

ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ - ΧΗΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ - ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ



ΕΙΥ Χατζηάστρου Μιχαήλ

Δρ. Κ. Κολοβός, Επιβλέπων Καθηγητής ΣΣΕ



Βάρη 2018

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτέλεσε το επιστέγασμα μιας τετραετούς ακαδημαϊκής και στρατιωτικής πορείας, στο ποιο ιστορικό και απαιτητικό εκπαιδευτικό ίδρυμα της χώρας. Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διαδρομής:

Στους καθηγητές μου, που έδωσαν ώθηση στο κίνητρό μου για ακαδημαϊκή αριστεία.

Στους αξιωματικούς, που μου δίδαξαν τις στρατιωτικές αρετές και την αποτελεσματική εφαρμογή της στρατιωτικής επιστήμης και τεχνολογίας στο σύγχρονο επιχειρησιακό περιβάλλον του Ελληνικού Στρατού Ξηράς.

Στην οικογένεια μου, που με αέναη υποστήριξη, συμπαράσταση και υπομονή, συνέβαλαν στην διατήρηση υψηλού ηθικού, ούτως ώστε να πετύχω το στόχο μου, να φορέσω την τιμημένη στολή του Έλληνα Αξιωματικού.

Ως ελάχιστη δε ανταπόδοση προς Καθηγητές, Αξιωματικούς και Οικογένεια, αισθάνομαι την ανάγκη να τους διαβεβαιώσω, πως η Τάξη των Ευελπίδων του 2018, «**Στρατηγός Κωνσταντίνος Καλλάρης**», θα φανεί αντάξια του βαρύ ονόματος που φέρει και των προσδοκιών της πατρίδας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι αφιερωμένη στον παππού μου Μιχάλη, που κατά κάποιον τρόπο, θα είναι και αυτός παρόν στην απονομή του ξίφους.

Βάρη, 10 Απριλίου 2018
ΕΙV Χατζηάστρου Μιχαήλ



Περιεχόμενα

Κατάλογος συντμήσεων, πινάκων και διαγραμμάτων	9
Συντμήσεις.....	9
Πίνακες	9
Διαγράμματα	9
Κατάλογος εικόνων	11
1 Πρόλογος.....	13
2 Περιβαλλοντική πολιτική και νομοθετικό πλαίσιο.....	15
3 Επεμβάσεις θερμομόνωσης αδιαφανών δομικών στοιχείων.....	17
3.1 Βασικές αρχές μετάδοσης θερμότητας.....	17
3.2 Θερμομονωτικά υλικά.....	19
3.2.1 Κυριότεροι εμπορικοί τύποι θερμομονωτικών υλικών	20
3.2.2 Θερμική αγωγιμότητα	22
3.2.3 Επίδραση της υγρασίας στα θερμομονωτικά υλικά	23
3.2.4 Θερμομονωτικά υλικά και διαπνοή	25
3.2.5 Θερμομονωτικά υλικά και πυροπροστασία.....	26
3.2.6 Θερμομονωτικά υλικά και ηχομόνωση.....	28
3.2.7 Θερμομονωτικά υλικά και μηχανικές αντοχές.....	30
3.3 Θερμική άνεση και ποιότητα διαβίωσης.....	31
3.4 Ανθεκτικότητα και κόστος συντήρησης.....	32
3.5 Περιορισμός ανίχνευσης και ασφάλεια.....	33
3.6 Θεμελιώδη μεγέθη θερμομόνωσης αδιαφανών δομικών στοιχείων	34
3.7 Τεχνολογίες θερμομόνωσης	36
3.7.1 Σύνθετα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης σε τοίχους, βεράντες, πιλοτές.....	36
3.7.2 Θερμομόνωση βατού αντεστραμμένου δώματος - Διπλό Βέλτιστο.....	40
3.7.3 Θερμομόνωση φυτεμένου δώματος.....	41
3.7.4 Θερμομόνωση κεραμοσκεπών.....	43
3.7.5 Θερμομόνωση μεταλλικής οροφής.....	45
3.7.6 Θερμομόνωση περιμέτρου και πλάκας υπογείων	46
3.8 Στρατιωτικές εφαρμογές θερμομόνωσης κτιριακών εγκαταστάσεων	48
4 Ενεργειακά κουφώματα	49
4.1 Πλαίσια κουφωμάτων.....	49

4.1.1	Ανοιγόμενα κουφώματα.....	51
4.1.2	Συρόμενα κουφώματα.....	52
4.1.3	Σταθερά.....	52
4.2	Υαλοπίνακες	53
4.2.1	Διαπερατότητα, ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα στο ορατό φάσμα	53
4.2.2	Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών	54
4.2.3	Συντελεστής οπτικής ή φωτεινής διαπερατότητας.....	55
4.2.4	Συντελεστής ψυχρότητας.....	55
4.2.5	Συντελεστής θερμοπερατότητας.....	56
4.3	Θερμοπερατότητα κουφώματος.....	57
4.4	Ρολά και πατζούρια	57
4.5	Τοποθέτηση κουφωμάτων χωρίς θερμογέφυρες	58
4.6	Στρατιωτικές εφαρμογές αντικατάστασης κουφωμάτων.....	59
5	Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	61
5.1	Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	61
5.1.1	Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	63
5.1.2	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων	65
5.1.3	Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	67
5.1.4	Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	67
5.1.5	Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός φωτοβολταϊκών συστημάτων	69
5.1.6	Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	72
5.1.7	Συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα.....	73
5.1.8	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών	74
5.1.9	Στρατιωτικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών	76
5.2	Θέρμανση/ψύξη & παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με αντλία θερμότητας.....	80
5.2.1	Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας	80
5.2.2	Είδη αντλιών θερμότητας	83
5.2.3	Κύκλος θέρμανσης.....	84
5.2.4	Κύκλος ψύξης.....	85
5.2.5	Απόδοση αντλιών θερμότητας.....	86
5.2.6	Στρατιωτικές εφαρμογές εγκατάστασης αντλίας θερμότητας αέρος-νερού.....	87
5.3	Ηλιοθερμικά συστήματα	88
5.3.1	Αρχή λειτουργίας ηλιοθερμικών συστημάτων.....	88

5.3.2	Επίπεδοι επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες	89
5.3.3	Ηλιακοί συλλέκτες κενού.....	90
5.3.4	Αποταμιευτήρας ζεστού νερού.....	92
5.3.5	Εγκατάσταση και διαστασιολόγηση ηλιοθερμικών συστημάτων.....	92
5.3.6	Στρατιωτικές εφαρμογές παραγωγής ζεστού νερού χρήσης	95
5.4	Συστήματα ελέγχου θέρμανσης/ψύξης/ηλιοθερμικών	96
5.4.1	Θερμοστάτες χώρου.....	96
5.4.2	Θερμοστατικοί διακόπτες	98
5.4.3	Θερμιδομετρητές ροής.....	98
5.4.4	Συστήματα ψηφιακής αντιστάθμισης	99
5.4.5	Στρατιωτικές εφαρμογές συστημάτων ελέγχου θέρμανση/ηλιοθεμικών.....	100
6	Συστήματα οικονομικού φωτισμού.....	101
6.1	Είδη φωτισμού.....	102
6.1.1	Βασικές οπτικές ιδιότητες λαμπτήρων οικονομίας.....	104
6.2	Λαμπτήρες διόδων εκπομπής φωτός (LED).....	106
6.3	Φωτιστικά σώματα.....	107
6.4	Συστήματα ελέγχου φωτισμού.....	108
6.5	Στρατιωτικές εφαρμογές αντικατάστασης λαμπτήρων.....	111
7	Έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας	113
7.1	Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (BEMS).....	115
7.2	Στρατιωτικές εφαρμογές συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων.....	117
8	Παθητικός δροσισμός κτιρίων	121
8.1	Σκιασμός κτιρίου με φύτευση.....	121
8.2	Σκιασμός ανοιγμάτων	123
8.3	Εξωτερικός χρωματισμός.....	125
9	Συμπεράσματα.....	127
10	Βιβλιογραφία.....	129
10.1	Νομοθεσία.....	129
10.2	Βιβλία.....	129
10.3	Επιστημονικές διατριβές	130
10.4	Εργασίες συνεδρίου.....	130
10.5	Άρθρα επιστημονικών περιοδικών	130
10.6	Ηλεκτρονικές πηγές.....	131

Κατάλογος συντμήσεων, πινάκων και διαγραμμάτων

Συντμήσεις

- BEMS:** Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίου
CE: Ευρωπαϊκή Σήμανση Ελέγχου Προδιαγραφής Ποιότητας Προϊόντος
COP: Δείκτης Αποδοτικότητας Θέρμανσης
EER: Δείκτης Αποδοτικότητας Ψύξης
EPS: Διογκωμένη Πολυστερίνη
GW: Υαλοβάμβακας
MW: Ορυκτοβάμβακας
PVC: Πολυβινυλοχλωρίδιο
SW: Πετροβάμβακας
XPS: Εξηλασμένη Πολυστερίνη
ZNX: Ζεστό Νερό Χρήσης
ΚΕνΑΚ: Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΣΣΕΘ: Σύνθετο Σύστημα Εξωτερικής Θερμομόνωσης
Φ/Β: Φωτοβολταϊκό

Πίνακες

- Πίνακας 1:** Κυριότερες φυσικές ιδιότητες εμπορικότερων θερμομονωτικών υλικών.....22
Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση αντίδρασης στη φωτιά βάσει των Ευρωκλάσεων.....27
Πίνακας 3: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου...35
Πίνακας 4: Τυπικές τιμές της συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση g και της μέσης διαπερατότητας g_{gl} για διάφορους τύπους υαλοπινάκων.....55
Πίνακας 5: Τυπικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων U_w57
Πίνακας 6: Ανάγκες ζεστού νερού χρήσης ανάλογα με τη δραστηριότητα.....94
Πίνακας 7: Ενδεικτικά ποσοστιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό εσωτερικών χώρων διαφόρων κτιριακών εγκαταστάσεων..... 101
Πίνακας 8: Αντιστοιχία μεταξύ φωτιστικής απόδοσης και ισχύς διαφόρων τύπων λαμπτήρων 107

Διαγράμματα

- Διάγραμμα 1:** Μεταβολή της ηχοαπορρόφησης του πετροβάμβακα με τη μεταβολή του πάχους 29
Διάγραμμα 2: Καμπύλη I-V ενός φ/β στοιχείου και μεταβολές αυτής συναρτήσεως των μεταβολών της πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας..... 65
Διάγραμμα 3: Καμπύλη I-V ενός φ/β στοιχείου και μεταβολές αυτής συναρτήσεως των μεταβολών της θερμοκρασίας..... 66
Διάγραμμα 4: Απόδοση της επένδυσης φ/β σε βάθος 20ετίας 79

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Εξηλασμένη πολυστερίνη.....	20
Εικόνα 2: Διογκωμένη πολυστερίνη.....	20
Εικόνα 3: Γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη.....	20
Εικόνα 4: Πλάκες πετροβάμβακα.....	21
Εικόνα 5: Ο Πετροβάμβακας ως υδρόφοβο υλικό δεν απορροφά νερό.....	21
Εικόνα 6: Ρολά πετροβάμβακα.....	21
Εικόνα 7: Υαλοβάμβακας.....	21
Εικόνα 8: Κτίριο πριν τη θερμομόνωση.....	33
Εικόνα 9: Κτίριο μετά τη θερμομόνωση.....	33
Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας.....	35
Εικόνα 11: Απεικόνιση σύνθετου συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης με πετροβάμβακα.....	37
Εικόνα 12: Λονδίνο 2017.....	38
Εικόνα 13: Γαλλία 2012.....	38
Εικόνα 14: Γερμανία 1996.....	38
Εικόνα 15: Τομή αντεστραμμένου δώματος – Διπλό Βέλτιστο.....	41
Εικόνα 16: Τομή φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου.....	42
Εικόνα 17: Τομή κατοικήσιμης κεραμοσκεπής.....	44
Εικόνα 18: Τομή μη κατοικήσιμης κεραμοσκεπής.....	44
Εικόνα 19: Τομή μεταλλικής οροφής.....	45
Εικόνα 20: Τομή περιμέτρου και πλάκας υπογείων.....	47
Εικόνα 21: Εφαρμογή θερμομόνωσης στην όψη του κτιρίου πριν και μετά.....	48
Εικόνα 22: Ενδεικτική τομή κουφώματος.....	49
Εικόνα 23: Ενδεικτικοί τύποι ανοιγόμενων κουφωμάτων.....	51
Εικόνα 24: Ενδεικτικοί τύποι συρόμενων κουφωμάτων.....	52
Εικόνα 25: Ενδεικτικοί τύποι σταθερών κουφωμάτων.....	52
Εικόνα 26: Ρολά αλουμινίου με θερμομόνωση από αφρό πολυουρεθάνης.....	57
Εικόνα 27: Κατασκευαστικές λεπτομέρειες σύνθετου συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης σε ηλιοστάσιο κατά την ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενου κτιρίου.....	58
Εικόνα 28: Αντικατάσταση κουφωμάτων κτιρίου ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης, Λάρισα.....	59
Εικόνα 29: Υπαίθρια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.....	61
Εικόνα 30: Ηλιακό δυναμικό Ελληνικής επικράτειας.....	62
Εικόνα 31: Τύποι πυριτίου.....	63
Εικόνα 32: Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών.....	64
Εικόνα 33: Τύποι φ/β στοιχείων πυριτίου σύμφωνα με την κρυσταλλική τους δομή.....	67
Εικόνα 34: Ανάπτυξη φ/β συστημάτων από ένα στοιχείο ως μία συστοιχία.....	68
Εικόνα 35: Ενδεικτική τομή φ/β πλαισίου.....	69
Εικόνα 36: Αυτόνομο φ/β σύστημα με φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσεως.....	72
Εικόνα 37: Κατανεμημένο φ/β σύστημα.....	74
Εικόνα 38: Τοποθέτηση φ/β συστήματος στη βάση Πέντλετον των ΗΠΑ.....	78
Εικόνα 39: Απεικόνιση λειτουργίας εναλλάκτη θερμότητας αέρος-υγρού.....	81
Εικόνα 40: Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας.....	82

Εικόνα 41: Απλοποιημένη αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας.....	82
Εικόνα 42: Ενδεικτική μορφή κυκλώματος αντλίας θερμότητας αέρος-νερού.....	83
Εικόνα 43: Λειτουργία μονάδας ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil) σε κύκλο θέρμανσης.....	84
Εικόνα 44: Σύστημα θέρμανση με αντλία θερμότητας και σώματα καλοριφέρ τύπου πάνελ.....	85
Εικόνα 45: Σύστημα θέρμανση/ψύξης και ζεστού νερού χρήσης με αντλία θερμότητας.....	86
Εικόνα 46: Τομή επίπεδου επιλεκτικού ηλιακού συλλέκτη.....	89
Εικόνα 47: Μορφή μαύρης επιλεκτικής απορροφητικής επιφάνειας.....	90
Εικόνα 48: Συλλέκτες κενού με ομόκεντρους σωλήνες.....	91
Εικόνα 49: Συλλέκτες κενού με επίπεδο απορροφητήρα.....	91
Εικόνα 50: Δοχείο αδρανείας.....	92
Εικόνα 51: Ηλιοθερμική συστοιχία.....	94
Εικόνα 52: Κτίριο ΕΡΜΗΣ, 110 Πτέρυγα Μάχης, Λάρισα - Ηλιακοί συλλέκτες, δοχείο ΖΝΧ.....	95
Εικόνα 53: Κτίριο ΛΥΣΚ, Ναύσταθος Σούδας, ηλιακοί συλλέκτες και δοχείο ΖΝΧ.....	96
Εικόνα 54: Ψηφιακός θερμοστάτης.....	97
Εικόνα 55: Θερμοστατικός διακόπτης.....	98
Εικόνα 56: Θερμιδομετρητής ροής.....	98
Εικόνα 57: Ψηφιακός αντισταθμιστής.....	99
Εικόνα 58: Κατανομή φωτεινής ροής των φωτιστικών συστημάτων.....	104
Εικόνα 59: θερμοκρασία χρώματος (Κ) και ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής.....	105
Εικόνα 60: Οι λάμπες led καλύπτουν κάθε εσωτερική και εξωτερική χρήση όπως φωτισμός δρόμων και εξωτερικών εγκαταστάσεων.....	106
Εικόνα 61: Χρονοδιακόπτης.....	108
Εικόνα 62: Αισθητήρας παρουσίας.....	109
Εικόνα 63: Ροοστατικός διακόπτης με αισθητήρα έντασης φυσικού φωτισμού.....	109
Εικόνα 64: Διακόπτες δύο θέσεων.....	109
Εικόνα 65: Περιμετρικός φωτισμός πριν την επέμβαση.....	111
Εικόνα 66: Περιμετρικός φωτισμός μετά την επέμβαση.....	112
Εικόνα 67: Μετρητικός εξοπλισμός.....	112
Εικόνα 68: Έξυπνα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας.....	114
Εικόνα 69: Ενδεικτικά οι δυνατότητες ενός συστήματος BEMS.....	117
Εικόνα 70: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στους κοιτώνες.....	118
Εικόνα 71: Παραγωγή θερμικής ενέργειας από το ηλιοθερμικό σύστημα.....	119
Εικόνα 72: Κατανάλωση θερμικής ενέργειας στο σύστημα θέρμανσης.....	119
Εικόνα 73: Σκίαση νότιας όψης κτηρίου από φυλλοβόλο δέντρο τη θερινή περίοδο, χωρίς να παρεμποδίζεται σημαντικά ο ηλιασμός του τη χειμερινή περίοδο.....	122
Εικόνα 74: Οριζόντιο σκίαστρο με πέργκολα με φυτά.....	123
Εικόνα 75: Τύποι σκιάστρων.....	124

1 Πρόλογος

Οι τεχνολογίες αύξησης της ενεργειακής απόδοσης των στρατιωτικών εγκαταστάσεων μπορεί να περιλαμβάνουν μια σειρά από επεμβάσεις σε επίπεδο οικοδομικής, ηλεκτρο/μηχανολογικών εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αυτοματισμού και εφαρμογών βιοκλιματικού σχεδιασμού όπως:

- Θερμομόνωση των αδιαφανών δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους.
- Εφαρμογή ενεργειακών διαφανών δομικών στοιχείων (κουφώματα).
- Εφαρμογή συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργεια (συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης, ψύξης, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης).
- Εφαρμογή συστημάτων οικονομικού φωτισμού.
- Εφαρμογή έξυπνων συστημάτων αυτοματισμού και διαχείρισης της ενέργειας.
- Εφαρμογή μεθόδων παθητικού δροσισμού (σκίαση).

Ειδικότερα, αναλύοντας και λαμβάνοντας υπόψη:

- την περιβαλλοντική πολιτική του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας (ΥΠΕΘΑ),
- το εθνικό και ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο τεχνολογιών αύξησης της ενεργειακής απόδοσης, και
- τις απαιτήσεις σε επίπεδο σχεδιασμού που πρέπει να τηρούνται για την ειδική κατηγορία των στρατιωτικών εγκαταστάσεων,

πραγματοποιούνται στοχευμένες τεχνολογικές προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης και περιγράφονται οι μεθοδολογίες επεμβάσεων που εξασφαλίζουν παράλληλα με την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, ένα ευρύτερο σύνολο λειτουργικών χαρακτηριστικών, κρίσιμων για την ειδική κατηγορία στην οποία ανήκουν οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις, όπως:

- η ενεργειακή αυτονομία και ασφάλεια
- η βέλτιστη θερμική άνεση
- η μείωση του κόστους χρήσης
- η υψηλή πυροπροστασία,
- η βέλτιστη ηχομόνωση,
- η χαμηλή ανίχνευση στο υπέρυθρο φάσμα,
- η βέλτιστη ανθεκτικότητα,
- η μείωση του κόστους συντήρησης,
- η καλύτερη διαχείριση και φύλαξη.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας, είναι η δημιουργία ενός σύγχρονου οδηγού ορθών πρακτικών για την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών ενεργειακής αναβάθμισης των στρατιωτικών εγκαταστάσεων, με σκοπό την πρακτική εφαρμογή στο Όπλο του Μηχανικού (ΜΧ) και στο πλαίσιο του ρόλου του - της γενικής και αειφόρου υποστήριξης των υποδομών του Ελληνικού Στρατού.

2 Περιβαλλοντική πολιτική και νομοθετικό πλαίσιο

Οι επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης που προτείνονται λαμβάνουν υπόψη την Περιβαλλοντική Πολιτική του ΥΠΕΘΑ¹ που έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όλων των δραστηριοτήτων των Ενόπλων Δυνάμεων και την εφαρμογή των αρχών της αειφόρου (βιώσιμης) ανάπτυξης.

Η υλοποίηση και εφαρμογή της περιβαλλοντικής πολιτικής στηρίζεται στους παρακάτω πέντε (5) πυλώνες:

- Εναρμόνιση με την κοινοτική / εθνική νομοθεσία και τις συμμαχικές συμφωνίες.
- Ορθολογιστική διαχείριση φυσικών πόρων και ενέργειας.
- Αποφυγή στη δημιουργία ρύπανσης.
- Διαρκής βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης.
- Καθολική συμμετοχή του προσωπικού.

Οι προτάσεις εδράζονται στο θεσμοθετημένο Εθνικό και Ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο για την προώθηση ενεργειακά αποδοτικότερων προϊόντων, τη κατασκευή κτιρίων με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, την εγκατάσταση ενεργειακά πιο αποδοτικών ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, την υιοθέτηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εφαρμογής πρακτικών βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

Ειδικότερα λαμβάνονται υπόψη η Κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ, που αποτέλεσε την αρχή της τρέχουσας νομοθεσίας και εν συνεχεία αναθεωρήθηκε με την 2010/31/ΕΚ. Το σύνολο των ευρωπαϊκών αυτών οδηγιών εναρμονίστηκε με την ελληνική νομοθεσία με τους νόμους 3661/2008 και 4122/2013, αντίστοιχα.

Επίσης, λαμβάνεται υπόψη η εισαγωγή στην ελληνική νομοθεσία του σύγχρονου και ολοκληρωμένου ενεργειακού κανονισμού που έγινε πρώτη φορά το 2010, με τη θέσπιση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕνΑΚ), καθώς και η πρόσφατη αναθεώρησή του που ολοκληρώθηκε με το νόμο 4003/2017.

Περαιτέρω, ο οικολογικός σχεδιασμός των προϊόντων και συσκευών είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Για αυτό το λόγο, λαμβάνεται υπόψη η Κοινοτική Οδηγία 93/68/ΕΚ, η οποία περιλαμβάνει γενικά στοιχεία για το CE Marking, η θεσπισμένη Κοινοτική Οδηγία 89/106/ΕΚ, η οποία ήταν σε ισχύ μέχρι την 1η Ιουλίου του 2013 και τέλος η αναθεωρημένη Κοινοτική Οδηγία 305/2011/ΕΚ, όπου θέτει πλέον ως βασική απαίτηση τη βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων.

Τέλος, λαμβάνονται υπόψη το σύνολο της τρέχουσας νομοθεσίας που αφορά τα Ελληνικά Κατασκευαστικά Πρότυπα ΕΛΟΤ ΤΠ 1501 που τέθηκαν σε υποχρεωτική ισχύ για τα δημόσια έργα

¹ Υπουργείο Εθνικής Άμυνας. (2014). **Περιβαλλοντική Πολιτική ΥΠΕΘΑ**, Διαθέσιμο: <https://goo.gl/XQpkmw>, [10 Απριλίου 2018]

με το νόμο 2221/2012 και όλοι οι επιμέρους υποχρεωτικοί κανονισμοί (πυροπροστασίας, ηχομόνωσης) και οι ειδικές διατάξεις που θέτει η εφαρμογή του Κτιριοδομικού Κανονισμού, του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού (ΓΟΚ), του Νέου Οικοδομικού Κανονισμού (ΝΟΚ), με τους νόμους 59/1989, 2831/2000, και 4067/2012, αντίστοιχα.

3 Επεμβάσεις θερμομόνωσης αδιαφανών δομικών στοιχείων

Μεταξύ όλων των δυνατών παρεμβάσεων - οικοδομικής, ηλεκτρο/μηχανολογικών εφαρμογών και αυτοματισμού - για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, οι επεμβάσεις θερμομόνωσης των αδιαφανών δομικών στοιχείων των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων είναι ιδιαίτερης σπουδαιότητας και αξίας, καθώς είναι σε θέση να εξασφαλίσουν ένα ευρύτερο σύνολο πλεονεκτημάτων και σημαντικών λειτουργικών χαρακτηριστικών όπως:

- Η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους παρουσιάζει τον καλύτερο λόγο Δαπάνης προς Αξία (Money for Value), καθώς το κόστος των επεμβάσεων είναι χαμηλό με εξαιρετικά υψηλό αποτέλεσμα σε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας².
- Ανάλογα του τύπου των θερμομονωτικών υλικών, οι επεμβάσεις θερμομόνωσης εκτός από την ενεργειακή αναβάθμιση, μπορούν να συμβάλλουν στην παράλληλη αναβάθμιση των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων σε επίπεδο πυροπροστασίας και ηχομόνωσης.
- Με τη θερμομόνωση του κελύφους, παράλληλα με την μείωση του κόστους χρήσης των στρατιωτικών κτιρίων για θέρμανση/ψύξη, βελτιώνεται η θερμική άνεση και το επίπεδο διαβίωσης και εργασίας εντός αυτών.
- Σε επίπεδο ασφάλειας των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων, ο περιορισμός των θερμικών απωλειών που παρέχουν οι επεμβάσεις θερμομόνωσης, περιορίζουν και την δυνατότητα ανίχνευσης με κάμερες ή οπτικά συστήματα που φέρουν αισθητήρες ανίχνευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- Η θερμομόνωση μειώνει την ένταση των περιβαλλοντικών επιδράσεων επί του κτιριακού περιβάλλοντος και συνεπώς αυξάνει τη διάρκεια ζωής, την ανθεκτικότητα συνολικά της κατασκευής, ενώ παράλληλα μειώνει το κόστος συντήρησης.
- Οι μειωμένες απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης λόγω θερμομόνωσης έχουν ως αποτέλεσμα οικονομικότερες επιλογές σε επίπεδο διαστασιολόγησης και εγκατάστασης συστημάτων θέρμανσης/ψύξης.
- Τέλος, η θερμομόνωση, όπως και οι λοιπές τεχνολογίες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, συνδράμει στη προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα, αφού μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας, ελαττώνεται αντίστοιχα και η ποσότητα των εκπεμπόμενων καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα.

3.1 Βασικές αρχές μετάδοσης θερμότητας

Θερμότητα ορίζεται ως η ενέργεια που μεταδίδεται μέσα από το όριο ενός θερμοδυναμικού συστήματος συγκεκριμένης θερμοκρασίας προς ένα άλλο σύστημα (ή στο περιβάλλον) που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η μετάδοση της ενέργειας προκαλείται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο συστημάτων, ενώ η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από σύστημα

² Παπαδόπουλος Α., Θεοδοσιού Θ., Οξυζίδης Σ., 2008, **Ολοκληρωμένη αξιολόγηση συστημάτων θερμομόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων**, Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Δομικών Υλικών & Στοιχείων, ΤΕΕ, Επ. Εκδ. Μοροπούλου Α., Λαμπρόπουλος Κ., σελ. 1227-1238.

υψηλότερης θερμοκρασίας προς σύστημα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η θερμότητα μπορεί να οριστεί μόνο στα όρια του συστήματος κατά τη μεταφορά της από το ένα σύστημα στο άλλο και μόνο μέχρι να επέλθει θερμοκρασιακή ισορροπία στα δύο συστήματα.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί με τους οποίους πραγματοποιείται η μετάδοση θερμότητας: **Αγωγή, Συναγωγή και Ακτινοβολία**.

Αγωγή είναι η μετάδοση θερμότητας μεταξύ των μορίων δύο στερεών σωμάτων (ή αντίστοιχα υγρών ή αερίων μαζών) διαφορετικής θερμοκρασίας που βρίσκονται σε επαφή, χωρίς να υπάρχει κίνηση μορίων μεταξύ τους. Μετάδοση θερμότητας με αγωγή στα κτίρια γίνεται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου που διαχωρίζουν χώρους με θερμοκρασιακή διαφορά.

Συναγωγή (ή μεταφορά) είναι η μετάδοση θερμότητας που βασίζεται στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται σημαντικά ποσά θερμότητας. Εκτός από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, που οφείλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα στους χώρους, μετακινήσεις του αέρα προκαλούν και οι άνεμοι, οι κινήσεις των ανθρώπων, τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, η λειτουργία ανεμιστήρων κ.ά..

Ακτινοβολία είναι η μετάδοση θερμότητας από ένα σώμα στον περιβάλλον χώρο με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του σώματος. Δεν απαιτεί την ύπαρξη κάποιου υλικού (ή αέρα) μεταξύ των δύο σωμάτων. Όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία του σώματος τόσο πιο έντονη είναι η ακτινοβολία που εκπέμπεται. Μετάδοση θερμότητας στα κτίρια με ακτινοβολία έχουμε κατά βάση εξωτερικά από την ηλιακή ακτινοβολία.

Η συνεχής ροή θερμότητας που προκαλείται ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες έχει ως αποτέλεσμα αυτό που ονομάζουμε **θερμικές απώλειες**. Θερμικές απώλειες στα κτίρια νοούνται τόσο οι απώλειες της ζέστης ενός χώρου το χειμώνα αλλά και η εισροή θερμότητας το καλοκαίρι, όταν ο εξωτερικός ατμοσφαιρικός αέρας είναι θερμότερος.

Αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιριακού περιβλήματος (κελύφους) ευάλωτα στις θερμικές απώλειες είναι:

- Εξωτερικοί τοίχοι.
- Επίπεδες οροφές (δώματα)
- Κεκλιμένες οροφές (στέγες)
- Πιλοτές.
- Πλάκες και τοιχία υπογείων.

Οι θερμικές απώλειες είναι αδύνατο να εμποδιστούν τελείως, αλλά μπορούν να περιοριστούν ως προς το μέγεθος και τη διάρκειά τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη θερμική μόνωση, ή επικρατέστερα **θερμομόνωση**, που χαρακτηρίζει το σύνολο των κατασκευαστικών μέτρων που

λαμβάνονται στις κτιριακές κατασκευές για τη μείωση της ροής θερμότητας (θερμικών απωλειών) μεταξύ των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου και των εξωτερικών ή μεταξύ εσωτερικών χώρων του ίδιου κτιρίου διαφορετικής θερμοκρασίας.

Η θερμομόνωση πρακτικά επιτυγχάνεται με τη τοποθέτηση κατάλληλων υλικών στα αδιαφανή δομικά στοιχεία, που παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση στη ροή της θερμότητας (ή αλλιώς, χαμηλή θερμική αγωγιμότητα), τα αποκαλούμενα **θερμομονωτικά υλικά**.

Η τοποθέτηση των θερμομονωτικών υλικών πρέπει να σχεδιάζεται και να εκτελείται με τέτοιο τρόπο ώστε να περικλείουν ομοιόμορφα το σύνολο του κελύφους. Τυχόν σημεία ή επιφάνειες των αδιαφανών δομικών στοιχείων στα οποία απουσιάζει θερμομονωτικό υλικό ή το πάχος του είναι σημαντικά μικρότερο από το μέσο πάχος θερμομόνωσης του συνόλου του δομικού στοιχείου αποτελούν **θερμογέφυρες**.

Οι θερμογέφυρες έχουν μικρή θερμική αντίσταση σε σχέση με τις λοιπές επιφάνειες, με αποτέλεσμα την αυξημένη ροή θερμότητας διαμέσου τους, άρα πρόκληση θερμικών απωλειών. Οι θερμογέφυρες αποτελούν πολύ σημαντικό πρόβλημα της θερμικής θωράκισης του κτιρίου και μπορούν να προσαυξήσουν τις ενεργειακές απώλειες κατά 5-30%³.

Οι θερμογέφυρες εμφανίζονται στο κέλυφος του κτιρίου, στη διεπιφάνεια δύο διαφορετικών δομικών στοιχείων (πχ τοίχος με κολώνα) ή δύο ίδιων δομικών στοιχείων (προέκταση των πλακών στα μπαλκόνια), καθώς και στις συνδέσεις εξωτερικών δομικών στοιχείων ιδίως γύρω από τα κουφώματα. Οι θερμογέφυρες αντιμετωπίζονται κυρίως με την ορθή τεχνική εφαρμογή της θερμομόνωσης, δίνοντας έμφαση στις ενώσεις ανόμοιων υλικών και στις απολήξεις τοίχων, ταράτσας κλπ.

Οι θερμογέφυρες κατά τους χειμερινούς μήνες λόγω της σημειακής αυξημένης ροής θερμότητας οδηγούν σε χαμηλές θερμοκρασίες στις εσωτερικές επιφάνειες των κτιρίων και κατά συνέπεια σε υγραποίηση των υδρατμών πάνω σε αυτές. Η θερμοκρασία στην οποία λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της υγραποίησης (το νερό από την αέριο φάση με τη μορφή υδρατμών περνάει στην υγρή φάση) ονομάζεται θερμοκρασία του σημείου δρόσου ή απλά **σημείο δρόσου**.

Η υγραποίηση οδηγεί με τη σειρά της στην υποβάθμιση της ποιότητας διαβίωσης εντός του κτιρίου αλλά επιδρά αρνητικά και στην ποιότητας των υλικών των δομικών στοιχείων της κατασκευής.

3.2 Θερμομονωτικά υλικά

Ανάλογα με τη χημική σύνθεση των συστατικών τους, τα θερμομονωτικά υλικά διαχωρίζονται σε οργανικά και ανόργανα. Στα οργανικά θερμομονωτικά ανήκουν τα αφρώδη υλικά εξηλασμένης

³ Επιστημονικό Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου, 2014, «Θερμογέφυρες» στο **Εγχειρίδιο για εγκαταστάτες εξωτερικής και συμβατικής θερμομόνωσης**, ΕΤΕΚ, Λευκωσία, σελ. 12.

και διογκωμένης πολυστερίνης. Στα ανόργανα θερμομονωτικά ανήκουν τα ινώδη υλικά πετροβάμβακα και υαλοβάμβακα, τα οποία εντάσσονται στην γενικότερη κατηγορία των ορυκτοβαμβάκων. Οι παραπάνω τύποι αποτελούν πάνω από το 90% των χρησιμοποιούμενων θερμομονωτικών υλικών πανευρωπαϊκά, με το υπόλοιπο 10% να καταλαμβάνουν λοιπά υλικά όπως ο αφρός πολυουρεθάνης, φαινολικός αφρός κ.α⁴.

3.2.1 Κυριότεροι εμπορικοί τύποι θερμομονωτικών υλικών

Η Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS): είναι αφρώδες συνθετικό θερμομονωτικό υλικό, προϊόν της πετροχημικής βιομηχανίας που παράγεται υπό μορφή πλακών μέσω της διαδικασίας συνεχούς εξήλασης τυγμένου πολυστυρολίου (Εικόνα 1). Ως διογκωτικό μέσο χρησιμοποιείται μίγμα αερίων (CO₂, αιθέρας κ.α.) που εγχέεται με πίεση αφροποιώντας το τηγμένο πολυστυρόλιο που βρίσκεται σε εξηλαστήρα δημιουργώντας ένα υλικό με καθολική δομή κλειστών πολυεδρικών κυψελών διαμέτρου περίπου 0,5 mm σε ποσοστό > 95%. Η επιφάνεια μπορεί να τύχει κατεργασίας ώστε να γίνεται καλύτερη πρόσφυση κονιαμάτων. Τα προϊόντα εξηλασμένης πολυστερίνης αποτελούν τυποποιημένο θερμομονωτικό προϊόν, το οποίο συμμορφώνεται με το εναρμονισμένο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13164.



Εικόνα 1: Εξηλασμένη πολυστερίνη

Η Διογκωμένη Πολυστερίνη (EPS): είναι επίσης ένα αφρώδες θερμομονωτικό που όμως παράγεται από με τη διόγκωση κόκκων πολυστυρολίου σε μεγαλύτερα σφαιρίδια, τα οποία κολλούν μεταξύ τους με τη χρήση πρέσας και ατμού. Το αέριο που χρησιμοποιείται στη διόγκωση είναι το πεντάνιο. Η διογκωμένη πολυστερίνη παράγεται σε μεγάλα μπλοκ, τα οποία κόβονται σε πλάκες (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Διογκωμένη πολυστερίνη

Η χρήση πούδρας γραφίτη ως πρόσθετο κατά τη διαδικασία της παραγωγής της διογκωμένης πολυστερίνης (Εικόνα 3), βελτιώνει τη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού λόγω της ανισότροπης μεταφοράς της θερμότητας στην επιφάνεια του γραφίτη αλλά δημιουργεί προβλήματα παραμόρφωσης στην επίδραση του ήλιου πάνω σε αυτό.



Εικόνα 3: Γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη

Τα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης αποτελούν τυποποιημένο θερμομονωτικό προϊόν, το οποίο συμμορφώνεται με το εναρμονισμένο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13163.

⁴ IAL Consultants. (2015). **European Market for Thermal Insulation Products**, Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/GGN4XV>, [10 Απριλίου 2018]

Ο **Πετροβάμβακας (SW-Stone Wool)**: παράγεται από ορυκτά πετρώματα, με φυγοκέντριση τηγμένου υλικού στους 1600° C, κατά την οποία διαμορφώνονται οι ίνες του (Εικόνα 4). Τα βασικά συστατικά του είναι ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, η ανθρακική σόδα και η αλουμίνα. Κατά τη φυγοκέντριση, του τήγματος παγιδεύεται αέρας ανάμεσα στις παραγόμενες ίνες προσδίδοντας στο υλικό τις θερμομονωτικές του ιδιότητες.



Εικόνα 4: Πλάκες πετροβάμβακα



Οι ίνες με την προσθήκη συγκολλητικής ρητίνης και ειδικών πυριτικών ενώσεων για υδροφοβισμό, αποκτούν συνεκτικότητα, ελαστικότητα και υδατοαπωθητικότητα (Εικόνα 5).

Εικόνα 5: Ο Πετροβάμβακας ως υδρόφοβο υλικό δεν απορροφά νερό

Η μορφή του πετροβάμβακα στο εμπόριο είναι σε πλάκες ή ρολά (Εικόνα 6) με διάφορες πυκνότητες και πάχη. Ο πετροβάμβακας μετά την παραγωγή του μπορεί να δεχτεί και διαφορές επικαλύψεις όπως αλουμινόχαρτο, υαλοϋφασμα κ.α. Τα προϊόντα πετροβάμβακα αποτελούν τυποποιημένο θερμομονωτικό προϊόν, το οποίο συμμορφώνεται με το εναρμονισμένο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13162.



Εικόνα 6: Ρολά πετροβάμβακα

Ο **Υαλοβάμβακας (GW-Glass Wool)**: έχει παρόμοιο τρόπο παραγωγής με τον πετροβάμβακα αλλά ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κυρίως διοξείδιο του πυριτίου (χαλαζίας) και παράγονται ίνες γυαλιού (Εικόνα 7). Τα προϊόντα υαλοβάμβακα αποτελούν τυποποιημένο θερμομονωτικό προϊόν, το οποίο συμμορφώνεται επίσης με το εναρμονισμένο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13162.



Εικόνα 7: Υαλοβάμβακας

Επειδή κατά τη διάρκεια της παραγωγής του υαλοβάμβακα οι ίνες του είναι δυνατόν να βαφτούν στο χρώμα του πετροβάμβακα, κατά την προμήθεια ινωδών θερμομονωτικών ορυκτοβάμβακα (MW-Mineral Wool) πρέπει οπωσδήποτε να διευκρινίζεται εάν πρόκειται για πετροβάμβακα (Stone Wool) ή υαλοβάμβακα (Glass Wool) καθώς οι ιδιότητες τους είναι διαφορετικές.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότερες ιδιότητες των εμπορικότερων θερμομονωτικών υλικών. Η σημασία αυτών των ιδιοτήτων αναλύεται στις παρακάτω ενότητες.

Πίνακας 1: Κυριότερες φυσικές ιδιότητες εμπορικότερων θερμομονωτικών υλικών⁵
(ενδέχεται να υπάρχουν μικρές αποκλίσεις από παραγωγό σε παραγωγό)

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ		ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ (XPS)	ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ (EPS)	ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ (MW - STONE WOOL)	ΥΑΛΟΒΑΜΒΑΚΑΣ (MW - GLASS WOOL)
Πυκνότητα [kg/m ³]	min	20	8	30	13
	max	80	50	180	100
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ [W/mK]	min	(0,022) - 0,030*	0,030	0,033	0,033
	max	(0,032) - 0,040*	0,046	0,045	0,045
Εύρος χρήσης [°C]	min	-80	-80	-100	-100
	max	75	75	1000	500
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	min	50	25	1	1
	max	200	200	3	3
Κατηγορία πυραντοχής	min	E	E	A1	A1
	max	F	F	A2	A2
Απορρόφηση % νερού με διάχυση	min	3	3	NA	NA
	max	5	15	NA	NA
Απορρόφηση % νερού με εμβάπτιση	min	0,7	1	1	1
	max	3	5	3	3
Αντοχή συμπίεσης για παραμόρφωση 10 % [KPa]	min	100	30	NA	NA
	max	1000	500	80	70
Βαθμός ηχο-απορρόφησης στα 1.000 Hz		0,99	0,97	0	0

* Ο συντελεστής λ της εξηλασμένης πολυστερίνης σύμφωνα με το πρότυπο πιστοποίησής της και σε αντίθεση με τα άλλα υλικά, δεν αναφέρεται στο παρόν, αλλά στη τιμή λ που θα έχει το υλικό μετά από 25ετή τεχνητή γήρανση. Στην παρένθεση αναγράφονται οι αρχικές τιμές λ αμέσως μετά την παραγωγή του υλικού.

3.2.2 Θερμική αγωγιμότητα

Χαρακτηριστική ιδιότητα της θερμομονωτικής ικανότητας ενός υλικού είναι ο **Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας, λ_D (W/mK)**, που δηλώνει την ποσότητα θερμότητας που ρέει ανά μονάδα χρόνου (W), μέσα από τις απέναντι πλευρές ενός κύβου ομοιογενούς υλικού με ακμή 1m, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών είναι ίση με 1K. Κατά συνέπεια όσο

⁵ Α. Παπαδόπουλος, Π. Αντωνιάδου, 2016, **Εκπαιδευτικό υλικό – Εγχειρίδιο για τεχνικούς μόνωσης**, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. Σελ.37.

χαμηλότερος είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ_D ενός υλικού τόσο καλύτερο θερμομονωτικό είναι το υλικό αυτό.

Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν την ιδιότητα της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας σε ένα πολύ μικρό βαθμό στη χημική τους σύσταση και σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τον αέρα που υπάρχει εγκλωβισμένος στο εσωτερικό τους. Ο αέρας χαρακτηρίζεται ως κακός αγωγός της θερμότητας, καθώς έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ_D . Η πολύ μικρή μάζα του (λόγω της μικρής του πυκνότητας), καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη μεταφορά της θερμότητας με αγωγή και για αυτό το λόγο, η μεταφορά θερμότητας με αγωγή μπορεί να ελαχιστοποιείται, όπως άλλωστε και αυτή με συναγωγή.

Πρακτικά η ελάχιστη δυνατή θερμική αγωγιμότητα μπορεί να επιτευχθεί όταν υπάρχει μέσα σε ένα υλικό ακίνητος και ξηρός αέρας. Για το λόγο αυτό τα θερμομονωτικά υλικά έχουν κατά κανόνα και μικρή πυκνότητα. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ενός πορώδους υλικού είναι μικρότερος σε σχέση με το λ του ίδιου υλικού εάν αυτό ήταν πιο συμπαγές. Το φαινόμενο αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη θερμομονωτικών υλικών, με μεγάλο ποσοστό πόρων ή κλειστών κυψελίδων, που περιέχουν είτε αέρα, είτε κάποιο άλλο αέριο με μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ_D .

Η πορώδης δομή των βιομηχανικά παραγόμενων θερμομονωτικών υλικών επιτυγχάνεται με τη χρήση λεπτών ακανόνιστων ινών, όπως π.χ. συμβαίνει στον Πετροβάμβακα και τον Υαλοβάμβακα, ή με την παραγωγή κυψελίδων από αφρώδη συνθετικά υλικά όπως π.χ. στην Εξηλασμένη και Διογκωμένη Πολυστερίνη. Κατά συνέπεια, η θερμική τους αγωγιμότητα καθορίζεται πρωταρχικά από τον αριθμό και το μέγεθος των διάκενων που υπάρχουν στη μάζα του υλικού τους και που περιέχουν τον ακίνητο, με θερμομονωτικές ιδιότητες, αέρα.

Επιπρόσθετα, πρέπει να σημειωθεί πως η θερμική αγωγιμότητα των υλικών επηρεάζεται, από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται και την υγρασία που μπορεί με διάφορους τρόπους να προσλάβουν.

3.2.3 Επίδραση της υγρασίας στα θερμομονωτικά υλικά

Ιδιαίτερη σημασία έχει η υγρασία στα θερμομονωτικά υλικά, καθώς το νερό και ο πάγος έχουν περίπου 24 και 92 φορές, αντίστοιχα, μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ από τον αέρα. Κατά συνέπεια ακόμη και μικρή αύξηση της παρουσίας υγρασίας στο εσωτερικό των θερμομονωτικών υλικών μπορεί να προκαλέσει και αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, καθώς το εγκλωβισμένο νερό, καταλαμβάνει τη θέση του αέρα.

Η μείωση των ιδιοτήτων των θερμομονωτικών υλικών είναι ιδιαίτερα εμφανής όσο αυξάνεται η παρουσία νερού ή και υδρατμών στο εσωτερικό τους που μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε εξάλειψη των θερμομονωτικών ιδιοτήτων τους. Για τον λόγο αυτό η υγρασία θεωρείται το μεγαλύτερο αίτιο προβλημάτων της θερμομόνωσης σε μια κατασκευή.

Η παρουσία υγρασίας στα πιο ευπαθή θερμομονωτικά υλικά λόγω δομής (διογκωμένη πολυστερίνη, πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας) μπορεί να προέρχεται:

- είτε από υδατοαπορρόφηση απουσία στεγανοποιητικών στρώσεων (ασφαλτικές θερμοπλαστικές και ρευστές μεμβράνες),
- είτε από τη συμπύκνωση υδρατμών απουσία στρώσεων ελέγχου της κίνησης των υδρατμών (φράγματα υδρατμών, μεμβράνες επιβράδυνσης υδρατμών, διαπνέουσες μεμβράνες).

Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, όπως είναι η εφαρμογή των θερμομονωτικών στα σύνθετα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης των τοίχων, η επίδραση των υδρατμών είναι αναπόφευκτη, καθώς μετατοπίζεται το σημείο δρόσου από το εσωτερικό του κτιρίου μέσα στη μάζα των θερμομονωτικών υλικών. Στις περιπτώσεις αυτές το θερμομονωτικό υλικό έχει το ρόλο της «**θυσιαζόμενης υγροθερμικής στρώσης στην κατασκευή**», που είναι και ο ορισμός της έννοιας του θερμομονωτικού υλικού σε επίπεδο δομικής φυσικής.

Ουσιαστικά, το θερμομονωτικό υλικό καλείται είτε να μην απορροφά σημαντική ποσότητα υγρασίας, προκειμένου να μη μεταβάλει σημαντικά τον συντελεστή λ_D (περίπτωση εξηλασμένης πολυστερίνης), είτε εφόσον απορροφά, να μπορεί εύκολα να στεγνώνει λόγω της υψηλής διαπνοής (περίπτωση πετροβάμβακα) διατηρώντας την τιμή του συντελεστή λ σταθερή στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου.

Η επίδραση της υγρασίας στο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ_D και η μετατροπή του σε **συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας σχεδιασμού λ_Z** υπολογίζεται με βάση το πρότυπο EN ISO 10456 που δίνεται στη Σχέση 1:

$$\lambda_Z = \lambda_D \times e^{f_{\psi}(\psi_2 - \psi_1)} \quad \text{Σχέση (1)}$$

Όπου,

$e \approx 2,718$ (σταθερά λογαρίθμου),

ψ_2 είναι η % κ.ο. δηλωμένη υδατοαπορρόφηση του θερμομονωτικού μετά την τοποθέτηση

ψ_1 είναι η % κ.ο. δηλωμένη υδατοαπορρόφηση για στεγνό θερμομονωτικό (συνήθως 0%)

f_{ψ} είναι ο συντελεστής μετατροπής που δίνεται για κάθε υλικό από πίνακα του προτύπου (π.χ. $f_{\psi}=2,4$ για εξηλασμένη πολυστερίνη και $f_{\psi}=4$ για γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη)

Για παράδειγμα, μια εξηλασμένη πολυστερίνη σε εφαρμογή εξωτερικής θερμομόνωσης τοίχου, με αρχικό, πριν την τοποθέτηση, δηλωμένο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_D=0,033$ W/mK, λόγω της χαμηλής υδατοαπορρόφησης με διάχυση υδρατμών 3% δίνει μόλις $\lambda_Z=0,037$ W/mK, ενώ η γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη με καλύτερο αρχικό συντελεστή $\lambda_D=0,032$ W/mK από την εξηλασμένη, αλλά με υδατοαπορρόφηση 10%, δίνει τελικά σημαντικά χειρότερη τιμή με πραγματικού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας σχεδιασμού $\lambda_Z=0,048$ W/mK.

Η διαχείριση λοιπόν της υγρασίας στις επεμβάσεις θερμομόνωση, όταν αυτή είναι εφικτή με στεγανοποιητικές στρώσεις και στρώσεις ελέγχου της κίνησης των υδρατμών, αποτελούν βασικές εργασίες για τη θωράκιση του κτιριακού περιβλήματος των στρατιωτικών εγκαταστάσεων από τις καιρικές επιδράσεις. Σε επίπεδο σχεδιασμού, θερμομόνωση και διαχείριση υγρασίας, είναι εργασίες άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους και το τελικό αποτέλεσμα της ενεργειακής αναβάθμισης εξαρτάται από τον ορθό συνδυασμό τους σε επίπεδο αλληλουχίας εργασιών και επιλογής υλικών. Κακές επιλογές στη διαχείριση της υγρασίας έχουν επιπτώσεις στη θερμομόνωση, όπως και η κακή θερμομόνωση μπορεί να έχει επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής της στεγανοποίησης. Υπό αυτή λοιπόν την οπτική, μπορούμε με βεβαιότητα να ισχυριστούμε πως μια «καλή στεγανοποίηση» είναι και μια «καλή θερμομόνωση» και το αντίστροφο.

Στις στοχευμένες λύσεις θερμομόνωσης για τα στρατιωτικά κτίρια, που αναπτύσσονται σε επόμενη ενότητα, λαμβάνεται υπόψη η θέση των θερμομονωτικών υλικών στο δομικό στοιχείο (μέσα ή έξω) και η διαχείριση της υγρασίας που πρέπει να γίνει με βάση τη δομή του κάθε υλικού. Υλικά ανοικτής δομής π.χ. πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας και διογκωμένη πολυστερίνη έχουν μεγαλύτερη ανάγκη προστασίας από την υγρασία έναντι υλικών κλειστής δομής π.χ. εξηλασμένη πολυστερίνη. Συνεπώς, ανάλογα με το θερμομονωτικό υλικό διαφέρει και ο τρόπος χρήσης του στην κατασκευή και η χρήση του συνδυάζεται με στρώσεις υλικών που έπονται ή προηγούνται, ώστε να εξασφαλίζεται κατά το δυνατόν την καλύτερη θερμομονωτική του λειτουργία σε πραγματικές συνθήκες.

3.2.4 Θερμομονωτικά υλικά και διαπνοή

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω η διαπνοή των θερμομονωτικών υλικών είναι σημαντική σε σχέση με την επίδραση της υγρασίας σε αυτά και κατ' επέκταση με την ενεργειακή τους απόδοση. Χαρακτηριστικό μέγεθος που δείχνει την ικανότητα διαπνοής ενός υλικού είναι ο **συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών, μ** . Ο συντελεστής μ δηλώνει πόσο μεγαλύτερη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών παρουσιάζει ένα υλικό από ένα στρώμα αέρα ίδιου πάχους στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Έτσι ορίζεται ότι ο αέρας έχει τιμή $\mu=1$. Κατά συνέπεια για ένα υλικό όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, μ , τόσο δυσκολότερα οι υδρατμοί διέρχονται μέσω της μάζας του.

