπερατότητας .....	98
8.3.2 Θερμογέφυρες.....	100
8.3.3 Συντελεστές σκιασμού .....	102
8.4 Η/Μ συστήματα .....	109
8.5 Σενάριο 1.....	110
8.5.1 Κέλυφος .....	110
8.5.2 Συστήματα .....	111
8.6 Σενάριο 2.....	116
8.6.1 Κέλυφος .....	116
8.6.2 Συστήματα .....	116
8.7 Σενάριο 3.....	120
8.7.1 Κέλυφος .....	120
8.7.2 Συστήματα .....	121
8.8 Αποτελέσματα ενεργειακής μελέτης σεναρίων .....	124
8.8.1 Σενάριο 1.....	124
8.8.2 Σενάριο 2.....	126

8.8.3 Σενάριο 3.....	128
8.8.4 Συμπεράσματα.....	129
<b>Κεφάλαιο 9 .....</b>	<b>131</b>
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>131</b>
<b>9.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>131</b>
<b>9.2 Κατηγορία διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών .....</b>	<b>131</b>
9.2.1 Έλεγχος λειτουργίας της μονάδας παραγωγής .....	132
9.2.2 Έλεγχος προσαρμογής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία .....	132
9.2.3 Τρόπος αλληλουχίας μονάδων παραγωγής ψύξης-θέρμανσης .....	133
9.2.4 Έλεγχος αερισμού .....	134
9.2.5 Ελεύθερη ψύξη και νυχτερινός δροσισμός .....	134
9.2.6 Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα.....	135
9.2.7 Έλεγχος υγρασίας .....	135
<b>9.3 Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό. ....</b>	<b>136</b>
9.3.1 Αισθητήρες εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού .....	136
9.3.2 Αισθητήρες παρουσίας /κίνησης.....	136
<b>9.4 Χρήση συστημάτων αυτοματισμού στα υπάρχοντα σενάρια του κτιρίου μελέτης .....</b>	<b>137</b>
9.4.1 Αυτοματισμοί σενάριο 1 .....	137
9.4.2 Αυτοματισμοί σενάριο 2 .....	142
9.4.3 Αυτοματισμοί σενάριο 3 .....	145
9.4.4 Συμπεράσματα προσθήκης αυτοματισμών .....	149
<b>Κεφάλαιο 10 .....</b>	<b>151</b>
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ .....</b>	<b>151</b>
<b>10.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>151</b>
<b>10.2 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκής εγκατάστασης .....</b>	<b>152</b>
10.2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια .....	152
10.2.2 Βάσεις στήριξης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	154
10.2.3 Inverters .....	155
<b>10.3 Επίδραση εξωγενών παραγόντων στο φωτοβολταϊκό σύστημα .....</b>	<b>157</b>
10.3.1 Φθορά υλικών .....	157
10.3.2 Επίδραση μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας.....	157
10.3.3 Θερμοκρασία .....	159
10.3.4 Σκιασμός (φαινόμενο hot-spot).....	160

10.3.5 Ρύπανση στο εξωτερικό των πάνελ .....	160
<b>10.4 Μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος με χρήση του λογισμικού Helioscope .....</b>	<b>160</b>
10.4.1 Εισαγωγή .....	160
10.4.2 Επιλογή πάνελ .....	161
10.4.3 Σκιασμοί.....	165
10.4.4 Επιλογή inverter.....	166
10.4.5 Επιλογή καλωδίων AC / DC για την εγκατάσταση .....	168
10.4.5.1 DC καλωδίωση .....	168
10.4.5.2 AC καλωδίωση .....	172
10.4.6 Αποτελέσματα .....	174
<b>10.5 Επίδραση φωτοβολταϊκού συστήματος στην ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου μελέτης .....</b>	<b>178</b>
10.5.1 Φωτοβολταϊκά σενάριο 1 .....	180
10.5.2 Φωτοβολταϊκά σενάριο 2 .....	181
10.5.3 Φωτοβολταϊκά σενάριο 3 .....	182
<b>Κεφάλαιο 11 .....</b>	<b>183</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>183</b>
11.1 Σύνοψη και συμπεράσματα .....	183
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>187</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>189</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>	<b>191</b>
<b>Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου γραφείων .....</b>	<b>191</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>	<b>195</b>
<b>Ηλεκτρολογικά σχέδια κτιρίου γραφείων.....</b>	<b>195</b>



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Κτίριο γραφείων .....	5
Εικόνα 2: Πρώτη σελίδα ενεργειακού πιστοποιητικού .....	10
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών .....	12
Εικόνα 4: Ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού .....	36
Εικόνα 5: Αερόψυκτος ψύκτης(αριστερά), υδρόψυκτος (δεξιά).....	38
Εικόνα 6: Λέβητας και τα στοιχεία που τον αποτελούν .....	39
Εικόνα 7: Αναλυτική περιγραφή χαρακτηριστικών FCU .....	41
Εικόνα 8: Λειτουργία αντλίας θερμότητας κατά την θέρμανση και ψύξη .....	43
Εικόνα 9: Διάταξη ενός συστήματος VRV στον χώρο επιτρέποντας παράλληλα θέρμανση και ψύξη. ....	47
Εικόνα 10: Σύστημα οριζόντιου και κατακόρυφου γεωενναλάκτη. ....	48
Εικόνα 11: Τομή ΚΚΜ με τα επιμέρους διαμερίσματα της .....	49
Εικόνα 12: Λειτουργία εναλλάκτη θερμότητας .....	51
Εικόνα 13: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψύκτη.....	54
Εικόνα 14: Τεχνικά χαρακτηριστικά λέβητα αερίου .....	55
Εικόνα 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδων Fan-coils της εταιρείας Gree .....	56
Εικόνα 16: Ψυχομετρικοί χάρτες κατά την ψύξη(αριστερά) και θέρμανση(δεξιά). ....	57
Εικόνα 17: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την ψύξη σενάριο 1 .....	58
Εικόνα 18: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την θέρμανση σενάριο 1 .....	59
Εικόνα 19: Χαρακτηριστικά γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. ....	62
Εικόνα 20: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας CXAX.....	63
Εικόνα 21: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την ψύξη σενάριο 2 .....	64
Εικόνα 22: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την θέρμανση σενάριο 2 .....	64
Εικόνα 23 Χαρακτηριστικά αερόψυκτης αντλίας VRV .....	66
Εικόνα 24: Τεχνικά χαρακτηριστικά εσωτερικής μονάδας VRV .....	67
Εικόνα 25: Τεχνικά χαρακτηριστικά εναλλακτών θερμότητας Daikin .....	68
Εικόνα 26: Κεντρική οθόνη μετά την εισαγωγή του αρχιτεκτονικό σχεδίου. ....	73
Εικόνα 27: Στοιχεία ενεργής περιοχής στο Dialux .....	74

Εικόνα 28: Ορισμός ανοίγματος στο Dialux.....	75
Εικόνα 29: Βιβλιοθήκη κατασκευαστών σε συνεργασία με το Dialux.....	76
Εικόνα 30: Επιλογή φωτιστικού σώματος.....	76
Εικόνα 31: Στοιχεία ενεργού φωτιστικού .....	77
Εικόνα 32: Διάταξη φωτιστικών σωμάτων.....	78
Εικόνα 33: Αποτελέσματα έκθεσης Dialux Eno για αίθουσα meeting με φωτιστικά LED ...	79
Εικόνα 34: Αποτελέσματα έκθεσης Dialux Eno για αίθουσα meeting με φωτιστικά φθορισμού.....	80
Εικόνα 35: Συμπλήρωση στοιχείων υποπίνακα ΧΙ3 στο λογισμικό FINE-ELEC 19.....	84
Εικόνα 36: Ανάλυση στοιχείων και αποτελεσμάτων υποπίνακα ΧΙ3 .....	85
Εικόνα 37: Μονογραμμικό διάγραμμα του υποπίνακα ΧΙ3.....	87
Εικόνα 38: Διάγραμμα διανομής πινάκων κτιρίου .....	92
Εικόνα 39: Συγκεντρωτικά στοιχεία GHP .....	93
Εικόνα 40: Συγκεντρωτικά στοιχεία υποσταθμού .....	94
Εικόνα 41: Τύποι κατακόρυφων θερμογεφυρών .....	101
Εικόνα 42: Τύποι οριζόντιων θερμογεφυρών.....	101
Εικόνα 43: Τύποι θερμογεφυρών κουφωμάτων .....	102
Εικόνα 44: Απεικόνιση γωνιάς θέασης α που σχηματίζει το εμπόδιο σε διαφανή και αδιαφανή δομικά στοιχεία .....	103
Εικόνα 45: Απεικόνιση γωνιάς β που σχηματίζει πρόβολος με την κατακόρυφη επιφάνεια αδιαφανούς και διαφανούς δομικού στοιχείου.....	106
Εικόνα 46: Απεικόνιση γωνιάς γ που σχηματίζει η πλευρική προεξοχή με ένα κατακόρυφο διαφανές και αδιαφανές δομικό στοιχείο.....	108
Εικόνα 47: Καρτέλα θέρμανσής σενάριο 1 TEE-KENAK .....	113
Εικόνα 48: Καρτέλα ψύξης σενάριο 1 TEE KENAK .....	115
Εικόνα 49: Καρτέλα μηχανικού αερισμού σενάριο 1 TEE-KENAK .....	116
Εικόνα 50: Καρτέλα θέρμανσης σενάριο 2 TEE-KENAK .....	118
Εικόνα 51: Καρτέλα ψύξης σενάριο 2 TEE-KENAK.....	119
Εικόνα 52: Καρτέλα μηχανικού αερισμού σενάριο 2 TEE-KENAK .....	119
Εικόνα 53: Καρτέλα θέρμανσής σενάριο 3 TEE-KENAK .....	122
Εικόνα 54: Καρτέλα ψύξης σενάριο 3 TEE KENAK .....	123
Εικόνα 55: Καρτέλα μηχανικού αερισμού σενάριο 3 TEE-KENAK .....	124

Εικόνα 56: Ενεργειακή κατάταξη σεναρίου 1 .....	125
Εικόνα 57: Απαιτήσεις και καταναλώσεις σεναρίου 1 .....	126
Εικόνα 58: Ενεργειακή κατάταξη σεναρίου 2 .....	127
Εικόνα 59: Απαιτήσεις και καταναλώσεις σεναρίου 2 .....	127
Εικόνα 60: Ενεργειακή κατάταξη σεναρίου 3 .....	128
Εικόνα 61: Απαιτήσεις και καταναλώσεις σεναρίου 3 .....	129
Εικόνα 62: Δήλωση κατηγορίας διατάξεων ελέγχου αυτοματισμών Σεναρίου 1 .....	140
Εικόνα 63: Δήλωση συστημάτων αυτοματισμού για φωτισμό Σενάριο 1 .....	141
Εικόνα 64: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 1 με την χρήση αυτοματισμών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά).....	141
Εικόνα 65: Δήλωση κατηγορίας διατάξεων ελέγχου αυτοματισμών Σεναρίου 2 .....	144
Εικόνα 66: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 2 με την χρήση αυτοματισμών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά).....	145
Εικόνα 67: Δήλωση κατηγορίας διατάξεων ελέγχου αυτοματισμών Σεναρίου 3 .....	148
Εικόνα 68: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 3 με την χρήση αυτοματισμών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά).....	149
Εικόνα 69: Πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου .....	152
Εικόνα 70: Πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου .....	153
Εικόνα 71: Πλαίσιο λεπτού υμενίου. ....	154
Εικόνα 72: Βάση σταθερής κλίσης .....	154
Εικόνα 73: Βάσεις ιχνηλάτισης πορείας.....	155
Εικόνα 74: Αντιστροφέας τάσης.....	156
Εικόνα 75: Οριοθέτηση οροφής κτιρίου (κίτρινο πλαίσιο).....	161
Εικόνα 76: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ. ....	162
Εικόνα 77: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ισχύ του επιλεγμένου πάνελ.....	162
Εικόνα 78: Δήλωση μοντέλου πάνελ, ύψος κτιρίου, προσανατολισμό και κλίσης πάνελ.....	163
Εικόνα 79: Κανόνας χωροθέτησης φωτοβολταϊκών σειρών .....	163
Εικόνα 80: Δήλωση αποστάσεων φωτοβολταϊκών πάνελ.....	164
Εικόνα 81: Οριοθέτηση του δώματος (πορτοκαλί) που θεωρείται εμπόδιο σκίασης. ....	165
Εικόνα 82: Υπολογισμός σκίασης πάνελ .....	166
Εικόνα 83: Τοποθέτηση inverter στην οροφή του κτιρίου .....	167
Εικόνα 84: Σχηματική αναπαράσταση φωτοβολταϊκού συστήματος .....	169

Εικόνα 85: Γενικές πληροφορίες συστήματος .....	175
Εικόνα 86: Μηνιαία παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος .....	176
Εικόνα 87: Λόγοι απωλειών συστήματος .....	177
Εικόνα 88: Ετήσια παραγωγή συστήματος .....	178
Εικόνα 89: Δήλωση στοιχείων φωτοβολταϊκού συστήματος .....	179
Εικόνα 90: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 1 με την χρήση φωτοβολταϊκών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά) .....	180
Εικόνα 91: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 2 με την χρήση φωτοβολταϊκών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά) .....	181
Εικόνα 92: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 3 με την χρήση φωτοβολταϊκών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά) .....	182
Εικόνα 93: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη υπογείου .....	191
Εικόνα 94: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη ισογείου .....	192
Εικόνα 95: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη Α΄ ορόφου. ....	192
Εικόνα 96: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη Β΄ ορόφου. ....	193
Εικόνα 97: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη Γ΄ ορόφου .....	193
Εικόνα 98: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη ταράτσας. ....	194
Εικόνα 99: Ηλεκτρολογικό σχέδιο ισογείου .....	195
Εικόνα 100: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Α΄ ορόφου. ....	196
Εικόνα 101: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Β΄ ορόφου. ....	196
Εικόνα 102: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Γ΄ ορόφου .....	197



## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Ισχύουσες Εκδόσεις τεχνικών οδηγιών Κ.ΕΝ.Α.Κ .....	7
Πίνακας 2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτηρίων.....	9
Πίνακας 3: Κλιματικές ζώνες νομών.....	11
Πίνακας 4: Ταξινόμηση των κτηρίων σύμφωνα με τη χρήση τους.....	13
Πίνακας 5: Τυπικό ωράριο λειτουργίας κτηρίων ανά χρήση.....	16
Πίνακας 6: Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. ....	20
Πίνακας 7: Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτηρίου .....	23
Πίνακας 8: Στάθμη γενικού φωτισμού κτιρίου αναφοράς ανά χρήση κτιρίου .....	26
Πίνακας 9: Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού (W/m <sup>2</sup> ) κτιρίου ανάλογα της στάθμης φωτισμού για τον υπολογισμό της ενεργειακής του απόδοσης.....	29
Πίνακας 10: Κατανομή κτιρίων τριτογενούς τομέα με βάση την περίοδο κατασκευής (πλήθος κτιρίων).....	33
Πίνακας 11: Ψυκτικά και θερμικά φορτία χώρου .....	53
Πίνακας 12: Ψυκτικά και θερμικά φορτία αερισμού .....	53
Πίνακας 13: Συνολική ισχύς συστημάτων για κάθε σενάριο.....	69
Πίνακας 14: Συντελεστές σκίασης ορίζοντα .....	105
Πίνακας 15: Συντελεστής σκίασης από οριζόντιους προβόλους.....	107
Πίνακας 16: Συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές.....	109
Πίνακας 17: Διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης σεναρίου 1 .....	138
Πίνακας 18: Διατάξεις αυτοματισμών ψύξης σεναρίου 1 .....	139
Πίνακας 19: Διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης σεναρίου 2 .....	142
Πίνακας 20: Διατάξεις αυτοματισμών ψύξης σεναρίου 2 .....	143
Πίνακας 21: Διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης σεναρίου 3 .....	146
Πίνακας 22: Συντελεστές διόρθωσης (f <sub>θ</sub> ) για θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30°C:.....	170
Πίνακας 23: Πίνακας υπολογισμού μέγεθος αγωγού με βάση το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα .....	171

Πίνακας 24: Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα ( $I_r$ σε A) εντοιχισμένων (χωνευτών) και επιτοίχιων (ορατών) ηλεκτρικών γραμμών .....	173
--	-----

## Κατάλογος γραφημάτων

Γράφημα 1: Ενεργειακή Κατανάλωση κτιρίων τριτογενούς τομέα στις χώρες τις Ε.Ε (2013) .....	32
Γράφημα 2: Μέση Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (Κτίρια Τριτογενούς Τομέα)....	34
Γράφημα 3: Σύγκριση κατανάλωσης ισχύος μετά την χρήση φωτιστικών LED και φθορισμού για τον Όροφο Γ. ....	81
Γράφημα 4: Επίδραση της μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας στην παραγόμενη ισχύ.....	158
Γράφημα 5: Επίδραση της μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας στο ρεύμα.....	158
Γράφημα 6: Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρεύμα ,τάση και παραγομένη ισχύ.....	159



# Κεφάλαιο 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την αρχή της ύπαρξης του, ο άνθρωπος είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ενέργεια. Ειδικά η ηλεκτρική ενέργεια παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα του ανθρώπου καθώς η χρήση της τεχνολογίας έχει αυξήσει κατακόρυφα την ζήτηση της. Όλα αυτά έχουν οδηγήσει στην αύξηση χρήσης των ορυκτών πόρων του πλανήτη και κατ' επέκταση στην αύξηση των αέριων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και το οξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O). Η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα στηρίζεται κυρίως στον λιγνίτη καθώς η Ελλάδα βρίσκεται στις 10 πρώτες χώρες παγκοσμίως και 3<sup>η</sup> στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε λιγνιτοπαραγωγή. Καθώς ο κτηριακός τομέας είναι από τους πλέον ενεργοβόρους σε ηλεκτρισμό, η ελληνική κυβέρνηση έχει στραφεί στη θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης για τα νέα κτίρια και για τα υφιστάμενα κτίρια που υφίστανται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακα με απώτερο σκοπό ο κτηριακός τομέας της χώρας να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης και μηδενικών εκπομπών αερίων του άνθρακα. Τέλος η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή αλλά και στη ιδιοπαραγωγή κρίνεται απαραίτητη ώστε να μπορέσει η κοινωνία να έχει πρόσβαση σε καθαρή ενέργεια, να οδηγηθούμε στην ολοκληρωτική απολιγνιτοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής και στον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου.

### 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Αντικείμενο της διπλωματικής αποτελεί η ενεργειακή μελέτη ενός σύγχρονου κτιρίου γραφείων καθώς και ποιες επιπτώσεις μπορεί να έχει στο κτίριο, η προσθήκη μιας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και ενός συστήματος διατάξεων αυτοματισμών που θα ελέγχουν τα συστήματα κλιματισμού και φωτισμού. Στόχος της μελέτης είναι να με την επιλογή των κατάλληλων διατάξεων, τόσο στο κέλυφος και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, όσο και στα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, μηχανικού αερισμού και

φωτισμού να καταστήσει το κτίριο γραφείων πιο ενεργειακά αποδοτικό. Η παραγωγή ενέργειας καθώς και η βελτιστοποίηση των συστημάτων μέσω αυτοματισμών, πρέπει να εξετασθεί ενδελεχώς ώστε το κτίριο να εναρμονιστεί με τους κανόνες που έχουν θεσπιστεί από την νομοθεσία. Ο στόχος μας, επομένως, θα είναι να δημιουργήσουμε μια κτιριακή μονάδα που θα ανήκει στην ενεργειακή κατάταξη A ή A+.

## **1.2 Συνεισφορά**

1. Μελετήθηκε η λειτουργία, όλων των συστημάτων παραγωγής θέρμανσης, ψύξης και μηχανικού αερισμού.
2. Έγινε φωτοτεχνική μελέτη, με την χρήση λαμπτήρων LED και με την χρήση λαμπτήρων φθορισμού, ώστε να υπολογιστεί η κατανάλωση του συστήματος φθορισμού και να διαπιστωθεί ότι η χρήση των σύγχρονων λαμπτήρων LED, μειώνει σημαντικά τις καταναλώσεις.
3. Εξετάσθηκαν, αρχικά 3 σενάρια με διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού, καθώς και με διαφορετικά υλικά εξωτερικού κελύφους, με σκοπό να βρεθεί η ενεργειακή κατανάλωση και κατάταξη κάθε σεναρίου.
4. Μελετήθηκε, η λειτουργία των διατάξεων αυτοματισμών καθώς και ο τρόπος με τον οποίο κατηγοριοποιούνται οι συγκεκριμένες διατάξεις. Αμέσως μετά, έγινε η τοποθέτηση των αυτοματισμών στα 3 υπάρχοντα σενάρια, ώστε να παρατηρηθούν οι επιπτώσεις στη ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου.
5. Έγινε μελέτη μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στην οροφή του κτιρίου, με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την συνολική παραγωγή που θα έχει το σύστημα σε ετήσια βάση, καθώς και τις επιπτώσεις που θα έχει η προσθήκη του συστήματος στα 3 υπάρχοντα σενάρια.
6. Μετά από την μελέτη των παραπάνω αποτελεσμάτων, θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

### 1.3 Οργάνωση του τόμου

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια μικρή αναφορά στο κτίριο μελέτης και αναφέρονται μερικά χαρακτηριστικά του που θα είναι χρήσιμα για την μελέτη του.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται εκτενής περιγραφή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και όλων των διατάξεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε μια ενεργειακή μελέτη ενός κτιρίου τριτογενή τομέα

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται μερικά ενημερωτικά στοιχεία σχετικά με τις καταναλώσεις των κτιρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στον Ελλαδικό χώρο.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται λεπτομερής αναφορά της λειτουργίας, των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού. Έπειτα παρουσιάζονται αναλυτικά τα 3 σενάρια συστημάτων και υπολογίζονται οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του κάθε σεναρίου, ώστε να διαπιστωθεί πιο σύστημα είναι το πιο αποδοτικό.

Στο Κεφάλαιο 6 πραγματοποιήθηκε, αναλυτικά, η φωτοτεχνική μελέτη, όλων των χώρων του κτιρίου, με την χρήση του Dialux Eno.

Στο Κεφάλαιο 7 γίνεται η ηλεκτρολογική μελέτη των πινάκων της εγκατάστασης, με την χρήση του λογισμικού της 4M FINE-ELEC 19 και μια αναφορά για την εγκατάσταση υποσταθμού στο κτίριο γραφείων.

Στο Κεφάλαιο 8 γίνεται η ενεργειακή ανάλυση των 3 σεναρίων, μέσω του λογισμικού TEE-KENAK.

Στο Κεφάλαιο 9 πραγματοποιείται η αναλυτική περιγραφή των διατάξεων αυτοματισμού που χρησιμοποιούνται στα κτίρια τριτογενή τομέα, καθώς και με την χρήση του TEE-KENAK, γίνεται η ενεργειακή ανάλυση των 3 σεναρίων, μετά την προσθήκη των αυτοματισμών στο κτίριο γραφείων.

Στο Κεφάλαιο 10 μελετήθηκε λεπτομερώς μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, στην οροφή του κτιρίου γραφείων, με την χρήση του λογισμικού Helioscope. Έπειτα εξετάσθηκε, ποια επίδραση έχει στις καταναλώσεις και στην ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου, η προσθήκη των φωτοβολταϊκών, με την χρήση του λογισμικού TEE-KENAK.

Στο Κεφάλαιο 11 περιγράφονται τα συμπεράσματα που αντλήθηκαν από την παρούσα διπλωματική.



## Κεφάλαιο 2

### ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Αρχικά, πριν εισέλθουμε σε μια πιο αναλυτική επεξήγηση ενεργειακών ορών και συστημάτων που απαρτίζουν την ενεργειακή μελέτη ενός κτιρίου κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί το κτίριο μελέτης της παρούσας διπλωματικής. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα υπερσύγχρονο 4ωροφο κτίριο γραφείων που εδρεύει στην περιοχή Αμαρουσίου Αττικής. Η συνολική έκταση του κτιρίου είναι 10000 τ.μ. και περιλαμβάνει ισόγειο (Pilotis), 3 υπέργειους ορόφους επιφάνειας 4570 τ.μ. με κύρια χρήση γραφείων καθώς και 2 υπόγεια που θα λειτουργούν ως χώροι στάθμευσης των εργαζομένων, αποθηκευτικοί χώροι καθώς και χώροι για τον Η/Μ εξοπλισμό. Το οικόπεδο έκτασης 50.8 στρεμμάτων είναι πολυγωνικού σχήματος και βρίσκεται σε αστικό περιβάλλον με μεγάλα κτίρια προς τις δυο πλευρές του, από την τρίτη πλευρά βρίσκονται χαμηλότερα οικοδομήματα και στην τέταρτη πλευρά βρίσκεται τμήμα της Αττικής Οδού. Τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου γραφείων, πάνω στα οποία βασίστηκε τόσο η ενεργειακή μελέτη, όσο και η ηλεκτρολογική μελέτη, παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται το εν λόγω κτίριο γραφείων.



Εικόνα 1: Κτίριο γραφείων



## Κεφάλαιο 3

### ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ (Κ.Εν.Α.Κ)

#### 3.1 Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή απεξάρτηση από τρίτες χώρες και η αναγκαιότητα αναβάθμισης του υπάρχοντος κτηριακού αποθέματος ήταν και συνεχίζουν ακόμα να είναι φλέγοντα ζητήματα. Παίρνοντας θέση η Ευρωπαϊκή Ένωση σε αυτό το πρόβλημα, ανάγκασε κάθε χώρα-μέλος της να εναρμονιστεί με την έκδοση και εφαρμογή σχετικών νομοθετικών διατάξεων. Έτσι βάση νόμου δημιουργήθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ), ο οποίος είναι το θεσμοθετημένο εργαλείο που καθορίζει τις ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων, καθώς και την μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Το 2010, το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, δημιούργησε τις απαραίτητες Τεχνικές Οδηγίες, οι οποίες εξειδικεύουν τα πρότυπα των μελετών και των επιθεωρήσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Το ΤΕΕ λαμβάνοντας υπόψη τα γεωγραφικά, κλιματικά και κτιριακά δεδομένα της επικράτειας ανέπτυξε ειδικό λογισμικό για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης των κτηρίων ώστε όλες οι μελέτες των κτιρίων να εναρμονίζονται με τα διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα. Τέλος το ΤΕΕ έχει αναλάβει και την υποχρέωση της αναθεώρησης των οδηγιών με αποτέλεσμα οι υπάρχουσες οδηγίες που ισχύουν παρατίθενται στον Πίνακα 1 (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

Πίνακας 1: Ισχύουσες Εκδόσεις τεχνικών οδηγιών Κ.ΕΝ.Α.Κ

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε	ΕΤΟΣ ΕΚΔΟΣΗΣ	ΤΙΤΛΟΣ	ΕΚΔΟΣΕΙΣ
TOTEE 20701-1/2017	2017	Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και	Α' ΕΚΔΟΣΗ

		την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης	
TOTEE 20701-2/2017	2017	Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων	Α΄ ΕΚΔΟΣΗ
TOTEE 20701-3/2010	2014	Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών	Γ΄ ΕΚΔΟΣΗ
TOTEE 20701-4/2017	2017	Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού	Α΄ ΕΚΔΟΣΗ
TOTEE 20701-5/2017	2017	Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης Εγκαταστάσεις σε κτήρια	Α΄ ΕΚΔΟΣΗ

### 3.2 Κτίριο Αναφοράς

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ το Κτίριο Αναφοράς είναι ένα κτίριο όμοιο με το προς επιθεώρηση κτίριο το οποίο έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και συγχρόνως ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις. Επομένως αποτελεί την βάση σύγκρισης για το προς επιθεώρηση κτίριο τόσο στα χαρακτηριστικά του κελύφους όσο και στα χαρακτηριστικά των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης, μηχανικός αερισμός, φωτισμός και αυτοματισμοί). Έχοντας πλέον γνώση των παραπάνω μπορούμε να κατατάξουμε το κτίριο στην αντίστοιχη κατηγορία. (Παντελίδης, 2018)

### 3.3 Ενεργειακό Πιστοποιητικό Απόδοσης

Υπολογίζοντας την ανοιγμένη σε πρωτογενή ενέργεια σε κατανάλωση του κτιρίου, μπορούμε να υπολογίσουμε κατηγορία της ενεργειακής απόδοσής του και να εκδώσουμε το «πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτηρίου - Π.Ε.Α. Η εκπόνηση μελέτης ενεργειακής

απόδοσης είναι υποχρεωτική βάσει νόμου για όλα τα νέα και ριζικά ανακαινισμένα κτίρια. Οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης των κτηρίων δίνονται στον Πίνακα 2 (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017) :

Πίνακας 2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτηρίων.

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R_R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33 R_R << EP \leq 0,50 R_R$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50 R_R << EP \leq 0,75 R_R$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75 R_R << EP \leq 1,00 R_R$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00 R_R << EP \leq 1,41 R_R$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41 R_R << EP \leq 1,82 R_R$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82 R_R << EP \leq 2,27 R_R$	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27 R_R << EP \leq 2,73 R_R$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73 R_R < EP$	$2,73 < T$

Ο δείκτης  $R_R$  είναι ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς. Ο λόγος  $T$  είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτηρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς ( $R_R$ ) και αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτηρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης.

Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης B. Κτήρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία. Εάν το κτίριο μας έχει περισσότερα από ένα τμήματα που ανήκουν σε διαφορετικές βασικές κατηγορίες κύριας χρήσης τότε απαιτείται η έκδοση ξεχωριστού ενεργειακού πιστοποιητικού ανάλογα την εκάστοτε χρήση. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η πρώτη σελίδα του ενεργειακού πιστοποιητικού, στο οποίο παρουσιάζονται όλες η λεπτομέρειες ενεργειακής απόδοσης.

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

Εικόνα 2: Πρώτη σελίδα ενεργειακού πιστοποιητικού

### 3.4 Κλιματικές Ζώνες της ελληνικής επικράτειας

Η Ελλάδα, παρά την μικρή της έκταση, παρουσιάζει μεγάλες διαφορές μεταξύ των περιοχών της. Είναι προφανές ότι διαφορετικές ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη έχουν οι περιοχές της νότιας Ελλάδας σε σχέση με εκείνες της βορείας Ελλάδας. Για τον λόγο αυτό, για την εκπόνηση της ενεργειακής μελέτης, η ελληνική επικράτεια έχει χωριστεί σε τέσσερις κλιματικές ζώνες (από την θερμότερη στην ψυχρότερη). (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

Ακολουθεί αναλυτικά ο Πίνακας 3 με τις περιοχές της Ελλάδος και σε ποια κλιματική ζώνη ανήκουν καθώς και ο χάρτης της Ελλάδος με τις τέσσερις κλιματικές ζώνες (Εικόνα 4).

Πίνακας 3: Κλιματικές ζώνες νομών

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
Ζώνη Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
Ζώνη Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
Ζώνη Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
Ζώνη Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται ο χάρτης της Ελλάδος χωρισμένος σε 4 κλιματικές ζώνες. Πιο συγκεκριμένα με κόκκινο χρωματίζονται οι νομοί που ανήκουν στην ζώνη Α, πράσινο στην ζώνη Β, κίτρινο στην ζώνη Γ και μπλε στην ζώνη Δ.



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών

Αξίζει να σημειωθεί ότι για κάθε νομό, τα κτίρια σε περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων εξετάζονται βάσει των προδιαγραφών της επόμενης ψυχρότερης κλιματικής ζώνης από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Για την Δ ζώνη όλες οι περιοχές, ανεξαρτήτως υψομέτρου, περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ. Στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν υψόμετρο άνω των 500 μέτρων. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

### 3.5 Κατηγορίες Κτιρίων

Στον κτηριοδομικό κανονισμό καθορίζονται οι βασικές κατηγορίες των κτιρίων και οι επί μέρους υποκατηγορίες (χρήσεις) έτσι ώστε να μπορούν να καθοριστούν οι συνθήκες λειτουργίας ανάλογα με την χρήση. Στον Πίνακα 4 καθορίζονται οι βασικές κατηγορίες και χρήσεις κτιρίων, στις οποίες θα εντάσσεται το υπό μελέτη ή επιθεώρηση κτίριο, προκειμένου να πιστοποιηθεί η ενεργειακή του απόδοση:



Πίνακας 4: Ταξινόμηση των κτηρίων σύμφωνα με τη χρήση τους

Βασικές κατηγορίες κτηρίων	Χρήσεις κτηρίων που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες
Κατοικίας	Μονοκατοικία, πολυκατοικία (κτήριο με περισσότερα του ενός ανεξάρτητα διαμερίσματα).
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο, ξενώνας, οικοτροφείο και κοιτώνας.
Συνάθροισης Κοινού	Χώρος συνεδρίων, χώρος εκθέσεων, μουσείο, χώρος συναυλιών, θέατρο, κινηματογράφος, αίθουσα δικαστηρίων, κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο, εστιατόριο, ζαχαροπλαστείο, καφενείο, τράπεζα, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων.
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο, πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας, φροντιστήριο.
Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	Νοσοκομείο, κλινική, αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο, ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομείο, βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός.
Σωφρονισμού	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή.
Εμπορίου	Κατάστημα, εμπορικό κέντρο, αγοράς και υπεραγοράς, φαρμακείο, κουρείο και κομμωτήριο, ινστιτούτο γυμναστικής.
Γραφείων	Γραφείο, βιβλιοθήκη.

Εξαίρεση στα παραπάνω αποτελούν:

- Μνημεία
- κτίρια προστατευόμενα ως μέρος συγκεκριμένου περιβάλλοντος ή λόγω της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής ή ιστορικής τους αξίας, όπως διατηρητέα και εντός παραδοσιακών οικισμών κτίρια, στο βαθμό που η συμμόρφωση προς ορισμένες ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης θα αλλοίωνε κατά τρόπο μη αποδεκτό το χαρακτήρα ή την εμφάνισή τους.
- κτίρια χρησιμοποιούμενα ως χώροι λατρείας.
- βιομηχανικές εγκαταστάσεις, βιοτεχνίες, εργαστήρια.
- προσωρινής χρήσης κτήρια που με βάση το σχεδιασμό τους η διάρκεια χρήσης τους δεν υπερβαίνει τα δύο έτη, αποθήκες, χώροι στάθμευσης οχημάτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, κτήρια αγροτικών χρήσεων – πλην κατοικιών – με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις και αγροτικά κτίρια – πλην κατοικιών – που χρησιμοποιούνται από τομέα καλυπτόμενο από εθνική συμφωνία που αφορά την ενεργειακή απόδοση κτιρίων.
- μεμονωμένα κτήρια, με συνολική ωφέλιμη επιφάνεια μικρότερη από πενήντα τετραγωνικά μέτρα (50 τ.μ.), για τα οποία ισχύουν μόνο οι ελάχιστες απαιτήσεις που αφορούν σε δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

### **3.6 Θερμικές Ζώνες Κτιρίου**

Για να γίνει η ενεργειακή μελέτη του κτιρίου πρέπει ο μελετητής να καθορίσει της θερμικές ζώνες. Πιο συγκεκριμένα, θερμικές ζώνες είναι οι χώροι που έχουν κοινή λειτουργία, χρήση και συνήθως ίδια ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Ο διαχωρισμός των χώρων ενός κτιρίου σε θερμικές ζώνες δεν γίνεται τυχαία αλλά πρέπει να γίνεται σύμφωνα με ορισμένους κανόνες. Αρχικά, ο διαχωρισμός του κτιρίου πρέπει να γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών καθώς η ακρίβεια των υπολογισμών δεν επηρεάζεται σημαντικά από το διαχωρισμό του κτηρίου σε περισσότερες θερμικές ζώνες. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο. Επίσης, τμήματα του κτηρίου με όγκο μικρότερο από το 10% του συνολικού όγκου του κτηρίου να εξετάζονται

ενταγμένα σε άλλες θερμικές ζώνες, κατά το δυνατόν παρόμοιες, ακόμη και αν οι συνθήκες λειτουργίας τους δικαιολογούν τη θεώρησή τους ως ανεξάρτητων ζωνών. Ο καθορισμός ανεξάρτητων διαφορετικών θερμικών ζωνών σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 επιβάλλεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες:

- Η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων διαφέρει περισσότερο από 4 °C σε σχέση με τα άλλα τμήματα του κτηρίου κατά τη χειμερινή ή/και τη θερινή περίοδο.
- Υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση / λειτουργία. Για παράδειγμα, σε ένα νοσοκομείο υπάρχουν αίθουσες νοσηλείας, γραφείων, χειρουργείων, ειδικών ιατρικών μηχανημάτων, εργαστήρια κ.ά. Οι χώροι διαφορετικών χρήσεων έχουν συνήθως και διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπό αέρα κ.ά.).
- Υπάρχουν χώροι στο κτίριο, που εξυπηρετούνται από διαφορετικά συστήματα θέρμανσης ή/και ψύξης ή/και κλιματισμού λόγω διαφορετικών εσωτερικών συνθηκών.
- Υπάρχουν χώροι στο κτήριο που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες (σε σχέση με το υπόλοιπο κτήριο) συναλλαγές ενέργειας (π.χ. εσωτερικά ή/και ηλιακά κέρδη, θερμικές απώλειες. Για παράδειγμα, οι χώροι με νότιο προσανατολισμό σε ένα κτίριο έχουν σημαντικά ηλιακά κέρδη σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους.
- Υπάρχουν χώροι, στους οποίους το σύστημα του μηχανικού αερισμού (παροχής νωπού αέρα ή κλιματισμού) καλύπτει λιγότερο από το 80% της επιφάνειας κάτοψης του χώρου.

Από όλα τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι ο διαχωρισμός των θερμικών ζωνών εναπόκειται στον εκάστοτε μελετητή και μπορεί να βασιστεί σε εθνικούς κανονισμούς. Οι μη θερμαινόμενοι χώροι (Μ.Θ.Χ) καθώς και οι ηλιακοί χώροι δεν απαιτούν ψύξη, θέρμανση και αερισμό αλλά παίζουν σημαντικό στον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων των θερμαινόμενων χώρων. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

### 3.7 Ωράριο και Περίοδος Λειτουργίας Κτιρίου ή Θερμικών Ζωνών

Ανάλογα με την χρήση του κτιρίου και του ανθρώπινου παράγοντα, δηλαδή τις συνήθειες των χρηστών του, έχει καθοριστεί ένα συγκεκριμένο ωράριο λειτουργίας ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης. Σε περιπτώσεις κτιρίων με πολλές παράλληλες χρήσεις, όταν οι χρήσεις αυτές αντιμετωπίζονται ως ανεξάρτητες θερμικές ζώνες, το τυπικό ωράριο και οι εσωτερικές θερμικές συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός, εσωτερικά φορτία κ.ά.), καθορίζονται για κάθε χρήση χωριστά και ανεξάρτητα από τη βασική κατηγορία και τη γενική χρήση του κτηρίου. Ωστόσο η μηνιαία περίοδος λειτουργίας για όλες τις επί μέρους παράλληλες χρήσεις καθορίζεται από τη γενική χρήση του κτιρίου. Παράδειγμα οι χώροι γραφείων ενός σχολικού κτιρίου, που δεν λειτουργούν τους θερινούς μήνες επειδή το κτίριο θεωρείται ότι είναι εκτός λειτουργίας. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

Στον παρακάτω Πίνακα 5 δίνεται το τυπικό ωράριο λειτουργίας ανά χρήση κτιρίου ή χρήση θερμικής ζώνης:

Πίνακας 5: Τυπικό ωράριο λειτουργίας κτηρίων ανά χρήση

Βασικές κατηγορίες κτιρίων	Χρήσεις κτιρίων ή θερμικών ζωνών	Ώρες λειτουργίας	Ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα	Περίοδος λειτουργίας σε μήνες
Κατοικίας	Μονοκατοικία, πολυκατοικία	18	7	12
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	24	7	12
	Ξενοδοχείο θερινής λειτουργίας	24	7	7(Απρ-Οκτ.)
	Ξενοδοχείο χειμερινής λειτουργίας	24	7	8(Σεπτ-Απρ.)
	Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	24	7	12
	Ξενώνας θερινής λειτουργίας	24	7	7(Απρ-Οκτ.)
	Ξενώνας χειμερινής λειτουργίας	24	7	8(Σεπτ-Απρ.)
	Οικοτροφείο, κοιτώνας	24	7	12

	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου	12	7	Ανά χρήση
	Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου	24	7	Ανά χρήση
Συνάθροισης κοινού	Εστιατόριο	12	7	12
	Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	15	7	12
	Νυχτερινό κέντρο, μουσική σκηνή	6	7	12
	Θέατρο, κινηματογράφος	7	4	12
	Χώρος συναυλιών	6	7	12
	Χώρος εκθέσεων, μουσείο	6	7	12
	Χώρος συνεδριάσεων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	6	7	12
	Τράπεζα	8	5	12
	Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	14	3	12
	Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	14	7	12
	Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	Ανά χρήση	Ανά χρήση	Ανά χρήση
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο	8	5	9(Σεπτ-Μαΐ)
	Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση	8	5	9(Σεπτ-Μαΐ)
	Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	13	5	10(Σεπτ- Ιουν)
	Φροντιστήριο, ωδείο	7	5	9(Σεπτ-Μαΐ)
Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	Νοσοκομείο, κλινική	24	7	12
	Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	24	7	12
	Χειρουργείο (τακτικό)	8	5	12
	Εξωτερικά ιατρεία	8	5	12
	Αίθουσες αναμονής	8	5	12
	Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	12	5	12

	Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων	24	7	12
	Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	5	5	11
Σωφρονισμού	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	24	7	12
	Αστυνομική διεύθυνση	24	7	12
Εμπορίου	Εμπορικό κέντρο, αγορά, υπεραγορά	12	6	12
	Κατάστημα, φαρμακείο	9	6	12
	Ινστιτούτο γυμναστικής	12	6	12
	Κουρείο, κομμωτήριο	12	6	12
Γραφείων	Γραφείο	10	5	12
	Βιβλιοθήκη	6	5	12

### **3.8 Επιθυμητές Εσωτερικές Συνθήκες Χώρων**

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, που τοποθετούνται στα κτίρια, έχουν απώτερο σκοπό να επιτυγχάνουν θερμική άνεση στους χώρους διαμονής και δραστηριότητας. Η θερμική άνεση είναι μια σχετικά υποκειμενική έννοια που καθορίζεται από μια σειρά παραμέτρων και συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα επηρεάζεται από:

- τη θερμοκρασία (ξηρού θερμομέτρου) του αέρα,
- τη σχετική υγρασία του αέρα,
- την ένδυση των χρηστών,
- την δραστηριότητα των χρηστών,
- την ταχύτητα εσωτερικών ρευμάτων αέρα.

Από τα παραπάνω η ένδυση και δραστηριότητες των χρηστών μπορούν να θεωρηθούν σταθερές καθώς και η ταχύτητα των εσωτερικών ρευμάτων αέρα επιβάλλεται να παραμένει σταθερή σε συγκεκριμένα όρια. Άρα συμπεραίνουμε ότι την θερμική άνεση την διαμορφώνουν ενεργά, η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία του αέρα. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

#### **3.8.1 Θερμοκρασία Εσωτερικών Χώρων**

Η εσωτερική θερμοκρασία παίζει βασικό ρολό στην διαμόρφωση της θερμικής άνεσης σε ένα χώρο. Η υποκειμενικότητα όμως της θερμικής άνεσης καθώς και οι πολλές επιλογές των χρηστών, είχαν ως αποτέλεσμα, η εσωτερική θερμοκρασία να διαφέρει. Για τις ανάγκες της εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου έπρεπε να οριστούν σαφώς τα όρια εσωτερικής θερμοκρασίας ανάλογα με τον χώρο και την χρήση του, ώστε να επιτυγχάνεται η θερμική άνεση με το μικρότερο δυνατό κόστος σε ενέργεια. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

#### **3.8.2 Σχετική Υγρασία Εσωτερικών Χώρων**

Τα σύγχρονα συστήματα κλιματισμού, εκτός από τον έλεγχο της εσωτερικής θερμοκρασίας, δίνουν την δυνατότητα να ελέγχεται και να ρυθμίζεται αποτελεσματικά και

η σχετική υγρασία. Εξαιρούνται τα τοπικά και ημικεντρικά συστήματα κλιματισμού (αντλίες θερμότητας άμεσης εξάτμισης, διαιρούμενου ή ενιαίου τύπου, τοπικές και ημικεντρικές), που συνήθως χρησιμοποιούνται σε κατοικίες και σε μικρής σχετικά κλίμακας εφαρμογές. Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο έλεγχος των τιμών της σχετικής υγρασίας είναι δυνατός μόνο σε λειτουργία ψύξης. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

Στον Πίνακα 6 για κάθε κατηγορία και υποκατηγορία κλιματιζόμενων κτηρίων ή τμημάτων κτηρίων, παρουσιάζονται οι τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων:

Πίνακας 6: Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Μονοκατοικία, πολυκατοικία	20	26	40	45
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	20	26	35	45
Ξενοδοχείο θερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Ξενοδοχείο χειμερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	20	26	35	45
Ξενώνας θερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Ξενώνας χειμερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Οικοτροφείο, κοιτώνας	20	26	40	45
Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου	20	26	40	45
Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου	20	26	35	45
Εστιατόριο	20	26	35	45
Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	20	26	35	45
Νυχτερινό κέντρο, μουσική σκηνή	20	26	35	50
Θέατρο, κινηματογράφος	20	26	35	50
Χώρος συναυλιών	20	26	35	50



Χώρος εκθέσεων, μουσείο	20	23	35	50
Χώρος συνεδριάσεων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	20	26	35	45
Τράπεζα	20	26	35	45
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	20	26	35	50
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	18	25	35	45
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	18	26	35	50
Νηπιαγωγείο	20	26	35	45
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση	20	26	35	45
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	20	26	35	45
Φροντιστήριο, ωδείο	20	26	35	45
Νοσοκομείο, κλινική	22	25	35	50
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	22	25	35	50
Χειρουργείο (τακτικό)	18	20	35	55
Εξωτερικά ιατρεία	20	26	35	50
Αίθουσες αναμονής	20	26	35	50
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	22	26	35	50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων	22	26	40	45
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	20	26	40	45
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	26	40	45
Αστυνομική διεύθυνση	20	26	35	45

Εμπορικό κέντρο, αγορά, υπεραγορά	19	25	35	45
Κατάστημα, φαρμακείο	20	26	35	45
Ινστιτούτο γυμναστικής	20	26	35	45
Κουρείο, κομμωτήριο	20	26	35	45
Γραφείο	20	26	35	45
Βιβλιοθήκη	20	26	35	50

### 3.9 Απαιτούμενος Νωπός Αέρας Εσωτερικών χώρων

Για την εξασφάλιση συνθηκών υγιεινής στο εσωτερικό κάθε κτηρίου και κάθε ανεξάρτητου τμήματος κτηρίου απαιτείται η ανανέωση του αέρα. Ειδικά στην εποχή του Covid-19, βρέθηκε στο επίκεντρο ο αερισμός, δηλαδή η αντικατάσταση μέρους του εσωτερικού αέρα από νωπό αέρα περιβάλλοντος. Οι απαιτήσεις νωπού αέρα καθορίζονται ανάλογα με:

- τη χρήση του κτηρίου
- τον πληθυσμό των χρηστών
- την παραγωγή ρύπων λόγω χρήσης του κτηρίου, που σε γενική προσέγγιση είναι αντίστοιχη της χρήσης του κτηρίου

Σε γενική κατεύθυνση, οι απαιτήσεις νωπού αέρα ανά κατηγορία κτηρίου (χρήση) θα πρέπει να καθορίζονται έτσι, ώστε να καλύπτουν τον ελάχιστο απαιτούμενο αερισμό ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{άτομο}$ ), ανάλογα με την πυκνότητα πληθυσμού ( $\text{άτομα}/\text{m}^2$ ) ανά χρήση κτηρίου. Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις αερισμού όπως ορίζονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007, στο πρότυπο της ASHRAE 62.1-2010 και στην Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86, καθορίζονται ο αριθμός ατόμων ανά  $100 \text{ m}^2$  μεικτής δομημένης επιφάνειας, ο ενδεικνυόμενος απαιτούμενος νωπός αέρας ανά άτομο ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{άτομο}$ ) και ο ενδεικνυόμενος απαιτούμενος νωπός αέρας ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ) για κάθε χρήση κτηρίου και χρήση θερμικής ζώνης. Αυτές οι τιμές αερισμού αποτελούν μέσες τιμές των όσων καθορίζονται στα προαναφερόμενα πρότυπα και στις προαναφερθείσες οδηγίες και λαμβάνονται υπόψη για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης κτηρίου, τόσο κατά την

εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτηρίου όσο και για τη διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017).

Ο μελετητής μπορεί να επιλέξει όποιες τιμές θεωρεί ότι αντιπροσωπεύουν καλύτερα το κτίριο μελέτης, εφόσον βρίσκονται μέσα στα όρια των κανονισμών. Οι τιμές αερισμού αναγράφονται στον Πίνακα 7:

Πίνακας 7: Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτηρίου

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m <sup>2</sup> επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [m <sup>3</sup> /h/άτομο]	Νωπός αέρας [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]
Μονοκατοικία, πολυκατοικία	5	15	0,75
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	15	20	3,00
Ξενοδοχείο θερινής λειτουργίας	15	20	3,00
Ξενοδοχείο χειμερινής λειτουργίας	15	20	3,00
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	15	20	3,00
Ξενώνας θερινής λειτουργίας	15	20	3,00
Ξενώνας χειμερινής λειτουργίας	10	15	1,50
Οικοτροφείο, κοιτώνας	10	15	1,50
Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου	8	15	1,20
Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου	25	20	6,25
Εστιατόριο	70	25	17,50

Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	80	25	20,00
Νυχτερινό κέντρο, μουσική σκηνή	100	45	45,00
Θέατρο, κινηματογράφος	100	25	25,00
Χώρος συναυλιών	100	30	30,00
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	50	20	10,00
Χώρος συνεδριάσεων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	110	25	27,50
Τράπεζα	20	30	6,00
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	25	30	22,50
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	75	45	33,75
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	-	-	2,6
Νηπιαγωγείο	50	22	11,00
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση	50	22	11,00
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	50	22	11,00
Φροντιστήριο, ωδείο	55	22	12,10
Νοσοκομείο, κλινική	30	35	10,50
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	22	75	5,50
Χειρουργείο (τακτικό)	20	150	30,00

Εξωτερικά ιατρεία	10	50	5,00
Αίθουσες αναμονής	55	45	24,75
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	15	50	7,50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων	15	25	3,75
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	15	25	3,75
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	22	4,40
Αστυνομική διεύθυνση	10	30	3,00
Εμπορικό κέντρο, αγορά, υπεραγορά	30	27	6,60
Κατάστημα, φαρμακείο	14	22	3,08
Ινστιτούτο γυμναστικής	15	45	6,75
Κουρείο, κομμωτήριο	15	30	4,50
Γραφείο	10	30	3,00
Βιβλιοθήκη	22	30	6,60

### 3.10 Απαιτήσεις και Απαραίτητες Στάθμες Φωτισμού

Εκτός από την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης, σε κάθε χώρο πρέπει να παρέχεται ο φωτισμός που εξασφαλίζει στους χρήστες οπτική άνεση, δηλαδή ένα περιβάλλον με την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα φωτισμού, που επιτρέπει την ευχάριστη διαμονή και την άσκηση προβλεπόμενης δραστηριότητά τους, χωρίς φαινόμενα που να οδηγούν στην οπτική δυσφορία ή/και κόπωση. Για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό, ο Κ.Εν.Α.Κ. καθορίζει για τα νέα και ριζικά

ανακαινιζόμενα κτήρια του τριτογενούς τομέα , ωςελάχιστη φωτεινή απόδοση ( $\ell m/W$ ) των συστημάτων γενικού φωτισμού τα 60 ( $\ell m/W$ ) ενώ για τα αντίστοιχα κτήρια αναφοράς τα 55 ( $\ell m/W$ ).

Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464.1 - 2011 δίνονται λεπτομερώς τα συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού ανά χρήση χώρου, καθώς και επιπρόσθετες πληροφορίες που σχετίζονται με τον σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού και τη χρήση επιφανειών εκτέλεσης εργασίας, περιβάλλουσες και υπόβαθρου. Με βάση - κατά κύριο λόγο - τις προτεινόμενες τιμές του προτύπου για τα συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού, δίνονται στον Πίνακα 8 οι τιμές για τη μέση ελάχιστη στάθμη γενικού φωτισμού ( $\ell x$ ), το μέγιστο βαθμό θάμβωσης (δείκτης UGR) και την ελάχιστη τιμή ομοιομορφίας (ελάχιστη προς μέση τιμή. Οι τιμές για την εγκατεστημένη ισχύ φωτισμού ( $W/m^2$  ωφέλιμης επιφάνειας) του κτηρίου αναφοράς τριτογενούς τομέα και των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, για τις οποίες η φωτεινή απόδοση καθορίστηκε στα 55 ( $\ell m/W$ ) δίνονται στον Πίνακα 9. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

Πίνακας 8: Στάθμη γενικού φωτισμού κτιρίου αναφοράς ανά χρήση κτιρίου

Χρήσεις κτιρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού[ $\ell x$ ]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία φωτισμού $U_0$ (min/ μέση τιμή)
Μονοκατοικία, πολυκατοικία	200	0,8	-	-
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
Ξενοδοχείο θερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
Ξενοδοχείο χειμερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	300	0,8	22	0,6

Ξενώνας θερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
Ξενώνας χειμερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
Οικοτροφείο, κοιτώνας	300	0,8	22	0,6
Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου	250	0,8	-	-
Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου	100	0,5	28	0,4
Εστιατόριο	200	0,8	-	-
Ζαχαροπλαστείο, καφεενείο	250	0,8	-	-
Νυχτερινό κέντρο, μουσική σκηνή	100	0,8	-	-
Θέατρο, κινηματογράφος	100	0,8	25	0,4
Χώρος συναυλιών	100	0,8	25	0,4
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	200	0,8	22	0,4
Χώρος συνεδριάσεων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	500	0,8	19	0,6
Τράπεζα	500	0,8	19	0,6
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	300	0,8	19	0,6
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	300	0,5	22	0,6

Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	100	0	28	0,4
Νηπιαγωγείο	300	0,8	19	0,6
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση	300	0,8	19	0,6
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	500	0,8	19	0,6
Φροντιστήριο, ωδείο	500	0,8	19	0,6
Νοσοκομείο, κλινική	300	0,8	19	0,6
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	100	0,8	19	0,4
Χειρουργείο (τακτικό)	1000	0,8	19	0,6
Εξωτερικά ιατρεία	500	0,8	19	0,6
Αίθουσες αναμονής	200	0,8	22	0,4
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	500	0,8	19	0,6
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων	300	0,8	19	0,6
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	300	0,8	22	0,4
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	300	0,8	22	0,4
Αστυνομική διεύθυνση	500	0,8	19	0,6



Εμπορικό κέντρο, αγορά, υπεραγορά	300	0,8	22	0,4
Κατάστημα, φαρμακείο	500	0,8	19	0,6
Ινστιτούτο γυμναστικής	400	0,8	22	0,6
Κουρείο, κομμωτήριο	400	0,8	19	0,6
Γραφείο	500	0,8	19	0,6
Βιβλιοθήκη	500	0,8	19	0,6

Πίνακας 9: Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού (W/m<sup>2</sup>) κτιρίου ανάλογα της στάθμης  
φωτισμού για τον υπολογισμό της ενεργειακής του απόδοσης

<b>Ζώνες τεχνητού φωτισμού/ Στάθμη φωτισμού [lx]</b>	<b>Ισχύς για το κτίριο αναφοράς [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Ισχύς για ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [W/m<sup>2</sup>]</b>
1000	32	28,0
500	16	14,0
400	12,8	11,2
300	9,6	8,4
250	8,0	7,0
200	6,4	5,6
100	3,2	2,8



## **Κεφάλαιο 4**

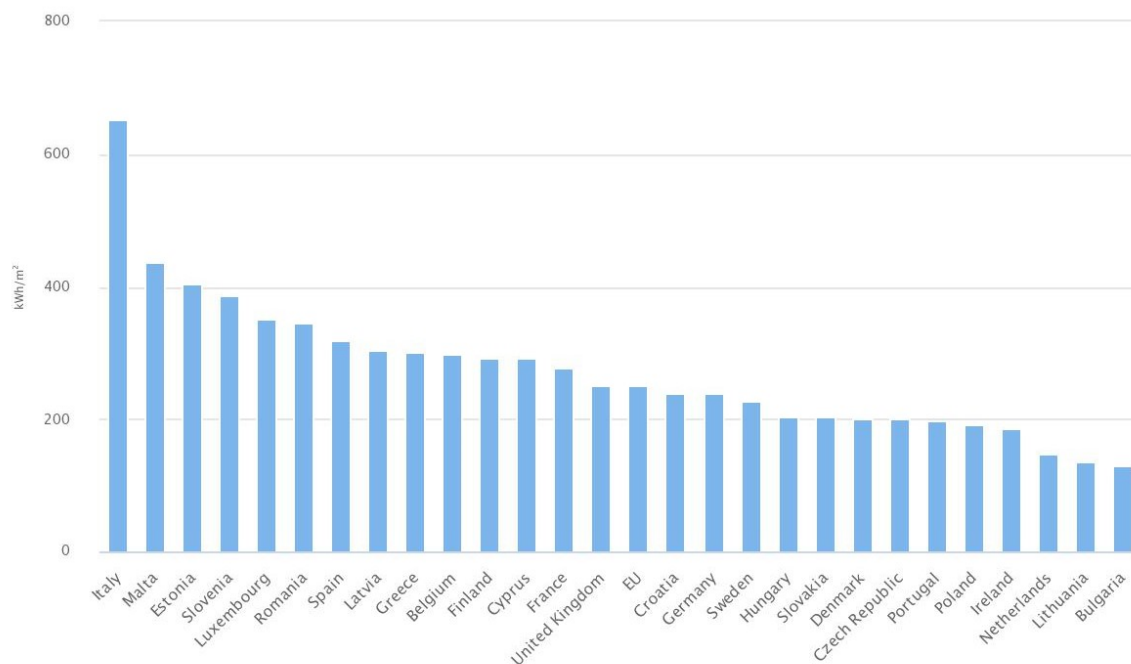
### **ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ**

#### **4.1 Εισαγωγή**

Ο κτηριακός τομέας, με την πάροδο των χρόνων, συνεχίζει να διευρύνεται σημαντικά, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνονται οι ενεργειακές του καταναλώσεις. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, γνωρίζοντας ότι ο ενεργειακός τομέας δημιουργεί έως και το 75% των αερίων του θερμοκηπίου, δεσμεύθηκε να εξοικονομηθεί το 32,5% της προβλεπόμενης κατανάλωσης ενέργειας των κρατών μελών της Ε.Ε. έως το 2030, με δυνατότητα αναθεώρησης το 2023. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αποτελεί βασικό εργαλείο για την επίτευξη αυτών των στόχων. (European Commission, 2020)

#### **4.2 Κτιριακός τομέας στην Ευρώπη**

Σε όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η πλειονότητα της επιφάνειας των χώρων αποτελείται από κτίρια κατοικιών. Πιο συγκεκριμένα τα νοικοκυριά καταλαμβάνουν το 75,8%, ενώ τα κτίρια τριτογενούς τομέα το υπόλοιπο 24,2%. Τα κτίρια τριτογενούς τομέα μπορούν να διαιρεθούν σε υποκατηγορίες. Τα κτίρια γραφείων (συμπεριλαμβάνοντας τις δημόσιες υπηρεσίες) αποτελούν το 30% και ακολουθούν τα καταστήματα (28%) και τα κτίρια εκπαίδευσης (17%). Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 1 η μέση κατανάλωση ενέργειας, της Ε.Ε, του τριτογενή τομέα είναι κατά μέσο όρο 250 kWh/m<sup>2</sup>, που είναι τουλάχιστον 40% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή για τα νοικοκυριά και καλύπτει τις ανάγκες για φωτισμό, αερισμό, θέρμανση, ψύξη και τεχνολογικό εξοπλισμό. (Delia D'Agostino, 2017)



Γράφημα 1: Ενεργειακή Κατανάλωση κτιρίων τριτογενούς τομέα στις χώρες της Ε.Ε (2013)

### 4.3 Κτιριακός τομέας στην Ελλάδα

Σε ότι αφορά τα ελληνικά δεδομένα, η πλειοψηφία του κτιριακού αποθέματος είναι κτίρια κατοικιών (περίπου 73%) και το 27% είναι κτίρια του τριτογενή τομέα. Τα ελληνικά κτίρια υπολογίζεται ότι καταναλώνουν περίπου το 70% της ηλεκτρικής ενέργειας και συμβάλλουν κατά περίπου 52% στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. (Ε.Γ. Δασκαλάκη, 2016)

Οι ηλικίες των κτιρίων μπορεί να κατανεμηθούν σε 3 βασικές περιόδους, οι οποίες διαφοροποιούνται με βάση το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο, το οποίο αρχικά υιοθετήθηκε το 1980 με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) και στη συνέχεια το 2010 με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και ανάλογα με την ποιοτική κατάσταση και τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες του κελύφους και των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων. Κατά συνέπεια, οι ηλικιακές κλάσεις που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση είναι οι παρακάτω:

- πριν το 1980, όπου τα κτίρια είναι θερμικά απροστάτευτα
- από το 1981 έως το 2000, όπου σταδιακά εφαρμόζονται συστήματα θερμομόνωσης και άλλα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης

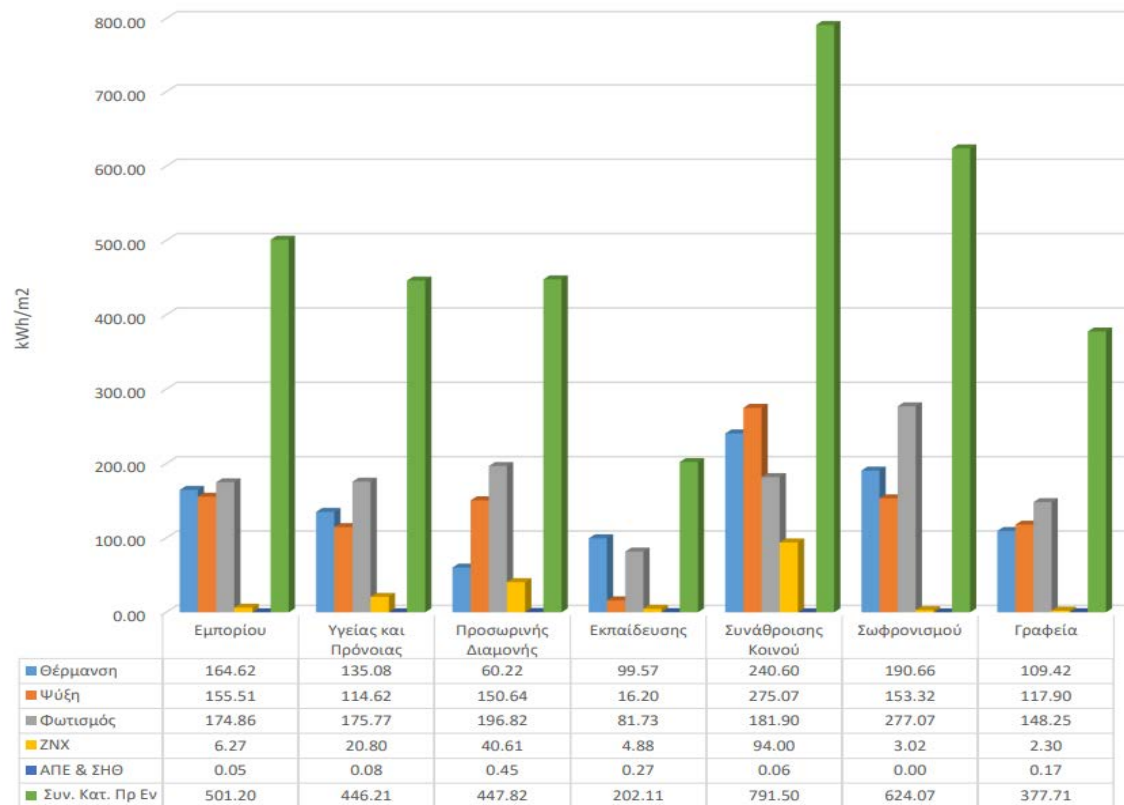
- από το 2001 έως το 2010, όπου αναπτύσσονται και εφαρμόζονται νέες τεχνολογίες και προϊόντα.

