



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

Διπλωματική εργασία

Ψύξη κτιρίου με χρήση παγολεκάνης



ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής : Πανάρας Γεώργιος

Οκτώβριος 2018, Κοζάνη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη εποχή, η ραγδαία ανάπτυξη του πληθυσμού και του επιπέδου ποιότητας ζωής κατέστησαν τόσο δεδομένη όσο και αυτονόητη την ύπαρξη ελεγχόμενων συνθηκών διαβίωσης, σε όλα τα μήκη και πλάτη του πλανήτη. Η διάδοση των συστημάτων ρύθμισης των συνθηκών διαβίωσης έφερε μαζί της μία πληθώρα προβλημάτων. Η μόλυνση του περιβάλλοντος κυριαρχεί ανάμεσά τους. Τώρα περισσότερο παρά ποτέ, κρίνεται αναγκαία μία στροφή σε τεχνολογικές λύσεις οικονομικότερες, αποδοτικότερες και πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας φαντάζουν ελπιδοφόρες στις επιταγές της νέας πραγματικότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί η τεχνολογία της αποθήκευσης ψύξης με χρήση παγολεκάνης, εστιασμένη στον κλιματισμό κτιρίων. Παράλληλα, θα εξεταστεί η εφαρμογή του συστήματος αποθήκευσης σε κτίριο γραφείων στην περιοχή της Ακρόπολης και θα αναλυθεί ενεργειακά και οικονομικά, συγκριτικά με συμβατικό σύστημα.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από την εισαγωγή, όπου παρουσιάζονται οι λόγοι που απαιτούν νέες τεχνολογικές λύσεις, ο ενεργειακός σχεδιασμός σε Ευρωπαϊκό επίπεδο καθώς και ο Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Πιο εκτεταμένη παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί στα συστήματα αποθήκευσης ψύξης που εμπίπτει η υπό διερεύνηση διάταξη. Ακολούθως, θα περιγραφεί το κτίριο επιλογής της εφαρμογής και θα αναλυθούν τα ψυκτικά του φορτία με την μέθοδο CLTD/CLF/SCL. Η κάλυψη τους θα γίνει από την διάταξη της αποθήκευσης και κατόπιν από συμβατική περίπτωση. Τα αποτελέσματα των δύο συστημάτων θα συγκριθούν, πρώτα ενεργειακά και εν συνεχεία και οικονομικά. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα και τις προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση.

Λέξεις κλειδιά: ενέργεια, αποθήκευση ψύξης, παγολεκάνη, ψυκτικά φορτία, CLTD/CLF/SCL

ABSTRACT

In modern times, the rapid growth of the population and the quality of life have made both given and self-evident the existence of controlled living conditions in all the lengths and widths of the planet. The dissemination of living conditions regulation systems has brought with it a multitude of problems. Contamination of the environment prevails among them. Now more than ever, a shift to technological solutions that are more cost effective, more efficient and more environmentally friendly seems necessary. Energy storage technologies are promising in the demands of the new reality.

In this diploma thesis will be presented the cooling storage technology using ice-cold, focused on air conditioning of buildings. At the same time, the implementation of the storage system will be examined in an office building in the Acropolis area and will be analyzed and compared to a conventional system both energy wise and financially wise.

The diploma thesis consists of the introduction, where the reasons for new technological solutions, the energy planning at European level as well as the National Energy Planning are presented. The available energy storage technologies will then be briefly presented. More extensive presentation will take place for the cooling storage systems where the system under investigation is subjected. Subsequently, the application selection building will be described and analyzed for its cooling loads using the CLTD / CLF / SCL method. The cooling loads will be covered by the storage arrangement and then by a conventional system. The results of the two systems will be compared, first energy wise and then economical wise. The thesis concludes with the conclusions and suggestions for future investigation.

Key words: energy, cooling storage, ice bank, cooling loads, CLTD/CLF/SCL

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Πανάρα Γεώργιο, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, για την πολύτιμη συμβολή του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την άψογη συνεργασία μας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	2
Abstract	3
Ευχαριστίες	4
Πίνακας Περιεχομένων	5
Λίστα συμβόλων.....	8
Λίστα Συντομογραφιών.....	8
Λίστα Εξισώσεων.....	9
Πίνακας Σχημάτων.....	10
Πίνακας Διαγραμμάτων.....	11
Λίστα Πινάκων.....	12
Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή	14
1.1: Γενικά.....	14
1.2: Ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική.....	16
1.3: Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός.....	17
Κεφάλαιο 2^ο: Αποθήκευση Ενέργειας	20
2.1: Γενικά.....	20
2.2: Πλεονεκτήματα συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.....	20
2.3: Κατηγορίες μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας.....	21
Κεφάλαιο 3^ο: Αποθήκευση Ψύξης.....	25

3.1: Κύρια συστήματα αποθήκευσης ψύξης.....	25
3.1.1: Αποθήκευση ψυχρού ύδατος.....	25
3.1.2: Αποθήκευση με χρήση παγολεκάνης (ICETANK).....	27
3.1.3: Εύτηκτα άλατα (EUTECTIC SALTS)	31
3.2: Σύγκριση κύριων τεχνολογιών αποθήκευσης ψύχους.....	31
3.3: Στρατηγικές λειτουργίας.....	32
3.3.1: Τρόποι λειτουργίας.....	32
3.3.2: Στρατηγικές αποθήκευσης ψύξης.....	34
Κεφάλαιο 4º: Εφαρμογή μελέτης στην Ελλάδα – κτίριο γραφείων.....	38
4.1: Παραδοχές εφαρμογής.....	38
4.2: Διαδικασία μελέτης.....	39
4.2.1: Παρουσίαση κτιρίου επιλογής.....	39
4.2.2: Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων.....	46
4.2.2.1 Θεωρητική ανάλυση ψυκτικών φορτίων.....	46
4.2.2.2 Μέθοδος υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.	48
4.2.2.3 Εξισώσεις μεθόδου υπολογισμού CLTD/CLF/SCL.....	50
4.2.2.4 Αποτελέσματα υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.....	56
4.2.3: Κάλυψη ψυκτικών φορτίων.....	59
4.2.4: Ανάλυση καταναλώσεων.....	62
4.2.4.1 Εφαρμογή Αυγούστου.....	63
4.2.4.2 Εφαρμογή Ιουλίου.....	64

4.2.4.3 Εφαρμογή συμβατικής περίπτωσης Αυγούστου.....	65
4.2.4.4 Εφαρμογή συμβατικής περίπτωσης Ιουλίου.....	67
4.2.4.5 Συγκριτική αξιολόγηση καταναλώσεων.	68
4.2.5: Οικονομικά στοιχεία εφαρμογής.....	69
4.2.5.1 Χρεώσεις μήνα Αυγούστου.....	69
4.2.5.2 Χρεώσεις μήνα Ιουλίου.....	70
Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα	73
5.1: Προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση.....	74
Βιβλιογραφία	75
Παραρτήματα.....	77
Παράρτημα Α.....	77
Παράρτημα Β.....	80
Παράρτημα Γ.....	90

ΛΙΣΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

W: Watt, Μονάδα μέτρησης ισχύος

kWh: Kilowatt hour, μονάδα μέτρησης ενέργειας

J: Joule, μονάδα μέτρησης ενέργειας, έργου, ή ποσότητας θερμότητας

Kg: Χιλιόγραμμα, μονάδα μέτρησης της μάζας

°C: Κελσίου, κλίμακα μέτρησης της θερμοκρασίας

ρ : Πυκνότητα 1 kg/m^3

q: Ποσό θερμότητας 1 W ή (J/s) ή Btu/h

U: Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας $1 (\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$

A: Εμβαδόν m^2

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

HVAC: Heating, ventilation, and air conditioning

CAES: Compressed air energy storage

TES: Thermal energy storage

PCM: Phase Change Materials

TCS: Thermochemical Storage

CLTD: Cooling load temperature difference calculation

ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

CLF: cooling load factor

SCL: solar cooling load factor

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

EER: Energy Efficiency Ratio

ΛΙΣΤΑ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

- 4.1: Υπολογισμός ποσού ενέργειας που περνάει από μία επιφάνεια
- 4.2: Διορθωτικός παράγοντας ψυκτικών φορτίων οροφής
- 4.3: Διορθωτικός παράγοντας ψυκτικών φορτίων εξωτερικών τοίχων
- 4.4: Ψυκτικά φορτία λόγω ακτινοβολίας
- 4.5: Αισθητά ψυκτικά φορτία λόγω του ανθρώπινου παράγοντα
- 4.6: Λανθάνοντα ψυκτικά φορτία λόγω του ανθρώπινου παράγοντα
- 4.7: Ψυκτικά φορτία από ηλεκτροφωτισμό
- 4.8: Ψυκτικά φορτία από αερισμό
- 4.9: Υπολογισμός ειδικής θερμοχωρητικότητας αέρα
- 4.10: Ψυκτικά φορτία από διείσδυση
- 4.11: Υπολογισμός όγκου αέρα διείσδυσης
- 4.12: Υπολογισμός θερμικής ενέργειας

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Κεφάλαιο 3ο: Αποθήκευση ψύξης.....	25
Σχήμα 3.1 Η έννοια της αποθήκευσης ψύξης. [21].....	25
Σχήμα 3.2 Κύκλος φόρτισης και αποφόρτισης δεξαμενής αποθήκευσης ψυχρού ύδατος με φυσική στρωμάτωση.....	26
Σχήμα 3.3 Φόρτιση και αποφόρτιση επιφανειακής τήξης πάγου σε σερπαντίνα.[3].....	28
Σχήμα 3.4 Φόρτιση και αποφόρτιση εσωτερικής τήξης πάγου σε σερπαντίνα.[3].....	28
Σχήμα 3.5 Δεξαμενή εγκλωβισμένου πάγου. [16].....	29
Σχήμα 3.6 Διάταξη θρυμματοποίησης πάγου.....	30
Σχήμα 3.7 Διάταξη δημιουργίας παγο-πολτού. [14].....	30
Σχήμα 3.8 Δοχεία εγκλωβισμού εύτηκτων αλάτων.....	31
Σχήμα 3.9 Λειτουργία φόρτισης. [27][21].....	33
Σχήμα 3.10 Λειτουργία παράλληλης φόρτισης και ψύξης. [27][21].....	33
Σχήμα 3.11 Απευθείας κάλυψη φορτίου. [27][21].....	33
Σχήμα 3.12 Παράλληλη αποφόρτιση και ψύξη φορτίου. [27][21].....	34
Σχήμα 3.13 Αποφόρτιση διάταξης αποθήκευσης [27][21].....	34
Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή μελέτης στην Ελλάδα – κτίριο γραφείων.....	38
Σχήμα 4.1 Θερμικό κέρδος, θερμοχωρητικότητα και ψυκτικό φορτίο.[23].....	47
Σχήμα 4.2 Χρονική υστέρηση μετατροπής θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο ανάλογα με το είδος της κατασκευής. [27].....	48
Σχήμα 4.3 Μετατροπή θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο. [23].....	48
Σχήμα 4.4 Παράγοντες συνεισφοράς στα ψυκτικά φορτία.....	49
Σχήμα 4.5 Παράδειγμα εσωτερικού παγολεκάνης[28].....	61

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Κεφάλαιο 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
Διάγραμμα 1.1 Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα [25].....	15
Διάγραμμα 1.2 Ποσοστιαία κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τελική χρήση [18].....	16
Διάγραμμα 1.3 Εξέλιξη του μεριδίου ΑΠΕ σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ έως το 2020 [26].....	18
Κεφάλαιο 3ο: Αποθήκευση ψύξης.....	25
Διάγραμμα 3.1 Ωριαία ψυκτικά φορτία υποθετικής εγκατάστασης.[21].....	35
Διάγραμμα 3.2. Κάλυψη φορτίων πλήρους αποθήκευσης.[21].....	35
Διάγραμμα 3.3. Μερική αποθήκευση, λύση ισοστάθμισης φορτίου.[21].....	36
Διάγραμμα 3.4. Μερική αποθήκευση, λύση περιορισμού ζήτησης.[21].....	36
Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή μελέτης στην Ελλάδα – κτίριο γραφείων.....	38
Διάγραμμα 4.1 Ωριαία κατανομή ψυκτικών φορτίων για τον μήνα Ιούλιο.....	57
Διάγραμμα 4.2 Ωριαία κατανομή ψυκτικών φορτίων για τον μήνα Αύγουστο.....	58
Διάγραμμα 4.3 Ποσοστιαία ανάλυση φορτίων ανάλογα με το είδος προέλευσης τους.....	58
Διάγραμμα 4.4 Στρατηγική λειτουργίας του συστήματος.....	62
Διάγραμμα 4.5 Κάλυψη φορτίων Αυγούστου κατά την συμβατική λύση.....	66
Διάγραμμα 4.6 Κάλυψη φορτίων Ιουλίου κατά την συμβατική λύση.....	67
Διάγραμμα 4.7 Απεικόνιση των συγκριτικών καταναλώσεων.....	72

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Κεφάλαιο 3^ο: Αποθήκευση ψύξης.....	25
Πίνακας 3.1 Σύγκριση των χαρακτηριστικών των τεχνολογιών αποθήκευσης.[21]	32
Κεφάλαιο 4ο: Εφαρμογή μελέτης στην Ελλάδα – κτίριο γραφείων.....	38
Πίνακας 4.1 Αριθμός επιπέδων	39
Πίνακας 4.2 Κλιματιζόμενοι χώροι και χρήσεις ανά όροφο.....	40
Πίνακας 4.3 Είδος τοιχοποιίας.....	41
Πίνακας 4.4 Είδη δαπέδων.....	42
Πίνακας 4.5 Είδος οροφής.....	43
Πίνακας 4.6 Ανοίγματα 1 ^{ου} υπογείου.....	44
Πίνακας 4.7 Ανοίγματα ισογείου.....	44
Πίνακας 4.8 Ανοίγματα 1 ^{ου} ορόφου.....	45
Πίνακας 4.9 Ανοίγματα 2 ^{ου} ορόφου.....	45
Πίνακας 4.10 Ανοίγματα 3 ^{ου} ορόφου.....	46
Πίνακας 4.11 Ωριαία κατανομή ψυκτικών φορτίων Ιουλίου και Αυγούστου.....	56
Πίνακας 4.12 Κατασκευαστικές προδιαγραφές του ψύκτη.....	59
Πίνακας 4.13 Βαθμός απόδοσης ψύκτη για διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες.....	60
Πίνακας 4.14 Βαθμός απόδοσης ψύκτη για λειτουργία σε μερικά φορτία.....	60
Πίνακας 4.15 Βαθμός απόδοσης ψύκτη για διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες (νυχτερινή λειτουργία).....	60
Πίνακας 4.16 Κατασκευαστικές προδιαγραφές παγοδεξαμενής.....	61
Πίνακας 4.17 Βαθμοί απόδοσης του ψύκτη.....	63

Πίνακας 4.18 Καταναλώσεις του μήνα Αυγούστου.....	64
Πίνακας 4.19 Καταναλώσεις του μήνα Ιουλίου.....	65
Πίνακας 4.20 Καταναλώσεις του μήνα Αυγούστου στη συμβατική μέθοδο.....	66
Πίνακας 4.21 Καταναλώσεις του μήνα Ιουλίου στη συμβατική περίπτωση.....	67
Πίνακας 4.22 Σύγκριση καταναλώσεων των δύο λύσεων.....	68
Πίνακας 4.23 Συνολικές καταναλώσεις.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

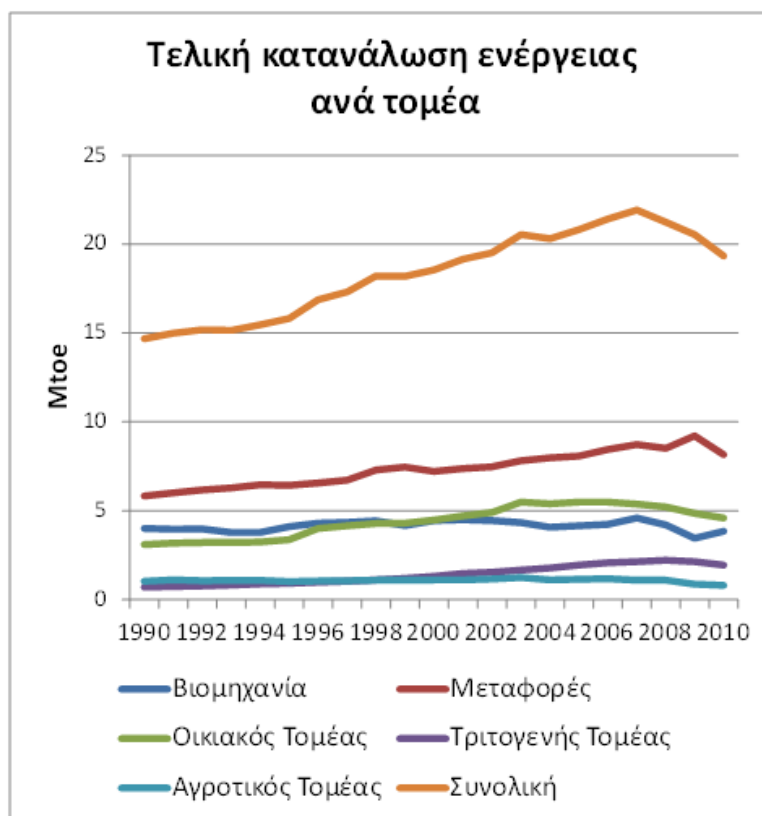
Διανύοντας τη δεύτερη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα, η έλλειψη κλιματισμού και θέρμανσης από τους χώρους κατοικίας, εργασίας αλλά και ψυχαγωγίας μοιάζει με επιστημονική φαντασία. Η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη έκανε επιτακτική την ανάγκη για ελεγχόμενες συνθήκες διαβίωσης σε ετήσια βάση. Παράλληλα, τα κλιματιστικά συστήματα που πριν από αρκετές δεκαετίες αναφέρονταν ως προϊόντα πολυτελείας, λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης πλέον είναι προσιτά κάνοντας την ζωή των ανθρώπων υγιέστερη και πιο παραγωγική. Η επίτευξη του ελέγχου των συνθηκών σε ένα περιβάλλον (θερμοκρασία, υγρασία και ποιότητα του αέρα) έκανε αντιληπτό ότι η παραγωγή αγαθών μπορεί να γίνει ταχύτερα, αποδοτικότερα και οικονομικότερα. Στην πραγματικότητα, πληθώρα αγαθών δεν θα ήταν δυνατόν να παραχθεί χωρίς ένα αυστηρά ελεγμένο περιβάλλον. Αρκεί κανείς να βρεθεί σε ένα εργαστήριο ή χειρουργείο ή σε ένα δωμάτιο με διακομιστές (servers) κλπ. ώστε να καταλάβει την αλήθεια των προαναφερθέντων.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις λόγω της μεγάλης ζήτησης τέτοιων συστημάτων (HVAC) τόσο σε μεγάλες βιομηχανίες και εμπορικά καταστήματα όσο και σε οικιακούς χώρους είναι υπέρογκες. Δεδομένου ότι στις προηγούμενες δεκαετίες το καταναλωτικό κοινό ήταν μικρότερο και τα καύσιμα αρκετά φθηνότερα, τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν ήταν ενεργοβόρα. Όμως με τα δεδομένα της σημερινής κατάστασης οι τεχνικοί σχεδίασης και προσομοίωσης συστημάτων HVAC αντιμετωπίζουν μια σημαντική πρόκληση καθώς καλούνται να αντιμετωπίσουν την επιτακτική ανάγκη της ανάπτυξης συστημάτων με έμφαση στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Με βάση λοιπόν την νέα παγκόσμια κατάσταση και τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, οι εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ιδιωτικές αλλά και δημόσιες (πχ. ΔΕΗ) υποχρεούνται να δημιουργήσουν νέες μονάδες οι οποίες έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής, αυξάνουν της ενεργειακή εξάρτηση των χωρών και αφήνουν αρνητικό αποτύπωμα στο περιβάλλον.

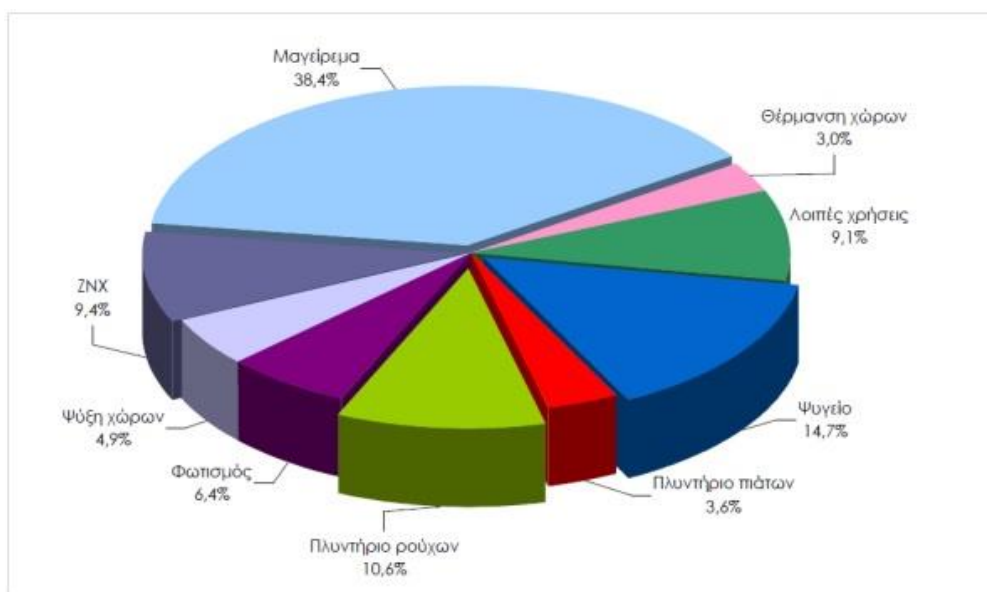
Η Ευρωπαϊκή στατιστική αρχή κατά το έτος 2015 ανέφερε ότι πάνω από το ήμισυ (54%) της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ-28 καλύφθηκε από εισαγόμενες πηγές. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό εξάρτησης της Ελλάδας αυξήθηκε στην δεκαετία 2005-2015 από 68,6% σε 71,7%.[5]

Παράλληλα, η Ελληνική στατιστική αρχή σε έρευνα που έγινε το 2011-2012 έδειξε ότι οι δύο τομείς με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας ήταν ο κτιριακός τομέας με 45% (οικιακός και τριτογενής) και ο τομέας των μεταφορών με 37% . [25]



Διάγραμμα1.1 Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα [25]

Κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει 13994 kWh εκ των οποίων οι 10244 kWh αποδίδονται σε θερμική ενέργεια γεγονός που υπογραμμίζει την σημασία των κλιματιστικών μονάδων στη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου. [18]



Διάγραμμα 1.2 Ποσοστιαία κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τελική χρήση [18]

1.2 Ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική

Ο τομέας της ενέργειας είναι εκ των πραγμάτων ο πιο παγκοσμιοποιημένος τομέας της οικονομίας, με τις επιπτώσεις αυτής της πραγματικότητας να είναι άμεσα ή έμμεσα εμφανής σε όλους τους τομείς. Κύρια κατεύθυνση της Ευρωπαϊκής ενεργειακής στρατηγικής είναι να αντιμετωπιστούν προκλήσεις όπως :

- Ενεργειακή Ασφάλεια. Οι εισαγωγές της Ε.Ε. αυξάνονται σταθερά, ενώ η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου μειώνεται συνεχώς.
- Η Κλιματική αλλαγή. Οι χαμηλών εκπομπών άνθρακα ενεργειακές πηγές και τεχνολογίες εξελίσσονται με αργό ρυθμό.
- Οι Τιμές ενέργειας. Παρουσιάζουν διακυμάνσεις και επηρεάζονται από την οικονομική αβεβαιότητα, τις τεχνολογικές εξελίξεις και την πολιτική αστάθεια.
- Οι Διεθνείς εξελίξεις. Οι αναπτυσσόμενες χώρες απορροφούν όλο και μεγαλύτερο ποσοστό των παγκόσμιων αποθεμάτων σε ορυκτά καύσιμα.

