ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – Υ.Π.ΕΝ.
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ

ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-8/2021

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Α΄ έκδοση

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Αθήνα, Οκτώβριος 2021

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

© Πρώτη έκδοση Τεχνικής Οδηγίας Τ.Ε.Ε. 20701-8: «Εγκαταστάσεις αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτίρια», Οκτώβριος 2021 - Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας

Ομάδα εργασίας

Ομάδα εργασίας που συνέταξε αυτήν την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε:

Αργυρίου Αθανάσιος	Δρ. Φυσικός, Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
Βραχόπουλος Μιχάλης	Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.
Γαγλία Γ. Αθηνά	Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, M.Sc.
Γάκης Φώτης	Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π., M.Sc., M.B.A.
Καββαδίας Κοσμάς	Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής
Κούκου Μαρία,	Δρ. Χημικός Μηχανικός, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Κ.Π.Α.
Λάσκος Κωνσταντίνος	Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ.
Λυκούδης Σπυρίδων	Δρ. Φυσικός Ε.Κ.Π.Α., M.Sc. Περιβάλλοντος Πτυχιούχος Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης.
Παρλαβάτζας Αλέξανδρος	Διπλ. Μηχανολόγος και Αεροναυπηγός Μηχανικός.
Τριανταφύλλου Παναγιώτης	Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Α.Π.Θ.

Συνεργάστηκαν:

Αγερίδης Γιώργος	Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός,
Αδαμίδης Αδάμ	Γεωλόγος Α.Π.Θ., M.Sc.
Δαλαβούρας Μπάμπης	Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Υποψ. Διδάκτορας
Καλδέλης Ιωάννης	Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής
Κραββαρίτης Ελευθέριος	Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., Υποψ. Διδάκτορας
Κραββαρίτης Κλεάνθης	Μηχανολόγος Μηχανικός
Μαρκογιαννάκης Γεώργιος	Μηχανολόγος Μηχανικός, M.Sc.
Συγγούνας Ευάγγελος	Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., Υποψ. Διδάκτορας
Χαλδέζος Ιωάννης	Μηχανικός Μεταλλείων Πολυτεχνείου Κρήτης, Υποψ. Διδάκτορας

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πρόλογος

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Περιεχόμενα

Ομάδα εργασίας i
Πρόλογος ii
Περιεχόμενα iii
1. Εισαγωγή 6
1.1. Αντικείμενο και στόχος τεχνικής οδηγίας 6
1.2. Εξέλιξη καταναλώσεων ενέργειας και συνεισφοράς Α.Π.Ε. στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο 6
1.3. Θεσμικό πλαίσιο εγκατάστασης Α.Π.Ε. σε κτίρια στην Ελλάδα 10
1.3.1. Σταθμοί παραγωγής Φ/Β, Α/Γ και Σ.Η.Θ.Υ.Α. για την κάλυψη των αναγκών κτιρίων 10
1.3.2. Ηλιοθερμικά συστήματα σε κτίρια 17
1.3.3. Γεωθερμία σε κτίρια 18
1.4. Βιβλιογραφικές αναφορές 20
2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κλίμα στην Ελλάδα 21
2.1. Γενικά στοιχεία 21
2.2. Ηλιακή ενέργεια 21
2.2.1. Ηλιακή ενέργεια σε κεκλιμένες επιφάνειες 22
2.2.2. Περιορισμός ηλιασμού λόγω εμποδίων ή αλληλοσκίασης 30
2.2.3. Διαθέσιμα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας / ενέργειας 34
2.3. Αιολικό δυναμικό 34
2.3.1. Κατανομή ταχύτητας ανέμου 35
2.3.2. Διαθέσιμα δεδομένα ανέμου 38
2.4. Γεωθερμικό δυναμικό – Αβαθής ή κανονική γεωθερμία 40
2.4.1. Θερμοκρασία εδάφους 40
2.4.2. Φυσικές ιδιότητες εδαφών και πετρωμάτων 42
2.4.3. Θερμικές ιδιότητες εδαφών και πετρωμάτων 43
2.4.4. Ιδιότητες εδαφών στην ελληνική επικράτεια 45
2.5. Θερμοκρασία αέρα 48
2.5.1. Διαθέσιμα δεδομένα θερμοκρασίας αέρα 52
2.6. Βιβλιογραφικές αναφορές 52
3. Ηλιοθερμικά συστήματα 55
3.1. Γενικά στοιχεία 55
3.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιοθερμικών συστημάτων 56
3.2.1. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες 57
3.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακών συλλεκτών 58
3.2.3. Επιλογή θέσης εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών 60
3.2.4. Συστήματα αποθήκευσης θερμού νερού 61
3.2.5. Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείων αποθήκευσης θερμού νερού 62
3.3. Διαστασιολόγηση ηλιοθερμικών συστημάτων 63
3.3.1. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση χώρων - Μέθοδος Καμπυλών *f* 63
3.3.2. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση χώρων - Μέθοδος 2 του EN 15316-4-3 69
3.3.3. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση χώρων – Χρήση πινάκων ενδεικτικών τιμών 71
3.3.4. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. – Παραμετροποιημένα δεδομένα 74
3.3.5. Ηλιακή ψύξη 75

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3.3.6. Δίκτυο διανομής θερμού μέσου ... 75
3.3.7. Τερματικές μονάδες θέρμανσης χώρων ... 76
3.4. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης ... 76
3.5. Πιστοποίηση και Ενεργειακή Σήμανση ηλιοθερμικών συστημάτων ... 77
3.6. Συντήρηση Η/Θ συστημάτων ... 79
3.7. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 80
4. Φωτοβολταϊκά συστήματα ... 82
4.1. Γενικά στοιχεία ... 82
4.2. Τεχνικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων ... 83
4.2.1. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση των Φ/Β ... 85
4.2.2. Επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην απόδοση των Φ/Β ... 86
4.2.3. Απόδοση των Φ/Β σε πραγματικές συνθήκες ... 88
4.2.4. Υποβάθμιση ενεργειακής απόδοση των Φ/Β ... 88
4.3. Βοηθητικός εξοπλισμός και συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ... 88
4.4. Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών συστημάτων ... 91
4.4.1. Ενεργειακή απόδοση Φ/Β συστήματος- αναλυτικός τρόπος ... 92
4.4.2. Ενεργειακή απόδοση Φ/Β συστήματος- απλοποιητικός τρόπος ... 95
4.4.3. Απαιτούμενη ισχύς και ελάχιστη επιφάνεια Φ/Β ... 95
4.5. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης και διασύνδεσης με το Δίκτυο ... 97
4.5.1. Στήριξη και ασφαλής τοποθέτηση πανέλων ... 97
4.5.2. Διασύνδεση με το Δίκτυο των σταθμών παραγωγής με ενεργειακό ή εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό ... 97
4.5.3. Διασύνδεση με το Δίκτυο των σταθμών παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό σε συνδυασμό με συστήματα αποθήκευσης ... 100
4.6. Λειτουργία και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων ... 102
4.6.1. Συχνές δυσλειτουργίες & βλάβες Φ/Β συστημάτων ... 103
4.6.2. Πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης Φ/Β συστήματος ... 104
4.6.3. Επεμβατική συντήρηση Φ/Β συστημάτων ... 107
4.7. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 107
5. Συστήματα αβαθούς γεωθερμίας ... 111
5.1. Γενικά στοιχεία ... 111
5.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωθερμικών συστημάτων ... 111
5.2.1. Συστήματα κανονικής γεωθερμίας – Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ... 111
5.2.2. Χαρακτηριστικά γεωτρήσεων ... 114
5.2.3. Γεωλογικά δεδομένα ... 116
5.3. Διαστασιολόγηση γεωθερμικών συστημάτων ... 116
5.3.1. Κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος ... 119
5.3.2. Οριζόντια γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος ... 126
5.3.3. Ανοικτά γεωθερμικά συστήματα ... 128
5.3.4. Τερματικές μονάδες για πλήρη κάλυψη φορτίου ... 132
5.4. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης ... 133
5.4.1. Χωροταξικές – Πολεοδομικές – Νομικές ... 133
5.4.2. Γεωλογικές ... 134
5.4.3. Κλιματολογικές – Εδαφολογικές τιμές ... 135
5.4.4. Χημική ανάλυση του υπόγειου νερού ... 136

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

5.4.5. Οικονομοτεχνική ανάλυση αβαθούς γεωθερμίας ... 136
5.5. Συντήρηση Γ/Θ συστημάτων ... 137
5.6. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 137
6. Αιολικές μηχανές μικρής ισχύος ... 139
6.1. Γενικά στοιχεία ... 139
6.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών ... 139
6.3. Διαστασιολόγηση ανεμογεννητριών αστικού περιβάλλοντος ... 142
6.3.1. Σύστημα αποθήκευσης ... 144
6.4. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης και διασύνδεσης με το Δίκτυο ... 144
6.4.1. Διασύνδεση με το Δίκτυο των σταθμών παραγωγής με ενεργειακό ή εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό ... 145
6.5. Συντήρηση ανεμογεννητριών ... 146
6.6. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 146
7. Συστήματα βιομάζας ... 148
7.1. Γενικά στοιχεία ... 148
7.2. Καύση και τεχνικές προδιαγραφές βιομάζας ... 148
7.3. Εστίες καύσης και λέβητες βιομάζας ... 149
7.4. Συντήρηση εστιών καύσης ... 150
7.5. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 151
8. Εφεδρικοί σταθμοί παραγωγής (ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη) ... 153
8.1. Γενικά στοιχεία ... 153
8.2. Όροι, προϋποθέσεις, διαδικασίες και τεχνικές απαιτήσεις σύνδεσης εφεδρικών σταθμών παραγωγής (Η/Ζ) σε ηλεκτρική εγκατάσταση κατανάλωσης διασυνδεδεμένη με το δίκτυο ... 153
8.2.1. Σύνδεση εφεδρικών σταθμών (Η/Ζ) σε εγκατάσταση διασυνδεδεμένη με το Δίκτυο ... 154
8.3. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 156
9. Συστάσεις και κριτήρια βέλτιστης επιλογής συστημάτων Α.Π.Ε. ... 157
9.1. Γενικά στοιχεία ... 157
9.2. Διαθεσιμότητα Α.Π.Ε. – Τεχνικές δυσκολίες ... 157
9.3. Βιωσιμότητα επένδυσης Α.Π.Ε. ... 158
9.4. Βιβλιογραφικές αναφορές ... 159
10. Παραρτήματα ... 161
10.1. Παράρτημα Α: Ενδεικτικές τιμές απόδοση ηλιακών συλλεκτών ... 161
10.2. Παράρτημα Β: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$) ... 177
Κατάλογος πινάκων ... 194
Κατάλογος σχημάτων ... 197

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο και στόχος τεχνικής οδηγίας

Η παρούσα τεχνική οδηγία έχει ως στόχο να παρέχει τις βασικές κατευθύνσεις, για την εκπόνηση μελετών σχεδιασμού και διαστασιολόγησης των εγκαταστάσεων αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) σε κτιριακές υποδομές. Η παρούσα οδηγία θα λειτουργεί συμπληρωματικά ή/και επικουρικά:

α) στις υφιστάμενες σε ισχύ Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.) για τη διαστασιολόγηση των ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) συμβατικών εγκαταστάσεων και συστημάτων, για την επαρκή κάλυψη των θερμικών, ψυκτικών και ηλεκτρικών φορτίων στα κτίρια.

β) στις υφιστάμενες Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. για τον υπολογισμό των θερμικών/ψυκτικών και ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών και καταναλώσεων των κτιρίων, καθώς και της ενεργειακής τους απόδοσης, στο πλαίσιο του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) που εκδίδεται κατ' εξουσιοδότηση του άρθρου 3 του ν. 4122/2013 [1], σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 2010/31/ΕΕ όπως τροποποιούνται και ισχύουν.

γ) στις διαδικασίες Ενεργειακού Ελέγχου Κτιρίων (άρθρο 17, ν. 4342/2015), στα ελάχιστα κριτήρια εφαρμογής διεξαγωγής τους, καθώς και στα ευρωπαϊκά πρότυπα της σειράς EN 16247 βάσει των οποίων διενεργούνται, σύμφωνα με την παράγραφο 6 του άρθρου 10, του ν. 4342/2015 [2] και την ευρωπαϊκή οδηγία 2012/27/ΕΕ.

δ) στις ισχύουσες εθνικές ή ευρωπαϊκές τεχνικές προδιαγραφές και πιστοποιήσεις των συστημάτων, οι οποίες είναι υποχρεωτικές βάσει των κείμενων νομοθετικών διατάξεων.

ε) στα εθνικά, ευρωπαϊκά και διεθνή Πρότυπα ή/και Κανονισμούς που είναι υποχρεωτικά βάσει των κείμενων διατάξεων ή/και αποτελεσματικά στις απαιτήσεις των ελληνικών κτιρίων.

Στο πλαίσιο της εκπόνησης ενεργειακής μελέτης (άρθρα 2, 6, 21 του ν. 4122/2013) ο μελετητής αξιολογεί την εφαρμογή εναλλακτικών τεχνολογιών υψηλής ενεργειακής απόδοσης στο υπό μελέτη κτίριο, συμπεριλαμβανομένου και των συστημάτων Α.Π.Ε., για τη βελτίωση κατά περίπτωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Η παρούσα τεχνική οδηγία παρέχει δεδομένα, συστάσεις, κριτήρια και προϋποθέσεις για την εκτίμηση της δυνατότητας εγκατάστασης καθώς και την επιλογή κατάλληλου συστήματος Α.Π.Ε., για την κάλυψη μέρους ή του συνόλου των απαιτούμενων ενεργειακών αναγκών (θερμικών ή ηλεκτρικών) ενός κτιρίου.

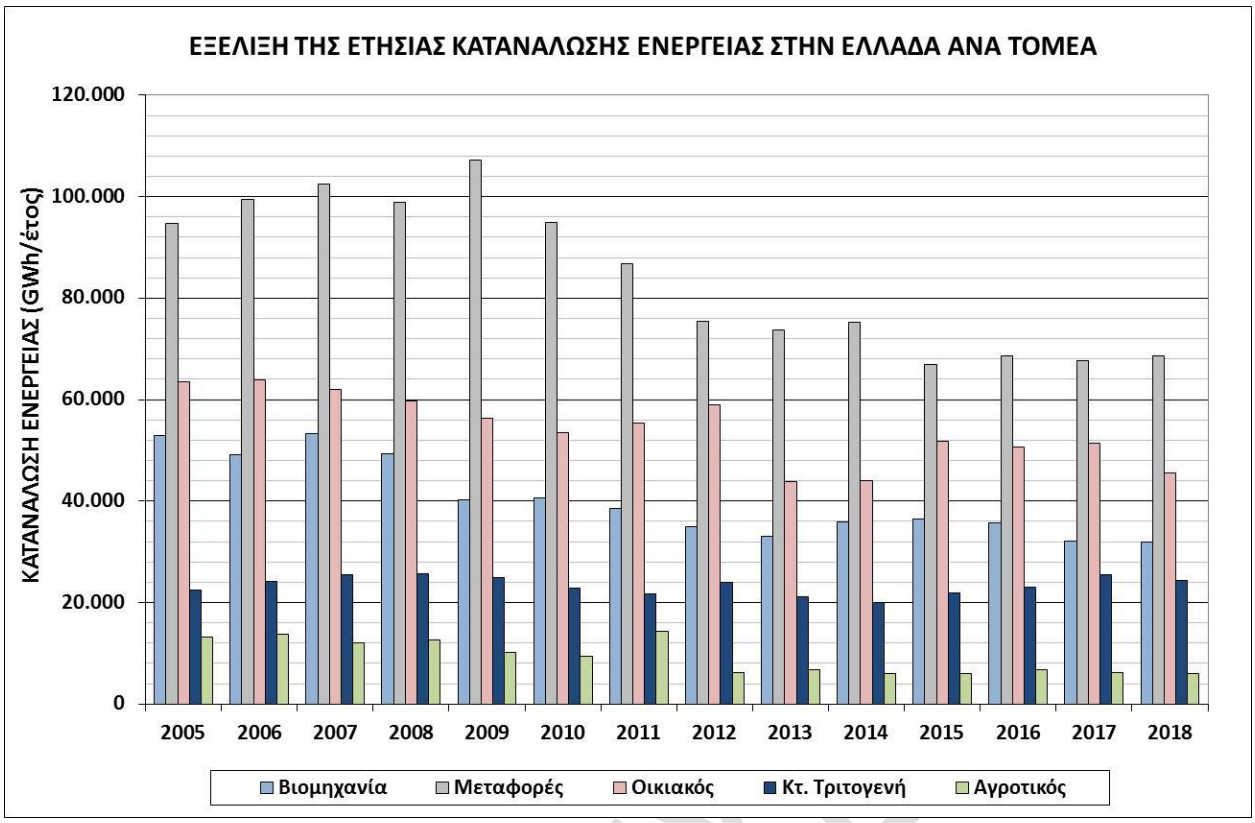
Η παρούσα οδηγία αναφέρεται κυρίως στις βασικότερες τεχνολογίες αξιοποίησης Α.Π.Ε. που εφαρμόζονται σε κτίρια όπως είναι τα ηλιοθερμικά συστήματα με χρήση ηλιακών συλλεκτών, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι Α/Γ αστικού περιβάλλοντος, τα συστήματα αξιοποίησης αβαθούς γεωθερμίας, καθώς και στα συστήματα καύσης βιομάζας.

1.2. Εξέλιξη καταναλώσεων ενέργειας και συνεισφοράς Α.Π.Ε. στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο

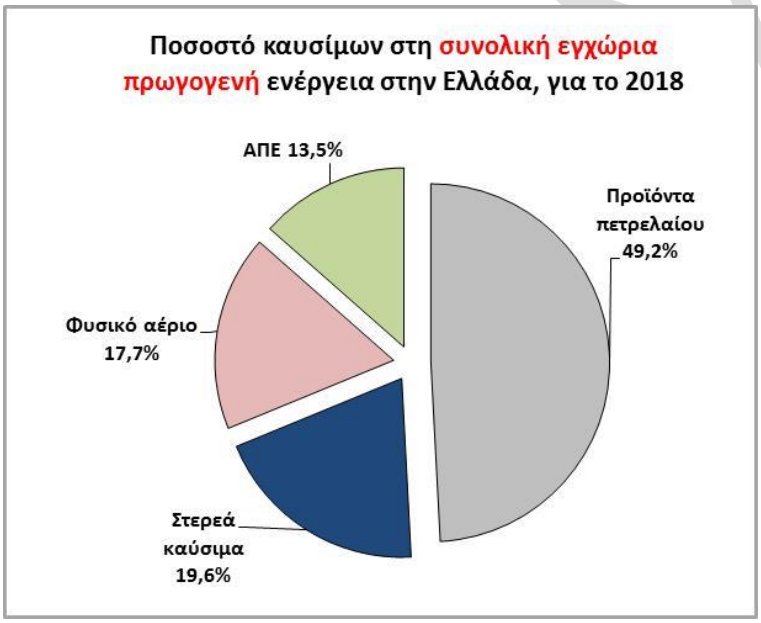
Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 1990-2009 (20ετία) ανέρχεται περίπου στο 2,0%. Το αντίστοιχο ποσοστό για τον κτιριακό τομέα ήταν 6,0%, σχεδόν τριπλάσιο. Ωστόσο, μετά το 2007 η ετήσια κατανάλωση ενέργειας, λόγω και της οικονομικής κρίσης, παρουσιάζει σταδιακή πτώση (Σχήμα 1.2.1), η οποία για τη χρονική περίοδο από το 2007 (255 TWh) έως το 2013 (178 TWh) ανέρχεται στο σύνολό της σε ποσοστό 30% [3, 4].

Στη χώρα μας το 2018, το μεγαλύτερο ποσοστό στην πρωτογενή ενέργεια καταλαμβάνουν τα προϊόντα πετρελαίου με ποσοστό 49,2%, ακολουθούν τα στερεά καύσιμα με ποσοστό 19,6%, το φυσικό αέριο με 17,7% και οι Α.Π.Ε. με ποσοστό 13,5% (Σχήμα 1.2.2) [3]. Το ποσοστό συμμετοχής των Α.Π.Ε. στη συνολική ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας ήταν 7,0% για το 2005 και 16,3% για το 2017. Ο στόχος για το 2020 ήταν το 18%.[5]

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

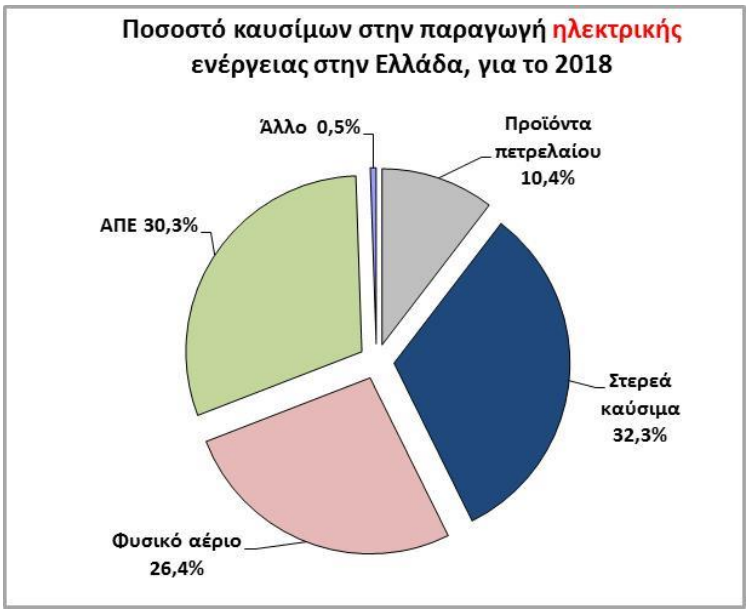


Σχήμα 1.2.1: Εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα ανά τομέα τελικής χρήσης

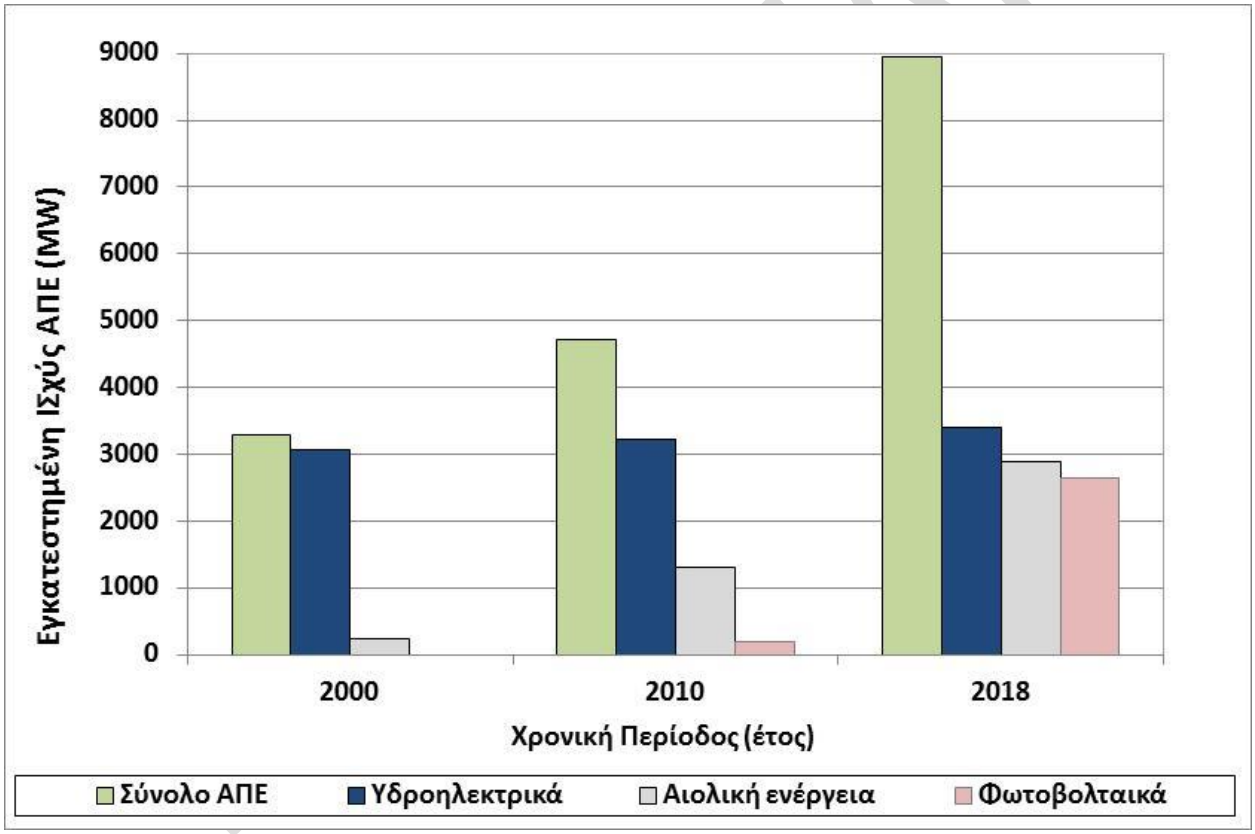


Σχήμα 1.2.2: Κατανομή εγχώριας πρωτογενούς ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα για το 2018

Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2018 (Σχήμα 1.2.3), το μεγαλύτερο ποσοστό προέρχεται από τα στερεά καύσιμα με ποσοστό 32,3%, ακολουθούν οι Α.Π.Ε. με ποσοστό 30,3%, το φυσικό αέριο με 26,4% και τα προϊόντα πετρελαίου με ποσοστό 10,4% [4, 5]. Η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς Α.Π.Ε. για ηλεκτροπαραγωγή το 2001 ήταν 3,37 GW (Σχήμα 1.2.4) και το 2018 ήταν 8,09 GW αντίστοιχα [4].



Σχήμα 1.2.3: Κατανομή ακαθάριστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο, για το 2018

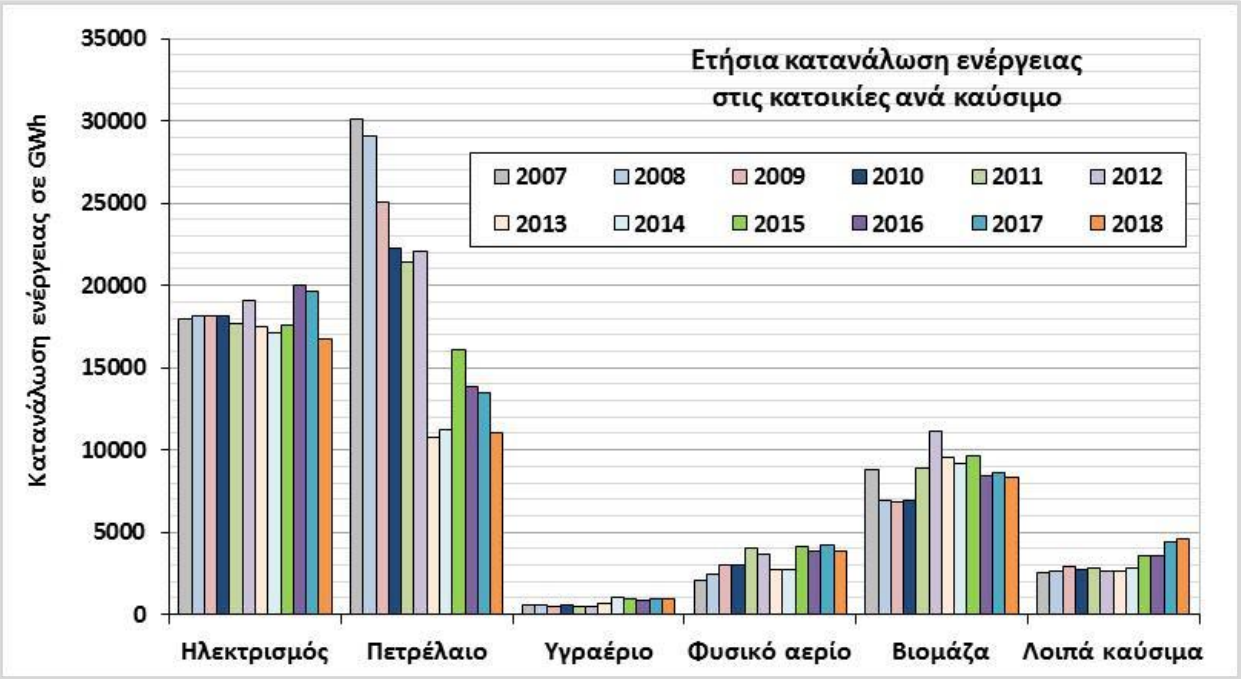


Σχήμα 1.2.4: Εγκατεστημένη Ισχύς Α.Π.Ε. για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

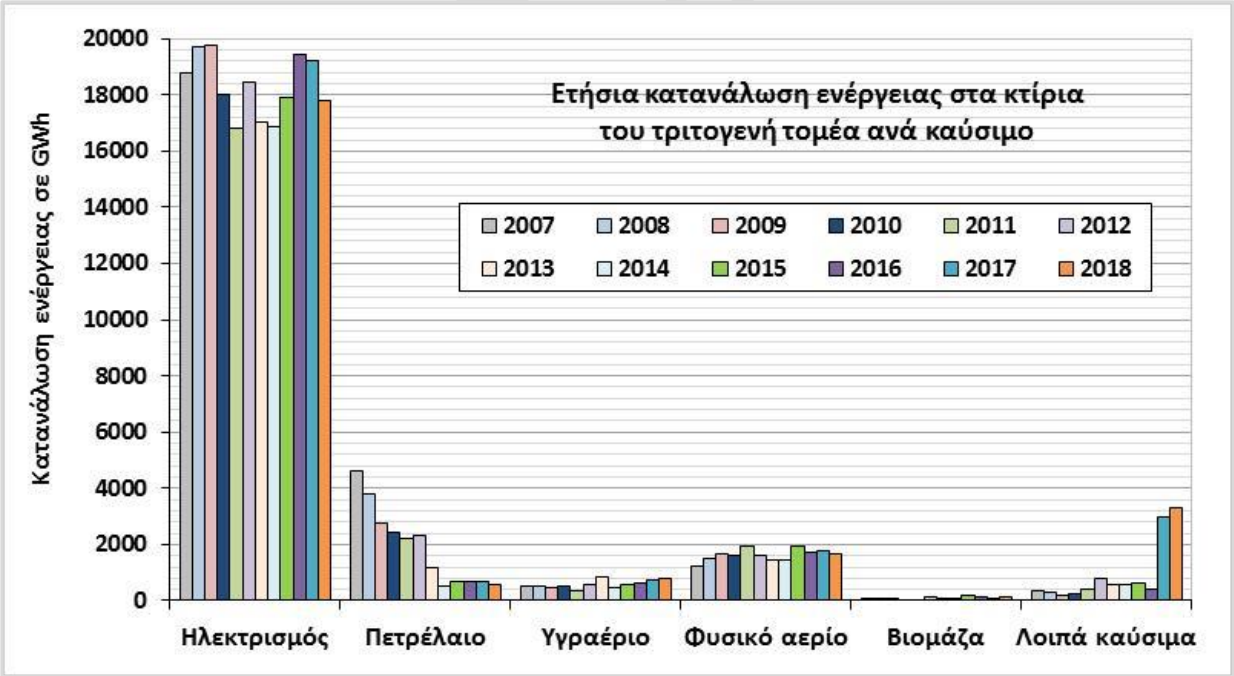
Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα μειώθηκε από τις 62,0 TWh το 2007 στις 43,7 TWh το 2013, μείωση που αντιστοιχεί σε ποσοστό 29%. Αυτή η μείωση παρουσιάστηκε λόγω της οικονομικής κρίσης στη χώρα και αφορά κυρίως στο πετρέλαιο με μείωση της κατανάλωσης κατά 64% (Σχήμα 1.2.5). Αντιθέτως, η κατανάλωση φυσικού αερίου και βιομάζας στον οικιακό τομέα παρουσιάζει μικρή αύξηση για την ίδια χρονική περίοδο, η οποία στο σύνολό της είναι πολύ μικρότερη από τη μείωση του πετρελαίου[3]. Τέλος η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις κατοικίες διατηρείται σε σταθερά επίπεδα και κυμαίνεται για την περίοδο 2007-2018 κατά μέσο όρο στις 18,1 TWh.

Αντίστοιχα, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του τριτογενή τομέα στην Ελλάδα μειώθηκε από τις 25,5 TWh το 2007 στις 19,9 TWh το 2014 (έτος με τη μεγαλύτερη μείωση), που αντιστοιχεί σε ποσοστό 17%. Για την ίδια περίοδο, η κατανάλωση πετρελαίου, μειώθηκε περίπου κατά 75% (Σχήμα 1.2.6), ενώ

του ηλεκτρισμού κατά 9%, ο οποίος καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια του τριτογενή τομέα, με μέσο ποσοστό την δεκαετία 2007-2018 περίπου 78%.



Σχήμα 1.2.5: Μεταβολή της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο στις Ελληνικές κατοικίες την περίοδο 2007 έως 2018



Σχήμα 1.2.6: Μεταβολή της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο στα Ελληνικά κτίρια του τριτογενή τομέα την περίοδο 2007 έως 2018

1.3. Θεσμικό πλαίσιο εγκατάστασης Α.Π.Ε. σε κτίρια στην Ελλάδα

Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής στρατηγικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη έχουν εκδοθεί μια σειρά από Ευρωπαϊκές Οδηγίες που σχετίζονται μεταξύ άλλων και με την αξιοποίηση των Α.Π.Ε., οι κυριότερες εκ των οποίων είναι:

α) Η Οδηγία 2018/2001/ΕΕ «για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές», η οποία αναδιατυπώνει και καταργεί μετά την 1η Ιουλίου 2021 την Οδηγία 2009/28/ΕΚ «Σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ». Μέσω των οδηγιών αυτών θεσπίζεται ένα κοινό πλαίσιο για την προώθηση της ενέργειας που παράγεται από συστήματα Α.Π.Ε. με στόχο τη αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι Οδηγίες καθορίζουν υποχρεωτικούς εθνικούς στόχους για το συνολικό μερίδιο ενέργειας από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας και το μερίδιο ενέργειας από Α.Π.Ε. στις μεταφορές. Επίσης θεσπίζονται κοινοί κανόνες για τη χρήση Α.Π.Ε. στη θέρμανση και την ψύξη κτιριακών υποδομών. Μεταξύ άλλων, καθορίζει κανόνες για τη μεταβίβαση ενέργειας μεταξύ κρατών μελών και κοινά έργα με τρίτες χώρες, την πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε., καθώς και κριτήρια αειφορίας για τα βιοκαύσιμα και τα βιορευστά. Η Οδηγία 2009/28/ΕΚ έχει ενσωματωθεί στο Ελληνικό δίκαιο με το νόμο 3851/2010, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

β) Η Οδηγία 2012/27/ΕΚ «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» θεσπίζει κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της ΕΕ προκειμένου να διασφαλίσει την επίτευξη του πρωταρχικού στόχου 2020 για 20% στην εξοικονόμηση ενέργειας και να προετοιμάσει το έδαφος για περαιτέρω βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης. Οι απαιτήσεις που καθορίζονται στην οδηγία συνιστούν ελάχιστες απαιτήσεις και δεν εμποδίζουν τα κράτη μέλη να λαμβάνουν αυστηρότερα μέτρα. Η Οδηγία αυτή τροποποιήθηκε από τις Οδηγίες 2018/2002 και 2018/844, ενώ ενσωματώθηκε στο Ελληνικό δίκαιο με το νόμο 4342/2015, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

γ) Η Οδηγία 2010/31/ΕΚ «για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων», ορίζει ότι τα κράτη μέλη θα πρέπει να μεριμνήσουν ώστε τα νέα κτίρια που θα κατασκευάζονται να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης. Ως κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ορίζονται τα κτίρια που έχουν ελάχιστες ή μηδενικές ενεργειακές απαιτήσεις, πληρούν τις ελάχιστες ενεργειακές προδιαγραφές όπως προκύπτουν από τη μελέτη κόστους οφέλους για κάθε κράτος μέλος, και οι ενεργειακές απαιτήσεις θα καλύπτονται στο μεγαλύτερο μέρος από Α.Π.Ε. Η Οδηγία αυτή τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2018/844 και ενσωματώθηκε στο Ελληνικό δίκαιο με το νόμο 4122/2013, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

Στην κατεύθυνση αυτή, η χρήση συστημάτων Α.Π.Ε. στα κτίρια μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά:

α) στην επίτευξη των εθνικών στόχων για το μερίδιο ενέργειας από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας,

β) στην εξοικονόμηση της τελικής καταναλισκόμενης συμβατικής ενέργειας στα κτίρια,

γ) στην επίτευξη των εθνικών στόχων για κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης, καλύπτοντας μέρος ή το σύνολο των θερμικών ή/και ηλεκτρικών αναγκών του κτιρίου.

Για την επίτευξη των στόχων των Ευρωπαϊκών Οδηγιών και την εφαρμογή των νόμων με τους οποίους ενσωματώθηκαν στο Εθνικό Δίκαιο, έχουν εκδοθεί επιπλέον μια σειρά συμπληρωματικών διατάξεων για κάθε μορφή Α.Π.Ε., όπως αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

1.3.1. Σταθμοί παραγωγής Φ/Β, Α/Γ και Σ.Η.Θ.Υ.Α. για την κάλυψη των αναγκών κτιρίων

Στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, όπως αναδιατυπώθηκε με την Οδηγία 2018/2001/ΕΕ, για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, έχουν εκδοθεί οι απαιτούμενες διατάξεις, που αφορούν σε τεχνικές προδιαγραφές, διαδικασίες αδειοδότησης, καθώς και προγράμματα παροχής κινήτρων για τις τεχνολογίες αυτές. Ειδικότερα, για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. όπως οι φωτοβολταϊκοί (Φ/Β) σταθμοί, σταθμοί μικρών

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

ανεμογεννητριών (Α/Γ), καθώς και συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (Σ.Η.Θ.Υ.Α.) σε κτίρια για την κάλυψη μέρους ή του συνόλου της ηλεκτρικής κατανάλωσης, παρέχεται η δυνατότητα ενεργειακού συμψηφισμού (net metering).

Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της εγχεόμενης στο Δίκτυο ενέργειας που παράγεται από σταθμό παραγωγής που συνδέεται σε εγκατάσταση κατανάλωσης, με την απορροφώμενη ενέργεια στην εγκατάσταση κατανάλωσης. Σκοπός είναι η κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της εγκατάστασης, η οποία μπορεί να συνδέεται στο δίκτυο χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) ή μέσης τάσης (Μ.Τ.), χωρίς να είναι αναγκαίος ο ταυτοχρονισμός παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας. Ο σταθμός παραγωγής μπορεί να εγκατασταθεί και σε απομακρυσμένο χώρο από το σημείο κατανάλωσης και να συνδεθεί στο δίκτυο με νέα παροχή (εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός).

1.3.1.1. Ενεργειακός συμψηφισμός

Στην περίπτωση ενεργειακού συμψηφισμού, ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας, σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό ρεύματος, συμψηφίζει την ενέργεια που απορροφάται από την εγκατάσταση με την ενέργεια που εγχέεται στο δίκτυο, με βάση τα δεδομένα καταμέτρησης. Σε περίπτωση που υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό ως πρόσθετη εγχυθείσα ενέργεια. Τελική εκκαθάριση πραγματοποιείται στον πρώτο εκκαθαριστικό λογαριασμό που εκδίδεται μετά την παρέλευση της τριετίας από την ενεργοποίηση του σταθμού. Οι όροι και οι προϋποθέσεις ανάπτυξης σταθμών παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό καθορίζονται στην υπουργική απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/15084/382 (ΦΕΚ Β’ 759/5.3.2019).

Σύμφωνα με την Υ.Α. ο ενεργειακός συμψηφισμός μπορεί να εφαρμοστεί με την παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β σταθμούς, σταθμούς Α/Γ και σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α.. Ειδικά οι σταθμοί που συνδέονται στη Μ.Τ. μπορεί να αποτελούνται από δύο τεχνολογίες παραγωγής. Η εγκατάσταση μικρών Α/Γ και Φ/Β σταθμών με συστήματα ηλιακής ιχνηλάτησης (trackers) δεν επιτρέπεται επί κτιρίου, είναι όμως επιτρεπτή επί εδάφους σε όμορο του κτιρίου χώρου. Η εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού είναι δυνατή και με άλλες τεχνολογίες Α.Π.Ε. (βιομάζα, βιορευστά, βιοαέριο, μικρά υδροηλεκτρικά), ωστόσο λόγω του περιορισμένου δυναμικού αξιοποίησης (συγκριτικά με το ηλιακό και αιολικό δυναμικό), το οποίο βρίσκεται εξάλλου μακριά από τα κτίρια στην πλειονότητα των περιπτώσεων, δεν αναμένεται να υπάρχει αξιόλογο ενδιαφέρον από τους καταναλωτές. Οι σταθμοί παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής ή βεβαίωσης παραγωγού (άρθρο 14Α του ν. 3468/2006 όπως ισχύει) και από την υποχρέωση λήψης άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας.

Οι βασικοί όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση σταθμού παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό είναι:

α) Η ύπαρξη ενεργού μόνιμης (μη εργοταξιακής) παροχής ρεύματος στο όνομα του καταναλωτή.

β) Ο σταθμός παραγωγής εγκαθίσταται στον ίδιο ή σε όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης προς την οποία αντιστοιχίζεται.

γ) Ο καταναλωτής (φυσικό ή νομικό πρόσωπο) είτε έχει στην κυριότητά του το χώρο στον οποίο θα εγκατασταθεί ο σταθμός είτε έχει την νόμιμη χρήση αυτού (π.χ. μέσω μίσθωσης, δωρεάν παραχώρησης κ.λπ.) και έχει εξασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη του χώρου.

δ) Ο καταναλωτής έχει εξοφλήσει πλήρως τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας του οικείου Προμηθευτή ή έχει ενταχθεί σε καθεστώς ρύθμισης οφειλών.

ε) Η παροχή του καταναλωτή δεν έχει ενταχθεί στο Περιβαλλοντικό Οικιακό Τιμολόγιο σύμφωνα με την Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΥΠΡΓ/26359/4101 (ΦΕΚ 1936 Β΄ 2018), στο «Ειδικό Πρόγραμμα Φ/Β συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις» της σχετικής Κ.Υ.Α. 12323 (ΦΕΚ 1079 Β΄ 2009) ή σε άλλο συμψηφισμό.

Το μέγιστο όριο ισχύος στην ηπειρωτική χώρα και τα διασυνδεδεμένα με αυτή νησιά (Διασυνδεδεμένο Δίκτυο) είναι 1 MW, με τον περιορισμό η ισχύς του σταθμού να ανέρχεται, για καταναλωτές Χ.Τ. μέχρι 20 kW ή μέχρι 50% της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης κατανάλωσης εφόσον το τελευταίο μέγεθος υπερβαίνει τα 20 kW, ενώ για καταναλωτές Μ.Τ. η ισχύς κάθε σταθμού παραγωγής περιορίζεται στο 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης. Η εγκατάσταση σταθμών παραγωγής με ενεργειακό

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

συμψηφισμό με ισχύ έως 1 MW είναι δυνατή και στο κορεσμένο δίκτυο της Πελοποννήσου όπως και της Εύβοιας και των διασυνδεδεμένων με αυτή νησιών σύμφωνα με την παρ. 2, του άρθρου 60, του ν.4546/2018 (ΦΕΚ 101 Α΄), όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 46 του ν. 4710/2020 (ΦΕΚ 142 Α΄). Στην Κρήτη και τη Ρόδο το μέγιστο όριο ισχύος έχει καθοριστεί στα 300 kW ενώ στα υπόλοιπα μη διασυνδεδεμένα νησιά (Μ.Δ.Ν.) στα 100 kW.

Πίνακας 1.3.1: Μέγιστη επιτρεπτή ισχύς Φ/Β σταθμού παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό για διασυνδεδεμένο σύστημα (Δ.Σ.)

Επίπεδο τάσης	Τυποποιημένο μέγεθος παροχής	Συμφωνημένη Ισχύς (Σ.Ι.) παροχής (kVA)	Μέγιστη επιτρεπτή ισχύς ΦΒ σταθμού (kW_p)	
			Φυσικά ή νομικά πρόσωπα	ΝΠΙΔ ή ΝΠΔΔ, κοινωφελούς ή άλλου δημοσίου συμφέροντος σκοπού
Χαμηλή Τάση	03	8	5	5
	05	12	5	5
	1	15	15	15
	2	25	20	25
	3	35	20	35
	4	55	27,5	55
	5	85	42,5	85
	6	135	67,5	100
	7	250	100	100
Μέση Τάση	-	-	100%* Σ.Ι. και μέχρι 1000 kWp	100%*Σ.Ι.

Σημείωση:
Σ.Ι.: Συμφωνημένη Ισχύς της παροχής

Πίνακας 1.3.2: Μέγιστη επιτρεπτή ισχύς Φ/Β σταθμού παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό για μη διασυνδεδεμένα νησιά (Μ.Δ.Ν.)

Επίπεδο τάσης	Τυποποιημένο μέγεθος παροχής	Συμφωνημένη Ισχύς (Σ.Ι.) παροχής (kVA)	Μέγιστη επιτρεπτή ισχύς ΦΒ σταθμού (kW_p)				
			Φυσικά ή νομικά πρόσωπα			ΝΠΙΔ ή ΝΠΔΔ, κοινωφελούς ή άλλου δημοσίου συμφέροντος σκοπού	
			Κρήτη	Ρόδος	Λοιπά ΜΔΝ	Κρήτη, Ρόδος	Λοιπά ΜΔΝ
Χαμηλή Τάση	*03*	*8*	5	5	5	5	5
	05	*12*	5	5	5	5	5
	1	*15*	15	10	10	15	15
	2	*25*	20	12,5	12,5	25	25
	3	*35*	20	17,5	17,5	35	35
	4	*55*	27,5	27,5	20/27,5*	55	55
	5	*85*	42,5	42,5	20/42,5*	85	85
	6	*135*	67,5	67,5	20/50*	100	100
	7	*250*	100	100	20/50*	100	100
Μέση Τάση	-	-	100	100	20/50*	100%*Σ.Ι. και μέχρι 300kWp**	100

Σημειώσεις:
** Το μεγαλύτερο μέγεθος αφορά στα συμπλέγματα Κω, Λέσβου, Θήρας, Χίου και Σάμου.*
*** Ανώτατο όριο των 300 kWp τίθεται μόνο για τη Ρόδο*

Τα ως άνω όρια ισχύουν για όλες τις τεχνολογίες παραγωγής πλην σταθμών μικρών Α/Γ. Για σταθμούς παραγωγής μικρών Α/Γ, η εγκατεστημένη ισχύς δεν μπορεί να υπερβαίνει το ανώτατο όριο των 60 kW.

Κατά παρέκκλιση των ανωτέρω, σταθμοί που εγκαθίστανται στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και στην Κρήτη από νομικό πρόσωπο του κράτους ή νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου που

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλου δημοσίου συμφέροντος σκοπούς, γενικής ή τοπικής εμβέλειας, μπορούν να εγκαταστήσουν σταθμό παραγωγής με μέγιστη ισχύ ίση με τη συμφωνημένη ισχύ κατανάλωσης (για Χ.Τ. ή Μ.Τ.), σύμφωνα με το άρθρο 162 του ν. 4759/2020 (ΦΕΚ 245 Α΄) που τροποποιεί τον νόμο 3468/2006. Επίσης, σύμφωνα με τον ίδιο νόμο 4759/2020, το μέγιστο όριο ισχύος 1MW που ισχύει σήμερα, δύναται να επεκταθεί στα 3MW με υπουργική απόφαση.

Ειδικά για Φ/Β σταθμούς, στους σχετικούς πίνακες δίνεται η μέγιστη επιτρεπτή ισχύς, ανά μέγεθος παροχής, στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα (*Πίνακας 1.3.1*) και στα Μ.Δ.Ν. (Πίνακας 1.3.2), λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους περιορισμούς της Υ.Α. όσο και την τεχνική δυνατότητα κάθε παροχής.

1.3.1.2. Εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός από ενεργειακές κοινότητες

Οι ενεργειακές κοινότητες (Ε.Κοιν.) είναι αστικοί συνεταιρισμοί που δραστηριοποιούνται αποκλειστικά στον τομέα της ενέργειας, η σύσταση, το αντικείμενο και οι δραστηριότητες των οποίων καθορίζονται στον ν. 4513/2018 (ΦΕΚ Α’ 9) «Ενεργειακές Κοινότητες και άλλες διατάξεις». Μεταξύ των δραστηριοτήτων που μπορεί να ασκήσει μια Ε.Κοιν. είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. Η παραγόμενη ενέργεια του σταθμού μιας Ε.Κοιν. μπορεί να συμψηφιστεί με την καταναλισκόμενη ενέργεια σε εγκαταστάσεις κατανάλωσης των μελών της σύμφωνα με τα οριζόμενα στην ΥΑ ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/15084/382 (ΦΕΚ 759 Β’ 2019). Το εν λόγω νέο θεσμικό πλαίσιο για τον συμψηφισμό μπορεί να εφαρμοστεί και για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών κατανάλωσης σε κτίρια με πολλαπλές ιδιοκτησίες, εφόσον οι καταναλωτές συστήσουν μια Ε.Κοιν. (μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα), η οποία θα εγκαταστήσει ένα σταθμό παραγωγής σε χώρο στον οποίο έχει την κυριότητα ή τη νόμιμη χρήση. Όπως και στην περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού, οι σταθμοί παραγωγής μπορεί να είναι με Φ/Β, μικρές Α/Γ, ΣΗΘΥΑ, βιομάζα/βιορευστά/βιοαέριο, μικρά υδροηλεκτρικά.

Ο σταθμός παραγωγής συνδέεται στο Δίκτυο μέσω νέας παροχής και είναι δυνατόν να χωροθετείται στο κτίριο ή και σε απομακρυσμένη έναντι του κτιρίου θέση, αρκεί να βρίσκεται εντός της Περιφέρειας της έδρας της Ε.Κοιν. ενώ, αν πρόκειται να εγκατασταθεί σε μη διασυνδεδεμένο νησί, θα πρέπει επιπλέον να βρίσκεται στο ίδιο ηλεκτρικό σύστημα. Ο Προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας επιμερίζει την ενέργεια του σταθμού παραγωγής σε κάθε παροχή κατανάλωσης, σύμφωνα με τα δηλωθέντα από την Ε.Κοιν. ποσοστά, και εν συνεχεία συμψηφίζει την ενέργεια που αντιστοιχεί σε κάθε παροχή με την καταναλωθείσα ενέργεια. Δίνεται η δυνατότητα στην Ε.Κοιν. να προσθέτει, να αφαιρεί παροχές ή και να τροποποιεί τα ποσοστά επιμερισμού ακόμα και μετά την ενεργοποίηση της σύνδεσης του σταθμού.

Οι βασικοί όροι και προϋποθέσεις για την ένταξη των παροχών κατανάλωσης ενός κτιρίου με πολλαπλές ιδιοκτησίες στον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό (virtual net metering) είναι:

α) Όλες οι παροχές εκπροσωπούνται από τον ίδιο Προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ίδιος Προμηθευτής εκπροσωπεί και την παροχή με την οποία συνδέεται ο σταθμός παραγωγής στο Δίκτυο.

β) Αν ο σταθμός παραγωγής συνδέεται στη Χ.Τ. τότε υποχρεωτικά όλες οι προς συμψηφισμό παροχές συνδέονται και αυτές στη Χ.Τ. Αντίστοιχος περιορισμός για την περίπτωση που ο σταθμός συνδέεται στη Μ.Τ. δεν υφίσταται.

γ) Οι καταναλωτές έχουν εξοφλήσει πλήρως τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας του οικείου Προμηθευτή ή έχουν ενταχθεί σε καθεστώς ρύθμισης οφειλών.

δ) Οι παροχές δεν έχουν ενταχθεί στο Περιβαλλοντικό Οικιακό Τιμολόγιο (ΥΑ ΥΠΕΝ/ΥΠΡΓ/26359/4101 - ΦΕΚ 1936 Β΄ 2018), ή στο «Ειδικό Πρόγραμμα Φ/Β συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις» (ΚΥΑ 12323 /ΦΕΚ 1079 Β΄ 2009) ή σε άλλο συμψηφισμό.

Οι σταθμοί παραγωγής με εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής ή βεβαίωσης, σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν. 3468/2006 και από την υποχρέωση λήψης άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας.

Το μέγιστο όριο ισχύος στην ηπειρωτική χώρα και τα διασυνδεδεμένα με αυτή νησιά (Διασυνδεδεμένο Δίκτυο) είναι 1 MW με τον περιορισμό η ισχύς του σταθμού να ανέρχεται μέχρι 20 kW ή μέχρι το άθροισμα της συμφωνημένης ισχύος του συνόλου των προς συμψηφισμό καταναλώσεων, εφόσον το τελευταίο μέγεθος υπερβαίνει τα 20 kW. Η εγκατάσταση σταθμών παραγωγής με εικονικό ενεργειακό

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

συμψηφισμό με ισχύ έως 1 MW είναι δυνατή και στο κορεσμένο δίκτυο της Πελοποννήσου όπως και της Εύβοιας και των διασυνδεδεμένων με αυτή νησιών, σύμφωνα με την παρ. 2 του άρθρου 60 του ν. 4546 (ΦΕΚ 101 Α΄ 2018), όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 46 του ν. 4710/2020 (ΦΕΚ 142 Α΄). Στην Κρήτη και τη Ρόδο το μέγιστο όριο ισχύος είναι τα 500 kW, στα συμπλέγματα Κω, Λέσβου, Θήρας, Χίου και Σάμου 300 kW ενώ στα υπόλοιπα Μ.Δ.Ν. 100 kW.

Τα ως άνω όρια ισχύουν για όλες τις τεχνολογίες παραγωγής πλην σταθμών μικρών Α/Γ. Για σταθμούς παραγωγής μικρών Α/Γ, η εγκατεστημένη ισχύς δεν μπορεί να υπερβαίνει το ανώτατο όριο των 60 kW.

1.3.1.3. Ενεργειακός συμψηφισμός σε συνδυασμό με σύστημα αποθήκευσης

Ως σύστημα αποθήκευσης νοείται ένα σύστημα ηλεκτροχημικών συσσωρευτών για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο είναι σταθερό (δηλαδή δεν ανήκει σε ηλεκτροκίνητο όχημα) και αποτελείται από:

α) μετατροπέα/είς ισχύος με δυνατότητα να απορροφούν/εγχέουν ενεργό ή άεργο ισχύ,

β) συσσωρευτές που συνδέονται στην DC πλευρά του μετατροπέα,

γ) ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για τη σύνδεση (διακόπτες, καλωδιώσεις, διατάξεις προστασίας κ.λπ.) και

δ) σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης.

Η εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης σε συνδυασμό με σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που λειτουργούν με ενεργειακό συμψηφισμό προβλέφθηκε από την παρ. 1 του άρθρου 14Α του ν. 3468/2006 όπως τροποποιήθηκε από το άρθρο 23 του ν. 4513/2018 «Ενεργειακές Κοινότητες και άλλες διατάξεις», ενώ οι τεχνικές προδιαγραφές και οι όροι λειτουργίας και χρήσης των συστημάτων αποθήκευσης καθορίστηκαν με το άρθρο 8 της υπ' αρ. Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/15084/382 (ΦΕΚ 759 Β' 2019).

Βασική προϋπόθεση για την εγκατάσταση των συσσωρευτών στην ηλεκτρική εγκατάσταση σταθμού παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό, είναι η μη ανταλλαγή ενέργειας με το Δίκτυο, δηλαδή οι συσσωρευτές δεν φορτίζουν από το Δίκτυο και δεν εκφορτίζουν σε αυτό. Επίσης, προβλέπεται μέγιστη ισχύς μετατροπέα (kVA), ενώ σχετικά με τη χωρητικότητα (kWh) του συστήματος αποθήκευσης δεν τίθενται περιορισμοί.

1.3.1.4. Διαδικασία για τη σύνδεση και λειτουργία σταθμού παραγωγής με ενεργειακό ή εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό

Η διαδικασία που ακολουθείται για τη σύνδεση και λειτουργία σταθμού παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό (με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης) ή σταθμού με εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

α) Υποβολή αίτησης σύνδεσης στον Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ). Προϋπόθεση είναι να έχει εκπονηθεί η σχετική τεχνική μελέτη από κατάλληλης ειδικότητας μηχανικό και να έχει επιλεγεί ο τύπος του εξοπλισμού που θα εγκατασταθεί.

β) Ο Διαχειριστής εξετάζει το αίτημα και προβαίνει σε διατύπωση προσφοράς σύνδεσης προς τον ενδιαφερόμενο, η οποία περιλαμβάνει την περιγραφή και τη δαπάνη των έργων σύνδεσης και ισχύει για τρεις (3) μήνες από την έκδοσή της. Σύμφωνα με την Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/28857/1083 (ΦΕΚ 940 Β΄ 2020), όπως τροποποιήθηκε από την Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/123370/4527 (ΦΕΚ 5693 Β' 2020), τα αιτήματα για σταθμούς με ενεργειακό συμψηφισμό και εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό, ανεξαρτήτως μεγέθους και επιπέδου τάσης σύνδεσης, κατατάσσονται στην Ομάδα Β και εξετάζονται κατά απόλυτη προτεραιότητα έναντι των αιτήσεων που κατατάσσονται στις Ομάδες Γ, Δ και Ε (ενώ η εξέτασή τους έπεται χρονικά σε σχέση με τις αιτήσεις των Φορέων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων που κατατάσσονται στην Ομάδα Α). Η προσφορά εκδίδεται εντός ενός (1) μήνα για αιτήματα ενεργειακού συμψηφισμού και εντός τεσσάρων (4) μηνών για αιτήματα εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

γ) Αποδοχή της προσφοράς σύνδεσης και υποβολή αιτήματος για την κατάρτιση της σύμβασης σύνδεσης.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

δ) Υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης με ταυτόχρονη καταβολή της σχετικής δαπάνης. Ο Διαχειριστής στη συνέχεια προβαίνει στην κατασκευή των έργων σύνδεσης. Αν δεν απαιτούνται έργα σύνδεσης στο Δίκτυο και απαιτείται μόνο η αντικατάσταση του μετρητή της παροχής, οι εργασίες ολοκληρώνονται εντός ενός (1) μήνα από την υπογραφή της σύμβασης.

ε) Υποβολή αίτησης κατάρτισης της σύμβασης ενεργειακού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού προς τον προμηθευτή που εκπροσωπεί την παροχή ή τις παροχές με τις οποίες θα γίνεται ο συμψηφισμός.

στ) Υπογραφή της σύμβασης ενεργειακού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού με τον προμηθευτή. Η σύμβαση υπογράφεται εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την παραλαβή του αιτήματος.

ζ) Υποβολή της αίτησης ενεργοποίησης της σύνδεσης. Με την ολοκλήρωση της κατασκευής του σταθμού παραγωγής ο ενδιαφερόμενος δηλώνει ετοιμότητα και αιτείται στον Διαχειριστή την ενεργοποίηση της σύνδεσης του σταθμού.

η) Ενεργοποίηση της σύνδεσης. Με την ενεργοποίηση της σύνδεσης τίθεται σε ισχύ η σύμβαση ενεργειακού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού η οποία έχει διάρκεια είκοσι πέντε (25) έτη.

1.3.1.5. Περιβαλλοντική και πολεοδομική αδειοδότηση για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής σε κτίρια

Σύμφωνα με την παρ. 13 του άρθρου 8 του ν. 3468/2006 όπως ισχύει, Φ/Β σταθμοί και Α/Γ που εγκαθίστανται σε κτίρια ή και άλλες δομικές κατασκευές ή εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων, εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων (Ε.Π.Ο.) και την υπαγωγή σε πρότυπες περιβαλλοντικές δεσμεύσεις (Π.Π.Δ.) και για την απαλλαγή από Ε.Π.Ο. και Π.Π.Δ. δεν απαιτείται χορήγηση βεβαίωσης.

Για την τοποθέτηση των Φ/Β σταθμών σε κτίρια και για ισχύ μέχρι 100 kW δεν απαιτείται οικοδομική άδεια ή έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Για Φ/Β σταθμούς με ισχύ μεγαλύτερη από 100 kW, απαιτείται έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας καθώς και μελέτη στατικής επάρκειας του κτιρίου πάνω στο οποίο θα γίνει η εγκατάσταση, υπογεγραμμένη από διπλωματούχο πολιτικό μηχανικό.

Ειδικά σε χαρακτηρισμένους παραδοσιακούς οικισμούς, ιστορικά τμήματα πόλεων και διατηρητέα κτίρια, η εγκατάσταση Φ/Β σταθμών (ανεξαρτήτως ισχύος) είναι δυνατή μόνο σε ακάλυπτους κτιρίων και σε σημεία μη ορατά από κοινόχρηστους χώρους, μετά από γνωμοδότηση της επιτροπής πολεοδομικού και αρχιτεκτονικού ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.). Γνωμοδότηση Ε.Π.Α.Ε. απαιτείται και για την περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β σταθμών στις περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους.

Οι ειδικοί όροι για την εγκατάσταση Φ/Β και ηλιακών συστημάτων επί κτισμάτων και ακάλυπτων χώρων αυτών αναφέρονται στην Υ.Α. υπ' αρ. 36720 (ΦΕΚ 376 ΑΑΠ 2010) όπως τροποποιήθηκε από την Υ.Α (ΦΕΚ 583 Β΄ 2011) και ισχύει. Αντίστοιχοι ειδικοί όροι για την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών (Α/Γ) επί κτισμάτων δεν έχουν καθοριστεί. Επί του παρόντος η εγκατάσταση Α/Γ είναι δυνατή σε γήπεδα κατ' εφαρμογή των διατάξεων της Υ.Α. υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74462/2976 (ΦΕΚ 3150 Β΄ 2020).

1.3.1.6. Περιβαλλοντική και πολεοδομική αδειοδότηση για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής σε γήπεδα για την κάλυψη αναγκών κτιρίων

Στις περιπτώσεις που ο χώρος ενός κτιρίου δεν επαρκεί για την εγκατάσταση του σταθμού παραγωγής ή στην περίπτωση που το θεσμικό πλαίσιο δεν επιτρέπει την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής επί κτιρίων (Φ/Β με συστήματα ηλιακής ιχνηλάτησης και μικρές Α/Γ), ο σταθμός παραγωγής μπορεί να εγκατασταθεί στο έδαφος σε όμορο της εγκατάστασης χώρο και να συνδεθεί ηλεκτρικά με αυτή (ενεργειακός συμψηφισμός) ή να εγκατασταθεί σε απομακρυσμένο χώρο και να συνδεθεί στο Δίκτυο με νέα παροχή (εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός).

Οι Φ/Β σταθμοί με ισχύ μικρότερη ίση του 1 MW_p που εγκαθίστανται σε γήπεδα απαλλάσσονται από περιβαλλοντική αδειοδότηση εφόσον δεν χωροθετούνται σε περιοχή του δικτύου Natura 2000 ή σε παράκτια θέση που απέχει λιγότερο από 100μ από την οριογραμμή του αιγιαλού εκτός βραχονησίδων. Σε αντίθετη περίπτωση οι σταθμοί κατατάσσονται στην Κατηγορία Β σύμφωνα με την Υ.Α. υπ'

αριθμ.ΥΠΕΝ/ΔΙΠΑ/74463/4562 (ΦΕΚ 3291 Β΄ 2020) και υπάγονται σε Π.Π.Δ.. Σε κάθε περίπτωση για την εγκατάσταση Φ/Β σταθμών σε γήπεδα απαιτείται έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Επισημαίνεται επιπλέον ότι σύμφωνα με το άρθρο 24 του ν. 4643 (ΦΕΚ 193 Α΄ 2019) και την Υ.Α. υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74123/2971 (ΦΕΚ 3149 Β΄ 2020), η εγκατάσταση Φ/Β σταθμών με ισχύ μικρότερη ίση του 1 MW_p επιτρέπεται και σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών της Αττικής.

Η εγκατάσταση μικρών Α/Γ επιτρέπεται:

α) σε γήπεδα εκτός εγκεκριμένων σχεδίων πόλεων, εκτός ορίων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο των 2000 κατοίκων ή οικισμών προ του 1923, και εντός δασικών εκτάσεων, αναδασωτέων και δημόσιων εκτάσεων των περιπτώσεων α' και β' της παρ. 5 του άρθρου 3 του ν. 998/79, όπως ισχύει

β) εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικής δραστηριότητας και

γ) σε λιμένες.

Οι σταθμοί των περιπτώσεων (β) και (γ) εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων (Ε.Π.Ο.) και την υπαγωγή σε πρότυπες περιβαλλοντικές δεσμεύσεις (Π.Π.Δ.) και για την απαλλαγή από Ε.Π.Ο. και Π.Π.Δ. δεν απαιτείται χορήγηση βεβαίωσης. Οι σταθμοί της περίπτωσης (α) απαλλάσσονται από περιβαλλοντική αδειοδότηση εφόσον έχουν ισχύ μικρότερη ίση από 20 kW και δεν εγκαθίστανται σε περιοχή του δικτύου Natura 2000 ή σε παράκτια θέση που απέχει λιγότερο από 100μ από την οριογραμμή του αιγιαλού εκτός βραχονησίδων. Σε κάθε άλλη περίπτωση κατατάσσονται στην Κατηγορία Β σύμφωνα με την Υ.Α. υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΙΠΑ/74463/4562 (ΦΕΚ 3291 Β΄ 2020) και υπάγονται σε Π.Π.Δ. Για την εγκατάσταση των σταθμών μικρών Α/Γ, συμπεριλαμβανομένων των θεμελίων αυτών καθώς και τις αναγκαίες κατασκευές που συνοδεύουν την εγκατάστασή τους, απαιτείται έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας.

Για την υπαγωγή σε Π.Π.Δ. σταθμών μικρών Α/Γ ή τη χορήγηση βεβαίωσης για την απαλλαγή τους από Π.Π.Δ., υποβάλλεται τεύχος συμβατότητας ως προς την τήρηση των περιορισμών του άρθρου 2 «Χωροταξικά θέματα» της Υ.Α. υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74462/2976 (ΦΕΚ 3150 Β΄ 2020), ενώ για την έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας υποβάλλεται τεχνική έκθεση συμμόρφωσης για την τήρηση των προβλέψεων του άρθρου 4 «Αποστάσεις ασφαλείας – Ηχητική και οπτική όχληση» της ως άνω Υ.Α.

1.3.1.7. Λοιπές διατάξεις για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής σε κτίρια

Με την παρ. 16 του άρθρου 3 του ν. 4414/2016 όπως τροποποιήθηκε από το άρθρο 62 του ν. 4643/2019 δίνεται η δυνατότητα σε έναν καταναλωτή να εγκαταστήσει ένα σταθμό παραγωγής από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α., οποιασδήποτε ισχύος, με σκοπό να ιδιοκαταναλώνει την παραγόμενη ενέργεια. Τυχόν πλεόνασμα της ετησίως παραγόμενης ενέργειας, μέχρι ποσοστό 20% και ειδικά για αυτοπαραγωγούς που εξυπηρετούν αγροτικές εκμεταλλεύσεις μέχρι 75%, δύναται να αποζημιώνεται, εφόσον ο αυτοπαραγωγός συνάψει σύμβαση λειτουργικής ενίσχυσης με τον Διαχειριστή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εγγυήσεων προέλευσης (Δ.Α.Π.Ε.Ε.Π.).

Με την Υ.Α. υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/15084/382 (ΦΕΚ 759 Β΄ 2019) δίνεται η δυνατότητα σε νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλου δημοσίου συμφέροντος σκοπούς και σε εγγεγραμμένους στο μητρώο αγροτών και αγροτικών εκμεταλλεύσεων (κατ' επάγγελμα αγρότες) να εγκαταστήσουν σταθμό παραγωγής προκειμένου να συμψηφίζουν την παραγόμενη ενέργεια με περισσότερες από μία καταναλώσεις τους. Βασική προϋπόθεση είναι ο σταθμός παραγωγής και όλες οι προς συμψηφισμό καταναλώσεις να ανήκουν στο ίδιο πρόσωπο (στο ίδιο Α.Φ.Μ.).