Στον Πίνακα 10 φαίνεται η κατανομή των κτιρίων τριτογενούς τομέα με κριτήριο το έτος κατασκευής τους σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ(2011). (Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος, 2020)

Πίνακας 10: Κατανομή κτιρίων τριτογενούς τομέα με βάση την περίοδο κατασκευής (πλήθος κτιρίων)

	Γραφεία/Εμπορικά Καταστήματα	Εκπαιδευτικά Κτίρια	Νοσοκομεία	Ξενοδοχεία
Μέχρι το 1980	89352	14126	1566	3015
1981-2000	39348	700	177	2580
2000-2010	23850	750	59	1214

Από τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ) που έχουν εκδοθεί μέχρι και το έτος 2021, για τον τριτογενή τομέα το 60% αφορά σε κτίρια εμπορίου και ακολουθούν τα κτίρια γραφείων με περίπου 20%. Από την ανάλυση των δεδομένων, επιβεβαιώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων του τριτογενούς τομέα παρουσιάζει χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Θα εστιάσουμε την προσοχή μας στα κτίρια γραφείων, λόγω του ότι το κτίριο μελέτης μας ανήκει στην συγκεκριμένη κατηγορία. Μόλις το 5% του συνόλου των πιστοποιητικών κατατάσσονται στην ενεργειακή κλάση Β και πάνω. Η υπολογιζόμενη μέση κατανάλωση πρωτογενούς τομέα για τα κτίρια γραφείων είναι 377,71 kWh/m<sup>2</sup> όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από το Γράφημα 2 (ΣΕΠΔΕΜ, 2021):



Γράφημα 2: Μέση Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (Κτίρια Τριτογενούς Τομέα)

Συμπεραίνοντας από όλα τα παραπάνω, για να αλλάξει η ενεργειακή ταυτότητα των κτιρίων και να μειωθεί η πρωτογενή τους κατανάλωση πρέπει να στοχεύσουμε στα συστήματα από όπου προέρχονται οι μεγαλύτερες καταναλώσεις ενέργειας. Για τα κτίρια γραφείων, οι κατηγορίες με τις μεγαλύτερες καταναλώσεις είναι τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με 227 kWh/m<sup>2</sup> και φωτισμού με 148 kWh/m<sup>2</sup>. Συνεπώς η άμεση αντικατάσταση των δυο παραπάνω συστημάτων κρίνεται επιτακτική για την πραγματοποίηση των στόχων μας.

## Κεφάλαιο 5

### ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ- HVAC

#### 5.1 Εισαγωγή

Για να επιτευχθεί η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, πρέπει να στραφεί η προσοχή μας στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που έχουν αυξημένες καταναλώσεις. Τα συστήματα αερισμού, θέρμανσης, ψύξης είναι τα πιο σημαντικά και αναλαμβάνουν την επίτευξη της θερμικής άνεσης στους χώρους των κτιρίων και πιο συγκεκριμένα:

- Θέρμανση: Παροχή θερμότητας στον χώρο.
- Ψύξη: Αφαίρεση θερμότητας στον χώρο.
- Ύγρανση: Παροχή υγρασίας στον χώρο.
- Αφύγρανση: Αφαίρεση υγρασίας στον χώρο.
- Αερισμός: Αντικατάσταση του εσωτερικού αέρα του χώρου με ατμοσφαιρικό αέρα.
- Καθαρισμός αέρα: Φιλτράρισμα του αέρα που εισάγεται κατά τον αερισμό, ώστε να καθαρίζεται από βλαβερές ουσίες που ενδέχεται να υπάρχουν στο περιβάλλον.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί διεξοδικά η λειτουργία τους καθώς και τα σενάρια κλιματισμού που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να γίνει η επιλογή του συστήματος κλιματισμού με τις λιγότερες καταναλώσεις.

#### 5.2 Κλιματιστικές Μονάδες-HVAC

##### 5.2.1 Ψύκτες

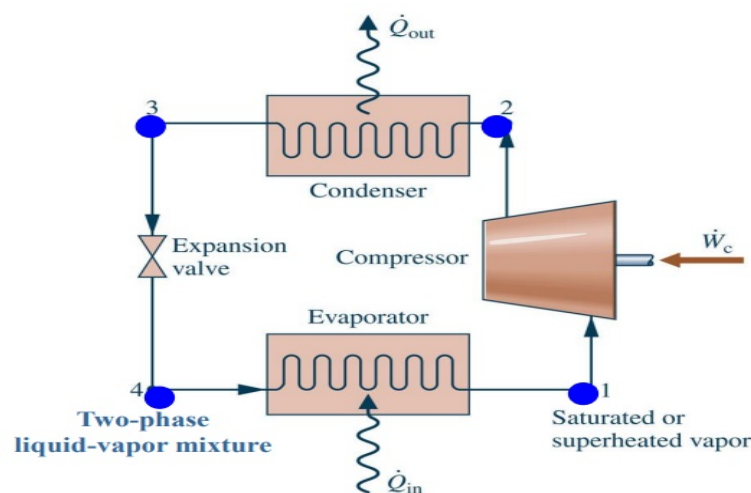
Οι ψύκτες είναι μονάδες που ανήκουν στα υποσυστήματα ψύξης και η κύρια χρήση τους είναι η παραγωγή κρύου νερού ώστε αυτό με την σειρά του να κατευθυνθεί μέσω των σωληνώσεων στις τερματικές μονάδες. Εκμεταλλευόμαστε έτσι την απλή και διαδεδομένη μέθοδο παραγωγής ψύξης, η οποία βασίζεται στο φαινόμενο αλλαγής φάσης ενός πτητικού σώματος και των θερμικών συναλλαγών που δημιουργούνται κατά την μεταβολή αυτή. (Παπασταμάτη, 2013)

Με βάση τον λειτουργικό τους κύκλο μπορούμε να τους διακρίνουμε σε:

- Ψύκτες συμπίεσης ατμών
- Ψύκτες απορρόφησης ή προσρόφησης

Στη πρώτη κατηγορία η διάταξη του συστήματος αποτελείται από συμπιεστή, εξατμιστή, συμπυκνωτή και την εκτονωτική βαλβίδα. Αρχικά το ρευστό θερμαίνεται στον εξατμιστή προκαλώντας την αλλαγή κατάστασης από υγρό σε αέριο. Έπειτα μέσω του συμπιεστή, αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία του (θερμοκρασία μέσου της τάξης των 80°C), ώστε μετά την ψύξη να αποδοθεί η θερμότητα στον συμπυκνωτή. Ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, που ψύχει το αέριο υψηλής πίεσης έτσι ώστε να το μετατρέψει σε υγρό. Τέλος η εκτονωτική βαλβίδα αναλαμβάνει να ρίξει την πίεση του υγρού ώστε να οδηγηθεί πίσω στον εξατμιστή και να επαναληφθεί πάλι ο ίδιος κύκλος. (Stanford III, 2012)

Στην Εικόνα 4 διαφαίνεται αναλυτικά, ο ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού.



Εικόνα 4: Ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού

Στην δεύτερη κατηγορία, οι ψύκτες απορρόφησης/προσρόφησης μετατρέπουν την θερμότητα σε ψύξη. Βρίσκουν επιτυχή εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα και δεν υπάρχουν ανάγκες για θερμότητα αλλά υπάρχουν ανάγκες για ψύξη. Διαθέτουν μια διάταξη θερμικής συμπίεσης, έχοντας σαν ψυκτικό μέσο το νερό. Εάν ο ψύκτης είναι απορρόφησης, το απορροφητικό ρευστό είναι συνήθως Βρωμιούχο Λίθιο (LiBr) ή αμμωνία, ενώ εάν ο ψύκτης είναι προσρόφησης, το προσροφητικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι η γέλη σιλικόνης (Silica Gel).



Οι ψύκτες μπορούν να διακριθούν και με βάση το μέσο που εισάγουν στους συμπιεστές τους ώστε να μειώσουν την θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται σε:

- Αερόψυκτους
- Υδρόψυκτους

Οι αερόψυκτοι ψύκτες είναι εξοπλισμένοι με συμπυκνωτές που χρησιμοποιούν τον αέρα του περιβάλλοντος για τη μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου. Οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται για να πιέσουν τον αέρα πάνω από τη σωλήνωση που περιέχει ψυκτικό και επομένως να εξαλείψουν τη θερμότητα από αυτόν. Αντίθετα, οι υδρόψυκτοι ψύκτες εκμεταλλεύονται την υψηλή θερμική ικανότητα του νερού για να διευκολύνουν την ψύξη του ψυκτικού μέσου. Το τυπικό ψυκτικό που χρησιμοποιείται σε υδρόψυκτα συστήματα είναι ένα μείγμα νερού και γλυκόλης που κυκλοφορεί σε ένα σφραγισμένο δίκτυο σωλήνων. Η ψύξη συμβαίνει όταν το ψυχρό ψυκτικό διέρχεται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας που συνδέεται με τη βιομηχανική διαδικασία. Στη συνέχεια, το θερμαινόμενο ψυκτικό επιστρέφεται σε έναν πύργο ψύξης ή μια μονάδα ψύξης, η οποία εξαλείφει τη θερμότητα που αποκτάται ως προετοιμασία για έναν άλλο κύκλο ψύξης.

Με βάση τον σχεδιασμό και την λειτουργία τους, οι αερόψυκτοι ψύκτες έχουν υψηλότερο κόστος από τους υδρόψυκτους. Αρχικά, τα αερόψυκτα συστήματα απαιτούν εγκατάσταση αεραγωγών, ανεμιστήρων και χειριστηρίων θερμορύθμισης. Επιπλέον, καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας για να τροφοδοτήσουν τους ανεμιστήρες που διευκολύνουν την ψυκτική τους επίδραση. Από την άλλη πλευρά, παρόλο που τα υδρόψυκτα ψυκτικά συγκροτήματα κοστίζουν λιγότερο, έχουν αυξημένα λειτουργικά κόστη, καθώς οι περισσότεροι υδρόψυκτοι ψύκτες θα πρέπει να έχουν εγκατεστημένους πύργους ψύξης. Εάν συνυπολογιστούν τα έξοδα συντήρησης, όπως οι δοκιμές ποιότητας νερού, η υποχρεωτική επεξεργασία του νερού, το κόστος λειτουργίας υδρόψυκτου ψυκτικού συγκροτήματος μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται, ένας αερόψυκτος και ένας υδρόψυκτος ψύκτης.



Εικόνα 5: Αερόψυκτος ψύκτης(αριστερά), υδρόψυκτος (δεξιά)

### 5.2.2 Λέβητας

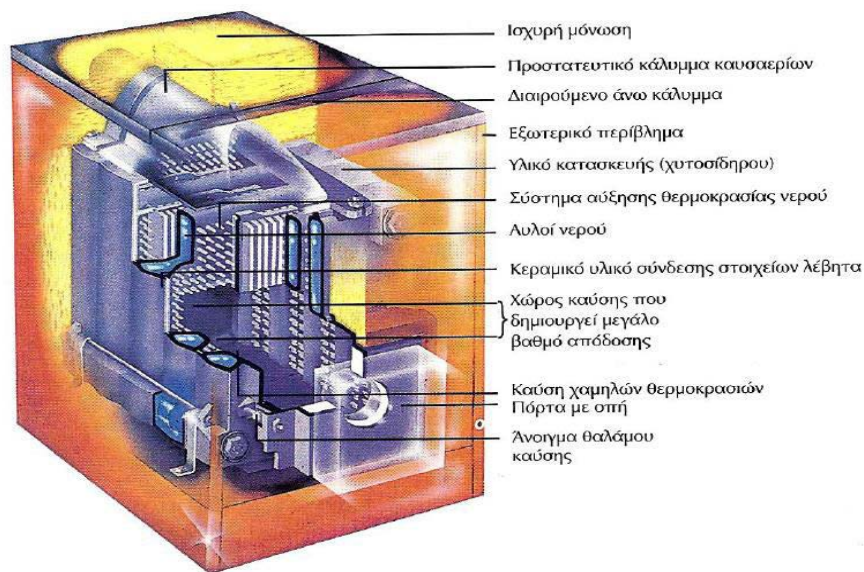
Όταν κάνουμε αναφορά στον λέβητα, στην πραγματικότητα αναφερόμαστε στο συγκρότημα λέβητα-καυστήρα. Στον λέβητα πραγματοποιείται η καύση, ώστε να δημιουργηθούν τα θερμά καυσαέρια, τα οποία έρχονται σε επαφή με το νερό και το θερμαίνουν, με σκοπό να οδηγηθεί στα τερματικά σώματα ώστε να αποδώσει την θερμότητά του στον χώρο. Ο καυστήρας, είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία του καυσίμου, την ανάμιξη του με τον αέρα καύσης ώστε να προκαλέσει την καύση του. (Παντελίδης, 2018)

Ο λέβητας αποτελείται από:

- Τον φλογοθάλαμο, στον οποίο τελείται η καύση του πετρελαίου.
- Το εσωτερικό περίβλημα του φλογοθαλάμου.
- Τους αυλούς, στους οποίους μέσα διέρχεται το νερό ώστε να δεχτεί την θερμότητα από την καύση του πετρελαίου.
- Το εξωτερικό περίβλημα του φλογοθαλάμου.
- Τους αεριοαυλούς, στους οποίους διέρχονται τα καυσαέρια από την καύση του πετρελαίου, μεταδίδοντας έτσι την θερμότητα τους στο νερό. Έτσι αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης του λέβητα.

- Την θερμική μόνωση του σώματος, που συνήθως αποτελείται από υαλοβάμβακα πάχους 8cm, με σκοπό την εμπόδιση απωλειών θερμότητας.
- Τα στόμια προσαρμογής, που οδηγούν στην έξοδο το ζεστό νερό και επιστρέφουν το κρύο νερό από τα τερματικά στοιχεία μέσω των σωληνώσεων.
- Το στόμιο προσαγωγής του καπναγωγού, μέσω του οποίου γίνεται η οδήγηση των καυσαερίων.

Τα παραπάνω μέρη απεικονίζονται και στη Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Λέβητας και τα στοιχεία που τον αποτελούν

Μπορούμε να διακρίνουμε τους λέβητες ως προς το είδος καυσίμου που χρησιμοποιούν:

- Υγρών καυσίμων
- Αέριων καυσίμων
- Στερεών καυσίμων

Οι πιο διαδεδομένοι λέβητες είναι αυτοί των υγρών καυσίμων και πιο συγκεκριμένα λέβητες πετρελαίου. Βέβαια με ειδική μετατροπή στον καυστήρα, ένας λέβητας πετρελαίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καύση αλλού καυσίμου.

### 5.2.3 Fan-Coils (FCU)

Στα συστήματα κλιματισμού ο έλεγχος των συνθηκών του αέρα γίνεται με την κυκλοφορία του αέρα των χώρων μέσα από τα Fan-coils. Είναι ουσιαστικά οι τερματικές συσκευές του συστήματος κλιματισμού, που είναι εγκατεστημένες στους χώρους του εκάστοτε κτιρίου. Η λειτουργία τους βασίζεται σε δυο βασικά στοιχεία. Πρώτον το ψυκτικό/θερμικό στοιχείο, το οποίο αποτελείται από χάλκινους αγωγούς στους οποίους καταλήγει μέσω των σωληνώσεων το ψυχρό/θερμό νερό από την κεντρική μονάδα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ψύξη με αφύγρανση και θέρμανση του αέρα ανακυκλοφορίας του χώρου. Δεύτερον ο ανεμιστήρας δημιουργεί βεβιασμένη κυκλοφορία και έτσι προωθεί τον αέρα προς το ψυκτικό/θερμικό στοιχείο, ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία και να εξέλθει στον χώρο.

Η παρασκευή του ψυχρού νερού γίνεται μέσω των αερόψυκτων ή υδρόψυκτων ψυκτικών μονάδων, ενώ την παρασκευή του θερμού νερού αναλαμβάνουν συνήθως οι λέβητες. Ανάλογα με την αρχιτεκτονική πρόταση του κτιρίου, ο μηχανικός πρέπει να επιλέξει ανάμεσα σε:

- Μονάδες δαπέδου, που κατά κύριο λόγο είναι εμφανείς.
- Μονάδες ψευδοροφής που είναι μη εμφανείς.

Σε κάθε περίπτωση, για να λειτουργήσουν τα Fan-coils πρέπει να βρεθεί, υποχρεωτικά, δυνατότητα ανακυκλοφορίας αέρα.

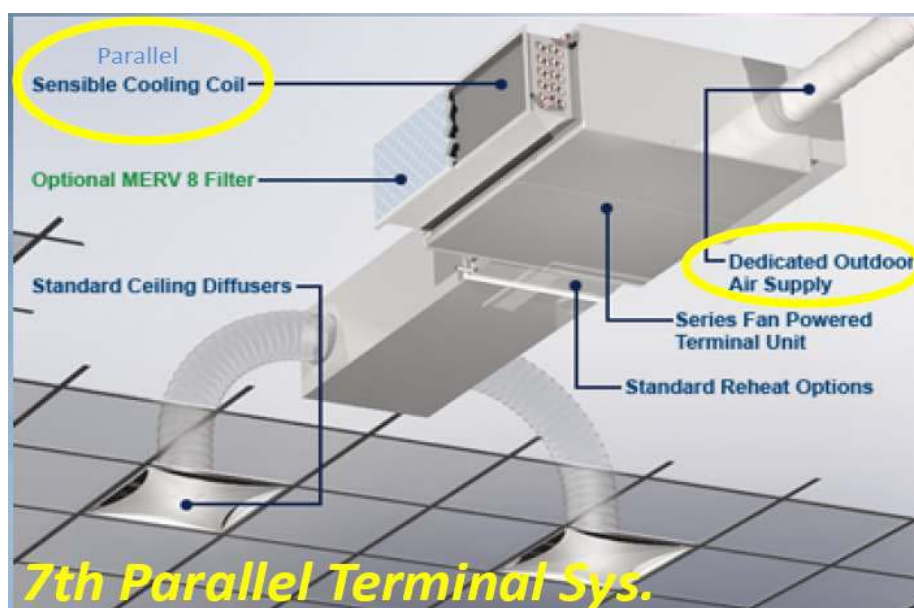
Τα βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα Fan-coils είναι τα εξής: (ANDRIANOS, 2021)

- Ευελιξία στον σχεδιασμό ευνοώντας την εξοικονόμηση χώρου.
- Αυτονομία σε κάθε χώρο καθώς κάθε Fan-coil μπορεί να ελεγχθεί μέσω θερμοστάτη χώρου και κατάλληλη ηλεκτροβάννα.
- Η χαμηλή θερμική αδράνεια επιτρέπει να διαμορφώνει ο χρήστης γρηγορότερα και αποτελεσματικότερα τις εσωτερικές συνθήκες του χώρου.
- Με την χρήση αντλίας θερμότητας μπορούμε να επιτύχουμε θέρμανση/ψύξη με ένα μόνο σύστημα κλιματισμού και έτσι να αντικαταστήσουμε τις συμβατικές μονάδες όπως ο λέβητας στον οποίο χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα.
- Με την προσθήκη φίλτρων στο σύστημά του επιτρέπει τον καθαρισμό και φιλτράρισμα του εξερχόμενου, από την τερματική μονάδα, αέρα.

Τα βασικά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα Fan-coils είναι τα εξής:

- Δεν μπορούν να παράσχουν μηχανικό αερισμό στους χώρους, με αποτέλεσμα να πρέπει να χρησιμοποιηθεί και βοηθητικό σύστημα προσαγωγής φρέσκου αέρα στο κτίριο.
- Δεν μπορούν να επιτύχουν ύγρανση του χώρου, ειδικά τον χειμώνα.

Στην Εικόνα 7 μπορούμε να διακρίνουμε αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια μονάδα Fan-coil ψευδοροφής.



Εικόνα 7: Αναλυτική περιγραφή χαρακτηριστικών FCU

#### 5.2.4 Αντλίες θερμότητας

Όπως είναι γνωστό στην φύση, η θερμότητα πάντα ρέει από ένα θερμότερο περιβάλλον προς ένα ψυχρότερο. Το ζητούμενο όμως σε μια εγκατάσταση θέρμανσης είναι να μεταφέρουμε θερμότητα από ένα ψυχρό περιβάλλον προς ένα θερμότερο περιβάλλον, δηλαδή να αντιστρέψουμε την φυσική ροή θερμότητας (Παντελίδης, 2018). Με την αντλία θερμότητας καταφέραμε να αντιστρέψουμε την φυσική ροή θερμότητας με την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντλία θερμότητας βασίζεται στις βασικές αρχές λειτουργίας του

ψύκτη με την μόνη διαφορά ότι έχουν την δυνατότητα αντιστροφής του ψυκτικού τους κύκλου, τόσο για την ψυκτική όσο και για την θερμαντική λειτουργία.

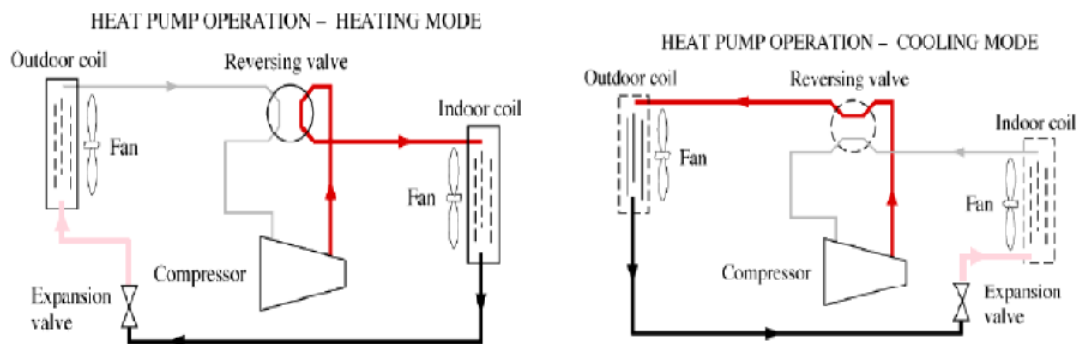
Κατασκευαστικά η αντλία θερμότητας αποτελείται από τα ίδια στοιχεία που αποτελείται και ένας ψύκτης. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από:

- Εξατμιστή
- Συμπιεστή
- Συμπυκνωτή
- Εκτονωτική βαλβίδα

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας διαφέρει ανάλογα την περίοδο του χρόνου. Κατά την θερινή περίοδο ο εξατμιστής βρίσκεται σε επαφή με τον εσωτερικό χώρο από τον οποίο θέλουμε να αποβάλλουμε θερμότητα ώστε να προβούμε σε ψύξη του. Μέσα στον εξατμιστή το ψυκτικό ρευστό βρίσκεται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, απορροφά θερμότητα και εξατμίζεται σε ατμό χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Οι ατμοί κατευθύνονται προς τον συμπιεστή, όπου γίνεται η αναρρόφηση τους, αυξάνοντας έτσι την πίεση και την θερμοκρασία τους. Ο συμπυκνωτής βρίσκεται στον χώρο που θα απορριφθεί η θερμότητα δηλαδή στο ύπαιθρο. Κατά την συμπύκνωσή τους οι ατμοί αποβάλλουν την θερμότητα τους με αποτέλεσμα το ψυκτικό ρευστό να μετατρέπεται από αέρια σε υγρή φάση υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Τέλος στην εκτονωτική βαλβίδα μειώνεται η υψηλή πίεση έως την πίεση που επικρατεί στον εξατμιστή, ώστε να ξεκινήσει εκ νέου ο κύκλος.

Αντίθετα με την θερινή περίοδο, κατά την χειμερινή περίοδο ο εξατμιστής βρίσκεται σε επαφή με το ύπαιθρο, ώστε να αντληθεί θερμότητα και το ψυκτικό μέσο να μετατραπεί σε αέρια φάση χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Στην συνέχεια το ρευστό όντας σε αέρια φάση, περνά από τον συμπιεστή, ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία και η πίεσή του. Ο συμπυκνωτής, αντίθετα με την θερινή λειτουργία, βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο που πρέπει να θερμανθεί, δηλαδή τον εσωτερικό χώρο. Το ρευστό σε αυτή την φάση συμπυκνώνεται αποβάλλοντας την θερμότητα στον χώρο και μετατρέπεται σε υγρή μορφή υψηλής πίεσης. Τέλος η εκτονωτική βαλβίδα μειώνει την πίεση στο ρευστό υγρής φάσης ώστε να μπορεί να επανέλθει στον εξατμιστή.

Η αναλυτική λειτουργία της αντλίας θερμότητας κατά την ψύξη και θέρμανση παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8: Λειτουργία αντλίας θερμότητας κατά την θέρμανση και ψύξη

Οι αντλίες θερμότητας χαρακτηρίζονται με βάση την πηγή της θερμότητας και τον αποδέκτη της θερμότητας. Αναλυτικότερα έχουμε:

- Αντλίες θερμότητας αέρα- αέρα

Είναι ο πλέον συνηθισμένος τύπος αντλιών, που καλύπτει μικρές τοπικές εφαρμογές, όπως τα κοινά κλιματιστικά που χρησιμοποιούνται σε κατοικίες, γραφεία, καταστήματα. Η θερμαντική λειτουργία βασίζεται στην απορρόφηση θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω του εξατμιστή και την απόδοσή του στον χώρο από τον συμπυκνωτή. Η ψυκτική λειτουργία βασίζεται στην απορρόφηση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο μέσω του εξατμιστή και την απόρριψη του στο περιβάλλον μέσω του συμπυκνωτή. Σημαντικό μειονέκτημα των μονάδων είναι η δραστική μείωση της απόδοσης του την περίοδο του χειμώνα, όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, οπότε και υπάρχει αδυναμία κάλυψης των απαιτήσεων σε θέρμανση. Για να αντιμετωπιστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα οι μονάδες υπόκεινται σε υπερδιαστασιολόγηση ή γίνεται χρήση κάποιας εναλλακτικής μορφής θερμικής ενέργειας, όπως είναι μια ηλεκτρική αντίσταση.

- Αντλίες θερμότητας αέρα- νερού

Είναι μονάδες που χρησιμοποιούν τον εξωτερικό αέρα για την απορρόφηση ή την αποβολή θερμότητας, ενώ χρησιμοποιούν το νερό, μέσω σωληνώσεων, για την μεταφορά θερμότητας από και προς τον εσωτερικό χώρο. Επομένως περιλαμβάνουν αερόψυκτο εξατμιστή/συμπυκνωτή στο πρωτεύον κύκλωμα, ώστε να αντλείται και να απορρίπτεται η

θερμότητα από και προς τον εξωτερικό αέρα. Αντίστοιχα στο δευτερεύον κύκλωμα, σε επαφή με τον εσωτερικό χώρο υπάρχει υδρόψυκτος εξατμιστής/συμπυκνωτής που τροφοδοτεί το δίκτυο σωληνώσεων με ψυχρό/θερμό νερό. Οι μονάδες αυτές αλληλοεπιδρούν είτε με κεντρικές κλιματιστικές μονάδες επεξεργασίας αέρα, είτε με δίκτυα τοπικών μονάδων Fan-coil. Χρησιμοποιούνται σε κεντρικά συστήματα κλιματισμού και είναι ικανά να ελέγχουν πολλές διαφορετικές θερμικές ζώνες διαφορετικών χρήσεων.

- Αντλίες θερμότητας νερού- αέρα

Είναι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας το νερό (θαλασσινό, επιφανειακό, λίμνης, ποταμού, απόνερα). Στο δευτερεύον κύκλωμα οι συσκευές αυτές επικοινωνούν με τον εσωτερικό χώρο μέσω αεραγωγών προσαγωγής/ απαγωγής. Ο ψυχρός ή θερμός αέρας της μονάδας δρα ως ψυκτικό μέσο, ψύχοντας ή θερμαίνοντας τον εσωτερικό χώρο. Παρόλα αυτά οι αντλίες θερμότητας συγκεκριμένου τύπου δεν είναι διαδεδομένες στην ελληνική αγορά.

- Αντλίες θερμότητας νερού- νερού

Είναι μονάδες που περιλαμβάνουν και στο πρωτεύον και στο δευτερεύον υδρόψυκτο εξατμιστή/συμπυκνωτή. Χρησιμοποιούν το νερό για την μεταφορά θερμότητας από το πρωτεύον στο δευτερεύον κύκλωμα στο οποίο το ψυχρό/θερμό νερό αλληλοεπιδρά με τον εσωτερικό χώρο, ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες θερμικής άνεσης. Σε επαφή με τον εσωτερικό χώρο συνδέονται δίκτυα νερού, δηλαδή κεντρικές κλιματιστικές μονάδες αέρα ή τοπικές μονάδες Fan-coil.

- Αντλίες θερμότητας εδάφους- νερού

Είναι μονάδες που χρησιμοποιούν την θερμοχωρητικότητα, δηλαδή τη αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους, για τον κλιματισμό των χώρων του κτιρίου. Το πρωτεύον κύκλωμα αποτελείται από έναν υδρόψυκτο εναλλάκτη (εξατμιστή/συμπυκνωτή), αλληλοεπιδρά μέσω νερού με τη θερμοχωρητικότητα του εδάφους και καταφέρνει έτσι να απορρίπτει ή να απορροφά θερμότητα. Το δευτερεύον κύκλωμα αποτελείται εξίσου από έναν υδρόψυκτο εναλλάκτη, ο οποίος μέσω των κατάλληλων σωληνώσεων αλληλοεπιδρά μέσω των Fan-coil ή των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων. Στο έδαφος τοποθετείται



γεωενναλάκτης, ένα κλειστό κύκλωμα πλαστικών σωληνώσεων στο οποίο κυκλοφορεί διάλυμα νερού και αντιπηκτικού. Τα συστήματα του συγκεκριμένου τύπου ονομάζονται και γεωθερμικά συστήματα και είναι από τα πλέον αποδοτικά συστήματα.

- Αντλίες θερμότητας εδάφους- αέρα

Είναι μονάδες που κατασκευαστικά και λειτουργικά έχουν το ίδιο πρωτεύον κύκλωμα με τις αντλίες θερμότητας εδάφους- νερού με την διαφορά ότι στο δευτερεύον υπάρχει αερόψυκτος εναλλάκτης (εξατμιστής/συμπυκνωτής) με παρουσία ανεμιστήρα, ο οποίος τροφοδοτεί με ψυχρό ή θερμό αέρα το δίκτυο αεραγωγών. Παρόλα αυτά για τα ελληνικά αγορά δεν είναι διαδεδομένα.

#### **5.2.5 Συστήματα VRV-VRF**

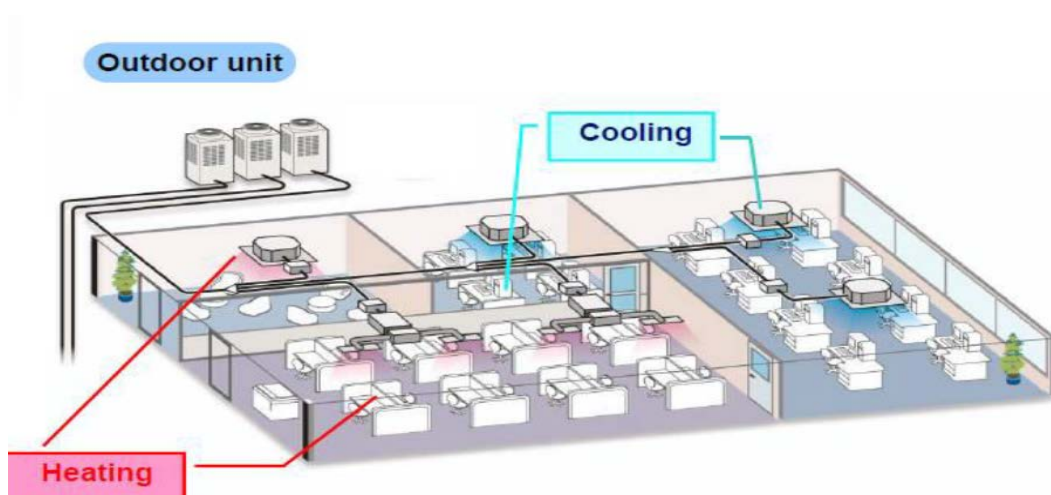
Τα συστήματα μεταβλητού όγκου ψυκτικού (VRV) ή μεταβλητής ροής ψυκτικού (VRF) εξάγουν ή παρέχουν θερμότητα σε μεμονωμένες ζώνες, όπως απαιτείται. Διαθέτουν πολλαπλές εσωτερικές μονάδες με συσκευή ελέγχου διανομέα ροής ψυκτικού οι οποίες είναι συνδεδεμένες με μια εξωτερική μονάδα. Η εξωτερική μονάδα αποτελείται από τον συμπιεστή INVERTER και τον εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος επιτρέπει την συναλλαγή θερμότητας με τον εξωτερικό χώρο. Η εσωτερική μονάδα διαθέτει έναν εναλλάκτη θερμότητας, μια εκτονωτική βαλβίδα, η οποία ανάλογα με το φορτίο του χώρου ρυθμίζει την ροή ψυκτικού μέσου και έναν αισθητήρα, ο οποίος ανιχνεύει την θερμοκρασία του δωματίου και μπορεί να μεταβάλλει την συχνότητα του συμπιεστή INVERTER, ώστε να ρυθμίζει την απόδοση του κλιματιστικού μηχανήματος ανάλογα με τα φορτία του χώρου. Εάν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας χώρου και επιθυμητής θερμοκρασίας, ο συμπιεστής ρυθμίζεται ώστε να λειτουργεί σε υψηλές συχνότητες, ενώ σε χαμηλές όταν η διαφορά είναι μικρή.

Με μια εκτεταμένη επιλογή εσωτερικών μονάδων, αυτά τα συστήματα είναι κατάλληλα για μεγαλύτερα κτίρια και είναι τα πλέον διαδεδομένα. Τα πλεονεκτήματα που παρέχουν τα συστήματα VRV- VRF είναι τα εξής (Παντελίδης, 2018) (Suhafizudin Bin Zainal Anuar):

- Με την τεχνολογία heat recovery, το σύστημα απάγει θερμότητα από τους χώρους που έχουν ζήτηση ψύξης και την προάγει σε χώρους που έχουν ζήτηση θέρμανσης.

Έτσι με αυτό τον τρόπο έχουμε δωρεάν παραγωγή θέρμανσης κατά την λειτουργία της ψύξης, με θερμότητα που σε διαφορετικά σημεία θα απορρίπτονταν στο περιβάλλον.

- Προσφέρουν ευελιξία στην εγκατάσταση και εξοικονόμηση χώρου, καθώς υπάρχουν διάφοροι τύποι εσωτερικών μονάδων (επιτοίχιοι, δαπέδου, ψευδοροφής).
- Παρέχεται ανεξάρτητος έλεγχος κάθε εσωτερικής μονάδας, δίνοντας την δυνατότητα κάποια τερματικά να είναι σε λειτουργία θέρμανσης και κάποια άλλα σε λειτουργία ψύξης, κάτι που απεικονίζεται στην Εικόνα 9.
- Για κενό δωμάτιο, το σύστημα μπορεί να απενεργοποιηθεί μεμονωμένα σε σύγκριση με κεντρικό σύστημα κλιματισμού που λειτουργεί χωρίς διακρίσεις.
- Ο χαμηλής θερμοκρασίας αέρας θερμαίνεται ταχύτατα μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία. Ο χρόνος που απαιτείται για την άνοδο της θερμοκρασίας στο επιθυμητό επίπεδο είναι συνήθως μικρότερος από το μισό χρόνο που χρειάζεται ένα συμβατικό κλιματιστικό. Αφού επιτύχουμε την θερμική άνεση σε κάθε χώρο, η μονάδα ρυθμίζεται να λειτουργεί σε χαμηλή ισχύ, ώστε να μπορούμε να διατηρούμε τις επιθυμητές συνθήκες σταθερές χωρίς μεγάλη κατανάλωση.
- Μπορούν να τοποθετηθούν εύκολα σε νέα και υπάρχοντα κτίρια, καθώς είναι εύκολη η τροποποίηση της διάταξης τους, ανάλογα με τον σχεδιασμό του κτιρίου.
- Μια εξωτερική μονάδα μπορεί να τροφοδοτήσει υπό προϋποθέσεις έως και 64 εσωτερικές μονάδες.



Εικόνα 9: Διάταξη ενός συστήματος VRV στον χώρο επιτρέποντας παράλληλα θέρμανση και ψύξη.

### 5.2.6 Γεωθερμία

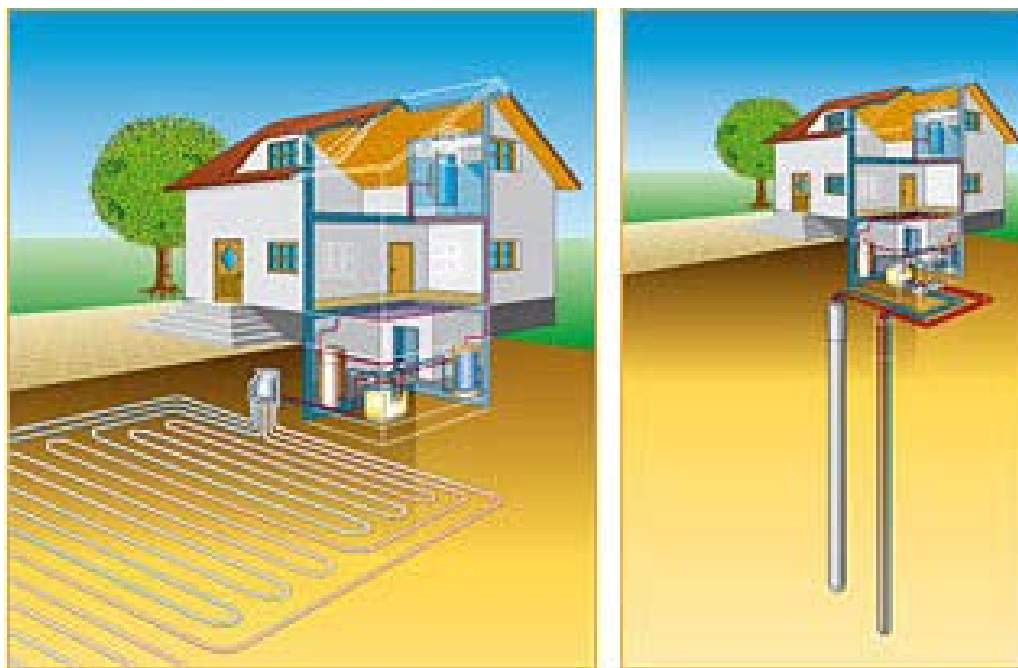
Με τον όρο γεωθερμία χαρακτηρίζεται η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της γης. Πρόκειται για μια ανεξάντλητη πηγή καθαρής ενέργειας η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε αγροτικές και βιομηχανικές περιοχές. Στις περιπτώσεις που το βάθος εκμετάλλευσης είναι μικρότερο των 150m χαρακτηρίζουμε την γεωθερμία, αβαθή και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης σε οικιακές και τριτογενή τομέα εγκαταστάσεις.

Ένα γεωθερμικό σύστημα αξιοποιεί την σταθερή θερμοκρασία που επικρατεί εντός του εδάφους τόσο τον χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Τον χειμώνα το ρευστό που κυκλοφορεί στον γεωενναλάκτη απορροφά την θερμότητα του εδάφους και μέσω της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας την αποδίδει στους χώρους του κτιρίου. Το καλοκαίρι απάγει θερμότητα από το κτίριο και μέσω του γεωενναλάκτη την αποδίδει στο πιο δροσερό έδαφος. Σαν αποτέλεσμα τα συστήματα που χρησιμοποιούν την γεωθερμία είναι πιο οικονομικά και αποδοτικά αφού καλούνται να θερμάνουν ή να ψύξουν ξεκινώντας με βάση την σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους και όχι την θερμοκρασία του χώρου. Ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους καθώς και με τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, υπάρχουν δυο διαφορετικοί τύποι γεωεναλλακτών :

- Σύστημα οριζόντιου γεωενναλάκτη, στο οποίο σε κατάλληλο χώρο του οικοπέδου και σε βάθος περίπου 1,20m με 1,50m τοποθετούνται οριζοντίως τα κυκλώματα σωληνώσεων μέσα στα οποία ρέει διάλυμα νερού με αντιψυκτικό. Τα συγκεκριμένα κυκλώματα αποτελούν τον γεωενναλάκτη και το μέγεθος τους εξαρτάται από τις ανάγκες του κτιρίου.
- Σύστημα κατακόρυφου γεωενναλάκτη, στο οποίο τα κυκλώματα σωληνώσεων βυθίζονται σε βάθος περίπου 30m μέχρι 100m. Το συγκεκριμένο κύκλωμα απαιτεί λιγότερο χώρο και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που δεν μπορεί να ανασκαφεί το οικόπεδο λόγω χώρου ή λόγω της μορφολογίας του εδάφους. Ως σύστημα είναι

καταλληλότερο για περιπτώσεις εκσυγχρονισμού θέρμανσης με αντλίες θερμότητας.

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζονται οι δυο κατηγορίες γεωεναλλακτών καθώς και τις απαιτήσεις σε διαθέσιμο χώρο, ώστε να καταστεί δυνατή η εγκατάστασή τους.



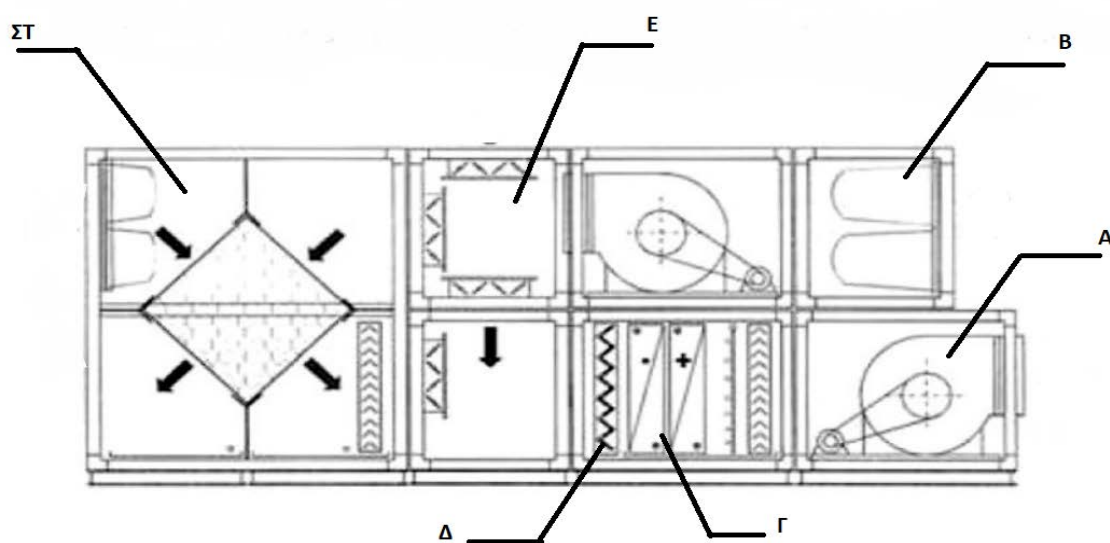
Εικόνα 10: Σύστημα οριζόντιου και κατακόρυφου γεωεναλλάκτη.

### 5.3 Μονάδες μηχανικού αερισμού

Η ανανέωση του αέρα του χώρου, τόσο στα κτίρια κατοικιών όσο και στα κτίρια τριτογενούς τομέα είναι κομβικής σημασίας. Για να επιτευχθεί αυτή η ανανέωση πρέπει να εισάγουμε φρέσκο αέρα (νωπός αέρας) από το εξωτερικό περιβάλλον, είτε με φυσικό τρόπο μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων, είτε με μηχανικό τρόπο. Στα κτίρια τριτογενούς τομέα απαιτείται η τοποθέτηση συστήματος μηχανικού αερισμού ή διαχείρισης κλιματιζόμενου αέρα. Παρακάτω αναλύονται δυο διαφορετικά συστήματα που επιτρέπουν τον μηχανικό αερισμό.

### 5.3.1 Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ)

Η ΚΚΜ είναι μονάδα η οποία αποτελείται από διαφορετικά τμήματα και ο κύριος σκοπός της είναι να επεξεργάζεται τον αέρα. Είναι χωρισμένη σε διαμερίσματα, τα οποία διασυνδέονται μεταξύ τους και συγκροτούν την ΚΚΜ. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να περιέχονται διαφόρων τύπων φίλτρα, κιβώτια μίξης, στοιχεία θέρμανσης και ψύξης, μονάδες ύγρανσης, ανεμιστήρες και εναλλάκτες, πάντα ανάλογα με τις απαιτήσεις του κτιρίου. Στην Εικόνα 11 φαίνεται μια ΚΚΜ σε τομή όπου μπορούμε να διακρίνουμε τα διαμερίσματα από τα οποία αποτελείται. Στα διαμερίσματα Α, Β είναι οι ανεμιστήρες προσαγωγής και επιστροφής, στο Γ είναι το κιβώτιο των στοιχείων και ο υγραντής και στο Δ είναι τοποθετημένο το κιβώτιο των φίλτρων. Στο τμήμα Ε είναι τοποθετημένο το διπλό κιβώτιο μίξης, όπου γίνεται η απόρριψη του πλεονάζοντος αέρα καθώς η λήψη του φρέσκου νωπού αέρα και η ανάμιξη του με τον αέρα επιστροφής. Τέλος στο διαμέρισμα ΣΤ είναι τοποθετημένος ο εναλλάκτης. (Παντελίδης, 2018)



Εικόνα 11: Τομή ΚΚΜ με τα επιμέρους διαμερίσματα της

Με την χρήση του ανεμιστήρα απαγωγής η ΚΚΜ απομακρύνει αέρα από τον χώρο και μόνο ένα τμήμα του απαγόμενου αυτού αέρα χρησιμοποιείται ως αέρας ανακυκλοφορίας. Ο αέρας ανακυκλοφορίας στη συνέχεια αναμιγνύεται με φρέσκο νωπό αέρα στο κιβώτιο μίξης ώστε να πραγματοποιηθεί η πρόψυξη ή προθέρμανση του. Ο αέρας στην ΚΚΜ

μπορεί να θερμαίνεται ή να ψύχεται, ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Ψύχοντας τον αέρα επιτυγχάνουμε την αφύγρανση του αέρα, ενώ για ύγρανση πρέπει να χρησιμοποιηθεί απαραίτητα ο υγραντής. Σε ορισμένες περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη αφύγρανση αναγκάζεται η κλιματιστική μονάδα να χαμηλώσει πολύ την θερμοκρασία. Για να πετύχουμε την αφύγρανση αλλά και τα ταυτόχρονα την θερμική άνεση πρέπει τον συγκεκριμένο αέρα να τον αναθερμάνουμε. Έτσι το καλοκαίρι μπορούμε να έχουμε ταυτόχρονη λειτουργία του ψυκτικού και του θερμαντικού στοιχείου.

Μια δεύτερη περίπτωση ΚΚΜ η οποία καλύπτει τις απαιτήσεις σε νωπό αέρα είναι η ΚΚΜ 100% νωπού αέρα. Στις συγκεκριμένες μονάδες δεν έχουμε ανακυκλοφορία του αέρα αλλά ο αέρας επιστροφής απορρίπτεται στο σύνολο του και προσάγεται φρέσκος αέρας στο 100%. Τέτοια συστήματα ήταν ευρέως γνωστά στα νοσοκομεία (χειρουργεία) όπου η ανακυκλοφορία του αέρα είναι απαγορευμένη. Τα πρωτόκολλα πλέον για τον περιορισμό της πανδημίας Covid-19 επιβάλλουν τις ΚΚΜ να εισάγουν 100% νωπό αέρα στα κτίρια τριτογενούς τομέα. (Παντελίδης, 2018)

### **5.3.2 Συσκευές μηχανικού αερισμού με εναλλάκτη**

Οι συσκευές μηχανικού αερισμού εισάγουν φρέσκο αέρα, απαλλαγμένο από βλαβερές ουσίες, σκόνη και υγρασία ουσίες που συνήθως προέρχονται από την παρουσία ατόμων στους χώρους. Με την βοήθεια των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας, η θερμική ενέργεια που περιέχεται στον απορριπτόμενο αέρα μεταφέρεται στον εισαγόμενο νωπό αέρα και έτσι μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια.

Το σύστημα μηχανικού αερισμού αποτελείται από τους ανεμιστήρες προσαγωγής και απαγωγής, τον εναλλάκτη θερμότητας και τα φίλτρα αέρα. Αρχικά ο ανεμιστήρας απαγωγής μέσω του δικτύου αεραγωγών απομακρύνει τον αέρα από τον χώρο προς τον εξωτερικό περιβάλλον. Πριν εξέλθει ο απαγόμενος αέρας διέρχεται μέσα από τον εναλλάκτη θερμότητας. Στην συνέχεια ο ανεμιστήρας προσαγωγής εισάγει φρέσκο νωπό αέρα και αφού φιλτραριστεί από τα φίλτρα αέρα, διέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας λαμβάνοντας την θερμότητα που είχε προσδώσει ο αέρας απαγωγής. Ουσιαστικά γίνεται μια πρόψυξη ή προθέρμανση του εισαγόμενου αέρα ώστε να μην απαιτείται από τις μονάδες ψύξης ή θέρμανσης να λειτουργούν στο μέγιστο για να υπάρχουν συνθήκες θερμικής άνεση. Στην Εικόνα 12 φαίνεται πως ο εναλλάκτης

θερμότητας καταφέρει να απάγει την θερμότητα από τον αέρα απαγωγής και να την μεταδίδει στον εισερχόμενο αέρα.



Εικόνα 12: Λειτουργία εναλλάκτη θερμότητας

## 5.4 Σενάρια Κλιματισμού

Ένα από τα πιο ενεργοβόρα συστήματα σε μια εγκατάσταση είναι αυτό του κλιματισμού. Για να γίνει η σωστή επιλογή του συστήματος κλιματισμού, κρίνεται σκόπιμο να εξετασθούν εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας με διαφορετικά συστήματα κλιματισμού από αυτά που έχουν επικρατήσει σε επίπεδο κτιριακού κλιματισμού. Ακολουθεί η αναφορά των 3 σεναρίων που μελετήθηκαν για το κτίριο αναφοράς μας.

### 5.4.1 Σενάριο 1

Στο Σενάριο 1 επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ένα κεντρικό σύστημα κλιματισμού με τα εξής υποσυστήματα :

- Αερόψυκτος ηλεκτρικός ψύκτης αέρα- νερού για την ψύξη.
- Κεντρικός λέβητας αερίου για την θέρμανση.
- Τοπικές μονάδες Fan Coils (FCU) για την πλήρη κάλυψη των φορτίων χώρου και μια Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ) με ενσωματωμένους εναλλάκτες που καλύπτει το 30% των φορτίων αερισμού και ανακτά το υπόλοιπο 70% μέσω των εναλλακτών.

#### **5.4.2 Σενάριο 2**

Στο Σενάριο 2 επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ένα κεντρικό σύστημα κλιματισμού με τα εξής υποσυστήματα :

- Αερόψυκτη αντλία θερμότητας για ψύξη και θέρμανση ποσοστού 50% επί του συνόλου του κτηριακού ψυκτικού και θερμικού φορτίου.
- Γεωθερμική αντλία θερμότητας εδάφους-νερού για την ψύξη και θέρμανση του υπόλοιπου 50% επί του συνόλου του κτηριακού ψυκτικού και θερμικού φορτίου.
- Μια Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (KKM) πλήρους κλιματισμού για την πλήρη κάλυψη τόσο των φορτίων χώρου όσο και το φορτίο αερισμού. Στην KKM είναι ενσωματωμένοι εναλλάκτες που ανακτούν το 70% των φορτίων αερισμού.

#### **5.4.3 Σενάριο 3**

Στο Σενάριο 3 επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ένα κεντρικό σύστημα κλιματισμού με τα εξής υποσυστήματα:

- Κλιματισμός με σύστημα τύπου μεταβλητού όγκου ψυκτικού ρευστού, VRV – VRF (variable refrigerant volume-flow) με συστοιχία αντλιών θερμότητας αμέσου εκτονώσεως.
- Τοπικοί εναλλάκτες αέρα (VAM) για τον αερισμό – εξαερισμό των χώρων.

### **5.5 Καταναλώσεις σεναρίων κλιματισμού**

Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στην ενεργειακή μελέτη του κτιρίου αναφοράς θα πρέπει να μελετήσουμε τις ηλεκτρικές καταναλώσεις των παραπάνω σεναρίων καθώς και να γίνει επιλογή των συστημάτων με βάση τους πραγματικούς πίνακες κατασκευαστών όπου περιέχουν απαραίτητες πληροφορίες για την μελέτη.

Το κτίριο μας όπως έχουμε αναφέρει αποτελείται από το ισόγειο και 3 ορόφους, οι οποίοι αποτελούν τους θερμαινόμενους χώρους. Καθώς η χρήση του κτιρίου μας παραμένει ίδια για όλα τα σενάρια, μέσω της εφαρμογής 4M-HVAC υπολογίστηκαν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία χώρου και σύμφωνα με αυτές θα μπορέσουμε να διαλέξουμε την κατάλληλη κλιματιστική μονάδα. Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται οι τιμές των ψυκτικών και θερμικών φορτίων χώρου.



Πίνακας 11: Ψυκτικά και θερμικά φορτία χώρου

	Ψυκτικά φορτία χώρου (W)	Θερμικά φορτία χώρου (W)
<b>Ισόγειο</b>	137596	54629
<b>A Όροφος</b>	138412	36295
<b>B Όροφος</b>	80841	18034
<b>Γ Όροφος</b>	79150	22521
<b>Σύνολο</b>	435999	131497

Το λογισμικό της 4M μας επιτρέπει να υπολογίσουμε και τα ψυκτικά/θερμικά φορτία αερισμού που απαιτούν οι χώροι του κτιρίου αναφοράς και στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι τιμές των φορτίων αερισμού, που σύμφωνα με αυτές θα γίνει η επιλογή της μονάδας που θα αναλάβει τον μηχανικό αερισμό.

Πίνακας 12: Ψυκτικά και θερμικά φορτία αερισμού

	Ψυκτικά φορτία αερισμού (W)	Θερμικά φορτία αερισμού (W)
<b>Ισόγειο</b>	32164	60988
<b>A Όροφος</b>	44833	83180
<b>B Όροφος</b>	22784	42490
<b>Γ Όροφος</b>	22753	41928
<b>Σύνολο</b>	122534	228586

Παρατηρούμε ότι τα ψυκτικά φορτία χώρου σε όλες τις περιπτώσεις είναι μεγαλύτερα από τα θερμικά φορτία χώρου καθώς και από τα φορτία αερισμού επιβεβαιώνοντας τον κανόνα, ότι η ψύξη απαιτεί μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για να επιτευχθεί.

#### 5.5.1 Ηλεκτρική κατανάλωση σεναρίου 1

Στο σενάριο 1 για την κάλυψη όλων των ψυκτικών φορτίων χώρου μέσω των FCU χρησιμοποιήθηκε αερόψυκτος ψύκτης αέρα-νερού. Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής

του κατανάλωσης θα πρέπει να βρεθεί το συνολικό φορτίο που θα κληθεί να καλύψει. Συγκεκριμένα ο ψύκτης καλείται να καλύψει μόνο τα ψυκτικά φορτία χώρου που ανέρχονται σε 435999W. Από τον κατάλογο του 2020 της Daikin θα γίνει επιλογή δυο αερόψυκτων ψυκτών **EWAD-TZXSΒ/XLB 240**, τύπου screw δηλαδή με κοχλιωτό ή ελικοειδή συμπιεστή. Το συγκεκριμένο μοντέλο ψύκτη έχει ψυκτική ισχύ 240 kW. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ψύκτη δίνονται στην Εικόνα 13.

Cooling Only		EWAD-TZXSΒ/XLB	190	220	240	290
Space cooling	A Condition 35°C Pdc	kW	180.41	211.34	239.54	276.79
	ηs,c	%	195	198.6	195.4	203
SEER			4.95	5.04	4.96	5.15
Cooling capacity	Nom.	kW	180.4	211.3	239.5	276.8
Power input	Cooling Nom.	kW	52.13	63.22	72.5	83.87
Capacity control	Method					
	Minimum capacity	%	34	29	34	29
EER			3.46	3.343	3.304	3.3
ESEER			5.11	5.06	4.99	5.09

Εικόνα 13: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψύκτη

Η απόφαση να χρησιμοποιηθούν 2 ψύκτες δεν ήταν τυχαία αλλά αποσκοπεί στο να παραλληλιστεί η λειτουργία τους, ώστε να μπορούν μέσω των αυτοματισμών να ενεργοποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις των χώρων ο ένας ή και οι δυο ταυτόχρονα. Επίσης, η συγκεκριμένη τακτική χρησιμοποιείται για να υπάρχει εφεδρεία στο κτίριο μας σε περίπτωση βλάβης ή επιδιόρθωσης του ενός ώστε να μπορούν να καλυφθούν τα περισσότερα ψυκτικά φορτία. Οπότε η ηλεκτρική ισχύς των ψυκτών δίνεται από τον τύπο 5.1:

$$P_{elec} = \frac{\text{Ψυκτικό Φορτίο Χώρου}}{EER} \quad (5.1)$$

Το EER δίνεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή και πιο συγκεκριμένα είναι 3,304. Συνεπώς, η συνολική ηλεκτρική ισχύς των ψυκτών για να καλύψουν τις ανάγκες του κτιρίου είναι 131,96 kW.

Για την κάλυψη των θερμικών φορτίων χώρου μέσω των μονάδων FCU χρησιμοποιείται λέβητας αερίου. Πιο συγκεκριμένα το θερμικό φορτίο χώρου που πρέπει να καλυφθεί είναι 131479 W. Από τον κατάλογο του 2020 της Daikin θα γίνει χρήση 4 λεβήτων αερίου,

μοντέλου **EHOB 42AH** θερμικής ισχύος 42,5 kW και τα αναλυτικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στην Εικόνα 14. Στον πίνακα του κατασκευαστή υπάρχει η πληροφορία της ηλεκτρικής ισχύος που καταναλώνει το κύκλωμα του κάθε λέβητα. Κάθε λέβητας καταναλώνει 135W άρα η συνολική κατανάλωση είναι  $4 \times 135 = 540 \text{ W}$ .