- Οικονομικές Εξελίξεις. Η χρηματοοικονομική κρίση και τα προβλήματα των ευρωπαϊκών οικονομιών θέτουν σε κίνδυνο νέες επενδύσεις και τεχνολογικές αγορές, όπου και θα πρέπει να παρακολουθούνται οι επιπτώσεις ώστε να λαμβάνονται έγκαιρα διορθωτικά/αντισταθμιστικά μέτρα.
- Επενδύσεις σε Υποδομές. Οι ανάγκες σε νέα δίκτυα, ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, που απαιτούν τεράστιες επενδύσεις με κρίσιμο το ερώτημα ποιος αναλαμβάνει το κόστος για αυτές. [4]

Ο κύριος στρατηγικός στόχος της νέας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής ως το 2020 είναι :

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου
- 20% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
- 20% αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στην τελική κατανάλωση.
- Η συμμετοχή των βιοκαυσίμων στις μεταφορές σε ποσοστό 10%. [4]

1.3 Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός

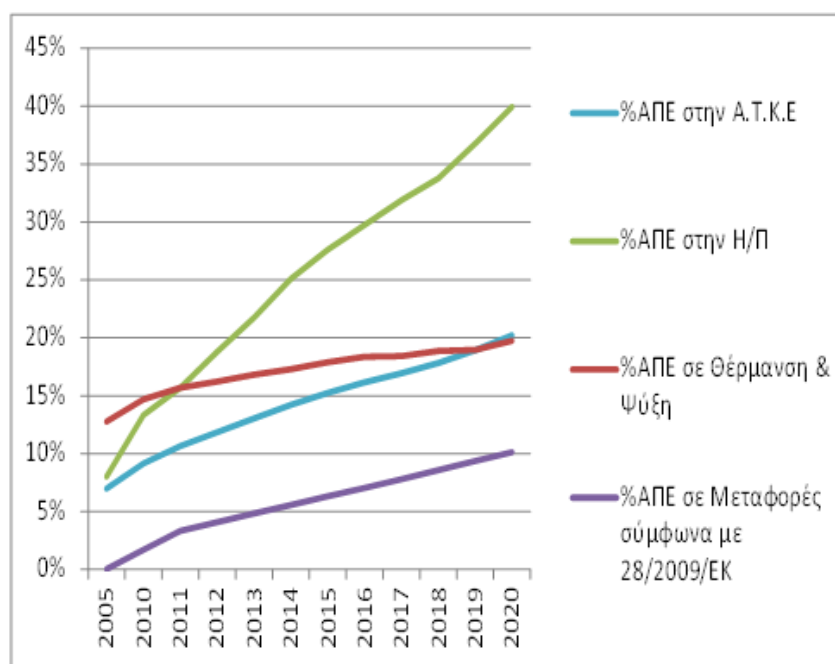
Σε εθνικό επίπεδο τις προηγούμενες δεκαετίες το ενεργειακό σύστημα αναπτύχθηκε με βάση την οικονομική ανάπτυξη αλλά και με τις καταναλωτικές συνήθειες. Το αποτέλεσμα ήταν το υψηλό επίπεδο χρήσης των συμβατικών καυσίμων και κυρίως του λιγνίτη παρά τις περιβαλλοντικές του συνέπειες. Παράλληλα το ενεργειακό μας σύστημα κυριαρχείται από την εισαγωγή υδρογονανθράκων, κυρίως πετρελαϊκών προϊόντων και σε μικρότερο βαθμό φυσικό αέριο. Η μεγάλη εξάρτηση της χώρας από τις εισαγωγές καυσίμων και οι μη προβλέψιμες - ελεγχόμενες μεταβολές στην τιμή τους, δυσκολεύουν το σχεδιασμό ενεργειακών πολιτικών. [26]

Οι προκλήσεις για την εθνική ενεργειακή πολιτική συνάδουν σε πολύ μεγάλο βαθμό με εκείνες της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής και αφορούν:

- Στην ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού καθώς και την διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος με την ανάπτυξη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Στην βελτίωση της απόδοσης σε όλους τους τομείς τελικής χρήσης.
- Στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν σχετικά με το περιβάλλον και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.
- στη βιώσιμη ανάπτυξη και στην προστασία του καταναλωτή.
- στη λειτουργία της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.

Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής υιοθέτησε τους στόχους για το 2020 :

- 4% μείωση στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 για τις εκπομπές αέριων ρύπων του θερμοκηπίου.
- 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. [26]



Διάγραμμα 1.3 Εξέλιξη του μεριδίου ΑΠΕ σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ έως το 2020 [26]

Επιπλέον συνυπολογίζεται το σύνολο των πρόσφατων θεσμικών αλλαγών που αφορούν :

- στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον κτιριακό τομέα
- στην ανάπτυξη μηχανισμών της αγοράς και εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών που αποσκοπούν στην επίτευξη του συγκεκριμένου εθνικού στόχου για εξοικονόμηση ενέργειας.

Λύση σε κάποια από τα παραπάνω προβλήματα που αναφέρθηκαν ευελπιστούν να δώσουν και οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη σε εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος και πιο συγκεκριμένα μιας διάταξης αποθήκευσης με χρήση παγολεκάνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο:Αποθήκευση ενέργειας

2.1 Γενικά.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρατηρούνται στα συστήματα παραγωγής ενέργειας είναι αυτό της διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας σύμφωνα με το απαιτούμενο φορτίο. Στην προσπάθεια εξομάλυνσης αυτής της εποχικής διακύμανσής του απαιτούμενου φορτίου που καλούνται να καλύψουν οι μονάδες παραγωγής ενέργειας, ρόλο ρυθμιστή έρχεται να παίξει η αποθήκευση ενέργειας.

Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν σε μία μονάδα αποθήκευσης, με πολλές φορές ανεξάρτητο έλεγχο, να αποθηκεύουν ενέργεια, να την διατηρούν και να την αποδίδουν όποτε χρειαστεί.

2.2 Πλεονεκτήματα συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

- Τα συστήματα αυτά έχουν κάποια πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα στην εφαρμογή τους:
- Η ενέργεια παραγόμενη σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους αιχμής αυξάνοντας την παραγωγική ικανότητα των μονάδων. (μείωση περιόδου λειτουργίας σε υψηλά φορτία)
 - Η απουσία απότομων διακυμάνσεων του φορτίου αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος και διατηρεί σταθερή την παραγωγή.
 - Η μετατόπιση της παραγωγής από περιόδους υψηλής σε περιόδους χαμηλής ζήτησης συνεπάγεται σε μειωμένο κόστος.
 - Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και κατ' επέκταση μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
 - Μείωση της αρχικής επένδυσης λόγω της απλότητας των συστημάτων (μικρότερος απαιτούμενος εξοπλισμός) καθώς και του κόστους συντήρησης. [12][9]

2.3 Κατηγορίες μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας

Η ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας γίνεται με βάση δύο χαρακτηριστικά :

- Την διάρκεια που αποθηκεύεται η ενέργεια.
- Της μορφής που αποθηκεύεται η ενέργεια.

Βάσει της διάρκειας αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας τα συστήματα διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμη, μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη αποθήκευσης ενέργειας. [24]

Η βραχυπρόθεσμη αποθήκευση καλείται να καλύψει τις αιχμές ζήτησης για κάποια συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μέσα στη διάρκεια μιας μέρας μειώνοντας έτσι την το απαιτούμενο μέγεθος του συστήματος. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υπεραγώγιμα υλικά , οι δεξαμενές αποθήκευσης υγρών, οι σφόνδυλοι (περιστρεφόμενοι τροχοί) και οι υπερπυκνωτές.

Η μεσοπρόθεσμη αποθήκευση χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ανάγκη καθυστέρησης της κατανάλωσης της αποθηκευμένης ενέργειας από μερικές ημέρες έως και λίγες εβδομάδες. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι θερμοκλίνες στερεών καθώς και τα συστήματα υδρογόναποθήκευσης.

Η μακροπρόθεσμη αποθήκευση αφορά συστήματα με μεγάλη χωρητικότητα και ελάχιστες απώλειες κατά την αποθήκευση, τα οποία μπορούν να αξιοποιήσουν την αποθηκευμένη ενέργεια έως και μήνες αργότερα. Τα συστήματα της διεποχικής αποθήκευσης εκμεταλλεύονται τις ετήσιες κλιματικές αλλαγές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι τεχνολογίες της αντλησιοταμίευσης, της γεωθερμίας και της αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.

Βάσει της μορφής που αποθηκεύεται η ενέργεια διακρίνονται σε χημικής, μηχανικής και θερμικής.

Μηχανική αποθήκευση ενέργειας περιλαμβάνουν την αποθήκευση ενέργειας υπό μορφή κινητικής, δυναμικής και ενέργειας συμπιεσμένου αερίου.

1. **Συστήματα συμπιεσμένου αέρα (CAES):** Η κατηγορία αυτή κάνει χρήση της αποθήκευσης αέρα υπό μεγάλης πίεσης. Ο αέρας συμπιέζεται σε ώρες εκτός αιχμής και αποθηκεύεται σε αεροστεγή ταμιευτήρα. Όταν προκύψει ανάγκη το αποθηκευμένο αέριο αποδεδεμεύεται και εκτονώνεται σε στρόβιλο καύσης. Ακολούθως παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από συνδεδεμένη γεννήτρια. Οι εφαρμογές αυτές είναι μεγάλης κλίμακας και μακροπρόθεσμης αποθήκευσης. Δεν είναι τόσο διαδεδομένες σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς η εγκατάστασή τους είναι πολύ δαπανηρή.[7]
2. **Αντλιοσταμείωση :** Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει την άντληση και αποθήκευση νερού, σε ώρες εκτός αιχμής. Όταν προκύψει ανάγκη το αποθηκευμένο νερό αποδεδεμεύεται και κάνοντας χρήση της δυναμικής και κινητικής του ενέργειας, κινεί τον υδροστρόβιλο ο οποίος παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η εφαρμογή τους αφορά μεγάλη κλίμακα και το κόστος επένδυσης είναι αυξημένο. [22],[19],[6]
3. **Σφόνδυλοι κινητικής ενέργειας :** Οι διατάξεις αυτές είναι κυρίως βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης. Η χρήση τους βασίζεται στην μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε περιστροφική και αντίστροφα. Ο σφόνδυλος περιστρέφεται μέσω του κινητήρα μέσα σε θάλαμο κενού αποθηκεύοντας ενέργεια. Όταν χρειαστεί η λειτουργία του κινητήρα αντιστρέφεται και γίνεται γεννήτρια η οποία εκμεταλλεύεται την αποθηκευμένη ενέργεια του σφονδύλου. Τα συστήματα αυτά μπορούν να βρουν εφαρμογή σε κτιριακές εφαρμογές. [11]

Χημική αποθήκευση ενέργειας περιλαμβάνει την ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες, την φωτοχημική αποθήκευση, την θερμοχημική αποθήκευση και την αποθήκευση με την μορφή υδρογόνου (υγρό, στερεό ή αέριο καύσιμο).

- ✓ **Μπαταρίες :** Οι μπαταρίες οι οποίες έχουν ευρεία εφαρμογή πλέον είναι διατάξεις που κάνουν χρήση της μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική όταν αυτό απαιτηθεί. Η διάταξη συνδέεται σε εξωτερικό κύκλωμα και μέσω της χημικής αντίδρασης του ηλεκτρολύτη με τα ηλεκτρόδια, διαρρέεται ρεύμα στο κύκλωμα. [20]

- ✓ **Υδρογοναποθήκευση :** Το υδρογόνο ως ενεργειακό καύσιμο, παράγεται κυρίως από τις κυψέλες καυσίμου. Παράλληλα, το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για καύση με ατμοσφαιρικό αέρα μέσα σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται κατά κόρον στην βιομηχανία από τα διυλιστήρια πετρελαίου και την βιομηχανία αμμωνίας.

Θερμική αποθήκευση ενέργειας.

Η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας (Thermal energy storage- TES) κατά κύριο λόγο γίνεται βραχυπρόθεσμα και με κύριο μέσο μεταφοράς και αποθήκευσης το νερό. Η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με τρεις τρόπους :

- Αισθητή ροή θερμότητας.
- Λανθάνουσα θερμότητα.
- Θερμοχημικές αντιδράσεις.

Κατά την *αισθητή ροή θερμότητας* η αποθήκευση βασίζεται στην θερμοκρασιακή αλλαγή του υλικού που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση αλλά και στην θερμοχωρητικότητα του.

- ❖ **Υγρά μέσα αποθήκευσης :** Κύριος εκφραστής των υγρών μέσων αποθήκευσης είναι το νερό καθώς η αφθονία του, η τιμή και η υψηλή θερμοχωρητικότητα του το κάνουν εύκολα διαχειρίσιμο.
- ❖ **Στερεά μέσα αποθήκευσης :** Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται στερεά υλικά όπως πέτρες και βράχοι σε θερμοκρασίες έως 1000 °C.

Κατά την αποθήκευση με την *μορφή λανθάνουσας θερμότητας* εκμεταλλευόμαστε την ιδιότητα των υλικών να αλλάζουν φάση σε μία ορισμένη θερμοκρασία και να απορροφούν ή να εκλύουν μεγάλα ποσά ενέργειας (Phase Change Materials- PCM).

Κατά την αποθήκευση μέσω θερμοχημικών αντιδράσεων εκμεταλλευόμαστε τα ποσά ενέργειας που προκύπτουν από τις αντιδράσεις διάσπασης και επανενώσεις των δεσμών (Thermochemical Storage-TCS).

1. **Υπερπυκνωτές:** Αξιοποιούνται για τις γρήγορες και απότομες μεταβολές των μικρών φορτίων.[6][20]
2. **Υπεραγωγικά υλικά :** Οι διατάξεις αυτές όπως και οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κάλυψη των διακυμάνσεων της τάσης και την ενίσχυση της ισχύος.[20]

Με βάση τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η γκάμα που δύνανται να καλύψουν οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας είναι αρκετά ευρεία από τεχνικής και οικονομικής σκοπιάς. Συνεπώς οι διαθέσιμες έως τώρα τεχνολογίες μπορούν να βρουν εύκολα εφαρμογή σε μεμονωμένα μικρά συστήματα όπως κατοικίες, μεμονωμένα μεγάλα συστήματα όπως συνοικίες ή μεγάλα εμπορικά καταστήματα ακόμα και σε συστήματα με εγκατεστημένες τεχνολογίες εκμετάλλευσης ΑΠΕ. Η χρησιμοποίησή τους επικεντρώνεται στις μετατόπιση των φορτίων σε ώρες αιχμής καθώς και στην μείωση της ισχύος που θα πρέπει να εγκατασταθεί. Η επιλογή λοιπόν από αυτή την ευρεία ποικιλία πρέπει να βασιστεί σε πολυπαραμετρική και κατά περίπτωση ανάλυση.

Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε με σύστημα θερμικής αποθήκευσης και πιο συγκεκριμένα αποθήκευσης ψύξης με χρήση παγολεκάνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Αποθήκευση ψύξης

3.1 Κύρια συστήματα αποθήκευσης ψύξης.

Η διαδικασία της αποθήκευσης ψύξης σε εγκαταστάσεις κλιματισμού (HVAC) στηρίζεται στην βραχυπρόθεσμη αποθήκευση θερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας κατά τις εκτός αιχμής ωρών ώστε να χρησιμοποιηθεί σε ώρες αιχμής. Η συγκεκριμένη τακτική μειώνει το κόστος εκμετάλλευσης καθώς οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά υψηλότερες κατά τις ώρες αιχμής.



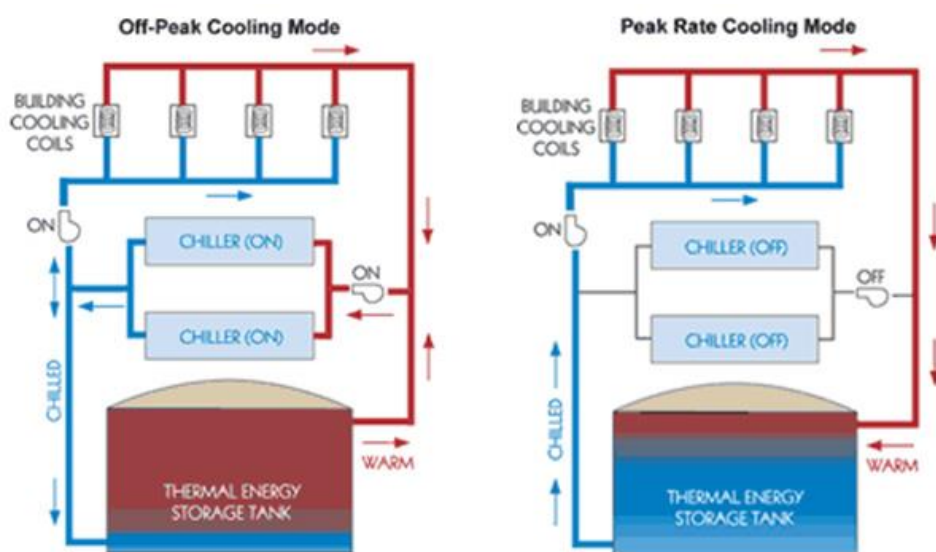
Σχήμα 3.1 Η έννοια της αποθήκευσης ψύξης. [21]

3.1.1 Αποθήκευση ψυχρού ύδατος

Τα συστήματα αποθήκευσης ψυχρού ύδατος εκμεταλλεύονται την αισθητή ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού ($4.18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$) για την αποθήκευση της ενέργειας. Στο σύστημα αυτό, το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας ψύξης εξαρτάται από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ψυχρού ύδατος που είναι αποθηκευμένο και του θερμού ύδατος που επιστρέφει από το φορτίο. Η μεγιστοποίηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος συμβαίνει όταν μεγιστοποιείται η θερμοκρασία του νερού επιστροφής, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη θερμοκρασία αποθήκευσης του ψυχρού ύδατος. Συνεπώς, ο διαχωρισμός του θερμού ύδατος της επιστροφής με το ψυχρό ύδωρ είναι κρίσιμης σημασίας. [21][8]

Ο διαχωρισμός αυτός επιτυγχάνεται με τις παρακάτω μεθόδους :

1. **Δεξαμενές αποθήκευσης ψυχρού ύδατος με φυσική στρωμάτωση (Natural stratified chilled water storage tanks)** : οι συγκεκριμένες διατάξεις βασίζονται στην τάση του νερού να δημιουργεί θερμοκρασιακές ζώνες με βάση την πυκνότητά του. Κατά τον κύκλο φόρτισης του συστήματος, κρύο νερό εισέρχεται από το ψύκτη στην κάτω μεριά της δεξαμενής και θερμό νερό εξέρχεται από την πάνω μεριά. Κατά την αποφόρτιση, η ροή του νερού αντιστρέφεται. Γενικά είναι ο πιο απλός, αποδοτικός (85-95%) και οικονομικός τρόπος αποθήκευσης ψυχρού ύδατος.[21][8][15]



Σχήμα 3.2 Κύκλος φόρτισης και αποφόρτισης δεξαμενής αποθήκευσης ψυχρού ύδατος με φυσική στρωμάτωση.

2. **Πολλαπλών δεξαμενών ή άδειας δεξαμενής (Multy tank or empty tank)** : Σε αυτού του είδους τις διατάξεις το ψυχρό και το θερμό νερό διαχωρίζονται ολοκληρωτικά καθώς αποθηκεύονται σε εντελώς διαφορετικές δεξαμενές. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο ή περισσότερες δεξαμενές εκ των οποίων μία είναι πάντα άδεια στην αρχή του κύκλου. Κατά την αποφόρτιση το αποθηκευμένο ψυχρό νερό αποσύρεται ώστε να καλύψει το ψυκτικό φορτίο και θερμό νερό επιστροφής καταλαμβάνει την άδεια δεξαμενή.

3. Μεμβράνη ή διάφραγμα : Σε αυτού του είδους τις διατάξεις χρησιμοποιείται μία άκαμπτη μεμβράνη ή ένα άκαμπτο διάφραγμα το οποίο διαχωρίζει το ψυχρό και το θερμό νερό μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης. Η μεμβράνη αυτή μετακινείται πάνω κάτω καθώς η δεξαμενή αδειάζει ή γεμίζει.[21]

4. Λαβύρινθοι και καθρέφτες (Labyrinth and Baffle): αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν το διαχωρισμό του χώρου αποθήκευσης σε πολλαπλά τμήματα, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με μερικά τοιχώματα. [21]

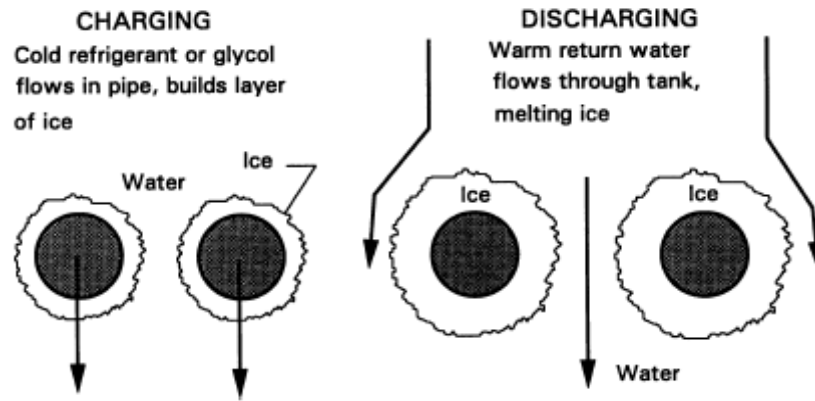
3.1.2 Αποθήκευση με χρήση παγολεκάνης (ICE BANK)

Η πολύ μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα τήξης του νερού στους 0°C, 335 kJ/kg ευνόησαν την ανάπτυξη αυτών των διατάξεων. Παράλληλα η εκμετάλλευση αυτής της ιδιότητας προσφέρει και μείωση του απαιτούμενου όγκου αποθήκευσης έως και 25 % συγκριτικά με την χρήση ψυχρού ύδατος. Η λειτουργία του συστήματος προϋποθέτει την ύπαρξη ψυκτικού υγρού σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός. Συνεπώς ως ρευστό μετάδοσης ή ως δευτερεύον ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται συνήθως γλυκόλη ή κάποιο άλλο αντιψυκτικό διάλυμα. Παράλληλα ένας εναλλάκτης χρησιμοποιείται ώστε να διακοπεί η κυκλοφορία του διαλύματος στο υπόλοιπο σύστημα διανομής. [10][21]

Οι διατάξεις με χρήση παγολεκάνης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

1. Επιφανειακή τήξη πάγου σε σερπαντίνα (External melt ice on coil)

Ο πάγος δημιουργείται σταδιακά στην φόρτιση της παγολεκάνης επάνω σε εμβαπτισμένους σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ψυκτικό υγρό. Στην περίοδο της αποφόρτισης η κίνηση του νερού γύρω από τους σωλήνες προκαλεί την τήξη του πάγου από την εξωτερική του επιφάνεια.

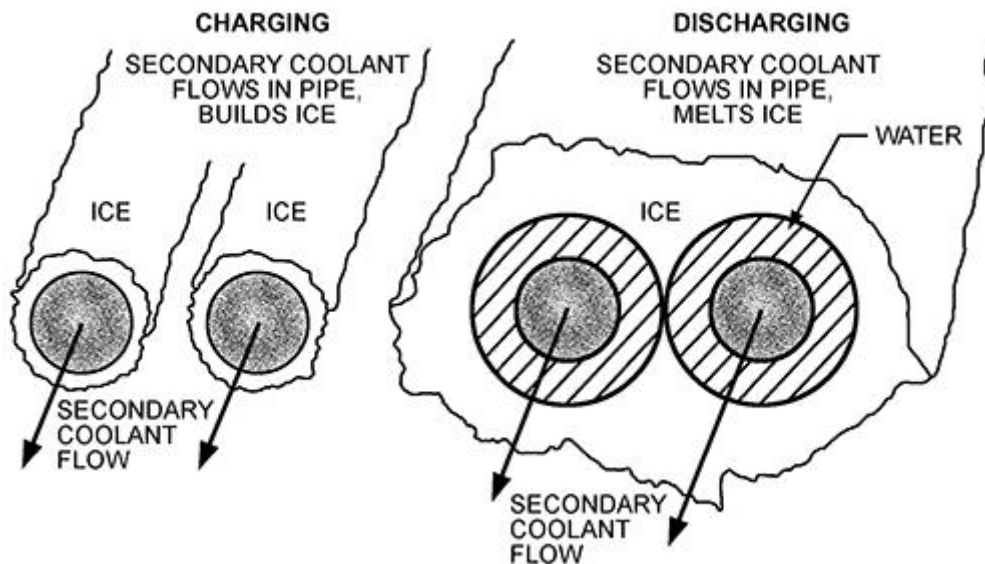


Σχήμα 3.3 Φόρτιση και αποφόρτιση επιφανειακής τήξης πάγου σε σερπαντίνα.[3]

2. Εσωτερική τήξη πάγου σε σερπαντίνα (Internal melt ice on coil)

Η διάταξη αυτή έχει παρόμοιο κύκλο φόρτισης με την εξωτερική τήξη πάγου καθώς και πάλι δημιουργείται πάγος σταδιακά γύρω από τους εμβαπτισμένους σωλήνες. Ωστόσο, η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο απόδοσης της ψύξης.