Στα προϊόντα εξηλασμένης πολυστερίνης συναντούμε συντελεστές $\mu=50-200$ και στα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης 25-200 ανάλογα με την πυκνότητα τους, κατατάσσοντάς τα στα υλικά περιορισμένης διαπνοής ή αλλιώς υλικά με λειτουργική διαπνοή. Από την άλλη ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας με συντελεστή $\mu=1$ κατατάσσεται στη κατηγορία των απόλυτα διαπνεόντων υλικών.

Εκτός όμως από το φυσικό μέγεθος του συντελεστή μ στην διαπνοή ενός υλικού σημαντικό ρόλο παίζει και το πάχος του υλικού. Έτσι, ο υπολογισμός της **αντίστασης στη διάχυση υδρατμών, S_D** , που τελικά προσδιορίζει την ευκολία ή δυσκολία κίνησης των υδρατμών στο εσωτερικό ενός υλικού συγκεκριμένου **πάχους, d** , εκφρασμένο σε m, δίνεται από τη Σχέση 2:

$$S_D = \mu \times d$$

Σχέση (2)

Όσο μεγαλύτερο πάχος μονωτικού χρησιμοποιούμε τόσο μεγαλύτερη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών αποκτούμε και τόσο περισσότερο περιορίζουμε την διαπνοή της κατασκευής μας. Κατά συνέπεια ένα μεγαλύτερο πάχος διογκωμένης πολυστερίνης μπορεί κάλλιστα να παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία διαπνοής από ένα μικρότερο πάχος εξηλασμένης πολυστερίνης. Σε γενικές γραμμές η τοποθέτηση ενός συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης με αφρώδη μονωτικά, είτε εξηλασμένης είτε διογκωμένης πολυστερίνης, παρουσιάζει περιορισμένη διαπνοή σε αντίθεση με το πετροβάμβακα.

Από την άλλη ούτε η εξηλασμένη ούτε η διογκωμένη πολυστερίνη θεωρούνται **φράγμα υδρατμών**. Υλικά που χαρακτηρίζονται φράγματα υδρατμών είναι αυτά που έχουν τιμή $S_D \geq 1.000$ m. Τέτοια υλικά είναι συνήθως λεπτά φύλλα π.χ. ασφαλικές μεμβράνες με φύλλο αλουμινίου στη μάζα τους ή διάφορες συνθετικές μεμβράνες, που αν και χρησιμοποιούνται σε μικρός πάχος έχουν πολύ υψηλό συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών με τιμή $\mu \geq 50.000$. Η χρήση τέτοιων υλικών που λειτουργούν ως φράγματα υδρατμών είναι απαραίτητη όταν εφαρμόζουμε στις κατασκευές διογκωμένη πολυστερίνη.

Η τοποθέτηση φράγματος υδρατμών γίνεται πάντα από την εσωτερική πλευρά, τη ζεστή πλευρά, του θερμομονωτικού εμποδίζοντας τους υδρατμούς να περάσουν και να συμπυκνωθούν στη ψυχρότερη προς τα έξω μάζα του μονωτικού καταστρέφοντας τις θερμομονωτικές ιδιότητές του.

3.2.5 Θερμομονωτικά υλικά και πυροπροστασία

Τα θερμομονωτικά υλικά ανάλογα της χημικής τους σύστασης είναι δυνατόν παράλληλα με την θερμομόνωση να συνεισφέρουν σε επίπεδο πυροπροστασίας ή ακόμα και να καταστεί επικίνδυνη η χρήση τους. Κατά συνέπεια η επιλογή του τύπου του θερμομονωτικού και της μεθόδου τοποθέτησης του είναι θεμελιώδους σημασίας κατά τις επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων, όπως στρατώνες, κτίρια γραφείων, αποθήκες οπλισμού και πυρομαχικών, νοσοκομεία κ.α.

Η κατάταξη των θερμομονωτικών υλικών και των συστημάτων δόμησης ως προς την αντίδραση τους στη φωτιά γίνεται με βάση το πρότυπο EN 13501-1 και η χρήση τους στα κτήρια καθορίζεται από τον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων ΠΔ 71/88. Στον παρακάτω Πίνακα 2 δίνονται οι κατηγορίες κατάταξης βάσει των ευρωκλάσεων του EN 13501-1.

Ο πετροβάμβακας είναι το θερμομονωτικό υλικό που κατατάσσεται στην υψηλότερη κατηγορία αντίδρασης στη φωτιά κατηγορία A1, μπορεί να λειτουργεί ακόμη και σε επαφή με γυμνή φλόγα στους 600°C, αφού το σημείο μάλθωσης των ινών είναι πάνω από τους 1000°C.

Στην κατάταξη ακολουθεί ο υαλοβάμβακας επίσης ως A1 υλικό αλλά με πολύ χαμηλότερη αντοχή των ινών του που δεν ξεπερνούν οι πλάκες τους 300°C και τα ρολά τους 500°C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες το υλικό καταρρέει και καίγεται.

Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση αντίδρασης στη φωτιά βάσει των Ευρωκλάσεων⁶

ΕΥΡΩΚΛΑΣΕΙΣ EN 13501-1					
Κολάσεις αντίδρασης στη φωτιά		Απελευθέρωση καπνών s1, s2, s3		Διαστάλαξη πυρακτωμένου υλικού d0,d1,d2	
A1	Άκαυστο	Δεν είναι απαραίτητο τεστ		Δεν είναι απαραίτητο τεστ	
A2	Άκαυστο	s1	Δεν εκλύεται καπνός ή εκλύεται περιορισμένος καπνός	d0	Δεν παράγονται κατά τα πρώτα 10 λεπτά.
B	Μειούμενα επίπεδα απόδοσης από την κλάση	s2	Εκλύεται καπνός	d1	Περιορισμένη διαστάλαξη πυρακτωμένου υλικού σε λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα.
C	αντίδρασης B	s3	Υψηλή έκλυση καπνού	d2	Υψηλή διαστάλαξη.
D	προς την E	E	Κανένα τεστ	E	Ουδεμία ένδειξη ή d2
E		Δεν δηλώθηκε καμία απόδοση			

Τα αφρώδη μονωτικά εξηλασμένης και διογκωμένης πολυστερίνης δεν ξεπερνούν την κατηγορία E με σημείο μάλθωσης της συνθετικής τους μάζας μόλις στους 75° C. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 13501-1 ένα υλικό θεωρείται κατηγορίας E όταν εκτεθεί σε φλόγα ύψους μόλις 2 cm και για μόλις 15 sec, κατόπιν αφαιρεθεί η φλόγα και για τα επόμενα 20 sec η φλόγα δεν κάψει το δείγμα σε ύψος πάνω από 20 cm. Αν π.χ. η φλόγα ανέβει πάνω από τα 20 cm μετά τα 21 sec τότε το υλικό είναι κατηγορίας E. Είναι αυτονόητο ότι σε περίπτωση πυρκαγιάς αυτή η αντίδραση στη φωτιά (με εργαστηριακή φλόγα 2 cm για 15 sec) είναι άνευ ουσίας, αφού το αφρώδες μονωτικό σε πραγματικές συνθήκες καταρρέει και αυτοτροφοδοτεί τη φωτιά σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Για τους παραπάνω λόγους ο κανονισμός πυροπροστασίας ΠΔ 71/88 καθορίζει την υποχρεωτική χρήση πετροβάμβακα σε κτίρια με απαιτήσεις πυροπροστασίας όταν τα θερμομονωτικά υλικά τοποθετούνται σε εσωτερικές ή εξωτερικές επενδύσεις τοίχων⁷. Όλα τα στρατιωτικά κτίρια εμπίπτουν σε αυτή την απαίτηση. Επιπρόσθετα, ο πετροβάμβακας λόγω της αντοχής του σε υψηλές θερμοκρασίες είναι κατάλληλος για θερμομονώσεις μηχανολογικού εξοπλισμού στρατιωτικών εγκαταστάσεων που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες όπως σωληνώσεις, καυστήρες, κ.α.

⁶ Χατζηάστρου Χ., 2014, **Τεχνική κατάρτιση μονωτών στεγανοποιητών**, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα, σελ.32

⁷ Προεδρικό Διάταγμα 71/88, **Κανονισμός πυροπροστασίας των κτιρίων**, ΦΕΚ 32/Α/17-2-88, σελ. 277.

3.2.6 Θερμομονωτικά υλικά και ηχομόνωση

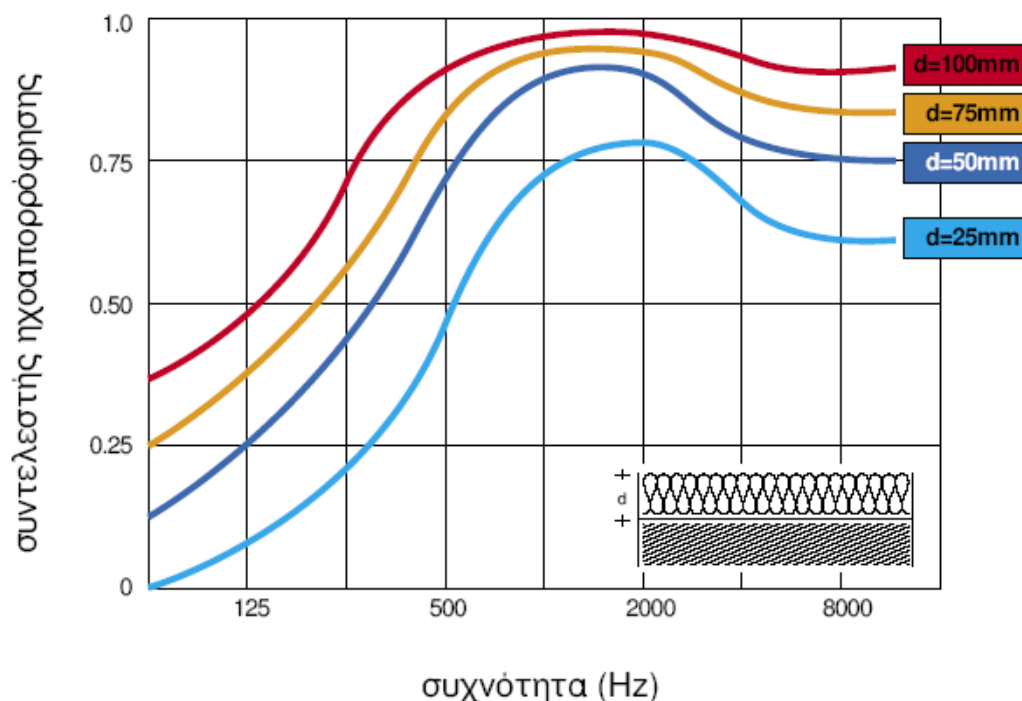
Με τον όρο «ήχος» χαρακτηρίζεται κάθε τι που διεγείρει το αισθητήριο της ακοής. Μεταξύ ηχητικής πηγής και δέκτη μεσολαβεί πάντα ένα ελαστικό μέσο (συνήθως ο αέρας) που είναι απαραίτητο για τη διάδοση του ήχου. Μέσα στον αέρα ο ήχος διαδίδεται με την μορφή κυμάτων, των ηχητικών κυμάτων. Ως **ήχο** επομένως μπορεί να ορίσει κανείς μηχανικές ταλαντώσεις που η συχνότητα τους περιλαμβάνεται στην περιοχή συχνοτήτων από 16Hz μέχρι 16KHz που αποτελεί και την περιοχή λειτουργίας του ανθρώπινου αισθητηρίου της ακοής. Η μέτρηση του ήχου και γενικότερα του θορύβου γίνεται με τη χρήση μιας λογαριθμικής κλίμακας, τη **στάθμη ηχητικής πίεσης** με μονάδα μέτρησης το Decibel (dB). Για παράδειγμα ένα στρατιωτικό φορηγό παράγει ηχητική πίεση της τάξης των 80 dB, ένα στρατιωτικό αεροπλάνο στην απογείωση περί τα 110-130 dB, η εκπυρσοκρότηση από ένα όπλο από 140-170 dB. Ως μονάδα που εκφράζεται λογαριθμικά κάθε 1 dB αντιστοιχεί σε αύξηση της έντασης του θορύβου κατά 26%.

Η επέμβαση που έχει ως στόχο τη μείωση της διάδοσης του ήχου δια μέσου των δομικών στοιχείων καλείται **ηχομόνωση**. Αντικείμενο της ηχομόνωσης είναι η αποτελεσματική προστασία ενός κτιρίου τόσο από τους εξωτερικούς θορύβους (κυκλοφοριακός, αεροπορικός κλπ) όσο και από τους θορύβους που δημιουργούνται στο εσωτερικό του και διαδίδονται είτε μέσω του αέρα, και ονομάζεται **αερόφερτος ήχος**, ή μέσω των στερεών και ονομάζεται **στερεόφερτος ή κτυπογενής ήχος**. Η απαιτήσεις ηχομόνωσης όλων των τύπων των κτιριακών κατασκευών καθορίζονται από τον Κανονισμό Ηχομόνωσης, Άρθρο 12 του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού ΦΕΚ 210/Α'/1985.

Για να επιτευχθεί η ηχομόνωση έναντι του αερόφερτου ήχου βασική ιδιότητα που ενδιαφέρει είναι η ικανότητα απορρόφησης του ήχου από τα υλικά, ή επικρατέστερα ηχοαπορρόφηση. **Ηχοαπορρόφηση** είναι η μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας (συνήθως σε θερμότητα) όταν ο ήχος διέρχεται μέσα από ένα υλικό ή προσπίπτει σε μια επιφάνεια. Η ικανότητα του υλικού να απορροφά τον ήχο χαρακτηρίζεται από το **συντελεστή ηχοαπορρόφησης, α** , του υλικού που ορίζεται ως ο λόγος της ηχητικής ενέργειας που απορροφάται προς αυτή που προσπίπτει. Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης, α , ενός υλικού εξαρτάται κύρια από τη δομή του. Η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 1 (περίπτωση τέλει απορρόφησης) και 0 (περίπτωση τέλει ανάκλασης) και πάντα αναφέρεται σε συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων.

Τα κοινά δομικά υλικά, επιχρίσματα και επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται στην πράξη παρουσιάζουν συνήθως χαμηλή ηχοαπορρόφηση. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ηχοαπορρόφηση, όπως π.χ. στρατιωτικά κτίρια αεροδρομίων, χώροι στρατιωτικής βιομηχανίας κλπ., χρησιμοποιούνται ειδικά υλικά και διατάξεις. Μεταξύ αυτών ανήκουν και τα πορώδη ηχοαπορροφητικά θερμομονωτικά υλικά όπως ο πετροβάμβακας. Αντίθετα τα συμπαγή πλαστικά θερμομονωτικά εξηλασμένης και διογκωμένης πολυστερίνης δεν παρουσιάζουν καμία ικανότητα ηχοαπορρόφησης και μάλιστα υπό προϋποθέσεις μπορούν να αυξήσουν τη διάδοση του ήχου δια μέσου του δομικού στοιχείου.

Η βασική λειτουργία του πετροβάμβακα στον αερόφερτο ήχο είναι η απορρόφηση του ήχου μέσα από την μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα μέσα στους πόρους του. Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει μεγάλη ηχοαπορρόφηση στις υψηλές συχνότητες (μικρά μήκη κύματος) καθώς αποτρέπει το σχηματισμό στάσιμων κυμάτων. Η αύξηση της ηχοαπορρόφησης σε χαμηλότερες συχνότητες επιτυγχάνεται είτε με τη μεταβολή της πυκνότητάς του, είτε με την αύξηση του πάχους του υλικού όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1: Μεταβολή της ηχοαπορρόφησης του πετροβάμβακα με τη μεταβολή του πάχους⁸

Σημαντική είναι η συνεισφορά του πετροβάμβακα και στον περιορισμό του κτυπογενούς θορύβου που συναντάμε κυρίως στα δάπεδα μεταξύ ορόφων. Η βελτίωση επιτυγχάνεται με την χρήση του ως υπόστρωμα μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και των επιστρώσεων που ακολουθούν (π.χ. δάπεδο πλακιδίων) δημιουργώντας ένα «πλωτό» δάπεδο. Στην περίπτωση αυτή, λόγω του ελαστικού στρώματος πετροβάμβακα και της συμπεριφοράς του ως ελατήριο, η διέγερση στην επικάλυψη του δαπέδου δεν μεταφέρεται στην πλάκα σκυροδέματος με αποτέλεσμα τη μειωμένη εκπομπή ήχου στον κάτω χώρο.

Ο θόρυβος αποτελεί έναν ιδιαίτερα διαδεδομένο περιβαλλοντικό παράγοντα κινδύνου για την υγεία του στρατεύματος. Πέρα από τις διαταραχές στην ακοή προκαλεί διαταραχές του λόγου, της επικοινωνίας, του ύπνου, καρδιαγγειακές και άλλες παθοφυσιολογικές διαταραχές (π.χ. στην αναπνοή), ψυχολογικές επιπτώσεις που αφορούν στην απόδοση στην εργασία, την ευεξία και τη

⁸ Τροχίδης Α., 2013, «Πορώδη ηχοαπορροφητικά» στο **Ηχομόνωση Βασικές Αρχές και Εφαρμογές**, FIBRAN, Θεσσαλονίκη, σελ 29-31.

μνήμη, την συγκέντρωση, διαταραχές στην ανθρώπινη συμπεριφορά, ευερεθιστότητα και επιθετικότητα. Η χρήση πετροβάμβακα στην ενεργειακή αναβάθμιση των στρατιωτικών εγκαταστάσεων είναι σε θέση να προστατέψει από τις ανεπιθύμητες επιδράσεις του θορύβου και να προσφέρει ηχητική άνεση στους χώρους εργασίας και διαβίωσης.

3.2.7 Θερμομονωτικά υλικά και μηχανικές αντοχές

Σε επίπεδο σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές αντοχές των θερμομονωτικών υλικών ανάλογα του τρόπου τοποθέτησης στο δομικό στοιχείο και των φορτίων στατικών και δυναμικών που θα χρειαστεί να παραλάβουν κατά τη λειτουργία τους. Στατικά φορτία είναι κυρίως οι επιστρώσεις κονιαμάτων και επικαλύψεων σε δάπεδα ή οροφές, ενώ τα δυναμικά προέρχονται από μετακινήσεις ατόμων, τροχοφόρων, αντικειμένων αλλά και δράσεις του αέρα στις όψεις των κτιρίων και τις οροφές.

- Σε εφαρμογές δαπέδων και δωματίων λαμβάνονται υπόψη η αντοχή σε, συμπίεση, κάμψη και σημειακά φορτία.
- Σε εφαρμογές όψεων με μηχανική στερέωση (κόλλες και βύσματα) λαμβάνονται υπόψη η αντοχή σε συμπίεση, κρούσεις, διατρήσεις, σε άμεσο εφελκυσμό παράλληλα και κάθετα των όψεων από δυναμικές καταπονήσεις σε ανεμοπίεση και επικολημένα φορτία επενδύσεων π.χ. διακοσμητικής πέτρας.
- Σε εφαρμογές υπογείου λαμβάνονται υπόψη η αντοχή σε συμπίεση και ο ερπυσμός (παραμόρφωση που εκδηλώνεται όταν ασκούνται μηχανικές καταπονήσεις για παρατεταμένο χρόνο).

Για τον υπολογισμό των ελάχιστων αντοχών σε επίπεδο σχεδιασμού εφαρμόζεται ο Ευρωκώδικας 1 (ENV 1991 -1 Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές).

Δεν υπάρχει ιδιαίτερη απαίτηση για μηχανικές αντοχές στα θερμομονωτικά όταν αυτά τοποθετούνται προστατευμένα σε διάκενα όπου δεν αναμένεται να παραλάβουν κατασκευαστικά φορτία ή φορτία χρήσης, αρκεί να διατηρούν τη θέση τους επί μακρόν χωρίς διαστατική μεταβολή.

Σε γενικές γραμμές η εξηλασμένη πολυστερίνη είναι το υλικό που προσφέρει τις υψηλότερες μηχανικές αντοχές σε συμπίεση, κρούση, διάτρηση και παραλαβής φορτίων εφελκυσμού. Αυτός είναι ο λόγος που την συναντούμε σε πλήθος εφαρμογών με υψηλές μηχανικές απαιτήσεις, όπως στη θερμομόνωση πλάκας και περιμέτρου υπογείου, στη θερμομόνωση δωματίων, αλλά και στις βάσεις των συστημάτων εξωτερικής θερμομόνωσης των κτιριακών όψεων.

Πρόσθετες εφαρμογές έχει η εξηλασμένη πολυστερίνη στην τοποθέτηση κάτω από στρατιωτικούς αεροδιαδρόμους και χώρους στάθμευσης βαρέων οχημάτων, για την προστασία υπό συνθήκες παγοπληξίας, έναντι της δημιουργίας σπηλαιώσεων στο υπέδαφος που έχει ως συνέπεια την υποχώρηση των αεροδιαδρόμων και των δαπέδων στους χώρους στάθμευσης.

3.3 Θερμική άνεση και ποιότητα διαβίωσης

Η θερμομόνωση πέρα από το βασικό της ρόλο στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης έχει στόχο και τη δημιουργία ενιαίων συνθηκών θερμικής άνεσης εντός του κτιρίου, με την ελάχιστη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού.

Με τον όρο θερμική άνεση εκφράζεται το πόσο άνετα αισθάνεται ένα άτομο σε ένα χώρο. Η άνεση αυτή γίνεται αντιληπτή μέσω των ματιών, της μύτης και του δέρματος. Ως **θερμική άνεση** ορίζεται λοιπόν η κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμιά θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες συνθήκες.

Η θερμική άνεση καθορίζεται από τη θερμοκρασία του αέρα, το ποσοστό υγρασίας, την ταχύτητα του αέρα στο χώρο, τη διαφορά θερμοκρασίας με τα περιβάλλοντα δομικά και θερμαντικά στοιχεία (τοιχούς, παράθυρα, θερμάστρες) καθώς επίσης και τη θέση τους στο χώρο. Επιπλέον επηρεάζεται από το είδος των δραστηριοτήτων εντός του χώρου, το ρουχισμό των ατόμων, και βιολογικούς παραμέτρους όπως φύλο, ηλικία, συνήθειες και ψυχολογικές παραμέτρους.

Η θερμική άνεση δεν έχει να κάνει μόνο με τις χειμερινές συνθήκες αλλά για τις συνθήκες κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου. Η αντίληψη της καλής θερμικής άνεσης επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που απορρίπτεται από τον άνθρωπο είναι ίση με τη θερμότητα που παράγεται ώστε η θερμοκρασία του σώματος να παραμένει σταθερή στους 37 °C. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί αυτορρύθμισης της θερμοκρασίας του οργανισμού μας και σχετίζονται με τη θερμοκρασία του χώρου:

- Σε πολύ ζεστούς χώρους όπου η θερμοκρασία αυτών των χώρων μπορεί να είναι ακόμα και μεγαλύτερη των 37 °C, η απόρριψη θερμότητας από τον οργανισμό προς το περιβάλλον με μεταφορά, αγωγή και ακτινοβολία είναι μικρότερη από αυτή που χρειάζεται για να νιώθει άνετα ο οργανισμός. Τότε ενεργοποιείται ο μηχανισμός της εφίδρωσης, δηλαδή ο οργανισμός απορρίπτει θερμότητα μέσω των υδρατμών από τους πόρους του δέρματος, και η κυκλοφορία του αίματος αυξάνεται.
- Σε πολύ κρύους χώρους ο οργανισμός απορρίπτει περισσότερη θερμότητα από αυτή που χρειάζεται. Τότε για να μειώσει αυτή τη ροή θερμότητας προς το περιβάλλον, ο οργανισμός μειώνει την κυκλοφορία του αίματος για να μειώσει τη θερμότητα που χάνει και ενεργοποιεί το ρίγος για να αυξήσει την παραγωγή θερμότητας.

Η επιθυμητή θερμική άνεση σε ένα χώρο ρυθμίζεται με τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού που έχουν ως στόχο να επιτυγχάνεται η βέλτιστη θερμοκρασία και υγρασία στο χώρο. Απουσία όμως θερμομόνωσης, οι απώλειες θερμότητας μέσω των δομικών στοιχείων του κελύφους προς το περιβάλλον, έχουν ως αποτέλεσμα την απορρύθμιση της θερμικής άνεσης και τη δημιουργία περιοχών με διαφορετικές συνθήκες εντός του ίδιου χώρου (πχ χώρος κοντά σε ένα μη μονωμένο τοίχο σε σχέση με χώρο δίπλα από ένα θερμαντικό σώμα).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας δεύτερος παράγοντας που επιδρά στην ποιότητα διαβίωσης είναι η υγρασία που προκαλείται από την απουσία θερμομόνωση ή τις θερμογέφυρες, με την εμφάνιση του σημείου δρόσου στις εσωτερικές επιφάνειες των κτιρίων.

Η υγραποίηση των υδρατμών στις εσωτερικές επιφάνειες των τοίχων λειτουργεί ευνοϊκά για την ανάπτυξη επιβλαβών μυκήτων (μούχλας) για την υγεία των ανθρώπων. Το φαινόμενο είναι πιο έντονο σε χώρους με ψηλή υγρασία (μπάνια, κουζίνα) και χώρους όπου υπάρχει υπερκατοίκηση όπως οι στρατώνες.

Κατά συνέπεια, η θερμομόνωση παράλληλα με τον βασικό της στόχο σε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας, διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στην επίτευξη ποιοτικότερων συνθηκών διαβίωσης στις στρατιωτικές κτιριακές εγκαταστάσεις, που με τη σειρά τους επιδρούν θετικά στη διατήρηση της υψηλής φυσικής κατάστασης και του ηθικού του στρατεύματος.

3.4 Ανθεκτικότητα και κόστος συντήρησης

Όταν η τοποθέτηση των θερμομονωτικών υλικών σχεδιάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε αυτά να περικλείουν ομοιόμορφα το σύνολο του κελύφους χωρίς θερμογέφυρες, τότε βελτιώνεται συνολικά και η ανθεκτικότητα του κτιριακού περιβλήματος έναντι της καταπόνησης και γήρανσης που αναμένεται αυτό να δεχτεί, από τις έντονες περιβαλλοντικές επιδράσεις και ακραίες θερμοκρασιακές διακύμανσης του θερμοκρασιακού κύκλου Χειμώνας-Καλοκαίρι.

Επιπρόσθετα η απουσία θερμομόνωσης ή η ύπαρξη θερμογεφυρών ευνοούν την υποβάθμιση της ποιότητας της κατασκευής ως αποτέλεσμα της υγραποίησης που λαμβάνει χώρα εντός των δομικών στοιχείων. Το νερό μέσα στα δομικά στοιχεία επιδρά κυρίως με δύο μηχανισμούς.:

- Ο πρώτος μηχανισμός έχει να κάνει με την μείωση του υψηλού βαθμού αλκαλικότητας ($\text{pH}=12$) του σκυροδέματος γύρω από τον οπλισμό που λειτουργεί προστατευτικά έναντι της οξείδωσης. Το διοξείδιο του άνθρακα, CO_2 , της ατμόσφαιρας διαλύεται στο νερό και αντιδρά με την υδράσβεστο, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, του οπλισμένου σκυροδέματος για τη δημιουργία ανθρακικού ασβεστίου, CaCO_3 , και νερού, H_2O . Το φαινόμενο ονομάζεται ενανθράκωση του σκυροδέματος και έχει ως αποτέλεσμα να πέφτει το pH από 12 σε 8. Σε αυτό το χαμηλό pH πλέον ο μεταλλικός οπλισμός του σκυροδέματος είναι εκτεθειμένος στην γαλβανική οξείδωση και την μείωση της διατομής του, που με τη σειρά της έχει σοβαρές επιπτώσεις στην στατική επάρκεια της κατασκευής.
- Ο δεύτερος μηχανισμός σχετίζεται με την παγοπληξία, όπου η μετατροπή του νερού σε πάγο έχει ως αποτέλεσμα της αύξηση του όγκου του κατά 9%, που με τη σειρά του οδηγεί στη αποσάθρωση των πορωδών δομικών υλικών.

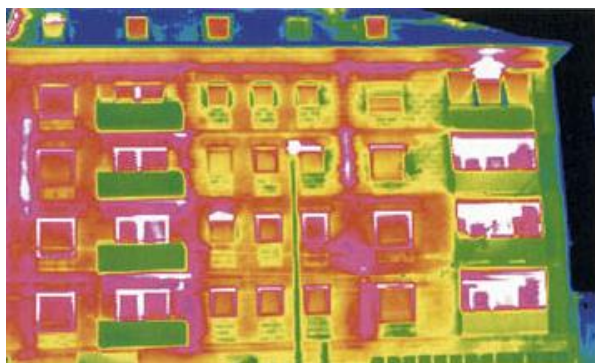
Συνεπώς, η αύξηση της ανθεκτικότητας που προσφέρει η θερμομόνωση των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων, συνεπάγεται την αύξηση της διάρκειας ζωής τους και την μείωση των αναγκών συντήρησής τους.

3.5 Περιορισμός ανίχνευσης και ασφάλεια

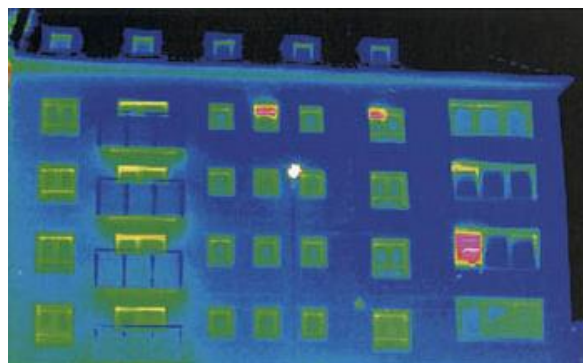
Ένα τελευταίο σημαντικό πλεονέκτημα που μπορεί να εξασφαλίσει η χωρίς θερμογέφυρες θερμομόνωση, είναι ο περιορισμός ανίχνευσης των στρατιωτικών κτιρίων από εχθρικά μέσα παρατήρησης και οπτικά συστήματα.

Η βαφή των στρατιωτικών εγκαταστάσεων με κοινά πλαστικά χρώματα παραλλαγής, στις αποχρώσεις του φυσικού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο βρίσκονται, είναι μια πρακτική που περιορίζει την ανίχνευση τους κατά την παρατήρηση με γυμνό οφθαλμό ή απλά οπτικά μέσα (κιάλια, διόπτρες κτλ.), ωστόσο δεν είναι σε θέση να περιορίσουν την ανίχνευση όταν αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση αισθητήρων ανίχνευσης της υπέρυθρης ακτινοβολίας που αποτελεί μέρος της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα σώματα.

Σήμερα η στρατιωτική τεχνολογία προσφέρει πλήθος συστημάτων παρατήρησης (κιάλια και διόπτρες, κτλ.) καθώς και πυραύλους που φέρουν αισθητήρες ανίχνευσης στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η χωρίς θερμογέφυρες θερμομόνωση των στρατιωτικών κτιρίων μειώνοντας την θερμική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα δομικά στοιχεία περιορίζει επί του πρακτέου και την δυνατότητα ανίχνευσης ή/και προσβολής τους από συστήματα που χρησιμοποιούν αισθητήρες υπέρυθρων. Στις Εικόνες 8 και 9 χρησιμοποιήθηκε κάμερα απεικόνισης υπέρυθρης ακτινοβολίας (θερμοκάμερα), όπου παρουσιάζει το βαθμό της εκπομπής πριν και μετά τη θερμομόνωση της όψης ενός κτιρίου.



Εικόνα 8: Κτίριο πριν τη θερμομόνωση



Εικόνα 9: Κτίριο μετά τη θερμομόνωση

Τα χρώματα που υπάρχουν στις υπέρυθρες λήψεις («θερμοφωτογραφίες») κυμαίνεται από πολύ υψηλές μέχρι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, με αντίστοιχη απεικόνιση από το πολύ ανοιχτό κίτρινο ως το βαθύ μπλε.

Η τοποθέτηση ισχυρής θερμομόνωσης στα αδιαφανή δομικά στοιχεία σε συνδυασμό και με την αντικατάσταση των απλών κουφωμάτων με ενεργειακά, όπως θα δούμε παρακάτω, είναι σε θέση να μειώσουν δραστικά το ποσοστό εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας και τη δυνατότητα ανίχνευσης και προσβολής των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων.

3.6 Θεμελιώδη μεγέθη θερμομόνωσης αδιαφανών δομικών στοιχείων

Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών δεν φτάνει μόνο η χρήση ενός θερμομονωτικού υλικού με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, αλλά σημαντικό ρόλο παίζει και το πάχος του υλικού, d . Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του θερμομονωτικού υλικού τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική αντίσταση. Ως **θερμική αντίσταση R (m^2K/W)** ορίζεται δυσκολία διάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό ενός υλικού συγκεκριμένου πάχους d (εκφρασμένο σε m) και δίνεται από τη Σχέση 3:

$$R = d/\lambda_D \quad \text{Σχέση (3)}$$

Όσον αφορά το σύνολο ενός δομικού στοιχείου π.χ. ενός τοίχου τότε μιλάμε για την συνολική θερμική αντίσταση. Η **συνολική θερμική αντίσταση** είναι το άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων των επιμέρους υλικών π.χ. των τούβλων, του θερμομονωτικού υλικού και των επιχρισμάτων.

Για τον υπολογισμό του κατάλληλου πάχους μόνωσης ώστε να εξασφαλιστεί η θερμομονωτική επάρκεια του κτηρίου εφαρμόζεται η μεθοδολογία με βάση τον ΚΕΝΑΚ. Βασικό μέγεθος που ενδιαφέρει στους υπολογισμούς είναι ο **συντελεστής θερμοπερατότητας** των αδιαφανών δομικών στοιχείων που ορίζεται ως το αντίστροφο της συνολικής θερμικής αντίστασης που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο και προκύπτει από τη Σχέση 4:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_a} \quad \text{Σχέση (4)}$$

Όπου,

- U: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, [$W/(m^2K)$]
- n: το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου, [αδιάστατο μέγεθος]
- d: το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου, [m]
- λ : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης που δηλώνει ο παραγωγός του υλικού, [$W/(mK)$], για υλικά που δεν υπάρχουν τιμές οι τιμές λαμβάνονται από πίνακα.
- R_i : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο, [m^2K/W] δίνεται από πίνακα.
- R_δ : η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος, [m^2K/W], δίνεται από πίνακα
- R_a : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον, [m^2K/W], δίνεται από πίνακα.

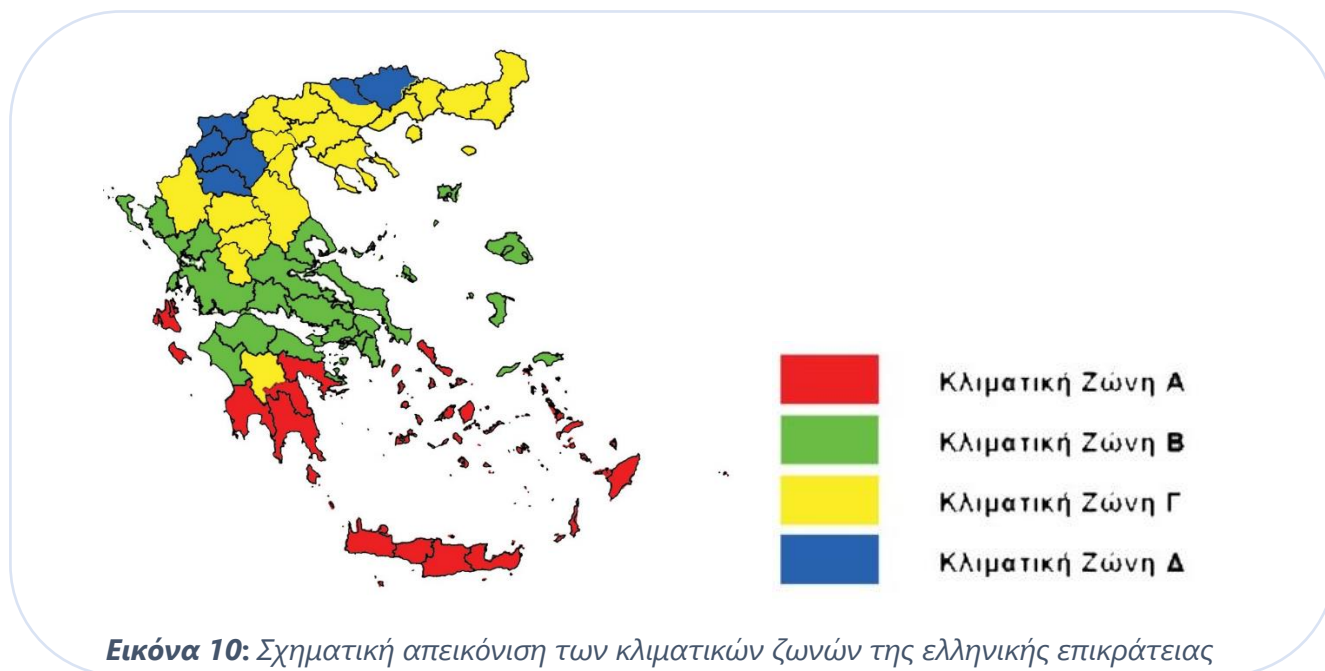
Το πάχος λοιπόν της μόνωσης επιλέγεται έτσι ώστε οι τιμές ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας που προκύπτουν για το σύνολο των δομικών στοιχείων να είναι μικρότερες ή ίσες από τις προβλεπόμενες ανώτερες επιτρεπτές τιμές που ορίζει ο ΚΕνΑΚ. Για τα υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια τα όρια που θεσπίζονται συνδέονται με τη θέση του δομικού στοιχείου και την κλιματική ζώνη του κτιρίου όπως φαίνεται στον Πίνακα 3 και την Εικόνα 10, αντίστοιχα:

Πίνακας 3: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου⁹.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πλοστή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70

Σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η ελληνική επικράτεια χωρίζεται σε 4 κλιματικές ζώνες. Επιπλέον, σε κάθε νομό οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 500m, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν με εξαίρεση τις περιοχές των νομών της ζώνης Δ, καθώς αυτή αποτελεί την ψυχρότερη ζώνη βάσει κανονισμού.

⁹ ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, **Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης**, ΦΕΚ Β' 4003/17.11.2017, σελ.54



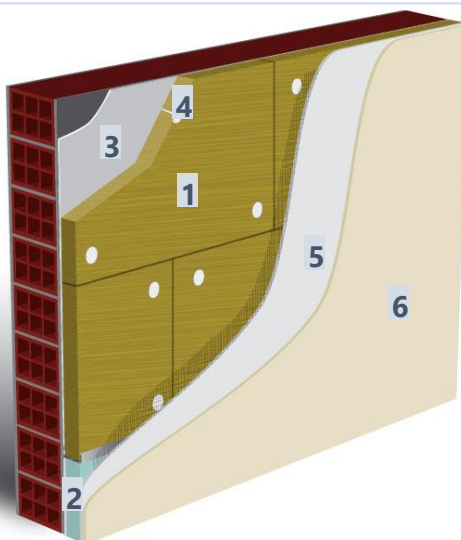
3.7 Τεχνολογίες θερμομόνωσης

Η εξέλιξη στο γνωστικό αντικείμενο του ενεργειακού σχεδιασμού και η παράλληλη εξέλιξη των δομικών υλικών επιτρέπουν στον σημερινό μελετητή να υλοποιήσει προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης με μεγάλους βαθμούς ελευθερίας. Κατά συνέπεια, για κάθε δομικό στοιχείο, ένας μελετητής θα μπορούσε να επιλέξει ανάμεσα σε δεκάδες διαφορετικές τεχνικές λύσεις θερμομόνωσης, ανάλογα με το είδος του κτιρίου και τις απαιτήσεις για ένα σύνολο λειτουργικών χαρακτηριστικών που η χρήση του επιτάσσει. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα μελέτη δεν επεκτεινόμαστε σε γενικότερες εφαρμογές θερμομόνωσης κτιρίων αλλά εστιάζουμε μόνο στις βέλτιστες λύσεις ανά δομικό στοιχείο που επιβάλουν οι ανάγκες των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων. Οι προτεινόμενες τεχνολογίες θερμομόνωσης που παρουσιάζονται καλύπτουν πλήρως το νομικό πλαίσιο των κατασκευών σε επίπεδο ενεργειακής αναβάθμισης, δόμησης και ορθών πρακτικών.

3.7.1 Σύνθετα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης σε τοίχους, βεράντες, πιλοτές

Ο όρος **Σύνθετο Σύστημα Εξωτερικής Θερμομόνωσης**, στη συνέχεια θα αναφέρεται ως **ΣΣΕΘ**, αποτελεί τη μετάφραση της φράσης External Thermal Insulation Composite System (ETICS) που χρησιμοποιείται στην Ευρωπαϊκή Ένωση για να περιγράψει την εξωτερική θερμομόνωση του κτιριακού περιβλήματος με τη χρήση θερμομονωτικών πλακών και επιχρισμάτων λεπτής στρώσης (Εικόνα 11):

- 1: Πετροβάμβακας
- 2: Εξηλασμένη πολυστερίνη
- 3: Κόλλα
- 4: Βύσμα
- 5: Βασική στρώση με υαλόπλεγμα
- 6: Τελικό επίχρισμα



Εικόνα 11: Απεικόνιση σύνθετου συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης με πετροβάμβακα

Οι θερμομονωτικές πλάκες τοποθετούνται επί των υποστρωμάτων με κόλληση και μηχανική στερέωση με βύσματα, επενδύονται με μια βασική στρώση λεπτού πάχους κονιάματος ενισχυμένη με υαλόπλεγμα και φέρει ως τελικό επίχρισμα μια στρώση έγχρωμου οργανικού σοβά σε μορφή πάστας¹⁰.

Τα ΣΣΕΘ οφείλουν να έχουν πιστοποίηση σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία ETAG 004 και να τοποθετούνται σύμφωνα με το Ελληνικό Τεχνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-02-04. Αποτελούν μία ολοκληρωμένη λύση για την επίτευξη ορθολογικής ενεργειακής συμπεριφοράς, σε νέα και υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια. Βρίσκουν εφαρμογή σε κατακόρυφα δομικά στοιχεία (τοιχούς, μετόπες) και προστατευμένες οριζόντιες επιφάνειες (πυλωτές, κάτω τμήμα εξωστών και βεραντών).

Για τα στρατιωτικά κτίρια είναι επιβεβλημένη η χρήση ειδικών σκληρών πλακών πετροβάμβακα παρέχοντας παράλληλα με την θερμομόνωση και την απαιτούμενη πυροπροστασία. Περιορισμένη χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης ενδείκνυται μόνο στη βάση του κτιρίου σε επαφή με το έδαφος που προσφέρει υψηλότερες μηχανικές αντοχές σε κρούση και διάτρηση και προστασία σε περίπτωση πλημμυρικών φαινομένων στον αύλιο χώρο. Το ΣΣΕΘ του πετροβάμβακα πρέπει να φέρουν πιστοποίηση κατηγορίας ακαυστότητας κατ' ελάχιστο A2-s1-d0 και της εξηλασμένης πολυστερίνης στη βάση των κτηρίων B2-s1-d0 σύμφωνα με το EN 13501-1.

Η ενεργειακή αναβάθμιση με χρήση αφρωδών μονωτικών και λεπτά επιχρίσματα οδηγεί σε υποβάθμιση της ασφάλειας του κτιρίου σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων περιστατικών με πολυάριθμα θύματα από την εσφαλμένη χρήση αφρωδών μονωτικών στις όψεις των κτιρίων είναι το κτήριο κατοικιών Γκρένφελ του Λονδίνου το 2017, το κτήριο

¹⁰ FIBRAN. (2012). **Σύνθετα Συστήματα Εξωτερικής Θερμομόνωσης**, Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/fYSrBN>, [10 Απριλίου 2018]

κατοικιών με διογκωμένη πολυστερίνη στη Γαλλία το 2012 και το αεροδρόμιο του Ντίσελντορφ το 1996 επίσης με διογκωμένη πολυστερίνη, όπως φαίνεται στις Εικόνες 12, 13 και 14 αντίστοιχα:



Εικόνα 12: Λονδίνο 2017



Εικόνα 13: Γαλλία 2012



Εικόνα 14: Γερμανία 1996

Τα θύματα σε αυτές τις περιπτώσεις προέρχονται από την έκλυση δηλητηριωδών ή/και τοξικών αερίων καύσης της καίόμενης επένδυσης, σε συνδυασμό με την κατάρρευση των συστημάτων που έχει ως αποτέλεσμα το φράξιμο των εξόδων διαφυγής και την ανατροφοδότηση της φωτιάς. Με την εφαρμογή π.χ. 10 cm ενός πλαστικού θερμομονωτικού πυκνότητας που δεν ξεπερνάει τα 20 Kg/m^3 και προστατεύεται μόνο από ένα λεπτό επίχρισμα της τάξης των 3 mm, είναι σαν να «αλείφουμε» τους τοίχους του κτιρίου με 2 Kg/m^2 από ένα προϊόν παράγωγο του πετρελαίου και είναι πολύ χειρότερο σε επίπεδο πυροπροστασίας από το να αφήναμε το κτίριο χωρίς θερμομόνωση, απλά επιχρισμένο με ένα ασβεστοκονίαμα και βαμμένο.

Περαιτέρω, σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς στα φέροντα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Ήδη από τους 270° C , θερμοκρασία που αναπτύσσεται πολύ γρήγορα σε συνθήκες πυρκαγιάς, αρχίζει να χάνεται η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμού, μειώνεται δε στο μισό σε θερμοκρασίες άνω των 400° C ¹¹. Αποτέλεσμα είναι να προκαλείται σοβαρή υποβάθμιση στο φέροντα οργανισμό που οδηγεί είτε σε κατεδάφιση του κτηρίου ή στην καλύτερη περίπτωση σε αποκατάσταση με υψηλού κόστους ειδικές επεμβάσεις π.χ. με εποξειδικές ρητίνες και ανθρακονήματα.

Σε αντίθεση με τα αφρώδη θερμομονωτικά, σημαντικά είναι τα οφέλη από τη χρήση πετροβάμβακα στα ΣΕΕΘ και ως προς την ηχομόνωση. Η τοποθέτηση πετροβάμβακα σε μια τοιχοποιία μπορεί να περιορίσει τον εισερχόμενο θόρυβο κατά 12-15 dB¹².

Με συντελεστή $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$ του πετροβάμβακα, το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος θερμομόνωσης που υπολογίζεται σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ, για τα υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια,

¹¹ Σόντης Α., 2009, «Θερμικές παραμορφώσεις» στο **Συμπεριφορά οπλισμένου σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς**, ΤΕΙ Πειραιά, Αθήνα, σελ. 42

¹² FIBRAN. (2017). **Θερμομόνωση - Πυροπροστασία - Ηχομόνωση σε ένα σύστημα εξωτερικής τοιχοποιίας**, Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/Tbfsd6>, [10 Απριλίου 2018]

είναι 5 cm, 6 cm, 7 cm και 8 cm για τις κλιματικές ζώνες Α, Β, Γ, και Δ αντίστοιχα. Τα παραπάνω πάχη αυξάνονται κατά 1 cm για υψόμετρα άνω των 500 m πλην της ζώνης Δ.

Ενδεικτικά μια επέμβαση με πάχος πετροβάμβακα 7 cm, σε στρατιωτικό κτίριο στη Λάρισα, υπολογίζεται ότι μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά **82 %** από τις συγκεκριμένες επιφάνειες που μονώθηκαν.

Για τον υπολογισμό έγιναν οι παρακάτω παραδοχές βάσει ΚΕΝΑΚ¹³:

- Θερμοπερατότητα μη μονωμένης οπτοπλινθοδομής: 2,20 W/m²K.
- Θερμοπερατότητα μη μονωμένου τοιχίου σκυροδέματος: 3,40 W/m²K.
- Ποσοστό μη μονωμένης οπτοπλινθοδομής επί του συνόλου των κατακόρυφων δομικών στοιχείων: 85%.
- Ποσοστό μη μονωμένου τοιχίου σκυροδέματος επί του συνόλου των κατακόρυφων δομικών στοιχείων: 15%.

Συνεπώς:

- Μέση αρχική θερμοπερατότητα μη μονωμένου τοίχου: $(0,85 \times 2,20 + 0,15 \times 3,40) = \mathbf{2,38 \text{ W/m}^2\text{K}}$.
- Μέση θερμική αντίσταση μη μονωμένου τοίχου: $(1/2,38) = \mathbf{0,40 \text{ m}^2\text{K/W}}$.
- Θερμική αντίσταση που προστίθεται με πετροβάμβακα πάχους d=7 cm με $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$: $(0,07/0,035) = \mathbf{2,00 \text{ m}^2\text{K/W}}$.
- Συνολική μέση θερμική αντίσταση τοίχου μετά την μόνωση: $(0,40 + 2,00) = \mathbf{2,40 \text{ m}^2\text{K/W}}$.
- Συνολική μέση θερμοπερατότητα τοίχου μετά την μόνωση: $(1/2,40) = \mathbf{0,41 \text{ m}^2\text{K/W}}$, δηλαδή **82% μικρότερη της αρχικής**.

Συνολικά η επέμβαση με ΣΣΕΘ πετροβάμβακα στις στρατιωτικές κτιριακές εγκαταστάσεις προσφέρει:

- Μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη.
- Ταυτόχρονη βελτίωση ηχομόνωσης και πυροπροστασίας.
- Αύξηση της θερμοχωρητικότητας του τοίχου το Χειμώνα.
- Μείωση της ταχύτητας θέρμανσης της τοιχοποιίας το Καλοκαίρι.
- Ελαχιστοποίηση θερμογεφυρών και αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών.
- Μέγιστη προστασία όψεων από κλιματικές καταπονήσεις.
- Ευελιξία στην τελική διαμόρφωση της όψης σε υφή και χρωματισμό.
- Περιορισμένη παρατηρησιμότητα στο φάσμα του υπερύθρου φωτός.
- Ομαλή λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή.
- Κέρδος πολύτιμου εσωτερικού χώρου.

Λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων και κυρίως λόγω της πυροπροστασίας, ΣΣΕΘ πετροβάμβακα επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε στην ενεργειακή αναβάθμιση του 216 Κινητού Χειρουργικού Νοσοκομείου Εκστρατείας (ΚΙΧΝΕ) στην Αλεξανδρούπολη¹⁴.

¹³ ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, **Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης**, ΦΕΚ Β' 4003/17.11.2017, Σελ. 58.

¹⁴ Τεύχος Διακηρύξεων Δημοσίων Συμβάσεων, **ΦΕΚ Δ.Δ.Σ. 288/2016**

3.7.2 Θερμομόνωση βατού αντεστραμμένου δώματος - Διπλό Βέλτιστο

Οι επίπεδες οροφές των κτιρίων (**δώματα**) είναι τα πλέον εκτεθειμένα δομικά στοιχεία στις περιβαλλοντικές επιδράσεις. Για το λόγο αυτό, είναι εξαιρετικά σημαντικό στον ενεργειακό σχεδιασμό ενός κτηρίου η βέλτιστη θερμική μόνωσή τους. Οι επεμβάσεις θερμομόνωσης και στεγανοποίησης δωματίων των στρατιωτικών εγκαταστάσεων οφείλουν να πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα Ελληνικά Τεχνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-02-01, ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-01-01 και ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-01-02.

Ο σχεδιασμός της θερμομόνωσης στις επίπεδες οροφές των στρατιωτικών κτιρίων πρέπει να πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση τους. Στις περίπτωση που απαιτείται η χρήση του δώματος π.χ. για τοποθέτηση σκοπιάς, για εγκατάσταση συστημάτων επικοινωνίας που χρήζουν τακτικού ελέγχου, για δημιουργία ελικοδρομίου κ.α. τότε σχεδιάζεται ως επισκέψιμο και βατό δώμα. Στο πλαίσιο αυτού του σχεδιασμού είναι επιβεβλημένη η χρήση πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης που παρουσιάζουν υψηλές μηχανικές αντοχές. Για απλή βατότητα και συνήθη φορτία χρησιμοποιούνται πλάκες με μηχανική αντοχή σε συμπίεση στα 300 KPa (περίπου 30 ton/m²) ενώ για ελικοδρόμια στα 700 KPa (περίπου 70 ton/m²).

Η χρήση στα δώματα της εξηλασμένης πολυστερίνης, ενός πρακτικά αδιάβροχου θερμομονωτικού υλικού, μας δίνει επιπλέον την δυνατότητα της εφαρμογής της θερμομόνωσης με τη μέθοδο του **αντεστραμμένου δώματος**. Αντεστραμμένο χαρακτηρίζεται ένα δώμα όταν η τοποθέτηση της θερμομόνωσης πραγματοποιείται πάνω από τη στρώση στεγανοποίησης. Βασικό πλεονέκτημα ενός αντεστραμμένου δώματος είναι ότι η στεγανοποιητική στρώση (π.χ. ασφαλική ή συνθετική μεμβράνη) βρίσκεται προστατευμένη από τις καιρικές επιδράσεις και μηχανικά φορτία κάτω από την εξηλασμένη πολυστερίνη και παρατείνεται έτσι σημαντικά η διάρκεια ζωής της.