Indoor unit				EHOB	G12A	G18A	12AH	18AH	42AH
Central heating	Heat Input Q <sub>n</sub> (net calorific value)	Nom	Min/Max	kW	3.8/12.5	5.6/18.7	3.5/11.8	5.6/18.7	7.8/42.5
	Heat Input Q <sub>n</sub> (gross calorific value)	Nom	Min/Max	kW	4.2/13.9	6.2/20.8	3.9/13.1	6.2/20.8	8.7/47.2
	Output P <sub>n</sub> at 80/60°C	Min/Nom		kW	-/12.2	-/18.2	3.4/11.5	5.4/17.8	7.7/40.9
	Output P <sub>n</sub> at 50/30°C	Min/Nom		kW		-/-	3.8/12.0	5.9/18.7	8.5/42.2
	Water pressure (PMS) Max			bar			3		
	Water temperature Max			°C			90		
Gas	Operation range	Min/Max		°C			30/90		
	Connection	Diameter		mm			15		
	Consumption (G20)	Min/Max		m <sup>3</sup> /h	0.36/1.30	0.58/1.94	0.36/1.22	0.55/1.94	0.81/4.41
	Consumption (G25)	Min/Max		m <sup>3</sup> /h	0.42/1.50	0.67/2.25	0.42/1.42	0.64/2.25	0.94/5.10
	Consumption (G31)	Min/Max		m <sup>3</sup> /h	0.14/0.49	0.22/0.74	0.14/0.47	0.21/0.74	0.31/1.68
	Supply air	Concentric					60/100		
Flue gas	Connection			mm			60		
	Space heating	General	η <sub>s</sub> (Seasonal space heating efficiency)	%		92		91	
Casing				Seasonal space heating eff. class			A		
	Colour	White - RAL9010							
Dimensions	Material	Precoated sheet metal							
	Unit	Height/Width/Depth	Casing	mm		590x450x240			710x450x240
Weight	Unit	Empty		kg		30			36
Power supply	Phase/Frequency/Voltage			Hz/V			1/50/230		
Electrical power consumption	Max.			W		80			135
	Standby			W		2			4

Εικόνα 14: Τεχνικά χαρακτηριστικά λέβητα αερίου

Στις εσωτερικές μονάδες στις οποίες το ψυκτικό/θερμικό φορτίο παράγεται μέσω του δικτύου σωληνώσεων οποιουδήποτε ψυκτικού ρευστού, ως ηλεκτρικό στοιχείο θεωρείται ο ανεμιστήρας τριών ταχυτήτων, ο οποίος δημιουργεί την βεβαιασμένη κυκλοφορία του αέρα. Η επιλογή της εσωτερικής μονάδας γίνεται μέσω των καταλόγων κατασκευαστών βάσει της ψυκτικής και θερμικής ισχύος της μονάδας καθώς και της απαιτούμενης παροχής αέρα. Στους χώρους του κτίριο αναφοράς θα τοποθετήσουμε Fan-coils νερού της εταιρίας Gree και μοντέλο **FP-125XD/B-T**, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά να φαίνονται στην Εικόνα 15. Κάθε μονάδα μπορεί να καλύψει ψυκτικό φορτίο έως 5,4 kW και θερμικό φορτίο έως 6.8 kW. Καθώς τα ψυκτικά φορτία είναι τα πιο απαιτητικά σε ένα χώρο θα γίνει υπολογισμός με βάσει τα ψυκτικά φορτία χώρου. Λόγω ότι κάθε Fan-coil μπορεί να καλύψει συγκεκριμένο ψυκτικό φορτίο σε κάποιους χώρους πρέπει να τοποθετηθούν παραπάνω από μια μονάδα, ώστε να επιτευχθεί η ψύξη και η θέρμανση. Για παράδειγμα θα παρθεί ένας μεγάλος χώρος γραφείων στον Γ' Όροφο του κτιρίου, ο οποίος υπολογίστηκε ότι απαιτεί ψυκτικό φορτίο 19403W, οπότε και θα τοποθετηθούν 4 Fan-Coil. Συνολικά, υπολογίζεται ότι χρειαζόμαστε 134 Fan-coils ώστε να μπορέσουμε να

τροφοδοτήσουμε όλους τους χώρους του κτιρίου μας. Με βάση των κατάλογο του κατασκευαστή μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ισχύ όλων των εσωτερικών μονάδων των FCU. Πιο συγκεκριμένα, κάθε ανεμιστήρας στην υψηλή παροχή αέρα καταναλώνει 82 Watt. Ο υπολογισμός έγινε σκόπιμα στη υψηλή παροχή αέρα ώστε να παρθεί η δυσμενέστερη περίπτωση. Επομένως, η μέγιστη συνολική ισχύς των Fan-coils ανέρχεται στα 10720 W.

Μοντέλο		FP-51XD-E	FP-68XD-E	FP-85XD/B-T	FP-102XD/B-T	FP-125XD/B-T
Παροχή αέρα (Y / M / X)	m³/h	490 / 420 / 320	650 / 540 / 460	677 / 588 / 535	954 / 885 / 823	1017 / 881 / 781
	CFM	290 / 247 / 190	382 / 318 / 270	398 / 345 / 314	561 / 520 / 484	598 / 518 / 459
Απόδοση	Συνολική Ψύξη kW	2,72 / 2,33 / 1,78	3,23 / 2,65 / 2,25	3,75 / 3,26 / 2,96	4,95 / 4,59 / 4,27	5,40 / 4,68 / 4,15
	Αισθητή Ψύξη kW	2,17 / 1,87 / 1,42	2,58 / 2,14 / 1,82	2,87 / 2,50 / 2,27	3,81 / 3,54 / 3,29	4,12 / 3,57 / 3,17
	Θέρμανση kW	3,59 / 3,08 / 2,34	4,26 / 3,54 / 3,02	4,82 / 4,19 / 3,81	6,28 / 5,82 / 5,41	6,78 / 5,87 / 5,21
Ηλεκτρική παροχή				220 ~ 240V - 1N - 50Hz		
Απορροφούμενη ισχύς W		45 / 37 / 30	49 / 43 / 37	71 / 61 / 56	118 / 109 / 101	82 / 71 / 63
Υδραυλική Σύνδεση	Παροχή νερού l/s	0,13 / 0,11 / 0,09	0,15 / 0,13 / 0,11	0,23 / 0,20 / 0,18	0,30 / 0,27 / 0,25	0,32 / 0,28 / 0,25
	Πτώση πίεσης kPa	5,70 / 4,80 / 3,60	8,50 / 7,20 / 6,40	32,8 / 24,7 / 20,5	49,9 / 42,9 / 37,1	32,8 / 24,6 / 19,4
Διατομή Συνδέσεων	Είσοδος/Έξοδος in			3/4" (Θηλυκό) / 3/4" (Θηλυκό)		
	Αποχέτευσης mm	25	25	25	25	25
Στάθμη πίεσης Θορύβου dB(A)		43 / 41 / 38	48 / 45 / 40	38 / 35 / 32	47 / 44 / 40	43 / 41 / 39
Διαστάσεις (Π × Β × Υ) μονάδα mm		600 x 600 x 240	600 x 600 x 240	840 x 840 x 190	840 x 840 x 190	840 x 840 x 240
Διαστάσεις (Π × Β × Υ) μόνωση mm		650 x 650 x 50	650 x 650 x 50	950 x 950 x 85	950 x 950 x 85	950 x 950 x 85
Καθαρό βάρος kg		25,0	25,0	34,0	34,0	34,0

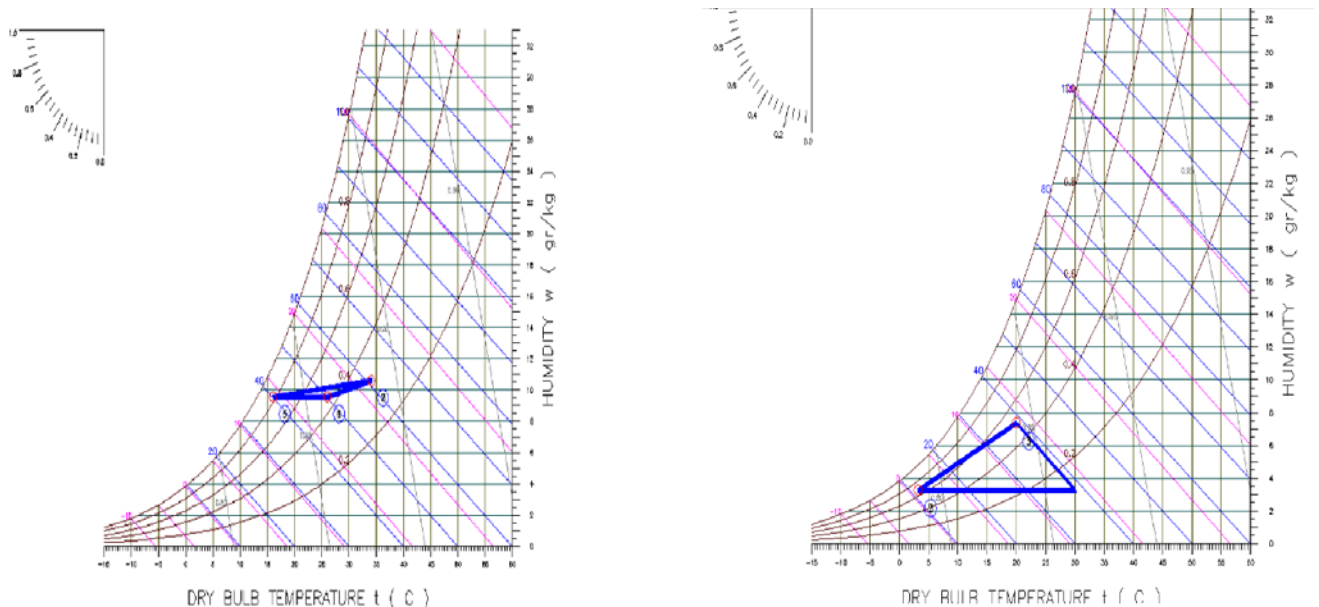
Εικόνα 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδων Fan-coils της εταιρείας Gree

Για την επιλογή μιας ΚΚΜ πρέπει πρώτα να εξεταστούν τα ψυκτικά και θερμικά φορτία χώρου και αερισμού και να γίνει επιλογή της λειτουργίας σε σχέση με το φορτίο που θα κληθεί να καλύψει η μονάδα δηλαδή εάν καλύπτει μόνο τα φορτία αερισμού ή όλα τα φορτία (χώρου και αερισμού). Στην συνέχεια τα παραπάνω στοιχεία τα εισάγουμε στο πρόγραμμα ψυχομετρίας. Εκεί θα κληθούμε να επιλέξουμε την μέθοδο επίλυσης της ΚΚΜ. Οι εξής επιλογές είναι:

- Ψύξη με αφύγρανση (με ή χωρίς αναθέρμανση) στην περίπτωση κάλυψης του συνόλου των φορτίων.
- Ψύξη με αφύγρανση- προκλιματισμένος αέρας στην περίπτωση κάλυψης φορτίων αερισμού μόνο.
- Θέρμανση με ύγρανση στην περίπτωση κάλυψης του συνόλου των φορτίων.
- Θέρμανση με ύγρανση – προκλιματισμένος αέρας στην περίπτωση κάλυψης φορτίων αερισμού.

Κάνοντας επίλυση με το πρόγραμμα δημιουργείται ο ψυχομετρικός χάρτης και υπολογίζονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούνται για τον σχεδιασμό της ΚΚΜ. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται η παροχή αέρα, ψυκτική και θερμική ισχύς, θερμοκρασία/υγρασία προσαγωγής, θερμοκρασία κορεσμού, παροχή νερού, αισθητό και λανθάνων φορτίο.

Στο σενάριο 1, λόγω ότι η ΚΚΜ χρησιμοποιείται μόνο στην κάλυψη των φορτίων αερισμού, θα επιλέξουμε Ψύξη με αφύγρανση- προκλιματισμένος αέρας και Θέρμανση με ύγρανση – προκλιματισμένος αέρας αντίστοιχα. Στην Εικόνα 16 αποτυπώνονται οι ψυχομετρικοί χάρτες κατά την ψύξη και θέρμανση, ενώ στις Εικόνες 17,18 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα του ψυχομετρικού υπολογισμού για το σύνολο των φορτίων αερισμού(ψύξης, θέρμανσης).



Εικόνα 16: Ψυχομετρικοί χάρτες κατά την ψύξη(αριστερά) και θέρμανση(δεξιά).

Desired Temperature	Trdb	-	Trwb	:	26.00 °C	-	17.81 °C
Desired Humidity	Fr	-	Wr	:	45.00 %	-	9.56 gr/Kgr
Outdoor Temperature	Tadb	-	Tawb	:	34.10 °C	-	21.13 °C
Outdoor Humidity	Fa	-	Wa	:	31.30 %	-	10.60 gr/Kgr
Mixed Air Point Temperature	Tmdb	-	Tmwb	:	34.10 °C	-	21.13 °C
Mixed Point Humidity	Fm	-	Wm	:	31.30 %	-	10.60 gr/Kgr
Dew Point Temperature	Tadpdb	-	Tadpwb	:	12.88 °C	-	12.88 °C
Dew Point Humidity	Fadp	-	Wadp	:	100.00 %	-	9.38 gr/Kgr
Entering Temperature	Tedb	-	Tewb	:	34.10 °C	-	21.13 °C
Entering Air Wetness	Fe	-	We	:	31.30 %	-	10.60 gr/Kgr
Outlet Temperature	Tldb	-	Tlwb	:	16.06 °C	-	14.28 °C
Leaving Air Wetness	Fl	-	Wl	:	82.96 %	-	9.56 gr/Kgr
Entering Water Temperature	Tsadb	-	Tsawb	:	26.00 °C	-	17.81 °C
Supply Air Wetness	Fsa	-	Wsa	:	45.00 %	-	9.56 gr/Kgr
System Sensible Heat	RSH			:	0.000		KWatt
System Latent Heat	RLH			:	0.000		KWatt
Outside air	Va			:	34168.23		m3/h
By-pass Factor	Bf			:	0.150		
Coolant Temperature Difference	Dt			:	5.0		°C
Effective Specific Heat Coefficient	ESHF			:	-		
Room Specific Heat Factor	RSHF			:	-		
Device Specific Heat Factor	GSHF			:	0.8758		
Leaving Air Quantity	Vda			:	34168.23		m3/h
Air Return Quantity	Ve			:	0.00		m3/h
Entering Air Quantity	Vsa			:	34168.23		m3/h
Outdoor Air Sensible Heat	OASH			:	93.178		KWatt
Outdoor Air Latent Heat	OALH			:	29.447		KWatt
Outdoor Air Total Heat	OATH			:	122.625		KWatt
Total Sensible Load	TSH			:	207.561		KWatt
Total Latent Heat	TLH			:	29.447		KWatt
Total Load	GTH			:	237.008		KWatt
Coolant Flow Rate	P			:	40.76		m3/h
Reheating Heat	Qan			:	114.383		KWatt

Εικόνα 17: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την ψύξη σενάριο 1



Desired Temperature	Trdb	-	Trwb	:	20.00 °C	-	13.74 °C
Desired Humidity	Fr	-	Wr	:	50.00 %	-	7.36 gr/Kgr
Outdoor Temperature	Tadb	-	Tawb	:	3.20 °C	-	1.06 °C
Outdoor Humidity	Fa	-	Wa	:	68.00 %	-	3.27 gr/Kgr
Mixed Air Point Temperature	Tmdb	-	Tmwb	:	3.20 °C	-	1.06 °C
Mixed Point Humidity	Fm	-	Wm	:	68.00 %	-	3.27 gr/Kgr
Entering Temperature	Tedb	-	Tewb	:	3.20 °C	-	1.06 °C
Entering Air Wetness	Fe	-	We	:	68.00 %	-	3.27 gr/Kgr
Outlet Temperature	Tldb	-	Tlwb	:	20.00 °C	-	13.74 °C
Leaving Air Wetness	Fl	-	Wl	:	50.00 %	-	7.36 gr/Kgr
Entering Water Temperature	Tsadb	-	Tsawb	:	20.00 °C	-	13.74 °C
Supply Air Wetness	Fsa	-	Wsa	:	50.00 %	-	7.36 gr/Kgr

System Sensible Heat	WRSH	:	0.000	KWatt
Outside air	Va	:	34168.23	m3/h
By-pass Factor	Bf	:	0.150	
Heating Medium Temperature Difference	Dt	:	15.0	°C
Effective Specific Heat Coefficient	ESHF	:	-	
Room Specific Heat Factor	RSHF	:	-	
Device Specific Heat Factor	GSHF	:	1.0000	
Leaving Air Quantity	Vda	:	34168.23	m3/h
Air Return Quantity	Ve	:	0.00	m3/h
Entering Air Quantity	Vsa	:	34168.23	m3/h
Outdoor Air Sensible Heat	OASH	:	193.258	KWatt
Outdoor Air Latent Heat	OALH	:	115.231	KWatt
Outdoor Air Total Heat	OATH	:	308.489	KWatt
Total Sensible Load	TSH	:	309.279	KWatt
Total Latent Heat	TLH	:	0.000	KWatt
Total Load	GTH	:	309.279	KWatt
Coolant Flow Rate	P	:	17.68	m3/h
Humidifier Supply	M	:	171.54	Kg/h
Evaporating Cooling Load	Qec	:	116.021	KWatt

Εικόνα 18: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την θέρμανση σενάριο 1

Στην Εικόνα 17 παρατηρείται ότι αισθητό φορτίο συστήματος (RSH) και το λανθάνον φορτίο συστήματος (RLH) είναι μηδέν, κάτι το αναμενόμενο, καθώς η ΚΚΜ καλύπτει μόνο τα φορτία χώρου. Η παροχή του αέρα Va είναι 34.168,23 m<sup>3</sup>/h και το συνολικό φορτίο που απαιτεί ο αέρας ώστε να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας είναι 237 kW. Στην Εικόνα 18 το αισθητό φορτίο συστήματος, ομοίως με την ψύξη, είναι μηδέν, καθώς και η παροχή του αέρα είναι ίδια επειδή η ανάγκη για αερισμό παραμένει ίδια. Το συνολικό φορτίο (αισθητό και λανθάνον) για να αποκτήσει ο αέρας τις επιθυμητές ιδιότητες είναι 309,2 kW. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία που αντλήθηκαν από το πρόγραμμα ψυχομετρίας, με χρήση ειδικών προγραμμάτων των κατασκευαστριών εταιριών επιλέγουμε τα modules, δηλαδή τα κατάλληλα διαμερίσματα της ΚΚΜ. Για τον λόγο αυτό δεν υπάρχουν έτοιμες μονάδες και δεν μπορούμε να αντλήσουμε στοιχεία για αυτές αφού όλα γίνονται κατά παραγγελία. Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής της ηλεκτρικής ισχύος των ανεμιστήρων γίνεται βάσει του ενεργειακού κανονισμού του Κ.Εν.Α.Κ.

Για την επίτευξη του αερισμού του κτιρίου αναφοράς στο σενάριο 1 χρησιμοποιήθηκε μια κεντρική μονάδα κλιματισμού (ΚΚΜ) με ενσωματωμένους εναλλάκτες για ανάκτηση 70% επί του φορτίου αερισμού. Με βάση τον εμπειρικό κανόνα και την ύπαρξη εναλλάκτη η ηλεκτρική ισχύς της ΚΚΜ υπολογίζεται από τον τύπο 5.2:

$$P_{elec, KKM} = \text{Παροχή Αέρα (m}^3/\text{s)} * 2,5 \text{ (kW /m}^3\text{)} = \frac{34168,23}{3600} * 2500 = 23728 \text{ W} \quad (5.2)$$

Τέλος, για την ορθολογικότερη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού νερού, καθώς και για την αποφυγή σπατάλης ενέργειας, πρέπει να προβλεφθούν αυτονομίες μέσω κυκλοφορητών. Στο σενάριο 1 έχουν προβλεφθεί να τοποθετηθούν:

- Ένας κυκλοφορητής για το δίκτυο FCU.
- Ένας κυκλοφορητής για την ΚΚΜ εξυπηρέτησης φορτίων αερισμού.
- Ένας κυκλοφορητής του ψύκτη.
- Ένας κυκλοφορητής του λέβητα.

Η διαστασιολόγηση τους γίνεται με βάσει της παροχής του θερμαντικού μέσου και του μανομετρικού ύψους της εγκατάστασης δηλαδή των απωλειών λόγω τριβών, εξαρτημάτων και υψομετρικής διαφοράς. Με βάση την επιλογή του κυκλοφορητή από καταλόγους κατασκευαστών προκύπτουν τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά τους όπως η ηλεκτρική ισχύς τους που απαιτείται για την απρόσκοπτη λειτουργίας τους. Η παροχή υπολογίζεται βάσει της ψυκτικής/θερμικής ισχύος του συστήματος διανομής και της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ προσαγόμενου και επιστρεφόμενου νερού.

Ο τύπος υπολογισμού είναι:

$$G = \frac{Q_{ολ}}{\Delta T} \quad (5.3)$$

Όπου το  $Q_{ολ}$  είναι υπολογισμένο σε (kcal/h).

Αναλυτικότερα η παροχή του δικτύου FCU είναι 74,9 m<sup>3</sup>/h, η παροχή της ΚΚΜ είναι 40,76 m<sup>3</sup>/h, η παροχή του δικτύου των ψυκτών είναι 74,9 m<sup>3</sup>/h και τέλος η παροχή των λεβήτων είναι 7,58 m<sup>3</sup>/h. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης ο υπολογισμός της



ηλεκτρικής ισχύος κάθε κυκλοφορητή θα γίνει εμπειρικά χωρίς την χρήση καταλόγου, αλλά με την χρήση των ακόλουθων μαθηματικών τύπων:

$$N = \frac{G \cdot H}{1020 \cdot 0.7} \quad (5.4)$$

όπου N η ισχύς του κυκλοφορητή, G παροχή δικτύου διανομής (l/s) και H μανομετρικό ύψος διανομής σε KPa (1 MYΣ = 10 KPa). Επομένως υπολογίζεται ότι η ηλεκτρική ισχύς των κυκλοφορητών είναι:

- Ο κυκλοφορητής για το δίκτυο FCU θα καταναλώνει 6536 W.
- Ο κυκλοφορητής για την ΚΚΜ εξυπηρέτησης φορτίων αερισμού θα καταναλώνει 4281 W.
- Ο κυκλοφορητής του ψύκτη θα καταναλώνει 8602 W.
- Ο κυκλοφορητής του λέβητα θα καταναλώνει 1548 W.

Η συνολική ισχύς των συστημάτων σεναρίου 1 ανέρχεται σε 187955 W.

### 5.5.2 Ηλεκτρικές καταναλώσεις σεναρίου 2

Στο σενάριο 2 για την κάλυψη τόσο των φορτίων ψύξης, όσο και των φορτίων θέρμανσης εφαρμόστηκε ένα υβριδικό σύστημα, το οποίο συνδυάζει μια γεωθερμική αντλία θερμότητας με μια αερόψυκτη αντλία θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα η αντλία θερμότητας θα είναι αερόψυκτου τύπου και θα καλύπτει το 50% των φορτίων χώρου και αερισμού, ενώ η γεωθερμική αντλία θα είναι εδάφους νερού και θα καλύπτει τα υπόλοιπα 50% των φορτίων. Το φορτίο που θα πρέπει να καλυφθεί από τα μέρη του υβριδικού συστήματος είναι 279.217 W. Για τον υπολογισμό του αριθμού των γεωτρήσεων καθώς και το βάθος τους, βασική παράμετρος αποτελεί η θερμική απόδοση του εδάφους που καθορίζεται ως η ισχύς ανά μέτρο μήκους σωλήνα που όταν τοποθετείται στο έδαφος αποκτά την δυνατότητα να καλύψει το επιθυμητό φορτίο. Πιο συγκεκριμένα, το μήκος σωληνώσεων θα δοθεί από τον τύπο:

$$L_{\text{geo-cool}} = \frac{\text{Ψυκτικό φορτίο κτιρίου}}{\text{Θερμική απόδοση εδάφους}} \quad (5.5)$$

Η θερμική απόδοση του εδάφους θα ληφθεί ίση με 30 W/m, συνεπώς το μήκος των σωληνώσεων θα είναι ίσο με 9307 m. Για να καλυφθεί αυτό το μήκος θα πρέπει να δημιουργηθούν 93 κατακόρυφες γεωτρήσεις. Όσον αναφορά την ηλεκτρική ισχύ του συστήματος γεωθερμίας θα υπολογιστεί από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που παρέχει ο κατασκευαστής. Πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθούν 7 γεωθερμικές αντλίες μοντέλου **WWR MTD2 0121t** ψυκτικής ικανότητας 44,8 kW, θερμικής ικανότητας και ηλεκτρικής ισχύος 8,80 kW έκαστος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών αντλιών παρουσιάζονται στην Εικόνα 19. Οπότε συνολική ηλεκτρική ισχύς του συστήματος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι 61,6kW.

WWR MTD2		0011ms	0025ms	0031ms	0041ms	0025t	0031t	0041t	0061t	0071t	0091t	0101t	0121t
Power supply	W/Ph/Hz	230/1/50	230/1/50	230/1/50	230/1/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50
<b>COOLING ONLY (GROSS VALUE)</b>													
Cooling capacity	(1)	kW	7,10	9,80	12,0	15,1	9,50	12,0	15,7	21,3	26,9	30,7	44,8
Total power input	(1)	kW	1,60	2,00	2,50	3,30	1,80	2,50	3,30	4,10	5,20	6,00	8,80
EER	(1)	kW/kW	4,44	4,90	4,80	4,58	5,28	4,80	4,76	5,20	5,17	5,12	5,09
ESEER	(1)	kW/kW	3,81	4,21	3,94	3,95	4,54	4,18	4,19	4,33	4,38	4,44	4,30
<b>COOLING ONLY (EN14511 VALUE)</b>													
Cooling capacity	(1)(2)	kW	7,12	9,83	12,0	15,2	9,53	12,0	15,8	21,4	27,0	30,9	45,1
EER	(1)(2)	kW/kW	4,04	4,51	4,20	4,11	4,83	4,20	4,26	4,72	4,56	4,60	4,44
ESEER	(1)(2)	kW/kW	3,43	3,85	3,42	3,53	4,15	3,61	3,74	3,97	3,87	4,00	3,83
Classe EUROVENT			F	F	G	F	E	F	F	E	E	E	E
<b>HEATING ONLY (GROSS VALUE)</b>													
Total heating capacity	(3)	kW	7,70	10,2	12,8	16,2	10,4	12,8	16,8	22,4	27,8	32,3	46,2
Total power input	(3)	kW	1,40	1,80	2,30	2,90	1,70	2,20	2,90	3,70	4,70	5,20	7,70
COP	(3)	kW/kW	5,50	5,67	5,57	5,59	6,12	5,82	5,79	6,05	5,91	6,21	6,07
<b>HEATING ONLY (EN14511 VALUE)</b>													
Total heating capacity	(3)(2)	kW	7,68	10,2	12,8	16,1	10,4	12,8	16,7	22,3	27,7	32,2	45,9
COP	(3)(2)	kW/kW	4,83	5,03	4,85	4,78	5,36	4,82	4,91	5,23	4,94	5,27	5,08
Classe EUROVENT			D	D	E	D	C	D	C	B	C	C	C
<b>SEASONAL EFFICIENCY IN HEATING (EN14825 VALUE)</b>													
PDesign	(4)	kW	8,74	11,5	14,4	18,4	11,8	14,5	19,0	25,4	31,4	36,6	52,2
SCOP	(4)		4,69	4,85	4,42	4,49	5,20	4,57	4,66	4,87	4,63	4,91	4,74
Performance η <sub>se</sub> (Reg. 811/2013 UE)	(4)	%	180	186	169	172	200	175	178	187	177	188	182

Εικόνα 19: Χαρακτηριστικά γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Για το υπόλοιπο 50% των φορτίων χώρου και αερισμού, θα χρησιμοποιηθούν δυο αερόψυκτες αντλίες θερμότητας της εταιρίας Trane και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο **CXAX 052**. Κάθε αντλία θερμότητας έχει ψυκτική ικανότητα 143 kW και ηλεκτρική ισχύ 50kW. Στην Εικόνα 20 διακρίνονται τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας όπως εμφανίζονται στον κατάλογο. (Trane, 2020)

CXAX Standard and High Efficiency		015	017	020	023	026	030	036	039	045	035	040	046	052	060
Net heating capacity (3)	(kW)	44	50	58	65	71	80	96	110	121	100	116	129	142	161
Total power input (3)	(kW)	14	16	19	21	24	26	30	36	40	32	38	43	47	54
COP SE & HE versions (3)	(kW/kW)	3.11	3.08	3.02	3.05	3.01	3.03	3.20	3.09	3.03	3.16	3.05	3.01	3.01	3.00
Eurovent class - heating		B	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B
Rated capacity (Pdesign_h) (4)	(kW)	39	45	51	63	64	72	85	105	108	88	103	128	126	138
Seasonal space efficiency in heating - SE version (4)	(%)	133.99	135.31	126.13	132.37	128.15	135.20	141.68	136.53	134.49	140.24	129.87	131.00	135.18	136.01
SCOP SE version	(kW/kW)	3.42	3.46	3.23	3.38	3.28	3.45	3.62	3.49	3.44	3.58	3.32	3.35	3.45	3.48
Seasonal space efficiency in heating - HE version (4)	(%)	116.45	114.82	116.19	118.19	130.23	135.79	129.01	140.07	128.46	134.37	128.63	128.82	132.33	132.94
SCOP HE version	(kW/kW)	2.99	2.95	2.98	3.03	3.33	3.47	3.30	3.58	3.29	3.43	3.29	3.30	3.38	3.40
Net cooling capacity (4)	(kW)	43	49	59	66	72	80	96	109	119	98	115	128	143	156
Total power input (4)	(kW)	14	17	19	22	25	29	32	37	42	33	37	43	50	57
EER	(kW/kW)	3.02	2.97	3.16	2.96	2.83	2.79	2.97	2.97	2.82	2.94	3.08	2.96	2.90	2.74
Eurovent class - cooling		B	B	B	B	C	C	B	B	B	B	B	B	B	C
ESEER SE version	(kW/kW)	4.25	4.25	3.99	4.09	3.86	3.87	4.41	4.29	4.12	4.40	4.14	4.15	4.13	4.03
ESEER HE version	(kW/kW)	4.46	4.27	4.14	4.22	3.90	3.88	4.56	4.45	4.25	4.39	4.30	4.26	4.11	4.05
Number of circuit(s)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Number of compressors per circuit		2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2
Acoustic data															
Sound power level (standard noise) (4)	(dB(A))	84	84	85	85	85	86	86	87	88	87	89	88	88	89
Sound pressure level (standard noise) (5)	(dB(A))	54	54	54	55	55	56	55	56	57	56	56	58	57	58
Sound power level (low noise) (4)	(dB(A))	78	78	78	80	81	80	81	81	82	81	81	83	83	84
Sound pressure level (low noise) (5)	(dB(A))	47	47	47	50	50	50	49	50	51	50	50	52	52	53
Dimensions and weights (operating)															
Length	(mm)	2346	2346	2346	2346	2346	2346	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327	2327
Width	(mm)	1285	1285	1285	1285	1285	1285	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
Height (standard noise)	(mm)	1524	1524	1524	1524	1524	1724	1524	1524	1524	1524	1524	1524	1524	1724

Εικόνα 20: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας CXAX.

Η τελική κατανάλωση ενέργειας των αερόψυκτων αντλιών θερμότητας είναι 100kW.

Όσο αναφορά την επιλογή της ΚΚΜ πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι πλέον η μονάδα καλείται να καλύψει και τα φορτία αερισμού αλλά και τα φορτία χώρου, καθώς και ότι θα γίνει εισαγωγή 100% νωπού αέρα ώστε να αποφευχθεί η ανακυκλοφορία του αέρα μέσα στο κτίριο μας. Όπως και στο σενάριο 1 για να γίνει η διαστασιολόγηση με βάση τις ιδιότητες του αέρα θα χρησιμοποιηθεί η ψυχομετρία.

Για το σενάριο 2 θα επιλεγεί για την ψύξη η ψύξη με αφύγρανση 100% νωπός αέρας, για επιλογή μεθόδου επίλυσης της ΚΚΜ. Στις παρακάτω Εικόνες 21,22 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα του ψυχομετρικού υπολογισμού για το σύνολο των φορτίων χώρου και αερισμού.

System Sensible Heat	RSH	:	358.978	KWatt
System Latent Heat	RLH	:	20.475	KWatt
Outside air	Va	:	103112.50	m3/h
By-pass Factor	Bf	:	0.150	
Coolant Temperature Difference	Dt	:	5.0	°C
Effective Specific Heat Coefficient	ESHF	:	0.9223	
Room Specific Heat Factor	RSHF	:	0.9460	
Device Specific Heat Factor	GSHF	:	0.8541	
Leaving Air Quantity	Vda	:	103112.50	m3/h
Air Return Quantity	Ve	:	0.00	m3/h
Entering Air Quantity	Vsa	:	103112.50	m3/h
Outdoor Air Sensible Heat	OASH	:	281.181	KWatt
Outdoor Air Latent Heat	OALH	:	88.863	KWatt
Outdoor Air Total Heat	OATH	:	370.044	KWatt
Total Sensible Load	TSH	:	640.159	KWatt
Total Latent Heat	TLH	:	109.338	KWatt
Total Load	GTH	:	749.497	KWatt
Coolant Flow Rate	P	:	128.89	m3/h

Εικόνα 21: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την ψύξη σενάριο 2

System Sensible Heat	WRSH	:	153.045	KWatt
Outside air	Va	:	104168.23	m3/h
By-pass Factor	Bf	:	0.150	
Heating Medium Temperature Difference	Dt	:	5.0	°C
Effective Specific Heat Coefficient	ESHF	:	0.6015	
Room Specific Heat Factor	RSHF	:	1.0000	
Device Specific Heat Factor	GSHF	:	1.0000	
Leaving Air Quantity	Vda	:	104168.23	m3/h
Air Return Quantity	Ve	:	0.00	m3/h
Entering Air Quantity	Vsa	:	104168.23	m3/h
Outdoor Air Sensible Heat	OASH	:	589.182	KWatt
Outdoor Air Latent Heat	OALH	:	0.000	KWatt
Outdoor Air Total Heat	OATH	:	589.182	KWatt
Total Sensible Load	TSH	:	742.228	KWatt
Total Latent Heat	TLH	:	0.000	KWatt
Total Load	GTH	:	742.228	KWatt
Coolant Flow Rate	P	:	127.64	m3/h
Humidifier Supply	M	:	522.98	Kg/h
Humidifier Latent Heat	ÖLH	:	351.304	KWatt

Εικόνα 22: Ψυχομετρικά αποτελέσματα για την θέρμανση σενάριο 2

Στην εικόνα 21 παρατηρείται ότι αισθητό φορτίο συστήματος (RSH) και το λανθάνον φορτίο συστήματος (RLH) έχουν πλέον τιμές, καθώς η ΚΚΜ καλύπτει τα φορτία χώρου. Η παροχή του εξωτερικού αέρα Va που πρέπει να εισαχθεί είναι 103.112,50 m<sup>3</sup>/h. Σε σύγκριση με το σενάριο 1 παρατηρείται ότι η παροχή του αέρα στο σενάριο 2 είναι αυξημένη σημαντικά καθώς ο αέρας που εισάγεται μεταφέρει το φορτίο της ψύξης. Το

συνολικό φορτίο που απαιτεί ο αέρας ώστε να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας είναι 742,228 kW. Στην εικόνα 22 παρατηρείται ότι το αισθητό φορτίο συστήματος WRSΗ, ομοίως με την ψύξη, έχει πάρει τιμή, καθώς και η παροχή του αέρα είναι 104.168,23 m<sup>3</sup>/h. Η παροχή δεν είναι η ίδια με την ψύξη καθώς έπρεπε να αυξηθεί χειροκίνητα, έτσι ώστε η επίλυση να μην μας δίνει λύση με ανακυκλοφορία. Αυτή η αύξηση επιβάλλεται επειδή η ΚΚΜ δεν θα περιέχει στα διαμερίσματα της σύστημα ανακυκλοφορίας. Το συνολικό φορτίο (αισθητό και λανθάνον) για να αποκτήσει ο αέρας τις επιθυμητές ιδιότητες είναι 742,22kW. Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής της ηλεκτρικής ισχύος των ανεμιστήρων γίνεται βάσει του ενεργειακού κανονισμού του Κ.Εν.Α.Κ. Με βάση τον εμπειρικό κανόνα και την ύπαρξη εναλλάκτη η ηλεκτρική ισχύς της ΚΚΜ υπολογίζεται:

$$P_{\text{elec, ΚΚΜ}} = \text{Παροχή Αέρα (m}^3/\text{s)} * 2,5 \text{ (kW /m}^3\text{)} = \frac{104168,23}{3600} * 2,5 = 72.339 \text{ W (5.6)}$$

Τέλος για την ορθολογικότερη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού νερού, καθώς και για την αποφυγή σπατάλης ενέργειας, πρέπει να προβλεφθούν αυτονομίες μέσω κυκλοφορητών. Στο σενάριο 1 έχουν προβλεφθεί να τοποθετηθούν:

- Ένας κυκλοφορητής για την ΚΚΜ εξυπηρέτησης φορτίων χώρου και αερισμού.
- Ένας κυκλοφορητής των αερόψυκτων αντλιών θερμότητας.
- Ένας κυκλοφορητής της γεωθερμικής αντλίας.

Αναλυτικότερα, η παροχή της ΚΚΜ είναι 128,89 m<sup>3</sup>/h, η παροχή του δικτύου των αερόψυκτων αντλιών θερμότητας είναι 48,016 m<sup>3</sup>/h και τέλος η παροχή των λεβήτων είναι 48,016 m<sup>3</sup>/h. Όπως και στο σενάριο 1 η ηλεκτρική κατανάλωση των κυκλοφορητών υπολογίστηκε με βάση τον εμπειρικό τύπο. Υπολογίστηκε ότι:

- Ο κυκλοφορητής για την ΚΚΜ εξυπηρέτησης φορτίων αερισμού και χώρου θα καταναλώνει 13539W
- Ο κυκλοφορητής της αερόψυκτης αντλίας θα καταναλώνει 2074 W
- Ο κυκλοφορητής της γεωθερμικής αντλίας θα καταναλώνει 2074 W

Η συνολική ισχύς των συστημάτων του σεναρίου 2 ανέρχεται σε 251626 W.

### 5.5.3 Ηλεκτρικές καταναλώσεις σεναρίου 3

Για το σενάριο 3 επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ένα κεντρικό σύστημα τύπου μεταβλητού ψυκτικού όγκου VRV για τον κλιματισμό και τοπικοί εναλλάκτες για τον αερισμό. Πιο συγκεκριμένα οι εσωτερικές μονάδες VRV θα καλύπτουν τα φορτία χώρου και το 30% των φορτίων αερισμού που δεν θα μπορεί να καλυφθεί από τον εναλλάκτη αέρα. Επομένως το σύστημα VRV θα πρέπει να καλύψει το ψυκτικό φορτίο 472759 W ενώ των εναλλακτών θα πρέπει να καλύψει φορτία αερισμού έως και 160010 W (70% θερμικού φορτίου αερισμού). Για την κεντρική μονάδα του VRV θα χρησιμοποιηθούν 4 εξωτερικές αντλίες του μοντέλου της Daikin, **REYQ 44U**.

Outdoor unit System + Module			REYQ	34U	36U	38U	40U	42U	44U	46U	48U	50U	52U	54U	
System	Outdoor unit module 1			REYQ16U		REYQ8U	REYQ10U	REYQ12U	REYQ14U	REYQ16U		REYQ16U	REYQ18U		
	Outdoor unit module 2			REYQ18U	REYQ20U	REYQ12U		REYQ16U				REYQ18U			
	Outdoor unit module 3			-		REYQ18U		REYQ16U				REYQ18U			
Capacity range			HP	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	
Cooling capacity	Prated,c		kW	95.4	97.0	106.3	111.9	118.0	123.5	130.0	135.0	140.4	145.8	151.2	
Heating capacity	Prated,h		kW	51.1	54.2	58.1	58.9	60.9	62.9	67.0	69.6	74.3	79.0	83.7	
	Max.	6°CWB	kW	106.5	113.0	119.0	125.5	131.5	137.5	145.0	150.0	156.5	163.0	169.5	
ηs,c			%	259.2	255.3	269.2	259.6	250.2	249.3	246.8	243.1	254.4	265.7	275.2	
ηs,h			%	172.0	166.3	176.0	176.1	167.8	171.9	168.8	168.5	170.3	171.7	173.3	
SEER				6.6	6.5	6.8	6.6	6.3		6.2		6.4	6.7	7.0	
SCOP				4.4	4.2	4.5		4.3	4.4	4.3		4.4			
Maximum number of connectable indoor units				64											
Indoor index connection	Min.			425.0	450.0	475.0	500.0	525.0	550.0	575.0	600.0	625.0	650.0	675.0	
	Nom.			-											
	Max.			1,105.0	1,170.0	1,235.0	1,300.0	1,365.0	1,430.0	1,495.0	1,560.0	1,625.0	1,690.0	1,755.0	
Piping connections	Liquid	OD	mm	191											
	Gas	OD	mm	34.9	41.3										
	HP/LP gas	OD	mm	28.6		34.9									
	Total piping System		Actual	m	1,000										
	length														
Power supply	Phase/Frequency/Voltage		Hz/V	3N~/50/380-415											
Current - 50Hz	Maximum fuse amps (MFA)		A	80		100				125					
Outdoor unit module			REMQ	5U											
Dimensions	Unit	HeightxWidthxDepth	mm	1,685x930x765											
Weight	Unit		kg	230											
Fan	External static	Max.	Pa	78											
	pressure														
Sound power level	Cooling	Nom.	dBA	78.0											
Sound pressure level	Cooling	Nom.	dBA	57.0											
Operation range	Cooling	Min.-Max.	°CDB	-5.0~43.0											
	Heating	Min.-Max.	°CWB	-20.0~-15.5											
Refrigerant	Type/GWP			R-410A/2,087.5											
	Charge		kg/TCO2Eq	9.7/20.2											
Power supply	Phase/Frequency/Voltage		Hz/V	3N~/50/380-415											
Current - 50Hz	Maximum fuse amps (MFA)		A	20											

Actual number of connectable indoor units depends on the indoor unit type and the connection ratio restriction for the system (50% ≤ CR ≤ 120%)

Εικόνα 23 Χαρακτηριστικά αερόψυκτης αντλίας VRV

Όπως αναγράφεται στην Εικόνα 23 και τα τεχνικά χαρακτηριστικά, κάθε μονάδα έχει ψυκτική ικανότητα 123,5 kW και έχει SCOP ίσο με 4,4. Η ηλεκτρική ισχύς του συνόλου των εξωτερικών αντλιών δίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

$$P_{\text{elec-AO-VRV}} = \frac{\text{Ψυκτικό φορτίο AO-VRV}}{COP} = \frac{472.759}{4.4} = 107445 \text{ W} \quad (5.7)$$



Οι εσωτερικές μονάδες VRV θα είναι τύπου κανάλατες ψευδοροφής και η επιλογή τους θα γίνει με βάση το ψυκτικό φορτίο κάθε χώρου που πρέπει να καλυφθεί, ώστε να προβλεφθεί πόσες παροχές θα χρειαστεί κάθε χώρος, καθώς και ποια θα είναι η συνολική ηλεκτρική ισχύς τους. Υπολογίστηκε με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της Εικόνας 24, ότι για όλους τους χώρους του κτιρίου θα χρησιμοποιηθούν συνολικά 10 εσωτερικές μονάδες Daikin **FXZA 15A** ψυκτικής ικανότητας 1,7kW και ηλεκτρικής ισχύος 43W, 11 εσωτερικές μονάδες Daikin **FXZA 20A** ψυκτικής ικανότητας 2,2 kW και ηλεκτρικής ισχύος 43W, 20 εσωτερικές μονάδες Daikin **FXZA 25A** ψυκτικής ικανότητας 2.8 kW και ηλεκτρικής ισχύος 43W, 22 εσωτερικές μονάδες Daikin **FXZA 32A** ψυκτικής ικανότητας 3.6 kW και ηλεκτρικής ισχύος 45W, 16 εσωτερικές μονάδες Daikin **FXZA 40A** ψυκτικής ικανότητας 4.5 kW και ηλεκτρικής ισχύος 59W και 64 εσωτερικές μονάδες Daikin **FXZA 50A** ψυκτικής ικανότητας 5,6 kW και ηλεκτρικής ισχύος 92W. Η συνολική κατανάλωση όλων των εσωτερικών μονάδων ανέρχεται στα 9585W.

Indoor unit			FXZA	15A	20A	25A	32A	40A	50A
Cooling capacity	Total capacity	Nom.	kW	1.70	2.20	2.80	3.60	4.50	5.60
Heating capacity	Total capacity	Nom.	kW	1.90	2.50	3.20	4.00	5.00	6.30
Power input - 50Hz	Cooling	Nom.	kW	0.043			0.045	0.059	0.092
	Heating	Nom.	kW	0.036			0.038	0.053	0.086
Dimensions	Unit	HeightxWidthxDepth	mm	260x575x575					
Weight	Unit		kg	15.5		16.5			18.5
Casing	Material	Galvanised steel plate							
Decoration panel	Model	BYFQ60C2W1W							
	Colour	White (N9.5)							
	Dimensions	HeightxWidthxDepth	mm	46x620x620					
	Weight		kg	2.8					
Decoration panel 2	Model	BYFQ60C2W1S							
	Colour	SILVER							
	Dimensions	HeightxWidthxDepth	mm	46x620x620					
	Weight		kg	2.8					
Decoration panel 3	Model	BYFQ60B2W1							
	Colour	White (RAL9010)							
	Dimensions	HeightxWidthxDepth	mm	55x700x700					

Εικόνα 24: Τεχνικά χαρακτηριστικά εσωτερικής μονάδας VRV

Τέλος για το σενάριο 3 θα πρέπει να υπολογιστεί η ηλεκτρική ισχύς των τοπικών εναλλακτών αέρα (VAM). Ο υπολογισμός βασίζεται στην ανάγκη κάθε χώρου για παροχή αέρα και μέσω του καταλόγου της Εικόνας 25, ανάλογα με τον εναλλάκτη που θα τοποθετηθεί θα υπολογιστεί και η συνολική ηλεκτρική ισχύς. Πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθούν 40 εναλλάκτες θερμότητας Daikin **VAM150FA** παροχής αέρα έως 150 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 60W, 20 εναλλάκτες θερμότητας Daikin **VAM250FA** παροχής αέρα έως 250 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 60W, 11 εναλλάκτες θερμότητας Daikin **VAM350FA** παροχής αέρα έως 350 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 180W, 5 εναλλάκτες

θερμότητας Daikin **VAM500FA** παροχής αέρα έως 500 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 180W, 3 εναλλάκτες θερμότητας Daikin **VAM650FA** παροχής αέρα έως 650 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 280W, 3 εναλλάκτες θερμότητας Daikin **VAM800FA** παροχής αέρα έως 800 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 460W, 6 εναλλάκτες θερμότητας Daikin **VAM1000FA** παροχής αέρα έως 1000 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 460W και 8 εναλλάκτες θερμότητας Daikin **VAM1500FA** παροχής αέρα έως 1500 m<sup>3</sup>/h και ηλεκτρικής ισχύος 920W. Συνολικά η ηλεκτρικής ισχύς των εναλλακτών θερμότητας ανέρχεται στα 18820 W.

VAM-FA			150	250	350	500	650	800	1000	1500	2000	
Απόδοση εναλλαγής θερμότητας (%)			εξαρτητικά υψηλή	74	72	75	74	74	74	75	75	
			υψηλή	74	72	75	74	74	74	75	75	75
			χαμηλή	79	77	80	77	77	76	76.5	78	78
Απόδοση εναλλαγής ενθαλπίας (%)	για θέρμανση	εξαρτητικά υψηλή	64	64	65	62	63	65	66	66	66	
		υψηλή	64	64	65	62	63	65	66	66	66	
		χαμηλή	69	68	70	67	66	67	68	68	70	
	για ψύξη	εξαρτητικά υψηλή	58	58	61	58	58	60	61	61	61	
		υψηλή	58	58	61	58	58	60	61	61	61	
		χαμηλή	64	62	67	63	63	62	63	64	66	
Τροφοδοσία ισχύος			VE 1 ~, 220 ~ 240V, 50Hz									
Στάθμη ηχητικής πίεσης dB(A)	Πρόγραμμα εναλλαγής θερμότητας	εξαρτητικά υψηλή	27-28.5	28-29	32-34	33-34.5	34.5-35.5	36-37	36-37	39.5-41.5	40-42.5	
		υψηλή	26-27.5	26-27	31.5-33	31.5-33	33-34	34.5-36	35-36	38-39	38-41	
		χαμηλή	20.5-21.5	21-22	23.5-26	24.5-26.5	27-28	31-32	31-32	34-36	35-37	
	Πρόγραμμα παράκαμψης	εξαρτητικά υψηλή	27-28.5	28-29	32-34	33.5-34.5	34.5-35.5	36-37	36-37	40.5-41.5	40-42.5	
		υψηλή	26.5-27.5	27-28	31-32.5	32.5-33.5	34-35	34.5-36	35.5-36	38-39	38-41	
		χαμηλή	20.5-21.5	21-22	24.5-26.5	25.5-27.5	27-28.5	31-33	31-32	33.5-36	35-37	
Περιβλήμα			έλασμα από γαλβανισμένο χάλυβα									
Μονωτικό υλικό			αυτοσβεννόμενο αφρώδες υλικό σιλικόνης									
Διαστάσεις		ΥxΠxΒ	mm	269 x 760 x 509		285 x 812 x 800		348 x 988 x 852		348x988x1140	710x1498x852	
Βάρος			kg	24		33		48		61	132	
Σύστημα εναλλαγής θερμότητας			ολική εναλλαγή θερμότητας (αισθητή θερμότητα και λανθάνουσα θερμότητα)									
Υλικό στοιχείου εναλλαγής θερμότητας			ειδικά επεξεργασμένο άφλεκτο χαρτί									
Φίλτρο αέρα			ινώδες υλικό (fleece) με πολλαπλό φάσμα διευθύνσεων									
Ανεμιστήρας		Τύπος	ανεμιστήρας sirroco									
		Ταχύτητα ροής αέρα (m³/h)	εξαρτητικά υψηλή	150	250	350	500	650	800	1000	1500	2000
			υψηλή	150	250	350	500	650	800	1000	1500	2000
			χαμηλή	110	155	230	350	500	670	870	1200	1400
		Εξωτερική στατική πίεση (Pa)	εξαρτητικά υψηλή	69	64	98	98	93	137	157	137	137
			υψηλή	39	39	70	54	39	98	98	98	78
			χαμηλή	20	20	25	25	25	49	78	49	59
Ισχύς κινητήρα		kW	0.030 x 2		0.090 x 2		0.140 x 2		0.230 x 2		0.230 x 4	
Διάμετρος αγωγού σύνδεσης		mm	Ø 100		Ø 150		Ø 200		Ø 250		Ø 350	
Συνθήκες περιβάλλοντος μονάδας			-15°C ~ +50°CDB, 80% RH ή λιγότερο									

Εικόνα 25: Τεχνικά χαρακτηριστικά εναλλακτών θερμότητας Daikin

Η συνολική ισχύς των συστημάτων του σεναρίου 3 ανέρχεται σε 135850 W.

### 5.5.4 Αποτελέσματα Σεναρίων κλιματισμού

Στον Πίνακα 13 μπορούμε να διακρίνουμε τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν ανά σενάριο.



Πίνακας 13: Συνολική ισχύς συστημάτων για κάθε σενάριο.

Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
187955 W	251626 W	135850 W

Συγκεντρώνοντας τα παραπάνω στοιχεία διαπιστώνεται ότι το σύστημα VRV είναι από τα πλέον οικονομικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης, έχοντας σχεδόν την μισή κατανάλωση ισχύος από το σενάριο 2 που γίνεται συνεχώς προσαγωγή 100% νωπού αέρα, κάτι που υπερδιαστασιολογεί το σύστημα και αυξάνει τις καταναλώσεις. Το σενάριο 1 αποτελείται από συστήματα που χρησιμοποιούνται ευρέως σε κτίρια τριτογενούς τομέα αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι εκτός από ηλεκτρισμό καταναλώνεται και φυσικό αέριο για την λειτουργία τους κάτι που αυξάνει το ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου.



## Κεφάλαιο 6

# ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕ LED

### 6.1 Εισαγωγή

Στα κτίρια τριτογενούς τομέα η εισαγωγή των συστημάτων φωτισμού δεν πρέπει να στοχεύει μόνο στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος αλλά και στην ορθολογικότερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων αποσκοπώντας πάντα στην εξοικονόμηση ενέργειας. Παρόλο που τα σύγχρονα κτίρια σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να επιτρέπεται ο φωτισμός με φυσικό τρόπο, ο τεχνητός φωτισμός είναι αναγκαίος ώστε να συνεχίζεται απρόσκοπτα η λειτουργία κάθε κτιρίου τόσο σε χώρους σκοτεινούς, όσο και κατά την διάρκεια της νύχτας. Ανάλογα με την χρήση τους, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι λαμπτήρων. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν:

- Λαμπτήρες πυράκτωσης, που πλέον έχουν καταργηθεί και δεν παράγονται
- Λαμπτήρες αλογόνου, που η συνηθέστερη χρήση τους είναι στα φωτιστικά τύπου spot.
- Λαμπτήρες φθορισμού
- Λαμπτήρες LED

Οι λαμπτήρες φθορισμού έχοντας υψηλή απόδοση αλλά και ταυτόχρονα πολύ καλή χρωματική απόδοση χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε πολλές εφαρμογές τριτογενούς τομέα, όπως σε κτίρια γραφείων, επαγγελματικούς χώρους, νοσοκομεία και εκπαιδευτήρια. (Παντελίδης, 2018) Αν και η τεχνολογία των LED ήταν ανεπτυγμένη από την δεκαετία του 1960 και ο πρώτος λαμπτήρας κατασκευάστηκε το 1970, χρειάστηκαν πάνω από 20 χρόνια ώστε να γίνει χρήση της στα κτίρια. Ο λόγος ήταν ότι είχαν υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης καθώς οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες ήταν πιο ακριβοί από τους συμβατικούς. Πλέον η χρήση λαμπτήρων LED θεωρείται δεδομένη καθώς τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν υπερτερούν το υψηλότερο κόστος τους. Πιο συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα είναι (Fu Xiaoyun, 2009):

- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσουν
- Γρήγορη απόκριση κατά το άνοιγμα τους
- Αντοχή σε κρούσεις, όντας ανθεκτικότερες
- Δεν επηρεάζεται από την διακύμανση της τάσης, έτσι αποφεύγονται περιστατικά τρεμοσβήσματος
- Καθαρά, πλούσια χρώματα με μεγαλύτερη εκπομπή φωτός.

Στα κτίρια τριτογενούς τομέα η εγκατάσταση του φωτισμού απαιτεί να έχει προηγηθεί από τον μελετητή φωτοτεχνική μελέτη. Προαπαιτούμενο σε κάθε μελέτη είναι να ικανοποιούνται οι δυο βασικές φωτοτεχνικές παράμετροι που ορίζονται από τον νόμο. Πιο συγκεκριμένα ο Κ.Εν.Α.Κ ορίζει τα επιτρεπτά εύρη τιμών ανάλογα με την χρήση κάθε χώρου, για τις τιμές:

- Μέση ένταση φωτισμού (lux)
- Την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ του φωτισμού σε  $W/m^2$

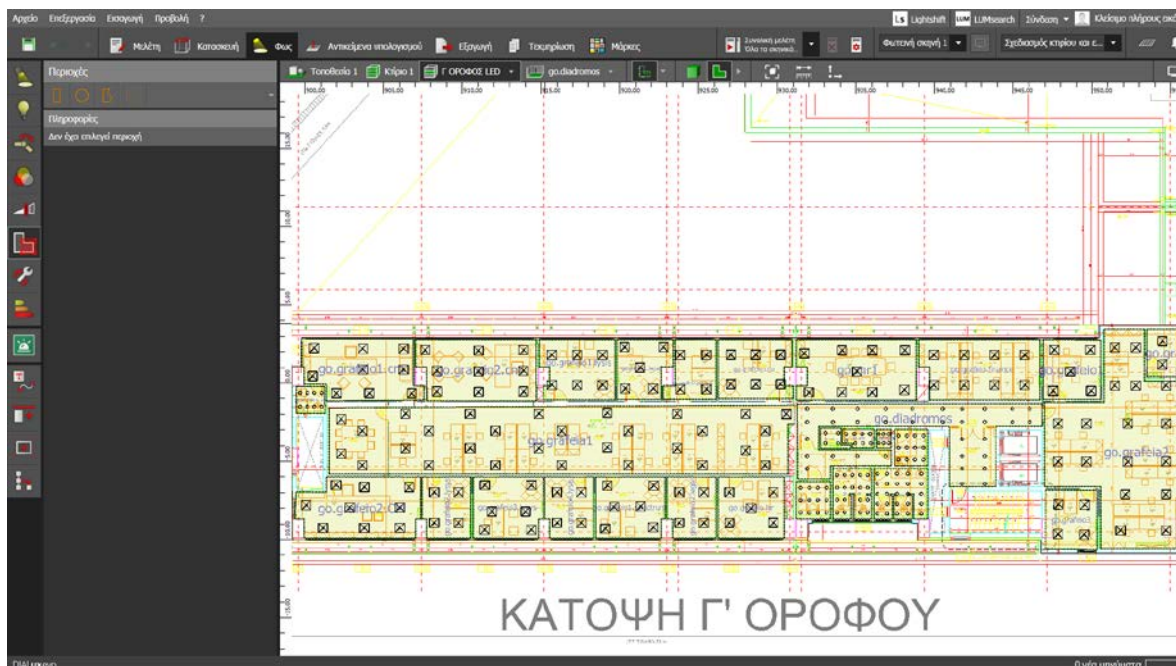
Με τα σύγχρονα λογισμικά, ο μελετητής έχει στα χέρια του εργαλεία τα οποία του επιτρέπουν να κάνει συνεχώς δοκιμές ώστε να βρεθεί η επιθυμητή διάταξη των φωτιστικών που ικανοποιούν τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν. Επίσης τα συγκεκριμένα λογισμικά έχουν εγκατεστημένες βιβλιοθήκες με προϊόντα κατασκευαστών δίνοντας την δυνατότητα να επιλεγεί ακριβώς το φωτιστικό που θα χρησιμοποιηθεί. Τέτοια λογισμικά είναι το Dialux Eno το οποίο είναι ένα ελεύθερο λογισμικό και περιλαμβάνει βιβλιοθήκες προϊόντων μεγάλων κατασκευαστών και το Calculux που είναι λογισμικό της εταιρείας Philips. Έτσι εκτός από ακρίβεια στην μελέτη, ο μελετητής παρακάμπτει τους επίπονους και χρονοβόρους χειροκίνητους υπολογισμούς.

## 6.2 Φορτία φωτισμού και επιλογή φωτιστικών μέσω Dialux Eno

Το κτίριο αναφοράς μας όπως έχει προαναφερθεί, είναι ένα κτίριο γραφείων, οπότε κατατάσσεται στη κατηγορία των γραφείων, αφού όλοι οι χώροι του έχουν την συγκεκριμένη λειτουργία. Για το παραπάνω κτίριο γραφείων η φωτοτεχνική μελέτη εκπονήθηκε με την χρήση του λογισμικού Dialux Eno, το οποίο μας επιτρέπει να

αποτυπώνουμε κάθε χώρο του κτιρίου με βάση τις πραγματικές διαστάσεις του και να τοποθετούμε, στην κατάλληλη διάταξη, αληθινά φωτιστικά μεγάλων κατασκευαστών. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού σε κάθε χώρο, δηλαδή το απαιτούμενο μέσο επίπεδο φωτισμού, η ομοιομορφία και η συνολική κατανάλωση του συστήματος ανά τετραγωνικό μέτρο.

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία του συγκεκριμένου λογισμικού, θα χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα η φωτοτεχνική μελέτη του χώρου go.mr1, η οποία βρίσκεται στον Γ' Όροφο του κτιρίου γραφείων και χρησιμοποιείται ως meeting room. Το Dialux Eno δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε το αρχιτεκτονικό σχέδιο της κάτοψης του κτιρίου. Έτσι στην κεντρική οθόνη θα εμφανιστεί η κάτοψη του κτιρίου επιτρέποντας στον μελετητή να ορίσει τα ακριβή στοιχεία και να δημιουργήσει την τοιχοποιία, κάθε χώρου. Στην Εικόνα 26 απεικονίζεται η κεντρική οθόνη μετά την εισαγωγή του σχεδίου.



Εικόνα 26: Κεντρική οθόνη μετά την εισαγωγή του αρχιτεκτονικό σχεδίου.

Αφού εισαχθεί το αρχιτεκτονικό σχέδιο πρέπει να οριοθετηθεί από τον μελετητή το περίγραμμα του κτιρίου και στην συνέχεια επιλέγοντας την επιλογή περιοχή ορίζουμε τους χώρους του κτιρίου. Το πρόγραμμα αυτόματα υπολογίζει το μήκος και το πλάτος του και ο μελετητής θα κληθεί απλά να εισάγει το ύψος του χώρου που παίζει μεγάλο ρόλο στον υπολογισμό του φωτός και την χρήση του συγκεκριμένου χώρου.

Περιοχές

Ενεργή περιοχή

Όνομα

go.mr1

Περιγραφή

Ιδιότητες

Ύψος της περιοχής

3.200 m

Ενεργό προφίλ χρήσης

Προρύθμιση DIALux

Περιοχή

Εφαρμογή

Στάνταρ (γραφείο)

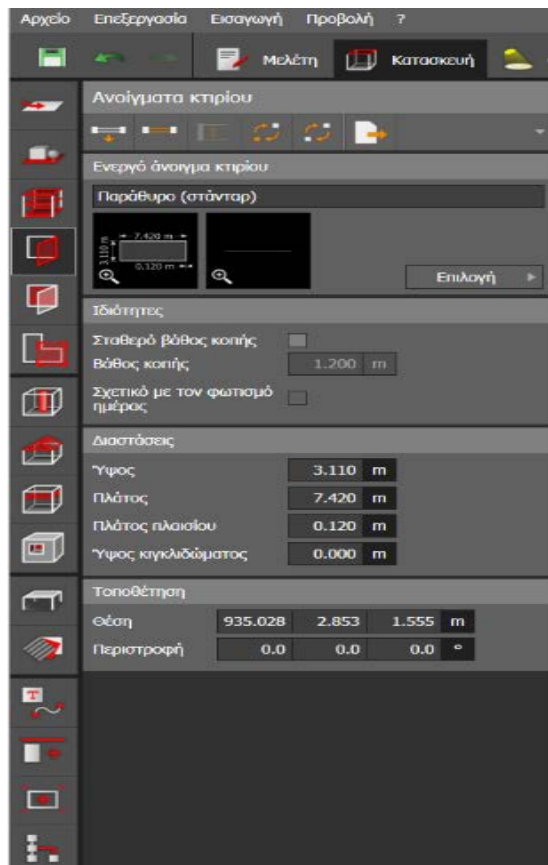
Επεξεργασία

Επίπεδο εργασίας

Συντήρηση

Εικόνα 27: Στοιχεία ενεργής περιοχής στο Dialux

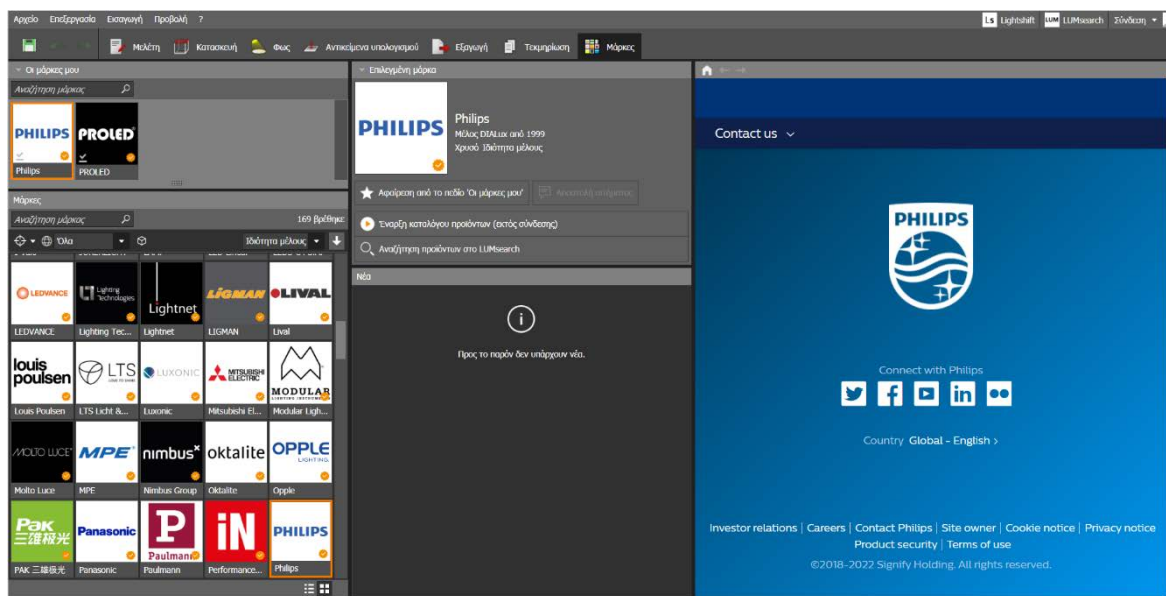
Στην συγκεκριμένη περίπτωση δηλώνεται το όνομα του χώρου, το ύψος του χώρου 3,2 m και στο πεδίο εφαρμογή θα δηλώσουμε την επιλογή γραφείο, όπως παρουσιάζεται και στη Εικόνα 27. Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω παραμετροποίηση πρέπει να ορίσουμε τα ανοίγματα κάθε χώρου δηλαδή τα παράθυρα από τα οποία εισέρχεται φυσικό φως και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό. Στη επιλογή ανοίγματα κτίριου και έπειτα χωροθέτηση ανοιγμάτων κτιρίου ορίζεται το σημείο τοποθέτησης του παραθύρου που το σχέδιο της κάτοψης ορίζει και αυτόματα συμπληρώνεται το πλάτος του παραθύρου. Οι επιπλέον πληροφορίες που θα συμπληρωθούν είναι το ύψος του ανοίγματος και το πλάτος του πλαισίου.