Το «Ειδικό Πρόγραμμα Φ/Β συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις» (Κ.Υ.Α./ΦΕΚ 1079 Β΄ 2009) έληξε στις 31.12.2019. Αναμένεται η δημοσίευση νέας Υπουργικής Απόφασης στην οποία θα καθορίζεται το νέο πρόγραμμα που θα ισχύει εφεξής για Φ/Β σταθμούς έως και 6 kW που θα είναι συνδεδεμένοι με παροχές οικιακής χρήσης και θα ανήκουν σε φυσικά πρόσωπα και όχι επιτηδευματίες. Η τιμή αποζημίωσης έχει ήδη καθοριστεί στα 87 €/MWh, σύμφωνα με την υπ' αρ. Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/30971/1190 (ΦΕΚ 1045 Β΄ 2020).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

1.3.2. Ηλιοθερμικά συστήματα σε κτίρια

Τα ηλιοθερμικά συστήματα (Η.Σ.) συμπεριλαμβάνονται επίσης στις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που προβλέπονται στην ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/ΕΚ (αναδιατυπώθηκε με την 2018/2001/ΕΕ) και μέσα από διάφορες εθνικές διατάξεις, προωθείται μεταξύ άλλων η εφαρμογή τους, καθώς και προγράμματα παροχής κινήτρων για τις τεχνολογίες αυτές. Η εγκατάσταση Η.Σ. στα νέα κτίρια γίνεται υποχρεωτική για πρώτη φορά στο άρθρο 10 (παρ. 3) του ν. 3851/2010 (ΦΕΚ 85 Α), το οποίο καταργήθηκε στη συνέχεια από το ν. 4122/2013 (ΦΕΚ 42 Α) «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις» που υιοθέτησε την απαίτηση αυτή στο άρθρο 6 (παρ. 4). Το άρθρο 61 του ν. 4685/2020 (ΦΕΚ 92 Α) «Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», αντικατέστησε το άρθρο 6 του ν. 4122/2013.

Σύμφωνα με τα οριζόμενα στις παραπάνω διατάξεις, τα νέα κτίρια ή κτιριακές μονάδες πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που ορίζονται στον Κ.Εν.Α.Κ. Κατά το στάδιο της έκδοσης οικοδομικής άδειας νέων κτιρίων ή κτιριακών μονάδων εκπονείται και υποβάλλεται στην αρμόδια Υπηρεσία Δόμησης η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης (Μ.Ε.Α.), η οποία συμπεριλαμβάνει την τεχνική, περιβαλλοντική και οικονομική σκοπιμότητα εγκατάστασης εναλλακτικών συστημάτων παροχής ενέργειας υψηλής απόδοσης, εφόσον είναι διαθέσιμα.

Στα νέα κτίρια ή κτιριακές μονάδες είναι υποχρεωτική η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) από Η/Θ συστήματα. Η κάλυψη μέρους των αναγκών του κτιρίου σε Ζ.Ν.Χ. από ηλιοθερμικά συστήματα είναι υποχρεωτική με ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού μεριδίου σε ετήσια βάση 60%, το οποίο δύναται να αναπροσαρμόζεται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Η αδυναμία εφαρμογής του ανωτέρω ποσοστού απαιτεί επαρκή τεχνική τεκμηρίωση σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και τις επικρατούσες συνθήκες. Η υποχρέωση αυτή δεν ισχύει για:

- κτίρια χρησιμοποιούμενα ως χώροι λατρείας ή για θρησκευτικές δραστηριότητες,
- βιομηχανικές εγκαταστάσεις, βιοτεχνίες, επαγγελματικά εργαστήρια, αποθήκες,
- κτίρια προσωρινής χρήσης, η διάρκεια χρήσης των οποίων με βάση το σχεδιασμό τους δεν υπερβαίνει τα δύο (2) έτη,
- κτίρια αγροτικών χρήσεων - πλην κατοικιών - με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις και αγροτικά κτίρια - πλην κατοικιών - που χρησιμοποιούνται από τομέα καλυπτόμενο από εθνική συμφωνία που αφορά την ενεργειακή απόδοση κτιρίων,
- κτίρια των οποίων οι ανάγκες σε Ζ.Ν.Χ. καλύπτονται από άλλα συστήματα παροχής ενέργειας υψηλής απόδοσης και
- κτίρια πολύ χαμηλής ζήτησης σε Ζ.Ν.Χ., όπως ορίζεται στον Κ.ΕΝ.Α.Κ. (άρθρο 8, παρ. 3.1.3)

Το άρθρο 63 του ν. 4685/2020, το οποίο αντικατέστησε το άρθρο 8 του ν. 4122/2013, ορίζει ότι για να βελτιστοποιηθεί η ενεργειακή χρήση των τεχνικών συστημάτων των κτιρίων, καθορίζονται με τον Κ.Εν.Α.Κ. οι απαιτήσεις όσον αφορά στη συνολική ενεργειακή απόδοση, στην ορθή εγκατάσταση και στη σωστή διαστασιολόγηση, στη ρύθμιση και στον έλεγχο των τεχνικών συστημάτων κτιρίων που εγκαθίστανται σε νέα και υφιστάμενα κτίρια.

Από την 1.1.2021, όλα τα νέα κτίρια εκτός κατοικίας πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας ενώ για τις κατοικίες η ίδια υποχρέωση ισχύει από τη 1.6.2021 (άρθρο 21, παρ.1 του ν. 4122/2013). Για τα νέα κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, η υποχρέωση αυτή ορίστηκε από την 1.1.2019. Η υποχρέωση αυτή, σύμφωνα με το άρθρο 9 (παρ. 1) του ν. 4122/2013, δεν εφαρμόζεται σε ειδικές περιπτώσεις κτιρίων, για τις οποίες η ανάλυση της σχέσης κόστους -οφέλους για τον οικονομικό κύκλο ζωής του συγκεκριμένου κτιρίου έχει αρνητικό αποτέλεσμα, και θα πρέπει να καθοριστούν με σχετική Υπουργική Απόφαση.

Σχετικά με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς για την εγκατάσταση Η/Θ συστημάτων, ο ν. 4067/2012 (ΦΕΚ 79 Α), στο άρθρο 4 «Άδειες Δόμησης» (παρ. 3.θ), αναφέρει ότι για την τοποθέτηση ηλιακών θερμοσιφώνων δεν απαιτείται η έκδοση Άδειας Δόμησης κατά την έννοια του άρθρου 1 του ν. 4030/2011 (ΦΕΚ 249 Α), σύμφωνα και με τις παραγράφους 2β΄ και 2γ΄ του άρθρου 19 του ίδιου νόμου για την

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

υπέρβαση του μέγιστου επιτρεπόμενου ύψους. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με την παρ. 3.ι, του άρθρου 4 του ν. 4067/2012, έκδοση Άδειας Δόμησης δεν απαιτείται ούτε για την τοποθέτηση παθητικών ηλιακών συστημάτων στις εξωτερικές όψεις υφιστάμενων κτιρίων, εφόσον δεν αλλοιώνονται οι όψεις. Για τις ανωτέρω εργασίες απαιτείται, προ 48 ωρών, έγγραφη ενημέρωση της αρμόδιας Υπηρεσίας Δόμησης για την εκτέλεσή τους, η οποία γνωστοποιείται στο οικείο αστυνομικό τμήμα.

Σύμφωνα με το άρθρο 19 «Κατασκευές πάνω από το κτίριο» (παρ. 1) του ν. 4067/2012, όλες οι κατασκευές πάνω από το κτίριο πρέπει να αποτελούν ένα ενιαίο αισθητικό σύνολο και μπορούν να συνδέονται ή να περιφράσσονται με ελαφρά ή διάτρητα στοιχεία, όπως επίσης οι θέσεις τους να αποτυπώνονται υποχρεωτικά στις μελέτες που συνοδεύουν την εκάστοτε Άδεια Δόμησης. Η παρ. 2 του ίδιου άρθρου αναφέρεται στη δυνατότητα εγκατάστασης ηλιακών συστημάτων (Η/Σ) πάνω από το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος της περιοχής και μέσα στο ιδεατό στερεό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η τοποθέτηση του δοχείου θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε άμεση επαφή με την άνω στάθμη του δώματος και η τοποθέτηση του ηλιακού συλλέκτη πάνω από αυτό.

Σύμφωνα με το άρθρο 17 (παρ. 1) του ν. 4067/2012, για την κατασκευή κάθε εργασίας δόμησης και τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου του κτιρίου τηρούνται τα προβλεπόμενα από τη σχετική νομοθεσία μέτρα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις, όπως εκάστοτε ισχύει. Στην παρ. 2α' αναφέρεται ότι ο υποχρεωτικά ακάλυπτος χώρος του οικοπέδου, θα πρέπει να παραμένει χωρίς επίστρωση και να φυτεύεται τουλάχιστον κατά τα 2/3, όπως προβλέπεται από τις κείμενες διατάξεις. Τέλος, σύμφωνα με την παρ. 7η', επί των ακάλυπτων χώρων του οικοπέδου και εφόσον καλύπτεται η υποχρέωση για φύτευση (σύμφωνα με την παρ. 2), επιτρέπεται η εγκατάσταση παθητικών ή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων που κατασκευάζονται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Ειδική μνεία για την εγκατάσταση παθητικών ή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων σε παραδοσιακούς οικισμούς ή διατηρητέα κτίρια γίνεται στην παρ. 7θ'. Για τη συγκεκριμένη εργασία χρειάζεται να προηγηθεί έγκριση του Αρχιτεκτονικού Συμβουλίου ή του αρμόδιου φορέα, ως προς την ένταξή τους στον χώρο.

Επίσης, σύμφωνα με το άρθρο 11 (παρ. 6, εδάφιο κ) του ν. 4067/2012, η επιφάνεια του πάχους παθητικών ηλιακών συστημάτων που εγκαθίστανται σε υφιστάμενα κτίρια, για διάσταση μέχρι 15cm, δεν προσμετράται στον υπολογισμό του συντελεστή δόμησης και κατ' επέκταση της μέγιστης επιτρεπόμενης δόμησης που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα οικόπεδο, έστω και αν δεν τηρούνται οι πλάγιες αποστάσεις Δ ή η οικοδομική γραμμή σε περίπτωση ύπαρξης προκηπίου, ακόμη και στην περίπτωση που υπάρχει στο ακίνητο υπόλοιπο πολεοδομικών μεγεθών. Όταν η οικοδομική γραμμή ταυτίζεται με τη ρυμοτομική, τα παραπάνω κατασκευάζονται σε ύψος τουλάχιστον 3 m από την οριστική στάθμη του πεζοδρομίου ή την οριστική στάθμη του παραχωρημένου χώρου.

1.3.3. Γεωθερμία σε κτίρια

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/ΕΚ για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από Α.Π.Ε., όπως αναδιατυπώθηκε με την Οδηγία 2018/2001/ΕΕ [6, 7], μεταξύ άλλων συμπεριλαμβάνει στις Α.Π.Ε. και τη γεωθερμική ενέργεια: «ενέργεια αποθηκευόμενη υπό μορφή θερμότητας κάτω από τη στερεή επιφάνεια της γης». Για την επίτευξη των δεσμευτικών εθνικών στόχων κάθε κράτους μέλους (άρθρο 3, παρ. 1 της Οδηγίας) που αφορά στο ποσοστό διείσδυσης Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, προσμετράται και αυτή από Α.Π.Ε. στον τομέα θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων (άρθρο 7, παρ. 1β της Οδηγίας). Η ενέργεια περιβάλλοντος και η γεωθερμική ενέργεια που χρησιμοποιούνται για θέρμανση και ψύξη, μέσω αντλιών θερμότητας και συστημάτων τηλεψύξης, λαμβάνονται υπόψη στο μερίδιο Α.Π.Ε. (άρθρο 7, παρ. 3 και Παράρτημα VII της οδηγίας), υπό την προϋπόθεση ότι η τελική ωφέλιμη ενέργεια (θερμική ή ψυκτική) που παρέχεται υπερβαίνει κατά πολύ την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας κ.λπ. Επιπλέον στην Οδηγία ορίζεται και η εφαρμογή διαδικασιών πιστοποίησης ή ισοδύναμων συστημάτων χαρακτηρισμού (άρθρο 15 και 18 της Οδηγίας), τα οποία θα πρέπει να είναι διαθέσιμα για τους εγκαταστάτες μικρής κλίμακας λεβήτων και θερμαστρών βιομάζας, ηλιακών φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών συστημάτων, γεωθερμικών συστημάτων μικρού βάθους (shallow geothermal systems) και αντλιών θερμότητας [6, 7]. Τα γεωθερμικά συστήματα μικρού βάθους,

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

κοινώς «συστήματα αβαθούς ή κανονικής γεωθερμίας» [10-12], είναι τα συστήματα αξιοποίησης της θερμότητας γεωλογικών σχηματισμών και υδάτων επιφανειακών ή υπόγειων.

Για τις εγκαταστάσεις κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας στην Ελλάδα έχουν εκδοθεί και είναι σε ισχύ μια σειρά νομοθετικών διατάξεων, όπως:

- Ο νόμος 4602/2019 (ΦΕΚ Α' 45), «Έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού της Χώρας, σύσταση Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, ιδιοκτησιακός διαχωρισμός δικτύων διανομής φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις» [11]. Στο άρθρο 13 γίνεται αναφορά για τα «Ενεργειακά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης» μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, δηλαδή εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας (όπως αναφέρεται στο άρθρο 33 του νόμου). Ο νόμος 4602/2019 καταργεί τα άρθρα 1-13 του προγενέστερου νόμου 3175/2003 (ΦΕΚ Α' 207), «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις». Σύμφωνα με τον ορισμό (άρθρο 2, παρ. 1.β) για το Γεωθερμικό Δυναμικό (ΓΘΔ), δηλαδή «.. *το σύνολο των γηγενών φυσικών θερμών ρευστών, επιφανειακών ή υπογείων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που η θερμοκρασία τους υπερβαίνει τους 30°C*», η αβαθής (μικρού βάθους) γεωθερμία δεν υπάγεται στο ΓΘΔ. Επίσης η αξιοποίηση για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών ή/και των επιφανειακών και υπόγειων νερών (μικρού βάθους), που δεν χαρακτηρίζονται ΓΘΔ, επιτρέπεται μετά από άδεια που χορηγείται από τις Διευθύνσεις Ανάπτυξης της οικίας Περιφέρειας.
- Η υπουργική απόφαση Αρ. Πρωτ. Δ9Β/Φ166/23880/ΓΔΦΠ4211, (ΦΕΚ 2450 Β’ 2011), «Άδειες διανομής θερμικής ενέργειας αποκλειστικά για αγροτικές εκμεταλλεύσεις από εκμετάλλευση γεωθερμικού δυναμικού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής θερμοκρασίας». Στην απόφαση αυτή καθορίζονται οι ειδικότεροι όροι της άδειας διανομής θερμικής ενέργειας από εκμετάλλευση γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής θερμοκρασίας, αποκλειστικά για αγροτικές εκμεταλλεύσεις. Για την έκδοση της εν λόγω άδειας απαιτείται η κατάθεση τεχνικοοικονομικής μελέτης συμπεριλαμβανομένου επ’ αυτής χρονοδιαγράμματος ολοκλήρωσης εργασιών, καθώς και η κατάθεση μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Η υπουργική απόφαση αριθμ. Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488 (ΦΕΚ 1249 Β’ 2009), «Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ψύξης χώρων μέσω εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό», με την οποία αναθεωρήθηκε η αρχική υπουργική απόφαση Δ9Β/Φ166/οικ18508/5552/207/19.10.2004 (ΦΕΚ 1595 Β' 2004) «Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό». Καθορίζονται οι όροι, οι προϋποθέσεις, τα απαιτούμενα δικαιολογητικά και η διαδικασία έκδοσης άδειας, για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή/και ψύξης εσωτερικών χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δε χαρακτηρίζονται ως ΓΘΔ, δηλαδή θερμοκρασίας χαμηλότερης των 30°C όπως είναι η αβαθής (μικρού βάθους) ή κανονική γεωθερμία.
- Η υπουργική απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠ/42138/552/21 (ΦΕΚ 1960 Β’ 2021) «Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών», η οποία αντικατέστησε την υπ. αριθ. Δ9Β/Φ166/οικ20076/ΓΔΦΠ5258/329/24.10.2005 (ΦΕΚ 1530 Β’ 2005), «Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών».
- Η υπουργική απόφαση Δ9Β/Φ166/οικ8411/ΓΔΦΠ2373/117/2005 (ΦΕΚ 635 Β' 2005), «Όροι και διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της Χώρας».
- Η υπουργική απόφαση Αριθμ. Δ9Β/Φ166/οικ25158/ΓΔΦΠ4398 (ΦΕΚ 2647 Β' 2011), «Όροι και διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού βεβαιωμένων ή πιθανών Γεωθερμικών Πεδίων Χαμηλής Θερμοκρασίας της Χώρας». Η απόφαση μεταξύ άλλων αναφέρεται και στην αξιοποίησης και ανάπτυξη εγκαταστάσεων θέρμανσης ψύξης με χρήση αβαθούς γεωθερμίας.

ΠΑΝΟΣΕΑΙΟ

1.4. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Νόμος 4122/2013, (Φ.Ε.Κ. Α' 42), «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.
2. Νόμος 4342/2015, (Φ.Ε.Κ. Α' 143), «Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 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», όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2013/12/ΕΕ του Συμβουλίου της 13ης Μαΐου 2013 «Για την προσαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση, λόγω της προσχώρησης της Δημοκρατίας της Κροατίας» και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.
3. Ενεργειακό Ισοζύγιο για την Ελλάδα. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ). Αθήνα 2014. www.ypeka.gr.
4. Energy datasheets: EU28 countries. Energy Statistics 2018, Eurostat, EU Commission, DG ENER, Unit A4. 2018.
5. Energy, transport and environment statistics 2019 Edition. Eurostat, European Union 2019.
6. Οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 «σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ», ΕΕ L 140, 5.6.2009.
7. Οδηγία 2018/2001/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Δεκεμβρίου 2018 «για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Αναδιατύπωση)», ΕΕ L 328, 21.12.2018.
8. Οδηγία 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», ΕΕ L 315, 14.11.2012.
9. Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Μαΐου 2010 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση)», ΕΕ L.153, 18.6.2010.
10. Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Τμήμα Γεωθερμίας & Ιαματικών Φυσικών Πόρων (ΓΕΩΘΕ), https://www.eagme.gr/departments/tmhma-gewthermias-iamatikwn-fysikwn-porwn-gewthe
11. Νόμος 4602/2019, (Φ.Ε.Κ. Α' 45), «: Έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού της Χώρας, σύσταση Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, ιδιοκτησιακός διαχωρισμός δικτύων διανομής φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.
12. European Federation of Geologists. European Geologists Journal 47, «Shallow geothermal energy: Geological energy for the ecological transition and its inclusion in European and national energy policies», https://eurogeologists.eu/esteban-shallow-geothermal-energy-geological-energy-for-the-ecological-transition-and-its-inclusion-in-european-and-national-energy-policies/

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κλίμα στην Ελλάδα

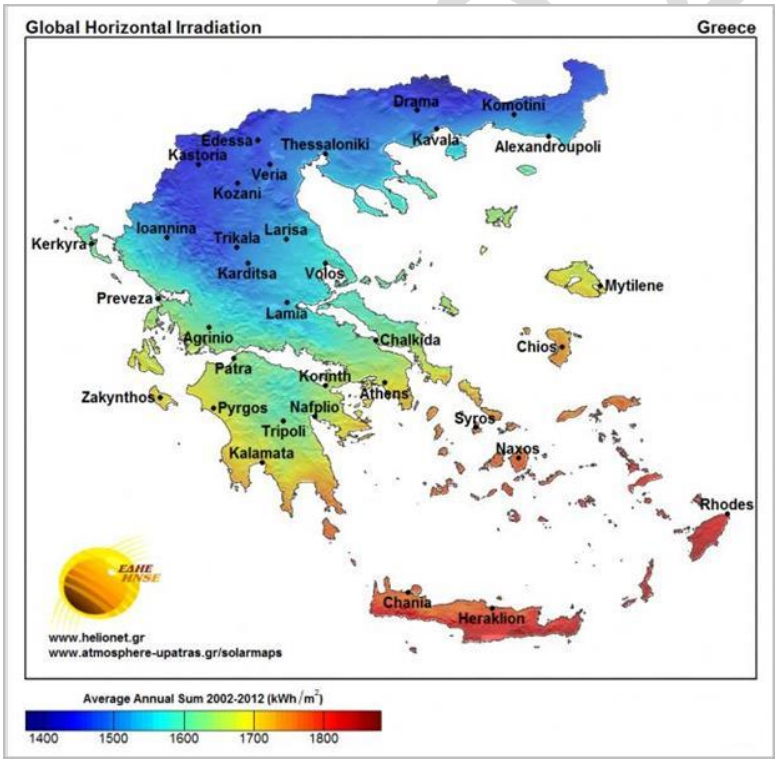
2.1. Γενικά στοιχεία

Η Ελλάδα, λόγω της γεωγραφικής της θέσης και της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας της, είναι μια ενεργειακά πλούσια χώρα καθώς διαθέτει υψηλό δυναμικό σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.), όπως ηλιακή, αιολική, υδραυλική, κυματική, αλλά ακόμα και γεωθερμία μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Τα βασικά πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. είναι η παραγωγή ενέργειας από πηγές που είναι ανεξάντλητες, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον (με εξαίρεση την καύση βιομάζας) και μπορούν να λειτουργήσουν και αυτόνομα, χωρίς σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτροδότησης ή και σε περιοχές απομονωμένες χωρίς δίκτυο. Επιπλέον, η αξιοποίηση των Α.Π.Ε. μειώνει την εξάρτιση μιας χώρας από τα συμβατικά καύσιμα.

Ωστόσο, οι Α.Π.Ε. έχουν και μειονεκτήματα με κυριότερο από όλα το υψηλό αρχικό κόστος ορισμένων συστημάτων, καθώς επίσης και τη διακύμανση της διαθεσιμότητάς τους (ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια κ.ά.), η οποία εξαρτάται από το κλίμα, τη μορφολογία και τη θέση μιας περιοχής. Το κόστος μιας εγκατάστασης Α.Π.Ε. αυξάνεται σημαντικά όταν περιλαμβάνει και συστήματα αποθήκευσης (συσσωρευτές για ηλεκτρική ενέργεια ή θερμαντήρες/δεξαμενές για θερμική ενέργεια).

2.2. Ηλιακή ενέργεια

Το ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα διαφοροποιείται ανάλογα με τη γεωγραφική θέση (γεωγραφικό πλάτος, μήκος και υψόμετρο) και τη γεωμορφολογία μια περιοχή. Κυμαίνεται ετησίως από 1.400 έως 1.800 kWh/(m² yr), ενώ σε ορισμένες περιοχές είναι ακόμα μεγαλύτερο (Σχήμα 2.2.1). Η ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα αξιοποιείται σε πολλά κτίρια, κυρίως με τη χρήση θερμικών ηλιακών συλλεκτών (Η.Σ.) και τη χρήση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη μέρος ή του συνόλου των αναγκών τους.



Σχήμα 2.2.1: Χάρτης της Ελλάδας με τη μέση ετήσια ολική ηλιακή ενέργεια σε οριζόντιο επίπεδο [kWh/(m² yr)] [1].

Για τη διαστασιολόγηση ενός ηλιακού συστήματος που θα καλύψει συγκεκριμένες ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου, βασική προϋπόθεση είναι ο προσδιορισμός/ εκτίμηση της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας και συγκεκριμένα, ανάλογα με την περίπτωση:

- η μέση ωριαία, μηνιαία ή ετήσια ηλιακή ενέργεια, ανάλογα τον προσανατολισμό και την κλίση εγκατάστασης ενός ηλιακού συστήματος (Η.Σ., Φ/Β),
- ο μέσος αριθμός μέγιστων ημερών νέφωσης ανά μήνα σε μια περιοχή,
- η ηλιακή γεωμετρία ανά εποχή, για τον προσδιορισμό της μείωσης της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας, λόγω ενδεχόμενης σκίασης των συστημάτων από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια του περιβάλλοντα χώρου.

Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 «Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών» [2], στο κεφάλαιο 4 δίνονται εξισώσεις υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας /ενέργειας (ωριαία, μηνιαία και ετήσια) για επιφάνεια συστήματος υπό κλίση (β≠0°) και τυχαίο προσανατολισμό / αζιμούθιο (γ≠0°). Αυτές οι εξισώσεις ισχύουν στην περίπτωση πλήρους ηλιασμού μιας επιφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή χωρίς την ύπαρξη φυσικών ή τεχνητών εμποδίων, τα οποία να περιορίζουν τη διαθέσιμη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε εποχή του χρόνου.

Η (εξ. 2.2.1) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας ηλιακής ενέργειας (kWh/m²/yr) σε οριζόντιο επίπεδο (H_o), (δηλαδή κλίση β=0°), σε μια περιοχή δεδομένου γεωγραφικού πλάτους (φ), μήκους (L) και υψομέτρου περιοχής (A) [3].

$$H_o = 3233 - 44 \cdot \varphi + 4 \cdot L - 0{,}08 \cdot A \qquad \textit{(εξ. 2.2.1)}$$

Η ως άνω εξίσωση έχει προκύψει λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m²/yr) όπως προκύπτει από την επεξεργασία μακροχρόνιων (άνω των 25 ετών) μετρήσεων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας [2, 4-8] και σχετικά εμπειρικά μοντέλα [9-15]. Το συνολικό τυπικό σφάλμα της (εξ. 2.2.1) είναι ±32,7 kWh/m²/yr.

Ωστόσο, η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια πάνω σε κεκλιμένη επιφάνεια εξαρτάται από την κλίση (β) και τον προσανατολισμό (γ) της επιφάνειας αυτής. Για τα ηλιακά συστήματα (Φ/Β και Η.Σ.) με σταθερή κλίση εγκατάστασης, ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος, ενώ η γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος (φ) και την εποχική λειτουργία του συστήματος (ετήσια, χειμερινή ή θερινή).

2.2.1. Ηλιακή ενέργεια σε κεκλιμένες επιφάνειες

Η βέλτιστη θέση εγκατάστασης ενός ηλιακού συστήματος διαφοροποιείται ανά εποχή και μήνα, και προσδιορίζεται με κριτήριο τη μέγιστη αξιοποίηση της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπό μελέτη γεωγραφική περιοχή. Ειδικότερα, η βέλτιστη γωνία κλίσης ενός ηλιακού συστήματος εξαρτάται από τη εποχική περίοδο χρήσης του, π.χ. για τη θέρμανση χώρων τη χειμερινή περίοδο ή τη παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε ένα ξενοδοχείο θερινής λειτουργίας. Όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία σε μια επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό ηλιακής ενέργειας που αυτή προσλαμβάνει, οπότε η βέλτιστη κλίση ηλιακού συστήματος προσδιορίζεται πρωτίστως από τη διακύμανση της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, κατά την αναμενόμενη περίοδο χρήσης του. Για την Ελλάδα η βέλτιστη κλίση (για νότιο προσανατολισμό) κατά τη χειμερινή περίοδο είναι περίπου 52°÷57° (από Οκτώβριο έως και Μάρτιο), ενώ για τη θερινή περίοδο είναι περίπου 5°÷10° (από Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο).

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 2.2.1) δίνεται η βέλτιστη γωνία κλίσης ενός ηλιακού συστήματος, ανά μήνα, για πενήντα τέσσερις (54) ελληνικές πόλεις, ενώ στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 2.2.2) δίνεται η μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια (kWh/m²/mo) για αυτές τις βέλτιστες ανά μήνα γωνίες κλίσεις. Ο προσδιορισμός της βέλτιστης κλίσης (ανά μήνα) και της προσπίπτουσας μηνιαίας ηλιακής ενέργειας βασίστηκε στα δεδομένα της μέσης μηνιαίας ηλιακής ενέργειας στις ελληνικές περιοχές, καθώς και στα εμπειρικά υπολογιστικά μοντέλα που περιγράφονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 [2].

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 2.2.1: Βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης ηλιακού συστήματος (β) για 54 ελληνικές περιοχές

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΑΘΗΝΑ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΘΗΝΑ (ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ)	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΓΡΙΝΙΟ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	65	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	60	65
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΡΑΞΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΡΓΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΑΡΤΑ	65	55	40	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΔΡΑΜΑ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	65	65
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	60	50	35	15	5	0	0	10	30	45	60	60
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	60	65
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	60	50	35	15	5	0	0	10	30	45	60	60
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΚΑΒΑΛΑ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	65	65
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	60	65
ΚΕΡΚΥΡΑ	65	55	40	20	5	0	0	15	35	50	60	65
ΚΟΖΑΝΗ	65	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	65	65
ΚΟΝΙΤΣΑ	65	50	40	20	5	0	0	15	35	50	60	65
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΚΥΘΗΡΑ_Α/Δ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	45	60	60
ΛΑΜΙΑ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΛΑΡΙΣΑ	65	55	40	20	5	0	0	15	35	50	60	65
ΛΗΜΝΟΣ	60	55	40	20	5	0	0	15	35	50	60	65
ΜΕΘΩΝΗ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΜΗΛΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	45	60	60
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	60	50	35	20	5	0	0	15	35	50	60	65
ΝΑΞΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΠΑΡΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΠΑΤΡΑ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΠΥΡΓΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΡΕΘΥΜΝΟ	60	50	35	15	5	0	0	10	30	45	60	60
ΡΟΔΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΣΑΜΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	45	60	65
ΣΕΡΡΕΣ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	60	65
ΣΗΤΕΙΑ	60	50	35	15	5	0	0	10	30	45	60	60
ΣΚΥΡΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΣΟΥΔΑ	60	50	35	20	5	0	0	10	30	45	60	60
ΣΥΡΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΤΑΝΑΓΡΑ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΤΡΙΚΑΛΑ	65	55	40	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	65	55	40	20	5	0	5	15	35	50	60	65
ΤΡΙΠΟΛΗ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65
ΤΥΜΠΑΚΙ	60	50	35	15	5	0	0	10	30	45	60	60
ΧΑΝΙΑ	60	50	35	15	5	0	0	10	30	45	60	60
ΧΙΟΣ	60	50	35	20	5	0	0	15	30	50	60	65

Πίνακας 2.2.2: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{\beta,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη κλίση ανά μήνα

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΑΘΗΝΑ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	110	111	136	159	196	214	223	206	170	147	120	105
ΑΘΗΝΑ (ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ)	110	118	133	143	191	204	209	192	161	138	114	87
ΑΓΡΙΝΙΟ	90	98	132	162	210	219	223	205	176	151	117	96
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	121	123	158	173	209	223	227	209	184	170	142	118
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	114	112	140	153	190	214	224	204	169	150	121	107
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	118	114	146	161	199	216	222	204	172	153	126	110
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	92	94	122	139	179	202	212	194	153	131	99	87
ΑΡΑΞΟΣ	110	111	139	161	197	211	218	201	170	150	119	104
ΑΡΓΟΣ	94	101	127	147	184	206	212	197	164	140	104	88
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	102	89	112	124	140	168	181	180	147	112	97	107
ΑΡΤΑ	114	110	146	165	210	220	223	206	177	155	129	108
ΔΡΑΜΑ	105	106	138	155	196	214	221	202	167	143	114	101
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	99	102	132	157	192	211	216	198	164	134	107	93
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	108	104	132	146	174	202	207	190	156	135	107	97
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	97	98	121	146	180	199	210	189	154	126	100	91
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	88	97	127	159	198	214	220	203	170	139	108	90
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	121	117	149	163	201	216	224	205	173	157	130	113
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	98	108	134	168	211	218	223	206	175	135	131	100
ΚΑΒΑΛΑ	101	106	141	166	205	221	225	208	177	155	123	101
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	111	109	138	157	191	208	215	202	174	151	115	103
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	95	100	125	147	181	203	210	192	160	133	102	89
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	91	100	132	160	200	216	221	203	171	146	108	90
ΚΕΡΚΥΡΑ	121	116	142	154	191	211	218	200	169	153	123	113
ΚΟΖΑΝΗ	115	114	146	162	205	220	226	207	174	154	126	107
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	121	118	149	164	203	221	229	210	175	156	128	112
ΚΟΝΙΤΣΑ	106	103	133	156	189	211	214	197	163	136	113	101
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	103	104	130	157	194	216	222	205	171	141	109	96
ΚΥΘΗΡΑ_Α/Δ	122	119	150	165	201	221	229	209	174	158	130	116
ΛΑΜΙΑ	120	120	157	178	210	220	224	207	181	163	146	123
ΛΑΡΙΣΑ	108	107	124	146	179	203	207	190	157	130	107	101
ΛΗΜΝΟΣ	106	109	142	170	207	223	227	209	179	153	126	107
ΜΕΘΩΝΗ	112	111	135	164	210	237	250	231	197	144	124	112
ΜΗΛΟΣ	104	107	144	159	207	215	220	202	174	155	129	104
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	91	88	138	180	213	223	226	208	182	148	129	92
ΝΑΞΟΣ	112	106	131	154	190	213	218	199	165	134	109	101
ΠΑΡΟΣ	99	105	134	157	195	209	218	204	169	146	124	104
ΠΑΤΡΑ	105	110	150	171	208	222	229	211	180	152	123	106
ΠΥΡΓΟΣ	113	116	148	168	207	225	231	213	183	165	137	111
ΡΕΘΥΜΝΟ	112	108	126	164	191	200	219	207	171	139	109	98
ΡΟΔΟΣ	116	108	138	156	188	210	213	198	170	148	123	112
ΣΑΜΟΣ	94	100	139	167	211	220	225	207	179	160	123	101
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	100	105	143	167	209	224	229	211	178	144	125	106
ΣΕΡΡΕΣ	128	128	155	172	205	226	233	215	184	169	139	122
ΣΗΤΕΙΑ	101	107	143	173	208	220	225	209	178	152	126	112
ΣΚΥΡΟΣ	107	111	146	169	207	223	227	209	179	155	129	108
ΣΟΥΔΑ	94	100	145	151	200	215	218	200	171	145	112	100
ΣΥΡΟΣ	103	108	144	171	207	222	225	207	179	157	124	107
ΤΑΝΑΓΡΑ	115	118	144	163	202	219	223	205	172	152	123	104
ΤΡΙΚΑΛΑ	96	92	132	143	191	200	216	198	159	137	112	101
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	93	95	124	151	189	209	215	198	166	141	106	93
ΤΡΙΠΟΛΗ	107	103	135	151	181	196	201	187	161	128	111	102
ΤΥΜΠΑΚΙ	104	110	152	176	209	220	223	206	180	163	134	111
ΧΑΝΙΑ	93	95	124	145	181	198	212	190	162	130	106	93
ΧΙΟΣ	97	99	131	160	197	215	221	205	172	136	109	96

Η βέλτιστη σταθερή κλίση (β) μιας επιφάνειας ηλιακού συστήματος, η οποία προσλαμβάνει και αξιοποιεί τη μέγιστη δυνατή διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια σε ετήσια βάση, κυμαίνεται περίπου από 25° (νότιες περιοχές) έως και 31° (βόρειες περιοχές) στην Ελλάδα. Η βέλτιστη σταθερή κλίση μπορεί να υπολογιστεί από την εμπειρική εξίσωση (εξ. 2.2.2) (με συνολικό τυπικό σφάλμα < ±1°), σε συνάρτηση της ετήσιας ηλιακής ενέργειας σε οριζόντιο επίπεδο (H_o) κάθε περιοχής, του γεωγραφικού πλάτους (φ) και μήκους (L), καθώς και του υψομέτρου (A) [3]:

$$\beta = -43 + 0{,}014 \cdot H_o + 1{,}4 \cdot \varphi - 0{,}12 \cdot L + 0{,}0006 \cdot A \qquad \textit{(εξ. 2.2.2)}$$

Στην περίπτωση βέλτιστης ετήσιας κλίσης (β=optimum) και νότιου προσανατολισμού (γ=0), η μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια (kWh/m²/yr) που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο (H_β) μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση [3] (συνολικό τυπικό σφάλμα ± 32 kWh/m²/yr.):

$$H_\beta = 3191 + 35 \cdot \beta - 66 \cdot \varphi + 6 \cdot L - 0{,}08 \cdot A \qquad \textit{(εξ. 2.2.3)}$$

Στην περίπτωση βέλτιστης σταθερής κλίσης (β ≈ φ-10°) ηλιακού συστήματος σε ετήσια βάση, η παραγόμενη ενέργεια κατά τους χειμερινούς μήνες είναι πολύ μικρότερη αυτής των θερινών μηνών, συνεπώς, η λύση αυτή προτείνεται εφόσον μπορεί να αξιοποιηθεί το σύνολο της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας σε ετήσια βάση. Εάν όμως απαιτείται η σταθερή μηνιαία ενεργειακή απόδοση/παραγωγή ενός ηλιακού συστήματος, όπως στην περίπτωση ενός Φ/Β συστήματος αυτόνομης λειτουργίας, τότε επιλέγεται σταθερή γωνία κλίσης (β ≈ φ+15°) για μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και μέγιστη ενεργειακή παραγωγή κατά τη χειμερινή περίοδο και ειδικότερα κατά το μήνα με τη χαμηλότερη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (συνήθως στην Ελλάδα ο Δεκέμβριος).

Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 2.2.3) δίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες ελληνικών περιοχών και η μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια (kWh/m²/yr) σε επιφάνεια νότιου προσανατολισμού και με βέλτιστη σταθερή ετήσια κλίση (β ≈ φ -10°), με βέλτιστη σταθερή χειμερινή κλίση (β ≈ φ +15°) και με βέλτιστη σταθερή θερινή κλίση (β ≈ φ -30°).

Στους σχετικούς πίνακες δίνεται η μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια (kWh/m²/m) σε επιφάνεια προσανατολισμένη νότια και σταθερής βέλτιστης κλίσης ετήσιας (β ≈ φ -10°) (Πίνακας 2.2.4), χειμερινής (β ≈ φ+15°) (Πίνακας 2.2.5) και θερινής (β ≈ φ -30°) (Πίνακας 2.2.6).

Ο προσδιορισμός της προσπίπτουσας μηνιαίας (kWh/m²/m) και ετήσιας (kWh/m²/yr) ηλιακής ενέργειας (Πίνακας 2.2.3, Πίνακας 2.2.4, Πίνακας 2.2.5, Πίνακας 2.2.6) βασίστηκε στα δεδομένα της μέσης μηνιαίας ηλιακής ενέργειας στις διάφορες ελληνικές περιοχές, καθώς και στα εμπειρικά υπολογιστικά μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ενέργειας σε κεκλιμένες επιφάνειες, τα οποία περιγράφονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 [2]. Στην βιβλιογραφία υπάρχουν διαθέσιμες πολλές αναλυτικές εμπειρικές και θεωρητικές σχέσεις και υπολογιστικά μοντέλα [9-15], τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τον σχεδιασμό ηλιακών συστημάτων. Οι σχέσεις και τα μοντέλα αυτά έχουν αναπτυχθεί για περιοχές συγκεκριμένων κλιματικών συνθηκών, ηλιοφάνειας, μορφολογίας εδάφους, υψομέτρου, κ.λπ., και εφαρμόζονται κατά περίπτωση.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 2.2.3: Μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια (H_8, kWh/m²/yr) για βέλτιστη ετήσια, χειμερινή, θερινή κλίση

ΠΕΡΙΟΧΗ	Φ (°)	L (°)	A (m)	Βελτ. ετήσια κλίση	Βελτ. χειμερινή κλίση	Βελτ. θερινή κλίση
ΑΘΗΝΑ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	37,9	23,8	10	1788	1665	1678
ΑΘΗΝΑ (ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ)	38,1	23,7	136	1767	1650	1655
ΑΓΡΙΝΙΟ	38,6	21,4	24	1788	1675	1668
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39,2	22,8	15	1727	1616	1614
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40,9	25,9	2	1664	1567	1588
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	38,4	23,3	110	1737	1611	1639
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	37,9	21,3	15	1874	1754	1747
ΑΡΑΞΟΣ	38,2	21,4	12	1781	1662	1667
ΑΡΓΟΣ	37,6	22,8	11	1870	1745	1749
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	38,2	20,5	22	1841	1720	1721
ΑΡΤΑ	39,2	21,0	11	1796	1694	1663
ΔΡΑΜΑ	41,2	24,2	104	1630	1537	1552
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	38,1	23,6	30	1759	1639	1651
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	37,8	20,9	8	1741	1618	1639
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35,3	25,2	39	1848	1742	1760
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40,5	23,0	5	1613	1515	1543
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35,0	25,7	18	1928	1830	1822
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39,7	20,8	483	1610	1503	1513
ΚΑΒΑΛΑ	40,9	24,6	5	1694	1604	1607
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37,1	22,0	8	1828	1701	1716
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	36,9	27,0	15	1875	1786	1763
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	40,5	21,3	660	1656	1564	1574
ΚΕΡΚΥΡΑ	39,6	19,9	4	1754	1645	1676
ΚΟΖΑΝΗ	40,3	21,8	625	1467	1391	1394
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	41,1	25,4	30	1678	1580	1599
ΚΟΝΙΤΣΑ	40,0	20,8	542	1675	1573	1601
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	38,0	22,8	20	1828	1706	1711
ΚΥΘΗΡΑ_Α/Δ	36,3	23,0	166	1851	1757	1749
ΛΑΜΙΑ	38,9	22,4	17	1716	1603	1607
ΛΑΡΙΣΑ	39,7	22,5	73	1704	1593	1633
ΛΗΜΝΟΣ	39,9	25,2	5	1736	1623	1665
ΜΕΘΩΝΗ	36,8	21,7	52	1809	1721	1708
ΜΗΛΟΣ	36,7	24,5	183	1814	1712	1727
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39,1	26,6	4	1774	1652	1666
ΝΑΞΟΣ	37,1	25,4	9	1820	1729	1719
ΠΑΡΟΣ	37,0	25,1	34	1844	1753	1740
ΠΑΤΡΑ	38,3	21,7	1	1748	1625	1646
ΠΥΡΓΟΣ	37,7	21,3	13	1852	1731	1729
ΡΕΘΥΜΝΟ	35,4	24,5	5	1804	1696	1722
ΡΟΔΟΣ	36,4	28,1	11	1935	1847	1814
ΣΑΜΟΣ	37,7	26,9	7	1898	1770	1775
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	36,4	25,4	37	1911	1806	1815
ΣΕΡΡΕΣ	41,1	23,6	35	1639	1545	1562
ΣΗΤΕΙΑ	35,2	26,1	116	1861	1756	1771
ΣΚΥΡΟΣ	38,9	24,6	22	1713	1590	1616
ΣΟΥΔΑ	35,6	24,1	150	1857	1752	1767
ΣΥΡΟΣ	37,4	25,0	72	1843	1710	1735
ΤΑΝΑΓΡΑ	38,3	23,6	140	1744	1620	1643
ΤΡΙΚΑΛΑ	39,6	21,8	114	1662	1565	1585
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	40,6	22,6	1	1654	1564	1573
ΤΡΙΠΟΛΗ	37,5	22,4	651	1770	1653	1658
ΤΥΜΠΑΚΙ	35,0	24,8	7	1955	1855	1846
ΧΑΝΙΑ	35,5	24,1	150	1832	1724	1747
ΧΙΟΣ	38,5	26,1	5	1817	1692	1706

ΤΕΕ ΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

*Πίνακας 2.2.4: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{B,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη **ετήσια** κλίση*

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΑΘΗΝΑ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	93,8	102,2	134,7	158,7	187,7	198,9	209,7	203,4	169,8	137,5	103,7	87,5
ΑΘΗΝΑ (ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ)	94,7	100,5	136,4	157,1	183,1	193,1	202,5	199,4	174,1	140,9	99,5	85,4
ΑΓΡΙΝΙΟ	97,3	102,9	138,0	152,7	182,3	198,6	211,1	201,2	169,3	140,8	104,8	89,1
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	94,0	97,3	129,7	154,4	183,5	199,0	206,4	197,1	164,6	125,3	93,5	82,9
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	79,0	92,2	125,1	147,5	177,4	193,1	201,6	195,6	163,8	130,0	88,6	72,4
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	82,5	90,9	128,9	160,1	190,3	201,5	209,8	203,3	171,5	126,8	93,7	79,4
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	104,4	109,4	148,7	164,1	191,5	203,8	214,2	205,7	174,1	147,7	112,5	96,9
ΑΡΑΞΟΣ	93,6	102,0	137,6	160,4	188,7	196,4	205,7	198,5	169,9	139,8	102,0	86,0
ΑΡΓΟΣ	103,2	108,6	147,1	164,1	194,3	204,6	215,5	206,9	174,9	146,3	110,1	93,3
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	98,0	104,2	144,3	162,3	196,6	204,1	213,5	204,2	173,8	143,3	107,7	89,0
ΑΡΤΑ	103,4	106,6	140,3	153,7	182,3	195,4	204,9	197,3	169,3	142,9	106,5	93,9
ΔΡΑΜΑ	79,1	87,1	122,7	144,4	174,2	185,2	201,2	187,7	161,6	121,5	90,5	76,7
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	85,2	96,4	132,7	156,4	187,5	194,5	205,7	201,8	169,3	136,3	106,3	86,5
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	94,8	99,4	124,7	163,8	184,0	187,2	207,0	205,0	171,3	130,0	93,5	80,9
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	90,5	100,7	140,2	170,5	199,2	207,4	214,5	206,6	178,6	144,1	108,6	88,9
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	81,8	89,5	119,4	146,0	173,5	186,2	199,3	187,2	154,0	117,3	85,6	75,2
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	102,7	111,1	154,9	177,8	200,6	203,8	210,3	203,6	180,6	155,0	125,6	102,6
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	77,7	86,1	120,8	139,2	172,8	189,7	201,8	192,6	152,6	122,2	84,8	71,6
ΚΑΒΑΛΑ	93,9	108,0	130,9	142,4	182,8	189,4	197,0	189,6	161,0	128,7	98,4	73,2
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	100,1	105,2	144,1	160,4	191,0	201,1	209,5	201,2	171,4	143,2	108,6	91,2
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	89,1	101,7	150,1	176,2	200,7	204,5	210,3	203,2	179,7	152,1	114,8	92,2
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	91,9	95,8	130,0	146,1	167,4	188,1	195,2	187,4	156,2	126,1	92,4	80,3
ΚΕΡΚΥΡΑ	89,1	97,3	135,8	155,3	188,6	199,1	209,2	199,9	166,9	133,0	97,6	83,2
ΚΟΖΑΝΗ	86,7	82,7	111,2	123,2	134,2	157,2	170,8	177,2	146,5	105,4	84,1	88,3
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	78,3	86,6	122,5	151,3	182,7	196,3	205,0	196,6	165,2	130,0	89,7	75,8
ΚΟΝΙΤΣΑ	81,4	84,9	130,2	142,6	183,7	187,0	204,9	196,4	158,6	127,7	96,1	83,0
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	98,2	108,1	142,1	162,7	193,9	202,9	210,5	202,7	171,8	141,9	106,1	86,7
ΚΥΘΗΡΑ_Α/Δ	97,1	101,6	144,0	165,1	201,9	205,0	210,7	204,1	176,3	146,0	110,5	89,7
ΛΑΜΙΑ	89,6	94,9	131,0	155,5	182,3	196,5	202,9	194,9	162,5	126,8	96,5	83,1
ΛΑΡΙΣΑ	83,7	93,6	129,7	156,9	185,0	197,6	205,3	196,8	164,0	124,6	91,2	76,8
ΛΗΜΝΟΣ	76,9	91,3	130,3	160,7	193,6	202,0	210,4	201,5	170,5	135,2	91,9	73,9
ΜΕΘΩΝΗ	88,9	98,6	142,4	158,9	198,7	199,9	207,4	199,0	173,6	144,8	111,1	86,4
ΜΗΛΟΣ	77,4	82,0	135,6	180,9	206,0	209,2	214,9	206,1	181,5	137,8	109,0	75,8
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	76,8	90,6	130,1	161,7	202,0	204,6	211,5	203,1	175,6	139,9	100,1	79,6
ΝΑΞΟΣ	85,8	97,0	139,5	166,1	197,6	206,2	212,9	205,8	176,3	144,5	105,2	83,7
ΠΑΡΟΣ	88,6	99,9	142,1	171,2	198,7	205,9	211,8	204,6	178,5	146,8	107,0	89,1
ΠΑΤΡΑ	79,8	91,9	143,0	151,4	193,3	201,2	206,9	198,5	170,7	134,8	95,6	82,5
ΠΥΡΓΟΣ	102,8	108,0	146,9	162,4	192,4	200,2	210,8	202,6	172,4	147,0	111,5	93,7
ΡΕΘΥΜΝΟ	84,0	99,3	132,7	168,1	203,6	204,5	211,8	204,2	175,0	127,9	111,5	82,6
ΡΟΔΟΣ	104,1	113,7	156,1	172,9	199,0	205,6	212,6	205,1	183,6	161,0	122,5	98,9
ΣΑΜΟΣ	96,7	106,5	145,9	167,4	198,5	208,6	217,1	210,3	182,9	153,7	117,1	92,3
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	94,4	101,9	133,0	164,2	202,2	221,5	237,2	229,2	196,3	135,0	105,6	91,7
ΣΕΡΡΕΣ	80,5	91,7	123,5	146,6	174,6	189,5	199,0	190,4	159,9	124,0	87,5	73,8
ΣΗΤΕΙΑ	91,7	102,4	144,3	169,0	199,2	208,0	214,4	207,0	179,2	146,7	111,1	89,8
ΣΚΥΡΟΣ	74,4	88,5	125,7	158,9	191,2	201,1	209,2	201,1	170,0	129,5	91,7	74,0
ΣΟΥΔΑ	89,9	101,1	147,5	170,7	200,6	207,2	216,1	209,2	179,5	143,1	106,1	87,8
ΣΥΡΟΣ	86,7	98,2	141,4	173,4	199,6	205,3	212,6	206,3	177,9	141,8	107,9	92,3
ΤΑΝΑΓΡΑ	87,0	95,2	128,6	156,8	187,6	201,7	210,8	203,1	170,9	131,3	93,5	79,2
ΤΡΙΚΑΛΑ	91,0	95,0	133,7	150,6	173,7	183,1	189,8	184,6	161,4	119,6	95,6	84,6
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	91,8	97,5	122,8	145,2	171,8	189,2	195,4	187,9	156,5	121,9	92,3	83,7
ΤΡΙΠΟΛΗ	98,9	99,7	136,6	155,9	179,6	194,9	200,0	195,3	170,2	139,2	106,2	92,9
ΤΥΜΠΑΚΙ	103,4	113,3	155,5	172,5	198,5	206,4	214,6	208,5	182,1	158,0	120,6	100,3
ΧΑΝΙΑ	84,9	96,6	140,8	166,9	201,6	210,1	217,2	209,0	178,0	135,3	106,5	86,8
ΧΙΟΣ	80,8	92,6	137,1	166,6	202,4	205,0	212,7	204,4	178,4	148,9	105,7	83,8

*Πίνακας 2.2.5: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{β,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη **χειμερινή** κλίση*

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΑΘΗΝΑ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	109,3	110,8	131,1	138,6	152,4	155,7	166,3	171,7	159,1	146,2	119,9	104,1
ΑΘΗΝΑ (ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ)	110,5	109,0	132,9	137,3	148,9	151,6	161,0	168,5	163,4	150,1	115,0	101,6
ΑΓΡΙΝΙΟ	113,3	111,6	134,8	134,0	149,3	157,0	168,8	171,0	159,2	149,9	120,9	105,7
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	110,8	106,3	126,9	135,7	150,0	157,0	165,0	167,6	155,2	133,7	108,7	99,4
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	92,7	101,2	123,3	130,8	146,9	154,7	163,4	168,1	155,7	140,1	103,2	86,5
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	96,8	98,7	125,8	139,8	154,1	157,2	166,0	171,5	161,3	135,2	109,1	95,3
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	121,3	118,5	145,1	143,6	156,0	160,1	170,5	174,1	163,2	156,9	129,7	114,7
ΑΡΑΞΟΣ	109,4	110,8	134,2	140,2	153,3	154,1	163,5	167,8	159,5	148,9	118,2	102,5
ΑΡΓΟΣ	120,6	117,9	143,4	143,1	157,2	159,6	170,3	174,3	163,8	155,7	127,5	111,1
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	114,8	113,4	141,1	141,9	159,5	159,8	169,4	172,6	163,3	153,0	125,2	106,2
ΑΡΤΑ	120,2	115,8	137,3	135,5	150,3	155,9	165,4	168,6	159,6	152,2	122,6	110,8
ΔΡΑΜΑ	92,2	94,9	120,8	128,4	145,1	149,6	164,2	162,1	153,7	130,1	104,9	91,0
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	99,0	104,4	129,2	136,7	152,4	152,7	163,5	170,6	158,8	145,1	123,4	103,0
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	111,4	108,1	121,0	142,7	148,8	146,4	163,3	172,4	160,5	138,2	108,3	96,8
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	104,7	108,9	138,0	152,0	165,7	166,8	174,8	178,5	169,9	152,3	125,4	105,3
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	95,9	97,7	117,1	129,2	143,6	149,2	161,4	160,7	145,9	125,4	99,3	89,8
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	118,4	120,1	152,5	158,7	167,2	164,6	172,0	176,1	171,5	163,1	144,8	121,0
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	91,1	93,7	118,2	122,5	141,9	150,5	161,9	164,2	144,0	130,8	98,5	85,7
ΚΑΒΑΛΑ	109,1	118,3	128,9	126,7	152,6	153,4	161,4	163,9	152,9	137,4	113,3	85,8
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	117,3	114,2	140,2	139,2	153,6	155,7	164,5	168,6	160,0	152,2	126,1	109,1
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	102,6	110,2	148,9	158,8	169,5	167,7	174,5	177,8	172,2	163,0	132,4	108,7
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	107,3	104,4	127,7	129,5	139,2	151,3	158,9	161,3	147,9	134,7	106,6	95,0
ΚΕΡΚΥΡΑ	104,1	106,0	133,4	137,0	155,0	158,2	168,2	170,7	157,8	142,2	113,2	99,1
ΚΟΖΑΝΗ	100,8	89,3	108,5	109,0	112,4	127,8	139,9	152,5	138,4	111,3	96,5	104,8
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	92,1	94,8	120,7	134,4	151,4	157,2	166,3	169,2	157,4	140,4	104,8	91,0
ΚΟΝΙΤΣΑ	95,0	92,1	127,9	125,9	151,4	149,5	165,3	168,1	150,0	136,7	111,8	99,1
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	114,8	117,6	138,6	142,1	157,2	158,7	167,0	171,1	161,2	151,1	123,0	103,2
ΚΥΘΗΡΑ_Α/Δ	112,8	110,2	142,4	148,1	169,3	166,7	173,5	177,6	168,4	154,6	127,7	106,1
ΛΑΜΙΑ	105,0	103,2	128,0	136,4	148,8	154,8	162,0	165,4	152,9	135,0	112,1	99,3
ΛΑΡΙΣΑ	98,3	102,3	127,3	138,2	151,6	156,3	164,6	167,7	155,1	133,4	106,2	92,1
ΛΗΜΝΟΣ	90,3	99,9	128,1	141,7	158,6	159,8	168,7	171,9	161,6	145,8	107,5	88,7
ΜΕΘΩΝΗ	102,3	106,6	140,9	143,1	167,8	164,0	172,2	174,1	166,1	154,7	127,8	101,5
ΜΗΛΟΣ	89,8	88,4	134,2	162,4	172,3	169,5	176,4	179,2	174,0	148,0	127,4	90,1
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	89,4	98,4	127,3	142,0	164,5	161,0	168,7	172,5	165,8	150,2	116,7	95,1
ΝΑΞΟΣ	99,6	105,6	138,3	149,5	166,4	168,2	175,9	179,8	169,1	155,4	122,0	99,3
ΠΑΡΟΣ	102,1	108,3	140,7	154,3	167,9	168,8	175,8	179,1	171,1	157,1	123,0	105,0
ΠΑΤΡΑ	93,2	99,8	140,0	132,1	156,3	156,9	163,8	167,4	160,4	144,1	111,3	99,1
ΠΥΡΓΟΣ	120,2	117,3	143,3	141,7	155,8	156,4	166,8	170,7	161,4	156,5	129,3	111,7
ΡΕΘΥΜΝΟ	97,7	108,0	130,5	149,7	168,6	163,8	171,9	175,9	166,5	135,1	130,2	98,5
ΡΟΔΟΣ	119,3	123,0	154,4	155,8	168,5	169,0	176,8	179,6	175,5	169,7	140,1	115,3
ΣΑΜΟΣ	112,6	115,6	142,3	146,1	160,6	162,6	171,6	177,2	171,6	164,1	136,1	109,9
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	110,7	111,4	131,4	147,2	169,1	178,6	193,7	198,9	188,5	143,4	123,1	110,1
ΣΕΡΡΕΣ	93,9	100,2	121,6	130,3	145,4	152,9	162,4	164,4	152,1	132,9	101,2	87,5
ΣΗΤΕΙΑ	106,1	110,9	142,0	150,6	165,6	167,1	174,6	178,6	170,4	155,0	128,5	106,3
ΣΚΥΡΟΣ	87,2	96,4	122,9	139,2	155,3	157,5	166,1	170,2	160,3	138,8	107,1	89,0
ΣΟΥΔΑ	104,2	109,6	145,7	152,4	167,0	166,8	176,2	180,9	171,0	151,4	122,6	104,1
ΣΥΡΟΣ	101,0	106,3	137,7	150,9	160,5	159,1	167,2	173,1	166,6	151,1	125,7	110,8
ΤΑΝΑΓΡΑ	102,3	103,7	125,4	136,9	152,0	157,3	166,7	171,3	160,7	140,2	108,8	95,1
ΤΡΙΚΑΛΑ	106,4	103,3	131,1	132,8	143,1	146,1	153,4	157,8	152,4	127,0	110,7	100,8
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	107,3	106,5	120,5	128,8	142,8	152,3	159,2	161,8	148,4	130,1	106,6	99,3
ΤΡΙΠΟΛΗ	115,3	107,6	132,7	135,9	145,8	152,5	158,7	164,6	159,2	147,6	122,6	110,4
ΤΥΜΠΑΚΙ	126,3	128,4	151,2	153,0	163,9	168,6	178,8	183,6	174,5	168,3	138,5	119,9
ΧΑΝΙΑ	98,9	105,0	139,0	148,7	167,1	168,1	176,2	180,1	169,6	143,4	124,1	103,9
ΧΙΟΣ	93,9	100,3	133,9	145,9	164,2	160,7	169,1	173,1	167,9	159,6	122,9	100,0

*Πίνακας 2.2.6: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{β,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη **θερινή** κλίση*

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΑΘΗΝΑ (ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	69,5	84,0	121,7	155,6	195,7	213,2	222,1	204,2	156,9	114,9	77,7	62,1
ΑΘΗΝΑ (ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ)	69,9	82,6	123,0	154,0	190,7	206,6	214,3	200,1	160,5	117,2	74,8	60,7
ΑΓΡΙΝΙΟ	70,4	83,5	123,7	149,7	190,3	213,4	224,1	202,0	155,8	116,1	77,0	61,7
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	68,1	79,3	116,5	150,7	190,2	212,1	217,4	196,9	151,2	104,3	69,5	57,7
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	62,0	78,9	115,5	145,5	183,5	204,0	211,0	196,3	153,6	112,4	70,2	54,7
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	62,1	75,6	116,7	156,3	197,1	214,3	220,7	203,1	158,0	106,6	71,1	57,0
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	75,8	88,9	133,1	160,9	200,5	219,7	228,1	207,1	160,6	122,1	82,9	67,3
ΑΡΑΞΟΣ	69,1	83,7	123,9	157,0	196,5	210,1	217,6	199,1	156,8	116,3	76,4	60,9
ΑΡΓΟΣ	76,0	89,0	132,2	160,9	202,8	219,7	228,7	207,9	161,7	121,8	82,3	66,1
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	71,9	85,2	129,4	158,7	204,7	218,6	225,9	204,7	160,2	118,9	80,1	62,7
ΑΡΤΑ	73,0	85,3	124,9	150,6	190,7	210,6	218,1	198,2	155,2	116,5	76,9	63,3
ΔΡΑΜΑ	61,3	74,3	113,0	142,6	180,8	196,4	211,5	188,8	151,3	104,9	70,8	56,7
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	63,8	79,6	119,9	153,3	195,4	208,2	217,8	202,6	156,3	113,9	79,3	61,4
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	70,8	82,4	113,6	160,2	191,1	199,3	218,2	205,3	158,4	109,7	71,6	58,7
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	71,4	86,0	128,8	167,7	207,1	221,0	226,3	207,9	167,2	123,0	85,6	67,5
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	64,2	76,9	110,7	144,2	179,7	196,8	208,8	188,2	145,1	102,5	68,4	56,9
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	79,8	94,0	141,4	175,3	209,7	218,6	223,1	205,7	169,2	131,2	97,3	76,4
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	57,2	70,7	108,8	136,1	178,9	201,6	212,1	192,1	140,5	101,5	63,4	50,3
ΚΑΒΑΛΑ	71,2	90,2	120,1	141,1	190,7	202,2	208,2	191,4	150,9	110,4	76,1	54,2
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	75,1	87,4	130,4	157,5	198,9	215,0	221,6	202,2	159,1	120,5	82,5	66,0
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	68,0	84,8	135,6	172,5	209,1	218,9	222,5	204,2	166,5	127,5	86,9	66,8
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	70,9	81,6	119,7	144,6	174,1	200,0	205,6	189,0	147,1	109,2	72,8	59,8
ΚΕΡΚΥΡΑ	70,3	83,7	125,6	153,6	195,9	211,4	220,0	201,4	157,4	115,9	77,9	63,3
ΚΟΖΑΝΗ	67,4	71,4	103,7	122,7	139,7	166,7	179,8	179,1	138,6	92,6	67,0	65,4
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	61,3	74,3	113,0	149,0	188,8	207,2	214,5	197,1	154,6	112,2	70,8	56,7
ΚΟΝΙΤΣΑ	64,4	73,6	120,4	141,2	190,5	198,0	215,1	197,6	149,6	111,3	76,5	62,7
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	72,3	88,2	127,8	159,3	202,1	217,4	222,9	203,5	158,6	118,1	79,3	61,6
ΚΥΘΗΡΑ_Α/Δ	74,6	85,7	131,2	162,3	210,0	218,8	222,4	205,1	164,3	122,9	85,4	66,5
ΛΑΜΙΑ	65,7	77,8	117,9	151,9	189,3	209,6	214,0	195,1	149,7	105,8	71,9	58,3
ΛΑΡΙΣΑ	66,9	81,2	120,4	154,8	191,3	208,6	214,9	197,8	154,9	109,5	73,7	59,3
ΛΗΜΝΟΣ	61,8	79,1	120,7	158,3	200,1	213,2	220,0	202,3	160,4	117,9	74,1	57,1
ΜΕΘΩΝΗ	67,9	82,5	129,2	156,2	207,1	214,0	219,5	200,2	161,3	122,0	84,5	63,2
ΜΗΛΟΣ	61,0	70,5	123,9	176,6	213,1	221,9	225,5	206,2	168,6	117,7	84,4	57,4
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	57,2	74,5	117,0	157,6	209,6	218,3	223,0	202,8	160,8	115,4	74,0	55,9
ΝΑΞΟΣ	66,1	81,5	126,7	162,6	204,9	219,4	224,1	206,1	163,5	122,1	80,8	61,7
ΠΑΡΟΣ	67,6	83,4	128,8	167,8	207,0	220,4	224,1	205,6	165,5	123,4	81,5	64,8
ΠΑΤΡΑ	60,4	76,4	128,5	148,2	200,4	214,2	217,8	198,5	157,4	112,9	72,5	59,1
ΠΥΡΓΟΣ	75,6	88,5	132,0	159,3	200,7	214,7	223,5	203,6	159,4	122,3	83,2	66,3
ΡΕΘΥΜΝΟ	67,4	85,4	122,5	165,2	210,8	216,7	222,2	204,8	164,1	110,8	88,4	63,8
ΡΟΔΟΣ	78,0	93,9	140,8	170,1	208,8	221,9	226,7	207,3	170,5	133,1	92,1	71,1
ΣΑΜΟΣ	71,6	87,4	131,2	164,0	207,1	224,0	230,3	211,2	168,5	127,3	86,8	65,3
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	73,3	86,3	122,0	161,1	209,5	235,6	249,6	229,4	182,1	115,0	82,6	68,5
ΣΕΡΡΕΣ	62,3	77,9	113,8	144,7	181,2	201,1	209,2	191,6	149,9	106,9	68,7	54,9
ΣΗΤΕΙΑ	72,4	87,5	132,4	166,4	207,2	221,8	226,2	208,3	167,9	125,1	87,6	68,3
ΣΚΥΡΟΣ	56,2	73,4	113,6	154,8	197,7	213,5	219,6	200,6	156,2	108,2	69,2	53,1
ΣΟΥΔΑ	70,8	86,2	134,9	167,8	208,3	220,6	227,7	210,2	167,9	122,0	83,7	66,6
ΣΥΡΟΣ	65,8	81,8	127,9	169,5	207,6	219,3	224,5	206,9	164,5	119,1	81,7	66,3
ΤΑΝΑΓΡΑ	65,1	78,9	116,5	153,2	194,4	214,6	221,8	202,9	157,6	110,1	71,0	57,0
ΤΡΙΚΑΛΑ	71,8	82,0	123,7	149,1	180,4	194,1	199,5	186,4	152,5	105,1	76,6	64,3
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	70,7	82,8	113,5	143,7	178,6	201,0	205,7	189,4	147,3	105,7	72,6	61,9
ΤΡΙΠΟΛΗ	73,3	82,5	123,6	153,2	187,5	209,0	212,1	196,5	157,6	116,6	79,8	65,9
ΤΥΜΠΑΚΙ	84,1	99,4	140,4	169,3	205,3	224,3	232,5	214,5	172,0	134,9	93,7	75,8
ΧΑΝΙΑ	67,9	83,1	129,4	163,9	208,6	222,6	227,8	209,5	166,7	116,5	84,6	66,6
ΧΙΟΣ	60,5	76,5	123,2	162,6	210,5	219,2	224,8	204,7	163,8	122,8	78,3	59,2

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 2.2.7) δίνονται προσεγγιστικοί συντελεστές μετατροπής (προσδιορισμού) της προσπίπτουσας μηνιαίας ηλιακής ενέργειας ($H_{\beta,m}$) σε μια κεκλιμένη επιφάνεια Φ/Β (β≠0) με νότιο (γ=0) ή τυχαίο (γ≠0) προσανατολισμό, σε σχέση με την προσπίπτουσα μηνιαία ηλιακή ενέργεια στο οριζόντιο επίπεδο (H_o) μιας περιοχής [16]. Οι συντελεστές αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αρχική εκτίμηση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε κεκλιμένη επιφάνεια τυχαίου προσανατολισμού. Σε κάθε περίπτωση για τον ακριβή υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε τυχαία προσανατολισμένες επιφάνειες απαιτούνται αναλυτικοί υπολογισμοί, λαμβανομένων υπόψη και άλλων παραμέτρων κατά περίπτωση, όπως είναι τα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια στο περιβάλλοντα χώρο της εγκατάστασης του ηλιακού συστήματος.