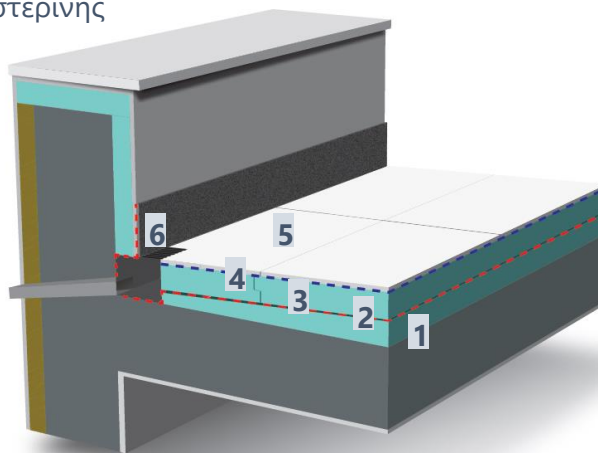
Βασική προϋπόθεση για την καλή λειτουργία του αντεστραμμένου δώματος είναι η ύπαρξη ικανοποιητικής κλίσης 2% για την γρήγορη απορροή προς τις υδρορροές των ομβρίων υδάτων που περνούν κάτω από τις πλάκες της εξηλασμένης πολυστερίνης όταν βρέχει. Συνήθης πρακτική για τη διαμόρφωση της κλίσης είναι η διάστρωση τσιμεντοκονιαμάτων υπό κλίση, που ωστόσο έχουν ως αρνητική επίδραση την προσθήκη βάρους στον φέροντα οργανισμό. Με δεδομένο ότι η πλειοψηφία των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων είναι παλαιές, η προσθήκη βάρους συχνά είναι απαγορευτική. Η τεχνολογία που προτείνεται για την υπερκέραση του συγκεκριμένου κολλήματος είναι η εφαρμογή μιας μοντέρνας παραλλαγής του αντεστραμμένου δώματος που ονομάζεται **Duo Optimo (Διπλό Βέλτιστο)**¹⁵. Βασικό συστατικό της κατασκευής στο Διπλό Βέλτιστο αποτελεί η χρήση ειδικά διαμορφωμένων υπό κλίση πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης¹⁶ προς αντικατάσταση του τσιμεντοκονιάματος κλίσεων. Το όφελος συγκριτικά με τα τσιμεντοκονιάματα είναι πολλαπλό καθώς η στρώση κλίσης με εξηλασμένη πολυστερίνη δεν προσθέτει αξιόλογο βάρος ($\geq 3\text{Kg/m}^2$ για μέσο πάχος 10 cm), αυξάνει τη θερμική αντίσταση και

¹⁵ FIBRAN. (2015). **Αντεστραμμένο Δώμα**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/LFPyKF>, [10 Απριλίου 2018]

¹⁶ FIBRAN. (2017). **Κεκλιμένες Θερμομονωτικές Πλάκες**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/Y5CpbJ>, [10 Απριλίου 2018]

δεν υπάρχουν τα ποιοτικά προβλήματα στο τελικό αποτέλεσμα της κλίσης εξαιτίας τεχνικών λαθών στην επί τόπου παρασκευή των τσιμεντοκονιαμάτων κλίσης. Τομή του Διπλού Βέλτιστου αντεστραμμένου δώματος φαίνεται στην Εικόνα 15.

- 1: Κεκλιμένες πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης
- 2: Διπλή ασφαλτική μεμβράνη
- 3: Εξηλασμένη πολυστερίνη
- 4: Γεωύφασμα
- 5: Πλάκες πεζοδρομίου
- 6: Υδρορορή



Εικόνα 15: Τομή αντεστραμμένου δώματος – Διπλό Βέλτιστο

Η αλληλουχία κατασκευής περιλαμβάνει:

- ελεύθερη τοποθέτηση των κεκλιμένων πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης επί του δώματος,
- στεγανοποίηση της επιφάνειας των κεκλιμένων πλακών με διπλή ασφαλτική μεμβράνη με εξαερισμό (η πρώτη πρέπει να είναι αυτοκόλλητη και η δεύτερη τοποθετείται με φλόγιστρο),
- ελεύθερη τοποθέτηση κλασσικών επίπεδων πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης επί της στεγανοποίησης,
- ελεύθερη τοποθέτηση γεωυφάσματος στραγγιστηρίου και πλακών πεζοδρομίου.

Με συντελεστή $\lambda=0,033 \text{ W/mK}$ της εξηλασμένης πολυστερίνης, το ελάχιστο απαιτούμενο μέσο πάχος θερμομόνωσης δώματος που υπολογίζεται σύμφωνα με τον ΚΕνΑΚ για τα υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια, είναι 6 cm, 7 cm, 8 cm και 9 cm για τις κλιματικές ζώνες Α, Β, Γ, και Δ αντίστοιχα. Τα παραπάνω πάχη αυξάνονται κατά 1 cm για υψόμετρα άνω των 500 m πλην της ζώνης Δ. Ενδεικτικά μια επέμβαση με μέσο πάχος 8 cm, σε στρατιωτικό κτίριο στον Έβρο, υπολογίζεται ότι μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά **88 %** από τις συγκεκριμένες επιφάνειες που μονώθηκαν.

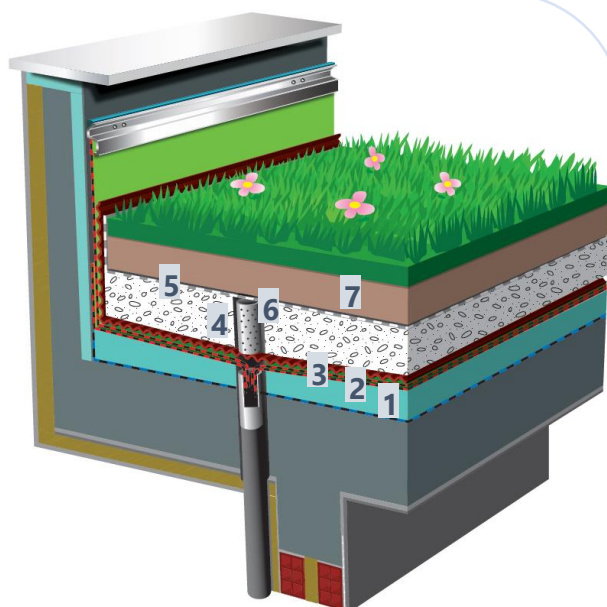
3.7.3 Θερμομόνωση φυτεμένου δώματος

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει η αναγκαιότητα χρήσης του δώματος τότε έμφαση μπορεί να δοθεί στο σχεδιασμό ενός δώματος με καλύτερα χαρακτηριστικά κάλυψης και απόκρυψης του κτιρίου. Μια τέτοια λύση είναι η κατασκευή του **φυτεμένου δώματος**. Προφανώς σε με οροφή μπορούν να υπάρχουν συνδυασμοί και των δύο: βατού και φυτεμένου δώματος. Οι επεμβάσεις

Θερμομόνωσης και στεγανοποίησης φυτεμένου δώματος πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα προαναφερθέντα Ελληνικά Τεχνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ ΤΠ και συμπληρώνονται με τις Κατευθυντήριες Οδηγίες του Γεωτεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος¹⁷.

Πριν την εφαρμογή πρέπει να επιβεβαιωθεί η δυνατότητα παραλαβής των πρόσθετων φορτίων από το δώμα. Για την όσο το δυνατόν μικρότερη επιβάρυνση σε φορτία είναι δόκιμη η επιλογή της δημιουργίας των κλίσεων απορροής των υδάτων και ταυτόχρονης θερμομόνωσης με τη χρήση ειδικά διαμορφωμένων υπό κλίση πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης. Επίσης για τον ίδιο λόγο η φύτευση προτείνεται να είναι **εκτατικού τύπου**, δηλαδή με χαμηλό πάχος χώματος φύτευσης 6 - 20 cm, για φυτά εδαφοκάλυψης και ποώδη της ελληνικής υπαίθρου, που έχουν ελάχιστες ή μικρές απαιτήσεις σε νερό, είναι ανθεκτικά στον άνεμο στο ψύχος, έχουν πολύ μικρό βάρος και χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση. Τομή φυτεμένου δώματος φαίνεται στην Εικόνα 16.

- 1: Κεκλιμένες πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης
- 2: Διπλή ασφαλτική μεμβράνη
- 3: Αποστραγγιστική μεμβράνη
- 4: Κροκάλες
- 5: Γεώφασμα
- 6: Διάτρητος σωλήνας αποστράγγισης
- 7: Χώμα φύτευσης



Εικόνα 16: Τομή φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου

Η αλληλουχία κατασκευής περιλαμβάνει:

- ελεύθερη τοποθέτηση των κεκλιμένων πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης επί του δώματος,
- στεγανοποίηση της επιφάνειας των κεκλιμένων πλακών με διπλή ασφαλτική μεμβράνη με εξαερισμό (η πρώτη πρέπει να είναι αυτοκόλλητη και η δεύτερη με ειδική αντιριζική σύνθεση τοποθετείται με φλόγιστρο),
- ελεύθερη τοποθέτηση αποαστραγγιστικής μεμβράνης από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας με κωνικές προεξοχές 8 mm,

¹⁷ Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011, **Κατευθυντήριες Οδηγίες Φυτοτεχνικής Μελέτης Κατασκευής και Συντήρησης Φυτεμένων Δωμάτων/Στεγών**, ΓΕΩΤΕΕ, Θεσσαλονίκη.

- διάστρωση μικρού πάχους κροκάλας για τη δημιουργία ζώνης αποστράγγισης σύμφωνα με την φυτοτεχνική μελέτη γεωπόνου,
- ελεύθερη τοποθέτηση γεωφάσματος στραγγιστηρίου και τέλος
- τοποθέτηση του χώματος φύτευσης.

Με συντελεστή $\lambda=0,033 \text{ W/mK}$ της εξηλασμένης πολυστερίνης, το ελάχιστο απαιτούμενο μέσο πάχος θερμομόνωσης δώματος που υπολογίζεται σύμφωνα με τον ΚΕνΑΚ για τα υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια, είναι 6 cm, 7 cm, 8 cm και 9 cm για τις κλιματικές ζώνες Α, Β, Γ, και Δ αντίστοιχα. Τα παραπάνω πάχη αυξάνονται κατά 1 cm για υψόμετρα άνω των 500 m πλην της ζώνης Δ. Ενδεικτικά μια επέμβαση με μέσο πάχος 8 cm, σε στρατιωτικό κτίριο στον Έβρο, υπολογίζεται ότι μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά **88 %** από τις συγκεκριμένες επιφάνειες που μονώθηκαν.

3.7.4 Θερμομόνωση κεραμοσκεπών

Οι κεκλιμένες ξύλινες κεραμοσκεπές είναι συνήθη δομικά στοιχεία πολλών στρατιωτικών κτιρίων. Η μεγάλη κλίση των σκεπών σε συνδυασμό με την τοποθέτηση κεραμιδιών είναι ιδιαίτερα προτιμητέα λύση σε περιοχές της Β. Ελλάδος λόγω της μεγαλύτερης βροχόπτωσης. Η θερμομόνωση των σκεπών μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους αναλόγως της χρήσης του χώρου κάτω από την κεραμοσκεπή:

1. Με την τοποθέτηση πλακών πετροβάμβακα εντός της κεραμοσκεπής όταν αυτή είναι κατοικήσιμη, Εικόνα 17,
2. Με απλή εναπόθεση πλακών πετροβάμβακα στην πλάκα της οροφής κάτω από την κεραμοσκεπή όταν αυτή δεν είναι κατοικήσιμη, Εικόνα 18.

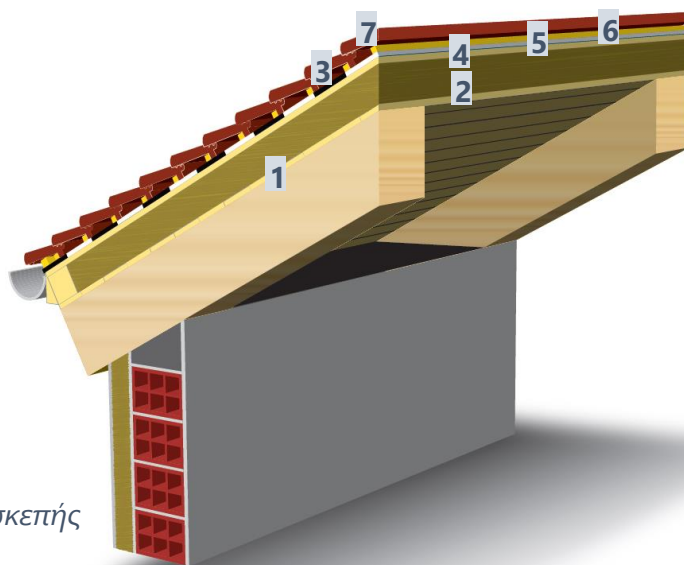
Οι επεμβάσεις θερμομόνωσης και στεγανοποίησης στεγών των στρατιωτικών εγκαταστάσεων οφείλουν να πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα Ελληνικά Τεχνικά Πρότυπα, ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-01-01, ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-01-02 και ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-02-03. Η επιλογή πλακών πετροβάμβακα είναι αποτέλεσμα των απαιτήσεων πυροπροστασίας που χρήζουν οι ξύλινες κατασκευές αλλά και ηχομόνωσης από εξωτερικούς θορύβους. Οι πλάκες πετροβάμβακα μπορούν στην μια πλευρά να φέρουν αλουμινόχαρτο που έχει το ρόλο του φράγματος υδρατμών.

Η τοποθέτηση θερμομόνωσης στην κατοικήσιμη κεραμοσκεπή περιλαμβάνει:

- αφαίρεση κεραμιδιών,
- δημιουργία πετσώματος με ξύλινες τάβλες επί των δοκών,
- τοποθέτηση των πλακών πετροβάμβακα με το αλουμινόχαρτο επί του πετσώματος,
- τοποθέτηση τεγίδων παράλληλα των δοκών με διπλόπαση βίδα που διαπερνά των πετροβάμβακα και μεταφέρει τα φορτία των κεραμιδιών στο πέτσωμα χωρίς να φέρουν φορτίο οι πλάκες πετροβάμβακα,
- τοποθέτηση της μεμβράνης κεραμοσκεπών επί των τεγίδων με κατάληξη στο λούκι,
- τοποθέτηση των επιτεγίδων κάθετα στις τεγίδες, και

- δέσιμο εκ νέου των κεραμιδιών.

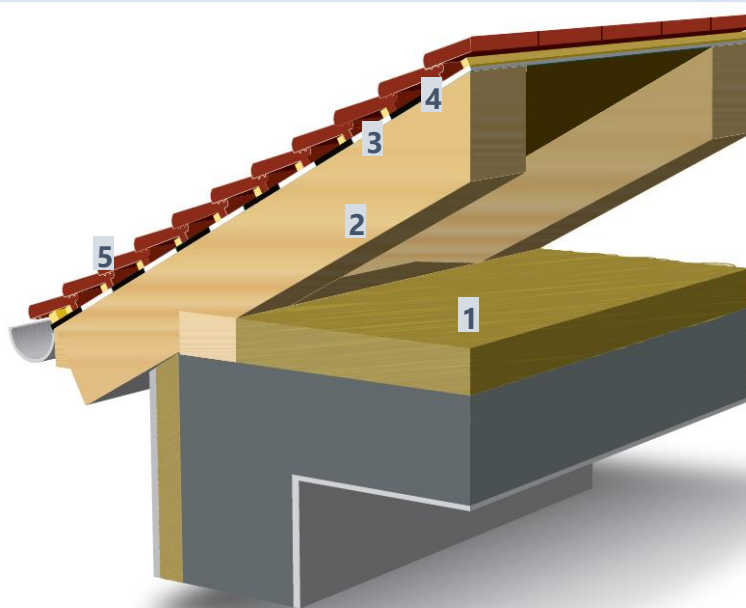
- 1: Δοκοί
- 2: Πέτσωμα
- 3: Πετροβάμβακας
- 4: Τεγίδες
- 5: Μembrάνη κεραμοσκεπών
- 6: Επιτεγίδες
- 7: Κεραμίδια



Εικόνα 17: Τομή κατοικήσιμης κεραμοσκεπής

Στη μη κατοικήσιμη κεραμοσκεπή η θερμομόνωση πραγματοποιείται πολύ εύκολα με την ελεύθερη τοποθέτηση των πλακών πετροβάμβακα επί της πλάκας τους δώματος.

- 1: Πλάκες πετροβάμβακα
- 2: Δοκοί
- 3: Μembrάνη κεραμοσκεπών
- 4: Τεγίδες
- 5: Κεραμίδια

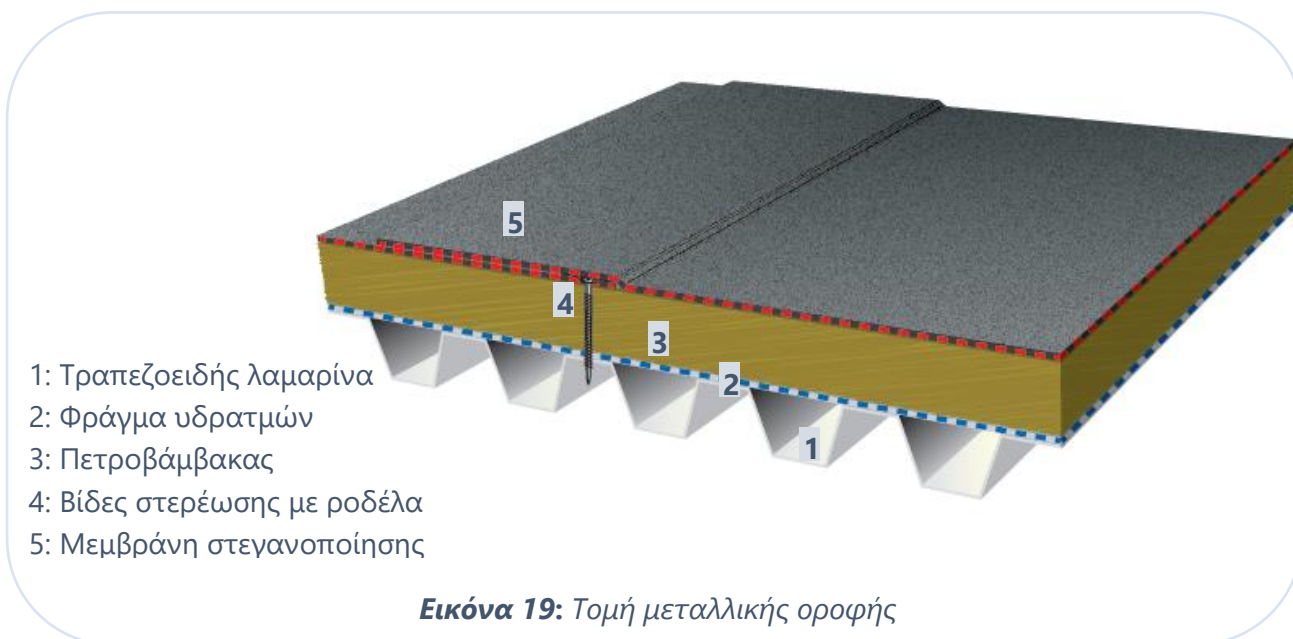


Εικόνα 18: Τομή μη κατοικήσιμης κεραμοσκεπής

Με συντελεστή $\lambda=0,033 \text{ W/mK}$ του πετροβάμβακα, το ελάχιστο απαιτούμενο μέσο πάχος θερμομόνωσης σκεπής που υπολογίζεται σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ για τα υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια, είναι 6 cm, 7 cm, 8 cm και 9 cm για τις κλιματικές ζώνες Α, Β, Γ, και Δ αντίστοιχα. Τα παραπάνω πάχη αυξάνονται κατά 1 cm για υψόμετρα άνω των 500 m πλην της ζώνης Δ. Ενδεικτικά μια επέμβαση με μέσο πάχος 8 cm, σε στρατιωτικό κτίριο στον Έβρο, υπολογίζεται ότι μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά **88 %** από τις συγκεκριμένες επιφάνειες που μονώθηκαν.

3.7.5 Θερμομόνωση μεταλλικής οροφής

Μεταλλικές οροφές αποτελούμενες από φύλλα τραπεζοειδούς λαμαρίνας συναντούμε συνήθως σε εγκαταστάσεις συντήρησης οχημάτων και πτητικών μέσων. Η θερμομόνωση των μεταλλικών οροφών για λόγους πυροπροστασίας και ηχομόνωσης πραγματοποιούνται επίσης με πλάκες πετροβάμβακα με μηχανικές αντοχές σε συμπίεση τουλάχιστον 50 KPa σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Ελληνικών Τεχνικών Προτύπων ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-02-01, ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-01-01 και ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-01-02. Τομή μεταλλικής οροφής φαίνεται στην Εικόνα 19.



Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει

- τοποθέτηση φράγματος υδρατμών, συνήθως νάιλον,
- τοποθέτηση πλάκων πετροβάμβακα με μηχανική στερέωση στη λαμαρίνα με τη χρήση αυτοδιάτρητων βιδών και ροδελών.
- τοποθέτηση θερμοπλαστικών μεμβρανών τύπου PVC (Πολυβινυλοχλωριδίου) , επί του πετροβάμβακα με μηχανική στερέωση με αυτοδιάτρητες βίδες και ροδέλες που διαπερνούν τον πετροβάμβακα και βιδώνουν στη λαμαρίνα.
- Όλες οι διατρήσεις επικαλύπτονται από την θερμοπλαστική μεμβράνη και οι συγκολλήσεις μεταξύ των μεμβρανών γίνονται με θέρμανση (βουλκανισμό) με ειδικές συσκευές εκτόξευσης θερμού αέρα.

Στην επιλογή του τύπου του πετροβάμβακα υπάρχουν και δύο ακόμα δυνατότητες:

- Αν δεν υπάρχουν ικανοποιητικές κλίσεις στην οροφή (2%), αυτές μπορούν να δημιουργηθούν με πλάκες πετροβάμβακα ειδικά διαμορφωμένες υπό κλίση.
- Εφόσον είναι επιθυμητή η χρήση ασφαλτικών μεμβρανών σε αντικατάσταση των θερμοπλαστικών, τότε ως θερμομονωτικό μπορεί να χρησιμοποιηθούν ειδικές πλάκες

πετροβάμβακα με επίστρωση ασφαλτικού υλικού. Η τοποθέτηση των ασφαλτικών μεμβρανών πραγματοποιείται επίσης με μηχανική στερέωση επικόλληση με φλόγιστρο στην ασφαλτική επίστρωση του πετροβάμβακα.

Ο αριθμός των μηχανικών στερεώσεων ανά m^2 επιφάνειας είναι αποτέλεσμα της μελέτης υφαρπαγής από τον άνεμο με βάση τη γεωμετρία του κτιρίου, την περιοχή στην οποία αυτό βρίσκεται και την ποιότητα της λαμαρίνας, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 (ENV 1991 -1 Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές).

Η απαίτηση για χρήση σκληρού πετροβάμβακα με μηχανική αντοχή σε συμπίεση 50 KPa οδηγεί σε προϊόν πετροβάμβακα με αυξημένο συντελεστή $\lambda=0,038$ W/mK. Το ελάχιστο απαιτούμενο μέσο πάχος θερμομόνωσης δώματος, που υπολογίζεται για αυτό το λ , σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ για τα υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια, είναι 7 cm, 8 cm, 8 cm και 10 cm για τις κλιματικές ζώνες Α, Β, Γ, και Δ αντίστοιχα. Τα παραπάνω πάχη αυξάνονται κατά 1 cm για υψόμετρα άνω των 500 m πλην της ζώνης Δ. Ενδεικτικά μια επέμβαση με μέσο πάχος 8 cm, σε στρατιωτικό κτίριο στον Έβρο, υπολογίζεται ότι μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά **88 %** από τις συγκεκριμένες επιφάνειες που μονώθηκαν.

3.7.6 Θερμομόνωση περιμέτρου και πλάκας υπογείων

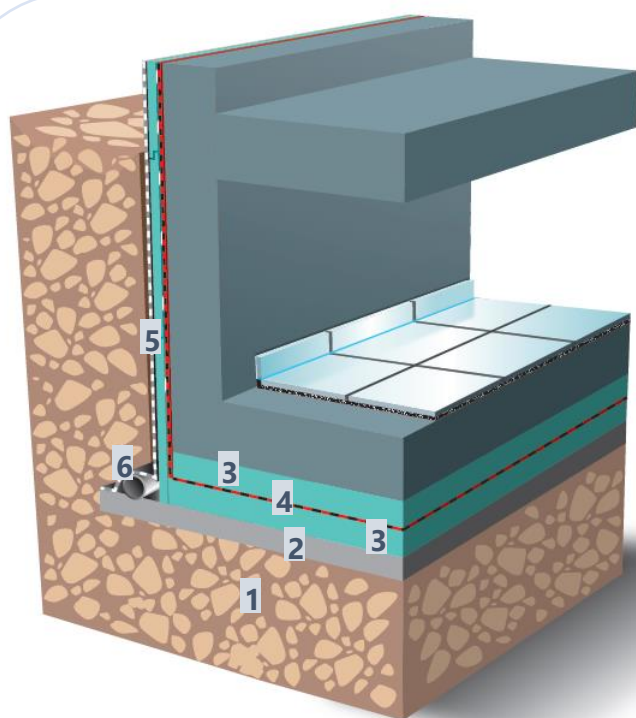
Η θερμομόνωση υπογείων είναι μια επέμβαση που πραγματοποιείται υποχρεωτικά σε νέα κτίρια. Η βέλτιστη πρακτική θεμελίωσης που δίνει τη δυνατότητα εξαλείψης θερμογεφυρών είναι αυτή που πραγματοποιείται με την διάστρωση πλάκας θεμελίωσης (γενική κοιτόστρωση) επί ενός θερμομονωτικού υλικού. Ακολουθεί η κατασκευή των τοιχίων επί της πλάκας θεμελίωσης και η περίμετρος του υπόγειου που προκύπτει θερμομονώνεται και αυτή εκ των υστέρων.

Στις επεμβάσεις αυτού του τύπου ως θερμομονωτικό υλικό είναι επιβεβλημένη η χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης με χαμηλή υδατοαπορρόφηση $WD(V)<3\%$ και υψηλές μηχανικές αντοχές σε συμπίεση $CS(10/Y)>300$ KPa σύμφωνα με το πρότυπο DIN 4108. Επιπλέον επειδή τα δομικά στοιχεία του υπογείου (πλάκα και περίμετρος) βρίσκονται σε επαφή με το υγρό έδαφος ή είναι κάτω από τη στάθμη του νερού του υδροφόρου ορίζοντα, στεγανοποιούνται με κατάλληλες μεμβράνες προστασίας του σκυροδέματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εναρμονισμένου ευρωπαϊκού προτύπου EN 1504.

Αξιοσημείωτο είναι πως η νέα αυτή τεχνολογία θερμομόνωσης με την κατασκευή πλάκας θεμελίωσης επί της εξηλασμένης πολυστερίνης δίνει τη δυνατότητα **σεισμικής μόνωσης**¹⁸. Η έννοια της σεισμικής μόνωσης αναφέρεται στην πρόσθετη αντισεισμική προστασία ενός κτιρίου από την επιτάχυνση που προκαλείται σε αυτό κατά την επίδραση του σεισμού. Όταν εφαρμόζονται οι οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις, η χρήση της εξηλασμένης πολυστερίνης έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή του συντελεστή στατικής τριβής στη βάση του κτιρίου σε τιμές 0,52-0,54 που είναι οι

¹⁸Kilar V., Koren D., Zbašnik-Senegačnik M., 5/2013 **Seismic behaviour of buildings founded on thermal insulation layer**, Građevinar, UDK 699.84:624.022.2+699.86.

βέλτιστες τιμές απόσβεσης των σεισμικών δράσεων. Τομή περιμέτρου και πλάκας υπογείου φαίνεται στην Εικόνα 20.



- 1: Έδαφος
- 2: Σκυρόδεμα καθαριότητας
- 3: Εξηλασμένη πολυστερίνη
- 4: Στεγανοποιητική στρώση
- 5: Αποστραγγιστική μεμβράνη με γεώφασμα
- 6: Διάτρητος σωλήνας αποστράγγισης

Εικόνα 20: Τομή περιμέτρου και πλάκας υπογείων

Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει

- διάστρωση άοπλου σκυροδέματος καθαριότητας
- τοποθέτηση πρώτης οριζόντιας στρώσης πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης
- τοποθέτηση αυτοκόλλητης ασφαλτικής μεμβράνης
- τοποθέτηση δεύτερης οριζόντιας στρώσης πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης
- διάστρωση πλάκας σκυροδέματος υπογείου
- διάστρωση τοιχείων υπογείου
- στεγανοποίηση τοιχείων υπογείου και συνέννοση με την οριζόνια στεγανοποίηση της πλάκας
- συγκόλληση πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης στα τοιχεία
- τοποθέτηση διάτρητου σωλήνα αποστράγγισης
- Κάλυψη σωλήνα αποστράγγισης και πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης με αποστραγγιστική μεμβράνη.

Με συντελεστή $\lambda=0,033 \text{ W/mK}$ της εξηλασμένης πολυστερίνης, δύο στρώσεις πάχους 5 cm στις πλάκες υπογείου και μία στρώση 5 cm στην περίμετρο καλύπτει τις απαιτήσεις του ΚΕνΑΚ για τα νέα στρατιωτικά κτίρια σε όλες τις κλιματικές ζώνες και προσδίδει σεισμική μόνωση. Ενδεικτικά μια τέτοια επέμβαση, σε νέο στρατιωτικό κτίριο στον Έβρο, υπολογίζεται ότι μειώνει τις θερμικές απώλειες κατά **82 %** από την περίμετρο και κατά **90 %** από το δάπεδο.

3.8 Στρατιωτικές εφαρμογές θερμομόνωσης κτιριακών εγκαταστάσεων

Το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας είναι ένας από τους μεγαλύτερους δημόσιους φορείς στην Ελλάδα. Οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις είναι μεγάλοι καταναλωτές ενέργειας και γι' αυτό παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες για ενεργειακή εξοικονόμηση που μπορεί να οδηγήσει και σε σημαντική μείωση των εθνικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής πολιτικής το ΥΠΕΘΑ, υλοποίησε το πιλοτικό έργο «Military Energy & Carbon Management (MECM) – LIFE+2011»¹⁹ που περιλαμβάνει την ενσωμάτωση τεχνολογιών βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης σε επιλεγμένες στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Τεχνολογίες που αφορούσαν την εφαρμογή θερμομόνωσης πραγματοποιήθηκαν στο κτίριο ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης στην Λάρισα (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Εφαρμογή θερμομόνωσης στην όψη του κτιρίου πριν και μετά

Η επέμβαση που επιλέχθηκε ήταν η τοποθέτηση στην όψη του κτιρίου ενός σύνθετου συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης με μονωτικές πλάκες πάχους 7 cm και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda \leq 0,035 \text{ W/mK}$.

Με βάση την ανάλυση των παραδοτέων²⁰ προκύπτει ότι η τοποθέτηση της θερμομόνωσης στην όψη του κτιρίου συμβάλει κατά **34 %** στην μείωση των απαιτήσεων για θέρμανση, αν και η όψη αποτελεί μόλις το **33 %** των αδιαφανών δομικών στοιχείων του κτιριακού περιβλήματος. Συνεπώς, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου από 9.995 l/έτος πριν την τοποθέτηση της θερμομόνωσης, αναμένεται να μειωθεί κατά **3.398 l/έτος**. Για τρέχουσα τιμή πετρελαίου θέρμανσης στα 0,98 €/l, συνάγεται πως η ετήσια εξοικονόμηση δαπανών για θέρμανση που προέρχεται από την τοποθέτηση της θερμομόνωσης αναμένεται στα **3.330€/έτος**.

¹⁹LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Military Energy and Carbon Management**. Διαθέσιμο στο: <http://www.life.mil.gr>, [10 Απριλίου 2018]

²⁰LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Assesment Report ΕΡΜΗΣ Final**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/kjRyQ4>, [10 Απριλίου 2018]

4 Ενεργειακά κουφώματα

Ένα από τα στοιχεία αρχιτεκτονικής ενός κτιρίου που έχει εξαιρετική σημασία όσον αφορά τη λειτουργικότητα του κτιρίου είναι το σύνολο των ανοιγμάτων του. Η επιφάνεια των ανοιγμάτων καλύπτεται από τα **διαφανή δομικά στοιχεία**, τα οποία ονομάζονται **υαλοστάσια ή κουφώματα**.

Τα υαλοστάσια αποτελούνται από τους **υαλοπίνακες** (τζάμια) και τα **πλαίσια**, στα οποία προσαρμόζονται οι υαλοπίνακες (Εικόνα 22). Εξαιτίας της μεγάλης σπουδαιότητας των υαλοστασίων στο θέμα της εξοικονόμηση ενέργειας, οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα αυτό υπήρξαν ραγδαίες σε σχέση με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η κατασκευή και χρήση νέων, αναβαθμισμένων πλαισίων στα υαλοστάσια, καθώς και η δημιουργία ενός πλήθους υαλοπινάκων με διαφορετικές ιδιότητες και εφαρμογές.



Τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά πρέπει να συνοδεύονται από το σήμα CE, όπως καθορίζεται από το αντίστοιχο εναρμονισμένο πρότυπο που αφορά το προϊόν (EN 14351-1 για κουφώματα, EN 13659 για ρολά και παντζούρια, EN 13561 για σίτες, EN 1279-5 για υαλοπίνακες, EN 13830 για υαλοπετάσματα) και από τη Δήλωση Επιδόσεων.

4.1 Πλαίσια κουφωμάτων

Πλαίσιο ονομάζεται το τμήμα του υαλοστασίου, στην εσωτερική περίμετρο του οποίου προσαρμόζεται ο υαλοπίνακας. Τα πρώτα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ξύλινα πλαίσια. Κατόπιν εμφανίστηκαν τα μεταλλικά πλαίσια (αρχικά σιδερένια και έπειτα αλουμινίου) και πλέον είναι διαθέσιμα και τα συνθετικά (πλαστικά) πλαίσια. Η ανάγκη για την ελαχιστοποίηση της θερμωπερατότητας των υαλοστασίων υπήρξε ο κινητήριος μοχλός για τις συνεχείς προσπάθειες

εύρεσης νέων αναβαθμισμένων τύπων πλαισίων. Προφανώς, αφού τα πλαίσια συνιστούν τμήμα των κουφωμάτων, είναι αναμενόμενο ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου να επηρεάζει το συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός κουφώματος δίνεται από τη Σχέση 5:

$$U_w = (A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g) / A_w \text{ [W/(m}^2\text{K)]} \quad \text{Σχέση (5)}$$

όπου,

U_w , ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,

U_f , ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου,

U_g , ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα,

A_w , το εμβαδό του κουφώματος,

A_f , η επιφάνεια του πλαισίου,

A_g , η επιφάνεια του υαλοπίνακα.

Τα μεγέθη A_f και A_g συνήθως εκφράζονται ως ποσοστά της συνολικής επιφάνειας του κουφώματος A_w . Από τη Σχέση 5 διαπιστώνουμε πως η ενεργειακή συμπεριφορά ενός κουφώματος εξαρτάται από τη θερμοπερατότητα του πλαισίου. Ο βαθμός εξάρτησης κυμαίνεται ανάλογα με το ποσοστό του υαλοστασίου το οποίο καταλαμβάνει το πλαίσιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το πλαίσιο καλύπτει ακόμα και το 30% της επιφάνειας του ανοίγματος, επομένως υψηλή τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του πλαισίου μειώνει δραματικά τη θερμομονωτική ικανότητα του υαλοστασίου.

Ανάμεσα σε όλους τους τύπους των πλαισίων (Αλουμινίου, Συνθετικά, Ξύλινα), αυτοί του αλουμινίου αποτελούν την βέλτιστη λύση σε μια εν δυνάμει ενεργειακή αναβάθμιση στρατιωτικών εγκαταστάσεων. Το αλουμίνιο προέρχεται από το ορυκτό βωξίτης, που μετά την εξόρυξή του μετατρέπεται σε αλουμίνα και στη συνέχεια με την ηλεκτρόλυση μετατρέπεται σε μέταλλο αλουμίνιο. Η σύγχρονη υψηλή τεχνολογία, οι χημικές και φυσικές ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του, το καθιστούν ένα ιδανικό υλικό για τα κουφώματα. Για την παραγωγή των αρχιτεκτονικών προφίλ αλουμινίου χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα κράματα και ακολουθεί η διεργασία της διέλασης.

Τα κουφώματα αλουμινίου συνδυάζουν υψηλές μηχανικές αντοχές με χαμηλό βάρος, προσφέρουν ασφάλεια έναντι της διάρρηξης, μεγαλύτερη σταθερότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο χρόνο, καλύτερη συμπεριφορά έναντι της φωτιάς και υψηλότερα επίπεδα ηχομόνωσης. Η θερμομονωτική ικανότητα των πλαισίων αλουμινίου έναντι των συνθετικών εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση ενός κομματιού πολυαμιδίου μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού προφίλ αλουμινίου του πλαισίου. Η προσθήκη αυτή ονομάζεται **θερμοδιακοπή**. Το πολυαμίδιο είναι κακός αγωγός της θερμότητας, περιορίζοντας έτσι τις θερμικές απώλειες διαμέσου του πλαισίου του υαλοστασίου. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις

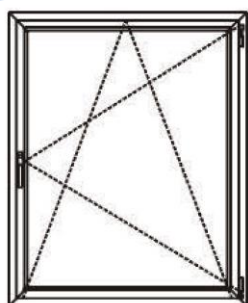
του ΚΕΝΑΚ η βέλτιστη τιμή θερμοπερατότητας πλαισίου αλουμινίου $U_f=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ για τις στρατιωτικές εγκαταστάσεις επιτυγχάνεται με **θερμοδιακοπή 24 mm**.

Τα πλαίσια των κουφωμάτων μπορεί να είναι συρόμενα, ανοιγόμενα ή ανοιγοανακλινόμενα (ανοιγόμενα με μηχανισμό ανάκλισης) και σταθερά.

4.1.1 Ανοιγόμενα κουφώματα

Πρόκειται για κουφώματα με υψηλό επίπεδο θερμομόνωσης και ασφάλειας με ευελιξία να δέχονται σίτα και παντζούρι ή ρολό εξωτερικά. Όπως μαρτυρά και η ίδια τους η ονομασία, πρόκειται για κουφώματα που ανοίγουν, γι' αυτό τον λόγο απαιτείται η ύπαρξη ελεύθερου χώρου για την κίνησή τους. Στην Εικόνα 23 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες κατασκευές ανοιγόμενων κουφωμάτων. Οι βασικοί συνδυασμοί των ανοιγόμενων κουφωμάτων είναι:

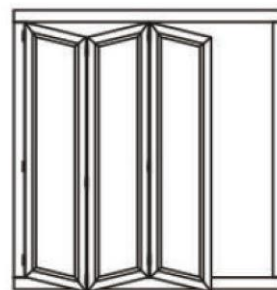
- Ανοιγόμενο προς τα μέσα («Εσωτερικό παραθυρόφυλλο»)
- Ανοιγόμενο προς τα έξω («Εξωτερικό παραθυρόφυλλο»)
- Ανοιγόμενο προς τα πάνω («Ανακλινόμενο παραθυρόφυλλο»)
- Ανοιγόμενο προς τα κάτω και έξω («Προβαλλόμενο»)
- Ανοιγόμενο σε οριζόντιο/κάθετο άξονα («Περιστρεφόμενο»)
- Μονόφυλλο, δίφυλλο, τρίφυλλο κ.λπ.
- Συνδυασμός συρόμενου – ανοιγόμενου (Μηχανισμός «Volkswagen»).



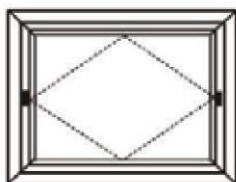
Μονόφυλλο παράθυρο
ανοιγοανακλινόμενο



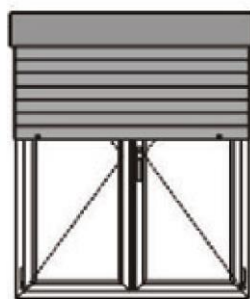
Δίφυλλη μπαλκονόπορτα
ανοιγοανακλινόμενη



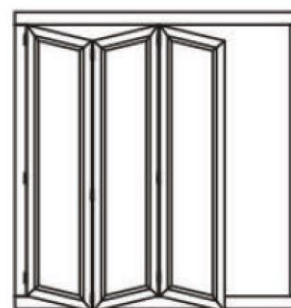
Μονόφυλλο ανακλινόμενο



Περιστρεφόμενο



Δίφυλλη μπαλκονόπορτα
ανοιγόμενη με ρολό

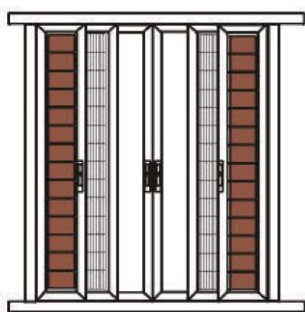


Τρίφυλλη πόρτα πτυσσόμενη

Εικόνα 23: Ενδεικτικοί τύποι ανοιγόμενων κουφωμάτων

4.1.2 Συρόμενα κουφώματα

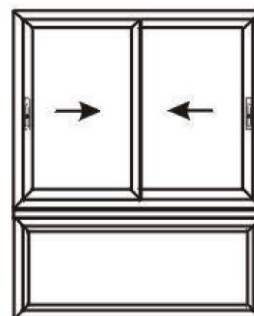
Τα συρόμενα κουφώματα (Εικόνα 24) «Σύρονται» και επιτρέπουν μεγαλύτερη οικονομία χώρου συγκριτικά με τα ανοιγόμενα. Δέχονται τζάμι, σίτα και παντζούρι ή ρολό εξωτερικά. Έχουν τη δυνατότητα να τοποθετηθούν εξωτερικά στον τοίχο, ή μέσα του (τα λεγόμενα «χωνευτά» κουφώματα). Επίσης, μπορούν να κινούνται το ένα επάνω στο άλλο («επάλληλα» κουφώματα), ή να ενώνονται στο κέντρο του ανοίγματος («δίφυλλα» κουφώματα). Οι βασικοί συνδυασμοί των συρόμενων κουφωμάτων είναι:



Δίφυλλο χωνευτό με σίτα και παντζούρι



Δίφυλλο επάλληλο

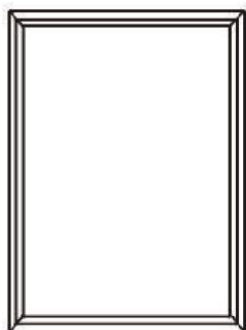


Δίφυλλο επάλληλο με σταθερό το κάτω μέρος

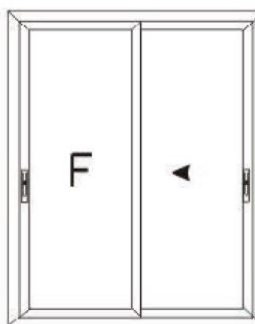
Εικόνα 24: Ενδεικτικοί τύποι συρόμενων κουφωμάτων

4.1.3 Σταθερά

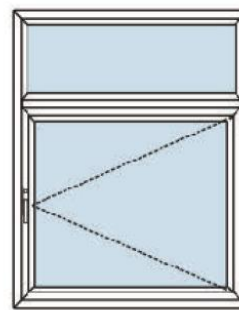
Τα σταθερά κουφώματα μπορούν να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες και τοποθετούνται σχετικά εύκολα. Προσφέρουν καλύτερη θέα και φωτεινότητα στον χώρο όπου τοποθετούνται. Χρησιμοποιούνται σε προσόψεις, τζαμαρίες, χωρίσματα κ.α. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ανοιγόμενα ή συρόμενα κουφώματα. Στην Εικόνα 25 παρουσιάζονται κάποιοι τύποι σταθερών κουφωμάτων.



Σταθερό



Επάλληλο με σταθερό αριστερά



Ανοιγόμενο με σταθερό πάνω

Εικόνα 25: Ενδεικτικοί τύποι σταθερών κουφωμάτων

4.2 Υαλοπίνακες

Υαλοπίνακας ονομάζεται το διαφανές τμήμα του υαλοστασίου (τζάμι), το οποίο επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου, συνεισφέροντας έτσι στο φωτισμό και τη θέρμανση του κτιρίου. Παράλληλα όμως είναι και το τμήμα του κελύφους το οποίο είναι υπεύθυνο για το μεγαλύτερο ποσοστό των θερμικών απωλειών καθώς το γυαλί παρουσιάζει πολύ κακή θερμομονωτική συμπεριφορά. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από την άμεση, τη διάχυτη και την ανακλώμενη ακτινοβολία. Κάθε φορά, μόνο ένα ποσοστό της ολικής ακτινοβολίας ή ακόμα και μόνο ένα τμήμα της (από τα τρία) επιτρέπεται να διεισδύσει στον εσωτερικό χώρο. Αυτό είναι κάτι που καθορίζεται από τις ιδιότητες του κάθε υαλοπίνακα.

Οι απαιτήσεις που έχουμε γενικά από τους υαλοπίνακες είναι η μεγιστοποίηση των ηλιακών κερδών το χειμώνα και η ελαχιστοποίηση τους το καλοκαίρι, η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών το χειμώνα, ο περιορισμός του υπερβολικού φωτισμού των χώρων, η εξασφάλιση ηχομόνωσης, η μηχανική αντοχή, η αισθητική αρτιότητα, η εύκολη συντήρηση και αντικατάσταση και το χαμηλό κόστος. Κάθε απαίτηση οδηγεί σε μια συγκεκριμένη ιδιότητα του υαλοπίνακα και καθορίζει τα πλαίσια της τιμής που αυτή πρέπει να έχει (π.χ. μικρή, μεγάλη) ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση. Επειδή όμως κάποιες από τις παραπάνω απαιτήσεις ικανοποιούνται με διαφορετικές τιμές της ίδιας ιδιότητας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα, πως η επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα είναι κάθε φορά προϊόν συμβιβασμού των παραπάνω απαιτήσεων. Για παράδειγμα, η ελαχιστοποίηση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού προϋποθέτει τη χρήση υαλοπινάκων με μικρό συντελεστή ηλιακών κερδών. Αυτό όμως έρχεται σε αντίθεση με την απαίτηση για μεγιστοποίηση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του χειμώνα που προϋποθέτει τη χρήση υαλοπινάκων με μεγάλο συντελεστή ηλιακών κερδών. Η επιλογή των κατάλληλων υαλοπινάκων διευκολύνεται από τον καθορισμό των προτεραιοτήτων του κάθε χώρου, δηλαδή ποιες απαιτήσεις πρέπει αυτός πρωτίστως να πληρεί, όπως και από την ανάλυση των ιδιαιτεροτήτων κάθε ανοίγματος, π.χ. παράθυρα στρατιωτικών κτιρίων προσανατολισμένα προς βορρά πρέπει να καλύπτονται από υαλοπίνακα χαμηλής θερμοπερατότητας εξαιτίας των αυξημένων θερμικών απωλειών.

Οι ιδιότητες των υαλοπινάκων, με βάση τις τιμές των οποίων γίνεται η επιλογή των κατάλληλων υαλοπινάκων για κάθε εφαρμογή αναφέρονται διεξοδικά παρακάτω.

4.2.1 Διαπερατότητα, ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα στο ορατό φάσμα

Οι παράμετροι αυτές καθορίζουν τις οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα και σχετίζονται μεταξύ τους με τη Σχέση 6:

$$95\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \text{Σχέση (6)}$$

όπου,

**α, η απορροφητικότητα,
ρ, η ανακλαστικότητα,
τ, η διαπερατότητα του υαλοπίνακα στο ορατό φάσμα.**

Το μέρος του ορατού φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε έναν υαλοπίνακα και ανακλάται άμεσα εκφράζεται από το συντελεστή ανακλαστικότητας, το τμήμα που απορροφάται από τον υαλοπίνακα εκφράζεται από το συντελεστή απορροφητικότητας και το υπόλοιπο που διέρχεται από τον υαλοπίνακα, εισέρχεται στο χώρο και μετατρέπεται σε θερμότητα εκφράζεται από το συντελεστή διαπερατότητας. Μέρος του ορατού φάσματος που απορροφήθηκε από τον υαλοπίνακα ανακλάται στη συνέχεια προς το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ το υπόλοιπο τμήμα που έχει απορροφηθεί από τον υαλοπίνακα εισέρχεται και αυτό στο εσωτερικό του κτιρίου.

Μεγάλος συντελεστής απορροφητικότητας οδηγεί σε υπερθέρμανση του υαλοπίνακα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με συνέπεια τη μείωση της θερμικής άνεσης, ενώ μεγάλος συντελεστής ανακλαστικότητας περιορίζει αισθητά τα ηλιακά κέρδη του υαλοπίνακα, πράγμα ανεπιθύμητο κατά τους χειμερινούς μήνες. Συνεπώς, υαλοπίνακες με μεγάλη απορροφητικότητα συνιστώνται για περιοχές με ψυχρό κλίμα όπως π.χ. οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις στον Έβρο, ενώ υαλοπίνακες με μεγάλη ανακλαστικότητα προτείνονται για χρήση σε περιοχές με θερμό κλίμα όπως π.χ. στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις του Αιγαίου.

4.2.2 Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών

Ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών του υαλοπίνακα εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από την επιφάνεια του υαλοπίνακα προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτόν. Λαμβάνεται ίσος με το 90% του συντελεστή ηλιακού κέρδους σε κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στον υαλοπίνακα. Ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών του υαλοπίνακα συμπεριλαμβάνει και την ακτινοβολία η οποία έχει απορροφηθεί από τον υαλοπίνακα και στη συνέχεια μεταδόθηκε στο εσωτερικό του κτιρίου. Η τιμή του προφανώς εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα. Αντίστροφος του συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών του υαλοπίνακα είναι ο συντελεστής σκίασης.

Ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών του υαλοπίνακα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών του κουφώματος με χρήση της ακόλουθης σχέσης (7):

$$g_w = g_{gl} \cdot (1 - F_f) \quad \text{Σχέση (7)}$$

όπου,

**g_w , ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών του κουφώματος,
 g_{gl} , ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών του υαλοπίνακα,
 F_f , το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα.**

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το πλαίσιο και μεταδίδεται με τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό είναι πολύ μικρή συγκριτικά με αυτή που διέρχεται από το διαφανές τμήμα του κουφώματος και γι' αυτό αγνοείται. Τυπικές τιμές του συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών και του συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών σε κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορους 96 τύπους υαλοπινάκων δίνονται από τον παρακάτω πίνακα 4 του ΚΕΝΑΚ.

Πίνακας 4: Τυπικές τιμές της συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση g και της μέσης διαπερατότητας g_{gl} για διάφορους τύπους υαλοπινάκων.

Τύπος υαλοπίνακα	g	g_{gl}
Μονός υαλοπίνακας	0,85	0,77
Διπλός υαλοπίνακας	0,75	0,68
Διπλός υαλοπίνακας με επίστρωση χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e)	0,67	0,60

Ασφαλώς, διπλός υαλοπίνακας με μεγάλο συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών επιλέγεται για περιπτώσεις στρατιωτικών κτιρίων σε ψυχρό κλίμα όπου είναι επιθυμητή η είσοδος της μέγιστης δυνατής ποσότητας ηλιακής ενέργειας στο εσωτερικό τους, ενώ σε θερμό είναι προτιμότερη η χρήση διπλού υαλοπίνακα με ειδική επίστρωση χαμηλού συντελεστή εκπομπής.

4.2.3 Συντελεστής οπτικής ή φωτεινής διαπερατότητας

Ο **συντελεστής οπτικής ή φωτεινής διαπερατότητας LT** εκφράζει το ποσοστό της φωτεινής ακτινοβολίας που διέρχεται μέσα από τον υαλοπίνακα και μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο. Για παράδειγμα, $LT = 0,8$ σημαίνει πως το 80% της ορατής ακτινοβολίας μεταφέρεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Υψηλή τιμή του συντελεστή LT είναι αναγκαία και επιθυμητή για την πλήρη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Αντίθετα ένας χαμηλός συντελεστής φωτεινής διαπερατότητας αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας στο σύστημα τεχνητού φωτισμού. Ιδανικές τιμές του συντελεστή LT είναι **60%-80%**, ανάλογα με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε χώρου²¹.