Εικόνα 28: Ορισμός ανοίγματος στο Dialux.

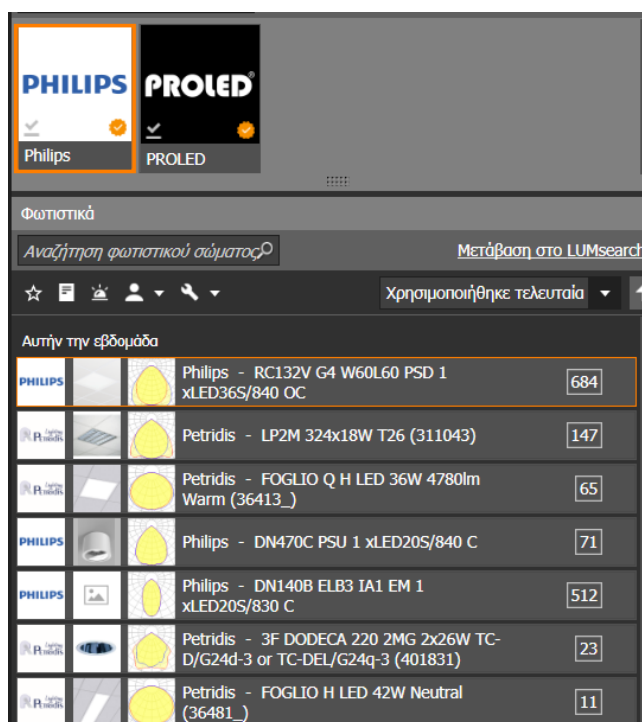
Στην Εικόνα 28, για την χώρο συνεδριάσεων go.mr1, το ύψος του υαλοπίνακα ορίζεται 3,11m, ενώ το ύψος κιγκλιδώματος 0m, αφού το σχέδιο ορίζει πρέκι 0m. Το πλάτος του πλαισίου θα οριστεί 0,120m αριθμός συνηθισμένος για υαλοπίνακες.

Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω διαδικασίες έχει κατασκευαστεί πλήρως ο χώρος που θα μελετηθεί, επομένως ο μελετητής μπορεί να προχωρήσει στην επιλογή φωτιστικού ώστε να ξεκινήσουν οι φωτοτεχνική υπολογισμοί. Στην επιλογή φωτιστικά έχουμε πρόσβαση στην βιβλιοθήκη του Dialux η οποία περιέχει φωτιστικά κατασκευαστών οι οποίοι παρέχουν αληθινά δεδομένα των φωτιστικών και το λογισμικό τα χρησιμοποιεί ώστε να εξάγει τα αποτελέσματα. Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται η βιβλιοθήκη με τους κατασκευαστές, από την οποία μπορεί να γίνει η επιλογή των φωτιστικών.



Εικόνα 29: Βιβλιοθήκη κατασκευαστών σε συνεργασία με το Dialux

Αφού επιλεγεί ο κατασκευαστής γίνεται εισαγωγή των φωτιστικών που επιθυμεί ο μελετητής στο πρόγραμμα και μπορούν πλέον να τοποθετηθούν με όποια διάταξη σε κάθε επιλεγμένο χώρο.



Εικόνα 30: Επιλογή φωτιστικού σώματος

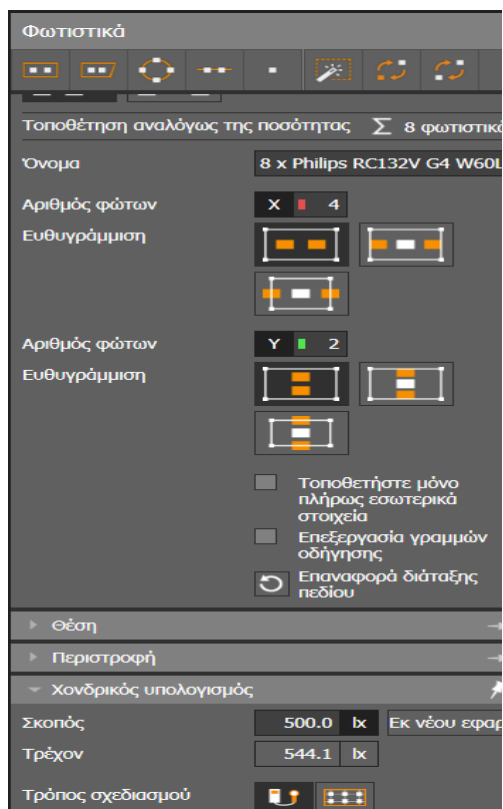


Στην Εικόνα 30 διακρίνονται τα φωτιστικά που εισήχθησαν από τους καταλόγους της Philips και της ελληνικής εταιρίας Petridis και έχουν χρησιμοποιηθεί στο κτίριο αναφοράς. Εφόσον επιλεγεί ο λαμπτήρας το Dialux μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με την φωτεινή ροή, τον βαθμό απόδοσης, την ισχύ, την πολική κατανομή έντασης φωτός καθώς και συχνά μια αναγνωριστική εικόνα του προϊόντος. Ακολουθεί η Εικόνα 31 με τα παραπάνω στοιχεία.

Φωτοτεχνικά δεδομένα	
Φωτεινή ροή φωτιστικού	3600 lm
Βαθμός απόδοσης λειτουργίας	100.0 %
Ισχύς σύνδεσης	29.0 W
Ώφελος φωτός	124.1 lm / W
Εξοπλισμός	LED36S/840
Αλλαγή	3600 lm 4000 K 29.0 W Συντελεστής φωτισμού κινί

Εικόνα 31: Στοιχεία ενεργού φωτιστικού

Στη συνέχεια ο μελετητής καλείται να δηλώσει την θέση και την διάταξη των φωτιστικών. Πιο συγκεκριμένα δηλώνονται πόσες σειρές φωτιστικών θα τοποθετηθούν καθώς και τον αριθμό σε κάθε σειρά. Είναι κατανοητό ότι κάθε διάταξη θα δώσει και διαφορετικά αποτελέσματα και αφήνεται στην κρίση κάθε μελετητή, ποια θα πρέπει να επιλεχτεί ώστε να πληροί τα ελάχιστα κριτήρια που απαιτεί ο Κ.Εν.Α.Κ. Το πρόγραμμα, ωστόσο δίνει την επιλογή να γίνεται αυτόματα η επιλογή της διάταξης ανάλογα με την χρήση του χώρου και το φωτιστικό που έχει επιλεγεί, ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις σε φωτισμό από το συγκεκριμένο φωτιστικό. Στην Εικόνα 32 παρουσιάζεται, οι ρυθμίσεις, της διάταξης, των φωτιστικών του χώρου go.mr1.



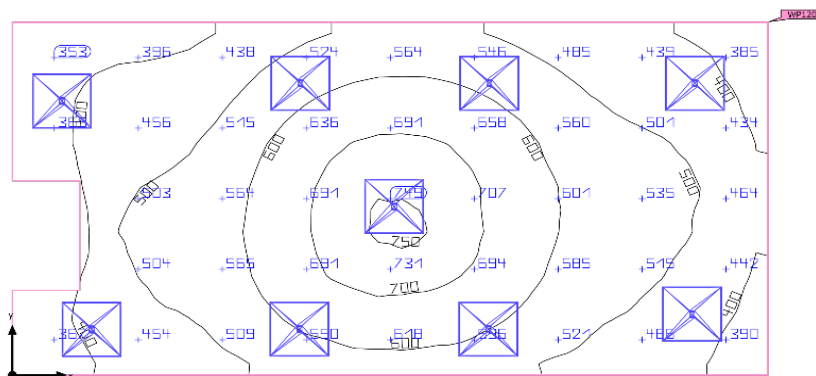
Εικόνα 32: Διάταξη φωτιστικών σωμάτων

Για την αίθουσα meeting go.mr1 χρησιμοποιήθηκαν 9 LED φωτιστικά Philips RC132V G4 W60L60 σε διάταξη 4x2 και 1 φωτιστικό στο κέντρο του χώρου. Έπειτα θα ακολουθήσει ο υπολογισμός για τις συνθήκες φωτισμού δηλαδή την μέση ένταση του φωτός στο ύψος της επιφάνειας εργασίας, το οποίο ορίζεται στα 0,85m, την ομοιομορφία και την ισχύ που καταναλώνουν τα φωτιστικά. Άξιο υπενθύμισης είναι ότι ο Κ.Εν.Α.Κ ορίζει για τα κτίρια γραφείων ελάχιστη ένταση τα 500 lux και η ελάχιστη ομοιομορφία (ο λόγος της ελάχιστης έντασης προς την μέση ένταση) ανέρχεται στο 0,6.

Στην Εικόνα 33, παρουσιάζεται η περίληψη των αποτελεσμάτων της φωτοτεχνικής μελέτης η οποία παρέχει όλες τις παραπάνω πληροφορίες καθώς και αν έχουν επιτευχθεί η ελάχιστες τιμές.

Κτίριο 1 · Γ ΟΡΟΦΟΣ LED · go.mr1 (Φωτεινή σκηνή 1)

### Περίληψη



Κτίριο 1 · Γ ΟΡΟΦΟΣ LED · go.mr1 (Φωτεινή σκηνή 1)

### Περίληψη

#### Αποτελέσματα

	Μέγεθος	Υπολογισμένο	Ονομ	Έλεγχος OK	Ευρετήριο
Επίπεδο εργασίας	Έκθετα	530 lx	≥ 500 lx	✓	WP120
	g <sub>1</sub>	0.58	-	-	WP120
Μεγέθη κατανάλωσης	Κατανάλωση	720 kWh/a	μέγ. 1050 kWh/a	✓	
Εσωτερικός χώρος	Ειδική τιμή σύνδεσης	9.11 W/m <sup>2</sup>	-	-	
		1.72 W/m <sup>2</sup> /100 lx	-	-	

Προφίλ χρήσης: Προτύπωση DIALux, Στάνταρ (γραφείο)

#### Κατάλογος φωτιστικών

Τεμάχ.	Κατασκευαστής	Αρ. είδους	Όνομα στοιχείου	P	Φ	Ωφέλιμος φωτός
9	Philips	RC132V G4 W60L60 PSD 1 xLED365/840 OC		29.0 W	3600 lm	124.1 lm/W

Εικόνα 33: Αποτελέσματα έκθεσης Dialux Eno για αίθουσα meeting με φωτιστικά LED

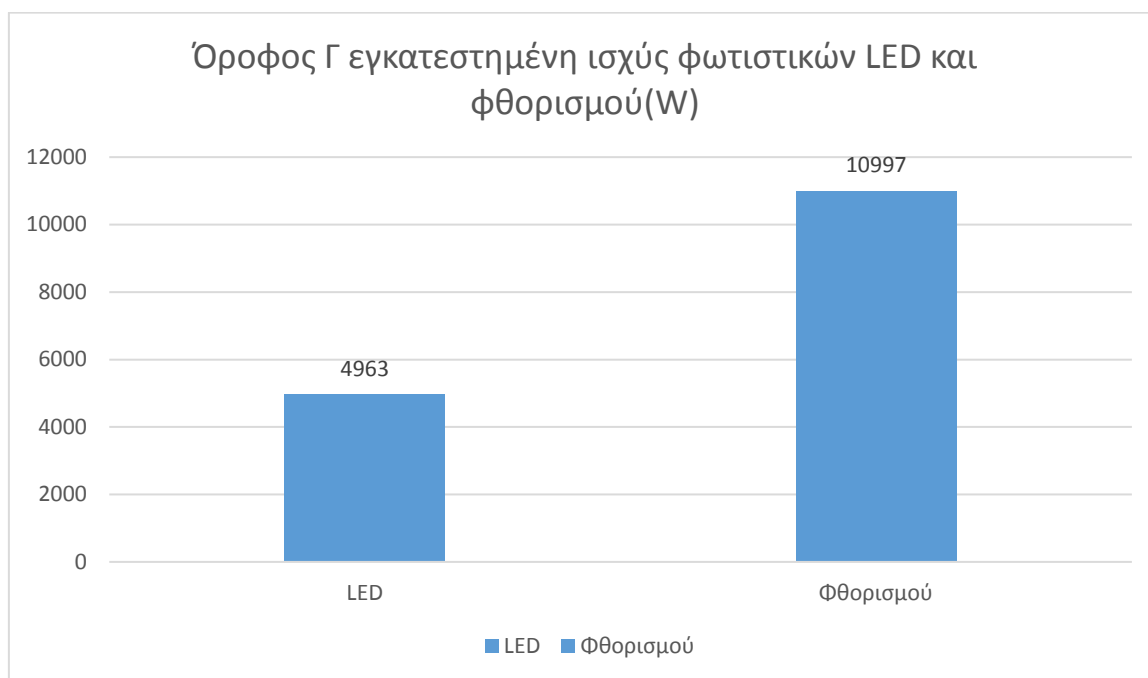
Αρχικά η περίληψη ξεκινάει με την απεικόνιση του χώρου και τα σημεία που έχουν τοποθετηθεί τα φωτιστικά σώματα. Μέσα στον χώρο που έχει σχεδιαστεί από το

Για να διαπιστωθεί η επίδραση των φωτιστικών LED στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, σε σχέση με τα φωτιστικά φθορισμού, μελετήθηκε η ίδια αίθουσα συνεδριάσεων με την χρήση λαμπτήρων φθορισμού. Παρατηρείται ότι για να επιτευχθεί η ίδια μέση ένταση φωτός 531 lux, χρειάζεται πλέον ειδική τιμή φορτίου 18,10 W/m<sup>2</sup>, τιμή διπλάσια από το σενάριο με χρήση LED. Τα αποτελέσματα της φωτοτεχνικής μελέτης με χρήση λαμπτήρων φθορισμού διακρίνονται στη Εικόνα 34.

Εικόνα 34: Αποτελέσματα έκθεσης Dialux Eno για αίθουσα meeting με φωτιστικά  
φθορισμού

### 6.3 Συμπεράσματα φωτοτεχνικής μελέτης

Από την φωτοτεχνική μελέτη είναι προφανές ότι η χρήση LED προσφέρει την απαραίτητη ένταση φωτισμού καθώς και την κατάλληλη ομοιομορφία φωτός με σχεδόν την μισή ηλεκτρική ισχύ σε κάθε χώρο του κτιρίου. Για να επιβεβαιωθεί το παραπάνω συμπέρασμα μελετήθηκαν 2 σενάρια με τοποθέτηση LED και φθορισμού σε όλους τους χώρους του Γ' Ορόφου. Τα αποτελέσματα διακρίνονται και στο Γράφημα 3, όπου παρατηρείται μια μείωση της ισχύος των φωτιστικών της τάξης του 54,87%. Το συγκεκριμένο ποσοστό μόνο αμελητέο μπορεί να θεωρηθεί καθώς σε ένα κτίριο, το οποίο λειτουργεί όλο το χρόνο, για 10 ώρες, μπορούν να εξοικονομηθούν τεράστια ποσά ενέργειας.



Γράφημα 3: Σύγκριση κατανάλωσης ισχύος μετά την χρήση φωτιστικών LED και φθορισμού για τον Όροφο Γ.

Η συνολική ισχύς των λαμπτήρων LED που θα χρησιμοποιηθούν στο κτίριο ανέρχεται σε 25371 W κάτι που ισοδυναμεί σε 60960 kWh, ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη κατανάλωση μπορεί να μειωθεί περεταίρω εφόσον χρησιμοποιηθεί σύστημα αυτοματισμού, το οποίο θα ρυθμίζει την ένταση φωτισμού καθώς και θα απενεργοποιεί τα φωτιστικά, όταν μια αίθουσα δεν χρησιμοποιείται. Επομένως η χρήση

φωτιστικών σωμάτων LED πρέπει να θεωρείται επιβεβλημένη στα δημόσια κτίρια και στα κτίρια τριτογενούς τομέα. Η αντικατάσταση των συστημάτων φωτισμού είναι μια σχετικά εύκολη διαδικασία που επιφέρει γρήγορες και δραστικές μειώσεις στο ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου.

## **Κεφάλαιο 7**

### **ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

#### **7.1 Εισαγωγή**

Τα συστήματα κλιματισμού, φωτισμού καθώς και τα υπόλοιπα φορτία που εξυπηρετούν τις ανάγκες των χρηστών ενός κτιρίου πρέπει να τροφοδοτηθούν από την ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Θα μπορούσε επομένως να χαρακτηριστεί ως η πιο σημαντική εγκατάσταση ενός κτιρίου, που εφιστά μεγάλη προσοχή τόσο στον σχεδιασμό της, όσο και στην διαστασιολόγηση της. Όπως γίνεται αντιληπτό, η δυσκολία της μελέτης αυξάνεται, όσο αυξάνεται και το μέγεθος του κτιρίου. Επομένως η χρήση λογισμικού, σε περιπτώσεις διαστασιολόγησης των πινάκων και κυκλωμάτων σε κτίρια τριτογενή τομέα, κρίνεται αναγκαία. Για τον λόγο αυτό, για την ηλεκτρολογική εγκατάσταση στο κτίριο γραφείων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της 4M FINE-ELEC 19.

#### **7.2 Διαστασιολόγηση ηλεκτρικής εγκατάστασης με την χρήση του προγράμματος της 4M**

Το πρόγραμμα της 4M FINE-ELEC 19, μπορεί να πραγματοποιήσει αναλυτικούς υπολογισμούς οποιασδήποτε ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, σύμφωνα με το νέο πρότυπο ΕΛΟΤ 60364. Είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο, το οποίο λαμβάνει υπόψη, όλες τις σημαντικές παραμέτρους, ώστε να υπολογίσει με ακρίβεια όλα τα στοιχεία της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.

Πιο συγκεκριμένα, ο μελετητής, ανάλογα με τα φορτία κάθε χώρου και τις απαιτήσεις του κτιρίου, μπορεί να σχεδιάσει όλους τους πίνακες ξεκινώντας από κάθε υποπίνακα και καταλήγοντας στους γενικούς πίνακες παροχής. Στο πρόγραμμα για κάθε υποπίνακα πρέπει να δηλώνονται αρχικά ο τύπος του κάθε φορτίου που θα συνδεθεί, καθώς το συνολικό μήκος της γραμμής και η ισχύς του. Εφόσον συμπληρωθούν τα στοιχεία, το πρόγραμμα υπολογίζει την πτώση τάσης στην γραμμή, το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να

αναπτυχθεί, ώστε να υπολογιστούν αυτόματα, τα μέσα προστασίας και η διατομή του καλωδίου τροφοδοσίας, κάθε φορτίου.

Network Segment	Line Length (m)	Load of the Line (KW)	Load Type	Load Type	Power Factor	Des. Phase	Phase	Max Volt.Drop (%)	Voltage Drop V	Line Type	Des. Cr.Sect. (mm <sup>2</sup> )	Cr.Sect. Calc. (mm <sup>2</sup> )	Max Fuse Size (A)
XI3.P		8.515	6	Πίνακας	1.000		123	4.000		3		16	25
XI3.1	4	1.2	2	Ρευματοδότες	1		1	4.000	0.186	1		4	16
XI3.2	4.5	1.2	2	Ρευματοδότες	1		2	4.000	0.210	1		4	16
XI3.3	5	1.2	2	Ρευματοδότες	1		3	4.000	0.233	1		4	16
XI3.4	6	1.2	2	Ρευματοδότες	1		1	4.000	0.280	1		4	16
XI3.5	9	1.2	2	Ρευματοδότες	1		2	4.000	0.419	1		4	16
XI3.6	7	1.2	2	Ρευματοδότες	1		3	4.000	0.326	1		4	16
XI3.7	8	1.2	2	Ρευματοδότες	1		1	4.000	0.373	1		4	16
XI3.8	8	1.2	2	Ρευματοδότες	1		2	4.000	0.373	1		4	16
XI3.9	9	1.2	2	Ρευματοδότες	1		3	4.000	0.419	1		4	16
XI3.10	12	1.2	2	Ρευματοδότες	1		1	4.000	0.559	1		4	16
XI3.11	13	1.2	2	Ρευματοδότες	1		2	4.000	0.606	1		4	16
XI3.12	12	1.2	2	Ρευματοδότες	1		3	4.000	0.559	1		4	16
XI3.13	14	1.2	2	Ρευματοδότες	1		1	4.000	0.652	1		4	16
XI3.14	25	0.232	1	Φωτισμός	1		2	4.000	0.360	1		2.5	10
XI3.15	40	0.232	1	Φωτισμός	1		3	4.000	0.576	1		2.5	10
XI3.16	20	0.25	403	FCU-VRV	0.86		2	4.000	0.311	1		2.5	10

Εικόνα 35: Συμπλήρωση στοιχείων υποπίνακα XI3 στο λογισμικό FINE-ELEC 19

Η παραπάνω διαδικασία, απεικονίζεται συμπληρωμένη για τον υποπίνακα XI3.P στην Εικόνα 35. Από δεξιά προς τα αριστερά, συμπληρώνεται πρώτα το όνομα του τμήματος του δικτύου (Network Segment), το μήκος της γραμμής (Line Length), η συνολική ισχύς που καλύπτει η γραμμή (Load of the Line), ο κωδικός που υποδηλώνει τον τύπο του φορτίου (Load Type) και ο συντελεστής απόδοσης (Power Factor). Η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης σε όλες τις γραμμές του κτιρίου ορίζεται στο 4% της ονομαστικής τάσης των 230V. Ανάλογα με τύπο του φορτίου ορίζεται ο αριθμός των φάσεων (Line Type) και το πρόγραμμα αναθέτει σε ποια φάση θα συνδεθεί το κάθε φορτίο. Στα τελευταία δύο πεδία, εμφανίζεται η διατομή και η μέγιστη ασφάλεια που υπολογίστηκαν, μέσω του προγράμματος.

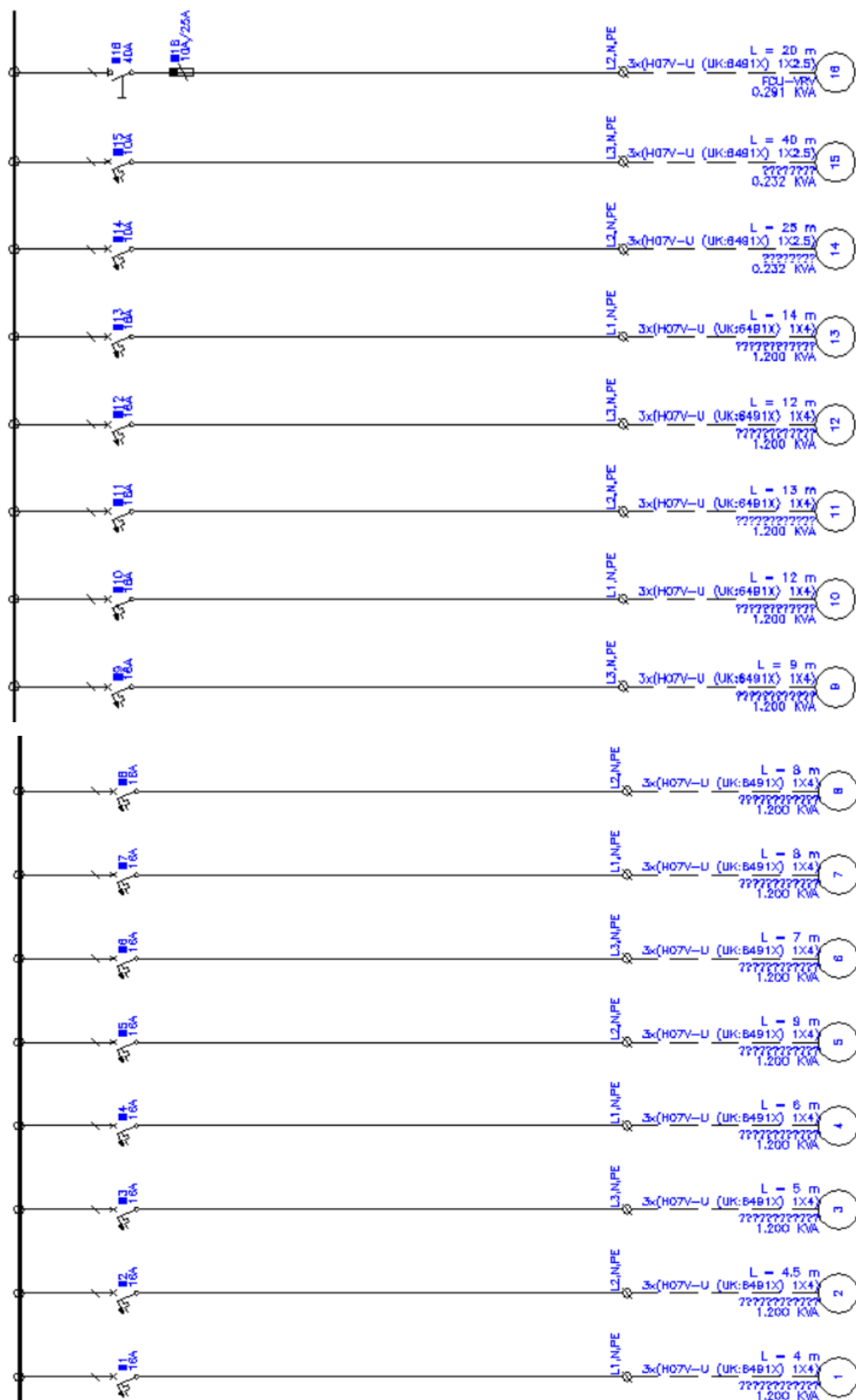


Network Segment	Line Length (m)	Load of the Line (KW)	Load Type	Power Factor	Type of Cable	Nº of Parallel Cables	Cr.Sect. Calc. (mm²)	Des. Cr.Sect. (mm²)	Current-Carrying Capacity No Cond.	Corr. Factor	Current-Carrying Capacity (A)	Max Fuse Size (A)	Line Current (A)
XI3.P		8.515	Πίνακας	1.000	J1VV-R		16		52.00	0.578	30.08	25	13.62
XI3.1	4	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.2	4.5	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.3	5	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.4	6	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.5	9	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.6	7	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.7	8	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.8	8	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.9	9	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.10	12	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.11	13	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.12	12	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.13	14	1.2	Ρευματοδότες	1	H07V-U (UK		4		31.00	0.578	17.93	16	5.217
XI3.14	25	0.232	Φωτισμός	1	H07V-U (UK		2.5		23.00	0.578	13.30	10	1.009
XI3.15	40	0.232	Φωτισμός	1	H07V-U (UK		2.5		23.00	0.578	13.30	10	1.009
XI3.16	20	0.25	FCU-VRV	0.86	H07V-U (UK		2.5		23.00	0.578	13.30	10	1.264

Εικόνα 36: Ανάλυση στοιχείων και αποτελεσμάτων υποπίνακα XI3

Στην Εικόνα 36 παρουσιάζονται κάποια πρόσθετα στοιχεία, όπως ο τύπος του καλωδίου που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση του φορτίου (Type of Cable), το επιτρεπόμενο ρεύμα σε κανονικές συνθήκες (Current Carrying Capacity No Conditions), ο συντελεστής διόρθωσης (Correction Factor), το επιτρεπόμενο ρεύμα (Current Carrying Capacity), η μέγιστη ασφάλεια (Max Fuse Size) και το τρέχον ρεύμα γραμμής (Line Current).

Το πρόγραμμα FINE-ELEC 19 δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να δημιουργεί το μονογραμμικό διάγραμμα κάθε υποπίνακα. Το μονογραμμικό διάγραμμα του υποπίνακα XI3, απεικονίζεται στην Εικόνα 37. Διακρίνονται όλες οι γραμμές που συνδέουν τα φορτία καθώς και τα μέσα προστασίας κάθε γραμμής. Σε κάθε τελικό πίνακα διανομής, όπως και ο υποπίνακας XI3, ως μέσο προστασίας θα λαμβάνεται μικροαυτόματη ασφάλεια, και ραγοδιακόπτης. Αντίθετα για τους γενικούς πίνακες ορόφων, καθώς και για τον γενικό πίνακα του κτιρίου ως μέσο προστασίας θα λαμβάνεται αυτόματος διακόπτης ισχύος.





Εικόνα 37: Μονογραμμικό διάγραμμα του υποπίνακα X13

Όλοι οι πίνακες του κτιρίου θα προβλεφθούν τριφασικοί και με την δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης. Θα υπάρχει ο γενικός πίνακας του κτιρίου GHP, ο οποίος θα τροφοδοτεί τους γενικούς υποπίνακας κάθε ορόφου (ISA, ISB, AOA, AOB, BO, GO) , από τους οποίους τροφοδοτούνται οι υποπίνακες τελικής διανομής των επιμέρους χώρων. Οι πίνακες KLI, KLA, KLB, KLG είναι οι πίνακες τροφοδότησης των εξωτερικών μονάδων VRV, ενώ στον υποπίνακα ANELK, συνδέονται οι ανελκυστήρες του κτιρίου γραφείων.

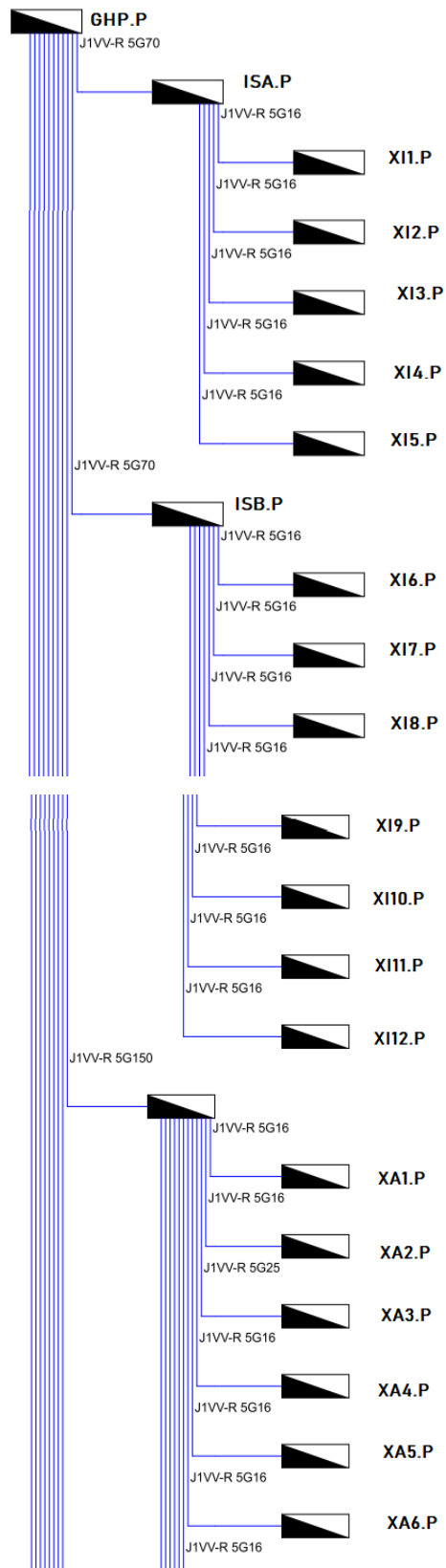
Επομένως, μετά από την προσθήκη όλων των φορτίων φωτισμού, κλιματισμού και ρευματοδοτών, στο λογισμικό της 4M, ο μελετητής πρέπει να δηλώσει για κάθε φορτίο τον συντελεστή ετεροχρονισμού, ώστε να μπορέσει να αποτυπωθούν οι συνολικές απαιτήσεις του κτιρίου και να διαστασιολογηθούν σωστά οι πίνακες του κτιρίου.

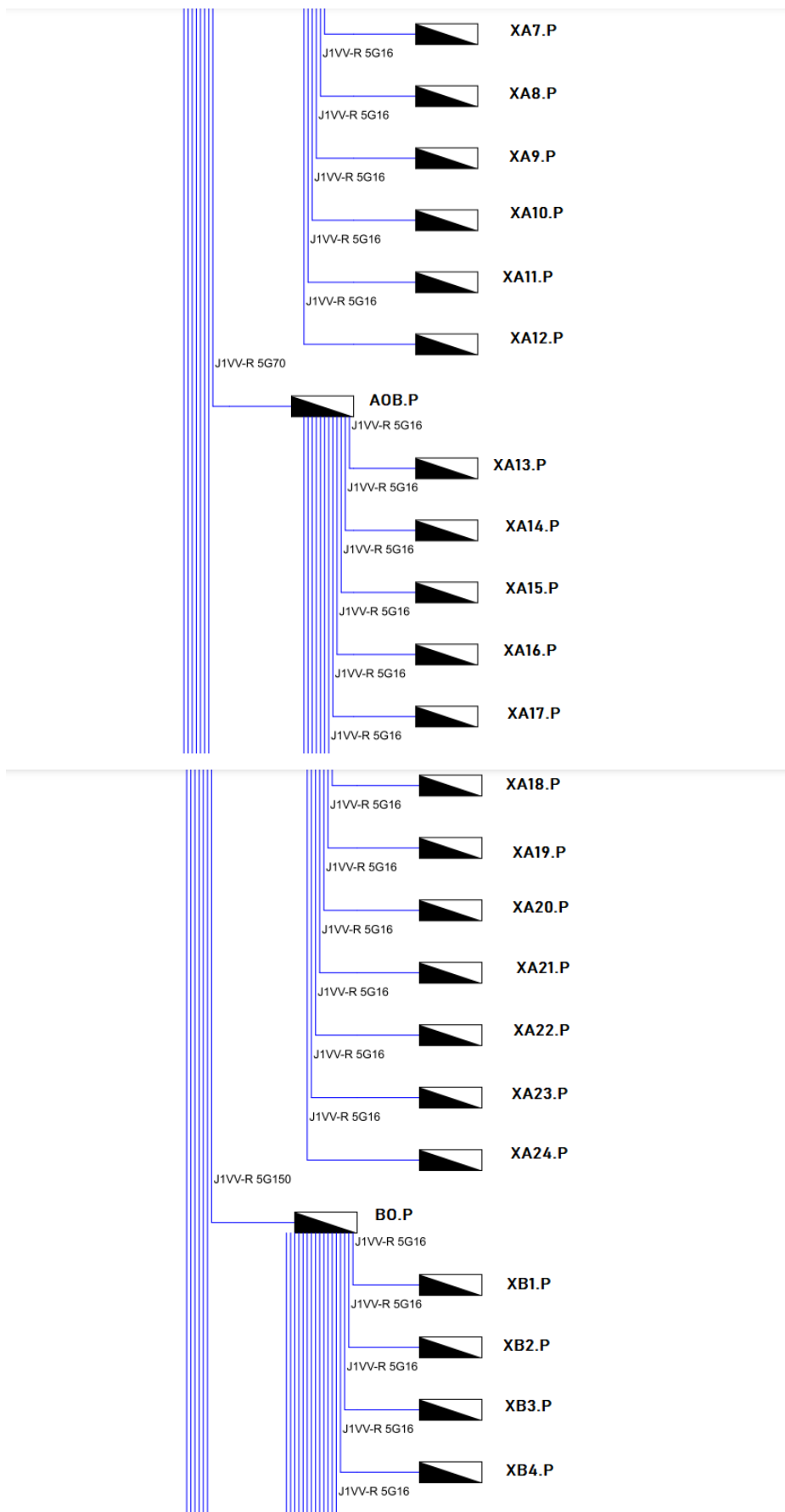
Για το κτίριο γραφείων θεωρήθηκαν οι παρακάτω συντελεστές ετεροχρονισμού:

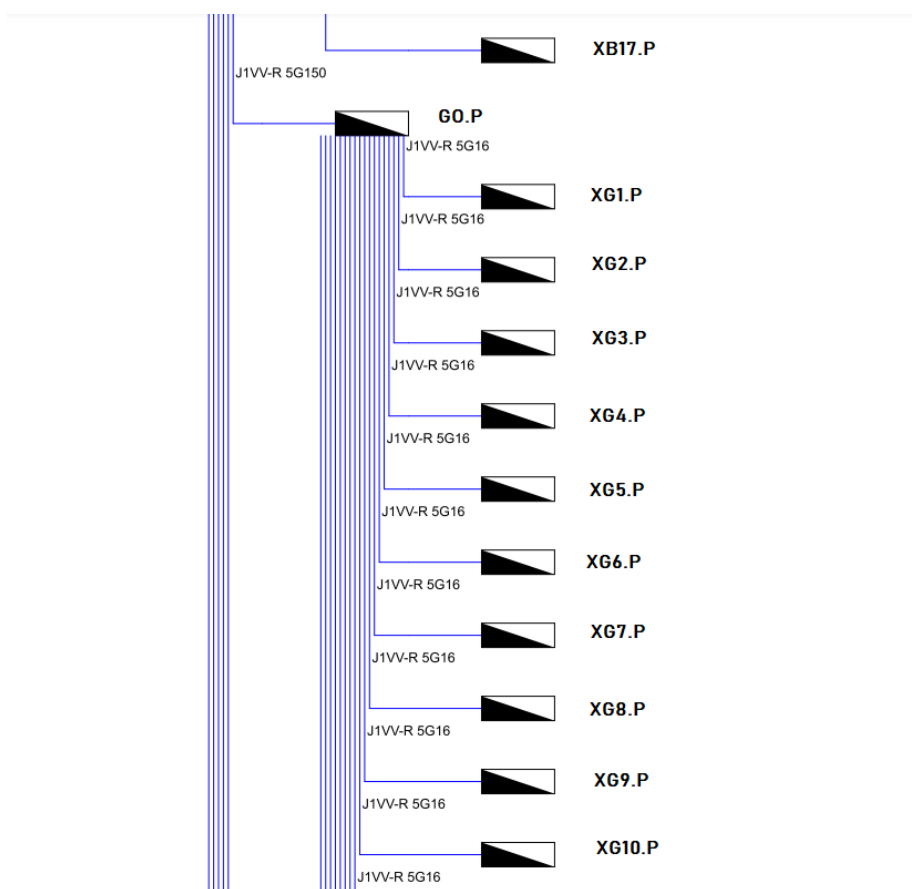
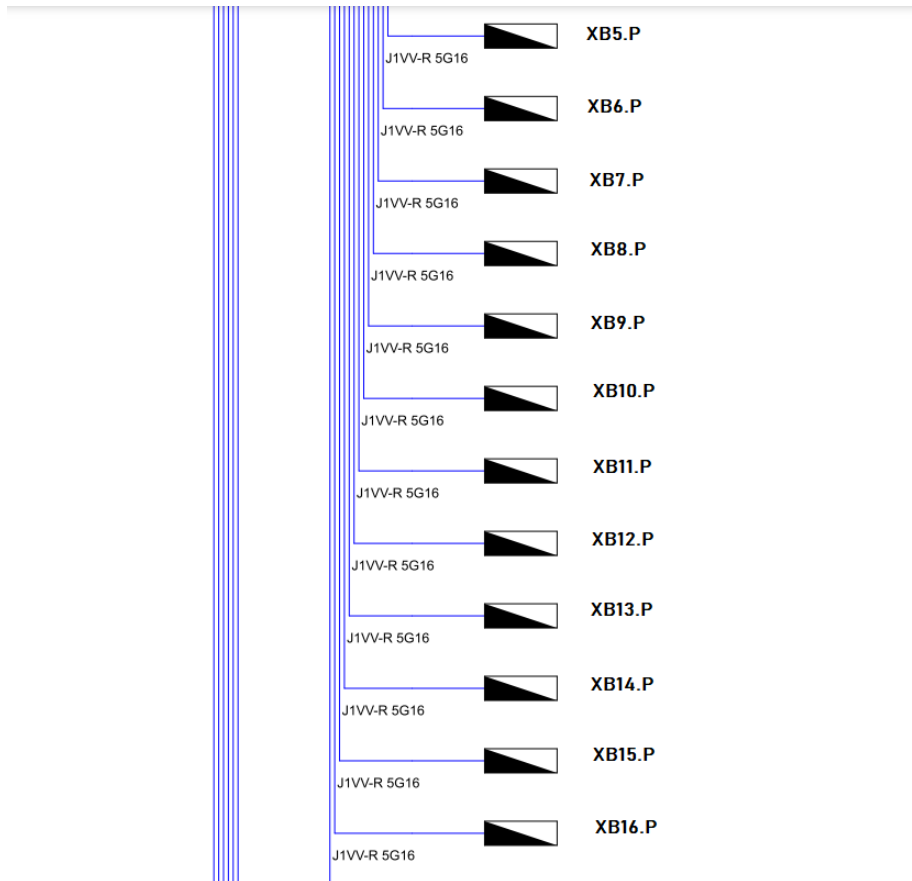
- Ρευματοδότες γραφείων : 0.5
- Ρευματοδότες αίθουσας πολλαπλών χρήσεων : 0.4
- Ρευματοδότες διαδρόμων : 0.2
- Ρευματοδότες εστιατορίου : 0.8
- Φωτισμός γραφείων : 1
- Φωτισμός εστιατορίου : 0.8
- Φωτισμός αίθουσας πολλαπλών χρήσεων : 0.8
- Φωτισμός διαδρόμων – κλιμακοστασίων : 0.5
- Φωτισμός αποθηκών υπογείου : 0.5
- Φωτισμός λουτρών : 0.5
- Τοπικές εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες (FCU, εσωτ. VRV) : 1

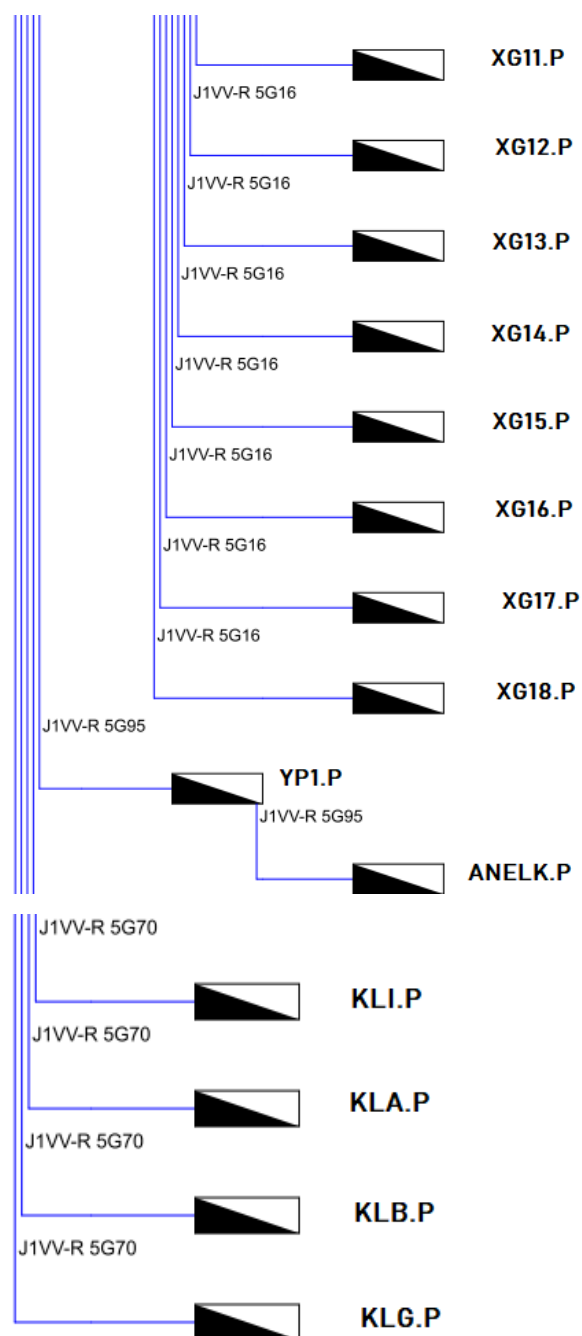
- Αντλία VRV : 0.9
- Ανελκυστήρας : 0.7
- Πίνακες ορόφων με υποπίνακες διανομής: 0.7
- Γενικός Πίνακας κτιρίου (ΓΗΠ.Π) με γενικούς υποπίνακες ορόφων : 0.75

Στην Εικόνα 38 αναπαρίσταται το αναλυτικό διάγραμμα διανομής των πινάκων του κτιρίου μελέτης.









Εικόνα 38: Διάγραμμα διανομής πινάκων κτιρίου

Κάνοντας τις συνδέσεις όλων των παραπάνω πινάκων με τον Γενικό Πίνακα (GHP), το λογισμικό συγκεντρώνει τα στοιχεία του. Η συνολική ισχύς του κτιρίου ανέρχεται σε 364,14 kVA ή 360,78 kW πραγματική εγκατεστημένη ισχύ και στις 3 φάσεις L1,L2,L3 έγινε ισοκατανομή του φορτίου. Η φάση L1 θα καλύπτει 125,9 kVA, η φάση L2 θα καλύπτει 120,49 kVA και η φάση L3 θα καλύπτει 117,9 kVA. Το συνολικό ρεύμα της εγκατάστασης



θα ανέρχεται σε 410,56 A, επομένως θα πρέπει να τοποθετηθεί αυτόματος διακόπτης ισχύος 630 A, ο οποίος έχει την δυνατότητα να ρυθμιστεί χειροκίνητα από τον εγκαταστάτη στα 428,4 A. Όσο αναφορά την διατομή του καλωδίου που θα χρησιμοποιηθεί στον GHP, το πρόγραμμα δεν κάνει αυτόματα την επιλογή αλλά καθιστά αρμόδιο τον εκάστοτε μελετητή. Για το κτίριο γραφείων θα μπορούσε να τοποθετηθεί καλώδιο 120mm<sup>2</sup> το οποίο έχει αντοχή έως 410 A. Το γεγονός όμως ότι το ρεύμα αντοχής προσεγγίζει το συνολικό ρεύμα εγκατάστασης, καθιστά την επιλογή σχεδόν απαγορευτική. Για τον λόγο αυτό στο πεδίο Selected Power Cord (mm<sup>2</sup>) θα επιλεγεί το καλώδιο διατομής 150mm<sup>2</sup>.

Στην Εικόνα 39 διακρίνονται τα αναλυτικά στοιχεία του γενικού πίνακα GHP, όπως παρουσιάζονται στο λογισμικό της 4M.

Load Type	Installed Power (kW)	Power Factor	Apparent Power (kVA)	Coincidence factor	Max. Demand (kVA)
1 Τίνακας	360.78	0.99	364.14	0.75	273.11
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
TOTAL	360.78	0.99	364.14		273.11

Phases Power Distribution		Max Occurring Current Intensity (A)	
Phase R (kVA)	125.90	Total Demand Factor	0.75
Phase S (kVA)	120.49	Intensity for Phases Equal Power Di	395.91
Phase T (kVA)	117.90	Possible Max Occurring Current Inte	410.55

Short Circuits	
Short Circuit Current (kA)	
Permissible Short Circuit Current (k	

Panel Name	GHP.P
Panel Name	
Panel Type	
Increments	
Due to Reserve (%)	
Due to Motors (A)	
Due to Lamp Starting (A)	
Total Current (A)	410.55
Recommended	
Main Switch (A)	125
Fuse or Circuit Breaker (A)	125
Power cord (mm <sup>2</sup> )	
Selected	
Main Switch (A)	630
Fuse or Circuit Breaker (A)	630
Power cord (mm <sup>2</sup> )	150
IP Degree of Protection of Panel	
Embedded to another Panel	NO

Εικόνα 39: Συγκεντρωτικά στοιχεία GHP

Εξαιτίας του μεγάλου όγκου της οικοδομής (δομημένες επιφάνειες και υπόγειο) που ξεπερνάει τα 2500 m<sup>3</sup> και το ηλεκτρικό φορτίο του κτιρίου ξεπερνά τα 250 kVA, τότε το κτίριο, αυτομάτως, πρέπει να συνδεθεί με την μέση τάση. Αυτό προαπαιτεί την κατασκευή ιδιωτικού υποσταθμού, ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες του. Ο ΔΕΔΔΗΕ δεσμεύει χώρο για την τοποθέτηση των πινάκων μέσης τάσης της εταιρείας, οι οποίοι θα τροφοδοτούν τους πίνακες μέσης τάσης του πελάτη. Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα να επιλέγονται, εφόσον απαιτείται, τα κατάλληλα στοιχεία ενός υποσταθμού. Για να υπολογιστεί ο υποσταθμός θα πρέπει να υπάρχει ο πίνακας Α.Ρ. Εφόσον υπάρχει το απαιτούμενο φορτίο θα συμπληρωθεί αυτόματα και εφόσον επιλεγεί ο επιθυμητός

μετασχηματιστής, θα συμπληρωθούν αυτόματα και οι υπόλοιπες τιμές, όπως το ονομαστικό ρεύμα, το συνεχές ρεύμα βραχυκυκλώσεως ΧΤ, την μέγιστη τιμή βραχυκυκλώσεως μετρημένη σε MVA και το συνεχές ρεύμα βραχυκυκλώσεως ΜΤ. Στην Εικόνα 40 εμφανίζεται συμπληρωμένα τα στοιχεία του υποσταθμού που θα τοποθετηθεί στο υπόγειο του κτιρίου.

Mains electricity Resistance	
Ohmic Resistance (mOhm)	0.07
Inductive Reactance (mOhm)	0.7
Transformer Selection	
Required Load (kVA)	273.06
Transformer Type	MEC ENEL 400KVA
Transformer's Nominal Power Rating (kVA)	400
Primary Voltage (V)	20000
Secondary Voltage (V)	380
Type	
Kind	OIL
Transformer Percentage Reactance Voltage (%)	4
No-load Losses (W)	930
Load Losses (W)	4600
Cost	
Calculation of Short Circuit Current	
Nominal Current (kA)	0.61
DC Short Circuit Current LV (kA)	15.21
Max. Short Circuit Power (MVA)	250
DC Short Circuit Current MV (kA)	7.23

Εικόνα 40: Συγκεντρωτικά στοιχεία υποσταθμού

Η επιλογή της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή έγινε βασισμένη σε μελλοντική προσθήκη φορτίων στο κτίριο γραφείων. Έτσι από την απαιτούμενη ισχύ των 273 kVA, επιλέχτηκε μετασχηματιστής ελαίου ονομαστικής ισχύος 400 kVA.

Ο πίνακας της μέσης τάσης που θα διασυνδέει το δίκτυο της μέσης τάσης με τον μετασχηματιστή θα αποτελείται από δυο πεδία:

- Το πεδίο εισόδου θα αποτελείται από μια κυψέλη απευθείας εισόδου, η οποία επιτρέπει είσοδο καλωδίων έως και 300mm<sup>2</sup> και περιέχει γειωτή, αλεξικέραυνα και χωρητικούς καταμεριστές, με ενδεικτικές λυχνίες παρούσας τάσης.
- Το πεδίο προστασίας του μετασχηματιστή θα αποτελείται από μια κυψέλη αναχώρησης η οποία θα περιέχει διακόπτη φορτίου σε συνδυασμό με ασφάλειες. Με το σύστημα αυτό παρέχεται προστασία στον μετασχηματιστή, χωρίς να αυξήσουμε ιδιαίτερα το κόστος. Η χρήση κυψέλης με αυτόματο διακόπτη προϋποθέτει την προσθήκη ηλεκτρονόμου, ώστε να ελέγχεται ο αυτόματος

διακόπτης και η παρουσία μετασχηματιστών τάσης και έντασης, ώστε ο ηλεκτρονόμος να έχει την πλήρη εποπτεία του συστήματος. Η συγκεκριμένη λύση αυξάνει σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης, χωρίς να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε κτηριακές εγκαταστάσεις.

Για να υπάρχει μια σφαιρική εικόνα για την τοποθέτηση, των ηλεκτρολογικών πινάκων, των εσωτερικών και εξωτερικών μονάδων κλιματισμού που επιλέχτηκαν στο Κεφάλαιο 5, των φωτιστικών σωμάτων που επιλέχτηκαν στο Κεφάλαιο 6 καθώς και τον ρευματοδοτών που επιλέχτηκαν με βάση την χρήση και τις απαιτήσεις του κάθε χώρου, παρατίθενται τα ηλεκτρολογικά σχέδια του κτιρίου γραφείων στο Παράρτημα Β.



## Κεφάλαιο 8

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

#### 8.1 Εισαγωγή

Η εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης, σύμφωνα με τον νόμο, είναι υποχρεωτική, για όλα τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια και η εκπόνηση βασίζεται στον Κ.Εν.Α.Κ. Για την παρούσα διπλωματική το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TEE KENAK. Πρόκειται για ένα λογισμικό το οποίο παρέχεται από το Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ελλάδα. Σε μια ενεργειακή μελέτη ο μελετητής καλείται να λάβει υπόψη το παθητικό και ενεργητικό μέρος του κτιρίου ήτοι τα στοιχεία του κελύφους και τις Η/Μ εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να εξετασθούν:

- Ζώνες κτιρίου.
- Κέλυφος κτιρίου και θερμομόνωση.
- Τα Η/Μ συστήματα της εγκατάστασης.

Για τα παραπάνω θα εξεταστούν 3 διαφορετικά σενάρια ώστε να υπάρξει μια σφαιρική εικόνα για το ποια επίδραση έχουν τα παραπάνω στην ενεργειακή κατηγορία του κτιρίου και ποιο σενάριο τελικά θα επιλεγεί ως το πιο αποδοτικό.

#### 8.2 Ζώνες κτιρίου

Για το συγκεκριμένο κτίριο το ισόγειο και οι 3 όροφοι, που λειτουργούν ως γραφεία, θεωρήθηκαν σαν μια ενιαία θερμική ζώνη. Οι παραπάνω θερμαινόμενοι χώροι καταλαμβάνουν συνολικά 4563 m<sup>2</sup> ενώ ο ωφέλιμος όγκος είναι 15970 m<sup>3</sup>. Οι χώροι που χρησιμοποιούνται σαν χώροι στάθμευσης και μηχανολογικοί χώροι θεωρούνται σαν μη θερμαινόμενοι χώροι χωρίστηκαν σε 3 μέρη και καταλαμβάνουν 5425 m<sup>2</sup>. Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες πρέπει να γίνεται στο μικρότερο αριθμό ζωνών,

προκειμένου να επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο. Συνεχίζοντας επιλέγουμε την ανοιγμένη ειδική θερμοχωρητικότητα να είναι  $260 \text{ [kJ/(m}^2\text{K)]}$ . Η κατηγορία διατάξεων αυτοματισμών θα οριστεί, προς στιγμή κατηγορία Δ και για τα 3 σενάρια που θα ακολουθήσουν, ώστε όταν θα γίνει μελέτη των συστημάτων αυτοματισμού φωτισμού/κλιματισμού να παρατηρηθεί η επίδραση τους στο κτίριο. Ο αριθμός θυρίδων εξαερισμού, καμινάδες τζακιών και ανεμιστήρων οροφής ορίζεται μηδέν.

### 8.3 Κέλυφος

Για να μελετηθεί η επίδραση του κελύφους στην ενεργειακή αναβάθμιση του υπό μελέτη κτιρίου την μελέτη του κελύφους πρέπει να εξεταστούν ξεχωριστά:

- Τα δομικά στοιχεία όσον αναφορά στους συντελεστές θερμοπερατότητας.
- Οι θερμογέφυρες για όλα τα δομικά στοιχεία κατακόρυφα και οριζόντια καθώς και τις συναρμογές αυτών.
- Συντελεστές σκιασμού.

#### 8.3.1 Δομικά στοιχεία και συντελεστές θερμοπερατότητας

Για να γίνει ένα κτίριο ενεργειακά αποδοτικό και για μειωθούν οι θερμικές απώλειες τον χειμώνα και ψυκτικές απώλειες το καλοκαίρι πρέπει να γίνει σωστή επιλογή των υλικών που θα αποτελούν το κέλυφος. Ως κέλυφος ορίζεται το σύνολο της τοιχοποιίας πλήρωσης, τα φέροντα στοιχεία, παράθυρα, οροφές και δάπεδο. Κάθε υλικό έχει και συγκεκριμένες ιδιότητες, συνεπώς χαρακτηρίζεται και από έναν συντελεστή θερμοπερατότητας. Ο συγκεκριμένος συντελεστής αντικατοπτρίζει το ποσό της θερμότητας που διέρχεται μέσω ενός τετραγωνικό μέτρου ενός δομικού στοιχείου, ορισμένου πάχους  $d$ , σε διάστημα μίας ώρας, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δυο επιφανειών είναι ένα Κελβιν. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο 8.1:

$$\frac{1}{U} = Ri + \sum_{j=0}^n (Rj) + Ra \quad (8.1)$$

Όπου:

U ο συντελεστής θερμοπερατότητας

n το πλήθος στρώσεων του δομικού στοιχείου

Ri η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στην μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο.

Ra η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στην μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Rj η θερμική αντίσταση κάθε στρώματος που αποτελούν κάθε στοιχείο.

Ο τύπος υπολογισμού της θερμικής αντίστασης είναι:

$$Rj = \frac{d}{l} \quad (8.2)$$

Όπου:

d το πάχος στρώσης και l ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017)

Για τα διαφανή δομικά στοιχεία, δηλαδή τα κουφώματα ο συντελεστής θερμοπερατότητας Uw μπορεί να υπολογισθεί είτε αναλυτικά, είτε να θεωρηθεί δεδομένη με βάση την τιμή που πιστοποιεί ο κατασκευαστής. Ο αναλυτικός υπολογισμός του συντελεστή Uw ενός κουφώματος δίνεται από τον τύπο 8.3:

$$Uw = \frac{Af*Uf + Ag*Ug + lg*\Psi g}{Af + Ag} \quad (8.3)$$

Όπου:

Uw ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος.

Uf ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος.

Ug ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα που χρησιμοποιείται.

Af το εμβαδόν επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος.  
Ag το εμβαδόν επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος.  
lg το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος.  
 $\Psi_g$  ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα.

Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας τόσο καλύτερη θερμομόνωση θα υπάρχει στο κτίριο.