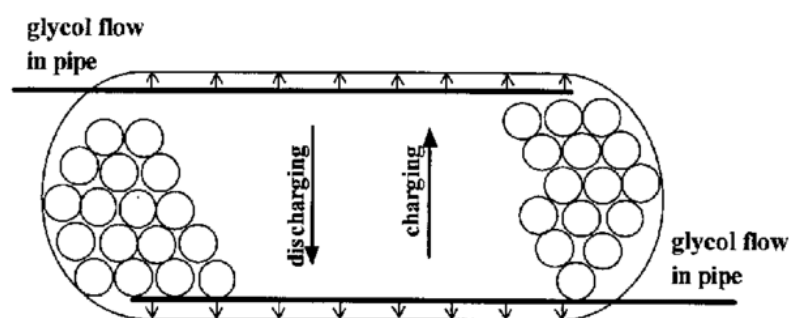
Η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού σε μεγαλύτερη θερμοκρασία ευθύνεται για την τήξη του πάγου από την εσωτερική του πλευρά.[21][3]



Σχήμα 3.4 Φόρτιση και αποφόρτιση εσωτερικής τήξης πάγου σε σερπαντίνα.[3]

3. Εγκλωβισμένος πάγος (Encapsulated Ice)

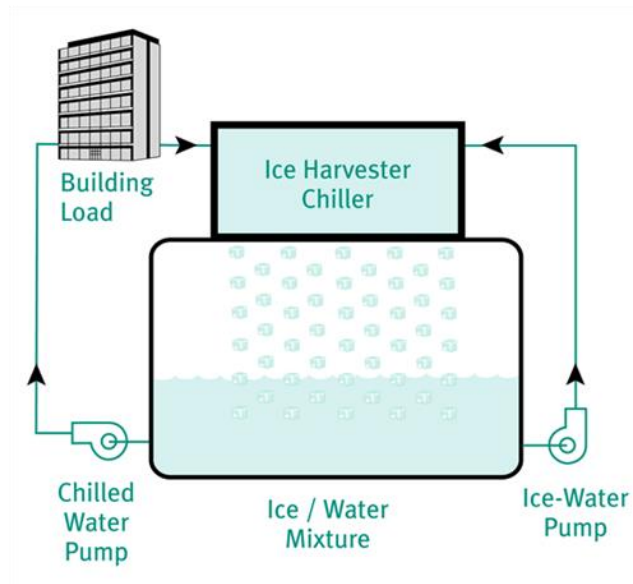
Στην δεξαμενή που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο σύστημα, βυθίζονται μικρά πλαστικά δοχεία που περιέχουν πάγο. Κατά την λειτουργία του, ψυχρό ή θερμό ψυκτικό κυκλοφορεί στην δεξαμενή που βρίσκονται εμβαπτισμένα τα δοχεία. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ανοικτή δεξαμενή πρέπει να τοποθετηθεί κάποια εσχάρα ώστε να κρατάει τα δοχεία βυθισμένα. Κατά την φόρτιση και αποφόρτιση, ένα δευτερεύον ψυκτικό κύκλωμα περνάει από την δεξαμενή. Το πλήθος των δοχείων που χρησιμοποιείται εξαρτάται από την απαιτούμενη αποθηκευτική ικανότητα. Σημαντικό στοιχείο είναι ότι ο ρυθμός της αποφόρτισης μειώνεται σταθερά αν διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία εξόδου.[21][16]



Σχήμα 3.5 Δεξαμενή εγκλωβισμένου πάγου.[16]

4. Θρυμματοποίηση πάγου (Ice harvesting)

Ο πάγος δημιουργείται σε μία επιφάνεια πάνω από την δεξαμενή αποθήκευσης. Η επιφάνεια αυτή αποτελείται από ανοξείδωτες ατσάλινες πλάκες οι οποίες δημιουργούν εσωτερικά κανάλια για την ρύθμιση της ροής του ψυκτικού υγρού. Νερό διανέμεται πάνω στην επιφάνεια και δημιουργείται ο πάγος. Στην συνέχεια θερμό ψυκτικό κυκλοφορεί κάνοντας τον πάγο να θρυμματιστεί και να πέσει στην δεξαμενή αποθήκευσης μαζί με το ψυχρό νερό. Το σημαντικό στην διάταξη της θρυμματοποίησης του πάγου είναι ότι είναι ικανή να καλύψει τα φορτία άμεσα καθώς ο πάγος που φορτίζεται σε περίοδο 24 ωρών μπορεί να λιώσει μέσα σε λίγα λεπτά. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες τεχνολογίες η δεξαμενή της διάταξης είναι απλή χωρίς εσωτερικά εξαρτήματα.

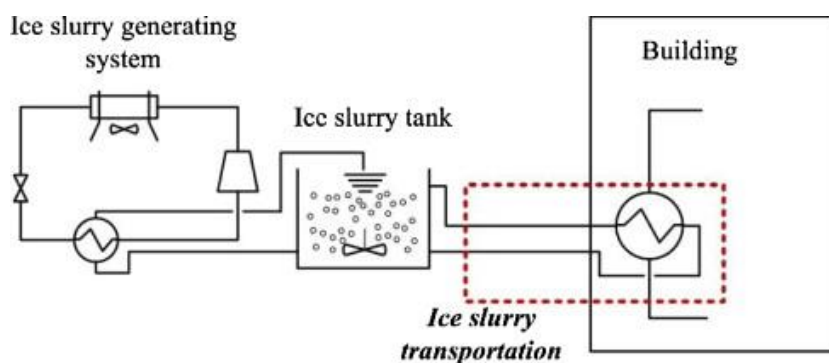


Σχήμα 3.6 Διάταξη θρυμματοποίησης πάγου.

5. Πολτός πάγου (Ice slurry)

Η ψύξη με πολτό πάγου χρησιμοποιεί ένα διαφασικό διάλυμα νερού γλυκόλης το οποίο περνώντας μέσα από ένα εξατμιστή δημιουργεί τον πολτό κρυστάλλων. Η εξάρτηση του σημείου πήξης από την συγκέντρωση της γλυκόλης στο διάλυμα είναι μεγάλη.

Συνεπώς όσο ο σχηματισμένος πάγος αυξάνεται τόσο μεγαλώνει και η συγκέντρωση της γλυκόλης στο υπόλοιπο διάλυμα, ελαττώνοντας παράλληλα το σημείο τήξης.



Σχήμα 3.7 Διάταξη δημιουργίας παγο-πολτού.[14]

3.1.3 Εύτηκτα άλατα (EUTECTIC SALTS)

Τα συγκεκριμένα υλικά ονομάζονται υλικά μεταβαλλόμενης φάσης. Τα εύτηκτα άλατα δε διογκώνονται, δε συστέλλονται όταν αλλάζουν φάση. Παράλληλα, η πυκνότητα τους είναι 1,5 φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού και γι' αυτό το λόγο δεν επιπλέουν. Τοσημείο πήξης τους είναι 8,3-8,8 °C που σημαίνει ότι συγκριτικά με τον πάγο χρειάζεται λιγότερη ενέργεια ώστε να πραγματοποιηθεί η αλλαγή φάσης.



Σχήμα 3.8 Δοχεία εγκλωβισμού εύτηκτων αλάτων.

Ο τρόπος χρησιμοποίησης τους είναι παρόμοιος με την τεχνολογία του εγκλωβισμένου πάγου. Το υλικό, συνήθως μείγμα από ανόργανα άλατα, εγκλωβίζεται μέσα σε πλαστικά δοχεία που τοποθετούνται μέσα στην δεξαμενή αποθήκευσης και περιβάλλονται από νερό. Το εγκλωβισμένο υλικό υπόκειται σε αλλαγή φάσης χωρίς ωστόσο να μετατοπίζεται κατά την πήξη και τήξη.

3.2 Σύγκριση κύριων τεχνολογιών αποθήκευσης ψύχους.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες που αναλύθηκαν παραπάνω, είναι χρήσιμες σε διαφορετικές εφαρμογές η κάθε μία. Οι αποδόσεις καθώς και τα χαρακτηριστικά τους διαφέρουν ανάλογα με τις θερμοκρασίες λειτουργίας, τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση καθώς και το είδος των φορτίων που καλούνται να καλύψουν. Μία συνοπτική σύγκριση των χαρακτηριστικών τους παρατίθεται παρακάτω (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 Σύγκριση των χαρακτηριστικών των τεχνολογιών αποθήκευσης. [21]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΨΥΧΡΟ ΝΕΡΟ	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΤΗΣ ΠΑΓΟΥ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΗΣΗ
ΤΥΠΟΣ ΨΥΚΤΗ	νερό	Προκατασκευασμένος ή συνθετημένος εξοπλισμός δημιουργίας πάγου	Χαμηλής θερμοκρασίας ψυκτικό ή συνθετημένη ψυκτική μονάδα
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	0,09 ως 0,17 m ³ /kWh	0,02 ως 0,03 m ³ /kWh	0,023 m ³ /kWh
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	4 ως 6°C	-9 ως -4°C	-9 ως -4°C
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ COP ΨΥΚΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	5 ως 9	2,7 ως 3,7	2,5 ως 4,1
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ	4 ως 7°C	1 ως 2°C	1 ως 2°C
ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΓΡΟ	Νερό	Νερό	Νερό
ΑΛΛΑ	Χρήση υπαρχόντων ψυκτών χρήση στην πυροπροστασία	Υψηλοί στιγμιαίοι ρυθμοί αποφόρτισης και Χαμηλή θερμοκρασία αποφόρτισης σε όλη τη διάρκεια του κύκλου	Υψηλοί ρυθμοί αποφόρτισης
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΗΣΗ	ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΟΣ ΠΑΓΟΣ	ΕΥΤΗΚΤΟ ΑΛΑΣ
ΤΥΠΟΣ ΨΥΚΤΗ	Χαμηλής θερμοκρασίας δευτερεύον ψυκτικό	Χαμηλής θερμοκρασίας δευτερεύον ψυκτικό	Νερό
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	0,019 ως 0,023 m ³ /kWh	0,019 ως 0,023 m ³ /kWh	0,048 m ³ /kWh
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	-6 ως -3°C	-6 ως -3°C	4 ως 6°C
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ COP	2,9 ως 4,1	2,9 ως 4,1	5 ως 5,9
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	1 ως 3°C	1 ως 3°C	9 ως 10°C
ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΜΕΣΟ	δευτερεύον ψυκτικό	δευτερεύον ψυκτικό	Νερό
ΑΛΛΑ	Δομημένες Δεξαμενές	Ελαστικότητα στην εκλογή σχήματος δεξαμενής	Χρήση υπαρχόντων ψυκτών. Ελαστικότητα στην εκλογή σχήματος δεξαμενής

3.3 Στρατηγικές λειτουργίας.

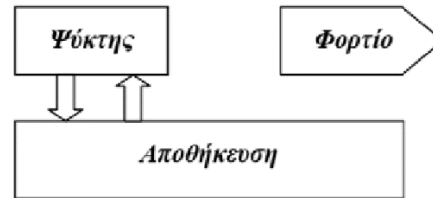
Η σχεδίαση ενός συστήματος αποθήκευσης ψύξης περιλαμβάνει ένα πολύ σημαντικό στάδιο που καθορίζει την έκβαση της επιτυχίας του συστήματος. Το στάδιο αυτό είναι η επιλογή του τρόπου και της στρατηγικής λειτουργίας του συστήματος. Οι ιδιαιτερότητες της εκάστοτε χρήσης του κτιρίου κρίνουν κάθε εφαρμογή διαφορετική και απαιτούν διαφορετικούς χειρισμούς.

3.3.1 Τρόποι λειτουργίας.

Οι τρόποι λειτουργίας χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες οι οποίες μπορούν να εναλλάσσονται μέσα στην ημέρα.

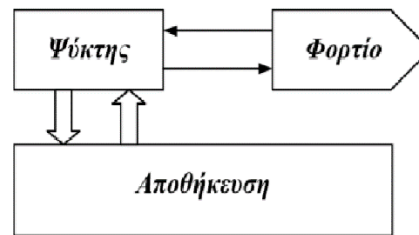
1. *Φόρτιση συστήματος αποθήκευσης* : Ο ψύκτης στην συγκεκριμένη λειτουργία είναι υπεύθυνος για την φόρτιση της διάταξης αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, κατά τις ώρες επιλογής μας, συνήθως τις εκτός αιχμής ώρες, ο ψύκτης λειτουργώντας στην

ονομαστική ισχύ του προμηθεύει με ψύξη τις ενεργειακές αποθήκες ώστε να αποδώσουν την επόμενη ημέρα. Η λειτουργία αυτή ξεκινάει όταν το κτίριο έχει πάψει την λειτουργία του.[27]



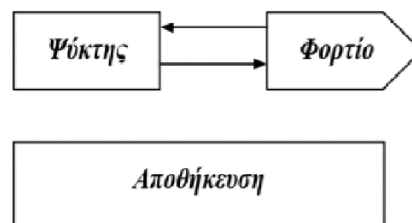
Σχήμα 3.9 Λειτουργία φόρτισης.[27][21]

2. *Ταυτόχρονη ψύξη και φόρτιση* : Στη λειτουργία αυτή ο ψύκτης επιτελεί διπλό ρόλο καθώς καλύπτει τις ανάγκες σε ψύξη και παράλληλα με την εναπομένουσα ισχύ του φορτίζει το σύστημα αποθήκευσης. [21]



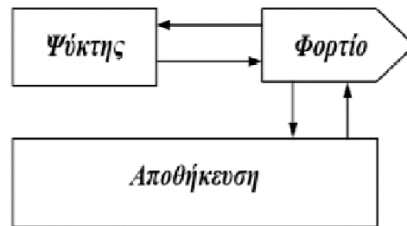
Σχήμα 3.10 Λειτουργία παράλληλης φόρτισης και ψύξης.[27][21]

3. *Ψύξη φορτίου* : Στη λειτουργία αυτή ο ψύκτης εργάζεται μόνο για την κάλυψη των υπαρχόντων φορτίων.



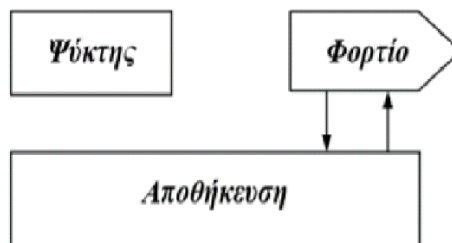
Σχήμα 3.11 Απευθείας κάλυψη φορτίου.[27][21]

4. *Παράλληλη αποφόρτιση και ψύξη φορτίου* : Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει την ταυτόχρονη αποφόρτιση του συστήματος αποθήκευσης μαζί με την απευθείας κάλυψη του υπάρχοντος φορτίου. Οι περίπτωση αυτή συμβαίνει συνήθως κατά τις περιόδους αιχμής όπου η εναπομένουσα ψυκτική ισχύς της παγολεκάνης δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία.



Σχήμα 3.12 Παράλληλη αποφόρτιση και ψύξη φορτίου. [27][21]

5. *Αποφόρτιση διάταξης αποθήκευσης* : Η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι αυτή στην οποία οι ανάγκες ψύξης του κτιρίου καλύπτονται απευθείας από την διάταξη αποθήκευσης.

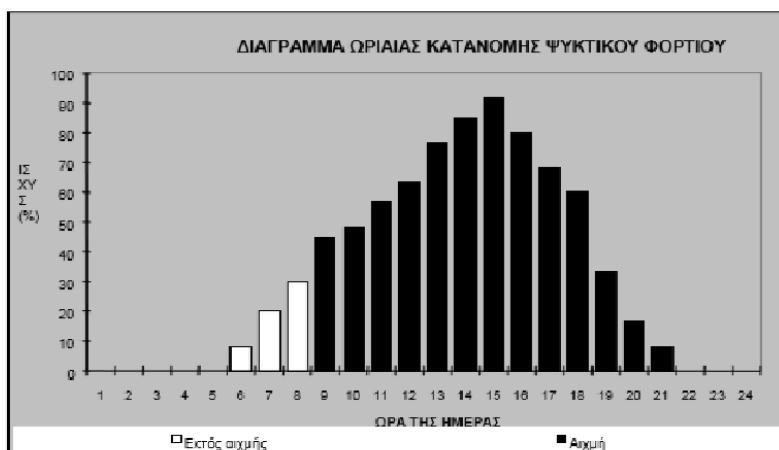


Σχήμα 3.13 Αποφόρτιση διάταξης αποθήκευσης. [27][21]

3.3.2 Στρατηγικές αποθήκευσης ψύξης.

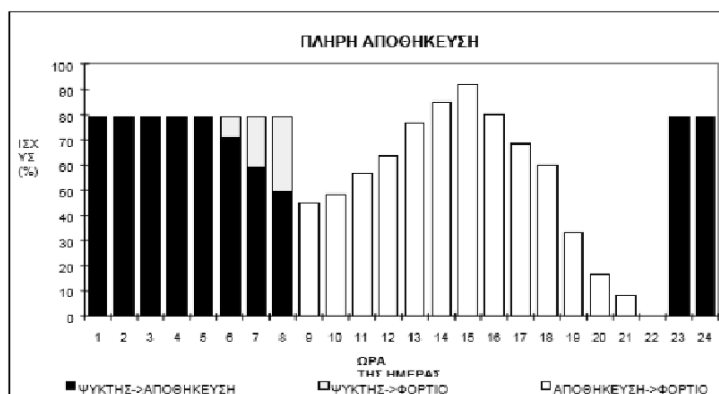
Η κύρια παράμετρος γύρω από την οποία καταστρώνονται οι στρατηγικές αποθήκευσης είναι οι τιμολογιακές χρεώσεις. Κάθε προσέγγιση σκοπό έχει την συσχέτιση της λειτουργίας του συστήματος με τις ανάγκες ψύξης ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συνολικές τιμολογιακές χρεώσεις.

Οι δύο βασικές στρατηγικές είναι η **πλήρης αποθήκευση** και η **μερική αποθήκευση**. Στη συνέχεια παρουσιάζεται παράδειγμα ανάλυσης στρατηγικής αποθήκευσης μίας υποθετικής εγκατάστασης η οποία παρουσιάζει τα ωριαία ψυκτικά φορτία του διαγράμματος 3.1. [21]



Διάγραμμα 3.1 Ωριαία ψυκτικά φορτία υποθετικής εγκατάστασης.[21]

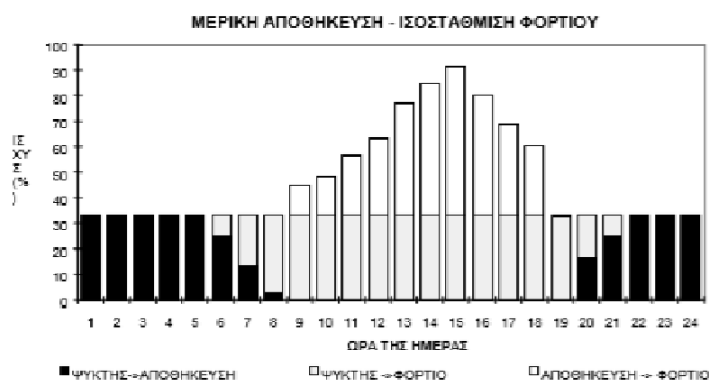
Η **πλήρης αποθήκευση** στοχεύει στην κάλυψη όλων των φορτίων που εμφανίζονται κατά τις ώρες αιχμής ενώ η διάταξη της αποθήκευσης φορτίζεται στις ώρες εκτός αιχμής. Η συγκεκριμένη στρατηγική κατά την διαστασιολόγηση του συστήματος απαιτεί μεγάλες αποθηκευτικές διατάξεις ώστε να ικανοποιείται η χωρητική ικανότητα του συστήματος. Η απαίτηση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένο κόστος εφαρμογής αλλά και μεγαλύτερο χώρο εγκατάστασης. Αντιθέτως, η μετατόπιση των φορτίων από ώρες αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής συνεπάγονται με μικρότερες τιμολογιακές χρεώσεις αλλά και μειωμένη απαίτηση ισχύος.



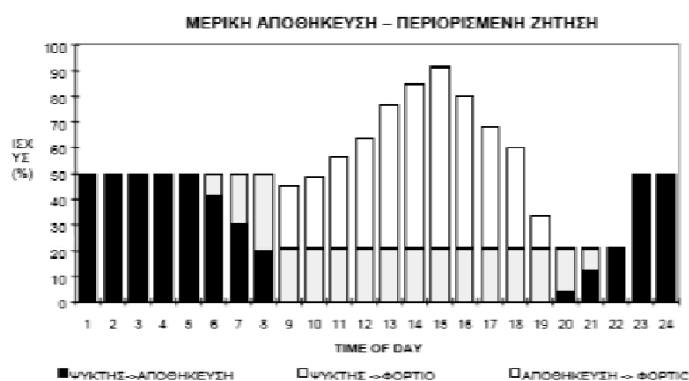
Διάγραμμα 3.2 Κάλυψη φορτίων πλήρους αποθήκευσης.[21]

Η **μερική αποθήκευση** κάνει συνδυασμένη χρήση των ψυκτών και του δεξαμενών αποθήκευσης. Πιο συγκεκριμένα, οι διατάξεις αποθήκευσης καλύπτουν ένα μέρος των φορτίων κατά τις ώρες αιχμής και τα υπόλοιπα τα καλύπτουν οι ψύκτες απευθείας. Η κάλυψη των φορτίων με τον συγκεκριμένο τρόπο μπορεί να σχεδιαστεί με δύο τρόπους.

1. **Ισοστάθμιση του φορτίου** : Η ψύξη από μέρους των ψυκτών επιτυγχάνεται με την λειτουργία τους στην ίδια ισχύ για όλες τις ώρες της ημέρας (Διάγραμμα 3.3).
2. **Περιορισμός της ζήτησης** : Η διατήρηση χαμηλότερου επιπέδου ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος επιβάλλει την λειτουργία των ψυκτών σε χαμηλότερη ισχύ κατά τις ώρες αιχμής (Διάγραμμα 3.4).



Διάγραμμα 3.3 Μερική αποθήκευση, λύση ισοστάθμισης φορτίου.[21]



Διάγραμμα 3.4 Μερική αποθήκευση, λύση περιορισμού ζήτησης.[21]

Συχνά, οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας επιτάσσουν την συνύπαρξη μέσα σε ένα έτος και των δύο λύσεων της μερικής αποθήκευσης καθώς ο στρατηγικός σχεδιασμός της λειτουργίας είναι μία δυναμική διαδικασία επηρεαζόμενη από πολλούς παράγοντες που μπορεί να αλλάζουν. Η βελτιστοποίηση λοιπόν της αποθηκευμένης χωρητικότητας και κατ' επέκταση και του συστήματος είναι συνδυασμός των παρακάτω δύο επιλογών.

1. *Προτεραιότητα στη χρήση των ψυκτών:* Η σχεδίαση αυτής της λειτουργίας περιλαμβάνει την χρησιμοποίηση των ψυκτών στην ονομαστική ικανότητα τους και την χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης συμπληρωματικά για την κάλυψη των επιπλέον ψυκτικών φορτίων.
2. *Προτεραιότητα στην αποθήκευση :* Στην στρατηγική αυτή δίνεται προτεραιότητα στην λειτουργία της διάταξης αποθήκευσης για την κάλυψη όλων των φορτίων. Οι ψύκτες τίθενται σε λειτουργία μόνο στην περίπτωση που καταναλωθεί όλη η ψυκτική αποθηκευμένη ενέργεια των δεξαμενών.

Ο σχεδιασμός της λειτουργίας ενός συστήματος αποθήκευσης όπως αντιλαμβανόμαστε είναι μια συνεχώς μεταβαλλόμενη κατάσταση η οποία επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ο μελετητής – χειριστής θα πρέπει να έχει αρκετή εμπειρία ώστε να ανταποκριθεί επιτυχώς στην πολυπλοκότητα της τεχνικής διαχείρισης της εγκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Εφαρμογή μελέτης στην Ελλάδα – κτίριο γραφείων

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστεί η περίπτωση εφαρμογής αποθήκευσης πάγου σε συγκρότημα γραφείων. Το κτίριο βρίσκεται στην περιοχή Ακρόπολη. Για το κτίριο θα γίνει οικονομική ανάλυση για περίπτωση κλιματισμού με συμβατικό σύστημα και με μερική αποθήκευση πάγου κατά τους θερινούς μήνες. Συγκεκριμένα για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, μήνες κατά τους οποίους παρατηρούνται τα μέγιστα ψυκτικά φορτία. Στο τέλος θα γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση ώστε να προκύψει η βέλτιστη λύση. Επισυνάπτονται οι κατόψεις στο παράρτημα Α.

4.1 Παραδοχές εφαρμογής.

Στην εφαρμογή λαμβάνονται οι εξής παραδοχές :

- Ο ψύκτης που χρησιμοποιείται είναι τεχνολογίας Inverter που σημαίνει ότι είναι ικανός να μεταβάλλει τις στροφές του μοτέρ του ώστε να ανταποκριθεί στις ανάγκες ψύξης. Επιλέχθηκε καθώς η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει αποδειχθεί πιο οικονομική από την διακοπτόμενη λειτουργία του κινητήρα.
- Για την χρέωση της ισχύος και της κατανάλωσης δεχόμαστε ότι χρησιμοποιείται το τιμολόγιο Γ23 της ΔΕΗ το οποίο απευθύνεται σε επαγγελματίες Χαμηλής Τάσης με διαφορετικές ανάγκες κατανάλωσης ημέρας και νύχτας. Το ωράριο νυχτερινής χρέωσης είναι από τις 22:00- 08:00. Στο τέλος της εργασίας παραθέτουμε το τιμολόγιο Γ23 της ΔΕΗ.
- Θα λάβουμε υπόψη το προφίλ των ψυκτικών φορτίων μίας τυπικής ημέρας για τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και θα δεχθούμε ότι αυτό θα είναι ίδιο για όλες τις ημέρες του μήνα.
- Δεχόμαστε ότι τα γραφεία λειτουργούν από Δευτέρα έως Παρασκευή και το Σαββατοκύριακο παραμένουν κλειστά. Το ωράριο λειτουργίας είναι από τις 08:00 έως τις 18:00 για τους εργαζόμενους ωστόσο το κτίριο παραμένει ανοικτό έως τις 20:00 για υπηρεσίες καθαριότητας.

- Ο στρατηγικός σχεδιασμός λειτουργίας του συστήματος και η επιλογή του ψύκτη και της παγολεκάνης έγινε με βάση την εταιρεία εμπορίας παγολεκανών Fafco με βάση το προφίλ των ψυκτικών φορτίων του μήνα Αυγούστου που υπολογίσαμε καθώς παρουσίαζε τα μέγιστα φορτία ψύξης.
- Οι βαθμοί απόδοσης του ψύκτη υπολογίστηκαν σε σχέση με τους βαθμούς απόδοσης της κατασκευάστριας εταιρείας οι οποίοι έχουν υπολογιστεί θεωρητικά και όχι πειραματικά.
- Δεχόμαστε ότι η παγολεκάνη θα τοποθετηθεί σε χώρο χωρίς ενεργειακές απώλειες δηλαδή σε υπόγειο.
- Τέλος η πτώση ισχύος του ψύκτη στην λειτουργία δημιουργίας πάγου υπολογίζεται με βάση τα στοιχεία της κατασκευάστριας εταιρείας.

4.2 Διαδικασία μελέτης.

1. Αρχικά θα παρουσιαστεί το κτίριο επιλογής.
2. Θα γίνει παρουσίαση της μεθόδου υπολογισμού ψυκτικών φορτίων CLTD και θα ακολουθήσουν τα προφίλ όπως υπολογίστηκαν.
3. Θα εξεταστεί η συμβατική λύση ψύξης.
4. Θα εξεταστεί η ψύξη με την προσθήκη της παγολεκάνης.
5. Παράθεση και σύγκριση των οικονομικών στοιχείων.

4.2.1 Παρουσίαση κτιρίου επιλογής.