Πίνακας 2.2.7: Συντελεστές μετατροπής της προσπίπτουσας μηνιαίας ηλιακής ενέργειας σε κεκλιμένη επιφάνεια ηλιακού συστήματος με συγκεκριμένο προσανατολισμό σε σχέση με τη μηνιαία ηλιακή ενέργεια στο οριζόντιο επίπεδο μιας περιοχής [16]

Γωνία κλίσης Η.Σ. (β)	**Συντελεστής μετατροπής για προσανατολισμό (γ) Η.Σ.**				
	Δυτικά (γ=-90)	**ΝΔ (γ=-45)**	**Νότια (γ=0)**	**ΝΑ (γ=45)**	**Ανατολικά (γ=90)**
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
45°	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
60°	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
90°	0,59	0,74	0,77	0,74	0,59

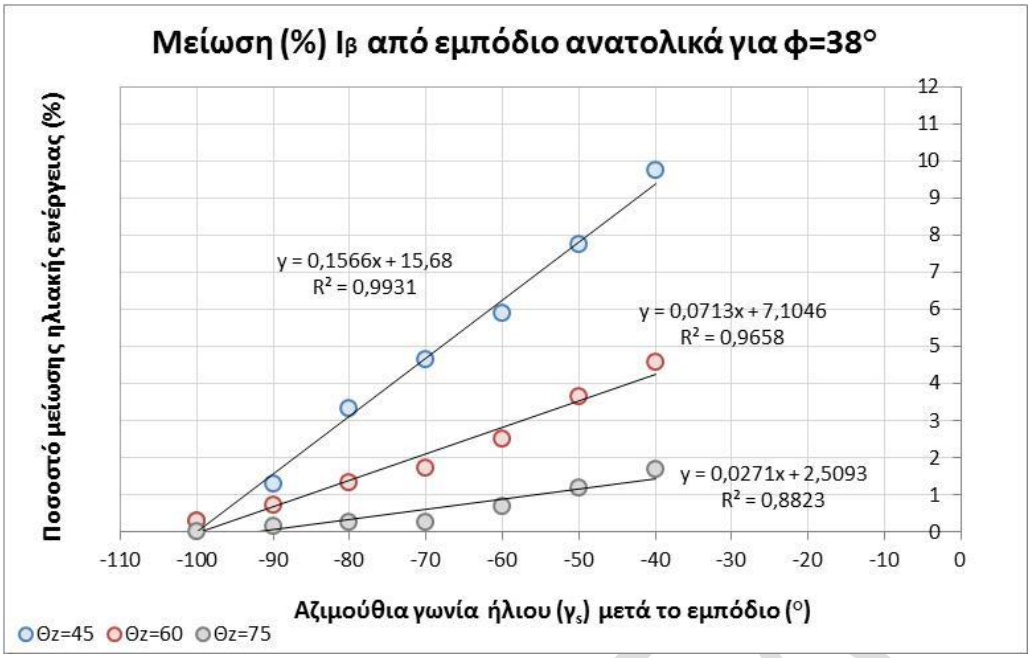
2.2.2. Περιορισμός ηλιασμού λόγω εμποδίων ή αλληλοσκίασης

Η διαθέσιμη προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε μια περιοχή/θέση (ηλιακής εγκατάστασης) εξαρτάται και από τα φυσικά ή τα τεχνητά εμπόδια στο περιβάλλοντα χώρο, τα οποία μπορεί να περιορίζουν ή να ανακόπτουν την άμεση καθώς και τμήμα της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω μείωσης της στερεάς γωνίας μεταξύ της επιφάνειας συλλογής και του ουράνιου θόλου. Ως φυσικά εμπόδια θεωρούνται οι ορεινοί όγκοι, λόφοι ή και η φύτευση (δένδρα) στην περιοχή εγκατάστασης του ηλιακού συστήματος. Αντίστοιχα, ως τεχνητά εμπόδια θεωρούνται οι κατασκευές, κτιριακές και άλλες υποδομές, που μπορεί να σκιάζουν την επιφάνεια της ηλιακής εγκατάστασης κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και οι επιμέρους διατάξεις των επιφανειών των ηλιακών εγκαταστάσεων, που θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση ώστε να μην αλληλοσκιάζονται στη διάρκεια της ημέρας και σε όλες τις εποχές [3].

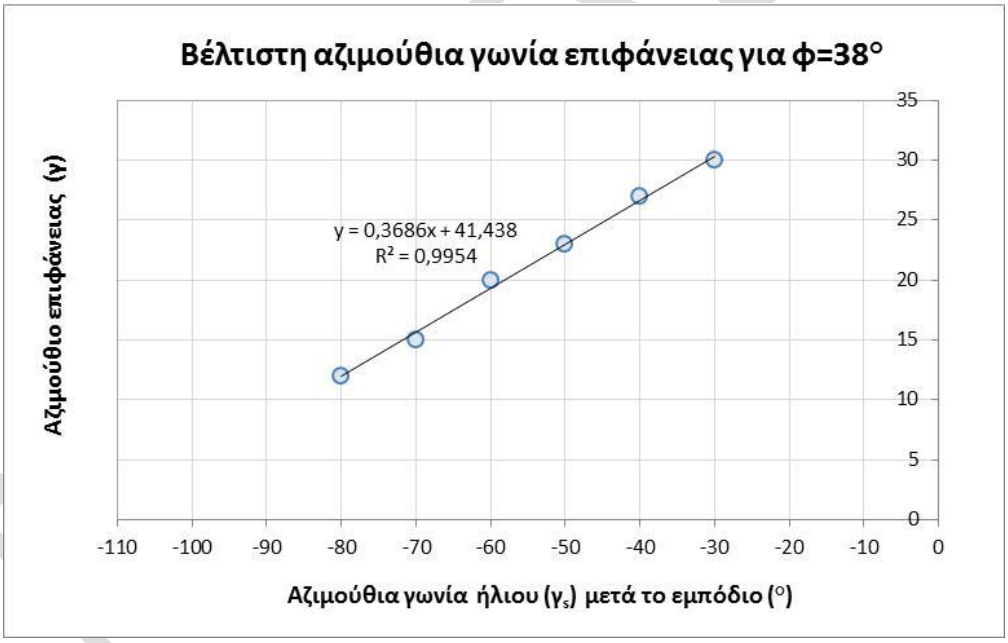
Κατά τον σχεδιασμό μιας ηλιακής εγκατάστασης, θα πρέπει να συνεκτιμάται και η ενδεχόμενη μείωση της διαθέσιμης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του ηλιακού συστήματος, στην περίπτωση που στον περιβάλλοντα χώρο υπάρχουν φυσικά ή/και τεχνητά εμπόδια. Ο υπολογισμός της μείωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί τον προσδιορισμό της θέσης του εμποδίου, σε σχέση με τη θέση του ηλιακού συστήματος. Θεωρώντας ως θέση αναφοράς την ηλιακή εγκατάσταση, προσδιορίζεται η αζιμούθια ηλιακή γωνία (γ_s) και η ζενιθιακή γωνία (θ_z) που ξεκινάει ή διακόπτεται ο άμεσος ηλιασμός της επιφάνειας συλλογής, δηλαδή ο ήλιος γίνεται ορατός ή κρύβεται αντίστοιχα πίσω από το εμπόδιο. Για κάθε μήνα και χρονική στιγμή, οι τιμές αυτές, της ζενιθιακής γωνίας (θ_z), καθώς και της ελάχιστη ανατολικά (-) ή μέγιστης δυτικά (+) αζιμούθιας ηλιακής γωνίας (γ_s) διαφοροποιούνται, καθώς μεταβάλλεται η ηλιακή τροχιά σε κάθε εποχή.

Στο Σχήμα 2.2.2 δίνεται παράδειγμα όπου απεικονίζεται το ποσοστό μείωσης της <u>ετήσιας</u> προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (I_β), που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια (υπό βέλτιστη ετήσια κλίση β), η οποία προκαλείται από φυσικό εμπόδιο (ορεινός όγκος) που βρίσκεται <u>ανατολικά</u> της περιοχής εγκατάστασης του ηλιακού συστήματος, για μια τοποθεσία στην Ελλάδα γεωγραφικού πλάτους 38°. Το ποσοστό μείωσης μεταβάλλεται ανάλογα με την αζιμούθια ηλιακή (γ_s) και τη μέγιστη ζενιθιακή (θ_z) γωνία (η οποία εξαρτάται από το ύψος του εμποδίου), πέρα της οποίας η επιφάνεια συλλογής ξεκινάει να δέχεται άμεσο ηλιασμό. Τις ώρες που δεν υπάρχει άμεσος ηλιασμός της επιφάνειας συλλογής, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται μόνο από διάχυτη και ανακλώμενη συνιστώσα.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ



Σχήμα 2.2.2: Ποσοστό μείωσης της ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (I_β) λόγω φυσικού εμποδίου ανατολικά του Η.Σ. (για βέλτιστη ετήσια κλίση β, γ=0° και φ=38°) [3]



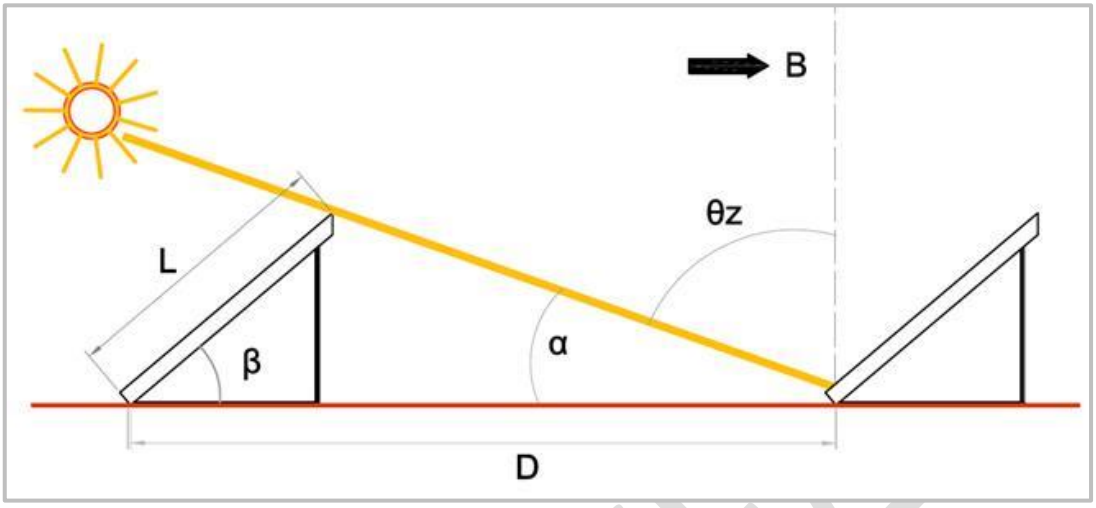
Σχήμα 2.2.3: Βέλτιστη αζιμούθια γωνία (γ) Η.Σ. (για βέλτιστη κλίση β και φ=38°), σε συνάρτηση με την αζιμούθια γωνία του ήλιου (γ_s) όταν γίνεται ορατός μετά από εμπόδιο που βρίσκεται ανατολικά [3]

Στην περίπτωση φυσικών ή τεχνητών εμποδίων ανατολικά της περιοχής ηλιακής εγκατάστασης, τα οποία ανακόπτουν τον ηλιασμό και μειώνουν τη συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία, η επιφάνεια συλλογής μπορεί να τοποθετηθεί με δυτικό προσανατολισμό (γ+). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της μείωσης της ηλιακής ενέργειας. Ένα παράδειγμα για μια περιοχή γεωγραφικού πλάτους φ=38° δίνεται στο Σχήμα 2.2.3, όπου απεικονίζεται ο βέλτιστος προσανατολισμός (γ) της επιφάνειας συλλογής σε συνάρτηση με το αζιμούθιο του ήλιου (γ_s) τη στιγμή που ξεκινά ο άμεσος ηλιασμός και για σταθερή ζενιθιακή γωνία θ_z=50° (εξαρτάται από το ύψος του εμποδίου).

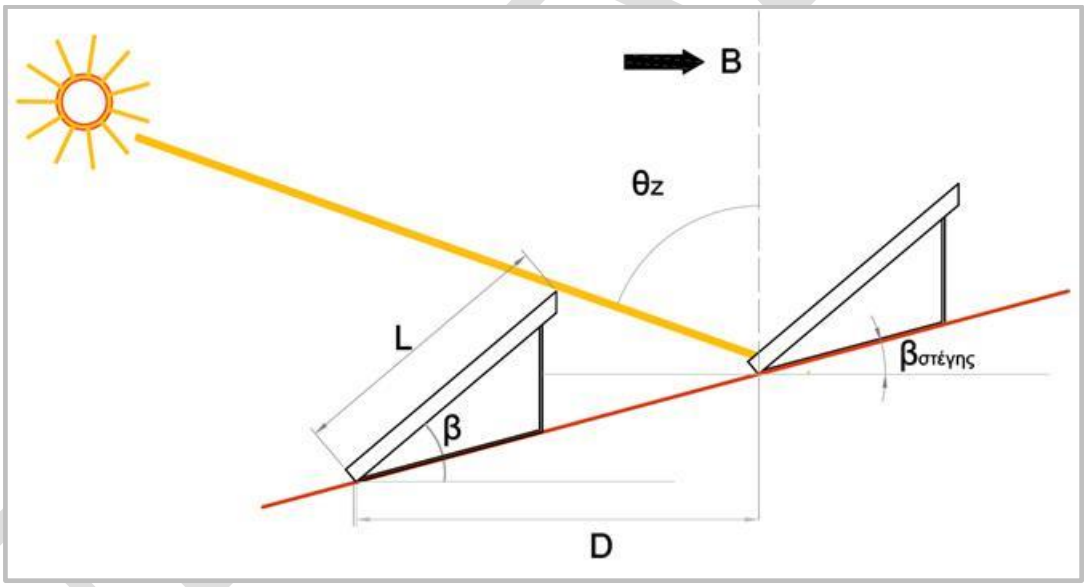
Οι επιφάνειες συλλογής σταθερής κλίσης πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση για την αποφυγή αλληλοσκίασης μεταξύ τους. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών (Σχήμα 2.2.4), οι οποίες

τοποθετούνται σε οριζόντια επιφάνεια εδάφους ή δώμα, υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση, σε συνάρτηση με το πλάτος (L) της επιφάνειας συλλογής, τη γωνία κλίσης (β) και τη μέγιστη ζενιθιακή γωνία (θ_z) ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία καταγράφεται για τις περιοχές της Ελλάδας τον μήνα Δεκέμβριο.

$$D = L \cdot cos(\beta) + L \cdot sin(\beta) \cdot tan(\alpha) \qquad (εξ.\ 2.2.4)$$



Σχήμα 2.2.4: Τοποθέτηση Φ/Β σε απόσταση πάνω σε οριζόντια βάση.



Σχήμα 2.2.5: Τοποθέτηση Φ/Β σε απόσταση πάνω σε κεκλιμένο έδαφος ή στέγη

Αντίστοιχα για επιφάνειες συλλογής τοποθετημένες σε κεκλιμένο έδαφος ή σε στέγη με σταθερή κλίση (β_{base}), η ελαχίστη απόσταση μεταξύ δύο επιφανειών (Σχήμα 2.2.5) για την αποφυγή αλληλοσκίασης υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση, σε συνάρτηση του πλάτους (L) της επιφάνειας, της γωνίας κλίσης (β) ως προς το οριζόντιο επίπεδο, της μέγιστης ζενιθιακής γωνίας ηλιακής ακτινοβολίας (θ_z) και της γωνίας κλίσης της επιφάνειας (έδαφος ή στέγη) τοποθέτησης (β_{base}).

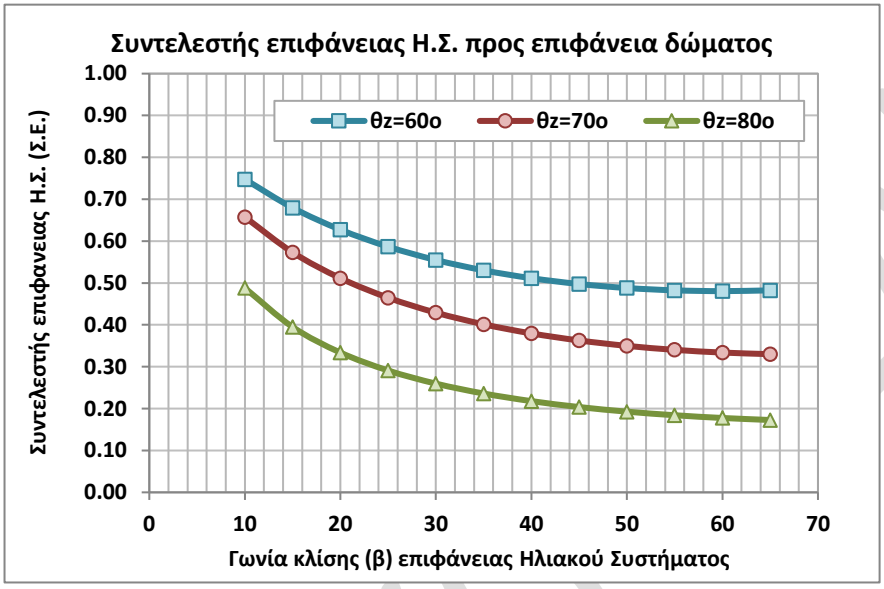
$$D = \frac{L \cdot cos(\beta) + L \cdot sin(\beta) \cdot tan(\theta_z)}{1 + tan(\beta_{base}) \cdot tan(\theta_z)} \qquad (εξ.\ 2.2.5)$$

Σε περιπτώσεις συγκεκριμένου χώρου (έδαφος, δώμα, στέγη κ.λπ.), η μέγιστη επιφάνεια (m^2) συλλογής (του ηλιακού συστήματος) που μπορεί να τοποθετηθεί, εξαρτάται από την ποσότητα ηλιακής

ακτινοβολίας που πρέπει ή μπορεί να αξιοποιηθεί. Η επιφάνεια συλλογής μπορεί να προσδιοριστεί βάσει του συντελεστή επιφάνειας (Σ.Ε.) που ορίζεται ως ο λόγος της επιφάνειας συλλογής ($A_{HΣ}$) του ηλιακού συστήματος προς την επιφάνεια βάσης/τοποθέτησης του (A_{EB}), σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

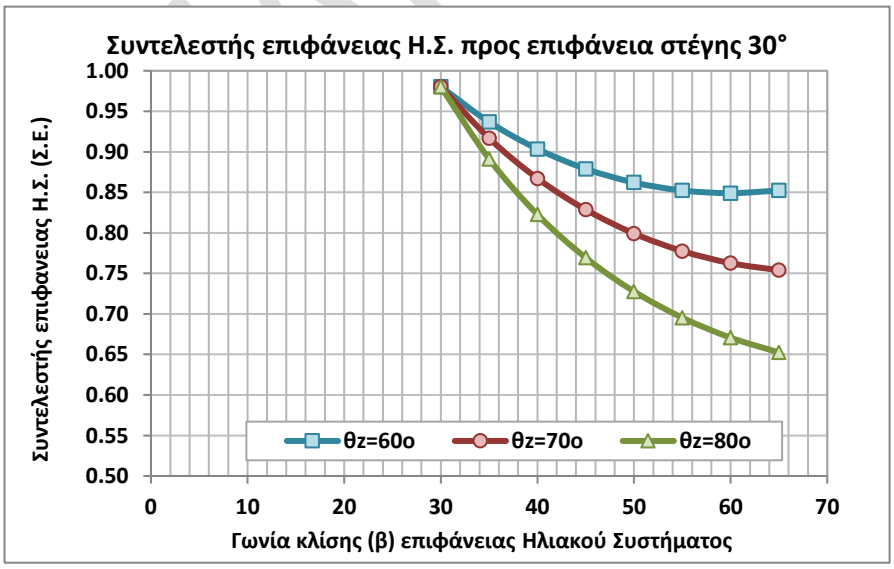
$$Σ.E. = \frac{A_{HΣ}}{A_{EB}} \qquad (εξ.\ 2.2.6)$$

Στο Σχήμα 2.2.6 απεικονίζεται η μεταβολή του Σ.Ε. σε σχέση με τη γωνία κλίσης (β) της επιφάνειας συλλογής του ηλιακού συστήματος που εγκαθίστανται σε οριζόντια βάση εγκατάστασης (π.χ. δώμα) και για τρεις διαφορετικές τιμές της ζενιθιακής γωνίας (ϑ_z) πάνω (μεγαλύτερη τιμή), από την οποία, δεν θα είναι δυνατή η αξιοποίηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας/ενέργειας, λόγω αλληλοσκίασης των κεκλιμένων επιφανειών.



Σχήμα 2.2.6: Συντελεστής επιφάνειας Η.Σ. για εγκατάσταση σε οριζόντια βάση (0°)

Αντίστοιχα, στο Σχήμα 2.2.7 απεικονίζεται η διακύμανση του Σ.Ε. σε σχέση με τη γωνία κλίσης (β) επιφάνειας συλλογής που τοποθετείται πάνω σε μια κεκλιμένη στέγη με κλίση (β=30°) βάση/εγκατάστασης και για τρεις διαφορετικές τιμές της ζενιθιακής γωνίας (θ_z), πάνω (μεγαλύτερη τιμή) από την οποία δεν θα είναι δυνατή η αξιοποίηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας/ενέργειας.



Σχήμα 2.2.7: Συντελεστής επιφάνειας Η.Σ. για εγκατάσταση σε κεκλιμένη βάση (30°)

Στην πράξη, η αξιοποίηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα (θ_z>70°), οδηγεί στην εγκατάσταση των επιφανειών συλλογής σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους προς

αποφυγήν της αλληλοσκίασης τους, οπότε ο συντελεστής επιφάνειας λαμβάνει χαμηλές τιμές, ανάλογα πάντα και με τη γωνία κλίσης τους.

Οι καμπύλες στο Σχήμα 2.2.6 και το Σχήμα 2.2.7 προέκυψαν από ωριαίους αναλυτικούς υπολογισμούς της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε κεκλιμένες επιφάνειες ανά περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλοσκίαση μεταξύ επιφανειών των Η.Σ., ανάλογα με τη θέση εγκατάσταση τους και την ηλιακή γεωμετρία. Οι υπολογισμοί βασίστηκαν στις αναλυτικές εμπειρικές σχέσεις (ηλιακή γεωμετρίας, άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας κ.λπ.), όπως αυτές αναλύονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701- 3 [2].

2.2.3. Διαθέσιμα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας / ενέργειας

Δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία / ενέργεια για περιοχές της Ελλάδας διατίθενται από διάφορους οργανισμούς και επιστημονικούς φορείς, τα οποία προκύπτουν από τη χρήση εμπειρικών υπολογιστικών μεθοδολογιών (μοντέλων) προσδιορισμού της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μεθοδολογίες αυτές βασίζονται σε χρονοσειρές δεδομένων από μετρήσεις σε συγκεκριμένες περιοχές στο Ελλαδικό χώρο όπως αυτές της ΕΜΥ, από δορυφόρους προσαρμοσμένες σε συνθήκες εδάφους κ.ά. Μεταξύ άλλων, διαθέσιμα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία και την ηλιοφάνεια υπάρχουν στις ακόλουθες πηγές:

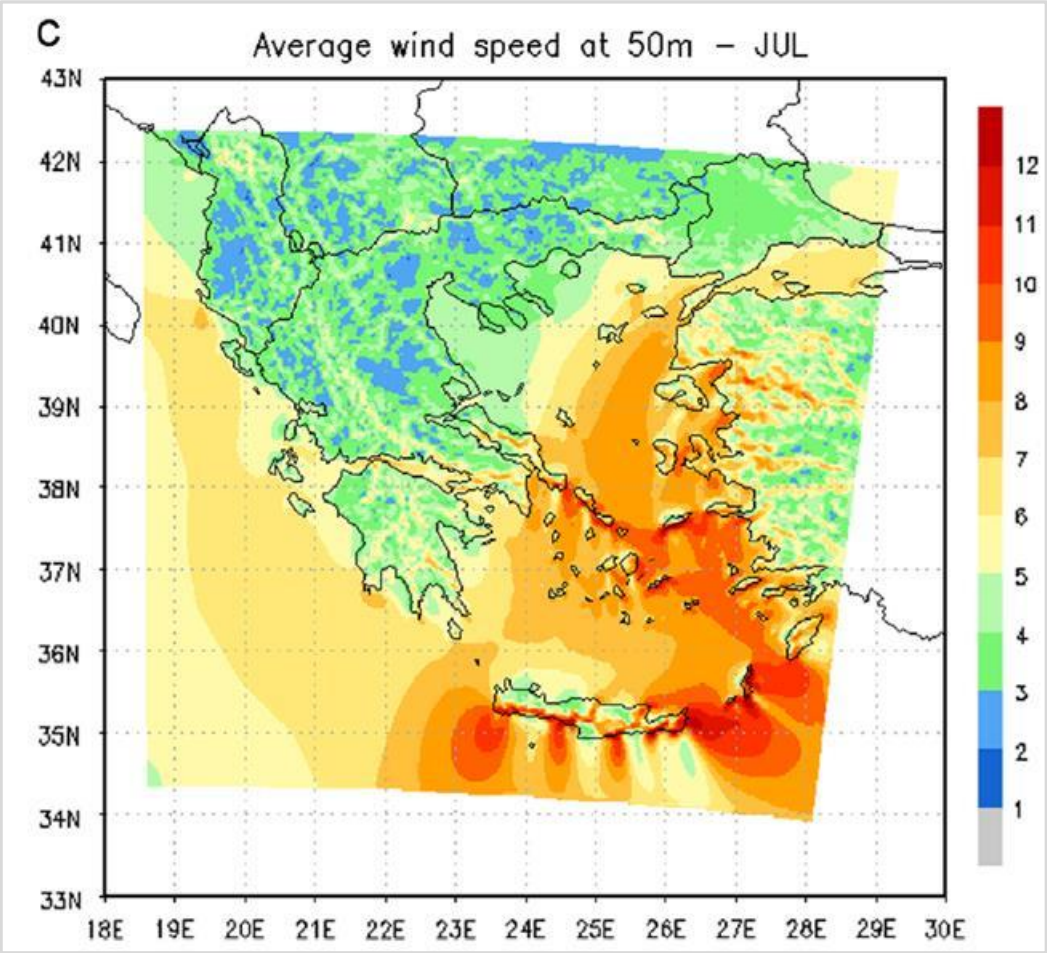
1. Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 [2] δίνονται οι μέση μηνιαία ολική ηλιακή ενέργεια στο οριζόντιο επίπεδο, η μέση μηνιαία διάχυτη ηλιακή ενέργεια στο οριζόντιο επίπεδο, καθώς και η μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια για διάφορους προσανατολισμούς σε κλίση 45° και 90° για 48 ελληνικές πόλεις.
2. Στον Κλιματικό Άτλαντα της Ελλάδας 1971-2000 της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας δίνεται η μέση ετήσια, αλλά και μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας (h) σε οποιοδήποτε σημείο στην Ελλάδα με ανάλυση 30 arcseconds. **(http://climatlas.hnms.gr/)**
3. Στην ιστοσελίδα «The Global Solar Atlas» (**https://globalsolaratlas.info/map)**, όπου παρέχονται για όλες τις χώρες με χρωματική απεικόνιση πάνω σε χάρτες, η μέση ετήσια οριζόντια και άμεση ηλιακή ενέργεια (kWh/m²/yr). Επίσης διατίθενται και πλεγματικά (gridded) δεδομένα, για χρήση σε GIS, των βασικών παραμέτρων ακτινοβολίας σε ημερήσια (τυπική ημέρα ανά μήνα), μηνιαία και ετήσια βάση, με ανάλυση 9 arcseconds.
4. Στην ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS», παρέχεται ηλεκτρονική εφαρμογή υπολογισμού της μέσης ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας ηλιακής ενέργειας (kWh/m²), για μια τοποθεσία με συγκεκριμένες γεωγραφικές συντεταγμένες, καθώς και η ενεργειακή απόδοση συγκεκριμένης τεχνολογίας φωτοβολταϊκών και δίνεται η δυνατότητα για συγκεκριμένη περιοχή. (**https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP**)
5. Στην ιστοσελίδα του Εργαστηρίου Φυσικής της Ατμόσφαιρας, υπάρχει διαθέσιμος «Κλιματολογικός Χάρτης Ηλιακής Ενέργειας για τις Ελληνικές περιοχές», ο οποίος δίνει με χρωματική απεικόνιση η μέση ετήσια οριζόντια και άμεση ηλιακή ενέργεια (kWh/m²/yr).(**https://atmosphere-upatras.gr/en/solarmaps/Greece)**

2.3. Αιολικό δυναμικό

Ο άνεμος αποτελεί μια βασική μετεωρολογική και κλιματική παράμετρο που επηρεάζει άμεσα τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής χαρακτηρίζεται τόσο από την ένταση του ανέμου, όσο και από την επικρατούσα διεύθυνση [17, 18, 19], στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη διαστασιολόγηση μιας ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, η μορφολογία του εδάφους (το ανάγλυφο μιας περιοχής) επηρεάζει σημαντικά την ένταση και διεύθυνση του ανέμου. Γενικότερα, ως άνεμος χαρακτηρίζεται η οριζόντια συνιστώσα (παράλληλη προς το έδαφος) της κίνησης του ατμοσφαιρικού αέρα.

Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό αιολικό δυναμικό, με τιμές της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου να υπερβαίνουν τα 10 m/s σε ορισμένα νησιά του Αιγαίου Πελάγους και στην νότια Εύβοια (Σχήμα 2.3.1). Υψηλό αιολικό δυναμικό παρουσιάζουν επίσης και οι περισσότερες κορυφογραμμές των οροσειρών στην Ηπειρωτική Ελλάδα.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

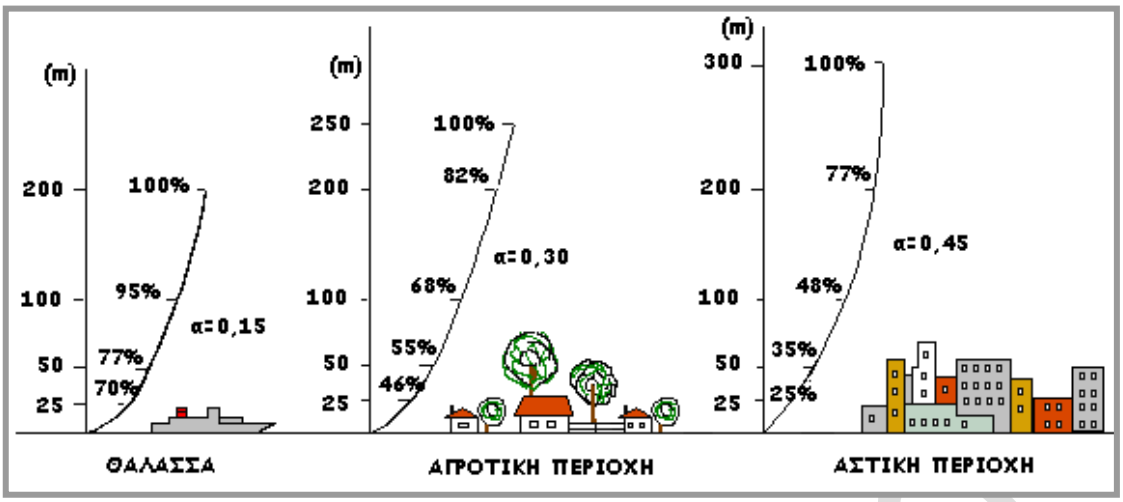


Σχήμα 2.3.1: Μέση μηνιαία ταχύτητας ανέμου στην Ελλάδα (m/s) [20]

Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 [2], δίνονται μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας ανέμου για 62 ελληνικές πόλεις. Για την αξιολόγηση της ποιότητας του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής απαιτείται η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου, της επικρατούσας κατεύθυνσης του ανέμου, της κατανομής της πιθανότητας εμφάνισης (πυκνότητα συχνότητας (f) εμφάνισης) των διαφόρων τιμών της ταχύτητας του ανέμου στη διάρκεια του χρόνου, των διαστημάτων νηνεμίας, καθώς και των ριπών της ταχύτητας του ανέμου.

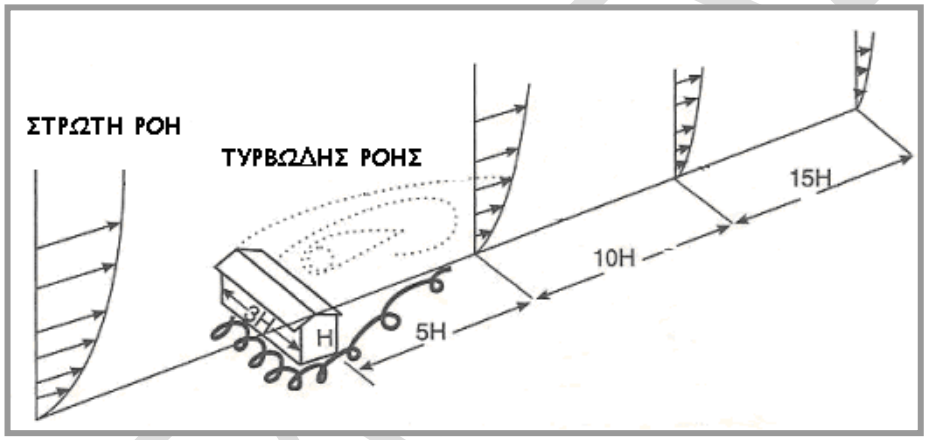
2.3.1. Κατανομή ταχύτητας ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή επηρεάζεται κυρίως από τη μορφολογία του εδάφους (ανάγλυφο περιοχής), το υψόμετρο και το είδος της περιοχής: θαλάσσια, αγροτική επίπεδη, αγροτική ορεινή, ημιαστική ή αστική περιοχή. Όσο πιο έντονο είναι το ανάγλυφο του εδάφους τόσο αυξάνεται η τύρβη που δημιουργείται. Η διακύμανση της ταχύτητας (m/s) του ανέμου παρουσιάζει μια κατακόρυφη κατανομή μέσα στο επιφανειακό στρώμα της ατμόσφαιρας, η οποία μεταβάλλεται λογαριθμικά με το ύψος. Η αύξηση αυτή είναι σημαντική για τα πρώτα 100m από το έδαφος ή το σημείο αναφοράς (Σχήμα 2.3.2).



Σχήμα 2.3.2: Ποσοστιαία μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με τη μορφολογία της περιοχής [17-19].

Στα μεγάλα αστικά κέντρα, τα κτίρια διαταράσσουν σημαντικά το πεδίο ροής του ανέμου, το οποίο εντείνεται ανάλογα με το ύψος τους. Η ροή του ανέμου γύρω από κτίρια διαταράσσεται και σχηματίζεται μια ζώνη επιρροής που εκτείνεται σε μήκος, δύο φορές το ύψος του κτιρίου ανάντη (πριν την πρόσπτωση στο κτίριο), δέκα φορές το ύψος του κτιρίου κατάντη (μετά το κτίριο) και σε ύψος τουλάχιστον διπλάσιο του ύψους του κτιρίου (Σχήμα 2.3.3).



Σχήμα 2.3.3: Επίδραση ενός κτιρίου με ύψος Η στη ροή της ταχύτητας του ανέμου [18].

Η κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου προσεγγίζεται με διάφορες ημι-εμπειρικές αναλυτικές σχέσεις, με πιο διαδεδομένη την εκθετική κατανομή (power law) και περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\frac{V(h)}{V(h_o)} = \left(\frac{h}{h_o}\right)^a \qquad \textit{(εξ. 2.3.1)}$$

όπου:

V(h), είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h από το έδαφος,

$V(h_o)$, είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_o,

a, είναι η παράμετρος που περιγράφει την τραχύτητα του εδάφους και εξαρτάται και από τη διεύθυνση του ανέμου. Η παράμετρος (a) λαμβάνεται συνήθως 0,15 για θαλάσσιες και αγροτικές περιοχές, 0,30 για ημιαστικές περιοχές και προάστια χαμηλού ύψους δόμησης και 0,45 για αστικές περιοχές μεγάλου ύψους δόμησης.

Για τη σωστή αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής απαιτούνται οι επιτόπου μακροχρόνιες αναλυτικές και εξειδικευμένες μετρήσεις. Εναλλακτικά, για μια αρχική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μπορούν να χρησιμοποιηθούν αναλυτικές κατανομές (Rayleigh, Weibull κ.λπ.), οι οποίες μπορούν να

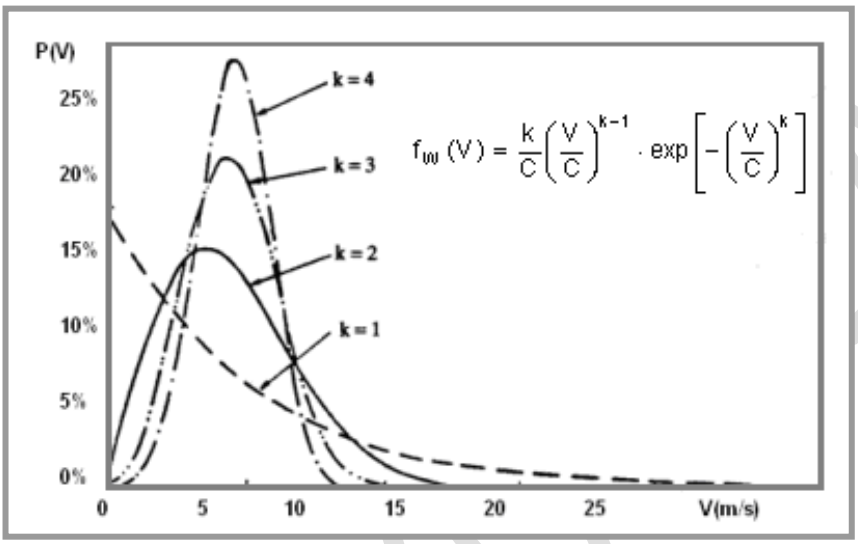
περιγράψουν με αρκετή ακρίβεια την ποιότητα του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής. Η συνηθέστερη αναλυτική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας που χρησιμοποιείται είναι η κατανομή Weibull, η οποία χρησιμοποιεί μόνο δύο παραμέτρους και προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας V μεταξύ V-dV/2 και V+dV/2. Η κατανομή περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$f_W(V) = \frac{k}{C}\left(\frac{V}{C}\right)^{k-1} \cdot exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^{k}\right] \qquad \textit{(εξ. 2.3.2)}$$

όπου:

C, παράμετρος που συνδέεται με τη μέση ταχύτητα του ανέμου και ισούται με $C \approx 1{,}1\overline{V}$, και

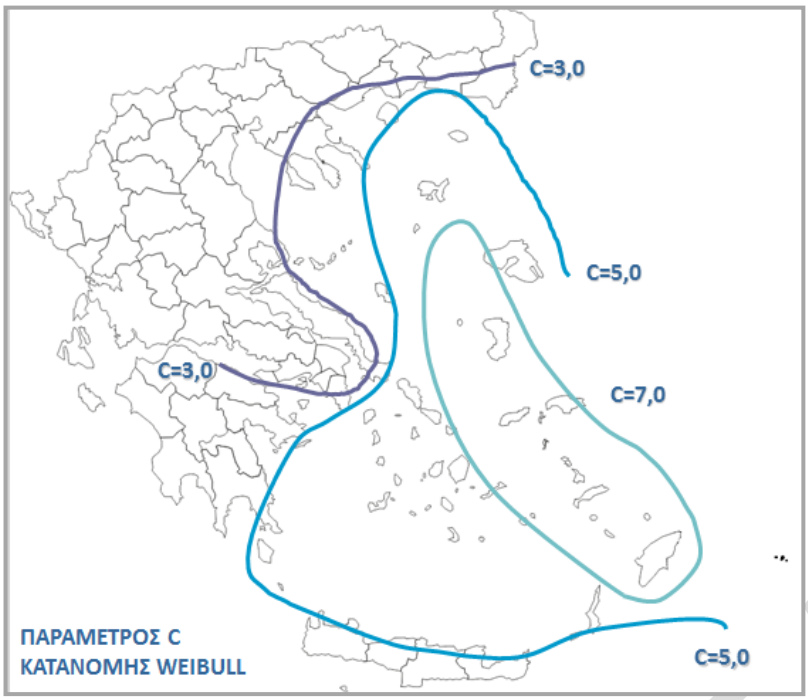
k, παράμετρος αντιστρόφως ανάλογη της διασποράς του μέτρου των ταχυτήτων του ανέμου ως προς τη μέση ταχύτητα και λαμβάνει τιμές k=1,5÷2,0.



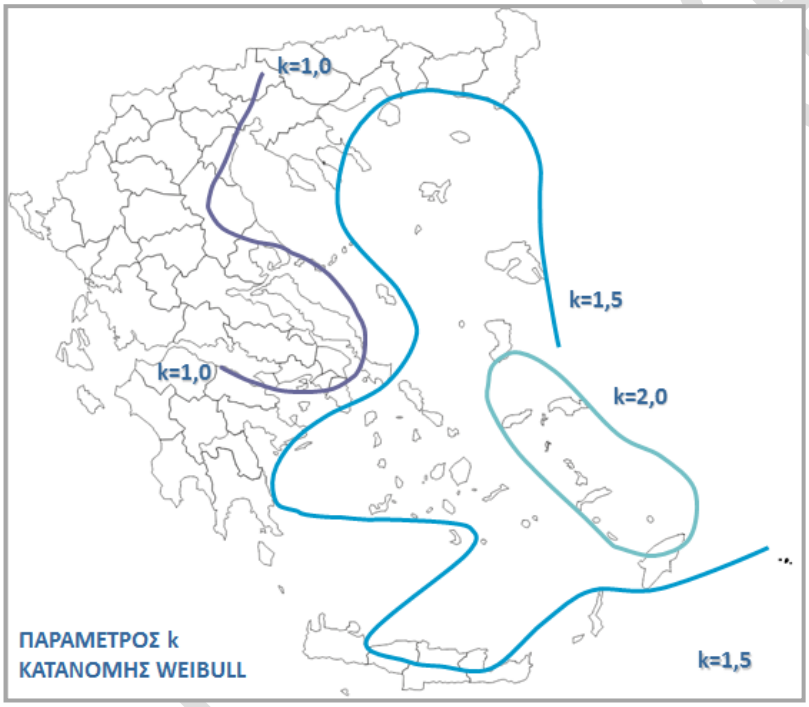
Σχήμα 2.3.4: Κατανομή Weibull [17-18]

Η ως άνω κατανομή (εξ. 2.3.2) αποτελεί μια ειδική περίπτωση της γενικευμένης κατανομής που προτάθηκε από τον Weibull και περιγράφει ικανοποιητικά την πυκνότητα πιθανότητας (συχνότητα) εμφάνισης της ταχύτητας του ανέμου για ύψος μέχρι 100 m από το έδαφος και για περιοχές της εύκρατης ζώνης, όπως είναι και οι ελληνικές περιοχές. Η χωρική κατανομή των συντελεστές C και k της (εξ. 2.3.2) στην Ελλάδα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.3.5 και Σχήμα 2.3.6 αντίστοιχα.

Συνήθως, οι καμπύλες παραγωγής ενέργειας μιας ανεμογεννήτριας δίνεται βάσει συγκεκριμένων τιμών για τις παραμέτρους k και C, ανάλογα με το αιολικό δυναμικό της περιοχής και του ύψους τοποθέτησης [18, 21, 22].



Σχήμα 2.3.5: Παράμετρος "C" κατανομής Weibull [17-19]



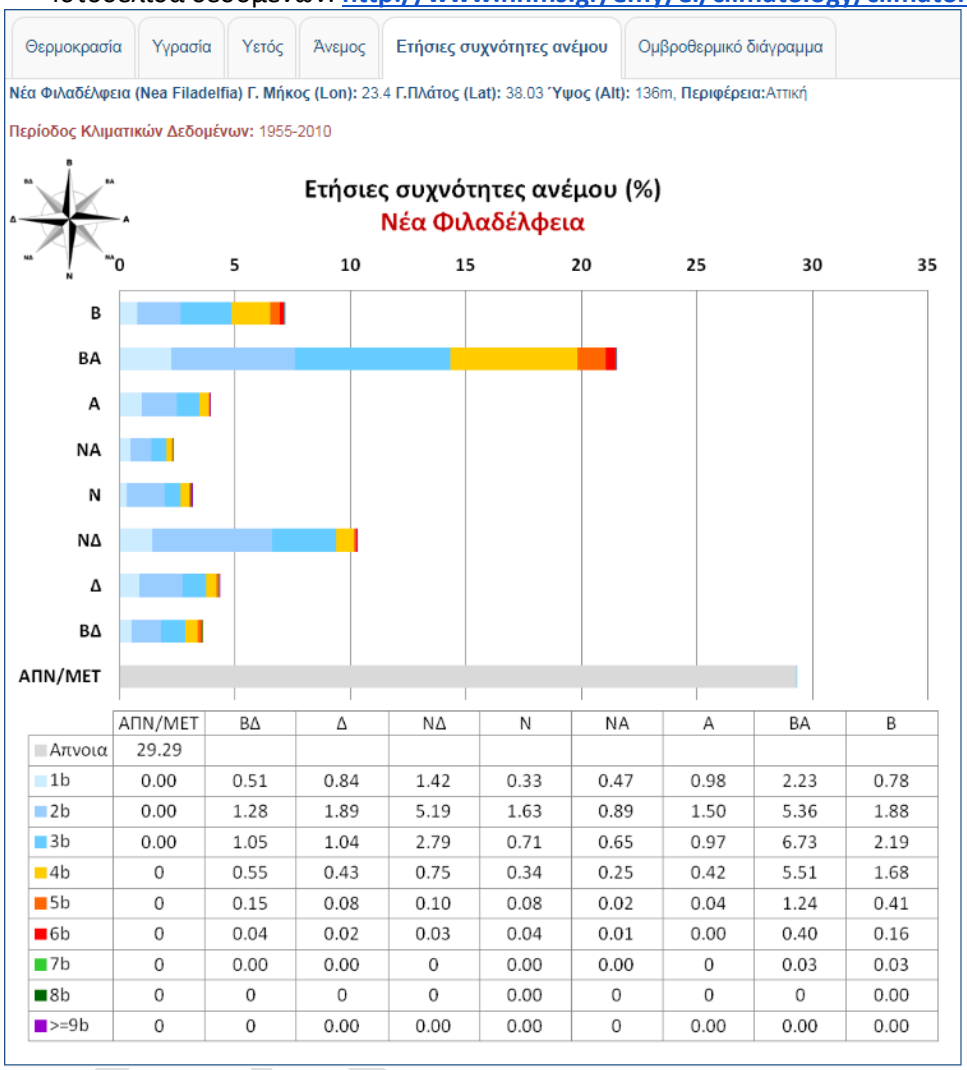
Σχήμα 2.3.6: Παράμετρος "k" κατανομής Weibull [17-19]

2.3.2. Διαθέσιμα δεδομένα ανέμου

Δεδομένα για τον άνεμο στις Ελληνικές περιοχές υπάρχουν διαθέσιμα από διάφορους οργανισμούς και επιστημονικούς φορείς, τα οποία προκύπτουν από τη χρήση εμπειρικών υπολογιστικών μεθοδολογιών (μοντέλων) προσδιορισμού της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μεθοδολογίες αυτές βασίζονται σε χρονοσειρές δεδομένων από μετρήσεις σε συγκεκριμένες περιοχές στο Ελλαδικό χώρο όπως αυτές της ΕΜΥ, αλλά κυρίως σε μετρήσεις από δορυφόρους, προσαρμοσμένες σε συνθήκες εδάφους.

Μεταξύ άλλων, διαθέσιμα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία υπάρχουν στις ακόλουθες πηγές:

1. Στην ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας [4] υπάρχουν διαθέσιμα «Κλιματικά Δεδομένα για επιλεγμένους σταθμούς στην Ελλάδα», μεταξύ των οποίων:
   - Επικρατούσα Διεύθυνση Ανέμου
   - Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμου
   - Ετήσιες Συχνότητες Ανέμου (%), ανά κατεύθυνση και ένταση Ανέμου.
   - Ιστοσελίδα δεδομένων: http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city



	ΑΠΝ/ΜΕΤ	ΒΔ	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α	ΒΑ	Β
Απνοια	29.29								
1b	0.00	0.51	0.84	1.42	0.33	0.47	0.98	2.23	0.78
2b	0.00	1.28	1.89	5.19	1.63	0.89	1.50	5.36	1.88
3b	0.00	1.05	1.04	2.79	0.71	0.65	0.97	6.73	2.19
4b	0	0.55	0.43	0.75	0.34	0.25	0.42	5.51	1.68
5b	0	0.15	0.08	0.10	0.08	0.02	0.04	1.24	0.41
6b	0	0.04	0.02	0.03	0.04	0.01	0.00	0.40	0.16
7b	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.03	0.03
8b	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00
>=9b	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00

2. Στην Ιστοσελίδα του «ΜΕΤΕΟ, www.meteo.gr». Στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών δίνεται «Κλιματικός χάρτης ανέμου για όλη την Ελλάδα», (https://meteo.gr/windStatistics.cfm) Ο κλιματικός χάρτης «Άτλαντα» ανέμου για την Ελλάδα, δημιουργήθηκε με τη χρήση μετεωρολογικών προσομοιώσεων πολύ υψηλής ανάλυσης (2 km), για ένα τυπικό μετεωρολογικό έτος κάθε περιοχής. Ο χάρτης είναι διαδραστικός και παρέχει για κάθε σημείο, σε ύψη 10m και 50m, τις μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου και τις αντίστοιχες παραμέτρους της κατανομής Weibull.
3. Τα ως άνω δεδομένα και οι χάρτες για το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα είναι δημοσιευμένα και σε εργασία [20].
4. Δεδομένα για το Αιολικό Δυναμικό στην Ελλάδα, υπάρχουν διαθέσιμα και στους «Θεματικούς Χάρτες εκτίμησης του τεχνικά & οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού της Αιολικής Ενέργειας στον ελληνικό χώρο» που είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του, Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑ.Π.Ε.) [22]. http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm
5. Στην ιστοσελίδα «The Global Wind Atlas» https://www.globalwindatlas.info/, παρέχονται σε χρωματική απεικόνιση πάνω σε χάρτες, η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου (m/s), για τις ελληνικές περιοχές. Παρέχεται και η ακριβή αριθμητική τιμή για διάφορα ύψη ανεμογεννήτριας, σε κάθε σημείο, και βασικά στατιστικά και δεδομένα για GIS.

2.4. Γεωθερμικό δυναμικό – Αβαθής ή κανονική γεωθερμία

Γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περικλείεται στα διάφορα στρώματα της γης, και μεταδίδεται/μεταφέρεται από τα θερμότερα σε βάθος στρώματα προς την επιφάνειά της γης. Η μεταβολή της θερμοκρασίας της γης σε συνάρτηση με το βάθος εκφράζεται μέσω της γεωθερμικής βαθμίδας, η οποία αντιπροσωπεύει το μέσο βάθος (m), στο οποίο καταγράφεται αύξηση κατά 1 K της θερμοκρασίας της. Η μέση / ομαλή γεωθερμική βαθμίδα είναι περίπου ίση με 33m. Περιοχές με πολύ υψηλή γεωθερμική βαθμίδα, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που αντλούνται από αυτές και χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικά πεδία (Γ.Π.). Τα γεωθερμικά πεδία ανάλογα με τη θερμοκρασία του ρευστού χωρίζονται σε:

- Υψηλής ενθαλπίας, με τη θερμοκρασία ρευστών να υπερβαίνει τους 150 °C. Συνήθως είναι μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.
- Μέσης ενθαλπίας, με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 150 ÷ 90°C, και
- Χαμηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 100 ÷ 25 °C
- Κανονικής (αβαθούς) ενθαλπίας, με θερμοκρασίες ρευστών ή εδάφους συνήθως ίσες ή μικρότερες από τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα, περίπου 20-25 °C για τις ελληνικές περιοχές.

Ωστόσο, σύμφωνα με το νόμο 4602/2019 (άρθρο 2, παρ. 2), τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται ανάλογα με τη θερμοκρασία σε:

- Εθνικού ενδιαφέροντος, όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 90 °C.
- Τοπικού ενδιαφέροντος, όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 30 ÷ 90°C.

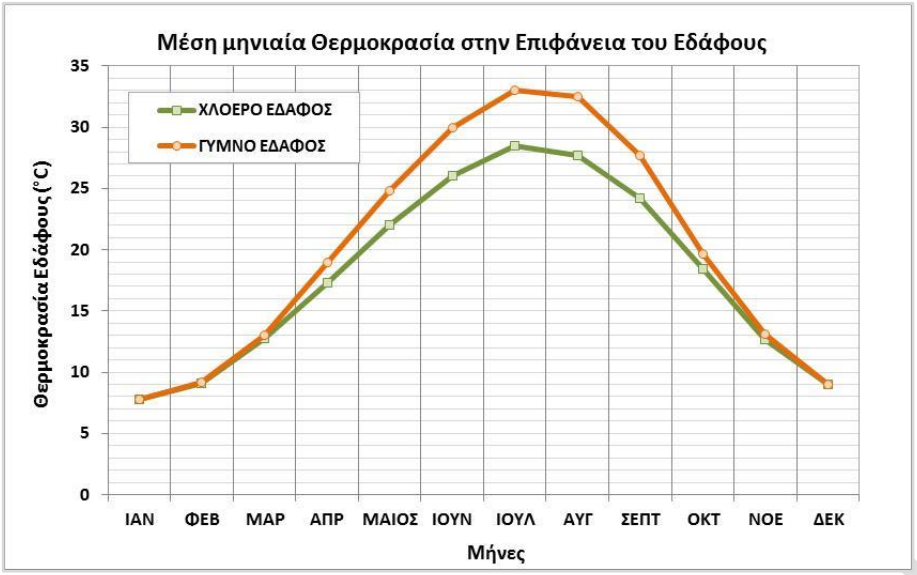
Η παρούσα τεχνική οδηγία απευθύνεται αποκλειστικά σε εφαρμογές αξιοποίησης της κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας, δηλαδή της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται ως Γεωθερμικό Δυναμικό (Γ.Θ.Δ.), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση ή/και την ψύξη των κτιρίων κατοικιών και του τριτογενή τομέα. Για τον σχεδιασμό συστημάτων αξιοποίησης της κανονικής γεωθερμίας, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των θερμικών χαρακτηριστικών τους εδάφους ή των υπόγειων ρευστών για τη διαστασιολόγηση των γεωεναλλακτών και των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Τα κύρια φυσικά και θερμικά χαρακτηριστικά των εδαφών αναλύονται στη συνέχεια.

2.4.1. Θερμοκρασία εδάφους

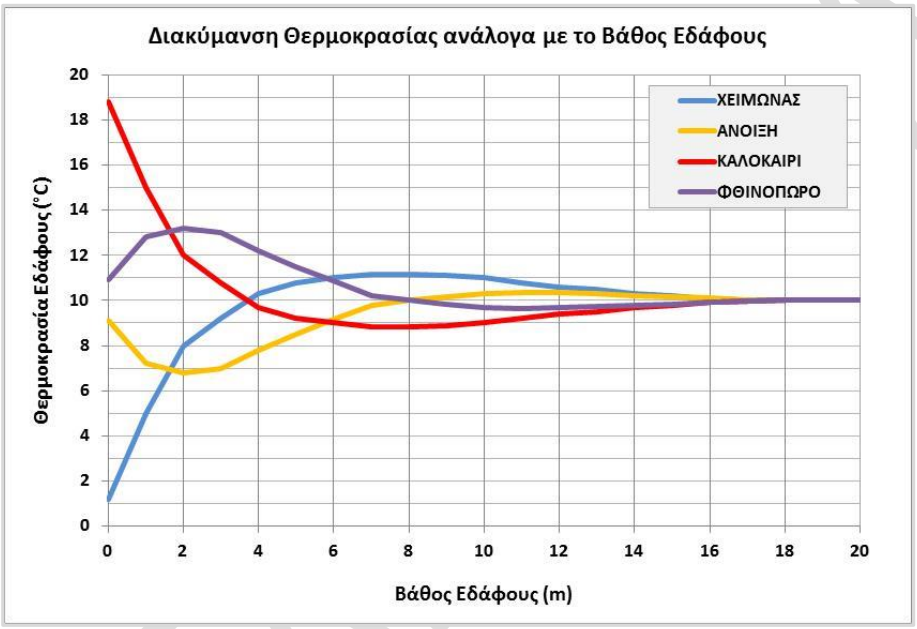
Η κατανομή της θερμοκρασίας στο υπέδαφος επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας και είναι απαραίτητη για τον σωστό σχεδιασμό των συστημάτων αυτών, καθώς και την εκτίμηση της βέλτιστης οικονομοτεχνικής αξιοποίησης της διαθέσιμης γεωθερμικής ενέργειας.

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους επηρεάζεται άμεσα από τη διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα στη διάρκεια του χρόνου, αλλά και την υγρασία του εδάφους (Σχήμα 2.4.1), με τη θερμοκρασία των γυμνών επιφανειών να διατηρείται σχεδόν ίδια με αυτή της θερμοκρασίας του αέρα. Οι ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα επηρεάζουν, σε μικρότερο βαθμό, τη θερμοκρασία του εδάφους, σε βάθος μέχρι τα 10m (Σχήμα 2.4.2). Σε μεγαλύτερα βάθη (άνω των 10 m), η θερμοκρασία του εδάφους αυξάνεται γραμμικά σύμφωνα με τη μέση ή κανονική γεωθερμική βαθμίδα. Στο ίδιο σχήμα παρατηρείται ότι η διακύμανση γίνεται γύρω από μια μέση τιμή, η οποία αποτελεί την ενεργειακή ισορροπία της ανερχόμενης γεωθερμικής ροής και της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Η τιμή αυτή συνήθως είναι η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα στην επιφάνεια της γης για την περιοχή.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ



Σχήμα 2.4.1: Μεταβολή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους, για γυμνό και χλοερό έδαφος από μετρήσεις στο Αστεροσκοπείο Αθηνών στην Πεντέλη [23]



Σχήμα 2.4.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος, για τις τέσσερις χρονικές περιόδους ανά εποχή.

Λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας του εδάφους, η θερμοκρασία του μεταβάλλεται αργά σε σχέση με το χρόνο και ανάλογα με το βάθος. Παράλληλα, λόγω και της μικρής θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους, μπορεί να αποθηκεύσει τη θερμότητα που του αποδίδεται, όπως στην περίπτωση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Σε αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, βασίζεται και η λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Υπάρχουν διεθνώς κάποιες προσεγγιστικές, αλλά σχετικά ακριβείς εξισώσεις υπολογισμού της θερμοκρασίας του εδάφους σε βάθος [24-25]. Μια τέτοια έκφραση είναι και η σχέση των Kusuda and Archenbach [26].

$$T_g(z,t) = T_m - A_s \cdot e^{\left(-z\cdot\sqrt{\frac{\pi}{365\cdot\alpha}}\right)} \cdot cos\left[\frac{2\cdot\pi}{365}\cdot\left(t - t_0 - \frac{z}{2}\cdot\sqrt{\frac{365}{\pi\cdot\alpha}}\right)\right] \qquad (εξ.\ 2.4.1)$$

όπου:

T_g: η θερμοκρασία του υπεδάφους (°C),

T_m: η μέση ετήσια θερμοκρασία στην επιφάνεια (°C),

A_s: το πλάτος της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους (K),

z: το βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (m),

t: η τρέχουσα χρονική στιγμή (ημέρα) κατά την οποία εφαρμόζεται η σχέση (ημέρα του έτους),

t_0: η ημέρα με την ελάχιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους (ημέρα του έτους),

α: η θερμική διάχυση του εδάφους (m^2/ημέρα).

2.4.2. Φυσικές ιδιότητες εδαφών και πετρωμάτων

Βαθμός κορεσμού (S): εκφράζει το ποσοστό του όγκου των πόρων του εδάφους που πληρούνται με νερό (V_w) σε σχέση με το συνολικό όγκο των πόρων (V_s) και εκφράζεται με τον λόγο $S = V_w/V_s$. Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 2.4.1) παρουσιάζεται η ταξινόμηση των αμμωδών εδαφών, ανάλογα με το βαθμό κορεσμού.

Πίνακας 2.4.1: Ταξινόμηση αμμωδών εδαφών, ανάλογα με το βαθμό κορεσμού (S) [27].

Κατάσταση	Βαθμός κορεσμού (%)
Ξηρή	0
Ύφυγρη	01-25
Υγρή	26-50
Πολύ Υγρή	51-75
Διαβρεγμένη	76-99
Κορεσμένη	100

Πυκνότητα στερεών κόκκων ή ειδικό βάρος: Η πυκνότητα στερεών κόκκων (ρ_p, σε kg/m^3) ορίζεται ως το βάρος ανά μονάδα όγκου των στερεών συστατικών του εδάφους και αναφέρεται μόνο στα στερεά κοκκία του εδάφους. Η πυκνότητα αυτή δεν επηρεάζεται από τη μηχανική σύσταση, τη δομή και το πορώδες του εδάφους. Συνήθως, λαμβάνεται η μέση τιμή περίπου 2.605 kg/m^3 [28], αν και παρουσιάζει μια διακύμανση από 2.400 kg/m^3 έως 3.000 kg/m^3, ανάλογα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ύλη και βαρέα ορυκτά.

Φαινόμενη πυκνότητα: Η φαινόμενη πυκνότητα (ρ_b) αναφέρεται στο ξηρό βάρος της μονάδας όγκου του εδάφους, όπως αυτό βρίσκεται στη φυσική του κατάσταση, μαζί δηλαδή με τους πόρους. Οι τιμές κυμαίνονται από 2.000 kg/m^3, στα πολύ πυκνά και συμπιεσμένα αμμοαργιλώδη εδάφη, μέχρι 700 kg/m^3 στους επιφανειακούς ορίζοντες οι οποίοι βρίσκονται κάτω από δασική βλάστηση [28]. Τα αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν μεγαλύτερη φαινομενική πυκνότητα από τα αργιλώδη. Η φαινόμενη πυκνότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} = \frac{V_s \cdot \rho_s}{V_t} \qquad \textit{(εξ. 2.4.2)}$$

όπου:

ρ_b: η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους (kg/m^3),

m_s: το βάρος των στερεών συστατικών (kg),

V_t: ο συνολικός όγκος του εδαφικού σχηματισμού (m^3),

V_s: ο όγκος των στερεών συστατικών του εδάφους (m^3),

ρ_s: η φαινομενική πυκνότητα στερεών συστατικών (kg/m^3).

Υγρασία εδάφους: Με τον όρο υγρασία εδάφους εννοούμε το λόγο της μάζας του νερού που περιέχεται στο έδαφος, προς τη μάζα του εδάφους:

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{V_w \cdot \rho_w}{V_s \cdot \rho_s} \qquad \textit{(εξ. 2.4.3)}$$

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

όπου:

w: η υγρασία (%),

m_w: το βάρος (kg) του νερού που περιέχεται στο έδαφος,

ρ_w: η φαινομενική πυκνότητα του νερού που περιέχεται στο έδαφος (kg/m³),

V_w: ο όγκος του νερού που περιέχεται στο έδαφος (m³).

Ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό: Η ογκομετρική περιεκτικότητα (θ_v) σε νερό αποτελεί την αναλογία όγκου νερού που περιέχεται στο έδαφος, προς το συνολικό όγκο εδάφους:

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_t} = \frac{w \cdot \rho_b}{\rho_w} \qquad \text{(εξ. 2.4.4)}$$

2.4.3. Θερμικές ιδιότητες εδαφών και πετρωμάτων

Ειδική θερμότητα: Η ειδική θερμότητα c (J/kg K) εκφράζει την ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει θερμική ενέργεια και εκφράζει την αύξηση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας για μοναδιαία αύξηση της απόλυτης θερμοκρασίας.

Θερμική αγωγιμότητα: Η θερμική αγωγιμότητα λ (W/m K) εκφράζει την ικανότητα του υλικού (έδαφος/πέτρωμα) να άγει τη θερμότητα. Η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας των υλικών μεταβάλλεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά για τους υπολογισμούς της παρούσας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. θεωρείται σταθερή. Ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας $\dot{Q}$ (W), που μεταδίδεται μέσω επιφάνειας πάχους L (m) και εμβαδού A (m²) σε χρόνο t (sec), λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ΔT (K). Προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{t} \cdot \frac{L}{A \cdot \Delta T} \qquad \text{(εξ. 2.4.5)}$$

Θερμική διάχυση: Η θερμική διάχυση εκφράζει την ταχύτητα με την οποία διαχέεται η θερμότητα διαμέσου ενός υλικού. Ορίζεται ως το πηλίκο της αγόμενης θερμότητας προς την αποθηκευμένη θερμότητα, σύμφωνα με τη σχέση:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = \frac{\lambda}{C} \qquad \text{(εξ. 2.4.6)}$$

όπου:

α: ο παράγοντας θερμικής διάχυσης (m²/sec) του εδάφους ή του πετρώματος,

λ: η θερμική αγωγιμότητα (W/m K) του εδαφικού σχηματισμού,

C = (ρ · c): η θερμοχωρητικότητα εδάφους ή του πετρώματος (η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας στη μονάδα όγκου) (J/m³ K),

ρ: η πυκνότητα του εδάφους (kg/m³),

c: η ειδική θερμότητα του εδάφους (J/kg K).

Η θερμοχωρητικότητα των εδαφών (heat capacity, C), μπορεί να αποδοθεί ως το άθροισμα των θερμοχωρητικοτήτων των συστατικών από τα οποία αποτελείται το έδαφος η οποία μπορεί να υπολογιστεί από την επόμενη σχέση [29]:

$$C = m_s \cdot c_s + m_w \cdot c_w + m_a \cdot c_a + m_0 \cdot c_0 \qquad \text{(εξ. 2.4.7)}$$

όπου:

m_s: η μάζα των στερεών συστατικών του εδάφους (kg)

m_w: η μάζα του εδαφικού νερού (kg)

m_a: η μάζα του αέρα που περιέχεται στο έδαφος (kg)

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

m_o: η μάζα της οργανικής ύλης του εδάφους (kg)

c_s: η ειδική θερμότητα του στεγνού εδάφους (J/kg K),

c_w: η ειδική θερμότητα του νερού που περιέχεται στους πόρους του εδάφους (J/kg K),

c_a: η ειδική θερμότητα του αέρα που υπάρχει στους πόρους (J/kg K),

c_0: η ειδική θερμότητα της οργανικής ύλης του εδάφους (J/kg K)

Η ειδική θερμότητα c_s των ξηρών εδαφών μπορεί να θεωρηθεί σταθερή για τις περισσότερες κατηγορίες εδαφών, στην τιμή των 0,73 kJ/(kg K) [28]. Η παραδοχή αυτή επιτρέπει να ληφθούν στους υπολογισμούς, ως κύριοι παράγοντες επηρεασμού, η υγρασία και η φαινομενική πυκνότητα των εδαφών, οι τιμές των οποίων μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο εδάφους, σύμφωνα με την κλασσική ταξινόμηση εδαφών (αμμώδες, πηλοαμμώδες, αμμοπηλώδες, πηλώδες ιλυοπηλώδες, ιλυώδες, ιλυοαργιλοπηλώδες, αργιλοπηλώδες, αμμοαργιλοπηλώδες, αμμοαργιλώδες, ιλυοαργιλώδες, αργιλώδες). Στον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας του εδάφους πρέπει να ληφθούν υπόψη και το στερεό πέτρωμα και το ρευστό [30]. Ενδεικτικές τιμές των θερμικών ιδιοτήτων ορισμένων υλικών του εδάφους δίνονται στους σχετικούς πίνακες (Πίνακας 2.4.2 και Πίνακας 2.4.3).

Πίνακας 2.4.2: Ενδεικτικές τιμές πυκνότητας, θερμικής αγωγιμότητας λ και ειδικής θερμοχωρητικότητας κατ' όγκο διαφόρων εδαφών περίπου στους 20°C [30].