### 8.3.2 Θερμογέφυρες

Ως θερμογέφυρα ορίζεται το τμήμα εκείνο του περιβλήματος του κτιρίου στο οποίο η θερμική αντίσταση παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με την θερμική αντίσταση του υπόλοιπου κτιρίου. Στη θέση που τοποθετείται η θερμογέφυρα η θερμική ροή είναι αυξημένη. Οι λόγοι που ωθούν την τοποθέτηση των θερμογεφυρών στο κτίριο είναι οι εξής:

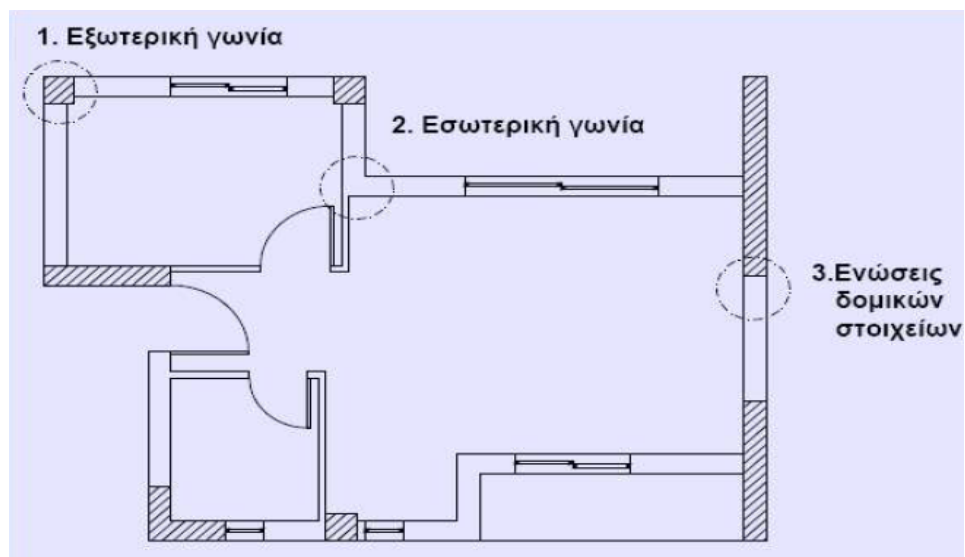
- Δυσχερής ή πρακτικά αδύνατη θερμομονωτική προστασία.
- Συνάντηση δύο κάθετων δομικών στοιχείων
- Αλλαγή σύνθεσης υλικών σε φαινομενικά ενιαίο δομικό στοιχείο
- Απουσία στρώσης θερμομόνωσης ή μείωση του πάχους της
- Δίεδρες ή τριέδρες εξωτερικές γωνίες του περιβλήματος

Οι θερμογέφυρες διακρίνονται σε τρεις τύπους ανάλογα με την θέση εμφάνισής τους:

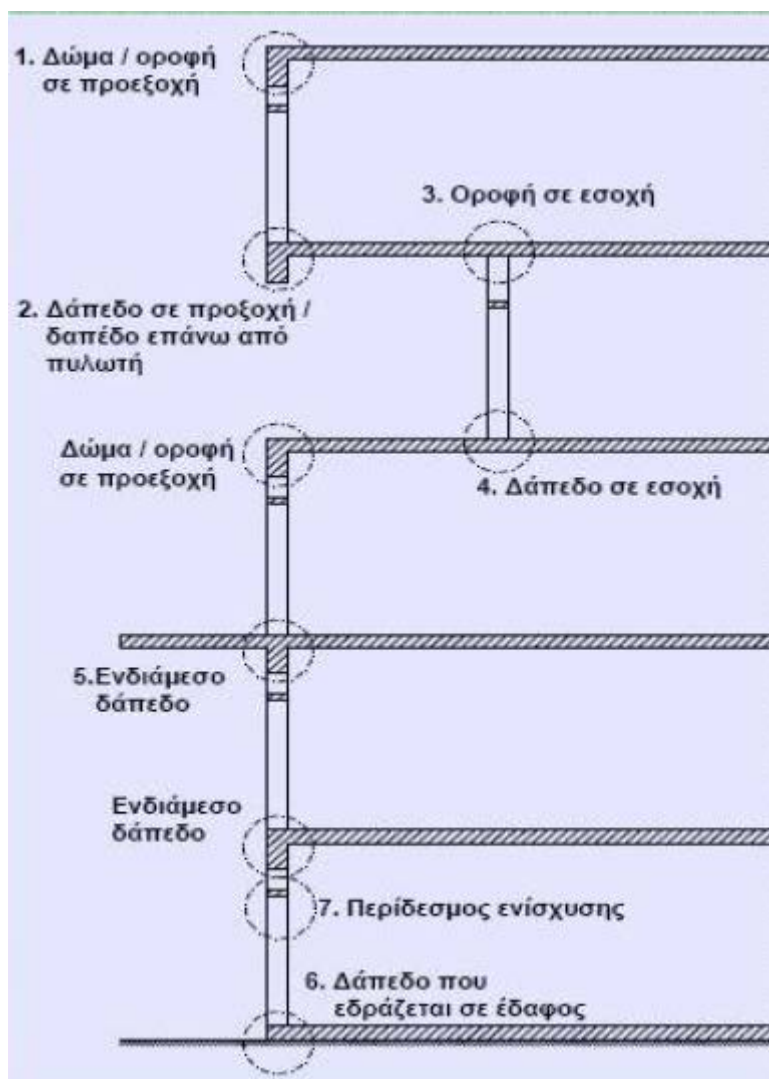
- Κατακόρυφες θερμογέφυρες, οι οποίες βρίσκονται στη συναρμογή των κατακόρυφων δομικών στοιχείων. Εντοπίζονται στις κατόψεις του κτιρίου.
- Οριζόντιες θερμογέφυρες, οι οποίες βρίσκονται στην συναρμογή των οριζόντιων δομικών στοιχείων. Εντοπίζονται στις τομές του κτιρίου.
- Θερμογέφυρες κουφωμάτων, στην συναρμογή των κουφωμάτων με συμπαγή δομικά στοιχεία. Το μήκος τους είναι η περίμετρος των ανοιγμάτων.

Στην Εικόνα 41 και Εικόνα 42 γίνεται προβολή των διαφόρων τύπων κατακόρυφων και οριζοντίων θερμογεφυρών, αντίστοιχα. Στην Εικόνα 43 παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι θερμογεφυρών κουφωμάτων.

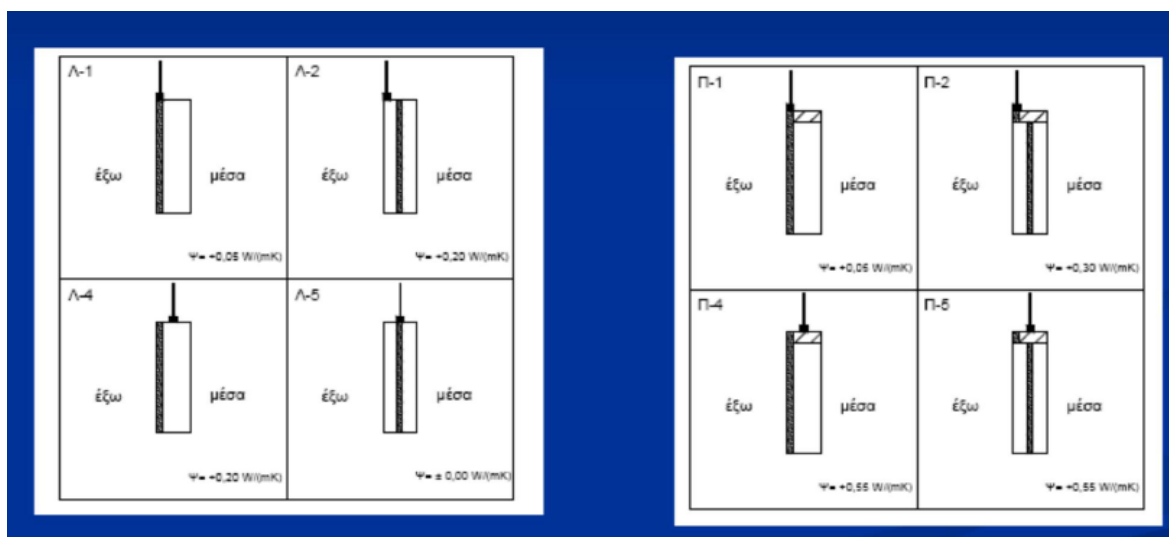




Εικόνα 41: Τύποι κατακόρυφων θερμογεφυρών



Εικόνα 42: Τύποι οριζόντιων θερμογεφυρών



Εικόνα 43: Τύποι θερμογεφυρών κουφωμάτων

Οι γραμμικές θερμογέφυρες ορίζονται από το γινόμενο:

$$\Psi * L \text{ (W/K)}$$

Όπου  $\Psi$  ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας και  $L$  το μήκος της θερμογέφυρας. Οι σημειακές θερμογέφυρες θεωρούνται πρακτικά αμελητέες και δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό.

### 8.3.3 Συντελεστές σκιασμού

Οι ιδιότητες του ήλιου ανέκαθεν επηρέαζαν τον πλανήτη μας και κατ' επέκταση και τον άνθρωπο. Είναι μια αέναη πηγή φυσικού φωτισμού και παράλληλα έχει και θερμαντικές ιδιότητες εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε επιφάνειες. Κατά την διάρκεια του έτους η ημερήσια κίνηση του ηλίου μεταβάλλεται. Τον χειμώνα ανατέλλει νοτιοανατολικά και δύει νοτιοδυτικά, ενώ το καλοκαίρι ανατέλλει βορειοανατολικά και δύει βορειοδυτικά. Στο θερινό ηλιοστάσιο παρατηρείται ότι ο ήλιος διαγράφει μεγαλύτερη τροχιά και παράλληλα κινείται σε μεγαλύτερα ύψη. Όλα αυτά είναι προφανές ότι επηρεάζουν την ενεργειακές απώλειες ενός κτιρίου και πρέπει να ληφθούν υπόψη του

μελετητή. Για τον λόγο αυτό για κάθε αδιαφανή και διαφανή επιφάνεια του κελύφους πρέπει να υπολογιστούν οι συντελεστές σκίασης. Οι συντελεστές σκίασης αποτελούνται από τρία ζευγάρια συντελεστών:

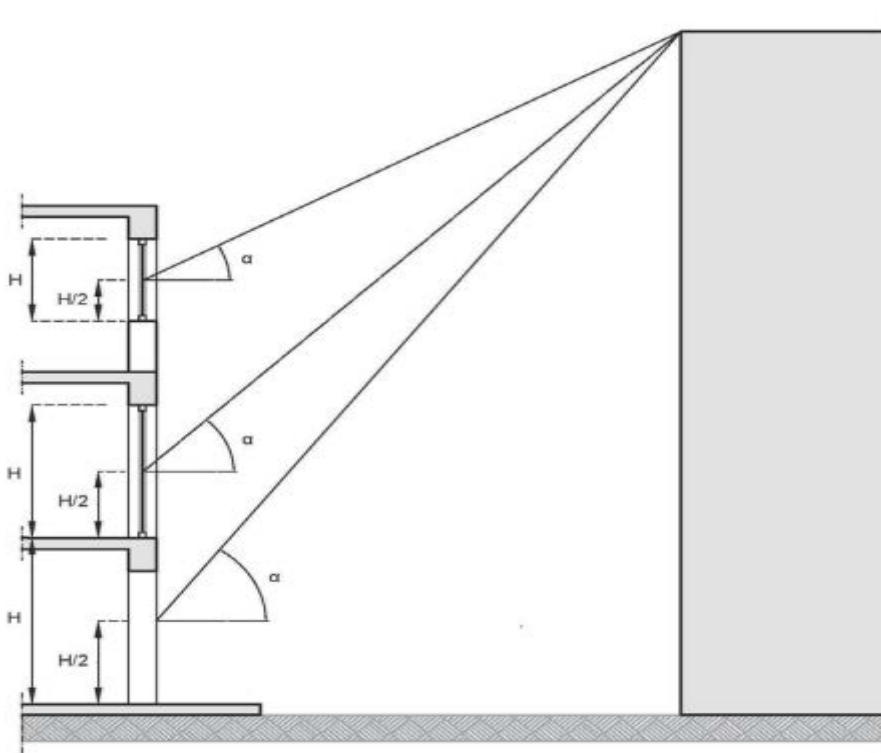
- Σκίαση λόγω μακρινών εμποδίων
- Σκίαση λόγω οριζοντίων προβόλων
- Σκίαση λόγω πλευρικών εμποδίων

Για όλους τους παραπάνω τύπους πρέπει να υπολογιστεί ένας συντελεστής για τον χειμώνα και ένας το καλοκαίρι. (Παντελίδης, 2018)

#### **Σκίαση ορίζοντα (μακρινά εμπόδια)**

Η σκίαση σε αυτή την περίπτωση δημιουργείται όταν ο ήλιος κινείται σε χαμηλό επίπεδο. Στην Εικόνα 44 απεικονίζεται η σκίαση που δημιουργείται από ένα γειτονικό εμπόδιο στον ορίζοντα. Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι δημιουργείται μεγαλύτερη σκίαση τον χειμώνα διότι ο ήλιος κινείται σε χαμηλά ύψη.

Για να γίνει ο υπολογισμός του συντελεστή σκίασης πρέπει να βρεθεί η γωνία  $\alpha$ .



Εικόνα 44: Απεικόνιση γωνιάς θέασης  $\alpha$  που σχηματίζει το εμπόδιο σε διαφανή και αδιαφανή δομικά στοιχεία

Ακολουθεί ο τύπος 8.4 εύρεσης της γωνίας  $\alpha$ :

$$\tan \alpha = \frac{H - \frac{h}{2}}{L} \Rightarrow \alpha = \tan^{-1} \frac{\left(H - \frac{h}{2}\right)}{L} \quad (8.4)$$

Όπου:

$H$  το ύψος του απέναντι εμποδίου.

$h/2$  ο μέσο της επιφάνειας ή του κουφώματος.

$L$  η απόσταση του εμποδίου.

Εφόσον υπολογιστεί η γωνία  $\alpha$ , γίνεται εύρεση κάθε συντελεστή από τον Πίνακα 14 που παρέχεται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017).

Ακολουθεί ο συγκεκριμένος πίνακας:

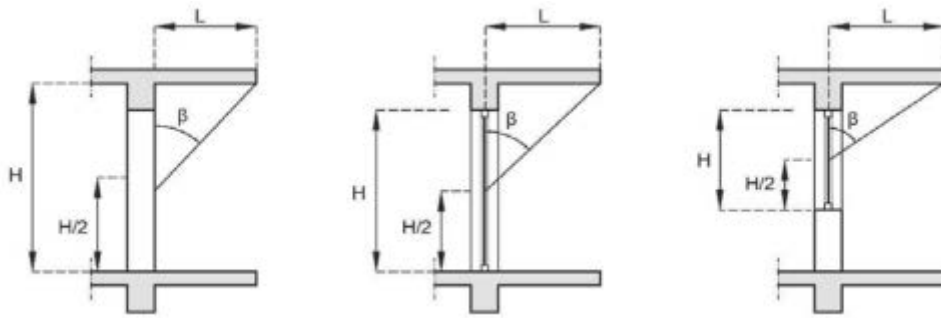
Πίνακας 14: Συντελεστές σκίασης ορίζοντα

Γωνία α	Περίοδος	Προσανατολισμός επιφάνειας				
		N	NA και NΔ	A και Δ	BA και ΒΔ	B
0°	θέρμανσης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	ψύξης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5°	θέρμανσης	0,98	0,97	0,96	0,98	1,00
	ψύξης	1,00	0,98	0,97	0,96	0,96
10°	θέρμανσης	0,96	0,95	0,93	0,95	1,00
	ψύξης	1,00	0,97	0,94	0,92	0,92
15°	θέρμανσης	0,91	0,89	0,86	0,92	1,00
	ψύξης	1,00	0,94	0,90	0,88	0,90
20°	θέρμανσης	0,86	0,84	0,80	0,89	1,00
	ψύξης	1,00	0,92	0,86	0,84	0,87
25°	θέρμανσης	0,73	0,73	0,72	0,87	1,00
	ψύξης	1,00	0,90	0,83	0,82	0,87
30°	θέρμανσης	0,61	0,62	0,65	0,85	1,00
	ψύξης	1,00	0,89	0,81	0,81	0,86
35°	θέρμανσης	0,53	0,54	0,61	0,84	1,00
	ψύξης	0,99	0,85	0,77	0,77	0,86
40°	θέρμανσης	0,44	0,47	0,57	0,83	1,00
	ψύξης	0,98	0,82	0,72	0,73	0,85
45°	θέρμανσης	0,40	0,44	0,55	0,82	1,00
	ψύξης	0,95	0,78	0,68	0,70	0,85
50°	θέρμανσης	0,36	0,40	0,53	0,81	1,00
	ψύξης	0,93	0,74	0,63	0,67	0,85
55°	θέρμανσης	0,34	0,38	0,52	0,81	1,00
	ψύξης	0,89	0,70	0,60	0,65	0,85
60°	θέρμανσης	0,32	0,37	0,51	0,81	1,00
	ψύξης	0,86	0,67	0,57	0,63	0,85
65°	θέρμανσης	0,32	0,36	0,50	0,81	1,00
	ψύξης	0,79	0,63	0,55	0,63	0,85
≥70°	θέρμανσης	0,31	0,36	0,50	0,81	1,00
	ψύξης	0,73	0,58	0,52	0,62	0,85

### Σκίαση οριζόντιου προβόλου

Η σκίαση σε αυτή την περίπτωση δημιουργείται όταν ο ήλιος κινείται σε μεγάλο ύψος, οπότε ο οριζόντιος πρόβολος δημιουργεί μεγαλύτερη σκίαση το καλοκαίρι, χαρίζοντας του έτσι την ιδιότητα ενός πολύ καλού παθητικού ηλιακού συστήματος. Στην Εικόνα 45 απεικονίζεται η σκίαση που μπορεί να δημιουργήσει ο πρόβολος, στα κουφώματα και στα στοιχεία του κελύφους.

Για να γίνει ο υπολογισμός του συντελεστή πρέπει να βρεθεί η γωνία β.



Εικόνα 45: Απεικόνιση γωνίας  $\beta$  που σχηματίζει πρόβολος με την κατακόρυφη επιφάνεια αδιαφανούς και διαφανούς δομικού στοιχείου.

Ακολουθεί ο τύπος εύρεσης της γωνίας  $\beta$ :

$$\tan \beta = \frac{L}{h} \Rightarrow \beta = \tan^{-1} \frac{L}{h} \quad (8.5)$$

Όπου:

$h$  η κατακόρυφη απόσταση του προβόλου από το μέσο της επιφάνειας ή του κουφώματος.

$L$  η οριζόντια απόσταση του προβόλου.

Εφόσον υπολογιστεί η γωνία  $\beta$ , γίνεται εύρεση κάθε συντελεστή από τον Πίνακα 15 που παρέχεται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017).

Ακολουθεί ο συγκεκριμένος πίνακας:

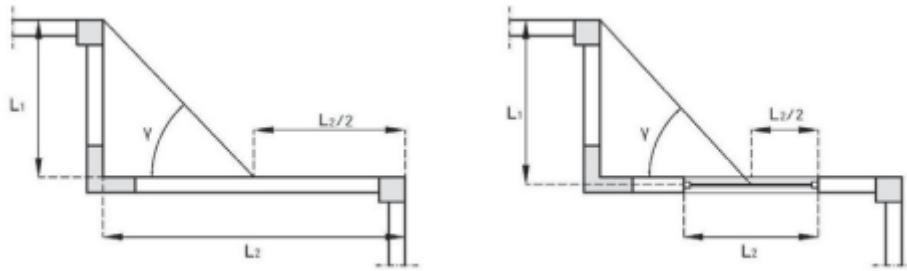
Πίνακας 15: Συντελεστής σκίασης από οριζόντιους προβόλους

Γωνία β	Περίοδος	Προσανατολισμός επιφάνειας				
		N	NA και ΝΔ	A και Δ	BA και ΒΔ	B
0°	θέρμανσης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	ψύξης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5°	θέρμανσης	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96
	ψύξης	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97
10°	θέρμανσης	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92
	ψύξης	0,89	0,91	0,93	0,93	0,94
15°	θέρμανσης	0,91	0,91	0,91	0,90	0,89
	ψύξης	0,84	0,86	0,89	0,90	0,90
20°	θέρμανσης	0,87	0,88	0,88	0,86	0,85
	ψύξης	0,78	0,82	0,85	0,87	0,87
25°	θέρμανσης	0,84	0,84	0,85	0,83	0,81
	ψύξης	0,73	0,77	0,81	0,83	0,84
30°	θέρμανσης	0,80	0,81	0,82	0,80	0,77
	ψύξης	0,67	0,72	0,77	0,80	0,80
35°	θέρμανσης	0,76	0,77	0,78	0,76	0,74
	ψύξης	0,61	0,67	0,72	0,76	0,77
40°	θέρμανσης	0,72	0,73	0,75	0,73	0,70
	ψύξης	0,56	0,62	0,68	0,72	0,74
45°	θέρμανσης	0,68	0,69	0,70	0,69	0,66
	ψύξης	0,51	0,57	0,63	0,68	0,70
50°	θέρμανσης	0,63	0,64	0,66	0,65	0,62
	ψύξης	0,46	0,52	0,58	0,64	0,67
55°	θέρμανσης	0,57	0,58	0,62	0,61	0,59
	ψύξης	0,42	0,48	0,53	0,59	0,63
60°	θέρμανσης	0,50	0,52	0,57	0,57	0,55
	ψύξης	0,39	0,43	0,48	0,55	0,60
65°	θέρμανσης	0,42	0,45	0,50	0,53	0,51
	ψύξης	0,36	0,39	0,43	0,49	0,56
70°	θέρμανσης	0,34	0,37	0,44	0,48	0,47
	ψύξης	0,33	0,34	0,38	0,44	0,52
80°	θέρμανσης	0,17	0,21	0,29	0,38	0,40
	ψύξης	0,28	0,26	0,27	0,32	0,41
≥90°	θέρμανσης	0,10	0,12	0,17	0,27	0,33
	ψύξης	0,24	0,19	0,18	0,22	0,30

### Σκίαση πλευρικών προεξοχών

Η σκίαση σε αυτή την περίπτωση δημιουργείται κάποιες ώρες την ημέρα όταν η οριζόντια θέση του ηλίου είναι τέτοια που να σκιάζεται η επιφάνεια από την πλευρική προεξοχή. Στην Εικόνα 46 απεικονίζεται η σκίαση που δημιουργείται από πλευρικά εμπόδια, είτε σε αδιαφανή ή διαφανή υλικά.

Για να γίνει ο υπολογισμός του συντελεστή πρέπει να βρεθεί η γωνία  $\gamma$ .



Εικόνα 46: Απεικόνιση γωνίας  $\gamma$  που σχηματίζει η πλευρική προεξοχή με ένα κατακόρυφο διαφανές και αδιαφανές δομικό στοιχείο.

Ακολουθεί ο τύπος εύρεσης της γωνίας  $\gamma$ :

$$\tan \gamma = \frac{L}{\frac{W}{2}} \Rightarrow \alpha = \tan^{-1} \frac{L}{\frac{W}{2}} \quad (8.6)$$

Όπου:

$W/2$  η οριζόντια απόσταση της προεξοχής με το μέσο της επιφάνειας ή του κουφώματος.

$L$  το μήκος της πλευρικής προεξοχής.

Εφόσον υπολογιστεί η γωνία  $\gamma$ , γίνεται εύρεση κάθε συντελεστή από τον Πίνακα 16 του Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017; Ελλάδας, 2014) και ανάλογα αν η προεξοχή βρίσκεται δεξιά ή αριστερά της επιφάνειας που εξετάζεται. Ακολουθεί ο συγκεκριμένος πίνακας:



Πίνακας 16: Συντελεστής σκίασης από πλευρικές προεξοχές

Γωνία γ	Περίοδος	Προσανατολισμός επιφάνειας							
		N	ΝΔ	Δ	ΒΔ	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ
0°	θέρμανσης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	ψύξης	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	θέρμανσης	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,97
	ψύξης	0,97	0,97	1,00	1,00	0,97	0,96	0,99	0,99
20°	θέρμανσης	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	0,92	0,90	0,93
	ψύξης	0,95	0,94	0,99	1,00	0,95	0,93	0,98	0,99
30°	θέρμανσης	0,92	0,98	1,00	1,00	1,00	0,89	0,86	0,90
	ψύξης	0,93	0,90	0,99	1,00	0,93	0,89	0,96	0,98
40°	θέρμανσης	0,89	0,97	1,00	1,00	1,00	0,86	0,80	0,87
	ψύξης	0,91	0,86	0,98	1,00	0,92	0,84	0,95	0,97
50°	θέρμανσης	0,85	0,95	1,00	1,00	1,00	0,84	0,75	0,83
	ψύξης	0,89	0,81	0,97	1,00	0,92	0,79	0,93	0,96
60°	θέρμανσης	0,81	0,93	1,00	1,00	1,00	0,82	0,69	0,79
	ψύξης	0,88	0,76	0,96	1,00	0,92	0,73	0,91	0,96
≥70°	θέρμανσης	0,76	0,90	1,00	1,00	1,00	0,81	0,62	0,73
	ψύξης	0,86	0,71	0,94	1,00	0,92	0,66	0,88	0,95

Σημαντική σημείωση για τον παραπάνω υπολογισμό είναι ότι, όταν υπάρχουν πλευρικές προεξοχές και από τις δύο πλευρές βρίσκουμε τους αντίστοιχους συντελεστές και τους πολλαπλασιάζουμε μεταξύ τους.

Οι παραπάνω συντελεστές είναι μειωτικοί λαμβάνοντας τιμή 0 όταν υπάρχει πλήρης σκίαση και 1 όταν δεν υπάρχει καθόλου σκίαση.

## 8.4 Η/Μ συστήματα

Για να μπορέσει το πρόγραμμα TEE-KENAK να εξάγει τα αποτελέσματα της ενεργειακής ανάλυσης του κτιρίου μελέτης πρέπει να δηλωθούν όλες οι Η/Μ εγκαταστάσεις που συμμετέχουν στην κατανάλωση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα:

- Θέρμανση
- Ψύξη
- Αερισμός- εξαερισμός
- Ζ.Ν.Χ
- Ηλιακοί συλλέκτες
- Φωτισμός
- Αυτοματισμοί κτιρίου
- Φωτοβολταϊκά συστήματα

Προτού εισέλθουμε στο κομμάτι της ανάλυσης κάθε σεναρίου πρέπει να σημειωθεί ότι τα πρώτα αποτελέσματα της ενεργειακής μελέτης του κτιρίου θα εξαχθούν χωρίς να έχει γίνει πρόβλεψη για χρήση αυτοματισμών καθώς και να μην τοποθετηθεί φωτοβολταϊκού σύστημα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στα επόμενα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν, θα γίνει λεπτομερής ανάλυση των παραπάνω συστημάτων και η τοποθέτηση τους στο κτίριο μελέτης.

## 8.5 Σενάριο 1

### 8.5.1 Κέλυφος

Για το κέλυφος του σεναρίου 1 επιλέχθηκε:

- η τοιχοποιία πλήρωσης να αποτελείται (από μέσα προς τα έξω) από επίχρισμα (σοβάς) 2cm, τούβλο 9cm, εξηλασμένη πολυστερίνη 10cm που έχει  $\lambda=0,035$  W/mK, τούβλο 9 cm και επίχρισμα 2cm. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της τοιχοποιίας πλήρωσης είναι 0,292.
- Φέροντα στοιχεία σκυροδέματος(δοκοί και υποστυλώματα) να αποτελούνται (από μέσα προς τα έξω) από επίχρισμα 2cm, εξηλασμένη πολυστερίνη 7cm που έχει  $\lambda=0,035$  W/mK, σκυρόδεμα 25cm και επίχρισμα 2cm. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της φέρουσας τοιχοποιίας είναι 0,432.
- Πλάκα οροφής αποτελείται (από πάνω προς τα κάτω) από πλακάκι 2cm, τσιμεντοκονίαμα 5cm, ασφαλτόπανο 2mm, εξηλασμένη πολυστερίνη 8cm που

έχει  $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$ , σκυρόδεμα 15cm και επίχρισμα 2cm. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της πλάκας οροφής είναι 0,445.

- Δάπεδο σε έδαφος (από πάνω προς τα κάτω) από πλακάκι 2cm, τσιμεντοκονίαμα 5cm, σκυρόδεμα 20cm, εξηλασμένη πολυστερίνη 5cm που έχει  $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$ . Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δαπέδου είναι 0,445.
- Κουφώματα με πλάτος πλαισίου 12cm ( $U_f = 2.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) και υαλοπίνακα με διπλή υάλωση 4-16-4 με αέρα στο διάκενο χωρίς επίστρωση ( $U_g = 2.70 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) και συντελεστή θερμογεφυρών  $\Psi_g = 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των κουφωμάτων εξαρτάται άμεσα από το εμβαδόν του πλαισίου και το εμβαδόν του υαλοπίνακα.

Για αυτό τον λόγο παρατίθενται οι συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε τύπο ανοίγματος που χρησιμοποιήθηκε:

- Π1 με εμβαδό  $18,4\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 3,3.
- Π2 με εμβαδό  $3,5\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 4,2.
- Π3 με εμβαδό  $5\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 4.
- Π4 με εμβαδό  $11\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 3,5.
- Π5 με εμβαδό  $7\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 3,5.
- Π6 με εμβαδό  $8\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 3,5.
- Π7 με εμβαδό  $31,5\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 3,18.
- Π8 με εμβαδόν  $21,61\text{m}^2$  και συντελεστή θερμοπερατότητας 3,22.

### 8.5.2 Συστήματα

Για την θέρμανση, ψύξη και αερισμό του σεναρίου 1 θα χρησιμοποιηθούν τα συστήματα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5.5.1.

Για την παραγωγή θερμότητας θα γίνει χρήση 4 λεβήτων αερίου και θερμικής ισχύος 42.5 kW έκαστος. Σαν καύσιμο χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο ενώ η ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου λαμβάνεται από τον κατασκευαστή, ίση με 91%. Ο συντελεστής μετατροπής του εποχιακού βαθμού απόδοσης του λέβητα για καύσιμο φυσικό αέριο είναι  $\Sigma\text{ΜΘ}\Delta = 1,11$ . Οπότε ο εποχιακός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από τον τύπο 8.7:

$$\eta_{\text{SK}\Theta} = \Sigma\text{ΜΘ}\Delta \cdot (\eta_{\text{SA}\Theta} + 3\%) \quad (8.7)$$

Υπολογίζεται ότι  $nsK\theta = 1,0434$ . Οι λέβητες καθότι αναλογικοί μπορούν να προσαρμόσουν την λειτουργία τους άρα δεν θα προστεθεί καθόλου υπερδιαστασιολόγηση, συνεπώς  $n_{g1} = 1,00$ . Επιπλέον αφού δεν αποθηκεύουν νερό δεν θα εξεταστεί η κατάσταση μόνωσής τους, άρα  $n_{g2} = 1,00$ .

Επομένως ο τελικός βαθμός απόδοσης κάθε λέβητα που θα καταχωρηθεί στο πεδίο βαθμός απόδοσης είναι:

$$ngen = nsK\theta * ng1 * ng2 \quad (8.8)$$

Υπολογίζεται ότι  $ngen = 1,0434$ . Όσο αναφορά τον COP θα θεωρηθεί ίσος με την μονάδα καθώς ισχύει για αντλίες θερμότητας και ο βαθμός κάλυψης θα είναι 0,25 για τον καθένα για τους μήνες της θέρμανσης, δηλαδή Νοέμβριο έως Απρίλιο αφού θα ισομοιράζονται το φορτίο.

Για το δίκτυο διανομής του κτιρίου θα χρησιμοποιηθεί μια κεντρική στήλη, οπότε η ωφέλιμη ισχύς των λεβήτων θα μεταφέρεται από την στήλη αυτή. Δηλαδή:

$$P_{\delta\delta} = \frac{P_{\lambda\epsilon\beta} * ng1 * ng2}{N} \quad (8.9)$$

Υπολογίζεται ότι η ισχύς που θα μεταφέρεται από το δίκτυο διανομής είναι 170 kW. Η διέλευση θα γίνεται μέσα από εσωτερικούς χώρους ή έως και 20% σε εξωτερικούς χώρους και η θερμοκρασία του προσαγόμενου θερμού μέσου είναι υψηλή (άνω των 60 βαθμών Κελσίου). Ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής για ισχύ 170 kW δηλαδή στην περιοχή 100-200 kW και με μόνωση κτιρίου αναφοράς προκύπτει εάν αφαιρέσουμε τις απώλειες δικτύου από το συνολικό ποσοστό. Επομένως καταλήγουμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι 0,96.

Για τις τερματικές μονάδες ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί είναι Fan-coils και ο βαθμός απόδοσης των θερμαντικών σωμάτων υπολογίζεται από την σχέση 4.12 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017:

$$nem,t = \frac{nem}{(f_{rad} * f_{im} * f_{hydr})} \quad (8.10)$$

112

Για να υπολογιστεί η παραπάνω σχέση πρέπει να διευκρινιστούν ότι οι τερματικές μονάδες FCU είναι άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο και θερμοκρασίας 70-90°C, οι χώροι είναι κάτω από τα 4m, θα υπάρχει διακοπτόμενη λειτουργία και υδραυλικά ισορροπημένο δίκτυο. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων είναι 0,876.

Για της βοηθητικές μονάδες χρησιμοποιούνται 1 κυκλοφορητής ισχύος για το σύστημα των λεβήτων ισχύος 1,5kW και 1 κυκλοφορητής ισχύος για το σύστημα των Fan Coil ισχύος 6.5kW όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5.5.1. Επίσης χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες FCU με ισχύ 0,08kW και 134 στον αριθμό.

Στην Εικόνα 47 φαίνεται η καρτέλα θέρμανσης συμπληρωμένη:

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: ☐ Υγρή ☒ Μηχανικός αερισμός ☐ Ηλεκτρικός αερισμός ☒ Φωτισμός

Θέρμανση | Ψύξη | Μηχανικός αερισμός | Φωτισμός

Παραγωγή

Παραγωγή	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An. (-)	COP (-)	Jan (-)	Feb (-)	Mar (-)	Apr (-)	May (-)	Jun (-)	Jul (-)	Aug (-)	Sep (-)	Oct (-)	Nov (-)	Dec (-)
1	Λέβητας	Φωσικό αέριο	42.5	1.043	1.0	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25
2	Λέβητας	Φωσικό αέριο	42.5	1.043	1.0	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25
3	Λέβητας	Φωσικό αέριο	42.5	1.043	1.0	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25
4	Λέβητας	Φωσικό αέριο	42.5	1.043	1.0	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25

Δίκτυο διανομής

Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. An. (-)	Μόνωση
1	Δίκτυο διανομής θερμότητας	170	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	<input type="checkbox"/>
2	Αεραγωγοί			<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες

Τύπος	B. An. (-)
1	Fan Coil

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
1	Κυκλοφορητής	1
2	Κυκλοφορητής	1
3	Ανεμιστήρας	134
4	Ανεμιστήρας	1

Λογισμικό TEE - KENAK - Εξοπλισμός Πιστοποιημένων Κτιρίων - Τεχνική Πρωτοβουλία Εξοικονόμησης - Copyright © TEE 2010

Εικόνα 47: Καρτέλα θέρμανσης σενάριο 1 TEE-KENAK

Για την ψύξη του κτιρίου χρησιμοποιήθηκαν 2 αερόψυκτοι ψύκτες με ψυκτική ικανότητα 240kW η κάθε μονάδα. Πηγή ενέργειας κάθε ψύκτη είναι ο ηλεκτρισμός, ο βαθμός απόδοσης είναι 1 και το EER λαμβάνεται ίσο με το SEER, δηλαδή τον εποχιακό βαθμό απόδοσης, αφού η ισχύς κάθε ψύκτη δεν ξεπερνά τα 100kW. Συνεπώς EER = SEER = 4.96. Επειδή το ψυκτικό φορτίο θα ισομοιράζεται για κάθε ψύκτη ο βαθμός κάλυψης θα είναι 0,5 για κάθε ψύκτη τους μήνες ψύξης, δηλαδή Μάιο έως Σεπτέμβριο.

Για το δίκτυο διανομής του κτιρίου θα χρησιμοποιηθεί η ίδια κεντρική στήλη με την θέρμανση, οπότε η ωφέλιμη ισχύς των ψυκτών θα μεταφέρεται από την στήλη αυτή. Η ισχύς του δικτύου διανομής θα είναι 480 kW. Η διέλευση θα γίνεται μέσα από εσωτερικούς χώρους ή έως και 20% σε εξωτερικούς χώρους οπότε ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής, για ισχύ 480 kW δηλαδή στην περιοχή >400kW και με μόνωση κτιρίου αναφοράς, είναι ίσος με 0,993.

Για τις τερματικές μονάδες ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί είναι Fan-coils και ο βαθμός απόδοσης των θερμαντικών σωμάτων υπολογίζεται από την σχέση 8.11 που παρέχεται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017:

$$\eta_{em,t} = \frac{\eta_{em}}{(f_{im} * f_{hydr})} \quad (8.11)$$

Για να υπολογιστεί η παραπάνω σχέση πρέπει να διευκρινιστούν ότι οι τερματικές μονάδες FCU είναι άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο και θερμοκρασίας 35-50°C, οι χώροι είναι κάτω από τα 4m, θα υπάρχει διακοπτόμενη λειτουργία και υδραυλικά ισορροπημένο δίκτυο. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων είναι 0,959.

Για της βοηθητικές μονάδες χρησιμοποιούνται 1 κυκλοφορητής ισχύος για το σύστημα των ψυκτών ισχύος 1,5kW και 1 κυκλοφορητής ισχύος για το σύστημα των Fan Coil ισχύος kW όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5.5.1. Επίσης χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες FCU με ισχύ 0,08kW και 134 στον αριθμό.

Στην Εικόνα 48 φαίνεται η καρτέλα ψύξης συμπληρωμένη:

Μελέτη Εκτέλεση Αποτέλεσματα Έκθεση Προβολή Βοήθεια

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: ☒ Ύγρανση ☒ Μηχανικός αερισμός ☐ Ηλεκτρικός συλλέκτης ☒ Φωτισμός

Θέρμανση Ψύξη Ύγρανση Μηχανικός αερισμός Φωτισμός

Παραγωγή

	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An. (-)	EER (-)	Ion. (-)	Φεβ. (-)	Μαρ. (-)	Απρ. (-)	Μαΐ. (-)	Ιουν. (-)	Ιουλ. (-)	Αυγ. (-)	Σεπ. (-)	Οκτ. (-)	Νοε. (-)	Δεκ. (-)
▶ 1	Αερόψυκτος ψυκτήρας	Ηλεκτρισμός	240	1.0	4.96	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
2	Αερόψυκτος ψυκτήρας	Ηλεκτρισμός	240	1.0	4.96	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
* 3				1	1												

Δίκτυο Διανομής

	Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. An. (-)	Μόνωση
▶ 1	Δίκτυο διανομής ψυκτικού μεστού	480	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.999	<input type="checkbox"/>
2	Αερίων				<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες

	Τύπος	B. An. (-)
▶ 1	Fan Coil	0.999

Βοηθητικές μονάδες

	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
▶ 1	Κυκλοφορητές	1	8.5
2	Κυκλοφορητές	1	6.5
3	Αντισταθμίτες	134	0.08
* 4		1	0

Εικόνα 48: Καρτέλα ψύξης σενάριο 1 TEE KENAK

Για τον αερισμό του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε μια ΚΚΜ που θα εξυπηρετεί και την προσαγωγή και την επιστροφή και έχει την δυνατότητα να καλύπτει το θερμικό και ψυκτικό φορτίο αερισμού. Επομένως θα υπάρχει στοιχείο για την θέρμανση και την ψύξη του νωπού αέρα. Η παροχή αέρα και για την περίοδο της ψύξης αλλά και για την περίοδο της θέρμανσης είναι  $34168 \text{ m}^3/\text{h}$ , τόσο στην επιστροφή όσο και στη επιστροφή. Λόγω ότι δεν έχουμε ανακυκλοφορία αέρα ο συντελεστής ανακυκλοφορίας είναι 0 ενώ ο συντελεστής ανάκτησης θερμότητας έχει βαθμό 0.7 στο τμήμα προσαγωγής ενώ στην επιστροφή καταχωρείται 0. Η ΚΚΜ έχει σύστημα ύγρανσης με ψεκασμό ισχύος 500W, διαθέτει φίλτρα και η ειδική ηλεκτρική ισχύς δηλώνεται ίση με  $1\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ .

Στην Εικόνα 49 φαίνεται η καρτέλα αερισμού συμπληρωμένη:

Τύπος	Τμ. θερ.	F <sub>h</sub> (m³/h)	R <sub>h</sub> (s)	Q <sub>r,h</sub> (s)	Τμ. ψύξ.	F <sub>c</sub> (m³/h)	R <sub>c</sub> (s)	Q <sub>r,c</sub> (s)	Τμ. Υγρ.	H <sub>r</sub> (s)	Αίθρα	E <sub>vent</sub> (W/m²/s)
KCM Προσαναγωγή	<input checked="" type="checkbox"/>	34168	0.0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	34168	0.0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	1
KCM Επιστροφή	<input type="checkbox"/>	34168	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	34168	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
KCM Επιστροφή	<input type="checkbox"/>	0	0	0	<input type="checkbox"/>	0	0	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	

Εικόνα 49: Καρτέλα μηχανικού αερισμού σενάριο 1 TEE-KENAK

## 8.6 Σενάριο 2

### 8.6.1 Κέλυφος

Τα στοιχεία του κελύφους στο σενάριο 2 επιλέχτηκε να μην διαφοροποιηθούν από αυτά του σεναρίου 1, ώστε να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε τυχόν διαφορές στην ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου που μπορεί να προκληθούν λόγω των μεγαλύτερων καταναλώσεων που έχει το σύστημα 100% νωπού αέρα.

### 8.6.2 Συστήματα

Για την θέρμανση, ψύξη και αερισμό του σεναρίου 1 θα χρησιμοποιηθούν τα συστήματα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5.5.2.

Για την παραγωγή θερμότητας θα γίνει χρήση 7 γεωθερμικών αντλιών θερμότητας θερμικής ισχύος 46kW έκαστος και 2 αερόψυκτων αντλιών θερμικής ισχύος 143kW έκαστος. Για τις γεωθερμικές αντλίες σαν πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται ο ηλεκτρισμός και θερμαινόμενο μέσο το νερό ενώ ο COP θα δηλωθεί όσο και SCOP, από τα στοιχεία που μας παρέχει ο κατασκευαστής, αφού η ισχύς των γεωθερμικών αντλιών είναι μικρότερη των 100kW. Οπότε στο πρόγραμμα θα δηλωθεί  $COP=SCOP=4,75$ . Για τις αερόψυκτες αντλίες θερμότητας σαν πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται ο αέρας και θερμαινόμενο μέσο θεωρείται το νερό. Ο βαθμός απόδοσης COP θα ληφθεί 3,45. Ο



βαθμός κάλυψης αρχικά θα χωριστεί σε 0,5 για το σύστημα γεωθερμικών αντλιών και 0,5 για το σύστημα των αερόψυκτων αντλιών. Η κάθε μια από τις 6 γεωθερμικές αντλίες θα έχει βαθμό κάλυψης 0,07 και η έβδομη 0,08 καθαρά για λόγους λειτουργικότητας του λογισμικού. Η κάθε αερόψυκτη αντλία θερμότητας θα έχει βαθμό κάλυψης 0,25.

Για το δίκτυο διανομής του κτιρίου θα χρησιμοποιηθεί μια κεντρική στήλη, οπότε η ωφέλιμη ισχύς του υβριδικού συστήματος θα μεταφέρεται από την στήλη αυτή.

Υπολογίζεται ότι η ισχύς που θα μεταφέρεται από το δίκτυο διανομής είναι 608 kW. Η διέλευση θα γίνεται μέσα από εσωτερικούς χώρους ή έως και 20% σε εξωτερικούς. Ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής για ισχύ 608 kW δηλαδή στην περιοχή >400kW και με μόνωση κτιρίου αναφοράς προκύπτει εάν αφαιρέσουμε τις απώλειες δικτύου από το συνολικό ποσοστό. Επομένως καταλήγουμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι 0,988.

Για τις τερματικές μονάδες θα χρησιμοποιηθεί η ΚΚΜ αφού έχει αναλάβει την πλήρη κάλυψη όλων των φορτίων και ο βαθμός απόδοσης των ΚΚΜ θα είναι 1,0.

Για της βοηθητικές μονάδες χρησιμοποιούνται 1 κυκλοφορητής για το σύστημα των γεωθερμικών αντλιών, ισχύος 2kW, 1 κυκλοφορητής για το σύστημα των αερόψυκτων αντλιών, ισχύος 2kW και 1 κυκλοφορητής για το σύστημα της ΚΚΜ ισχύος 13.5kW όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5.5.1. Επίσης χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες με ισχύ 0,08kW και 134 στον αριθμό.

Στην Εικόνα 50 φαίνεται η καρτέλα θέρμανσης συμπληρωμένη:

Ενεργειακή Μοδελή Κτιρίων - [ C:\Users\Vasilis\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΣΕΝΑΡΙΟ 2.xml ] - [ Σύστημα ζύθισης ]

Μοδελή Εκτέλεση Αποτέλεσμα Έκθεση Προβολή Βοήθεια

Επιλέξτε τα συστήματα της ζύθισης: ☒ Υγρασία ☒ Μηχανικός αερισμός ☐ Ηλεκτρικός αερισμός ☒ Φωτισμός

Θέρμανση Ψύξη Υγρασία Μηχανικός αερισμός Φωτισμός

Παραγωγή

Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. Αν. (%)	COP (%)	Ιαν. (%)	Φεβ. (%)	Μαρ. (%)	Απρ. (%)	Μαρ. (%)	Ιουν. (%)	Ιουλ. (%)	Αυγ. (%)	Σεπ. (%)	Οκτ. (%)	Νοε. (%)	Δεκ. (%)
1	Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	46	1.0	4.75	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.07
2	Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	46	1.0	4.75	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.07
3	Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	46	1.0	4.75	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.07
4	Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	46	1.0	4.75	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.07

Δίκτυο διανομής

Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. Αν. (%)	Μόνωση
1	Δίκτυο διανομής θερμικού μέσου	608	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.988
2	Αεραγωγοί			

Τερματικές μονάδες

Τύπος	B. Αν. (%)
1	ΚΚΜ
	1.0

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αρ. (%)	Ισχύς (kW)
1	Κυκλοφορητής	1
2	Κυκλοφορητής	1
3	Κυκλοφορητής	1
4	Ανεμιστήρες	134
		0.08

Εικόνα 50: Καρτέλα θέρμανσης σενάριο 2 TEE-KENAK

Για την ψύξη του κτιρίου θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την θέρμανση, δηλαδή 7 γεωθερμικές αντλίες θερμότητας θερμικής ισχύος 46kW έκαστος και 2 αερόψυκτες αντλίες θερμικής ισχύος 143kW έκαστος.

Για το δίκτυο διανομής του κτιρίου θα χρησιμοποιηθεί η ίδια κεντρική στήλη με την θέρμανση, οπότε η ωφέλιμη ισχύς των ψυκτών θα μεταφέρεται από την στήλη αυτή. Η ισχύς του δικτύου διανομής θα είναι 608 kW. Η διέλευση θα γίνεται μέσα από εσωτερικούς χώρους ή έως και 20% σε εξωτερικούς χώρους οπότε ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής, για ισχύ 608 kW δηλαδή στην περιοχή >400kW και με μόνωση κτιρίου αναφοράς, είναι ίσος με 0.993.

Για τις τερματικές μονάδες θα χρησιμοποιηθεί η ΚΚΜ αφού έχει αναλάβει την πλήρη κάλυψη όλων των φορτίων και ο βαθμός απόδοσης των ΚΚΜ θα είναι 1,0.

Για της βοηθητικές μονάδες χρησιμοποιούνται 1 κυκλοφορητής ισχύος για το σύστημα των γεωθερμικών αντλιών ισχύος 2kW, 1 κυκλοφορητής ισχύος για το σύστημα των γεωθερμικών αντλιών ισχύος 2kW και 1 κυκλοφορητής ισχύος για το σύστημα της ΚΚΜ ισχύος 13.5kW όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5.5.1. Επίσης χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες με ισχύ 0,08kW και 134 στον αριθμό.

Στην Εικόνα 51 φαίνεται η καρτέλα ψύξης συμπληρωμένη:

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: ☒ Υγρασιση ☒ Μηχανικός αερισμός ☐ Ηλεκτρικός αερισμός ☒ Φωτισμός

Θέρμανση | **Ψύξη** | Υγρασιση | Μηχανικός αερισμός | Φωτισμός

Παραγωγή

Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An (-)	EER (-)	Ian (-)	Φεβ (-)	Μαρ (-)	Απρ (-)	Μαϊ (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
1 Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	Ηλεκτρισμός	46	1.0	4.75	0	0	0	0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0
2 Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	Ηλεκτρισμός	46	1.0	4.75	0	0	0	0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0
3 Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	Ηλεκτρισμός	46	1.0	4.75	0	0	0	0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0
4 Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	Ηλεκτρισμός	46	1.0	4.75	0	0	0	0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0

Δίκτυο διανομής

Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. An (-)	Μόνωση
1 Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου	608	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.993	<input type="checkbox"/>
2 Αεραγωγία				<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες

Τύπος	B. An (-)
1 ΚΚΜ	1.0

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
1 Κυκλοφορητής	1	2
2 Κυκλοφορητής	1	2
3 Κυκλοφορητής	1	13.5
4 Ανεμιστήρες	134	0.08

Εικόνα 51: Καρτέλα ψύξης σενάριο 2 TEE-KENAK

Για τον αερισμό του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε μια ΚΚΜ που θα εξυπηρετεί και την προσαγωγή και την επιστροφή και έχει την δυνατότητα να καλύπτει όλα τα θερμικά και ψυκτικά φορτία χώρου και αερισμού. Επομένως θα υπάρχει στοιχείο για την θέρμανση και την ψύξη του νωπού κλιματισμένου αέρα. Η παροχή αέρα και για την περίοδο της ψύξης είναι  $103112 \text{ m}^3/\text{h}$  και για την περίοδο της θέρμανσης είναι  $104168 \text{ m}^3/\text{h}$ , τόσο στην επιστροφή όσο και στη επιστροφή. Λόγω ότι δεν έχουμε ανακυκλοφορία αέρα ο συντελεστής ανακυκλοφορίας είναι 0 ενώ ο συντελεστής ανάκτησης θερμότητας έχει βαθμό 0.65 στο τμήμα προσαγωγής ενώ στην επιστροφή καταχωρείται 0. Η ΚΚΜ έχει σύστημα ύγρανσης με ψεκασμό ισχύος 500W, διαθέτει φίλτρα και η ειδική ηλεκτρική ισχύς δηλώνεται ίση με  $1 \text{ kW}/\text{m}^3/\text{s}$ .

Στην Εικόνα 52 φαίνεται η καρτέλα αερισμού συμπληρωμένη:

	Τύπος	Τμ. Θερ.	F <sub>h</sub> (m <sup>3</sup> /h)	R <sub>h</sub> (%)	Q <sub>h</sub> (h)	Τμ. Ψυξ.	F <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /h)	R <sub>c</sub> (%)	Q <sub>c</sub> (h)	Τμ. Υγρ.	H <sub>g</sub> (%)	Φίλτρα	E <sub>vent</sub> (kW/m <sup>3</sup> /s)
1	ΚΚΜ Προσαγωγή	<input checked="" type="checkbox"/>	103112	0.0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	104168	0.0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	1
2	ΚΚΜ Επιστροφή	<input type="checkbox"/>	103112	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	104168	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
3		<input type="checkbox"/>	0	0		<input type="checkbox"/>	0	0	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	

Εικόνα 52: Καρτέλα μηχανικού αερισμού σενάριο 2 TEE-KENAK

## 8.7 Σενάριο 3

### 8.7.1 Κέλυφος

Για το κέλυφος του σεναρίου 3 θα τοποθετηθούν υλικά τα οποία παρέχουν μέγιστη μόνωση και περιορίζουν τις θερμικές απώλειες από το κτίριο. Πιο συγκεκριμένα επιλέχτηκε :

- η τοιχοποιία πλήρωσης να αποτελείται (από μέσα προς τα έξω) από επίχρισμα (σοβάς) 2cm, εξηλασμένη πολυστερίνη 7cm που έχει  $\lambda=0,033 \text{ W/mK}$ , θερμομονωτική τουβλέτα 25cm που έχει  $\lambda=0,180 \text{ W/mK}$  και επίχρισμα 2cm. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της τοιχοποιίας είναι 0,268.
- Τα φέροντα στοιχεία σκυροδέματος, δηλαδή δοκοί και υποστυλώματα, να αποτελούνται (από μέσα προς τα έξω) από επίχρισμα 2cm, εξηλασμένη πολυστερίνη 7cm που έχει  $\lambda=0,031 \text{ W/mK}$ , σκυρόδεμα 25cm και επίχρισμα 2cm. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της φέρουσας τοιχοποιίας είναι 0,388.
- Η πλάκα οροφής αποτελείται (από πάνω προς τα κάτω) από πλακάκι 2cm, τσιμεντοκονίαμα 5cm, ασφαλόπανο 2mm, εξηλασμένη πολυστερίνη 10cm που έχει  $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$ , σκυρόδεμα 15cm και επίχρισμα 2cm. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της πλάκας οροφής είναι 0,445.
- Δάπεδο σε έδαφος (από πάνω προς τα κάτω) από πλακάκι 2cm, τσιμεντοκονίαμα 5cm, σκυρόδεμα 20cm, εξηλασμένη πολυστερίνη 7cm που έχει  $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$ . Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δαπέδου είναι 0,435
- Κουφώματα με πλάτος πλαισίου 12cm ( $U_f = 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) και υαλοπίνακα με διπλή υάλωση 4-16-4 με αργό στο διάκενο με επίστρωση Low-e < 0.05, με  $U_g = 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$  και συντελεστή θερμογεφυρών  $\Psi_g = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των κουφωμάτων εξαρτάται άμεσα από το εμβαδόν του πλαισίου και το εμβαδόν του υαλοπίνακα. Για αυτό τον λόγο παρατίθενται οι συντελεστές θερμοπερατότητας για κάθε είδος ανοίγματος που χρησιμοποιήθηκε:
  - Π1 με εμβαδό  $18,4\text{m}^2$  και συντελεστή  $U_w$  θερμοπερατότητας 1,49.
  - Π2 με εμβαδό  $3,5\text{m}^2$  και συντελεστή  $U_w$  θερμοπερατότητας 1,73.
  - Π3 με εμβαδό  $5\text{m}^2$  και συντελεστή  $U_w$  θερμοπερατότητας 1,59.
  - Π4 με εμβαδό  $11\text{m}^2$  και συντελεστή  $U_w$  θερμοπερατότητας 1,53.

- Π5 με εμβαδό 7m<sup>2</sup> και συντελεστή U<sub>w</sub> θερμοπερατότητας 1,57.
- Π6 με εμβαδό 8m<sup>2</sup> και συντελεστή U<sub>w</sub> θερμοπερατότητας 1,56.
- Π7 με εμβαδό 31,5m<sup>2</sup> και συντελεστή θερμοπερατότητας 1,4.
- Π8 με εμβαδόν 21,61m<sup>2</sup> και συντελεστή θερμοπερατότητας 1,42.

### 8.7.2 Συστήματα

Για την θέρμανση, ψύξη και αερισμό του σεναρίου 1 θα χρησιμοποιηθούν τα συστήματα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5.5.3.

Για την παραγωγή θερμότητας θα γίνει χρήση συστήματος απ' ευθείας εκτόνωσης μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου (VRV-VRF). Το συγκεκριμένο σύστημα θα αποτελείται από 4 εξωτερικές μονάδες θερμικής ισχύος 137,5 kW έκαστος. Σαν πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται ο ηλεκτρισμός. Ο βαθμός απόδοσης για κάθε εξωτερική μονάδα είναι 1. Κάθε αντλία θερμότητας τύπου VRV ανήκει στην κατηγορία Τοπικές ή ημικεντρικές μονάδες απ' ευθείας εκτόνωσης με θερμαινόμενο μέσο τον αέρα. Για τις συγκεκριμένες μονάδες το πεδίο COP θα δηλωθεί ίσο με το SCOP που παρέχει ο κατασκευαστής δηλαδή 4,4. Ο βαθμός κάλυψης θα είναι 0,25 για τον καθένα για τους μήνες της θέρμανσης, δηλαδή Νοέμβριο έως Απρίλιο αφού θα ισομοιράζονται το φορτίο. Για το δίκτυο διανομής του θερμού μέσου θα χρησιμοποιηθεί μια κεντρική στήλη. Οπότε η ισχύς του δικτύου διανομής θα είναι η ισχύς του συστήματος των εξωτερικών αντλιών δηλαδή 550 kW. Η διέλευση θα γίνεται μέσα από εσωτερικούς χώρους ή έως και 20% σε εξωτερικούς χώρους και η θερμοκρασία του προσαγόμενου θερμού μέσου είναι χαμηλή (κάτω των 60 βαθμών Κελσίου). Ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής για ισχύ 550 kW δηλαδή στην περιοχή > 400kW και με μόνωση κτιρίου αναφοράς προκύπτει 0,988.

Για τις τερματικές μονάδες ο τύπος που θα χρησιμοποιηθούν οι εσωτερικές μονάδες VRV και ο βαθμός απόδοσης των εσωτερικών μονάδων υπολογίζεται από την σχέση 8.12 που παρέχεται από το Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017:

$$nem,t = \frac{nem}{(f_{rad} * f_{im} * f_{hydr})} \quad (8.12)$$

Για να υπολογιστεί η παραπάνω σχέση πρέπει να διευκρινιστούν ότι οι εσωτερικές μονάδες VRV είναι άμεσης εκτόνωσης και θερμοκρασίας 35-50°C, οι χώροι είναι κάτω από

τα 4m, θα υπάρχει διακοπτόμενη λειτουργία και το δίκτυο είναι υδραυλικά ισορροπημένο. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων είναι 0,959.

Για της βοηθητικές μονάδες χρησιμοποιούνται οι ανεμιστήρες των εσωτερικών μονάδων. Πιο συγκεκριμένα θα δηλωθούν 41 ανεμιστήρες 43W, 22 ανεμιστήρες 45W, 16 ανεμιστήρες των 59W και 64 ανεμιστήρες των 92W. Στην Εικόνα 53 φαίνεται η καρτέλα θέρμανσης συμπληρωμένη:

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: ☐ Υγρόση ☒ Μηχανικός αερισμός ☐ Ηλεκτρικός αερισμός ☒ Φωτισμός

Θέρμανση | Ψύξη | Μηχανικός αερισμός | Φωτισμός

Παρογενή

Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An. (-)	COP (-)	Jan (-)	Feb (-)	Mar (-)	Apr (-)	May (-)	Jun (-)	Jul (-)	Aug (-)	Sep (-)	Oct (-)	Nov (-)	Dec (-)
1	Κεντρική αερόψυκτη A.G.	137.5	1.0	4.4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
2	Κεντρική αερόψυκτη A.G.	137.5	1.0	4.4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3	Κεντρική αερόψυκτη A.G.	137.5	1.0	4.4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
4	Κεντρική αερόψυκτη A.G.	137.5	1.0	4.4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Δίκτυο διανομής

Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. An. (-)	Μόνωση
1	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	550	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.988
2	Αεραγωγοί			

Τερματικές μονάδες

Τύπος	B. An. (-)
1	Εσωτερικές μονάδες VRV

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
1	Ανεμιστήρες	41
2	Ανεμιστήρες	22
3	Ανεμιστήρες	16
4	Ανεμιστήρες	64

Εικόνα 53: Καρτέλα θέρμανσής σενάριο 3 TEE-KENAK

Για την ψύξη του κτιρίου θα γίνει χρήση του ίδιου συστήματος απ' ευθείας εκτόνωσης μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου (VRV-VRF) που θα αποτελείται από 4 εξωτερικές μονάδες ψυκτικής ισχύος 123,5 kW έκαστος. Σαν πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται ο ηλεκτρισμός. Ο βαθμός απόδοσης για κάθε εξωτερική μονάδα είναι 1. Κάθε αντλία θερμότητας τύπου VRV ανήκει στην κατηγορία Τοπικές ή ημικεντρικές μονάδες απ' ευθείας εκτόνωσης με θερμαινόμενο μέσο τον αέρα. Για τις συγκεκριμένες μονάδες το πεδίο EER θα δηλωθεί ίσο με το SEER που παρέχει ο κατασκευαστής δηλαδή 6.3. Ο βαθμός κάλυψης θα είναι 0,25 για τον καθένα για τους μήνες ψύξης, δηλαδή Μάιο έως Σεπτέμβριο.

Για το δίκτυο διανομής του κτιρίου θα χρησιμοποιηθεί η ίδια κεντρική στήλη με την θέρμανση, οπότε η ωφέλιμη ισχύς των ψυκτών θα μεταφέρεται από την στήλη αυτή. Η

ισχύς του δικτύου διανομής θα είναι 550 kW. Η διέλευση θα γίνεται μέσα από εσωτερικούς χώρους ή έως και 20% σε εξωτερικούς χώρους οπότε ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής, για ισχύ 550 kW δηλαδή στην περιοχή >400kW και με μόνωση κτιρίου αναφοράς, είναι ίσος με 0,993.

Για τις τερματικές μονάδες ο τύπος που θα χρησιμοποιηθούν οι εσωτερικές μονάδες VRV και ο βαθμός απόδοσης των εσωτερικών μονάδων υπολογίζεται από την σχέση 8.13 που παρέχεται από το Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017:

$$nem,t = \frac{nem}{(fim * fhydr)} \quad (8.13)$$

Για να υπολογιστεί η παραπάνω σχέση πρέπει να διευκρινιστούν ότι οι εσωτερικές μονάδες VRV είναι άμεσης εκτόνωσης και θερμοκρασίας 35-50oC, οι χώροι είναι κάτω από τα 4m, θα υπάρχει διακοπτόμενη λειτουργία και το δίκτυο είναι υδραυλικά ισορροπημένο. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων είναι 0,959.