4.2.4 Συντελεστής ψυχρότητας

Ο συντελεστής ψυχρότητας ορίζεται ως ο λόγος της διαπερατότητας του υαλοπίνακα στο ορατό φάσμα του φωτός προς το συντελεστή σκίασής του. Το απλό διαφανές γυαλί έχει συντελεστή ψυχρότητας ίσο περίπου με 1. Ένας ιδανικός υαλοπίνακας κατάλληλος για κτίρια με υψηλά θερμικά φορτία, όπως μπορούν να θεωρηθούν και οι στρατώνες, οφείλει να διαθέτει μεγάλη οπτική διαπερατότητα και μικρή θερμοπερατότητα. Στην περίπτωση αυτή, **ο συντελεστής ψυχρότητας του ιδανικού υαλοπίνακα είναι ίσος με 2**.

²¹ Πατσιά Χ., 2012, «Υαλοπίνακες» στο **Μελέτη και εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας σε δημόσιους χώρους και σε χώρους παραγωγής**, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ. 96

Οι υαλοπίνακες με τιμές συντελεστών ψυχρότητας μεγαλύτερες του 1, θεωρούνται φασματικά επιλεκτικοί, δηλαδή επιτρέπουν τη διέλευση μόνο της ορατής ακτινοβολίας. Είναι κατάλληλοι για κτίρια στα οποία παρατηρείται υπερθέρμανση κατά τους θερινούς μήνες και τέτοια είναι τα στρατιωτικά κτήρια που δεν κλιματίζονται και ταυτόχρονα φιλοξενούν δραστηριότητες που παράγουν θερμότητα, π.χ. χώροι εργασίας στρατιωτικής βιομηχανίας.

4.2.5 Συντελεστής θερμοπερατότητας

Γνωρίζουμε ήδη πως ορίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού υλικού ή στοιχείου. Οι απλοί υαλοπίνακες έχουν μεγάλο συντελεστή θερμοπερατότητας, επομένως παρουσιάζουν αυξημένες απώλειες θερμότητας και συνήθως είναι ανεπιθύμητοι για κτιριακές εφαρμογές. Γενικά, η όλη ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου καθορίζει αν είναι απαραίτητη η χρήση υαλοπινάκων με μικρό ή μεγάλο συντελεστή θερμοπερατότητας. Στη συντριπτική πλειοψηφία, όμως, των περιπτώσεων χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες με μικρό συντελεστή θερμοπερατότητας.

Χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των υαλοπινάκων, έχουν κατασκευαστεί αναβαθμισμένοι τύποι υαλοπινάκων, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μικρό συντελεστή θερμοπερατότητας. Έτσι, αντιμετωπίζεται το – μέχρι πρόσφατα – σοβαρό πρόβλημα των θερμικών απωλειών των υαλοστασίων. Μάλιστα ορισμένα είδη υαλοπινάκων έχουν 97 % μικρότερη θερμοπερατότητα ακόμα και από τα πλαίσια στα οποία εφαρμόζονται.

Βάσει του ΚΕΝΑΚ ο βέλτιστος συντελεστής θερμοπερατότητας $U_g=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ για τις στρατιωτικές εγκαταστάσεις επιτυγχάνεται με **διπλό υαλοπίνακα με διάκενο 12 mm αέρα** και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλού **συντελεστή εκπομπής ($\epsilon = 0,10$)**.

Στους **διπλούς υαλοπίνακες**, μεταξύ των υαλοπινάκων υπάρχει κενό ξηρού αέρα και ο συντελεστής θερμοπερατότητας μειώνεται όσο αυξάνεται το πλάτος του κενού (με οριακή τιμή τα 15-16 mm). Μεγαλύτερα πλάτη χρησιμοποιούνται μόνο για υψηλές απαιτήσεις ηχομόνωσης. Καλύτερες θερμομονωτικές ικανότητες επιτυγχάνονται α) με την πλήρωση του κενού με αέριο χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας από αυτήν του ξηρού αέρα (π.χ. αργό, κρυπτό) και β) με την τοποθέτηση ειδικών μονωτικών διαφανών υλικών μέσα στο κενό, τα οποία εμποδίζουν την κίνηση του αέρα ή του αερίου, αποτρέποντας έτσι την μετάδοση της θερμότητας με μετάβαση. Είναι αναμενόμενο ότι ένας **τριπλός υαλοπίνακας** έχει μικρότερο συντελεστή θερμοπερατότητας από τον διπλό, αλλά ταυτόχρονα έχει μικρότερο συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών καθώς και υψηλότερο κόστος. Γι' αυτό συνήθως, ο τριπλός υαλοπίνακας ενδείκνυται σε περιοχές που έχουν πραγματικά ψυχρό κλίμα π.χ. στο Κέντρο Εκπ/σης Ορεινού Αγώνα Χιονοδρόμων (ΚΕΟΑΧ) ή σε περιπτώσεις όπου απαιτείται καλή ηχομόνωση του χώρου π.χ. σε αίθουσες σκοποβολής, κτίρια πλησίον πεδίων βολής, κτίρια αεροπορίας κ.α..

4.3 Θερμοπερατότητα κουφώματος

Με βάση τα παραπάνω, βέλτιστες θερμοπερατότητες κουφώματος αλουμινίου σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις είναι δυνατόν να επιτυγχάνονται στους συνδυασμούς του πίνακα 5:

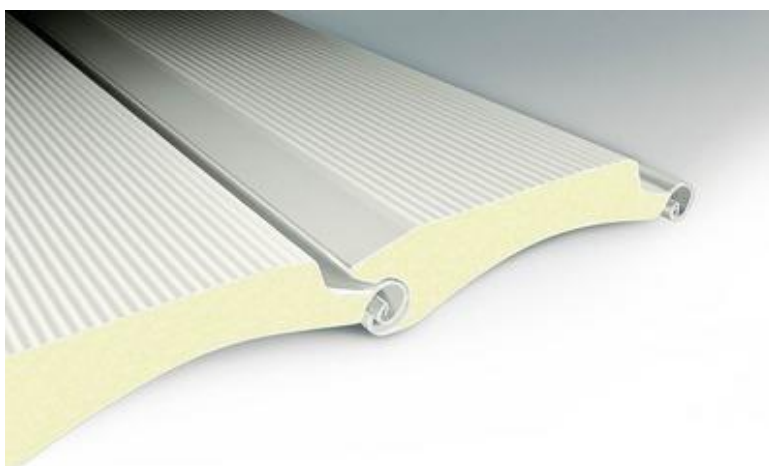
Πίνακας 5: Τυπικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων U_w^{22}

Θερμοδιακοπή	Ποσοστό πλαισίου Ff	Δίδυμος υαλοπίνακας με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας και διάκενο αέρα 12 mm
mm	%	W/m^2K
24	20	2,3
	30	2,4
	40	2,4

4.4 Ρολά και πατζούρια

Η χρήση ρολών ή πατζουριών κατά τη διάρκεια της νύχτας βελτιώνει σημαντικά την ενεργειακή συμπεριφορά των κουφωμάτων. Η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς εξαρτάται με τον συντελεστή θερμοπερατότητας του ρολού/πατζουριού και από την αεροστεγανότητα που αυτό εξασφαλίζει κατά το κλείσιμο.

Βάσει του ΚΕνΑΚ βέλτιστο συντελεστή θερμοπερατότητας **$U_{rb}=2,0 W/m^2K$** εξασφαλίζεται στα ρολά ή πατζούρια αλουμινίου με θερμοδιακοπή και όταν περιέχουν θερμομόνωση, συνήθως από αφρό πολυουρεθάνης (Εικόνα 26). Αντίστοιχα υψηλή αεροστεγανότητα έχουν τα εξωτερικά προστατευτικά ρολά ή πατζούρια στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οπές ή σχισμές και περιμετρικά υπάρχουν λάστιχα σφράγισης.



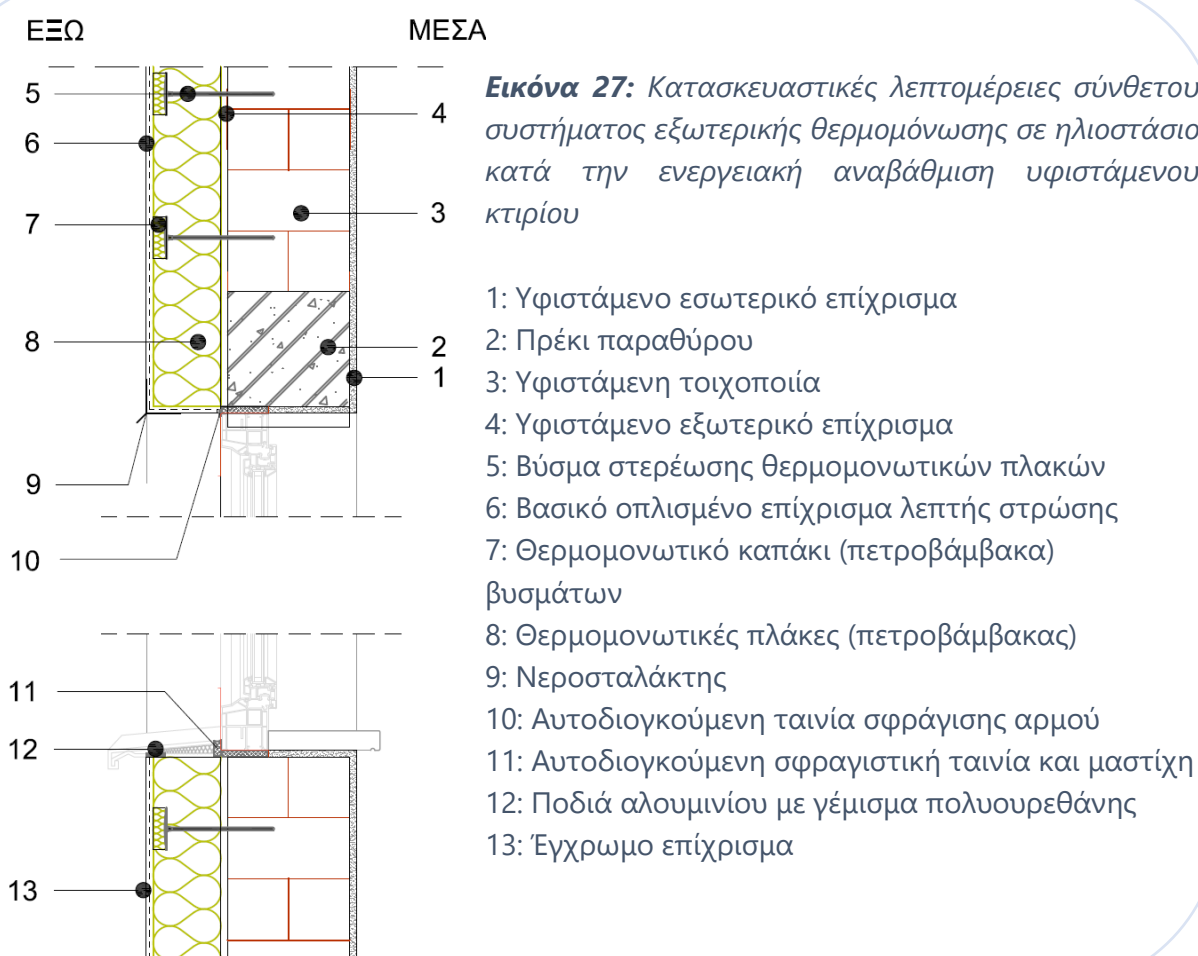
Εικόνα 26: Ρολά αλουμινίου με θερμομόνωση από αφρό πολυουρεθάνης

²² ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, ΦΕΚ Β' 4003/17.11.2017, σελ. 76.

4.5 Τοποθέτηση κουφωμάτων χωρίς θερμογέφυρες

Στο κτιριακό περίβλημα ένα από τα κυριότερα σημεία εμφάνισης θερμογεφυρών είναι τα σημεία ένωσης των πλαισίων των κουφωμάτων με την περιβάλλουσα τοιχοποιία. Οι θερμογέφυρες αυτές, είναι πηγή επιπρόσθετων θερμικών απωλειών για το εσωτερικό του κτιρίου και αν δεν αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά, μειώνουν αισθητά τα ενεργειακά κέρδη των υαλοστασίων. Κατά συνέπεια ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να λαμβάνεται κατά την διαδικασία της ενεργειακής αναβάθμισης ώστε να εξαλείφονται τυχόν θερμογέφυρες. Σε περίπτωση συνδυαστικής ενεργειακής αναβάθμισης με εφαρμογή σύνθετου συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης και τοποθέτησης νέων κουφωμάτων η εφαρμογή των κουφωμάτων προηγείται χρονικά.

Ο περιορισμός των θερμογεφυρών απαιτεί αρχικά τη σωστή τοποθέτηση των πλαισίων στα ανοίγματα του κελύφους με σφράγιση των αρμών μεταξύ των πλαισίων και της τοιχοποιίας με κατάλληλα υλικά. Τέτοια υλικά είναι ειδικές αυτοδιογκούμενες συνθετικές ταινίες που τοποθετούνται στα σημεία που θα πατήσει το πλαίσιο και υλικά σφράγισης όπως π.χ. η σιλικόνη κ.α. Στη συνέχεια ακολουθεί η τοποθέτηση της θερμομόνωσης του σύνθετου συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης με τρόπο που να εφάπτεται με το κούφωμα χωρίς θερμογέφυρες. Τα παραπάνω μέτρα επιπλέον συμβάλλουν και στην καλύτερη στεγανότητα των κουφωμάτων απέναντι στον αέρα και στο νερό. Στην Εικόνα 27 φαίνονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες.



4.6 Στρατιωτικές εφαρμογές αντικατάστασης κουφωμάτων

Στο πλαίσιο της υλοποίησης από το ΥΠΕΘΑ του πιλοτικού έργου «Military Energy & Carbon Management (MECM) – LIFE+2011» που περιλαμβάνει την ενσωμάτωση τεχνολογιών βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης σε επιλεγμένες στρατιωτικές εγκαταστάσεις, πραγματοποιήθηκε στο κτίριο ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης στην Λάρισα, αντικατάσταση παλαιών ενεργοβόρων κουφωμάτων με ενεργειακά κουφώματα με πλαίσιο αλουμινίου με θερμοδιακοπή και διπλούς υαλοπίνακες (κρύσταλλο 5mm, κενό 12mm, κρύσταλλο laminated 4+4mm), με συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας ηλιοστασίου είναι $U_w \leq 2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Εικόνα 28).



***Εικόνα 28:** Αντικατάσταση κουφωμάτων κτιρίου ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης, Λάρισα*

Με βάση την ανάλυση των στοιχείων που δημοσιεύτηκαν προκύπτει ότι η τοποθέτηση νέων ενεργειακών κουφωμάτων στην όψη του κτιρίου, συμβάλει κατά **17 %** στην μείωση των απαιτήσεων για θέρμανση, αν και αποτελεί περίπου το **8,5%** του κτιριακού περιβλήματος. Συνεπώς, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου από 9.995 l/έτος πριν την τοποθέτηση των νέων κουφωμάτων, αναμένεται να μειωθεί κατά **1.699 l/έτος**. Για τρέχουσα τιμή πετρελαίου θέρμανσης στα 0,98 €/l, συνάγεται πως η ετήσια εξοικονόμηση δαπανών για θέρμανση που προέρχεται από την αντικατάσταση των κουφωμάτων αναμένεται στα **1.665 €/έτος**.

Η συνολική ετήσια εξοικονόμηση δαπανών που αναμένεται από την μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση λόγω της τοποθέτησης θερμομόνωσης στην όψη του κτιρίου και της αντικατάστασης των κουφωμάτων είναι της τάξης των **4.995 €/έτος**.

5 Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τα ενεργειακά συστήματα, τα οποία κάνουν χρήση συμβατικών τεχνολογιών και καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ξύλα, λιγνίτη, κ.α.) προκειμένου να παράγουν την απαιτούμενη ποσότητα θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες για τις οποίες προορίζονται, ονομάζονται συμβατικά ενεργειακά συστήματα. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα που κάνουν χρήση νέων, καινοτόμων τεχνολογιών ή/και ανανεώσιμων καυσίμων για την παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας, ονομάζονται μη συμβατικά ενεργειακά συστήματα. Πιο ειδικά, τα συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν κάποια μορφή ανανεώσιμων καυσίμων, ονομάζονται **συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**.

Η χρήση ανανεώσιμων καυσίμων, όπως είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδραυλική, η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα, με σκοπό την παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας, ευνοεί την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Η εξοικονόμηση ενέργειας προέρχεται από την ίδια την αντικατάσταση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων.

Οι τεχνολογίες που περιγράφονται παρακάτω επιλέχθηκαν με γνώμονα την ευκολία ενσωμάτωσης των τεχνολογιών αυτών στην πλειοψηφία των υφιστάμενων στρατιωτικών εγκαταστάσεων.

5.1 Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

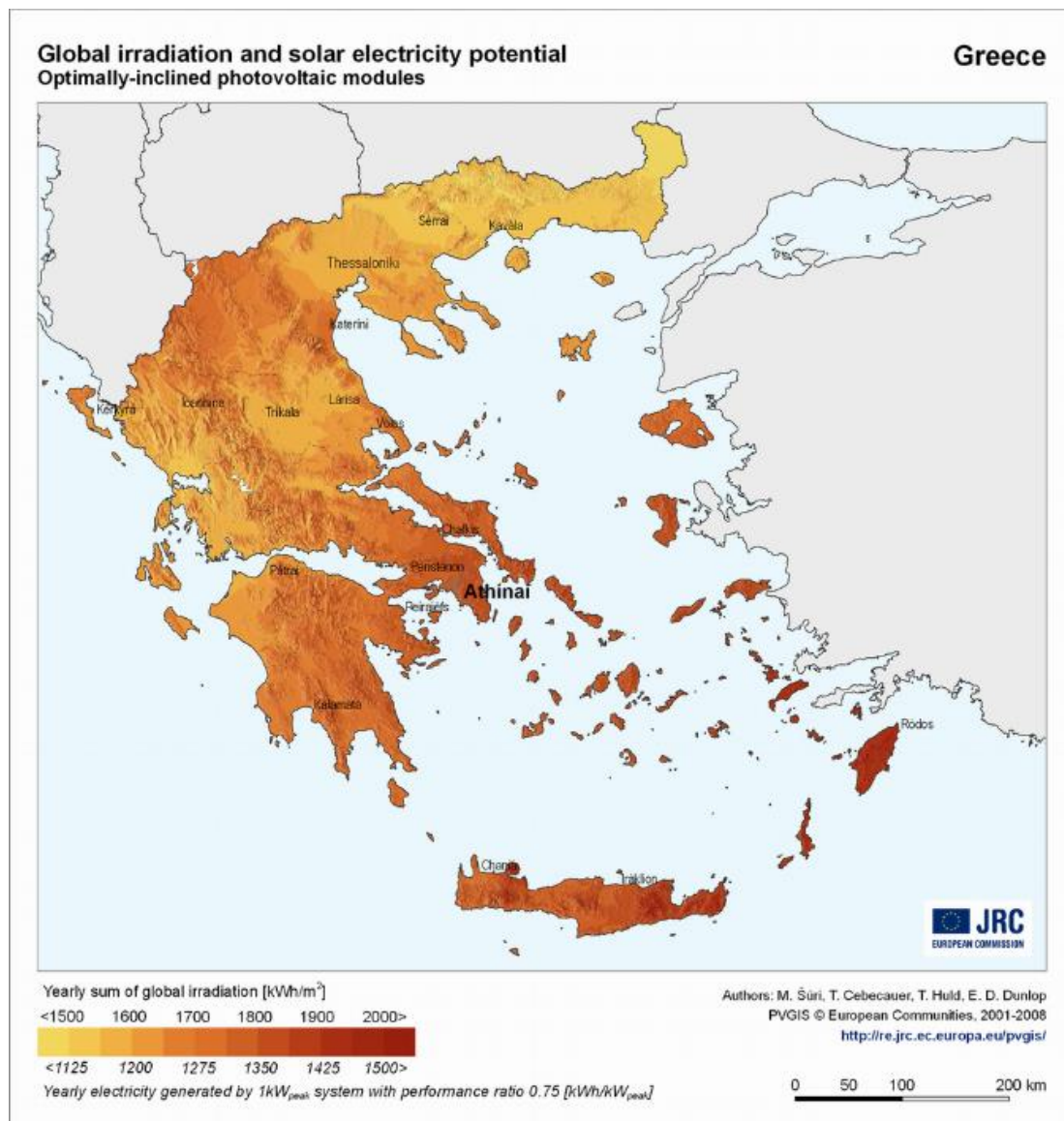
Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (Εικόνα 29) αποτελούν μια ενδιαφέρουσα τεχνολογία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια αξιοποιείται στην κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων των κτιρίων. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των κτιρίων είναι κυρίως ο φωτισμός και οι διάφορες ηλεκτρικές συσκευές (π.χ. θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, κτλ.) που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες.



Εικόνα 29: Υπαίθρια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Ανάλογα με το είδος του φωτοβολταϊκού (φ/β) συστήματος, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης χρήσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή αποθήκευσής της σε συσσωρευτές (μπαταρίες) προς μελλοντική χρήση. Φυσικά, η επιλογή εξαρτάται από το κατά πόσο συγχρονίζεται η παραγωγή ενέργειας με τις ανάγκες κατανάλωσης.

Η Ελλάδα διαθέτει ένα αξιοσημείωτο ηλιακό δυναμικό για την ανάπτυξη και εφαρμογή φ/β συστημάτων στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Χάρη στη μεγάλη ηλιοφάνεια όλων σχεδόν των εποχών του χρόνου, η χρήση φ/β συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ιδιαίτερα ελκυστική. Το ηλιακό δυναμικό της Ελληνικής επικράτειας (kWh/m^2) παρουσιάζεται στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30: Ηλιακό δυναμικό Ελληνικής επικράτειας²³

²³ Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). (2017) **Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology**. Διαθέσιμο στο: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, [10 Απριλίου 2018]

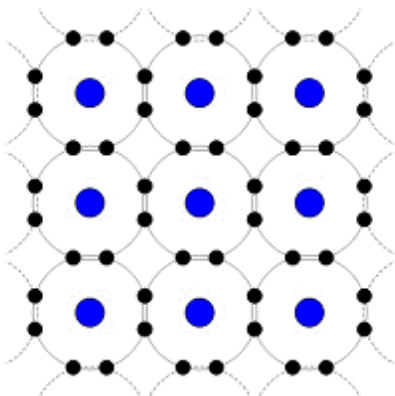
5.1.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα φυσικά στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών καθώς και στις τεχνητές ημιαγωγικές διατάξεις, όπως π.χ. είναι οι ημιαγωγοί πυριτίου.

Εικόνα 31: Τύποι πυριτίου

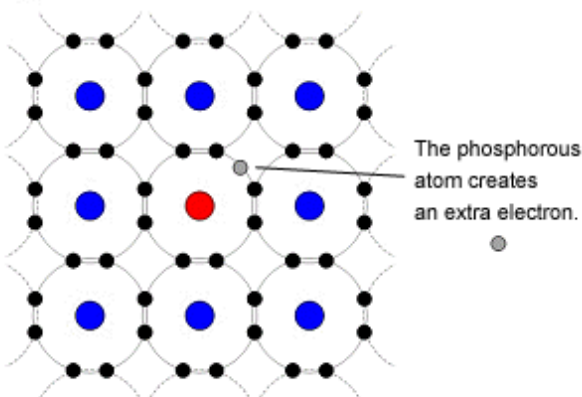
Pure Silicon

● Silicon nuclei



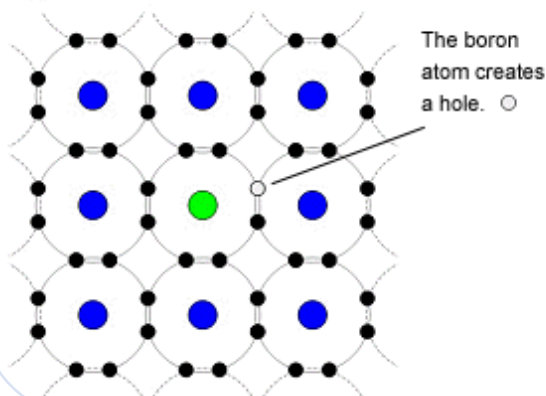
N-Type Silicon

● Phosphorous nucleus



P-Type Silicon

● Boron nucleus

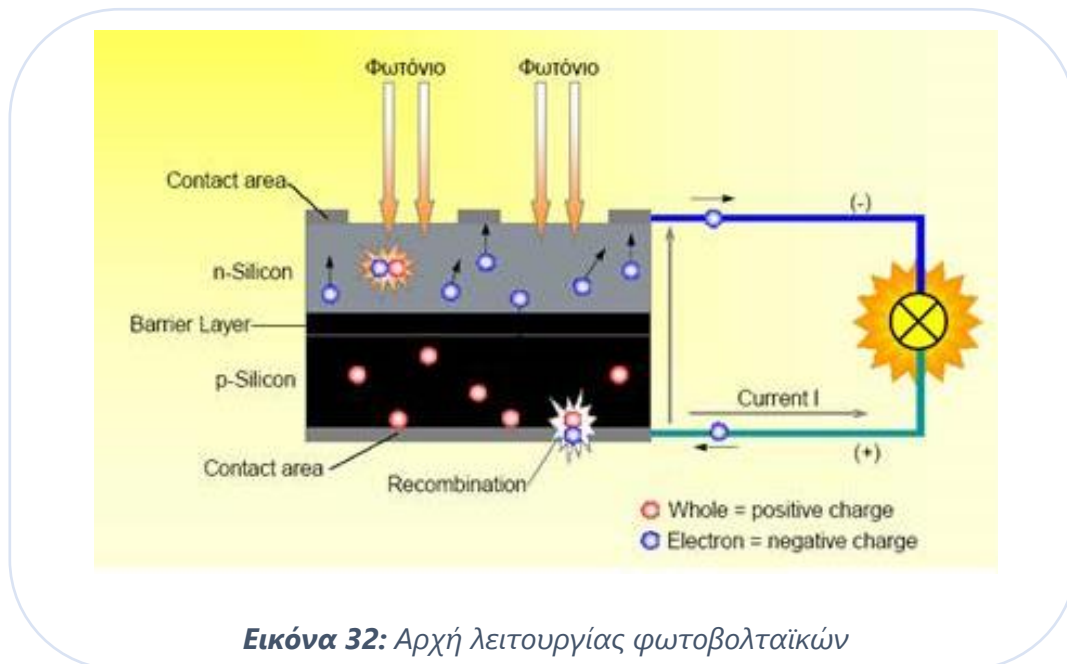


Το ουδέτερο και **καθαρό πυρίτιο** «pure Silicon» δεν είναι αγωγίμο. Ωστόσο, μπορεί να γίνει αγωγίμο με την προσθήκη άλλων στοιχείων στην κρυσταλλική δομή του, η οποία είναι γνωστή ως πυρίτιο αρνητικού τύπου «n-Silicon» ή θετικού τύπου «p-Silicon». Στην Εικόνα 31 παρουσιάζονται οι τρεις αυτοί τύποι.

Το **πυρίτιο τύπου n** (αρνητικός-negative) είναι πυρίτιο που έχει χημικώς συνδυαστεί (με πρόσμιξη) με Φωσφόρο για να το καταστήσει αγωγίμο. Ένα άτομο πυριτίου έχει τέσσερα ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κέλυφος του και συνδέεται στενά με τέσσερα άτομα γύρω από το πυρίτιο δημιουργώντας μια κρυσταλλική δομή με οκτώ ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα. Ωστόσο, ο φωσφόρος έχει πέντε ηλεκτρόνια, και όταν συνδυαστεί, το πέμπτο ηλεκτρόνιο έχουμε «ελεύθερο» ηλεκτρόνιο που κινείται εύκολα μέσα στον κρύσταλλο όταν εφαρμόζεται μια τάση. Επειδή οι φορείς φορτίου είναι ηλεκτρόνια, ο τύπος **n** έχει αρνητικό φορτίο.

Ο **τύπος p** (θετικός-positive) αντίθετα, είναι συνδυασμένος με Βόριο το οποίο το μετατρέπει σε αγωγίμο υλικό που δέχεται εύκολα ηλεκτρόνια όταν εφαρμόζεται τάση. Το βόριο έχει μόνο τρία ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα και μπορεί να δεσμεύεται με μόνο τρία από τα τέσσερα άτομα πυριτίου που το περιβάλλουν. Αυτό αφήνει ένα άτομο πυριτίου με μια κενή θέση στην εξωτερική του στοιβάδα, που χαρακτηρίζεται ως «οπή», που δέχεται εύκολα ένα ηλεκτρόνιο. Απουσία ενός ηλεκτρονίου ο τύπος **p** λέμε πως έχει θετικό φορτίο.

Το φ/β στοιχείο αποτελείται από τη ζώνη σθένους (p-Silicon) και τη ζώνη αγωγιμότητας (n-Silicon) με ενδιάμεσο όπως φαίνεται στην Εικόνα 32. Η πρώτη περιέχει ενεργειακές «οπές», ενώ η δεύτερη τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η ενεργειακή απόσταση που χωρίζει τις δύο ζώνες ονομάζεται ενεργειακό διάκενο (Barrier layer). Δηλαδή, ενεργειακό διάκενο είναι η διαφορά μεταξύ της ενέργειας του λιγότερου ενεργού από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας και του περισσότερο ενεργού από τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους. Κάθε ημιαγωγός έχει διαφορετική τιμή ενεργειακού διακένου. Η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων μεταφράζεται ως δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δημιουργούμενων πόλων, δηλαδή έχουμε μια υποτυπώδη ηλεκτρική γεννήτρια.



Εικόνα 32: Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών

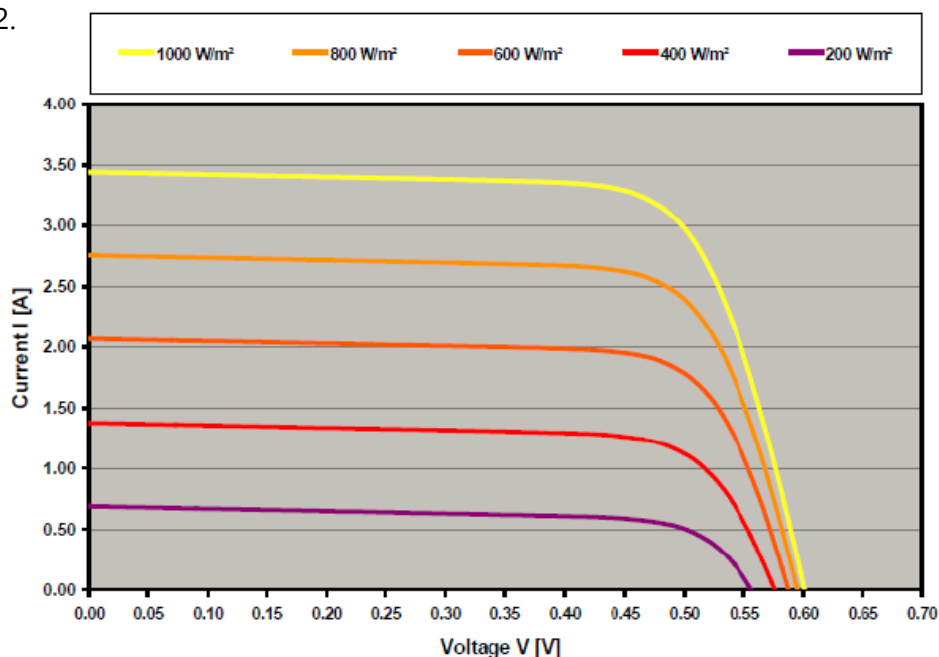
Θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε την φωτοβολταϊκή ηλεκτρική γεννήτρια σαν μια ανεπίστροφη (μιας διεύθυνσης) βαλβίδα ηλεκτρονίων, δια της οποίας τα ηλεκτρόνια μπορούν να διέρχονται μόνο προς την μια κατεύθυνση. Όταν λοιπόν συμβεί κάποιο φωτόνιο να προσκρούσει πάνω σε ηλεκτρόνιο του υλικού, τότε θα του μεταδώσει μέρος της ενέργειάς του, αναγκάζοντάς το να «εκσφενδονιστεί» από την θέση ηρεμίας του. Εάν τώρα, η κατεύθυνση που θα λάβει το «εκσφενδονισμένο» ηλεκτρόνιο συμπέσει με την φορά της βαλβίδας ηλεκτρονίων τότε αυτό θα μετατοπισθεί σε σχέση με την αρχική του θέση και θα παγιδευτεί εκεί αφού η βαλβίδα αποτρέπει την επαναφορά του στην αρχική θέση. Κατόπιν τούτου, διαπιστώνουμε ότι, σε μία «πλευρά» του υλικού (πλευρά παγίδευσης) θα έχουμε περίσσεια ενός ηλεκτρονίου ενώ στην άλλη πλευρά (πλευρά εκσφενδονισμού) θα έχουμε έλλειμμα ενός ηλεκτρονίου, που συνεπάγεται διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού.

Είναι προφανές, πως μόνο ένα μικρό μέρος της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του φ/β στοιχείου μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο του στοιχείου. Η αναλογία μεταξύ των δύο ενεργειών εκφράζεται από το συντελεστή απόδοσης του στοιχείου, ο οποίος εξαρτάται από το είδος του ημιαγωγού κατασκευής. Η μέγιστη θεωρητική τιμή του δεν ξεπερνά το 25% για ενεργειακό διάκενο ίσο με περίπου 1,5eV.

5.1.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων

Ένα φ/β στοιχείο μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο δίνει στην έξοδο του μία τάση και μία ένταση ρεύματος. Όταν οι ακροδέκτες εξόδου του κυκλώματος είναι ανοιχτοκυκλωμένοι, τότε η τάση που εμφανίζεται μεταξύ τους ονομάζεται **τάση ανοιχτοκύκλωσης, Voc**. Αντίθετα, όταν οι ακροδέκτες εξόδου έχουν βραχυκυκλωθεί, η ένταση του ρεύματος στην έξοδο του κυκλώματος ονομάζεται **ρεύμα βραχυκύκλωσης, Isc**. Αυτές οι παράμετροι αποτελούν χαρακτηριστικά μεγέθη για κάθε φ/β στοιχείο.

Η τάση και η ένταση του ρεύματος που παράγεται από ένα φ/β στοιχείο, σχηματίζει μια χαρακτηριστική καμπύλη, η οποία ονομάζεται **καμπύλη I-V**. Η καμπύλη αυτή δείχνει τη συμπεριφορά του φ/β στοιχείου και καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Οι μεταβολές της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές στην καμπύλη I-V. Ο κατασκευαστής υποχρεούται να δίνει επίσης, τη **μέγιστη ισχύ Pp**, που αποδίδει το φ/β στοιχείο όταν στην επιφάνειά του προσπίπτει ακτινοβολία έντασης 1 kW/m^2 και η θερμοκρασία του είναι 25°C . Ενδεικτικά διαγράμματα της καμπύλης I-V ενός φ/β στοιχείου με τις μεταβολές αυτής συναρτήσει των μεταβολών της πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2: Καμπύλη I-V ενός φ/β στοιχείου και μεταβολές αυτής συναρτήσει των μεταβολών της πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας²⁴

Εκτός από τις παραμέτρους Voc και Isc, μια τρίτη σημαντική παράμετρος αξιολόγησης της συμπεριφοράς και της λειτουργίας των φ/β στοιχείων είναι ο **συντελεστής πλήρωσης, FF**. Ο συντελεστής αυτός δίνεται από την εξής Σχέση 8:

²⁴ Μωυσής Δαμιανίδης Μ., Κατσαρός Γ., Τόλης Μ., Στεργιόπουλος Φ., (2011), «Επίδραση έντασης ακτινοβολίας και θερμοκρασίας» στο **Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων**, ΤΕΕ, Θεσσαλονίκη, σελ. 15-16

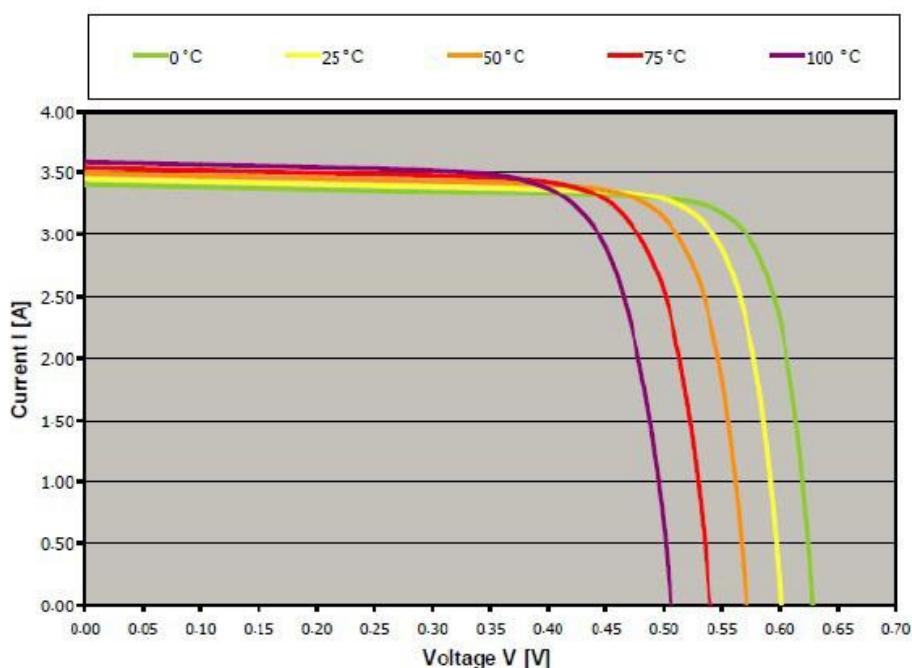
$$FF = (I_m \cdot V_m) / (I_{sc} \cdot V_{oc}) \quad \text{Σχέση (8)}$$

όπου,

$P_m = I_m \cdot V_m$ [W], η μέγιστη παραγόμενη ισχύς του στοιχείου.

Η **μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, P_m** , παράγεται από το στοιχείο όταν λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος της καμπύλης I-V, το οποίο αντιστοιχεί σε **μέγιστη τάση V_m** και **μέγιστη ένταση ρεύματος I_m** . Το σημείο αυτό όμως δεν διατηρείται σταθερό, αλλά μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και των εποχών του έτους, ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όμως, η παραγωγή της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος επιτάσσει τη συνεχή λειτουργία του φ/β στοιχείου στο σημείο μέγιστης ισχύος, κάτι που επιτυγχάνεται με χρήση ειδικών ρυθμιστικών διατάξεων που θα αναλυθούν παρακάτω.

Η λειτουργία ενός φ/β στοιχείου και η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται όμως και από άλλους μεταβλητούς παράγοντες, οι οποίοι είναι η θερμοκρασία, η ρύπανση του στοιχείου και η αντίσταση εξόδου του ισοδύναμου κυκλώματος. Συνεπώς, για να παράγεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς P_m από το στοιχείο κάθε χρονική στιγμή, επιδιώκουμε να λάβουν αυτοί οι παράγοντες ευνοϊκές τιμές. Ενδεικτικά ο τρόπος μεταβολής της καμπύλης I-V σε σχέση με τη θερμοκρασία δίνεται στο Διάγραμμα 3.



Διάγραμμα 3: Καμπύλη I-V ενός φ/β στοιχείου και μεταβολές αυτής συναρτήσει των μεταβολών της θερμοκρασίας²⁵

²⁵ Μωυσής Δαμιανίδης Μ., Κατσαρός Γ., Τόλης Μ., Στεργιόπουλος Φ., (2011), «Επίδραση έντασης ακτινοβολίας και θερμοκρασίας» στο **Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων**, ΤΕΕ, Θεσσαλονίκη, σελ. 15-16

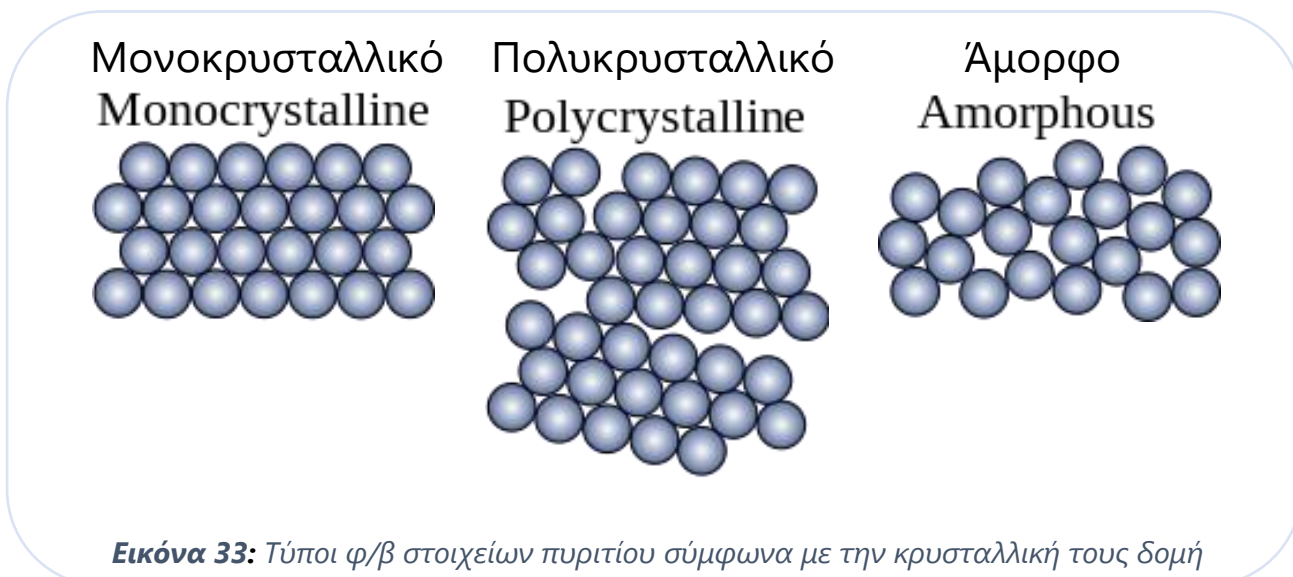
5.1.3 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φ/β στοιχεία (ή κυψέλες ή κύτταρα) είθισται να λαμβάνουν την ονομασία τους από το είδος του ημιαγωγού από το οποίο κατασκευάζονται. Έτσι, έχουμε τους εξής τύπους φ/β στοιχείων:

- Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο
- Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
- Άμορφο πυρίτιο
- Θειούχου χαλκού/θειούχου καδμίου
- Αρσενικούχου γαλλίου
- Δισεληνοϊνδιουχου χαλκού

Από τους παραπάνω τύπους, τα φ/β πυριτίου έχουν κυριαρχήσει εξαιτίας της μακροχρόνιας χρήσης του υλικού αυτού σε διάφορες ηλεκτρονικές εφαρμογές, κάτι που σημαίνει πως υπάρχει όλο το θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο για τη βέλτιστη επεξεργασία του. Επιπλέον, το πυρίτιο είναι από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση, ενώ παρουσιάζει ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες. Τα φ/β στοιχεία πυριτίου έχουν διάρκεια ζωής 20-30 χρόνια.

Ειδικότερα από τους τρεις τύπους φ/β στοιχείων πυριτίου καλύτερη απόδοση και επομένως βέλτιστη επιλογή για εφαρμογές σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις είναι τα φ/β μονοκρυσταλλικού πυριτίου λόγω της υψηλότερης διαύγειας και ικανότητας ανεμπόδιστης διάχυσης του φωτός στην κυψέλη. Έχουν πάχος 0,3mm και συντελεστή απόδοσης που κυμαίνεται μεταξύ 15-18%. Η διαφοροποίηση της δομής τους σε σχέση με τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 33.

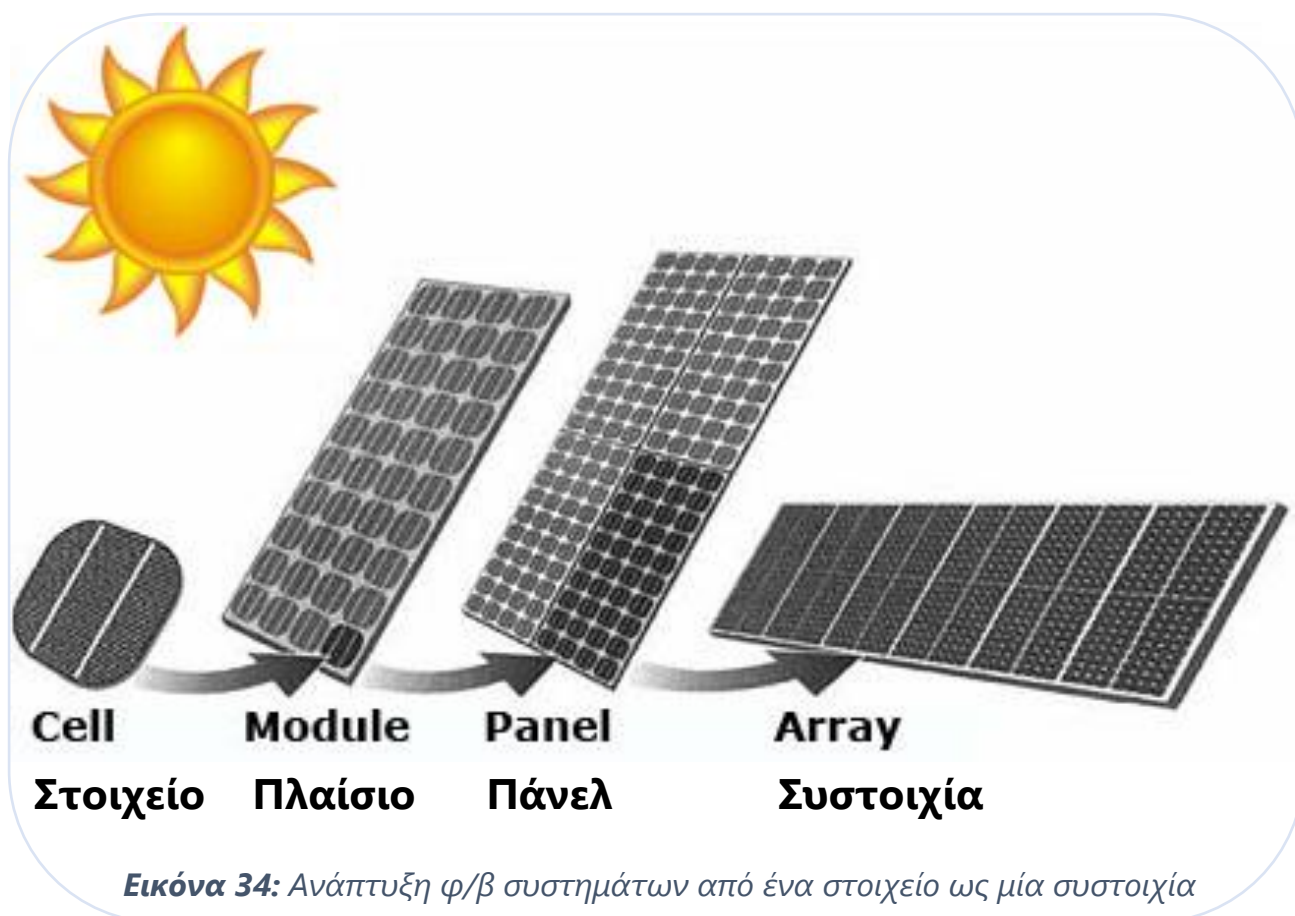


Εικόνα 33: Τύποι φ/β στοιχείων πυριτίου σύμφωνα με την κρυσταλλική τους δομή

5.1.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Ένα φ/β στοιχείο αποδίδει στην έξοδό του συνεχή τάση ίση με 0,45V και ισχύ λίγο μικρότερη από 3W. Είναι σαφές λοιπόν πως ούτε η τάση, ούτε η ισχύς είναι επαρκείς για τις περισσότερες

εφαρμογές. Για αυτό το λόγο, επιβάλλεται η σύνδεση πολλών φ/β στοιχείων ώστε να πάρουμε την τάση και την ισχύ που απαιτούνται για την κάθε εφαρμογή. Στην Εικόνα 34 διακρίνεται η ανάπτυξη των φ/β συστημάτων από ένα στοιχείο ως μία συστοιχία.



Εικόνα 34: Ανάπτυξη φ/β συστημάτων από ένα στοιχείο ως μία συστοιχία

Τα φ/β στοιχεία είναι κατασκευασμένα από ημιαγώγιμο υλικό, συνεπώς διαθέτουν δύο ηλεκτρόδια στην εμπρός και την πίσω όψη τους. Το εμπρός ηλεκτρόδιο έχει τη μορφή ενός αραιού μεταλλικού δικτυωτού πλέγματος, σε σχήμα σχάρας, ώστε να αφήνει ελεύθερο το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας για να δέχεται το φως. Το ηλεκτρόδιο του πίσω τμήματος του στοιχείου συνήθως καλύπτει όλη την επιφάνεια του στοιχείου. Η σύνδεση πολλών φ/β στοιχείων σε σειρά δημιουργεί ένα **φ/β πλαίσιο**, το οποίο μοιάζει εξωτερικά με έναν ηλιακό συλλέκτη.

Συγκεκριμένα, τα φ/β στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Το φ/β πλαίσιο είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο. Ο αριθμός των στοιχείων που περιέχονται στο πλαίσιο καθορίζει τη συνεχή τάση και την ισχύ στην έξοδο του πλαισίου. Ενδεικτική τομή φ/β πλαισίου φαίνεται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35: Ενδεικτική τομή φ/β πλαισίου

Η ισχύς ενός φ/β πλαισίου κυμαίνεται από 20W έως και 310W, ανάλογα με τον αριθμό των φ/β στοιχείων που περιέχονται στο πλαίσιο. Ένας μικρός αριθμός πλαισίων, τα οποία συναρμολογούνται σε ένα μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως αλουμίνιο) και αποτελούν ενιαία κατασκευή, ονομάζεται **φ/β πάνελ**. Επειδή η ισχύς του φ/β πάνελ και ακόμα περισσότερο η ισχύς του φ/β πλαισίου, είναι μικρή για τις απαιτήσεις των περισσότερων εφαρμογών, συνηθίζεται η σύνδεση πολλών φ/β πάνελ εν σειρά ή εν παραλλήλω, με το αποτέλεσμα που προκύπτει να ονομάζεται **φ/β συστοιχία**. Η ισχύς που παρέχει μια φ/β συστοιχία εξαρτάται από τον αριθμό και τον τρόπο σύνδεσης των φ/β πλαισίων της. Το ίδιο ισχύει και για την τάση και την ένταση του ρεύματος στην έξοδό της.

Μία ή περισσότερες φ/β συστοιχίες αποτελούν τη **φ/β γεννήτρια**, η οποία αποτελεί την κύρια πηγή συνεχούς ρεύματος ενός φ/β συστήματος. Το πλήθος των συστοιχιών και επομένως το μέγεθος μιας φ/β γεννήτριας καθορίζεται από τις ενεργειακές ανάγκες που το φ/β σύστημα προορίζεται να καλύψει. Το μέγεθος της φ/β γεννήτριας εκφράζεται από τη **συνολική ονομαστική ισχύ P_p** , η οποία υπολογίζεται από τις επιμέρους ισχύεις των φ/β συστοιχιών. Η P_p μιας φ/β γεννήτριας κυμαίνεται από λίγα Watts έως και λίγα MWatts.

5.1.5 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός φωτοβολταϊκών συστημάτων

Όλα τα φ/β συστήματα είναι εξοπλισμένα με διάφορες συσκευές και ειδικές διατάξεις (συνήθως ηλεκτρονικά ισχύος), οι οποίες εξασφαλίζουν την εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία τους. Η παρουσία της κάθε συσκευής και διάταξης σε ένα φ/β σύστημα εξαρτάται από το είδος του συστήματος. Η ύπαρξη αυτού του εξοπλισμού αυξάνει το αρχικό κόστος του φ/β συστήματος. Ένα φ/β σύστημα μπορεί να έχει κάποια από τα ακόλουθα εξαρτήματα:

▪ **Ηλεκτρικοί συσσωρευτές**

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι συσκευές αποθήκευσης της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κατά τα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία για παραγωγή νέων ποσοτήτων ηλεκτρισμού (νυχτερινές ώρες, ημέρες συννεφιάς) ή κατά τις χρονικές αιχμές της κατανάλωσης οπότε και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών.