Πέτρωμα (τύπος)	**Πυκνότητα ρ [t/m³]**	**Θερμική αγωγιμότητα λ [W/(m K)]**		**Ειδική θερμοχωρητικότητα κατ' όγκο [MJ/(m³ K)]**
		Εύρος τιμών	**Τυπική μέση τιμή**	
Μαγματικά πετρώματα				
Βασάλτης (ηφαιστειακό)	2,6 - 3,2	1,3 - 2,3	1,7	2,3 - 2,6
Διορίτης (υποηφαιστειακό)	2,9 - 3,0	2,0 - 2,9	2,6	2,9
Γρανίτης (πλουτώνιο)	2,4 - 3,0	2,1 - 4,1	3,4	2,1 - 3,0
Περιδοτίτης (πλουτώνιο)	3,0	3,8 - 5,3	4,0	2,7
Μεταμορφωσιγενή πετρώματα				
Μάρμαρο	2,5 - 2,8	1,3 - 3,1	2,1	2,0
Μεταχαλαζίτης	περίπου 2,7	περίπου 5,8	5,8	2,1
Αργιλώδης σχιστόλιθος	2,7	1,5 - 2,6	2,1	2,2 - 2,5
Ιζηματογενή πετρώματα				
Ασβεστόλιθος	2,6 - 2,7	2,5 - 4,0	2,8	2,1 - 2,4
Μάργα	2,5 - 2,6	1,5 - 3,5	2,1	2,2 - 2,3
Χαλαζίτης	περίπου 2,7	3,6 - 6,6	6,0	2,1 - 2,2
Ψαμμίτης (Αμμόλιθος)	2,2 - 2,7	1,3 - 5,1	2,3	1,6 - 2,8
Άργιλος	2,5 - 2,6	1,1 - 3,5	2,2	2,1 - 2,4
Μη ενοποιημένα πετρώματα				
Χαλίκι, ξηρό	2,7 - 2,8	0,4 - 0,5	0,4	1,4 - 1,6
Χαλίκι, κορεσμένο με νερό	περίπου 2,7	περίπου 1,8	1,8	περίπου 2,4
Άμμος, ξηρή	2,6 - 2,7	0,3 - 0,8	0,4	1,3 - 1,6
Άμμος, κορεσμένη με νερό	2,6 - 2,7	1,7 - 5,0	2,4	2,2 - 2,9
Άργιλος/λάσπη, ξηρή	-	0,4 - 1,0	0,5	1,5 - 1,6
Άργιλος/λάσπη, κορεσμένη με νερό	-	0,9 - 2,3	1,7	1,6 - 3,4
Τύρφη	-	0,2 - 07	0,4	0,5 - 3,8
Άλλα υλικά				
Μπετονίτης	-	0,5 - 0,8	0,6	περίπου 3,9
Τσιμέντο	περίπου 2,0	0,9 - 2,0	1,6	περίπου 1,8

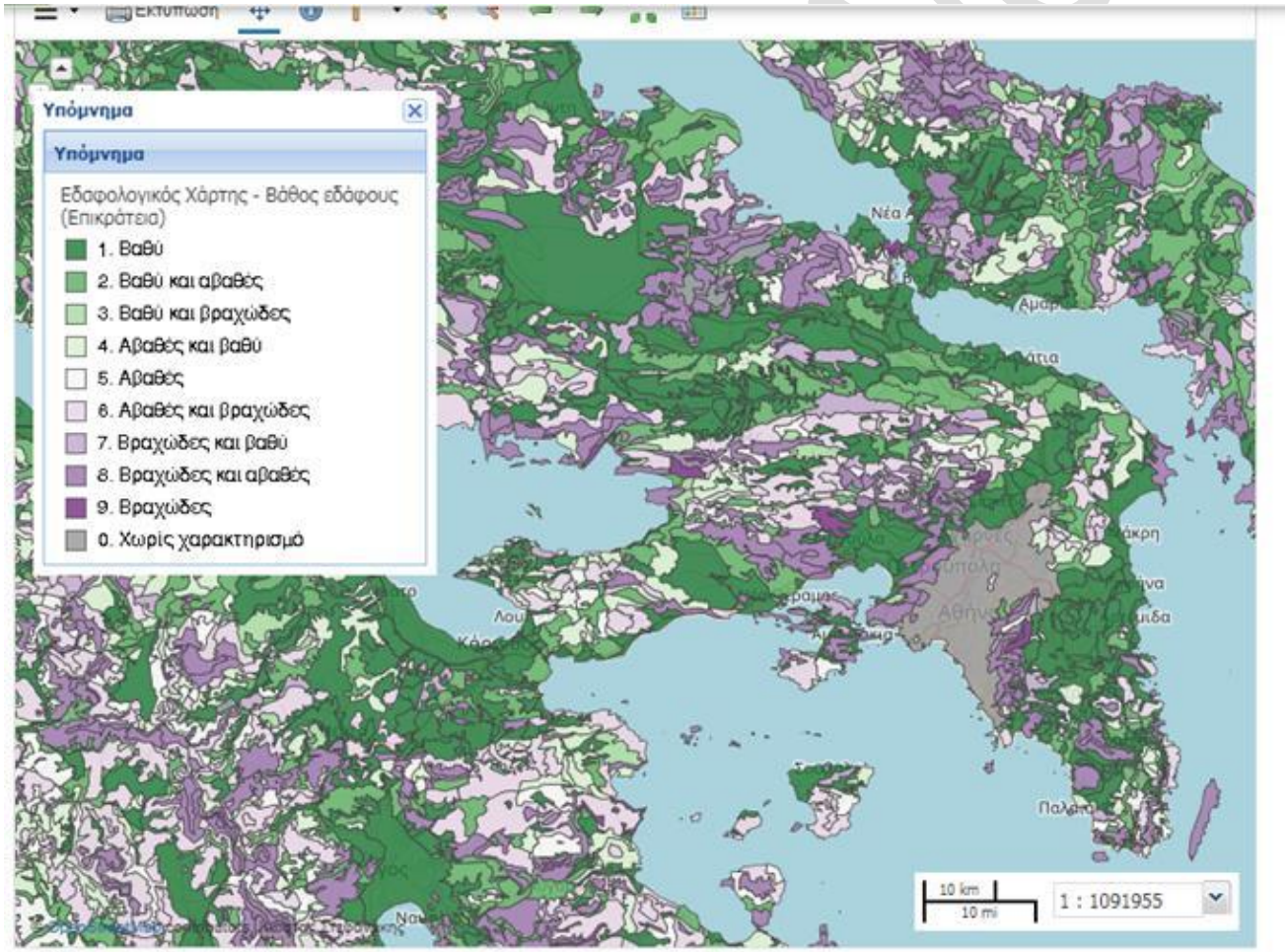
ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 2.4.3: Ενδεικτικές τιμές των θερμικών ιδιοτήτων ορισμένων υλικών [29].

Υλικό	Φαινόμενη πυκνότητα [t/m³]	Ειδική θερμότητα [J/(kg K)]	Ειδική θερμοχωρητικότητα κατ' όγκο [MJ/(m³ K)]	Θερμική αγωγιμότητα [W/(m K)]
Χαλαζίας	2,65	733	1,942	8,4
Εδάφη	2,65	733	1,942	2,9
Εδάφη με οργανική ύλη	1,30	1926	2,503	0,25
Νερό	1,00	4186	4,186	0,6
Πάγος	0,90	2093	1,883	2,5
Αέρας	0,0012	1005	0,0012	0,026

2.4.4. Ιδιότητες εδαφών στην ελληνική επικράτεια

Στις ιστοσελίδες https://esdac.jrc.ec.europa.eu/, και http://mapsportal.ypen.gr/maps/289, δίνονται στοιχεία για την αναμενόμενη μορφολογία του υπεδάφους, το οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό συστημάτων γεωθερμίας και τον προσδιορισμό της αναμενόμενης απόδοσης του γεωεναλλάκτη με σχετική ακρίβεια.

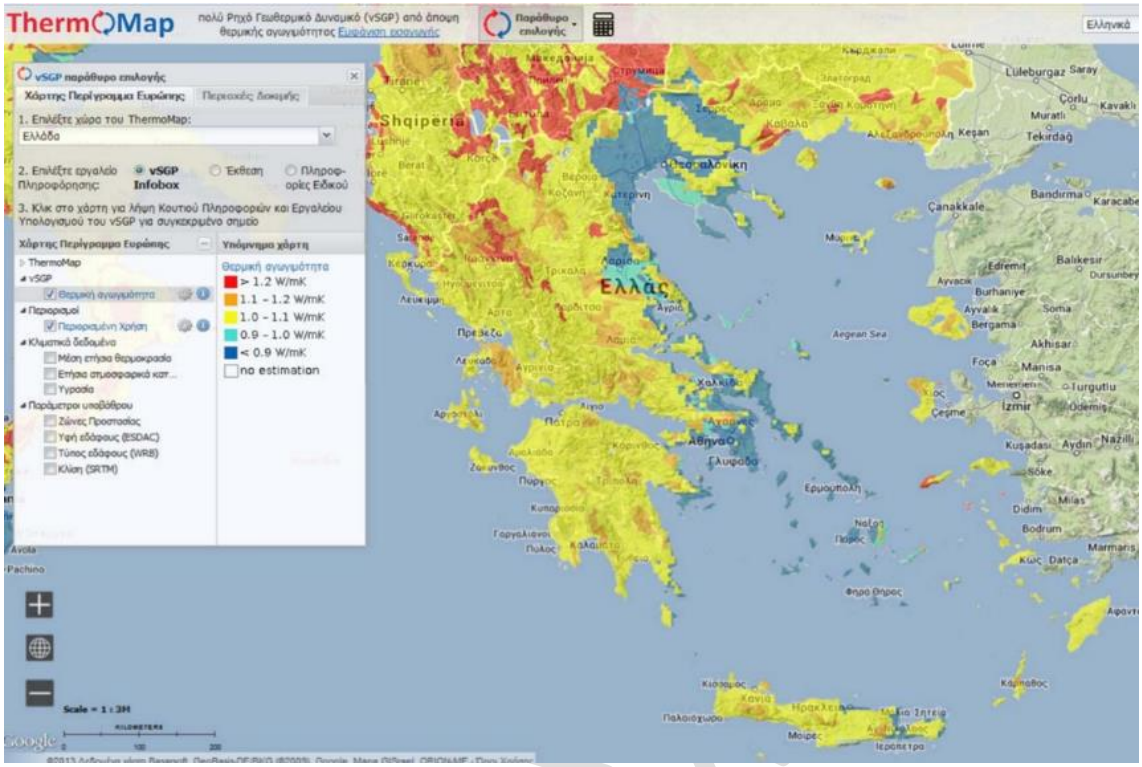


Σχήμα 2.4.3: Εδαφολογικός χάρτης Αττικής http://mapsportal.ypen.gr/maps/289.

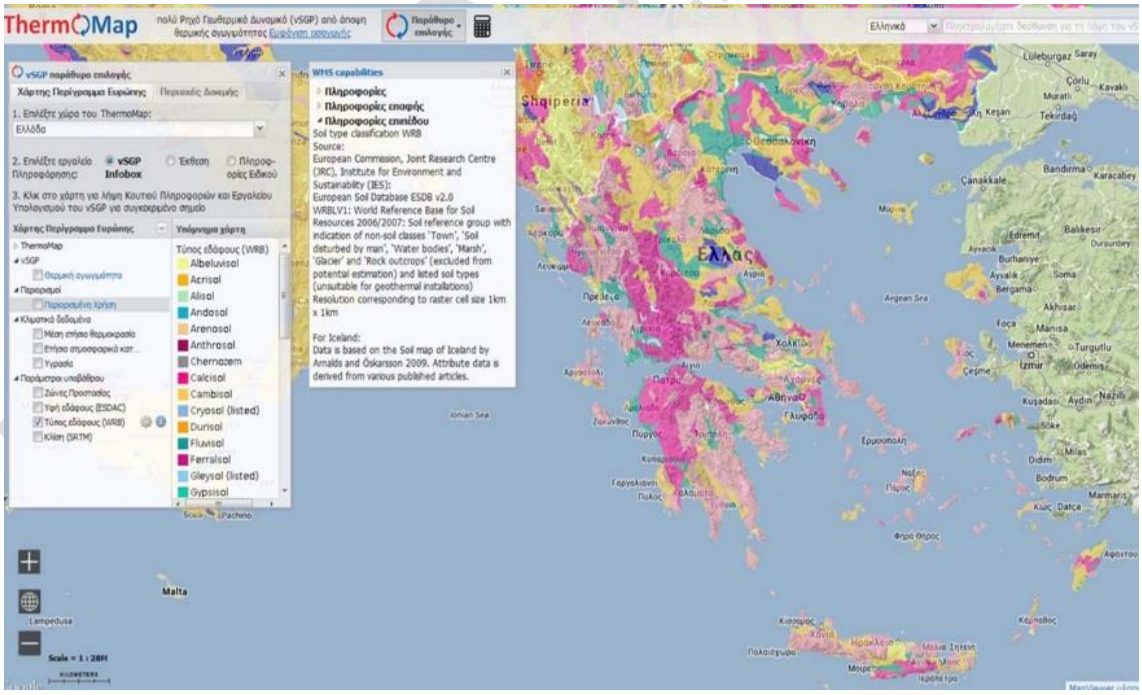
Σε περίπτωση ασαφών περιοχών τότε η καλύτερη μέθοδος είναι η εφαρμογή μεθόδου θερμικής απόκρισης η οποία πιστοποιεί την απόδοση του γεωεναλλάκτη ή τμήματος αυτού ακριβώς στην περιοχή εφαρμογής.

Στο Σχήμα 2.4.4 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των εδαφών της ελληνικής επικράτειας σε σχέση με την θερμική τους αγωγιμότητα όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα ThermoMap [https://www.thermomap.eu/]. Διακρίνονται οι περιοχές με τις εν γένει αναμενόμενες τιμές θερμικών

αγωγιμοτήτων. Αντίστοιχα, στο Σχήμα 2.4.5 παρουσιάζεται η κατανομή του είδους των εδαφών, κατά World Reference Base (WRB), για την ελληνική επικράτεια.



Σχήμα 2.4.4: Κατανομή τιμών θερμικής αγωγιμότητας λ επιφανειακών εδαφών στην Ελλάδα



Σχήμα 2.4.5: Κατανομή είδους επιφανειακών εδαφών στην Ελλάδα.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 2.4.4) δίνονται τυπικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας και θερμικής διάχυσης των υλικών του εδάφους κοντά στην επιφάνεια (εδαφικοί σχηματισμοί). Επίσης στον Πίνακας 2.4.5 δίνονται οι τιμές των θερμικών ιδιοτήτων διαφόρων πετρωμάτων που συναντώνται στο φλοιό της γης, όπου η μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα υλικά που συναντώνται στην επιφάνεια του εδάφους.

Πίνακας 2.4.4: Θερμική αγωγιμότητα και θερμική διάχυση εδαφικών σχηματισμών. [31]

Ξηρή πυκνότητα (kg/m³)	Υγρασία (%)	Χονδρόκοκκη άμμος: 0,075 έως 5 mm (> #200 τυπικό κοσκίνισμα)		Λεπτόκοκκος άργιλος: < 0,075 mm (< #200 τυπικό κοσκίνισμα)	
		Θερμική αγωγιμό-τητα (±20%) [W/(m K)]	Θερμική διάχυση (±20%) [m²/day]	Θερμική αγωγιμό-τητα (±20%) [W/(m K)]	Θερμική διάχυση (±20%) [m²/day]
1280	5	1,38	0,088	0,69	0,045
1280	10	1,47	0,079	0,73	0,039
1280	15	1,56	0,07	0,81	0,037
1280	20	1,64	0,066	0,87	0,034
1600	5	1,9	0,097	0,95	0,049
1600	10	2,51	0,096	0,95	0,041
1600	15	2,42	0,093	1,13	0,039
1600	20	2,68	0,086	1,21	0,045
1920	5	2,68	0,114	1,21	0,052
1920	10	2,94	0,104	1,21	0,043
1920	15	3,29	0,099	1,64	0,051

Πίνακας 2.4.5: Θερμικές ιδιότητες πετρωμάτων στους 25°C. [30]

Είδος πετρώματος	Θερμική αγωγιμότητα [W/(mK)]		Ειδική θερμότητα [kJ/(kg/K)]		Πυκνότητα [kg/m³]		Θερμική διάχυση [m²/day]	
	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή
Πυριγενή πετρώματα								
Γρανίτης (10% χαλαζίας)	1,9	5,2	0,88		2640		1,1	0,1
Γρανίτης (25% χαλαζίας)	2,6	3,6	0,88		2640		1,2	0,11
Αμφιβολίτης	2,6	3,8	—		2800	3120	—	—
Ανδεσίτης	1,6	2,4	0,50		2560		1,4	0,13
Βασάλτης	2,1	2,4	0,71–0,88		2880		0,8	0,07
Γάββρος (αποσαθρωμένος μανδύας, πεδιάδες)	1,6	2,8	0,75		2960		0,9	0,08
Γάββρος (πετρώδες βουνά)	2,1	3,6	0,75		2960		1,2	0,11
Διορίτης	2,1	2,9	0,92		2880		0,85	0,08
Γρανοδιορίτης	2,1	3,5	0,88		2720		1,1	0,1
Ιζηματογενή πετρώματα								
Άργιλος	1,9	2,9	—		—			
Δολομίτης	2,8	6,2	0,88		2720	2800	1,7	0,16
Ασβεστόλιθος	1,7	5,2	0,92		2400	2800	1,2	0,11
Ορυκτό αλάτι	—	6,4	0,84		2080	2160	—	—
Ψαμμίτης	2,1	3,5	1,0		2560	2720	0,95	0,09
Ιλυόλιθος	1,4	2,4	—		—	—		
Υγρός σχιστόλιθος (25% χαλαζίας)	1,7	3,1	0,88		2080	2640	—	—
Υγρός σχιστόλιθος (όχι χαλαζίας)	1,0	4,0	0,88		2080	2640	0,55	0,05
Ξηρός σχιστόλιθος (25% χαλαζίας)	1,4	2,4	0,88		2080	2640	0,85	0,08
Ξηρός σχιστόλιθος (όχι χαλαζίας)	0,9	1,4	0,88		2080	2640	0,5	0,05
Μεταμορφικά πετρώματα								
Γνευσίτης	2,2	3,5	0,92		2560	2800	1,05	0,1
Μάρμαρο	2,1	5,5	0,92		2720		1	0,09
Χαλαζίτης	5,2	6,9	0,84		2560		2,6	0,24
Σχιστόλιθος	2,1	4,5	-		2720	3200	—	—
Σχιστόλιθος	1,6	2,6	0,92		2720	2800	0,75	0,07

ΤΕΑΙΚΟΣ ΧΕΑΙΟ

2.5. Θερμοκρασία αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα είναι μια κλιματική παράμετρος που επηρεάζει άμεσα, εκτός από τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων, και την τελική ενεργειακή απόδοση ορισμένων συστημάτων Α.Π.Ε., όπως:

- τα Φ/Β συστήματα, καθώς η θερμοκρασία του αέρα επιδρά, μαζί με την ηλιακή ακτινοβολία, στη θερμοκρασία της επιφάνειας του Φ/Β και κατά συνέπεια στην ενεργειακή του απόδοση,
- οι ηλιακοί συλλέκτες, καθώς η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει τις θερμικές απώλειες της επιφάνειάς τους ή του συστήματος αποθήκευσης (θερμαντήρες),
- οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, καθώς η θερμοκρασία του αέρα, επηρεάζει και τη θερμοκρασία του εδάφους από το οποίο αντλούν θερμότητα.

Συνεπώς για τον σχεδιασμό εγκατάστασης συστημάτων Α.Π.Ε. σε κτίρια, είναι απαραίτητη η γνώση της διακύμανσης της θερμοκρασίας του αέρα όχι μόνο σε μηνιαία αλλά και σε ωριαία βάση. Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3[2], στο κεφάλαιο 2 δίνονται για διάφορες ελληνικές περιοχές (σταθμοί Ε.Μ.Υ.) οι συνθήκες σχεδιασμού χειμώνα και καλοκαίρι (μέση ελάχιστη ή μέγιστη θερμοκρασία αέρα για 1%, 2,5% και 5%, μέση μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας αέρα), η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (24ώρου ή ημερήσια), η μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα, η μέση απολύτως μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα, καθώς και οι καμπύλες των αθροιστικών κατανομών συχνοτήτων εμφάνισης των διαφόρων θερμοκρασιών για τη χειμερινή και θερινή περίοδο (για μικρά υψόμετρα κοντά σε θάλασσα). Όλα τα δεδομένα θερμοκρασιών που δίνονται στην ως άνω Τεχνική Οδηγία είναι απαραίτητα ανά περίπτωση για τον σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης ή δροσισμού κτιρίων.

Ωστόσο, για τον αναλυτικό υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης ενός συστήματος Α.Π.Ε. και την ορθή διαστασιολόγησή του, απαιτείται σε πολλές περιπτώσεις η γνώση της διακύμανσης της μέσης ωριαίας θερμοκρασία για κάθε μήνα, ή της ελάχιστης ωριαίας ή/και της μέγιστης ωριαίας θερμοκρασίας. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τις τιμές της ωριαίας θερμοκρασίας σε μια περιοχή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη εμπειρική εξίσωση (εξ. 2.5.1), η οποία προέκυψε από τις μέσες ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας αέρα στις ελληνικές περιοχές, σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της Ε.Μ.Υ. για την περίοδο 1990-2020. Η εξίσωση αυτή υπολογίζει τη μέση, μέγιστη και ελάχιστη ωριαία θερμοκρασία για κάθε μήνα, στις Ελληνικές περιοχές, σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος (φ), το γεωγραφικό μήκος (L), το υψόμετρο (A) και την ώρα (Ti) της ημέρας (UTC).

$$T_{air,im} = x_0 + x_1 \cdot \varphi + x_2 \cdot L + x_3 \cdot A + x_4 \cdot Ti + x_5 \cdot Ti^2 + x_6 \cdot Ti^3 + x_7 \cdot Ti^7 \qquad \text{(εξ. 2.5.1)}$$

Ο σταθερός όρος και οι συντελεστές της (εξ. 2.5.1) διαφοροποιούνται για κάθε μήνα, καθώς και για τη μέση, τη μέγιστη και την ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία. Στον Πίνακας 2.5.1 δίνονται οι συντελεστές υπολογισμού της θερμοκρασίας στη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή για τις ώρες ηλιοφάνειας (06:00 έως 18:00 UTC), οι οποίοι είναι σημαντικοί για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, στον Πίνακας 2.5.2 δίνονται οι συντελεστές υπολογισμού της θερμοκρασίας στη διάρκεια της νύχτας (18:00 έως 06:00 UTC). Τέλος στον Πίνακας 2.5.3 δίνονται οι συντελεστές υπολογισμού της θερμοκρασίας για όλη τη διάρκεια του 24ώρου, με χαμηλότερη όμως ακρίβεια. Στους ίδιους πίνακες δίνονται επίσης και τα αντίστοιχα μέσα σφάλματα (RMS) των υπολογιζόμενων ωριαίων θερμοκρασιών για κάθε μήνα, οι τιμές των οποίων κυμαίνονται μεταξύ 1,0°C και 2,0°C. Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας σε τοπική ώρα, θερινή (T_{LTS}) ή χειμερινή (T_{LTW}), τότε στην (εξ. 2.5.1), χρησιμοποιείται η ώρα UTC όπως προκύπτει ανάλογα την εποχή ως $Ti=T_{UTC}=T_{LTW}-2$ (χειμώνα) ή $Ti=T_{UTC}=T_{LTWS}-3$ (καλοκαίρι).

ΤΕΑΚΟΣΥΕΑΔ

*Πίνακας 2.5.1: Σταθεροί συντελεστές πολλαπλής πολυωνυμική προσέγγισης της (εξ. 2.5.1), για τον υπολογισμό της **μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας** θερμοκρασίας του αέρα για κάθε μήνα. Οι συντελεστές ισχύουν για τις ώρες 06:00 έως 18:00 UTC (08:00 έως 20:00 τοπική ώρα Ελλάδος).*

Σταθεροί συντελεστές για μέση ωριαία θερμοκρασία									R^2	Μέσο Σφάλμα (RMS)
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	48,1	-1,310	-0,070	-0,0075	1,91		-0,0042	4,3,E-09	0,88	1,2
ΦΕΒ	35,7	-1,006	-0,074	-0,0068	2,13		-0,0047	6,1,E-09	0,88	1,1
ΜΑΡ	24,7	-0,696	-0,061	-0,0056	2,33		-0,0054	7,7,E-09	0,86	1,0
ΑΠΡ	16,5	-0,385	0,000	-0,0052	2,12		-0,0050	6,5,E-09	0,84	0,9
ΜΑΙΟΣ	12,8	-0,114	-0,027	-0,0049	1,98		-0,0046	5,1,E-09	0,77	1,0
ΙΟΥΝ	13,3	-0,004	-0,021	-0,0039	1,92		-0,0042	3,5,E-09	0,68	1,4
ΙΟΥΛ	14,1	0,012	-0,036	-0,0039	2,09		-0,0047	4,8,E-09	0,67	1,3
ΑΥΓ	15,9	-0,061	-0,086	-0,0047	2,41		-0,0055	6,4,E-09	0,73	1,4
ΣΕΠΤ	23,6	-0,442	-0,002	-0,0055	2,60		-0,0062	9,2,E-09	0,83	1,1
ΟΚΤ	36,0	-0,852	-0,060	-0,0059	2,66		-0,0066	1,2,E-08	0,87	1,1
ΝΟΕΜ	43,1	-1,134	-0,033	-0,0074	2,41		-0,0061	1,2,E-08	0,89	1,1
ΔΕΚ	49,7	-1,331	-0,025	-0,0081	1,92		-0,0046	7,8,E-09	0,89	1,1
Σταθεροί συντελεστές για μέγιστη ωριαία θερμοκρασία									R^2	**Μέσο Σφάλμα (RMS)**
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	31,4	-0,718	0,047	-0,0059	1,50		-0,0034	3,7,E-09	0,84	1,0
ΦΕΒ	25,3	-0,547	0,004	-0,0049	1,68		-0,0036	2,4,E-09	0,80	1,0
ΜΑΡ	20,8	-0,442	-0,018	-0,0026	2,13		-0,0046	2,8,E-09	0,75	1,2
ΑΠΡ	18,9	-0,360	0,037	-0,0026	2,32		-0,0052	5,0,E-09	0,75	1,3
ΜΑΙΟΣ	16,1	-0,146	0,028	-0,0030	2,29		-0,0050	3,6,E-09	0,73	1,3
ΙΟΥΝ	15,6	-0,006	-0,002	-0,0024	2,25		-0,0047	1,8,E-09	0,66	1,7
ΙΟΥΛ	19,5	-0,077	-0,034	-0,0014	2,37		-0,0050	2,8,E-09	0,64	1,6
ΑΥΓ	17,2	-0,007	-,132	-0,0026	2,63		-0,0058	5,2,E-09	0,69	1,6
ΣΕΠΤ	19,8	-0,273	0,030	-0,0032	2,76		-0,0064	7,2,E-09	0,78	1,3
ΟΚΤ	32,7	-0,632	-0,056	-0,0033	2,66		-0,0065	1,0,E-08	0,83	1,1
ΝΟΕΜ	38,9	-0,807	-0,064	-0,0052	2,22		-0,0059	1,2,E-08	0,87	1,0
ΔΕΚ	37,3	-0,801	0,016	-0,0070	1,56		-0,0042	9,2,E-09	0,87	0,9
Σταθεροί συντελεστές για ελάχιστη ωριαία θερμοκρασία									R^2	**Μέσο Σφάλμα (RMS)**
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	57,5	-1,673	-0,179	-0,0091	2,05		-0,0047	7,3,E-09	0,85	1,5
ΦΕΒ	44,7	-1,348	-0,174	-0,0086	2,19		-0,0052	1,0,E-08	0,84	1,4
ΜΑΡ	36,5	-1,066	-0,113	-0,0085	1,99		-0,0048	9,9,E-09	0,83	1,3
ΑΠΡ	27,1	-0,748	0,021	-0,0080	1,74		-0,0043	8,4,E-09	0,87	1,1
ΜΑΙΟΣ	25,3	-0,476	0,014	-0,0079	1,22		-0,0030	5,4,E-09	0,87	0,9
ΙΟΥΝ	25,5	-0,422	0,064	-0,0071	1,47		-0,0036	5,9,E-09	0,86	1,1
ΙΟΥΛ	30,1	-0,490	0,046	-0,0075	1,74		-0,0045	8,8,E-09	0,84	1,0
ΑΥΓ	31,2	-0,555	0,016	-0,0080	2,08		-0,0052	9,3,E-09	0,84	1,2
ΣΕΠΤ	35,9	-0,860	0,083	-0,0076	2,12		-0,0054	1,1,E-08	0,86	1,1
ΟΚΤ	48,1	-1,257	-0,084	-0,0081	2,34		-0,0059	1,2,E-08	0,84	1,4
ΝΟΕΜ	48,7	-1,461	0,002	-0,0086	2,37		-0,0059	1,2,E-08	0,87	1,4
ΔΕΚ	57,6	-1,659	-0,119	-0,0092	1,95		-0,0046	7,6,E-09	0,85	1,5

ΤΕΑΚΟ ΣΥΕΑΙΟ

*Πίνακας 2.5.2: Σταθεροί συντελεστές πολλαπλής πολυωνυμική προσέγγισης της (εξ. 2.5.1), για τον υπολογισμό της **μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας** θερμοκρασίας του αέρα για κάθε μήνα. Οι συντελεστές ισχύουν για τις ώρες 18:00 έως 06:00 UTC (20:00 έως 08:00 τοπική ώρα Ελλάδος).*

Σταθεροί συντελεστές για μέση ωριαία θερμοκρασία									R^2	Μέσο Σφάλμα (RMS)
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	56,9	-1,410	0,198	-0,0064	-0,169		0,0011	-3,6,E-09	0,85	1,2
ΦΕΒ	47,2	-1,119	0,150	-0,0068	-0,166		0,0013	-4,2,E-09	0,84	1,1
ΜΑΡ	38,5	-0,858	0,159	-0,0060	-0,46	0,096	-0,0036	7,6,E-10	0,82	1,0
ΑΠΡ	30,5	-0,593	0,184	-0,0052	-0,93	0,269	-0,0127	1,1,E-08	0,83	0,9
ΜΑΙΟΣ	26,2	-0,371	0,181	-0,0051	-1,36	0,417	-0,0204	1,9,E-08	0,85	1,0
ΙΟΥΝ	24,8	-0,275	0,223	-0,0049	0,547		-0,0006	-2,1,E-09	0,71	1,4
ΙΟΥΛ	26,0	-0,247	0,266	-0,0049	-1,51	0,455	-0,0220	2,0,E-08	0,80	1,3
ΑΥΓ	30,7	-0,360	0,231	-0,0057	0,328		0,0001	-3,2,E-09	0,69	1,4
ΣΕΠΤ	40,8	-0,708	0,258	-0,0057	-0,88	0,239	-0,0110	8,7,E-09	0,82	1,1
ΟΚΤ	49,3	-0,988	0,211	-0,0064	-0,45	0,103	-0,0041	1,7,E-09	0,82	1,1
ΝΟΕΜ	55,0	-1,225	0,191	-0,0067	-0,127		0,0010	-3,3,E-09	0,84	1,1
ΔΕΚ	57,0	-1,377	0,211	-0,0071	-0,144		0,0009	-2,9,E-09	0,85	1,1
Σταθεροί συντελεστές για μέγιστη ωριαία θερμοκρασία									R^2	**Μέσο Σφάλμα (RMS)**
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	42,8	-0,842	0,133	-0,0073	-0,055		0,0005	-1,7,E-09	0,84	1,0
ΦΕΒ	37,3	-0,675	0,113	-0,0073	-0,042		0,0005	-2,0,E-09	0,80	1,0
ΜΑΡ	37,2	-0,650	0,124	-0,0050	-0,424	0,105	-0,0045	2,6,E-09	0,75	1,2
ΑΠΡ	40,7	-0,681	0,128	-0,0039	-0,717	0,210	-0,0098	8,2,E-09	0,75	1,3
ΜΑΙΟΣ	34,6	-0,446	0,163	-0,0044	-1,25	0,390	-0,0190	1,8,E-08	0,73	1,3
ΙΟΥΝ	27,4	-0,256	0,278	-0,0038	0,536		-0,0004	-2,9,E-09	0,66	1,7
ΙΟΥΛ	30,8	-0,263	0,258	-0,0030	-1,47	0,429	-,0,0204	1,8,E-08	0,64	1,6
ΑΥΓ	32,1	-0,262	0,171	-0,0041	0,321		0,0002	-3,6,E-09	0,69	1,6
ΣΕΠΤ	40,1	-0,538	0,201	-0,0051	-0,833	0,234	-0,0109	8,9,E-09	0,78	1,3
ΟΚΤ	50,8	-0,796	0,061	-0,0059	-0,338	0,083	-0,0034	1,5,E-09	0,83	1,1
ΝΟΕΜ	51,7	-0,880	0,029	-0,0067	-0,022		0,0004	-1,9,E-09	0,87	1,0
ΔΕΚ	46,0	-0,845	0,090	-0,0081	-0,038		0,0003	-1,2,E-09	0,87	0,9
Σταθεροί συντελεστές για ελάχιστη ωριαία θερμοκρασία									R^2	**Μέσο Σφάλμα (RMS)**
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	63,5	-1,789	0,278	-0,0066	-0,265		0,0016	-4,9,E-09	0,85	1,5
ΦΕΒ	54,5	-1,476	0,170	-0,0070	-0,263		0,0017	-5,3,E-09	0,81	1,4
ΜΑΡ	43,3	-1,141	0,192	-0,0069	-0,52	0,097	-0,0034	4,0,E-10	0,80	1,3
ΑΠΡ	35,4	-0,866	0,214	-0,0065	-1,03	0,280	-0,0131	1,1,E-08	0,82	1,1
ΜΑΙΟΣ	29,9	-0,585	0,181	-0,0062	-1,33	0,400	-0,0196	1,9,E-08	0,83	0,9
ΙΟΥΝ	29,8	-0,509	0,202	-0,0063	0,522		-0,0007	-9,6,E-10	0,76	1,1
ΙΟΥΛ	32,8	-0,540	0,304	-0,0065	-1,53	0,456	-0,0223	2,1,E-08	0,87	1,0
ΑΥΓ	41,1	-0,716	0,232	-0,0072	0,318		-0,0001	-2,1,E-09	0,76	1,2
ΣΕΠΤ	48,2	-1,040	0,300	-0,0064	-0,95	0,251	-0,0115	9,5,E-09	0,82	1,1
ΟΚΤ	58,4	-1,404	0,268	-0,0076	-0,49	0,092	-0,0033	5,9,E-10	0,82	1,4
ΝΟΕΜ	61,7	-1,636	0,318	-0,0064	-0,221		0,0014	-4,3,E-09	0,84	1,4
ΔΕΚ	63,7	-1,773	0,307	-0,0066	-0,266		0,0015	-4,3,E-09	0,85	1,5

ΤΕΑΚΟ ΥΑΕΑΝΟ

*Πίνακας 2.5.3: Σταθεροί συντελεστές πολλαπλής πολυωνυμική προσέγγισης της (εξ. 2.5.1), για τον υπολογισμό της **μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας** θερμοκρασίας του αέρα για κάθε μήνα. Οι συντελεστές ισχύουν τις 24 ώρες (UTC).*

Σταθεροί συντελεστές για μέση ωριαία θερμοκρασία									R^2	Μέσο Σφάλμα (RMS)
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	58,3	-1,334	0,029	-0,0071	-1,41	0,311	-0,0140	1,3,E-08	0,87	1,3
ΦΕΒ	47,3	-1,026	0,006	-0,0069	-1,46	0,329	-0,0149	1,3,E-08	0,87	1,2
ΜΑΡ	37,7	-0,741	0,012	-0,0059	-1,41	0,346	-0,0160	1,4,E-08	0,87	1,2
ΑΠΡ	28,1	-0,458	0,062	-0,0052	-1,11	0,324	-0,0156	1,5,E-08	0,89	1,0
ΜΑΙΟΣ	23,2	-0,217	0,049	-0,0049	-0,89	0,313	-0,0155	1,4,E-08	0,88	1,2
ΙΟΥΝ	22,0	-0,103	0,080	-0,0043	-0,81	0,311	-0,0155	1,4,E-08	0,84	1,4
ΙΟΥΛ	23,6	-0,084	0,087	-0,0043	-0,97	0,333	-0,0163	1,5,E-08	0,82	1,5
ΑΥΓ	27,5	-0,143	0,038	-0,0050	-1,25	0,375	-0,0181	1,6,E-08	0,82	1,5
ΣΕΠΤ	37,7	-0,523	0,089	-0,0055	-1,40	0,386	-0,0184	1,7,E-08	0,87	1,3
ΟΚΤ	49,1	-0,871	0,032	-0,0062	-1,49	0,375	-0,0176	1,7,E-08	0,87	1,3
ΝΟΕΜ	55,6	-1,144	0,046	-0,0072	-1,44	0,335	-0,0155	1,5,E-08	0,88	1,2
ΔΕΚ	59,0	-1,330	0,064	-0,0078	-1,27	0,284	-0,0130	1,2,E-08	0,87	1,3
Σταθεροί συντελεστές για μέγιστη ωριαία θερμοκρασία									R^2	**Μέσο Σφάλμα (RMS)**
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	41,2	-0,767	0,083	-0,0063	-1,06	0,25	-0,0114	1,1,E-08	0,83	1,1
ΦΕΒ	35,1	-0,573	0,048	-0,0059	-1,22	0,29	-0,0134	1,3,E-08	0,83	1,1
ΜΑΡ	33,9	-0,507	0,032	-0,0037	-1,43	0,36	-0,0168	1,6,E-08	0,80	1,4
ΑΠΡ	34,8	-0,483	0,059	-0,0032	-1,33	0,37	-0,0178	1,7,E-08	0,82	1,4
ΜΑΙΟΣ	29,9	-0,271	0,073	-0,0035	-1,16	0,38	-0,0185	1,7,E-08	0,85	1,4
ΙΟΥΝ	25,5	-0,090	0,113	-0,0031	-1,09	0,38	-0,0185	1,6,E-08	0,82	1,7
ΙΟΥΛ	29,7	-0,129	0,081	-0,0022	-1,31	0,40	-0,0191	1,6,E-08	0,81	1,7
ΑΥΓ	29,7	-0,072	-0,014	-0,0033	-1,42	0,41	-0,0199	1,8,E-08	0,80	1,7
ΣΕΠΤ	35,8	-0,356	0,088	-0,0040	-1,59	0,43	-0,0207	2,0,E-08	0,85	1,4
ΟΚΤ	47,6	-0,662	-0,018	-0,0045	-1,51	0,39	-0,0183	1,8,E-08	0,85	1,3
ΝΟΕΜ	51,0	-0,822	-0,026	-0,0057	-1,20	0,30	-0,0141	1,4,E-08	0,85	1,1
ΔΕΚ	46,1	-0,817	0,048	-0,0075	-0,89	0,21	-0,0100	1,0,E-08	0,87	1,0
Σταθεροί συντελεστές για ελάχιστη ωριαία θερμοκρασία									R^2	**Μέσο Σφάλμα (RMS)**
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7		
ΙΑΝ	66,7	-1,683	-0,016	-0,0082	-1,45	0,308	-0,0136	1,2,E-08	0,84	1,7
ΦΕΒ	55,9	-1,364	-0,058	-0,0080	-1,40	0,301	-0,0133	1,1,E-08	0,82	1,6
ΜΑΡ	45,7	-1,075	-0,011	-0,0079	-1,14	0,270	-0,0122	1,0,E-08	0,83	1,4
ΑΠΡ	35,5	-0,793	0,087	-0,0073	-0,82	0,245	-0,0117	1,1,E-08	0,87	1,1
ΜΑΙΟΣ	30,0	-0,531	0,080	-0,0070	-0,41	0,181	-0,0092	8,7,E-09	0,86	1,0
ΙΟΥΝ	30,3	-0,459	0,122	-0,0066	-0,46	0,221	-0,0113	1,1,E-08	0,89	1,0
ΙΟΥΛ	34,7	-0,504	0,157	-0,0069	-0,62	0,245	-0,0123	1,2,E-08	0,88	1,1
ΑΥΓ	40,3	-0,595	0,092	-0,0077	-0,95	0,302	-0,0148	1,4,E-08	0,87	1,2
ΣΕΠΤ	46,8	-0,918	0,163	-0,0070	-1,02	0,290	-0,0139	1,3,E-08	0,87	1,2
ΟΚΤ	58,8	-1,272	0,043	-0,0081	-1,29	0,312	-0,0144	1,3,E-08	0,83	1,6
ΝΟΕΜ	61,5	-1,493	0,111	-0,0079	-1,47	0,329	-0,0149	1,4,E-08	0,85	1,6
ΔΕΚ	66,3	-1,662	0,034	-0,0083	-1,40	0,295	-0,0131	1,2,E-08	0,84	1,7

ΤΕΑΚΟ ΥΕΑΑΟ

2.5.1. Διαθέσιμα δεδομένα θερμοκρασίας αέρα

Δεδομένα για τη θερμοκρασία του αέρας σε περιοχές της Ελλάδας υπάρχουν διαθέσιμα σε πολλές δημοσιεύσεις [5-7, 32-35] και σε επιστημονικούς φορείς [4, 36], τα οποία προκύπτουν από μετρήσεις, αλλά και την ανάπτυξη κατάλληλων υπολογιστικών μεθοδολογιών (μοντέλων). Οι μεθοδολογίες αυτές βασίζονται σε χρονοσειρές δεδομένων από μετρήσεις σε συγκεκριμένες περιοχές στο Ελλαδικό χώρο όπως αυτές της ΕΜΥ, σε μετρήσεις από δορυφόρους, κ.ά. και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα την εφαρμογή και το είδος της μελέτης. Μεταξύ άλλων, διαθέσιμα δεδομένα θερμοκρασίας αέρα υπάρχουν στις ακόλουθες πηγές:

1. Στην ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας [4] υπάρχουν διαθέσιμα «Κλιματικά Δεδομένα για επιλεγμένους σταθμούς στην Ελλάδα», μεταξύ των οποίων:

- Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία
- Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία
- Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία.
- Ιστοσελίδα δεδομένων: **http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city**

Επίσης στην ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας υπάρχει ο «Κλιματικός Άτλαντας της Ελλάδας 1971-2000», στου οποίο υπάρχουν δεδομένα για τη μέση, μέγιστη και ελάχιστη μηνιαία αλλά και ετήσια θερμοκρασία αέρα. **http://climatlas.hnms.gr/**, με ανάλυση 30 arcseconds.

2. Στην Ιστοσελίδα του «ΜΕΤΕΟ, **www.meteo.gr**», στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών [36] δίνονται δεδομένα για τις θερμοκρασίες του αέρα (μέση, μέγιστη, ελάχιστη), σε ωριαία, μηνιαία και ετήσια βάση, ανά περιοχή, όπου υπάρχουν εγκατεστημένοι σταθμοί μέτρησης του ΜΕΤΕΟ:

- Κλιματικά Δελτία ΜΕΤΕΟ: **https://www.meteo.gr/climatic.cfm**
- Μετεωρολογικοί Σταθμοί Δικτύου ΜΕΤΕΟ: **https://www.meteo.gr/Gmap.cfm**

3. Στον ιστότοπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «Copernicus: Climate Data Store» **https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home**, υπάρχουν διαθέσιμα ωριαία ή και μηνιαία δεδομένα θερμοκρασίας αέρα και ταχύτητας ανέμου, σε πλέγμα 0,25° × 0,25° επάνω από ξηρά και θάλασσα και 0,1° × 0,1° επάνω από την ξηρά, σε ύψος 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της περιοχής, αλλά και σε διάφορα ισοβαρικά επίπεδα. Τα δεδομένα έχουν προκύψεις από υπολογιστικά μοντέλα, βασισμένα σε μετρήσεις, για την περίοδο από το 1979 έως σήμερα.

π.χ. **ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present**

2.6. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Climatological maps of solar energy in Greece. Laboratory of Atmospheric Physics, http://atmosphere-upatras.gr/solarmaps,
2. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών». Γ' Έκδοση, 2014.
3. Αθηνά Γαγλία, Διδακτορική Διατριβή «Μοντελοποίηση της Απόδοσης των Κρυσταλλικών Φωτοβολταϊκών στις Κλιματικές Συνθήκες της Ελλάδας. Περίπτωση Εφαρμογής σε Κτίρια». Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2019.
4. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2017. http://www.hnms.gr
5. Γ. Κορνάρος. «Κλιματικά Στοιχεία των Σταθμών της ΕΜΥ - Περίοδος 1955 έως 1997». Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία - ΕΜΥ, Δ/νση Κλιματολογίας, Τμήμα Ελέγχου Επεξεργασίας. Αθήνα 1999.
6. Α. Πελεκάνος και Κ. Παπαχριστόπουλος, «Σύνταξη πινάκων μετεωρολογικών στοιχείων για ηλιακές εφαρμογές των κυριότερων πόλεων της Ελλάδος». Πρακτικά Α' Εθνικού Συνεδρίου Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Θεσσαλονίκη 20-22 Οκτωβρίου, 1982. Τόμος Α' σελ. ΜΕΤ 41 - ΜΕΤ 75.
7. Βαζαίος, Ε. «Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας». Γ' έκδοση, Αθήνα (1987).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

8. Δ.Π. Λάλας, Δ.Κ. Πισιμάνης, Β.Α. Νοταρίδου, «Μέθοδοι υπολογισμού εντάσεως ηλιακής ακτινοβολίας σε αυθαίρετης κλίσεως επίπεδο και πίνακες για 30°, 45° και 60° στον Ελληνικό χώρο». Τεχνικά Χρονικά - Β, Τόμος 2, Τεύχος 3-4, 1982.
9. J.A. Duffie, W.A. Beckman et al. « Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind ». 5nd Edition, John Wiley & Sons, 2020.
10. A. P. Matzarakis and V. D. Katsoulis. «Sunshine duration hours over the Greek region». Theor. Appl. Climatol. 83, 107-120, 2006.
11. K. Zabara. «Esimation of the Global Solar Radiation In Greece». Solar & Wind Technology Vol. 3, No. 4, pp. 267 272, 1986.
12. A. A. Flocas. «Estimation and Prediction of Global Solar Radiation over Greece». Solar Energy Vol. 24, pp. 63-70, 1980.
13. M.C. Kotti, A.A. Argiriou, A. Kazantzidis. Estimation of direct normal irradiance from measured global and corrected diffuse horizontal irradiance. Energy, 70 (2014), 382-392.
14. Pierre Ineichen. Validation of Models that Estimate the Clear Sky Global and Beam Solar Irradiance. Solar Energy, 132: 332-344, 2016.
15. Jacovides, C., Kaltsounidis, N., Flocas, HA, Assimakopoulos, DN., «Spectral investigation of the diffuse-to-direct solar beam irradiances ratio (UV-VIS) in the urban Athens atmosphere. Meteorology and Atmospheric Physics, 104: 199-211, 2009.
16. EN 15316-4-3:2017 : Energy performance of buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar and photovoltaic systems, Module M3-8-3, M8-8-3, MII-8-3.
17. Μπεργελές Γ., 1994, "Ανεμοκινητήρες", Εκδόσεις. Συμεών, Αθήνα.
18. Καλδέλλης Ι.Κ., 2005, "Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας", 2η Έκδοση, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 1999.
19. Α.Γ. Γαγλία, Ψηφιακό εκπαιδευτικό περιεχόμενο για «Ενεργειακά συστήματα Α.Π.Ε. και συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας (Π 2.3.)», Συγγραφή ψηφιακού εκπαιδευτικού περιεχομένου, του υποέργου [2], «Ανάπτυξη Δικτύου, Υλοποίηση Υποσυστήματος on line Εκπαίδευσης Ξένων Γλωσσών και Συγγραφή Ηλεκτρονικού Εκπαιδευτικού Περιεχομένου σε Θέματα Αρμοδιότητας ΤΕΕ», «Ολοκληρωμένο Σύστημα Τηλε-Εκπαίδευσης Μηχανικών – Τεχνικών» Κωδικός ΟΠΣ 296117. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Οκτώβριος 2014 - Αύγουστος 2015.
20. V. Kotroni, K. Lagouvardos, S. Lykoudis, «High-resolution model-based wind atlas for Greece». Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 30 (2014): pp 479–489.
21. Lalas, D.P., Tselepidaki, H., Theoharatos, G., «An analysis of wind potential in Greece», Journal of Solar Energy, vol. 30/ 6 (1983), p.p. 497-505.
22. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. www.cres.gr.
23. Αργυρίου Αθανάσιος. Κεφ. 2 – «Αεραγωγοί Εδάφους». Βιβλίο της σειράς εκπαιδευτικών βοηθημάτων, Εκπαίδευσης από Απόσταση, Πρόγραμμα Εξειδίκευσης "Αποθήκευση και Εξοικονόμηση Ενέργειας"
24. Βραχόπουλος, Μ., Κούκου, Μ., Καρύτσας, Κ., 2015. Κανονική γεωθερμία - αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: http://hdl.handle.net/11419/4773
25. ASHRAE Handbook - HVAC Applications. Atlanta, Chapter 35 Geothermal Energy (2019): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
26. Kasuda, T. and Archenbach, P. R. Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States. ASHRAE Transactions. Vol. 71, 1965.
27. K. Terzaghi and R. Brazelton Peck, Soil mechanics in engineering practice, Wiley, 1967.
28. Ν.Θ. Παπαμίχος, «Δασικά εδάφη: Σχηματισμός – Ιδιότητες – Συμπεριφορά», Θεσσαλονίκη, 1996.
29. G. S. Campbell, C. Callissendrorff, and J.H. Williams, "Probe for measuring soil specific heat using a heat pulse method", Soil Science Society of America Journal, 55, pp. 291 - 293, 1991.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

30. VDI 4640 Part 1: 2010-06, Thermal use of the underground Fundamentals, approvals, environmental aspects, 2010.
31. S.P. Kavanaugh & K.D. Rafferty, Geothermal Heating and Cooling: Design of Ground-Source Heat Pump system, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2014.
32. A. Mamara, A. A. Argiriou and M. Anadranistakis, «Homogenization of mean monthly temperature time series of Greece». International Journal Climatology. 33: 2649-2666 2013.
33. Flocas H.A, Tolika K., Anagnostopoulou C., Patrikas I., Maheras P. and Vafiadis M. Evaluation of maximum and minimum temperature NCEP-NCAR reanalysis data over the Greek area. Theoretical and Applied Climatology, 80: 49-65, 2005.
34. Philipopoulos K, Deligiorgi D., Yiannikopoulou I. Flocas H A. A Dynamical-Statistical Downscaling Approach for Simulating Air Temperature Time Series. Global Nest, 15: 261-270, 2013.
35. F. Droulia, S. Lykoudis, I. Tsiros, N. Alvertos, E. Akylas, I. Garofalakis, «Ground temperature estimations using simplified analytical and semi-empirical approaches». Solar Energy 83 (2009) 211–219.
36. ΜΕΤΕΟ, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. www.meteo.gr.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3. Ηλιοθερμικά συστήματα

3.1. Γενικά στοιχεία

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα ή αλλιώς ηλιοθερμικά (Η/Θ) συστήματα αποτελούν διατάξεις που αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για παραγωγή θερμικής ενέργειας (θερμότητας) ή έμμεσα και ηλεκτρικής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες υπέρθερμου ρευστού με ατμοστρόβιλο). Η ηλιακή ακτινοβολία «συλλέγεται» από τη συλλεκτική επιφάνεια (ή επιφάνεια απορρόφησης ή απορροφητής ή απορροφητήρας ή απορροφητική επιφάνεια) και μετατρέπεται σε θερμότητα αυξάνοντας τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Ανάλογα με το μηχανισμό που χρησιμοποιούν τα Η/Θ για τη μετάδοση της παραγόμενης θερμότητας, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε παθητικά και ενεργητικά συστήματα.

Ως **παθητικά ηλιακά** συστήματα χαρακτηρίζονται αυτά που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, χωρίς την κατανάλωση άλλης μορφής συμβατικής ενέργειας. Ο όρος παθητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιείται κυρίως για τις δομικές κατασκευές (δομικά στοιχεία, συμπαγή ή μη) του κτιριακού κελύφους, τα οποία έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στο εσωτερικό του κτιρίου με τη μορφή θερμικής ενέργειας. Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται με φυσικούς μηχανισμούς όπως αγωγή, ακτινοβολία και συναγωγή στα συμπαγή στοιχεία ή/και διαπερατότητα στα μη συμπαγή στοιχεία (υαλοπίνακες). Τα συστήματα αυτά είναι αποδοτικά για τη μείωση των φορτίων θέρμανσης χώρου, εφόσον υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας (π.χ. εκτός πυκνού αστικού ιστού). Τα πιο κοινά παθητικά Η/Θ συστήματα είναι, το προσαρτημένο θερμοκήπιο (ηλιακό αίθριο), ο τοίχος μάζας, ο τοίχος Trombe, κ.ά. Τα παραπάνω συστήματα αναλύονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-6 [1] ενώ η συνεισφορά τους στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων λαμβάνεται υπόψη όπως αναλύεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 [2].

Ωστόσο, ως παθητικά ηλιακά συστήματα χαρακτηρίζονται και οι ηλιακοί συλλέκτες (Η.Σ.) που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια χωρίς τη κατανάλωση άλλης μορφής ενέργειας, όπως για παράδειγμα είναι οι Η.Σ. φυσικής κυκλοφορίας του θερμού νερού (θερμοσιφωνικό φαινόμενο) και οι Η.Σ. με θερμοαπαγωγό μέσο τον αέρα που προσαρμόζονται στο κτιριακό κέλυφος προθερμαίνοντας, είτε τον εσωτερικό αέρα του χώρου που κυκλοφορεί φυσικά στον συλλέκτη, είτε τον εισερχόμενο νωπό αέρα κλιματισμού.

Ως **ενεργητικά Η/Θ συστήματα**, χαρακτηρίζονται αυτά που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, αλλά για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνται διατάξεις που καταναλώνουν άλλης μορφής συμβατικής ενέργειας, όπως κυκλοφορητές, ηλεκτροβάνες κ.λπ. Οι Η.Σ. βεβιασμένης κυκλοφορίας είναι τα πιο χαρακτηριστικά ενεργητικά Η/Θ συστήματα και χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες στους επίπεδους (για θερμοκρασίες ρευστού 40 ^{o}C έως 150 ^{o}C) και στους συγκεντρωτικούς με κάτοπτρα (για θερμοκρασίες ρευστού άνω των 150 ^{o}C, υπέρθερμος ατμός).

Οι επίπεδοι Η.Σ. νερού ή αέρα χρησιμοποιούνται συνήθως σε κτίρια, κυρίως για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.), για τη θέρμανση ή/και ψύξη χώρων. Εκτός από τα κτίρια οι επίπεδοι Η.Σ. συχνά χρησιμοποιούνται στη γεωργία για την ξήρανση προϊόντων, την απόσταξη και άλλες εφαρμογές. Η θερμότητα που παράγεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στη συλλεκτική επιφάνεια ενός Η.Σ. μεταφέρεται στο ρευστό (υγρό ή αέριο), που κυκλοφορεί κάτω από την επιφάνεια μέσω σωλήνα (σερπαντίνα), το οποίο χαρακτηρίζεται ως θερμοαπαγωγό ρευστό/μέσο. Το θερμοαπαγωγό ρευστό μπορεί να είναι υγρό (νερό ή μίγμα νερού με πρόσθετα για αντιδιαβρωτική και αντιπαγετική προστασία) ή αέρας. Το θερμό ρευστό χρησιμοποιείται απευθείας (ανοικτού κυκλώματος συλλέκτης) ή μέσω εναλλάκτη (κλειστού κυκλώματος συλλέκτης).

Τα Η/Θ συστήματα διαθέτουν συνήθως σύστημα αποθήκευσης του θερμού νερού, κοινώς θερμοδοχείο ή θερμαντήρας ή δεξαμενή αποθήκευσης ή δεξαμενή ζεστού νερού ή μπόιλερ ή αποθήκη ζεστού νερού.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιοθερμικών συστημάτων

Τα Η/Θ συστήματα ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες [3-4]:

- ***Συστήματα φυσικής κυκλοφορίας (ή θερμοσιφωνικά)***. Η κυκλοφορία του νερού στο συλλέκτη γίνεται με φυσική ροή (θερμοσιφωνικό φαινόμενο), λόγω διαφοράς του ειδικού βάρους ζεστού και κρύου νερού. Δεν απαιτείται κυκλοφορητής, όργανα ελέγχου ή αυτοματισμοί και χαρακτηρίζεται από την ευκολία στην εγκατάσταση και το χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Το βασικό μειονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος οφείλεται στο ότι το θερμοδοχείο θα πρέπει να τοποθετείται πάνω από τη συλλεκτική επιφάνεια για να επιτυγχάνεται η φυσική ροή του ρευστού, σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή. Συνεπώς, το θερμοδοχείο βρίσκεται εκτεθειμένο στο περιβάλλον και οι θερμικές του απώλειες επηρεάζονται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η κυκλοφορία του ρευστού μέσα από τη συλλεκτική επιφάνεια του Η.Σ. παρουσιάζει διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού που εξαρτάται από την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (απώλειες), και τη θερμοκρασία του αποθηκευμένου νερού στο θερμοδοχείο.
- ***Συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας.*** Είναι συστήματα κλειστού κυκλώματος καθώς μεταξύ των ηλιακών συλλεκτών και του θερμοδοχείου παρεμβάλλεται εναλλάκτης θερμότητας. Η κυκλοφορία του νερού στο συλλέκτη γίνεται με τη χρήση κυκλοφορητή και το υδραυλικό κύκλωμα περιλαμβάνει επίσης βαλβίδες, ηλεκτροβάνες, συστήματα αυτομάτου ελέγχου κ.ά., τα οποία καταναλώνουν μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Ο έλεγχος λειτουργίας του κυκλοφορητή (έναρξη, διακοπή, χρονική απόκριση κ.λπ.) πραγματοποιείται από μονάδα αυτομάτου ελέγχου (controller), με διαφορικούς θερμοστάτες που καταγράφουν τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του θερμοαπαγωγού ρευστού των ηλιακών συλλεκτών, τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του θερμοδοχείου κ.ά. Καθώς η μεταφορά θερμότητας από τη συλλεκτική επιφάνεια στο θερμοδοχείο γίνεται με μηχανικά μέσα, δεν περιορίζεται η επιλογή θέσης του θερμοδοχείου. Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών, το θερμοδοχείο εγκαθίσταται σε εσωτερικό χώρο, όπως στο λεβητοστάσιο ή το μηχανοστάσιο του κτιρίου. Τα Η/Θ συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις κτιρίων με μεγάλες απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια (ξενοδοχεία, αθλητικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία, πολυκατοικίες κ.ά.), για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., τη θέρμανση ή/και την ψύξη χώρων με συστήματα απορρόφησης/προσρόφησης (π.χ. ενδοδαπέδια θέρμανση), τη θέρμανση πισινών κ.ά. Η βεβιασμένη κυκλοφορία είναι απαραίτητη και στην περίπτωση μεγάλης απόστασης μεταξύ του σημείου παραγωγής θερμού νερού από το Η.Σ. και του σημείου κατανάλωσης ή αποθήκευσης.

Τα Η/Θ συστήματα ανάλογα με τη χρήση του παραγόμενου θερμού νερού διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- ***Συστήματα παραγωγής Ζ.Ν.Χ.*** Είναι συστήματα που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ.. Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα σε κτίρια στον ελλαδικό χώρο.
- ***Συστήματα συνδυασμένης λειτουργίας (Solar Combi System)***. Είναι συστήματα που συνδυάζουν την παραγωγή θερμού νερού για διαφορετικές χρήσεις, όπως το Ζ.Ν.Χ. και η θέρμανση χώρων, ή/και η ψύξη χώρων (Combi plus). Η απαιτούμενη θερμοκρασία για τις επιμέρους χρήσεις είναι διαφορετική και για το λόγο αυτό υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης του θερμού νερού:
  α) σε κοινό θερμοδοχείο κάθετα τοποθετημένο (θερμοκρασιακής διαστρωμάτωσης),
  β) σε διαφορετικά θερμοδοχεία, ένα για κάθε χρήση, ή
  γ) σε ένα θερμοδοχείο που περικλείει ένα δεύτερο μικρότερων διαστάσεων θερμοδοχείο (κοινώς δοχείο σε δοχείο ή “tank in tank”), όπου υπάρχει μεταξύ τους συναλλαγή θερμότητας αλλά όχι ανάμιξη περιεχομένου.

Η παρούσα οδηγία ασχολείται με Η/Θ συστήματα επίπεδων Η.Σ. (βεβιασμένης ή φυσικής κυκλοφορίας), τα οποία έχουν τη δυνατότητα παραγωγής θερμού νερού σε θερμοκρασίες από 40 ^{o}C έως 150 ^{o}C, ανάλογα με τον τύπο του συλλέκτη (π.χ. χωρίς διαφανές κάλυμμα, με μονό τζάμι, με διπλό τζάμι, συλλέκτης κενού) για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ. ή/και τη θέρμανση χώρων.

3.2.1. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Οι επίπεδοι Η.Σ. ταξινομούνται κυρίως ανάλογα με το προστατευτικό διαφανές κάλυμμα που διαθέτουν, όπως, απλό γυαλί, διπλό γυαλί, πλαστικό (plexiglass), ειδικό γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο ή γυάλινους σωλήνες κενού ή χωρίς κάλυμμα, αλλά και ανάλογα με τη μέθοδο βαφής της συλλεκτικής επιφάνειας.

- ***Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς διαφανές κάλυμμα***. Είναι η πιο απλή και οικονομική τεχνολογία ηλιακού συλλέκτη καθώς δεν διαθέτουν διαφανές κάλυμμα και θερμομόνωση του απορροφητή, και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιακών απαιτήσεων μέχρι 30 ^{o}C (π.χ. θέρμανση νερού πισίνας). Η απόδοσή τους επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και δεν συνιστώνται σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες.
- ***Ηλιακοί συλλέκτες με μονό διαφανές κάλυμμα***. Αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνολογία Η.Σ. με ευρεία χρήση κυρίως για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. στα κτίρια, σε θερμοκρασίες 40-60 ^{o}C. Η χρήση του διαφανούς καλύμματος μειώνει τις θερμικές απώλειες της συλλεκτικής/ απορροφητικής επιφάνειας, καθώς εγκλωβίζει τη θερμότητα μεταξύ αυτής και του διαφανούς καλύμματος.
- ***Ηλιακοί συλλέκτες με διπλό διαφανές κάλυμμα***. Είναι κατάλληλοι για εφαρμογές σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, καθώς και για εφαρμογές με απαιτήσεις θερμοκρασίας θερμού ρευστού μέχρι και 80 ^{o}C, τόσο για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ. όσο και για τη θέρμανση χώρων. Η χρήση διπλού διαφανούς καλύμματος μειώνει περαιτέρω τις θερμικές απώλειες της συλλεκτικής/απορροφητικής επιφάνειας προς το περιβάλλον.
- ***Ηλιακοί συλλέκτες με επιλεκτική βαφή***. Οι Η.Σ. με επιλεκτική βαφή διαθέτουν επιφάνεια απορρόφησης βαμμένη συνήθως σε μαύρο χρώμα με υψηλή περιεκτικότητα σε τιτάνιο. Το μαύρο χρώμα εφαρμόζεται στη μεταλλική συλλεκτική επιφάνεια με ειδική επεξεργασία αυξάνοντας τον συντελεστή απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας (~95%) και μειώνοντας παράλληλα το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Οι επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές οικιακής χρήσης, με απαιτήσεις θερμού ρευστού μέχρι και 80 ^{o}C, όπως για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., τη θέρμανση χώρων ή/και την ψύξη χώρων, σε συνδυασμό και με μονάδες αφαλάτωσης.
- ***Ηλιακοί συλλέκτες κενού***. Η συλλεκτική/απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται μέσα σε γυάλινο σωλήνα κενού και εφάπτεται συνήθως με χαλκοσωλήνα στον οποίο κυκλοφορεί πτητικό (εξάτμιση σε χαμηλές θερμοκρασίες) θερμοαπαγωγό ρευστό. Ο σωλήνας κενού περιορίζει σημαντικά τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Το πτητικό ρευστό μεταφέρει τη θερμότητα μέσω εναλλάκτη στο νερό της δεξαμενής αποθήκευσης. Οι συλλέκτες κενού χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές με απαιτήσεις θερμού ρευστού από 80 ^{o}C έως και 150 ^{o}C, όπως είναι οι βιομηχανικές εφαρμογές, οι μονάδες αφαλάτωσης, η ψύξη χώρων μέσω συστημάτων απορρόφησης προσρόφησης κ.ά. Διατηρούν υψηλή απόδοση ακόμη και κατά τη διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών. Είναι ιδανικοί για εγκατάσταση σε στέγες με πολύ μικρή κλίση, όπου οι άλλες κατηγορίες επίπεδων ηλιακών συλλεκτών δεν αποδίδουν, καθώς και σε ψυχρά κλίματα.

Οι επίπεδοι Η.Σ. ανάλογα με το θερμοαπαγωγό ρευστό που χρησιμοποιούν ταξινομούνται σε:

- ***Ηλιακοί συλλέκτες νερού***. Στη συντριπτική πλειοψηφία τους οι Η.Σ. χρησιμοποιούν νερό ή μίγμα νερού-γλυκόλης ως θερμοαπαγωγό ρευστό.
- ***Ηλιακοί συλλέκτες αέρα***. Λιγότερο διαδεδομένος τύπος επίπεδου Η.Σ., είναι αυτός που χρησιμοποιεί τον αέρα ως θερμοαπαγωγό ρευστό. Χρησιμοποιείται κυρίως σε γεωργικές εφαρμογές, ξήρανση προϊόντων κ.λπ. Για την παραγωγή θερμού νερού παρεμβάλλεται εναλλάκτης αέρα/νερού. Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο συλλέκτης αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και στην απευθείας προθέρμανση εσωτερικών χώρων, με ανακυκλοφορία του εσωτερικού αέρα μέσω της συλλεκτικής επιφάνειας.
- ***Ηλιακοί συλλέκτες κενού***. Όπως ήδη αναφέρθηκε οι Η.Σ. κενού χρησιμοποιούν πτητικό θερμοαπαγωγό ρευστό.

ΤΕΑΙΚΟΣ ΛΕΜΟ

3.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακών συλλεκτών

Η θερμική απόδοση των Η.Σ. επηρεάζεται από τα υλικά και τον τύπο κατασκευής τους. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Η.Σ. που διαμορφώνουν την τελική ενεργειακή απόδοση τους είναι ο συντελεστής θερμικής απολαβής (F_R) του Η.Σ., ο συντελεστής διαπερατότητας (τ) στην ηλιακή ακτινοβολία του διαφανούς καλύμματος του Η.Σ., ο συντελεστής απορροφητικότητας (α) της ηλιακής ακτινοβολίας του απορροφητήρα και ο συντελεστής θερμικών απωλειών (U_L) του Η.Σ. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Η.Σ. επηρεάζουν τη δυνατότητα αξιοποίησης της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνειά του, καθώς και τις θερμικές απώλειες της επιφάνειάς του, ανάλογα και με τις συνθήκες λειτουργίας του. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι πιστοποίησης των Η.Σ. που αναπτύχθηκαν αρχικά στην Αμερική και έχουν υιοθετηθεί από αντίστοιχα Διεθνή και Ευρωπαϊκά πρότυπα, βασίζονται στο προσδιορισμό του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης του Η.Σ. Πολλές επίσης μεθοδολογίες θερμικής προσομοίωσης, κάνουν χρήση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών, που εκφράζει το λόγο της παραγόμενης θερμικής ενέργειας προς τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια των Η.Σ. Για δεδομένη τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη (G_T), της εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα (T_a) και τις μέσης τιμής θερμοκρασίας του ηλιακού συλλέκτη (T_i), ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση [3-4]:

$$\eta = \frac{Q}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n - \frac{F_R \cdot U_L \cdot (T_i - T_a)}{G_T} \qquad (εξ.\ 3.2.1)$$

όπου : n [-]: ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του Η.Σ..