Για της βοηθητικές μονάδες χρησιμοποιούνται οι ανεμιστήρες των εσωτερικών μονάδων. Πιο συγκεκριμένα θα δηλωθούν 41 ανεμιστήρες 43W, 22 ανεμιστήρες 45W, 16 ανεμιστήρες των 59W και 64 ανεμιστήρες των 92W. Στην Εικόνα 54 φαίνεται η καρτέλα θέρμανσης συμπληρωμένη:

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: ☐ Υγρασία ☒ Μηχανικός αερισμός ☐ Ηλεκτρικός αερισμός ☒ Φωτισμός

Θέρμανση ☒ Ψύξη ☐ Μηχανικός αερισμός ☐ Φωτισμός

Παραγωγή	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An (-)	EER (-)	Ion (-)	Φαθ (-)	Map (-)	Apo (-)	Mai (-)	Iou (-)	Iou (-)	Aug (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
1	Αερόψυκτος ψυκτήρας	Ηλεκτρισμός	123.5	1.0	6.3	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0
2	Αερόψυκτος ψυκτήρας	Ηλεκτρισμός	123.5	1.0	6.3	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	
3	Αερόψυκτος ψυκτήρας	Ηλεκτρισμός	123.5	1.0	6.3	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	
4	Αερόψυκτος ψυκτήρας	Ηλεκτρισμός	123.5	1.0	6.3	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	

Δίκτυο διανομής

Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. An (-)	Μόνωση
1	Δίκτυο διανομής ψυκτικού μέσου	550	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε	0.993
2	Αεραγωγός			

Τερματικές μονάδες

Τύπος	B. An (-)
1	Εσωτερικές μονάδες VRV

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (W)
1	Ανεμιστήρες	41
2	Ανεμιστήρες	22
3	Ανεμιστήρες	16
4	Ανεμιστήρες	64

Εικόνα 54: Καρτέλα ψύξης σενάριο 3 TEE KENAK

Για τον αερισμό του κτιρίου θα γίνει χρήση τοπικών εναλλακτών με δυνατότητα ανάκτησης 70% επί του αρχικού φορτίου αερισμού. Η παροχή αέρα του τμήματος θέρμανσης και ψύξης δηλώνεται 34168 m<sup>3</sup>/h, ενώ ο συντελεστής ανάκτησης στο 0,7. Στην Εικόνα 55 φαίνεται η καρτέλα αερισμού συμπληρωμένη:

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: ☐ Ύψωση ☒ Μηχανικός αερισμός ☐ Ηλεκτρικός συλλέκτης ☒ Φωτισμός

Θέρμανση Ψύξη Μηχανικός αερισμός Φωτισμός

Τύπος	Τμ. Θερ.	F <sub>h</sub> (m <sup>3</sup> /h)	R <sub>h</sub> (%)	Q <sub>h</sub> (h)	Τμ. Ψύξ.	F <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /h)	R <sub>c</sub> (%)	Q <sub>c</sub> (h)	Τμ. Ύψ.	H <sub>h</sub> (h)	Φίλτρο	E <sub>vent</sub> (kW/m <sup>2</sup> )
1 Τόπος Εναλλάκτης	<input checked="" type="checkbox"/>	34168	0.0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	34168	0.0	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
* 2	<input type="checkbox"/>		0	0	<input type="checkbox"/>		0	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	

Εικόνα 55: Καρτέλα μηχανικού αερισμού σενάριο 3 TEE-KENAK

## 8.8 Αποτελέσματα ενεργειακής μελέτης σεναρίων

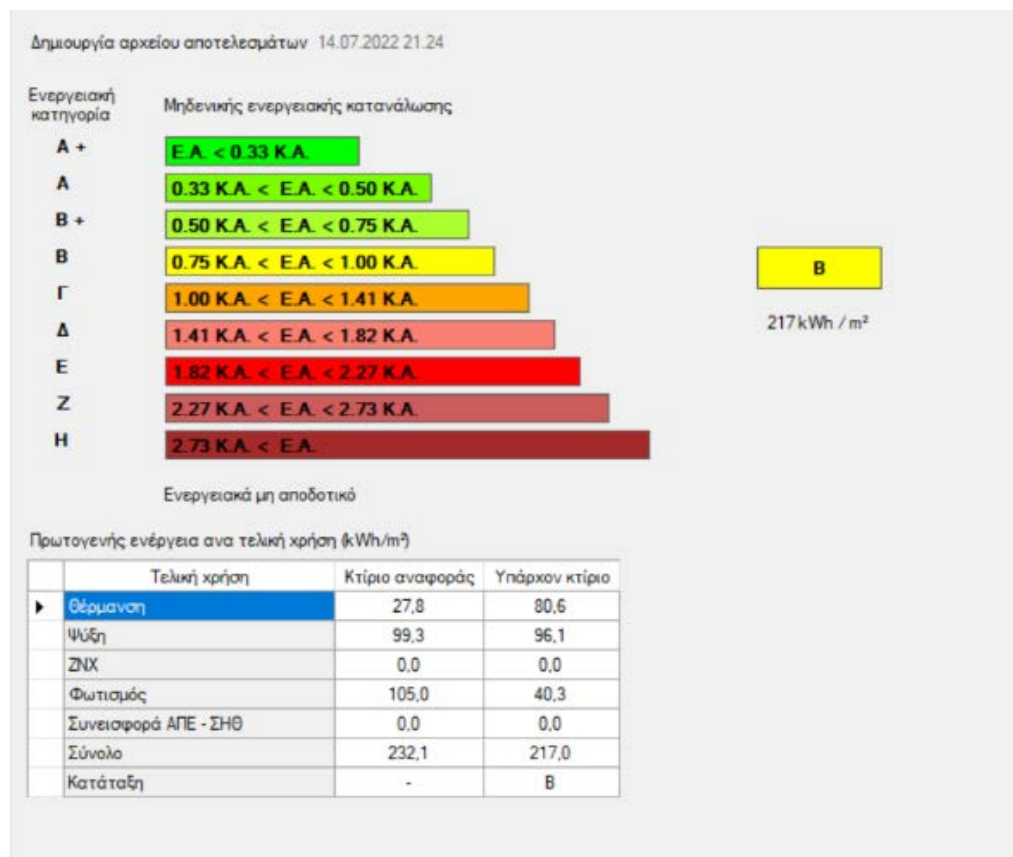
Εφόσον καταχωρηθούν όλα τα παραπάνω στοιχεία, το επόμενο βήμα είναι να γίνει η εκτέλεση των υπολογισμών ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα της ενεργειακής ανάλυσης κάθε σεναρίου. Για να είναι ένα κτίριο τριτογενούς τομέα, ενεργειακά αποδοτικό θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις του KENAK. Κάθε νέο ανεγερθέν κτίριο τριτογενούς τομέα θα πρέπει να ανήκει στην κατηγορία Β και υψηλότερα. Με βάση αυτό θα εξεταστούν τα σενάρια που επιλέχτηκαν και τις επιπτώσεις που είχε κάθε επιλογή στα χαρακτηριστικά των σεναρίων.

### 8.8.1 Σενάριο 1

Το κτίριο μελέτης στο σενάριο 1 κατατάχτηκε στην κατηγορία Β με πρωτογενή κατανάλωση 217 kWh/m<sup>2</sup> και το ποσό του CO<sub>2</sub> που παράγεται είναι 68kg/m<sup>2</sup> όπως



φαίνεται και από τις Εικόνες 56 και 57 αντίστοιχα. Για την λειτουργία του κτιρίου καταναλώνονται περίπου 106 kWh/m<sup>2</sup> σε καύσιμα. Οι κύριες καταναλώσεις του κτιρίου προέρχονται από τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, ποσοστό περίπου 80%. Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης που χρησιμοποιήθηκαν θεωρούνται ενεργειακά αποδοτικά και η χρήση τους είναι συνηθισμένη σε κτίρια τριτογενούς τομέα. Παρατηρείται έτσι ο μεγάλος ρόλος που παίζει η σωστή επιλογή δομικών υλικών και κουφωμάτων που απαρτίζουν το κέλυφος, αφού όσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες, τόσο πιο ενεργοβόρα καθίστανται τα συστήματα κλιματισμού. Ο φωτισμός έχει το μικρότερο μερίδιο δεδομένου ότι χρησιμοποιήθηκαν φωτιστικά LED.



Εικόνα 56: Ενεργειακή κατάταξη σεναρίου 1

Υπάρχον κτίριο

	Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m²)	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	8,8	5,5	3,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,9	25,9
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	13,5	26,3	23,9	3,7	0,0	0,0	0,0	70,0
	Υγρανση	0,5	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,6
	ΖΝΧ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

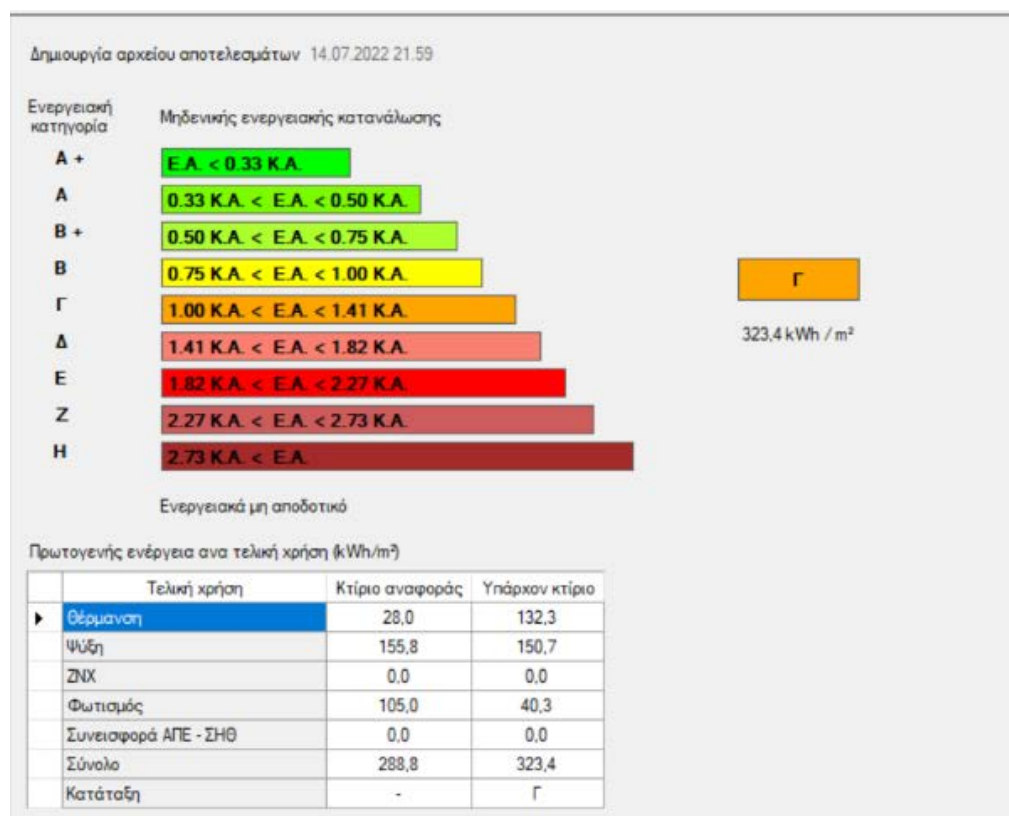
	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m²)	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	17,9	11,9	8,5	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	5,2	12,3	58,7
	Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	6,7	11,3	10,4	2,6	0,0	0,0	0,0	33,2
	ΖΝΧ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ηλιακή ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Φωτισμός	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	13,9
	Ενέργεια απο φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Σύνολο	19,0	13,0	9,7	3,0	3,4	7,9	12,4	11,6	3,7	2,2	6,3	13,5	105,8

	Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m²)	Εκπομπές CO2 (kg/m²)
►	Ηλεκτρισμός	60,8	60,1
	Πετρέλαιο	0,0	0,0
	Φυσικό αέριο	44,9	8,8
	Άλλα ορυκτά καύσιμα	0,0	0,0
	Ηλιακή	0,0	0,0
	Βιομάζα	0,0	0,0
	Γεωθερμία	0,0	0,0
	Άλλο ΑΠΕ	0,0	0,0
	Σύνολο	105,8	68,9

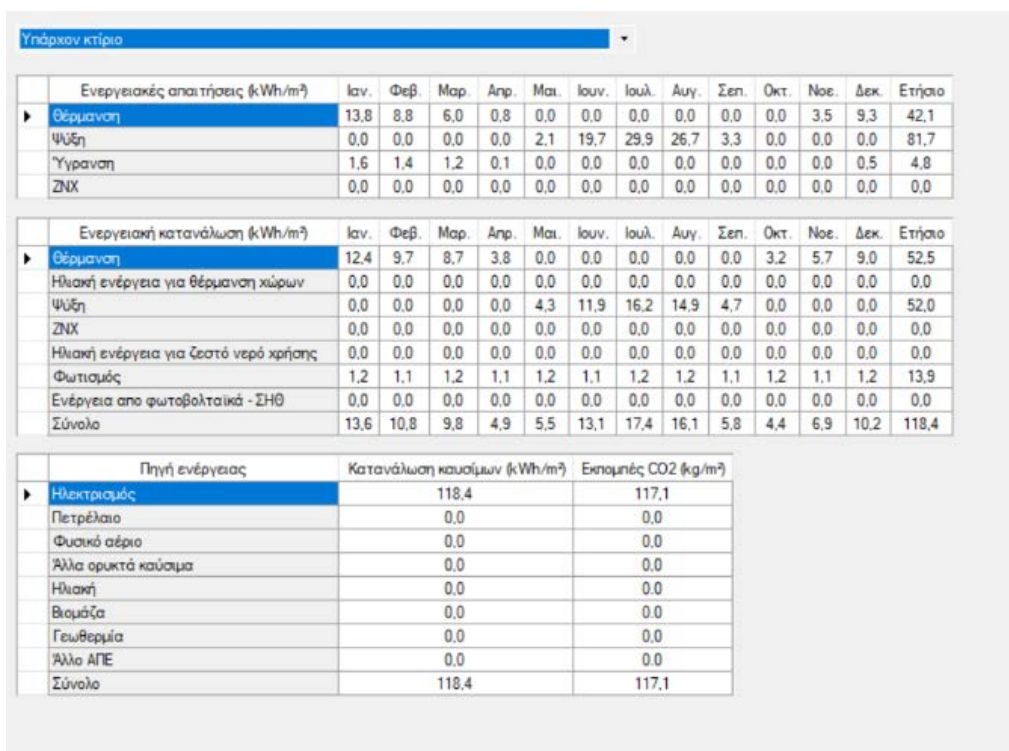
Εικόνα 57: Απαιτήσεις και καταναλώσεις σεναρίου 1

### 8.8.2 Σενάριο 2

Το κτίριο μελέτης στο σενάριο 2 κατατάχτηκε στην ενεργειακή κατηγορία Γ με συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 323,4 kWh/m<sup>2</sup> και το ποσό του CO<sub>2</sub> που παράγεται είναι 117,1kg/m<sup>2</sup>, όπως φαίνεται και από τις εικόνες 58 και 59 αντίστοιχα. Για την λειτουργία του κτιρίου καταναλώνονται περίπου 118 kWh/m<sup>2</sup> σε καύσιμα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου 2 με το σενάριο 1, παρατηρείται η μεγάλη διαφορά που έχει στις καταναλώσεις και στο ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου, η τοποθέτηση του συστήματος κλιματισμού με 100% νωπό αέρα. Οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας στην θέρμανση και την ψύξη έχουν αυξηθεί κατά 60% και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα διπλασιάστηκαν. Η συγκεκριμένη υπερδιαστασιολόγηση μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως χειρουργεία, αλλά πλέον με την εμφάνιση του Covid-19, όλα τα νέα κτίρια τριτογενούς τομέα πρέπει να εισάγουν την συγκεκριμένη τεχνολογία. Επομένως κρίνεται αναγκαία η εύρεση λύσεων που θα ανεβάσουν την ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου στο σενάριο 2, ώστε να είναι εντός των θεσμικών πλαισίων που έχουν οριστεί.



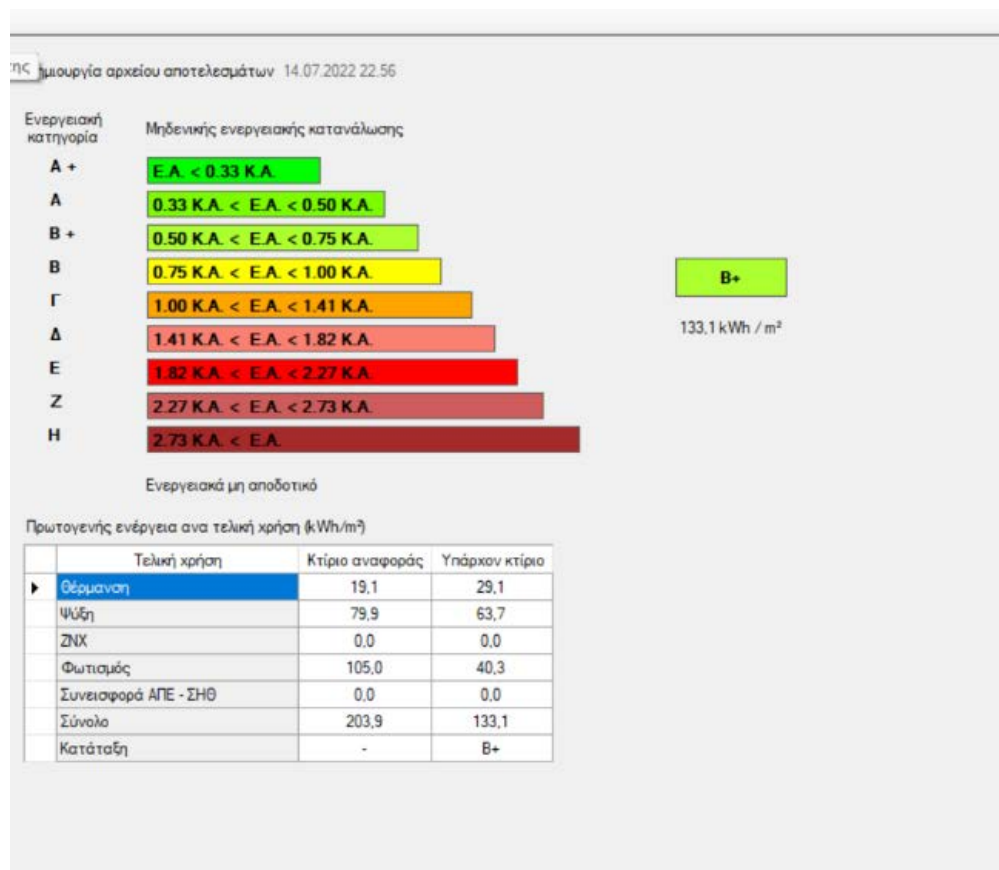
Εικόνα 58: Ενεργειακή κατάταξη σεναρίου 2



Εικόνα 59: Απαιτήσεις και καταναλώσεις σεναρίου 2

### 8.8.3 Σενάριο 3

Το κτίριο μελέτης στο σενάριο 3 κατατάχτηκε στην ενεργειακή κατηγορία B+ με συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 133,1 kWh/m<sup>2</sup> και το ποσό του CO<sub>2</sub> που παράγεται είναι 45,4kg/m<sup>2</sup>, όπως φαίνεται και από τις εικόνες 60 και 61 αντίστοιχα. Για την λειτουργία του κτιρίου καταναλώνονται περίπου 45,9 kWh/m<sup>2</sup> σε καύσιμα. Σε σύγκριση με τα προηγούμενα 2 σενάρια παρατηρείται πόσο πιο αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον είναι το σύστημα μεταβλητής παροχής όγκου(VRV-VRF). Μεγάλη διαφορά στην παραπάνω μείωση έχει συντελέσει η χρήση θερμομονωτικών υλικών σε όλο το κτίριο περιορίζοντας έτσι τις απώλειες ενέργειας των χώρων προς το εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 60: Ενεργειακή κατάταξη σεναρίου 3

Υπάρχον κτίριο

	Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m <sup>2</sup> )	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
► Θέρμανση		4,0	2,3	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	2,6	10,7
Ψύξη		0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	13,3	23,5	21,7	4,3	0,0	0,0	0,0	66,3
Υγρανση		0,5	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,5
ZNX		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m <sup>2</sup> )	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
► Θέρμανση		2,5	1,8	1,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,2	2,0	10,1
Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ψύξη		0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	4,5	7,3	6,8	1,8	0,0	0,0	0,0	22,0
ZNX		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ηλιακή ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Φωτισμός		1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	13,9
Ενέργεια από φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Σύνολο		3,7	2,9	2,6	1,8	2,7	5,6	8,5	8,0	2,9	1,7	2,3	3,1	45,9

	Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m <sup>2</sup> )	Εκπομπές CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )
► Ηλεκτρισμός		45,9	45,4
Πετρέλαιο		0,0	0,0
Φυσικό αέριο		0,0	0,0
Άλλα ορυκτά καύσιμα		0,0	0,0
Ηλιακή		0,0	0,0
Βιομάζα		0,0	0,0
Γεωθερμία		0,0	0,0
Άλλο ΑΠΕ		0,0	0,0
Σύνολο		45,9	45,4

Εικόνα 61: Απαιτήσεις και καταναλώσεις σεναρίου 3

### 8.8.4 Συμπεράσματα

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα των σεναρίων, παρόλο τις μεγάλες αποκλίσεις στις ενεργειακές καταναλώσεις, είχαν ένα κοινό στοιχείο. Και στις 3 περιπτώσεις τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης, καταλάμβαναν το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται. Στην παρούσα διπλωματική, για την βελτίωση της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου δεν θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην αντικατάσταση των υλικών του κελύφους που αποδεδειγμένα μπορεί να αναβαθμίσει ενεργειακά ένα κτίριο, αλλά θα γίνει προσπάθεια ώστε με τις υπάρχουσες επιλογές κάθε σεναρίου να γίνει το κτίριο ενεργειακά αποδοτικό. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος θα πρέπει να υπάρξει συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο κτίριο και πιο συγκεκριμένα φωτοβολταϊκών, καθώς και να γίνει εισαγωγή αυτοματισμών ώστε να γίνεται καλύτερη διαχείριση των συστημάτων κλιματισμού και φωτισμού.



## Κεφάλαιο 9

### ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

#### 9.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία των αυτοματισμών τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχτεί σε τέτοιο βαθμό, που δεν θα μπορούσε να μην εισέλθει και στην διαχείριση του κτιριακού τομέα. Σαν σύστημα αυτοματισμού κτηρίου ορίζεται η κεντρική αυτοματοποιημένη διαχείριση όλων των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και φωτισμού. Ουσιαστικά μπορεί να θεωρηθεί ότι το σύστημα αυτοματισμού είναι το μυαλό μιας κτιριακής εγκατάστασης, δίνοντας την δυνατότητα να μειωθεί η καταναλισκόμενη ενέργεια και κατ' επέκταση το ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου.

Ο όρος «έξυπνο κτίριο» δεν χρησιμοποιείται τυχαία αφού με τα κατάλληλα μέσα μπορεί να ρυθμίζει και να διατηρεί σε ένα επίπεδο τις εσωτερικές συνθήκες των χώρων και να διαχειρίζεται τα φώτα ανάλογα με την χρήση και τον εξωτερικό φωτισμό σε κάθε χώρο. Σαν αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος χρήσης αφού, όπως έχει ήδη διαπιστωθεί, τα συστήματα που διαχειρίζονται είναι από τα πλέον ενεργοβόρα.

#### 9.2 Κατηγορία διατάξεων ελέγχου και αυτοματισμών

Ανάλογα με την επιλογή των διατάξεων των συστημάτων αυτοματισμών και ελέγχου και της επιτυγχανόμενης εξοικονόμησης ενέργειας, γίνεται ο διαχωρισμός της κάθε εγκατάστασης σε 4 κατηγορίες (από Α έως Δ). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο έλεγχος και η κατάταξη σε κατηγορία, των αυτοματισμών πρέπει να γίνει ξεχωριστά για την εγκατάσταση της θέρμανσης και της ψύξης καθώς και το τελικό αποτέλεσμα καθορίζεται από το σύνολο των επιμέρους τμημάτων που θα εξετασθούν. Για να γίνει το παραπάνω κατανοητό, εάν τα 4 από τα 5 συστήματα που απαρτίζουν το σύστημα αυτοματισμού ανήκουν στην κατηγορία Α ενώ το πέμπτο ανήκει στην κατηγορία Γ, όλο το σύστημα τοποθετείται στην κατηγορία Γ. Συνεπώς, η επιλογή των επιμέρους συστημάτων πρέπει να γίνεται με προσοχή αφού ένα μέρος μπορεί να καθορίσει όλο το σύστημα και να μειώσει την ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου.

Πιο αναλυτικά οι έλεγχοι που πρέπει να υλοποιηθούν είναι (Παντελίδης, 2018) (easyKENAK, n.d.):

### **9.2.1 Έλεγχος λειτουργίας της μονάδας παραγωγής**

Στον συγκεκριμένο έλεγχο εξετάζεται με ποιον τρόπο γίνεται η έναρξη και η παύση του εκάστοτε συστήματος.

Εάν τοποθετηθούν στο κτίριο συστήματα θέρμανσης και ψύξης, που λειτουργούν με θερμική αδράνεια όπως τα θερμαντικά σώματα τότε ανήκουν στην:

- Κατηγορία Α, όταν υπάρχει αυτόματος ανεξάρτητος έλεγχος ανά θερμική ζώνη και ανά λειτουργικό χώρο. Ο έλεγχος της θερμικής ζώνης γίνεται με ON-OFF διακόπτη ενώ ο έλεγχος κάθε χώρου μέσω θερμοστάτη ή θερμοστατικής βαλβίδας.
- Κατηγορία Β, όταν υπάρχει αυτόματος ανεξάρτητος έλεγχος, μόνο, ανά λειτουργικό χώρο. Ο έλεγχος κάθε χώρου μέσω θερμοστάτη ή θερμοστατικής βαλβίδας.
- Κατηγορία Γ, όταν υπάρχει αυτόματος κεντρικός έλεγχος της εγκατάστασης με θερμοστάτη ή χρονοδιακόπτη.
- Κατηγορία Δ, όταν δεν υπάρχει κανένας έλεγχος για την έναυση ή παύση των συστημάτων.

Εάν τοποθετηθούν στο κτίριο συστήματα θέρμανσης και ψύξης, γρήγορης απόκρισης, όπως Fan-Coils, μονάδες VRV (άμεσης εκτόνωσης) η κατηγοριοποίηση διαφοροποιείται:

- Κατηγορία Α, όταν ανά χώρο υπάρχει αυτόματος έλεγχος παρουσίας ατόμων. Συνήθως ο συγκεκριμένος έλεγχος γίνεται με την χρήση αισθητήρων κίνησης.
- Κατηγορία Β, όταν ανά χώρο υπάρχει αυτόματος έλεγχος με την χρήση θερμοστάτη.
- Κατηγορία Γ, όταν υπάρχει αυτόματος κεντρικός έλεγχος της εγκατάστασης με θερμοστάτη ή χρονοδιακόπτη.
- Κατηγορία Δ, όταν δεν υπάρχει κανένας έλεγχος για την έναυση ή παύση των συστημάτων.

### **9.2.2 Έλεγχος προσαρμογής στα θερμικά/ψυκτικά φορτία**

Στον συγκεκριμένο έλεγχο εξετάζεται με ποιον τρόπο θα λειτουργεί το δίκτυο διανομής θερμικών ή ψυκτικών φορτίων. Μια εγκατάσταση, αρχικά, σχεδιάζεται με γνώμονα την



αντιμετώπιση της δυσμενέστερης περίπτωσης, που συνήθως λαμβάνει χώρα για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου η εγκατάσταση να πρέπει να καλύψει μικρότερα φορτία, καθιστώντας την προσαρμογή του συστήματος υψίστης σημασίας. Οι διατάξεις ελέγχου και αυτοματισμών ανήκουν στην:

- Κατηγορία Α, όταν υπάρχει η δυνατότητα αντιστάθμισης, με βάση την εξωτερική θερμοκρασία και, ταυτόχρονα, με συνεχή έλεγχο της εσωτερικής θερμοκρασίας των χώρων. Επιπλέον θα πρέπει οι αντλίες διανομής να είναι εφοδιασμένες με inverter ώστε αυτόματα να ρυθμίζεται η παροχή, ανάλογα με την ζήτηση του ψυκτικού και θερμικού φορτίου.
- Κατηγορία Β, όταν υπάρχει η δυνατότητα αντιστάθμισης, με βάση την εξωτερική θερμοκρασία και με inverter να μπορεί να ρυθμίζει τις στροφές των κυκλοφορητών και να μειώνει την παροχή κα κατ' επέκταση την κατανάλωση ενέργειας
- Κατηγορία Γ, όταν υπάρχει η δυνατότητα αντιστάθμισης, με βάση την εξωτερική θερμοκρασία αλλά οι αντλίες διανομής ελέγχονται μη αυτόματα δηλαδή με χρονοδιακόπτη ή θερμοστάτη.
- Κατηγορία Δ, όταν δεν υπάρχει δυνατότητα αντιστάθμισης και οι αντλίες λειτουργούν αδιάλειπτα με την ίδια παροχή.

### **9.2.3 Τρόπος αλληλουχίας μονάδων παραγωγής ψύξης-θέρμανσης**

Η συγκεκριμένη παράμετρος εξετάζεται όταν για κάθε ζώνη του κτιρίου, χρησιμοποιούνται, συνδυαστικά, πολλαπλές μονάδες παραγωγής ώστε να γίνει η κάλυψη των εκάστοτε απαιτήσεων. Επομένως ο έλεγχος της αλληλουχίας εξετάζει με ποια λογική τίθενται σε λειτουργία οι προαναφερθείσες μονάδες. Αναλυτικότερα θα ανήκουν στην:

- Κατηγορία Α, όταν υπάρχει προτεραιότητά με βάση την αποδοτικότητα κάθε μονάδας. Αναλυτικότερα το σύστημα αυτοματισμού θέτει σε λειτουργία την μονάδα, η οποία θα καλύψει αποδοτικότερα την απαίτηση που θα υπάρχει την δεδομένη στιγμή.
- Κατηγορία Β, όταν υπάρχει προτεραιότητά με βάση το φορτίο και την απόδοση κάθε μονάδας που καταναλώνει. Αρχικά τίθεται σε λειτουργία ή μικρότερη μονάδα και, εφόσον, απαιτηθεί θα τεθούν σε λειτουργία οι αμέσως επόμενες μονάδες.

- Κατηγορία Γ, όταν υπάρχει προτεραιότητά με βάση το φορτίο. Αρχικά γίνεται ενεργοποίηση μιας μονάδας και στην συνέχεια ακολουθούν και οι επόμενες εφόσον το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί, αυξηθεί.
- Κατηγορία Δ, όταν δεν υπάρχει προτεραιότητά και όλες οι μονάδες, ανεξαρτήτως φορτίου κάλυψης, ενεργοποιούνται ταυτόχρονα.

#### **9.2.4 Έλεγχος αερισμού**

Αφού στα κτίρια τριτογενή τομέα, ο μηχανικός αερισμός είναι υποχρεωτικός, θα πρέπει να εξεταστούν και οι διατάξεις αυτοματισμών για το συγκεκριμένο σύστημα. Αρχικά θα πρέπει να διαπιστωθεί σε ποια κατηγορία το σύστημα θα καταταγεί, με βάση τον τρόπο που θα ενεργοποιείται και θα απενεργοποιείται. Αναλυτικότερα θα ανήκουν στην:

- Κατηγορία Α και Β, όταν υπάρχει έλεγχος του αερισμού με βάση την ποιότητα του αέρα. Με την χρήση αισθητηρίων ποιότητας αέρα, τα οποία ανιχνεύουν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> και μπορούν να ρυθμίζουν μέσω inverter τις στροφές λειτουργίας ανεμιστήρων εισαγωγής αέρα, δίνοντας την δυνατότητα να υπάρχει επαρκής ανανέωση του αέρα( τα επίπεδα διοξειδίου να διατηρούνται στα επιτρεπτά όρια), χωρίς να χρειάζεται το σύστημα να λειτουργεί για τον μέγιστο αριθμό ατόμων.
- Κατηγορία Γ όταν υπάρχει έλεγχος του αερισμού με χρονοδιακόπτη.
- Κατηγορία Δ, όταν η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των μονάδων αερισμού γίνεται μόνο χειροκίνητα.

#### **9.2.5 Ελεύθερη ψύξη και νυχτερινός δροσισμός**

Με την ελεύθερη ψύξη μπορεί να επιτευχθεί ο κλιματισμός των χώρων αυξάνοντας την προσαγωγή νωπό εξωτερικό αέρα, ο οποίος έχει θερμοκρασία ίδια με την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία. Έτσι αποφεύγεται η χρήση των μονάδων που θα απαιτούνταν, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες.

Ο νυχτερινός δροσισμός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κτίρια τριτογενούς τομέα που η λειτουργία τους σταματά της νυχτερινές ώρες. Η θερμοκρασία του αέρα κατά την καλοκαιρινή περίοδο συνήθως πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτή των χώρων των κτιρίων όπου δεν λειτουργούν οι κλιματιστικές μονάδες. Έτσι το σύστημα αερισμού μπορεί να προγραμματιστεί να ενεργοποιείται ώστε να εισάγει αέρα, για να δροσίζει τους χώρους του κτιρίου. Σαν αποτέλεσμα όταν θα επαναλειτουργήσει το κτίριο οι χώροι να

είναι ήδη σχετικά δροσεροί και μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια, αφού οι ψυκτικές μονάδες δεν θα χρειαστεί να δουλέψουν στον μέγιστο βαθμό. (V. Geros, 2004)

Εφόσον μια από τις παραπάνω διατάξεις είναι εγκαταστημένες σε ένα κτίριο αυτομάτως πληροί στο κριτήριο αυτό την κατηγορία Α και Β. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει διάταξη free cooling ή night cooling η κατηγορία στο συγκεκριμένο κριτήριο πέφτει στην Γ και Δ.

#### **9.2.6 Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα**

Ανάλογα με τον τρόπο ελέγχου της θερμοκρασίας του προσαγόμενου αέρα, των ΚΚΜ ή άλλων συστημάτων μηχανικού αερισμού, τα κτίρια διαχωρίζονται και στις ακόλουθες κατηγορίες.

- Κατηγορία Α, όταν η θερμοκρασία προσαγόμενου αέρα ρυθμίζεται με βάση το πόσο γρήγορα μεταβάλλεται το φορτίο, για τον λόγο ότι κάθε χώρος έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά (προσανατολισμός, χρήση, άτομα). Εκτός από τον κάθε χώρο μπορεί να ρυθμιστεί να υπάρχει ο συγκεκριμένος έλεγχος και ανά ζώνη, ελέγχοντας την μεταβολή του αέρα εισαγωγής με τον αέρα εξαγωγής.
- Κατηγορία Β, όταν η θερμοκρασία προσαγόμενου αέρα ρυθμίζεται με βάση την διαφορά θερμοκρασίας του προσαγόμενου αέρα με την επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους. Η επιθυμητή όμως τιμή διαφοροποιείται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία κάνοντας τον συγκεκριμένο έλεγχο ιδιαίτερα σημαντικό για τις ΚΚΜ που θερμαίνουν ή ψύχουν περαιτέρω τον αέρα ώστε να μπορούν να καλύψουν τα μεγαλύτερα φορτία χώρων και αερισμού.
- Κατηγορία Γ, όταν η θερμοκρασία προσαγόμενου αέρα ρυθμίζεται με βάση την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας που έχει οριστεί για τους χώρους. Οι συγκεκριμένες τιμές είναι συνήθως σταθερές περίπου 20 °C τον χειμώνα και 25 °C το καλοκαίρι.
- Κατηγορία Δ, όταν δεν υπάρχει έλεγχος της θερμοκρασίας του εισαγόμενου αέρα και αυτός εισάγεται στο κτίριο χωρίς καμία απολύτως προεργασία.

#### **9.2.7 Έλεγχος υγρασίας**

Εφόσον εφαρμόζεται έλεγχος της υγρασίας στον αέρα προσαγωγής και εξαγωγής πληροί στο κριτήριο αυτό την κατηγορία Α και Β. Σε αντίθετη περίπτωση η κατηγορία του συγκεκριμένου κριτηρίου είναι Γ και Δ.

### **9.3 Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό.**

Η χρήση των λαμπτήρων LED, απεδείχθη καθοριστικής σημασίας ώστε να μειώσουμε την κατανάλωση του κτιρίου, εύκολα και κυρίως αποτελεσματικά. Παρόλα αυτά, σε κτίρια τριτογενή τομέα, ο φωτισμός παραμένει η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή κατανάλωσης ενέργειας αφού, σε πολλές περιπτώσεις, ο χειρισμός του γίνεται αποκλειστικά χειροκίνητα. Με την χρήση ορισμένων διατάξεων, δίνεται η δυνατότητα να ελέγχεται αυτόματα ο φωτισμός και να εξοικονομείται ενέργεια, χωρίς να χάνεται η οπτική άνεση των χρηστών. Ο χειρισμός του συστήματος φωτισμού μπορεί να γίνει με αισθητήρες φωτισμού, αισθητήρες εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού, αισθητήρια παρουσίας-κίνησης.

#### **9.3.1 Αισθητήρες εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού**

Ο αισθητήρας φωτός ή Lighting Sensor αποτελείται από ένα φωτοκύτταρο που τοποθετείται πάνω στο φωτιστικό ή σε κεντρικό σημείο του χώρου και από το κατάλληλο ηλεκτρικό κύκλωμα που θα παράγει το κατάλληλο σήμα. Χάρη στο φωτοκύτταρο μπορεί να ανιχνεύει ανά πάσα στιγμή τα επίπεδα του φωτός στον χώρο και να αυξομειώνει την ένταση των λαμπτήρων. Σαν αποτέλεσμα διατηρείται ο φωτισμός στους χώρους εργασίας, όλες τις ώρες της ημέρας, χωρίς να χρειάζεται η πλήρης λειτουργία του συστήματος φωτισμού. Τα οφέλη του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι γίνεται εξοικονόμηση χάρη στην προσαρμογή της στάθμης του τεχνητού φωτός (dimming), μπορεί να αυτοματοποιηθεί πλήρως το σύστημα φωτισμού και να μειωθούν και τα θερμικά κέρδη τις καλοκαιρινές ημέρες, μειώνοντας κατ' επέκταση την κατανάλωση των μονάδων ψύξης.

#### **9.3.2 Αισθητήρες παρουσίας /κίνησης**

Ο αισθητήρας παρουσίας αποτελείται από ένα υπέρυθρο αισθητήρα κίνησης, ο οποίος μπορεί να είναι ενσωματωμένος στο φωτιστικό. Δίνει την δυνατότητα να διακόπτεται αυτόματα η λειτουργία, των συστημάτων φωτισμού, όταν δεν ανιχνεύσουν ανθρώπινη παρουσία στους χώρους του κτιρίου. Για να ευνοείται η εύρυθμη λειτουργία του κτιρίου το σύστημα δίνει την δυνατότητα να ρυθμίζεται η ευαισθησία στην ανίχνευση της κίνησης, καθώς και η ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης για την απενεργοποίηση των

συστημάτων, όταν δεν αντιλαμβάνεται κινήσεις. Ο ανιχνευτής κίνησης, αντίθετα συλλέγει τα δεδομένα εισόδου, με την χρήση υπερήχων ή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι παραπάνω αισθητήρες έχουν τρεις ρυθμίσεις η οποίες δηλώνονται και στο πρόγραμμα του TEE-KENAK:

- Αυτόματης ή χειροκίνητης έναυση
- Αυτόματης ή χειροκίνητης σβέσης
- Χρόνου αναμονής

Από τα παραπάνω την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί εάν συνδυάσουμε την χειροκίνητη έναυση με την αυτόματη σβέση.

#### **9.4 Χρήση συστημάτων αυτοματισμού στα υπάρχοντα σενάρια του κτιρίου μελέτης**

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου, που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 7, εξήχθησαν χωρίς να έχει γίνει πρόβλεψη για εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού τόσο στα συστήματα θέρμανσης-ψύξης-αερισμού, όσο και στο σύστημα φωτισμού. Αφού αναφερθούν ποια συστήματα αυτοματισμού θα χρησιμοποιηθούν στα ήδη υπάρχοντα σενάρια, θα γίνει η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα του TEE-KENAK ώστε να διαπιστωθεί πώς οι αυτοματισμοί επιδρούν στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.

##### **9.4.1 Αυτοματισμοί σενάριο 1**

Αρχικά θα πρέπει να διαπιστωθεί σε ποια κατηγορία θα καταταχτεί η εγκατάσταση της θέρμανσης του σεναρίου 1. Στους Πίνακες 17 και 18, αναγράφονται λεπτομερώς, οι διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, που χρησιμοποιούνται και η κατηγορία κάθε διάταξης.

Πίνακας 17: Διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης σεναρίου 1

<b>Διατάξεις αυτοματισμών που εξετάζονται</b>	<b>Διατάξεις αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται</b>	<b>Κατηγορία διάταξης</b>
Επίπεδο ελέγχου λειτουργίας μονάδας παραγωγής	Ο έλεγχος κάθε μονάδας θα γίνεται ανά χώρο μέσω τοπικού χειριστηρίου – θερμοστάτη	Κατηγορία Β
Επίπεδο ελέγχου προσαρμογής στα θερμικά φορτία	Θα υπάρχει αντιστάθμιση θερμοκρασίας	Κατηγορία Β
Επίπεδο ελέγχου αντλιών διανομής	Κυκλοφορητής τύπου inverter	Κατηγορία Β
Αλληλουχία μονάδων παραγωγής θέρμανσης	Προτεραιότητα με βάση το φορτίο και την αποδοτικότητα	Κατηγορία Β
Επίπεδο ελέγχου αερισμού	Η παροχή νωπού αέρα γίνεται με έλεγχο ποιότητας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου ελεύθερης ψύξης - νυχτερινού δροσισμού.	Δεν εξετάζεται στην λειτουργία της θέρμανσης	-
Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα	Έλεγχος της θερμοκρασίας προσαγωγής σε σχέση με την επιθυμητή και την εξωτερική θερμοκρασία	Κατηγορία Β
Έλεγχος υγρασίας	Έλεγχος υγρασίας για ύγρανση – αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα	Κατηγορία Α

Με βάση τα παραπάνω η εγκατάσταση θέρμανσης κατατάσσεται στην Κατηγορία Β, παρόλο που κάποιες διατάξεις αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται κατατάσσονται σε υψηλότερη κατηγορία.

Πίνακας 18: Διατάξεις αυτοματισμών ψύξης σεναρίου 1

<b>Διατάξεις αυτοματισμών που εξετάζονται</b>	<b>Διατάξεις αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται</b>	<b>Κατηγορία διάταξης</b>
Επίπεδο ελέγχου λειτουργίας μονάδας παραγωγής	Ο έλεγχος κάθε μονάδας θα γίνεται ανά χώρο μέσω τοπικού χειριστηρίου – θερμοστάτη	Κατηγορία Β
Επίπεδο ελέγχου προσαρμογής στα θερμικά φορτία	Θα υπάρχει αντιστάθμιση θερμοκρασίας	Κατηγορία Β
Επίπεδο ελέγχου αντλιών διανομής	Κυκλοφορητής τύπου inverter	Κατηγορία Β
Αλληλουχία μονάδων παραγωγής θέρμανσης	Προτεραιότητα με βάση το φορτίο και την αποδοτικότητα	Κατηγορία Β
Επίπεδο ελέγχου αερισμού	Η παροχή νωπού αέρα γίνεται με έλεγχο ποιότητας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου ελεύθερης ψύξης - νυχτερινού δροσισμού.	Επίπεδο ελέγχου ελεύθερης ψύξης - νυχτερινού δροσισμού.	Κατηγορία Α
Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα	Έλεγχος της θερμοκρασίας προσαγωγής σε σχέση με την επιθυμητή και την εξωτερική θερμοκρασία	Κατηγορία Β
Έλεγχος υγρασίας	Έλεγχος υγρασίας για ύγρανση – αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα	Κατηγορία Α

Με βάση τα παραπάνω η εγκατάσταση ψύξης κατατάσσεται στην Κατηγορία Β.

Αφού ολοκληρώθηκε το σημαντικότερο κομμάτι της τοποθέτησης των συστημάτων αυτοματισμού για τα συστήματα κλιματισμού-αερισμού θα πρέπει να καταχωρηθούν και στο πρόγραμμα TEE-KENAK. Τα παραπάνω αποτελέσματα δηλώνονται στην γενική καρτέλα, όπως και στη Εικόνα 62.

Γενικά

Χρήση:

Συνολική επιφάνεια (m<sup>2</sup>):  Μέση κατανάλωση ZNX (m<sup>3</sup>/έτος):

Ανηγμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m<sup>2</sup>K):

Κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών: Θέρμανση Τύπος B Ψύξη Τύπος B

Διείσδυση αέρα

Διείσδυση αέρα από κουφώματα (m<sup>3</sup>/h):

Αρ. καμινάδων:  Αρ. θυρίδων εξαερισμού:  Αρ. εξώθυρων:

Υβριδικό σύστημα δροσισμού

Αριθμός ανεμιστήρων οροφής:

Εικόνα 62: Δήλωση κατηγορίας διατάξεων ελέγχου αυτοματισμών Σεναρίου 1

Για το σύστημα φωτισμού θα τοποθετηθούν σε όλους τους χώρους του κτιρίου αισθητήρια παρουσίας, τα οποία θα ενεργοποιούνται χειροκίνητα και θα γίνεται αυτόματη σβέση, όταν δεν διαπιστώνεται ανθρώπινη παρουσία. Αυτό θα ισχύει για κάθε δωμάτιο ξεχωριστά καθώς και για όλες τις ζώνες του κτιρίου συνολικά. Οι αυτοματισμοί του συστήματος φωτισμού στο πρόγραμμα δηλώνονται μαζί με τα υπόλοιπα συστήματα, στην καρτέλα του φωτισμού. Αφού δηλωθεί η συνολική εγκατεστημένη ισχύς, θα πρέπει να υπολογιστεί η ισχύς των φωτιστικών που θα λειτουργούν με την βοήθεια αισθητήρων φυσικού φωτισμού ή με την βοήθεια αισθητήρων παρουσίας ή και με τα δύο συστήματα μαζί. Στην περίπτωση του σεναρίου 1 όλα τα φώτα θα λειτουργούν με αισθητήρια παρουσίας, συνεπώς η ισχύς που θα δηλωθεί στο συγκεκριμένο πεδίο θα ισούται με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ. Στην Εικόνα 63 φαίνεται η καρτέλα φωτισμό, στο λογισμικό TEE-KENAK, συμπληρωμένη.



Θέρμανση
Ψύξη
Υγρανση
Μηχανικός αερισμός
**Φωτισμός**

Εγκατεστημένη ισχύς (kW): 25.37

Εγκατεστημένη ισχύς που ελέγχεται μόνο με αισθητήρες ΦΦ (kW): 0

Εγκατεστημένη ισχύς που ελέγχεται μόνο με αισθητήρες παρουσίας (kW): 25.37

Εγκατεστημένη ισχύς που ελέγχεται με αισθητήρες ΦΦ και παρουσίας (kW): 0

Περιοχή ΦΦ (%): 55

	Ζώνες τεχνητού φωτισμού - Στάθμη φωτισμού (lx)	Ποσοστό (%)
► 1	1000	0
2	500	80
3	400	0
4	300	0
5	250	0
6	200	20
7	100	0

Αυτοματισμοί ελέγχου ΦΦ: 2. Χειροκίνητος

Αυτοματισμοί ανίχνευσης κίνησης: 3. Ανίχνευση με χειροκίνητη έναυση / αυτόματη σβέση

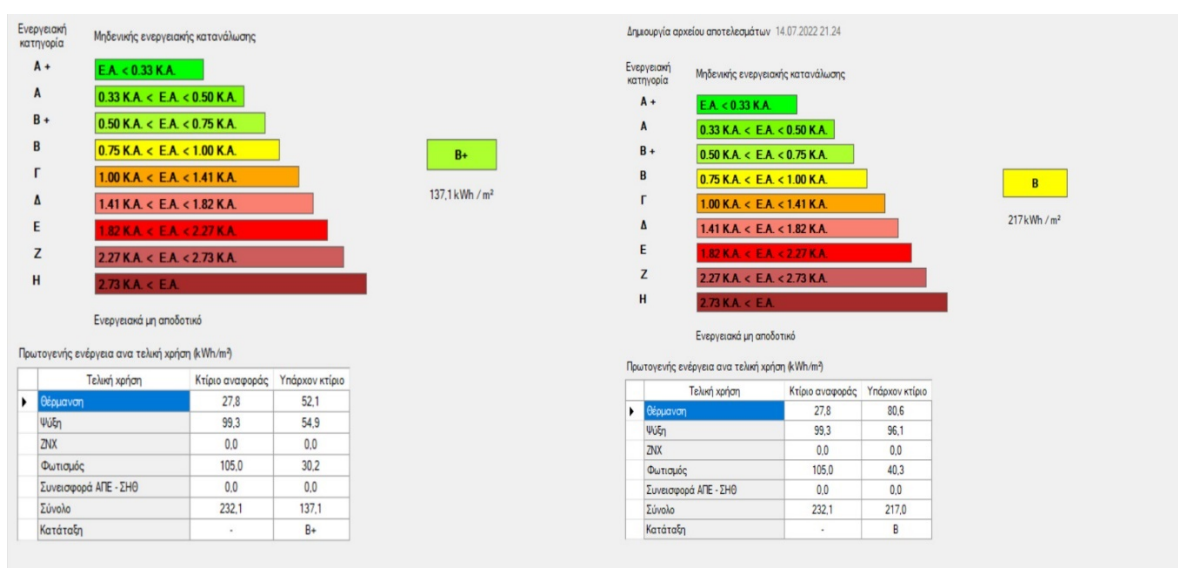
Σύστημα απομάκρυνσης θερμότητας ☐

Φωτισμός ασφαλείας ☐

Σύστημα εφεδρείας ☐

Εικόνα 63: Δήλωση συστημάτων αυτοματισμού για φωτισμό Σενάριο 1

Εφόσον δηλώθηκαν όλα τα παραπάνω πεδία που αφορούν τις διατάξεις αυτοματισμού σε ένα κτίριο, θα γίνει εκτέλεση των υπολογισμών.



Από την Εικόνα 64, διαπιστώνεται, ότι η χρήση των συστημάτων αυτοματισμού μείωσε την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων θέρμανσης κατά 28 kWh/m<sup>2</sup>, ποσοστό καθόλου αμελητέο της τάξης του 35%. Στα συστήματα ψύξης, η πρωτογενής κατανάλωση μειώθηκε κατά 42 kWh/m<sup>2</sup>, δηλαδή ποσοστό της τάξης του 43%. Το σύστημα φωτισμού μετά τη προσθήκη των αισθητήρων ανίχνευσης, έγινε ακόμα πιο αποδοτικό και οι σπατάλες ενέργειας περιορίστηκαν στο ελάχιστο. Η μείωση εκεί φτάνει το 25%, δηλαδή περίπου 10 kWh/m<sup>2</sup>. Συνολικά η πρωτογενής ενέργεια που εξοικονομήθηκε υπολογίζεται σε 80 kWh/m<sup>2</sup> και το κτίριο ανέβηκε κατάταξη φτάνοντας την ενεργειακή κλάση B+.

#### 9.4.2 Αυτοματισμοί σενάριο 2

Όμοια με το σενάριο 1 θα πρέπει ανάλογα με τις διατάξεις αυτοματισμών που θα χρησιμοποιηθούν στο κτίριο να εξαχθεί, σε ποια κατηγορία ανήκει. Για το σενάριο 2 θα χρησιμοποιηθούν διατάξεις της κατηγορίας A, με απώτερο σκοπό να μειώσουν περαιτέρω τις καταναλώσεις στο σύστημα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, το οποίο λόγο της απαγόρευσης ανακυκλοφορίας αέρα, είχε σημαντικά αυξημένες απαιτήσεις. Στους Πίνακες 19 και 20, αναγράφονται λεπτομερώς, οι διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, που χρησιμοποιούνται και η κατηγορία κάθε διάταξης.

Πίνακας 19: Διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης σεναρίου 2

Διατάξεις αυτοματισμών που εξετάζονται	Διατάξεις αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται	Κατηγορία διάταξης
Επίπεδο ελέγχου λειτουργίας μονάδας παραγωγής	Ο έλεγχος κάθε μονάδας θα γίνεται ανά χώρο μέσω ανίχνευσης παρουσίας	Κατηγορία A
Επίπεδο ελέγχου προσαρμογής στα θερμικά φορτία	Θα υπάρχει αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας χώρου	Κατηγορία A
Επίπεδο ελέγχου αντλιών διανομής	Κυκλοφορητής τύπου inverter	Κατηγορία A

Αλληλουχία μονάδων παραγωγής θέρμανσης	Προτεραιότητα με βάση την αποδοτικότητα της μονάδας	Κατηγορία A
Επίπεδο ελέγχου αερισμού	Η παροχή νωπού αέρα γίνεται με έλεγχο ποιότητας	Κατηγορία A
Επίπεδο ελέγχου ελεύθερης ψύξης - νυκτερινού δροσισμού.	Δεν εξετάζεται στην λειτουργία της θέρμανσης	-
Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα	Έλεγχος της θερμοκρασίας προσαγωγής σε σχέση με την μεταβολή του θερμικού φορτίου	Κατηγορία A
Έλεγχος υγρασίας	Έλεγχος υγρασίας για ύγρανση – αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα	Κατηγορία A

Με βάση τα παραπάνω η εγκατάσταση θέρμανσης κατατάσσεται στην Κατηγορία A, αφού καμία διάταξη δεν ανήκει σε κάποια μικρότερης κατηγορίας .

Πίνακας 20: Διατάξεις αυτοματισμών ψύξης σεναρίου 2

<b>Διατάξεις αυτοματισμών που εξετάζονται</b>	<b>Διατάξεις αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται</b>	<b>Κατηγορία διάταξης</b>
Επίπεδο ελέγχου λειτουργίας μονάδας παραγωγής	Ο έλεγχος κάθε μονάδας θα γίνεται ανά χώρο μέσω ανίχνευσης παρουσίας	Κατηγορία A
Επίπεδο ελέγχου προσαρμογής στα θερμικά φορτία	Θα υπάρχει αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας χώρου	Κατηγορία A
Επίπεδο ελέγχου αντλιών διανομής	Κυκλοφορητής τύπου inverter	Κατηγορία A
Αλληλουχία μονάδων παραγωγής θέρμανσης	Προτεραιότητα με βάση την αποδοτικότητα της μονάδας	Κατηγορία A

Επίπεδο ελέγχου αερισμού	Η παροχή νωπού αέρα γίνεται με έλεγχο ποιότητας	Κατηγορία A
Επίπεδο ελέγχου ελεύθερης ψύξης - νυχτερινού δροσισμού.	Νυχτερινός δροσισμός	Κατηγορία A
Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα	Έλεγχος της θερμοκρασίας προσαγωγής σε σχέση με την μεταβολή του θερμικού φορτίου	Κατηγορία A
Έλεγχος υγρασίας	Έλεγχος υγρασίας για ύγρανση – αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα	Κατηγορία A

Με βάση τα παραπάνω το σύστημα ψύξης, ανήκει στην κατηγορία A, αφού όλες οι επιμέρους διατάξεις ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία. Ακολούθως, συμπληρώνεται και η καρτέλα των διατάξεων αυτοματισμών, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 65.

Γενικά

Χρήση:

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

Ανηγμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m²K):

Κατηγορία διατάξεων ελέγχου - αυτοματισμών: Θέρμανση Τύπος A Ψύξη Τύπος A

Διείσδυση αέρα

Διείσδυση αέρα από κουφώματα (m³/h):

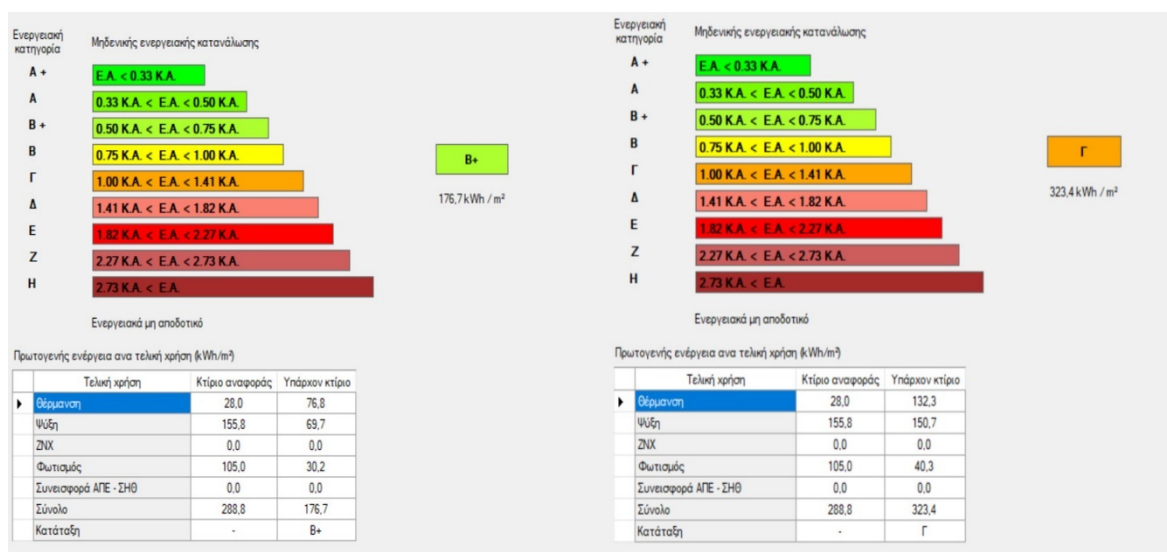
Αρ. καμινάδων:  Αρ. θυρίδων εξαερισμού:  Αρ. εξώθυρων:

Υβριδικό σύστημα δροσισμού

Αριθμός ανεμιστήρων οροφής:

Εικόνα 65: Δήλωση κατηγορίας διατάξεων ελέγχου αυτοματισμών Σεναρίου 2

Όσο αναφορά τους αυτοματισμούς του συστήματος φωτισμού θα χρησιμοποιηθούν, όπως και στο σενάριο 1, σε όλα τα φώτα ανιχνευτές κίνησης/ παρουσίας, οι οποίοι θα ανοίγουν χειροκίνητα και θα σβήνουν αυτόματα, όταν δεν αντιλαμβάνονται παρουσία ατόμων. Αφού συμπληρωθούν όλα τα παραπάνω, θα γίνει ο υπολογισμός της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου.



Εικόνα 66: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 2 με την χρήση αυτοματισμών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά).

Από την Εικόνα 66 παρατηρείται ότι η χρήση διατάξεων αυτοματισμού, που ανήκουν όλες στην κατηγορία A, στα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού επιφέρει μεγάλη μείωση στις πρωτογενείς καταναλώσεις του κτιρίου. Αναλυτικότερα, το κτίριο έχει κατά 45% μειωμένες απαιτήσεις σε kWh/m<sup>2</sup>. Η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στο σύστημα ψύξης, όπου η μείωση, τους καλοκαιρινούς μήνες, αγγίζει το 53% της αρχικής κατανάλωσης, δηλαδή 80 kWh/m<sup>2</sup>. Η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου βελτιώθηκε από Γ σε B+, καθιστώντας το πλέον νόμιμο και πιο ενεργειακά βιώσιμο.

### 9.4.3 Αυτοματισμοί σενάριο 3

Το σενάριο 3 από τους αρχικούς υπολογισμούς ήταν το πιο αποδοτικό ενεργειακά καθώς, σε αυτό, είχαν χρησιμοποιηθεί συστήματα κλιματισμού, που έχουν μεγάλες εξοικονομήσεις σε ενέργεια, καθώς και τα υλικά περιόριζαν τις απώλειες θερμότητας, χάρη στις θερμομονωτικές ιδιότητες τους. Παρόλα αυτά θα χρησιμοποιηθούν στα συστήματα κλιματισμού και αερισμού, οι κατάλληλες διατάξεις, οι οποίες θα επιφέρουν και τις μεγαλύτερες εξοικονομήσεις σε ενέργεια, επειδή στόχος είναι να δημιουργηθούν κτίρια «μηδενικών» καταναλώσεων. Όπως και στο σενάριο 2, οι διατάξεις αυτοματισμών θα πρέπει να ανήκουν στην κατηγορία A και για την θέρμανση και την ψύξη. Στους παρακάτω πίνακες ακολουθούν αναλυτικά οι διατάξεις. Στους Πίνακες 21 και 22,

αναγράφονται λεπτομερώς, οι διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, που χρησιμοποιούνται και η κατηγορία κάθε διάταξης.

Πίνακας 21: Διατάξεις αυτοματισμών θέρμανσης σεναρίου 3

<b>Διατάξεις αυτοματισμών που εξετάζονται</b>	<b>Διατάξεις αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται</b>	<b>Κατηγορία διάταξης</b>
Επίπεδο ελέγχου λειτουργίας μονάδας παραγωγής	Ο έλεγχος κάθε μονάδας θα γίνεται ανά χώρο μέσω ανίχνευσης παρουσίας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου προσαρμογής στα θερμικά φορτία	Θα υπάρχει αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας χώρου	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου αντλιών διανομής	Κυκλοφορητής τύπου inverter	Κατηγορία Α
Αλληλουχία μονάδων παραγωγής θέρμανσης	Προτεραιότητα με βάση την αποδοτικότητα της μονάδας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου αερισμού	Η παροχή νωπού αέρα γίνεται με έλεγχο ποιότητας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου ελεύθερης ψύξης - νυχτερινού δροσισμού.	Δεν εξετάζεται στην λειτουργία της θέρμανσης	-
Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα	Έλεγχος της θερμοκρασίας προσαγωγής σε σχέση με την μεταβολή του θερμικού φορτίου	Κατηγορία Α
Έλεγχος υγρασίας	Έλεγχος υγρασίας για ύγρανση – αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα	Κατηγορία Α

Πίνακας 22: Διατάξεις αυτοματισμών ψύξης σεναρίου 3

Διατάξεις αυτοματισμών που εξετάζονται	Διατάξεις αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται	Κατηγορία διάταξης
Επίπεδο ελέγχου λειτουργίας μονάδας παραγωγής	Ο έλεγχος κάθε μονάδας θα γίνεται ανά χώρο μέσω ανίχνευσης παρουσίας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου προσαρμογής στα θερμικά φορτία	Θα υπάρχει αντιστάθμιση εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας χώρου	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου αντλιών διανομής	Κυκλοφορητής τύπου inverter	Κατηγορία Α
Αλληλουχία μονάδων παραγωγής θέρμανσης	Προτεραιότητα με βάση την αποδοτικότητα της μονάδας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου αερισμού	Η παροχή νωπού αέρα γίνεται με έλεγχο ποιότητας	Κατηγορία Α
Επίπεδο ελέγχου ελεύθερης ψύξης - νυχτερινού δροσισμού.	Νυχτερινός δροσισμός	Κατηγορία Α
Έλεγχος θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα	Έλεγχος της θερμοκρασίας προσαγωγής σε σχέση με την μεταβολή του θερμικού φορτίου	Κατηγορία Α
Έλεγχος υγρασίας	Έλεγχος υγρασίας για ύγρανση – αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα	Κατηγορία Α

Για όλα τα φωτιστικά σώματα χρησιμοποιήθηκαν, ανιχνευτές παρουσίας, παράλληλα με αισθητήρες φυσικού φωτισμού, ώστε όχι μόνο να ελέγχεται η αφή και η σβέση των φωτιστικών, αλλά και να ρυθμίζεται η ένταση των φωτιστικών ανάλογα με τον εξωτερικό φυσικό φωτισμό, εξοικονομώντας ενέργεια κατά την διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου.



Στην Εικόνα 67, εμφανίζεται συμπληρωμένη η καρτέλα φωτισμού, στο λογισμικό TEE-KENAK.