Το πλήθος και το μέγεθος των συσσωρευτών εξαρτάται από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που προνοείται να αποθηκευτεί σε αυτούς, η οποία με τη σειρά της καθορίζεται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις, και κυρίως το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς (ημέρες αυτοδυναμίας του συστήματος), τις αιχμές της κατανάλωσης και το βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών πηγών ενέργειας.

Ο συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από την **ονομαστική χωρητικότητα** του, η οποία μετράται σε αμπερώρια (Ah) και από τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής του, η οποία εξαρτάται από το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης και από το βάθος κάθε εκφόρτισης (δηλαδή το ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας που ανακτάται σε κάθε εκφόρτιση). Μικρό βάθος εκφόρτισης αυξάνει τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή, ενώ μικρός ρυθμός εκφόρτισης αυξάνει τη χωρητικότητα του συσσωρευτή, αλλά μειώνει τη διάρκεια ζωής του. Ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του μειωθεί στο 80% της ονομαστικής τιμής της. Επίσης, δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός πως οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2-5% της χωρητικότητάς τους μηνιαίως.

Το πλήθος των συσσωρευτών ενός φ/β συστήματος χωρίζεται σε επιμέρους ανεξάρτητες ομάδες, έτσι ώστε η συνολική χωρητικότητα της διάταξης να μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες, με την πάροδο του χρόνου, συνθήκες και την ενδεχόμενη εξέλιξη της κατανάλωσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των συσσωρευτών.

Υπάρχουν διάφορα είδη συσσωρευτών, ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους. Οι οικονομικότεροι για χρήση σε φ/β συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου, των οποίων η διάρκεια ζωής φτάνει τα 5 χρόνια.

▪ **Βοηθητική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.**

Η βοηθητική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για τη συμπληρωματική κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων ή τη φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών όταν η ενέργεια που παράγει η φ/β γεννήτρια δεν είναι επαρκής. Η βοηθητική πηγή μπορεί να είναι ανανεώσιμης μορφής (συνήθως ανεμογεννήτρια) ή/και συμβατικής μορφής (συνήθως ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ντίζελ).

- **Ελεγκτής φόρτισης ηλεκτρικών συσσωρευτών**

Ελεγκτής φόρτισης ονομάζεται η ηλεκτρονική διάταξη που ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ενός συσσωρευτή και έχει δύο δυνατότητες: α) να απομονώσει το συσσωρευτή από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (φ/β γεννήτρια ή βοηθητική πηγή) σε περίπτωση υπερφόρτισής του και β) να απομονώσει το συσσωρευτή από την κατανάλωση στην περίπτωση υπερεκφόρτισής του (όπως αναφέραμε, η υπερεκφόρτιση ενός συσσωρευτή μειώνει τη διάρκεια ζωής του).

Ο ελεγκτής φόρτισης μπορεί να είναι παράλληλος ή σειράς. Ο πρώτος χρησιμοποιείται σε φ/β συστήματα, όπου η μοναδική πηγή συνεχούς ρεύματος είναι η φ/β γεννήτρια, ενώ ο δεύτερος σε οποιαδήποτε φ/β σύστημα. Η επιλογή του ελεγκτή φόρτισης εξαρτάται από την ονομαστική τάση των συσσωρευτών, το μέγιστο ρεύμα που παράγεται από τη φ/β γεννήτρια και το μέγιστο ρεύμα που απαιτείται για την τροφοδότηση φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα.

- **Μετατροπέας συνεχούς τάσης**

Αυτή η ηλεκτρονική διάταξη μετατρέπει συνεχή τάση σε συνεχή τάση μικρότερης ή μεγαλύτερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, περιορίζοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας από το χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης. Ο μετατροπέας αυτός διαμορφώνει την ασταθή, λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, τάση της φ/β γεννήτριας στην ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και την σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.

- **Ρυθμιστής ισχύος**

Ο ρυθμιστής ισχύος, γνωστός με τη συντομογραφία **MPPT**, είναι μια πολύ σημαντική ηλεκτρονική διάταξη, η οποία εξασφαλίζει τη λειτουργία των φ/β στοιχείων των πλαισίων του συστήματος στο σημείο μέγιστης ισχύος της καμπύλης I-V. Έτσι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φ/β σύστημα είναι η μέγιστη για κάθε χρονική στιγμή.

- **Αντιστροφέας τάσης**

Ο αντιστροφέας τάσης είναι ένας ηλεκτρονικός μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη και χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τη συνεχή τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας ή των ηλεκτρικών συσσωρευτών σε εναλλασσόμενη τάση, εφόσον οι ηλεκτρικές συσκευές ή το ηλεκτρικό δίκτυο που τροφοδοτεί το φ/β σύστημα χρησιμοποιεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Εφόσον το εθνικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η συντριπτική πλειοψηφία των σύγχρονων ηλεκτρικών συσκευών χρησιμοποιούν εναλλασσόμενη τάση, η χρήση του αντιστροφέα τάσης επιβάλλεται σε όλα τα φ/β συστήματα.

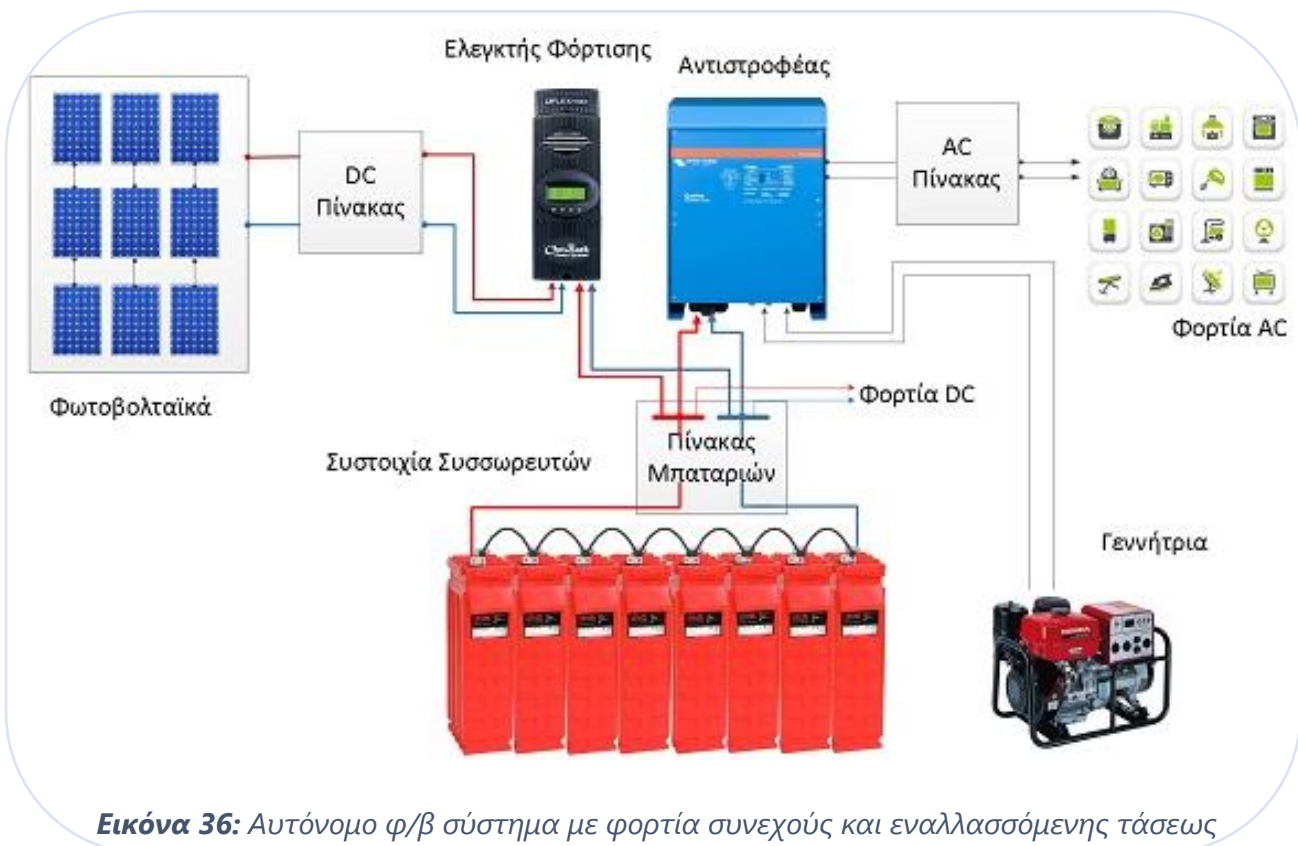
Η ύπαρξη των παραπάνω συσκευών και διατάξεων αυξάνει κατά πολύ το αρχικό κόστος του φ/β συστήματος. Ανάλογα με το είδος του φ/β συστήματος, ένα ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 15-45% επί του συνολικού αρχικού κόστους του συστήματος οφείλεται σε αυτές τις διατάξεις.

5.1.6 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα αυτόνομα συστήματα (Εικόνα 36) λειτουργούν αυτοδύναμα χωρίς να συνδέονται με κάποιο τοπικό ή εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως σκοπό την πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων ενός στρατιωτικού κτιρίου ή μιας ευρύτερης στρατιωτικής εγκατάστασης, αφού δεν υπάρχει η δυνατότητα άντλησης συμπληρωματικής ενέργειας από κάποιο δίκτυο.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα γίνεται αποκλειστικά από τη φ/β γεννήτρια. Ένα αυτόνομο σύστημα σχεδιάζεται οπωσδήποτε με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτοδυναμίας, ώστε να είναι σε θέση να καλύψει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις και στην περίπτωση διαδοχικών ημερών συννεφιάς, περίοδο κατά την οποία θα είναι αδύνατη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η περίοδος αυτοδυναμίας του συστήματος καθορίζει την χωρητικότητα των συσσωρευτών του συστήματος.

Πλην της φ/β γεννήτριας και των συσσωρευτών, ένα αυτόνομο σύστημα περιλαμβάνει μετατροπέα συνεχούς τάσης, ρυθμιστή ισχύος, αντιστροφέα τάσης, ελεγκτή φόρτισης συσσωρευτών και πιθανή βοηθητική πηγή ενέργειας. Επίσης διαθέτει αντιστάσεις για τη διοχέτευση της περίσσειας του ηλεκτρικού ρεύματος προς τη γη, σε περίπτωση που οι συσσωρευτές φορτιστούν πλήρως.



Εικόνα 36: Αυτόνομο φ/β σύστημα με φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσεως

5.1.7 Συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα

Αυτά τα φ/β συστήματα συνδέονται απευθείας με το τοπικό ή εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο, από το οποίο αντλούν ή το οποίο τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια. Είναι προφανές πως στην περίπτωση των συνδεδεμένων στο δίκτυο φ/β συστημάτων, δεν απαιτείται πρόβλεψη ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος, επομένως δεν χρησιμοποιούνται συσσωρευτές, αλλά ούτε και διατάξεις που η ύπαρξη τους στα απομονωμένα συστήματα οφείλονταν στην παρουσία των συσσωρευτών (ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτών και μετατροπέας συνεχούς τάσης). Επιπλέον, δεν χρειάζεται βοηθητική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας αφού το ρόλο αυτό τον αναλαμβάνει το ηλεκτρικό δίκτυο. Αντίθετα, διατηρούνται ο ρυθμιστής ισχύος και ο αντιστροφέας τάσης.

Τα συνδεδεμένα φ/β συστήματα διακρίνονται σε συστήματα κεντρικού σταθμού και σε καταναμημένα συστήματα.

Τα **συστήματα κεντρικού σταθμού**, συνιστούν κεντρικούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται αποκλειστικά στο κεντρικό δίκτυο.

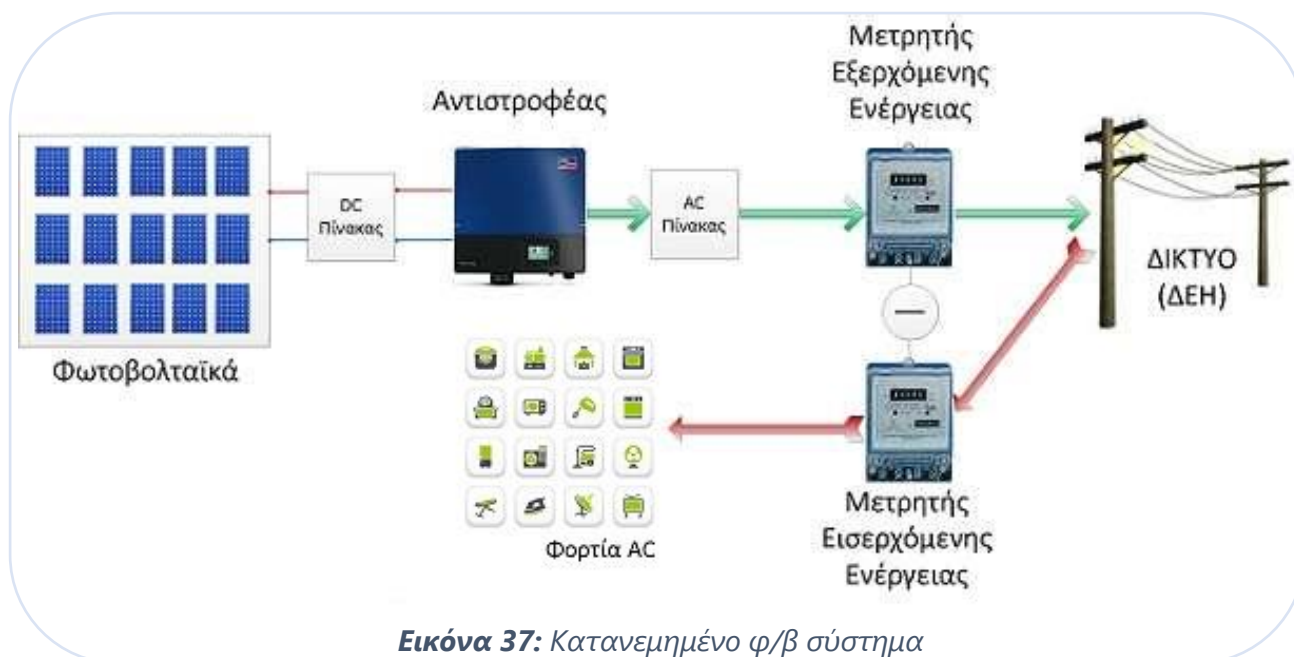
Τα **καταναμημένα συστήματα** διακρίνονται σε εκείνα που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο.

Στα καταναμημένα φ/β συστήματα **με βοηθητική πηγή** το δίκτυο καλύπτει μια έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή κάποια αστοχία του φ/β συστήματος, οπότε ο σχεδιασμός γίνεται έτσι ώστε το σύστημα να καλύπτει κατά μέσο όρο τις μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης.

Στα καταναμημένα φ/β συστήματα **με αμφίδρομη λειτουργία** (Εικόνα 37) σχεδιάζονται έτσι ώστε να καλύπτουν κατά μέσο όρο τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Το δίκτυο συμπληρώνει τις ανάγκες της ηλεκτρικής κατανάλωσης όταν δεν επαρκεί η παραγωγή του φ/β συστήματος, ενώ η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Αυτά τα συστήματα αποτελούν την πιο συνηθισμένη κατηγορία φ/β συστημάτων συνδεδεμένων στο δίκτυο.

Ένα καταναμημένο σύστημα έχει περίπου το μισό κόστος σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο αυτόνομο, καθώς δεν περιέχει τις συσκευές που αναφέραμε παραπάνω, οι οποίες αυξάνουν σημαντικά το κόστος ενός φ/β συστήματος. Όμως, ένα καταναμημένο σύστημα υποχρεούται να διαθέτει ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φ/β συστήματα αποτελούν το συντριπτικό ποσοστό των φ/β συστημάτων, καθώς παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στον εθνικό παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας.



5.1.8 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

Σε ένα στρατιωτικό κτίριο ή μια στρατιωτική βάση που διαθέτει κάποιο φ/β σύστημα, η μέγιστη εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται όταν το φ/β σύστημα παράγει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβεί αυτό είναι η βέλτιστη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας. Από την άποψη αυτή είναι ζωτικής σημασίας η σωστή εγκατάσταση των φ/β πλαισίων, η οποία εγγυάται τη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Σωστή εγκατάσταση επιτυγχάνεται με τη βέλτιστη επιλογή του προσανατολισμού, της κλίσης και του χώρου τοποθέτησης των φ/β πλαισίων.

Η τοποθέτηση των φ/β πλαισίων, όπως και κάθε άλλου συστήματος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, γίνεται με προσανατολισμό προς το νότο. Ο προσανατολισμός εκφράζεται μέσω της αζιμούθιας γωνίας, η οποία για νότιο προσανατολισμό είναι ίση με το μηδέν. Αποκλίσεις από την τιμή αυτή επιτρέπονται, εφόσον ο αυστηρός προσανατολισμός προς νότο δεν είναι δυνατός για διάφορους λόγους (π.χ. λόγω περιορισμών που οφείλονται στο διαθέσιμο χώρο τοποθέτησης των πλαισίων). Βέβαια, μεγάλες τιμές απόκλισης δεν είναι αποδεκτές γιατί τότε η δυνατότητα βελτιστοποίησης έχει δυστυχώς χαθεί.

Η βέλτιστη κλίση των φ/β πλαισίων εξαρτάται αρχικά από την κλίση της επιφάνειας πάνω στην οποία θα εγκατασταθούν τα πλαίσια. Γενικά, συνίσταται η τοποθέτηση των πλαισίων πάνω σε επιφάνειες, των οποίων η κλίση δεν επιβάλλει περιορισμούς στην κλίση των πλαισίων. Έτσι λοιπόν, αν η επιλογή μιας τέτοιας επιφάνειας για την εγκατάσταση των πλαισίων είναι δυνατή, τότε η **βέλτιστη κλίση των πλαισίων, β** , η οποία εξασφαλίζει την πρόσπτωση της μέγιστης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνειά τους, καθορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης και το χρονικό διάστημα λειτουργίας του φ/β συστήματος και λαμβάνει τις εξής τιμές:

$\beta = \varphi$ για ετήσια λειτουργία του φ/β συστήματος

$\beta = \varphi - (10-15)^\circ$ για θερινή λειτουργία του φ/β συστήματος

$\beta = \varphi + (10-15)^\circ$ για χειμερινή λειτουργία του φ/β συστήματος

όπου φ , το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης.

Αυτές οι τιμές βέλτιστης γωνίας κλίσης έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στα πλαίσια να διατηρείται όσο το δυνατόν μικρότερη. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από τη διαπίστωση πως η πυκνότητα ισχύος μιας άμεσης δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη όταν η δέσμη προσπίπτει στην επιφάνεια ενός πλαισίου υπό μηδενική γωνία πρόσπτωσης, δηλαδή όταν η επιφάνεια είναι κάθετη στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Η απορρόφηση περισσότερης πυκνότητας ισχύος από τα πλαίσια οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυστηρά μηδενική γωνία πρόσπτωσης μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση ειδικών μηχανικών διατάξεων, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα συνεχούς επανακαθορισμού της κλίσης των πλαισίων, ώστε να παρακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όμως, η ενσωμάτωση τέτοιων διατάξεων σε ένα φ/β σύστημα είναι δαπανηρή και αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος. Αντί αυτών, προτείνεται η χρήση απλών διατάξεων επανακαθορισμού της κλίσης των πλαισίων δύο με τρεις φορές το χρόνο. Οι διατάξεις αυτές συνδυάζουν τη σημαντική αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος με ένα αρκετά λογικό κόστος²⁶.

Η επιλογή του χώρου εγκατάστασης των φ/β πλαισίων πρέπει να εξασφαλίζει βέλτιστο προσανατολισμό και βέλτιστη κλίση για τα πλαίσια, καθώς και την αποφυγή σκιασμού τους. Ο σκιασμός, είτε μόνιμος, είτε επαναλαμβανόμενος, είναι ανεπιθύμητος επειδή μειώνει δραματικά την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στα πλαίσια. Ειδικότερα, η ύπαρξη σκιασμού κατά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή 09:00 – 15:00, καθιστά ακατάλληλη την πιθανή θέση τοποθέτησης των πλαισίων. Μάλιστα, για να εξασφαλιστεί η μακροχρόνια ομαλή λειτουργία του φ/β συστήματος πρέπει να εξεταστεί και το ενδεχόμενο εμφάνισης σκιασμών λόγω μελλοντικών γεγονότων, όπως είναι η οικοδόμηση γειτονικών χώρων. Σε περίπτωση που ο υπό μελέτη χώρος δεν μπορεί να ικανοποιήσει απόλυτα και τις τρεις προαναφερόμενες επιδιώξεις (προσανατολισμός, κλίση και σκιασμός) εξαιτίας ανταγωνιστικότητας μεταξύ τους, τότε είτε εξετάζεται κάποιος άλλος χώρος, είτε προκρίνεται μια συμβιβαστική λύση. Η εύρεση της βέλτιστης συμβιβαστικής λύσης επιτυγχάνεται μέσω σχετικών υπολογισμών.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε πως μια φ/β εγκατάσταση είναι πετυχημένη όταν η συνολική ετήσια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια των φ/β πλαισίων, δεν αποκλίνει περισσότερο από 10% από τη συνολική μέγιστη ετήσια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο συγκεκριμένος τόπος. Η συνολική μέγιστη ετήσια ποσότητα ηλιακής

²⁶ Πατσιά Χ., 2012, «Υαλοπίνακες» στο **Μελέτη και εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας σε δημόσιους χώρους και σε χώρους παραγωγής**, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Σελ.202-204.

ακτινοβολίας που δέχεται η κάθε περιοχή της χώρας μας, δίνεται από σχετικά στατιστικά στοιχεία, για νότιο προσανατολισμό και κλίση επιπέδου ίση με το γεωγραφικό πλάτος της συγκεκριμένης περιοχής.

Συνήθεις χώροι τοποθέτησης των φ/β πλαισίων είναι τα δώματα, οι κεκλιμένες στέγες, τα στέγαστρα και οι προσόψεις των κτιρίων και το έδαφος. Στην περίπτωση τοποθέτησης των φ/β πλαισίων σε κτίριο, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασής τους σε ένα σύστημα στήριξης ή ενσωμάτωσής τους στο κέλυφος του κτιρίου. Στην περίπτωση που τα πλαίσια τοποθετηθούν στο έδαφος είναι δυνατή, προφανώς, μόνο η πρώτη λύση. Στα στρατιωτικά κτίρια για την προστασίας αποκάλυψης τους από την ανίχνευση των υπέρθερμων πλαισίων από εχθρικά οπτικά μέσα ή όπλα είναι προτιμότερη η τοποθέτηση τους στο έδαφος.

Ένα σύστημα στήριξης οφείλει να εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του φ/β συστήματος και την ασφάλεια των πλαισίων σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών. Τα στηρίγματα έχουν είτε σταθερή κλίση (η οποία έχει καθοριστεί σύμφωνα με όσα αναφέραμε παραπάνω), είτε διαθέτουν αυτοματισμούς, οι οποίοι μεταβάλλουν την κλίση δύο ή περισσότερες φορές το χρόνο. Συνήθως, προβλέπονται δύο τιμές για την κλίση των στηριγμάτων (θερινή και χειμερινή κλίση).

Μια εξαιρετική τεχνική αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ένα φ/β σύστημα περιλαμβάνει την τοποθέτηση μιας μεγάλης λευκής επιφάνειας κάτω από τη διάταξη στήριξης, ώστε αυτή να υποδέχεται και ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω της, με κατεύθυνση τα φ/β πλαίσια. Με τον τρόπο αυτό η ηλιακή ενέργεια που απορροφούν τα πλαίσια αυξάνεται δραματικά και επιφέρει αύξηση κατά 50% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Βέβαια, μια τέτοια τεχνική εγκατάστασης προϋποθέτει τη διαμόρφωση της πίσω όψευς των φ/β στοιχείων με τρόπο ανάλογο της έμπροσθεν όψευς.

5.1.9 Στρατιωτικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών

Η αυτονομία αλλά κυρίως η ασφάλεια του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας των στρατιωτικών εγκαταστάσεων αποτελεί υψηλή προτεραιότητα στον ενεργειακό σχεδιασμό πολλών κρατών και ιδιαίτερα των ΗΠΑ, καθώς ο στρατός των ΗΠΑ αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Η εθνική ασφάλεια των ΗΠΑ απαιτεί οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις να έχουν ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και κατά τη διάρκεια μακροχρόνιας διακοπής για άλλα μέρη της κοινωνίας ή της χώρας²⁷.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού η κυβέρνηση των ΗΠΑ θεωρεί την ανάπτυξη φ/β συστημάτων ως την καλύτερη λύση επειδή είναι εύκολο να συντηρηθούν, μπορούν να τοποθετηθούν σχεδόν οπουδήποτε και δεν χρειάζεται να ανεφοδιαστούν με καύσιμα. Έτσι από τις αρχές του 2013, υπάρχουν περισσότερα από 130 MW φ/β συστημάτων που τροφοδοτούν βάσεις

²⁷ Pearce M.J. (2017). **How solar power can protect the US military from threats to the electric grid**, The Conversation. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/CXybg4>, [10 Απριλίου 2018]

Ναυτικού, Στρατού Ξηράς και Πολεμικής Αεροπορίας σε τουλάχιστον 31 πολιτείες, με στόχο τα 3 GW μέχρι το 2025. Σε επίπεδο σχεδιασμού σκοπός του στρατού των ΗΠΑ είναι να καλυφθούν πλήρως οι ενεργειακές απαιτήσεις των 17 GW στο εσωτερικό αλλά και των βάσεων στο εξωτερικό φθάνοντας σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα συνολικά στα 20 GW.

Σε πρόσφατη μελέτη²⁸ αποκαλύπτονται οι τρεις τρόποι με τους οποίους απειλούνται τα εθνικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας των αμερικανικών στρατιωτικών βάσεων και παρουσιάζεται πως ο αμερικανικός στρατός θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί την ηλιακή ενέργεια για να βελτιώσει σημαντικά την εθνική ασφάλεια.

Ειδικότερα, ο πρώτος τύπος απειλής είναι οι παραδοσιακές πράξεις δολιοφθοράς από εχθρικό στρατό καθώς και βομβιστικές επιθέσεις τρομοκρατών. Για παράδειγμα, μια επίθεση ελεύθερου σκοπευτή το 2013 σε υποσταθμό ηλεκτρικού ρεύματος στην Καλιφόρνια απενεργοποίησε 17 μετασχηματιστές που τροφοδοτούν την Silicon Valley. Ο δολιοφθορέας πυροβόλησε με περίπου 100 σφαίρες στα θερμαντικά σώματα 17 μετασχηματιστών ηλεκτρικής ενέργειας σε μόλις 19 λεπτά προκαλώντας ζημιά που απαίτησε χρόνο αποκατάστασης 27 ημερών με κόστος 100 εκ. \$.

Η δεύτερη απειλή είναι από τον κυβερνοχώρο. Το 2012, το Υπουργείο Εσωτερικής Ασφάλειας των ΗΠΑ ανταποκρίθηκε σε περίπου 200 περιστατικά επιθέσεων στον κυβερνοχώρο σε τομείς κρίσιμων υποδομών, από τις οποίες σχεδόν οι μισές αφορούσαν στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Μια μεγάλη παραβίαση του ηλεκτρικού συστήματος θα μπορούσε να κοστίσει στις ΗΠΑ έως και 1 τρισεκατομμύριο δολάρια.

Τέλος, η τρίτη απειλή για το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο προέρχεται από τη φύση. Οι καταστροφές λόγω έντονων καιρικών φαινομένων προκαλούν κάθε χρόνο σημαντικές διακοπές ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνολικά, τα πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρουν τα φ/β στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις είναι τα εξής:

- Το κόστος της παραγόμενης ενέργειας εξαρτάται μόνο από το κόστος της αρχικής επένδυσης, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μηδαμινό.
- Τα φ/β συστήματα σχεδιάζονται συνήθως με γνώμονα τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στον τόπο που χρησιμοποιείται, κάτι που συνεπάγεται αποφυγή των ηλεκτρικών απωλειών μεταφοράς και διανομής.
- Η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, βοηθώντας έτσι στην κάλυψη των αιχμών φορτίου.

²⁸ Prehoda E. W., Schelly C., Pearce J. M., 2017, **U.S. strategic solar photovoltaic-powered microgrid deployment for enhanced national security**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 78, October 2017, Pages 167-175

- Μπορούν να εγκατασταθούν αυτόνομα συστήματα σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις π.χ. σε φυλάκια, νησίδες και στρατιωτικές βάσεις στο εξωτερικό (Εικόνα 38) που δεν υποστηρίζονται από εθνικά ηλεκτρικά δίκτυα.
- Νέες τεχνολογίες είναι δυνατόν να λειτουργούν και ως ηλιακοί συλλέκτες παραγωγής ζεστού νερού.
- Είναι δυνατή η επέκταση του συστήματος ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις.
- Τα φ/β στοιχεία έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (20-30 χρόνια). Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα μέρη ενός φ/β συστήματος, πλην των συσσωρευτών.
- Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη.
- Η λειτουργία τους προκαλεί μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση.

Μειονεκτήματα μπορούν να θεωρηθούν:

- Υπάρχει απαίτηση σχετικά μεγάλων επιφανειών για την παραγωγή μιας αξιόλογης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που όμως χρόνο με το χρόνο βελτιώνεται καθώς βελτιώνονται τεχνολογικά και οι αποδόσεις των φ/β στοιχείων.
- Τα φ/β συστήματα έχουν αυξημένο θερμικό ίχνος με αποτέλεσμα την εύκολη παρατήρηση με μέσα υπέρυθρης απεικόνισης. Για το λόγο αυτό προτείνεται η εγκατάστασή τους σε υπαίθριο χώρο και όχι επί των κτιριακών εγκαταστάσεων (δώματα ή στέγες).



Εικόνα 38: Τοποθέτηση φ/β συστήματος στη βάση Πέντλετον των ΗΠΑ

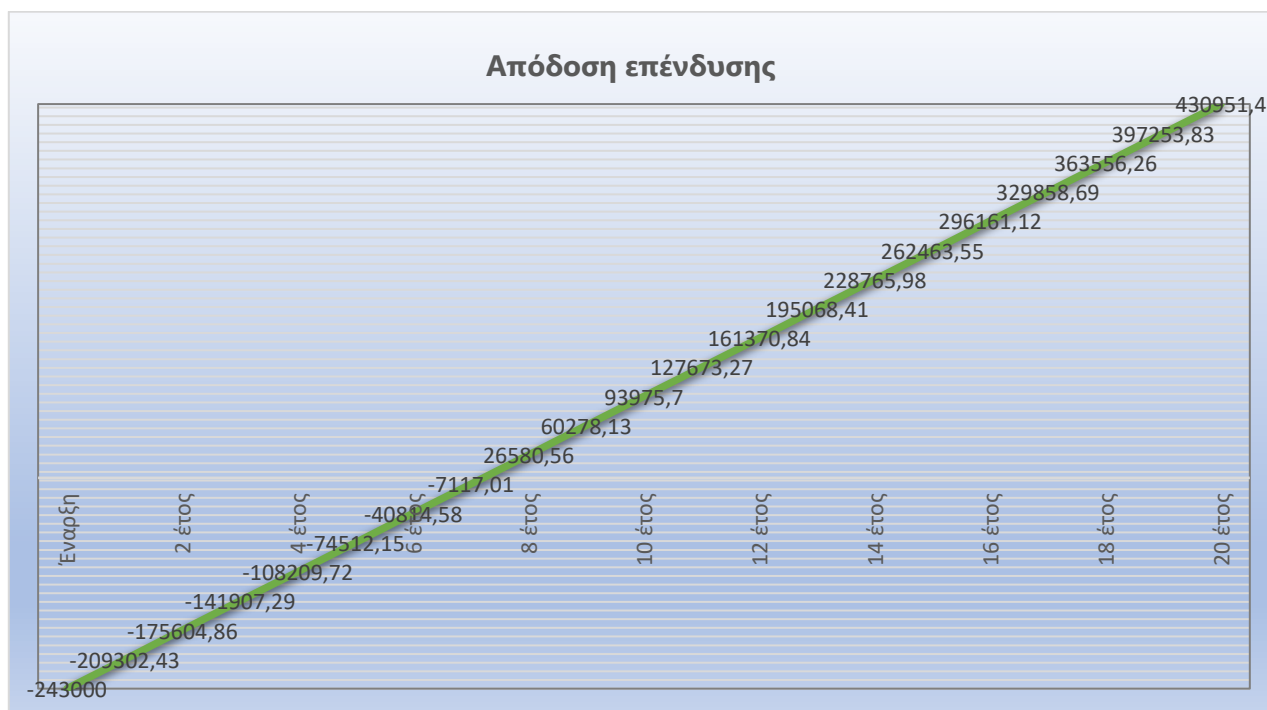
Πρόσφατη μελέτη²⁹ που αφορά εγκατάσταση φ/β συστημάτων σε στρατόπεδο της Πολεμικής Αεροπορίας στο οποίο στεγάζεται το εργοστάσιο της διακλαδικής Υπηρεσίας Διακριβώσεων (ΥΠΗΔ) των Ε.Δ., επιβεβαιώνει την υψηλή αποδοτικότητα των ενεργειακών αναβαθμίσεων με φ/β

²⁹ Ξυνογαλάς Δ. Ε. (2017). **Εναλλακτικές μορφές ενέργειας και εφαρμογή τους σε εγκαταστάσεις της πολεμικής αεροπορίας**. Πανεπιστήμιο Πειραιά. Διαθέσιμο στο <https://goo.gl/XKdBsj>, [10 Απριλίου 2018]

συστήματα στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Το εργοστάσιο εδρεύει στο Στρατόπεδο Αερονομίας στην περιοχή Κουταλά του Δήμου Βύρωνα Αττικής και αποτελείται από ένα ενιαίο κτήριο, το οποίο περιλαμβάνει εργαστήρια διακρίβωσης, γραφεία, χώρους αποθήκευσης και κοινόχρηστους χώρους. Το εργοστάσιο δεν αποτελεί τη μοναδική δραστηριότητα του στρατοπέδου. Εντούτοις, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καταγράφεται από ένα μοναδικό μετρητή.

Σύμφωνα με τη μελέτη, η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το στρατόπεδο κυμάνθηκε μεσοσταθμικά για τα έτη 2013-2015 στα 449.624 kWh/έτος. Για τις ανάγκες της μελέτης και δεδομένου ότι στο εργαστήριο χρησιμοποιούνται πολλές ηλεκτρονικές συσκευές οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας του στρατοπέδου εκτιμήθηκαν σε 300.000 kWh ετησίως. Από την ανάλυση της μελέτης προκύπτει ότι από την εγκατάσταση 200 kWp σταθερών πλαισίων με συλλέκτες κρυσταλλικού πυριτίου δύνανται να παραχθούν 308.600 kWh ετησίως. Λαμβάνοντας υπόψη την μείωση της απόδοσης των φ/β στην πάροδο των ετών, υπολογίζεται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης για τα επόμενα 20 έτη θα είναι με ετήσιο μέσο όρο 225.192,89 kWh (**75% των ετήσιων αναγκών**). Με τιμή χρέωσης της κιλοβατώρας του βιομηχανικού τιμολογίου Γ22 στα 0,12456 €/kWh (κατά το 2017) προκύπτει ετήσια μέση εξοικονόμηση χρημάτων της τάξης των 34.997,57 €.

Με κόστος επένδυσης (243.000 €) και το ετήσιο κόστος ασφάλισης/συντήρησης (1.300 €/έτος), **υπολογίστηκε (Διάγραμμα 4) επιπρόσθετα από τα στοιχεία της μελέτης ότι:** η απόσβεση της επένδυσης αναμένεται στα **7,2 έτη** λειτουργίας της εγκατάστασης, το καθαρό οικονομικό όφελος σε βάθος 20ετίας θα ανέλθει στα **430.951,40 €** και συνεπώς η απόδοση της επένδυσης θα είναι **13,9 %**.



Διάγραμμα 4: Απόδοση της επένδυσης φ/β σε βάθος 20ετίας

5.2 Θέρμανση/ψύξη & παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με αντλία θερμότητας

Σημαντική παράμετρος στην ενεργειακή αναβάθμιση των στρατιωτικών εγκαταστάσεων αποτελούν οι τεχνολογίες που αφορούν τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Νέα συστήματα που κατατάσσονται στις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι αντλίες θερμότητας καθώς αντλούν τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας που απαιτούν από το περιβάλλον.

Ως γνωστό η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων. Ο όρος λοιπόν **αντλία θερμότητας** αναφέρεται σε συσκευές που επιβάλλουν στη θερμική ενέργεια να ρέει με φορά αντίθετη προς τη φυσική, κάτι που επιτυγχάνεται με πρόσδοση μηχανικού έργου με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, που ενδεχομένως μπορεί να προέρχεται και από φ/β συστήματα. Η δυνατότητά της αυτή, να «αντλεί» δηλαδή ποσό θερμότητας από ένα χώρο χαμηλού θερμοκρασιακού επιπέδου προς ένα χώρο υψηλότερου θερμοκρασιακού επιπέδου, είναι που της προσδίδει και την ονομασία της. Η αντλία θερμότητας είναι ουσιαστικά μια ψυκτική μηχανή που μπορεί, στη γενική περίπτωση, να ψύξει και με αντιστροφή της λειτουργίας της να θερμάνει ένα χώρο. Η διπλή αυτή λειτουργία έχει να κάνει με τον ορισμό, κάθε φορά από τον χρήστη, του υψηλού και του χαμηλού θερμοκρασιακού χώρου. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι απαιτήσεις του χρήστη είναι η θέρμανση ενός χώρου σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος, τότε ως χώρος υψηλής θερμοκρασίας ορίζεται ο θερμαινόμενος χώρος και ως χώρος χαμηλής θερμοκρασίας το περιβάλλον. Έτσι, η αντλία θερμότητας μεταφέρει θερμότητα από το περιβάλλον στο θερμαινόμενο χώρο. Το αντίστροφο συμβαίνει στην περίπτωση της ψύξης ενός χώρου. Ο χώρος χαμηλής θερμοκρασίας είναι πλέον ο ψυχόμενος χώρος ενώ ως χώρος υψηλής θερμοκρασίας ορίζεται το περιβάλλον.

Οι αντλίες θερμότητας απορροφούν περίπου το 75-80 % της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη από το περιβάλλον. Το υπόλοιπο 20-25 % το παίρνουμε με την μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας που ενδεχομένως μπορεί να προέρχεται και από φ/β συστήματα. Μπορούν με ευκολία να αντικαταστήσουν τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης με ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, μαζούτ, κ.α.) χωρίς ιδιαίτερες παρεμβάσεις σε ένα υφιστάμενο δίκτυο και να παρέχουν και ζεστό νερό χρήσης. Σε νέες εγκαταστάσεις εκτός από θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης, μπορούν να προσφέρουν και ψύξη αντικαθιστώντας τα καλοριφέρ με μονάδες ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil units).

5.2.1 Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας

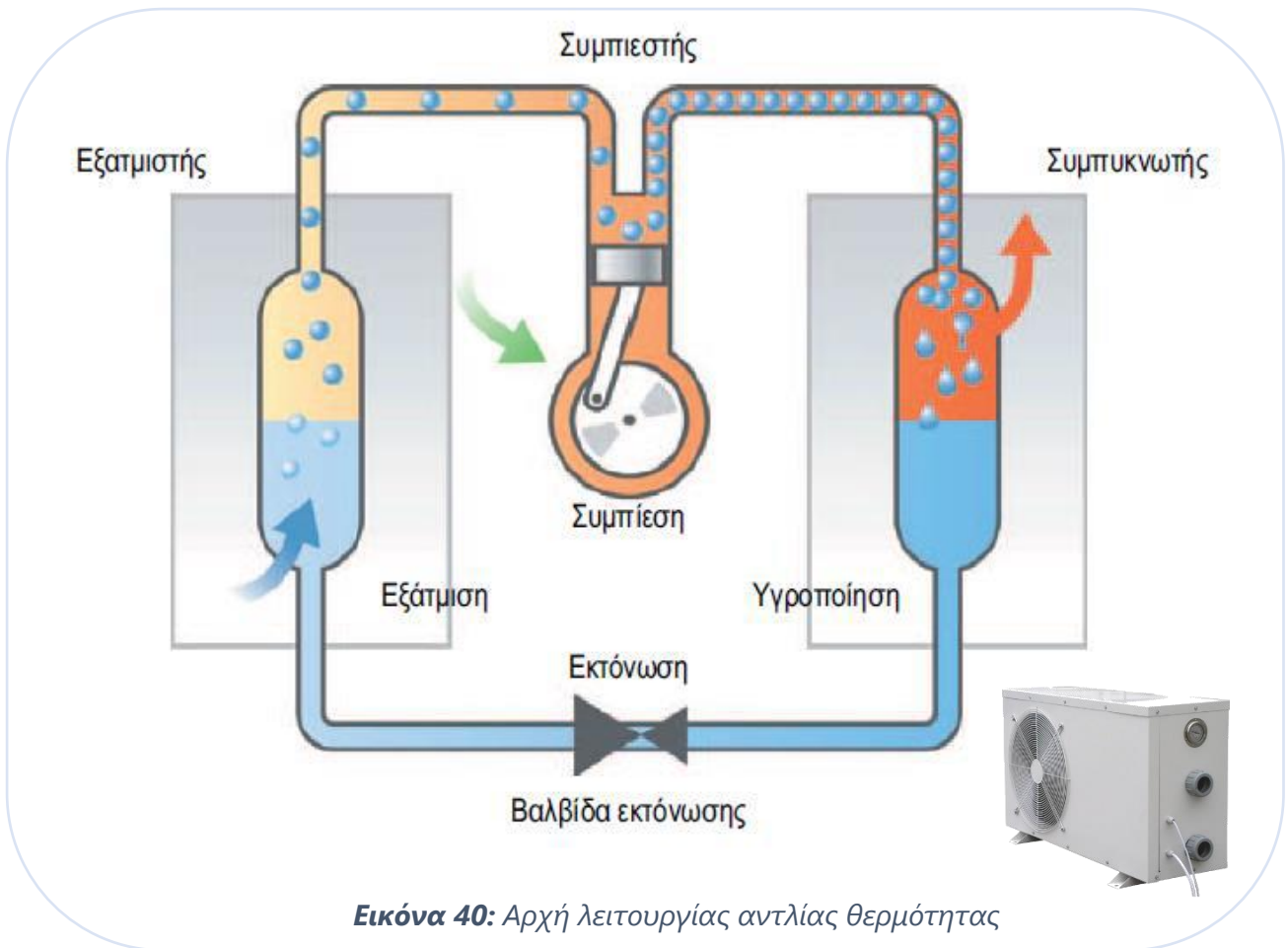
Η αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που στην ουσία δεν παράγει θερμική ενέργεια, παρά μόνο τη μεταφέρει. Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας. Ένας **εναλλάκτης θερμότητας** είναι μια συσκευή που αποτελείται από ένα πυκνό δίκτυο σωληνώσεων (Εικόνα 39) που διευκολύνει την μετάδοση του θερμικού φορτίου από ένα ρευστό Β π.χ. αέρας του περιβάλλοντος, σε ένα άλλο ρευστό Α π.χ. στο ψυκτικό υγρό που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες.



Εικόνα 39: Απεικόνιση λειτουργίας εναλλάκτη θερμότητας αέρος-υγρού

Η άντληση θερμότητας επιτυγχάνεται με έναν κύκλο συμπίκνωσης και εξάτμισης του ψυκτικού υγρού (Εικόνα 40). Τα κύρια εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας είναι:

- **Ο εξατμιστής:** είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο μέσον από το οποίο θέλουμε να αντλήσουμε θερμότητα (π.χ. αέρας εξωτερικού περιβάλλοντος). Ο εξατμιστής διαρρέεται από το ψυκτικό υγρό με χαμηλή πίεση και χαμηλή θερμοκρασία. Εδώ το ψυκτικό μέσο παραλαμβάνει θερμότητα και συγχρόνως εξατμίζεται. Αυτό προϋποθέτει, ότι η θερμοκρασία της πηγής της θερμότητας (π.χ. αέρας εξωτερικού περιβάλλοντος) είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, επειδή διαφορετικά δε θα μπορούσε να μεταδοθεί θερμότητα.
- **Ο συμπιεστής:** σκοπός του είναι να αναρροφήσει το εξατμισμένο ψυκτικό υγρό από τον εξατμιστή και να το φέρει σε ένα υψηλότερο επίπεδο πίεσης και θερμοκρασίας. Γι' αυτό χρειάζεται ο συμπιεστής κινητήρια ενέργεια, για να μπορεί να προσφέρει την απαιτούμενη ισχύ συμπίεσης. Αυτή η κινητήρια ενέργεια εξασφαλίζεται από το ηλεκτρικό ρεύμα από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο ή από φ/β συστήματα.
- **Ο συμπυκνωτής:** Ο υπέρθερος ατμός του ψυκτικού υγρού ρέει μετά το συμπιεστή στο συμπυκνωτή. Είναι και αυτός ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε ή στο μέσον (π.χ. νερό του κυκλωματος του καλοριφέρ) στο οποίο απορρίπτουμε τη θερμότητα. Μέσα στον συμπυκνωτή, οι θερμοί ατμοί του ψυκτικού υγρού αρχικά ψύχονται μέχρι μια ορισμένη θερμοκρασία και στη συνέχεια συμπυκνώνονται, αποβάλλοντας θερμότητα.
- **Η βαλβίδα εκτόνωσης:** σκοπός της είναι να μειώσει ξανά την υψηλή πίεση που δημιούργησε ο συμπιεστής, ώστε να πέσει η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού κάτω από τη θερμοκρασία της πηγής θερμότητας, για να μπορεί να αρχίσει ο κύκλος από την αρχή. Επιπλέον η βαλβίδα εκτόνωσης σκοπό έχει, να προσάγει στον εξατμιστή τόσο ψυκτικό υγρό, όσο χρειάζεται να ατμοποιηθεί σε αυτόν.



Εικόνα 40: Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Κατά συνέπεια μία αντλία θερμότητας δε χρειάζεται παρά μόνο μία πηγή θερμότητας (π.χ. τον αέρα του περιβάλλοντος), δύο εναλλάκτες θερμότητας (έναν για απορρόφηση και έναν για την έκλυση θερμότητας) και μία σχετικά μικρή ποσότητα κινητικής ενέργειας (ηλεκτρισμός) για να συνεχίζει το σύστημα τη λειτουργία του. Η Εικόνα 41 παρουσιάζει μια απλοποιημένη μορφή του τρόπου λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας κατά την θέρμανση.

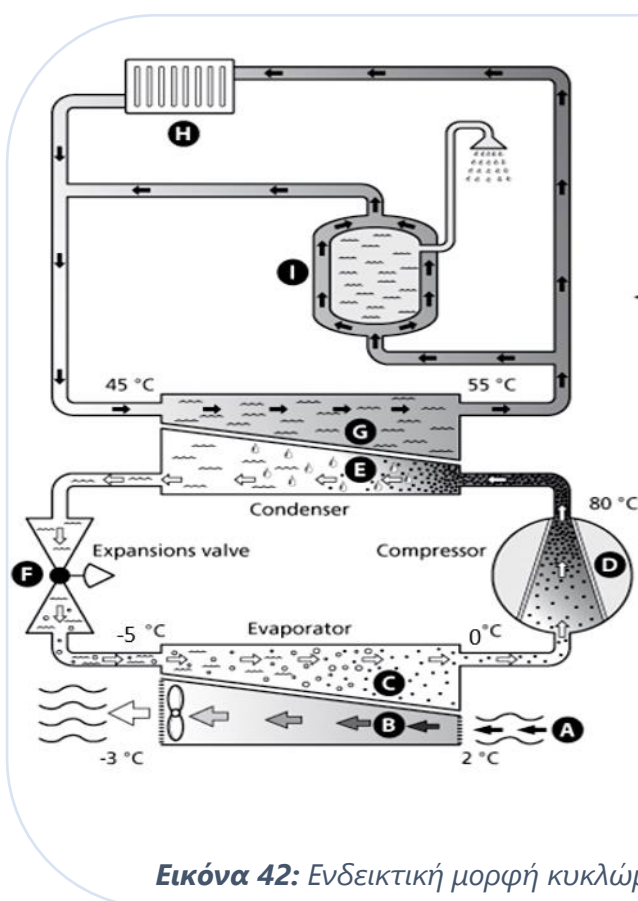


Εικόνα 41: Απλοποιημένη αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας

5.2.2 Είδη αντλιών θερμότητας

Η αρχή λειτουργίας όλων των αντλιών θερμότητας είναι ίδια. Ανάλογα όμως με την επιλογή της πηγής «άντλησης» ενέργειας και το μέσο απόδοσης της ενέργειας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

α. Αντλίες Θερμότητας αέρος - νερού: Οι αντλίες αέρος - νερού εκμεταλλεύονται για την «άντληση» ενέργειας τον περιβάλλοντα αέρα. Το θερμικό μέσο απόδοσης ενέργειας αυτού του τύπου αντλίας είναι συνήθως το νερό που μπορεί κυκλοφορεί στο δίκτυο θέρμανσης (καλοριφέρ, μονάδα ανεμιστήρα στοιχείου) ή σε κάποιον εναλλάκτη στον αποταμιευτήρα ζεστού νερού χρήσης (μπόιλερ). Είναι ιδανικός για τις στρατιωτικές εγκαταστάσεις λόγω της υψηλής απόδοσης και της εύκολης τοποθέτησης. Λειτουργούν αποτελεσματικά τόσο σε υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες όσο και σε θερμοκρασίες μέχρι $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ενδεικτική μορφή κυκλώματος θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης με αντλία θερμότητας αέρος-νερού παρουσιάζεται στην Εικόνα 42.



A/B/C: Το ψυκτικό μέσο θερμαίνεται στον εξατμιστή με την βοήθεια του ανεμιστήρα.

D: Το ψυκτικό μέσο συμπιέζεται στον συμπιεστή και η πίεση και η θερμοκρασία του ανεβαίνει.

E/G: Θερμοί ατμοί εισέρχονται στον συμπυκνωτή υγροποιούνται και δίνουν την θερμότητά τους στο κύκλωμα θέρμανσης.

H: Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα θέρμανσης μέσω των σωμάτων

I: Οι θερμοί ατμοί ζεσταίνουν το νερό στον αποταμιευτήρα ζεστού νερού χρήσης.

F: Στην εκτονωτική βαλβίδα η πίεση και η θερμοκρασία του ψυκτικού πέφτει.

Εικόνα 42: Ενδεικτική μορφή κυκλώματος αντλίας θερμότητας αέρος-νερού

β. Αντλίες Θερμότητας αέρος - αέρος: Οι αντλίες αέρος - αέρος έχουν και ως πηγή «άντλησης» ενέργειας αλλά και ως μέσο απόδοσης της ενέργειας τον αέρα. Είναι τα γνωστά κλιματιστικά (air conditions). Η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη αυτής των αντλιών αέρος-νερού και επιπρόσθετα δεν μπορούν να αντικαταστήσουν υφιστάμενες εγκαταστάσεις θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με συμβατικά καύσιμα.