$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$ [-]: ο συντελεστής θερμικής απολαβής του ηλιακού συλλέκτη. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 15316-4-3 [9] είναι ο συντελεστής απόδοσης μηδενικών απωλειών n_o (μέγιστη απόδοση συλλέκτη). Στους Κανονισμούς της Ecodesign (ελληνική έκδοση) αναφέρεται ως συντελεστής οπτικής απόδοσης

$F_R \cdot U_L$ [W/m^{2}K]: ο συντελεστής θερμικών απωλειών του ηλιακού συλλέκτη. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 15316-4-3 είναι ο συντελεστής θερμικών απωλειών ηλιακού συλλέκτη a_1. Στους Κανονισμούς της Ecodesign (ελληνική έκδοση) αναφέρεται ως συντελεστής γραμμικών απωλειών.

T_i [°C]: η μέση θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη

T_a [°C]: η εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα

G_T [W/m^2]: η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.2.1) δίνονται εύρη αντιπροσωπευτικών τιμών της θερμικής απολαβής και θερμικών απωλειών για διάφορους τύπους επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, οι οποίες δίνονται από τον κατασκευαστή βάσει πιστοποίησης. Ειδικότερα, η τιμή του γινομένου $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$ εκφράζει το ρυθμό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τον ηλιακό συλλέκτη ενώ το γινόμενο $F_R \cdot U_L$ το ρυθμό θερμικών απωλειών της συλλεκτικής επιφάνειας προς το περιβάλλον.

Πίνακας 3.2.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη επίπεδων ηλιακών συλλεκτών [3, 5-8].

Περιγραφή συλλέκτη	$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$ ή n_o [-]	$F_R \cdot U_L$ ή a_1 [W/(m²K)]
Μαύρο χρώμα - μονό υαλοπίνακα	0,8-0,9	7-10
Μαύρο χρώμα - διπλό υαλοπίνακα, ή επιλεκτική επιφάνεια - μονό υαλοπίνακα	0,6-0,8	2-7
Σωλήνες κενού	0,4-0,6	0,7-2,0
Πλαστικός συλλέκτης, χωρίς διαφανές κάλυμμα και μόνωση (δοκιμή σε ταχύτητα αέρα 2,2 m/s).	0,86-0,95	20-22

Ο συντελεστής $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$ (εξ. 3.2.1), εκφράζει το γινόμενο της διαπερατότητας της διαφανούς επιφάνειας επί της απορροφητικότητας της συλλεκτικής επιφάνειας του Η.Σ. και μεταβάλλεται ανάλογα και με τη

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

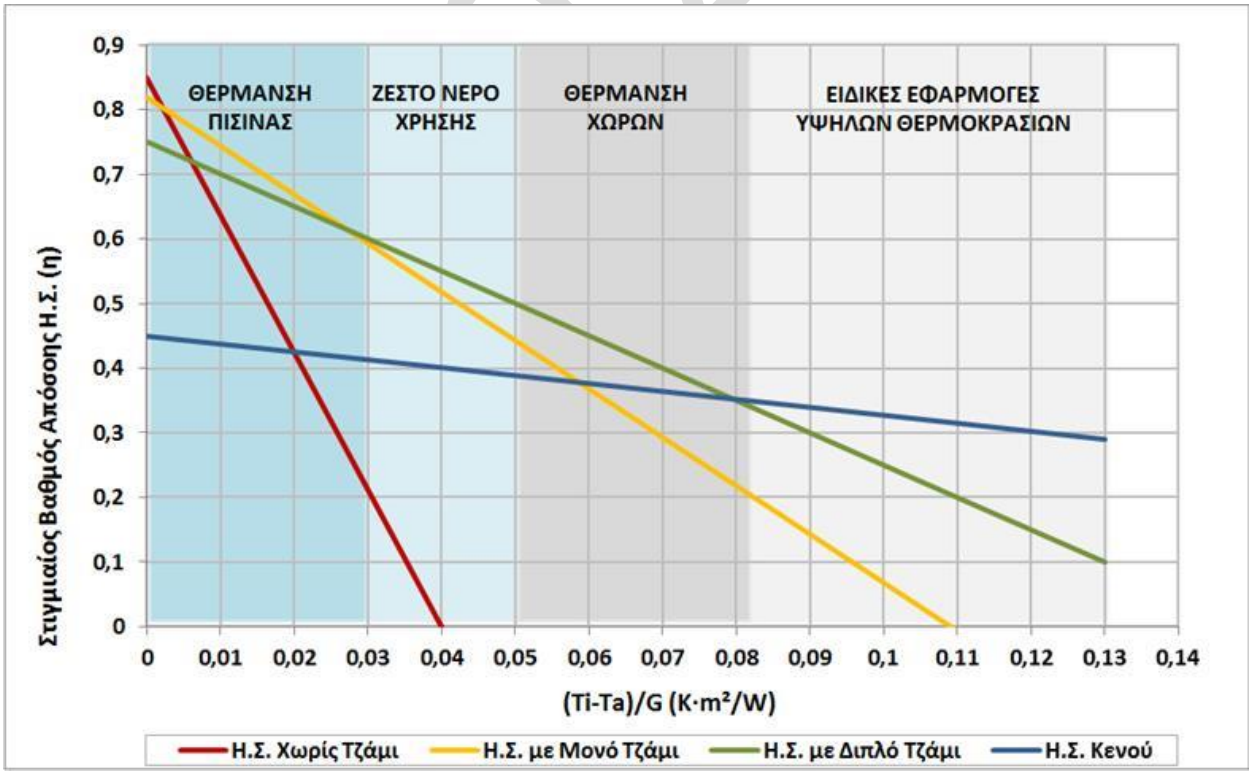
γωνία πρόσπτωσης (ϑ) της ηλιακής ακτινοβολίας στον συλλέκτη. Ο δείκτης (n) αναφέρεται σε επίπεδο κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

Ανάλογα με τον συντελεστή θερμικής απολαβής (ικανότητα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας) καθώς και τον συντελεστή θερμικών απωλειών, επιτυγχάνεται παραγωγή θερμού νερού συγκεκριμένης θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό, κάθε τύπος ηλιακού συλλέκτης χρησιμοποιείται σε αντίστοιχες εφαρμογές, ανάλογα με την απαιτούμενη θερμοκρασία θερμού νερού. Στο Σχήμα 3.2.1 απεικονίζεται ο βαθμός απόδοσης των Η.Σ. σε σχέση με το πηλίκο της διαφοράς θερμοκρασία Η.Σ. και αέρα περιβάλλοντος (T_i-T_a), προς την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (G). Μεγάλες αποδόσεις επιτυγχάνονται για μεγάλες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας ή/και για μικρές τιμές της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της επιφάνειας του Η.Σ. και του αέρα περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τα πρότυπα EN ISO 9806 [10], EN 15316-4-3 [9] (όπου τα τεχνικά χαρακτηριστικά έχουν άλλους συμβολισμούς), η στιγμιαία απόδοση των ηλιακών συλλεκτών η, υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη αναλυτική εξίσωση:

$$n = \eta_o - a_1 \cdot \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{T_m - T_a}{G}\right)^2 \qquad \textit{(εξ. 3.2.2)}$$

όπου	n [-]:	ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του Η.Σ.,
	T_m [°C]:	η μέση θερμοκρασία του θερμοαπαγωγού ρευστού στον ηλιακό συλλέκτη,
	T_a [°C]:	η θερμοκρασία περιβάλλοντος,
	G [W/m^2]:	η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας,
	η_o [-]:	ο συντελεστής απόδοσης μηδενικών απωλειών (τυπικές τιμές: Πίνακας 3.2.2).,
	a_1 [W/(m^{2}K)]:	ο συντελεστής θερμικών απωλειών (τυπικές τιμές: Πίνακας 3.2.2).,
	a_2 [W/(m^{2}K^2)]:	ο συντελεστής θερμοκρασιακής εξάρτησης του συντελεστή θερμικών απωλειών (τυπικές τιμές: Πίνακας 3.2.2).



Σχήμα 3.2.1: Καμπύλες στιγμιαίας απόδοσης ηλιακών συλλεκτών [3-4]

Πίνακας 3.2.2: Τυπικές τιμές τεχνικών χαρακτηριστικών ηλιακών συλλεκτών [9, 10].

Τύπος συλλέκτη	Συντελεστής απόδοσης μηδενικών απωλειών Η.Σ. (μέγιστη απόδοση) η_o [–]	Συντελεστής θερμικών απωλειών Η.Σ., a_1 [W/(m² K)]	Θερμοκρασιακή εξάρτηση του συντελεστή θερμικής απώλειας, a_2 [W/(m² K²)]	Συντελεστής μετατροπής γωνίας πρόσπτωσης, K_{hem}(50°) ή IAM [-]
Χωρίς διαφανές κάλυμμα	0,80	15,0	0,000	1,00
Απλός επίπεδος	0,73	5,51	0,006	0,94
Επιλεκτικός	0,77	3,75	0,015	0,94
Κενού με σωλήνες	0,70	1,80	0,020	0,97 επίπ. συλλ. επιφ. 1,00 κυκλ. συλλλ. επιφ.

Η δυνατότητα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται εκτός από τα χαρακτηριστικά του Η.Σ., από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος αποθήκευσης (χωρητικότητα, θέση εγκατάστασης, θερμικές απώλειες κ.λπ.) καθώς και του δικτύου διανομής του θερμού νερού (μόνωση δικτύου, μήκος διαδρομής κ.λπ.). Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών, είναι προτιμότερη η τοποθέτηση του συστήματος αποθήκευσης σε χώρο εσωτερικά του κτιρίου.

Ο βαθμός απόδοσης των Η/Θ συστημάτων εξαρτάται και από την παλαιότητα και την κατάσταση λειτουργίας τους. Σε περίπτωση σημαντικής και εμφανούς κακοσυντήρησης (π.χ. ύπαρξη διαρροών κ.λπ.), καθώς και φθορών στη συλλεκτική επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, η απόδοση του συστήματος μειώνεται σημαντικά.

3.2.3. Επιλογή θέσης εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών

Η μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας επιτυγχάνεται όταν υπάρχει πλήρης ηλιασμός της συλλεκτικής επιφάνειας και όσο πιο κάθετη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια της ημέρας. Καθώς όμως η θέση του ήλιου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ηλιακός συλλέκτης θα έπρεπε να "παρακολουθεί" συνεχώς την κίνηση του ήλιου, δηλαδή να βρίσκεται τοποθετημένος πάνω σε μια περιστρεφόμενη βάση. Στην περίπτωση των ηλιακών συλλεκτών, μια τέτοια διάταξη είναι δύσκολο να επιτευχθεί καθώς υπάρχουν τεχνικές δυσκολίες, οπότε επιλέγεται η εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών σε βάσεις με σταθερή κλίση.

Οι ηλιακοί συλλέκτες στο βόρειο ημισφαίριο προσλαμβάνουν τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ενέργεια στην περίπτωση νότιου προσανατολισμού (αζιμούθια γωνία 0°). Ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι η θερμική συμπεριφορά του ηλιακού συλλέκτη βελτιώνεται με την τοποθέτησή του σε απόκλιση κατά 10°-15° δυτικά (αζιμούθια γωνία +10° έως +15°) [4] χωρίς όμως αυτό να μπορεί να αξιολογηθεί με την μεθοδολογία που προτείνεται παρακάτω (βλ. ενότητα 3.3). Σε κάθε περίπτωση, εάν απαιτείται η εγκατάσταση του ηλιακού συλλέκτη σε διαφορετικό προσανατολισμό (π.χ. επικλινής στέγη), η μείωση της θερμικής του απόδοσης μπορεί να αντισταθμιστεί με την αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας ή τη μεταβολή της κλίσης του.

Η βέλτιστη κλίση (*β*) των ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται από την εποχική χρήση του θερμικού φορτίου (θέρμανση χώρων κατά τη χειμερινή περίοδο, ή παραγωγή Ζ.Ν.Χ. για θερινή χρήση, ή ηλιακή ψύξη κ.λπ.) και τη διακύμανση του ανά εποχή. Για χειμερινή χρήση ενός Η/Θ συστήματος (π.χ. θέρμανση χώρων), επιλέγεται βέλτιστη κλίση περίπου 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος (*φ*) της περιοχής (δηλ. $\beta=\varphi+15^o$), όπως αναφέρεται στην ενότητα 2.2.1. Για θερινή χρήση του Η/Θ (π.χ. παραγωγή Ζ.Ν.Χ. κατά τη θερινή περίοδο), επιλέγονται γωνίες κλίσης από 20° έως 30° μικρότερες από το γεωγραφικό πλάτος (*φ*) της περιοχής (δηλ. $\beta= \varphi-20°$ *έως* $\beta=\varphi-30^o$), ανάλογα την απαίτηση σε θερμικό φορτίο κατά τους εαρινούς ή φθινοπωρινούς μήνες. Τέλος, για ετήσια χρήση του Η/Θ συστήματος και σταθερή απόδοση θερμικής ενέργειας για όλους τους μήνες, επιλέγονται γωνίες κλίσης 10° μικρότερες από το γεωγραφικό πλάτος (δηλ. $\beta=\varphi-10^o$). Στην ενότητα 2.2.1 δίνονται αντίστοιχα δεδομένα της μέσης μηνιαίας ηλιακής ενέργειας [kWh/(m² mo)] για διάφορες ελληνικές περιοχές, ανάλογα με τη σταθερή κλίση μιας ηλιακής επιφάνειας, βέλτιστης για ετήσια (Πίνακας 2.2.4), χειμερινή (Πίνακας 2.2.5) ή θερινή χρήση (Πίνακας

2.2.6). Στην ίδια ενότητα δίνεται η μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια [kWh/(m²mo)] για διάφορες ελληνικές περιοχές, για βέλτιστη κλίση (*β*) των ηλιακών επιφανειών ανά μήνα (Πίνακας 2.2.2), όπως αναφέρονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 2.2.1).

3.2.4. Συστήματα αποθήκευσης θερμού νερού

Τα συστήματα αποθήκευσης, κοινώς θερμοδοχεία, αποτελούν βασικό τμήμα των ηλιοθερμικών συστημάτων, είναι κεντρικά ή τοπικά και ταξινομούνται ανάλογα με την ύπαρξη ή μη εναλλάκτη θερμότητας, τις διαφορετικές πηγές ενέργειας που τροφοδοτούνται, καθώς και τη διάταξη τοποθέτησής τους.

- ***Θερμοδοχεία χωρίς εναλλάκτη θερμότητας***. Τα θερμοδοχεία χωρίς εναλλάκτη θερμότητας χρησιμοποιούνται στα Η/Θ συστήματα ανοιχτού κυκλώματος, όπου το νερό που κυκλοφορεί στον Η.Σ. είναι το νερό χρήσης. Στην περίπτωση αυτή δεν δίνεται η δυνατότητα χρήσης αντιψυκτικού διαλύματος και η ανακυκλοφορία του νερού γίνεται με χρήση κυκλοφορητή. Τα Η/Θ συστήματα ανοικτού κυκλώματος χρησιμοποιούνται πλέον σπάνια, σε οικιακές εφαρμογές και σε περιοχές με ήπιο και θερμό κλίμα.
- ***Θερμοδοχεία με εναλλάκτη θερμότητας***. Η πλειοψηφία των Η/Θ συστημάτων είναι με εναλλάκτη θερμότητας, δηλαδή κλειστού κυκλώματος (κλειστό σύστημα κυκλοφορίας). Στα συγκεκριμένα συστήματα, το θερμοαπαγωγό ρευστό που κυκλοφορεί στους ηλιακούς συλλέκτες και στο θερμοδοχείο είναι διαφορετικό από το νερό χρήσης. Στην περίπτωση αυτή επιτρέπεται η χρήση αντιψυκτικού διαλύματος για αντιπαγετική προστασία. Επίσης, αποφεύγεται ο κίνδυνος αλλοίωσης της ποιότητας του νερού από πιθανή διάβρωση των αγωγών του Η.Σ. και προστατεύεται ο Η.Σ. από ενδεχόμενες μεταβολές της πίεσης του δικτύου ύδρευσης. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεμονωμένες οικιακές εφαρμογές, σε συγκροτήματα κατοικιών για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., για τη θέρμανση χώρων και τη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών. Μία παραλλαγή των συστημάτων κλειστού κυκλώματος για την αποφυγή των κινδύνων παγετού είναι το σύστημα drainback, στο οποίο ένα πρόσθετο δοχείο προστίθεται κάτω από τον ηλιακό συλλέκτη. Το θερμοαπαγωγό ρευστό αποθηκεύεται εντός του πρόσθετου δοχείου κάθε φορά που ο κυκλοφορητής δεν λειτουργεί, αδειάζοντας (στραγγίζοντας) τον ηλιακό συλλέκτη. Μειονέκτημα των συστημάτων drainback είναι η επιπλέον κατανάλωση ενέργειας από τον κυκλοφορητή.
- ***Θερμοδοχεία διπλής ενέργειας***. Το θερμοδοχείο διπλής ενέργειας συνδυάζει τη χρήση δύο διαφορετικών πηγών ενέργειας για την παραγωγή θερμού νερού, την ηλιακή ενέργεια και τον ηλεκτρισμό (ηλεκτρική αντίσταση), καθώς διαθέτει εσωτερικά μια ηλεκτρική αντίσταση για να καλύπτει τις θερμικές ανάγκες σε περιόδους χαμηλής απόδοσης του Η.Σ. (συνθήκες νέφωσης κ.λπ.). Η χρήση θερμοδοχείων διπλής ενέργειας είναι διαδεδομένη στα θερμοσιφωνικά Η/Θ συστήματα, ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στην περίπτωση αυτή, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για τη θέρμανση του νερού σε περιόδους χαμηλής ή πλήρους απουσίας ηλιοφάνειας είναι αρκετά υψηλή, καθώς το θερμοδοχείο βρίσκεται εκτεθειμένο στο εξωτερικό περιβάλλον.
- ***Θερμοδοχεία τριπλής ενέργειας***. Το θερμοδοχείο τριπλής ενέργειας, συνδυάζει τη χρήση τριών διαφορετικών πηγών ενέργειας για την παραγωγή θερμού νερού, την ηλιακή ενέργεια την ηλεκτρική (ηλεκτρική αντίσταση) καθώς και την ενέργεια ενός τρίτου συμβατικού συστήματος, συνήθως λέβητα. Στην περίπτωση αυτή τα θερμοδοχεία μπορούν με κατάλληλες υποδοχές να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία του δικτύου Ζ.Ν.Χ. καθώς και την τροφοδοσία του συστήματος θέρμανσης χώρων του κτιρίου.
- ***Θερμοδοχεία οριζόντιας ή κατακόρυφης διάταξης***. Η διάταξη του θερμοδοχείου (οριζόντια ή κατακόρυφη) διαμορφώνει τη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση του νερού (κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας νερού) μέσα στο θερμοδοχείο. Στην κατακόρυφη διάταξη η θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση είναι εντονότερη επιτυγχάνοντας υψηλότερες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού νερού στην κορυφή του θερμοδοχείου και του ψυχρότερου στη βάση του θερμοδοχείου. Στην κατακόρυφη διάταξη, ανάλογα με τη μέγιστη θερμοκρασία νερού και τις διαστάσεις του θερμοδοχείου, η διαφορά της θερμοκρασίας εντός του θερμοδοχείου λόγω στρωμάτωσης μπορεί να υπερβεί τους 40 °C ενώ στην οριζόντια διάταξη από 5 °C με 7 °C ανάλογα με τις διαστάσεις του θερμοδοχείου. Η κατακόρυφη διάταξη θερμοδοχείων είναι αποδοτικότερη και για τα θερμοσιφωνικά συστήματα (φυσική κυκλοφορία νερού), καθώς το ρευστό από τον Η.Σ. διέρχεται

ΤΕΙΚΟ ΣΥΕΔΙΟ

από το ψυχρότερο κάτω τμήμα του θερμοδοχείου και επιστρέφει στο Η.Σ. σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, κυρίως στην περίπτωση που γίνεται συνεχής χρήση του θερμού νερού κατά τις ώρες ηλιοφάνειας. Παρ' όλα αυτά στις περισσότερες περιπτώσεις, στα θερμοσιφωνικά συστήματα χρησιμοποιούνται οριζόντιας διάταξης θερμοδοχεία, καθώς το συνολικό ύψος της εγκατάστασης είναι χαμηλότερο.

3.2.5. Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείων αποθήκευσης θερμού νερού

Δοχεία για αποθήκευση Ζ.Ν.Χ. με χωρητικότητα ≤2.000 lt που κυκλοφόρησαν στην αγορά μετά τον 10/2015 οφείλουν να πληρούν τις απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού Κανονισμού 814/2013, με τις εξαιρέσεις που αναφέρονται στον Κανονισμό.

Οι θερμικές απώλειες των τερματικών μονάδων (συστήματος αποθήκευσης) του Ζ.Ν.Χ. καθορίζονται ανάλογα με τις εξής παραμέτρους:

- το μέγεθος και τη θερμομόνωση του δοχείου,
- τη θερμοκρασία του χώρου τοποθέτησης του δοχείου (θερμαινόμενος χώρος, Μ.Θ.Χ., εξωτερικό περιβάλλον) και τη θερμοκρασία του νερού του δοχείου,
- τον τρόπο λειτουργίας του (συνεχής, διακοπτόμενη).

Κάθε δοχείο αποθήκευσης Ζ.Ν.Χ. χαρακτηρίζεται από τον συντελεστής θερμικών απωλειών (ή ειδικές πάγιες απώλειες) H_{st}.οι οποίες στην περίπτωση των ηλιοθερμικών συστημάτων αποδίδονται με το συμβολισμό P_{sbsol}.

Για τις μονάδες που πληρούν τους Κανονισμούς 813/2013 ή 814/2013 στα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή τα οποία αναγράφονται στο δελτίο προϊόντος δίνονται οι πάγιες απώλειες του δοχείου αποθήκευσης S [W]. Σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής θερμικών απωλειών του δοχείου αποθήκευσης H_{st} μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$H_{st} = \frac{S}{(T_{set} - 20)} \qquad \text{(εξ. 3.2.3)}$$

όπου H_{st} [W/K]: ο συντελεστής θερμικών απωλειών (ή ειδικές πάγιες απώλειες) του δοχείου αποθήκευσης,

S [W]: οι πάγιες απώλειες του δοχείου αποθήκευσης,

T_{set} [°C]: η θερμοκρασία ρύθμισης του δοχείου κατά την μέτρηση όπως δηλώνεται από τον κατασκευαστή. Στην περίπτωση που δεν δηλώνεται τιμή, λαμβάνεται T_{set}=65°C.

ΤΕΑΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3.3. Διαστασιολόγηση ηλιοθερμικών συστημάτων

Η απόδοση των Η/Θ συστημάτων εξαρτάται από τη θερμοκρασία επιστροφής του θερμοαπαγωγού ρευστού από το θερμοδοχείο αποθήκευσης στην είσοδο του Η.Σ., η οποία μεταβάλλεται διαρκώς στη διάρκεια της ημέρας και εξαρτάται και από τη χρονική περίοδο κατανάλωσης του θερμού νερού (ζήτηση θερμικής ενέργειας) στη διάρκεια της ημέρας. Σε περιόδους υψηλής ηλιοφάνειας και μηδενικής κατανάλωσης θερμού νερού, η απόδοση του συλλέκτη σχεδόν μηδενίζεται καθώς οι θερμοκρασίες του ρευστού στην είσοδο και την έξοδο του συλλέκτη είναι σχεδόν ίσες. Ο συλλέκτης παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση όταν η θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη είναι χαμηλή. Όταν το παραγόμενο ζεστό νερό καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας περιορίζονται οι θερμικές απώλειες του θερμοδοχείου. Η χρήση του παραγόμενου θερμού νερού εκτός ωρών ηλιοφάνειας αυξάνει τις απαιτήσεις σε όγκο θερμοδοχείου και κατά συνέπεια και σε συλλεκτική επιφάνεια.

Η διαστασιολόγηση των Η.Σ. εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής εγκατάστασης καθώς και το προφίλ κατανάλωσης για κάθε χρήση. Η συνήθης πρακτική για τη διαστασιολόγηση ενός Η.Σ., βάσει οικονομοτεχνικών κριτηρίων και των κλιματικών συνθηκών στην Ελλάδα, είναι η εγκατάσταση 1 m^2 απλού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη για κάθε άτομο (ένοικο κατοικίας), προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες για περίπου 50 lt Ζ.Ν.Χ. Αντίστοιχα, για τη θέρμανση χώρων αντιστοιχεί 1 m^2 επίπεδου απλού ηλιακού συλλέκτη για θερμικό φορτίο 700 W (≈ 600 kcal/h)[11].

Κατά τη διαστασιολόγηση ενός Η/Θ συστήματος, η επιλογή της χωρητικότητας/όγκου (lt) του θερμοδοχείου εξαρτάται από τη συλλεκτική επιφάνεια (m^2), αλλά συνδέεται άμεσα και με το ρυθμό και τις ώρες χρήσης του παραγόμενου θερμού νερού και τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια. Σύμφωνα με αξιολόγηση της πραγματικής λειτουργίας υφιστάμενων Η/Θ συστημάτων, αλλά και προσομοιώσεων με εμπειρικά μοντέλα, έχει καταγραφεί/παρατηρηθεί ότι η βέλτιστη αναλογία για τις περιοχές της Νότιας Ευρώπης είναι 75 lt θερμοδοχείου ανά m^2 συλλεκτικής επιφάνειας [3, 12-13]. Όταν η αναλογία όγκου θερμοδοχείου/επιφάνειας συλλέκτη (lt/m^2) είναι μικρή, λόγω της συχνότερης ανακυκλοφορίας του θερμοαπαγωγού ρευστού μεταξύ ηλιακού συλλέκτη και θερμοδοχείου, αυξάνεται η θερμοκρασία του και μειώνεται η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη. Στις περιπτώσεις όπου η αναλογία όγκου θερμοδοχείου και επιφάνειας συλλέκτη είναι μεγάλη, δεν επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες ζεστού νερού, ωστόσο, ο συλλέκτης λειτουργεί με υψηλότερη απόδοση λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας επιστροφής του ρευστού.

Άλλο ένα κριτήριο επιλογής της χωρητικότητας του θερμοδοχείου είναι το προφίλ χρήσης του θερμού νερού. Εάν η χρήση του θερμού νερού γίνεται κυρίως τις νυχτερινές ώρες, δηλαδή υπάρχει η ανάγκη αποθήκευση όλης της θερμικής απολαβής από τον ηλιακό συλλέκτη κατά τη διάρκεια της ημέρας, τότε προτείνεται η επιλογή θερμοδοχείου μεγαλύτερης χωρητικότητας. Η κατανάλωση/χρήση του παραγόμενου θερμού νερού κατά τις βραδινές ώρες (εκτός ωρών ηλιοφάνειας) αυξάνει παράλληλα και την απαιτούμενη συλλεκτική επιφάνεια.

Για τη διαστασιολόγηση Η/Θ συστημάτων χρησιμοποιούνται διάφορες σύνθετες μεθοδολογίες όπως αναλυτικές προσομοιώσεις, αλλά και πιο απλοποιημένες με προσεγγιστικούς υπολογισμούς σε μηνιαία βάση, όπως για παράδειγμα η μέθοδος καμπυλών *f* [14-16] ή σε ετήσια βάση [17-20]. Η απόδοση των Η/Θ συστημάτων επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους όπως οι κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία αέρα, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου) και η μεταβολή του θερμικού φορτίου τόσο σε ημερήσια όσο και σε εποχική βάση, που εξαρτάται και από το αστάθμητο παράγοντα «χρήστης/ένοικος». Κατά συνέπεια, ακόμη και η πιο αναλυτική θεωρητική προσομοίωση της λειτουργίας ενός Η/Θ συστήματος, δεν θα μπορούσε να προβλέψει με ακρίβεια την πραγματική απόδοσή του. Κατά συνέπεια, για τη διαστασιολόγηση των Η/Θ συστημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με ικανοποιητική ακρίβεια, πιο απλοποιημένες μέθοδοι, οι οποίες έχουν δοκιμαστεί και αξιολογηθεί διαχρονικά και τα αποτελέσματά τους προσεγγίζουν τις πραγματικές αποδόσεις τους.

3.3.1. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση χώρων - Μέθοδος Καμπυλών *f*

Η μέθοδος καμπυλών *f* (*f-chart* method) αποτελεί μία από τις δοκιμασμένες και απλοποιημένες μεθόδους, μέσω της οποίας υπολογίζεται η συνεισφορά του Η/Θ συστήματος, ποσοστό (%) κάλυψης

θερμικού φορτίου, τόσο σε μηνιαία όσο και σε ετήσια βάση [3-4,21]. Για το λόγο αυτό, μπορεί να χαρακτηριστεί και ως μέσος μηνιαίος ή ετήσιος βαθμός απόδοσης του Η/Θ συστήματος. Η μέθοδος αυτή βασίστηκε στα αποτελέσματα προσομοιώσεων της λειτουργίας περισσότερων των 300 Η/Θ συστημάτων με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως δίνονται στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 3.3.1). Στόχος των προσομοιώσεων ήταν η συσχέτιση δύο αδιάστατων μεταβλητών, του λόγου των θερμικών απωλειών του Η.Σ. προς το θερμικό φορτίο (ζήτηση) και του λόγου της απορροφούμενης ηλιακής ενέργειας προς το θερμικό φορτίο, με το ποσοστό (*f*) του μηνιαίου θερμικού φορτίου του μήνα που μπορεί να καλυφθεί από το Η/Θ σύστημα.

Πίνακας 3.3.1: Εύρος παραμέτρων Η/Θ συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη της μεθόδου καμπυλών f [3, 9]

Παράμετρος	Εύρος τιμών
$(\tau \cdot \alpha)_n$	0,6 – 0,9
$FR' \cdot A_c$ [m²]	5 – 120
U_L [W/m²/K]	2,1 – 8,3
Γωνία κλίσης β (°)	30° – 90°
$(U_m \cdot A)$ [W/K]	83 – 667

Η μέθοδος καμπυλών *f*, με κάποια παραλλαγή και πιο σύνθετους αναλυτικούς υπολογισμούς, είναι μία από τις μεθόδους που περιλαμβάνονται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 15316-4-3 [9] και προτείνονται για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης/συνεισφοράς ενός Η/Θ συστήματος.

Το ποσοστό κάλυψης *f* του μηνιαίου θερμικού φορτίου υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση, μέσω των συντελεστών Χ και Υ [3]:

$$f = 1{,}029 \cdot Y - 0{,}065 \cdot X - 0{,}245 \cdot Y^2 + 0{,}0018 \cdot X^2 + 0{,}0215 \cdot Y^3 \qquad \text{(εξ. 3.3.1)}$$

Ο συντελεστής Χ εκφράζει το ποσό των ενεργειακών απωλειών προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα ,λαμβάνει τιμές 0<Χ<18 και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$X = F_R U_L \cdot (\frac{F_R'}{F_R}) \cdot (T_{ref} - \bar{T}_{air}) \cdot \Delta t \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot (\frac{A_C}{L}) \qquad \text{(εξ. 3.3.2)}$$

Ο συντελεστής Υ εκφράζει το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αξιοποιήσει ο ηλιακός συλλέκτης προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα, λαμβάνει τιμές 0<Υ<3 και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Y = F_R(\tau\alpha)_n \cdot (\frac{F_R'}{F_R}) \cdot \frac{(\tau\alpha')}{(\tau\alpha)_n} \cdot \bar{H}_T \cdot K_4 \cdot (\frac{A_C}{L}) \qquad \text{(εξ. 3.3.3)}$$

όπου:

- F_R'/F_R, είναι ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη/εναλλάκτη, στην περίπτωση όπου παρεμβάλλεται εναλλάκτης θερμότητας όπως σε κλειστό σύστημα Η.Σ. Το πηλίκο αυτό παίρνει τιμές από 0÷1 και εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες της επιφάνειας συναλλαγής και τις θερμοκρασίες των δύο ρευμάτων, με συνήθεις τιμές 0,8÷0,95.
- $F_R U_L$ (W/m²/K), είναι ο συντελεστής που αντιπροσωπεύει το σύνολο των θερμικών απωλειών και δίνεται από τον κατασκευαστή (ενδεικτικές τιμές: Πίνακας 3.2.1). Ο συντελεστής αυτός αντιστοιχεί στον συντελεστή θερμικής απώλειας a_1 σύμφωνα με το πρότυπο EN 15316-4-3 (ενδεικτικές τιμές: Πίνακας 3.2.2).
- $F_R(\tau\alpha)_n$, είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του συλλέκτη που δίνεται από τον κατασκευαστή, και αφορά την ικανότητα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας από τον συλλέκτη, (ενδεικτικές τιμές: Πίνακας 3.2.1). Ο συντελεστής αυτός αντιστοιχεί στον συντελεστή απόδοσης μηδενικών απωλειών (μέγιστη απόδοση Η.Σ.) η_o σύμφωνα με το πρότυπο EN 15316-4-3 (ενδεικτικές τιμές: Πίνακας 3.2.2).
- T_{ref}, είναι η θερμοκρασία αναφοράς και λαμβάνεται ίση με 100 °C.
- $\bar{T}_{air}$, είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αντιπροσωπευτικές τιμές για τις ελληνικές περιοχές δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 [22].
- Δt, είναι η χρονική περίοδος του μήνα σε (sec).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

- H_T, είναι η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία (J/m²/mo) που προσπίπτει στην κεκλιμένη επιφάνεια του Η.Σ. και εξαρτάται από τη γεωγραφική περιοχή και την κλίση του Η.Σ. Δεδομένα για τις ελληνικές περιοχές δίνονται στην ενότητα 2.2.1. και τη Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 [22].
- $(\tau\alpha')/(\tau\alpha)_n$, είναι ο διορθωτικός συντελεστής για την κλίση του Η.Σ., καθώς τη μεγαλύτερη χρονική περίοδος δεν βλέπει κάθετα τον ήλιο. Ο συντελεστής αυτός αντιστοιχεί στον συντελεστή μετατροπής γωνίας πρόσπτωσης (Hemispherical Incidence Angle Modifier) $K_{hem}(50°)$ σύμφωνα με το πρότυπο EN 15316-4-3 (ενδεικτικές τιμές: Πίνακας 3.2.2). Ο μέσος μηνιαίος συντελεστής $(\tau\alpha')/(\tau\alpha)_n$ μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια από τις ακόλουθες εξισώσεις σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης (ϑ) της ηλιακής ακτινοβολίας κατά το ηλιακό μεσημέρι ($\omega=0°$), της τυπικής ημέρας για κάθε μήνα [3]:

  -για Η.Σ. με μονό γυαλί: $(\tau\alpha')/(\tau\alpha)_n = 1 - 4{,}40 \cdot 10^{-3} \cdot \theta + 2{,}20 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^2 - 3{,}31 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3$

  -για Η.Σ. με διπλό γυαλί: $(\tau\alpha')/(\tau\alpha)_n = 0{,}99 - 5{,}67 \cdot 10^{-4} \cdot \theta + 8{,}24 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 - 2{,}27 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3$ *(εξ. 3.3.4)*

  -για συλλέκτες κενού: $(\tau\alpha')/(\tau\alpha)_n = 0{,}99$
- Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.3.2)δίνονται μέσες μηνιαίες ενδεικτικές τιμές του διορθωτικού συντελεστή $(\tau\alpha')/(\tau\alpha)_n$ για τις ελληνικές περιοχές και διάφορες κλίσεις ενός επίπεδου Η.Σ. με γυάλινο κάλυμμα. Ο συντελεστής διαφοροποιείται ελάχιστα για μονό (+0,1 έως +0,3) ή διπλό (-0,1 έως -0,3) γυάλινο κάλυμμα.

Πίνακας 3.3.2: Μέσες μηνιαίες τιμές του διορθωτικού συντελεστή $(\tau\alpha')/(\tau\alpha)_n$ για τις ελληνικές περιοχές, για διάφορες κλίσεις επίπεδου Η.Σ. με γυάλινο κάλυμμα [4]

ΜΗΝΑΣ	Κλίση Επιφάνειας Συλλέκτη β σε μοίρες (°)									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,77	0,83	0,87	0,90	0,92	0,94	0,94	0,94	0,94	0,92
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,82	0,87	0,89	0,91	0,93	0,93	0,94	0,93	0,92	0,90
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,87	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,92	0,90	0,88	0,85
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,91	0,92	0,93	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,82	0,76
ΜΑΙΟΣ	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,82	0,76	0,68
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,93	0,94	0,93	0,92	0,90	0,86	0,84	0,79	0,73	0,64
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,93	0,94	0,93	0,93	0,91	0,89	0,86	0,80	0,74	0,65
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,88	0,85	0,79	0,72
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,91	0,89	0,87	0,81
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,84	0,88	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,91	0,88
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,78	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94	0,92
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,75	0,82	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,95	0,94	0,93

- K_2, είναι ο διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής. Η μέθοδος καμπυλών *f* έχει αναπτυχθεί για χωρητικότητα δεξαμενής 75 (lt/m²). Σε περίπτωση διαφορετικής τιμής χωρητικότητας γίνεται διόρθωση μέσω του συντελεστή K_2, ο οποίος υπολογίζεται από την επόμενη σχέση:

$$K_2 = [{}^{M}/_{75}]^{-0{,}25} \qquad \textit{(εξ. 3.3.5)}$$

  όπου M, είναι ο όγκος της δεξαμενής ανά τετραγωνικό μέτρο (lt/m²) συλλέκτη. Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί, ότι η μέθοδος έχει αναπτυχθεί για προφίλ κατανάλωσης θερμού νερού σε κατοικία, με δύο χρονικές περιόδους πολύ αυξημένης κατανάλωσης ζεστού νερού, μεταξύ 8:00 και 12:30 και μεταξύ 19:00 και 22:00. Ωστόσο, η κατανομή του φορτίου (διακύμανση της ημερήσιας ζήτησης ζεστού νερού) δεν έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση του ηλιακού συστήματος στην περίπτωση που η χωρητικότητα της δεξαμενής είναι ίση ή μεγαλύτερη από 75 (lt/m²) [3-4].
- K_3, είναι ο διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού. Η μέθοδος έχει αναπτυχθεί για K_3=1, θεωρώντας ότι το φορτίο για Ζ.Ν.Χ. είναι πολύ μικρό σε σχέση με το θερμικό φορτίο για τη θέρμανση χώρου. Εάν οι υπολογισμοί αφορούν μόνο την παραγωγή Ζ.Ν.Χ. τότε ο K_3 υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$K_3 = \frac{11{,}6 + 1{,}18 \cdot T_w + 3.86 \cdot T_m - 2{,}32 \cdot \bar{T}_a}{100 - \bar{T}_a} \qquad \textit{(εξ. 3.3.6)}$$

  όπου T_w είναι η επιθυμητή θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ., T_m η μέση θερμοκρασία δικτύου και T_a η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.-20701-3 [22]).

- K_4, είναι ο διορθωτικός συντελεστής για τον εναλλάκτη θερμότητας φορτίου (εντός του θερμαντήρα). Για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. ο συντελεστής παίρνει συνήθως τιμή ίση με την μονάδα (K_4=1), επειδή συνήθως δεν παρεμβάλλεται εναλλάκτης φορτίου. Η μέθοδος έχει αναπτυχθεί για συντελεστή $[\varepsilon_L.C_{min}/(U_m \cdot A)_b]$=2, ενώ στην περίπτωση διαφορετικής τιμής, ο K_4 υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$K_4 = 0{,}39 + 0{,}65 \cdot exp\frac{-0{,}139 \cdot (U_m \cdot A)_b}{\varepsilon_L \cdot c_{min}} \qquad (εξ.\ 3.3.7)$$

  όπου (ε_L) είναι ο βαθμός εκμετάλλευσης του εναλλάκτη φορτίου (L) και c_{min} είναι η μικρότερη θερμοχωρητική παροχή $c_{min} = \dot{v} \cdot \rho \cdot c_p$ (W/°C), μεταξύ των δύο ρευστών του εναλλάκτη (W/°C), δηλαδή του γινομένου της παροχής μάζας επί της ειδικής θερμότητας του ρευστού. Σε έναν εναλλάκτη φορτίου θέρμανσης (τερματικές μονάδες απόδοσης θέρμανσης), το c_{min} αντιστοιχεί στο ρευστό με τη μικρότερη τιμή θερμοχωρητικής παροχής. Για παράδειγμα, σε μια μονάδα στοιχείου ανεμιστήρα (fan coil), το c_{min} είναι η μικρότερη θερμοχωρητική παροχή μεταξύ του θερμού μέσου (νερό κ.λπ.) και του αέρα που κυκλοφορεί εξωτερικά του εναλλάκτη. Η τιμή 2 αντιστοιχεί σε τερματικές μονάδες απόδοσης που λειτουργούν με χαμηλές θερμοκρασίες, που παράγει ένας επίπεδος Η.Σ. όπως είναι τα ενδοδαπέδια συστήματα ή οι μονάδες στοιχείου ανεμιστήρα.

  Το $(U_m.A)_b$ είναι το γινόμενο της μέσης θερμοπερατότητας (U_m) του κτιρίου σε (W/m²/°C) επί την εξωτερική επιφάνεια (A) του κτιριακού κελύφους σε (m²).
- A_c, είναι η επιφάνεια του Η.Σ. (m²).
- Q, είναι το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο για την παροχή Ζ.Ν.Χ. (Q_{dhw}) ή/και τη θέρμανση χώρων ($Q_{h.}$) σε (Joule), και δίνεται ως άθροισμα των επιμέρους φορτίων $Q = Q_{dhw} + Q_h + Q_{d,ls} + Q_{st,ls}$

Το φορτίο Q_{dhw} για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. L_W υπολογίζεται με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$Q_{dhw} = N \cdot V_w \cdot \rho \cdot c_P \cdot (T_w - T_m) \qquad (εξ.\ 3.3.8)$$

όπου, N είναι ο αριθμός ημερών του κάθε μήνα,

V_w, είναι η μέση ημερήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. σε (L/d), όπως καθορίζεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1 [2] που συνήθως λαμβάνεται ίση με 50 L/(d per),

ρ, είναι η πυκνότητα του νερού, ίση με 1 kg/L και

c_p, είναι η ειδική θερμότητα του νερού 4190 J/(kg K),

T_w, είναι η επιθυμητή θερμοκρασία Ζ.Ν.Χ. (45°C) στην οποία αναφέρεται η ημερήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ.,

T_m, είναι η θερμοκρασία του νερού δικτύου, με ενδεικτικές μέσες μηνιαίες τιμές όπως δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 [22] για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.

Αντίστοιχα, το φορτίο $Q_{S.H}$ για τη θέρμανση χώρων μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά με χρήση του EN ISO 52016 [ ] (βλ. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1[ ]) ή πιο απλοποιημένα με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$Q_h = (U_m \cdot A) \cdot HDD_x \cdot 24\frac{hours}{day} \cdot 3600\frac{Joule}{Wh} \qquad (εξ.\ 3.3.9)$$

όπου $U_m \cdot A$ [W/K]: είναι το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [W/m²K] επί την επιφάνεια του κτιρίου A [m²],

HDD_x [K d] είναι οι βαθμοημέρες θέρμανσης του μήνα βάσης x θερμοκρασίας X°C (συνήθως 18°C για κατοικίες), όπως δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3 [22] για τις διάφορες ελληνικές περιοχές.

Τα φορτία (Q_{dhw}) και (Q_h) προσαυξάνονται με τις θερμικές απώλειες του δικτύου διανομής ($Q_{d,ls}$) και αποθήκευσης ($Q_{st,ls}$) (π.χ. θερμαντήρας Ζ.Ν.Χ., ή δοχείο αδρανείας), ανάλογα με τον τύπο κυκλώματος του δικτύου (πρωτεύον πριν τον εναλλάκτη φορτίου, δευτερεύον μετά τον εναλλάκτη, διακλαδώσεις παροχής ανά τελικό χρήστη, δίκτυο εφεδρικού συστήματος παραγωγής θερμότητας κλπ.) τα τεχνικά

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

χαρακτηριστικά των σωληνώσεων του δικτύου (μήκος, διατομή, πάχος μόνωσης κ.λπ.) και του θερμαντήρα, καθώς και τους χώρους διέλευσης (εσωτερικά ή εξωτερικά του κτιρίου) του δικτύου και του χώρου εγκατάστασης των θερμαντήρων.

Οι θερμικές απώλειες πρέπει να υπολογίζονται αναλυτικά για κάθε περίπτωση κτιρίου και ειδικά στην περίπτωση ανακυκλοφορίας του θερμού νερού σε μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις, καθώς αυξάνονται σημαντικά. Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1 [2] δίνονται τυπικές τιμές των θερμικών απωλειών του δικτύου διανομής (από 7% έως 30%, ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου) και αποθήκευσης θερμού νερού, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη διαστασιολόγησης Η/Θ συστημάτων. Σε κτίρια κατοικιών με περιορισμένη έκτασης δίκτυα διανομής θερμού νερού, οι θερμικές απώλειες είναι χαμηλές [2, 4, 23] και μπορούν να αγνοηθούν.

Επίσης, στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1 δίνεται η μεθοδολογία υπολογισμού των θερμικών απωλειών του δικτύου διανομής. Οι θερμικές απώλειες ($Q_{d,ls}$) του δικτύου διανομής για κάθε μήνα υπολογίζονται από το άθροισμα των θερμικών απωλειών των επιμέρους κλάδων του δικτύου διανομής, επί των αριθμός ημερών N (d) λειτουργίας του δικτύου ανά μήνα και τις ώρες λειτουργίας ανά ημέρα t (h/d). Οι απώλειες των επιμέρους κλάδων/τμημάτων (i) υπολογίζονται από τη γραμμικής μετάδοσης θερμότητας $\psi_{d,i}$ (W/m/K), το μήκος του δικτύου L (m), τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του χώρου διέλευσης T_α (°C) και της θερμοκρασίας του μέσου διανομής στον κλάδο T_i (°C), σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q_{d,ls} = \sum [\psi_{d,i} \cdot L \cdot (T_i - T_\alpha)] \cdot \ N \cdot t \frac{hours}{day} \cdot 3600 \frac{Joule}{Wh} \qquad (εξ.\ 3.3.10)$$

όπου η γραμμική μετάδοση θερμότητας $\psi_{d,i}$ για κάθε κλάδο/ τμήμα του δικτύου διανομής υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\psi_{d,i} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot ln \frac{D}{d_\alpha} + \frac{1}{h_\alpha \cdot D}} \qquad (εξ.\ 3.3.11)$$

όπου, λ (W/m/K) είναι η θερμική αγωγιμότητα της μόνωσης, D (m) η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα του κλάδου μαζί με τη μόνωση, d_α (m) η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα του κλάδου και h_α (W/m^2/K) ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εξωτερικά του μονωμένου σωλήνα. Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1 [2] δίνεται σε πίνακες η γραμμική θερμική μετάδοση για διάφορες διατομές σωλήνων (χαλκοσωλήνες, χαλυβδοσωλήνες και πλαστικούς σωλήνες) και πάχη μόνωσης.

Οι θερμικές απώλειες του συστήματος αποθήκευσης μπορεί να εκτιμηθούν με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$Q_{st,ls} = H_{st} \cdot (T_{st} - T_a) \cdot t \qquad (εξ.\ 3.3.12)$$

όπου	$Q_{st,ls}$ [kWh]:	οι θερμικές απώλειες του συστήματος αποθήκευσης,
	H_{st} [W/K]:	ο συντελεστής θερμικών απωλειών (ή ειδικές πάγιες απώλειες) του δοχείου αποθήκευσης,
	T_{st} [°C]:	η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο αποθήκευσης,
	T_a [°C]:	η θερμοκρασία του χώρου που βρίσκεται το δοχείο αποθήκευσης (εξωτερικός αέρας, Μ.Θ.Χ., εσωτερικός χώρος),
	t [h]:	ο χρόνος λειτουργίας του δοχείου αποθήκευσης.

Κατά τη διαστασιολόγηση του Η/Θ συστήματος προσδιορίζεται το ποσοστό κάλυψης φορτίου *f* για κάθε μήνα (*i*) του χρόνου, σύμφωνα με τα ως άνω αναφερόμενα, ενώ το μέσο μηνιαίο φορτίο *Q(i)* που καλύπτει το Η/Θ σύστημα υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

$$Q(i) = L(i) \cdot f(i) \qquad \textit{(εξ. 3.3.13)}$$

Το ετήσιο φορτίο που καλύπτει ο συλλέκτης, υπολογίζεται από το άθροισμα των επιμέρους μηνιαίων φορτίων από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q = \sum_{i=1 \div 12} L(i) \cdot f\,(i) \qquad \textit{(εξ. 3.3.14)}$$

Ο συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης που απαιτείται ως δεδομένο για τον υπολογισμό της συμβολής του Η.Σ στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων, είναι το πηλίκο του ετήσιου φορτίου (Q) που καλύπτει ο Η.Σ. (kWh/yr) προς τη συνολική ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (H_T) στην επιφάνεια του Η.Σ. (kWh/yr).

Σε κάθε σύστημα με ηλιακούς συλλέκτες θα πρέπει να εκτιμάται και η κατανάλωση ενέργειας των βοηθητικών συστημάτων (π.χ. κυκλοφορητές) που απαιτούνται για την κυκλοφορία ή/και ανακυκλοφορία του θερμού νερού, σε όλα τα κυκλώματα (πρωτεύον, δευτερεύον και διανομής σε σημεία τελικής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3.3.2. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση χώρων - Μέθοδος 2 του EN 15316-4-3

Η μέθοδος καμπυλών *f* ενσωματώθηκε με προσαρμογές στο πρότυπο EN 15316-4-3 [9], ως Μέθοδος 2 του προτύπου, που αφορά στους υπολογισμούς Η/Θ συστημάτων Ζ.Ν.Χ. και θέρμανσης χώρου με μηνιαίο βήμα. Η ίδια μέθοδος παρουσιάζεται αναλυτικά σε Ανακοίνωση της Επιτροπής στο πλαίσιο της εφαρμογής του κανονισμού 814/2013 και 812/2013 [34]. Για την εφαρμογή των υπολογισμών απαιτούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Η/Θ συστήματος.

Για τον συλλέκτη απαιτούνται:

- η επιφάνεια αναφοράς των Η.Σ. A_c [m^2].
- ο συντελεστής απόδοσης μηδενικών απωλειών (θερμική απολαβή Η.Σ.) ή αλλιώς συντελεστής οπτικής απόδοσης n_0 [-] σύμφωνα με την Ecodesign.
- ο συντελεστής θερμικών απωλειών α_1 [W/m^2K]ή αλλιώς συντελεστής γραμμικών απωλειών κατά Ecodesign.
- ο συντελεστής θερμοκρασιακής εξάρτησης του συντελεστή θερμικών απωλειών α_2 [W/m^2K^2] και
- ο διορθωτικός συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης IAM [-] .

Για το θερμοδοχείο αποθήκευσης θερμού νερού απαιτούνται:

- ο όγκος του V_{tot}[L],
- ο όγκος του εφεδρικού θερμοδοχείου συστήματος θέρμανσης V_{aux}[L],
- ο συντελεστής θερμικών απωλειών H_{sto} [W/K]και.
- ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του εναλλάκτη

Τα επιμέρους αποτελέσματα υπολογισμών από την εφαρμογή του προτύπου περιλαμβάνουν, τη συνεισφορά του Η/Θ και του εφεδρικού συστήματος θέρμανσης στην παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και τη θέρμανση χώρου, τις ενεργειακές απώλειες του συστήματος, την ενεργειακή κατανάλωση και τις θερμικές απώλειες του εφεδρικού συστήματος θέρμανσης, λαμβάνοντας υπόψη και την ανάκτηση των θερμικών απωλειών.

Οι προσαρμογές της μεθόδου καμπυλών *f*, κατά την προσάρτησής της στο πρότυπο EN 15316-4-3 ως Μέθοδος 2, αφορούν κυρίως τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των παραμέτρων Χ και του Υ, τη διαφοροποίηση των συντελεστών της συνάρτησης *f* ανάλογα με τον τύπο του Η/Θ συστήματος, καθώς και ότι, σε περίπτωση συνδυασμένου (combi) Η/Θ συστήματος παραγωγής Ζ.Ν.Χ. και θέρμανσης χώρου, εφαρμόζονται ξεχωριστοί υπολογισμοί για κάθε επιμέρους χρήση. Δηλαδή, για τα συνδυασμένης λειτουργίας συστήματα, υπολογίζεται η ενεργειακή απόδοση του Η/Θ συστήματος για κάθε τελική χρήση ξεχωριστά, για τις συνθήκες λειτουργίας που καθορίζονται. Οι πιο χαρακτηριστικές διαφοροποιήσεις στους υπολογισμούς της μεθόδου καμπυλών *f* και της Μεθόδου 2 του προτύπου είναι οι ακόλουθες:

- Για τους ξεχωριστούς υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης του Η/Θ συστήματος, στην περίπτωση Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση χώρου, γίνεται αναλογικός διαχωρισμός της επιφάνειας των Η.Σ, του όγκου του θερμοδοχείου, σύμφωνα με το ποσοστό (%) επί του συνολικού θερμικού φορτίου που καταλαμβάνουν οι επιμέρους τελικές χρήσεις. Για παράδειγμα, εάν το 70% του συνολικού θερμικού φορτίου αφορά τη θέρμανση χώρων, κατά τους υπολογισμούς που αφορούν τη θέρμανση χώρου λαμβάνεται το 70% της επιφάνειας των Η.Σ. και του όγκου του θερμοδοχείου.
- Στη συνολική θερμική ενέργεια που παράγεται από το Η/Θ σύστημα λαμβάνονται υπόψη και οι θερμικές απώλειες του θερμοδοχείου (σε συστήματα εφεδρικής ενέργειας με κοινό θερμοδοχείο) που αφορούν την περίοδο όπου λειτουργεί το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης.
- Ο όγκος του θερμοδοχείου στους υπολογισμούς λαμβάνεται μειωμένος, κατά τον όγκο που χρησιμοποιείται από το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης, εφόσον γίνεται κοινή χρήση του θερμοδοχείου και από τα δύο συστήματα. Στην περίπτωση μόνο νυχτερινής χρήσης του εφεδρικού συστήματος ή σε έκτακτες περιπτώσεις, το πρότυπο προτείνει αντίστοιχη προσαύξηση του όγκου του θερμοδοχείου κοινής χρήσης.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Το ποσοστό κάλυψης του μηνιαίου θερμικού φορτίου *f* υπολογίζεται από τη (εξ. 3.3.15) στην περίπτωση που το θερμό νερό που παράγεται αποθηκεύεται σε ταμιευτήρα, υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$f = 1{,}0290 \cdot Y - 0{,}0650 \cdot X - 0{,}2450 \cdot Y^2 + 0{,}0018 \cdot X^2 + 0{,}0215 \cdot Y^3 \qquad (εξ.\ 3.3.15)$$

ή από την (εξ. 3.3.16) στην περίπτωση που χρησιμοποιείται απευθείας για τη θέρμανση χώρων χωρίς την ύπαρξη ταμιευτήρα (π.χ. ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης).

$$f = 0{,}863 \cdot Y - 0{,}147 \cdot X - 0{,}263 \cdot Y^2 + c_4 \cdot X^2 + c_5 \cdot Y^3 + c_6 \cdot X^3 \qquad (εξ.\ 3.3.16)$$

Οι συντελεστές X και Y υπολογίζονται από τις (εξ. 3.3.17) και (εξ. 3.3.18) αντίστοιχα. Το X παίρνει τιμές μεταξύ των διαστημάτων 0<X<18 και το Y>0.

$$X = \frac{A_c \cdot H_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot (\theta_{ref} - \theta_e) \cdot f_{sto} \cdot t_c}{Q_{sol} \cdot 1000} \qquad (εξ.\ 3.3.17)$$

$$Y = \frac{A_c \cdot K_{hem} \cdot \eta_0 \cdot \eta_{loop} \cdot I_{sol} \cdot t_c}{Q_{sol} \cdot 1000} \qquad (εξ.\ 3.3.18)$$

όπου:

A_c, η επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη (m²).

H_{loop}, ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας θερμού νερού των Η.Σ. (W/K), όπου περιλαμβάνει και τις σωληνώσεις μεταξύ Η.Σ. και δοχείου αποθήκευσης (όχι δικτύου διανομής Ζ.Ν.Χ.).

η_{loop}, ο συντελεστής απόδοσης του κυκλώματος του εναλλάκτη του συστήματος των Η.Σ. που υπολογίζεται ως: $n_{loop} = 1 - \frac{\eta_o \cdot \alpha_1}{100}$

όπου η_o, συντελεστής απόδοσης μηδενικών απωλειών του Η.Σ., α_1, ο συντελεστής θερμικών απωλειών (του Η.Σ. (W/m²/K).

θ_{ref}, η θερμοκρασία αναφοράς (°C). Στην περίπτωση υπολογισμών για θέρμανση χώρου λαμβάνεται ως 55 °C, προσαυξημένη κατά το 75% της θερμοκρασίας επιστροφής του νερού από το δίκτυο θέρμανσης. Το πρότυπο δίνει ενδεικτικές τιμές της θερμοκρασίας επιστροφής του νερού από το δίκτυο θέρμανσης, ανάλογα με τον τύπο του θερμοπομπού: χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας.

θ_e, η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (°C).

f_{sto}, διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής, ο οποίος υπολογίζεται ως $(\frac{75 \cdot A_c}{V_{sto}})^{0,25}$, με V_{sto} τον όγκο του θερμοδοχείου (lt).

t_c, η χρονική περίοδος του μήνα σε ώρες (h).

Q_{sol}, το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο (kWh).

K_{hem}, ο διορθωτικός συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης.

η_0, η μέγιστη απόδοση του Η.Σ.

I_{sol}, μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του Η.Σ. (W/m²).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3.3.3. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση χώρων – Χρήση πινάκων ενδεικτικών τιμών

Στην περίπτωση αρχικής εκτίμησης του μέσου μηνιαίου και ετήσιου ποσοστού κάλυψης (*f*) των φορτίων Ζ.Ν.Χ., καθώς και της μέσης μηνιαίας και ετήσιας ηλιακής αξιοποίησης (μέση απόδοση Η.Σ.), μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σχετικοί πίνακες του Παραρτήματος Α (Πίνακας 10.1.1, Πίνακας 10.1.2 και Πίνακας 10.1.3), αντί των αναλυτικών υπολογισμών διαστασιολόγησης. Τα αποτελέσματα υπολογισμών των πινάκων αυτών αντιστοιχούν στην εγκατάσταση Η/Θ συστημάτων με τρεις διαφορετικούς τύπους επίπεδων Η.Σ., απλό, επιλεκτικό και κενού, με ενδεικτικές/αντιπροσωπευτικές τιμές τεχνικών χαρακτηριστικών για την ελληνική αγορά.

Ειδικότερα, οι υπολογισμοί του συντελεστή κάλυψης (*f*) και της ηλιακής αξιοποίησης έγιναν με τη χρήση της μεθόδου καμπυλών *f* και με δεδομένα:

α) τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων τύπων ηλιακών συλλεκτών, όπως δίνονται στο ακόλουθο πίνακα:

Τύπος συλλέκτη	η_o [–]	a_1 (W/m²/K)	a_2 (W/m²/K²)	K_{hem}(50°)
Απλός επίπεδος	0,73	5,51	0,006	0,94
Επιλεκτικός	0,77	3,75	0,015	0,94
Κενού με σωλήνες	0,65	1,80	0,020	0,97

β) τις τιμές της μέσης ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών (για κλίση 45°) για κάθε ελληνική περιοχή αντίστοιχα.

γ) τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες αέρα (°C) κάθε μήνα, τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του νερού του δικτύου ύδρευσης στις ελληνικές περιοχές, σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3,

δ) την επιθυμητή θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. στους 50°C,

ε) τον λόγο της χωρητικότητας θερμοδοχείου αποθήκευσης προς την επιφάνεια Η.Σ. (V_{tank}/A_c), ίσο με 75 L/m².

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.3.3) δίνονται μέσες σταθμισμένες ενδεικτικές τιμές του μέσου μηνιαίου και ετήσιου ποσοστού κάλυψης (*f*) φορτίου (Q_{dhw}) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και του μέσου μηνιαίου συντελεστή ηλιακής αξιοποίησης, των ως άνω Η/Θ συστημάτων, ανά κλιματική ζώνη στην Ελλάδα.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 3.3.3: Ενδεικτικές τιμές μέσου μηνιαίου ποσοστού κάλυψης (f) φορτίου (Q_{dhw}) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ., και μέσου μηνιαίου συντελεστή ηλιακής αξιοποίησης, ανά τύπο Η.Σ. και ανά κλιματική ζώνη.

Κλιματικές Ζώνες	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Ετήσιο
Ποσοστό κάλυψης (*f*)													
Απλός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,73, a_1 =5,51 (W/m²/K), a_2 =0,006 (W/m²/K²)													
Α	0,54	0,63	0,74	0,82	0,88	0,92	0,94	0,95	0,93	0,85	0,71	0,54	0,77
Β	0,46	0,57	0,68	0,78	0,86	0,92	0,95	0,96	0,91	0,78	0,60	0,45	0,72
Γ	0,45	0,55	0,63	0,73	0,82	0,90	0,94	0,94	0,88	0,73	0,54	0,40	0,68
Δ	0,42	0,50	0,61	0,69	0,77	0,86	0,91	0,92	0,86	0,69	0,51	0,41	0,65
Επιλεκτικός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,77, a_1 =3,75 (W/m²/K), a_2 =0,015 (W/m²/K²)													
Α	0,64	0,73	0,84	0,92	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,82	0,65	0,86
Β	0,56	0,66	0,77	0,88	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,71	0,55	0,81
Γ	0,53	0,63	0,71	0,82	0,92	1,00	1,00	1,00	0,99	0,85	0,65	0,49	0,78
Δ	0,50	0,57	0,69	0,78	0,87	0,96	0,99	1,00	0,97	0,80	0,61	0,50	0,74
Ηλιακός Συλλέκτης Κενού: η_o=0,65, a_1=1,80 (W/m²/K), a_2 =0,020 (W/m²/K²)													
Α	0,70	0,79	0,90	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,72	0,91
Β	0,62	0,72	0,83	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,79	0,63	0,86
Γ	0,59	0,68	0,77	0,88	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,72	0,57	0,82
Δ	0,56	0,62	0,74	0,84	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,68	0,56	0,79
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Απλός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,73, a_1 =5,51 (W/m²/K), a_2 =0,006 (W/m²/K²)													
Α	0,32	0,33	0,33	0,31	0,28	0,25	0,23	0,22	0,23	0,26	0,29	0,31	0,27
Β	0,32	0,34	0,34	0,32	0,29	0,26	0,24	0,23	0,24	0,28	0,30	0,30	0,28
Γ	0,33	0,35	0,35	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,26	0,29	0,30	0,30	0,30
Δ	0,34	0,36	0,36	0,35	0,32	0,29	0,27	0,26	0,27	0,30	0,31	0,31	0,31
Επιλεκτικός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,77, a_1 =3,75 (W/m²/K), a_2 =0,015 (W/m²/K²)													
Α	0,38	0,38	0,37	0,34	0,31	0,27	0,24	0,23	0,24	0,29	0,34	0,37	0,30
Β	0,39	0,39	0,38	0,36	0,33	0,28	0,25	0,24	0,27	0,32	0,36	0,37	0,32
Γ	0,40	0,41	0,40	0,38	0,35	0,31	0,28	0,26	0,29	0,33	0,36	0,37	0,33
Δ	0,41	0,42	0,41	0,39	0,36	0,32	0,29	0,28	0,31	0,34	0,38	0,39	0,35
Ηλιακός Συλλέκτης Κενού: η_o=0,65, a_1 =1,80 (W/m²/K), a_2 =0,020 (W/m²/K²)													
Α	0,42	0,41	0,40	0,37	0,32	0,27	0,24	0,23	0,24	0,31	0,37	0,41	0,32
Β	0,43	0,43	0,41	0,39	0,34	0,28	0,25	0,24	0,27	0,35	0,40	0,42	0,34
Γ	0,44	0,44	0,43	0,40	0,38	0,31	0,28	0,26	0,30	0,37	0,41	0,43	0,36
Δ	0,45	0,45	0,44	0,42	0,39	0,33	0,30	0,28	0,32	0,38	0,42	0,44	0,37

Αντίστοιχα, στο Παράρτημα Α παρατίθενται πίνακες με ενδεικτικές τιμές του μέσου μηνιαίου και ετήσιου ποσοστού κάλυψης (*f*) των φορτίων θέρμανσης χώρων, καθώς και της μέσης μηνιαίας και ετήσιας ηλιακής αξιοποίησης (μέση απόδοση Η.Σ.), για τους ως άνω τρεις τύπους επίπεδων Η.Σ. (απλό, επιλεκτικό και κενού), όπου:

α) ο Πίνακας 10.1.4, ο Πίνακας 10.1.5και ο Πίνακας 10.1.6, αφορούν τη θέρμανση χώρων μονοκατοικίας,

β) ο Πίνακας 10.1.7, ο Πίνακας 10.1.8 και ο Πίνακας 10.1.9, αφορούν τη θέρμανση χώρων πολυκατοικίας,

Ειδικότερα, οι υπολογισμοί του συντελεστή κάλυψης (*f*) και της ηλιακής αξιοποίησης έγιναν με τη χρήση της μεθόδου καμπυλών *f* και με δεδομένα:

α) τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων τύπων ηλιακών συλλεκτών, όπως δίνονται και την περίπτωση της παραγωγής Ζ.Ν.Χ..

β) τις τιμές της μέσης μηνιαίας ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια των Η.Σ., υπό κλίση 45° και για τις 25 ελληνικές περιοχές αντίστοιχα. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν επίσης και για Η.Σ. υπό κλίση στις 60°, παρουσιάζοντας παρόμοια αποτελέσματα με απόκλιση μικρότερη του 0,5%.

γ) τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες αέρα (°C) κάθε μήνα και τις βαθμοημέρες θέρμανσης (HDD), σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3,

δ) τον λόγο της χωρητικότητας θερμοδοχείου αποθήκευσης θερμού νερού προς την επιφάνεια Η.Σ. (V_{tank}/A_c), ίσο με 75 L/m².

ε) το απαιτούμενο φορτίο ($Q_{h.}$) θέρμανσης των κτιρίων, όπως προκύπτει από τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Τύπος κτιρίου	**Αριθμός ορόφων**	**Επιφάνεια δαπέδου [m²]**	**Επιφάνεια κελύφους [m²]**	**Όγκος κτιρίου [m³]**
Μονοκατοικία	1	280	770	757
Πολυκατοικία	5	1400	1820	3780

στ) την επιφάνεια των Η.Σ. που εκτιμήθηκε βάσει τη θερμική ισχύ του λέβητα (kcal/h) όπως δίνεται ακολούθως, με αναλογία 1m² Η.Σ. ανά 600 kcal/h φορτίο.