Θέρμανση Ψύξη Μηχανικός αερισμός **Φωτισμός**

Εγκατεστημένη ισχύς (kW): 25.37

Εγκατεστημένη ισχύς που ελέγχεται μόνο με αισθητήρες ΦΦ (kW): 0

Εγκατεστημένη ισχύς που ελέγχεται μόνο με αισθητήρες παρουσίας (kW): 0

Εγκατεστημένη ισχύς που ελέγχεται με αισθητήρες ΦΦ και παρουσίας (kW): 25.37

Περιοχή ΦΦ (%): 55

	Ζώνες τεχνητού φωτισμού - Στάθμη φωτισμού (lx)	Ποσοστό (%)
▶ 1	1000	0
2	500	80
3	400	0
4	300	0
5	250	0
6	200	20
7	100	0

Αυτοματισμοί ελέγχου ΦΦ: 1. Αυτόματος

Αυτοματισμοί ανίχνευσης κίνησης: 3. Ανίχνευση με χειροκίνητη έναυση / αυτόματη σβέση

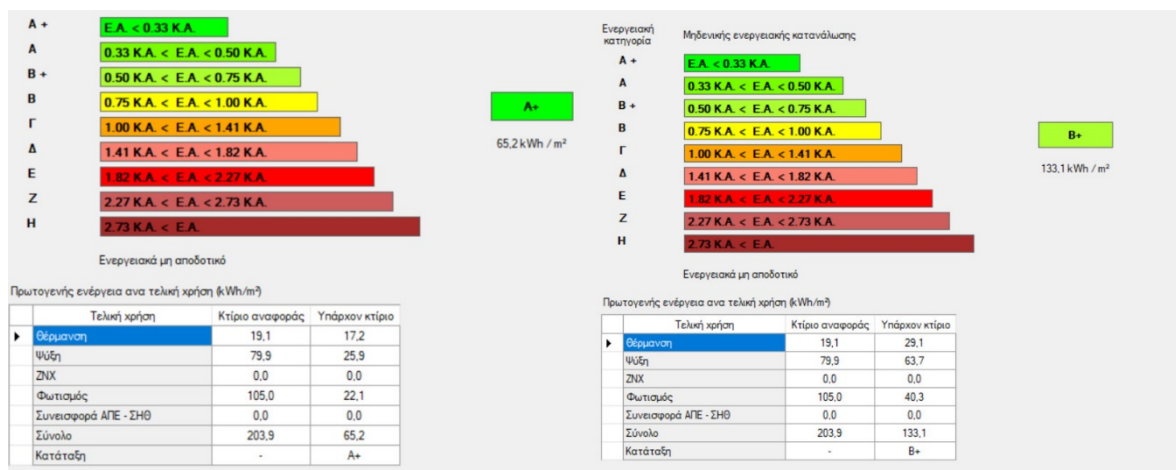
Σύστημα απομάκρυνσης θερμότητας ☐

Φωτισμός ασφαλείας ☐

Σύστημα εφεδρείας ☐

Εικόνα 67: Δήλωση κατηγορίας διατάξεων ελέγχου αυτοματισμών Σεναρίου 3

Εκτελώντας τους υπολογισμούς του TEE-KENAK, το αποδοτικότερο, έως τώρα σενάριο 3, από την κλάση B+, κατατάσσεται πλέον στην ενεργειακή κλάση A+.





Εικόνα 68: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 3 με την χρήση αυτοματισμών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά).

Από την Εικόνα 68 παρατηρείται ότι, η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας με την βοήθεια των συστημάτων αυτοματισμού έφτασε το 50% και πλέον μεγάλη μείωση και στις καταναλώσεις του φωτισμού, χάρη στην προσθήκη στο σύστημα του φωτισμού τους αισθητήρες φυσικού φωτισμού που επιτρέπουν το dimming σε κάθε φωτιστικό στους χώρους του κτιρίου. Το κτίριο, σαν αποτέλεσμα, έχει περιορίσει ήδη το ενεργειακό του αποτύπωμα στο ελάχιστό δυνατό και να μπορεί πλέον να ονομάζεται zero energy consumption building.

#### **9.4.4 Συμπεράσματα προσθήκης αυτοματισμών**

Τα παραπάνω αποτελέσματα έδειξαν πώς οι αυτοματισμοί μπορούν να αλλάξουν ριζικά τα συστήματα ενός κτιρίου, κάνοντας τα πιο αποδοτικά, χωρίς να αλλάξουν τις συνήθειες των ανθρώπων που χρησιμοποιούν τα κτίρια και να μην χάνουν τις ανέσεις τους. Μπορεί για την εγκατάσταση τους να απαιτούνται μεγάλοι χρηματικοί πόροι, αλλά δίνουν τη δυνατότητα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα ενεργοβόρα, όπως μια κεντρική κλιματιστική μονάδα που εισάγει 100% νωπό αέρα και καλύπτει όλα τα φορτία χώρου και αερισμού. Ακόμη με την χρήση τους κτίρια που είναι ήδη ενεργειακά βιώσιμα, μπορούν να μετατραπούν σε κτίρια μηδενικών καταναλώσεων, έχοντας πολλαπλά περιβαλλοντολογικά και οικονομικά οφέλη.



## Κεφάλαιο 10

### ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

#### 10.1 Εισαγωγή

Σε μια εποχή που τα περιβαλλοντολογικά προβλήματα γίνονται ολοένα και πιο εμφανή, τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων φθίνουν συνεχώς, καθώς και η ενεργειακή κρίση έχει οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση των τιμών των συμβατικών καυσίμων, με αποτέλεσμα η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να έχει περάσει πλέον σε μια κρίσιμη φάση. Μια από τις βασικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί είναι η ηλιακή ενέργεια. Η Ελλάδα χάρη στο κλίμα της, έχει ένα ιδιαίτερα υψηλό δυναμικό ηλιακής ενέργειας το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Σαν αποτέλεσμα η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τεράστια και προσδίδει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στην δημιουργία ενεργειακά βιώσιμων κτιρίων. (Martin, 2021)

Η φωτοβολταϊκή ηλιακή ενέργεια μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια, σε ηλεκτρική ενέργεια χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αρχή του φωτοβολταϊκού φαινομένου διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1839, από τον Γάλλο φυσικό Μπεκερέλ, παρόλα αυτά χρειάστηκε παραπάνω από ένα αιώνα μέχρι να κατασκευαστεί το πρώτο ηλιακό κελί ή αλλιώς φωτοβολταϊκό κελί.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Κάθε στοιχείο αποτελείται από δύο πλάκες ημιαγωγών (δίοδοι p-n). Συνήθως οι πλάκες είναι πυριτίου Si, αφού το συγκεκριμένο στοιχείο αφθονεί στη φύση. Η άνω πλάκα (τύπου n) εμπλουτίζεται με πολύ μικρή ποσότητα αρσενικού As ή φωσφόρου P, τα οποία διαθέτουν ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο, δηλαδή 5 συνολικά. Η κάτω πλάκα (τύπου p) ενισχύεται με προσμίξεις Βορίου B, το οποίο διαθέτει, στην εξωτερική στιβάδα, ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο σε σύγκριση με το υλικό του ημιαγωγού. Όταν εκτεθεί το φωτοβολταϊκό στοιχείο στην ηλιακή ακτινοβολία και γίνει ένωση, με κατάλληλο αγωγό, των δυο πλακών, «κλείνει» το κύκλωμα, το οποίο επιτρέπει στα φωτόνια να διέρχονται από την επιφάνεια επαφής τους. Η εκδήλωση της διαφοράς τάσης ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες, ορίζει το φωτοβολταϊκό

φαινόμενο, στο οποίο και στηρίζεται η λειτουργία του συνόλου των διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. (Καραϊσάς, 2014; Waqas Khalid, 2021)

Γενικά, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα περιέχει τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τους αντιστροφείς τάσης (inverter), τους συσσωρευτές ενέργειας σε περίπτωση που υπάρχει πρόβλεψη για αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, τους μετρητές ενέργειας και τους ρυθμιστές.

## 10.2 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

### 10.2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Πολλά φωτοβολταϊκά κύτταρα συνθέτουν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Εν συνεχεία δύο ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνθέτουν ένα φωτοβολταϊκό πάνελ. Η ταξινόμηση των πλαισίων γίνεται ανάλογα με την ισχύ  $W_p$  (Watt peak) που αποδίδουν σε μια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου, όταν επικρατούν οι ιδανικές συνθήκες λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού, δηλαδή όταν δέχεται ακτινοβολία  $1000W/m^2$ , σε θερμοκρασία  $25^{\circ}C$ . Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τα πλαίσια διαχωρίζονται σε:

- Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, όπου το πάχος τους κυμαίνεται περίπου στα 0,3 χιλιοστά και η απόδοση τους περίπου από 15 – 18%. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε σκούρο ή μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική επίστρωση. Στην Εικόνα 69, παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 69: Πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

- Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, όπου το πάχος τους κυμαίνεται, επίσης, στα 0,3 χιλιοστά και η απόδοση τους από 13% έως 16%. Η τιμή τους είναι χαμηλότερη, αφού η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτή των μονοκρυσταλλικών. Το χρώμα τους, όταν υπάρχει αντί-ανακλαστική επίστρωση, είναι συνήθως μπλε ενώ γκρι-ασημί όταν δεν υπάρχει αντί-ανακλαστική επίστρωση. Στην Εικόνα 70, παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 70: Πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

- Τεχνολογίας λεπτού υμενίου (thin film), όπως τα στοιχεία άμορφου πυριτίου. Η απόδοσή τους είναι σημαντικά μικρότερη από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα η απόδοση τους κυμαίνεται περίπου στο 6 με 8%. Τα πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων πλαισίων έγκειται στο γεγονός ότι χρειάζονται περίπου το 1% πυριτίου σε σχέση με τα κρυσταλλικά κελιά και δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις υψηλές θερμοκρασίες. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιοι προβληματισμοί σχετικά με την αξιοπιστία των συγκεκριμένων πλαισίων, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία και έχουν παρατηρηθεί απώλειες απόδοσης, όταν παρέλθει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στην Εικόνα 71, παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο λεπτού υμενίου.

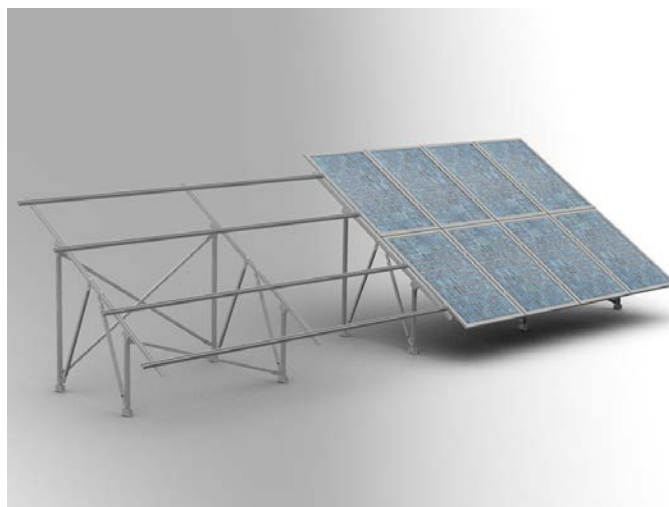


Εικόνα 71: Πλαίσιο λεπτού υμενίου.

### 10.2.2 Βάσεις στήριξης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

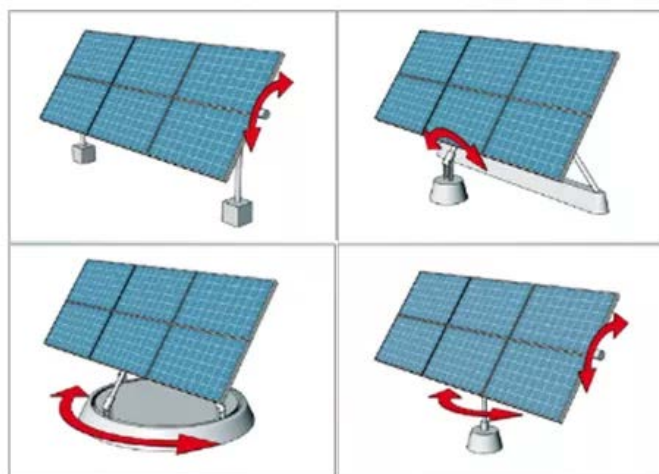
Τα φωτοβολταϊκά πάνελ εδράζονται, συνήθως, επί εδάφους και οι τρόποι στήριξής γίνονται συνήθως με:

- Βάσεις σταθερής κλίσης, που αποτελούν τον πιο απλό και οικονομικό τρόπο στήριξης των φωτοβολταϊκών πάνελ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι ακτίνες του ηλίου πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στη επιφάνεια των πάνελ τις μεσημεριανές ώρες, όπου η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο μέγιστο. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν τα πάνελ σε κλίση περίπου 30 μοιρών. Η συγκεκριμένη κλίση είναι ικανοποιητική για τα ελληνικά δεδομένα. Στην Εικόνα 72, παρουσιάζεται ενδεικτικά η μεταλλική κατασκευή μιας βάσης πλαισίων σταθερής κλίσης.



Εικόνα 72: Βάση σταθερής κλίσης

- Βάσεις ιχνηλάτισης της πορείας του ήλιου (trackers). Η συγκεκριμένη τεχνική αποσκοπεί στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας, αφού περιστρέφει τα πάνελ όλες τις ώρες της ημέρας, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει κάθετα συνεχώς. Έτσι παρέχονται αυξημένες αποδόσεις της τάξεως του 30%. Τα συγκεκριμένα συστήματα χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες τα συστήματα μονού άξονα και διπλού άξονα. Τα συστήματα μονού άξονα επιτρέπουν την κίνηση σε ένα άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης και αυξάνουν την παραγωγή κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Τα συστήματα διπλού άξονα εκτός από τον άξονα Ανατολής δύσης περιλαμβάνουν και τον οριζόντιο άξονα, αυξάνοντας την απόδοση κατά 25-40%. Στην Εικόνα 73, παρουσιάζεται ενδεικτικά η μεταλλική κατασκευή μιας βάσης ιχνηλάτισης πορείας, καθώς και τις διάφορες περιστροφές που μπορούν να πραγματοποιηθούν.



Εικόνα 73: Βάσεις ιχνηλάτισης πορείας

### 10.2.3 Inverters

Ο μετατροπέας (inverter), σε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών, αναλαμβάνει τον σημαντικό ρόλο της μετατροπής συνεχούς τάσης (DC) σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Ο inverter είναι ζωτικής σημασίας για το σύστημα, είτε πρόκειται για αυτόνομο σύστημα, είτε για διασυνδεδεμένο στο δίκτυο της ΔΕΗ. Η απόδοση κάθε inverter είναι υψηλή και

κυμαίνεται μεταξύ 93-98% ενώ ανάλογα με την αρμόδια υπηρεσία ηλεκτρισμού της χώρας ρυθμίζονται η τάση, η συχνότητα και η συνολική αρμονική παραμόρφωση. Οι αντιστροφείς χωρίζονται σε:

- Μονοφασικούς, για μεγέθη έως 5KWp.
- Τριφασικούς, για μεγέθη άνω των 5KWp.

Ένας ακόμη διαχωρισμός των αντιστροφέων μπορεί να γίνει με τον τρόπο σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην εγκατάσταση. Πιο συγκεκριμένα χωρίζονται σε:

- Κεντρικούς αντιστροφείς, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Πιο συγκεκριμένα εμφανίζουν επίπεδα ισχύος, από 35-50kW έως και 2 MW. Χαρακτηρίζονται από μικρό αριθμό εισόδων DC και σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πάνελ, οδηγεί στην μεγάλη χρήση καλωδίων DC.
- Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ώστε να γίνει εφικτή η σύνδεση πάνελ με διαφορετική ονομαστική ισχύ, διαφορετικό αριθμό πάνελ που αποτελούν κάθε κλάδο ή διαφορετικό κατασκευαστή.
- Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε φωτοβολταϊκά πλαίσια (micro inverter), οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε κάθε πάνελ ξεχωριστά. Σκοπός είναι να επιτυγχάνουν την βέλτιστη λειτουργία κάθε φωτοβολταϊκού πάνελ. Η χρήση τους περιορίζεται σε μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης και χαμηλή ισχύ.

Στην Εικόνα 74 απεικονίζεται ένας αντιστροφέας τάσης της εταιρίας SMA.



Εικόνα 74: Αντιστροφέας τάσης



### **10.3 Επίδραση εξωγενών παραγόντων στο φωτοβολταϊκά συστήματα**

Όπως είναι γνωστό οι υπολογισμοί που γίνονται σε ιδανικές συνθήκες εργαστηριακά, απέχουν ελαφρώς από τις μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα η εργαστηριακές μετρήσεις λαμβάνονται με δεδομένη ακτινοβολία  $1000\text{W/m}^2$ , θερμοκρασία  $25^\circ\text{C}$  και ταχύτητα ανέμου  $0\text{ m/s}$ , κάτι που στην πραγματικότητα δεν μπορούν να επιτευχθούν. Οι λόγοι που μπορούν να επηρεάσουν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι οι εξής:

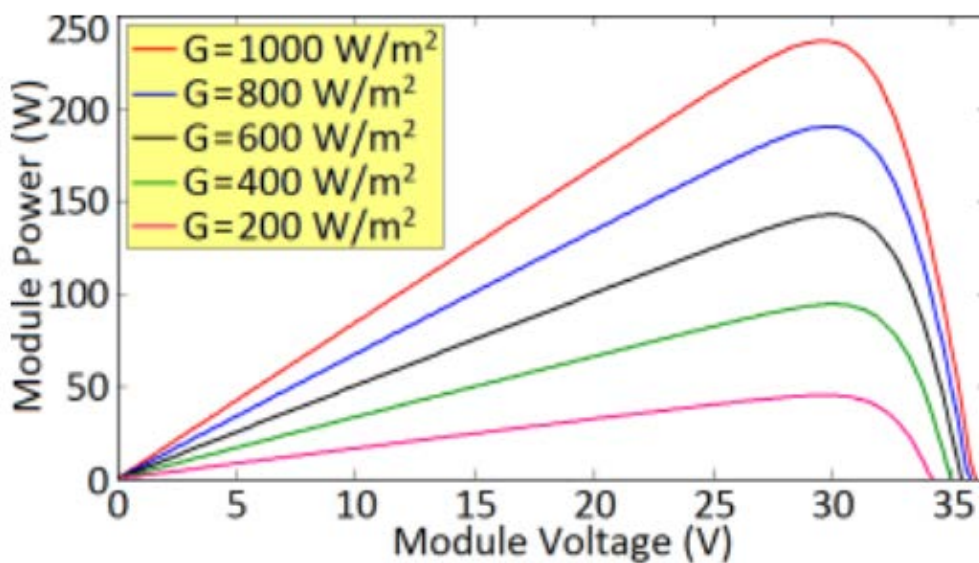
- φθορά υλικών
- μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία
- θερμοκρασία
- σκιασμός
- ρύπανση στο εξωτερικό των πάνελ

#### **10.3.1 Φθορά υλικών**

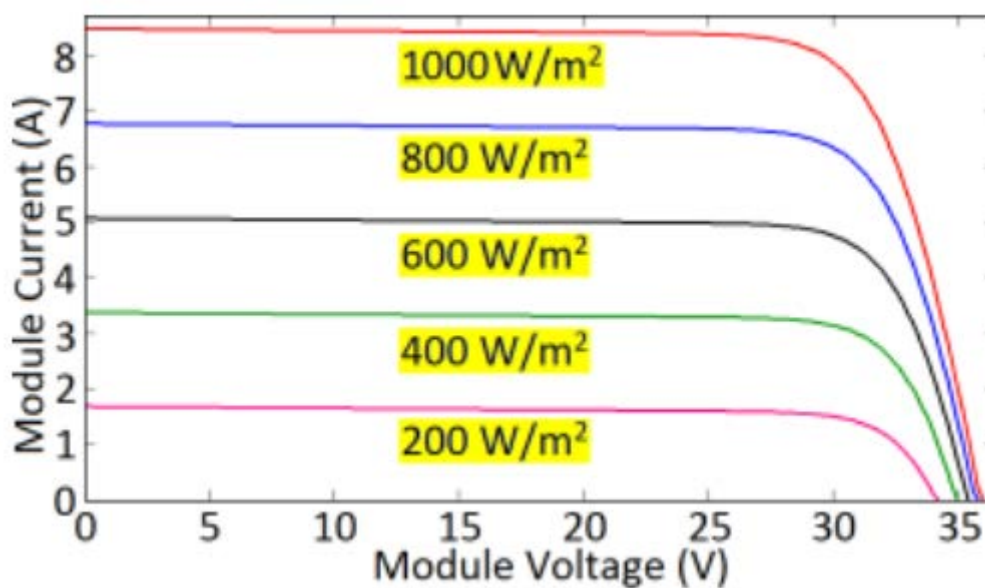
Οι περισσότεροι κατασκευαστές, παρέχουν συνήθως 25ετή εγγύηση λειτουργίας των πάνελ και πρόβλεψη ότι κάθε πάνελ θα παράγει τουλάχιστον το 90% της υπολογισμένης ισχύος για τα 10 πρώτα χρόνια της λειτουργίας τους και περίπου 80% για τα επόμενα 10 με 15 χρόνια. Υπολογίζεται ότι ο ρυθμός της ισχύος που χάνεται λόγω φθορών είναι περίπου της τάξης του 0.5 %/έτος. Τις περισσότερες φορές, οι αστοχία των πάνελ καθώς και οι απώλειες ισχύος οφείλονται στην συνεχή έκθεση σε δυσμενείς καταστάσεις. (Vidyanandan, 2017)

#### **10.3.2 Επίδραση μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας**

Η ένταση της ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας μπορεί να αυξομειωθεί, έχοντας ως αποτέλεσμα την μεταβολή της παραγόμενης ισχύος καθώς και το ρεύματος που παράγεται. Στα ακόλουθα Γραφήματα 4 και 5 διακρίνεται η επίδραση της μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας στις χαρακτηριστικές καμπύλες P-V και I-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Γράφημα 4: Επίδραση της μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας στην παραγόμενη ισχύ.

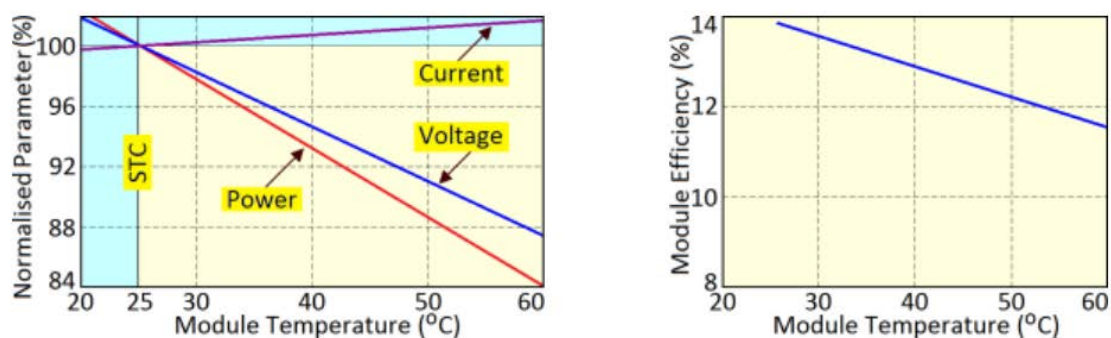


Γράφημα 5: Επίδραση της μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας στο ρεύμα.

Από το Γράφημα 4 παρατηρείται ότι η ισχύς εξόδου κάθε πάνελ είναι ανάλογη με την ηλιακή ακτινοβολία και η μέγιστη τάση  $V_{oc}$  (τάση ανοικτού κυκλώματος) μεταβάλλεται ελαφρώς. Αντίστοιχα από την Γράφημα 5 παρατηρείται, ότι το μέγιστο ρεύμα  $I_{sc}$  (ρεύμα βραχυκύκλωσης) αυξάνεται σημαντικά εφόσον η ακτινοβολία αυξηθεί. (Vidyanandan, 2017)

### 10.3.3 Θερμοκρασία

Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο, όντας ημιαγωγός, είναι ευαίσθητο στη θερμοκρασία. Με τη αύξηση της θερμοκρασίας η απόδοση και η παραγόμενη ισχύς κάθε κελιού μειώνεται. Πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου αυξάνεται με την αύξηση της ακτινοβολίας και την θερμοκρασία του αέρα αλλά μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα. Για ένα τυπικό καλοκαιρινό μεσημέρι, η θερμοκρασία στην επιφάνεια ενός πάνελ μπορεί να αγγίξει και τους 60-65 °C. (Vidyanandan, 2017)



Γράφημα 6: Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρεύμα ,τάση και παραγόμενη ισχύ.

Όπως παρουσιάζεται και στο Γράφημα 6, η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μια μικρή αύξηση το ρεύμα και σε μία μείωση της τάσης με μεγαλύτερο ρυθμό. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα μια μεγάλη μείωση της αποδιδόμενης ισχύος. Γενική παρατήρηση είναι ότι με αύξηση ενός βαθμού Κελσίου συνεπάγεται μια μέση μείωση 0,5% στην απόδοση των τυπικών πάνελ πυριτίου.

Είναι αντιληπτό ότι η μείωση της θερμοκρασίας είναι κομβικής σημασίας και ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την διάρκεια μιας μελέτης. Πιο συγκεκριμένα (Vidyanandan, 2017):

- Να προβλέπεται επαρκές κενό μεταξύ των πάνελ και του εδάφους ή της οροφής, ώστε να επιτρέπεται η συνεχής ροή του αέρα και να επιτυγχάνεται η ψύξη τους.
- Ο χρωματισμός των πάνελ και της κατασκευής στήριξης σε ανοικτά χρώματα μπορεί να μειώσει την απορρόφηση ακτινοβολίας, επομένως και την θερμοκρασία.
- Τα inverter να μην τοποθετούνται κάτω ή σε κοντινή απόσταση.
- Τοποθέτηση ανεμιστήρων.

#### **10.3.4 Σκιασμός (φαινόμενο hot-spot)**

Η σκίαση οδηγεί σε αναντιστοιχίες στα ρεύματα που παράγονται από τις μεμονωμένες κυψέλες. Λόγω ότι τα κελία σε μια μονάδα είναι συνδεδεμένα σε σειρά, εάν ένα κελί είναι σκιασμένο, θα παράγεται πολύ λιγότερο ρεύμα που θα διαρρέει όλα τα κελία. Εάν περισσότερο ρεύμα διοχετευθεί μέσω της σκιασμένης κυψέλης, τότε η συγκεκριμένη κυψέλη θα υπερθερμανθεί και μπορεί να καταστραφεί. (Vidyanandan, 2017)

#### **10.3.5 Ρύπανση στο εξωτερικό των πάνελ**

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε εξωτερικούς χώρους, ευνοεί την δημιουργία μιας στρώσης σκόνης, λάσπης και άλλων υλικών, που επικάθεται στα πάνελ και μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία που μπορούν να προσλάβουν μια ή περισσότερες κυψέλες. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ετήσιες απώλειες που μπορεί και να ξεπερνούν το 17%. Σημαντικό ρόλο παίζει και ο χώρος τοποθέτησης του συστήματος αφού τα πάνελ οροφής έρχονται σε επαφή με λιγότερη σκόνη σε σύγκριση με τα πάνελ που είναι τοποθετημένα στο έδαφος. Επομένως για να μπορέσουμε να αποφύγουμε τις απώλειες ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες που η παραγωγή και η μεταφορά σκόνης είναι αυξημένη θα πρέπει να καθαρίζονται τακτικά με απιονισμένο νερό, ώστε να μην συσσωρευτούν στην επιφάνεια άλατα. (Vidyanandan, 2017)

### **10.4 Μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος με χρήση του λογισμικού Helioscope**

#### **10.4.1 Εισαγωγή**

Η μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος που θα τοποθετηθεί στην ταράτσα του κτιρίου υλοποιήθηκε με το πρόγραμμα Helioscope. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι από τα πλέον διαδομένα στον χώρο της μελέτης των φωτοβολταϊκών αφού παρέχει στον μελετητή, 3D σχεδίαση και εποπτεία του συστήματος, αυτόματες προτάσεις επίλυσης και τοποθέτησης των ηλεκτρικών μερών, βιβλιοθήκη με πάνω από 45000 εξαρτήματα, επικαιροποιημένα μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και δυνατότητα υπολογισμού των σκιάσεων.

Αρχικά με την χρήση του Google Maps εντοπίζεται η οροφή του κτιρίου, στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση. Στην σελίδα Mechanical, γίνεται η οριοθέτηση της οροφής, ώστε να γίνει η εισαγωγή των φωτοβολταϊκών πάνελ. Στην Εικόνα 75 παρουσιάζεται η οροφή του κτιρίου, στην οποία έχει γίνει οριοθέτηση (κίτρινο πλαίσιο).



Εικόνα 75: Οριοθέτηση οροφής κτιρίου (κίτρινο πλαίσιο)

#### 10.4.2 Επιλογή πάνελ

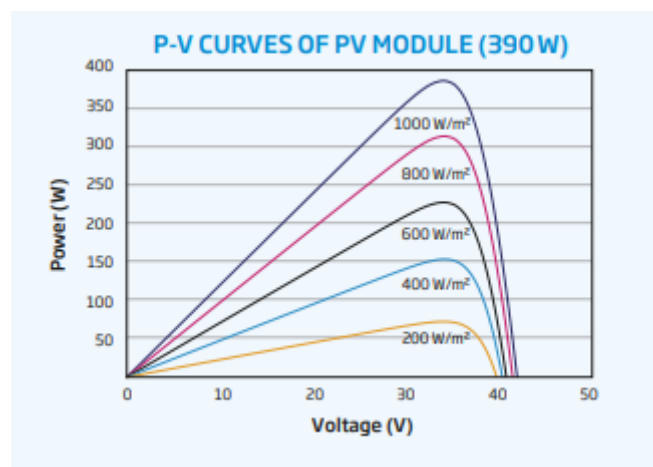
Το πρόγραμμα έχει εγκατεστημένη βιβλιοθήκη με όλα τα νέα αλλά και παλαιότερα μοντέλα φωτοβολταϊκών πάνελ. Η επιλογή των πάνελ έγινε με την χρήση διαφόρων παραμέτρων με κυριότερες την παραγόμενη ισχύ κάθε μονάδας καθώς και με τον διαθέσιμο χώρο. Δεδομένου ότι ο χώρος της ταράτσας, ανέρχεται στα  $1053 \text{ m}^2$ , στόχος είναι να επιλεγθούν πάνελ με καλή απόδοση και μεγάλης ισχύος, ώστε να αυξηθεί η παραγωγή ισχύος ανά  $\text{m}^2$ . Για τους λόγους αυτούς επιλέχθηκαν τα μονοκρυσταλλικά πάνελ της εταιρίας Trina Solar μοντέλου TSM- DE09 400 , με αποδιδόμενη ισχύ σε ιδανικές συνθήκες  $P_{\text{nom}}=400\text{W}$  και μέγιστη τάση εξόδου πάνελ  $V_{\text{mpp}}= 34,2 \text{ V}$ . Ακολουθούν αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πάνελ στην Εικόνα 76 καθώς και η αποδιδόμενη ισχύ του πάνελ ανάλογα την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό, στην Εικόνα 77.

ELECTRICAL DATA (STC)	TSM-380 DE09.05	TSM-385 DE09.05	TSM-390 DE09.05	TSM-395 DE09.05	TSM-400 DE09.05	MECHANICAL DATA
Peak Power Watts- $P_{max}$ (W)*	380	385	390	395	400	Solar Cells
Power Tolerance- $P_{max}$ (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	Monocrystalline
Maximum Power Voltage- $V_{mp}$ (V)	33.4	33.6	33.8	34.0	34.2	No. of cells
Maximum Power Current- $I_{mp}$ (A)	11.38	11.46	11.54	11.62	11.70	1754 × 1096 × 30 mm
Open Circuit Voltage- $V_{oc}$ (V)	40.4	40.6	40.8	41.0	41.2	Weight
Short Circuit Current- $I_{sc}$ (A)	12.00	12.07	12.14	12.21	12.28	21.0 kg
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	19.8	20.0	20.3	20.5	20.8	Glass
						3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
						Encapsulant material
						EVA/PDE
						Backsheet
						Black-White
						Frame
						30 mm Anodized Aluminium Alloy
						J-Box
						IP 68 rated
						Cables
						Photovoltaic Technology Cable 4.0 mm <sup>2</sup> Landscape: 1100/1100 mm Portrait: 280/280 mm*
						Connector
						TS4/MC4 EVO2*

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25 °C, Air Mass AM1.5 \*Measuring tolerance: ±3%

\*Special order only

Εικόνα 76: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ.







Εικόνα 77: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ισχύ του επιλεγμένου πάνελ.



Ακολούθως δηλώνεται ο τύπος της βάσης που θα τοποθετηθούν τα πάνελ, καθώς και ο προσανατολισμός, ο οποίος για την μέγιστη απόδοση πρέπει να έχει κατεύθυνση προς τον Νότο και κλίση 30°. Για το σύστημα του κτιρίου, για λόγους χωροταξικούς ώστε να είναι οι συστοιχίες των φ/β παράλληλες με την οροφή και να μπορέσουν να τοποθετηθούν περισσότερα πάνελ, ο αζιμούθιος προσανατολισμός ορίζεται στις 198°. Στην Εικόνα 78, οι παραπάνω πληροφορίες διοχετεύονται στο λογισμικό του Helioscope.



Design 1 Preferences

Saved < > Showing Array

 Mechanical
 Keepouts
 Electrical
 Advanced

« back to list  

**Field Segment 1**

Modules: 140 (56.0kWp) [\(set max kWp\)](#)

Area: 1,053.1 m<sup>2</sup>

Description

Racking

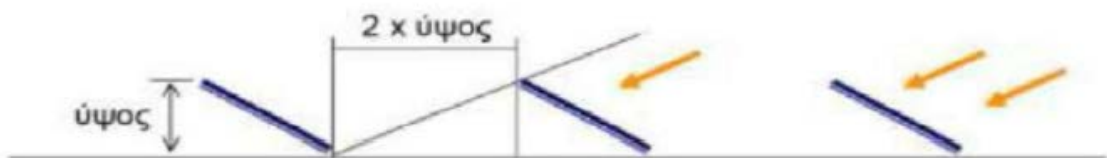
Height  m

Azimuth  °

Tilt  °

Εικόνα 78: Δήλωση μοντέλου πάνελ, ύψος κτιρίου, προσανατολισμό και κλίσης πάνελ

Η απόσταση μεταξύ των σειρών πρέπει να υπολογιστεί από τον μελετητή ώστε να αποφευχθεί η σκίαση των πάνελ από εκείνα της μπροστινής σειράς. Από τον εμπειρικό τύπο οι σειρές πρέπει να απέχουν διπλάσια απόσταση από το ύψος του πάνελ μετά την τοποθέτησή του. Στην Εικόνα 79, παρατίθεται εικονικά ο κανόνας χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών, ώστε να αποφεύγονται οι σκιάσεις.

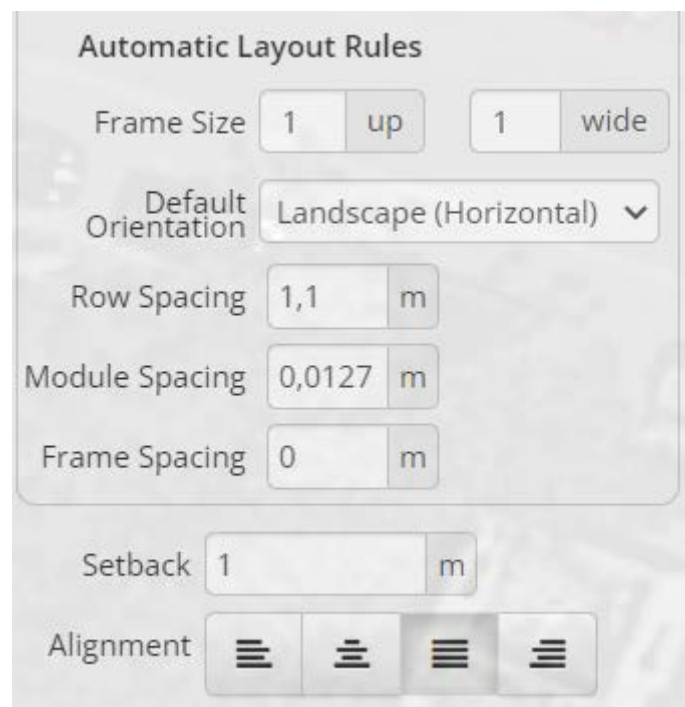


Εικόνα 79: Κανόνας χωροθέτησης φωτοβολταϊκών σειρών

Το κάθε πάνελ έχει διαστάσεις 1754×1096×30 mm και η τοποθέτηση τους θα γίνει με την μεγάλη πλευρά παράλληλη με την οροφή. Επομένως η απόσταση από την κορυφή του πάνελ μέχρι το έδαφος θα είναι:

$$h = 1096 * \sin 30 = 548\text{mm} \quad (10.1)$$

Οπότε η απόσταση κάθε σειράς θα είναι ίση με 1,1 μέτρα ώστε να μην υπάρχει σκίαση τις παραγωγικές ώρες τις ημέρας. Τα πάνελ μεταξύ τους πρέπει να έχουν μια μικρή απόσταση της τάξης του 1cm, ώστε κατά το φαινόμενο της διαστολής το καλοκαίρι να μην υπάρχει επαφή μεταξύ τους, ενώ υποχρεωτικά θα πρέπει να υπάρχει από τα άκρα της ταράτσας απόσταση 1 μέτρου για λόγους ασφαλείας και προσβασιμότητας. Στην Εικόνα 80 δηλώνονται οι πληροφορίες, των αποστάσεων που πρέπει να εφαρμοστούν σε κάθε σειρά πάνελ.



**Automatic Layout Rules**

Frame Size: 1 up 1 wide

Default Orientation: Landscape (Horizontal) ▼

Row Spacing: 1,1 m

Module Spacing: 0,0127 m

Frame Spacing: 0 m

Setback: 1 m

Alignment: [Icon 1] [Icon 2] [Icon 3] [Icon 4]

Εικόνα 80: Δήλωση αποστάσεων φωτοβολταϊκών πάνελ



### 10.4.3 Σκιασμοί

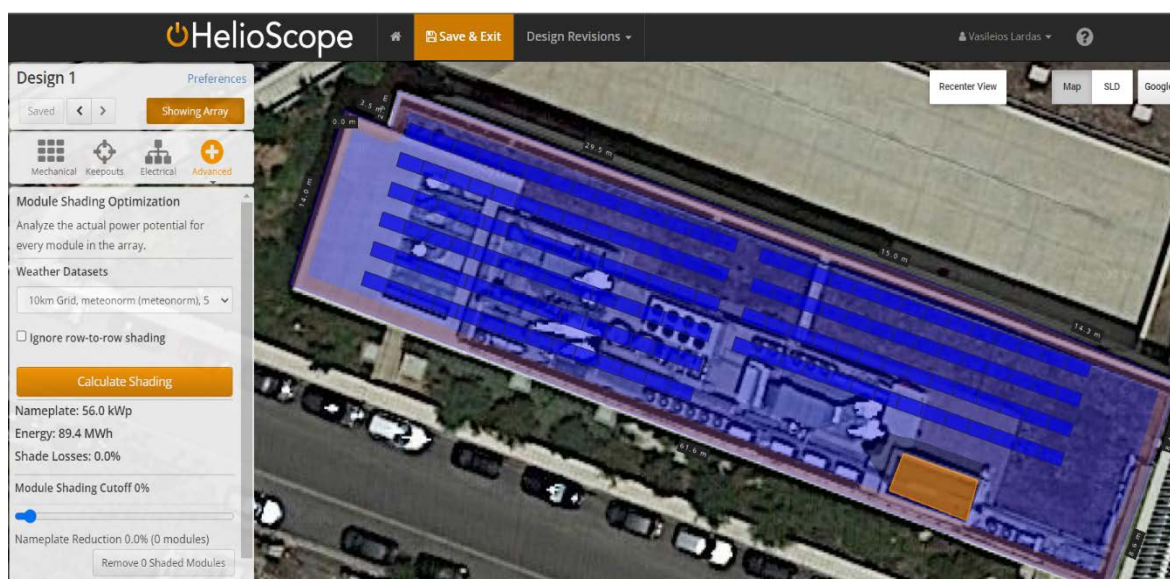
Στην καρτέλα Keerout, το πρόγραμμα δημιουργεί αντικείμενα, τα οποία υπάρχουν ήδη στο κτίριο (δώμα, καμινάδες) ή εξωτερικά εμπόδια όπως δέντρα ή άλλα κτίρια και μπορούν να προκαλέσουν σκίαση. Πιο συγκεκριμένα στην οροφή μας υπάρχει το δώμα, το οποίο έχει ύψος 2 μέτρα και πλάτος 5,7 μέτρα. Για να γίνει σωστά ο υπολογισμός και για να μην τοποθετηθούν πάνελ στο σημείο που δημιουργείται σκίαση, πρέπει να οροθετηθούν τα εμπόδια στο σχέδιο και να οριστεί το ύψος τους. Όπως φαίνεται και στη Εικόνα 81, με πορτοκαλί χρώμα γίνεται η χάραξη του δώματος, ώστε να εξαιρεθεί από τον διαθέσιμο χώρο της εγκατάστασης.



Εικόνα 81: Οριοθέτηση του δώματος (πορτοκαλί) που θεωρείται εμπόδιο σκίασης.

Στην καρτέλα Advanced, υπάρχει η επιλογή να γίνει υπολογισμός των σκιασμών κάθε πάνελ σε ετήσια βάση. Χάρη στον υπολογισμό αυτό, ο μελετητής μπορεί να διακρίνει, ποια πάνελ σκιάζονται, ώστε να τα απομακρύνει ή να κάνει άλλη χωροθέτηση. Τα σκιασμένα πάνελ εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα μετά το πέρας του υπολογισμού. Για την εγκατάστασή μας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 82, όλα τα πάνελ παραμένουν ασκίαστα,

διότι περιμετρικά του κτιρίου δεν υπάρχουν μεγάλα κτίσματα που να δημιουργούν σκίαση και η τοποθέτηση των σειρών έγινε σε κατάλληλη απόσταση.



Εικόνα 82: Υπολογισμός σκίασης πάνελ

#### 10.4.4 Επιλογή inverter

Συνολικά τοποθετήθηκαν 140 modules με παραγόμενη ονομαστική ισχύ 56 KWp, πρέπει να γίνει η επιλογή των κατάλληλων αντιστροφέων (inverters). Θα χρησιμοποιηθούν συνολικά 5 inverter της εταιρίας Huawei και μοντέλο SUN2000-10KTL-M2. Τα συγκεκριμένα inverter έχουν 4 εισόδους ενώ περιέχουν 2 trackers MPP (Maximum Power Point). Το συγκεκριμένο κύκλωμα απαντάται στους περισσότερους σύγχρονους αντιστροφείς, επειδή η λειτουργία του μεγιστοποιεί την διαθέσιμη ενέργεια από τις συνδεδεμένες συστοιχίες πάνελ, για κάθε χρονική στιγμή της ημέρας. Αναλυτικότερα, το σύστημα MPPT, παρακολουθεί συνεχώς την τάση και το ρεύμα που παράγεται από κάθε συστοιχία και με μεταβολή της αντίστασης προσπαθεί, ώστε ο inverter να λειτουργεί συνεχώς στο σημείο μέγιστης ισχύος και να επιτυγχάνεται η υψηλότερη δυνατή συγκομιδή ανάλογα πάντα με την διαθέσιμη ακτινοβολία.

Τα inverter που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση της παρούσας διπλωματικής, περιέχουν 2 trackers MPP, χάρη στους οποίους:

- Επιτρέπεται η σύνδεση συστοιχιών με διαφορετικές γωνιές ηλιακού αζιμούθιου

- Επιτρέπεται η σύνδεση συστοιχιών με διαφορετικού τύπου πάνελ
- Επιτρέπεται η κάθε σειρά πάνελ να έχει διαφορετική κλίση καθώς και διαφορετικό αριθμό πάνελ
- Δίνεται η δυνατότητα για καλύτερο έλεγχο του συστήματος για βλάβες καθώς και δεν επηρεάζεται όλο το σύστημα από αυτές, πάρα μόνο η σειρά, που εντοπίζεται το πρόβλημα.

Επομένως η εγκατάσταση στο κτίριο μελέτης, γίνεται ευέλικτη και μπορεί να συλλέξει μεγαλύτερα επίπεδα ηλιακής ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος. Συνολικά, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 83, θα εγκατασταθούν 5 inverter, συνολικής ισχύος 10kW και σε αυτούς θα συνδεθούν 2 σειρές των 14 πάνελ σε κάθε είσοδο, με κάθε MMPT να επιτηρεί κάθε σειρά.



Εικόνα 83: Τοποθέτηση inverter στην οροφή του κτιρίου

Τα 28 πάνελ που θα συνδεθούν στον αντιστροφέα, έχουν την δυνατότητα να παράγουν 11,2 kW, ποσό μεγαλύτερο από την ονομαστική ισχύ του αντιστροφέα που ανέρχεται στα 10 kW. Με την συγκεκριμένη διαστασιολόγηση, μειώνονται τα κόστη από την χρήση

μικρότερης ισχύος inverter και παράλληλα αποφεύγονται οι απώλειες, διότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ στις εξωτερικές συνθήκες έχουν παραγωγή ισχύος αρκετά μικρότερη της αναγραφόμενης. Γενικά η αναλογία της ισχύος συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τα πάνελ προς της ισχύος του εναλλασσόμενου ρεύματός, μπορεί να οριστεί έως και 1.25, χωρίς να υπάρξουν απώλειες. Στην εγκατάσταση μας η συγκεκριμένη αναλογία ορίζεται ίση με 1.12 .

#### **10.4.5 Επιλογή καλωδίων AC / DC για την εγκατάσταση**

Για μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, η επιλογή των καλωδίων είναι υψίστης σημασίας, ώστε να επιτυγχάνεται η μεταφορά του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, χωρίς απώλειες. Το φωτοβολταϊκό σύστημα χωρίζεται σε 2 μέρη:

- Την πλευρά που συνδέονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μεταξύ τους μέχρι τις εισόδους των inverter, όπου το ρεύμα είναι συνεχές (DC).
- Την πλευρά που συνδέονται οι έξοδοι των inverter με το δίκτυο, όπου το ρεύμα έχει μετατραπεί σε εναλλασσόμενο (AC).

Συνεπώς απαιτείται ξεχωριστή μελέτη για κάθε πλευρά, ώστε να γίνει η επιλογή του κατάλληλου καλωδίου. Για την επιλογή πρέπει να ληφθεί υπόψη τα παρακάτω:

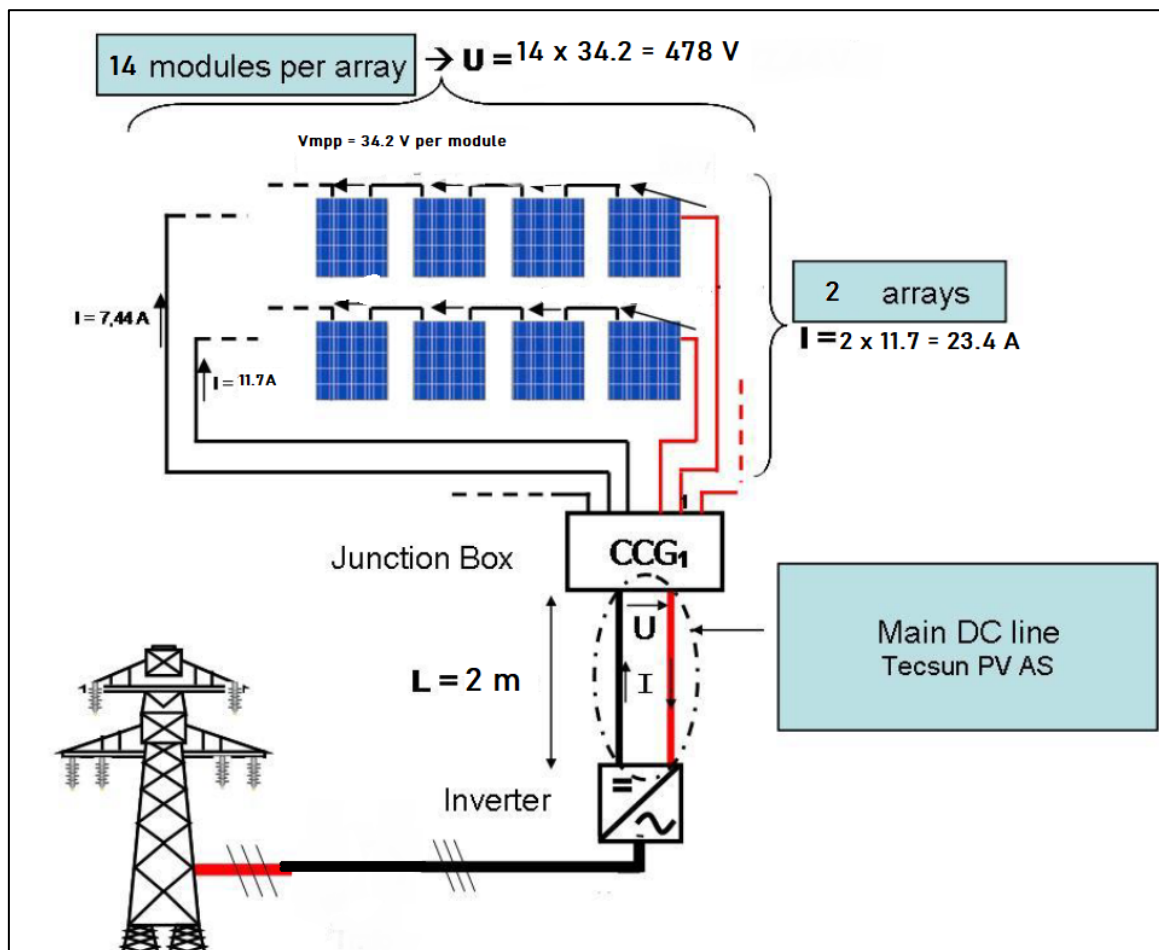
- Όλα τα καλώδια πρέπει να έχουν το απαραίτητο μέγεθος για να ικανοποιούν το μέγιστο ρεύμα.
- Η πτώση τάσης μεταξύ των με το σημείο σύνδεσης του δικτύου να μην υπερβαίνει το 2% της τάσης εξόδου.
- Η πτώση τάσης μεταξύ των πάνελ και της εισόδου του να μην υπερβαίνει το 1,5% της τάσης εξόδου (Maillo, 2013).

##### **10.4.5.1 DC καλωδίωση**

Η σύνδεση των πάνελ, καθώς και άλλων εξαρτημάτων, μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης γίνεται με ειδικά καλώδια που ονομάζονται solar cables. Τα συγκεκριμένα καλώδια αποτελούνται από αρκετούς μονωμένους αγωγούς, οι οποίοι περιβάλλονται από εξωτερικό περίβλημα. Για τον λόγο ότι η εγκατάσταση βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο, είναι



κατασκευασμένα να αντέχουν υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή υπεριώδη ακτινοβολία καθώς και αντίξοες καιρικές συνθήκες. Επίσης έχουν αντοχή σε τάση 600VDC, τάση που τα απλά καλώδια δεν μπορούν να διαχειριστούν. Ο κατασκευαστής των φωτοβολταϊκών πλαισίων, που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση, συστήνει την χρήση καλωδίου PV1-F\*4mm<sup>2</sup>. Τα συγκεκριμένα καλώδια μέσω ενός combiner box (CCG1), συνδυάζονται σε μία έξοδο, η οποία θα διοχετευτεί στην είσοδο του inverter. Η επιλογή του κεντρικού DC καλωδίου πρέπει να εξεταστεί διεξοδικά, αφού όλη η ενέργεια που παράγεται από τις συστοιχίες διέρχεται από τον συγκεκριμένο αγωγό. Η αναπαράσταση του συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 84.



Εικόνα 84: Σχηματική αναπαράσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

Για μία μεμονωμένη συστοιχία, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, είναι συνδεδεμένα στην σειρά, οπότε η συνολική τάση που φτάνει στο κουτί διακλάδωσης είναι:

$$V = V_{mp} * 14 = 478 \text{ V} \quad (10.2)$$

Το συνολικό ρεύμα που διέρχεται από το κουτί διακλάδωσης είναι το άθροισμα των μεμονωμένων ρευμάτων κάθε σειράς. Κάθε κουτί διακλάδωσης θα είναι συνδεδεμένο με 2 συστοιχίες, οπότε συνεπάγεται:

$$I = I_{mp} * 2 = 11,7 * 2 = 22,7 \text{ A} \quad (10.3)$$

Για λόγους ασφάλειας και σε περίπτωση που χρειαστεί να προστεθούν στην γραμμή επιπλέον φορτία, ο υπολογισμός του καλωδίου, πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη ότι το μέγιστο ρεύμα θα είναι αυξημένο κατά 25%. Επίσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ένας συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας, εφόσον στην εγκατάσταση θα ξεπεραστεί η θερμοκρασία των 40 βαθμών Κελσίου. Αναλυτικότερα, από τον Πίνακα 22 για θερμοκρασία άνω των 50 °C ο συντελεστής διόρθωσης είναι 0,82. (Maillo, 2013)

Πίνακας 22: Συντελεστές διόρθωσης (f<sub>θ</sub>) για θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30°C:

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Επομένως το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα:

$$I' = 1,25 * 22,7 / (0,82) = 34,6 \text{ A} \quad (10.4)$$

Με βάση το παραπάνω αποτέλεσμα θα ανατρέξουμε τον Πίνακα 23 ώστε να βρεθεί η κατάλληλη διατομή. Το καλώδιο όντας ελεύθερο στον εξωτερικό χώρο, θα επιλεγεί η κατηγορία F και μόνωση XLPE2 που χρησιμοποιείται συχνά σε τέτοιου είδους καλώδια. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ελάχιστη διατομή του καλωδίου θα είναι 2,5mm<sup>2</sup>.

Πίνακας 23: Πίνακας υπολογισμού μέγεθος αγωγού με βάση το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα

Conductor numbers with types of insulation													
A1			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
A2		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
B1					PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2			
B2				PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
C						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
E							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
F								PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
Required cross section													
Cu	mm <sup>2</sup>	Maximum current after temperature correction (A)											
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	25
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	34
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	46
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	48	57	59
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	82
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	110
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
	35	72	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
	50	86	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
	70	109	118	130	149	160	171	185	199	214	224	244	269
	95	130	143	156	180	194	207	224	241	259	271	296	327
	120	150	164	188	208	225	240	260	280	301	314	348	380
	150	171	188	205	236	260	278	299	322	343	363	404	438
	185	194	213	233	268	297	317	341	368	391	415	464	500
	240	227	249	272	315	350	374	401	435	468	490	552	590
	300	259	285	311	360	396	423	481	525	565	630	674	713

Για να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της διατομής του καλωδίου πρέπει να ικανοποιείται και η δεύτερη απαίτηση που είναι η πτώση τάσης να μη ξεπερνά το 1.5%. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, θα θεωρηθεί ότι η πτώση τάσης στο κεντρικό καλώδιο DC θα είναι της τάξης του 1% και στα υπόλοιπα καλώδια περίπου 0,5%. Σε αυτή την περίπτωση, από τον τύπο της πτώσης τάσης θα υπολογιστεί η διατομή του καλωδίου:

$$A = \frac{2 \cdot L \cdot I}{V_d \cdot \gamma} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 22,7}{4,78 \cdot 46,82} = 1,014 \text{ mm}^2 \quad (10.5)$$

Για να ικανοποιηθούν και οι δυο απαιτήσεις το καλώδιο, που θα εξέρχεται από τον κουτί διακλάδωσης και θα οδεύει προς την είσοδο του αντιστροφέα, θα έχει διατομή 2,5mm<sup>2</sup>.

#### 10.4.5.2 AC καλωδίωση

Τα AC καλώδια διασυνδέουν την έξοδο του inverter με τα διακοπτικά μέσα ασφαλείας και στην συνέχεια με το δίκτυο του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας. Για τα μικρότερα φωτοβολταϊκά συστήματα με τριφασικούς αντιστροφέας, η σύνδεση στο δίκτυο μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα πενταπολικό καλώδιο. Στα 3 καλώδια θα μοιραστούν οι φάσεις (καφέ, μαύρο, γκρι) , ένα καλώδιο θα είναι ο ουδέτερος (μπλε) και ένα καλώδιο θα είναι η γείωση (πράσινο-κίτρινο).

Για να υπολογιστεί η διατομή του καλωδίου που θα οδεύει από τα inverter μέχρι το σημείο σύνδεσης του παρόχου, θα ληφθεί αρχικά υπόψη, ο τύπος του inverter καθώς και η ονομαστική ισχύς του. Ο κάθε αντιστροφέας, που χρησιμοποιείται για την σύνδεση των δυο σειρών πάνελ, έχει στην έξοδο του ισχύ 10000W. Όντας τριφασικός, η κατανομή της ισχύος θα γίνεται στις 3 φάσεις άρα  $10000/3 = 3333,3 \text{ kVA}$ . Η μέγιστη εμφανιζόμενη ένταση ανά φάση θα είναι  $3333/230 = 14,5 \text{ A}$ .

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να υπολογισθεί το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα καλωδίου, που θα προκύψει μετά τη προσθήκη των συντελεστών διόρθωσης. Ο αγωγός που αναχωρεί από τον inverter και φτάνει στο σημείο σύνδεσης, με το δίκτυο θα είναι τοποθετημένος μέσα σε σωλήνα, άρα από τον πίνακα μεγίστων επιτρεπόμενων ρευμάτων (I<sub>r</sub> σε A) εντοιχισμένων (χωνευτών) και επιτυχιών (ορατών) ηλεκτρικών γραμμών, θα επιλεγεί η διατομή του καλωδίου. Για την θερμοκρασία περιβάλλοντος θα οριστούν οι



50 βαθμοί Κελσίου, άρα για PVC καλώδιο ο συντελεστής διόρθωσης  $f_{\theta}$  θα είναι 0,71. Τέλος, λόγω του ότι θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο 5πολικό θα ληφθεί υπόψη ο συντελεστής διόρθωσης  $f_n$  ίσος με 0,60.

Ο συνολικός συντελεστής διόρθωσης θα είναι  $0,71 \cdot 1 \cdot 0,60 = 0,426$

Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα καλωδίου είναι  $14,5/0,42 = 34,5 \text{ A}$ , άρα μέσα από τον Πίνακα 24 θα υπολογιστεί η διατομή του καλωδίου κάθε φάσης που θα είναι  $10 \text{ mm}^2$ .

Πίνακας 24: Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα ( $I_r$  σε A) εντοιχισμένων (χωνευτών) και επιτοιχείων (ορατών) ηλεκτρικών γραμμών

Μόνωση	Πλήθος φορτιζόμενων αγωγών	Οι αριθμοί παραπέμπουν στις στήλες που ακολουθούν								
		Μονωμένοι αγωγοί σε σωλήνα		Πολυπολικό καλώδιο						
		NYA,H07V-U,H07V-R		NYM,NYBUY,NYIF						
				Γυμνό		Σε σωλήνα				
		Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο			
PVC	2	3	5	3	6	2	4			
	3	2	4	2	5	1	3			
EPR ή XLPE	2	5	9	6	9	5	8			
	3	5	7	5	8	4	6			
Στήλες										
Χαλκός	mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1.5	13	13.5	14.5	15.5	17	19	20	22	23
	2.5	17.5	18	19.5	21	23	26	28	30	31
	4	23	24	26	28	31	35	37	40	42
	6	29	31	34	36	40	44	48	51	54
	10	38	42	46	50	54	60	66	69	75
	16	52	56	61	68	73	80	88	91	100
	25	68	73	80	89	95	105	117	119	133
	35	83	89	99	109	117	128	144	146	164
	50	99	108	118	130	141	154	175	175	198
	70	125	136	149	164	179	194	222	221	253

Για να επιβεβαιώσουμε ότι η συγκεκριμένη τιμή είναι αποδεκτή θα πρέπει να υπολογίσουμε και την πτώση τάσης πάνω στο καλώδιο.

Ο τύπος για την πτώση τάσης για τριφασικό σύστημα είναι:

$$\Delta V = \sqrt{3} * \left( \frac{L * I}{K * A} \right) \quad (10.5)$$

Θέτοντας :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V \pi} \quad (10.6)$$

όπου P η τριφασική ισχύς και Vπ η πολική τάση, προκύπτει ότι

$$\Delta V = \frac{L * P}{K * A * V \pi} = \frac{L * P}{K * A * \sqrt{3} * V \varphi} \quad (10.7)$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές:

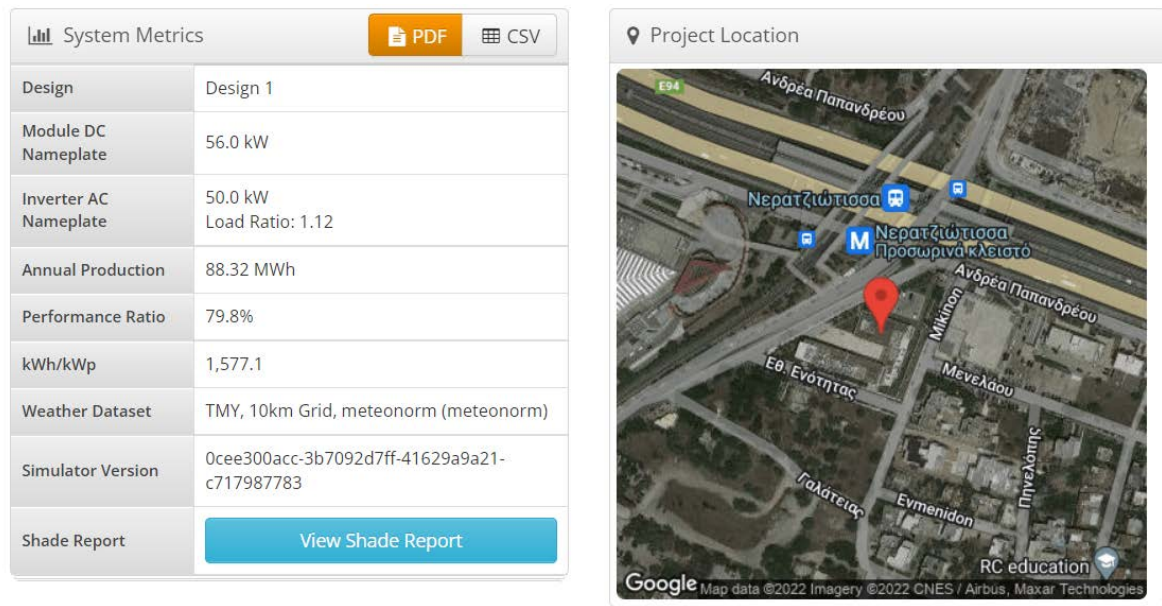
L = 30m, P = 10000W, K = 56m/ Ω mm<sup>2</sup>, A = 10mm<sup>2</sup> και Vφ = 230 V υπολογίζεται ότι:

$$\Delta V = 1,34 \text{ V ή } \Delta V = 0.58\% \quad (10.8)$$

Η παραπάνω τιμή είναι επιτρεπτή αφού είναι κάτω του 2%, άρα η διατομή του καλωδίου για να συνδεθεί ο κάθε αντιστροφέας με το δίκτυο του παρόχου θα είναι 10mm<sup>2</sup>.