Το υπό μελέτη κτίριο βρίσκεται στην θέση Γαριβάλδης 13, Αθήνα, 11742, Οικοδομικό Τετράγωνο 55059^α, Κλιματική Ζώνη Β. Γεωγραφικό Πλάτος : 37,96° και Γεωγραφικό Μήκος : 23,72°, Υψόμετρο : 56 m

Τα επίπεδα του κτιρίου δίνονται στον πίνακα 4.1 :

Πίνακας 4.1 Αριθμός επιπέδων.

Υπόγειο	2
Ισόγειο	1
Όροφοι	3

Οι όροφοι του κτιρίου είναι πανομοιότυποι και καταλαμβάνουν περίπου 130 m² εκτός από τον 3^ο που καταλαμβάνει 12m².

Πίνακας 4.2 Κλιματιζόμενοι χώροι και χρήσεις ανά όροφο.

Όροφος	Χρήση
1 ^ο Υπόγειο, 1 ^{ος} 2 ^{ος}	Γραφεία
3 ^{ος} Όροφος, Ισόγειο	

Ηλιοπροστασία του κτιρίου : επιτυγχάνεται με την χρήση κατάλληλων εσωτερικών σκιάστρων.

Φυσικός φωτισμός : επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ανοιγμάτων σε όλους τους κύριους χώρους του κτιρίου.

Φυσικός δροσισμός: επιτυγχάνεται με ανοίγματα σε όλες τις όψεις των ορόφων εξασφαλίζοντας διαμπερή αερισμό.

Παθητικά ηλιακά συστήματα: Η ανατολική όψη του κτιρίου καλύπτεται εξ ολοκλήρου από υαλοπετάσματα επιτρέποντας κατά τους χειμερινούς μήνες την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα υαλοπετάσματα φέρουν εσωτερικά αυτομάτως ρυθμιζόμενα σκίαστρα για τον αποκλεισμό της ανεπιθύμητης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις θερμές περιόδους.

Η βόρεια και νότια πλευρά γειτνιάζει με κλιματιζόμενους χώρους ξενοδοχείων.

Ακολουθώς δίνονται στοιχεία για τους συντελεστές θερμοπερατότητας των επιφανειών του κτιρίου ανά όροφο καθώς και για το είδος κάθε επιφάνειας.

Πίνακας 4.3 Είδος τοιχοποιίας.

ΤΥΠΟΣ	Υλικά από το εξωτερικό προς το εσωτερικό	Πάχος (m)	ρ (kg/m ³)
Διπλή μπατική-ορθοδρομική οπτοπλινθοδομή			
	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	0,020	1800
	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους	0,060	1500
	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,070	0
	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους	0,190	1500
	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	0,020	1800
	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	0,020	1800

Πίνακας 4.4 Είδη δαπέδων.

ΤΥΠΟΣ	Υλικά από το εξωτερικό προς το εσωτερικό	Πάχος (m)	ρ (kg/m ³)
Δάπεδο σιμεντοκονίας σε επαφή με το έδαφος			
	Τσιμεντοκονίαμα, επίστρωση τσιμέντου	0,020	2000
	Κισηρόδεμα, ελαφροσκυρόδεμα	0,050	500
	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,040	0
	Ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόπανα)	0,001	1100
	Οπλισμένο σκυρόδεμα (≥ 2 % σίδηρος)	0,2	1000
Δάπεδο ενδιάμεσο ξύλινο καρφωτό			
	Ξύλινα τεμάχια παρκέτου	0,020	0
	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,060	0
	Οπλισμένο σκυρόδεμα (≥ 2 % σίδηρος)	0,150	2400
	Ασβεστοκονίαμα	0,020	1800

Πίνακας 4.5 Είδος οροφής.

ΤΥΠΟΣ	Υλικά από το εξωτερικό προς το εσωτερικό	Πάχος (m)	ρ (kg/m ³)
Βατό δώμα με ανεστραμμένη μόνωση			
	Πλάκες από ελαφρό σκυρόδεμα με ανάμεικτα αδρανή	0,020	1400
	Τσιμεντοκονίαμα, επίστρωση τσιμέντου	0,020	2000
	Κισηρόδεμα, ελαφροσκυρόδεμα	0,050	500
	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,070	0
	Ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόπανα)	0,001	1100
	Οπλισμένο σκυρόδεμα (≥ 2 % σίδηρος)	0,200	2400
	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	0,020	1800

Ο τύπος των υαλοπινάκων που χρησιμοποιήθηκαν είναι σε όλες τις περιπτώσεις : Διπλός υαλοπίνακας με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου διακένου αέρα 16mm.

Αναλυτικότερα ακολουθούν ανά όροφο το είδος των ανοιγμάτων, η επιφάνεια τους καθώς και ο προσανατολισμός τους :

Πίνακας 4.6 Ανοίγματα 1^ο υπογείου.

Όροφος: **1^ο Υπόγειο**

Άνοιγμα	Πλάτος	Ύψος	A	U	Προσαν.
Παράθυρο 02	2,28	2,05	4,68	1,760	N/A
Παράθυρο 03	3,38	2,05	6,92	1,760	N/A
Παράθυρο 04	2,37	2,05	4,85	1,760	Δύση φωτ
Παράθυρο 05	0,40	2,05	0,82	1,760	Βορράς φωτ
Παράθυρο 06	1,61	2,05	3,29	1,760	Ανατολή φωτ
Παράθυρο 01	2,40	0,75	1,80	1,760	Δύση
Παράθυρο 07	2,40	0,75	1,80	1,760	Δύση

Πίνακας 4.7 Ανοίγματα ισογείου.

Όροφος: **Ισόγειο**

Άνοιγμα	Πλάτος	Ύψος	A	U	Προσαν.
Παράθυρο 01	2,28	2,05	4,68	1,760	N/A
Παράθυρο 02	3,38	2,05	6,92	1,760	N/A
Παράθυρο 03	2,37	2,05	4,85	1,760	Δύση φωτ
Παράθυρο 04	0,40	2,05	0,82	1,760	Βορράς φωτ
Παράθυρο 05	1,61	2,05	3,29	1,760	Ανατολή φωτ
Παράθυρο 06	6,11	2,55	15,58	1,760	Δύση
Παράθυρο 07	2,84	2,55	7,24	1,760	Δύση

Πίνακας 4.8 Ανοίγματα 1^{ου} ορόφου.

Όροφος: 1^{ος} Όροφος

Άνοιγμα	Πλάτος	Ύψος	A	U	Προσαν.
Παράθυρο 01	2,37	2,05	4,85	1,760	Δύση φωτ
Παράθυρο 02	0,40	2,05	0,82	1,760	Βορράς φωτ
Παράθυρο 03	1,61	2,05	3,29	1,760	Ανατολή φωτ
Παράθυρο 04	2,41	2,55	6,14	1,760	Δύση
Παράθυρο 05	1,62	2,55	4,12	1,760	Δύση
Παράθυρο 06	2,40	2,55	6,12	1,760	Δύση
Παράθυρο 07	0,80	2,55	2,04	1,760	N/A
Παράθυρο 08	6,60	2,55	16,84	1,760	N/A
Παράθυρο 09	0,80	2,55	2,04	1,760	N/A

Πίνακας 4.9 Ανοίγματα 2^{ου} ορόφου.

Όροφος: 2^{ος} Όροφος

Άνοιγμα	Πλάτος	Ύψος	A	U	Προσαν.
Παράθυρο 01	2,37	2,05	4,85	1,760	Δύση φωτ
Παράθυρο 02	0,40	2,05	0,82	1,760	Βορράς φωτ
Παράθυρο 03	1,61	2,05	3,29	1,760	Ανατολή φωτ
Παράθυρο 04	2,41	2,55	6,14	1,760	Δύση
Παράθυρο 05	1,62	2,55	4,12	1,760	Δύση
Παράθυρο 06	2,40	2,55	6,12	1,760	Δύση
Παράθυρο 07	0,80	2,55	2,04	1,760	N/A
Παράθυρο 08	6,60	2,55	16,84	1,760	N/A
Παράθυρο 09	0,80	2,55	2,04	1,760	N/A

Πίνακας 4.10 Ανοίγματα 3^ο ορόφου.

Όροφος: 3^ο Όροφος

Άνοιγμα	Πλάτος	Ύψος	A	U	Προσαν.
Παράθυρο 01	1,00	2,33	2,33	1,760	Δύση
Παράθυρο 02	0,90	2,15	1,94	1,760	Δύση

4.2.2 Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων.

4.2.2.1 Θεωρητική ανάλυση ψυκτικών φορτίων.

Ψυκτικό φορτίο : Με τον όρο ψυκτικό φορτίο ορίζουμε το ποσό θερμότητας, αισθητό και λανθάνον, το οποίο πρέπει να αφαιρεθεί από ένα χώρο με σκοπό την κάλυψη των εισροών θερμότητας που δημιουργούνται λόγω του θερμού περιβάλλοντος και των παραγόμενων εντός του χώρου.

Ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων βασίζεται κυρίως στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας και μεταφορά μάζας. Για τις κτιριακές μελέτες συνήθως χρησιμοποιούνται απλουστευμένες μαθηματικές εξισώσεις ως εκ τούτου πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα απλουστεύονται και μόνο βασικά μεγέθη χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση των φορτίων. Οι συνιστώσες του ψυκτικού φορτίου χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

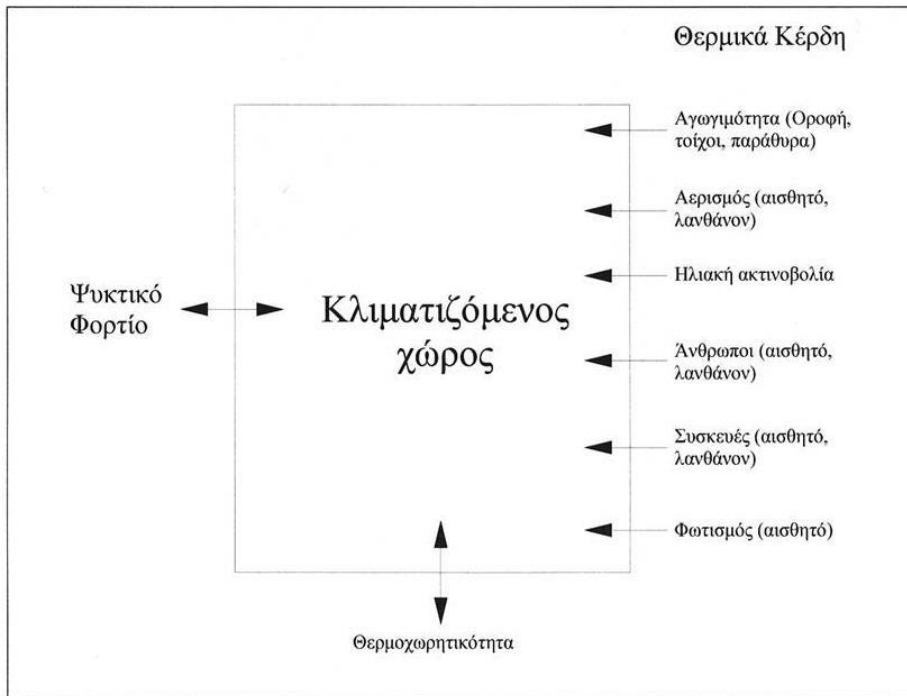
1. Εσωτερικά φορτία

- Αποδιδόμενη θερμότητα από ανθρώπους
- Αποδιδόμενη θερμότητα από φωτισμό
- Αποδιδόμενη θερμότητα από διεργασίες
- Αποδιδόμενη θερμότητα από συσκευές και μηχανές

2. Εξωτερικά φορτία

- Θερμότητα που μεταφέρεται μέσω των τοιχωμάτων του κτιρίου
- Θερμότητα που μεταφέρεται διαμέσου των παραθύρων

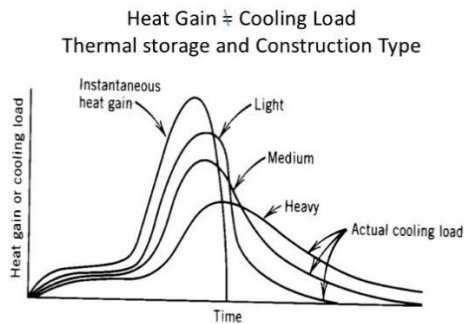
- Θερμότητα λόγω αερισμού χώρου [16][23]



Σχήμα 4.1 Θερμικό κέρδος, θερμοχωρητικότητα και ψυκτικό φορτίο.[23]

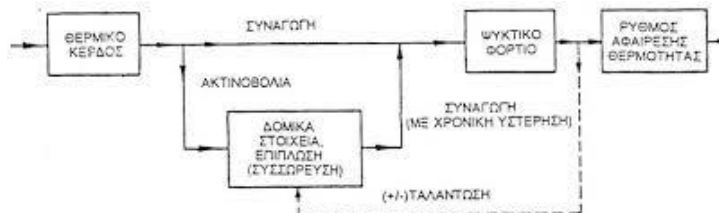
Παράλληλα, διακρίνουμε μεταβολή με το χρόνο σε τέσσερις ανεξάρτητες μεταξύ τους ροές θερμότητας :

1. **Το θερμικό κέρδος του χώρου :** Το στιγμιαίο θερμικό κέρδος είναι η ποσότητα της θερμότητας η οποία εισχωρεί ή δημιουργείται μέσα σε ένα χώρο στη μονάδα του χρόνου. Η διάκριση του θερμικού κέρδους γίνεται σε:
 - Αισθητό, το οποίο εισχωρεί στο χώρο με αγωγιμότητα, συναγωγή ή ακτινοβολία.
 - Λανθάνον, όταν στο χώρο προστίθενται υδρατμοί κυρίως από τον ανθρώπινο παράγοντα, τη λειτουργία συσκευών και τον εξωτερικό αέρα.
2. **Το ψυκτικό φορτίο του χώρου :** Ορίζουμε ως ψυκτικό φορτίο ενός χώρου τον ρυθμό αφαίρεσης της θερμότητας με σκοπό να επιτύχουμε τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Το ψυκτικό φορτίο του χώρου δεν συμπίπτει πάντα με το άθροισμα όλων των στιγμιαίων κερδών του χώρου καθώς υπάρχει χρονο-καθυστέρηση στην μετατροπή της ακτινοβολίας σε ψυκτικό φορτίο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι επιφάνειες που απαρτίζουν το χώρο και απορροφούν την ακτινοβολία, πρέπει να γίνουν θερμότερες από τον αέρα του χώρου. Όταν συμβεί αυτό, αποδεσμεύεται μέσω συναγωγής μέρος της θερμότητας στον αέρα.



Σχήμα 4.2 Χρονική υστέρηση μετατροπής θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο ανάλογα με το είδος της κατασκευής.[27]

Η πρόβλεψη του φαινομένου της θερμικής αποθήκευσης είναι πολύ σημαντική για την ακρίβεια μιας μεθόδου υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.



Σχήμα 4.3 Μετατροπή θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο.[23]

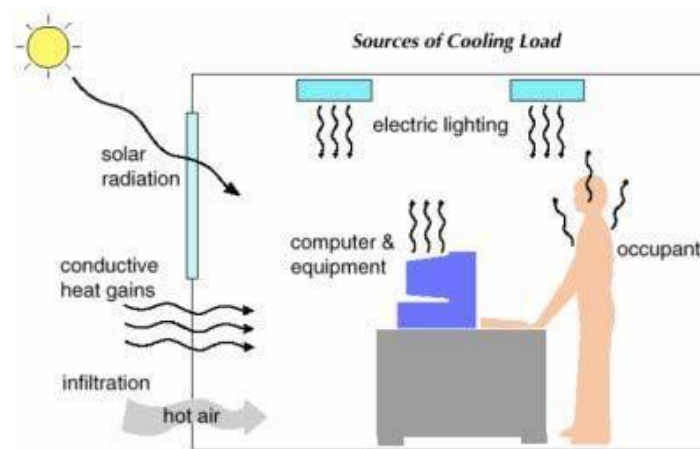
3. Ψυκτική ισχύς της συσκευής : Η ψυκτική ισχύς της συσκευής πρέπει να ισούται με το άθροισμα όλων των στιγμιαίων ψυκτικών φορτίων και των εξωτερικών φορτίων.

4.2.2.2 Μέθοδος υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η ωριαία μέθοδος υπολογισμού CLTD/CLF/SCL (Cooling Load Temperature Difference/ Cooling Load Factor/ Solar Cooling Load Factor) της ASHRAE λόγω της απλότητας σε συνδυασμό με τα ακριβή αποτελέσματα της. Το σφάλμα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι έως 20% υπερδιαστασιολόγηση και έως 10% υπόδιαστασιολόγηση. Η μέθοδος περάστηκε στο πρόγραμμα excel.[1][2]

Η μέθοδος για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων περιλαμβάνει στοιχεία συναρτήσεων:

- Εξωτερικές οροφές
- Εξωτερικοί τοίχοι
- Παράθυρα
- Εσωτερικά δομικά στοιχεία
- Εσωτερικός φωτισμός
- Άνθρωποι
- Διάφορες συσκευές
- Ηλεκτροκινητήρες
- Αερισμός



Σχήμα 4.4 Παράγοντες συνεισφοράς στα ψυκτικά φορτία.

Η μέθοδος CLTD/CLF/SCL περιλαμβάνει χρονική καθυστέρηση και για την αγωγή μέσω των εξωτερικών αδιαφανών επιφανειών και λόγω της θερμικής αποθήκευσης κατά την μετατροπή του ακτινοβολούμενου θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο. Αυτή η μέθοδος λοιπόν επιτρέπει τον υπολογισμό του φορτίου ψύξης με τον πολλαπλασιασμό απλών παραγόντων.

- **CLTD** : είναι μία θερμοκρασιακή διαφορά η οποία αντιπροσωπεύει συνδυαστικά τις επιδράσεις της διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους, της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμικής αποθήκευσης. Επηρεάζεται από τον προσανατολισμό, την κλίση, το μήνα, την ημέρα, την ώρα, το γεωγραφικό πλάτος κλπ. Οι συντελεστές CLTD χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση των θερμικών κερδών από τοίχους, οροφή, δάπεδο και υαλοπίνακες.
- **CLF** : υπολογίζει το γεγονός ότι όλη η ενέργεια ακτινοβολίας που εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή δεν γίνεται άμεσα μέρος του φορτίου ψύξης. Οι τιμές του CLF για διάφορα είδη επιφανειών έχουν υπολογιστεί

συναρτήσει του ηλιακού χρόνου και του προσανατολισμού και βρίσκονται πινακοποιημένες στα εγχειρίδια της ASHRAE. Οι συντελεστές CLF χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή στα κέρδη θερμότητας εσωτερικών φορτίων, όπως φώτα, ανθρώπινο δυναμικό, ηλεκτρικές συσκευές.

- **SCL**: οι συντελεστές αυτοί χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή φορτίων μέσω των υαλοπινάκων.

4.2.2.3 Εξισώσεις μεθόδου υπολογισμού CLTD/CLF/SCL

Στον υπολογισμό με την συγκεκριμένη μέθοδο κάθε στοιχείο του κτιρίου υπολογίστηκε ως ορίζει η μέθοδος παρακάτω.

Η βασική εξίσωση αγωγιμότητας που χρησιμοποιείται είναι η $q = U A \Delta T$ (4.1) παραλλαγμένη με την προσθήκη των συντελεστών που αναλύσαμε πιο πάνω.

Εξωτερικά φορτία κτιρίου

Ψυκτικά φορτία οροφής : $Q = U * A * (CLTD_{corr})$ [W]

Τα βήματα που ακολουθήσαμε για τον υπολογισμό των εξωτερικών φορτίων μέσω οροφής είναι τα εξής :

- 1) Επιλογή είδους οροφής από B.1 η οποία είναι πιο κοντά στην πραγματική οροφή.
- 2) Επιλογή παράγοντα CLTD για την περίοδο μελέτης σε ωριαία βάση από τους πίνακα B.2.
- 3) Διορθώσεις παραγόντων. Οι τιμές των πινάκων έχουν υπολογιστεί για:
 - Τέσσερα Γεωγραφικά Πλάτη.
 - Εσωτερική θερμοκρασία 25,5 °C.
 - Εξωτερική μέγιστη θερμοκρασία 35 °C , μέση θερμοκρασία 29,4 °C και ημερήσια διακύμανση 6 °C.

Τελικώς καταλήγουμε σε αυτή την σχέση :

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM) * K + (25,5 - T_i) + (T_o - 29,4) * f \quad (4.2)$$

Όπου :

K: Συντελεστής χρώματος

K=1.0 για σκουρόχρωμες οροφές ή οροφές σε βιομηχανικές περιοχές

K=0.5 για μόνιμα ανοιχτόχρωμες οροφές

f: Συντελεστής που εξαρτάται από την παρουσία ανεμιστήρων η αεραγωγών στην οροφή

f=1.0 αν δεν υπάρχει ροή αέρα μέσα στην οροφή

f=0.75 αν υπάρχει ροή αέρα μέσα την οροφή

LM: Διόρθωση γεωγραφικού πλάτους και μήνα, που εκλέγεται από B.3 για τον συγκεκριμένο μήνα και γεωγραφικό πλάτος της περιοχής όπου βρίσκεται το κτίριο.

- 4) Τελικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου.

$$Q = U \cdot A \cdot (CLTD_{corr}) \text{ [W]}$$

- 5) Επανάληψη των βημάτων για ωριαία βάση.

Ψυκτικά φορτία εξωτερικών τοίχων: $Q = U \cdot A \cdot (CLTD_{corr}) \text{ [W]}$

Ο υπολογισμός ακολουθεί παρόμοια λογική με τα φορτία οροφής.

- 1) Επιλογή είδους τοίχου από B.4 ο οποίος να είναι πιο κοντά στον πραγματικό.
- 2) Επιλογή παράγοντα CLTD για την περίοδο μελέτης σε ωριαία βάση από τους πίνακες B.5.
- 3) Διορθώσεις παραγόντων (βλέπε φορτία οροφής).

Τελικά καταλήγουμε σε αυτόν τον τύπο :

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM) \cdot K + (25,5 - T_i) + (T_o - 29,4) \quad (4.3)$$

Όπου :

LM: Διόρθωση γεωγραφικού πλάτους και μήνα, που εκλέγεται από τον πίνακα B.3 για τον συγκεκριμένο μήνα και γεωγραφικό πλάτος της περιοχής όπου βρίσκεται το κτίριο.

K: Συντελεστής χρώματος

$K=1.0$ για σκουρόχρωμους τοίχους ή τοίχους σε βιομηχανικές περιοχές (βαθύ μπλέ, κόκκινο, καφέ και πράσινο)

$K=0.83$ για μόνιμα ενδιάμεσου χρώματος τοίχους (π.χ. μπλέ ή πράσινο, κόκκινο, ανοιχτό καφέ, άβαφο ξύλο, σκυρόδεμα)

$K=0.65$ για μόνιμα ανοιχτόχρωμους τοίχους (π.χ. μπέζ, κλπ.)

- 4) Από την συνολική επιφάνεια A των τοίχων αφαιρώ την επιφάνεια των υαλοπινάκων και θυρών.
- 5) Τελικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου.

$$Q = U \cdot A \cdot (CLTD_{corr}) [W]$$

- 6) Επανάληψη των βημάτων για ωριαία βάση.

Ψυκτικά φορτία μέσω παραθύρων :

Τα ψυκτικά φορτία μέσω παραθύρων χωρίζονται σε δύο μέρη.

- a) Ψυκτικά φορτία λόγω αγωγής : $Q = U \cdot A \cdot CLTD [W]$
- b) Ψυκτικά φορτία λόγω ακτινοβολίας : $Q = A \cdot SC \cdot SCL [W]$ (4.4)

Τα βήματα που ακολουθήσαμε για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων λόγω αγωγής είναι τα εξής :

- 1) Επιλογή παράγοντα $CLTD$ για την περίοδο μελέτης σε ωριαία βάση από τους πίνακες B.8.
- 2) Διορθώσεις παραγόντων και κατάληξη στον τύπο :

$$CLTD_{corr} = CLTD + (25,5 - T_i) + (T_o - 29,4)$$

- 3) Τελικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου.

$$Q = U \cdot A \cdot (CLTD_{corr}) [W]$$

- 4) Επανάληψη των βημάτων για ωριαία βάση.

Τα βήματα που ακολουθήσαμε για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων λόγω ηλιακής ακτινοβολίας είναι :

- 1) Προσδιορισμός του συντελεστή σκίασης SC από B.9.

- 2) Προσδιορισμός τύπου ζώνης ανάλογα με το είδος της κατασκευής και τον όροφο.
- 3) Προσδιορισμός του συντελεστή SCL από Β.6.
- 4) Τελικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου.

$$Q = A * SC * SCL [W]$$

Εσωτερικά φορτία κτιρίου

Ψυκτικά φορτία από εσωτερικά δομικά στοιχεία

Φορτία από εσωτερικά δομικά στοιχεία δεν υπολογίστηκαν καθώς οι τοίχοι που είναι μεσοτοιχία γειτονεύουν και από τις δύο μεριές του κτηρίου με ξενοδοχεία κλιματιζόμενα και συνεπώς η θερμοκρασιακή διαφορά είναι μηδέν. Παράλληλα, στο 1ο υπόγειο δεν υπολογίστηκαν τα ψυκτικά φορτία από το δάπεδο (2ο υπόγειο μη κλιματιζόμενο) αφού είναι αεριζόμενο και επομένως θεωρώ τα φορτία αμελητέα.

Ψυκτικά φορτία από ανθρώπους:

Τα ψυκτικά φορτία από τους εργαζομένους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Αισθητά όπου $Q_{sens} = N * Q_s * CLF [W]$ (4.5)
- Λανθάνοντα όπου $Q_{lat} = N * Q_L [W]$ (4.6)

Όπου:

N : Αριθμός ανθρώπων στο χώρο.