Τύπος κτιρίου	**Ισχύς λέβητα (kcal/h) ανά κλιματική ζώνη**			
	Ζώνη Α	**Ζώνη Β**	**Ζώνη Γ**	**Ζώνη Δ**
Μονοκατοικία	15566	16537	17466	19481
Πολυκατοικία	55900	57418	62333	70646

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3.3.4. Παραγωγή Ζ.Ν.Χ. – Παραμετροποιημένα δεδομένα

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραμετροποίησης από τον υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης (*f*) του μέσου μηνιαίου φορτίου για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., για τρεις αντιπροσωπευτικούς τύπους επίπεδων Η.Σ., απλό, επιλεκτικό και κενού. Το μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (*f*) δίνεται σε συνάρτηση εύρους τιμών της μέσης μηνιαίας ηλιακής ενέργειας (H_T) που προσπίπτει στην επιφάνεια του Η.Σ. (kWh/m²/m_o), του μέσου ημερήσιου φορτίου για Ζ.Ν.Χ. (L) ανά μονάδα επιφανείας Η.Σ. (Q_{dhw}/A_c) και της χωρητικότητας (L) του θερμαντήρα αποθήκευσης ανά μονάδα επιφανείας Η.Σ. (V_{tank}/A_c). Επειδή οι τιμές των συντελεστών κάλυψης (*f*) στους πίνακες έχουν προκύψει από ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων και ο κάθε ένας αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο εύρος τιμών της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, η τιμή (*f*) πρέπει να χρησιμοποιείται λαμβάνοντας υπόψη και την τυπική απόκλιση των τιμών. Για υψηλές τιμές του συντελεστή *f*=0,8÷1,0 η τυπική απόκλιση κυμαίνεται από ±0,0 έως ±0,015 και ιδιαίτερα για τιμές της χωρητικότητας του θερμοδοχείου άνω των 75 L/m². Για τιμές του συντελεστή *f*=0,6÷0,8 η τυπική απόκλιση κυμαίνεται από ±0,015 έως ±0,03 και ιδιαίτερα για τιμές της χωρητικότητας του θερμοδοχείου άνω των 75 L/m², και για χαμηλές τιμές φορτίου σε σχέση με τη χωρητικότητα του θερμοδοχείου. Τέλος, για τιμές του *f*=0,3÷0,6 η τυπική απόκλιση κυμαίνεται από ±0,03 έως ±0,07 και κυρίως για τιμές της χωρητικότητας του θερμοδοχείου μικρότερες των 75 L/m², και υψηλές τιμές φορτίου σε σχέση με τη χωρητικότητα του θερμοδοχείου.

Οι τιμές των μέσων μηνιαίων τιμών του συντελεστή κάλυψης (*f*) υπολογίστηκαν με τη χρήση της μεθόδου καμπυλών *f*, με δεδομένα τα συνήθη τεχνικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων τύπων ηλιακών συλλεκτών, το εύρος τιμών της προσπίπτουσας μηνιαίας Η.Ε. σε μια κεκλιμένη επιφάνεια Η.Σ. (40-229 kWh/(m² mo)), για κλίσεις από 0° έως 45°, που αναμένεται στις διάφορες ελληνικές περιοχές, τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες αέρα (°C) κάθε μήνα, τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του νερού του δικτύου ύδρευσης σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας, όπως περιλαμβάνονται στους αντίστοιχους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3, και την επιθυμητή θερμοκρασία Ζ.Ν.Χ. 45 °C.

Στους σχετικούς πίνακες του Παραρτήματος Α (Πίνακας 10.1.10, Πίνακας 10.1.12, Πίνακας 10.1.14), η στήλη 50/25 αφορά Η/Θ σύστημα με αναλογία θερμικού φορτίου 50 L Ζ.Ν.Χ. και 25 L θερμοδοχείου ανά μονάδα (m²) συλλεκτικής επιφάνειας. Το συγκεκριμένο σύστημα (όπως και της στήλης 33/25) είναι προφανές ότι δύσκολα μπορεί να αποτελέσει ρεαλιστική επιλογή καθώς η ποσότητα Ζ.Ν.Χ. που αποθηκεύεται είναι μικρότερη των θερμικών απαιτήσεων. Αντίθετα, η στήλη 20/100 αφορά Η/Θ σύστημα με αναλογία θερμικών απαιτήσεων 20 L Ζ.Ν.Χ. και 100 L θερμοδοχείου ανά μονάδα (m²) συλλεκτικής επιφάνειας. Το μέγεθος (όγκος) του θερμοδοχείου σε αυτήν την περίπτωση είναι πενταπλάσιο σε σχέση με την ποσότητα (όγκο) του απαιτούμενου Ζ.Ν.Χ.

Για τον υπολογισμό μιας ενδεικτικής τιμής της ετήσιας συνεισφοράς ενός Η/Θ συστήματος επιλέγονται 12 τιμές (*f*), μία για κάθε μήνα, ανάλογα με την αντίστοιχη μέση μηνιαία τιμή της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια του Η.Σ. και στη συνέχεια υπολογίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος των (*f*) ανάλογα με τα μηνιαία θερμικά φορτία. Αντίστοιχα, η επιλογή ενός Η/Θ συστήματος για λειτουργία μικρότερης περιόδου (π.χ. μόνο τη θερινή περίοδο), ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τους μήνες λειτουργίας του συστήματος και υπολογίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος του (*f*) για το διάστημα αυτό.

Στους σχετικούς πίνακες του Παραρτήματος Α (Πίνακας 10.1.11, Πίνακας 10.1.13, Πίνακας 10.1.15), δίνεται η μέση μηνιαία απόδοση των Η/Θ συστημάτων, ή αλλιώς μέση ηλιακή αξιοποίηση, δηλαδή, ο λόγος της παραγομένης μηνιαίας θερμικής ενέργειας (kWh) από τον Η.Σ. για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., προς τη μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια (kWh/mo) στην επιφάνεια του Η.Σ.

Η επιλογή Η/Θ συστήματος, το οποίο κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου έχει υψηλό συντελεστή (*f*), τις υπόλοιπες περιόδους του έτους θα υπερκαλύπτει τις αντίστοιχες ανάγκες για Ζ.Ν.Χ. μειώνοντας σημαντικά την ετήσια ηλιακή αξιοποίησή. Η τιμή του συντελεστή (*f*) ίση με τη μονάδα στους σχετικούς πίνακες του Παραρτήματος Α (Πίνακας 10.1.10, Πίνακας 10.1.12, Πίνακας 10.1.14), σημαίνει ότι το συγκεκριμένο Η/Θ σύστημα τον συγκεκριμένο μήνα παράγει θερμική ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το απαιτούμενο θερμικό φορτίο. Ως εκ τούτου, τα Η/Θ συστήματα που αντιστοιχούν στην κάτω δεξιά περιοχή των πινάκων, για τους μήνες με τις αντίστοιχες τιμές ηλιακής ενέργειας είναι υπερδιαστασιολογημένα. Ένας γενικός κανόνας που ισχύει για τις κλιματικές συνθήκες στις ελληνικές περιοχές, είναι ότι, στην

περίπτωση Η/Θ συστημάτων παραγωγής Ζ.Ν.Χ., με μέση ηλιακή συνεισφορά κατά τους χειμερινούς μήνες πάνω από 60%, οι ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη θερινή περίοδο υπερκαλύπτονται, με την παραδοχή ότι το απαιτούμενο φορτίο Ζ.Ν.Χ. παραμένει το ίδιο κάθε μήνα.

3.3.5. Ηλιακή ψύξη

Τα συστήματα ηλιακής ψύξης παρέχουν τη δυνατότητα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, μέσω συστημάτων απορρόφησης ή προσρόφησης. Τα συστήματα απορρόφησης και προσρόφησης λειτουργούν με τη βοήθεια μιας πηγής θερμότητας (π.χ. λέβητας), και παρουσιάζουν συντελεστή συμπεριφοράς (COP) έως 0,8 οι μονοβάθμιοι, 1,2 οι διβάθμιοι ενώ οι ψύκτες απορρόφησης τριών ή τεσσάρων βαθμίδων μπορούν να φτάσουν σε αποδόσεις αρκετά υψηλότερα [25, 26]. Η παράλληλη χρήση ηλιακών συλλεκτών, ως πηγή θερμότητας, συντελεί στην αύξηση του COP ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης της απαιτούμενης θερμότητας. Η ηλιακή ψύξη είναι μια σχετικά ακριβή τεχνολογία, ωστόσο, σε συνδυασμό με άλλες διατάξεις που αξιοποιούν τη θερμική ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών και κατά τη χειμερινή περίοδο μπορεί να γίνει οικονομικά αποδοτική. Η απαιτούμενη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών σε τέτοιες εγκαταστάσεις εκτιμάται από 2 m² έως 5 m² ανά μονάδα ψυκτικής ισχύος (kW), ανάλογα με την τεχνολογία της αντλίας θερμότητας [27].

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη ψυκτικών φορτίων αποτελεί τον βέλτιστο συνδυασμό, της διαθεσιμότητας της ηλιακής ενέργειας και των ενεργειακών απαιτήσεων φορτίου, καθώς το μέγιστο ψυκτικό φορτίο συμπίπτει με τις υψηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας. Τα πλέον διαδεδομένα συστήματα ηλιακής ψύξης είναι οι ψύκτες απορρόφησης υδατικού διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (H_2O/LiBr). Μία τυπική εγκατάσταση ηλιακού κλιματισμού περιλαμβάνει τους ηλιακούς συλλέκτες, το θερμοδοχείο αποθήκευσης θερμότητας, τη μονάδα ψύξης, το σύστημα κλιματισμού και το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης/ψύξης.

3.3.6. Δίκτυο διανομής θερμού μέσου

Η διαστασιολόγηση των σωληνώσεων ενός Η/Θ συστήματος εξαρτάται κυρίως από τη μέγιστη πτώση πίεσης και το υλικό (συνήθως χαλκός). Στο τμήμα που συνδέει τον συλλεκτήρα (manifold) της συστοιχίας Η.Σ. με τον κυκλοφορητή, η μέγιστη πτώση πίεσης επιλέγεται με στόχο τη διατήρηση της ροής του ρευστού σε τιμή μικρότερη από 1,5 m/s, γεγονός που καθορίζει και το κατώτερο όριο της διατομής των σωληνώσεων. Το ανώτερο όριο καθορίζεται από τη διατομή των σωληνώσεων παροχής και επιστροφής της συστοιχίας των ηλιακών συλλεκτών. Συνήθως, οι σωληνώσεις της συστοιχίας διαστασιολογούνται τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους πάνω σε σχέση με τις σωληνώσεις των επιμέρους Η.Σ. Οι ίδιοι περιορισμοί εφαρμόζονται και για τις σωληνώσεις του τμήματος που συνδέει τον Η.Σ. με το θερμοδοχείο.

Οι κυκλοφορητές των Η/Θ συστημάτων βεβιασμένης κυκλοφορίας διαστασιολογούνται ανάλογα με την παροχή του ζεστού νερού (L/h) στο κύκλωμα και την πτώση πίεσης, η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με το μήκος του δικτύου, τις γραμμικές και τις τοπικές απώλειες. Συνήθως, η παροχή του ζεστού νερού κυμαίνεται από 40 έως 80 L/h ανά μονάδα (m²) συλλεκτικής επιφάνειας, ανάλογα με τη σχεδίαση και τις απαιτήσεις κάθε εγκατάστασης.

Η μόνωση των σωληνώσεων θα πρέπει να αντέχει θερμοκρασίες έως 200 ^{o}C σε απόσταση περίπου 0,5 m από την απορροφητική επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη και 120 ^{o}C στα υπόλοιπα σημεία του κυκλώματος. Οι σωληνώσεις που βρίσκονται εκτεθειμένες στο εξωτερικό περιβάλλον συνήθως καλύπτονται με εύκαμπτο θερμομονωτικό, μη αναφλέξιμο υλικό.

Για τη στήριξη και τη διέλευση των στοιχείων των Η/Θ συστημάτων από τα φέροντα και μη δομικά στοιχεία του κτιρίου, θα πρέπει να έχει προηγηθεί σχετική πρόβλεψη κατά τη στατική και την αντισεισμική μελέτη. Εάν δεν έχει γίνει σχετική πρόβλεψη, είναι δυνατόν να επιτραπούν διελεύσεις και στηρίξεις σε φέροντα ή μη δομικά στοιχεία του κτιρίου, με την προϋπόθεση ότι δεν μειώνεται πέραν των επιτρεπτών ορίων η φέρουσα ικανότητα και αντοχή τους.

Κατά την εγκατάσταση των Η/Θ συστημάτων φυσικής κυκλοφορίας θα πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες εγκατάστασης που έχει προδιαγράψει ο κατασκευαστής, καθώς η τροποποίηση της θέσης του

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

θερμοδοχείου μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργία του συστήματος, όπως είναι η αντιστροφή της κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της νύχτας.

3.3.7. Τερματικές μονάδες θέρμανσης χώρων

Οι τερματικές μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρων με Η/Θ συστήματα, είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται και σε άλλες, συμβατικές ή μη, εγκαταστάσεις θέρμανσης χώρων (σώματα καλοριφέρ, μονάδες στοιχείου ανεμιστήρα κ.λπ.). Η επιλογή του τύπου τερματικών μονάδων και η διαστασιολόγησή τους γίνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του θερμού νερού που παράγεται από το Η/Θ σύστημα, καθώς και το απαιτούμενο θερμικό φορτίο (θερμικές απώλειες) του χώρου όπως προκύπτει από τη μελέτη θέρμανσης. Η θερμοκρασία παροχής του θερμού νερού εξαρτάται από τον σχεδιασμό λειτουργίας του Η/Θ συστήματος, τον τύπο των Η/Σ, καθώς και τον τύπο του εφεδρικού/βοηθητικού συστήματος (λέβητας, αντλία θερμότητας κ.λπ.) που συνήθως χρησιμοποιείται.

3.4. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης

Τα βασικά κριτήρια και οι παράμετροι για την επιλογή ενός Η/Θ συστήματος είναι:

- ο τύπος και η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών,
- η χωρητικότητα του θερμοδοχείου σε αναλογία προς τη συλλεκτική επιφάνεια,
- τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη και θερμοδοχείου, υλικό κατασκευής, μόνωση, κ.λπ.
- το υλικό των σωληνώσεων για τη σύνδεση του Η.Σ. με το θερμοδοχείο καθώς και του θερμοδοχείου με το λέβητα (σε περίπτωση επιλογής θερμοδοχείου τριπλής ενέργειας),
- οι περιορισμοί του χώρου εγκατάστασης,
- ο επαρκής ηλιασμός στη διάρκεια της ημέρας, σωστός προσανατολισμός και κλίση,
- οι τεχνικές προδιαγραφές των βάσεων στήριξης,
- η χρονική διάρκεια της εγγύησης,
- η πιστοποίηση του κατασκευαστή.

Κάθε Η/Θ σύστημα οφείλει να διαθέτει σήμανση (CE), να έχει υποβληθεί σε δοκιμασία ελέγχου του ενεργειακού βαθμού απόδοσής του από διαπιστευμένο εργαστήριο πιστοποίησης (εθνικό ή μη) και να διαθέτει τεχνικό δελτίο στο οποίο να αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του

Τα θερμοδοχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα Η/Θ σύστημα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής, ως εξής:

- **Επισμαλτωμένα (ή εμαγιέ)**: Υπάρχουν 4 κατηγορίες επισμάλτωσης, η άμεση επισμάλτωση (Direct Enamelling), η διπλή επισμάλτωση (Double Enameling), η επισμάλτωση με ηλεκτροστατική βαφή σε μορφή ξηρής σκόνης (Powder Enamelling) και η επισμάλτωση με εποξειδικές ρητίνες. Η συνηθέστερη κατασκευή είναι εκείνη στην οποία έχει εφαρμοστεί ηλεκτροστατική βαφή σε μορφή ξηρής σκόνης. Τα θερμοδοχεία αυτής της κατηγορίας θεωρούνται ως η πιο ενδεδειγμένη κατασκευή κυρίως λόγω της αντοχής τους σε νερό του δικτύου ύδρευσης υψηλής περιεκτικότητας σε μέταλλα καθώς και λόγω της υψηλής ελαστικότητας, η οποία τα προστατεύει από ρωγμές λόγω συστολών και διαστολών κατά τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές που ενδεχομένως παρατηρηθούν. Ο χρόνος εγγύησης των συγκεκριμένων θερμοδοχείων κυμαίνεται περίπου στα 5 χρόνια. Τέλος, τα θερμοδοχεία αυτής της κατηγορίας πρέπει να φέρουν ανόδιο μαγνησίου για προστασία από την ηλεκτρόλυση.
- **Χάλκινα**: Η κατασκευή από χαλκό προσδίδει στα θερμοδοχεία αυτής της κατηγορίας πρόσθετη προστασία από διάβρωση λόγω ηλεκτρόλυσης. Αυτός είναι κι ο λόγος που στη συγκεκριμένη κατηγορία θερμοδοχείων δεν απαιτείται να φέρουν ανόδιο μαγνησίου. Η διάρκεια ζωής των χάλκινων θερμοδοχείων κυμαίνεται στα 40 χρόνια.
- **Ανοξείδωτα (inox)**: Τα θερμοδοχεία αυτής της κατηγορίας όπως και οι σωληνώσεις σύνδεσής τους κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα με μεγάλη αντοχή στην οξείδωση και την ηλεκτρόλυση. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στις συγκολλήσεις των στοιχείων των θερμοδοχείων, καθώς αν δεν εκτελεσθούν σωστά δύναται να αποτελέσουν σημείο διάβρωσης της κατασκευής. Η διάρκεια εγγύησης γι' αυτήν την κατηγορία θερμοδοχείων κυμαίνεται στα 15 χρόνια.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

- **Γαλβανιζέ**: Η συγκεκριμένη κατασκευή υστερεί των υπολοίπων όσον αφορά στην αντοχή σε φθορά, ενώ παράλληλα είναι πιθανό να οδηγήσει και σε μόλυνση του νερού λόγω οξείδωσης.

Όσον αφορά στις **σωληνώσεις των θερμοδοχείων** συνίσταται να αποφεύγονται οι απλοί μαύροι σωλήνες (π.χ. tuborama κ.λπ.) λόγω της μικρής αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασιακές καταπονήσεις. Γι' αυτό το λόγο προτείνεται η επιλογή πολυστρωματικών ή εύκαμπτων ανοξείδωτων σωλήνων. Επιπρόσθετα, συνίσταται η τοποθέτηση:

- **βαλβίδας ασφαλείας** σε όλες τις υδραυλικές σωληνώσεις για την προστασία έναντι υπερπίεσης καθώς και **αυτόματος εξαεριστικός μηχανισμός**, σε περίπτωση που δεν υπάρχει ήδη ενσωματωμένος από τον κατασκευαστή,
- **βαλβίδας απομόνωσης** στις σωληνώσεις εισόδου του νερού από το δίκτυο ύδρευσης (για λόγους συντήρησης ή επισκευής) και εξωτερικού μονωτικού περιβλήματος καλής ποιότητας στις σωληνώσεις εξόδου του ζεστού νερού. Στον Κ.Εν.Α.Κ., όπως ήδη αναφέρθηκε, καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές μόνωσης των δικτύων διανομής θερμού νερού, οι οποίες πρέπει να εφαρμόζονται σε όλες τις σωληνώσεις.

Οι βάσεις στήριξης των Η/Θ συστημάτων πρέπει να είναι κατασκευασμένες από πιστοποιημένα γαλβανιζέ εξαρτήματα, ώστε να αντέχουν σε πιθανή διάβρωση, να μην φέρουν συγκολλήσεις, και να χαρακτηρίζονται από πλήρη στατική αντοχή έναντι των ανέμων. Κατά την εγκατάσταση του συστήματος πρέπει να γίνεται ορθή αγκύρωση των βάσεων στήριξης στο οπλισμένο σκυρόδεμα ή άλλο φέρον στοιχείο του κτιρίου, ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα αποκόλλησης από τον άνεμο.

3.5. Πιστοποίηση και Ενεργειακή Σήμανση ηλιοθερμικών συστημάτων

Στην Ευρωπαϊκή αγορά ηλιακών συστημάτων χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις «ενεργειακές ετικέτες» (energy labels) και εμπορικά σήματα [30]:

- Η «ενεργειακή ετικέτα» **Solar Keymark** ήταν η πρώτη που εισήχθη στην αγορά το 2003, από την Ευρωπαϊκή Ένωση Βιομηχανιών Ηλιοθερμίας (Solar Heat Europe/ESTIF) σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Προτυποποίησης, European Committee for Standardization (CEN). Ήταν μία εθελοντική ετικέτα καθορισμού της ποιότητας ηλιακών συλλεκτών και Η/Θ συστημάτων, η οποία προσδιόριζε τη συμμόρφωσή τους με Ευρωπαϊκά Πρότυπα.
- Η δεύτερη είναι η «ενεργειακή ετικέτα» **Solergy**, η οποία χαρακτηρίζει την ενεργειακή απόδοση ενός συστήματος. Από τον Ιανουάριο του 2016 ο γερμανικός φορέας πιστοποίησης DIN CERTCO από την TÜV Rheinland εκδίδει επίσημα τη συγκεκριμένη εθελοντική ετικέτα, την οποία έχουν υιοθετήσει έως σήμερα 22 κατασκευαστές απ' όλο τον κόσμο. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες πρωτοβουλίες, όπως η «Solar Heating Initiative» [31]. Οι επτά (7) κατηγορίες της συγκεκριμένης «ενεργειακής ετικέτας» περιλαμβάνουν κατά αύξουσα σειρά απόδοσης τις A-, A, A+, A++, A+++, AA και AAA.
- Το **Energy labelling** είναι η τρίτη κατηγορία «ενεργειακών ετικετών» που στοχεύει στην ευαισθητοποίηση των καταναλωτών για την ενεργειακή απόδοση προϊόντων, η οποία εγκαινιάστηκε με την Οδηγία 2010/30/EC και αντικαταστάθηκε από τον «Energy Labelling Regulation 2017/1369». Η μέθοδος «Energy labelling» στοχεύει στη διάδοση καλύτερων πληροφοριών σχετικά με τα διάφορα προϊόντα χρησιμοποιώντας «ενεργειακές ετικέτες»", με απώτερο σκοπό την επιλογή των προϊόντων της αγοράς με ενεργειακά κριτήρια. Αφορά όλα τα προϊόντα που σχετίζονται με τον τομέα της ενέργειας (Energy Products - ErPs) και τα οποία διατίθενται στον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα (με εξαίρεση τον τομέα των μεταφορών).

Στην **Ecodesign** καθορίζονται οι απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης στη φάση σχεδιασμού προϊόντων της Ευρωπαϊκής αγοράς [28]. Εγκαινιάστηκε με την Οδηγία 2009/125/EC και αντικατέστησε την Οδηγία 2005/32/EC. Η αναθεωρημένη Οδηγία, η οποία τέθηκε σε ισχύ τον Νοέμβριο του 2009, επέκτεινε το πλαίσιο εφαρμογής της έως τότε υφιστάμενης Οδηγίας καλύπτοντας σε γενικές γραμμές όλα τα προϊόντα που σχετίζονται με τον τομέα της ενέργειας (Energy Products - ErPs).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Η **Ecodesign** και η **Energy labelling** λειτουργούν συμπληρωματικά και αποσκοπούν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης από προϊόντα, ενώ ο συνδυασμός τους θεωρείται ως μία από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης/εξοικονόμησης ενέργειας (Πίνακας 3.5.1) [29]. Τα προϊόντα που δεν συμμορφώνονται με το στόχο δεν επιτρέπεται να διατεθούν στην Ευρωπαϊκή αγορά. Οι κατασκευαστές και οι εγκαταστάτες των Η/Θ συστημάτων υποχρεούνται στην έκδοση της «ενεργειακής ετικέτας» πριν την πώληση του προϊόντος [32]. Επιπρόσθετα, στο πλαίσιο προσδιορισμού των «ενεργειακών ετικετών» έχουν αναπτυχθεί και σχετικοί αλγόριθμοι υπολογισμού, όπως για παράδειγμα αυτοί που έχουν αναπτυχθεί από το «Labelpack A+ Project», το οποίο υλοποιήθηκε με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Πίνακας 3.5.1: Κανονισμοί και Οδηγίες της ΕΕ για την πιστοποίηση ενεργειακών προϊόντων

	Ecodesign		**Energy labelling**	
Απευθύνεται σε	Κατασκευαστές		Καταναλωτές	
Τομέας εφαρμογής	Συστήματα θέρμανσης χώρου	≤ 400 kW	Συστήματα θέρμανσης χώρου	≤ 70 kW
	Συστήματα combi	≤ 400 kW	Συστήματα combi	≤ 70 kW
	Συστήματα θέρμανσης νερού	≤ 400 kW	Συστήματα θέρμανσης νερού	≤ 70 kW
	Θερμοδοχεία	≤ 2.000 l	Θερμοδοχεία	≤ 500 l
Στόχος	Αποτροπή εισόδου μη αποδοτικών προϊόντων στην Ευρωπαϊκή αγορά		Προώθηση αποδοτικών προϊόντων στην Ευρωπαϊκή αγορά	
Μέθοδοι	Κοινοί και για τις δύο Μεθόδους			
Κριτήρια	Ελάχιστη επιτρεπτή απόδοση, Μέγιστες επιτρεπόμενες θερμικές απώλειες		Ελάχιστη κλάση «ενεργειακής ετικέτας»	

Οι απαιτήσεις για την «ενεργειακή ετικέτα» καθορίζονται από τους Κανονισμούς εφαρμογής της Ecodesign, οι οποίοι έχουν εισαχθεί μαζί με τις σχετικές δράσεις από την ΕΕ κατόπιν διαβουλεύσεων με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ΕΕ εκδίδει ενδεικτικές λίστες που ορίζουν την προτεραιότητα όσον αφορά την εφαρμογή σε συγκεκριμένες ομάδες προϊόντων, οι οποίες αξιολογούνται με γνώμονα την προοπτική για σημαντική επίδραση στην κατεύθυνση μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης. Οι ομάδες αυτές προϊόντων ονομάζονται «παρτίδες» (lots), με την εφαρμογή τους να οριοθετείται από συγκεκριμένους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς.

Πίνακας 3.5.2: Κανονισμοί Εφαρμογής

Ομάδες προϊόντων	**Κανονισμοί εφαρμογής**	
	Ecodesign	**Energy labelling**
Lot 1	**813/2013** Συστήματα θέρμανσης χώρου και συστήματα combi	**811/2013** Συστήματα θέρμανσης χώρου και συστήματα combi όπως και οι συσκευασίες τους, συσκευασίες των ηλιακών συλλεκτών και του συστήματος ελέγχου της θερμοκρασίας
Lot 2	**814/2013** Συστήματα θέρμανσης νερού και θερμοδοχεία	**812/2013** Συστήματα θέρμανσης νερού όπως και οι συσκευασίες τους, θερμοδοχεία και ηλιακοί συλλέκτες

Επομένως, σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 3.5.2) υπάρχουν δύο κατηγορίες «ετικετών» για τα Η/Θ συστήματα που αφορούν στα προϊόντα και στις συσκευασίες. Κάθε προϊόν φέρει «ενεργειακή ετικέτα» με την ενεργειακή κατηγορία που ανήκει (A+++, A++, A+, A, A, C, D, E, F, G).

Οι ηλιακοί συλλέκτες ή τα αυτόνομα θερμοσιφωνικά συστήματα δεν διαθέτουν «ενεργειακή ετικέτα», καθώς αποτελούν συστήματα που παράγουν και δεν καταναλώνουν ενέργεια. Μόνο όταν τα συστήματα αυτά είναι τμήμα κάποιου άλλου συστήματος θέρμανσης ή εξοπλισμού, διαθέτουν μια «ετικέτα» που αφορά όλο το σύστημα [33].

ΤΕΑΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

3.6. Συντήρηση Η/Θ συστημάτων

Ο χρόνος ζωής και η απόδοση ενός Η/Θ συστήματος εξαρτάται, τόσο από την ποιότητα κατασκευής και υλικών όσο και από τη συντήρησή τους. Παρά το γεγονός ότι τα Η/Θ συστήματα δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις συντήρησης, θα πρέπει να μην παραμελούνται προκειμένου να διατηρούν την απόδοσή τους στα επίπεδα που αναφέρονται στις προδιαγραφές τους. Σε περιπτώσεις πλημμελούς συντήρησης και εμφανών διαρροών, η απόδοση του Η/Θ συστήματος μπορεί να μειωθεί ακόμη και πάνω από 20%. Η συντήρηση των Η/Θ συστημάτων θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, στις ενέργειες τακτικών ελέγχων και στις ενέργειες προληπτικής ή επεμβατικής συντήρησης.

Οι τακτικοί έλεγχοι ή περιοδικοί έλεγχοι μπορούν να υλοποιηθούν, τόσο από τους ιδιοκτήτες των Η/Θ συστημάτων, όσο και από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό, ενώ η προληπτική ή επεμβατική συντήρηση υλοποιούνται μόνο από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό.

Ο τακτικός έλεγχος των Η/Θ συστημάτων περιλαμβάνει:

- **Οπτικό έλεγχο για φθορές και πιθανές διαρροές των συλλεκτικών επιφανειών**. Τόσο οι Η.Σ. όσο και οι υδραυλικές σωληνώσεις μπορούν να υποστούν φθορές (π.χ. χαλαζόπτωση ή πτώσης αντικειμένων), οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να οδηγήσουν σε διαρροή του θερμοαπαγωγού ρευστού, διάβρωση ή ακόμη και διάτρηση. Με τον οπτικό έλεγχο της κατάστασης των Η.Σ. και της μόνωσης των υδραυλικών σωληνώσεων, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μπορούν να διαπιστωθούν έγκαιρα οι διαρροές από τα λευκά ή καφέ σημάδια που αφήνουν στις επιφάνειες.
- **Οπτικό έλεγχο του υδραυλικού κυκλώματος**. Οι βαλβίδες ασφαλείας, οι φλάντζες και οι συνδέσεις συνιστάται να ελέγχονται τουλάχιστον μια φορά το χρόνο για πιθανές διαρροές (ακολουθώντας πάντα τους κανονισμούς ασφαλείας που προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή). Οι συγκεκριμένες διαρροές πολλές φορές υποδηλώνουν πρόβλημα υπερθέρμανσης ή υψηλής πίεσης στο Η/Θ σύστημα. Σε περίπτωση δυσλειτουργίας των βαλβίδων ασφαλείας συνιστάται η άμεση αντικατάστασή τους. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, όταν δεν χρησιμοποιείται το Η/Θ σύστημα, συνιστάται η κάλυψη του Η.Σ. με κατάλληλα καλύμματα για να αποφεύγεται η αύξηση θερμοκρασίας του θερμοαπαγωγού ρευστού που μπορεί να οδηγήσει σε σταδιακή εξάτμισή του.
- **Καθαρισμός της επιφάνειας των Η.Σ.** Συνιστάται καθαρισμός της επιφάνειας των Η.Σ. για την απομάκρυνση της σκόνης και πιθανών ακαθαρσιών μετά από παρατεταμένες περιόδους ξηρής και βεβαρημένης σε ρύπανση ατμόσφαιρας. Στην περίπτωση των συλλεκτών κενού δεν απαιτείται συχνό καθάρισμα καθώς μεγάλο μέρος της επικαθήμενης σκόνης απομακρύνεται με τη βροχή, εντούτοις, σε περίπτωση που εξακολουθεί να υπάρχει σκόνη, συστήνεται ο καθαρισμός της επιφάνειας μία φορά τον χρόνο με χλιαρό νερό.
- **Περιοδικός έλεγχος για σχηματισμό αλάτων στους συλλέκτες κενού**. Συνιστάται έλεγχος δύο φορές το χρόνο για τον πιθανό σχηματισμό αλάτων στα άκρα των σωλήνων κενού και καθαρισμός σε περίπτωση εντοπισμού τους. Πριν την επανεγκατάσταση των σωλήνων κενού συνιστάται ο καθαρισμός τους με νερό.

Η συντήρηση των Η/Θ συστημάτων πρέπει να γίνεται κάθε δύο χρόνια και περιλαμβάνει:

- **Έλεγχο διαρροής του αντιψυκτικού υγρού**. Το θερμοαπαγωγό ρευστό στα κλειστά Η/Θ συστήματα χρειάζεται αντικατάσταση κάθε 3-5 χρόνια για την εξασφάλιση σωστής αντιπαγετικής προστασίας με απομάκρυνση της παλαιάς ποσότητας ρευστού, καθαρισμό των σωληνώσεων (flushing out) και πλήρωση με νέα ποσότητα. Οι σωληνώσεις του Η.Σ. θα πρέπει να ελέγχονται στα ενδιάμεσα διαστήματα για πιθανή διαρροή και να συμπληρώνεται εφόσον απαιτείται αντιψυκτικό υγρό, ώστε να αποτρέπεται η καταστροφή τους (δημιουργία πάγου σε χαμηλές θερμοκρασίες) άλλα και να διατηρηθεί η απόδοσή τους. Ειδικότερα, οι συλλέκτες κενού ελέγχονται για πιθανές διαρροές κυρίως στα σημεία πρόσδεσής τους, και σε περίπτωση διαρροής θα πρέπει να αντικατασταθεί ο ελαττωματικός εξοπλισμός.
- **Καθαρισμό της αντίστασης του θερμοδοχείου.** Στα θερμοδοχεία με ηλεκτρική αντίσταση απαιτείται ο καθαρισμός της για την απομάκρυνση επικαθήμενων αλάτων και την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του θερμοδοχείου.

- **Έλεγχο βάσεων στήριξης**. Συστήνεται περιοδικός έλεγχος της βάσεων στήριξης για πιθανές αστοχίες που δύναται να δημιουργηθούν λόγω κακής εγκατάστασης. Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου ελέγχου θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος και σύσφιξη όλων των κοχλιών πρόσδεσης των ηλιακών συλλεκτών στις βάσεις στήριξης.
- **Αλλαγή του ανοδίου μαγνησίου**. Στα θερμοδοχεία με ηλεκτρική αντίσταση που περιλαμβάνουν ηλεκτρόδιο προστασίας (ανόδιο μαγνησίου), συστήνεται η αλλαγή του στην προδιαγεγραμμένη από τον κατασκευαστή συχνότητα (συνήθως κάθε 2 με 3 χρόνια).

3.7. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-6/2021: «Βιοκλιματική αρχιτεκτονική στον ελλαδικό χώρο», Ά έκδοση, 2021.
2. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2021 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης». Ε' Έκδοση 2021.
3. J.A. Duffie, W.A. Beckman et al. «Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind», 5nd Edition, John Wiley & Sons, 2020.
4. Ευθύμιος Η. Βαζαίος, «'Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας»'. Δ' έκδοση, Αθήνα, 1990.
5. I. Atmaca and S. Kocak. Theoretical energy and exergy analyses of solar assisted heat pump space heating system. Thermal Science, 18 (2014), 417-427.
6. G. Quiñones, C. Felbol, C. Valenzuela, J.M. Cardemil, R.A. Escobar. Analyzing the potential for solar thermal energy utilization in the Chilean copper mining industry. Elsevier: Solar Energy, 197 (2020), 292-310.
7. A. Ileri. Yearly simulation of a solar-aided R22-DEGDME absorption heat pump system. Elsevier: Solar Energy, 55 (1995), 255-265.
8. D.M. Ikeri, S.D.R. Oliveira and V.L. Scalon. Comparative analysis for glazed and unglazed collector for used in solar domestic hot water systems. 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013), 3-7 November 2013, Ribeirão Preto, SP, Brazil.
9. EN 15316-4-3:2017 : Energy performance of buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar and photovoltaic systems, Module M3-8-3, M8-8-3, Mll-8-3.
10. EN ISO 9806:2017: Solar energy — Solar thermal collectors — Test methods. 2nd Edition.
11. Μιχάλης Γ. Βραχόπουλος, Αθηνά Γ. Γαγλία, Κοσμάς Α. Καββαδίας, Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κωνσταντίνος Α. Μπαλαράς. Θεματική Ενότητα ΔΕ4: «Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας». Εκπαιδευτικό υλικό για την κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών Κτιρίων, Τ.Ε.Ε. Αθήνα, 2011.
12. A. Kocer, I. Atmaca and C. Ertekin. A comparison of flat plate and evacuated tube solar collectors with F-chart method. Journal of Thermal Science and Technology, 35 (2015), 77-86.
13. H.R. Rahedi, N.M. Adam, S.M. Sapuan, M.M.H.M. Ahmad. Effect of storage tank geometry on performance of solar water heater, Journal of Scientific & Industrial Research, 66 (2007), 146-151.
14. A.H. Fanney, S. A. Klein. Performance of Solar Domestic Hot Water Systems at the National Bureau of Standards-Measurements and Predictions. Journal of Solar Energy Engineering. 105 (1983), 311-321.
15. D.Deepika, M.A.A. Baig, A.R. Reddy, D. Maneaih. Utilization of f-Chart Method for Designing Solar Thermal Heating System. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 2016, 23-28.
16. S.A. Kalogirou. Modeling and design of solar energy systems including solar economics. Encyclopedia Life Support Systems, 2010.
17. C. Yan, S. Wang, Z. Ma, W. Shi. A simplified method for optimal design of solar water heating systems based on life-cycle energy analysis. Elsevier: Renewable Energy, 74 (2015), 271-278.
18. N. Kulkarni, S. B. Kedare, S. Bandyopadhyay. Determination of design space and optimization of solar water heating systems. Elsevier: Solar Energy, 81 (2007), 958-968.
19. C.D. Barley, C.B. Winn. Optimal sizing of solar collectors by the method of relative areas. Elsevier: Solar Energy, 21 (1978), 279-289.
20. S.A. Klein, W.A. Beckman, J.A. Duffie. A design procedure for solar heating systems. Elsevier: Solar Energy, 18 (1976), 113-127.

ΤΕΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

21. A.B. Copsey. Modification of the f-chart method for solar domestic hot water systems with stratified storage, MSc Thesis. University of Wisconsin, 1984.
22. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών» Γ' Έκδοση 2014.
23. P.J. Axaopoulos. Solar Thermal Conversion: Active solar systems, Symmetria, 2011.
24. Φ. Κωτσιάνας και Δ. Χούντρας. Συλλέκτες ηλιακής ενέργειας: Θεωρία-κατασκευή συστημάτων θερμάνσεως νερού, 3η έκδοση. 1977.
25. Albers J. et al., Solar Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners, Springer-Verlag, p. 150, Vienna, (2004).
26. Grumman D.L., et al, ASHRAE Green Guide (2nd edition), The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings, ASHRAE Press and Butterworth-Heinemann an imprint of Elsevier, J.M. Swift, T. Lawrence, H.J. Enck, and M. Lewis (Editors), Atlanta, p. 416, (2006).
27. Balaras C.A., G. Grossman, H-M Henning, C.A.I. Ferreira, E. Podesser, L. Wang, E. Wiemken, Solar Air Conditioning in Europe – An Overview, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, No 2, p. 299-314, (2007).
28. Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2017 setting a framework for energy labelling and repealing Directive 2010/30/EU.
29. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of Ecodesign requirements for energy-related products.
30. http://solarheateurope.eu/policy/energy-labelling/.
31. https://solar-heating-initiative.com/solergy/
32. http://www.label-pack-a-plus.eu/
33. https://www.dincertco.de
34. Ανακοίνωση της Επιτροπής στο πλαίσιο της εφαρμογής του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 814/2013 της Επιτροπής για την εφαρμογή της οδηγίας 2009/125/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού των θερμαντήρων νερού και των δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού, καθώς και του κατ' εξουσιοδότηση κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 812/2013 της Επιτροπής για τη συμπλήρωση της οδηγίας 2010/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά την επισήμανση της κατανάλωσης ενέργειας των θερμαντήρων νερού, των δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού και των συγκροτημάτων θερμαντήρα νερού και ηλιακής συσκευής, επίσημη εφημερίδα της Ε.Ε.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

4. Φωτοβολταϊκά συστήματα

4.1. Γενικά στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα αποτελούν διατάξεις που αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω του φαινόμενου της φωτοαγωγιμότητας [1-2]. Η πλέον διαδεδομένη τεχνολογία απευθείας μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια (συνεχές ρεύμα DC), είναι τα Φ/Β πυριτίου [3-6]. Η άμεση αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, σε συνδυασμό ή/μη και με συστήματα αποθήκευσης (συσσωρευτές), καθιστά τα Φ/Β την καταλληλότερη τεχνολογία, για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών σε κτίρια απομονωμένων περιοχών [3-6]. Το συνεχές ρεύμα (DC) μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο (AC) μέσω κατάλληλων διατάξεων, εφόσον είναι απαραίτητο για την ηλεκτροδότηση των ηλεκτρικών συσκευών.

Τα Φ/Β θεωρούνται ως μια αξιόπιστη τεχνολογία, απλή στη λειτουργία (χωρίς μηχανικά μέρη), με περιορισμένες απαιτήσεις συντήρησης ενώ η συχνότητα διακοπής λειτουργίας τους ετησίως είναι πολύ μικρή (π.χ. για συντήρηση ή λόγω νεφοσκεπών ημερών) [5-6]. Η διάρκεια ζωής των Φ/Β είναι θεωρητικά, όση και των υλικών από τα οποία κατασκευάζονται και σε περίπτωση βλάβης κάποιου στοιχείου η επισκευή γίνεται άμεσα. Οι μπαταρίες (συσσωρευτές) εξελίσσονται συνεχώς με τις νέες τεχνολογίες να φτάνουν σε διάρκεια ζωής άνω των 15 ετών.

Για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των Φ/Β επενδύσεων είναι απαραίτητη, όσο το δυνατόν, η ακριβής εκτίμηση της πραγματικής ενεργειακής απόδοσης Φ/Β σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας στο εξωτερικό περιβάλλον. Η σχέση απόδοσης-κόστους των Φ/Β εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη μακροχρόνια αξιοπιστία (διάρκεια ζωής) και την ανθεκτικότητα των Φ/Β μονάδων, που επηρεάζονται από τις πιθανές μεταβολές των τεχνικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων και κυρίως στο ρυθμό υποβάθμισης (degradation) της ενεργειακής απόδοσης τους [5-6].

Τα Φ/Β υποβάλλονται σε δοκιμές και ελέγχους αντοχής στις καιρικές συνθήκες, προκειμένου να αξιολογηθεί η ικανότητα αντοχής των υλικών τους. Οι δοκιμές περιλαμβάνουν συνήθως: τη διακύμανση της θερμοκρασίας και υγρασίας, θερμικό σοκ, τη συνεχή ψύξη και απόψυξη των Φ/Β, τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη βροχή ή την άμμο και τη σκόνη. Επίσης τα Φ/Β υπόκειται σε υψηλά τεστ αντοχής (επιταχυνόμενης πίεσης κ.λπ.) και δοκιμές επιταχυνόμενης διάρκειας ζωής, προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές αστοχίες τους. Ειδικότερα, για τον ποιοτικό έλεγχο των Φ/Β μονάδων και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων, τα Φ/Β είναι πιστοποιημένα βάσει διεθνών προτύπων [7-8]. Η πιστοποίηση των Φ/Β εξασφαλίζει ότι πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις και ότι έχουν λιγότερες πιθανότητες να εμφανίσουν αστοχίες και χαμηλή απόδοση.

Οι τεχνολογίες Φ/Β που υπάρχουν διαθέσιμες στην αγορά σήμερα είναι κυρίως από πυρίτιο (Si), κρυσταλλικής δομής (μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά) σε μορφή πλακιδίων και άμορφα σε μορφή μεμβράνης ή κοινώς λεπτού υμένα (thin film - λεπτού φιλμ) [1, 5, 6, 8]. Σε μικρότερο βαθμό για την κατασκευή Φ/Β χρησιμοποιείται και το γερμάνιο (Ge). Τα Φ/Β πυριτίου έχουν επικρατήσει στην αγορά, λόγω της αφθονίας του πυριτίου στη φύση και των καλών ημιαγώγιμων χαρακτηριστικών τους, αλλά και λόγω του χαμηλού κόστους αγοράς τους, το οποίο οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος πρώτης ύλης και παραγωγής τους σε σχέση με άλλα.

Οι ενεργειακές αποδόσεις των Φ/Β πυριτίου διαφέρουν ανάλογα με την τεχνολογία και κυμαίνονται για το άμορφο πυρίτιο (μεμβράνες – λεπτοί υμένες) περίπου στο 7% έως 11% και για τα μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά (μονής ή διπλής όψης) στο 14% έως 22% [8]. Τα μονοκρυσταλλικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, αλλά το κόστος κατασκευής τους είναι μεγαλύτερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών. Το καθαρό (ενεργό) πάχος των πλακιδίων των κρυσταλλικών Φ/Β πυριτίου, χωρίς τις μεταλλικές επαφές, κυμαίνεται συνήθως από 200 έως 450μm. Αντίστοιχα, τα Φ/Β άμορφου πυριτίου «λεπτού υμένα» είναι στοιχεία πολύ μικρότερου πάχους (συνήθως 1 έως 5μm), τα οποία παρουσιάζουν χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση αλλά και χαμηλότερο κόστος παραγωγής.

ΤΕΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Τα Φ/Β πολλαπλής επαφής (διπλής, τριπλής κ.λπ.) είναι νεότερη τεχνολογία και παρουσιάζουν υψηλότερες ενεργειακές αποδόσεις από 25% έως και άνω του 40% σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Εργαστηριακά η ενεργειακή απόδοσή τους υπερβαίνει το 60%. Στο μέλλον τα Φ/Β πολλαπλής επαφής που χρησιμοποιούνται στην αγορά αναμένεται να φτάσουν σε ενεργειακή απόδοση πάνω από 50% [5, 8-10]. Η αποδοτική λειτουργία των Φ/Β πολλαπλών επαφών προϋποθέτει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας να υπερβαίνει τους 200 ήλιους (200 kW/m^2) που επιτυγχάνεται με τη χρήση συγκεντρωτικών φακών, αλλά και συστήματος παρακολούθησης του ήλιου. [9].

Τα Φ/Β πολλαπλής επαφής αποτελούνται από συνδυασμό μεμβρανών «λεπτού φιλμ», οι οποίες κατασκευάζονται με ημιαγώγιμα υλικά όπως το γάλλιο-αρσενικό (GaAs), κάδμιο-τελλούριο (CdTe), χαλκός-ίνδιο (CuIn), χαλκός-ίνδιο-σελήνιο ($CuInSe_2$) και κάδμιο-θείο (CdS) που είναι και τα πιο γνωστά σε επίπεδο εφαρμογών [1,8]. Επίσης, χρησιμοποιούνται και πιο σύνθετα στοιχεία όπως το γάλλιο-αλουμίνιο-αρσενικό (GaAlAs), γάλλιο-ίνδιο-φώσφορος ($GaInP_2$), γάλλιο-ίνδιο-αρσενικό-φώσφορος (GaInAsP), γάλλιο-αντιμόνιο (GaSb), ίνδιο-αντιμόνιο (InSb) και ίνδιο-φώσφορος (InP). Ο συνδυασμός και η ταυτόχρονη χρήση μεμβρανών διαφορετικής σύστασης, με δυνατότητα αξιοποίησης διαφορετικού φάσματος ηλιακής ακτινοβολίας η κάθε μία, αυξάνουν τον βαθμό αξιοποίησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια τον βαθμό ενεργειακής απόδοσης των Φ/Β [1, 8].

Άλλες τεχνολογίες Φ/Β είναι και τα θερμοφωτονικά συστήματα (thermophotonic systems), που αποτελούνται από δύο οπτικές διόδους (LED) σε οπτική επαφή, οι οποίες είναι θερμικά απομονωμένες και διατηρούνται σε διαφορετική θερμοκρασία η κάθε μία. Κατά τη σύνδεση των διόδων με ένα ηλεκτρικό φορτίο, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας τους, εμφανίζεται μεταφορά φωτονίων από τη μία πλευρά στην άλλη, με αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος μέσω του φορτίου. Η απόδοση της διάταξης αυτής εξαρτάται κυρίως από τις θερμοκρασίες των διόδων.

Το μεγαλύτερο ποσοστό Φ/Β εφαρμογών για τα επόμενα έτη εκτιμάται να εξακολουθεί να είναι Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου (Si), καθώς έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα του χαμηλότερου κόστους κατασκευής, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνεται και η ενεργειακή τους απόδοση [8].

4.2. Τεχνικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς (P_{pv}, Watt), η ενεργειακή απόδοση (n, %), καθώς και η διακύμανση της τάσης εξόδου (V, volt) και της απόδοσής τους ανάλογα με τη θερμοκρασία (T_{pv}, °C) του Φ/Β, είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας Φ/Β.

Πίνακας 4.1.1: Ενδεικτικά τεχνικά χαρακτηριστικά κρυσταλλικών Φ/Β κυψελών [5]

Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β	***Θερμοκρασία επιφάνειας (°C)***		
	25 (STC)	**45**	**60**
Μέγιστη ισχύς P_{mp} (W_p)	49	44,8	41,5
Τάση στην μέγιστη ισχύ V_{mp} (V)	17	15,44	14,27
Ένταση στην μέγιστη ισχύ I_{mp} (A)	2,88	2,9	2,91
Τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} (V)	21,6	20	18,86
Ένταση βραχυκυκλώσεως I_{sc} (A)	3,15	3,17	3,18
Βαθμός απόδοσης η (%)	11,31	10,34	9,58
***Σημειώσεις**:* *Μεταβολή χαρακτηριστικών 0,95 (mA/°C), -79 (mV/°C), -0,43(%/°C),* *STC (Standard Test Conditions): G_{Tref}=1000 W/m², T_{pv}=25 °C, AM=1,5*			

Οι τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας των Φ/Β, που συνοδεύουν το προϊόν, πιστοποιούνται μετά από δοκιμές σε συγκεκριμένες πρότυπες συνθήκες εντός εργαστηρίου (Standard Test Conditions - STC). Οι πρότυπες συνθήκες εργαστηριακής δοκιμής (STC) είναι για ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m², θερμοκρασία επιφανείας Φ/Β στοιχείου 25 °C, και αέρια μάζα ίση με 1,5, σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα IEC 60904 [11]. Ωστόσο, οι δοκιμές μπορεί να γίνονται και για διαφορετικές τιμές έντασης ηλιακής

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

ακτινοβολίας (π.χ. 800 W/m²), ή τιμές της θερμοκρασία των Φ/Β (π.χ. 45 °C ή 60 °C), συνθήκες που συνήθως καταγράφονται κατά τη λειτουργίας τους σε εξωτερικό περιβάλλον (Πίνακας 4.1.1). Η πιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και η εξέταση τύπου των Φ/Β γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα της σειράς IEC 61245 [12], που διαφοροποιούνται για κάθε τύπο Φ/Β κυψελών.

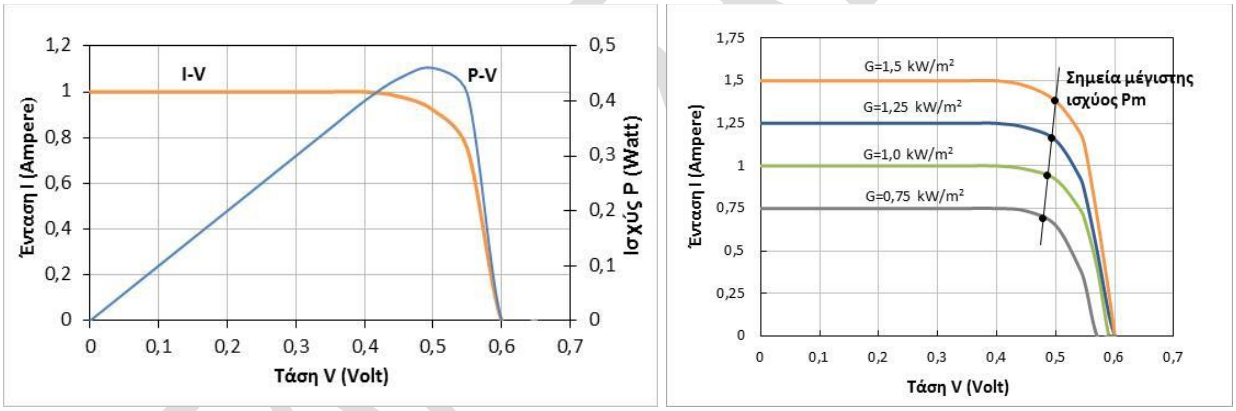
Η τάση ανοικτοκυκλώσεως V_{oc} των Φ/Β κυψελών εξαρτάται κυρίως από το υλικό κατασκευής τους, έχει πολύ χαμηλή τιμή και αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η τάση ανοικτοκυκλώσεως (V_{oc}) παραμένει σχεδόν σταθερή από μια ορισμένη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας και πάνω, η οποία για μια Φ/Β κυψέλη (1 cm²) κρυσταλλικού πυριτίου συνήθως κυμαίνεται σε τιμές από 0,52 έως 0,6 Volt [1, 3, 4]. Για τα Φ/Β άμορφου πυριτίου η τάση ανοικτοκυκλώσεως (V_{oc}) είναι μεγαλύτερη και κυμαίνεται από 0,6 έως 0,9 Volt [6].

Το ρεύμα (I) που παράγει μια Φ/Β κυψέλη αυξάνεται ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνειά της, σχεδόν γραμμικά, καθώς και με την επιφάνεια της Φ/Β κυψέλης. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{sc} διατηρεί σταθερή τιμή, σε κλειστό κύκλωμα χωρίς φορτίο.

Η ηλεκτρική ισχύς (P_{pv}) που παράγει ένα Φ/Β στοιχείο εξαρτάται από την ένταση (I) και την τάση (V) του ρεύματος και υπολογίζεται από την επόμενη εξίσωση:

$$P_{pv} = V \cdot I \qquad \text{(εξ. 4.2.1)}$$

Η διακύμανση της έντασης ρεύματος (I) σε συνάρτηση με την τάση (V), για σταθερή τιμή της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (G), ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη Φ/Β, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 4.2.1. Στο ίδιο σχήμα (αρ.) απεικονίζεται και η διακύμανση της αποδιδόμενης ισχύος (P_{pv}) σε συνάρτηση με την τάση (V). Η μέγιστη ισχύς (P_{mp}) εμφανίζεται σε μια τιμή τάσης (V_{mp}), ελαφρώς μικρότερη από την τάση (V_{oc}) ανοικτού κυκλώματος.



Σχήμα 4.2.1: Χαρακτηριστική καμπύλη Φ/Β κυψέλης «Τάσης – Έντασης» και καμπύλη «Τάσης –Ισχύος» (αρ.). Χαρακτηριστικές καμπύλες Φ/Β κυψέλης «Τάσης – Έντασης» για διαφορετικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (δεξ.). [5]

Σε αρκετές περιπτώσεις Φ/Β η τιμή αυτή εκτιμάται κατά προσέγγιση $V_{mp} \cong 0{,}9 \cdot V_{oc}$. Η τάση ($V_{mp}$) και η ένταση ($I_{mp}$) που αντιστοιχούν στο σημείο της μέγιστης ισχύος του Φ/Β προσδιορίζεται από το διάγραμμα (P-V) και το γινόμενό τους υπολογίζει τη μέγιστη ισχύ (P_{mp}) ως εξής:

$$P_{mp} = V_{mp} \cdot I_{mp} \qquad \text{(εξ. 4.2.2)}$$

Ο συντελεστής πλήρωσης (FF) είναι το χαρακτηριστικό μέγεθος των Φ/Β κυψελών που συσχετίζει τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ (P_{mp}) με τη μέγιστη θεωρητική τιμή της ισχύος, η οποία ορίζεται από το γινόμενο του ρεύματος βραχυκυκλώσεως (I_{sc}) (μηδενική αντίσταση) και της τάσης ανοικτοκυκλώσεως (V_{oc}) και περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση.

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \qquad \text{(εξ. 4.2.3)}$$

Ο βαθμός απόδοσης (η_{pv}) μιας Φ/Β κυψέλης εκφράζεται με τον λόγο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (P_{pv}, Watt) προς το γινόμενο της έντασης (G_T, W/m²) της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολία επί την επιφάνεια της (A_{pv}, m²), σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\eta_{pv} = \frac{P_{pv}}{G_T \cdot A_{pv}} \qquad (εξ.\ 4.2.4)$$

4.2.1. Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση των Φ/Β

Ο πραγματικός βαθμός απόδοση (η_{pv}) των Φ/Β σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος αποκλίνει από τον ονομαστικό βαθμό απόδοσης σε συνθήκες STC, κυρίως λόγο της μεταβολής της θερμοκρασίας των Φ/Β (T_{pv}) και της μη κάθετης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (G_T) στην επιφάνεια τους (βλ. ενότητα 4.2.2), δηλαδή μη μηδενική γωνία πρόσπτωσης (θ≠0). Ο πραγματικός βαθμός απόδοσης (ενεργειακή απόδοση) των Φ/Β περιγράφεται από τη θεωρητική γραμμική εξίσωση των Evans D.L. και Florschuetz L.W για διαφορετικές κλιματικές συνθήκες [13-14]:

$$\eta_{pv} = \eta_{Tref}[1 - \beta_{ref}(T_{pv} - T_{ref}) + \gamma\, log_{10}\, G_T] \qquad (εξ.\ 4.2.5)$$

όπου, η_{Tref} είναι ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης των Φ/Β σε συνθήκες STC, για θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} (συνήθως 25°C) και ένταση ηλιακής ακτινοβολίας G_T κάθετα στην επιφάνεια των Φ/Β (1000W/m²) [15]. Ο συντελεστής θερμοκρασίας (β_{ref}) και ο συντελεστής ηλιακής ακτινοβολίας (γ) στην (εξ. 4.2.5) είναι βασικές ιδιότητες των Φ/Β με ενδεικτικές τιμές για Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου β_{ref} = 0,004K^{-1} και γ = 0,12 αντίστοιχα [16]. Στην πράξη ο συντελεστής ηλιακής ακτινοβολίας (γ) θεωρείται συνήθως μηδενικός και η (εξ. 4.2.5) απλοποιείται στη θεωρητική γραμμική εξίσωση των Evans D.L. και Florschuetz L.W. [14] ως εξής:

$$\eta_{pv} = \eta_{Tref}[1 - \beta_{ref}(T_{pv} - T_{ref})] \qquad (εξ.\ 4.2.6)$$

Η τιμή του συντελεστή θερμοκρασίας (β_{ref}) εξαρτάται από το υλικό των Φ/Β καθώς και από τη θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} και υπολογίζεται από την (εξ. 4.2.7), σε συνάρτηση της μέγιστης θερμοκρασίας T_o που θεωρητικά μηδενίζεται ο βαθμός απόδοσής τους (n_{pv}) και η οποία, για τα κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου, εκτιμάται περίπου στους 270°C [17-18].

$$\beta_{ref} = \frac{1}{T_o - T_{ref}} \qquad (εξ.\ 4.2.7)$$

Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 4.2.2) δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή θερμοκρασίας (β_{ref}) για θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} = 25°C και για διάφορους τύπους Φ/Β πυριτίου, κρυσταλλικά, άμορφα και υβριδικά (PV/T), όπως αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 4.2.2: Ονομαστικός βαθμός απόδοσης n_{Tref} και συντελεστής θερμοκρασίας β_{ref} για κρυσταλλικά Φ/Β [14, 19-28].

Τεχνολογία Φ/Β	η_{Tref}	β_{ref} (για T_{ref} = 25°C)
Μονοκρυσταλλικά πυριτίου (Si)	0,11÷0,15	0,0035÷0,006 τυπική τιμή 0,0038
Πολυκρυσταλλικά πυριτίου (Si)	0,105÷0,145	0,0038÷0,0063 τυπική τιμή 0,0042
Άμορφα πυριτίου (Si)	0,05÷0,07	0,001÷0,0025
Υβριδικά κρυσταλλικά PV/T πυριτίου (SI)	0,10÷0,15 0,127	0,0035÷0,0041 0,006÷0,0063

Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας των Φ/Β σε συνθήκες λειτουργίας περιβάλλοντος, έχουν αναπτυχθεί αρκετές θεωρητικές και εμπειρικές (πειραματικές) σχέσεις. Η πιο απλή μέθοδος υπολογισμού της θερμοκρασίας (T_{pv}) των κρυσταλλικών Φ/Β πυριτίου είναι η εξίσωση Ross, η οποία υπολογίζει με αρκετή ακρίβεια τη θερμοκρασία σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία αέρα (T_{air}) και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (G_T) [29]:

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

$$T_{pv} = T_{air} + k \cdot G_T \qquad (εξ.\ 4.2.8)$$

Ο συντελεστής k της (εξ. 4.2.8) γνωστός και ως συντελεστής Ross (K.m²/W), εξαρτάται από τη θέση εγκατάστασης των Φ/Β και εκφράζει τον λόγο της διαφοράς θερμοκρασίας του Φ/Β και του περιβάλλοντος αέρα προς την ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή: $k = (T_{pv} - T_{air}) / G_T$. Οι τυπικές τιμές του συντελεστή Ross είναι συνήθως k ≈ 0,02 ÷ 0,04 (K.m²/W) [30-31]. Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 4.2.3) δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή Ross, ανάλογα με τη θέση τοποθέτησης των Φ/Β, καθώς και τη δυνατότητα ή μη αερισμού της επιφάνειας [32].

Πίνακας 4.2.3: Συντελεστής k (παράμετρος Ross) (K.m²/W) [32].

Θέση εγκατάστασης επιφάνειας Φ/Β	k [K.m²/W]
Ψυχόμενη επιφάνεια (πανταχόθεν σε επαφή με αέρα)	0,020
Επιφάνεια ελεύθερα τοποθετημένη (free standing)	0,021
Επιφάνεια οριζόντια πάνω σε δώμα	0,026
Επιφάνεια ελαφρώς αεριζόμενη	0,034
Επιφάνεια ενσωματωμένη σε δομικό στοιχείο	0,054
Επιφάνεια πάνω σε κεκλιμένη στέγη	0,056

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας T_{pv} του Φ/Β έχουν αναπτυχθεί αρκετές αναλυτικές θεωρητικές και εμπειρικές σχέσεις, που περιλαμβάνουν και άλλες κλιματικές παραμέτρους όπως η ταχύτητα του ανέμου (v_w) [33, 34]. Στην πράξη όμως, η διακύμανση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των Φ/Β επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία του αέρα της περιοχής (T_{air}, °C) και από την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (G, W/m²). Επειδή όμως η θερμοκρασία του Φ/Β είναι δύσκολο να μετρηθεί ή να προσδιοριστεί, για τον υπολογισμό του πραγματικού βαθμού απόδοσης των Φ/Β χρησιμοποιείται και η (εξ. 4.2.9), όπου ο δείκτης (NOCT – Nominal Operating Cell Temperature) αφορά τις συνθήκες που αντιστοιχούν στη Θερμοκρασία Ονομαστικής Λειτουργίας του Φ/Β.

$$\eta_{pv} = \eta_{Tref} \cdot \{1 - \beta_{ref} \cdot [T_{air} - T_{ref} + (T_{NOCT} - T_{air}) \cdot \frac{G_T}{G_{NOCT}}]\} \qquad (εξ.\ 4.2.9)$$

4.2.2. Επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην απόδοση των Φ/Β

Η γωνία πρόσπτωση (θ, deg) της ηλιακής ακτινοβολίας (G) στο Φ/Β επηρεάζει άμεσα την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά φτάνει στη συλλεκτική επιφάνεια των Φ/Β προς αξιοποίηση. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από τις συντεταγμένες της περιοχής εγκατάστασης (γεωγραφικό μήκος (φ) και πλάτος (L)), την εποχή (ηλιακή απόκλιση (δ)) και τις γωνίες θέσης της επιφάνειας, προσανατολισμός (γ) και γωνία κλίσης (β), και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση [1,3]:

$$cos\,(\theta) = cos\,(\delta) \cdot cos(\varphi - \beta) \cdot cos\,(\omega) + sin\,(\delta) \cdot sin(\varphi - \beta) \qquad (εξ.\ 4.2.10)$$

Η ηλιακή ακτινοβολία G_T ή I_β που διαπερνά το γυάλινο κάλυμμα και απορροφάται τελικά προς αξιοποίηση από στη συλλεκτική επιφάνεια του Φ/Β (S_{pv}), εξαρτάται από τον συντελεστή διαπερατότητας (τ) της γυάλινης επιφάνειας και τον συντελεστή απορροφητικότητας (α) της επιφάνειας του Φ/Β. Το γινόμενο των δύο παραμέτρων (τ·α) διαμορφώνεται ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης (θ) της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στη γυάλινη επιφάνεια του Φ/Β και τη γωνία διάθλασης (θ_z) του τζαμιού. Η τελική αξιοποιούμενη ηλιακή ακτινοβολία (S_{pv}) από το Φ/Β υπολογίζεται ως:

$$S_{pv} = G_T \cdot \tau\alpha(\theta)_{av} \quad ή \quad S_{pv} = I_\beta \cdot \tau\alpha(\theta)_{av} \qquad (εξ.\ 4.2.11)$$

όπου $\tau\alpha(\theta)_{av}$ είναι ο μέσος συντελεστής διαπερατότητας -απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας για γωνία πρόσπτωσης (θ) και εκτιμάται ότι είναι κατά μέσο όρο περίπου 4% χαμηλότερος από τον αντίστοιχο μέσο συντελεστή $\tau\alpha(\theta)_b$ της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή:

$$\tau\alpha(\theta)_{av} = 0{,}96 \cdot \tau\alpha(\theta)_b \qquad (εξ.\ 4.2.12)$$

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

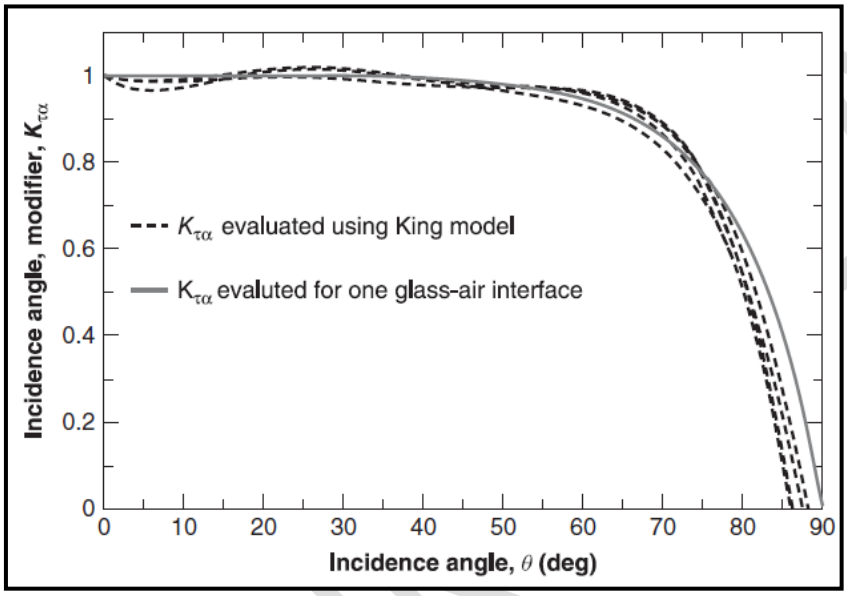
Ο μέσος συντελεστής $\tau\alpha(\theta)_b$ της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην περίπτωση Φ/Β από καθαρό μονό γυαλί ("water white" glass), μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση [1, 5, 37], η οποία προκύπτει από την εφαρμογή των αναλυτικών σχέσεων που δίνουν οι νόμοι των Snell, Fresnel και Bougher [35, 36]:

$$\tau\alpha(\theta)_b = 0{,}9469 + 0{,}0008 \cdot \theta - 0{,}0001 \cdot \theta^2 + 5{,}95 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 - \\ -1{,}64 \cdot 10^{-7} \cdot \theta^4 + 2{,}00215 \cdot 10^{-9} \cdot \theta^5 - 1{,}005 \cdot 10^{-11} \cdot \theta^6 \qquad (εξ.\ 4.2.13)$$

Η διακύμανση του γινομένου της διαπερατότητας (τ) επί της απορροφητικότητα (α) του Φ/Β, εκφράζεται συνήθως μέσω του συντελεστή μετατροπής $K_{\tau\alpha}$ (Incidence angle, modifier), ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$K_{\tau\alpha} = \frac{\tau\alpha(\theta)}{\tau\alpha(0)} \quad \kappa\alpha\iota \quad \tau\alpha(0) = \tau\alpha(\theta)_n \qquad (εξ.\ 4.2.14)$$

όπου $\tau\alpha(\theta)$ είναι το γινόμενο διαπερατότητας καλύμματος (τ) και απορροφητικότητας (α) της επιφάνειας του Φ/Β για μη κάθετη πρόσπτωσης της ακτινοβολίας θ≠0°, και αντίστοιχα το $\tau\alpha(0)$ για μηδενική γωνία πρόσπτωσης θ=0° (δηλαδή κάθετη πρόσπτωση).