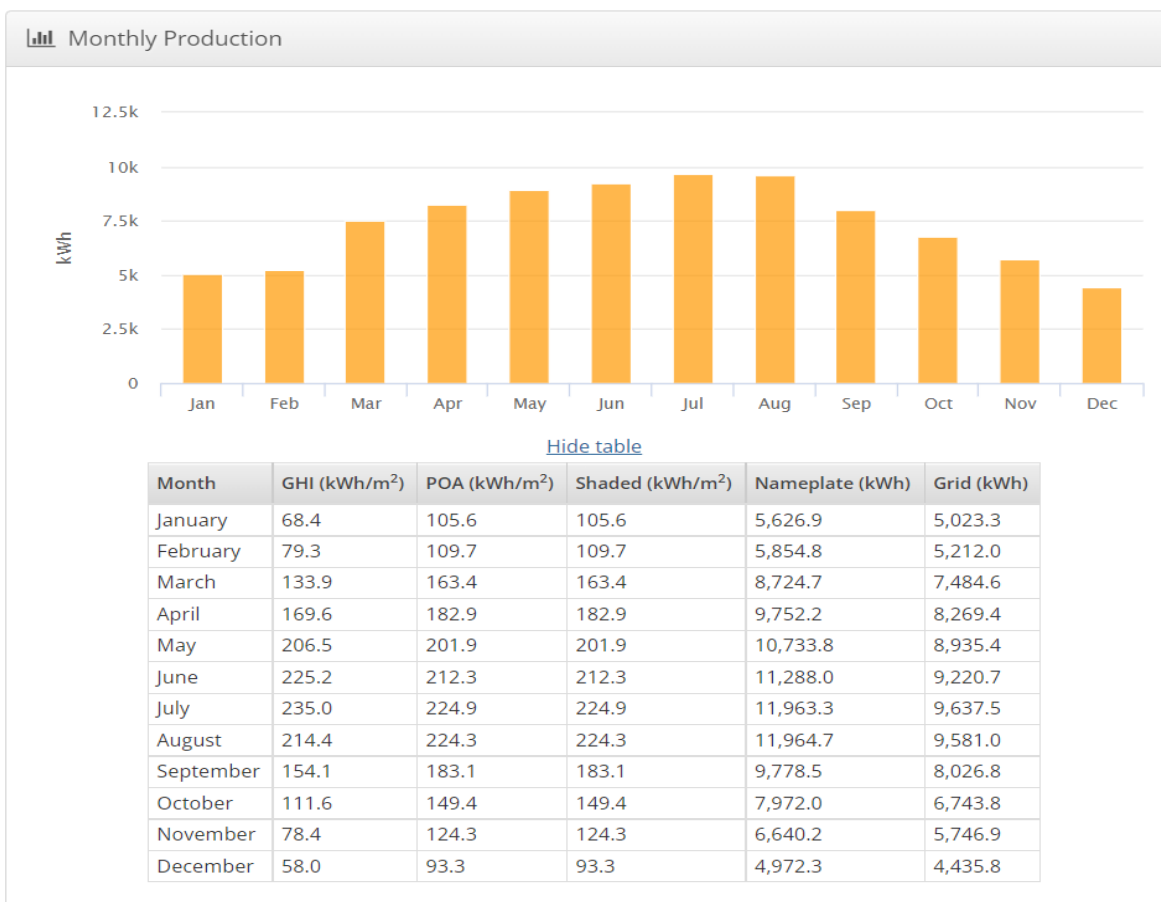
#### 10.4.6 Αποτελέσματα

Αφού ολοκληρωθεί και η τοποθέτηση των inverter το πρόγραμμα αυτόματα θα υπολογίσει την παραγόμενη ισχύ καθώς και τις απώλειες του συστήματος που δημιουργήθηκε. Αρχικά το πρόγραμμα μας παρουσιάζει γενικές πληροφορίες του συστήματος μας, όπως την συνολική ισχύ των πάνελ και των inverter, την ετήσια παραγωγή σε MWh, την απόδοση του συστήματος και την αναλογία της πρωτογενούς ενέργειας που παράγεται προς την ονομαστική ενέργεια DC που έχουν τα πάνελ. Αναλυτικότερα το σύστημα, όπως προαναφέρθηκε, έχει εγκατεστημένη ισχύ πάνελ ίση με 56kW και η συνολική ονομαστική ισχύς των αντιστροφέων ισούται με 50kW. Η ετήσια παραγωγή, θα είναι 88,32 MWh, ενώ η απόδοση του συστήματος αγγίζει το 80%. Ακολουθεί η Εικόνα 85, η οποία περιέχει τις παραπάνω γενικές πληροφορίες.



Εικόνα 85: Γενικές πληροφορίες συστήματος

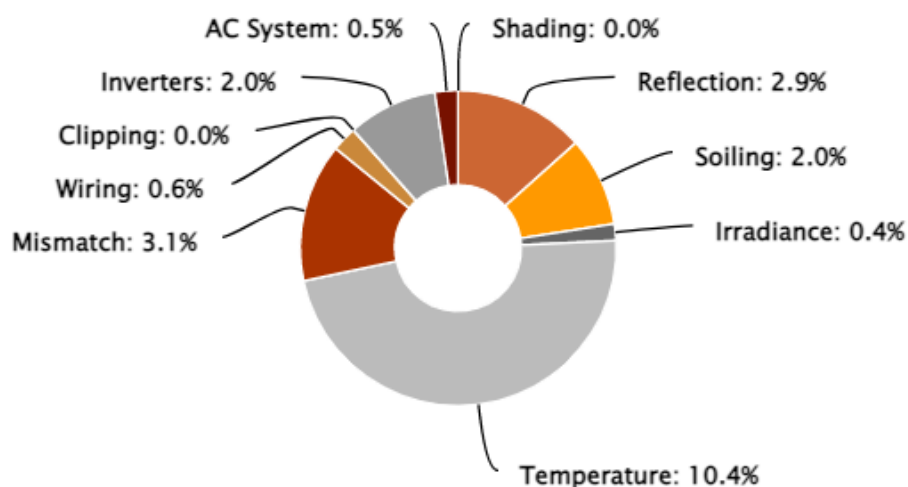
Στην Εικόνα 86, διακρίνεται η μηνιαία παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς και πληροφορίες για την ενέργεια που θα παρήγαγε το σύστημα με ή χωρίς σκίαση και πόση ενέργεια θα παρήγαγαν τα πλαίσια εάν ίσχυαν οι ονομαστικές τους τιμές στις εξωτερικές συνθήκες.



Εικόνα 86: Μηνιαία παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος

Αναλύοντας την Εικόνα 86, παρατηρείται ότι τους 4 θερινούς μήνες (Μάιος- Αύγουστος) παράγεται σχεδόν το 50% της ετήσιας παραγωγής των φωτοβολταϊκών. Η μηνιαία παραγωγή εκείνους τους μήνες ανέρχεται περίπου στα 9.500kWh, παραγωγή που ισοδυναμεί με 316 kWh ημερησίως. Εξαιτίας της καλής τοποθέτησης των σειρών, και του γεγονότος ότι απέναντι από το κτίριο δεν υπάρχει κάποιο άλλο κτίσμα, η παραγωγή δεν επηρεάζεται από σκιασμό και η ισχύς δεν μεταβάλλεται. Το πιο ενδιαφέρον στατιστικό παρατηρείται στην διάφορά της παραγόμενης ισχύος σε σχέση με την ονομαστική. Με την ονομαστική ισχύ των πάνελ το σύστημα θα παρήγαγε περίπου 20% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια τους θερινούς μήνες, όπου επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ενώ τους χειμερινούς μήνες η συγκεκριμένη διαφορά στην παραγωγή μειώνεται στο 5%. Με βάση τα παραπάνω είναι αντιληπτό ότι η απώλειες διαδραματίζουν πολύ μεγάλο ρόλο στο φωτοβολταϊκό σύστημα.

### ❶ Sources of System Loss



Εικόνα 87: Λόγοι απωλειών συστήματος

Οι λόγοι από τους οποίους υπάρχουν απώλειες στο φωτοβολταϊκό σύστημα, υπολογίζονται αναλυτικά στην Εικόνα 87. Οι υψηλές θερμοκρασίες, είναι συνολικά υπεύθυνες για την απώλεια 10,4% της παραγόμενης ονομαστικής ισχύος του συνόλου των πάνελ, ενώ 3% οφείλεται στις αντανakλάσεις των ακτινών του ηλίου που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η απώλειες κατά την λειτουργία των inverter ανέρχονται στο 2%, 3,7% της παραγόμενης ισχύος, αφαιρείται από τις απώλειες των καλωδίων και της αναντιστοιχίας που έχουν τα πάνελ με τους αντιστροφείς που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ 0,5 % της παραγόμενης ισχύος χάνεται κατά την εισαγωγή της ενέργειας στο δίκτυο AC του ΔΕΔΔΗΕ. Συνολικά οι απώλειες του συστήματος ανέρχονται στο 17% της ονομαστικής ισχύς των πάνελ, καταλήγοντας στη ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των 88,32MWh, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 88.

⚡ Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> )	Annual Global Horizontal Irradiance	1,734.4	
	POA Irradiance	1,975.1	13.9%
	Shaded Irradiance	1,975.1	0.0%
	Irradiance after Reflection	1,917.4	-2.9%
	Irradiance after Soiling	1,879.0	-2.0%
	<b>Total Collector Irradiance</b>	<b>1,879.0</b>	<b>0.0%</b>
Energy (kWh)	Nameplate	105,271.4	
	Output at Irradiance Levels	104,883.2	-0.4%
	Output at Cell Temperature Derate	94,021.1	-10.4%
	Output After Mismatch	91,100.8	-3.1%
	Optimal DC Output	90,590.2	-0.6%
	Constrained DC Output	90,588.3	0.0%
	Inverter Output	88,776.6	-2.0%
	<b>Energy to Grid</b>	<b>88,317.4</b>	<b>-0.5%</b>

Εικόνα 88: Ετήσια παραγωγή συστήματος

## 10.5 Επίδραση φωτοβολταϊκού συστήματος στην ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου μελέτης

Προκειμένου να διαπιστωθεί η συνεισφορά του φωτοβολταϊκού συστήματος στην ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου και πως επηρεάστηκαν οι πρωτογενείς καταναλώσεις ενέργειας, πρέπει να διοχετευτούν οι λεπτομέρειες που εξετάσθηκαν στο κεφάλαιο 9.4, και στα 3 σενάρια του κεφαλαίου 7. Πιο συγκεκριμένα οι πληροφορίες που πρέπει να περαστούν στο λογισμικό του TEE- KENAK είναι:

- Τι είδους πάνελ χρησιμοποιούνται στο σύστημα (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό).
- Συντελεστής απόδοσης κάθε πάνελ.
- Συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα πλαίσια.
- Συντελεστής σκίασης (1 ασκίαστο, 0 σκιασμένο)
- Κλίση πάνελ
- Προσανατολισμός πάνελ

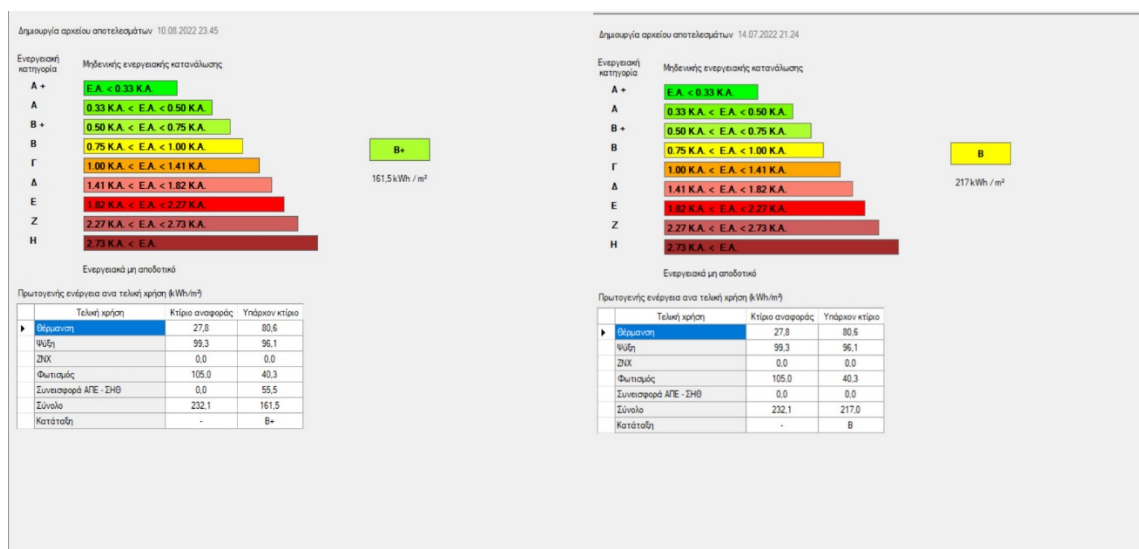
- Εάν γίνεται αποθήκευση της ενέργειας ή αποστέλλεται στο δίκτυο του παρόχου με την χρήση του net-metering. Με τον όρο net metering, νοείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης ενέργειας από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών με την ενέργεια που καταναλώνεται από το κτίριο, στο οποίο βρίσκεται η εγκατάσταση. Ουσιαστικά ο καταναλωτής χρησιμοποιεί το δίκτυο του παρόχου ώστε να αποθηκεύει άυλα την ενέργεια που παράγει, με αντάλλαγμα να αφαιρείται, από τον λογαριασμό του, το κόστος της ενέργειας που ανταπέδωσε το φωτοβολταϊκό σύστημα. Ο ΔΕΔΔΗΕ έχει θέσει αυστηρά όρια, σχετικά με την ισχύ κάθε σταθμού παραγωγής που μπορεί να εισαχθεί στο διασυνδεδεμένο σύστημα, περιορίζοντας την παραγόμενη ισχύ των συστημάτων στα 20kW, και μέχρι το 50% της συμφωνημένης ισχύος σε περίπτωση που το σύστημα μας υπερβαίνει τα 20kW. Παρόλα αυτά, όταν υπάρχει τριφασική παροχή ΧΤ, η μέγιστη ισχύς εγκατάστασης που μπορεί να συνδεθεί είναι τα 100kW.

Στην Εικόνα 89 παρατίθεται συμπληρωμένη η καρτέλα του συστήματος φωτοβολταϊκών στο TEE-KENAK.

	Τύπος	Συν. Α. (-)	Επιφάνεια (m²)	Ισχύς (kW)	γ (deg)	β (deg)	F_s (-)	Σύνδεση
▶	Πολυκρυσταλλικό	0.2	270	56	198	30	1.0	Με συμψηφισμό
*							1	

Εικόνα 89: Δήλωση στοιχείων φωτοβολταϊκού συστήματος

## 10.5.1 Φωτοβολταϊκά σενάριο 1

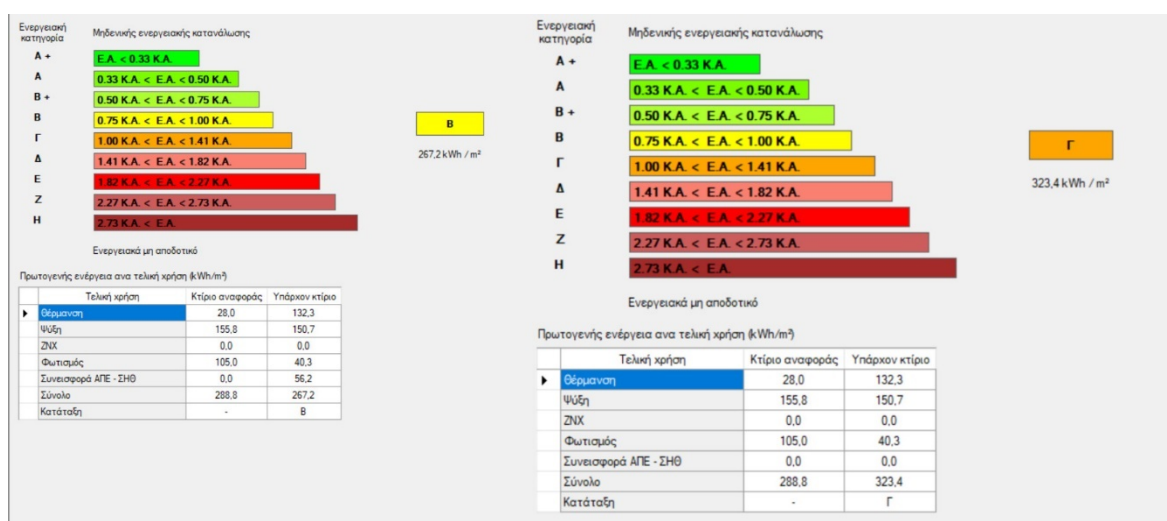


Εικόνα 90: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 1 με την χρήση φωτοβολταϊκών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά)

Μετά την τοποθέτηση της ενσωματωμένης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στο κτίριο μελέτης, η ενεργειακή του κατηγορία ανέβηκε μια μονάδα φτάνοντας την κλάση B+, όπως φαίνεται στην Εικόνα 90. Όπως είναι κατανοητό το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν επιδρά σε κάποιο από τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού αλλά όντας διασυνδεδεμένο με συμψηφισμό υπάρχει μείωση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, περίπου 55 kWh ανά τ.μ. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται το ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου και ταυτόχρονα εξοικονομούνται, χρήματα αφού το 50% της ενέργειας που θα παράγεται από τα φωτοβολταϊκά θα αφαιρείται από τις καταναλώσεις του κτιρίου.



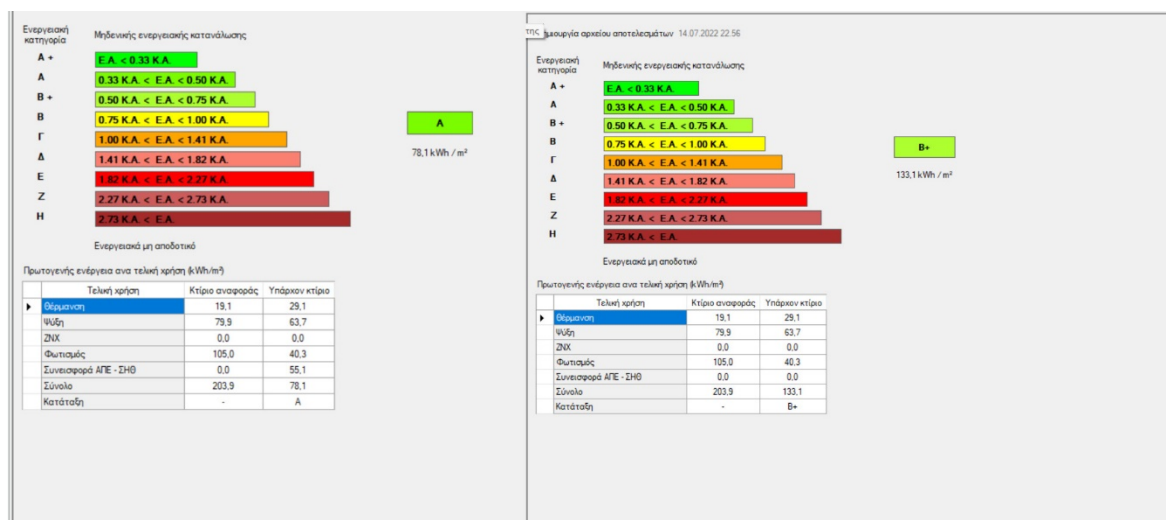
## 10.5.2 Φωτοβολταϊκά σενάριο 2



Εικόνα 91: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 2 με την χρήση φωτοβολταϊκών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά).

Το κτίριο με τοποθετημένα τα συστήματα του σεναρίου 2 και μετά την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκών πάνελ, ανέβηκε και αυτό μια ενεργειακή κατηγορία φτάνοντας έτσι την κατηγορία B που απαιτεί ο ΚΕΝΑΚ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 90. Γίνεται, έτσι αντιληπτό ότι η τοποθέτηση ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να βοηθήσει ένα κτίριο, που περιέχει συστήματα με αυξημένες καταναλώσεις, να εξοικονομήσει σημαντικά ποσά ενέργειας. Εάν δε, δημιουργηθεί ένα υβριδικό σύστημα με την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκών και την χρήση αυτοματισμών που μελετήθηκαν στο κεφάλαιο 8, μπορεί, ανεξαρτήτως συστημάτων κλιματισμού και φωτισμού, να δημιουργηθούν κτίρια μηδενικών καταναλώσεων ενέργειας.

### 10.5.3 Φωτοβολταϊκά σενάριο 3



Εικόνα 92: Ενεργειακή κατάταξη σενάριο 3 με την χρήση φωτοβολταϊκών (αριστερά) σε σύγκριση με την αρχική ενεργειακή κατάταξη (δεξιά).

Το κτίριο στο σενάριο 3, μετά την τοποθέτηση του συστήματος φωτοβολταϊκών, κατατάσσεται πλέον στην κατηγορία A, όπως φαίνεται στην Εικόνα 90, με τις πρωτογενείς καταναλώσεις σε ενέργεια να έχουν μειωθεί δραστικά στις 78,1 kWh/m<sup>2</sup>. Ακόμα και στο κτίριο που περιέχει συστήματα με σημαντικές εξοικονομήσεις σε ενέργεια, καθώς και με τις μικρότερες απώλειες λόγω των θερμομονωτικών υλικών στο κέλυφος, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αλλάξει δραστικά, προς το καλύτερο, την ενεργειακή εικόνα. Εάν συνδυαστούν, με ένα κεντρικό σύστημα αυτοματισμών που θα διαχειρίζεται συνολικά την εγκατάσταση, θα έχει δημιουργηθεί ένα κτίριο με μηδενικές καταναλώσεις και μεγάλες εξοικονομήσεις, καθόλη την διάρκεια λειτουργίας του, αποσβένοντας το αρχικό, μεγάλο, κόστος εγκατάστασης.

## Κεφάλαιο 11

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 11.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής των ανθρώπων, έχει οδηγήσει στην συνεχή αύξηση των αναγκών σε ενέργεια. Τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον, έχουν προξενήσει αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου καθιστώντας επιτακτική την εύρεση λύσεων που θα οδηγήσουν στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και στην παραγωγή ενέργειας με μη ρυπογόνους τρόπους. Τα κτίρια τριτογενή τομέα, παρόλο που έχουν ιδιαίτερα μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια, με τις κατάλληλες διορθωτικές κινήσεις μπορούν να μειώσουν, άμεσα, το ενεργειακό τους αποτύπωμα.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε αναλυτικά, η λειτουργία των διαφόρων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και μηχανικού αερισμού, καθώς και την επίδραση που έχει το κάθε σύστημα στην ενεργειακή κατανάλωση και ενεργειακή κλάση του κτιρίου. Στην συνέχεια αναλύθηκαν τρόποι με τους οποίους ένα κτίριο μπορεί να μειώσει, άμεσα, την καταναλισκόμενη ενέργεια του. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση που έχουν τα φωτιστικά LED στην εγκατάσταση, καθώς και η συνεισφορά των συστημάτων αυτοματισμού στην μείωση της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου αναφοράς. Τέλος, έγινε αναλυτική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος στην οροφή του κτιρίου γραφείων.

Μετά την αρχική ανάλυση των 3 σεναρίων, το Σενάριο 3 ήταν το πιο ενεργειακά αποδοτικό, αφού έγινε χρήση συστήματος τύπου μεταβλητού όγκου ψυκτικού ρευστού, VRV–VRF (variable refrigerant volume-flow) με συστοιχία αντλιών θερμότητας αμέσου εκτονώσεως. Το γεγονός ότι στο συγκεκριμένο σενάριο έγινε χρήση υλικών, υψηλής θερμομονωτικής ικανότητας, μείωσε τις απώλειες θερμότητας από το κτίριο, με αποτέλεσμα η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου να είναι B+, χωρίς να έχει γίνει ακόμα προσθήκη συστημάτων αυτοματισμού και φωτοβολταϊκών. Ειδική μνεία πρέπει να δοθεί στο Σενάριο 2, στο οποίο ακολουθήθηκαν τα σύγχρονα πρωτόκολλα, που απαγορεύουν την ανακυκλοφορία του αέρα σε όλους τους χώρους των κτιρίων τριτογενή τομέα. Τα

συστήματα εισαγωγής 100% νωπού αέρα, καθώς και η κάλυψη όλων των φορτίων κάθε χώρου του κτιρίου με την Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα, επιβαρύνουν τις καταναλώσεις. Για το σενάριο 2 δεν χρησιμοποιήθηκαν υλικά μεγάλης θερμομονωτικής ικανότητας, αντικατοπτρίζοντας, ένα μεγάλο ποσοστό των κτιρίων της ελληνικής επικράτειας. Το κτίριο του Σεναρίου 2, κατατάχτηκε στην κατηγορία Γ, κάνοντας επιτακτική την εύρεση λύσεων, ώστε να γίνει το κτίριο ενεργειακά αποδοτικό και να μπορέσει να συμβαδίσει με την νέα πραγματικότητα.

Η μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, επικεντρώθηκε στην προσθήκη συστημάτων, τα οποία άμεσα, μπορούν να κάνουν την διαφορά σε νέα και υπάρχοντα κτίρια τριτογενή τομέα. Αρχικά, μελετήθηκε, με την χρήση του λογισμικού Dialux Eno, η επίδραση της αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού με λαμπτήρες LED, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις κάθε χώρου, σε ένταση και ομοιομορφία φωτισμού. Η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, έφτασε στο 54,87%, ποσοστό τεράστιο εάν αναλογιστούμε ότι ένα κτίριο γραφείων λειτουργεί, όλο τον χρόνο, 5 ημέρες την εβδομάδα, 10 ώρες κάθε μέρα. Στην συνέχεια μελετήθηκε η επίδραση που έχει στα ήδη υπάρχοντα σενάρια, η προσθήκη συστημάτων αυτοματισμού, τόσο στα συστήματα κλιματισμού, όσο και στα συστήματα φωτισμού. Στο Σενάριο 1, χρησιμοποιήθηκαν αυτοματισμοί της κατηγορίας Β, που οδήγησαν σε εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 40% από τα συστήματα κλιματισμού και 25% από τα συστήματα φωτισμού. Το κτίριο στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε κλάσης Β+, ανεβαίνοντας έτσι μια κατηγορία. Στο Σενάριο 2, γνωρίζοντας τις ήδη μεγάλες καταναλώσεις που οφείλονται στο σύστημα κλιματισμού, τοποθετήθηκαν αυτοματισμοί, κατηγορίας Α. Το κτίριο, αυτομάτως, έγινε κατηγορίας Β+ , με την εξοικονόμηση σε ηλεκτρική ενέργεια να φτάνει το 50% της αρχικής ζητούμενης ενέργειας. Στο σενάριο 3, παρότι τα συστήματα που χρησιμοποιούνται, επιφέρουν μεγάλες ενεργειακές εξοικονομήσεις σε σύγκριση με τα άλλα συστήματα, τοποθετήθηκαν αυτοματισμοί, κατηγορίας Α. Σκοπός μας είναι να δημιουργηθεί ένα κτίριο με μηδενικές ενεργειακές καταναλώσεις, τόσο κατά την λειτουργία του, όσο και όταν το κτίριο δεν λειτουργεί. Μετά την εγκατάσταση των διατάξεων αυτοματισμού το κτίριο έγινε κατηγορίας Α+, εκπληρώνοντας πλήρως τους στόχους, που ήταν η μείωση στο ελάχιστο του ενεργειακού αποτυπώματος του κτιρίου γραφείων. Τέλος μελετήθηκε, η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, με την χρήση του λογισμικού Helioscope και υπολογίστηκε, ότι τους καλοκαιρινούς μήνες, μπορεί να παράγει ημερησίως έως και 316

kWh ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και να ανεβάσει σε ενεργειακή κατάταξη το κτίριο γραφείων.

Από όσα αναλύθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μπορούν να εξαχθούν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά, η επιλογή συστήματος κλιματισμού, με υψηλή απόδοση και χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, παίζει σημαντικό ρόλο στην κτιριακή εγκατάσταση, αφού η θέρμανση, ψύξη και αερισμός αποτελούν τα μεγαλύτερα φορτία. Η αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού με λαμπτήρες LED, προσφέρει άμεσα αποτελέσματα, τόσο στην μείωση των καταναλώσεων, όσο και στην οπτική άνεση των χρηστών, αποτελώντας μια σίγουρη λύση για την ενεργειακή βελτίωση, όλων των κτιρίων τριτογενή τομέα. Στην συνέχεια η χρήση διατάξεων αυτοματισμών κατηγορίας A, μπορεί να μετατρέψει ένα ενεργοβόρο κτίριο, σε κτίριο μηδενικών καταναλώσεων. Όσο οι απαιτήσεις των κτιρίων και των χρηστών τους αυξάνονται, τα συστήματα αυτοματισμών, θα είναι μονόδρομος, ώστε να μπορούν να ελεγχθούν αποτελεσματικά οι λειτουργίες, των ενεργοβόρων συστημάτων. Τέλος, η αυτοπαραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, με την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος και η αξιοποίηση του ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering), μπορεί να έχει οφέλη, τόσο στο περιβάλλον, όσο και στα οικονομικά του κτιρίου. Μπορεί οι παραπάνω τεχνολογίες να επιβαρύνουν το κόστος της εγκατάστασης, αλλά καθιστώντας τα κτίρια πιο αποδοτικά, σε μικρό χρονικό διάστημα θα μπορεί να γίνει απόσβεση της επένδυσης καθώς και να βελτιωθεί ο αντίκτυπος που έχει ο κτιριακός τομέας στο περιβάλλον.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ANDRIANOS. (2021). Ανάκτηση από <https://www.andrianos.gr/gr/nea/arthra/fan-coil-%E2%80%93-ofeli,-xaraktiristika-kai-typoi-pote-axizei-i-egkatastasi-tous>.
- [2] Cold Shot Chillers. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://waterchillers.com/blog/post/air-cooled-chiller-vs-water-cooled-chiller>.
- [3] Delia D'Agostino, B. C. (2017). *Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings*.
- [4] Ε.Γ. Δασκαλάκη, Κ. Δ. (2016). *Τυπολογία Ελληνικών Κτιρίων Κατοικίας*. Αθήνα.
- [5] easyKENAK. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://docs.easykenak.gr/doku.php?id=manual:step5:automations>
- [6] European Commission. (χ.χ.). *Energy performance of buildings directive*. Ανάκτηση από Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en).
- [7] Fu Xiaoyun, L. X. (2009). *Research and Analysis of the Design Development and Perspective Technology for LED lighting products*.
- [8] III, H. W. (χ.χ.). *HVAC Water Chillers and Cooling Towers*.
- [9] Maillo, L. R. (2013). APPLICATION NOTE OPTIMAL CABLE SIZING IN PV SYSTEMS: CASE STUDY.
- [10] Martin, M. (2021). *Sustainable Design for Renewable Processes*.
- [11] Suhafizudin Bin Zainal Anuar, M. S. (χ.χ.). *STUDYING THE VARIABLE REFRIGERANT VOLUME (VRV) SYSTEM*.
- [12] Trane. (2020). *Systems Guide 2020*.
- [13] V. Geros, M. S. (2004). *On the cooling potential of night ventilation techniques*.
- [14] Vidyanandan, K. (2017). *An Overview of Factors Affecting the Performance of Solar PV Systems*.
- [15] Waqas Khalid, I. A.-u.-A. (2021). *Reduction in building energy requirements by modern energy conservation techniques*.
- [16] Ελλάδας, Τ. Ε. (2014). *Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010 Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών*. Αθήνα.

- [17] Καραϊσάς, Π. (2014). *Φωτοβολταϊκά συστήματα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*.
- [18] Παντελίδης, Γ. (χ.χ.). *Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτηρίων Β' Έκδοση*.
- [19] Παπασταμάτη, Φ. (2013). *Ενεργειακή Ανάλυση Κτιρίων Κατοικιών Χαμηλής Ενεργειακής Κατανάλωσης*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- [20] ΣΕΠΔΕΜ. (2021). *Στατιστικά Αποτελέσματα για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων οικιακού, τριτογενούς και δημοσίου τομέα*. Ανάκτηση από [https://bpes.ypeka.gr/wp-content/uploads/000\\_000\\_02\\_005b\\_PEA\\_Consumptions.pdf](https://bpes.ypeka.gr/wp-content/uploads/000_000_02_005b_PEA_Consumptions.pdf).
- [21] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (2017). *Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 Θερμογυσιτικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων*. Αθήνα.
- [22] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (2017). *Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017 Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*.
- [23] Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος. (χ.χ.). Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος.



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

Παράρτημα Α: Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου γραφείων.

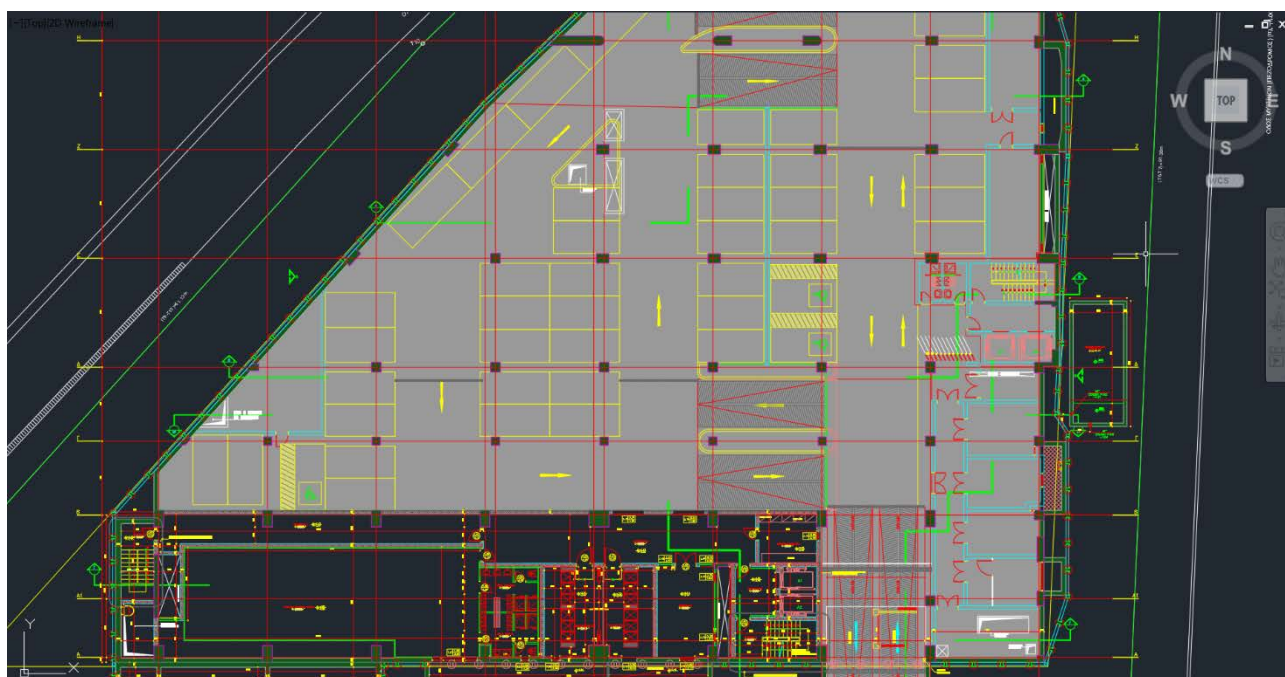
Παράρτημα Β: Ηλεκτρολογικά σχέδια κτιρίου γραφείων.



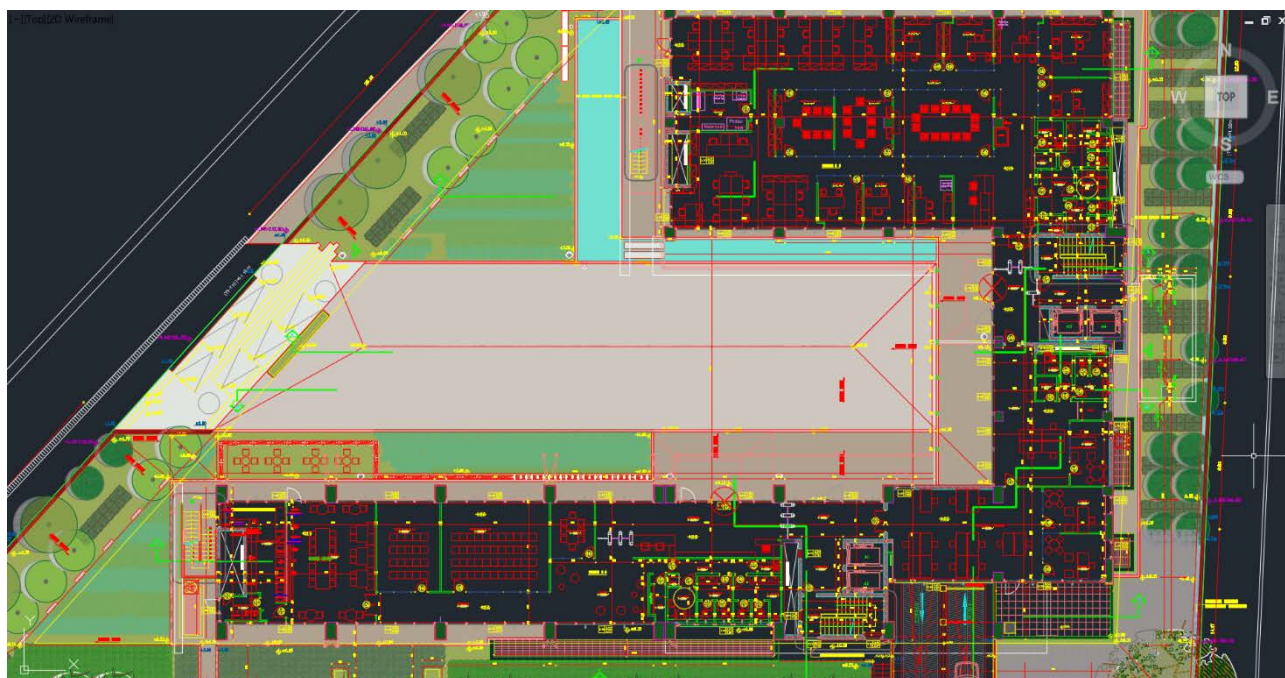
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου γραφείων

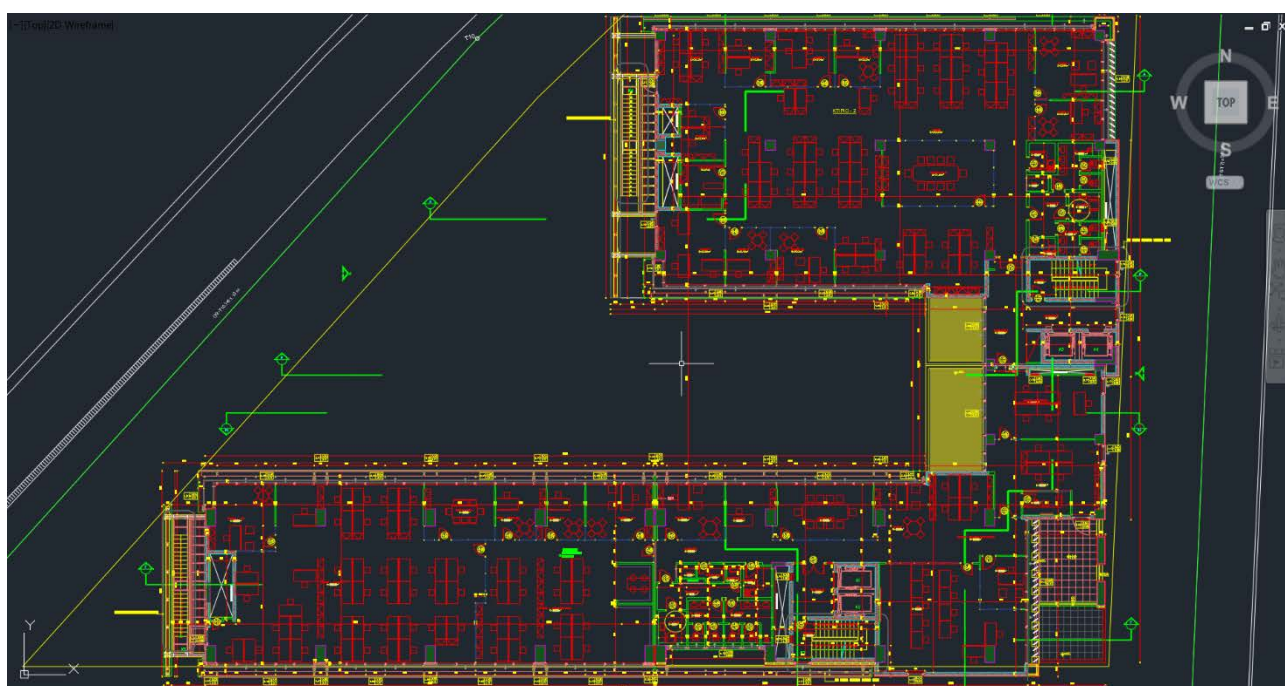
Για να υπάρχει μια ξεκάθαρη εικόνα του κτιρίου γραφείων που μελετήθηκαν παρατίθενται τα αρχιτεκτονικά σχέδια όλων των ορόφων. Η μελέτη του αρχιτεκτονικού σχεδίου είναι κομβικής σημασίας ώστε να γίνει σωστή διαστασιολόγηση των φορτίων, σύμφωνα πάντα με τις ιδιαιτερότητες κάθε χώρου.



Εικόνα 93: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη υπογείου.

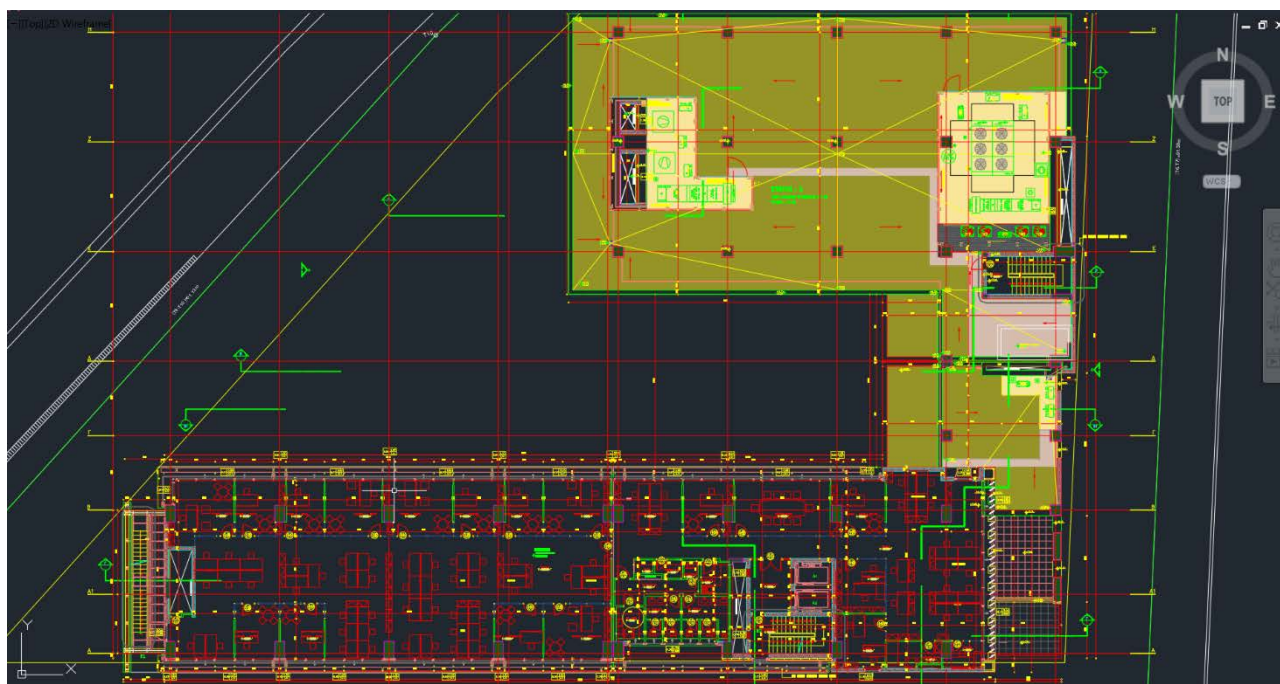


Εικόνα 94: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη ισογείου.

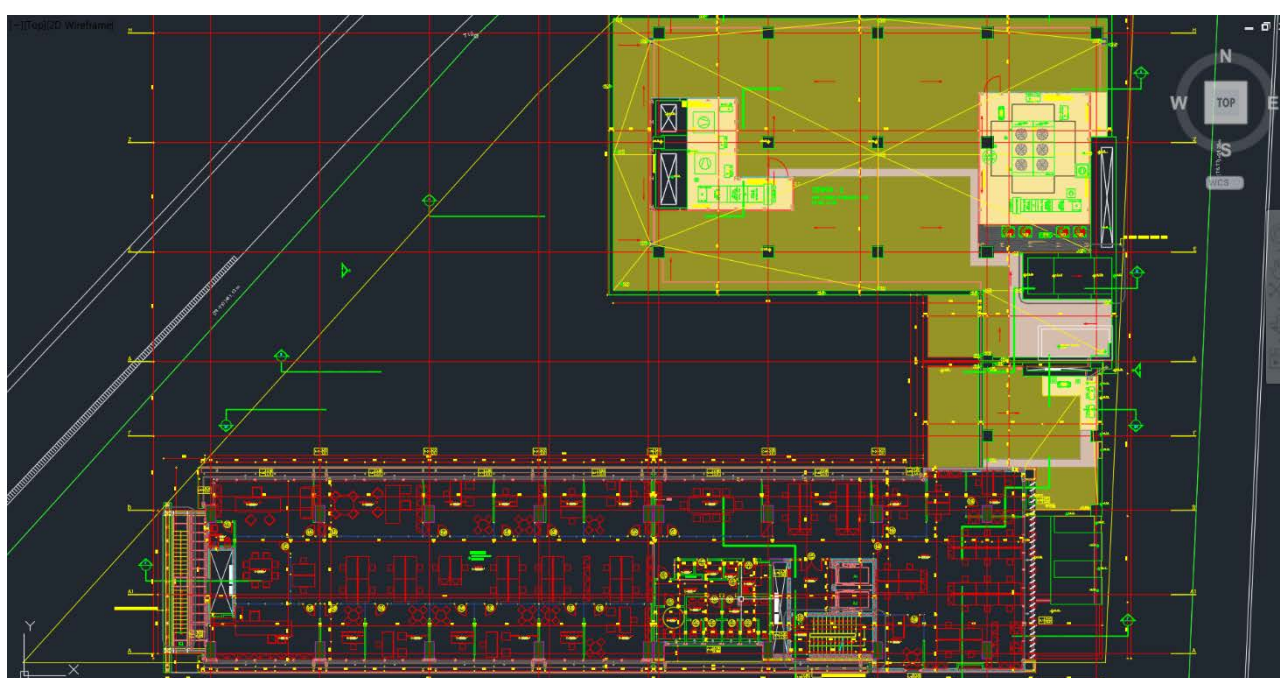


Εικόνα 95: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη Α' ορόφου.

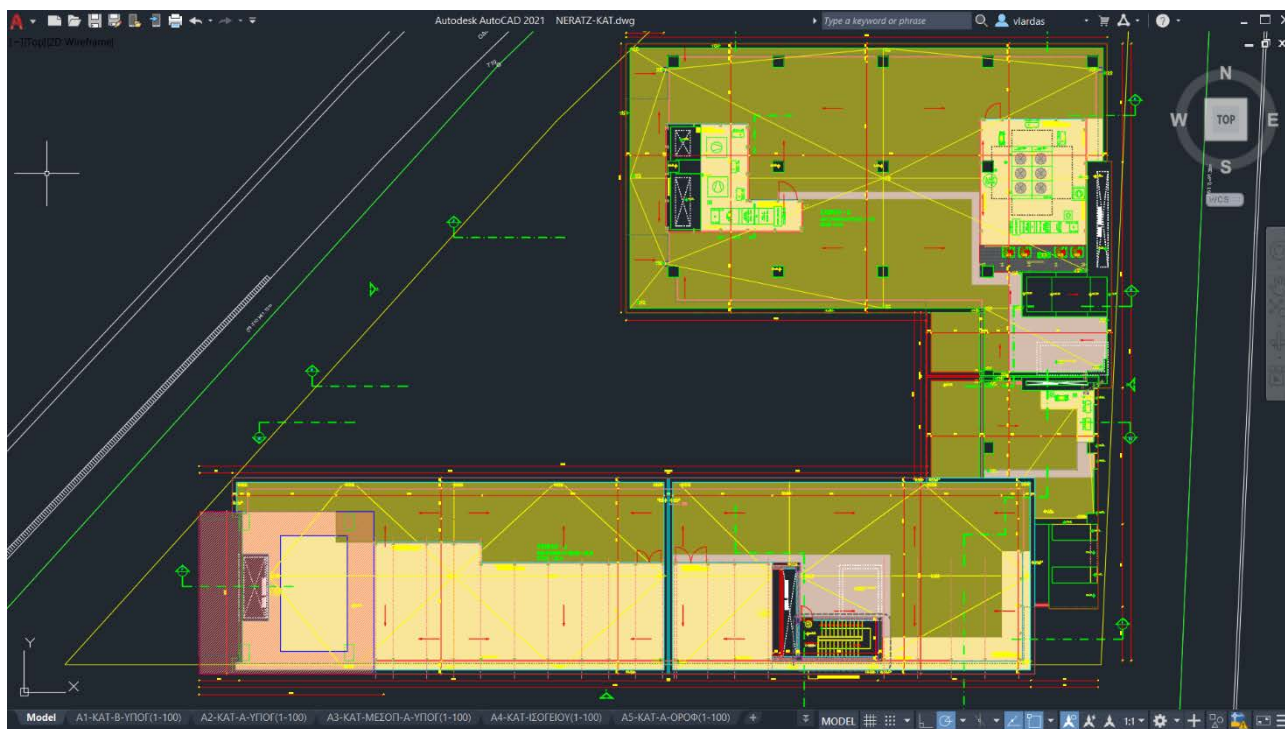




Εικόνα 96: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη Β' ορόφου.



Εικόνα 97: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη Γ' ορόφου.

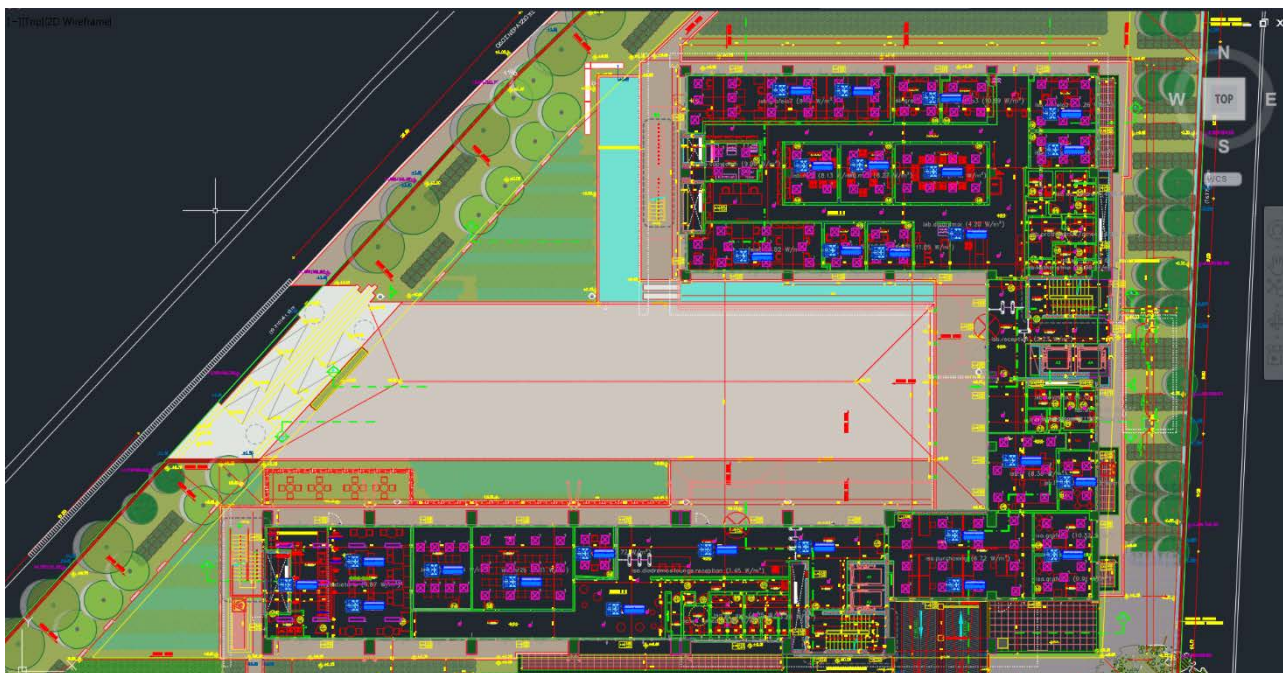


Εικόνα 98: Αρχιτεκτονικό σχέδιο κάτοψη ταράτσας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

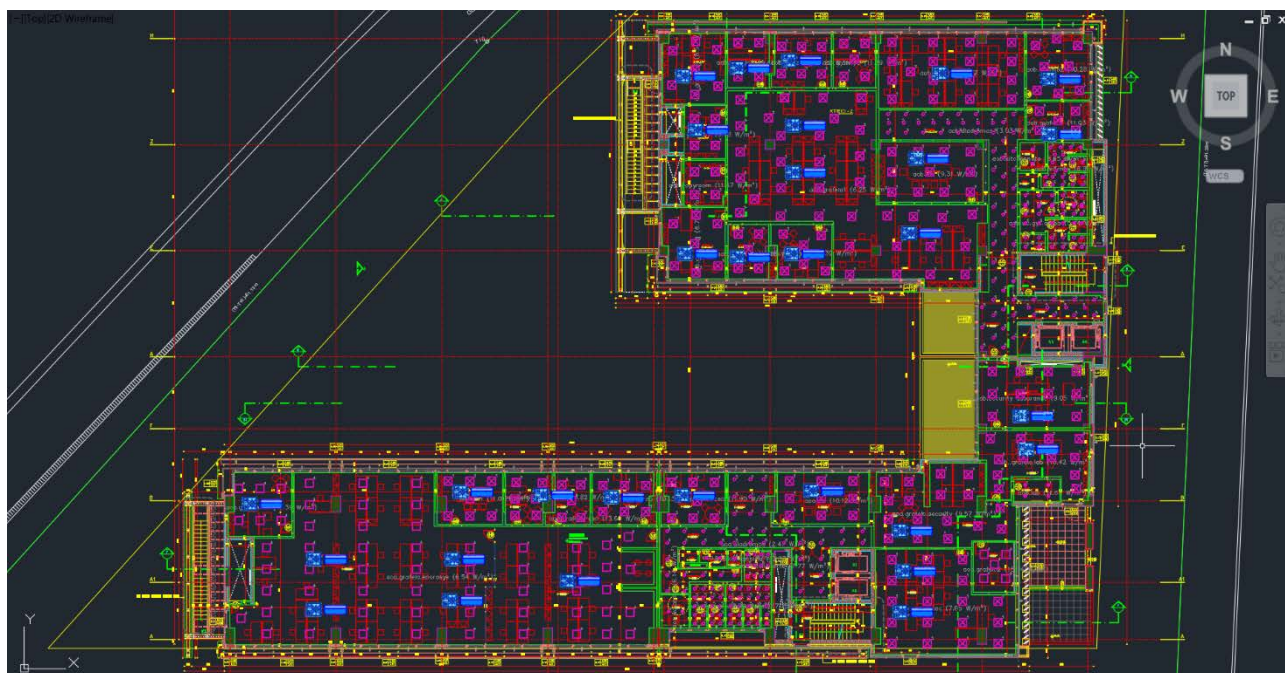
### Ηλεκτρολογικά σχέδια κτιρίου γραφείων

Εφόσον πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των κλιματιστικών μονάδων και η φωτοτεχνική μελέτη, ο μελετητής οφείλει να προσθέσει στο αρχιτεκτονικό σχέδιο την ακριβή θέση των φωτιστικών και των μονάδων κλιματισμού. Για την μελέτη του κτιρίου γραφείων προστέθηκαν στο αρχιτεκτονικό σχέδιο τα φωτιστικά LED, οι εσωτερικές μονάδες VRV, μαζί με τους εναλλάκτες θερμότητας. Οι εξωτερικές μονάδες τοποθετήθηκαν στην οροφή του κτιρίου Β, ώστε να εξοικονομηθεί χώρος από την κύρια ταράτσα του κτιρίου 1, όπου έγινε η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

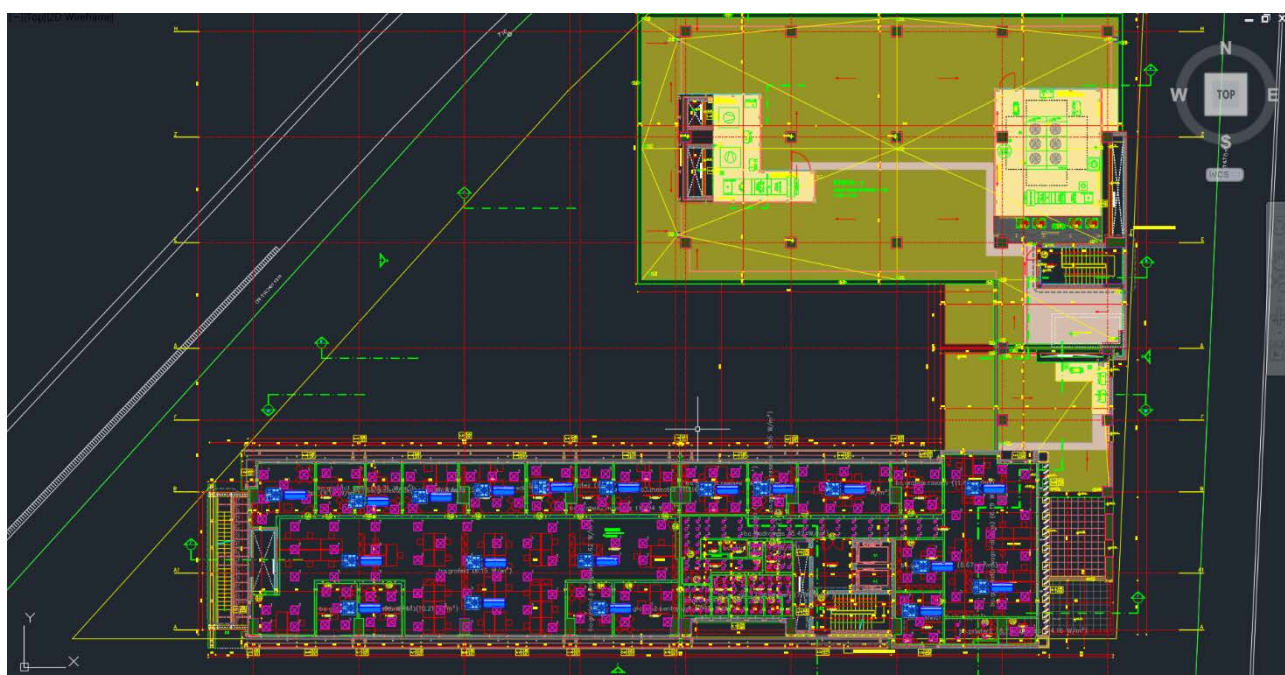


Εικόνα 99: Ηλεκτρολογικό σχέδιο ισογείου.



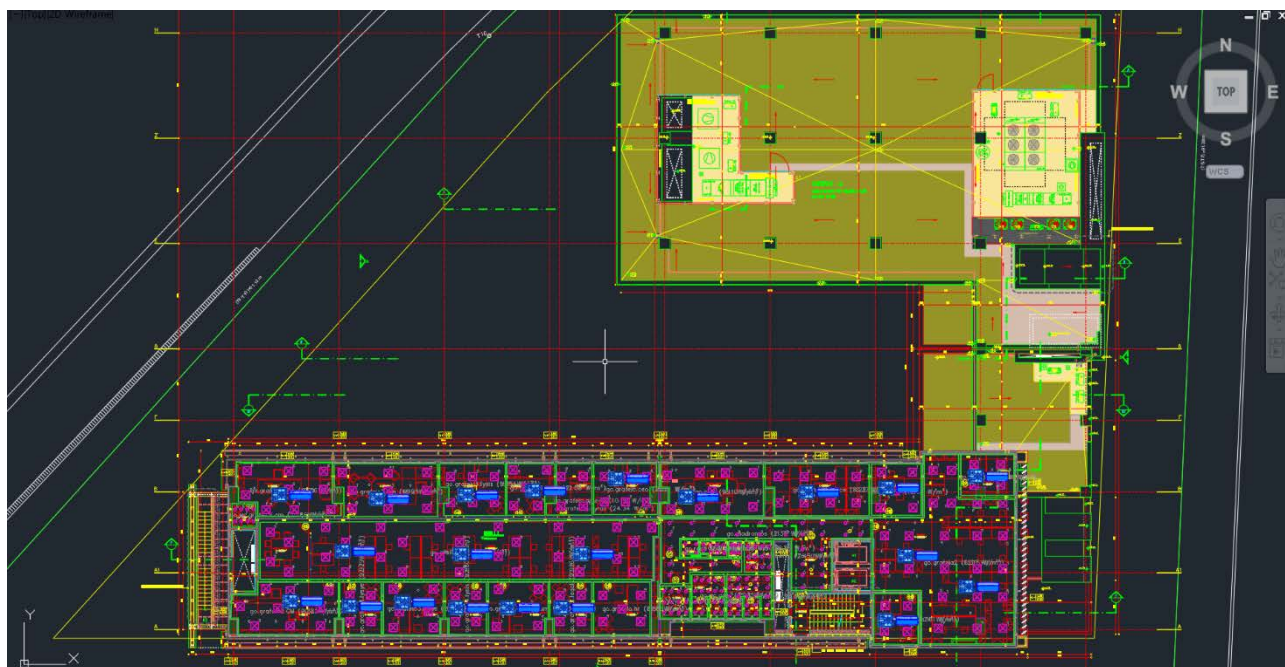


Εικόνα 100: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Α' ορόφου.



Εικόνα 101: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Β' ορόφου.





Εικόνα 102: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Γ' ορόφου.