Q_s, Q_L : Αισθητό και λανθάνον φορτίο ανάλογα με την εργασία των ανθρώπων. Ο προσδιορισμός τους έγινε από Β.10.

CLF : Ο προσδιορισμός του γίνεται με βάση Β.11. Ωστόσο CLF= 1 εάν ο κλιματισμός διακόπτει την λειτουργία του κατά την διάρκεια της νύχτας.

Οι υπολογισμοί έγιναν για 6 ανθρώπους ανά όροφο.

Ψυκτικά φορτία από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό: $Q = (HG) \cdot (CLF) [W]$ (4.7)

Τα φορτία που προστίθενται στα συνολικά από τον ηλεκτροφωτισμό τα υπολογίσαμε με βάση τα παρακάτω βήματα :

1) Προσδιορισμός συντελεστή $HG = P \cdot f_u \cdot f_s$.

Όπου :

- P = η εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροφωτισμού (W)
- F_u = ο συντελεστής χρήσης που εκφράζει το ποσοστό των εγκατεστημένων φωτιστικών που βρίσκονται σε λειτουργία την στιγμή υπολογισμού.
- F_s = ο ειδικός συντελεστής με τιμές $f_s=1$ για λαμπτήρες πυρακτώσεως και $f_s=1.2$ για 2 λαμπτήρες φθορισμού των 40W στα 277 V ως $f_s=2.2$ για έναν απλό λαμπτήρα φθορισμού 32 W στα 277 V.

2) Προσδιορισμός συντελεστή CLF από B.12.

3) Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων.

4) Επανάληψη σε ωριαία βάση.

Ψυκτικά φορτία από συσκευές και εξοπλισμό:

Τα ψυκτικά φορτία και εδώ χωρίζονται σε αισθητά και λανθάνοντα.

Για τον υπολογισμό των αισθητών φορτίων χρησιμοποιούμε την σχέση :

$$Q_{sens} = (HG)_{sens} \cdot (CLF) [W]$$

Όπου :

- HG_{sens} : το αισθητό φορτίο κάθε συσκευής. B.13
- CLF: ο παράγοντας αυτός προσδιορίζεται από B.14.

Για τον υπολογισμό των λανθανουσών φορτίων χρησιμοποιούμε την σχέση :

$$Q_{lat} = (HG)_{lat} [W]$$

Όπου :

- $(HG)_{lat}$: το λανθάνον φορτίο κάθε συσκευής.

Φορτία από αερισμό : $Q = m_{da} * C_p * (T_o - T_i) + m_{da} * h_g * (W_o - W_i) [W]$ (4.8)

Για τον υπολογισμό των φορτίων από αερισμό εργαστήκαμε ως εξής :

- 1) Σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86 ορίσαμε τον ενδεικνύμενο απαιτούμενο νωπό αέρα ανά άτομο ($m^3/h/άτομο$) . B.15
- 2) Υπολογίσαμε το $m_{da} = (p * V) / 3600$

Όπου :

- m_{da}, V η παροχή ξηρού αέρα σε $[kg/sec]$ και $[m^3/hr]$ αντίστοιχα.
- ρ η πυκνότητα του αέρα, $[kg/m^3]$

3) Υπολογίσαμε το $C_p = C_{p,da} + (W_i + W_o) * C_{p,w}$ (4.9)

Όπου :

- $C_{p,da}, C_{p,w}$ οι ειδικές θερμοχωρητικότητες ξηρού αέρα και υδρατμών αντίστοιχα, $[J/kg^{\circ}C]$
- W_i, W_o οι λόγοι υγρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα αντίστοιχα $[kg_w/kg_{da}]$

4) Υπολογίσαμε το $h_g = (C_{p,w} * (W_i + W_o) / 2) + h_{g,o}$

Όπου :

- $h_{g,o}$ η ενθαλπία αναφοράς κορεσμένου υδρατμού στους $0^{\circ}C$
- 5) Υπολογίσαμε τα ψυκτικά φορτία από αερισμό.

Ψυκτικά φορτία από διείσδυση : $Q_i = V_{inf} * S * \Delta T [W]$ (4.10)

Για τον υπολογισμό των φορτίων από διείσδυση εργαστήκαμε ως εξής :

- 1) Προσδιορισμός συντελεστή αεροδιαπερατότητας $\alpha [m^3/(hr m)]$ για τις χαραμάδες του ανοίγματος.
- 2) Προσδιορισμός του συντελεστή διεισδυτικότητας **R**.
- 3) Προσδιορισμός του συντελεστή θέσης του ανοίγματος και ανεμόπτωσης **H**.
- 4) Υπολογισμός του τύπου :

$$V_{inf} = \Sigma(l * \alpha) * R * H [m^3/hr] \quad (4.11)$$

Όπου :

- l (m) το συνολικό μήκος των χαραμάδων του ανοίγματος (πόρτα, παράθυρο).

5) Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων.

4.2.2.4 Αποτελέσματα υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.

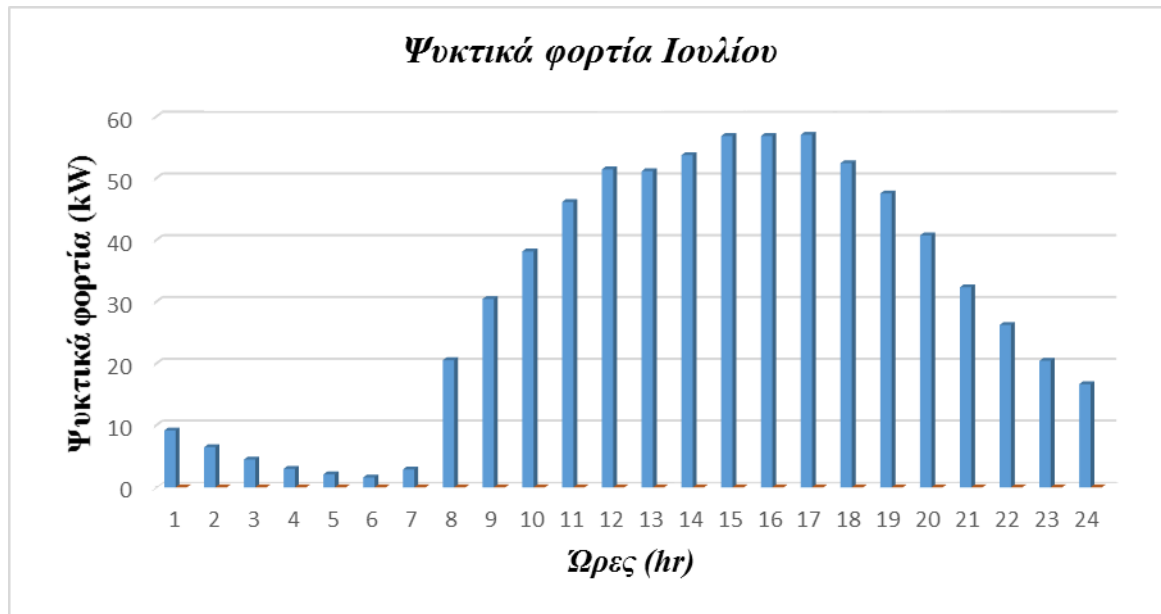
Η εφαρμογή της μεθόδου CLTD/CLF/SCL μας έδωσε προσεγγιστικά μία εκτίμηση των ωριαίων ψυκτικών φορτίων για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

Πίνακας 4.11 Ωριαία κατανομή ψυκτικών φορτίων Ιουλίου και Αυγούστου.

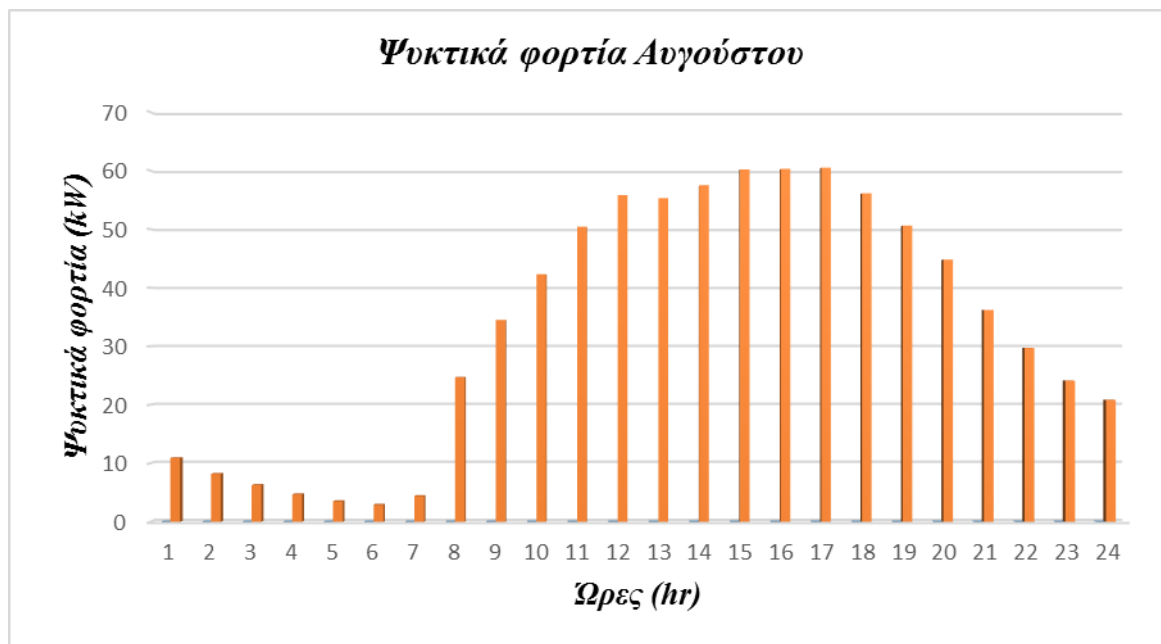
Time	August load (kW)	July load (kW)
00-01	10,9	9,2
01-02	8,2	6,5
02-03	6,3	4,5
03-04	4,7	3
04-05	3,5	2,1
05-06	2,9	1,6
06-07	4,4	2,9
07-08	24,7	20,6
08-09	34,5	30,5
09-10	42,3	38,2
10-11	50,4	46,2
11-12	55,8	51,5
12-13	55,3	51,2
13-14	57,5	53,8
14-15	60,2	56,9
15-16	60,3	56,9
16-17	60,5	57,1
17-18	56,1	52,5
18-19	50,6	47,6
19-20	44,8	40,8
20-21	36,2	32,4
21-22	29,7	26,3
22-23	24,1	20,5
23-24	20,8	16,7
Total kWh	804,7	729,5

Η ανάλυση που έγινε μας βοηθάει να κατανοήσουμε τις ανάγκες του κτιρίου σε ψύξη και να σχεδιάσουμε την στρατηγική που θα ακολουθήσουμε για την κάλυψη τους. Όπως είναι εμφανές με μία γρήγορη ματιά στα αποτελέσματα αλλά και στα παρακάτω διαγράμματα τα μέγιστα ψυκτικά φορτία εμφανίζονται μεταξύ των ωρών 15:00 και 18:00. Παράλληλα, παρατηρούμε ότι η μεγάλη ανάγκη για ψύξη εμφανίζεται όταν ο χώρος είναι κατειλημμένος από τους εργαζόμενους μεταξύ των ωρών 08:00 και 18:00. Ωστόσο, ακόμα και μετά την αποχώρηση

των εργαζομένων από τον χώρο παρατηρούμε αυξημένα ψυκτικά φορτία λόγω της θερμικής αποθήκευσης του κτιρίου και κατ' επέκταση της χρονικής υστέρησης μετατροπής των θερμικών κερδών σε ψυκτικά φορτία.



Διάγραμμα 4.1 Ωριαία κατανομή ψυκτικών φορτίων για τον μήνα Ιούλιο.



Διάγραμμα 4.2 Ωριαία κατανομή ψυκτικών φορτίων για τον μήνα Αύγουστο.

Παράλληλα με μία περαιτέρω ανάλυση προκύπτουν τα ποσοστά ψυκτικών φορτίων του κτιρίου ως προς τον παράγοντα που τα προκαλεί κατά τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου. Με βάση την διαγραμματική απεικόνιση (διάγραμμα 4.3) που ακολουθεί προκύπτει ότι το μεγαλύτερο μέρος (49%) των ψυκτικών φορτίων προκύπτει από την ακτινοβολία μέσω των διαφανών επιφανειών του κτιρίου. Σημαντική επίδραση προκύπτει από τον φωτισμό (16%)



Διάγραμμα 4.3 Ποσοστιαία ανάλυση φορτίων ανάλογα με το είδος προέλευσης τους.

4.2.3. Κάλυψη ψυκτικών φορτίων

Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού έγινε με βάση τα ψυκτικά φορτία του μήνα Αυγούστου καθώς εκεί εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο 60 kW. Η διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή βρίσκεται ήδη εγκατεστημένη στο κτίριο. Η επιλογή του ψύκτη και της παγολεκάνης καθώς και της στρατηγικής λειτουργίας που θα ακολουθείται στην πράξη έγινε μέσω λογισμικού της εταιρείας για την καμπύλη των ψυκτικών φορτίων του μήνα Αυγούστου.

Συγκεκριμένα ο εξοπλισμός για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων αποτελείται από :

1. Αερόψυκτο ψύκτη νερού.
2. Παγολεκάνη εσωτερικής τήξης.

Η ψυκτική μονάδα έχει τα εξής χαρακτηριστικά (στο παράρτημα Α παρατίθενται σκαριφήματα της διάταξης :

Πίνακας 4.12 Κατασκευαστικές προδιαγραφές του ψύκτη.

Εμπορικό Σήμα	Ciat
Είδος	ipl V hee
Ονομαστική ψυκτική ικανότητα kW	62,22
EER	3,11
Αριθμός συμπιεστών	2
Τύπος ψυκτικού	R-410a
Μήκος mm	2673
Ύψος mm	1717
Βάρος kg	674

Ο ψύκτης θα λειτουργεί κατά την περίοδο αποφόρτισης της παγολεκάνης μεταξύ των θερμοκρασιών 7 °C και 12 °C και κατά την νυχτερινή περίοδο δημιουργίας πάγου μεταξύ των θερμοκρασιών 0 °C και -5 °C. Για την λειτουργία του ψύκτη σε αρνητικές θερμοκρασίες απαιτείται να χρησιμοποιηθεί μίγμα νερού-γλυκόλης 30%.

Από τις εργοστασιακές προδιαγραφές του ψύκτη προκύπτουν τα παρακάτω στοιχεία για την συμπεριφορά του βαθμού απόδοσης του ψύκτη :

Για συνθήκες λειτουργίας με νερό εισόδου θερμοκρασίας 12°C και νερό εξόδου θερμοκρασίας 7 °C :

Πίνακας 4.13 Βαθμός απόδοσης ψύκτη για διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα	35	30	25	20
Ψυκτική ισχύς	62	46,5	32	16
EER	3,11	3,77	4,14	4,32

Για τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας αλλά για μερικά φορτία :

Πίνακας 4.14 Βαθμός απόδοσης ψύκτη για λειτουργία σε μερικά φορτία.

Φορτίο %	100	90	80	70	60	50	40	38
Ψυκτική ισχύς	62	55,8	49,6	43,4	37,2	31	24,8	24
EER	3,11	3,22	3,24	3,21	3,15	3,04	2,72	2,72
Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα	35	35	35	35	35	35	35	35

Για συνθήκες λειτουργίας με νερό εισόδου θερμοκρασίας 0 °C και νερό εξόδου θερμοκρασίας -5 °C:

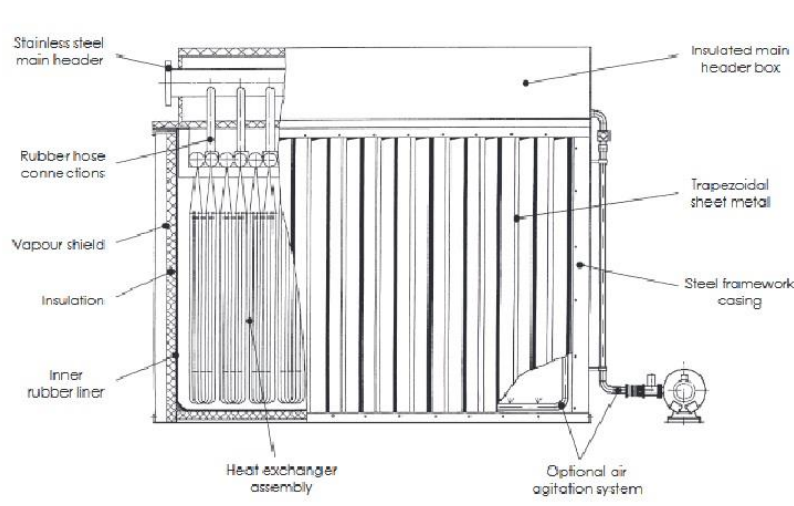
Πίνακας 4.15 Βαθμός απόδοσης ψύκτη για διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες (νυχτερινή λειτουργία).

Ψυκτική ισχύς	29	29	29	29
eer	2,79	3,03	3,36	3,7
Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα	26	23	19	15

Η παγοδεξαμενή έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

Πίνακας 4.16 Κατασκευαστικές προδιαγραφές παγοδεξαμενής.

Εμπορικό Σήμα	Ελβετική εταιρεία
Είδος	U W 155.1/10
Συνολική χωρητικότητα kWh	282
Λανθάνουσα χωρητικότητα kWh	265
Αισθητή χωρητικότητα kWh (0 °C έως +4 °C)	17
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας °C	40
Όγκος νερού m ³	6



Σχήμα 4.5 Παράδειγμα εσωτερικού παγολεκάνης.[28]

Ο τρόπος λειτουργίας της διάταξης έχει καθοριστεί και βασίζεται στην λειτουργία του ψύκτη υπό μερικά φορτία και συγκεκριμένα σε ποσοστό 70% της ονομαστικής του ψυκτικής ισχύος καθώς από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή έχει καλύτερο βαθμό απόδοσης. Η παγολεκάνη θα καλύπτει τα επιπλέον φορτία καθώς επίσης και τα μέγιστα φορτία μεταξύ των ωρών 14:00 και 16:00 για την μείωση της μέγιστης ηλεκτρικής ζήτησης. Ως αποτέλεσμα έχουμε επιλεκτική λειτουργία του ψύκτη με μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης, μεγαλύτερη εξοικονόμηση καθώς και μετατόπιση της κατανάλωσης από ώρες αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής(βραδινές ώρες). Παρακάτω παρατίθεται διάγραμμα της στρατηγικής που επιλέχθηκε.



Διάγραμμα 4.4 Στρατηγική λειτουργίας του συστήματος.

Στην επόμενη ενότητα αναλύονται οι ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά τους μήνες Αύγουστο και Ιούλιο σύμφωνα με την επιλεχθείσα στρατηγική λειτουργίας καθώς και σύγκριση με τη συμβατική λειτουργία χωρίς την αποθήκευση πάγου.

4.2.4 Ανάλυση καταναλώσεων.

Με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή για τους βαθμούς απόδοσης του ψύκτη που παρατέθηκαν στην ενότητα 4.2.3 υπολογίστηκαν οι βαθμοί απόδοσης μέσω γραμμικών παρεμβολών για τη λειτουργία σε μερικά φορτία καθώς και μέσω γραμμική παλινδρόμησης για τις διάφορες θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι οι μέσες ωριαίες εξωτερικές θερμοκρασίες των δύο μηνών όπως μετρήθηκαν από το ηλεκτρονικό σύστημα του κτιρίου κατά το έτος 2017. Με τις τιμές του παρακάτω πίνακα θα επιλέγονται οι βαθμοί απόδοσης. Η κάλυψη των αναγκών με την συμβατική μέθοδο περιλαμβάνει τον ίδιο ψύκτη, χωρίς την ψυκτική αποθήκευση στην παγολεκάνη. Η αφαίρεση της παγολεκάνης επιφέρει αλλαγή στο δευτερεύον κύκλωμα της γλυκόλης καθώς παύει η ανάγκη για λειτουργία σε αρνητικές θερμοκρασίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση στους βαθμούς απόδοσης του ψύξη της τάξεως του 6%.

Πίνακας 4.17 Βαθμοί απόδοσης του ψύκτη.

Θερμοκρασίες οC/ Ψυκτική ισχύς kW	62	55,8	49,6	43,4	42,2	37,2
35	3,11	3,22	3,24	3,21	3,20	3,15
30	3,77	3,86	3,88	3,85	3,84	3,80
25	4,14	4,21	4,23	4,21	4,20	4,17
20	4,32	4,37	4,38	4,37	4,36	4,34

Θερμοκρασίες οC/ Ψυκτική ισχύς kW	36	35	31	30	24,8	24
35	3,13	3,11	3,04	2,99	2,72	2,72
30	3,79	3,77	3,71	3,67	3,45	3,45
25	4,15	4,14	4,09	4,06	3,88	3,88
20	4,33	4,32	4,29	4,26	4,13	4,13

Για την εύρεση της ηλεκτρικής κατανάλωσης χρησιμοποιείται ο τύπος :

$$\frac{P_{el}}{EER} = P_{th} \quad (4.12)$$

4.2.4.1 Εφαρμογή Αυγούστου.

Για την κάλυψη των φορτίων η παγολεκάνη θα φορτίζεται κατά την διάρκεια της νύχτας για 8 ώρες. Ο ψύκτης θα λειτουργεί σε μερικά φορτία κατά την διάρκεια της ημέρας. Παρακάτω παραθέτουμε τον πίνακα για τις εξωτερικές θερμοκρασίες, τις απαιτήσεις ψυκτικής ισχύος από τον ψύκτη και την παγολεκάνη, τους βαθμούς απόδοσης και για τις δύο λειτουργίες του ψύκτη καθώς και τις ηλεκτρικές καταναλώσεις.

Πίνακας 4.18 Καταναλώσεις του μήνα Αυγούστου.

Time	August DB	August WB	August load	Cooling demand CH + IS	Cooling Capacity of chiller during discharging time (kW)	Cooling Capacity of IS during discharging time (kW)	Cooling Capacity of chiller during charging time (kW)	7/12 30% glycol august	-5/0 30% glycol august	Pel
00-01	23,3	19,8	10,9	0	0	0	29	0	3,03	9,57
01-02	22,4	19,5	8,2	0	0	0	29	0	3,03	9,57
02-03	21,7	19,3	6,3	0	0	0	29	0	3,03	9,57
03-04	21,2	19,1	4,7	0	0	0	29	0	3,03	9,57
04-05	21	19,1	3,5	0	0	0	29	0	3,03	9,57
05-06	21,3	19,2	2,9	0	0	0	29	0	3,03	9,57
06-07	22,2	19,4	4,4	0	0	0	29	0	3,03	9,57
07-08	23,8	19,9	24,7	25	25	0	0	3,88	0	6,44
08-09	26,1	20,6	34,5	35	35	0	0	3,77	0	9,28
09-10	28,7	21,3	42,3	42	42	0	0	3,84	0	10,94
10-11	31,7	22,2	50,4	50	42	8	0	3,84	0	10,94
11-12	34,5	22,9	55,8	56	42	14	0	3,19	0	13,17
12-13	36,6	23,5	55,3	55	42	13	0	3,19	0	13,17
13-14	38	23,9	57,5	58	42	16	0	3,19	0	13,17
14-15	38,5	24	60,2	60	0	60	0	0	0	0
15-16	38	23,9	60,3	60	0	60	0	0	0	0
16-17	36,7	23,5	60,5	61	42	19	0	3,19	0	13,17
17-18	34,8	23	56,1	56	42	14	0	3,19	0	13,17
18-19	32,5	22,4	50,6	51	42	9	0	3,19	0	13,17
19-20	30,3	21,8	44,8	45	42	3	0	3,84	0	10,94
20-21	28,4	21,3	36,2	0	0	0	0	3,78	0	0
21-22	26,6	20,7	29,7	0	0	0	0	4,06	0	0
22-23	25,2	20,3	24,1	0	0	0	0	3,88	0	0
23-24	24,1	20	20,8	0	0	0	29	0	3,03	9,57
Total kWh				654	438	216	232			204,10

Όπως παρατηρούμε οι συνολικές απαιτήσεις ψύξης του κτηρίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του είναι 654kWh εκ των οποίων η κάλυψη από το ψύκτη είναι 438kWh. Παράλληλα η παγολεκάνη καλύπτει 216 kWh. Κατά τη νυχτερινή λειτουργία της φόρτισης της παγολεκάνης ο ψύκτης αποδίδει 232 kWh σε 8 ώρες. Συνεπώς κατά την διάρκεια μίας ημέρας καταναλώθηκαν 204kWh ηλεκτρικής ισχύος.

4.2.4.2 Εφαρμογή Ιουλίου.

Για τον μήνα Ιούλιο ακολουθείται η ίδια τακτική και επομένως η παγολεκάνη θα καλύπτει τα εναπομείναντα φορτία από την λειτουργία του ψύκτη με χρόνο φόρτισης 8 ώρες. Ο ψύκτης θα εξακολουθεί να λειτουργεί σε μερικά φορτία κατά την διάρκεια της ημέρας. Παρακάτω παραθέτουμε τον πίνακα για τις εξωτερικές θερμοκρασίες, τις απαιτήσεις ψυκτικής ισχύος από τον ψύκτη και την παγολεκάνη, τους βαθμούς απόδοσης και για τις δύο λειτουργίες του ψύκτη καθώς και τις ηλεκτρικές καταναλώσεις για τον μήνα Ιούλιο.

Πίνακας 4.19 Καταναλώσεις του μήνα Ιουλίου.