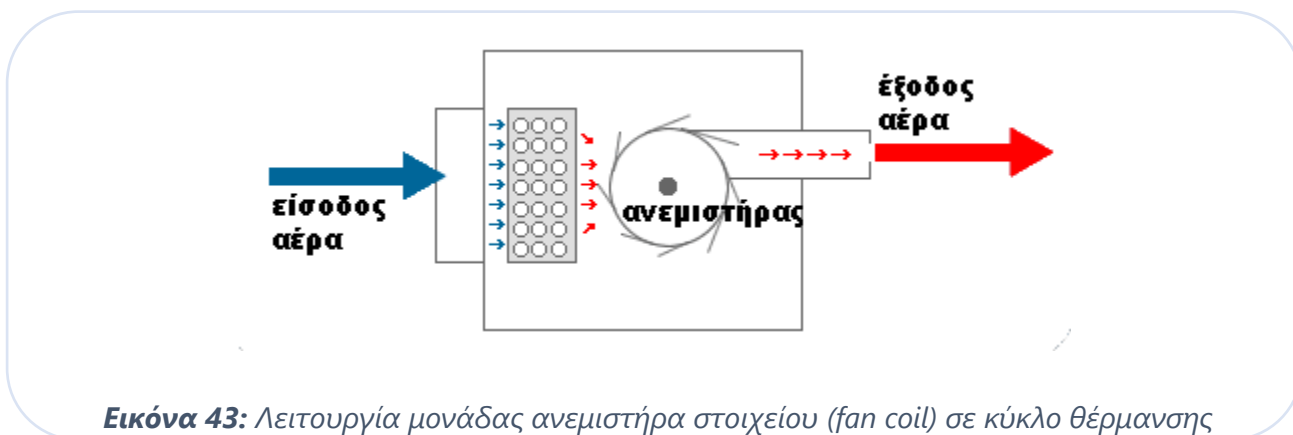
γ. Αντλίες θερμότητας νερού - νερού (γεωθερμική αντλία): Στην κατηγορία αυτή η πηγή «άντλησης» ενέργειας προέρχεται από το έδαφος με οριζόντιους ή κάθετους εναλλάκτες οι οποίοι μεταφέρουν την (θερμική) ενέργεια του υπεδάφους στην αντλία. Το θερμικό μέσο απόδοσης ενέργειας είναι και εδώ το νερό όπως και στην αέρος - νερού. Αν και έχουν ικανοποιητική απόδοση το υψηλό κόστος λόγω εκτενών παρεμβάσεων (εκσκαφή και τοποθέτηση δικτύου σωληνώσεων στο υπέδαφος) δεν ευνοούν την αντικατάσταση υφιστάμενων εγκαταστάσεων θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με συμβατικά καύσιμα σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

Παρακάτω εξετάζεται η εφαρμογή σε στρατιωτικές κτιριακές εγκαταστάσεις των αντλιών θερμότητας αέρος – νερού.

5.2.3 Κύκλος θέρμανσης

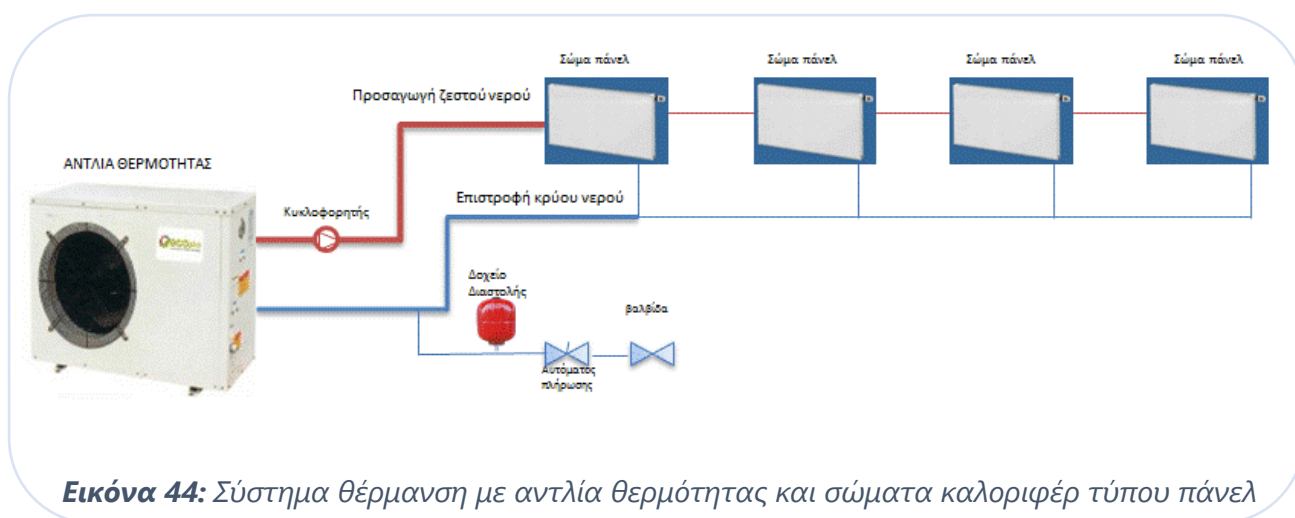
Μια αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας «αντιστρέφει» τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί «ψυκτικό κύκλο» το καλοκαίρι ή «θερμαντικό» τον χειμώνα. Το μόνο όμως που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με τον ρόλο του εξατμιστή. Η αντλία θερμότητας με τη χρήση μιας ειδικής άεργης εκτονωτικής -στραγγαλιστικής διάταξης (βαλβίδας) αντιστρέφει την ροή του ψυκτικού υγρού διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου, για την συμπίεση των ατμών του ψυκτικού υγρού.

Σε έναν κύκλο θέρμανσης τον χειμώνα, η αντλία θερμότητας αέρος-νερού απορροφά θερμική ενέργεια από το περιβάλλον που είναι ο εξωτερικός αέρας. Καθώς το ψυκτικό υγρό λειτουργίας διέρχεται από τον εξατμιστή και απορροφά θερμότητα από τον αέρα, μετατρέπεται σε αέριο. Εδώ έρχεται να παίξει το ρόλο του ο συμπιεστής, η καρδιά δηλαδή του συστήματος. Όταν συμπιέζεται ένα αέριο, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Στον συμπυκνωτή καθώς το υπέρθερμο αέριο συμπυκνώνεται εκλύει θερμότητα, η οποία με τη σειρά της ζεσταίνει το κυκλοφορούν νερό στα καλοριφέρ ή τις μονάδες ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil). Τα καλοριφέρ στη συνέχεια αποδίδουν τη θερμότητα στο εσωτερικό του κτιρίου ή στις μονάδες ανεμιστήρα στοιχείου (Εικόνα 43), προσάγουν βιαίως τον ψυχρό αέρα του δωματίου να περάσει μέσα από ένα θερμό εναλλάκτη νερού και τελικά να αποδοθεί ο αέρας θερμός στο το εσωτερικού του κτιρίου.



Εικόνα 43: Λειτουργία μονάδας ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil) σε κύκλο θέρμανσης

Σε μια υφιστάμενη στρατιωτική εγκατάσταση που λειτουργεί ένα συμβατικό σύστημα πετρελαίου θέρμανσης με σώματα καλοριφέρ τύπου πάνελ η αντικατάσταση με αντλία θερμότητας αέρος-νερού είναι πολύ απλή και απεικονίζεται στην Εικόνα 44.

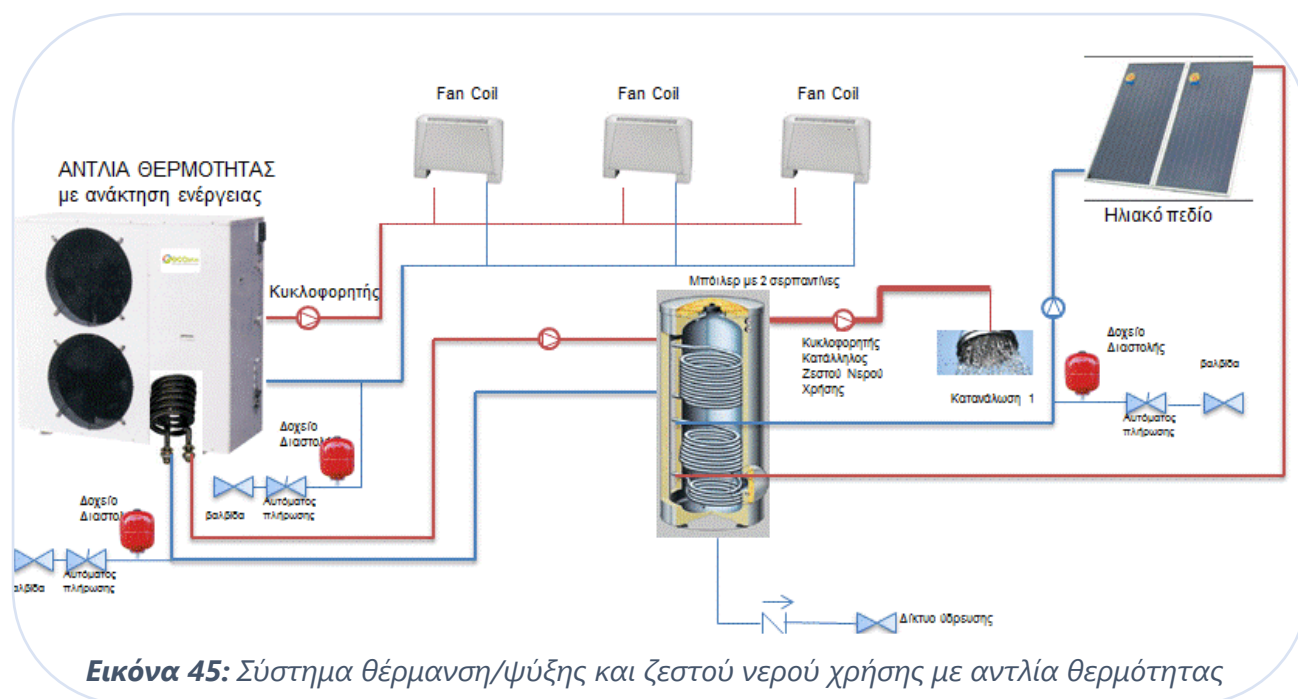


5.2.4 Κύκλος ψύξης

Στον κύκλο ψύξης αντιστρέφεται ο ρόλος των δύο εναλλακτών του συμπυκνωτή και του εξατμιστή με ειδική άεργη εκτονωτική-στραγγαλιστική διάταξη (βαλβίδα). Η διάταξη αυτή ελαττώνει την πίεση του ψυκτικού υγρού, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την ατμοποίηση, ποσά θερμότητας από το κυκλοφορούν νερό στις μονάδες ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil) προσδίδονται στο αέριο και το νερό ψύχεται. Το κρύο νερό που κυκλοφορεί στον εναλλάκτη της τοπικής κλιματιστικής μονάδας τώρα πλέον ψύχει τον θερμό αέρα του δωματίου που με βία προσάγει ο ανεμιστήρας πάνω σε αυτόν.

Σε υφιστάμενες στρατιωτικές εγκαταστάσεις αντλίες θερμότητας που λειτουργούν για θέρμανση και ψύξη είναι δύσκολο να αντικαταστήσουν συμβατικά συστήματα πετρελαίου θέρμανσης, καθώς παράλληλα με την αντικατάσταση των σωμάτων καλοριφέρ τύπου πάνελ με μονάδες ανεμιστήρα στοιχείου (fan coil) απαιτείται και η δημιουργία υδραυλικού δικτύου με ισχυρή θερμομόνωση που περιβάλλει τις σωληνώσεις του νερού και δίκτυο αποχέτευσης συμπυκνωμάτων. Αντίθετα είναι ιδανική λύση για νέες στρατιωτικές κτιριακές εγκαταστάσεις όπου το υδραυλικό δίκτυο μπορεί να προβλεφθεί εξ αρχής.

Τέλος, τόσο στα συστήματα αντλιών θερμότητας μόνο για θέρμανση, όπως και στα συστήματα αντλιών θερμότητας για θέρμανση και ψύξη, μπορεί να τοποθετηθεί αποταμιεύτριας ζεστού νερού χρήσης (μπόιλερ) αλλά και να συνδεθούν με ηλιοθερμικά συστήματα (ηλιακούς συλλέκτες) παραγωγής ζεστού νερού από την ηλιακή ακτινοβολία (Εικόνα 45).



Εικόνα 45: Σύστημα θέρμανση/ψύξης και ζεστού νερού χρήσης με αντλία θερμότητας

Όταν παρουσιάζεται ζήτηση για θερμό νερό παύει η λειτουργία του κυκλοφορητή θέρμανσης και το θερμό νερό κατευθύνεται προς το δοχείο αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης, μέσω του αντίστοιχου κυκλοφορητή. Μόλις η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο φθάσει στην απαιτούμενη θερμοκρασία, η θέρμανση του κτιρίου συνεχίζεται κανονικά μέσω του δικτύου θέρμανσης.

Σε επίπεδο εγκατάστασης του δικτύου σωληνώσεων όλων των συστημάτων ιδιαίτερη μέριμνα λαμβάνεται στη μόνωση τους με κατάλληλα εύκαμπτα «κοχύλια» αφρώδους μονωτικού.

5.2.5 Απόδοση αντλιών θερμότητας

Για να αξιολογήσουμε την αποδοτικότητα μιας αντλίας θερμότητας χρησιμοποιούμε δύο δείκτες αποδοτικότητας τον COP για τη θέρμανση και τον EER για την ψύξη.

Συγκριμένα για τη λειτουργία της θέρμανσης, **Συντελεστής Συμπεριφοράς COP** (coefficient of performance) ονομάζεται ο λόγος της θερμικής ισχύος που αποδίδει η αντλία θερμότητας προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει και δίνεται από τη Σχέση 9:

$$COP = Q_{th} / Q_{el} \quad \text{Σχέση 9}$$

Όπου,

Q_{th} η **θερμική ισχύς** της αντλίας θερμότητας και

Q_{el} η **ηλεκτρική ισχύς** της αντλίας θερμότητας.

Αντίστοιχα για την θερινή λειτουργία της ψύξης, **Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας EER** (energy efficiency ratio) ονομάζεται ο λόγος της ψυκτικής ισχύος που αποδίδει η αντλία θερμότητας προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει και δίνεται από τη Σχέση 10:

$$EER=Q_c/Q_{el}$$

Σχέση 10

Όπου,

Q_c η **ψυκτική ισχύς** της αντλίας θερμότητας και

Q_{el} η **ηλεκτρική ισχύς** της αντλίας θερμότητας.

Από τον ορισμό γίνεται κατανοητό ότι όσο μεγαλύτερο το COP ή το EER, τόσο πιο αποδοτική η αντλία θερμότητας κατά την θέρμανση ή την ψύξη, αντίστοιχα. Σήμερα βρίσκουμε σύγχρονα συστήματα για εφαρμογές θέρμανσης με πάνελ καλοριφέρ που έχουν COP=4,2 (σε συνθήκες άντλησης από τους 7°C στους 45°C). Σε συστήματα με μονάδες ανεμιστήρα στοιχείου συναντούμε αποδόσεις θέρμανσης με COP=5,1 και αποδόσεις ψύξης με EER=2,8 (σε συνθήκες άντλησης από τους 7°C στους 35°C).

Για το σχεδιασμό της ισχύος ενός συστήματος θέρμανσης/ψύξης και ζεστού νερού χρήσης με αντλία θερμότητας αέρος-νερού λαμβάνονται υπόψη οι ενεργειακές ανάγκες του στρατιωτικού κτιρίου και η διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα στην μελετώμενη περιοχή κατά τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο. Ο υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών γίνεται με βάση το εναρμονισμένο ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12831. Τυχόν αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις, μπορούν να μετριαστούν παράλληλα με την εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων, όπως θα δούμε παρακάτω.

5.2.6 Στρατιωτικές εφαρμογές εγκατάστασης αντλίας θερμότητας αέρος-νερού

Για να υπολογίσουμε υπό ρεαλιστικές συνθήκες, τα οικονομικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την αντικατάσταση ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης με πετρέλαιο, με ένα σύστημα αντλίας θερμότητας αέρος-νερού για θέρμανση σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα πραγματικά στοιχεία που δημοσιεύονται στην ενεργειακή επιθεώρηση του κτιρίου ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης στην Λάρισα στο πλαίσιο υλοποίησης του πιλοτικού έργου «Military Energy & Carbon Management (MECM) – LIFE+2011».

Σύμφωνα με την επιθεώρηση η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση ανέρχεται στα 9.995 l/έτος, δηλαδή με τρέχουσα τιμή πετρελαίου 0,98 €/l, απαιτείται ετήσια δαπάνη **9.795,10** €/έτος. Με θερμογόνο δύναμη πετρελαίου $\Theta\Delta = 10,30 \text{ kWh/l}$ (δίνεται από πίνακες αποδόσεων των καυσίμων) και με απόδοση του συστήματος θέρμανσης $n=0,88$ (αναφέρεται στα στοιχεία της ενεργειακής επιθεώρησης) προκύπτει ότι οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση Q_a (kW/έτος) είναι:

$$\text{Ετήσιες Ενεργειακές Ανάγκες } Q_a \text{ (kWh/έτος)} = \text{Ετήσιες κατανάλωσεις πετρελαίου θέρμανσης (l/έτος)} \times \Theta\Delta \times n = 90.595 \text{ kWh/έτος}$$

Για το ίδιο στρατιωτικό κτίριο με χρήση αντλίας θερμότητας με COP=4,2 απαιτείται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ίση με:

Ετήσιες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/έτος) = Q_a (kWh/έτος) / COP = 90.595 (kWh/έτος) / 4,2 = **21.570 kWh/έτος**

Συνεπώς, με τρέχουσα τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στα 0,19 €/KWh το ετήσιο κόστος για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης με αντλία θερμότητας ανέρχεται στα **4.098,30 €/έτος**, δηλαδή **58 %** πιο οικονομικά σε σχέση με το πετρέλαιο. Προφανώς αν η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από φ/β συστήματα το κόστος θέρμανσης μηδενίζεται πλήρως.

Οι παραπάνω υπολογισμοί αφορούν τις κτιριακές εγκαταστάσεις πριν την εφαρμογή της εξωτερικής θερμομόνωσης και των ενεργειακών κουφωμάτων που είδαμε σε προηγούμενα κεφάλαια. Αν συνυπολογίσουμε λοιπόν την μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση που επέφεραν αυτές οι επεμβάσεις κατά 34%, σημαίνει ότι το σύστημα αντλίας θερμότητας αέρος – νερού που θα επιλεγεί μπορεί να είναι μικρής ισχύος, άρα πιο οικονομικό, και η τελική απαίτηση για δαπάνες θέρμανσης τελικά μπορούν να περιοριστούν κοντά στα **2.787 €/έτος**.

5.3 Ηλιοθερμικά συστήματα

Ο όρος **ηλιοθερμικά συστήματα** αναφέρεται στα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική ενέργεια. Τα ηλιοθερμικά συστήματα είναι ιδανική επιλογή σε χώρες που παρουσιάζουν μεγάλη ηλιοφάνεια όπως η Ελλάδα. Το πεδίο εφαρμογών των ηλιοθερμικών συστημάτων είναι ευρύ. Ειδικότερα όσον αφορά τις στρατιωτικές κτιριακές εγκαταστάσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλιοθερμικά συστήματα **συνδυασμένης λειτουργίας** για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και την υποβοήθηση των συστημάτων θέρμανσης.

5.3.1 Αρχή λειτουργίας ηλιοθερμικών συστημάτων

Ένα ηλιοθερμικό σύστημα αποτελείται από:

- Τους ηλιακούς συλλέκτες
- Τις σωληνώσεις
- Το ηλεκτρικό και υδραυλικό σύστημα ελέγχου
- Τον αποταμιευτήρα ζεστού νερού που αναφέρεται κι ως δοχείο αδράνειας ή θερμοδοχείο ή μπόιλερ.

Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν τον πυρήνα ενός ηλιοθερμικού συστήματος, καθώς είναι οι συσκευές που απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε χρήσιμη θερμική ενέργεια (θερμότητα). Στη συνέχεια, η θερμική ενέργεια των συλλεκτών απάγεται από ένα ρευστό, το οποίο διαρρέει τους συλλέκτες και μεταφέρεται σε ένα καλά μονωμένο αποταμιευτήρα ζεστού νερού και θερμαίνει αρχικά το νερό της κεντρικής θέρμανσης και στη συνέχεια το ζεστό νερό χρήσης.

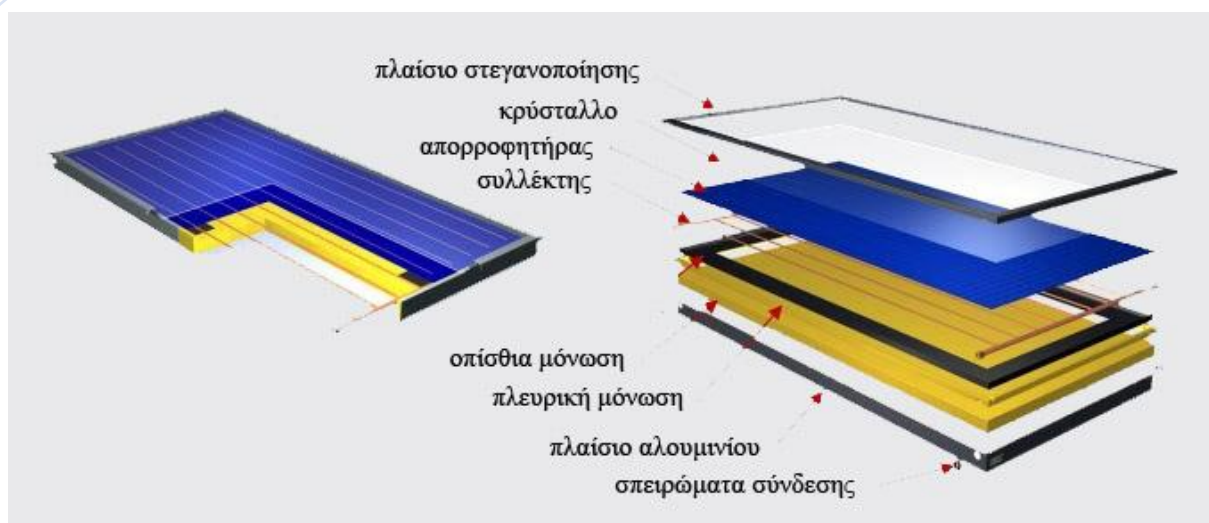
Εάν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί, τότε τίθεται σε λειτουργία το σύστημα θέρμανσης (π.χ. η αντλία θερμότητας) και συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται

μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και η θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης επιτυγχάνεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

Οι κυριότεροι τύποι ηλιακών συλλεκτών υψηλής απόδοσης για χρήση σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις είναι οι **επίπεδοι επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες** και οι **ηλιακοί συλλέκτες κενού**.

5.3.2 Επίπεδοι επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Ένας επίπεδος επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης (Εικόνα 46) διαθέτει μια απορροφητική επιφάνεια (απορροφητήρας), η οποία είναι κατασκευασμένη από ειδικό υλικό (επιλεκτική επιφάνεια), ώστε να απορροφά τη μέγιστη δυνατή ποσότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (~95%). Μέρος της ενέργειας που περιέχεται σε αυτή την ακτινοβολία μεταφέρεται με αγωγιμότητα και υπό μορφή θερμότητας στο ρευστό των συλλεκτών, το οποίο κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες, οι οποίοι είναι σε επαφή με τον απορροφητήρα.



Εικόνα 46: Τομή επίπεδου επιλεκτικού ηλιακού συλλέκτη

Για ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, η πίσω και οι παράπλευρες επιφάνειες του συλλέκτη μονώνονται. Ο απορροφητήρας καλύπτεται από ένα γυάλινο διαφανές κάλυμμα, το οποίο εμποδίζει τη διαφυγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας (άρα και της θερμότητας) που εκπέμπεται από αυτόν (~5%). Η όλη κατασκευή ενοποιείται με ένα μεταλλικό περίβλημα, το οποίο προστατεύει επίσης το συλλέκτη από τις καιρικές συνθήκες.

Με τη χρήση επιλεκτικών απορροφητών, επιτυγχάνονται υψηλότερες θερμοκρασίες νερού & μεγαλύτεροι βαθμοί απόδοσης, έως και 30% σε σχέση με τους απλούς επίπεδους συλλέκτες οικιακής χρήσης με απλή μαύρη βαφή λόγω της μείωσης των απωλειών λόγω ανάκλασης.

Ένας τύπος επιλεκτικού απορροφητήρα είναι μαύρα φύλλα αλουμινίου συγκολλημένα με laser στους χαλκοσωλήνες (Εικόνα 47).



Εικόνα 47: Μορφή μαύρης επιλεκτικής απορροφητικής επιφάνειας

Ως ρευστό των συλλεκτών χρησιμοποιείται συνήθως υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης (νερό που περιέχει προπυλενογλυκόλη σε ποσοστό 40% κατά βάρος). Πλεονεκτήματα του υδατικού διαλύματος προπυλενογλυκόλης είναι το χαμηλότερο σημείο πήξης και το υψηλότερο σημείο βρασμού, οπότε μειώνεται ο κίνδυνος καταστροφής των συλλεκτών εξαιτίας παγώματος του διαλύματος το χειμώνα ή εξάτμισής του το καλοκαίρι αντίστοιχα και η αποφυγή απόθεσης αλάτων στους σωλήνες.

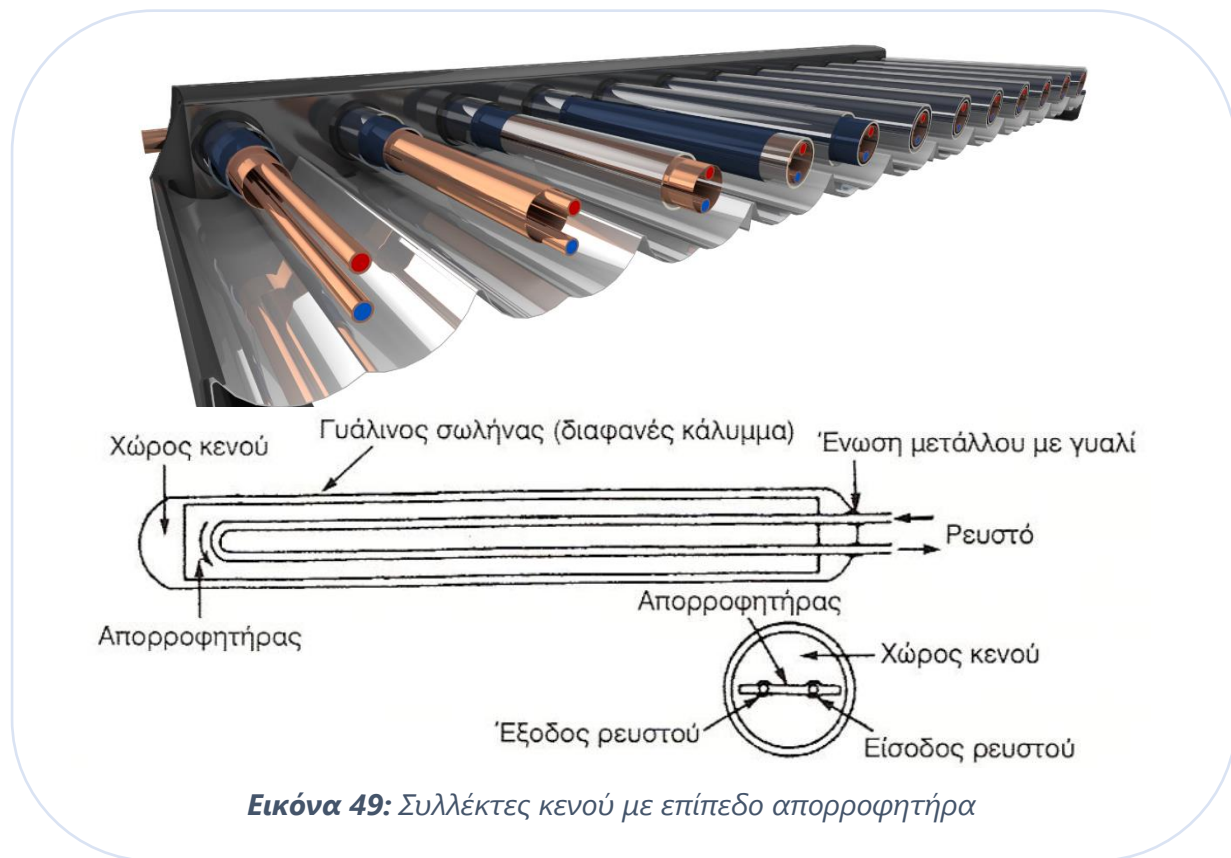
Ένας επιλεκτικός συλλέκτης έχει μια τυπική ετήσια απόδοση περί τις 700 KWh/m².

5.3.3 Ηλιακοί συλλέκτες κενού

Η ανάγκη για μείωση των θερμικών απωλειών των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών οδήγησε στο σχεδιασμό ενός βελτιωμένου τύπου επίπεδου συλλέκτη, ο οποίος ονομάζεται συλλέκτης κενού. Το βασικό χαρακτηριστικό ενός συλλέκτη κενού είναι το κενό αέρα που υπάρχει μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και του διάφανου καλύμματος, στο οποίο οφείλονται οι μειωμένες θερμικές απώλειες. Οι συλλέκτες κενού δεν έχουν κοινή κατασκευαστική δομή. Αντίθετα παρουσιάζουν σημαντικές δομικές διαφορές, με βάση τις οποίες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: α) συλλέκτες κενού με ομόκεντρους σωλήνες (Εικόνα 48) και β) συλλέκτες κενού με επίπεδο απορροφητήρα (Εικόνα 49).

Οι σωλήνες κενού είναι κυλινδρικοί με αποτέλεσμα οι ακτίνες του ηλίου να πέφτουν κάθετα καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και όχι μόνο το μεσημέρι όπως συμβαίνει στους επίπεδους συμβατικούς συλλέκτες. Διεθνείς μετρήσεις ενεργειακής απόδοσης των ηλιακών σωλήνων κενού δείχνουν ότι αποδίδουν περίπου 35% περισσότερη ενέργεια από καλού επίπεδου συμβατικούς συλλέκτες.

Οι συλλέκτες σωλήνων κενού είναι δυνατό να αναπτύξουν θερμοκρασίες ατμού πάνω από 120° C. Ένας συλλέκτης κενού έχει μια τυπική ετήσια απόδοση περί τις 850 KWh/m².



5.3.4 Αποταμιευτήρας ζεστού νερού

Η αποταμίευση του ζεστού νερού στα ηλιοθερμικά συστήματα πραγματοποιείται σε δεξαμενές αποθήκευσης νερού που ονομάζονται **δοχεία αδρανείας** (Εικόνα 50). Το δοχείο αδρανείας συνδέεται εν σειρά με την αντλία θερμότητας ή και με τους ηλιακούς συλλέκτες (Εικόνα 45).

Ο σκοπός του δοχείου αδρανείας, είναι να αποθηκεύει ζεστό νερό όταν αυτό παράγεται από την αντλία θερμότητας ή τον ηλιακό συλλέκτη, και να μας παρέχει ζεστό νερό όταν παύει να λειτουργεί η αντλία θερμότητας, ή όταν δύει ο ήλιος και ο ηλιακός συλλέκτης παύει να προσφέρει ζεστό νερό.

Τα δοχεία αδρανείας μπορούν να έχουν έναν ή περισσότερους σωληνωτούς εναλλάκτες (σερπαντίνες) στο εσωτερικό τους. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να διαχωριστεί το νερό της πηγής από το νερό του δοχείου, πράγμα απαραίτητο ειδικά αν το δοχείο συνδέεται σε ηλιακούς συλλέκτες. Σε κάθε δοχείο αδρανείας μπορούν να προστεθούν μέχρι πέντε ηλεκτρικές αντιστάσεις ώστε το δοχείο αδρανείας να μπορεί να λειτουργεί και αυτόνομα για θέρμανση νερού.



Εικόνα 50: Δοχείο αδρανείας

Σε εγκαταστάσεις κλιματισμού, το δοχείο αδρανείας προστίθεται για να μεγαλώσει η μάζα του νερού που κυκλοφορεί στο δίκτυο κλιματισμού, ώστε η αντλία θερμότητας να μην ξεκινά και σταματά με μεγάλη συχνότητα, αλλά σε αραιότερα διαστήματα. Οι αντλίες θερμότητας, έχουν ενσωματωμένη ασφάλεια επανεκκίνησης και από τη στιγμή που θα σταματήσουν την λειτουργία τους, δεν επανεκκινούν αν δεν περάσει ο απαιτούμενος από τον κατασκευαστή ελάχιστος χρόνος επανεκκίνησης. Με την προσθήκη του δοχείου διαστολής, η αντλία θερμότητας κάθε φορά που εκκινεί, κρυνώνει ή ζεσταίνει όλη τη μάζα του δοχείου και όταν τεθεί εκτός, το δοχείο αποδίδει την ενέργεια αυτή στο σύστημα, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται επανεκκίνηση μέχρι να απορριφθεί η αποθηκευμένη στο δοχείο αδρανείας ενέργεια.

5.3.5 Εγκατάσταση και διαστασιολόγηση ηλιοθερμικών συστημάτων

Η μέγιστη εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή θερμικής ενέργειας σε ένα στρατιωτικό κτίριο που χρησιμοποιεί κάποιο ηλιοθερμικό σύστημα, επιτυγχάνεται όταν το σύστημα αυτό παράγει τη μέγιστη ποσότητα θερμικής ενέργειας που επιτρέπει ο συντελεστής απόδοσής του. Για την εξασφάλιση της βέλτιστης παραγωγής προέχει η σωστή εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών, ώστε η επιφάνειά τους να δέχεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας.

Η γωνία κλίσης των συλλεκτών³⁰ εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και την επιθυμητή λειτουργία του συστήματος. Στις περιπτώσεις που η τοποθέτηση του συλλέκτη σε ένα κτίριο δεν καθορίζεται από την κλίση της επιφάνειας πάνω στην οποία τοποθετείται, η βέλτιστη γωνία κλίσης για το βόρειο ημισφαίριο είναι:

$$\beta = \varphi + (0-5)^\circ \text{ για ζεστό νερό όλο το χρόνο}$$

$$\beta = \varphi - (10-15)^\circ \text{ για ζεστό νερό το καλοκαίρι}$$

$$\beta = \varphi + (10-15)^\circ \text{ για θέρμανση χώρων}$$

όπου φ , το **γεωγραφικό πλάτος** του τόπου.

Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι προτιμότερο να τοποθετούνται στο έδαφος παρά σε ταράτσες, σε κεκλιμένες στέγες και σε προσόψεις στρατιωτικών κτιρίων διότι αυξάνουν το θερμικό στίγμα που μπορεί να ανιχνεύσει ο εχθρός.

Ο χώρος στον οποίο πρόκειται να τοποθετηθούν οι συλλέκτες πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη ηλιασμό των συλλεκτών, ειδικότερα κατά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή 09:00 – 15:00. Μόνιμος ή επαναλαμβανόμενος σκιασμός κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών συνεπάγεται ακαταλληλότητα του υπό μελέτη χώρου εγκατάστασης. Σημαντική για τη μακροχρόνια αποδοτική λειτουργία του συστήματος είναι η πρόβλεψη και αποφυγή μελλοντικών σκιασμών, οι οποίοι ενδέχεται να εμφανιστούν π.χ. από μια μελλοντική οικοδόμηση κάποιου γειτονικού χώρου ή την φύτευση δέντρων.

Ιδιαίτερη φροντίδα πρέπει να αποδίδεται και στο θέμα της διαστασιολόγησης του ηλιοθερμικού συστήματος. Η σωστή διαστασιολόγηση προκαλεί μείωση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας του, και εξοικονόμηση ενέργειας από τις βοηθητικές πηγές θερμότητας. Υποδιαστασιολόγηση του συστήματος έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο συντελεστή απόδοσης, κάτι που σημαίνει μεγαλύτερες απαιτήσεις θερμότητας για τη συμπληρωματική θέρμανση του νερού της δεξαμενής αποθήκευσης όταν η θερμική ενέργεια από τους συλλέκτες δεν είναι αρκετή. Οι απαιτήσεις αυτές όμως, καλύπτονται από τη βοηθητική πηγή θερμότητας (αντλία θερμότητας ή ηλεκτρική αντίσταση) με αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερης ενέργειας σε σχέση με την περίπτωση της σωστής διαστασιολόγησης του συστήματος.

Για να γίνει σωστή διαστασιολόγηση ενός ηλιοθερμικού συστήματος απαιτείται η ολοκληρωμένη γνώση των αναγκών των χρηστών του κτιρίου σε θέρμανση/ψύξη και ζεστό νερό χρήσης, η οποία θα μας επιτρέψει να γνωρίζουμε την απαιτούμενη παροχή ρευστού από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών για την ικανοποίησή τους. Στα μεγάλα στρατιωτικά κτίρια (στρατώνες, νοσοκομεία, κα.) και στις παραγωγικές μονάδες, οι απαιτήσεις αυτές είναι μεγάλες και έτσι απαιτείται η σύνδεση πολλών συλλεκτών με κατάλληλο τρόπο (εν σειρά, παράλληλα ή με μικτή

³⁰ Πατσιά Χ., 2012, «Υαλοπίνακες» στο **Μελέτη και εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας σε δημόσιους χώρους και σε χώρους παραγωγής**, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ. 188-190.

σύνδεση), ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή ρευστού, η οποία θα ικανοποιεί τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου.

Πολλοί συλλέκτες συνδεδεμένοι μεταξύ τους αποτελούν μια **ηλιοθερμική συστοιχία** (Εικόνα 51). Μια συστοιχία συλλεκτών πρέπει να εξασφαλίζει σταθερή παροχή ρευστού μέσα σε κάθε συλλέκτη, ειδάλως δημιουργούνται νεκρές ζώνες μέσα στους συλλέκτες (περιοχές με πολύ χαμηλή ροή ρευστού) με αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού απόδοσης του συστήματος και συνακόλουθη μείωση της εξοικονόμησης ενέργειας.



Εικόνα 51: Ηλιοθερμική συστοιχία

Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με το εναρμονισμένο ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12831. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον υπολογισμό των απωλειών του κτιρίου, και στον υπολογισμό του μέγιστου φορτίου απωλειών. Λάθος υπολογισμοί, μπορούν να μειώσουν το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης ή την ασφάλεια της.

Σημαντική παράμετρος στη διαστασιολόγηση αποτελεί και η απαίτηση για ζεστό νερό χρήσης επομένως η ύπαρξη ικανού όγκου δοχείων αδρανείας που μπορούν να εξασφαλίσουν ότι τις νυχτερινές ώρες το κτίριο θα έχει διαθέσιμη ενέργεια χωρίς να χρειαστεί να ενεργοποιήσουμε κάποια πηγή. Τα δοχεία αδρανείας παράγονται σε διάφορα μεγέθη από 150 λίτρα έως 1000 λίτρα. Συνιστάται περίπου 25 λίτρα δεξαμενή για κάθε 1KW θερμικής ισχύος εξόδου του συστήματος θέρμανσης. Κάποια ενδεικτικά στοιχεία που δίνουν οι μελέτες κατασκευαστών³¹ δοχείων αδρανείας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Ανάγκες ζεστού νερού χρήσης ανάλογα με τη δραστηριότητα

Δραστηριότητα	Κατανάλωση
Γραφεία	5 l/ημέρα ανά άτομο
Στρατώνες	30 l/ημέρα ανά άτομο
Νοσοκομεία	50 l/ημέρα ανά άτομο
Εστιατόρια	10 l/ημέρα ανά γεύμα
Πλυντήρια	6 l/Kg ρούχων

³¹ Τσίτσος Κλίμα, (2018). **Οδηγός εγκατάστασης και υπολογισμού συστημάτων με αντλίες θερμότητας GALLETTI**, Διαθέσιμο στο: <https://www.tsitsos.gr/>, [10 Απριλίου 2018], Σελ. 21-22.

5.3.6 Στρατιωτικές εφαρμογές παραγωγής ζεστού νερού χρήσης

Στο πλαίσιο υλοποίησης του πιλοτικού έργου του ΥΠΕΘΑ «Military Energy & Carbon Management (MECM) – LIFE+2011», εφαρμόστηκαν ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης στο κτίριο ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης στην Λάρισα (Εικόνα 53) και στο κτίριο ΛΥΣΚ του Ναυστάθμου Σούδας (Εικόνα 53).

Και στις δύο εγκαταστάσεις η κάλυψη των αναγκών για Ζεστό Νερό Χρήσης πριν τις παρεμβάσεις γινόταν μέσω ανεξάρτητου συστήματος λέβητα πετρελαίου.

Στο κτίριο ΕΡΜΗΣ (Εικόνα 52) το σύστημα λειτουργούσε 6 ώρες/24ωρο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους οδηγώντας σε μία ετήσια κατανάλωση πετρελαίου για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης που έφτανε τα 5.900 l/έτος (Μέσος όρος ετών 2012-2013). Στο πλαίσιο ενεργειακής αναβάθμισης εγκαταστάθηκαν με σκοπό να καλύψουν μέρος της ανάγκης για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης:

- Ηλιακοί συλλέκτες συνολικής επιφάνειας 25 m² με ημιεπιλεκτική επικάλυψη (απορροφητικότητα $\alpha \geq 0,95$ και εκπομπής $\epsilon \leq 0,35$)
- Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης 1.000 l.



Εικόνα 52: Κτίριο ΕΡΜΗΣ, 110 Πτέρυγα Μάχης, Λάρισα - Ηλιακοί συλλέκτες, δοχείο ΖΝΧ

Στο ηλιοθερμικό σύστημα τοποθετήθηκε ειδικός εξοπλισμός ελέγχου και μετρήσεων της πραγματικής απόδοσης της εγκατάστασης. Λεπτομέρειες για τους εξοπλισμούς ελέγχου των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης/ηλιοθερμικών παρουσιάζονται σε επόμενες ενότητες.

Από τις μετρήσεις προέκυψε πως σε 8 μήνες λειτουργίας (Απρίλιο-Δεκεμβρίου), το ηλιοθερμικό σύστημα παρήγαγε ενέργεια που αντιστοιχεί σε 1.430 l πετρελαίου. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί σε μια **ετήσια εξοικονόμηση 36 %** του πετρελαίου για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Αντίστοιχα στο κτίριο ΛΥΣΚ (Εικόνα 53) το πιλοτικό πρόγραμμα αφορούσε την εγκατάσταση:

- 40 επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, συνολικής επιφάνειας 80m², με συντελεστή απορρόφησης $\alpha > 0,95$, συντελεστή εκπομπής $\epsilon < 0,05$ και μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας $> 165^\circ \text{C}$.
- 2 χαλύβδινα δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης χωρητικότητας 2000 l έκαστος, με μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση δοχείου 8 bar και μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία δοχείου 95°C .



Εικόνα 53: Κτίριο ΛΥΣΚ, Ναύσταθος Σούδας, ηλιακοί συλλέκτες και δοχείο ZNX

Για τη χρονική περίοδο πριν την παρέμβαση (2008-2013) η μέση ετήσια κατανάλωση πετρελαίου είναι 24.215 l. Με την επέμβαση που πραγματοποιήθηκε η ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ανέρχεται περίπου σε **5.701 l πετρελαίου κατ' έτος**³².

5.4 Συστήματα ελέγχου θέρμανσης/ψύξης/ηλιοθερμικών

Οι εγκαταστάσεις θέρμανσης/ψύξης/ηλιοθερμικών προκειμένου να λειτουργούν οικονομικά και να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας οφείλουν να διαθέτουν κατάλληλα συστήματα ελέγχου. Τα σημαντικότερα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας στους τομείς θέρμανσης/ψύξης/ηλιοθερμίας είναι οι θερμοστάτες χώρου, οι θερμοστατικοί διακόπτες και τα συστήματα αντιστάθμισης.

5.4.1 Θερμοστάτες χώρου

Οι θερμοστάτες χώρου είναι απλές ηλεκτρομηχανικές, ηλεκτρονικές ή ψηφιακές συσκευές μέσω των οποίων γίνεται ο έλεγχος της λειτουργίας μίας εγκατάστασης θέρμανσης/ψύξης σε

³² LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Assesment Report ΛΥΣΚ**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/WHqkIv>, [10 Απριλίου 2018]

τοπικό επίπεδο. Μέσω των θερμοστατών χώρου, ανάλογα με τα τύπο τους, μας παρέχεται η δυνατότητα να ανοίγουμε και να κλείνουμε την θέρμανση και την ψύξη σε τοπικό επίπεδο, να ρυθμίζουμε τη επιθυμητή θερμοκρασία, να ανοίγουμε και να κλείνουμε τον ταμιευτήρα για την παραγωγή ζεστού νερού, να εκτελούμε σενάρια θέρμανσης/ψύξης (οικονομική λειτουργία, λειτουργία νύκτας κ.λ.π), να προγραμματίζουμε χρονικά τη λειτουργία θέρμανσης/ψύξης και πολλά άλλα.

Ο θερμοστάτης χώρου αποτελεί το πρώτο και βασικό εξάρτημα ενός συστήματος αυτοματισμού θέρμανσης/ψύξης και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να είναι υψηλής ακρίβειας, αξιόπιστος, με δυνατότητες πολλαπλών λειτουργιών και τοποθετημένος σε κατάλληλο σημείο ώστε να προσφέρει τα αναμενόμενα αποτελέσματα που δεν είναι μόνο η ευκολία του χρήστη αλλά και η επίτευξη της μέγιστη δυνατής εξοικονόμησης ενέργειας. Οι καλύτεροι θερμοστάτες είναι οι θερμοστάτες ψηφιακής τεχνολογίας και πολλαπλών λειτουργιών (Εικόνα 54).



Εικόνα 54: Ψηφιακός θερμοστάτης

Δεν φτάνει όμως να έχουμε ένα καλό θερμοστάτη αλλά θα πρέπει να είναι και σωστά τοποθετημένος σε κατάλληλο χώρο. Η κατάλληλη θέση του θερμοστάτη είναι σε χώρους ουδέτερους χωρίς πολλά ανοίγματα, μακριά από εξωτερικούς τοίχους και από θερμαντικά σώματα. Επίσης δεν πρέπει να καλύπτεται από έπιπλα, κουρτίνες και ηλεκτρικές συσκευές. Καταλληλότερες θέσεις συνήθως είναι εσωτερικοί τοίχοι διαδρόμων.

Οι θερμοστάτες λειτουργούν με βάση την θερμοκρασία του χώρου στον οποίο είναι εγκατεστημένοι. Όσο και αντιπροσωπευτική να είναι αυτή θερμοκρασία σίγουρα έχει διαφορές με τις θερμοκρασίες των υπολοίπων χώρων. Αποτέλεσμα αυτής της διαφοράς είναι ότι ο θερμοστάτης ανταποκρινόμενος στις θερμοκρασίες που αντιλαμβάνεται στην θέση που είναι εγκατεστημένος, καθορίζει την λειτουργία της εσωτερικής εγκατάστασης μη λαμβάνοντας υπόψη τις θερμοκρασίες των άλλων χώρων. Μάλιστα όταν οι πόρτες μεταξύ των δωματίων είναι κλειστές ή όταν υπάρχει μόνο ένας θερμοστάτης σε μεγάλα κτίρια, τότε μερικές φορές είναι σαν να μην υπάρχει. Ανοιγοκλείνει την εγκατάσταση με εντελώς αυθαίρετο τρόπο με αποτέλεσμα, π.χ. σε λειτουργία θέρμανσης, σε άλλους χώρους να έχουμε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και σε άλλους να επικρατούν απαράδεκτα χαμηλές θερμοκρασίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις συχνά οι χρήστες ακυρώνουν την λειτουργία του θερμοστάτη τοποθετώντας την ρύθμιση σε ψηλές θερμοκρασίες για να μην σταματά η λειτουργία της θέρμανσης και να μπορούν να ζεσταθούν τα δωμάτια που παρουσιάζουν πρόβλημα. Ο θερμοστάτης έτσι γίνεται διακόπτης για το άναμμα και το σβήσιμο της εγκατάστασης και η κατασπατάληση ενέργειας είναι το συνεπακόλουθο. Λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνουν οι θερμοστατικοί διακόπτες.

5.4.2 Θερμοστατικοί διακόπτες

Οι θερμοστατικοί διακόπτες είναι διακόπτες θερμαντικών σωμάτων όπως και οι κλασικοί που βλέπουμε να συνδέουν τα περισσότερα θερμαντικά σώματα με τις σωλήνες της θέρμανσης. Έχουν όμως μία πολύ σημαντική διαφορά. Μπορεί πάνω σε αυτούς να προσαρμοσθούν θερμοστατικές κεφαλές υγρού στοιχείου ή ηλεκτρονικές θερμοστατικές κεφαλές, μέσω των οποίων μπορούμε να ρυθμίσουμε με ακρίβεια τη θερμοκρασία του κάθε χώρου ξεχωριστά (Εικόνα 55).



Εικόνα 55: Θερμοστατικός διακόπτης

Έτσι, ο κάθε χώρος έχει στην ουσία πλέον δικό του θερμοστάτη και δεν έχουμε την ανάγκη του κεντρικού θερμοστάτη. Όταν οι θερμικές συνθήκες του κάθε χώρου ικανοποιηθούν, τότε ο θερμοστατικός διακόπτης απομονώνει το συγκεκριμένο θερμαντικό σώμα από το σύστημα θέρμανσης και σταματά η προσφορά θερμικής ενέργειας προς αυτό επιφέροντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

5.4.3 Θερμιδομετρητές ροής

Οι θερμιδομετρητές είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ακριβή μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια με θέρμανση ή/και ψύξη. Επίσης συχνά χρησιμοποιείται στα ηλιοθερμικά συστήματα για την μέτρηση της προσφερόμενης στο σύστημα ενέργειας. Ο θερμιδομετρητής ροής είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που δουλεύει με απλές μπαταρίες και μπορεί να εγκατασταθεί σε πολυκατοικίες που διαθέτουν μονοσωλήνιο σύστημα με δυνατότητες αυτονομίας. (Εικόνα 56)



Εικόνα 56: Θερμιδομετρητής ροής

Οι θερμιδομετρητές τοποθετούνται στο δικτύου σωληνώσεων της εγκατάστασης, σε εκείνα τα τμήματα του κτιρίου που θέλουμε να λαμβάνουμε μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης. Η συσκευή μετράει την παροχή του νερού που περνάει μέσα από αυτή και διαβάζει τις θερμοκρασίες του νερού προσαγωγής και του νερού επιστροφής στην εγκατάσταση. Με τον τρόπο αυτό κάνει ακριβή υπολογισμό της θερμικής ενέργειας που καταναλώνει στο συγκεκριμένο τμήμα του κτιρίου στο οποίο έχει εγκατασταθεί.

5.4.4 Συστήματα ψηφιακής αντιστάθμισης

Το σύστημα ψηφιακής αντιστάθμισης (Εικόνα 57) αποτελείται συνήθως από:

- Το αισθητήριο θερμοκρασίας περιβάλλοντος που μετρά την εξωτερική θερμοκρασία
- Το αισθητήριο θερμοκρασίας του νερού θέρμανσης στην προσαγωγή
- Την τρίοδη βάννα μίξης που ρυθμίζει το ποσοστό νερού λέβητα που εισέρχεται στο κύκλωμα
- Τον ελεγκτή του συστήματος αντιστάθμισης που μετρά τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και ελέγχει την τετράοδη βάννα με τέτοιον τρόπο ώστε η θερμοκρασία του νερού που προσάγεται στα θερμαντικά σώματα να είναι η κατάλληλη κάθε στιγμή.

Ο ελεγκτής θέρμανσης/ψύξης είναι μία έξυπνη ψηφιακή συσκευή μικρού μεγέθους (μοιάζει με μικρός ηλεκτρικός πίνακας) η οποία τοποθετείται μέσα στο χώρο του λεβητοστασίου και συνδέεται ηλεκτρικά με σύστημα θέρμανσης/ψύξης (π.χ. λέβητα, αντλία θερμότητας), τον κυκλοφορητή της εγκατάστασης, την τετράοδη βάννα αναμείξεως τον θερμοστάτη χώρου καθώς και με αισθητήρια που αντλαμβάνονται την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος (τοποθετείται σε εξωτερικό τοίχο του κτιρίου κοντά στο χώρο του λεβητοστασίου) και την θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί στις σωλήνες του δικτύου.



Εικόνα 57: Ψηφιακός αντισταθμιστής

Η ψηφιακή αυτή συσκευή διαχειρίζεται πλήρως αυτόματα τη λειτουργία ώστε όταν υπάρχουν υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες ή μειωμένα θερμικά φορτία, αυτή να εξαναγκάζει μία ποσότητα του επιστρεφόμενου από την εγκατάσταση νερού, να μην γυρίζει απευθείας πίσω για να ξαναζεσταθεί αλλά, αναμειγνυόμενο με το νερό που βγαίνει από το σύστημα θέρμανσης, να αποκτά μία μέση θερμοκρασία, χαμηλότερη από την μέγιστη του συστήματος, και να επιστρέφει ξανά πάλι στα θερμαντικά σώματα, ώστε να καλύψει τις πραγματικές θερμικές ανάγκες του κτιρίου την συγκεκριμένη στιγμή.

Με λίγα λόγια διαβάζει την θερμική συμπεριφορά και τις θερμικές ανάγκες που κτιρίου και σε συνδυασμό με τις επικρατούσες συνθήκες εξωτερικής θερμοκρασίας, ρυθμίζει εντελώς αυτόματα την λειτουργία των διαφόρων συσκευών της εγκατάστασης θέρμανσης έτσι ώστε αυτή να λειτουργεί με την χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση και τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Σύμφωνα με τα στοιχεία των κατασκευαστών με τα σύγχρονα συστήματα αντιστάθμισης επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας που φτάνει μέχρι και το **20 %** σε σχέση με μια εγκατάσταση θέρμανσης που δεν διαθέτει σύστημα αντιστάθμισης.