Σχήμα 4.2.2: Συντελεστής μετατροπής $K_{\tau\alpha}$ (Incidence angle, modifier) σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης (ϑ) [1, 35, 36, 38]

Η διακύμανση του συντελεστή μετατροπής $K_{\tau\alpha}$ (Incidence angle, modifier) σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης (θ), όπως έχει προκύψει από μετρήσεις σε διάφορους τύπους Φ/Β [1, 35, 36, 38] απεικονίζεται στο Σχήμα 4.2.2. Ο συντελεστής $K_{\tau\alpha}$ μειώνεται σημαντικά για μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης (θ) άνω των 70°, με αποτέλεσμα και τη σημαντική μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά διαπερνά το γυάλινο κάλυμμα και απορροφάται από τη συλλεκτική επιφάνεια του Φ/Β προς αξιοποίηση.

Για τα Φ/Β χωρίς γυάλινο κάλυμμα χρειάζεται μόνο ο προσδιορισμός της απορροφητικότητας (α) της επιφάνειάς τους. Μια εμπειρική εξίσωση υπολογισμού του συντελεστή σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης είναι η ακόλουθη [1]:

$$\frac{\alpha(\theta)}{\alpha(\theta)_n} = 1 - 1{,}{,}5879 \cdot 10^{-3} \cdot \theta + 2{,}7314 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^2 - 2{,}3026 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^3 + \\ +9{,}0244 \cdot 10^{-7} \cdot \theta^4 - 1{,}{,}8000 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^5 + 1{,}7734 \cdot 10^{-10} \cdot \theta^6 - 6{,}9937 \cdot 10^{-13} \cdot \theta^7 \qquad (εξ.\ 4.2.15)$$

Ο συντελεστής απορροφητικότητας σε κάθετη πρόσπτωση [α(0) ή $\alpha\theta)_n$] για τα Φ/Β με σκουρόχρωμη επιφάνεια κυμαίνεται περίπου στο 0,93-0,97.

4.2.3. Απόδοση των Φ/Β σε πραγματικές συνθήκες

Η πραγματική ισχύς εξόδου των Φ/Β (P_{pv}=P_{out}) σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με την ονομαστική ισχύ (P_m) σε συνθήκες εργαστηρίου (STC). Η αναμενόμενη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ μπορεί να εκτιμηθεί λαμβάνοντας υπόψη την ακόλουθη εμπειρική εξίσωση που χρησιμοποιείται συχνά στην ίδια ή παρόμοια μορφή σε διάφορα πειραματικά μοντέλα [31, 35, 39-42]:

$$P_{pv} = P_{out} = A_{pv} \cdot G_T \cdot \tau\alpha(\theta)_{av} \cdot \eta_{Tref}[1 - \beta_{ref}(T_{pv} - T_{ref})] \qquad (εξ.\ 4.2.16)$$

όπου A_{pv} είναι η επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου (m^2), και G_T, η ένταση (W/m^2) της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του Φ/Β και $\tau\alpha(\theta)_{av}$ το γινόμενο της διαπερατότητας (τ) και απορροφητικότητας (α) του Φ/Β σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης (θ) της ηλιακής ακτινοβολίας. Το γινόμενο της ηλιακής ακτινοβολίας G_T και του συντελεστή $\tau\alpha(\theta)_{av}$, στην (εξ. 4.2.16), αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία (S_{pv}) που αξιοποιείται τελικά από το Φ/Β.

Η τελική ωφέλιμη ισχύς P_{pv} (W) εξόδου εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες μια περιοχής και άλλους αστάθμητους παράγοντες που δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιοριστούν. Στα επιμέρους στάδια ηλεκτρικής παραγωγής παρουσιάζονται ενεργειακές απώλειες που οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας στο Φ/Β, στη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, στη σκίαση, στην επικάθιση σκόνης και άλλων στοιχείων/σωματιδίων επί της επιφάνειας του Φ/Β, στην ανομοιόμορφη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος των επιμέρους Φ/Β πλαισίων που συνήθως είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους κ.λπ. [32, 34, 43-46]. Η εγκατάσταση κρυσταλλικών Φ/Β πυριτίου σε ελληνικές περιοχές, τα οποία τοποθετούνται με βέλτιστη ετήσια κλίση ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής, εκτιμάται ότι παρέχουν τελική ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια από 140 έως 270 kWh/m²/yr, ή αλλιώς 1100 έως 1300 kWh/kWp/yr [5,47].

4.2.4. Υποβάθμιση ενεργειακής απόδοση των Φ/Β

Τα Φ/Β πυριτίου έχουν συνήθως εγγυημένη διάρκεια ζωής για 25 χρόνια [48-49]. Η ετήσια ποσοστιαία μείωση (υποβάθμιση) της ενεργειακής απόδοσης (Degradation Rate) αποτυπώνει τη σταδιακή γήρανση των Φ/Β. Από πρόσφατες μελέτες και δοκιμές σε Φ/Β εγκαταστάσεις, προκύπτει ότι η μέση ετήσια ποσοστιαία υποβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης των Φ/Β είναι κατά μέσο όρο 0,8% (0,7% για Si και 1,5% για a-Si) ανά έτος [50]. Τα πολυκρυσταλλικά (p-Si) Φ/Β πυριτίου παρουσιάζουν χαμηλότερη ετήσια υποβάθμιση σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά (m-Si) και κατά πολύ χαμηλότερη σε σχέση με τα άμορφα (a-Si) Φ/Β πυριτίου [50]. Επίσης, οι διαφορετικές κλιματικές συνθήκες παρουσιάζουν σημαντικές επιδράσεις στην ποσοστιαία ετήσια μείωση της ενεργειακής απόδοσης των κρυσταλλικών Φ/Β, με χαμηλότερες τιμές (0,2-0,4%) στα ψυχρά κλίματα [50, 52-54] και υψηλότερες τιμές στα τροπικά κλίματα (>1,0%) [50, 54-57].

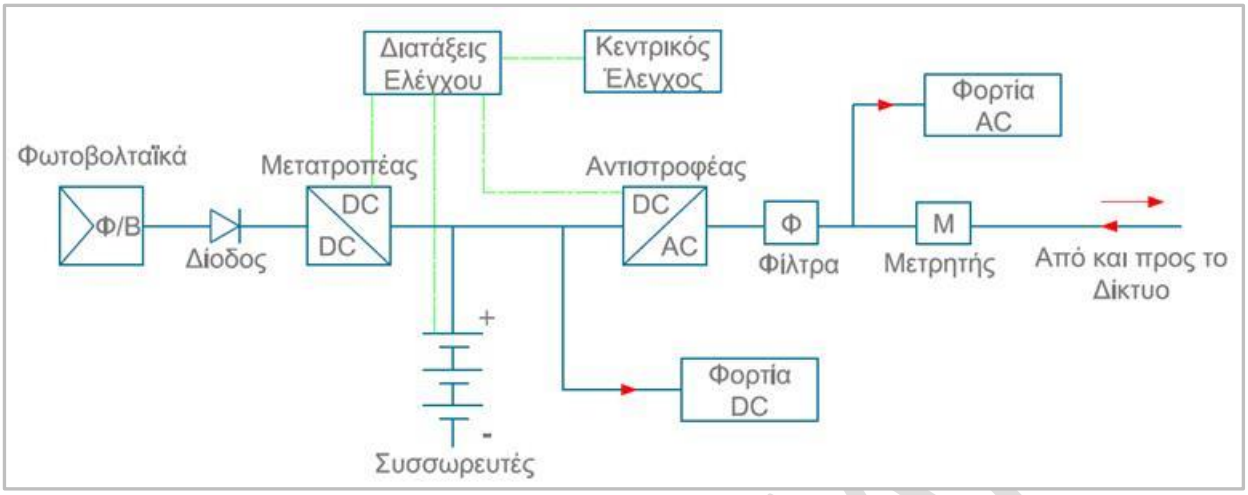
4.3. Βοηθητικός εξοπλισμός και συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Για την ορθή λειτουργία μιας Φ/Β εγκατάστασης, εκτός από τα Φ/Β στοιχεία, χρησιμοποιούνται και βοηθητικές συσκευές και εξοπλισμοί για την αποδοτική λειτουργία της, όπως ο ρυθμιστής φόρτισης και το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές), κυρίως στην περίπτωση αυτόνομης λειτουργίας, ο μετατροπέας ρεύματος, ο αντιστροφέας ρεύματος (AC/DC), ο σταθεροποιητής τάσης κ.λπ. (Σχήμα 4.3.1).

Για την σταθεροποίηση της τάσης με την οποία φορτίζονται οι συσσωρευτές της αυτόνομης Φ/Β εγκατάστασης χρησιμοποιείται ρυθμιστής τάσης ή μετατροπέας DC/DC. Η τάση εξόδου των Φ/Β δεν είναι σταθερή και αυξομειώνεται ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα Φ/Β πάνελ, τη θερμοκρασία των πάνελ κ.λπ. Επίσης ο μετατροπέας προστατεύει τους συσσωρευτές σε περίπτωση υπερφόρτωσης, στέλνοντας την περίσσια ενέργεια σε ηλεκτρικά φορτία απόρριψης. Ο ρυθμιστής τάσης (μετατροπέας) συνήθως διαθέτει και ανιχνευτή μεγίστου σημείου (Maximum Power Point Tracer), όπου ανιχνεύει και μεταφέρει το σημείο λειτουργίας των Φ/Β στην τάση που αντιστοιχεί στη μέγιστη

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

ισχύ και με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ενεργειακή αξιοποίηση [4]. Η ονομαστική ισχύς του ρυθμιστή τάσης καθορίζεται και επιλέγεται μεγαλύτερη ή ίση με αυτή των Φ/Β πάνελ. Ο συντελεστής απόδοσης του ρυθμιστή τάσης είναι συνήθως της τάξεως του 92% ÷ 97%.



Σχήμα 4.3.1: Τυπικό διάγραμμα αυτόνομης Φ/Β εγκατάστασης

Το συνεχές (DC) ρεύμα που παράγουν τα Φ/Β μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο (AC), εκτός αν οι ηλεκτρικές συσκευές του κτιρίου που θα ηλεκτροδοτηθούν είναι συνεχούς ρεύματος. Ο αντιστροφέας ρεύματος DC/AC μετατρέπει το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα, στην επιθυμητή τάση και συχνότητα των συσκευών κατανάλωσης. Ο συντελεστής απόδοσης των αντιστροφέων είναι συνήθως της τάξεως του 90% ÷ 97%. Στην περίπτωση σύνδεσης της Φ/Β εγκατάστασης με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο απαιτείται ο σωστός παραλληλισμός της τάσης εξόδου του αντιστροφέα και του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών ισχύος και φίλτρων που συνήθως είναι ενσωματωμένα στον αντιστροφέα ρεύματος. Με τον παραλληλισμό εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ποιότητα ρεύματος που διοχετεύεται στο δίκτυο, τάση 230 [Volt] και συχνότητα 50 [Hz]. [4, 6]

Ο συντονισμός και η σωστή ρύθμιση και λειτουργία των επιμέρους τμημάτων της Φ/Β εγκατάστασης και κυρίως της λειτουργία φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών, επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της κεντρικής μονάδας ελέγχου. Η μονάδα αυτή ελέγχει όλους τους επιμέρους ελεγκτές και ρυθμιστές της Φ/Β εγκατάστασης. Ο έλεγχος της φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών μια αυτόνομης Φ/Β εγκατάστασης είναι πολύ σημαντικός, κυρίως κατά τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών μεγάλης ισχύος. Στη συνδεσμολογία μιας Φ/Β εγκατάστασης παρεμβάλλονται επίσης ρυθμιστικές ή παρακαμπτήριες δίοδοι, οι οποίες εξασφαλίζουν τη ροή του ρεύματος προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Απαραίτητη είναι η εγκατάσταση διόδων στην έξοδο των Φ/Β και πριν τον μετατροπέα προς αποφυγή της επιστροφής ηλεκτρικού ρεύματος από τους συσσωρευτές προς τα Φ/Β, κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες, ώστε να αποφευχθεί η αποφόρτιση των συσσωρευτών μέσω των Φ/Β. Επίσης, με τη χρήση διόδων στην παράλληλη συνδεσμολογία των Φ/Β στοιχείων εμποδίζεται η ροή ρεύματος μεταξύ Φ/Β στοιχείων που δεν λειτουργούν ταυτόχρονα σε παρόμοιες συνθήκες, π.χ. από ένα στοιχείο που ηλιάζεται και παράγει ρεύμα προς κάποιο άλλο που σκιάζεται μερικώς ή προσωρινά.

Εκτός από τον κύριο εξοπλισμό που αναφέρθηκε, μια Φ/Β εγκατάσταση περιλαμβάνει και τα διάφορα επιμέρους βοηθητικά εξαρτήματα, όπως η στήριξη των Φ/Β, τα καλώδια κ.λπ. Οι απώλειες που καταγράφονται συνήθως στα καλώδια μιας Φ/Β εγκατάστασης είναι της τάξεως του 0,5% έως 1,5%.

Τα Φ/Β συστήματα σε κτίρια μπορεί να είναι αυτόνομης λειτουργίας ή σε παράλληλη σύνδεση με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Σε περίπτωση μη ύπαρξης τοπικού δικτύου ηλεκτροδότησης, η Φ/Β εγκατάσταση σχεδιάζεται ώστε να λειτουργεί αυτόνομα με τη χρήση συσσωρευτών, οι οποίοι να παρέχουν την απαιτούμενη ενεργειακή αυτονομία, ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης και τον αριθμό συνεχόμενων νεφοσκεπών ημερών, ανά γεωγραφική περιοχή. Προτείνεται η κατ' ελάχιστον αυτονομία των συσσωρευτών για δύο ή τρεις ημέρες, καθώς και η ορθή λειτουργία του ηλεκτρικού εξοπλισμού ανάλογα με τη διαθέσιμη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη Φ/Β εγκατάσταση.

Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών είναι:

α) η τάση λειτουργίας τους V (συνήθως 12 Volt, 24 Volt ή 48 Volt),

β) η χωρητικότητά τους (C_{bat}) σε (Ah ή Wh),

γ) ο ρυθμός φόρτισης/ εκφόρτισης,

δ) ο μέγιστος επιτρεπόμενος βαθμός (βάθος) εκφόρτισης (η_L,%), δηλαδή η μέγιστη ενέργεια κατά την εκφόρτιση ενός συσσωρευτή ως ποσοστό της χωρητικότητάς του,

ε) ο συνολικός αριθμός πλήρων κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης που μπορεί να ολοκληρώσει ένας συσσωρευτής, διατηρώντας σε υψηλό ποσοστό την αρχική του χωρητικότητα και

στ) το βάρος (kg) τους.

Η τάση λειτουργίας των συσσωρευτών επιλέγεται και ρυθμίζεται ανάλογα με την τάση εξόδου των Φ/Β πάνελ, ενώ η χωρητικότητα τους εξαρτάται από το ημερήσιο ηλεκτρικό φορτίο (L_d) που απαιτείται να καλύψουν, την αυτονομία της εγκατάστασης, καθώς επίσης και το είδος του κύκλου φόρτισης των συσσωρευτών (βαθύς ή αβαθύς). Οι συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης διαθέτουν δυνατότητα εκφόρτισης μέχρι το 80% της διαθέσιμης χωρητικότητάς τους. Τα χαμηλά επίπεδα εκφόρτισης (20%-30%) των συσσωρευτών, αυξάνουν κατά πολύ τη διάρκεια ζωής τους. Επιπλέον, η διαθέσιμη χωρητικότητα των συσσωρευτών μπορεί να μειωθεί μέχρι και 25%, λόγω χαμηλής θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες [4].

Οι πιο κοινές, ώριμες τεχνολογίες συσσωρευτών που συνήθως επιλέγονται για Φ/Β εγκαταστάσεις είναι οι μολύβδου-οξέος (Lead-Acid) και οι ιόντων λιθίου (Li-ion). Άλλες τεχνολογίες συσσωρευτών όπως αυτές του νατρίου-θείου και ροής, βρίσκονται ακόμα σε χαμηλότερο στάδιο ανάπτυξης και εμπορικής διαθεσιμότητας. Η τεχνολογία συσσωρευτών μολύβδου-οξέος έχει πλέον μικρά περιθώρια εξέλιξης, ενώ αντίθετα η τεχνολογία ιόντων λιθίου, που είναι ταχέως αναπτυσσόμενη, προβλέπεται ότι θα κυριαρχήσει τα επόμενα χρόνια. Ειδικότερα, οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα (δηλαδή χωρητικότητα / μονάδα βάρους), μεγαλύτερο βάθος εκφόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (πλήρεις κύκλοι φόρτισης/εκφόρτισης), σε σχέση με τους συσσωρευτές μολύβδου-οξέος.

Οι βασικές κατηγορίες συσσωρευτών μολύβδου-οξέος είναι:

α) οι ανοιχτού τύπου, οι οποίοι προ της χρήσης τους πρέπει να πληρωθούν με ηλεκτρολύτη,

β) οι κλειστού τύπου οι οποίοι είναι πληρωμένοι με υγρά και έτοιμοι προς χρήση,

γ) οι AGM (Absorbed Glass Mat), χωρίς υγρά, καθώς το διάλυμα θειϊκού οξέος είναι απορροφημένο στους διαχωριστές, και

δ) οι συσσωρευτές με gel.

Οι βασικές κατηγορίες συσσωρευτών ιόντων λιθίου είναι:

α) οξειδίου κοβαλτίου λιθίου, LCO ($LiCoO_2$),

β) οξειδίου μαγνησίου λιθίου, LMO ($LiMn_2O_4$),

γ) οξειδίου κοβαλτίου μαγνησίου νικελίου λιθίου, NMC ($LiNiMnCoO_2$),

δ) φωσφορικού σιδήρου λιθίου, LFP ($LiFePO_4$),

ε) οξειδίου αργιλίου κοβαλτίου νικελίου λιθίου, NCA ($LiNiCoAlO_2$),

στ) τιτιανικού λιθίου, LTO (Li_2TiO_3).

Κατά την εγκατάσταση των συσσωρευτών θα πρέπει να ληφθούν υπόψη βασικά ζητήματα ασφάλειας, όπως είναι οι ηλεκτρικοί κίνδυνοι και οι διαρροές υγρών. Για το λόγο αυτό υπάρχει ανάγκη τόσο για τον περιορισμό πρόσβασης προς τους συσσωρευτές όσο και για την πλήρη και σαφή σήμανσή τους. Ειδικά για τους συσσωρευτές μολύβδου-οξέος είναι αναγκαίος ο εξαερισμός του χώρου που εγκαθίστανται, καθώς οι συσσωρευτές αυτοί κατά τη φόρτιση παράγουν υδρογόνο, το οποίο όταν βρίσκεται σε

ΤΕΑΝΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 4% κατ' όγκο στον αέρα είναι εκρηκτικό. Επίσης για τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου θα πρέπει να προβλέπεται εγκατάσταση πυροπροστασίας στον χώρο εγκατάστασής τους, καθώς είναι πιθανός ο κίνδυνος ανάφλεξης και πυρκαγιάς. Στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (π.δ. υπ' αριθμ. 41/2018, ΦΕΚ 80 Α΄) δεν υπάρχουν ειδικές προβλέψεις για συστήματα συσσωρευτών.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν ακόμα επαρκή πρότυπα σε ισχύ για τις απαιτήσεις ασφαλούς λειτουργίας συστημάτων/εγκαταστάσεων με συσσωρευτές, η εφαρμογή της Τεχνικής Οδηγίας IEC TS 62933-5-1 [62], παρέχει μια ικανοποιητική μεθοδολογία για την αναγνώριση σε ένα σύστημα συσσωρευτών όλων των δυνατών αιτιών κινδύνου (πυρκαγιά, διαρροή χημικού, έκρηξη, ηλεκτρικός ή μηχανικός κίνδυνος κ.λπ.), την εκτίμηση του κινδύνου και την εφαρμογή μέτρων για την εξάλειψη ή μείωσή του.

4.4. Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η απαιτούμενη επιφάνεια (m²) και ισχύς (kW) των Φ/Β καθορίζεται ανάλογα με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου, την εποχική λειτουργία του κτιρίου (ετήσια, θερινή ή χειμερινή), τον βαθμό απόδοσης των Φ/Β, τη διαθέσιμη επιφάνεια ανά προσανατολισμό τοποθέτησης των Φ/Β πανέλων και τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία/ενέργεια σε κάθε γεωγραφική περιοχή. Από την ισχύ (kW) των απαιτούμενων Φ/Β πανέλων και τον τρόπο σύνδεσής τους, υπολογίζονται οι καμπύλες (I-V), (P-V) και (η-V) λειτουργίας της συνολικής εγκατάστασης. Η τάση λειτουργίας (V) διαμορφώνεται ανάλογα με τη εγκατεστημένη ισχύ εξόδου (kW) των Φ/Β, όπου σε μικρής κλίμακας Φ/Β εγκαταστάσεις μέχρι 1 kW είναι συνήθως 24 Volt, ενώ μέχρι 2 kW είναι συνήθως 48 Volt, κ.λπ.

Η διαστασιολόγηση και η τελική συνεισφορά ενός Φ/Β συστήματος, για την κάλυψη μέρους ή του συνόλου των απαιτούμενων ηλεκτρικών φορτίων ενός κτιρίου, εξαρτάται πρωτίστως από τον τρόπο λειτουργίας και σύνδεσής τους ή/μη με το τοπικό δίκτυο. Στην κατεύθυνση αυτή:

α) τα αυτόνομης λειτουργίας Φ/Β συστήματα (χωρίς σύνδεση στο δίκτυο) διαστασιολογούνται ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη των φορτίων σε κάθε χρονική περίοδο λειτουργίας του κτιρίου, και κυρίως τον μήνα με τα χαμηλότερα επίπεδα ηλιακής ενέργειας (kWh/m²/mo).

β) τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα διαστασιολογούνται ανάλογα με τη βέλτιστη οικονομικά λύση, όπου στην περίπτωση ενεργειακού συμψηφισμού, θα πρέπει η παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β να μην υπερβαίνει την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου, εντός της χρονικής περιόδου συμψηφισμού που ορίζει η νομοθεσία (π.χ. ετήσιος συμψηφισμός).

Κατά το σχεδιασμό μιας Φ/Β εγκατάστασης είναι απαραίτητη η οικονομοτεχνική αξιολόγηση για τον προσδιορισμό της ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικής λειτουργίας της. Στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα που απαιτείται η πλήρης κάλυψης των ηλεκτρικών φορτίων από τα Φ/Β, όπου η λειτουργία τους εξαρτάται άμεσα από τη διαθέσιμη ανά εποχή ηλιακή ενέργεια, προτείνεται παράλληλα και η χρήση άλλων πηγών ενέργειας για τη λειτουργία συσκευών που έχουν αυτή τη δυνατότητα, όπως υγραέριο για μαγείρεμα ή/και παραγωγή Ζ.Ν.Χ., ή ηλιακούς συλλέκτες για Ζ.Ν.Χ., κ.λπ. Ειδικά οι ηλεκτρικές κουζίνες, οι ηλεκτρικοί φούρνοι, οι θερμαντήρες Ζ.Ν.Χ. είναι συσκευές με μεγάλη ηλεκτρική ισχύ (Πίνακας 4.4.1) και η ενεργειακή τους κάλυψη από Φ/Β συστήματα σε αρκετές περιπτώσεις δεν θεωρείται ακόμα και σήμερα οικονομικά βιώσιμη. Σε κάθε περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β σύστημα μπορεί να καλύπτει το σύνολο των ηλεκτρικών αναγκών των ηλεκτρικών συσκευών ή/και μέρος αυτών, εφόσον υπάρχει και άλλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρικό δίκτυο, γεννήτρια κ.λπ.).

Το πρώτο στάδιο είναι ο προσδιορισμός της μέσης ημερήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/d) ή της μέσης ετήσιας ζήτησης (kWh/yr) του κτιρίου. Η ζήτηση εξαρτάται από τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό που πρόκειται να καλύψει ενεργειακά η Φ/Β μονάδα, ο οποίος διαφοροποιείται ανά χρήση κτιρίου. Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 4.4.1) δίνονται ενδεικτικές τιμές ισχύος και ημερήσιας κατανάλωσης οικιακού εξοπλισμού.

Το μέσο ημερήσιο ηλεκτρικό φορτίο (L_d, kWh/d) υπολογίζεται από το άθροισμα του ημερήσιου ηλεκτρικού φορτίου κάθε ηλεκτρικής συσκευής ($L_{eq,i}$, kWh/d), το οποίο είναι το άθροισμα της ηλεκτρικής ισχύος κάθε συσκευής ($P_{eq,i}$, kW) επί τον αναμενόμενο χρόνο λειτουργίας της ($t_{d,eq,i}$, h) ανά ημέρα, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$L_d = \sum_i L_{eq,i} = \sum_i (P_{eq,i} \cdot t_{d,eq,i}) \qquad (εξ.\ 4.4.1)$$

Αντίστοιχα, το μέσο μηνιαίο φορτίο (L_{mo}, kWh/mo) και το μέσο ετήσιο φορτίο (L_a, kWh/yr) υπολογίζονται ανάλογα, επί τον αριθμό ημερών (D) ανά μήνα ή ανά έτος:

$$L_{mo} = L_d \cdot D = \sum_i (P_{eq,i} \cdot t_{d,eq,i}) \cdot D \qquad (εξ.\ 4.4.2)$$

Πίνακας 4.4.1: Ενδεικτική ηλεκτρική ισχύς, ώρες λειτουργίας ανά ημέρα και ημερήσια κατανάλωση τυπικών οικιακών συσκευών [5,58].

Τύπος ηλεκτρικής συσκευής	Ισχύς ανά συσκευή [W]	Χειμερινή περίοδος		Θερινή περίοδος	
		Ημερήσια λειτουργία [h/d]	Ημερήσια κατανάλωση [Wh/d]	Ημερήσια λειτουργία (h/d)	Ημερήσια κατανάλωση [Wh/d]
Φωτισμός κουζίνας	30	3,5	105	3,5	105
Φωτισμός σαλονιού	30	7,1	213	7,1	213
Φωτισμός υπνοδωματίου	25	6,6	165	6,6	165
Φωτισμός γραφείου	50	1,7	85	1,7	85
Φωτισμός μπάνιου	11	3,6	39,6	3,6	39,6
Ψυγείο	250	3,5	875	5	1250
Ηλεκτρική κουζίνα	1000	2	2000	2	2000
Ηλεκτρικός φούρνος	1500	0,5	750	0,5	750
Μίξερ	750	0,2	150	0,2	150
Φούρνος μικροκυμάτων	700	0,2	140	0,2	140
Καφετιέρα	500	0,5	250	0,5	250
Πλυντήριο πιάτων	1100	1	1100	1	1100
Πλυντήριο ρούχων	2500	2	5000	2	5000
Τηλεόραση	150	5	750	3	450
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	200	3	600	3	600
Στέγνωμα μαλλιών	1200	0,3	360	0,3	360
Σίδερο ρούχων	1100	1	1100	1	1100
Κινητό τηλέφωνο	40	2	80	2	80
Φορτιστής μπαταρίας	40	2	80	2	80
Ραδιόφωνο	50	1	50	1	50
Ζεστό νερό χρήσης	4000	1,5	6000	0,5	2000
Ανεμιστήρας οροφής	100	0	0	1	100
Αντλία θερμότητας	2500	0	0	2,5	6250

4.4.1. Ενεργειακή απόδοση Φ/Β συστήματος- αναλυτικός τρόπος

Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός Φ/Β συστήματος, αρχικά προσδιορίζονται οι απαιτούμενες κλιματικές και τεχνικές παράμετροι/ δεδομένα όπως, η θερμοκρασία του αέρα (T_{air}), η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (H_β), ο συντελεστής τα(θ), ο ονομαστικός (η_{Tref}) και πραγματικός (η_{pv}) βαθμός απόδοσης των Φ/Β, η θερμοκρασία του Φ/Β (T_{pv}), η απόδοση του μετατροπέα και του ρυθμιστή φόρτισης σε περίπτωση που υπάρχουν συσσωρευτές, οι απώλειες των καλωδιώσεων και συνδέσεων, κ.λπ.

Η παραγόμενη μέση ημερήσια ή μηνιαία ή ετήσια ηλεκτρική ενέργεια (E_{pv}, kWh/d ή kWh/mo ή kWh/yr) από ένα Φ/Β, μπορεί να υπολογιστεί με αρκετή ακρίβεια, από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_{pv} = H_\beta \cdot A_{pv} \cdot \eta_{pv} \qquad (εξ.\ 4.4.3)$$

όπου:

- H_β, είναι η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην κεκλιμένη επιφάνεια (υπό κλίση β) ενός Φ/Β σε (kWh/m²), για τη χρονική περίοδο που υπολογίζεται η παραγωγή ενέργειας, ημέρα ή μήνας ή έτος. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά φτάνει στη συλλεκτική επιφάνεια του Φ/Β προς αξιοποίηση (S_{pv}), είναι μικρότερη, ανάλογα με τον συντελεστή $τα(θ)_{av}$, το γινόμενο διαπερατότητας και απορροφητικότητας του Φ/Β, δηλαδή: $S_{pv}= H_\beta \cdot τα(θ)_{av}$. Η μείωση αυτή συνυπολογίζεται στον πραγματικό βαθμό απόδοσης των Φ/Β.
- A_{pv}, είναι η συνολική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίου σε (m²).
- $η_{pv}$, είναι ο μέσος ημερήσιος, μηνιαίος ή ετήσιος αντίστοιχα πραγματικός βαθμός ενεργειακής απόδοσης των Φ/Β. Ο πραγματικός βαθμός απόδοσης μεταβάλλεται στη διάρκεια της ημέρας, αλλά και ανά εποχή, καθώς εξαρτάται από τα ονομαστικά τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β συστήματος και κυρίως από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες σε κάθε χρονική στιγμή και την ηλιακή γεωμετρία. Για τον ακριβή προσδιορισμό του απαιτούνται αναλυτικοί υπολογισμοί σε ωριαία βάση, με τη χρήση των θεωρητικών (εξ. 4.2.5), (εξ. 4.2.6), ή άλλων εμπειρικών αναλυτικών εξισώσεων που υπάρχουν διαθέσιμες στη βιβλιογραφία για τις διάφορες τεχνολογίες των Φ/Β και λαμβάνουν υπόψη και άλλες παραμέτρους όπως, το γινόμενο [τα(θ)], η ταχύτητα του ανέμου (v) και η αέρια μάζα (AM). Ο πραγματικός βαθμός απόδοσης ($η_{pv}$) των Φ/Β μπορεί να εκτιμηθεί από το γινόμενο του ονομαστικού βαθμού απόδοσης ($η_{Tref}$) με τον συντελεστή απόδοσης $f_{pv,eff}$, ο οποίος εκφράζει τη μεταβολή του ονομαστικού βαθμού απόδοσης, λόγω της απόκλιση της θερμοκρασίας του Φ/Β από την ονομαστική (25°C) και της μη κάθετης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (θ≠0), τα οποία επηρεάζουν την τελική απόδοση λειτουργίας των Φ/Β.

$$\eta_{pv} = f_{pf,eff} \cdot \eta_{Tref} \qquad \textit{(εξ. 4.4.4)}$$

Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 4.4.2) δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή απόδοσης ($f_{pv,eff}$), όπως προέκυψαν από αναλυτικούς υπολογισμούς σε ωριαία βάση, λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές των κλιματικών παραμέτρων σε διάφορες περιοχές για κάθε κλιματική ζώνη στην Ελλάδα[59], καθώς και τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοκρασίας ($β_{ref}$, Πίνακας 4.2.2) και του συντελεστή Ross (k, Πίνακας 4.2.3), για βέλτιστη ετήσια γωνία κλίσης των Φ/Β ανά περιοχή (εξ. 2.2.2). Σε όλες τις περιπτώσεις με γραμμική παρεμβολή μπορεί να προσδιοριστεί η αντίστοιχη ενδεικτική τιμή για διαφορετικές τιμές του συντελεστή θερμοκρασίας ($β_{ref}$) και του συντελεστή Ross (k). Στην τελευταία στήλη του προαναφερόμενου πίνακα (Σφάλμα! Λανθασμένη αναφορά σελιδοδείκτη στον εαυτό του.) δίνει τον μέσο ετήσιο σταθμισμένο συντελεστή απόδοσης $f_{pv,eff}$, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην (εξ. 4.4.4) για τον προσδιορισμό του μέσου ετήσιου πραγματικού βαθμού απόδοσης, ο οποίος λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της μέσης ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/yr) (εξ. 4.4.3).

Στην περίπτωση σταθερής κλίσης των Φ/Β μεγαλύτερης από τη βέλτιστη ετήσια (π.χ. 45°, 60°, 90°) ή διαφορετικό προσανατολισμό από νότιο (π.χ. γ=45° ή γ=90°), οι συντελεστές απόδοσης του σχετικού πίνακα (Πίνακας 4.4.2) διαφοροποιούνται κατά περίπτωση και κλιματική ζώνη. Στο Παράρτημα Β δίνονται πίνακες με αντίστοιχες ενδεικτικές τιμές του συντελεστή απόδοσης ($f_{pv,eff}$), για αντιπροσωπευτικούς τύπους Φ/Β ($β_{ref}$, k), με διαφορετικούς προσανατολισμούς (γ) και κλίσεις (β) της επιφάνειας του Φ/Β, και ανά κλιματική ζώνη.

Στην πράξη, σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις, ο συντελεστής απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), μπορεί να λαμβάνει ακόμα χαμηλότερες τιμές από αυτές του σχετικού πίνακα (Πίνακας 4.4.2), όπου κατά τους θερινούς μήνες μειώνονται και κάτω από το 0,70, ανάλογα με την κλίση και τη θέση εγκατάστασης των Φ/Β. Οι επικαθίσεις σωματιδίων και σκόνης στην επιφάνεια των Φ/Β είναι μια παράμετρος που επηρεάζει επίσης σημαντικά την απόδοσή τους και πρέπει να προλαμβάνεται. Επιπλέον, όπως ήδη αναφέρθηκε ενότητα 4.2.4, η πραγματική ενεργειακή απόδοση των Φ/Β μειώνεται ετησίως (υποβάθμιση απόδοσης), λόγω γήρανσης τους, με ποσοστό κατά μέσο όρο 0,5%. Αυτό αντιστοιχεί σε περαιτέρω μείωση της πραγματικής απόδοσης των Φ/Β (Πίνακας 4.4.2) κατά 5% στα 10 χρόνια και κατά 10% στα 20 χρόνια, οπότε οι τιμές θα πρέπει να προσαρμόζονται κατάλληλα. Η αντίστοιχη μείωση των τιμών της πραγματικής απόδοσης των Φ/Β πρέπει να εφαρμόζεται και στις αποδόσεις που δίνονται, ανά περίπτωση Φ/Β, στους πίνακες του Παραρτήματος Β.

ΤΕΙ ΚΟΡΙΝΘΟΥ

*Πίνακας 4.4.2: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης ($f_{pv,eff}$), ανά τύπο Φ/Β (**β_{ref}, k**) και κλιματική ζώνη, για βέλτιστη ετήσια γωνία κλίσης (β) Φ/Β.*

Κλιματικές Ζώνες	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Ετήσιο
Άμορφα Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα με β_{ref} =-0,002 και k=0,02													
Α	0,954	0,947	0,930	0,915	0,900	0,888	0,885	0,890	0,902	0,917	0,942	0,954	0,912
Β	0,962	0,953	0,935	0,918	0,901	0,889	0,886	0,891	0,906	0,929	0,949	0,960	0,915
Γ	0,971	0,960	0,940	0,922	0,905	0,892	0,888	0,893	0,910	0,936	0,957	0,948	0,918
Δ	0,974	0,963	0,942	0,925	0,909	0,894	0,891	0,895	0,913	0,939	0,961	0,956	0,923
Άμορφα Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια, με β_{ref}=-0,002 και k=0,055													
Α	0,928	0,917	0,896	0,877	0,860	0,846	0,842	0,846	0,861	0,880	0,911	0,929	0,875
Β	0,940	0,926	0,903	0,883	0,862	0,848	0,844	0,848	0,865	0,895	0,921	0,937	0,879
Γ	0,949	0,934	0,912	0,889	0,870	0,853	0,848	0,852	0,873	0,904	0,933	0,928	0,885
Δ	0,950	0,938	0,914	0,895	0,879	0,859	0,854	0,857	0,878	0,910	0,937	0,933	0,891
Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα, με β_{ref}=-0,004 και k=0,02													
Α	0,960	0,950	0,926	0,903	0,880	0,860	0,852	0,855	0,873	0,897	0,935	0,958	0,894
Β	0,975	0,962	0,935	0,909	0,881	0,860	0,853	0,856	0,878	0,914	0,948	0,970	0,899
Γ	0,990	0,975	0,947	0,918	0,889	0,865	0,856	0,861	0,888	0,927	0,965	0,967	0,906
Δ	0,999	0,984	0,953	0,927	0,900	0,872	0,864	0,867	0,897	0,937	0,975	0,980	0,917
Κρυσταλλικά πυριτίου Φ/Β ενσωματωμένα σε επιφάνεια, με β_{ref}=-0,004 και k=0,055													
Α	0,907	0,890	0,858	0,828	0,800	0,775	0,766	0,768	0,790	0,824	0,873	0,907	0,819
Β	0,930	0,908	0,871	0,839	0,802	0,778	0,768	0,770	0,798	0,845	0,893	0,925	0,826
Γ	0,947	0,924	0,890	0,853	0,819	0,787	0,776	0,780	0,815	0,865	0,917	0,926	0,839
Δ	0,951	0,934	0,897	0,867	0,840	0,802	0,791	0,791	0,826	0,879	0,927	0,934	0,854
Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα με β_{ref}=-0,006 και k=0,02													
Α	0,968	0,956	0,927	0,896	0,864	0,834	0,822	0,825	0,849	0,882	0,931	0,964	0,880
Β	0,991	0,974	0,940	0,905	0,865	0,835	0,823	0,826	0,856	0,903	0,951	0,983	0,886
Γ	1,013	0,993	0,957	0,918	0,877	0,841	0,828	0,833	0,871	0,922	0,976	0,988	0,898
Δ	1,027	1,008	0,968	0,933	0,895	0,854	0,841	0,844	0,885	0,938	0,992	1,006	0,915
Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια, με β_{ref}=-0,006 και k=0,055													
Α	0,890	0,866	0,824	0,783	0,743	0,708	0,694	0,694	0,724	0,771	0,838	0,888	0,768
Β	0,923	0,893	0,844	0,799	0,747	0,711	0,697	0,698	0,735	0,799	0,869	0,915	0,778
Γ	0,949	0,917	0,872	0,821	0,771	0,725	0,707	0,712	0,761	0,829	0,904	0,927	0,798
Δ	0,956	0,933	0,884	0,843	0,804	0,749	0,731	0,729	0,779	0,851	0,920	0,938	0,821

Η τελική ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια (E_{use}, kWh/yr) είναι η παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β σύστημα (E_{pv}), μειωμένη κατά το ποσοστό των απωλειών (η_{eq}) μεταφοράς, μετατροπής, αποθήκευσης κ.λπ. του ηλεκτρικού ρεύματος. Μια μέση ενδεικτική τιμή του ποσοστού απωλειών (η_{eq}) όλου του βοηθητικού εξοπλισμού (αντιστροφέας, μετατροπέας, συσσωρευτές, καλωδιώσεις κ.λπ.) είναι περίπου 5%-20%, ανάλογα με την εποχή και τις συνθήκες λειτουργίας, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται κατά τη χειμερινή περίοδο, όπου καταγράφονται χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

$$E_{use} = E_{pv} \cdot \eta_{eq} \qquad \textit{(εξ. 4.4.5)}$$

TEE/ΟΔΑΚ

4.4.2. Ενεργειακή απόδοση Φ/Β συστήματος- απλοποιητικός τρόπος

Στο πρότυπο EN 15316-4-3 [60] προτείνονται τρεις μεθοδολογίες υπολογισμού της ενεργειακής παραγωγής ενός Φ/Β, σε ετήσια, μηνιαία και ωριαία βάση. Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας των Φ/Β ($E_{pv,A}$) ανά μονάδα επιφάνειας (kWh/m²/mo) του Φ/Β, μπορεί να υπολογιστεί απλοποιητικά ως:

$$E_{pv,A} = H_o \cdot f_{tilt,mo} \cdot \eta_{Tref} \cdot f_{perf} \qquad (εξ. 4.4.6)$$

όπου:

- H_o, είναι η μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m²/yr) στην υπό μελέτη περιοχή,
- $f_{tilt,mo}$, είναι ο συντελεστής μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, από την οριζόντια στην κεκλιμένη επιφάνεια του Φ/Β (β≠0), όπως δίνεται στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 2.2.7),
- η_{Tref}, είναι ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης των Φ/Β, σε καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας (STC) όπως προκύπτει από τεχνικά χαρακτηριστικά που παρέχει ο κατασκευαστής,
- f_{perf}, είναι ο συντελεστής απωλειών λόγω της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των Φ/Β και απωλειών των βοηθητικών συστημάτων και εξαρτάται από τη δυνατότητα ή μη αερισμού της επιφάνειας του Φ/Β (Πίνακας 4.4.3).

Πίνακας 4.4.3: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή απωλειών λόγω θερμοκρασίας του Φ/Β [60].

Αερισμός Φ/Β λόγω θέσης εγκατάστασης	Συντελεστής f_{perf}
Μη αεριζόμενα πανέλα	0,76
Μερικός αερισμός των πανέλων	0,80
Έντονος αερισμός ή βεβιασμένος τεχνητός αερισμός	0,82

Οι τιμές του μέσου ετήσιου συντελεστή απόδοσης ($f_{pv,eff}$) που προέκυψαν από τους αναλυτικούς υπολογισμούς (Πίνακας 4.4.2) και του συντελεστή απωλειών (f_{perf}) λόγω θερμοκρασίας (Πίνακας 4.4.3) που δίνει το πρότυπο EN 15316-4-3 [60], είναι παρόμοιες για τις αντίστοιχες περιπτώσεις αερισμού ή μη της επιφάνειας Φ/Β.

4.4.3. Απαιτούμενη ισχύς και ελάχιστη επιφάνεια Φ/Β

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος των Φ/Β (kW) και της επιφάνειάς τους (m²), διαφοροποιείται ανάλογα αν το σύστημα λειτουργεί αυτόνομα ή σε σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο όπως περιγράφεται ακολούθως.

4.4.3.1. Αυτόνομα Φ/Β συστήματα

Για τα αυτόνομης λειτουργίας Φ/Β η απαιτούμενη ισχύς (kW) και η επιφάνεια (m²) των Φ/Β πανέλων υπολογίζεται για το μήνα με τη χαμηλότερη ηλιοφάνεια και κατά συνέπεια τη χαμηλότερη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (kWh/m²), όπου για τις ελληνικές περιοχές είναι συνήθως ο μήνας Δεκέμβριος (πίνακες ενότητας 2.2.1). Ως διαθέσιμη ημερήσια ηλιακή ενέργεια για τους υπολογισμούς θεωρείται η μέση ημερήσια ηλιακή ενέργεια (kWh/m²/d) για βέλτιστη χειμερινή κλίση (60°÷65°) της επιφάνειας του Φ/Β (Πίνακας 2.2.2) και για τον μήνα με τη χαμηλότερη ηλιοφάνεια στην υπό μελέτη περιοχή (Πίνακας 2.2.5). Στην περίπτωση που υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του θερινούς μήνες, τότε η κλίση των Φ/Β και η τιμή της ηλιακής ενέργειας, που θα χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση τους, επιλέγεται ανάλογα με τα απαιτούμενα φορτία ανά εποχή.

Η απαιτούμενη ελάχιστη επιφάνεια και η ισχύς των Φ/Β μιας αυτόνομης εγκατάστασης, η οποία θα πρέπει να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό του κτιρίου, υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ημερήσιο ηλεκτρικό φορτίο (L_d, kWh/d), την εκτιμούμενη περίοδο (d_o, ημέρες) αυτόνομης λειτουργίας του Φ/Β λόγω νεφοσκεπών ημερών, τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό των Φ/Β (H_β), καθώς και τον πραγματικό βαθμό απόδοσης (n_{pv}) της Φ/Β εγκατάστασης, όπως διαμορφώνεται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και τον βαθμό απόδοσης n_{eq} των βοηθητικών συστημάτων. Θεωρώντας ότι η μέση ημερήσια ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια ($E_{use,d}$, kWh/d) από τα Φ/Β

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το ημερήσιο ηλεκτρικό φορτίο (L_d) του κτιρίου, η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια των Φ/Β υπολογίζεται ως:

$$A_{pv} = \frac{E_{use,d}}{H_\beta \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{eq}} = \frac{L_d}{H_\beta \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{eq}} \qquad (εξ.\ 4.4.7)$$

Σε περίπτωση που στην υπό μελέτη περιοχή παρατηρούνται συνεχείς νεφοσκεπείς ημέρες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, τότε για την επαρκή κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου του κτιρίου από τα Φ/Β, επιλέγεται μεγαλύτερη επιφάνεια Φ/Β (A_{pv}), με τη θεώρηση κατ' ελάχιστον δύο (2) συνεχόμενων ημερών χωρίς ηλιοφάνεια.

Ο μέσος μηνιαίος πραγματικός βαθμός απόδοσης (η_{pv}) των Φ/Β, όπως ήδη αναφέρθηκε, εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ/Β, τη θέση εγκατάστασης (δώμα, στέγη κ.λπ.), την κλίση, τον προσανατολισμό, καθώς και τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Υπολογίζεται από την (εξ. 4.4.4), με τη επιλογή του κατάλληλου συντελεστή απόδοσης $f_{pv,eff}$, από τους πίνακες του Παραρτήματος Β, για σταθερή κλίση του Φ/Β ίση με τη βέλτιστη κλίση για τους χειμερινούς μήνες (60°÷65°, Πίνακας 2.2.1) και προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην κλίση αυτή (Πίνακας 2.2.5).

Για την επιλογή των συσσωρευτών, υπολογίζεται η χωρητικότητά τους (C_{bat}, Ah), λαμβάνοντας υπόψη το ημερήσιο ηλεκτρικό φορτίο (L_d, Watt), τον αριθμό ημερών (d_o) αυτόνομης λειτουργίας, την τάση λειτουργίας (V, volt), τον μέγιστο επιτρεπόμενο βαθμό εκφόρτισης (η_L) των συσσωρευτών και το βαθμό απόδοσης (η_b) του κλάδου εκφόρτισης (συσσωρευτές, μετατροπέας συχνότητας, καλώδια κ.λπ.), ως [6]:

$$C_{bat} = \frac{L_d \cdot d_o}{V \cdot \eta_L \cdot \eta_b} \qquad (εξ.\ 4.4.8)$$

Ο βαθμός απόδοσης του κλάδου εκφόρτισης (η_b) μπορεί να μειωθεί σημαντικά έως και 70% σε περιόδους πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Η τάση λειτουργίας (V) των συσσωρευτών, ανάλογα με το φορτίο του κτιρίου, λαμβάνει τιμές 12V ή 24V ή 48V.

4.4.3.2. Διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα

Για τα διασυνδεμένα με το τοπικό δίκτυο Φ/Β, στην περίπτωση συμψηφισμού ηλεκτρικής ενέργειας, η απαιτούμενη ισχύς (kW) και η επιφάνειά (m^2) των Φ/Β πανέλων υπολογίζεται ώστε, η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β να μην υπερβαίνει την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου, εντός της χρονικής περιόδου συμψηφισμού που ορίζει η νομοθεσία (ετήσιος κ.λπ.). Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται η θέση εγκατάστασης των Φ/Β ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ηλιακή αξιοποίηση σε ετήσια βάση, δηλαδή επιλέγεται η βέλτιστη ετήσια κλίση (εξ. 2.2.2) και η αντίστοιχη μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια όπως δίνεται στον Πίνακας 2.2.4. Στην περίπτωση ενεργειακής κάλυψης του κτιρίου από το Φ/Β σύστημα και το ηλεκτρικό δίκτυο, χωρίς συμψηφισμό, τότε η κλίση των Φ/Β και η τιμή της ηλιακής ενέργειας, που θα χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση τους, επιλέγεται ανάλογα με τα απαιτούμενα φορτία ανά μήνα ή εποχή.

Η απαιτούμενη ελάχιστη επιφάνεια και η ισχύς των Φ/Β μιας διασυνδεδεμένης εγκατάστασης, με ενεργειακό συμψηφισμό σε ετήσια βάση, η οποία θα πρέπει να παράγει τις ετήσιες ανάγκες του κτιρίου σε ηλεκτρισμό, υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο (L_a, kWh/yr), τη διαθέσιμη ετήσια ηλιακή ενέργεια ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό των Φ/Β (H_β), καθώς και τον πραγματικό βαθμό απόδοσης (n_{pv}) της Φ/Β εγκατάστασης, όπως διαμορφώνεται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Θεωρώντας ότι η μέση ετήσια ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια ($E_{use,yr}$, kWh/yr) από τα Φ/Β πρέπει να είναι ίση ή χαμηλότερη από το ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο (L_a) του κτιρίου, η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια των Φ/Β υπολογίζεται ως:

$$A_{pv} = \frac{E_{use,yr}}{H_\beta \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{eq}} = \frac{L_a}{H_\beta \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{eq}} \qquad (εξ.\ 4.4.9)$$

Ο μέσος μηνιαίος πραγματικός βαθμός απόδοσης (η_{pv}) των Φ/Β, όπως ήδη αναφέρθηκε, εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους καθώς και τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες και μπορεί να υπολογιστεί από την (εξ. 4.4.4), με τη επιλογή του κατάλληλου συντελεστή απόδοσης $f_{pv,eff}$, από τον Πίνακας 4.4.2.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

ή τους πίνακες του Παραρτήματος Β, για σταθερή κλίση του Φ/Β ίση με τη βέλτιστη ετήσια ((εξ. 2.2.2), Πίνακας 2.2.4).

4.5. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης και διασύνδεσης με το Δίκτυο

Ο χώρος εγκατάστασης των Φ/Β είναι η παράμετρος που, όπως ήδη αναφέρθηκε, επηρεάζει την αποδοτική λειτουργία τους. Ειδικότερα:

α) Τα Φ/Β τοποθετούνται σε χώρο που έχει επαρκή ηλιασμό, με δυνατότητα νότιου προσανατολισμού και βέλτιστης κατά περίπτωση κλίσης. Τα Φ/Β τοποθετούνται σε απόσταση μεταξύ τους, προκειμένου να αποφευχθεί η αλληλοσκίαση των πανέλων (ενότητα 2.2.2) σε κάθε χρονική περίοδο της ημέρας και σε κάθε εποχή.

β) Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η εύκολη προσβασιμότητα στη θέση εγκατάστασης των Φ/Β για τον καθαρισμό των πλαισίων, τη συντήρηση και την επισκευή στην περίπτωση βλάβης.

γ) Θα πρέπει να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος χώρος εγκατάστασης του βοηθητικού εξοπλισμού λειτουργίας του Φ/Β συστήματος και των συσσωρευτών .

δ) Σε περίπτωση σύνδεσης με το τοπικό δίκτυο θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι ο χώρος εγκατάστασης των Φ/Β βρίσκεται πλησίον του δικτύου και ότι πληρούνται όλες οι τεχνικές προϋποθέσεις ασφαλούς σύνδεσης και λειτουργίας.

4.5.1. Στήριξη και ασφαλής τοποθέτηση πανέλων

Στις περισσότερες περιπτώσεις η τοποθέτηση των Φ/Β γίνεται πάνω σε μεταλλικές βάσεις στήριξης, σταθερής ή μεταβαλλόμενης κλίσης, οι οποίες τοποθετούνται σε οροφές δομικών κατασκευών ή στο έδαφος. Οι βάσεις αυτές θα πρέπει να στερεώνονται με προσοχή και ασφάλεια. Ειδικότερα κατά την τοποθέτηση των Φ/Β πανέλων θα πρέπει:

α) να διασφαλίζεται η στατική επάρκεια σε περίπτωση εγκατάστασής τους σε δώματα, στέγες, προβόλους και άλλες επιφάνειες σκίασης (σε κτίρια, χώρους στάθμευσης κ.λπ.),

β) να ελέγχεται η επαρκής στήριξή τους και η ανεμοπροστασία τους, ειδικά σε περιοχές που επικρατούν ισχυροί άνεμοι και καταγράφονται υψηλές ριπές ανέμου,

γ) να ελέγχονται και να επιδιορθώνονται τυχόν ζημιές που δημιουργούνται σε υλικά (στρώσεις) θερμομόνωσης και υγρομόνωσης στις οροφές των κτιρίων. Η ασυνέχεια των υλικών αυτών δημιουργεί σοβαρές θερμογέφυρες και συσσώρευση υγρασίας με τις σχετικές επιβλαβείς συνέπειες.

Στην περίπτωση τοποθέτησης Φ/Β στο κέλυφος του κτιρίου, σε δώματα ή σε κεκλιμένες στέγες, θα πρέπει να πραγματοποιείται στατικός έλεγχος, καθώς και επίσης να ελέγχεται και η έκθεση σε ισχυρούς ανέμους. Ένα σύστημα Φ/Β μαζί με τις βάσεις του ζυγίζει περίπου 15 – 20 kg/m².

4.5.2. Διασύνδεση με το Δίκτυο των σταθμών παραγωγής με ενεργειακό ή εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό

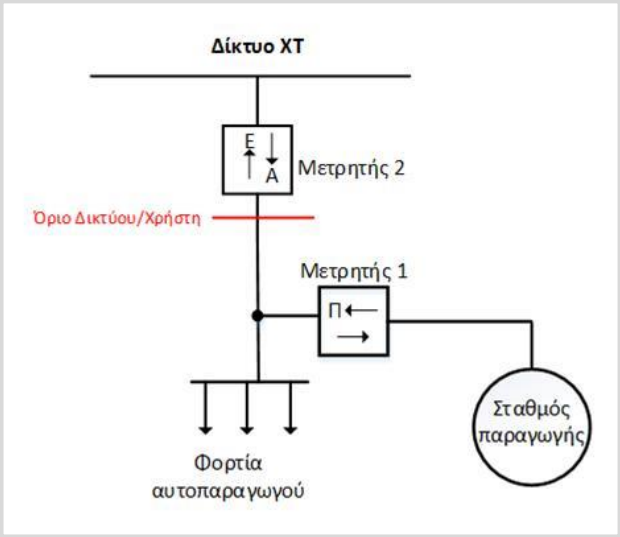
4.5.2.1. Τρόπος σύνδεσης

Η σύνδεση των σταθμών παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό πραγματοποιείται με χρήση της υφιστάμενης παροχής μέσω της οποίας συνδέεται η εγκατάσταση κατανάλωσης.

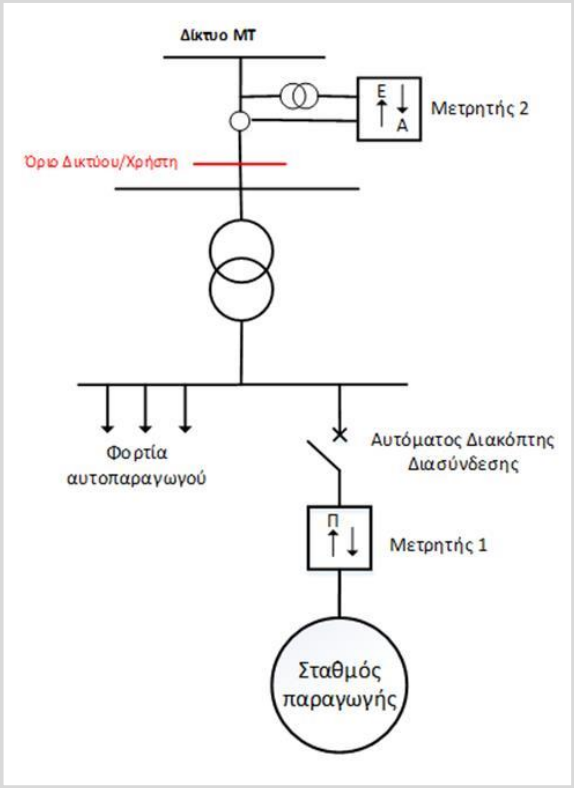
Για την εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού απαιτείται η καταγραφή τόσο της εισερχόμενης ενέργειας (ενέργεια που απορροφάται από το Δίκτυο) όσο και της εξερχόμενης ενέργειας (ενέργειας που εγχέεται στο Δίκτυο). Για το σκοπό αυτό, εφόσον ο υφιστάμενος μετρητής της εγκατάστασης κατανάλωσης δεν διαθέτει ήδη τη δυνατότητα αυτή, αντικαθίσταται με νέο μετρητή διπλής κατεύθυνσης – καταγραφής. Περαιτέρω απαιτείται η εγκατάσταση και δεύτερου μετρητή για τη μέτρηση της παραγόμενης από το σταθμό ενέργειας.

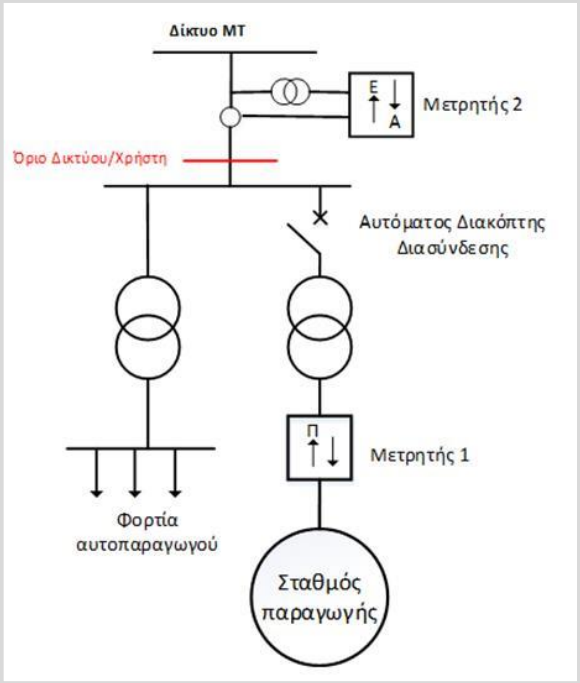
ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Ο σταθμός παραγωγής στις περιπτώσεις καταναλωτών χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) συνδέεται σε σημείο ανάντη του γενικού πίνακα Χ.Τ. της εγκατάστασης, ενώ στις περιπτώσεις των καταναλωτών μέσης τάσης (Μ.Τ.), είτε συνδέεται στο γενικό πίνακα Χ.Τ. του υφιστάμενου μετασχηματιστή (Μ/Σ) είτε συνδέεται στην εγκατάσταση μέσω νέου Μ/Σ. Στο Σχήμα 4.5.1 απεικονίζεται απλοποιημένο μονογραμμικό διαγράμματα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης Χ.Τ. ενώ στο Σχήμα 4.5.2 Μ.Τ., χωρίς τα μέσα ζεύξης και προστασίας. Σε κάθε διάγραμμα φαίνονται οι δύο μετρητές, καθώς και τα όρια διαχωρισμού ιδιοκτησίας και ευθύνης μεταξύ Δικτύου και αυτοπαραγωγού για εγκαταστάσεις που συνδέονται στο επίπεδο Χ.Τ. (Σχήμα 4.5.1) και Μ.Τ. (Σχήμα 4.5.2) του Δικτύου.



*Σχήμα 4.5.1: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) μετά τη σύνδεση σταθμού παραγωγής. Πηγή: **www.deddie.gr***





Σχήμα 4.5.2: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης μέσης τάσης (Μ.Τ.) *μετά τη σύνδεση σταθμού παραγωγής. Πηγή: **www.deddie.gr***

Ο Μετρητής 2 (Σχήμα 4.5.1 και Σχήμα 4.5.2) εγκαθίσταται από το ΔΕΔΔΗΕ, στη θέση του υφιστάμενου μετρητή της εγκατάστασης κατανάλωσης (εφόσον ο τελευταίος δεν έχει τη δυνατότητα διπλής

κατεύθυνσης - καταγραφής) και ανήκει στα πάγια του Δικτύου. Ο Μετρητής 1, όπως και οι ΜΣ έντασης που απαιτούνται για ισχύ σταθμού παραγωγής μεγαλύτερη από 55 kW, εγκαθίσταται από τον αυτοπαραγωγό, ο οποίος και τον προμηθεύεται με δαπάνες του, με βάση τις υποδείξεις του ΔΕΔΔΗΕ αναφορικά με τους αποδεκτούς τύπους, ενώ πιστοποιείται προ της τοποθέτησής του στα εργαστήρια του ΔΕΔΔΗΕ. Κατά την ενεργοποίηση της σύνδεσης, το προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ ελέγχει και ρυθμίζει και τους δύο μετρητές και προβαίνει στη σφράγισή τους. Ο Μετρητής 1 αποτελεί μέρος της εσωτερικής εγκατάστασης και πάγιο του αυτοπαραγωγού.

Στην περίπτωση που μια Ενεργειακή Κοινότητα (Ε.Κοιν.) συστήνεται με σκοπό να εγκαταστήσει ένα σταθμό παραγωγής και να συμψηφίζει την ενέργεια του με πολλές παροχές κατανάλωσης που μπορεί να ανήκουν στο ίδιο κτίριο (εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός σε πολυκατοικία), ο σταθμός παραγωγής συνδέεται στο Δίκτυο μέσω νέας παροχής Χ.Τ. εφόσον η ισχύς του είναι έως 100 kW ή παροχής Μ.Τ. για ισχύ μεγαλύτερη από 100 kW (σχήμα ανεξάρτητου παραγωγού). Επομένως, το σύνολο της ενέργειας του σταθμού εγχέεται στο Δίκτυο και καταμετράται από το μετρητή της παροχής, προκειμένου να επιμεριστεί στη συνέχεια σύμφωνα με τα δηλούμενα από την Ε.Κοιν. ποσοστά και να συμψηφιστεί τελικά με τις καταναλώσεις των παροχών του κτιρίου.

4.5.2.2. Προστασία απόζευξης και απαιτήσεις μετατροπέων ισχύος

Η προστασία απόζευξης σταθμού παραγωγής διασφαλίζει την αυτόματη αποσύνδεση του σταθμού από το Δίκτυο όταν οι συνθήκες λειτουργίας του Δικτύου αποκλίνουν από τις κανονικές. Ως μη κανονικές λειτουργικές καταστάσεις ορίζονται οι παρακάτω:

- Συμμετρικά ή μη συμμετρικά σφάλματα (βραχυκυκλώματα ως προς γη και μεταξύ φάσεων),
- Διαταραχές συχνότητας και τάσης,
- Περιπτώσεις νησιδοποίησης, δηλαδή όταν ένα τμήμα του Δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει τόσο φορτίο όσο και παραγωγή, απομονώνεται από το υπόλοιπο Δίκτυο αλλά συνεχίζει να λειτουργεί τροφοδοτούμενο από τις μονάδες παραγωγής που συνδέονται στο τμήμα αυτό.

Η προστασία απόζευξης επενεργεί μέσω ηλεκτρονόμου σε μέσο διακοπής το οποίο εγκαθίσταται από τον αυτοπαραγωγό και καλείται Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (Α.Δ.Δ.). Στην περίπτωση σταθμών που συνδέονται στη Χ.Τ. οι λειτουργίες του είναι δυνατόν να υλοποιούνται από τους μετατροπείς ισχύος ή τις γεννήτριες του σταθμού (Σχήμα 4.5.1), ενώ στην περίπτωση σταθμών στη Μ.Τ. ο Α.Δ.Δ. είναι ξεχωριστό μέσο (Σχήμα 4.5.2).

Τα είδη προστασίας που κατ' ελάχιστον πρέπει να διαθέτουν οι σταθμοί παραγωγής περιγράφονται ακολούθως:

α) **Προστασία υπερέντασης**. Για την προστασία έναντι σφαλμάτων εγκαθίσταται κατάλληλο μέσο προστασίας υπερέντασης και πιο συγκεκριμένα ασφάλειες για σταθμούς παραγωγής μικρής ισχύος που συνδέονται στη Χ.Τ. και διακόπτης ισχύος για σταθμούς μεγαλύτερης ισχύος στη Χ.Τ. και στη Μ.Τ.

β) **Προστασία ορίων τάσης και συχνότητας**. Η λειτουργία της προστασίας ορίων τάσης και συχνότητας εξασφαλίζει την αποσύνδεση του σταθμού παραγωγής όταν τα συγκεκριμένα μεγέθη του Δικτύου είναι εκτός των τιθέμενων ορίων, ενώ επιπρόσθετα λειτουργεί και ως μέσο προστασίας έναντι σφαλμάτων ή έναντι νησιδοποίησης, καταστάσεις που έχουν ως επακόλουθα την απόκλιση της τάσης και της συχνότητας από τις τιμές κανονικής λειτουργίας.

γ) **Προστασία έναντι νησιδοποίησης**. Η νησιδοποίηση του Δικτύου δεν είναι αποδεκτή για λόγους που σχετίζονται τόσο με την ασφάλεια του προσωπικού, αφού ένα τμήμα του Δικτύου θεωρείται εκτός τάσης ενώ στην πραγματικότητα είναι ενεργό, όσο και με την ποιότητα της ενέργειας και με την ασφάλεια του εξοπλισμού Καταναλωτών και Παραγωγών. Για την προστασία έναντι νησιδοποίησης γίνεται κατά περίπτωση αποδεκτή αναγνωρισμένη μέθοδος προστασίας, ενεργητική ή παθητική, όπως η ανίχνευση απότομης μεταβολής του διανύσματος της τάσης, η ανίχνευση απότομου ρυθμού μεταβολής της συχνότητας, η ενεργός μέτρηση της σύνθετης αντίστασης κ.λπ. Ειδικότερα, για τη σύνδεση σταθμού στο Δίκτυο Μ.Τ., η επιτήρηση των ορίων τάσης και συχνότητας συνδυαστικά με την προστασία ομοπολικής συνιστώσας της τάσης, μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματική προστασία για την αποφυγή της νησιδοποίησης. Σε εγκαταστάσεις που υπάρχει εφεδρική πηγή παραγωγής

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

ενέργειας (Η/Ζ) πρέπει να διασφαλίζεται ότι η απώλεια του ανάντη Δικτύου προκαλεί απόζευξη του σταθμού ακόμα και στην περίπτωση λειτουργίας της εφεδρικής πηγής.

Δεδομένου ότι οι σταθμοί παραγωγής με Φ/Β και μικρές Α/Γ διαθέτουν μετατροπείς ισχύος, η λειτουργία των οποίων δεν πρέπει να προκαλεί ανεπίτρεπτες διαταραχές στο Δίκτυο και στους συνδεδεμένους χρήστες (καταναλωτές και παραγωγούς), ο ΔΕΔΔΗΕ απαιτεί οι μετατροπείς να διαθέτουν τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή είτε στα πιστοποιητικά τους:

α) Μετατροπέας ισχύος μέχρι 5 kVA επιτρέπεται να συνδέεται σε μία φάση, ενώ για μετατροπείς μεγαλύτερης ισχύος (kVA) επιβάλλεται τριφασική σύνδεση στο Δίκτυο.

β) Ο μετατροπέας πρέπει να διαθέτει προστασία έναντι ορίων τάσης (V), συχνότητας (Hz) και νησιδοποίησης. Η καλή λειτουργία των μετατροπέων πρέπει να είναι διασφαλισμένη στο εύρος διακύμανσης +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης (V) και σε εύρος διακύμανσης συχνότητας από -2,5 Hz έως και +1,5 Hz.

γ) Σε περίπτωση που ο μετατροπέας τεθεί εκτός (αυτόματη απόζευξη) η επανάζευξή του μπορεί να γίνει κατ' ελάχιστον σε 3 min.

δ) Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του ρεύματος του μετατροπέα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.

ε) Εφόσον ο μετατροπέας δε διαθέτει μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να περιορίζεται στο 0,5% του ονομαστικού.

στ) Ο μετατροπέας πρέπει να διαθέτει δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος από 0,95 επαγωγικό έως 0,95 χωρητικό.