Time	July DB	July WB	July load (kW)	Cooling demand CH + IS	Cooling Capacity of chiller during discharging time (kW)	Cooling Capacity of IS during discharging time (kW)	Cooling Capacity of chiller during charging time (kW)	7/12 30% glycol july	-5/0 30% glycol july	Pel
00-01	21,8	18,5	9,2	0	0	0	29	0	3,03	9,57
01-02	20,9	18,3	6,5	0	0	0	29	0	3,36	8,63
02-03	20,2	18	4,5	0	0	0	29	0	3,36	8,63
03-04	19,7	17,9	3	0	0	0	29	0	3,36	8,63
04-05	19,5	17,8	2,1	0	0	0	29	0	3,36	8,63
05-06	19,8	17,9	1,6	0	0	0	29	0	3,36	8,63
06-07	20,7	18,2	2,9	0	0	0	29	0	3,36	8,63
07-08	22,3	18,7	20,6	21	21	0	0	4,12	0	5,10
08-09	24,6	19,4	30,5	31	31	0	0	4,09	0	7,58
09-10	27,2	20,2	38,2	38	38	0	0	3,8	0	10
10-11	30,2	21,1	46,2	46	42	4	0	3,84	0	10,94
11-12	33	21,9	51,5	52	42	10	0	3,19	0	13,17
12-13	35,1	22,5	51,2	51	42	9	0	3,19	0	13,17
13-14	36,5	22,8	53,8	54	42	12	0	3,19	0	13,17
14-15	37	23	56,9	57	0	57	0	0	0	0
15-16	36,5	22,8	56,9	57	0	57	0	0	0	0
16-17	35,3	22,5	57,1	57	42	15	0	3,19	0	13,17
17-18	33,3	22	52,5	53	42	11	0	3,19	0	13,17
18-19	31,1	21,3	47,6	48	42	6	0	3,84	0	10,94
19-20	28,8	20,7	40,8	41	41	0	0	3,84	0	10,68
20-21	26,9	20,1	32,4	0	0	0	0	0	0	0
21-22	25,1	19,6	26,3	0	0	0	0	0	0	0
22-23	23,7	19,1	20,5	0	0	0	0	0	0	0
23-24	22,6	18,8	16,7	0	0	0	29	0	3,03	9,57
Total kWh				606	425	181	232			191,99

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα οι ανάγκες για ψύξη κατά την λειτουργία του κτιρίου μία τυπική ημέρα για τον μήνα Ιούλιο φτάνουν τις 606kWh. Η 8ωρη φόρτιση της παγολεκάνης χρειάστηκε 232 kWh από τον ψύκτη εκ των οποίων δαπανήθηκαν 181kWh για την κάλυψη φορτίων κατά την λειτουργία του κτιρίου. Ο ψύκτης με την λειτουργία του σε μερικά φορτία κάλυψε 425kWh. Συνεπώς κατά την διάρκεια μίας ημέρας καταναλώθηκαν 192kWh ηλεκτρικής ισχύος.

4.2.4.3 Εφαρμογή συμβατικής περίπτωσης Αυγούστου.

Στη συμβατική περίπτωση για την κάλυψη των φορτίων θα χρησιμοποιείται αποκλειστικά ο ψύκτης. Η κατανάλωση του ρεύματος θα ξεκινάει από τις 8 και θα τελειώνει με το κλείσιμο του κτιρίου. Η συγκεκριμένη ανάλυση μας έδωσε τα αποτελέσματα του πίνακα 10.



Διάγραμμα 4.5 Κάλυψη φορτίων Αυγούστου κατά την συμβατική λύση.

Το σύστημα μας κατά την διάρκεια μίας τυπικής ημέρας κάλυψε 654kWh με μέγιστο ψυκτικό φορτίο 60,5 kW. Παράλληλα, για την κάλυψη των φορτίων κατανάλωσε 184kWh ηλεκτρικής ισχύος.

Πίνακας 4.20 Καταναλώσεις του μήνα Αυγούστου στην συμβατική μέθοδο.

Time	August DB	August WB	August load	Συμβατική λύση ψύκτης νερού 60 kW	7/12 Συμβατική λύση	PeI Συμβατική λύση
00-01	23,3	19,8	10,9	0	0	0
01-02	22,4	19,5	8,2	0	0	0
02-03	21,7	19,3	6,3	0	0	0
03-04	21,2	19,1	4,7	0	0	0
04-05	21	19,1	3,5	0	0	0
05-06	21,3	19,2	2,9	0	0	0
06-07	22,2	19,4	4,4	0	0	0
07-08	23,8	19,9	24,7	25	4,11	6,08
08-09	26,1	20,6	34,5	35	4,38	7,99
09-10	28,7	21,3	42,3	42	4,07	10,32
10-11	31,7	22,2	50,4	50	4,1	12,20
11-12	34,5	22,9	55,8	56	3,41	16,42
12-13	36,6	23,5	55,3	55	3,41	16,13
13-14	38	23,9	57,5	58	3,29	17,63
14-15	38,5	24	60,2	60	3,29	18,24
15-16	38	23,9	60,3	60	3,29	18,24
16-17	36,7	23,5	60,5	61	3,29	18,54
17-18	34,8	23	56,1	56	3,41	16,42
18-19	32,5	22,4	50,6	51	3,43	14,87
19-20	30,3	21,8	44,8	45	4,08	11,03
20-21	28,4	21,3	36,2	0	0	0
21-22	26,6	20,7	29,7	0	0	0
22-23	25,2	20,3	24,1	0	0	0
23-24	24,1	20	20,8	0	0	0
Total kWh				654		184,10

4.2.4.4 Εφαρμογή συμβατικής περίπτωσης Ιουλίου.

Η ανάλυση του μήνα Ιουλίου με την συμβατική περίπτωση, δηλαδή την κάλυψη των φορτίων για τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου αποκλειστικά από τον αερόψυκτο ψύκτη νερού μας έδωσε τα αποτελέσματα του πίνακα 4.21:



Διάγραμμα 4.6 Κάλυψη φορτίων Ιουλίου κατά την συμβατική λύση.

Πίνακας 4.21 Καταναλώσεις του μήνα Ιουλίου στην συμβατική περίπτωση.

Time	July DB	July WB	July load (kW)	Συμβατική λύση ψύκτης νερού 60 kW	7/12 Συμβατική λύση	PeI Συμβατική λύση
00-01	21,8	18,5	9,2	0	0	0
01-02	20,9	18,3	6,5	0	0	0
02-03	20,2	18	4,5	0	0	0
03-04	19,7	17,9	3	0	0	0
04-05	19,5	17,8	2,1	0	0	0
05-06	19,8	17,9	1,6	0	0	0
06-07	20,7	18,2	2,9	0	0	0
07-08	22,3	18,7	20,6	21	4,37	4,81
08-09	24,6	19,4	30,5	31	4,3	7,21
09-10	27,2	20,2	38,2	38	4,03	9,43
10-11	30,2	21,1	46,2	46	4,08	11,27
11-12	33	21,9	51,5	52	3,41	15,25
12-13	35,1	22,5	51,2	51	3,41	14,96
13-14	36,5	22,8	53,8	54	3,41	15,84
14-15	37	23	56,9	57	3,41	16,72
15-16	36,5	22,8	56,9	57	3,41	16,72
16-17	35,3	22,5	57,1	57	3,41	16,72
17-18	33,3	22	52,5	53	3,41	15,54
18-19	31,1	21,3	47,6	48	4,1	11,71
19-20	28,8	20,7	40,8	41	4,07	10,07
20-21	26,9	20,1	32,4	0	0	0
21-22	25,1	19,6	26,3	0	0	0
22-23	23,7	19,1	20,5	0	0	0
23-24	22,6	18,8	16,7	0	0	0
Total kWh				606		166,23

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 4.21 η τυπική ημέρα του μήνα Ιουλίου απαιτεί από τον ψύκτη κάλυψη φορτίων ίσων με 606kWh. Το μέγιστο φορτίο που καλύφθηκε είναι 57,1 kW και η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος είναι 166,22 kWh.

4.2.4.5 Συγκριτική αξιολόγηση καταναλώσεων.

Η ενότητα αυτή θα μας δείξει συγκριτικά την αλλαγή που επέφερε στις καταναλώσεις για τις περιόδους του Ιουλίου και του Αυγούστου η κατάργηση της αποθήκευσης ψύξης και η χρήση του συμβατικού ψύκτη.

Το ζητούμενο της εφαρμογής αυτής είναι η κάλυψη των αναγκών σε ψύξη του κτιρίου κατά τις ώρες λειτουργίας του. Για την επίτευξη αυτού του στόχου εξετάστηκαν δύο λύσεις. Το συμβατικό σύστημα κάλυψε τα φορτία εξ ολοκλήρου με την χρήση του αερόψυκτου ψύκτη νερού. Αντιθέτως, το σύστημα αποθήκευσης κάλυψε συνδυαστικά τα φορτία με την χρήση του ψύκτη σε λειτουργία μερικών φορτίων και την λειτουργία αποφόρτισης της παγολεκάνης. Τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω.

Πίνακας 4.22 Σύγκριση καταναλώσεων των δύο λύσεων.

Συμβατική περίπτωση	Κατανάλωση ενέργειας (kWh _{th})	Μέγιστο ημερήσιο φορτίο. (kW)	Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh _{el})
Αύγουστος	654	60,5	184
Ιούλιος	606	57,1	166

Σύστημα αποθήκευσης	Κατανάλωση ενέργειας (kWh _{th})	Μέγιστο ημερήσιο φορτίο. (kW)	Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh _{el})
Αύγουστος	670	42	204
Ιούλιος	657	42	191

Η ανάλυση των καταναλώσεων μας έδειξε ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του συμβατικού συστήματος κατά το μήνα Αύγουστο είναι 10% μικρότερη από ότι με το σύστημα αποθήκευσης πάγου. Αντίστοιχα η κατανάλωση κατά τον μήνα Ιούλιο είναι 13% μικρότερη από το σύστημα αποθήκευσης πάγου. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας με χρήση της αποθήκευσης κατά τον μήνα Αύγουστο είναι 18 % μειωμένη σε σχέση με το συμβατικό σύστημα ψύξης.

4.2.5 Οικονομικά στοιχεία εφαρμογής.

Στην ενότητα αυτή θα εξεταστούν τα οικονομικά μεγέθη που αφορούν την εφαρμογή μας. Η χρέωση του ρεύματος που καταναλώνεται γίνεται με βάση το τιμολόγιο Γ23 της ΔΕΗ το οποίο απευθύνεται σε επαγγελματίες Χαμηλής Τάσης που έχουν διαφορετικές ανάγκες την ημέρα απ' ότι την νύχτα. Με βάση αυτό το τιμολόγιο υπάρχουν οι ακόλουθες χρεώσεις. [13]

- Χρέωση ισχύος για το δίκτυο διανομής καθώς και το σύστημα μεταφοράς.

$$\text{Μέγιστη κατανάλωση} * (0,53+1,47)$$

- Χρέωση προμήθειας για την παραγωγή και προμήθεια της ενέργειας

$$\text{Ημερήσια χρέωση} : 0,11346 \text{ €/ kWh} + \text{πάγιο } 0,53 \text{ €/μήνα}$$

$$\text{Βραδινή χρέωση} : 0,06610 \text{ €/ kWh} + \text{πάγιο } 0,53 \text{ €/μήνα}$$

- Ρυθμιζόμενες χρεώσεις ενέργειας οι οποίες εφαρμόζονται σε όσους κάνουν χρήση του Εθνικού Ηλεκτρικού Συστήματος ανεξαρτήτως του προμηθευτή που έχουν επιλέξει.

$$\text{Ημερήσια χρέωση} : (0,00477+0,0190+0,00007+0,02608+0,01824) \text{ €/ kWh}$$

$$\text{Νυχτερινή χρέωση} : (0,00007+0,02608+0,01824) \text{ €/ kWh}$$

4.2.5.1 Χρεώσεις μήνα Αυγούστου

Οι χρεώσεις κατά τον μήνα Αύγουστο διαμορφώνονται με βάση τα παρακάτω.

Συμβατική περίπτωση :

Στη συμβατική περίπτωση καταναλώθηκαν 184 kWh_{el} με μέγιστη κατανάλωση 18,54 kW στις 16:00.

Συνεπώς προκύπτουν οι χρεώσεις :

- Χρέωση ισχύος = $18,54 * (0,53+1,47) = 37,08\text{€}$
- Χρέωση προμήθειας = $0,11346 * 184 * 22 = 459 \text{ €}$
- Λοιπές χρεώσεις = $(0,00477+0,0190+0,00007+0,02608+0,01824) * 184 * 22 = 276 \text{ €}$

Περίπτωση με αποθήκευση :

Στην περίπτωση με την αποθήκευση πάγου καταναλώθηκαν 204 kWh_{el} εκ των οποίων οι 76,5 kWh_{el} με βραδινή κατανάλωση. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ήταν 13,16kW.

Συνεπώς προκύπτουν οι χρεώσεις :

- Χρέωση ισχύος = $13,16 * (0,53+1,47) = 26,32 \text{ €}$
- Χρέωση προμήθειας ημερήσια = $0,11346 * 127,5 * 22 = 318 \text{ €}$
- Χρέωση προμήθειας νυχτερινή = $0,06610 * 76,5 * 22 = 111 \text{ €}$
- Λοιπές χρεώσεις ημερήσιες = $(0,00477+0,0190+0,00007+0,02608+0,01824) * 127,5 * 22 = 191\text{€}$
- Λοιπές χρεώσεις νυχτερινές = $(0,00007+0,02608+0,01824) * 76,5 * 22 = 75 \text{ €}$

Οι συνολικές χρεώσεις λοιπόν του μήνα Αυγούστου είναι οι εξής :

Συμβατική	Με αποθήκευση πάγου
772 €	721 €

4.2.5.2 Χρεώσεις μήνα Ιουλίου.

Οι χρεώσεις κατά τον μήνα Ιούλιο διαμορφώνονται με βάση τα παρακάτω.

Συμβατική περίπτωση :

Στη συμβατική περίπτωση καταναλώθηκαν 166 kWh_{el} με μέγιστη κατανάλωση 16,70 kW στις 16:00.

Συνεπώς προκύπτουν οι χρεώσεις :

- Χρέωση ισχύος = $16,70 * (0,53+1,47) = 33,4 \text{ €}$

- Χρέωση προμήθειας = $0,11346 * 166 * 22 = 414,3 \text{ €}$
- Λοιπές χρεώσεις = $(0,00477+0,0190+0,00007+0,02608+0,01824) * 166 * 22 = 249$

Περίπτωση με αποθήκευση :

Στην περίπτωση με την αποθήκευση πάγου καταναλώθηκαν 192 kWh_{el} εκ των οποίων οι 71 kWh_{el} με βραδινή κατανάλωση. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ήταν 13,16 kW.

Συνεπώς προκύπτουν οι χρεώσεις :

- Χρέωση ισχύος = $13,11 * (0,53+1,47) = 26,32 \text{ €}$
- Χρέωση προμήθειας ημερήσια = $0,11346 * 121 * 22 = 302\text{€}$
- Χρέωση προμήθειας νυχτερινή = $0,06610 * 71 * 22 = 103\text{€}$
- Λοιπές χρεώσεις ημερήσιες = $(0,00477+0,0190+0,00007+0,02608+0,01824) * 121 * 22 = 181\text{€}$
- Λοιπές χρεώσεις νυχτερινές = $(0,00007+0,02608+0,01824) * 71 * 22 = 69\text{€}$

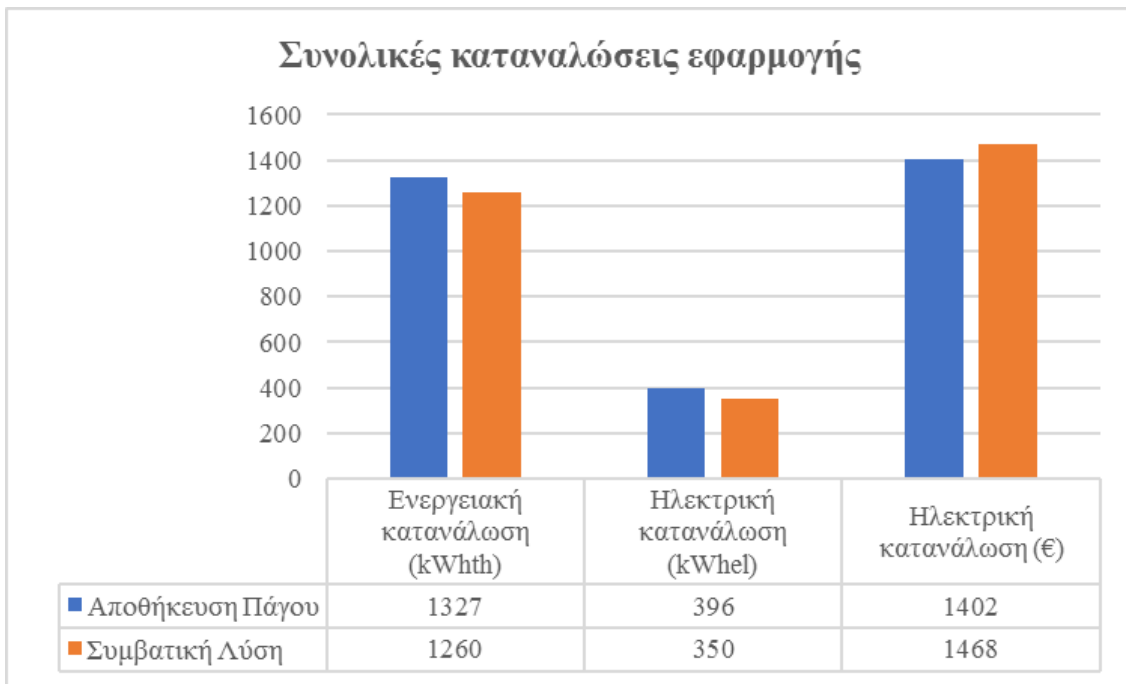
Οι συνολικές χρεώσεις λοιπόν του μήνα Ιουλίου είναι οι εξής :

Συμβατική	Με αποθήκευση πάγου
696€	681 €

Συμπερασματικά για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο οι καταναλώσεις συνοψίζονται στον πίνακα 4.23.

Πίνακας 4.23 Συνολικές καταναλώσεις.

	Αποθήκευση Πάγου	Συμβατική λύση
Ενεργειακή κατανάλωση (kWh _{th})	1327	1260
Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh _{el})	396	350
Ηλεκτρική κατανάλωση (€)	1402	1468



Διάγραμμα 4.7 Απεικόνιση των συγκριτικών καταναλώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν και θα γίνουν προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση του θέματος της αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ακολουθώντας την εποχή μας που επιτάσσει νέες, ελπιδοφόρες, συμφέρουσες οικονομικά και πρακτικά τεχνολογίες, επιλέχθηκε να διερευνηθεί το θέμα της θερμικής αποθήκευσης για τον κλιματισμό κτιρίων και πιο συγκεκριμένα η χρησιμοποίηση της αποθήκευσης πάγου.

Ως αντικείμενο μελέτης για την εφαρμογή επιλέχθηκε το κτίριο των γραφείων εταιρείας εμπορίας τεχνολογιών αποθήκευσης ψύξης, το οποίο έχει εγκατεστημένη την διάταξη που μελετήθηκε.

Αρχικά έγινε ωριαία ανάλυση των ψυκτικών φορτίων μέσω της μεθόδου CLTD/CLF/SCLη οποία χρησιμοποιεί πινακοποιημένες τιμές και διορθωτικούς παράγοντες για τους υπολογισμούς της. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας έδωσαν μία καλή ιδέα για την διακύμανση των φορτίων μέσα στην ημέρα, τότε εμφανίζονται τα μέγιστα φορτία καθώς και ποιο είναι το απολύτως μέγιστο φορτίο της θερινής περιόδου.

Η επιλογή του συστήματος ψύξης προς μελέτη ήταν μονόδρομος καθώς ο σκοπός ήταν να μελετηθεί το ήδη υπάρχον εγκατεστημένο σύστημα. Παράλληλα, με βάση τα κατασκευαστικά στοιχεία δημιουργήθηκε πίνακας με τους βαθμούς απόδοσης του συστήματος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος.

Με βάση λοιπόν τον υπολογισμό των καταναλώσεων, η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος με την αποθήκευση του πάγου ξεπέρασε συγκριτικά την κατανάλωση της συμβατικής διάταξης κατά περίπου 5 %. Το αποτέλεσμα αυτό είναι το αναμενόμενο καθώς οι ώρες λειτουργίας της παγο-αποθήκευσης είναι περισσότερες λόγω της νυχτερινής λειτουργίας φόρτισης της δεξαμενής από τον ψύκτη.

Στην οικονομική ανάλυση που ακολούθησε με βάση το τιμολόγιο χρέωσης Γ23 της ΔΕΗ, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος ήταν μεγαλύτερη στη διάταξη της αποθήκευσης, το κόστος της ήταν μικρότερο σε σχέση με την κατανάλωση του συμβατικού συστήματος (1402 € έναντι 1468 €). Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει από την μετατόπιση της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος από ώρες αιχμής σε ώρες εκτός αιχμής (βραδινές) κατά τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια χρεώνεται περίπου 50% λιγότερο.

Ωστόσο, παρότι η σύγκριση έδειξε ότι η πιο συμφέρουσα επιλογή στο τελικό κόστος λειτουργίας είναι η αποθήκευση ψύξης, αν συνυπολογιστεί η διαφορά στο αρχικό κόστος των δύο συστημάτων (η ενδεικτική τιμή της παγολεκάνης 250 kWh είναι 25000 €) η επένδυση κρίνεται ασύμφορη. Το μικρό μηνιαίο όφελος που έχουμε ως αποτέλεσμα οφείλεται στο μέγεθος του κτιρίου και κατ' επέκταση στα μικρά ψυκτικά φορτία που καλύφθηκαν. Τέτοιες διατάξεις προορίζονται για μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές όπου η εκμετάλλευση του νυχτερινού τιμολογίου κάνει την απόσβεση της επένδυσης σύντομη.

5.1 Προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση.

Το θέμα της αποθήκευσης του πάγου για τον κλιματισμό κτιρίων παρότι μελετάται εδώ και δεκαετίες, υστερεί σημαντικά στην προτίμηση των καταναλωτών σε σχέση με τις άλλες διατάξεις κλιματισμού. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι το μεγάλο κόστος της αρχικής επένδυσης. Παράλληλα η επιτυχία των συστημάτων αυτών κρίνεται κυρίως από την διαφορά στην τιμή χρέωσης των ωρών εντός και εκτός αιχμής ζήτησης.

Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί περαιτέρω η συγκεκριμένη διάταξη μελλοντικά ως προς τον τρόπο λειτουργίας ώστε να βελτιστοποιηθεί το περιθώριο κέρδους εξαρτώμενο μόνο από το εκάστοτε τιμολόγιο χρέωσης. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή της ολικής αποθήκευσης μοιάζει ελπιδοφόρα με βάση τα αποτελέσματα. Προτείνεται η διερεύνηση όλων των διαθέσιμων τρόπων και στρατηγικών λειτουργίας ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση.

Παράλληλα, ενδιαφέρον θέμα προς μελέτη είναι η συσχέτιση του ρυθμού τήξης του πάγου σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος και το μίγμα δευτερεύοντος ψυκτικού υγρού θεωρητικά και πρακτικά. Αναμένεται να διαλευκανθεί ακόμα περισσότερο ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος και να προκύψουν βελτιώσεις στην απόκριση των συστημάτων αυτών σε απότομες αιχμές ψυκτικών φορτίων στοιχείο στο οποίο υστερούν.