Οι σημερινοί ελεγκτές αντιστάθμισης επεκτείνουν τις δυνατότητες τους και πέραν της ρύθμισης της θερμοκρασίας παραγωγής του νερού, και προσφέρουν μια σειρά από δυνατότητες όπως:

- Έλεγχο πολλαπλών πηγών ενέργειας
- Έλεγχο ηλιακών συστημάτων (θέρμανσης ΖΝΧ και ηλιακής υποβοήθησης)
- Χρονοπρογράμματα θέρμανσης
- Χρονοπρόγραμμα ζεστού νερού χρήσης
- Απομακρυσμένο έλεγχο της εγκατάστασης θέρμανσης

5.4.5 Στρατιωτικές εφαρμογές συστημάτων ελέγχου θέρμανση/ηλιοθεμικών

Στο πλαίσιο υλοποίησης του πιλοτικού έργου του ΥΠΕΘΑ «Military Energy & Carbon Management (MECM) – LIFE+2011», στο κτίριο ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης στη Λάρισα τοποθετήθηκαν τα παρακάτω συστήματα ελέγχου θέρμανσης/ηλιοθεμικών.

- Θερμιδομετρητής τοποθετήθηκε στο δίκτυο μεταξύ λέβητα πετρελαίου θέρμανσης και τελικών καταναλώσεων για θέρμανση, με σκοπό την καταγραφή της καταναλισκόμενης ενέργειας του λέβητα πετρελαίου για θέρμανση.
- Θερμιδομετρητής τοποθετήθηκε στο δίκτυο μεταξύ λέβητα πετρελαίου που λειτουργεί αυτόνομα για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και της δεξαμενής αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης, με σκοπό την καταγραφή της καταναλισκόμενης ενέργειας του λέβητα για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.
- Θερμιδομετρητής τοποθετήθηκε στο δίκτυο μεταξύ ηλιακών συλλεκτών παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και δεξαμενής αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης, με σκοπό την καταγραφή της παραγόμενης θερμικής ενέργειας από τον ήλιο.
- Σύστημα αντιστάθμισης λέβητα με βάση την εξωτερική θερμοκρασία που είναι εξοπλισμένος με πίνακα ελέγχου της εγκατάστασης θέρμανσης με τις εξής δυνατότητες:
 - Λειτουργία ελέγχου διβάθμιου καυστήρα.
 - Εβδομαδιαίο χρονοπρόγραμμα θέρμανσης.
 - Αυτόματη εναλλαγή θερινής/χειμερινής λειτουργίας.
 - Λειτουργία προστασίας του λέβητα από συμπυκνώματα και παγετό.
 - Ωρομέτρηση λειτουργίας του καυτήρα.
 - Λυχνίες ένδειξης λειτουργίας και βλάβης.

Το παραπάνω σύστημα ελέγχου της λειτουργίας θέρμανσης/ηλιοθεμίας, όπως αναλύεται σε παρακάτω ενότητα, ουσιαστικά αποτελεί ένα υποσύστημα σε ένα ευρύτερο συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίου (BEMS- Building Energy Management System).

6 Συστήματα οικονομικού φωτισμού

Η εγκατάσταση τεχνητού φωτισμού αποτελεί ένα από τα κυριότερα ενεργειακά συστήματα των στρατιωτικών εγκαταστάσεων κτιριακών και μη.

Ο τεχνητός φωτισμός έχει ως σκοπό τη συμπλήρωση ή και την πλήρη αντικατάσταση του φυσικού φωτισμού, παρέχοντας έτσι την απαραίτητη οπτική άνεση στους χρήστες των εγκαταστάσεων, ώστε να διεκπεραιώσουν τις δραστηριότητες που απαιτεί η χρήση τους μέσα σε ένα ευχάριστο περιβάλλον, χωρίς την παραμικρή δυσκολία και παρέχοντας παράλληλα όπου απαιτείται ασφαλείς συνθήκες φύλαξης.

Η αρμονική συνεργασία ενός συστήματος τεχνητού φωτισμού με τα συστήματα φυσικού φωτισμού στα στρατιωτικά κτίρια προϋποθέτει λειτουργία του συστήματος ηλεκτροφωτισμού μόνο όταν ο φωτισμός που προσφέρουν τα συστήματα φυσικού φωτισμού κρίνεται ανεπαρκής για την κάλυψη των επιπέδων οπτικής άνεσης που απαιτούνται στους διάφορους χώρους μιας εγκατάστασης.

Δυστυχώς, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, στη μελέτη και κατασκευή κτιρίων λαμβάνονται ελάχιστα υπόψη οι δυνατότητες φυσικού φωτισμού με αποτέλεσμα την εξάρτηση των εσωτερικών χώρων από τα συστήματα τεχνητού φωτισμού, ακόμα και σε χρονικά διαστήματα της ημέρας κατά τα οποία η χρήση τεχνητού φωτισμού θα μπορούσε να αποφευχθεί. Συνέπεια αυτού είναι η σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες φωτισμού των κτιρίων. Ο Πίνακας 7, παρέχει ενδεικτικά κάποια ποσοστά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό των διάφορων εσωτερικών χώρων κτιρίων³³:

Πίνακας 7: Ενδεικτικά ποσοστιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό εσωτερικών χώρων διαφόρων κτιριακών εγκαταστάσεων

Κτίρια	Ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό
Γραφεία	28 %
Στρατώνες	17 %
Νοσοκομεία	23 %
Εκπαιδευτήρια	55 %
Αθλητικές εγκαταστάσεις	33 %

Πέρα από την αδυναμία εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού, η υπερβολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό οφείλεται και σε προβλήματα και ατέλειες που παρουσιάζει το

³³ Πατσιά Χ., 2012, «Συστήματα τεχνικού φωτισμού» στο **Μελέτη και εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας σε δημόσιους χώρους και σε χώρους παραγωγής**, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ. 153

ίδιο το σύστημα τεχνητού φωτισμού, όπως είναι η κακή μελέτη και εγκατάσταση, η χρήση εξαρτημάτων και συσκευών μειωμένης απόδοσης και η απουσία συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

Όλες οι εγκαταστάσεις τεχνητού φωτισμού, ανεξαιρέτως κατηγορίας, είναι πλήρεις φωτιστικές μονάδες που αποτελούνται από τα εξής στοιχεία:

- Φωτιστικές συσκευές.
- Φωτιστικά σημεία.
- Κυκλώματα διακλάδωσης.

Τα κυκλώματα διακλάδωσης είναι ηλεκτρικά κυκλώματα, τα οποία καλύπτουν όλους τους εσωτερικούς φωτιζόμενους χώρους του κτιρίου, τροφοδοτώντας με ρεύμα τα φωτιστικά σημεία. Τα φωτιστικά σημεία είναι τα σημεία του συστήματος φωτισμού, όπου υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης φωτιστικών συσκευών σε αυτό. Οι φωτιστικές συσκευές αποτελούνται από τη λυχνιολαβή (σε αυτήν καταλήγουν οι αγωγοί τροφοδοσίας των κυκλωμάτων διακλάδωσης), το λαμπτήρα (συνδέεται με τη λυχνιολαβή και αποτελεί τη φωτεινή πηγή της φωτιστικής συσκευής) και το φωτιστικό σώμα (περιβάλλει το λαμπτήρα).

Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν τα απαραίτητα εξαρτήματα που πρέπει να περιλαμβάνει ένα τυπικό σύστημα τεχνητού φωτισμού ώστε να είναι σε θέση να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα τεχνητού φωτισμού, όμως, του οποίου η λειτουργία προβλέπει την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, περιλαμβάνει και πρόσθετα στοιχεία, κυρίως διατάξεις αυτομάτου ελέγχου. Οι διατάξεις αυτές επιτρέπουν την εξοικονόμηση ενέργειας τόσο από τη λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος τεχνητού φωτισμού, όσο και από το συνδυασμό ενός συστήματος τεχνητού φωτισμού με τεχνικές φυσικού φωτισμού.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι συνιστώσες ενός ολοκληρωμένου και ενεργειακά αποδοτικού συστήματος φωτισμού. Στις συνιστώσες αυτές συμπεριλαμβάνονται τόσο οι απαραίτητες συσκευές και εξαρτήματα για την ίδια τη λειτουργία του συστήματος ηλεκτροφωτισμού, όσο και οι συσκευές των οποίων η προσθήκη στο σύστημα υπαγορεύεται για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας. Στην πρώτη περίπτωση η ανάλυση θα περιοριστεί μόνο στις μεθόδους αναβάθμισης των συσκευών αυτών με σκοπό τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας (π.χ. λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας).

6.1 Είδη φωτισμού

Τα συστήματα φωτισμού, ανάλογα με την τοποθέτηση τους στους φωτιζόμενους χώρους διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Γενικού φωτισμού:** Ο γενικός φωτισμός παρέχει μια σχετικά ομοιογενή κατανομή της φωτεινότητας στο χώρο εργασίας. Τα συστήματα αυτά είναι πολύ απλά στην τοποθέτησή τους και δεν σχετίζονται με τη θέση του εξοπλισμού ή της επίπλωσης στους εσωτερικούς

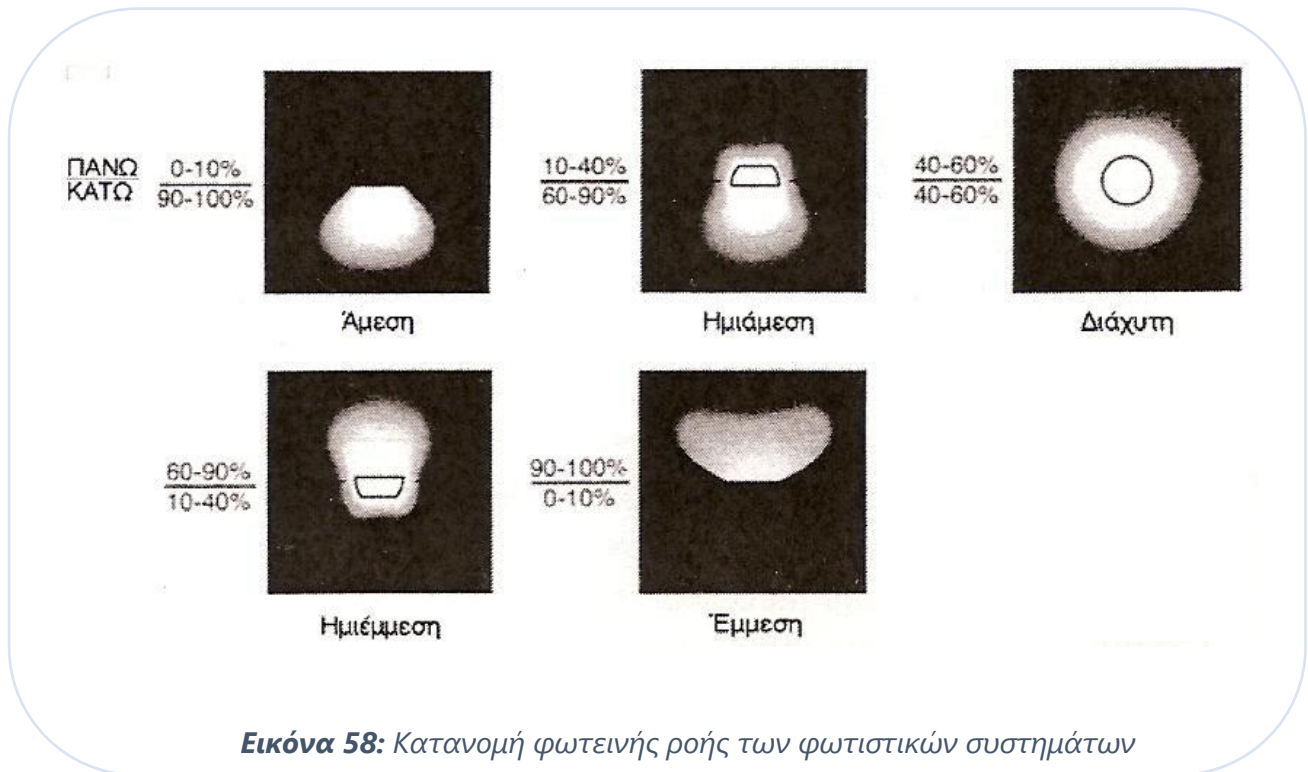
χώρους. Εν τούτοις, ο διαχωρισμός ενός ενιαίου εσωτερικού χώρου σε επιμέρους τμήματα (π.χ. διαχωριστικά γραφείων) πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό του συστήματος γενικού φωτισμού του χώρου αυτού.

- **Κατά τόπους γενικού φωτισμού:** Σε αυτά τα συστήματα, η εγκατάσταση των φωτιστικών συσκευών συσχετίζεται με τη διάταξη των θέσεων εργασίας, των χρήσεων του χώρου και τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού.
- **Τοπικού φωτισμού:** Εδώ, παρέχεται φωτισμός σε μικρές περιοχές γύρω από τους χώρους εργασίας. Τα συστήματα τοπικού φωτισμού χρησιμοποιούνται συχνά ως βοηθητικά συστήματα των συστημάτων γενικού φωτισμού.
- **Φωτισμού εργασίας:** Αποτελείται από συστήματα φωτισμού για τοπικές εργασίες, τα οποία είναι συχνά ενσωματωμένα στα έπιπλα, ενώ ο ρόλος τους υποβοηθείται από σύστημα γενικού φωτισμού.

Η διεθνής επιτροπή φωτισμού (CIE) ταξινομεί τα συστήματα φωτισμού με κριτήριο τον τρόπο κατανομής της φωτεινής ροής στο φωτιζόμενο χώρο (Εικόνα 58). Με βάση λοιπόν αυτήν την κατανομή έχουμε τα εξής είδη φωτιστικών συστημάτων:

- **Άμεσου φωτισμού:** Στο σύστημα αυτό, το 90-100% του φωτός κατευθύνεται από την οροφή προς τα κάτω. Η διανομή του φωτός στο χώρο ποικίλλει, από ευρεία δέσμη φωτός μέχρι τη δέσμη υψηλής συγκέντρωσης. Η άμεση θάμβωση θα πρέπει να εμποδίζεται με τη χρήση συστημάτων ελέγχου λαμπρότητας.
- **Ημι-άμεσου φωτισμού:** Η διανομή του φωτός γίνεται κατά κύριο λόγο (60-90%) προς τα κάτω. Ένα μικρό ποσοστό του φωτός διαχέεται προς τους τοίχους και την οροφή. Τα συστήματα αυτά συντελούν στην καλύτερη κατανομή του φωτός και έχουν υψηλότερη απόδοση από τα συστήματα άμεσου φωτισμού.
- **Διάχυτου φωτισμού:** Το φως εκπέμπεται προς τα πάνω και προς τα κάτω σε περίπου ίσες ποσότητες. Τα συστήματα διάχυτου φωτισμού έχουν καλή απόδοση σε χώρους με μεγάλη ανακλαστικότητα, ενώ βοηθούν στην άμβλυνση των σκιών. Αν τοποθετηθούν (όπως γίνεται συνήθως) κοντά στην οροφή, η κατανομή αλλάζει καθώς η οροφή λειτουργεί ως ανακλαστήρας.
- **Ημι-έμμεσου φωτισμού:** Ποσοστό κυμαινόμενο μεταξύ 60-90% του φωτός κατευθύνεται προς τα πάνω. Η συνιστώσα που κατευθύνεται προς τα κάτω πρέπει να ελέγχεται ώστε να μην προκαλεί φαινόμενα θάμβωσης.
- **Έμμεσου φωτισμού:** Η ροή προς τα πάνω είναι ίση με το 90-100% της εκπομπής του φωτός. Αν η οροφή διακρίνεται από μεγάλη τιμή ανακλαστικότητας, τότε μετατρέπεται σε μια μεγάλη ομοιογενή πηγή φωτισμού. Μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι η χαμηλή απόδοση, έναντι των υπολοίπων.

Βάσει των δύο παραπάνω τρόπων κατανομής των φωτιστικών συστημάτων έχουμε και τα αντίστοιχα είδη φωτισμού (γενικός, τοπικός, άμεσος, έμμεσος, κτλ.), ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη κατηγοριοποίηση έχουμε τα αντίστοιχα φωτιστικά σώματα (άμεσου φωτισμού, έμμεσου φωτισμού, κτλ.).



Εικόνα 58: Κατανομή φωτεινής ροής των φωτιστικών συστημάτων

6.1.1 Βασικές οπτικές ιδιότητες λαμπτήρων οικονομίας

Ο λαμπτήρας αποτελεί τη φωτεινή πηγή της φωτιστικής συσκευής, όπου η ηλεκτρική ισχύς μετατρέπεται σε φωτεινή ισχύ. Αποτελεί, επομένως, σημαντικό στοιχείο στην προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα ηλεκτροφωτισμού. Η αιτία εκπομπής φωτός είναι κοινή για όλους τους λαμπτήρες. Αυτή είναι η μεταπήδηση διεγερμένων ηλεκτρονίων από κατάσταση υψηλότερης σε κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας. Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται αυτή η διέγερση όμως, διαφέρει σε κάθε τύπο λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες παρουσιάζουν διαφορετική φασματική κατανομή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τους υπόλοιπους λαμπτήρες, με αποτέλεσμα οι οπτικές και ενεργειακές ιδιότητές τους να διαφέρουν σημαντικά. Οι σημαντικότερες διαφορές εστιάζονται στις εξής ιδιότητες:

- **Θερμοκρασία χρώματος λαμπτήρα:**

Αποτελεί οπτική ιδιότητα των λαμπτήρων και αναφέρεται στη θερμοκρασία του χρώματος της εκπεμπόμενης φωτεινής δέσμης. Εκφράζεται σε βαθμούς Kelvin. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος, τόσο ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής (Εικόνα 59). Θερμοκρασίες χρώματος άνω των 4.000K αντιστοιχούν σε ψυχρή απόχρωση, πλούσια σε κυανή ακτινοβολία, ενώ θερμοκρασίες χρώματος κάτω των 3.000K αντιστοιχούν σε θερμή απόχρωση, πλούσια σε ερυθρή ακτινοβολία. Η κάθε απόχρωση δημιουργεί και την ανάλογη ατμόσφαιρα (ψυχρή-θερμή). Γενικά σε χώρους διαβίωσης όπως είναι οι στρατώνες είναι επιθυμητή η χρήση σχετικά θερμών αποχρώσεων 3.000– 4.000K και σε χώρους εργασίας και φύλαξης ψυχρότερες αποχρώσεις 4.000 – 7.000K.

- **Δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) λαμπτήρα:**

Αποτελεί οπτική ιδιότητα των λαμπτήρων και εκφράζει το πόσο πιστά αποδίδει το φως τους τα πραγματικά χρώματα σε σύγκριση με μια πρότυπη πηγή (πρότυπη πηγή θεωρείται το μέλαν σώμα θερμοκρασίας 3000K ή το φως της ημέρας σε θερμοκρασία 7500K). Κυμαίνεται από 0 έως 100. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης χρωματικής απόδοσης, τόσο μικρότερη είναι η απόκλιση των χρωμάτων.

- **Φωτεινή απόδοση λαμπτήρα:**

Αποτελεί φωτομετρικό μέγεθος των λαμπτήρων και ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής ισχύος (ή ροής) που παράγει ο λαμπτήρας προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει. Εκφράζεται σε lm/W . Η ηλεκτρική ισχύς που δεν μετατρέπεται σε φωτεινή ισχύ, μεταδίδεται στο χώρο ως θερμότητα.



Εικόνα 59: θερμοκρασία χρώματος (K) και ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής³⁴

Όλοι σχεδόν οι λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης. Τέτοιοι είναι οι λαμπτήρες φθορισμού, οι επαγωγικοί λαμπτήρες, οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης και οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης με μεταλλικά αλογονίδια. Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι **δίοδοι εκπομπής φωτός (LED, Light Emitting Diode)**. Η παρουσίαση όλων των διαφορετικών ειδών λαμπτήρων είναι εκτός των πλαισίων αυτής της ερευνητικής εργασίας. Αντίθετα, η ανάλυση θα περιοριστεί στους λεγόμενους λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας και ειδικότερα στους λαμπτήρες **δίοδων εκπομπής φωτός** καθώς παρουσιάζουν μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι όλων των άλλων τύπων.

³⁴ Paggazzi. (2018). **Kelvin Scale**. Διαθέσιμο στο: <https://www.paggazzi.com/light-bulb-guide/>, [10 Απριλίου 2018]

6.2 Λαμπτήρες διόδων εκπομπής φωτός (LED)

Η αρχή λειτουργίας τους συνίσταται στην εκπομπή φωτός από μια κρυσταλλοδιόδο όταν από αυτή διέλθει ρεύμα κατάλληλης έντασης. Το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται από το υλικό κατασκευής της διόδου. Οι λαμπτήρες LED λευκού χρώματος που χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές φωτισμού εσωτερικών χώρων στηρίζονται στην επάλειψη ενός λαμπτήρα LED κυανού χρώματος με ένα λεπτό στρώμα φθορίζουσας ουσίας, η οποία μετατρέπει το χρώμα αυτό σε λευκό.

Οι πρώτοι λαμπτήρες LED που κυκλοφόρησαν ήταν μικρής ισχύος (μόλις λίγα Watts), αλλά πλέον το μέγεθος της ισχύος τους έχει αυξηθεί και πλέον υπάρχουν διαθέσιμοι λαμπτήρες LED σε οποιαδήποτε επίπεδο ισχύος και για οποιαδήποτε εφαρμογή. Η αλματώδης πρόοδος της τεχνολογίας αυτών των λαμπτήρων έχει καταστήσει σίγουρη την αντικατάσταση όλων των υπολοίπων λαμπτήρων από λαμπτήρες LED (Εικόνα 60).

Οι λαμπτήρες LED χαρακτηρίζονται από υψηλή φωτεινή απόδοση (τυπική τιμή μεταξύ 30-60 Lm/W, αλλά η μέγιστη τιμή μπορεί να φθάνει για κάποιους τύπους ακόμα και τα 120Lm/W), μεγάλη διάρκεια ζωής (τυπική τιμή άνω των 30000h, με τη μέγιστη τιμή να φθάνει τις 100000h για κάποιους τύπους) και τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή λαμπτήρων. Επιπλέον έχουν πολύ καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI>80), ποικιλία στη θερμοκρασία χρώματος (2700-10000K) με αποτέλεσμα τη δυνατότητα δημιουργίας είτε ψυχρής, είτε θερμής ατμόσφαιρας (μέσω της κατάλληλης επιλογής λαμπτήρα) και τέλος είναι φιλικοί προς το περιβάλλον, καθώς δεν περιέχουν υδράργυρο που μολύνει το περιβάλλον.



Εικόνα 60: Οι λάμπες led καλύπτουν κάθε εσωτερική και εξωτερική χρήση όπως φωτισμός δρόμων και εξωτερικών εγκαταστάσεων

Το κυριότερο πλεονέκτημα των λαμπτήρων LED είναι η μεγάλη φωτιστική απόδοση (lm) με μικρή καταναλισκόμενη ισχύ (W). Η αντιστοιχία μεταξύ φωτιστικής απόδοσης και ισχύος λαμπτήρων πυρακτώσεως, λαμπτήρων φθορισμού & λαμπτήρων LED (υπάρχουν μικροδιαφορές ανάλογα με την μάρκα και την ποιότητα), παρουσιάζεται στον Πίνακα 8:

Πίνακας 8: Αντιστοιχία μεταξύ φωτιστικής απόδοσης και ισχύος διαφόρων τύπων λαμπτήρων

Τύπος λαμπτήρα	Φωτιστική απόδοση / Ισχύ (lm/W)
Πυρακτώσεως	15
Φθορισμού	55
LED	90

Όπως προκύπτει από τα πιο πάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μια κοινή λάμπα 100 W αποδίδει φωτισμό 1.500 lm. Αν λοιπόν σε ένα δωμάτιο επιθυμούμε να αντικαταστήσουμε μια κοινή λάμπα 100 W και να έχουμε την ίδια φωτιστική απόδοση αυτό μπορεί να γίνει με έναν λαμπτήρα LED ισχύος 16,6 W παρέχοντας μας οικονομίας της τάξης του 84%.

6.3 Φωτιστικά σώματα.

Τα φωτιστικά σώματα κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογες με εκείνες που κατατάσσει η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (CIE) τα συστήματα φωτισμού ενός χώρου. Η εξοικονόμηση ενέργειας στα συστήματα φωτισμού, επιβάλλει την αντικατάσταση όλων των παλαιών φωτιστικών σωμάτων με φωτιστικά σώματα σύγχρονου σχεδιασμού, κάτι που οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της απόδοσης της φωτιστικής συσκευής και των συνθηκών οπτικής άνεσης.

Πολλά σύγχρονα φωτιστικά σώματα αποτελούνται από προσεκτικά σχεδιασμένα συστήματα ανακλαστήρων για να κατευθύνουν το φως από τους λαμπτήρες προς την απαιτούμενη κατεύθυνση. Επιπλέον, η χρήση ανακλαστήρων αλουμινίου αντί των τυπικών λευκών ανακλαστήρων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή ανακλαστικότητας από το 70% στο 95%. Οι παράγοντες αυτοί επιτρέπουν τη χρήση λιγότερων λαμπτήρων ή φωτιστικών για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης στάθμης φωτισμού.

Εάν δεν είναι δυνατή η πλήρης αντικατάσταση των παλαιών φωτιστικών σωμάτων, τότε είναι δυνατή η βελτίωση της απόδοσής τους με την αντικατάσταση των συστημάτων διάχυσης ή ανάκλασης με νέα συστήματα ανακλαστήρων. Εναλλακτικά, υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης ανακλαστήρων στο παλαιό φωτιστικό, διατηρώντας τα υπάρχοντα εξαρτήματα ελέγχου του φωτός. Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται, κυμαίνεται μεταξύ 20-50%.

Μία σημαντική παράμετρος που πρέπει να ελέγχεται κατά την αντικατάσταση ή τη βελτίωση των φωτιστικών σωμάτων, είναι η ποσότητα του εξερχόμενου φωτός από αυτά, καθώς αυτή μπορεί να ποικίλλει αρκετά. Φωτιστικά σώματα με τον ίδιο αριθμό λαμπτήρων δεν είναι απαραίτητο να παρέχουν την ίδια ποσότητα εξερχόμενου φωτός. Μικρότερη ποσότητα

εξερχόμενου φωτός σημαίνει ότι απαιτούνται περισσότερα φωτιστικά σώματα για να εξασφαλίσουν σε ένα δεδομένο χώρο την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού. Επομένως ο σχεδιασμός θα είναι χαμηλότερης ενεργειακής απόδοσης.

Η αναλογία εξερχόμενου φωτός για κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο φωτιστικού από τον ένα κατασκευαστή στον άλλο διαφέρει. Για το λόγο αυτό συνίσταται να γίνεται έλεγχος των μοντέλων κατά την επιλογή τους.

6.4 Συστήματα ελέγχου φωτισμού

Η διαμόρφωση μιας στρατηγικής στο σχεδιασμό του συστήματος τεχνητού φωτισμού με κριτήριο την εξοικονόμηση ενέργειας, εξαρτάται από τη χρήση συστημάτων ελέγχου. Τα συστήματα ελέγχου χαρακτηρίζονται από τον τοπικό ή κεντρικό χαρακτήρα τους και από το βαθμό αυτοματοποίησής τους.

Ο χαρακτηρισμός των συστημάτων ελέγχου ως τοπικά ή κεντρικά συστήματα, προϋποθέτει το χωρισμό των εσωτερικών χώρων του κτιρίου σε ζώνες, οι οποίες ανάλογα με τη χρήση τους έχουν διαφορετικές απαιτήσεις στάθμης φωτισμού. Τα τοπικά συστήματα ελέγχου αποτελούνται από συστήματα αισθητήρων και ελεγκτών, τοποθετημένων σε ανεξάρτητες ζώνες, τα οποία λειτουργούν βάσει των ιδιαίτερων απαιτήσεων αυτών των χώρων. Τα κεντρικά συστήματα αποτελούνται από συνδυασμούς τοπικών συστημάτων και συχνά ενσωματώνονται στα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων, ώστε να ελέγχουν το φωτισμό σε συνάρτηση με τις άλλες λειτουργίες του κτιρίου (θέρμανση, δροσισμός, εξαερισμός, κτλ.).

Η λειτουργία των συστημάτων ελέγχου μπορεί να είναι από χειροκίνητη μέχρι πολύ υψηλού βαθμού αυτοματοποιημένη. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα έχουν καλύτερη ενεργειακή απόδοση, αλλά πρέπει να προσφέρουν και δυνατότητα χειροκίνητου ελέγχου της λειτουργίας των φωτιστικών συσκευών, ώστε ο χρήστης να έχει δυνατότητα παρέμβασης, όταν κάτι τέτοιο κρίνεται απαραίτητο, για τη βελτίωση της οπτικής άνεσης. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ελέγχου τεχνητού φωτισμού είναι οι ακόλουθες:

- **Χρονοδιακόπτες:**

Επιτρέπουν την έναρξη ή παύση της λειτουργίας των συστημάτων φωτισμού ανάλογα με προαποφασισμένα ωράρια λειτουργίας (Εικόνα 61). Τα συστήματα αυτά έχουν δυνατότητες προηγμένου προγραμματισμού, όπως ημερήσια ή εβδομαδιαία προγράμματα, εποχιακή ρύθμιση, μεταβλητά χρονικά βήματα, κτλ.



Εικόνα 61: Χρονοδιακόπτης

- **Αισθητήρες:**

Τροφοδοτούν τα συστήματα ελέγχου με δεδομένα μεταβλητών και παραμέτρων των οποίων οι τιμές καθορίζουν τη λειτουργία των συστημάτων φωτισμού. Οι κυριότεροι τύποι αισθητήρων είναι εκείνοι που ανιχνεύουν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο και εκείνοι που ανιχνεύουν την παρουσία ατόμων.

Οι τελευταίοι διακρίνονται σε αισθητήρες υπερύθρων και σε αισθητήρες υπερήχων (Εικόνα 62). Οι πρώτοι ανιχνεύουν την παρουσία ατόμων από τη θερμοκρασιακή μεταβολή στο χώρο που προκαλεί η υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπει το ανθρώπινο σώμα, ενώ οι δεύτεροι εκπέμπουν ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας στο χώρο, τα οποία μεταβάλλονται όταν παρουσιαστεί κίνηση ατόμων στο χώρο.



Εικόνα 62: Αισθητήρας παρουσίας

- **Ροοστατικοί διακόπτες (dimmers):**

Επιτρέπουν τη συνεχή ρύθμιση του επιπέδου φωτισμού των χώρων με τη βοήθεια στραγγαλιστικών διατάξεων παροχής ισχύος από ηλεκτρικό δίκτυο. Μπορούν να συνδυαστούν με αισθητήρες παρουσίας και αισθητήρα έντασης φυσικού φωτισμού (Εικόνα 63).



Εικόνα 63: Ροοστατικός διακόπτης με αισθητήρα έντασης φυσικού φωτισμού

- **Διακόπτες δύο θέσεων (on-off):** Με τη χρήση αυτών των διακοπών, το σύστημα φωτισμού σβήνει όταν τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού υπερβούν κάποια προκαθορισμένη τιμή (Εικόνα 64). Το σύστημα επαναλειτουργεί όταν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού μειωθούν περισσότερο από μια άλλη, επίσης προκαθορισμένη τιμή. Οι διακόπτες δύο θέσεων μπορούν να είναι χειροκίνητοι ή αυτόματοι.



Εικόνα 64: Διακόπτες δύο θέσεων

Αλλαγές στο ηλεκτρικό σύστημα φωτισμού είναι δυνατόν να γίνουν σε όλες τις υφιστάμενες στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Το είδος φωτισμού που θα επιλεγεί, μπορεί να διαφέρει από χώρο σε χώρο ή ακόμα και να επιλεγούν δύο είδη φωτισμού προς χρήση στον ίδιο χώρο. Αυτές οι

αποφάσεις λαμβάνονται βάσει των ιδιαίτερων απαιτήσεων που έχει ο κάθε χώρος, όσον αφορά τη στάθμη φωτισμού, ανάλογα με τη χρήση του.

Στους χώρους εργασίας, όπου απαιτείται υψηλή στάθμη φωτισμού, αυτή μπορεί να επιτευχθεί με το συνδυασμό ενός συστήματος γενικού φωτισμού στην οροφή των χώρων και ενός συστήματος τοπικού φωτισμού που παρέχει συμπληρωματική ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας (π.χ. τοπικά αναρτημένα φωτιστικά σώματα). Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι να εγκατασταθεί ένα συμμετρικό σχήμα φωτιστικών σωμάτων στην οροφή και στη συνέχεια να ρυθμιστεί η εξερχόμενη ποσότητα φωτός κάθε μεμονωμένης φωτιστικής συσκευής ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της περιοχής που φωτίζει. Αυτή η προσέγγιση επιτυγχάνεται με χρήση σύγχρονων ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου. Πολύ ενδιαφέρουσα είναι και η χρήση ροοστατικών διακοπών με ενσωματωμένο αισθητήρα παρουσίας και αισθητήρα έντασης φυσικού φωτισμού. Μερικά σενάρια χρήσης παρουσιάζονται παρακάτω:

Σενάριο 1: Κτίρια γραφείων



Είσοδος στο χώρο εργασίας με καλό φυσικό φωτισμό: ο αισθητήρας παρουσίας δεν ενεργοποιεί το φωτισμό

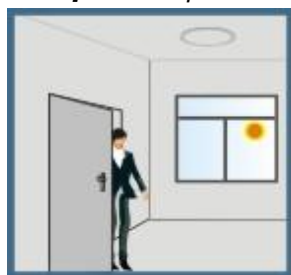


Είσοδος στο χώρο εργασίας με χαμηλό φυσικό φωτισμό: ο αισθητήρας παρουσίας ενεργοποιεί το φωτισμό



Κατά τη διάρκεια της εργασίας ο αισθητήρας έντασης φυσικού φωτισμού μεταβάλλει την ένταση φωτισμού ανάλογα με τον εισερχόμενο φυσικό φωτισμό.

Σενάριο 2: Στρατώνες



Είσοδος στο στρατώνα με καλό φυσικό φωτισμό: ο αισθητήρας παρουσίας δεν ενεργοποιεί το φωτισμό



Είσοδος στο στρατώνα με χαμηλό φυσικό φωτισμό: ο αισθητήρας παρουσίας ενεργοποιεί το φωτισμό



Κατά τη διάρκεια της ημέρας και όσο ο αισθητήρας παρουσίας ανιχνεύει δραστηριότητα μεταβάλλει την ένταση φωτισμού ανάλογα με τον εισερχόμενο φυσικό φωτισμό. Όταν παύει να ανιχνεύει δραστηριότητα στο χώρο και ανεξάρτητα από το εάν έχει ικανοποιητικό φυσικό φωτισμό χαμηλώνει το φωτισμό για κάποιο χρονικό διάστημα και εφόσον συνεχίζει να μην υπάρχει δραστηριότητα σβήνει το φωτισμό εντελώς.

Περιοχές που χρήζουν χαμηλότερων επιπέδων φωτισμού, όπως είναι οι διάδρομοι, δεν θα πρέπει να φωτίζονται με την ίδια στάθμη φωτισμού με περιοχές όπως οι χώροι εργασίας. Οι

αισθητήρες παρουσίας βρίσκουν εξαιρετική εφαρμογή σε μπάνια, διαδρόμους, χώρους φύλαξης και γενικότερα σε χώρους που επιθυμούμε ενεργοποίηση του φωτισμού όταν εντοπίζεται ανθρώπινη δραστηριότητα.

Για το σχεδιασμό του συστήματος ηλεκτροφωτισμού των εξωτερικών χώρων των στρατιωτικών εγκαταστάσεων (δρόμοι, περιφράξεις, εξωτερικοί χώροι αποθηκών) μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε συστήματα με διακόπτες δύο θέσεων (ανίχνευση μέρας και νύχτας), είτε χρονοδιακόπτες, είτε αισθητήρες παρουσίας, είτε συνδυασμοί αυτών.

6.5 Στρατιωτικές εφαρμογές αντικατάστασης λαμπτήρων

Στο πλαίσιο υλοποίησης του πιλοτικού έργου του ΥΠΕΘΑ «Military Energy & Carbon Management (MECM) – LIFE+2011» πραγματοποιήθηκαν παρεμβάσεις αντικατάστασης του περιμετρικού φωτισμού στο Στρατοπέδου που βρίσκεται στην περιοχή Πετροχώρι Ξάνθης (ΣΤΓ 906) και έχει συνολική έκταση 16.877,2 στρέμματα³⁵.

Πριν την επέμβαση (Εικόνα 65), το δίκτυο περιμετρικού φωτισμού, αποτελείτο από ιστούς που φέρουν ένα βραχίονα και φωτιστικό σώμα, που σύμφωνα με τις προδιαγραφές του αρχικού σχεδιασμού διαθέτει λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης ισχύος 400W. Επίσης, στον περιμετρικό φωτισμό συμμετέχουν και 2 προβολείς μεταλλικών ατμών αλογονιδίων – HQI ισχύος 150W και 250W αντίστοιχα.



Εικόνα 65: Περιμετρικός φωτισμός πριν την επέμβαση

Τα συμβατικά φωτιστικά σώματα του περιμετρικού φωτισμού, αντικαταστάθηκαν με 43 σύγχρονα φωτιστικά σώματα που διαθέτουν λαμπτήρες LED, ισχύος 150W. Οι συμβατικοί

³⁵ LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Assessment Rep Triandafyllidy**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/oxrsJT>, [10 Απριλίου 2018]

προβολείς αντικαταστάθηκαν με νέους, τεχνολογίας LED, συνολικής ισχύος 500W. Επίσης, στον ευρύτερο χώρο του Στρατοπέδου, τοποθετήθηκαν 37 ιστοί με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία, λαμπτήρες LED και συσσωρευτές (Εικόνα 66).



Εικόνα 66: Περιμετρικός φωτισμός μετά την επέμβαση

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας με το νέο σύστημα φωτισμού, χρησιμοποιήθηκε μετρητικός εξοπλισμός (Εικόνα 67) με σκοπό την συνεχή καταγραφή της καταναλισκόμενης ενέργειας από τη λειτουργία του περιμετρικού φωτισμού. Λόγω της τοπολογίας του δικτύου παροχής ενέργειας στον περιμετρικό φωτισμό χρησιμοποιήθηκε ένα μετρητικό σύστημα που μετράει την καταναλισκόμενη ενέργεια. Το μετρητικό σύστημα, καταγράφει την καταναλισκόμενη ενέργεια και στη συνέχεια, τα δεδομένα αποστέλλονται ασύρματα και αποθηκεύονται στο διαδίκτυο (cloud storage).



Εικόνα 67: Μετρητικός εξοπλισμός

Τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν από διαδικτυακή εφαρμογή η οποία τα εμφανίζει για τη χρονική περίοδο που επιλέγεται από τον χρήστη (ημέρα, εβδομάδα, μήνας) και με ανάλυση δεκαπέντε λεπτών (15'), 60' και ημέρας. Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας στον περιμετρικό φωτισμό του Στρατοπέδου «Τριανταφυλλίδη» από την αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών σωμάτων με νέας τεχνολογίας σε ετήσια βάση ανέρχεται σε ποσοστό **60,58%** σε σχέση με το συμβατικό σύστημα σε και αντιστοιχεί σε **44.156,58 kWh/έτος**.

7 Έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας

Ο αποτελεσματικότερος τρόπος επίτευξης του απαιτούμενου εσωκλίματος σε μια κτιριακή εγκατάσταση, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας, είναι η αυτοματοποίηση της λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων.

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου έχουν τη δυνατότητα ελέγχου και ρύθμισης της λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων με ορθό και παράλληλο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζονται κάθε φορά οι επιθυμητές τιμές των παραμέτρων του εσωκλίματος (εσωτερική θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα, ταχύτητα αέρα, επίπεδα φωτισμού, θάμβωση, κτλ.). Η χρήση των συστημάτων αυτών δίνει λύση στο πρόβλημα της επίδρασης της λειτουργίας ενός ενεργειακού συστήματος πάνω σε ανταγωνιστικές παραμέτρους.

Για παράδειγμα, η λειτουργία ενός κινητού συστήματος σκίασης που βελτιώνει τον δροσισμό το καλοκαίρι, αλλά μειώνει τα επιθυμητά ενεργειακά κέρδη από τον ήλιο το χειμώνα, μπορεί να λειτουργεί έξυπνα ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου.

Οι τεχνικές αυτοματισμού επιτρέπουν επίσης τη βελτιστοποίηση της συνδυασμένης λειτουργίας των συμβατικών συστημάτων και των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενός κτιρίου. Τα συμβατικά συστήματα πρέπει να λειτουργούν συμπληρωματικά ως προς τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μόνο κατά τη διάρκεια περιόδων που διαπιστώνεται πως οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου δεν δύναται να ικανοποιηθούν από τη λειτουργία των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνδυασμένη αυτή λειτουργία μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί με τη βοήθεια των τεχνικών αυτοματισμού.

Παράδειγμα, σε ένα στρατιωτικό κτίριο, το οποίο είναι εξοπλισμένο με σύστημα θέρμανσης του ζεστού νερού χρήσης και με λέβητα πετρελαίου και με ένα ηλιοθερμικό σύστημα. Το σύστημα αυτομάτου ελέγχου δε θα θέσει σε λειτουργία, το συμβατικό σύστημα του λέβητα, παρά μονάχα αν το ηλιοθερμικό σύστημα αδυνατεί να καλύψει ικανοποιητικά τις απαιτήσεις θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τεχνικών ελέγχου που εφαρμόζονται στα κτίρια (Εικόνα 62). Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής εξαρτάται κυρίως από το είδος των εγκαταστάσεων που πρόκειται να ελεγχθούν. Ένα τυπικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου, ανεξάρτητα από την τεχνική που χρησιμοποιεί για τη λειτουργία του, αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- **Αισθητήρες:** Τα εξαρτήματα αυτά μετρούν την τιμή των παραμέτρων ελέγχου, οι οποίες είναι η εσωτερική θερμοκρασία, η υγρασία, οι συγκεντρώσεις ρύπων, τα επίπεδα φωτισμού, κτλ.
- **Ενεργοποιητές:** Οι συσκευές αυτές εκτελούν την αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων που συνδέονται στο σύστημα ελέγχου.

- **Ελεγκτές:** Αποτελούν τα κύρια στοιχεία του συστήματος ελέγχου, τα οποία καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας και συντονισμού των διάφορων ενεργειακών συστημάτων, ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων ελέγχου.

Αν και οι ελεγκτές είναι τα κύρια μέρη του συστήματος, η επιλογή των αισθητήρων και των ενεργοποιητών θα πρέπει να γίνεται με προσοχή ώστε το σύστημα να έχει τη βέλτιστη απόδοση. Οι κλασικές τεχνικές ελέγχου βάσει των οποίων λειτουργούν τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου είναι οι ακόλουθες:

- έλεγχος δύο θέσεων (on-off control),
- αναλογικός έλεγχος (P control),
- αναλογικός-ολοκληρωτικός έλεγχος (PI control),
- αναλογικός-ολοκληρωτικός-διαφορικός έλεγχος (PID control),
- έλεγχος χρονικού προγραμματισμού (time programming control),
- έλεγχος με τη βοήθεια λογικών συστημάτων (logic control),
- έλεγχος με τη βοήθεια optimizer.

Οι παραπάνω τεχνικές εφαρμόζονται ήδη σε πολλές περιπτώσεις συστημάτων αυτομάτου ελέγχου εγκατεστημένων σε κτίρια του εξωτερικού και της Ελλάδας.



Εικόνα 68: Έξυπνα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας

Η μελλοντική εξέλιξη των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στηρίζεται στη χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίες επιτρέπουν την προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν σε ένα κτίριο και την αυτόματη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των συστημάτων, δίνοντας προτεραιότητα στις παθητικές (και στις υβριδικές), μη ενεργοβόρες διατάξεις. Οι πιο σημαντικές τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου των κτιρίων είναι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, τα έμπειρα συστήματα και τα συστήματα ασαφούς λογικής.

Τα σημαντικότερα ολοκληρωμένα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, τα οποία πραγματοποιούν ταυτόχρονο έλεγχο όλων των παραμέτρων των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων ενός κτιρίου, ονομάζονται **συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων** (BEMS- Building Energy Management System).

7.1 Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (BEMS)

Τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (BEMS- Building Energy Management System) είναι ολοκληρωμένα συστήματα, αποτελούμενα από έναν αριθμό αισθητήρων, ενεργοποιητών, ελεγκτών και υπολογιστικών διατάξεων με σκοπό τη ρύθμιση της λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων με βάση τις επιθυμητές τιμές των παραμέτρων του εσωκλίματος των κτιρίων. Ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης επιτηρεί και ελέγχει τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις του κτιρίου, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση και καταγραφή της ενεργειακής συμπεριφοράς των συστημάτων του κτιρίου από ένα σταθμό ελέγχου, καθώς και η δημιουργία αρχείου με στατιστικά στοιχεία.

Έτσι, δίνεται η δυνατότητα:

- α) καταγραφής της καταναλισκόμενης ενέργειας,
- β) καταγραφής των επιθυμητών τιμών των παραμέτρων του εσωκλίματος,
- γ) εγκαίρων επεμβάσεων εκτάκτου ανάγκης και
- δ) μείωσης του λειτουργικού κόστους συντήρησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

Αναλυτικά, ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων αποτελείται από:

- Τον Κεντρικό Σταθμό Παρακολούθησης και Ελέγχου ή Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (ΚΜΕ), η οποία είναι το σημείο παρακολούθησης και ελέγχου του συστήματος από τους χρήστες.
- Τα Απομακρυσμένα Κέντρα Ελέγχου (ΑΚΕ), τα οποία είναι οι σταθμοί συλλογής και επεξεργασίας των σημάτων των αισθητήρων.
- Το δίκτυο Περιφερειακών Μονάδων Ελέγχου (ΠΜΕ), οι οποίες είναι πλήρως προγραμματιζόμενες μονάδες ψηφιακού ελέγχου και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των ΑΚΕ.
- Τα δίκτυα των συστημάτων και τα ανοιχτά πρωτόκολλα επικοινωνίας.
- Τα όργανα λήψεως πληροφοριών (π.χ. αισθητήρες) ή εκτέλεσης εντολών (π.χ. βαλβίδες, ρελέ εκκίνησης), τα οποία είναι συσκευές που πληροφορούν με τις τιμές ή καταστάσεις των επιτηρούμενων παραμέτρων τις περιφερειακές μονάδες ελέγχου ή οδηγούνται κατάλληλα από αυτές έτσι ώστε να υλοποιηθούν οι προγραμματιζόμενες στρατηγικές ελέγχου.

Η διασύνδεση του συνόλου των αισθητήρων και των λοιπών οργάνων λήψεως πληροφοριών ή εκτέλεσης εντολών γίνεται με ακτινικό τρόπο προς το αντίστοιχο απομακρυσμένο ΑΚΕ, ενώ το τελευταίο συνδέεται με τα όμοιά του και με την κεντρική μονάδα ελέγχου σε ομότιμο δίκτυο ψηφιακής επικοινωνίας.

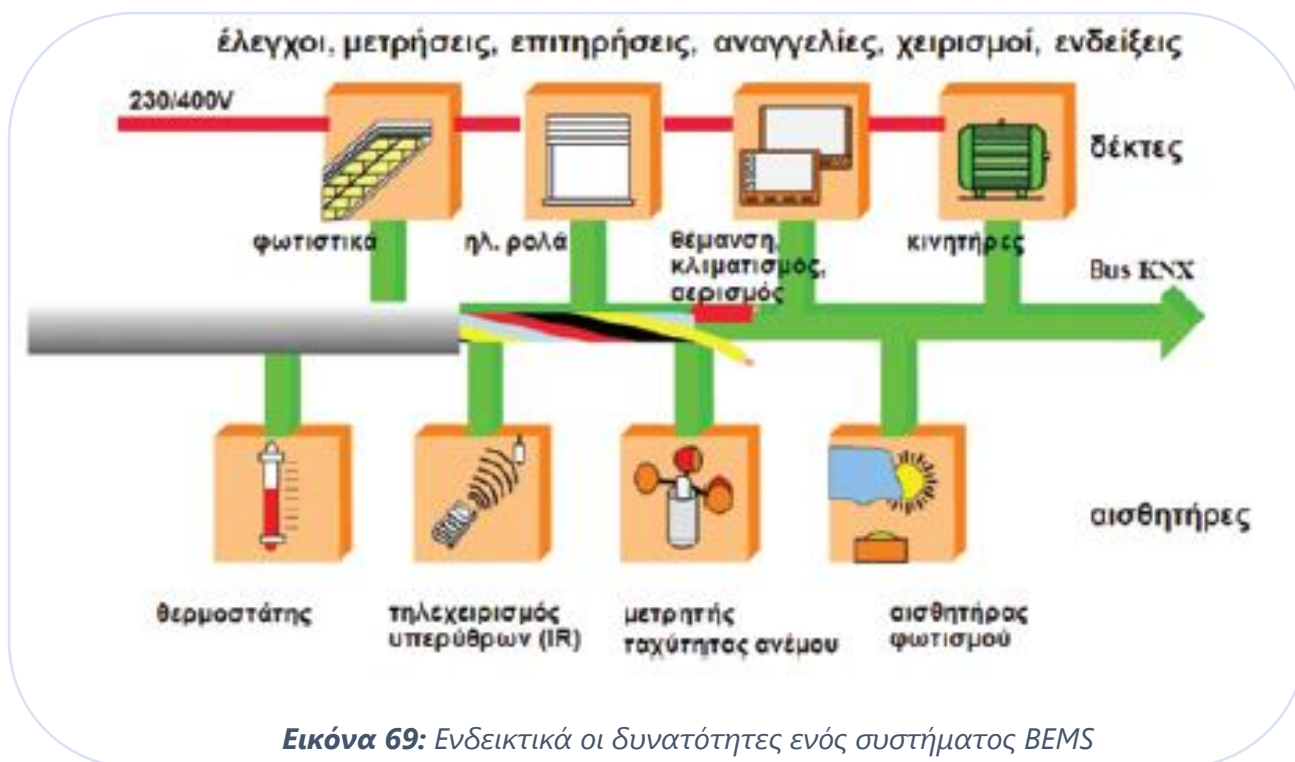
Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος περιλαμβάνει τέσσερα στάδια. Αυτά είναι η ανίχνευση ή μέτρηση, ο έλεγχος, η επίβλεψη και η παρεμβολή του χρήστη. Στο πρώτο στάδιο ανιχνεύονται ή μετρούνται, με τη βοήθεια αισθητήρων, οι τιμές των παραμέτρων του εσωκλίματος των κτιρίων (θερμοκρασία, υγρασία, κτλ.) Στο δεύτερο στάδιο γίνονται οι κατάλληλες διορθωτικές και ρυθμιστικές κινήσεις, ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων που ανιχνεύονται ή μετρούνται και τη στρατηγική ελέγχου που έχει επιλεγεί. Στο επόμενο στάδιο καταγράφονται οι εφαρμοζόμενες στρατηγικές ελέγχου και οι αποδόσεις τους ώστε να είναι εφικτή η αξιολόγηση και βελτιστοποίησή τους. Τέλος, στο στάδιο της παρεμβολής, ο χρήστης παρεμβαίνει και βελτιώνει τη στρατηγική ελέγχου.

Είναι προφανές πως η σωστή λειτουργία ενός συστήματος BEMS εξαρτάται άμεσα από την άψογη επικοινωνία μεταξύ των επιμέρους συστημάτων του. Θα πρέπει λοιπόν, όλα αυτά τα διαμορφωμένα συστήματα λειτουργίας να μιλούν με την ίδια γλώσσα επικοινωνίας. Επομένως, ένα σύστημα BEMS πρέπει να είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο λογισμικό, το οποίο θα επιτρέπει τη σύνδεση και συνεργασία μεταξύ συσκευών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές και δεν είναι απόλυτα συμβατές μεταξύ τους, απεγκλωβίζοντας το χρήστη-αγοραστή από την ανάγκη προμήθειας όλου του συστήματος από ένα μόνο κατασκευαστή. Το λογισμικό που επιτελεί αυτήν τη λειτουργία είναι τα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Διεθνώς αναγνωρισμένα και ευρέως χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι το BACnet, το Echelon LonWorks, το Instabus και το Profibus.