Τέλος, ουσιώδες θα ήταν να διερευνηθεί το αποτύπωμα που θα είχε μία ευρείας κλίμακας εφαρμογή των συστημάτων αυτών (πχ. πόλη της Κοζάνης) στην εξομάλυνση του φορτίου του διανομέα ηλεκτρικής ενέργειας, στη μείωση του μεγέθους των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται για την κάλυψη της ζήτησης της εφαρμογής και κατ' επέκταση στο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ashrae fundamentals handbook, 1997
- [2] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ashrae fundamentals handbook, 2001
- [3] ASHRAE Handbook, 2012 HVAC Systems and Equipment
- [4] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee of the Regions, Energy, A strategy for competitive, sustainable and secure energy, 2020.
- [5] Energy, transport and environment indicators (2017 edition), ec.europa.eu.
- [6] Hadjipaschalis, I. Poullikkas A., Efthimiou V., Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, 2009
- [7] Ibrahim H., Ilinca A., Perron J., Energy storage systems—Characteristics and comparisons, Volume 12, June 2008
- [8] IEA District Heating and Cooling, Optimization of Cool Thermal Storage and Distribution, 2002
- [9] João F. Fernandes, Carlos M. S. Nascimento, Eduardo Maldonado, Carlos Laia, Ricardo M. Perez, Pedro C. Martinez, Francisco Bas Jimenez, Michaelis Karagiorgas & V. Stathis - THERMIE type B action, Promotion of Use of Cooling Storage Systems (Phase I), 1996
- [10] Kosi F., Mirko B, Mirko K., Cold Thermal Energy Storage, 2015
- [11] Mustafa E. Amiryar, Keith R. Pullen, A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications, March 2017
- [12] Olivier de la Morinière - Demand-Side Management and Electricity End-Use Efficiency – Cool Storage in Commercial Buildings: Efficient and Cost-Effective Technology, 1988
- [13] Public Power Corporation S.A.
- [14] QiqiTian , GuogengHe, HongWang, DehuaCai, Simulation on transportation safety of ice slurry in ice cooling system of buildings, Volume 72, April 2014
- [15] Wildin M. , Flow and Temperature Distribution in a Naturally Stratified Thermal Storage Tank, 1993
- [16] Yingxin Zhu, Yan Zhang, Dynamic Modeling of Encapsulated Ice Tank for HVAC System Simulation, July 2000

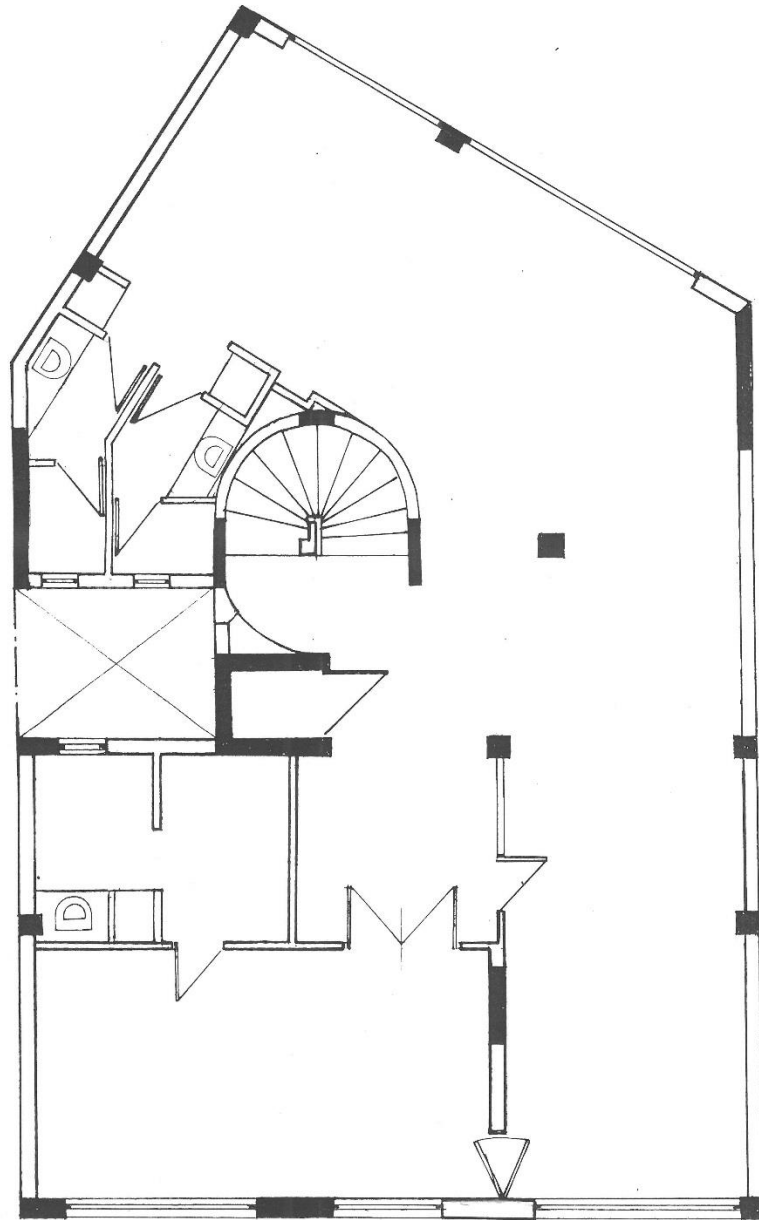
- [17] Αγγελίδης Χ., Συστήματα και τεχνολογίες για αποθήκευση ενέργειας σε κτίρια, Διπλωματική εργασία, Ιούνιος 2010.
- [18] Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2013. Δελτίο Τύπου – Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011-2012. διεύθυνση: <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SFA40/>
- [19] Ζερβός Α., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Ε.Μ.Π., 2007
- [20] Κ.Α.Π.Ε. , Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε., 2001
- [21] Καράγιωργας, Μ. , Προώθηση της Χρήσης Συστημάτων Αποθήκευσης Ψύξης, Κ.Α.Π.Ε. , 1996.
- [22] Κάραλης Γ., Ανάπτυξη και Ανάλυση Συστημάτων Ανεμοκινητήρων και Αντλιοσταμειωτήρων, 2007
- [23] Παπακόστας Κ. , Μάθημα Κλιματισμός, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- [24] Τσικαλάκης Α., Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης, Διδακτορική Διατριβή, Ιούλιος 2008.
- [25] ΥΠΕΚΑ, Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ), 2014.
- [26] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός – Οδικός Χάρτης για το 2050, 2012.
- [27] Φλώρος Δ. , Κλιματισμός Κτιρίων με Χρήση Παγολεκανών , Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2010

Ηλεκτρονικοί ιστότοποι

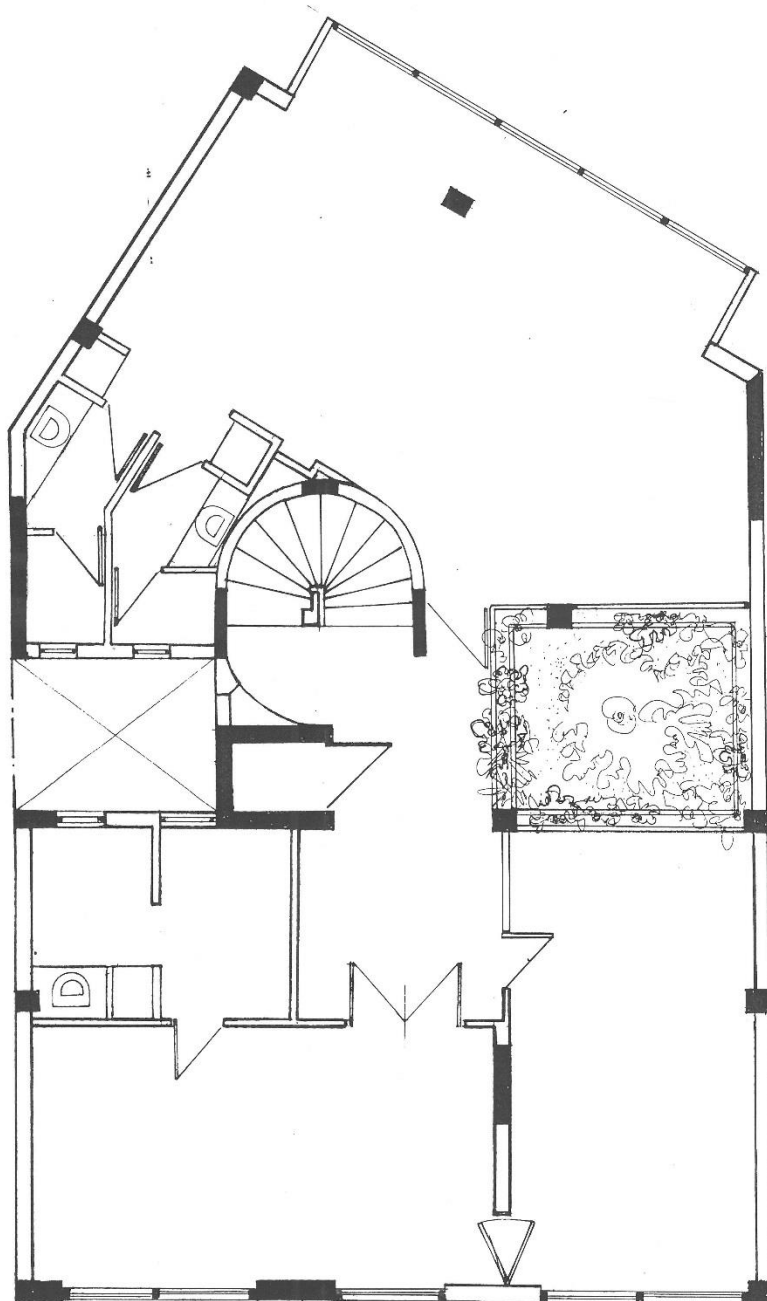
- [28] <https://fafco.com/>
- [29] <http://www.ypeka.gr/>
- [30] <http://www.statistics.gr>
- [31] <http://www.dei.gr> .
- [32] <https://eclass.uowm.gr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Κατόψεις κτιρίου γραφείων

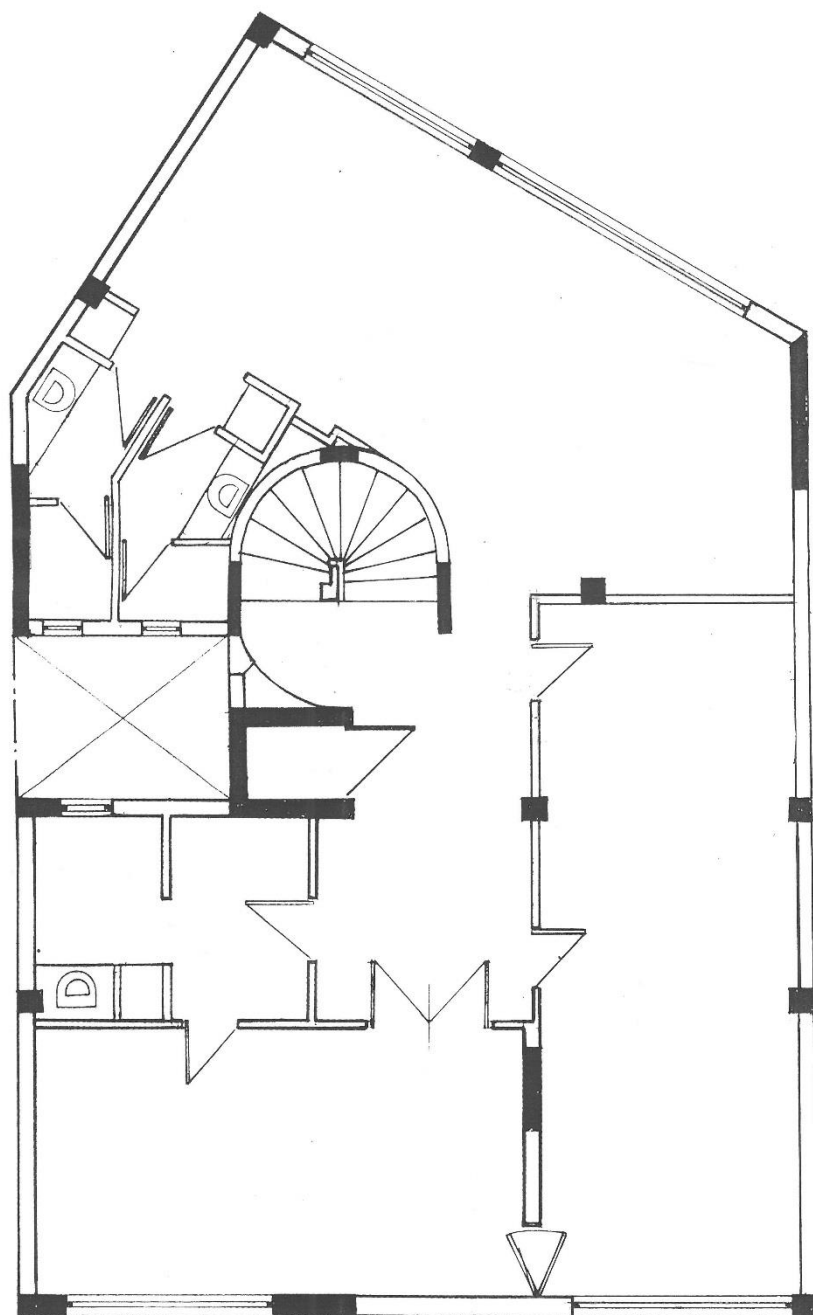
Τυπική κάτοψη υπογείου



Κάτοψη Ισογείου

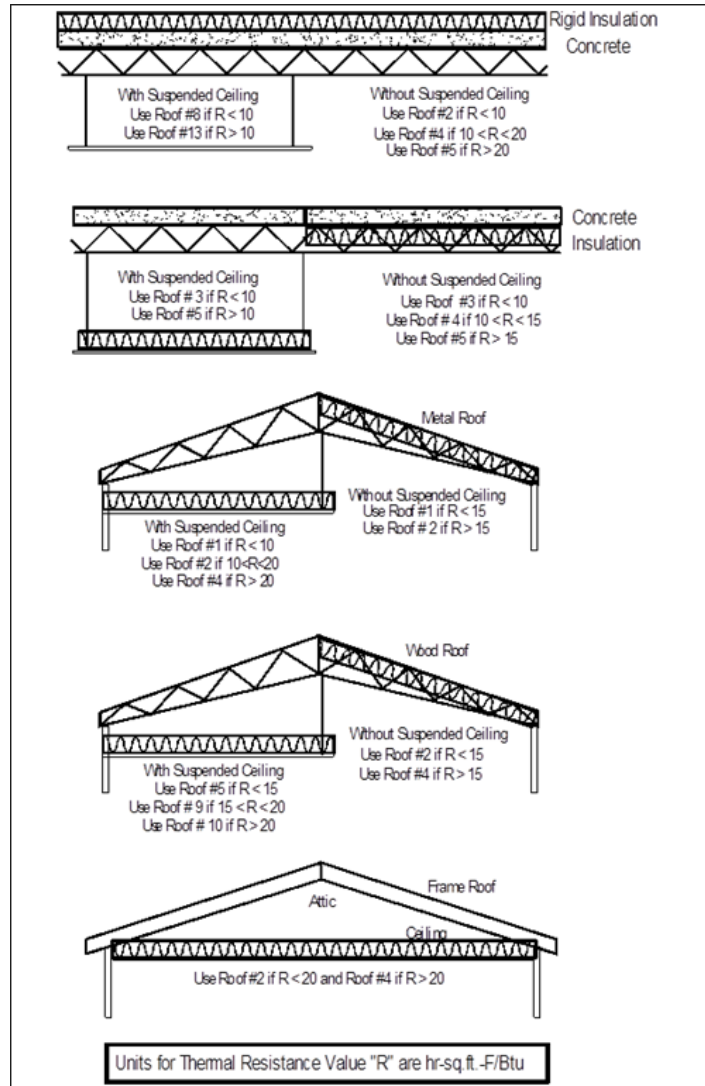


Τυπική κάτοψη ορόφων



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Πίνακες μεθόδου CLTD/CLF/SCL

Πίνακας Β.1



Πίνακας Β.2

Table 5 Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Flat Roofs

Roof No	Description of Construction	Mass, kg/m ²	U-value, W/m ² ·°C	Solar Time, h																How of												
				0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	CLTD	CLTD	CLTD		
Without Suspended Ceiling																																
1	Steel sheet with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	34 (39)	1.209 (0.704)	0	-1	-2	-2	-3	-2	3	11	19	27	34	40	43	43	39	33	25	17	10	7	5	3	1	14	-3	44	47		
2	25.4-mm wood with 25.4-mm insulation	39	0.965	3	2	0	-1	-2	-2	-1	2	8	15	22	29	35	39	41	41	39	35	29	21	15	11	8	5	16	-2	41	43	
3	101.6-mm l.w. concrete	88	1.209	5	3	1	0	-1	-2	-2	1	5	11	18	25	31	36	39	40	40	37	32	25	19	14	10	7	16	-2	40	42	
4	50.8-mm h.w. concrete with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	142	1.170 (0.693)	7	5	3	2	0	-1	0	2	6	11	17	23	28	33	36	37	37	34	30	25	20	16	12	10	16	-1	37	38	
5	25.4-mm wood with 50.8-mm insulation	44	0.619	2	0	-2	-3	-4	-4	-4	-2	3	9	15	22	27	32	35	36	35	32	27	20	14	10	6	3	16	-4	36	40	
6	152.4-mm l.w. concrete	117	0.897	12	10	7	5	3	2	1	0	2	4	8	13	18	24	29	33	35	36	35	32	28	24	19	16	18	0	36	36	
7	63.5-mm wood with 25.4-mm insulation	63	0.738	16	13	11	9	7	6	4	3	4	5	8	11	15	19	23	27	29	31	31	30	27	25	22	19	19	3	31	28	
8	203.2-mm l.w. concrete	151	0.715	20	17	14	12	10	8	6	5	4	4	5	7	11	14	18	22	25	28	30	30	29	27	25	22	20	4	30	26	
9	101.6-mm h.w. concrete with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	234	1.156 (0.681)	14	12	10	8	7	5	4	4	6	8	11	15	18	22	25	28	29	30	29	27	24	21	19	16	18	4	30	26	
10	63.5-mm wood with 50.8-mm insulation	63	0.528	18	15	13	11	9	8	6	5	5	5	7	10	13	17	21	24	27	28	29	29	27	25	23	20	19	5	29	24	
11	Roof terrace system	366	0.602	19	17	15	14	12	11	9	8	7	8	8	10	12	15	18	20	22	24	25	26	25	24	22	21	20	7	26	19	
12	152.4-mm h.w. concrete with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	366	1.090 (0.664)	18	16	14	12	11	10	9	8	8	9	10	12	15	17	20	22	24	25	25	24	22	20	19	19	8	25	17		
13	101.6-mm wood with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	83	0.602	21	20	18	17	15	14	13	11	10	9	9	9	10	12	14	16	18	20	22	23	24	24	23	22	22	9	34	15	
With Suspended Ceiling																																
1	Steel Sheet with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	44	0.761 (0.322)	1	0	-1	-2	-3	-3	0	5	13	20	28	35	40	43	43	41	37	31	23	15	10	7	5	3	15	-3	43	46	
2	25.4-mm wood with 25.4-mm insulation	49	0.653	11	8	6	5	3	2	1	2	4	7	12	17	22	27	31	33	35	34	32	28	24	20	17	14	17	1	35	34	
3	101.6-mm l.w. concrete	97	0.761	10	8	6	4	2	1	0	0	2	6	10	16	21	27	31	34	36	36	34	30	26	21	17	13	17	0	36	36	
4	50.8-mm h.w. concrete with 25.4-mm insulation	146	0.744	16	14	13	11	10	8	7	7	8	9	11	14	17	19	22	24	25	26	26	25	23	21	20	18	18	7	26	19	
5	25.4-mm wood with 50.8-mm insulation	49	0.471	14	11	9	7	5	4	3	3	4	6	10	14	18	23	27	30	31	32	31	29	26	22	19	16	18	3	32	30	
6	152.4-mm l.w. concrete	127	0.619	18	15	13	11	9	7	6	4	4	4	6	9	12	16	20	24	27	29	30	30	28	26	23	20	20	4	30	26	
7	63.5-mm wood with 25.4-mm insulation	73	0.545	19	18	16	14	13	12	10	9	8	8	9	10	12	14	17	19	21	23	24	25	24	23	22	21	20	8	25	17	
8	203.2-mm l.w. concrete	161	0.528	22	20	18	16	15	13	11	10	9	8	8	9	11	14	16	19	21	23	25	25	25	24	23	20	8	25	17		
9	101.6-mm h.w. concrete with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	239	0.727 (0.511)	17	16	13	14	13	13	12	11	11	11	13	15	16	18	19	20	21	21	21	21	21	20	19	18	19	11	21	10	
10	63.5-mm wood with 50.8-mm insulation	73	0.409	19	18	17	16	14	13	12	11	10	10	11	12	14	16	18	19	21	22	23	23	22	22	21	21	10	23	13		
11	Roof terrace system	376	0.466	17	16	16	15	15	14	13	13	13	12	12	13	13	14	15	16	16	17	18	18	19	18	18	18	21	12	19	7	
12	152.4-mm h.w. concrete with 25.4-mm (or 50.8-mm) insulation	376	0.710 (0.499)	16	16	15	15	14	13	13	12	12	12	12	13	14	15	16	17	18	18	19	19	19	19	18	18	20	13	19	7	

Πίνακας Β.3

Table 9 CLTD Correction For Latitude and Month Applied to Walls and Roofs, North Latitudes

Lat.	Month	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR
0	Dec	-1.6	-2.7	-2.7	-2.7	-1.1	0.0	1.6	3.3	5.0	-0.5
	Jan/Nov	-1.6	-2.7	-2.2	-2.2	-0.5	0.0	1.1	2.2	3.8	-0.5
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.5	-0.5	0.0	-0.5	3.8	-0.0
	Mar/Sept	-1.6	0.0	0.5	-0.5	-0.5	-1.6	-1.6	-2.7	-4.4	0.0
	Apr/Aug	2.7	2.2	1.6	0.0	-1.1	-2.7	-3.3	-4.4	-4.4	-1.1
	May/Jul	5.5	3.8	2.7	0.0	-1.6	-3.8	-4.4	-5.0	-4.4	-2.2
	Jun	6.6	5.0	2.7	0.0	-1.6	-3.8	-5.0	-5.5	-4.4	-2.7
8	Dec	-2.2	-3.3	-3.3	-3.3	-1.6	0.0	2.2	4.4	6.6	-2.7
	Jan/Nov	-1.6	-2.7	-3.3	-2.7	-1.1	0.0	1.6	3.3	5.5	-2.2
	Feb/Oct	-1.6	-2.2	-1.6	-1.6	-0.5	-0.5	0.5	1.1	2.2	-0.5
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-0.5	-0.5	-0.5	-1.1	-1.1	-1.6	-2.2	0.0
	Apr/Aug	1.1	1.1	1.1	0.0	-0.5	-2.2	-2.7	-3.8	-3.8	-0.5
	May/Jul	3.8	2.7	2.2	0.0	-1.1	-2.7	-3.8	-5.0	-3.8	-1.1
	Jun	5.0	3.3	2.2	0.0	-1.1	-3.3	-4.4	-5.0	-3.8	-1.1
16	Dec	-2.2	-3.3	-4.4	-4.4	-2.2	-0.5	2.2	5.0	7.2	-5.0
	Jan/Nov	-2.2	-3.3	-3.8	-3.8	-2.2	-0.5	2.2	4.4	6.6	-3.8
	Feb/Oct	-1.6	-2.7	-2.7	-2.2	-1.1	0.0	1.1	2.7	3.8	-2.2
	Mar/Sept	-1.6	-1.6	-1.1	-1.1	-0.5	-0.5	0.0	0.0	0.0	-0.5
	Apr/Aug	-0.5	0.0	-0.5	-0.5	-0.5	-1.6	-1.6	-2.7	-3.3	0.0
	May/Jul	2.2	1.6	1.6	0.0	-0.5	-2.2	-2.7	-3.8	-3.8	0.0
	Jun	3.3	2.2	2.2	0.5	-0.5	-2.2	-3.3	-4.4	-3.8	0.0
24	Dec	-2.7	-3.8	-5.0	-5.5	-3.8	-1.6	1.6	5.0	7.2	-7.2
	Jan/Nov	-2.2	-3.3	-4.4	-5.0	-3.3	-1.6	1.6	5.0	7.2	-6.1
	Feb/Oct	-2.2	-2.7	-3.3	-3.3	-1.6	-0.5	1.6	3.8	5.5	-3.8
	Mar/Sept	-1.6	-2.2	-1.6	-1.6	-0.5	-0.5	1.1	2.2	2.2	-1.6
	Apr/Aug	-1.1	-0.5	0.0	-0.5	-0.5	-1.1	-0.5	-1.1	-1.6	0.0
	May/Jul	0.5	1.1	1.1	0.0	0.0	-1.6	-1.6	-2.7	-3.3	0.5
	Jun	1.6	1.6	1.6	0.5	0.0	-1.6	-2.2	-3.3	-3.3	0.5
32	Dec	-2.7	-3.8	-5.5	-6.1	-4.4	-2.7	1.1	5.0	6.6	-9.4
	Jan/Nov	-2.7	-3.8	-5.0	-6.1	-4.4	-2.2	1.1	5.0	6.6	-8.3
	Feb/Oct	-2.2	-3.3	-3.8	-4.4	-2.2	-1.1	2.2	4.4	6.1	-5.5
	Mar/Sept	-1.6	-2.2	-2.2	-2.2	-1.1	-0.5	1.6	2.7	3.8	-2.7
	Apr/Aug	-1.1	-1.1	-0.5	-1.1	0.0	-0.5	0.0	0.5	0.5	-0.5
	May/Jul	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	-0.5	-0.5	-1.6	-1.6	0.5
	Jun	0.5	1.1	1.1	0.5	0.0	-1.1	-1.1	-2.2	-2.2	1.1
40	Dec	-3.3	-4.4	-5.5	-7.2	-5.5	-3.8	0.0	3.8	5.5	-11.6
	Jan/Nov	-2.7	-3.8	-5.5	-6.6	-5.0	-3.3	0.5	4.4	6.1	-10.5
	Feb/Oct	-2.7	-3.8	-4.4	-5.0	-3.3	-1.6	1.6	4.4	6.6	-7.7
	Mar/Sept	-2.2	-2.7	-2.7	-3.3	-1.6	0.5	2.2	3.8	5.5	-4.4
	Apr/Aug	-1.1	-1.6	-1.1	-1.1	0.0	0.0	1.1	1.6	2.2	1.6
	May/Jul	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
	Jun	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	-0.5	-0.5	1.1
48	Dec	-3.3	-4.4	-6.1	-7.7	-7.2	-5.5	-1.6	1.1	3.3	-13.8
	Jan/Nov	-3.3	-4.4	-6.1	-7.2	-6.1	-4.4	-0.5	2.7	4.4	-13.3
	Feb/Oct	-2.7	-3.8	-5.5	-6.1	-4.4	-2.7	0.5	4.4	6.1	-10.0
	Mar/Sept	-2.2	-3.3	-3.3	-3.8	-2.2	-0.5	2.2	4.4	6.1	-6.1
	Apr/Aug	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-0.5	0.0	2.2	3.3	3.8	-2.7
	May/Jul	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.5	0.5	1.6	1.6	2.2	0.0
	Jun	0.5	0.5	1.1	0.5	1.1	0.5	1.1	1.1	1.6	1.1
56	Dec	-3.8	-5.0	-6.6	-8.8	-8.8	-7.7	-5.0	-2.7	-1.6	-15.5
	Jan/Nov	-3.3	-4.4	-6.1	-8.3	-7.7	-6.6	-3.3	-0.5	1.1	-15.0
	Feb/Oct	-3.3	-4.4	-5.5	-6.6	-5.5	-3.8	0.0	3.3	5.0	-12.2
	Mar/Sept	-2.7	-3.3	-3.8	-4.4	-2.7	-1.1	2.2	4.4	6.6	-8.3
	Apr/Aug	-1.6	-2.2	-2.2	-2.2	-0.5	0.5	2.7	3.8	5.0	-4.4
	May/Jul	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1	2.7	3.3	3.8	-1.1
	Jun	1.1	0.5	1.1	0.5	1.6	1.6	2.2	2.7	3.3	0.5
64	Dec	-3.8	-5.0	-6.6	-8.8	-9.4	-10.0	-8.8	-7.7	-6.6	-16.6
	Jan/Nov	-3.8	-5.0	-6.6	-8.8	-8.8	-8.8	-7.2	-5.5	-4.4	-16.1
	Feb/Oct	-3.3	-4.4	-6.1	-7.7	-7.2	-5.5	-2.2	0.5	2.2	-14.4
	Mar/Sept	-2.7	-3.8	-5.0	-5.5	-3.8	-2.2	1.1	3.8	6.1	-11.1
	Apr/Aug	-1.6	-2.2	-2.2	-2.2	-0.5	0.5	2.7	5.0	6.1	-6.1
	May/Jul	0.5	0.0	0.5	0.0	1.6	2.2	3.3	4.4	5.5	-1.6
	Jun	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	3.3	3.8	5.0	0.0

(1) The correction is applied directly to the CLTD for a wall or roof as given in Tables 5 and 7.
 (2) The CLTD correction given in this table is not applicable to Table 10, Cooling Load Temperature Differences for Conduction through Glass.
 (3) For South latitudes, replace Jan. through Dec. by July through June.

Πίνακας Β.4

Table 6 Wall Construction Group Description

Mass (kg/m ²)	U-Value (W/m ² ·°C)	Group No.	Description of Construction	Code Numbers of Layers (see Table 8)
405	2.033		101.6-mm Face Brick + (<i>Brick</i>)	
405	2.033	C	Air Space + 101.6-mm Face Brick	A0, A2, B1, A2, E0
439	2.356	D	101.6-mm Common Brick	A0, A2, C4, E1, E0
439	0.987-1.709	C	25.4-mm Insulation or Air Space + 101.6-mm Common Brick	A0, A2, C4, B1/B2, E1, E0
430	0.630	B	50.8-mm Insulation + 101.6-mm Common Brick	A0, A2, B3, C4, E1, E0
635	1.714	B	203.2-mm Common Brick	A0, A2, C9, E1, E0
635	0.874-1.379	A	Insulation or Air Space + 203.2-mm Common brick	A0, A2, C9, B1/B2, E1, E0
			101.6-mm Face Brick + (<i>H. W. Concrete</i>)	
459	1.987	C	Air Space + 50.8-mm Concrete	A0, A2, B1, C5, E1, E0
474	0.658	B	50.8-mm Insulation + 101.6-mm Concrete	A0, A2, B3, C5, E1, E0
698-928	0.625-0.636	A	Air Space or Insulation + 203.2-mm or more Concrete	A0, A2, B1, C10/11, E1, E0
			101.6-mm Face Brick + (<i>L. W. or H. W. Concrete Block</i>)	
303	1.811	E	101.6-mm Block	A0, A2, C2, E1, E0
303	0.868-1.397	D	Air Space or Insulation + 101.6-mm Block	A0, A2, C2, B1/B2, E1, E0
342	1.555	D	203.2-mm Block	A0, A2, C7, A6, E0
356-434	1.255-1.561	C	Air Space or 25.4-mm Insulation + 152.4-mm or 203.2-mm Block	A0, A2, B1, C7/C8, E1, E0
434	0.545-0.607	B	50.8-mm Insulation + 203.2-mm Block	A0, A2, B3, C7/C8, E1, E0
			101.6-mm Face Brick + (<i>Clay Tile</i>)	
347	2.163	D	101.6-mm Tile	A0, A2, C1, E1, E0
347	1.595	D	Air Space + 101.6-mm Tile	A0, A2, C1, B1, E1, E0
347	0.959	C	Insulation + 101.6-mm Tile	A0, A2, C1, B2, E1, E0
469	1.561	C	203.2-mm Tile	A0, A2, C6, E1, E0
469	0.806-1.255	B	Air Space or 25.4-mm Insulation + 203.2-mm Tile	A0, A2, C6, B1/B2, E1, E0
474	0.551	A	50.8-mm Insulation + 203.2-mm Tile	A0, A2, B3, C6, E1, E0
			H.W. Concrete Wall + (<i>Finish</i>)	
308	3.321	E	101.6-mm Concrete	A0, A1, C5, E1, E0
308	0.675-1.136	D	101.6-mm Concrete + 25.4-mm or 50.8-mm Insulation	A0, A1, C5, B2/B3, E1, E0
308	0.675	C	50.8-mm Insulation + 101.6-mm Concrete	A0, A1, B6, C5, E1, E0
532	2.782	C	203.2-mm Concrete	A0, A1, C10, E1, E0
537	0.653-1.061	B	203.2-mm Concrete + 25.4-mm or 50.8-mm Insulation	A0, A1, C10, B5/B6, E1, E0
537	0.653	A	50.8-mm Insulation + 203.2-mm Concrete	A0, A1, B3, C10, E1, E0
762	2.390	B	304.8-mm Concrete	A0, A1, C11, E1, E0
762	0.642	A	304.8-mm Concrete + Insulation	A0, C11, B6, A6, E0
			L. W. and H.W. Concrete Block + (<i>Finish</i>)	
142	0.914-1.493	F	101.6-mm Block + Air Space/Insulation	A0, A1, C2, B1/B2, E1, E0
142-181	0.596-0.647	E	50.8-mm Insulation + 101.6-mm Block	A0, A1, B3, C2/C3, E1, E0
229-249	1.669-2.282	E	203.2-mm Block	A0, A1, C7/C8, E1, E0
200-278	0.846-0.982	D	203.2-mm Block + Air Space/Insulation	A0, A1, C7/C8, B1/B2, E1, E0
			Clay Tile + (<i>Finish</i>)	
190	2.379	F	101.6-mm Tile	A0, A1, C1, E1, E0
190	1.720	F	101.6-mm Tile + Air Space	A0, A1, C1, B1, E1, E0
190	0.993	E	101.6-mm Tile + 25.4-mm Insulation	A0, A1, C1, B2, E1, E0
195	0.625	D	50.8-mm Insulation + 101.6-mm Tile	A0, A1, B3, C1, E1, E0
308	1.681	D	203.2-mm Tile	A0, A1, C6, B1/B2, E1, E0
308	0.857-1.312	C	203.2-mm Tile + Air Space/25.4-mm Insulation	A0, A1, C6, B1/B2, E1, E0
308	0.562	B	50.8-mm Insulation + 203.2-mm Tile	A0, A1, B3, C6, E1, E0
			Metal Curtain Wall	
24-29	0.516-1.306	G	With/without air Space + 25.4-mm/50.8-mm 76.2-mm Insulation	A0, A3, B5/B6/B12, A3, E0
			Frame Wall	
78	0.459-1.010	G	25.4-mm to 76.2-mm Insulation	A0, A1, B1, B2/B3/B4, E1, E0

Table 7 Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Walls

North Latitude Wall Facing	Solar Time, h																								H of Maxi- mum CLTD	Mini- mum CLTD	Maxi- mum CLTD	Differ- ence CLTD				
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400								
Group A Walls																																
N	8	8	8	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	2	6	8	2				
NE	11	11	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	3				
E	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	4				
SE	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	3				
S	11	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11	11	11	11	3					
SW	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	11	12	13	14	14	15	1					
W	15	15	15	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	11	11	12	13	14	14	15	1							
NW	12	12	11	11	11	10	10	10	9	9	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	11	11	11	11	1							
Group B Walls																																
N	8	8	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8	8	24	5	8	3				
NE	11	10	10	9	9	8	7	7	7	7	7	8	8	9	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	11	11	7	12	5			
E	13	13	12	11	10	10	9	8	8	8	9	9	10	12	13	13	14	14	15	15	15	15	15	15	14	14	20	8	15	7		
SE	13	12	12	11	10	10	9	8	8	8	8	9	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	21	8	14	6		
S	12	11	11	10	9	9	8	7	7	6	6	6	6	7	8	9	10	11	11	12	12	12	12	12	12	23	6	12	6			
SW	15	15	14	13	13	12	11	10	9	9	8	8	8	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	16	16	7	16	9			
W	16	16	15	14	14	13	12	11	10	9	9	8	8	8	8	8	9	11	12	14	15	16	17	17	18	17	8	17	9			
NW	13	12	12	11	11	10	9	9	8	7	7	7	6	6	7	7	8	8	9	11	12	13	13	13	14	6	13	7	7			
Group C Walls																																
N	9	8	7	7	6	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	6	6	7	8	9	9	9	9	10	9	9	22	4	10	6		
NE	10	10	9	8	7	6	6	6	6	6	7	8	10	10	11	12	12	12	13	13	13	13	12	12	11	20	6	13	7			
E	13	12	11	10	9	8	7	7	7	7	8	9	11	13	14	15	16	16	17	17	16	16	16	16	15	14	13	18	7	17	10	
SE	13	12	11	10	9	8	7	6	6	6	7	9	10	12	14	15	16	16	16	16	16	16	16	15	14	13	19	6	16	10		
S	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5	5	5	5	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	14	13	12	20	5	14	9	
SW	16	15	14	12	11	10	9	8	7	7	6	6	6	7	8	10	12	14	16	18	18	18	18	18	18	18	22	6	18	12		
W	17	16	15	14	12	11	10	9	8	7	7	7	7	7	8	9	11	13	16	18	19	20	19	18	18	22	7	20	13			
NW	14	13	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5	6	6	6	7	9	10	12	14	15	15	15	15	15	22	5	15	10			
Group D Walls																																
N	8	7	7	6	5	4	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	8	9	10	11	11	10	10	9	21	3	11	8		
NE	9	8	7	6	5	4	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	8	9	10	11	11	10	10	9	21	4	14	10		
E	11	10	8	7	6	5	5	5	5	5	7	10	13	15	17	18	18	18	18	18	17	17	16	16	15	14	13	18	5	18	13	
SE	11	10	9	7	6	5	5	5	5	5	7	10	12	14	16	17	18	18	18	18	17	17	16	15	14	13	12	17	5	18	13	
S	11	10	8	7	6	5	4	3	3	3	4	5	5	6	7	8	9	11	13	15	16	16	16	15	14	13	12	19	3	16	13	
SW	15	14	12	10	9	8	6	5	5	4	4	5	5	7	9	12	15	18	20	21	21	20	19	17	15	12	19	4	21	17		
W	17	15	13	12	10	9	7	6	5	5	5	5	5	6	6	8	10	13	17	20	22	23	22	21	19	17	21	5	22	18		
NW	14	12	11	9	8	7	6	5	4	4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	15	17	18	17	16	15	22	4	18	14			
Group E Walls																																
N	7	6	5	4	3	2	2	2	2	3	3	4	4	5	6	7	8	10	10	11	12	12	11	10	9	8	20	2	12	10		
NE	7	6	5	4	3	2	2	2	2	3	3	4	4	5	6	7	8	10	10	11	12	12	11	10	9	8	16	2	15	13		
E	8	7	6	5	4	3	3	3	3	4	5	8	11	13	14	14	14	14	15	14	14	14	13	12	11	9	8	13	3	21	18	
SE	8	7	6	5	4	3	3	3	3	4	5	7	10	14	17	19	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	11	10	15	3	20	17
S	8	7	6	5	4	3	2	2	2	3	3	4	5	7	10	14	16	18	19	18	17	16	14	13	11	10	15	3	20	17		
SW	12	10	8	7	6	4	3	3	3	3	4	5	7	10	14	16	18	19	18	17	16	14	13	11	10	15	3	20	17			
W	14	12	10	8	6	5	4	3	3	3	4	4	5	6	8	11	15	20	24	27	27	25	22	19	16	20	3	27	24			
NW	11	9	8	6	5	4	3	3	3	3	4	4	5	6	7	9	11	14	18	21	21	20	18	15	13	20	3	21	18			
Group F Walls																																
N	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	12	13	13	13	11	9	7	6	19	1	13	12				
NE	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	12	13	13	13	11	9	7	6	11	1	17	16				
E	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	12	13	13	13	11	9	7	6	11	1	17	16				
SE	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	12	13	13	13	11	9	7	6	11	1	17	16				
S	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	12	13	13	13	11	9	7	6	11	1	17	16				
SW	8	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	8	10	14	20	24	28	30	29	25	20	16	13	10	18	1	30	29		
W	9	7	5	4	3	2	2	2	2	3	4	5	6	8	11	16	22	27	32	33	30	24	19	15	12	19	2	33	31			
NW	8	6	4	3	2	2	1	1	2	3	4	5	6	7	9	12	15	19	24	26	24	20	16	12	10	19	1	26	25			
Group G Walls																																
N	2	1	0	0	0	1	4	5	5	7	8	10	12	13	13	14	14	15	12	8	6	5	4	3	18	0	15	15				
NE	2	1	0	0	0	1	5	15	20	22	20	16	15	15	15	15	15	14	13	12	10	9	7	6	5	0	22	22				
E	2	1	0	0	0	1	6	17	26	30	31	28	22	19	17	17	16	15	13	11	8	7	5	4	3	10	0	31	31			
SE	2	1	0	0	0	1	7	18	24	27	28	27	22	20	18	16	15	13	11	8	7	5	4	3	11	0	28	28				
S	2	1	0	0	0	1	7	12	17	22	25	26	24	21	17	14	11	8	7	5	4	3	14	0	26	26						
SW	3	2	1	0	0	1	3	4	6	9	14	21	28	33	35	34	29	20	13	10	7	6	4	16	0	35	35					
W	4	3	2	1	1	1	3	5	6	8	10	15	23	31	37	40	37	27	16	13	8	6	5	17	1	40	39					
NW	3	2	1	1	0	0	1	3	4	6	8	10	12	15	20	26	31	31	23	14	10	7	5	4	18	0	31	31				

(1) **Direct Application of Table 7 Without Adjustments:**
 Values in the Table were calculated using the following conditions for walls as outlined for the roof CLTD table, Table 5. These values may be used for all normal air-conditioning estimates usually without correction (except as noted below) when the load is calculated for the hottest weather.
 For totally shaded walls use the North orientation values.

(2) **Adjustments to Table Values:**
 The following equation makes adjustments for conditions other than those listed in Note (1).

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM) \cdot K + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4)$$

where CLTD is from Table 7 at the wall orientation.
 (a) LM is latitude-month correction from Table 9.
 (b) K is a color adjustment factor and is applied after first

Πίνακας Β.6

Glass	Solar Cooling Load (SCL) Factors for Hours 7:00 AM to 6:00 PM											
Azim	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	35	36	36	38	40	42	42	40	38	39	43	32
NE	124	150	144	115	78	58	49	44	38	32	25	14
E	130	177	180	154	107	68	54	46	40	33	25	14
SE	74	104	114	106	83	59	50	44	38	32	25	14
S	15	23	30	35	40	43	43	40	37	32	24	14
SW	15	23	30	35	39	42	61	88	110	118	105	62
W	15	23	30	35	39	41	67	116	160	186	184	118
NW	15	23	30	35	39	41	51	83	122	151	158	106
Horiz	55	113	170	218	253	271	273	258	225	176	115	54

Πίνακας Β.7

Table 10 Cooling Load Temperature Differences for Conduction through Glass

Solar Time, h	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	
CLTD																									
°C	1	0	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	2	1	

Corrections: The values in the table were calculated for an inside temperature of 25.5°C and an outdoor maximum temperature of 35°C with an outdoor daily range of 11.4°C. The table remains approximately correct for other outdoor maximums 33.8-38.3°C and other outdoor daily ranges 8.9-18.9°C, provided the outdoor daily average temperature remains approximately 29.4°C. If the room air temperature is different from 25.5°C and/or the outdoor daily average temperature is different from 29.4°C, the following rules apply: (a) For room air temperature less than 25.5°C, add the difference between 25.5°C and room air temperature; if greater than 25.5°C, subtract the difference. (b) For outdoor daily average temperature less than 29.4°C, subtract the difference between 29.4°C and the daily average temperature; if greater than 29.4°C, add the difference.

Πίνακας Β.8

Table 14 Cooling Load Factors for Glass with Interior Shading, North Latitudes (All Room Constructions)

Fenestration Facing	Solar Time, h																							
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10
NNE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.64	0.77	0.62	0.42	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.32	0.28	0.23	0.17	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
NE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
ENE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.52	0.76	0.80	0.71	0.52	0.31	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
E	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
ESE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.41	0.67	0.79	0.80	0.72	0.54	0.34	0.27	0.24	0.21	0.19	0.15	0.12	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.57	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.23	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
SSE	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.12	0.31	0.54	0.72	0.81	0.81	0.71	0.54	0.38	0.32	0.27	0.22	0.16	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
S	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.23	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
SSW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.09	0.14	0.18	0.22	0.27	0.43	0.63	0.78	0.84	0.80	0.66	0.46	0.25	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
SW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
WSW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.23	0.44	0.64	0.78	0.84	0.78	0.55	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
W	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
WNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.22	0.43	0.65	0.80	0.84	0.66	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.11	0.17	0.22	0.26	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.39	0.61	0.82	0.76	0.17	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
HOR.	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06

Πίνακας Β.9

Table 36 Shading Coefficients for Insulating Glass^a with Indoor Shading by Venetian Blinds or Roller Shades

Type of Glass	Nominal Thickness, Each Light	Solar Trans. ^b		Type of Shading						
		Outer Pane	Inner Pane	Venetian Blinds ^c		Roller Shade				
				Medium	Light	Opaque	White	Translucent		
Clear Out	2.5, 3 mm	0.87	0.87	0.57	0.51	0.60	0.25	0.37		
Clear In										
Clear Out										
Clear In	6 mm	0.80	0.80	0.39	0.36	0.40	0.22	0.30		
Heat-Absorbing ^d Out										
Clear In	6 mm	0.46	0.80	0.19	0.18	0.40	0.22	0.30		
Reflective Coated Glass										
SC ^e = 0.20									0.34	0.33
0.30										
0.40										

^a Refers to factory-fabricated units with 5, 6 or 13 mm air space, or to prime windows plus storm windows.
^b Refer to manufacturer's literature for exact values.
^c For venetian blinds with opaque white or beige louvers, tightly closed, SC is approximately the same as for opaque white roller shades.
^d Refers to bronze, or green tinted, heat-absorbing glass.
^e SC for glass with no shading device.

Table 37 Shading Coefficients for Double Glazing with Between-Glass Shading

Type of Glass	Nominal Each Pane	Solar Trans. ^a		Description of Air Space	Type of Shading		
		Outer Pane	Inner Pane		Venetian Blinds	Louvered Sun Screen	
					Light	Medium	
Clear Out, Clear In	2.5, 3 mm	0.87	0.87	Shade in contact with glass or shade separated from glass by air space.	0.33	0.36	0.43
Clear Out, Clear In							
Clear Out, Clear In	6 mm	0.80	0.80	Shade in contact with glass-voids filled with plastic.	—	—	0.49
Clear Out, Clear In							
Heat-Abs. ^b Out, Clear In	6 mm	0.46	0.80	Shade in contact with glass or shade separated from glass by air space.	0.28	0.30	0.37
Clear In							
Clear In	6 mm	0.46	0.80	Shade in contact with glass-voids filled with plastic.	—	—	0.41
Clear In							

^a Refer to manufacturer's literature for exact values.
^b Refers to grey, bronze and green tinted heat-absorbing glass.

Πίνακας Β.10

Table 18 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces^a

Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adults, Male		Total Heat Adjusted ^b		Sensible Heat		Latent Heat	
		Watts	Watts	Watts	Watts	Watts	Watts		
Seated at rest	Theater, movie	115	100	60	40				
Seated, very light work writing	Offices, hotels, apts	140	120	65	55				
Seated, eating	Restaurant ^c	150	170 ^e	75	95				
Seated, light work, typing	Offices, hotels, apts	185	150	75	75				
Standing, light work or walking slowly	Retail Store, bank	235	185	90	95				
Light bench work	Factory	255	230	100	130				
Walking, 1.3 m/s, light machine work	Factory	305	305	100	205				
Bowling ^d	Bowling alley	350	280	100	180				
Moderate dancing	Dance hall	400	375	120	255				
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	470	470	165	300				
Heavy work, athletics	Gymnasium	585	525	185	340				

^aNotes: Tabulated values are based on 25.5°C room dry-bulb temperature. For 26.6°C room dry-bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat value should be decreased by approximately 8% and the latent heat values increased accordingly.

^bAdjusted total heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the prostrate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.

^cAdjusted total heat value for eating in a restaurant, includes 17.6 W for food per individual (8.8 W sensible and 8.8 W latent).

^dFor bowling figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting 117 W or standing and walking slowly 231 W.

Also refer to Tables 4 and 7, Chapter 8.

All values rounded to nearest 5 watts.

Πίνακας Β.11

Table 19 Sensible Heat Cooling Load Factors for People

Total Hours in Space	Hours after Each Entry into Space																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0.49	0.58	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.49	0.59	0.66	0.71	0.27	0.21	0.16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
6	0.50	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.34	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
8	0.51	0.61	0.67	0.72	0.76	0.80	0.82	0.84	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
10	0.53	0.62	0.69	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
12	0.55	0.64	0.70	0.75	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
14	0.58	0.66	0.72	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.47	0.38	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
16	0.62	0.70	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.49	0.39	0.33	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16
18	0.66	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.50	0.40	0.33	0.28	0.24

Πίνακας Β.12

Lights On For	Number of Hours after Lights Turned On																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Zone Type A																									
8	0.85	0.92	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.13	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.85	0.93	0.95	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.14	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.86	0.93	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.14	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
14	0.86	0.93	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.15	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
16	0.87	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.15	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
Zone Type B																									
8	0.75	0.85	0.90	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.23	0.12	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
10	0.75	0.86	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.24	0.13	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
12	0.76	0.86	0.91	0.93	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.24	0.14	0.09	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
14	0.76	0.87	0.92	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.25	0.14	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03
16	0.77	0.88	0.92	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.25	0.15	0.10	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
Zone Type C																									
8	0.72	0.80	0.84	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.23	0.15	0.11	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
10	0.73	0.81	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.25	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
12	0.74	0.82	0.86	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.26	0.18	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04
14	0.75	0.84	0.87	0.89	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.27	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07
16	0.77	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.28	0.20	0.16	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
Zone Type D																									
8	0.66	0.72	0.76	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.25	0.20	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04
10	0.68	0.74	0.77	0.80	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06
12	0.70	0.75	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08
14	0.72	0.77	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.12	0.10
16	0.75	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.34	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13

*See Table 8-25 for zone types. Data based on a radiative/convective fraction of 0.59/0.41.

Adjustments for other radiative/convective fractions is discussed in Sec. 8-5.

Source: Reprinted by permission from ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation Manual, 2nd ed., 1992.

Πίνακας Β.13

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ [W]	ΑΙΣΘΗΤΟ ΦΟΡΤΙΟ [W]	ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΦΟΡΤΙΟ [W]
Καφετιέρα (10 φλυτζάνια)	1500	1050	450
Φούρνος μικροκυμάτων, 28 L	600	400	-
Ψύκτης νερού, 30 L/h	700	350	-
Ηλεκτρικό σίδερο	1000	1000	500
Ηλεκτρική σκούπα	1200	1000	-
Οικιακό ψυγείο		200	-
Ραδιόφωνο		70	-
Στερεοφωνικό συγκρότημα		150	
Τηλεόραση		150	
DVD Player		15	
Ηλεκτρική κουζίνα (πλήρης λειτουργία)*		2700	500
Πλυντήριο πιάτων		1000	500
Πλυντήριο ρούχων		3200	500

* όταν υπάρχει απορροφητήρας [αισθητό φορτίο x 0.50] και [λανθάνον φορτίο = 0]

Πίνακας Β.14

Cooling Load Factors - People & Unhooded Equip. (Occupancy Begins between 7 & 8 am)																				
	Zone		Type A			Zone		Type B			Zone		Type C			Zone		Type D		
Occupancy	Hr = 10	Hr = 15			Hr = 10	Hr = 15			Hr = 10	Hr = 15		Hr = 10	Hr = 15		Hr = 10	Hr = 15		Hr = 10	Hr = 15	Occupancy
8 hrs/day	0,9	0,98			0,78	0,94			0,72	0,89		0,71	0,85		0,71	0,85		0,71	0,85	8 hrs/day
12 hrs/day	0,9	0,98			0,78	0,94			0,73	0,89		0,73	0,87		0,73	0,87		0,73	0,87	12 hrs/day
16 hrs/day	0,91	0,98			0,8	0,94			0,76	0,91		0,78	0,89		0,78	0,89		0,78	0,89	16 hrs/day

Cooling Load Factors - Hooded Equipment (Occupancy Begins between 7 & 8 am)																				
	Zone		Type A			Zone		Type B			Zone		Type C			Zone		Type D		
Occupancy	Hr = 10	Hr = 15			Hr = 10	Hr = 15			Hr = 10	Hr = 15		Hr = 10	Hr = 15		Hr = 10	Hr = 15		Hr = 10	Hr = 15	Occupancy
8 hrs/day	0,86	0,97			0,68	0,91			0,6	0,82		0,6	0,77		0,6	0,77		0,6	0,77	8 hrs/day
12 hrs/day	0,86	0,97			0,69	0,92			0,6	0,82		0,62	0,82		0,62	0,82		0,62	0,82	12 hrs/day
16 hrs/day	0,87	0,97			0,72	0,92			0,66	0,88		0,68	0,85		0,68	0,85		0,68	0,85	16 hrs/day

Πίνακας Β.15

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m ² επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [m ³ /h/άτομο]	Νωπός αέρας [m ³ /h/m ²]
Ινστιτούτο γυμναστικής,	15	45	6,75
Κουρείο, κομμωτήριο	15	30	4,50
Γραφείο	10	30	3,00
Βιβλιοθήκη	22	30	6,60

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : Συνήθης διάταξη