Τα σημαντικότερα ενεργειακά συστήματα που παρακολουθούνται και ελέγχονται από ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης είναι όλα τα ενεργειακά συστήματα, οι εγκαταστάσεις ασφαλείας (συστήματα πυρανίχνευσης, πυρόσβεσης και συναγερμού), οι συσκευές ηλεκτρικής κατανάλωσης και όσα παθητικά συστήματα κάνουν χρήση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ή συστημάτων ελέγχου (υβριδικά συστήματα).

Ενδεικτικά ένα σύστημα BEMS μπορεί να έχει τις επιπλέον δυνατότητες (Εικόνα 63):

- Χρονική καταγραφή των γεγονότων με στόχο την ορθολογική λειτουργία και τη διενέργεια προληπτικής συντήρησης των εγκαταστάσεων.
- Επιτήρηση της κατανάλωσης καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας.
- Έλεγχο συχνότητας εκκίνησης πολλών μονάδων παραγωγής θερμότητας και ψύξης.
- Μελλοντική επέκταση για την κάλυψη και άλλων αναγκών.
- Έλεγχο και επιτήρηση του κτιρίου μέσω Η/Υ ή υπολογιστή παλάμης (palmtop), χρησιμοποιώντας ασύρματη σύνδεση προς το Διαδίκτυο και μία ή περισσότερες κάμερες μέσα στο κτίριο.
- Εγκατάσταση κατάλληλων θυρών ασφαλείας, οι οποίες μπορούν να ανοίγουν από μακριά μέσω τηλεφώνου.



Εικόνα 69: Ενδεικτικά οι δυνατότητες ενός συστήματος BEMS

Ο ρυθμός εγκατάστασης συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης σε κτίρια είναι συνεχώς αυξανόμενος, ενώ μετρήσεις και θεωρητικές μελέτες έχουν αποδείξει πως η χρήση αυτών των συστημάτων μπορεί να οδηγήσει αφενός σε εξοικονόμηση ενέργειας που να υπερβαίνει το 20% και αφετέρου σε σημαντική βελτίωση του εσωκλίματος των κτιρίων.

Τα συστήματα BEMS αποτελούν τη μοναδική λύση για τη συντονισμένη και ορθολογική λειτουργία των σύγχρονων στρατιωτικών εγκαταστάσεων.

7.2 Στρατιωτικές εφαρμογές συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων

Στο πλαίσιο υλοποίησης του πιλοτικού έργου του ΥΠΕΘΑ «Military Energy & Carbon Management (MECM) – LIFE+2011», στο κτίριο ΕΡΜΗΣ της 110 Πτέρυγας Μάχης στην Λάρισα τοποθετήθηκε σύστημα παρακολούθησης και ενεργειακής διαχείρισης (Building Energy Management System - BEMS) που περιλαμβάνει υποσύστημα ελέγχου θέρμανσης/ηλιοθερμικών (αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα) και υποσύστημα καταγραφής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Το υποσύστημα καταγραφής ηλεκτρικής ενέργειας, καταγράφει την κατανάλωση τόσο στο σύνολο του κτιρίου όσο και ανά κοιτώνα (σύνολο 44 κοιτώνες). Για το λόγο αυτό εγκαταστάθηκε στους 44 ηλεκτρικούς πίνακες χαμηλής τάσης, οι οποίοι βρίσκονται εντός των κοιτώνων, καθώς και στον κύριο ηλεκτρικό πίνακα που βρίσκεται στο κλιμακοστάσιο, μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας.

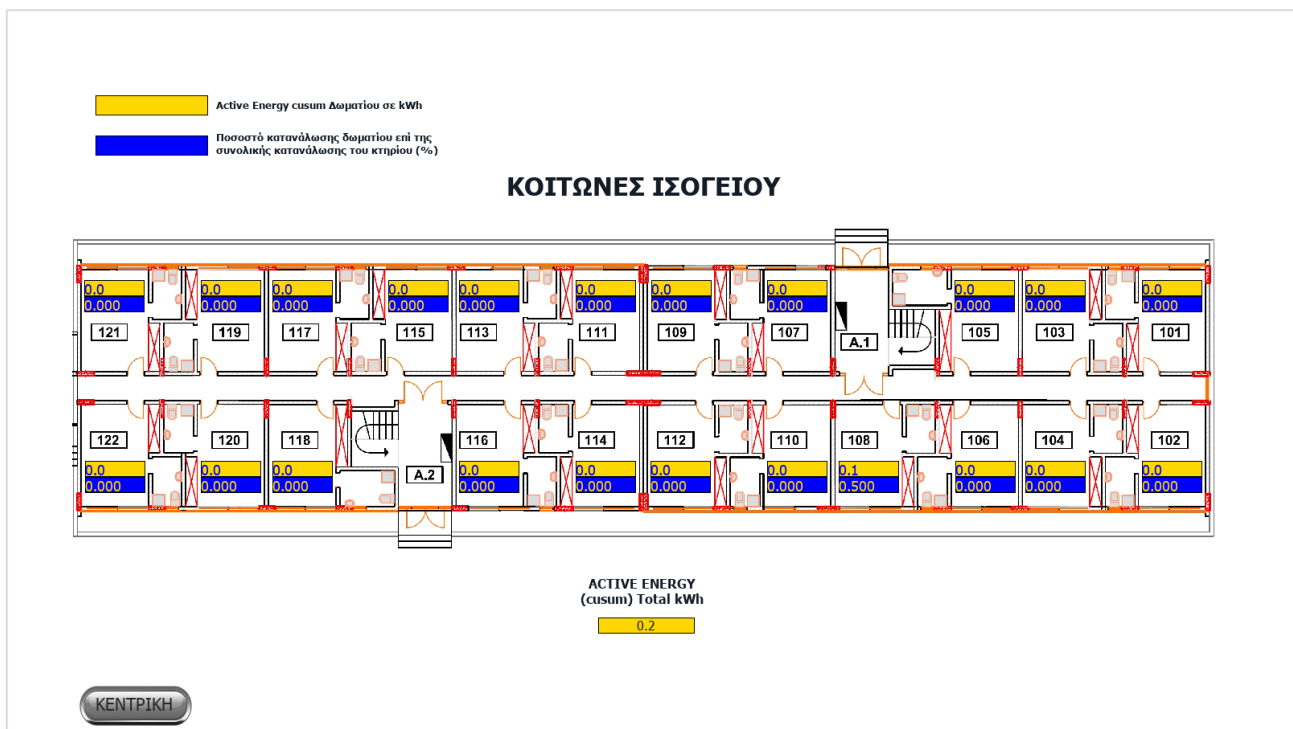
Τόσο το υποσύστημα καταγραφής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας όσο και το υποσύστημα ελέγχου συστήματος θέρμανσης/ηλιοθερμικών (με 3 θερμοδομητητές και 1 σύστημα

αντιστάθμισης), συνδέονται ασύρματα με κεντρικό καταγραφικό για την μεταφορά των δεδομένων.

Το κεντρικό καταγραφικό έχει τη δυνατότητα να στείλει απευθείας (on-line) τα δεδομένα σε Η/Υ που βρίσκεται στο κτίριο του Διοικητηρίου της 110 ΠΜ (στο γραφείο του ενεργειακού υπευθύνου), το οποίο είναι σε απόσταση περίπου 1 Km από το κτίριο, όπου με ειδικό λογισμικό τα δεδομένα αποθηκεύονται σε επεξεργάσιμη μορφή.

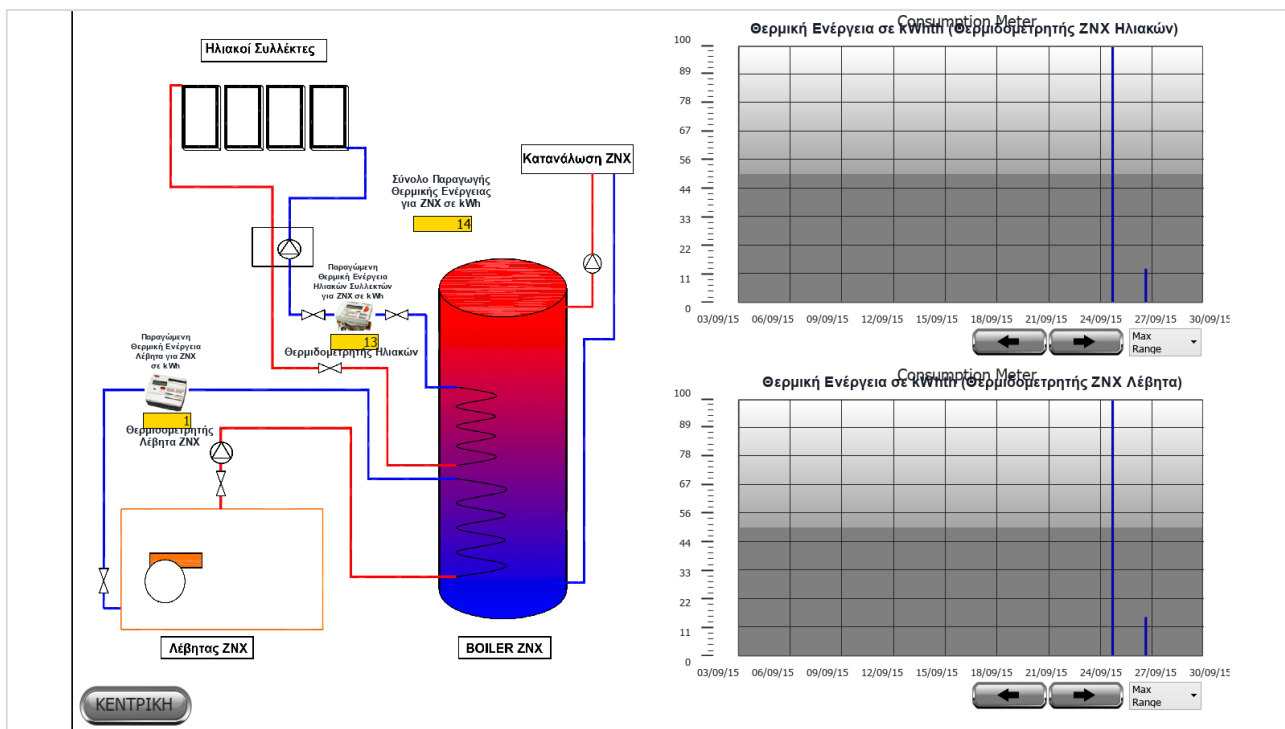
Το γενικό σύστημα BEMS έχει δυνατότητα καταγραφής των δεδομένων και αποθήκευσης των καταγεγραμμένων μέσων τιμών ανά οριζόμενο από τον χρήστη διάστημα (πχ 5', 10' ή 15'). Υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης όλων των δεδομένων για ένα διάστημα τουλάχιστον 3 χρόνων.

Παρακάτω (Εικόνες 64, 65 και 66) παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες επιλογές που δίνονται στην οθόνη του Η/Υ.

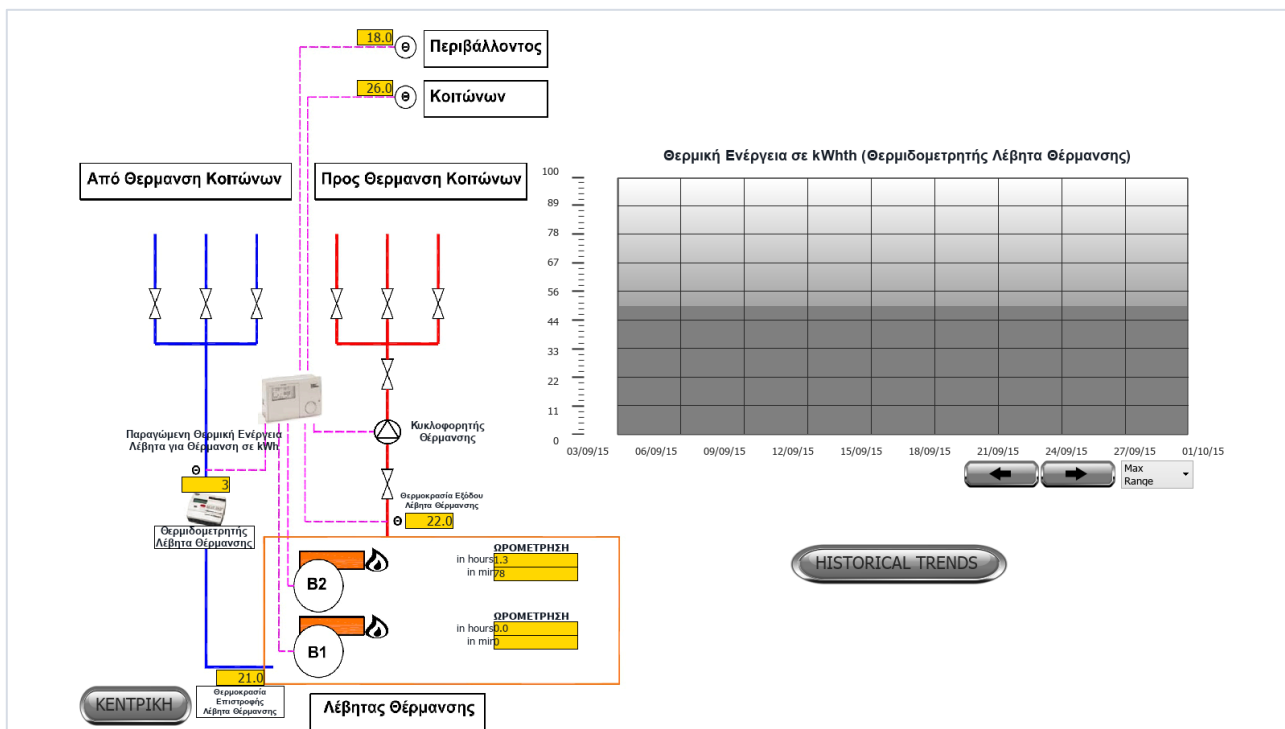


Εικόνα 70: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στους κοιτώνες

Η αναλυτική καταγραφή των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί σε επίγνωση των ενεργειακών αναγκών και σε στοχευμένες παρεμβάσεις βελτιστοποίηση της χρήσης των ενεργειακών πόρων με την μεγαλύτερη δυνατή οικονομία.



Εικόνα 71: Παραγωγή θερμικής ενέργειας από το ηλιοθερμικό σύστημα



Εικόνα 72: Κατανάλωση θερμικής ενέργειας στο σύστημα θέρμανσης

8 Παθητικός δροσισμός κτιρίων

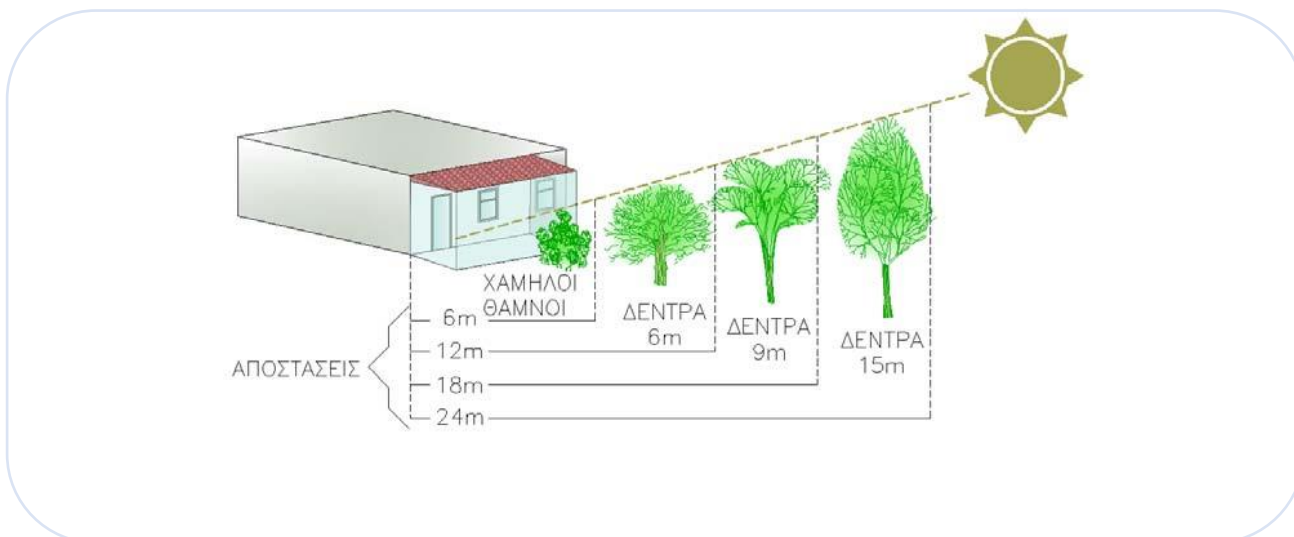
Βιοκλιματικός σχεδιασμός ονομάζεται ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του κελύφους των κτιρίων, ο οποίος λαμβάνοντας υπ' όψη το τοπικό κλίμα μιας περιοχής, εξασφαλίζει το κατάλληλο εσωκλίμα με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η αρχιτεκτονική αυτή προσέγγιση του κτιριακού σχεδιασμού αξιοποιεί, μέσω κατάλληλων τεχνικών, την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των κτιρίων, τους ανέμους και τη βλάστηση για το δροσισμό και το φυσικό φως για το φωτισμό. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού και φωτισμού. Το σύνολο των τεχνικών αυτών είναι δυνατόν να εφαρμοστούν στο σχεδιασμό των νέων στρατιωτικών εγκαταστάσεων, προσαρμόζοντας κατάλληλα τον προσανατολισμό του κτιρίου, τη γεωμετρία του, το μέγεθος των παραθύρων κ.α.. Στα υφιστάμενα στρατιωτικά κτίρια, οι επεμβάσεις βιοκλιματικού σχεδιασμού περιορίζεται κυρίως σε επεμβάσεις **παθητικού δροσισμού** καθώς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η θέση του κτιρίου δεν μπορούν να μεταβληθούν.

Η ηλιοπροστασία των στρατιωτικών κτιρίων τους θερμούς μήνες του έτους θεωρείται απαραίτητη για τη μείωση των ψυκτικών φορτίων σε όσα στρατιωτικά κτίρια κλιματίζονται αλλά και για τη διατήρηση της απαιτούμενης θερμικής άνεσης στο εσωτερικό εκείνων των κτιρίων που δεν κλιματίζονται όπως είναι οι στρατώνες. Προσοχή πρέπει να λαμβάνεται ώστε οι επεμβάσεις παθητικού δροσισμού να μην περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη του κτιρίου κατά την διάρκεια του χειμώνα.

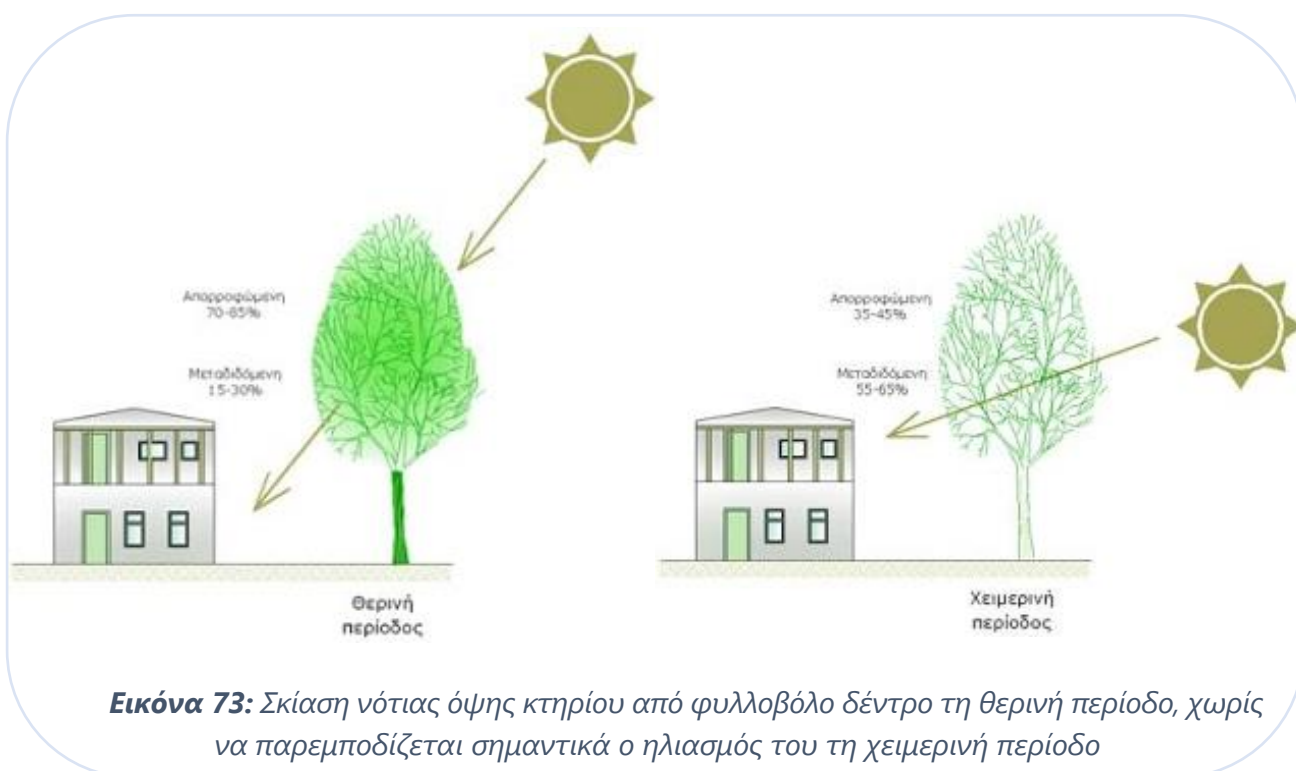
8.1 Σκιασμός κτιρίου με φύτευση

Η σκίαση του κτιρίου επιτυγχάνεται με τη φύτευση βλάστησης φυλλοβόλων δέντρων σε κατάλληλες θέσεις του περιβάλλοντα ελεύθερου χώρου του κτιρίου για να εμποδίζουν τον άμεσο ηλιασμό του. Ο αέρας υπό τη σκιασμένη περιοχή ενός δέντρου, είναι τουλάχιστον κατά 4.5° C δροσερότερος σε σχέση με τον αέρα στη μη σκιασμένη περιοχή. Στην Εικόνα 67 δίνονται τα προτεινόμενα ύψη φύτευσης του ΚΕνΑΚ, αναλόγως με την απόσταση, για νότιο προσανατολισμό.



Τη νύχτα, τα δέντρα εμποδίζουν τη διαφυγή της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από το έδαφος. Έτσι, τη νύχτα η θερμοκρασία του αέρα σε χώρους με πυκνή βλάστηση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τους ανοικτούς χώρους. Την ημέρα, όμως, η θερμοκρασία είναι μικρότερη γιατί η βλάστηση αποτρέπει ένα μεγάλο μέρος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας να φτάσει στο έδαφος.

Η επιλογή φυλλοβόλων δέντρων έναντι αιθαλών για την ηλιοπροστασία του κτιρίου οφείλεται στο πλεονέκτημα των πρώτων να προστατεύουν μεγάλες επιφάνειες του κτιρίου από τον ήλιο το καλοκαίρι, αλλά να αφήνουν τις ίδιες επιφάνειες να δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα (Εικόνα 68).



Όσον αφορά την τελική επιλογή για την θέση φύτευσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τυχόν ύπαρξη φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών συστημάτων και να υπάρχει μέριμνα για την αποφυγή σκιάσής τους καθ' όλο το 24ώρο.

Αποτελεσματική είναι, επίσης, η φύτευση αναρριχώμενων φυτών στις όψεις του κτιρίου για την προστασία τους από την ηλιακή ακτινοβολία. Και πάλι τα φυλλοβόλα αναρριχώμενα φυτά πλεονεκτούν των αιθαλών. Αυτή τη φορά όμως, τα αιθαλή φυτά παρουσιάζουν το πλεονέκτημα να προσφέρουν θερμική μόνωση στο κτίριο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, καθώς το στρώμα αέρα που δημιουργείται μεταξύ του φυλλώματος τους και του τοίχου περιορίζει τις θερμικές απώλειες.

Το δώμα αποτελεί ένα στοιχείο του κτιριακού κελύφους, το οποίο δεν αποτελεί συνήθως αντικείμενο ιδιαίτερης μελέτης και προσοχής. Όμως, η σωστή σκίαση του με φύτευση ή χρήση οριζόντιων στοιχείων όπως είναι οι πέργκολες, προστατεύει σε μεγάλο βαθμό το κτίριο από την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι.

Το φύτεμα του δώματος (Εικόνα 10) αποτελεί την κυριότερη τεχνική σκιασμού της ταράτσας του κτιρίου. Το φύτεμα δώματος συνεισφέρει ευεργετικά στην εξοικονόμηση ενέργειας αφού μειώνει τα φορτία κλιματισμού και θέρμανσης του τελευταίου ορόφου έως 30% και 10% αντίστοιχα. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, η βλάστηση του δώματος δεν επιτρέπει σε μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας του ηλίου να φτάσει στο κτίριο, ενώ τους χειμερινούς μήνες, το χώμα που έχει τοποθετηθεί στην ταράτσα του κτιρίου όπως και το στατικό στρώμα αέρα που εγκλωβίζεται μεταξύ της βλάστησης και του δώματος, δρουν ως θερμομόνωση μειώνοντας τις θερμικές απώλειες.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί πως ο σκιασμός των στρατιωτικού κτιριακών εγκαταστάσεων με φύτευση προσφέρει παράλληλα τη δυνατότητα κάλυψης των εγκαταστάσεων από την παρατήρηση από τον εχθρό.

8.2 Σκιασμός ανοιγμάτων

Η σκίαση των ανοιγμάτων επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών διατάξεων που ονομάζονται συστήματα σκίασης ή απλά, σκίαστρα. Υπάρχουν πολλές ταξινομήσεις των συστημάτων σκίασης ανάλογα με την ιδιότητα βάσει της οποίας ταξινομούνται. Έτσι έχουμε τα εξωτερικά ή εσωτερικά σκίαστρα, τα σταθερά ή κινητά σκίαστρα και τα οριζόντια ή κατακόρυφα ή σχαρωτά (σε μορφή εσχάρας) σκίαστρα.

Η χρήση του κατάλληλου τύπου σκιάστρου εξαρτάται από τον προσανατολισμό και τη θέση των ανοιγμάτων, αλλά και από τη χρήση και την αισθητική του κτιρίου.

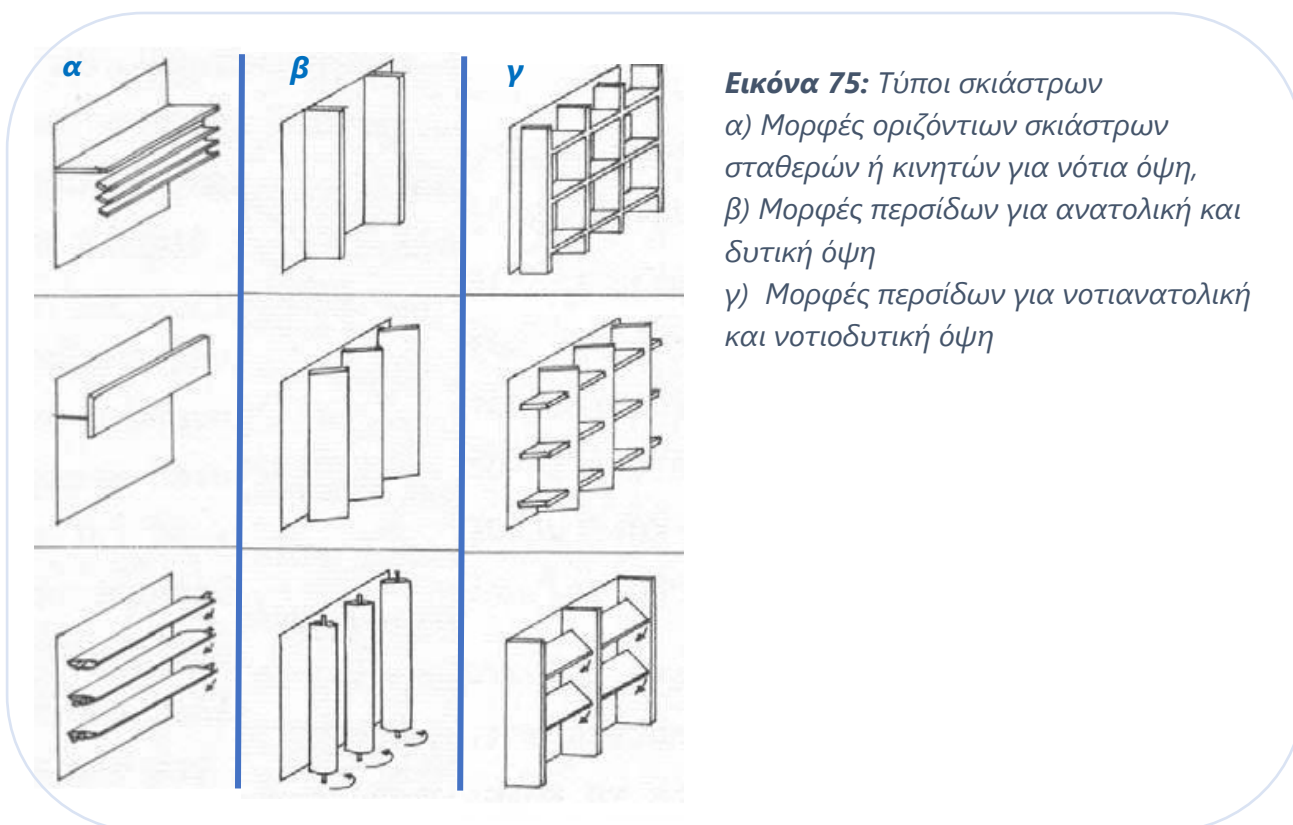
Τα σταθερά συστήματα σκίασης περιλαμβάνουν προβόλους, στοές, πέργκολες (Εικόνα 69) κ.α. Πολλές φορές παρέχονται από το ίδιο το σχήμα του κτιρίου (π.χ. βεράντες). Τα κινητά συστήματα σκίασης περιλαμβάνουν τέντες, ρολά, παντζούρια, κουρτίνες, περσίδες, κ.α.



Εικόνα 74: Οριζόντιο σκίαστρο με πέργκολα με φυτά

Τα εξωτερικά συστήματα σκίασης πλεονεκτούν των εσωτερικών γιατί εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στον εσωτερικό χώρο και να τον θερμάνει. Αντίθετα, τα εσωτερικά σκιάστρα προσφέρουν μόνο μερική προστασία αφού η προσπίπτουσα ακτινοβολία διαπερνά τα υαλοστάσια των ανοιγμάτων και αυξάνει τη θερμοκρασία του αέρα μεταξύ αυτών και των εσωτερικών σκιάστρων. Έτσι, αυξάνεται και η θερμοκρασία του εσωτερικού του κτιρίου.

Για ανοίγματα νοτίου προσανατολισμού ιδανικότερες διατάξεις σκιασμού είναι οι οριζόντιες (Εικόνα 70α). Για ανοίγματα ανατολικού ή δυτικού προσανατολισμού η σωστή επιλογή είναι τα κατακόρυφα σκιάστρα γιατί προσφέρουν προστασία από τις ακτίνες του ήλιου, οι οποίες βρίσκονται πολύ χαμηλά το πρωί και το απόγευμα και δεν εμποδίζονται από τα οριζόντια σκιάστρα (Εικόνα 70β). Μάλιστα, η χρήση κατακόρυφων κινητών στοιχείων σκίασης, τα οποία περιστρέφονται αυτόματα ακολουθώντας την τροχιά του ήλιου προσφέρει το πλεονέκτημα του ανεμπόδιστου ηλιασμού κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο οποίος θα ήταν περιορισμένος σε περίπτωση χρήσης σταθερών κατακόρυφων σκιάστρων. Για ανοίγματα νοτιανατολικά και νοτιοδυτικά καταλληλότερα είναι τα σχαρωτά σκιάστρα με προτίμηση στα κινητά από τα σταθερά ((Εικόνα 70γ).



Είναι προφανές πως από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας, η καλύτερη επιλογή είναι η χρήση εξωτερικών, κινητών σκιάστρων για όλους τους προσανατολισμούς. Όμως από οικονομικής σκοπιάς, τα οφέλη που προκύπτουν από τη μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση, πολλές φορές δεν αντισταθμίζουν το αυξημένο αρχικό κόστος αυτών των διατάξεων.

Έτσι για τις περιπτώσεις αυτές προκρίνεται ο συνδυασμός εξωτερικών, σταθερών σκιάστρων με εσωτερικές κουρτίνες (στόρια), οι οποίες ενεργούν ως συμπληρωματική σκίαση όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί πως ένα σύστημα σκίασης για να είναι πετυχημένο, πρέπει να εξασφαλίζει ικανοποιητικό φυσικό φωτισμό στο εσωτερικό του κτιρίου, να μην περιορίζει την παρατήρηση και το φυσικό αερισμό και η συντήρησή του να είναι οικονομική και εύκολη.

8.3 Εξωτερικός χρωματισμός.

Στην επιλογή του εξωτερικού χρώματος ενός στρατιωτικού κτιρίου παίζει πρωτεύοντα ρόλο η ανάγκη κάλυψης του κτιρίου με χρώματα παραλλαγή που δυσκολεύουν τον εντοπισμό του από τον εχθρό. Εντούτοις, ο χρωματισμός των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου είναι μια σημαντική παράμετρος καθορισμού του θερμικού και ψυκτικού φορτίου του ειδικά αν αυτά δεν είναι επαρκώς θερμομονωμένα.

Έτσι σε περιοχές με θερμό κλίμα (π.χ. νησιά του Αιγαίου) επιβάλλεται η χρήση ανοιχτών χρωμάτων και υλικών με μικρό συντελεστή απορροφητικότητας και υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας για τις εξωτερικές επιφάνειες, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης του κτιρίου.

Αντίθετα, σε ψυχρές περιοχές πρέπει να χρησιμοποιούνται σκούρα χρώματα και υλικά, ώστε ο συντελεστής απορροφητικότητας των εξωτερικών επιφανειών να είναι υψηλός. Έτσι μεγιστοποιείται η συλλογή ηλιακής ενέργειας από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, η οποία χρειάζεται για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών θέρμανσης σε αυτές τις περιοχές.

Περιορισμοί τίθενται από τα Ελληνικά Κατασκευαστικά Πρότυπα όσον αφορά την επιλογή της απόχρωσης που δύναται να καλύψει ένα Σύνθετο Σύστημα Εξωτερικής Θερμομόνωσης (ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-03-06-02-04), όπου ζητείται να αποφεύγονται σκούροι χρωματισμοί λόγω του ότι είναι μεγαλύτερες οι απορροφήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας οπότε ενισχύονται οι κίνδυνοι ρηγματώσεων των τελικών επιχρισμάτων. Ειδικότερα πρέπει:

- Να αποφεύγονται χρώματα με συντελεστή απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας μεγαλύτερου του 0,7 ο οποίος για υψόμετρα μεγαλύτερα των 1.300 m πρέπει να περιορίζεται στο 0,5.
- Να μην παρατίθενται χωρίς διαχωριστικό αρμό στρώσεις τελειώματος, των οποίων οι συντελεστές απορρόφησης παρουσιάζουν διαφορά μεγαλύτερη του 0,2.

Τέλος ιδιαίτερη σημασία έχει ο χρωματισμός της στέγης του κτιρίου στη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας του. Μια σκουρόχρωμα βαμμένη στέγη παρουσιάζει εξωτερική, επιφανειακή θερμοκρασία μέχρι και 32° C μεγαλύτερη από τη μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η αντίστοιχη αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας μιας λευκής στέγης είναι μόλις 2° C.

9 Συμπεράσματα

Το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας είναι ένας από τους μεγαλύτερους δημόσιους φορείς στην Ελλάδα.

- Οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις είναι οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ενέργειας και γι' αυτό παρουσιάζουν τεράστιες δυνατότητες για ενεργειακή εξοικονόμηση.
- Οι τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν, μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα στην πλειοψηφία των στρατιωτικών εγκαταστάσεων και να συμβάλουν αποτελεσματικά προς την κατεύθυνση αυτή.
- Οι εξοικονόμηση που προκύπτει αφορά τεραστία χρηματικά ποσά, τα οποία μπορούν να διατεθούν στην κάλυψη άλλων αναγκών σύμφωνα με το στρατηγικό σχεδιασμό και τις προτεραιότητες του ΥΠΕΘΑ.
- Παράλληλα, οι τεχνολογίες αυτές προσφέρουν ένα ευρύτερο σύνολο βελτιώσεων των στρατιωτικών εγκαταστάσεων, σε επίπεδο ποιότητας διαβίωσης, πυροπροστασίας, ηχομόνωσης, ασφάλειας ανθεκτικότητας και κόστους συντήρησης.

Ειδικότερα:

Η θερμομόνωση αποτελεί την καρδιά της ενεργειακής αναβάθμισης των στρατιωτικών κτιριακών εγκαταστάσεων. Σε επίπεδο υλικών θερμομόνωσης βέλτιστη επιλογή είναι η χρήση **πετροβάμβακα** στα ΣΣΕΘ, τις κεκλιμένες στέγες και τις μεταλλικές οροφές, ενώ η χρήση **εξηλασμένης πολυστερίνης** είναι ιδανική για δώματα και υπόγεια.

Πιλοτικό έργο του ΥΠΕΘΑ στο κτίριο ΕΡΜΗΣ στις 110 ΠΜ στη Λάρισα, επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις για υψηλά ποσοστά μείωσης των θερμικών απωλειών με επεμβάσεις θερμομόνωσης, καθώς με την θερμομόνωση της όψης, που αποτελεί το 33 % του συνόλου των αδιαφανών δομικών στοιχείων (τοίχοι-δώμα-δάπεδο) του συγκεκριμένου κτιρίου, η ετήσια εξοικονόμηση πετρελαίου θέρμανσης έφτασε στο **34 %**.

Αντίστοιχα η ετήσια εξοικονόμηση πετρελαίου θέρμανσης από την τοποθέτηση κουφωμάτων υψηλής ενεργειακής απόδοσης, στο ίδιο πιλοτικό έργο, έφτασε στο **17 %**, ποσοστό επίσης εξαιρετικά υψηλό αν αναλογιστεί κανείς πως τα ηλιοστάσια αποτελούσαν μόλις το 8,5 % του συνόλου του κτιριακού περιβλήματος.

Αναπόσπαστο τμήμα μιας ολοκληρωμένης ενεργειακής αναβάθμισης είναι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο συνδυασμός σε ένα ενιαίο σύστημα, α) φ/β συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, β) αντλίας θερμότητας αέρος-νερού για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ΖΝΧ, και γ) ηλιοθερμικού συστήματος για την παραγωγή ΖΝΧ και την υποβοήθηση του συστήματος θέρμανσης, αποτελεί μια εξαιρετική επιλογή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των στρατιωτικών εγκαταστάσεων.

Τα **φ/β συστήματα** είναι σε θέση να παρέχουν στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις υψηλά επίπεδα ενεργειακής αυτονομίας και ασφάλειας. Από την ανάλυση των στοιχείων της μελέτης για την εγκατάσταση φ/β συστήματος στο εργοστάσιο της διακλαδικής Υπηρεσίας Διακριβώσεων των Ε.Δ., διαπιστώνεται ότι η τοποθέτηση του φ/β συστήματος θα μπορούσε να καλύψει για τα προσεχή 20 χρόνια, το **75%** των ετήσιων αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας **δωρεάν από τον ήλιο**.

Το δε κόστος της επένδυση αναμένεται να αποσβεστεί σε **7,2** έτη και η επένδυση για τα επόμενα χρόνια να έχει ποσοστό ετήσιας απόδοσης **13,9 %**.

Επιπλέον η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα δύναται να τροφοδοτεί τη λειτουργία **αντλίας θερμότητας αέρος-νερού** για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ΖΝΧ. Με βάση το προφίλ κατανάλωσης πετρελαίου θέρμανσης του κτιρίου Ερμής της 110 ΠΜ στη Λάρισα, προκύπτει ότι η αντικατάσταση του λέβητα πετρελαίου με αντλία θερμότητας αέρος-νερού θα επέφερε μείωση του κόστους θέρμανσης κατά **58 %**.

Η τοποθέτηση **ηλιοθερμικών συστημάτων** μπορεί να περιορίσει σημαντικά την δαπάνη για παραγωγή ΖΝΧ στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις, η οποία ως επί το πλείστον πραγματοποιείται με τη χρήση λέβητα πετρελαίου. Από τα πιλοτικά έργα του ΥΠΕΘΑ σε κτιριακές εγκαταστάσεις σε Λάρισα και Σούδα, διαπιστώνεται πως η εφαρμογή ηλιοθερμικών συστημάτων μπορεί να μειώσει την ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης για παραγωγή ΖΝΧ έως και **36 %**.

Σημαντική μείωση των ενεργειακών αναγκών στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις μπορεί να προέλθει από την εφαρμογή τεχνολογιών οικονομικού φωτισμού με λαμπτήρες **LED**. Με βάση πιλοτικό έργο του ΥΠΕΘΑ, η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων του περιμετρικού φωτισμού του στρατοπέδου Τριανταφυλλίδη στη Ξάνθη, με λαμπτήρες LED είχε ως αποτέλεσμα την ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό της τάξης του **60 %**.

Τόσο τα συστήματα θέρμανσης με αντλίες θερμότητας αέρος-νερού όσο και τα συστήματα φωτισμού με λαμπτήρες LED μπορούν να προσφέρουν ακόμη μεγαλύτερη οικονομία όταν συνδυαστούν με συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού της λειτουργίας τους. Στις εγκαταστάσεις θέρμανσης με την τοποθέτηση **συστήματος αντιστάθμισης** επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας που φτάνει μέχρι και το **20%**. Αντίστοιχη οικονομία στις εγκαταστάσεις φωτισμού μπορεί να επιτευχθεί με χρήση **χρονοδιακοπών, αισθητήρων, ροοστατικών διακοπών, και διακοπών δύο θέσεων**, που μπορούν να εκτελέσουν οικονομικά σενάρια φωτισμού ανάλογα με την ένταση του φυσικού φωτισμού και την παρουσία ή όχι ανθρώπινης δραστηριότητας.

Με τη χρήση κατάλληλων συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (**BEMS**), δίνεται η δυνατότητα αφενός της πλήρους διαχείρισης των παραπάνω αυτοματισμών και αφετέρου της αναλυτικής καταγραφής των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας, που οδηγεί σε επίγνωση των ενεργειακών αναγκών και σε στοχευμένες παρεμβάσεις βελτιστοποίησης της χρήσης των ενεργειακών πόρων των στρατιωτικών εγκαταστάσεων με την μεγαλύτερη δυνατή οικονομία.

Ο παθητικός δροσισμός των στρατιωτικών κτιρίων με κατάλληλη **φύτευση, χρήση στεγάστρων και ανοιχτόχρωμο χρωματισμό** μπορεί να μειώσει τις ανάγκες σε ψυκτικά φορτία και να βελτιώσει τις συνθήκες διαβίωσης το καλοκαίρι.

Στο πλαίσιο δε αυτών των συμπερασμάτων και ως μελλοντική επέκταση του παρόντος ερευνητικού έργου, αποτελεί πρόκληση και παρουσιάζει πολύπλευρο ακαδημαϊκό, στρατιωτικό και εθνικό ενδιαφέρον, **η εκπόνηση τεχνοοικονομικών μελετών σκοπιμότητας, για μεγάλης κλίμακας επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης σε Ελληνικές στρατιωτικές εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανοντας το σύνολο των τεχνολογιών που παρουσιάστηκαν.**

10 Βιβλιογραφία

10.1 Νομοθεσία

1. ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017, **Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης**, ΦΕΚ Β΄ 4003/17.11.2017.
2. ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017, **Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων**, ΦΕΚ Β΄ 4003/17.11.2017.
3. ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010, **Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών**, 17178/ΦΕΚ Β 1387-2010.
4. ΤΟΤΕΕ 20701-4/2017, **Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού**, ΦΕΚ Β΄ 4003/17.11.2017.
5. ΤΟΤΕΕ 20701-5/2017, **Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια**, ΦΕΚ Β΄ 4003/17.11.2017.
6. Υπουργική Απόφαση με Αριθμ. ΔΙΠΑΔ/ΟΙΚ/273 - **Έγκριση τετρακοσίων σαράντα (440) Ελληνικών Τεχνικών Προδιαγραφών (ΕΤΕΠ) με υποχρεωτική εφαρμογή σε όλα τα Δημόσια Έργα**, ΦΕΚ Β 2221/30.07.2012
7. Προεδρικό Διάταγμα 71/88, **Κανονισμός πυροπροστασίας των κτιρίων**, ΦΕΚ 32/Α/17.2.1988.
8. ΟΔΗΓΙΑ 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Μαΐου 2010 **για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων**.
9. ΟΔΗΓΙΑ 2010/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Μαΐου 2010 **για την ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας και λοιπών πόρων από τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα μέσω της επισήμανσης και της παροχής ομοιόμορφων πληροφοριών σχετικά με αυτά**.
10. ΟΔΗΓΙΑ 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2012 **για την ενεργειακή απόδοση**, την τροποποίηση των οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ.
11. Τεύχος Διακηρύξεων Δημοσίων Συμβάσεων, ΦΕΚ Δ.Δ.Σ. 288/2016.

10.2 Βιβλία

12. Καρέκος Ι. Σ., 2011, **Μετάδοση θερμότητας, θερμομόνωση**, ΤΕΕ, Αθήνα.
13. Χατζηάστρου Χ., 2014, **Τεχνική κατάρτιση μονωτών στεγανοποιητών**, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα.
14. Λαμπρακόπουλος Σ., 2014, **Νέες τεχνικές δομικών έργων αλουμινίου σιδήρου**, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα.

15. Καραϊσάς Π., 2014, **Φωτοβολταϊκά συστήματα & ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα.
16. Μαλαματένιος Χ., 2014, **Γεωθερμία-ηλιοθερμία τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας**, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα.
17. Σαρρής Γ., 2014, **Έξυπνες ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις & απομακρυσμένη διαχείριση**, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα.
18. Επιστημονικό Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου, 2014, **Εγχειρίδιο για εγκαταστάτες εξωτερικής και συμβατικής θερμομόνωσης**, ΕΤΕΚ, Λευκωσία.
19. Τροχίδης Α., 2013, **Ηχομόνωση Βασικές Αρχές και Εφαρμογές**, FIBRAN, Θεσσαλονίκη.
20. Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011, **Κατευθυντήριες Οδηγίες Φυτοτεχνικής Μελέτης Κατασκευής και Συντήρησης Φυτεμένων Δωμάτων/Στεγών**, ΓΕΩΤΕΕ, Θεσσαλονίκη.
21. Δαμιανίδης Μ., Κατσαρός Γ., Τόλης Μ., Στεργιόπουλος Φ., 2011, **Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων**, ΤΕΕ, Θεσσαλονίκη.
22. Α. Παπαδόπουλος, Αντωνιάδου Π., 2016, **Εκπαιδευτικό υλικό – Εγχειρίδιο για τεχνικούς μόνωσης**, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

10.3 Επιστημονικές διατριβές

23. Σόντης Α., 2009, «Θερμικές παραμορφώσεις» στο **Συμπεριφορά οπλισμένου σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς**, ΤΕΙ Πειραιά, Αθήνα.
24. Πασιά Χ., 2012, «Υαλοπίνακες» στο **Μελέτη και εφαρμογή τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας σε δημόσιους χώρους και σε χώρους παραγωγής**, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

10.4 Εργασίες συνεδρίου

25. Παπαδόπουλος Α., Θεοδοσίου Θ., Οξυζίδης Σ., 2008, **Ολοκληρωμένη αξιολόγηση συστημάτων θερμομόνωσης κατακόρυφων δομικών στοιχείων**, Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Δομικών Υλικών & Στοιχείων, ΤΕΕ, Επ. Εκδ. Α. Μοροπούλου, Κ. Λαμπρόπουλος.

10.5 Άρθρα επιστημονικών περιοδικών

26. Kilar V., Koren D., Zbašnik-Senegačnik M., 2013 **Seismic behaviour of buildings founded on thermal insulation layer**, Građevinar 5/2013, UDK 699.84:624.022.2+699.86.
27. Prehoda E. W., Schelly C., Pearce J. M., 2017, **U.S. strategic solar photovoltaic-powered microgrid deployment for enhanced national security**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 78, October 2017, Pages 167-175.

10.6 Ηλεκτρονικές πηγές

28. Υπουργείο Εθνικής Άμυνας. (2014). **Περιβαλλοντική Πολιτική ΥΠΕΘΑ**, Διαθέσιμο στο: <http://www.greenarmedforces.mil.gr/>, [10 Απριλίου 2018]
29. IAL Consultants. (2015). **European Market for Thermal Insulation Products**, Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/GGN4XV>, [10 Απριλίου 2018]
30. FIBRAN. (2012). **Σύνθετα Συστήματα Εξωτερικής Θερμομόνωσης**, Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/fYSrBN>, [10 Απριλίου 2018]
31. FIBRAN. (2017). **Θερμομόνωση - Πυροπροστασία - Ηχομόνωση σε ένα σύστημα εξωτερικής τοιχοποιίας**, Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/Tbfsd6>, [10 Απριλίου 2018]
32. FIBRAN. (2015). **Αντεστραμμένο Δώμα**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/LFPyKF>, [10 Απριλίου 2018]
33. FIBRAN. (2017). **Κεκλιμένες Θερμομονωτικές Πλάκες**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/Y5Cpbj>, [10 Απριλίου 2018]
34. LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Military Energy and Carbon Management**. Διαθέσιμο στο: <http://www.life.mil.gr>, [10 Απριλίου 2018]
35. LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Assesment Report EPMHΣ Final**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/kjRyQ4>, [10 Απριλίου 2018]
36. Pearce M.J. (2017). **How solar power can protect the US military from threats to the electric grid**, The Conversation. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/CXybg4>, [10 Απριλίου 2018]
37. Ξυνογαλάς Δ. Ε. (2017). **Εναλλακτικές μορφές ενέργειας και εφαρμογή τους σε εγκαταστάσεις της πολεμικής αεροπορίας**. Πανεπιστήμιο Πειραιά. Διαθέσιμο στο <https://goo.gl/XKdBsj>, [10 Απριλίου 2018]
38. LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Assesment Report ΛΥΣΚ**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/WHqkJv>, [10 Απριλίου 2018]
39. LIFE11 ENV/GR/938/MECM. (2017). **Assesment Rep Triandafyllidy**. Διαθέσιμο στο: <https://goo.gl/oxrsJT>, [10 Απριλίου 2018]
40. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). (2017) **Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology**. Διαθέσιμο στο: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, [10 Απριλίου 2018]
41. Τσίτσος Κλίμα. (2018). **Οδηγός εγκατάστασης και υπολογισμού συστημάτων με αντλίες θερμότητας GALLETTI**, Διαθέσιμο στο: <https://www.tsitsos.gr/>, [10 Απριλίου 2018]
42. Paggazzi. (2018). **Kelvin Scale**. Διαθέσιμο στο: <https://www.pagazzi.com/light-bulb-guide/>, [10 Απριλίου 2018]

Περίληψη

Στόχος της διπλωματικής εργασίας, αποτέλεσε η δημιουργία ενός σύγχρονου οδηγού ορθών πρακτικών για την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών ενεργειακής αναβάθμισης στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις, με σκοπό την πρακτική εφαρμογή του στο Όπλο του Μηχανικού και στο πλαίσιο του ρόλου του – της γενικής και αιεφόρου υποστήριξης των υποδομών του Ελληνικού Στρατού. Οι τεχνολογίες που περιγράφονται αφορούν επεμβάσεις σε επίπεδο οικοδομικής, ηλεκτρο/μηχανολογικών εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αυτοματισμού και εφαρμογών βιοκλιματικού σχεδιασμού. Αναλύοντας και λαμβάνοντας υπόψη, την περιβαλλοντική πολιτική του ΥΠΕΘΑ, το εθνικό και ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο τεχνολογιών αύξησης της ενεργειακής απόδοσης, καθώς και τις απαιτήσεις σε επίπεδο σχεδιασμού που πρέπει να τηρούνται για την ειδική κατηγορία των στρατιωτικών εγκαταστάσεων, πραγματοποιούνται στοχευμένες τεχνολογικές προτάσεις και περιγράφονται οι μεθοδολογίες επεμβάσεων που εξασφαλίζουν παράλληλα με την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, ένα ευρύτερο σύνολο λειτουργικών χαρακτηριστικών, κρίσιμων για την ειδική κατηγορία στην οποία ανήκουν οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