ζ) Ο μετατροπέας πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις της Κατηγορίας Α του Κανονισμού ΕΕ 2016/631 ('RfG') όπως ισχύει για το ελληνικό Σύστημα και Δίκτυο βάσει της Απόφασης ΡΑΕ 1165 (ΦΕΚ Β' 3757/7.9.2020).

4.5.3. Διασύνδεση με το Δίκτυο των σταθμών παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό σε συνδυασμό με συστήματα αποθήκευσης

Με τη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης στις εγκαταστάσεις που λειτουργούν με ενεργειακό συμψηφισμό είναι δυνατή η αύξηση της ιδιοκατανάλωσης της ενέργειας που προέρχεται από το σταθμό παραγωγής και η συνεπακόλουθη μείωση της απορρόφησης ενέργειας από το Δίκτυο. Για παράδειγμα, σε συνδυασμό με ένα Φ/Β σταθμό, ένα σύστημα αποθήκευσης θα μπορούσε να αποθηκεύει την περίσσεια ενέργειας τις μεσημβρινές ώρες και να την αποδίδει στα φορτία της εγκατάστασης τις βραδινές ώρες, δηλαδή τις ώρες που ο καταναλωτής θα έπρεπε να απορροφήσει ενέργεια από το Δίκτυο.

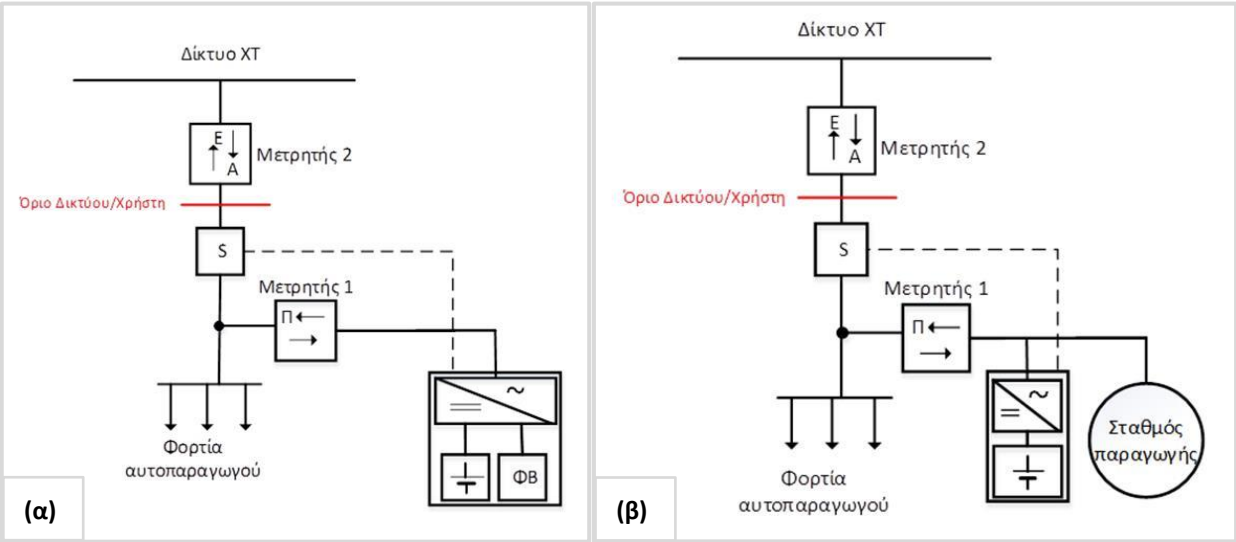
4.5.3.1. Τρόπος Σύνδεσης

Για τη σύνδεση του συστήματος αποθήκευσης με ισχύ έως 30 kVA στην ηλεκτρική εγκατάσταση χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) αυτοπαραγωγού με ενεργειακό συμψηφισμό υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

α) Το σύστημα αποθήκευσης να συνδυάζεται με Φ/Β σταθμό, όπου οι συσσωρευτές και πλαίσια μπορεί να συνδέονται μέσω του ίδιου μετατροπέα ισχύος (Σχήμα 4.5.3.α) στην εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση του αυτοπαραγωγού.

β) Το σύστημα αποθήκευσης (συσσωρευτές) να συνδέεται στην εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση του αυτοπαραγωγού, μέσω ανεξάρτητου μετατροπέα ισχύος (Σχήμα 4.5.3.β). Η διάταξη σύνδεσης μέσω ανεξάρτητου μετατροπέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περίπτωση σύνδεσης κάθε σταθμού παραγωγής Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ



*Σχήμα 4.5.3: Ενδεικτικά απλοποιημένα μονογραμμικά διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης Χ.Τ., α) με σύνδεση Φ/Β πλαισίων και συσσωρευτών μέσω του ίδιου μετατροπέα (DC coupled) και β) με σύνδεση σταθμού παραγωγής και συσσωρευτών μέσω διαφορετικών μετατροπέων (AC coupled). Πηγή: **www.deddie.gr***

Στο Σχήμα 4.5.3απεικονίζονται ενδεικτικά απλοποιημένα μονογραμμικά διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης χαμηλής τάσης (Χ.Τ.), όπως διαμορφώνεται α) μετά τη σύνδεση Φ/Β πλαισίων και συσσωρευτών μέσω του ίδιου μετατροπέα (DC coupled), και β) μετά τη σύνδεση σταθμού παραγωγής και συσσωρευτών μέσω διαφορετικών μετατροπέων (AC coupled). Η διακεκομμένη γραμμή στα διαγράμματα (Σχήμα 4.5.3) υποδηλώνει την επικοινωνία του «αισθητήρα κατεύθυνσης» (S) με το σύστημα διαχείρισης του μετατροπέα. Στα διαγράμματα (Σχήμα 4.5.3) δεν απεικονίζονται τα μέσα ζεύξης και προστασίας.

Κατά την κανονική λειτουργία του σταθμού παραγωγής και του συστήματος αποθήκευσης, το σύστημα αποθήκευσης απορροφά ενέργεια αποκλειστικά από το σταθμό παραγωγής και η ενέργεια αυτή διατίθεται αποκλειστικά για την τροφοδότηση μέρους ή τμήματος των φορτίων του αυτοπαραγωγού. Συνεπώς το σύστημα αποθήκευσης δεν ανταλλάσσει ενέργεια με το Δίκτυο, δηλαδή οι συσσωρευτές δεν φορτίζουν από το Δίκτυο και δεν εκφορτίζουν σε αυτό.

Για τη διαχείριση της ροής ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση του αυτοπαραγωγού και τη διασφάλιση της μη ανταλλαγής ενέργειας του συστήματος αποθήκευσης με το Δίκτυο, στην είσοδο της εγκατάστασης του αυτοπαραγωγού εγκαθίσταται «αισθητήρας κατεύθυνσης» (‘energy flow direction sensor’ ή ‘smart energy meter’), μονοφασικός ή τριφασικός κατά περίπτωση, ο οποίος ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής ηλεκτρικής ενέργειας στο κύκλωμα (έγχυση / απορρόφηση) δίνει εντολή στο σύστημα ελέγχου του μετατροπέα να φορτίσει ή να εκφορτίσει τους συσσωρευτές. Για τη διαχείριση της ενέργειας ακολουθείται η εξής στρατηγική:

- όταν ενέργεια εισέρχεται από το Δίκτυο στην ηλεκτρική εγκατάσταση, στην περίπτωση που η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί για τα φορτία του αυτοπαραγωγού, θα επιτρέπεται η εκφόρτιση των συσσωρευτών προκειμένου να μειωθεί η απορρόφηση από το Δίκτυο.
- όταν υπάρχει περίσσεια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και ενέργεια εξέρχεται από την ηλεκτρική εγκατάσταση, θα επιτρέπεται η φόρτιση των συσσωρευτών από το σταθμό παραγωγής. Η αποθηκευμένη ενέργεια θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επόμενη χρονική στιγμή στην περίπτωση που θα υπάρξει αυξημένη ζήτηση σε σχέση με την παραγωγή.
- σε περίπτωση υψηλής ζήτησης μπορεί να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα η ενέργεια και από το σταθμό παραγωγής και από τους συσσωρευτές.
- σε περίπτωση χαμηλής ζήτησης και αυξημένης παραγωγής ή όταν οι συσσωρευτές είναι πλήρως φορτισμένοι, η περίσσεια ενέργειας από το σταθμό παραγωγής μπορεί να εγχέεται στο Δίκτυο και να συμψηφίζεται με την ενέργεια που απορροφάται σε επόμενη χρονική στιγμή από το Δίκτυο.

4.5.3.2. Μέγιστη ισχύς μετατροπέα

Σύμφωνα με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο (βλ. ενότητα 1.3.1.3) για τις τεχνικές προδιαγραφές και τους όρους λειτουργίας των συστημάτων αποθήκευσης, για τον προσδιορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης ισχύος (kVA) του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης (συσσωρευτές), θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι παρακάτω περιορισμοί:

α) Η ονομαστική ισχύς του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης δεν πρέπει να υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ του σταθμού παραγωγής.

β) Η ισχύς του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να προκύψει κατά τη λειτουργία του σταθμού παραγωγής και του συστήματος αποθήκευσης να μην υπερβαίνει τη μέγιστη ικανότητα φόρτισης της παροχής.

γ) Το ανώτατο όριο ισχύος του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης είναι τα 30kVA.

Παράδειγμα: Σύστημα αποθήκευσης σε Φ/Β σταθμό (15 kW_p), με ενεργειακό συμψηφισμό, όπου τα Φ/Β λειτουργούν σε τριφασική Παροχή ν.2 (25 kVA).

Ο προσδιορισμός της μέγιστης ισχύος του μετατροπέα συσσωρευτών που μπορεί να συνδεθεί στην ηλεκτρική εγκατάσταση αυτοπαραγωγού, προκύπτει από τους περιορισμούς:

- Η ονομαστική ισχύς (kVA) του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης δεν πρέπει να υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ του Φ/Β σταθμού, δηλαδή τα 15 kVA.
- Η ισχύς του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να προκύψει κατά τη λειτουργία του Φ/Β σταθμού και του συστήματος αποθήκευσης να μην υπερβαίνει τη μέγιστη ικανότητα φόρτισης της παροχής. Θεωρώντας ταυτόχρονη έγχυση ισχύος τόσο από το Φ/Β σταθμό (15 kW_p) όσο και από τους συσσωρευτές, προκύπτει μέγιστο περιθώριο ισχύος 10 kVA για τον μετατροπέα των συσσωρευτών.
- Το ανώτατο όριο ισχύος του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης είναι τα 30 kVA.

Συνεπώς, σύμφωνα και με τους τρεις περιορισμούς μπορεί να εγκατασταθεί μετατροπέας με μέγιστη ισχύ 10 kVA ή εναλλακτικά τρεις (3) μετατροπείς με ισχύ 3,3 kVA έκαστος.

4.5.3.3. Προστασία απόζευξης και απαιτήσεις μετατροπέων ισχύος

Στον μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης είτε αυτός είναι ανεξάρτητος είτε σε αυτόν συνδέονται τόσο οι συσσωρευτές όσο και τα Φ/Β πλαίσια, εφαρμόζονται τα είδη προστασίας, οι τιμές ρύθμισης και οι χρόνοι ενεργοποίησης που εφαρμόζονται και στην περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού χωρίς σύστημα αποθήκευσης (βλ. ενότητα 4.5.2.2). Ομοίως, τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτεί ο ΔΕΔΔΗΕ να διαθέτουν οι μετατροπείς ισχύος των συστημάτων αποθήκευσης δεν διαφοροποιούνται από τα χαρακτηριστικά των μετατροπέων των σταθμών παραγωγής χωρίς σύστημα αποθήκευσης.

4.6. Λειτουργία και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ως Λειτουργία και Συντήρηση Φ/Β συστημάτων περιγράφεται το σύνολο των διεργασιών, το οποίο έχει ως στόχο να επιτύχει [61]:

- Την ομαλή λειτουργία του συστήματος,
- Την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος,
- Τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργιάς του συστήματος,
- Τη μείωση πιθανότητας πρόκλησης ατυχήματος,
- Τη συντήρηση του τεχνικού εξοπλισμού ώστε να προληφθούν τυχόν τεχνικές αστοχίες,
- Την επιβράδυνση γήρανσης του τεχνικού εξοπλισμού (προληπτική συντήρηση),
- Τη συμμόρφωση με τους όρους και τις προϋποθέσεις ισχύος των εγγυήσεων του εγκατεστημένου εξοπλισμού,
- Την καταγραφή της ενεργειακής απόδοσης και τεχνικών αστοχιών του συστήματος,
- Την επισκευή και επιδιόρθωση τεχνικών αστοχιών (επεμβατική συντήρηση).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Στο πλαίσιο της Λειτουργίας και Συντήρησης ενός Φ/Β συστήματος οι κάτωθι πληροφορίες πρέπει να είναι διαθέσιμες [61]:

- Οι διαδικασίες επιβεβαίωσης της ορθής λειτουργίας του.
- Η διαδικασία ελέγχου και επέμβασης (step by step) σε περίπτωση βλάβης του.
- Οι διαδικασίες τερματισμού & απομόνωσης του σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
- Οι διαδικασίες συντήρησης βασισμένες στις συστάσεις των κατασκευαστών, τα διεθνή πρότυπα και τις κοινές τεχνικές πρακτικές.
- Ο μελλοντικός σχεδιασμός εργασιών, οι οποίες σχετίζονται με το Φ/Β σύστημα (π.χ. επέκταση της εγκατάστασης, εργασίες οροφής, φύτευση περιβάλλοντα χώρου κ.λπ.)
- Η εγγύηση του εγκατεστημένου εξοπλισμού, Φ/Β πλαίσια μετατροπείς κ.λπ. Θα πρέπει να υπάρχει τεκμηρίωση της ημερομηνίας έναρξης της εγγύησης και η περίοδος της.
- Η τεκμηρίωση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών της φάσης «θέση σε λειτουργία» (Commissioning) του Φ/Β συστήματος.
- Οι πληροφορίες ιστορικών δεδομένων, όπως προκύπτουν από το σύστημα τηλεμετρίας.
- Το πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης.
- Επιπλέον απαιτήσεις ελέγχου, παρακολούθησης και συντήρησης, οι οποίες μπορεί να απορρέουν από τυχόν ιδιαιτερότητα της θέσης του έργου.
- Τα Η/Μ και λοιπά σχέδια του Φ/Β συστήματος.
- Ο κατάλογος διαθέσιμων ανταλλακτικών επί του έργου.
- Η περιοδική απαίτηση βαθμονόμησης/ ελέγχου των εγκατεστημένων συσκευών μέτρησης.

4.6.1. Συχνές δυσλειτουργίες & βλάβες Φ/Β συστημάτων

Οι συχνότερες δυσλειτουργίες και βλάβες, οι οποίες ενδεχομένως να παρουσιαστούν σε μια Φ/Β μονάδα αναφέρονται ακολούθως.

Δυσλειτουργία Φ/Β πλαισίων: Τα Φ/Β πλαίσια, αν και χαρακτηρίζονται από τη μικρή ανάγκη συντήρησης, δεν παύουν να είναι ικανά να εμφανίσουν τεχνικές δυσλειτουργίες όπως:

- Παρουσία θερμών σημείων «Hot spots», πρόκειται ίσως για το πιο συχνό πρόβλημα στην λειτουργία των Φ/Β πλαισίων, το οποίο μειώνει την απόδοσή τους και σε κάποιες περιπτώσεις τα καθιστά μη λειτουργικά. Οφείλεται σε σημειακή υπερθέρμανση, η οποία μπορεί να προκαλείται είτε από σημειακή ρύπανση, είτε από μόνιμη σημειακή σκίαση ή ακόμα και κακή κατασκευή (π.χ. αστοχία στην κόλληση μεταξύ των Φ/Β στοιχείων).
- Η αναμενόμενη πρόκληση «Υποβάθμισης» της ενεργειακής απόδοσης τους κοινώς ως «Potential Induced Degradation - POID», μια κατάσταση που προκαλείται από τη δυσλειτουργία των κυψελών των Φ/Β. Η υποβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης των Φ/Β εμφανίζεται μετά από μια περίοδο λειτουργίας μηνών ή ετών και επιδεινώνεται σταδιακά. Αρχικά μπορεί να εμφανιστεί σε ορισμένα πλαίσια και σταδιακά να επεκταθεί σε ολόκληρη τη στοιχειοσειρά του Φ/Β. Η έγκαιρη διάγνωση του PID φαινομένου μέσω ανάλυσης δεικτών, όπως η ενεργειακή απόδοση της Φ/Β εγκατάστασης, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του, καθώς υπάρχουν λύσεις που βοηθάνε στην σταδιακή αποκατάσταση της λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου.
- Μικρορωγμές «micro-cracks» ή μικροσκοπικές ρωγμές στα Φ/Β στοιχεία, μπορούν να μεγαλώσουν ή και να αυξηθούν με αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργειακή απόδοσης των πλαισίων. Οι μικρορωγμές δημιουργούνται κατά τη διαδικασία παραγωγής των πλαισίων ή/και τη διαδικασία μεταφοράς και εγκατάστασης τους, καθώς και από τις θερμοκρασιακές διαφορές και τα καιρικά φαινόμενα στα οποία είναι εκτεθειμένα τα Φ/Β πλαίσια. Ο έλεγχος των πλαισίων για μικρορωγμές συνήθως πραγματοποιείται κατά την κατασκευή τους και μπορεί να επαληθευθεί στο σημείο εγκατάστασης.
- Αποχρωματισμό μέρους των Φ/Β στοιχείων, ο οποίος μοιάζει με το αποτύπωμα διαδρομής σαλιγκαριού «Snail trails». Αιτία του παραπάνω φαινομένου είναι είτε η εισροή υγρασίας από την πίσω επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου, είτε η παρουσία σημαντικών μικρορωγμών. Το φαινόμενο, ανάλογα την έκτασή του, μειώνει την ενεργειακή απόδοση των Φ/Β.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

- Αστοχία της διόδου παράκαμψης «Bypass diode» των Φ/Β πλαισίων, με αποτέλεσμα τη μόνιμη βραχυκύκλωση ή ανοιχτοκύκλωσή τους. Η περίπτωση βραχυκύκλωσης της διόδου μπορεί εντοπίζεται από τη μείωση του ρεύματος λειτουργίας της στοιχειοσειράς, ή μέσω θερμικής απεικόνισης του πλαισίου. Η περίπτωση της ανοιχτοκύκλωσης εντοπίζεται δυσκολότερα με μέτρηση, είτε με τη δημιουργία τεχνητής σημειακής σκίασης. Η δυσλειτουργική δίοδος παράκαμψης μπορεί να αντικατασταθεί, σύμφωνα με τις οδηγίες.

Ρύπανση της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων: Η ρύπανση της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων από επικαθήσεις δημιουργεί μείωση της απόδοσης τους. Παραδείγματα ρύπανσης αποτελούν τα περιττώματα πουλιών, το αλάτι (για εγκαταστάσεις πλησίον του αιγιαλού), η σκόνη, η οποία ανάλογα με την περιοχή μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για την απόδοση του Φ/Β συστήματος (π.χ. εγκατάσταση πλησίον λατομείου). Τα Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να καθαρίζονται τακτικά, καθώς η σημειακή μορφή ρύπανσης (π.χ. περιττώματα πουλιών) μπορεί να προκαλέσει σημειακή δυσλειτουργία του πλαισίου (hot spot) ή ακόμα και ολική βλάβη. Ο καθαρισμός των πλαισίων απαιτεί προσοχή, ώστε να αποφευχθούν σημάδια από άλατα και τυχόν γδαρσίματα στην επιφάνεια τους, να αποφευχθούν βλάβες από τη ρίψη κρύου νερού στη θερμή επιφάνειά τους ή την πίεση του νερού ή/και τη χρήση χημικών καθαριστικών.

Δυσλειτουργία μετατροπέων: Η δυσλειτουργία ή παύση λειτουργίας των μετατροπέων συνήθως οφείλεται σε βλάβες άλλων τμημάτων του εξοπλισμού, όπως τα χτυπημένα καλώδια (τα οποία παρουσιάζουν διαρροή ρεύματος) ή προβληματικά Φ/Β πλαίσια. Παρόλα αυτά και ο μετατροπέας μπορεί να εμφανίσει πρόβλημα το οποίο σχετίζεται αμιγώς με τη λειτουργία του, όπως για παράδειγμα η βλάβη του ηλεκτρονικού ελεγκτή, οπότε και θα απαιτηθεί η επισκευή η αντικατάσταση του.

Ηλεκτρολογικές αστοχίες: Τα ηλεκτρολογικά προβλήματα που εντοπίζονται συχνά στα Φ/Β συστήματα είναι οι αστοχίες ασφαλειών, διακοπτών, υπερθέρμανση ηλεκτρικών συνδέσεων κ.λπ. Αυτά οφείλονται συνήθως σε υποδιαστασιολόγηση ηλεκτρικών στοιχείων, είτε σε μη ορθά σφιγμένους τερματισμούς. Η αστοχία του διακοπτικού υλικού πρέπει να εντοπίζεται από τα δεδομένα ενεργειακής παραγωγής του Φ/Β συστήματος, ενώ η υπερθέρμανση τερματισμών εντοπίζεται μέσω περιοδικών ελέγχων θερμικής απεικόνισης των ηλεκτρικών στοιχείων, των πινάκων και των συνδέσεων της εγκατάστασης.

Αστοχίες του συστήματος ανωδομής: Τα υλικά του συστήματος στήριξης των Φ/Β πλαισίων είναι συνήθως αλουμίνιο ή γαλβανισμένος χάλυβας, υλικά που παρέχουν μεγάλη αντοχή σε βάθος χρόνου. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζεται διάβρωση, λόγω ειδικών συνθηκών περιβάλλοντος όπως σε Φ/Β εγκαταστάσεις πλησίον αιγιαλού. Συνιστάται περιοδικός οπτικός έλεγχος των βάσεων για τον έγκαιρο εντοπισμό αστοχιών.

Αστοχίες οροφής/στέγης: Η μη ορθή τοποθέτηση Φ/Β συστημάτων σε οροφή ή στέγη μπορεί να προκαλέσει εισροή νερού / υγρασίας στα δομικά στοιχεία, εξαιτίας κάποιας αστοχίας στη στεγάνωση των αγκυρώσεων του συστήματος στήριξης. Συνιστάται προσοχή κατά τη διαδικασία εγκατάστασης των αγκυρίων, όπως προβλέπεται από τον κατασκευαστή χωρίς παρεκκλίσεις, καθώς και περιοδικός οπτικός έλεγχος, ώστε να εντοπιστούν εγκαίρως τυχόν αστοχίες στην οροφή/στέγη.

Δυσλειτουργία συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (συσσωρευτών): Η μη ορθή χρήση και συντήρησή των συστημάτων αποθήκευσης, που ενδεχομένως να διαθέτει μια Φ/Β εγκατάστασης, αποτελεί το κύριο πρόβλημα για την επίτευξη της προβλεπόμενης διάρκειας ζωής τους. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να τηρούνται οι οδηγίες συντήρησης όπως προτείνονται από τον κατασκευαστή, όπως η συμπλήρωση απιονισμένου νερού ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ο έλεγχος διάβρωσης των πόλων, ο επαρκής εξαερισμός του χώρου κ.λπ. Επίσης θα πρέπει να τηρούνται οι προτεινόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες λειτουργίας των συσσωρευτών, ώστε να εξασφαλίζεται η επαρκής απόδοσής τους. Τέλος συνίσταται η εγκατάσταση κατάλληλης μετρικής διάταξης, ώστε να ελέγχεται άμεσα και συνεχώς η ορθή χρήση και φόρτιση των συσσωρευτών.

4.6.2. Πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης Φ/Β συστήματος

Για την σύνταξη του προγράμματος συντήρησης ενός Φ/Β συστήματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα κάτωθι σημεία [61]:

- Ο τύπος του Φ/Β συστήματος (π.χ. εγκατάσταση επί εδάφους ή στέγης ή οροφής, εμπορική χρήση, αυτόνομο ή διασυνδεδεμένο σύστημα με το δίκτυο κ.λπ.).
- Οι δυνατότητες χρήσης του συστήματος ελέγχου και καταγραφής ή ακόμα και τηλεμετρίας.
- Συμβατικές υποχρεώσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή κ.λπ.
- Οι όροι και οι προϋποθέσεις ισχύος των εγγυήσεων του εγκατεστημένου εξοπλισμού.
- Επιπλέον απαιτήσεις ελέγχου, παρακολούθησης και συντήρησης, οι οποίες μπορεί να απορρέουν από τυχόν ιδιαιτερότητα της θέσης του έργου.
- Την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος.

Η περιοδικότητα των προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης εξαρτάται από την πολυπλοκότητά της Φ/Β μονάδας (π.χ. χρήση ιχνηλατών/ tracker παρακολούθησης του ήλιου), τη σημαντικότητα της (π.χ. Φ/Β αυτόνομης λειτουργίας) και το μέγεθος της. Σε μικρές Φ/Β μονάδες συνηθίζεται κατά την προληπτική συντήρηση, να πραγματοποιούνται δύο με τέσσερις επισκέψεις ετησίως πλέον των απαιτούμενων επισκέψεων για τη διαχείριση της βλάστησης (για εγκατάσταση επί εδάφους) και τον καθαρισμό των Φ/Β πλαισίων. Οι διεργασίες ελέγχου διαχωρίζονται σε τρείς κατηγορίες ως εξής:

- Περιοδική διεργασία ελέγχου, ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης, τις οδηγίες των κατασκευαστών και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (π.χ. συχνές βροχές).
- Συστηματική διεργασία κατά την οποία εφαρμόζεται έλεγχος συστηματικά/ καθημερινά και καταγραφή στοιχείων λειτουργίας (π.χ. η παραγωγή Φ/Β συστήματος), μέσω συστήματος τηλεμετρίας ή άλλο σύστημα.
- Έκτακτη διεργασία ελέγχου, η οποία πραγματοποιείται κατά περίπτωση, συνήθως κατόπιν ισχυρής ένδειξης (π.χ. έλεγχος για παρουσία PID φαινομένου μετά από θερμογράφιση των Φ/Β πλαισίων η οποία παρουσίασε σχετικές ενδείξεις).

Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 4.6.1) παρουσιάζεται ενδεικτικά το σύνολο των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο πλαίσιο της Λειτουργίας και Συντήρησης μιας Φ/Β εγκατάστασης, με το σύμβολο (Χ) ανάλογα με τον τύπο διεργασίας ελέγχου που εφαρμόζεται.

Οι προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης της Φ/Β εγκατάστασης πραγματοποιούνται συνήθως σε χρονικές περιόδους με χαμηλή ηλιοφάνεια, για περιορισμό της απώλειας παραγωγής ενέργειας, εκτός αυτών που απαιτείται ο έλεγχος των Φ/Β σε λειτουργία.

Στο πλαίσιο της ορθής λειτουργίας και συντήρησης μιας Φ/Β μονάδας, απαιτείται ο ενεργειακός έλεγχος της εγκατάστασης καθώς και η συνεχής προσπάθεια βελτίωσης της. Είναι λοιπόν σκόπιμο, να υπάρχουν δεδομένα των αρχικών μετρήσεων λειτουργίας, ώστε να αποτελέσουν σημείο αναφοράς για τον περαιτέρω έλεγχος ορθής και αποδοτικής λειτουργίας της μονάδας.

Επίσης, θα πρέπει να αρχειοθετούνται τα ιστορικά δεδομένα που καταγράφονται από τον έλεγχο λειτουργίας της Φ/Β εγκατάστασης, και μέσω της ενδελεχούς ανάλυσής τους, να βελτιώνονται τα κρίσιμα μεγέθη της, όπως το ποσοστό ενεργειακού υποβιβασμού (degradation) της Φ/Β εγκατάστασης, ο βαθμός απόδοσης και η διαθεσιμότητά της.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 4.6.1: Παρουσίαση διεργασιών προληπτικής συντήρησης.

Α/Α	Περιγραφή Διεργασίας	Περιοδικός έλεγχος	Συστηματικός έλεγχος	Έκτακτος έλεγχος
	Α. Φ/Β Πλαίσια και Στοιχειοσειρές			
1	Επιθεώρηση για παρουσία ρωγμών, αποχρωματισμού και καμένων σημείων καθώς και μικρό-ρωγμών ή "snail trails".	X		X
2	Επιθεώρηση για συσσώρευση σωματιδίων σκόνης και λοιπών επικαθίσεων, περιττωμάτων πουλιών, παρουσία ζωυφίων κ.λπ. Διαχείριση βλάστησης / κοπή χόρτων και καθαρισμός των Φ/Β.	X	X	
3	Θερμική απεικόνιση του κυτίου συνδέσεων και των Φ/Β στοιχείων για εντοπισμό μερικής ή ολικής δυσλειτουργίας.	X		
4	Οπτικός έλεγχος και θερμική απεικόνιση των ακροδεκτών των Φ/Β πλαισίων για εμφανή βλάβη και έλεγχος προς τη σύσφιξη και στεγανότητα τους, καθώς και εντοπισμό ραγισμένων, φθαρμένων ή ανεπαρκών συνδέσεων.	X		
5	Έλεγχος ενεργειακής απόδοσης σε επίπεδο στοιχειοσειράς και ενδεχόμενης σκίασης από εμπόδια στον περιβάλλοντα χώρο.		X	
6	Περιοδικός έλεγχος αντίστασης μόνωσης.	X		
7	Έλεγχος καλωδίωσης και ορθής λειτουργίας της Φ/Β στοιχειοσειράς μέσω μέτρησης της Τάσης ανοικτοκυκλώσεως , του ρεύματος βραχυκυκλώσεως και της καμπύλης I-V. Σύγκριση με αρχικές μετρήσεις κατά τη «θέση σε λειτουργία του Φ/Β».	X		
	Β. Μετατροπέας			
1	Έλεγχος των οπτικών ενδείξεων της οθόνης και των ενδεικτικών λυχνιών των μετατροπέων (εφόσον παρέχεται η δυνατότητα). Οπτικός έλεγχος τερματισμών καλωδίων.	X		
2	Εξωτερικός οπτικός έλεγχος μετατροπέα όπως: περίβλημα, συνδέσεις, εισροή νερού, σκόνης, ζωυφίων, σημάδια καμένου στα ηλεκτρονικά συστήματα.	X		
3	Περιοδική συντήρηση σύμφωνα με τον κατασκευαστή (π.χ. καθαρισμός φίλτρων).	X		
	Γ. Ερμάρια, Πίνακες Παραλληλισμού			
1	Έλεγχος προσβασιμότητας στα **ερμάρια** - ηλεκτρικές συνδέσεις πινάκων (προστασία από άμεση επαφή), γείωση, διάβρωση περιβλήματος . Έλεγχος για σημάδια διάβρωσης του περιβλήματος.	X		
2	Οπτικός έλεγχος τερματισμών καλωδίων **πινάκων παραλληλισμού** (σήμανση ροπών σύσφιξης), για τυχόν εισροή νερού, για σημάδια καμένου. Οπτικός έλεγχος για σημάδια καμένου στα ηλεκτρονικά συστήματα, στα σημεία συνδέσεων καλωδίων και ασφαλειοθηκών. Θερμική απεικόνιση των σημείων σύνδεσης για έλεγχο υπερθέρμανσης. Επανασύσφιξη όλων των τερματικών συνδέσεων σύμφωνα με τις προτεινόμενες ροπές σύσφιξης. Έλεγχος για διάβρωση ή φθορά του περιβλήματος, των συνδέσεων γείωσης, των μεντεσέδων και των μηχανισμών ασφάλισης. Έλεγχος λειτουργίας σύνδεσης - αποσύνδεσης διακόπτη, λίπανση κ.λπ.	X		
3	Αντικατάσταση ασφαλειών πίνακα παραλληλισμού (εάν απαιτείται).			X
	Δ. Καλωδίωση και Βοηθητικά Συστήματα. Σύστημα Γείωσης			
1	Έλεγχος **καλωδίωσης** πλαισίου/ στοιχειοσειράς προς επιβεβαίωση μη επαφής των καλωδίων με αιχμηρές επιφάνειες. Έλεγχος για τυχόν αστοχία δεματικών, η οποία επηρεάζει την στήριξη των αγωγών. Οπτικός έλεγχος καλωδίωσης των στοιχειοσειρών για σημάδια φθοράς και αντίστασης μόνωσης.	X		
2	Οπτικός έλεγχος για τυχόν φθορά των σωληνώσεων, σχαρών, στυπιοθληπτών, τερματικών, συνδέσμων κ.λπ. Οπτικός έλεγχος εντός των σχαρών καλωδίων για τυχόν ύπαρξη φθορών, καθαρισμός και σφράγισμα κατά τρωκτικών.	X		

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 4.6.1: Παρουσίαση διεργασιών προληπτικής συντήρησης.(συνέχεια)

Α/Α	Περιγραφή Διεργασίας	Περιοδικός έλεγχος	Συστηματικός έλεγχος	Έκτακτος έλεγχος
	Δ. Καλωδίωση και Βοηθητικά Συστήματα. Σύστημα Γείωσης			
3	Έλεγχος συνδέσεων **γείωσης** σε περιβλήματα, κατασκευές, πλαίσια, συστήματα καλωδίωσης κ.λπ. Σύσφιξη συνδέσεων ή αντικατάσταση φθαρμένων τμημάτων Έλεγχος συνέχειας συστήματος γείωσης. Μέτρηση συστήματος γείωσης.	X		
	Ε. Εγκατάσταση Χώρου Εγκατάστασης Φ/Β (Δώμα, Στέγη κτλ)			
1	Έλεγχος / καθαρισμός δικτύου απορροής όμβριων υδάτων.	X		
2	Διαχείριση βλάστησης περιμετρικά των πλαισίων (αν υπάρχει).	X	X	
3	Έλεγχος / αποκατάσταση στεγάνωσης.			X
4	Έλεγχος για ενδεχόμενη σκίαση των Φ/Β πλαισίων από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Αντιμετώπιση.	X		
	Στ. Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας - Συσσωρευτές			
1	Έλεγχος/ συμπλήρωση απιονισμένου νερού στα στοιχεία των συσσωρευτών (σύμφωνα με τις οδηγίες κατασκευαστή) - εφόσον απαιτείται από τον τύπο του συσσωρευτή.	X		
2	Έλεγχος εξαερισμού χώρου συσσωρευτών και συστήματος ελέγχου θερμοκρασίας του χώρου.	X		
3	Έλεγχος ορθής χρήσης και φόρτισης συσσωρευτών.	X		
	Ζ. Τηλεμετρία & Αισθητήρες			
1	Έλεγχος λειτουργίας αισθητήρων, καθαριότητα, ορθή τοποθέτηση	X	X	
2	Περιοδική συντήρηση συστήματος τηλεμετρίας και βαθμονόμησης σύμφωνα με τον κατασκευαστή.	X		

4.6.3. Επεμβατική συντήρηση Φ/Β συστημάτων

Η επεμβατική συντήρηση ενός Φ/Β συστήματος πραγματοποιείται σε συνέχεια του εντοπισμού βλάβης ή δυσλειτουργίας μέρους ή συνόλου του εξοπλισμού του Φ/Β συστήματος. Συνήθως η βλάβη εντοπίζεται από το κέντρο ελέγχου λειτουργίας και παρακολούθησης του Φ/Β σταθμού, το οποίο συνήθως είναι διασυνδεδεμένο και με σύστημα τηλεμετρίας. Η διαδικασία διάγνωσης και ο χρόνος αποκατάστασης της βλάβης εξαρτάται από την πολυπλοκότητά του Φ/Β συστήματος, καθώς και τη διαθεσιμότητα ανταλλακτικών (εφόσον απαιτούνται).

4.7. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. J.A. Duffie, W.A. Beckman et al. « Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind ». 5nd Edition, John Wiley & Sons, 2020.
2. Ευθύμιος Η. Βαζαίος, «Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας»'. Δ' έκδοση, Αθήνα, 1990.
3. Κ. Α. Μπαλαράς, Α. Α. Αργυρίου, Φ. Καραγιάννης, Συμβατικές & Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Εκδόσεις Σέλκα-4Μ Τεκδοτική, σελ. 479, (ISBN 960-8257-23-9), Αθήνα, 2006.
4. Βόκας Γεώργιος. Κεφ. 6: «Αυτοδύναμα Φωτοβολταϊκά Συστήματα». Βιβλίο της σειράς εκπαιδευτικών βοηθημάτων, Εκπαίδευσης από Απόσταση, Πρόγραμμα Εξειδίκευσης «Αποθήκευση και Εξοικονόμηση Ενέργειας» του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, 1999.
5. Αθηνά Γαγλία, Διδακτορική Διατριβή: « Μοντελοποίηση της Απόδοσης των Κρυσταλλικών Φωτοβολταϊκών στις Κλιματικές Συνθήκες της Ελλάδας. Περίπτωση Εφαρμογής σε Κτίρια». Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα, 2019.
6. Μιχάλης Γ. Βραχόπουλος, Αθηνά Γ. Γαγλία, Κοσμάς Α. Καββαδίας, Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κωνσταντίνος Α. Μπαλαράς. Θεματική Ενότητα ΔΕ4: «Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας». Εκπαιδευτικό υλικό για την κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών Κτιρίων, Τ.Ε.Ε. Αθήνα, 2011.
7. IEC 61215:2005, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval, International Electrotechnical Commission, 2nd edition, 2005.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

8. National Renewable Energy Laboratory. www.nrel.gov.
9. Spectrolab Inc, A Boeing Company, http://www.spectrolab.com/index.htm
10. King RR, Bhusari D, Larrabee D, Liu X-Q, Rehder E, Edmondson K, Cotal H, Jones RK, Ermer JH, Fetzer CM, Law DC, Karam NH. Solar Cell Generations Over 40% Efficiency. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 20; 801-815, 2012.
11. IEC Central Office. Technical Report IEC-60904-3:2019; Photovoltaic Devices: Part 3. Measurement Principles for Terrestrial Photovoltaic (PV) Solar Devices with Reference Spectral Irradiance Data; International Electrotechnical Commission.
12. - IEC 61215:2021 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval; International Electrotechnical Commission.
13. Photovoltaic systems concept study. Rep. AL0-2748-12. Spectrolab, Inc., Sylmar, CA 1977.
14. Evans DL, Florschuetz LW. Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration. Solar Energy, 19: 255-262, 1977.
15. Evans D. L. Simplified Method for Predicting Photovoltaic Array Output. Solar Energy, 27(6): 555-560, 1981.
16. Siegel M.D, Kleins S.A., Beckman W.A. A Simplified Method for Estimating the Monthly -Average Performance of Photovoltaic Systems. Solar Energy, 26: 413-418, 1981.
17. Evans DL. Florschuetz LW. Terrestrial concentrating photovoltaic power system studies. Solar Energy, 20: 37-43, 1978.
18. Garg HP, Agarwal RK. Some aspects of a PV/T collector/forced circulation flat plate solar water heater with solar cells. Energy Conversion and Management 36: 87-99, 1955.
19. RETScreen International, Photovoltaic Project Analysis. PV.22, 2001.
20. Skoplaki E, Palyvos JA. On the temperature dependence of Photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. Solar Energy, 83: 614-624, 2009.
21. Nishioka, K., Hatayama, T., Uraoka, Y., Fuyuki, T., Hagihara, R., Watanabe, M. Field-test analysis of PV system output characteristics focusing on module temperature. Solar Energy Materials and Solar Cells, 75:665-671, 2003.
22. Durisch W, Bitnar B, Mayor J, Kiess H, Lam K, Close J. Efficiency model for photovoltaic modules and demonstration of its application to energy yield estimation. J Solar Energy Materials and Solar Cells, 91:79-84, 2007.
23. M.A. Green. Solar-Cells-Operating Principles, Technology and System Applications, Prentice-Hall, USA, 1982.
24. Masaya Itoh, Hideki Takahashi, Takeshi Fujii, Hideyuki Takakura, Yoshihiro Hamakawa, Yasuhiro Matsumoto. Evaluation of electric energy performance by democratic module PV system field test. Solar Energy Materials & Solar Cells, 67: 435-440, 2001.
25. Yamawaki, T., Mizukami, S., Masui, T., Takahashi, H. Experimental Investigation on generated power of amorphous PV module for roof azimuth. Solar Energy Materials and Solar Cells, 67: 369-377, 2001.
26. Zondag HA, de Vries DWde, van Helden WGJ, van Zolengen RJC, Steenhoven AA van. The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector. Solar Energy, 72(2):113-28. 2002.
27. Garg, H.P., Agarwal, R.K., Joshi, J.C. Experimental study on a hybrid photovoltaic-thermal solar water heater and its performance predictions. Energy Conversion and Management, 35(7):621-633, 1994.
28. Tonui, J.K., Tripanagnostopoulos, Y. Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. Renewable Energy 32: 623-637, 2007.
29. Ross RG. Interface Design Considerations for Terrestrial Solar Cell Modules. In: Proceedings of the 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Baton Rouge, LA, 15-18: 801-806, November 1976.
30. Ross R.G, Smokler M.I. Flat-plate solar array project final report - Vol. VI: Engineering Sciences and reliability, in: Report DOE/JPL-1012-125, 1986.
31. Buresch M. Photovoltaic energy systems. New York: McGraw-Hill; p. 76, 1983.
32. Nordmann T, Clavadetscher L. Understanding temperature effects on PV system performance. In: Proceedings of the third world conference on photovoltaic energy conversion, Osaka, Japan, poster. p. 2243-2246, May 11-18; 2003.
33. Klein, S. A. “Calculation of Monthly Average Insolation on Titled Surfaces“. Solar Energy, 19: 325, 1977

ΤΕΙΚΟ ΣΥΕΔΙΟ

34. Risser VV, Fuentes MK. Linear regression analysis of flat-plate photovoltaic system performance data. In: Proceedings of the fifth E.C. photovoltaic solar energy conference, Athens, Greece, October 17-21; 623-627, 1983.
35. Sjerps-Koomen EA, Alsema EA, Turkemburg WC. «A Simple Model for PV Module Reflection Losses under Field Conditions». Solar Energy, 57: 421-432, 1996.
36. Fanney AH, Dougherty BP, Davis MW, «Evaluating Building Integrated Photovoltaic Performance Models», in Proceeding of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, LA (May 20-2, 2002).
37. Gaglia A.G., Lykoudis S., Argiriou A.A, Balaras C.A., Dialynas E., "Energy efficiency of PV panels under real outdoor conditions. An experimental assessment in Athens, Greece". Renewable Energy, 101, 236-243. (2017).
38. King, DL, Boyson WE, Kratochvil JE. "Photovoltaic Array Performance Model". Sandia National Laboratories Report SAND, 2004-3535, Aug. 2004
39. Hendrie, S.D. Evaluation of combined photovoltaic/thermal collectors. In: Proceedings of ISES Solar World Congress, pp. 1865-1869, 28 May 28- 1June 1979, Atlanta, GA.
40. Chow, T.T., He, W., Ji, J. Hybrid Photovoltaic-Thermosyphon Water Heating System for Residential Application. Solar Energy 80: 298-306, 2006.
41. G. Rockendorf, R. Sillmann, L. Podlowski, B. Litzenburger, PV-hybrid and Thermoelectric collectors, Solar Energy 67 (4-6): 227-237, 1999.
42. Rosell, J.I., Ibanez, M. Modelling Power Output in Photovoltaic Modules for Outdoor Operating Conditions. Energy Conversion and Management, 47: 2424-2430, 2006.
43. Zondag H.A. Flat-plate PV-thermal collectors and systems - a review. Renew. Sustain. Energy Rev. 2007. doi:10.1016/j.rser.2005.12.012.
44. Luis Fernando Mulcue-Nieto, Llanos Mora-Lopez. A new model to predict the energy generated by a photovoltaic system connected to the grid in low latitude countries. Solar Energy 107:423-442, 2014.
45. N. Aste, C. Del Pero, F. Leonforte, M. Manfren, A simplified model for the estimation of energy production of PV systems, Energy 59: 503-512, 2013.
46. M. Almaktar, H. Abdul Rahman, M.Y. Hassan, I. Saeh, Artificial neural networkbased photovoltaic module temperature estimation for tropical climate of Malaysia and its impact on photovoltaic system energy yield, Prog. Photovoltaics Res. Appl. 23 (3): 302-318, 2015.
47. Α. Γαγλία, Α. Αργυρίου, Σ. Λυκούδης, Κ.Α. Μπαλαράς, «Απόδοση Πειραματικής Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης - Βέλτιστης Κλίση Φωτοβολταϊκών και Ωφέλιμη Ηλιακή Ενέργεια στις Ελληνικές Περιοχές». 8° Συνέδριο για τις Α.Π.Ε. , Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαρτίου 2006.
48. Wohlgemuth JH, Cunningham DW, Nguyen M, Miller J. Long term reliability of PV modules. 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference: 1942-1946, 2005.
49. Vazquez M, Rey-Stolle I. Photovoltaic Module Reliability Model Based on Field Degradation Studies. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 16: 419-433, 2008.
50. Jordan DC, Kurtz SR. "Photovoltaic Degradation Rates - an Analytical Review. Progress in Photovoltaics". Research and Applications, 21; 12-29, 2013
51. Truncellito, N.T., Sattolo, A.J. An analytical method to simulate solar energy collection and storage utilizing a flat plate photovoltaic panel. General Electric Advanced Energy Department, 1979.
52. Häberlin H, Renken C. Grid Connected PV Plant Jungfraujoch (3454 m) in the Swiss Alps: Results of more than four Years of trouble-free Operation. Proceedings of the 2nd World Conference on PV Solar Energy Conversion, 1-4. Vienna, Austria, 1998;.
53. Poissant Y, Thevenard D, Turcotte D. Performance monitoring of the Nunavut Arctic College PV systems: 9 years of reliable electricity generation, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Report CETC Number 2004-114, August 2004.
54. Bogdanski N, Herrmann W, Reil F, Köhl M, Weiss KA, Heck M. PV reliability (cluster II): results of a German four-year joint project—part II, results of three years module weathering in four different climates. Proceedings of the 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, p. 4339-4343, 2010.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

55. A. Limmanee, S. Songtrai, N. Udomdachanut, S. Kaewniyompanit, Y. Sato, M. Nakaishi, S. Kittisontirak, K. Sriprapha, Y. Sakamoto. Degradation analysis of photovoltaic modules under tropical climatic conditions and its impacts on LCOE. Renewable Energy; 102: 199-204, 2017.
56. D.C. Jordan, J.H. Wohlgemuth, S.R. Kurtz, Technology and climate trends in PV Module degradation, in: Proc. 27th Eur. Photovoltaic Solar Energy Conf., Frankfurt, Germany, 3118-3124, 2012.
57. A. Ndiaye, C.M.F. Kebe, A. Charki, P.A. Ndiaye, V. Sambou, A. Kobi, Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment, Solar Energy, 103: 70-77, 2014.
58. Γαγλία Αθηνά «Εξοικονόμηση Ενέργειας στις Ελληνικές Κατοικίες – Εφαρμογή Α.Π.Ε. ». Μεταπτυχιακή Εργασία, Κεφάλαιο 6: Α.Π.Ε. . Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2004.
59. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών» Γ' Έκδοση 2014.
60. EN 15316-4-3:2017 : Energy performance of buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar and photovoltaic systems, Module M3-8-3, M8-8-3, MII-8-3.
61. IEC 62446-2:2020. Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems
62. IEC TS 62933-5-1:2017. Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-1: Safety considerations for grid-integrated EES systems - General specification

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

5. Συστήματα αβαθούς γεωθερμίας

5.1. Γενικά στοιχεία

Η γεωθερμική ενέργεια (Γ.Ε.) προέρχεται από τα γεωθερμικά πεδία. Ανάλογα με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία χαρακτηρίζεται σε υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Εκτός από τα γεωθερμικά πεδία, ως κανονική / αβαθής γεωθερμία ορίζεται αυτή του υπεδάφους, καθώς και των υπόγειων και θαλάσσιων υδάτων. Η αξιοποίηση γεωθερμικών πεδίων γίνεται κυρίως για την κάλυψη μεγάλων θερμικών φορτίων σε οικισμούς (π.χ. τηλεθέρμανση κτιρίων), στη γεωργία (εγκαταστάσεις θερμοκηπίων κ.λπ.), σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (μεγάλης ή μικρής ισχύος μονάδες ατμοστροβίλων) κ.λπ. Αντίστοιχα, η αξιοποίηση της γεωθερμίας του εδάφους και των υπόγειων υδάτων γίνεται κυρίως για την κάλυψη θερμικών ή/και ψυκτικών φορτίων σε κτίρια μέσω της χρήσης αντλιών θερμότητας, τεχνολογία που έχει επικρατήσει τα τελευταία χρόνια και στην Ελλάδα. [1,2,3]

Η παρούσα τεχνική οδηγία έχει ως αντικείμενο τον σχεδιασμό/διαστασιολόγηση συστημάτων κανονικής γεωθερμίας, τα οποία συνήθως εγκαθίστανται σε κτίρια για την κάλυψη των θερμικών ή/και ψυκτικών φορτίων. Δεν αναφέρεται στον σχεδιασμό συστημάτων εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου ή δυναμικού (χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας), καθώς αυτά δεν ανήκουν στο αντικείμενο της παρούσας οδηγίας.

5.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωθερμικών συστημάτων

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών συστημάτων σχετίζονται τόσο με τον τρόπο αξιοποίησης της γεωθερμίας, όσο και με τα γεωλογικά δεδομένα του χώρου εγκατάστασης.

5.2.1. Συστήματα κανονικής γεωθερμίας – Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Τα συνήθη συστήματα αξιοποίησης της κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας είναι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Γ.Α.Θ.) (Ground Source Heat Pump, GSHP). Οι Γ.Α.Θ. εκμεταλλεύονται, ως πηγή, τη θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών ή/και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, τα οποία δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, με σκοπό τη θέρμανση ή και την ψύξη χώρων ή/και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.). Οι Γ.Α.Θ. χρησιμοποιούν ψυκτικά μέσα, τα οποία είναι φιλικά προς το περιβάλλον και πιστοποιούνται για αυτή την ιδιότητα. Τα συστήματα Γ.Α.Θ. αποτελούνται από το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (εναλλάκτης εδάφους ή υδρογεώτρηση), τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το σύστημα θέρμανσης-ψύξης χαμηλής θερμοκρασίας εντός κτιρίου [1].

Οι βασικές κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι Γ.Α.Θ., όσο αφορά στην τεχνική λειτουργίας τους, είναι [1]:

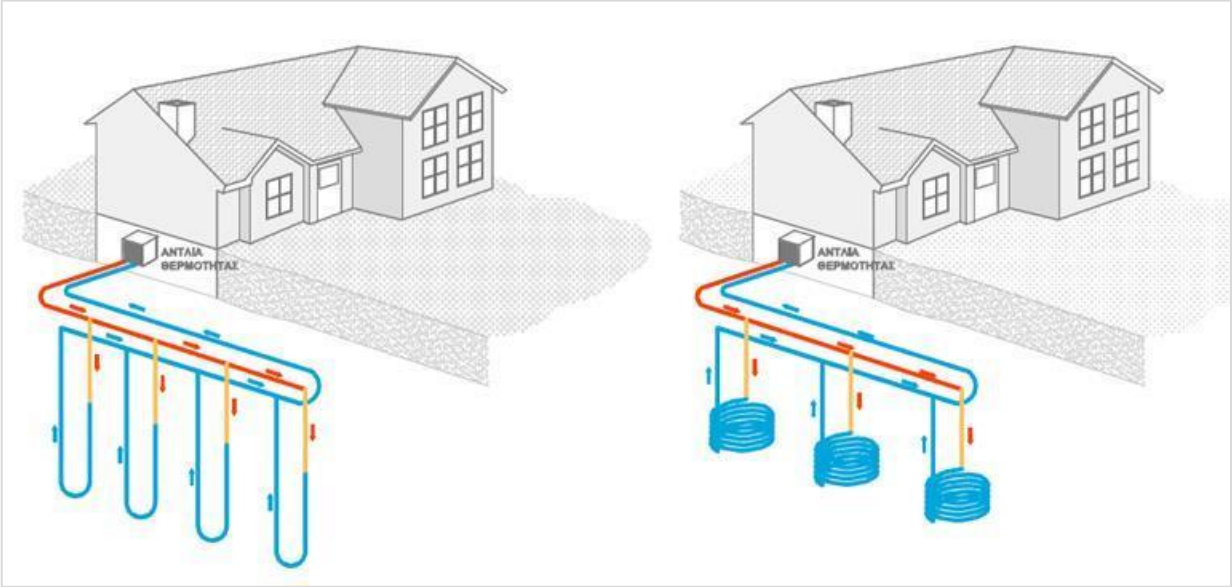
- συστήματα Γ.Α.Θ. κλειστού κυκλώματος (βρόχου),
- συστήματα Γ.Α.Θ. ανοικτού κυκλώματος (βρόχου),
- υβριδικά συστήματα Γ.Α.Θ. και
- συστήματα Γ.Α.Θ. συνδυαστικού κυκλώματος (βρόχου)

Τα συστήματα Γ.Α.Θ. κατηγοριοποιούνται επίσης, ως προς τη γεωμετρική διάταξη της πηγής απορρόφησης / εκτόνωσης θερμότητας, στις παρακάτω κατηγορίες:

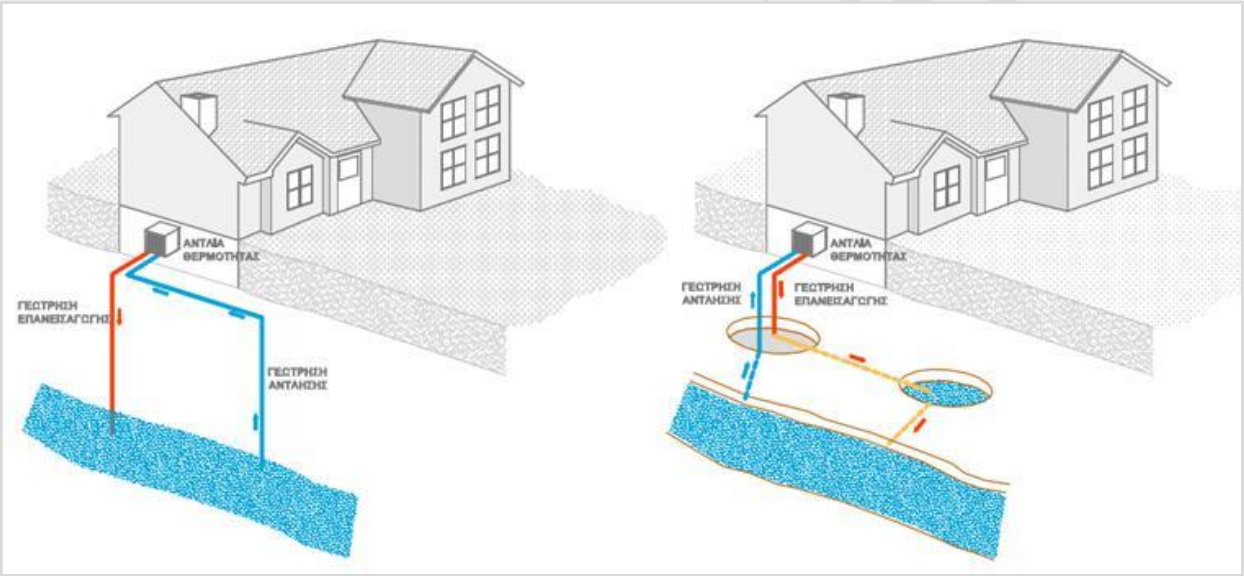
- κατακόρυφα (ομοαξονικά, μονού / διπλού υοειδούς σωλήνα (U - loop) κ.λπ.),
- οριζόντια,
- συνδυαστικά (κατακόρυφα και οριζόντια, σπειροειδή κατακόρυφα ή κεκλιμένα κ.λπ.),
- κατακόρυφα ανοικτά (γεωτρήσεις, πηγάδια κ.λπ.) και
- επιφανειακά (θάλασσες, λίμνες, ποτάμια κ.λπ.).

Η επιλογή τεχνολογίας Γ.Α.Θ. γίνεται βάσει του διαθέσιμου γεωθερμικού δυναμικού (κανονική / αβαθής γεωθερμία).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ



Σχήμα 5.2.1: Σύνδεση αντλιών θερμότητας με το έδαφος [4]



Σχήμα 5.2.2: Σύνδεση αντλιών θερμότητας με υπόγεια ύδατα μέσω ανοικτών κυκλωμάτων [4]

Όσον αφορά στην πιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης τέτοιων συστημάτων πρέπει να αναφερθεί ότι το 1998, η γερμανική οδηγία VDI 4640 [14-15] έδωσε την πρώτη ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την κατασκευή τους [1]. Σήμερα, στην Ευρώπη, οι χώρες που έχουν παράγει πιο εκτεταμένα πρότυπα και κατευθυντήριες γραμμές κυρίως για κατακόρυφους γεωεναλλάκτες είναι εκείνες των οποίων η αγορά είναι περισσότερο ανεπτυγμένη, δηλαδή η Αυστρία, η Γερμανία και η Ελβετία και πιο πρόσφατα, η Ιταλία, οι οποίες χρησιμοποιούν ως σημείο αναφοράς τις διαδικασίες υπολογισμού που προτείνει η ASHRAE [5].

Οι αντλίες θερμότητας που διατίθενται στην αγορά πρέπει να διαθέτουν σήμανση CE που αποδεικνύει ότι έχουν κατασκευασθεί με συγκεκριμένες διαδικασίες και τεχνικές προδιαγραφές, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες που πιστοποιούν την ασφάλεια του προϊόντος. Επίσης, οι αντλίες θερμότητας πρέπει να συνοδεύονται από την έκδοση πιστοποιητικού απόδοσης λειτουργίας (καθορισμός των συντελεστών COP και EER), σε συγκεκριμένες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος και θερμικού μέσου, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ορίζεται στην Eurovent και το πρότυπο EN 14511 [6, 7].

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού «Ecodesign» [8] των Ευρωπαϊκών Κανονισμών 813/2013, 814/2013 και 2281/2016, καθώς και τις απαιτήσεις Ενεργειακής Σήμανσης «Energy labelling» [9] των Ευρωπαϊκών Κανονισμών 811/2013 και

812/2013. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σύμφωνα με τους ορισμούς των Κανονισμών 813/2013 και 814/12013 κατατάσσονται στους «θερμαντήρες χώρου ή/και νερού και με αντλία θερμότητας» δηλαδή θερμαντήρες οι οποίοι για την παραγωγή θερμότητας αξιοποιούν τη θερμότητα του περιβάλλοντος από πηγή στον αέρα, το νερό ή το έδαφος και/ή απορριπτόμενη θερμότητα. Οι Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί 813/2013 και 814/12013 ισχύουν για θερμαντήρες με ονομαστική θερμική ισχύ ≤ 400kW, ενώ οι Κανονισμοί 811/2013 και 812/2013 για θερμαντήρες με ονομαστική θερμική ισχύ ≤ 70kW. Αντίστοιχα, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σύμφωνα με τους ορισμούς του Κανονισμού 2281/2016 κατατάσσονται στις «μονάδες παραγωγής ψύχους» ή στους «ψύκτες δροσισμού», με ψυκτική ισχύ έως και 2MW.

Από την 1η Ιανουαρίου 2019, οι προμηθευτές (κατασκευαστές, εισαγωγείς ή εξουσιοδοτημένοι αντιπρόσωποι) πρέπει να καταχωρήσουν τις συσκευές τους, οι οποίες απαιτούν μια ενεργειακή ετικέτα, στην Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων προϊόντων για την ενεργειακή επισήμανση EPREL (https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/product-database_en), προτού τις διαθέσουν στην Ευρωπαϊκή αγορά.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αξιοποίησης της γεωθερμίας, πέρα από άλλους περιορισμούς (χωροταξικούς, νομοθετικούς, κ.λπ.), πρέπει να λαμβάνει υπόψη και οικονομοτεχνικά κριτήρια. Η επιφανειακή γεωθερμία που αξιοποιείται μέσω χρήσης οριζόντιων γεωεναλλακτών, απαιτεί μεγαλύτερο μήκος γεωεναλλάκτη καθώς, η θερμοκρασία του εδάφους σε μικρό βάθος επηρεάζεται από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Το μεγαλύτερο μήκος εναλλάκτη αυξάνει τις τριβές και κατά συνέπεια απαιτείται περισσότερη κατανάλωση ενέργειας για την κυκλοφορία του νερού (ή του διαλύματος). Ωστόσο, ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης έχει μικρότερο κόστος εγκατάστασης και μικρή απαίτηση για αντοχή σε πίεση στους σωλήνες. Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος έχουμε μεγαλύτερη απόδοση στην αντλία θερμότητας (Α.Θ.) αλλά από ένα βάθος και πέρα, η άντληση νερού είναι ασύμφορη.

Η επιλογή του μήκους του γεωεναλλάκτη προκύπτει από τη μέγιστη απαίτηση σε θερμικά ή/και ψυκτικά φορτία όπως αυτή υπολογίζεται σε κάθε εφαρμογή. Όταν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο φορτίων, θα πρέπει να εξετάζεται η εναλλακτική λύση με χρήση του μικρότερου μήκους γεωεναλλάκτη και παράλληλα η υποβοήθηση, με άλλο σύστημα, για τη κάλυψη του περίσσιου απαιτούμενου φορτίου. Για παράδειγμα αν η ψύξη απαιτεί αρκετά μεγαλύτερο εναλλάκτη από τη θέρμανση, προτείνεται η κάλυψη των φορτίων θέρμανσης με γεωθερμία και το επιπλέον φορτίο για ψύξη να καλυφθεί με χρήση πύργου ψύξης, ή άλλο σύστημα.

Η επιλογή των σωλήνων του γεωεναλλάκτη, θέτει περιορισμό στο βάθος γεώτρησης (m) ανάλογα με την αντοχή των σωλήνων στην υδροστατική πίεση. Ο βέλτιστος αριθμός και το βάθος των γεωτρήσεων επιλέγεται με οικονομοτεχνικά κριτήρια. Οι πιο κοινοί τύποι σωλήνων γεωεναλλακτών είναι [1]:

- Πολυαιθυλενίου (PE-100, PE-Xa)
- Πολυπροπυλενίου (PP)
- Πολυβουτυλενίου (PB)

Από τους παραπάνω τύπους οι πιο συνηθισμένοι:

- PE-100. Έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες αλλά είναι ευαίσθητοι σε σημειακή φόρτιση και θα πρέπει να επικαλύπτονται με άμμο, ώστε να μην έρχονται σε επαφή με πέτρες που μπορούν να προκαλέσουν θραύση.
- PE-Xa. Κατασκευάζονται με τρόπο που να δημιουργείται χημική δικτύωση το οποίο τους καθιστά ανθεκτικούς σε σημειακή φόρτιση και επομένως δεν είναι απαραίτητη η επικάλυψη με άμμο.

Στους επόμενους πίνακες δίνεται η θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος του σωλήνα (λ) ανάλογα με τη σύσταση του υλικού κατασκευής του σωλήνα γεώτρησης (Πίνακας 5.2.1), και οι τιμές του αριθμού Reynolds για διάφορες διαμέτρους σωλήνα PE-100 (Πίνακας 5.2.2).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 5.2.1: Θερμική αγωγιμότητα υλικών σωληνώσεων [10]

Υλικό	Πυκνότητα [kg/m³]	λ [W/(m K)]	Υλικό	Πυκνότητα [kg/m³]	λ [W/(m K)]
Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας - HDPE-3xxx	940	0,43	Αλουμίνιο	2720	237
Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας - HDPE-4xxx	940	0,45	Ανθρακοχάλυβας	8960	52
Πολυπροπυλένιο - PPR	900	0,24	Χαλκός	7840	398
Πολυβινυλοχλωρίδιο - PVC	1400	0,14	Ανοξείδωτος χάλυβας (304)	8000	17
Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο - PEX	940	0,43			

Πίνακας 5.2.2: Αριθμός Reynolds για σωλήνα PE-100 για διάφορες διαμέτρους σωλήνων (mm) και παροχή (L/min) ρευστού [10]

Ρευστό	Θερμοκρασία °C	Αριθμός Reynolds για σωλήνα PE-100								
		10 L/min			20 L/min			30 L/min		
		25 mm	32 mm	40 mm	25 mm	32 mm	40 mm	25 mm	32 mm	40 mm
Νερό -	20	10030	7769	6293	20129	15657	12616	31342	25165	20080
20% προπυλενική γλυκόλη	0	2625	2011	1666	5315	4080	3238	8138	6570	5300
20% προπυλενική γλυκόλη	10	3750	2925	2314	7577	5844	4689	11767	9465	7543
20% προπυλενική γλυκόλη	30	7030	5484	4350	14022	10916	8820	21774	17482	13964
30% προπυλενική γλυκόλη	0	1500	1188	925	3053	2316	1898	4729	3786	3058
30% προπυλενική γλυκόλη	10	2343	1828	1481	4749	3639	2903	7258	5902	4689
30% προπυλενική γλυκόλη	30	4968	3839	3054	9951	7718	6252	15506	12471	9989
25% μεθυλική αλκοόλη	0	3093	2376	1944	6220	4852	3908	9678	7795	6218
25% μεθυλική αλκοόλη	10	4499	3565	2869	9160	7057	5694	14186	11358	9072
25% μεθυλική αλκοόλη	30	8343	6490	5183	16736	1301	10383	25953	20823	16614

Σημείωση:
Υπολογισμός παροχής νερού: L/min ≈ q (kW) ÷ [0,0692 (kW.min/ ˚C) x Δt (˚C) x αρ. παράλληλων σωλήνων τύπου-U

5.2.2. Χαρακτηριστικά γεωτρήσεων

Οι μέθοδοι διάνοιξης των γεωτρήσεων είναι:

- Πίπτοντος βάρους (Cable tool).
- Συμβατική περιστροφική γεώτρηση με γεωτρητικό ρευστό «λάσπη» (Mud Rotary).
- Περιστροφική γεώτρηση με γεωτρητικό ρευστό τον αέρα (Air Rotary Drilling). Αρκετές εφαρμογές διαθέτουν και αντλίες «λάσπης» για τις μη συμπαγής στρώσεις.
- Κρουστική γεώτρηση (Air Hammer Drilling).
- Περιστροφική γεώτρηση με γεωτρητικό ρευστό τον αέρα και κρουστική λειτουργία (Air Rotary Casing Driver Drilling).

Ανάλογα με το υπέδαφος και τους εδαφικούς σχηματισμούς και τα πετρώματα, που εκτιμάται ότι θα συναντήσει η γεώτρηση, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και η κατάλληλη μέθοδος γεώτρησης όπως παρατίθεται στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 5.2.3). Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 5.2.4) δίνονται τιμές της θερμικής αγωγιμότητας (λ) και της πυκνότητας των υλικών πλήρωσης (ενέματα) της γεώτρησης, ανάλογα με τη σύσταση τους.

ΤΕΑΙΚ ΘΗΒΑΣ

Πίνακας 5.2.3: Μέθοδοι γεωτρήσεων [10]

Εδαφικός Σχηματισμός	Μέθοδοι Γεωτρήσεων				
	(Cable Tool)	Mud Rotary	Air Rotary	Air Hammer	Air Rotary Casing Driver
Άμμος	Δύσκολο	Γρήγορο	Δ.Σ.	Δ.Σ.	Πολύ γρήγορο
Άμμος και Χαλίκι	Δύσκολο	Γρήγορο	Δ.Σ.	Δ.Σ.	Πολύ γρήγορο
Άργιλος	Αργό	Γρήγορο	Δ.Σ.	Δ.Σ.	Γρήγορο
Σχιστόλιθος, συμπαγής	Γρήγορο	Γρήγορο	Δ.Σ.	Δ.Σ.	Γρήγορο
Σχιστόλιθος, κολλώδης	Αργό	Γρήγορο	Δ.Σ.	Δ.Σ.	Γρήγορο
Σχιστόλιθος, εύθραυστος	Γρήγορο	Γρήγορο	Δ.Σ.	Δ.Σ.	Γρήγορο
Ψαμμίτης (poorly cemented)	Μέτριο	Μέτριο	Δ.Σ.	Δ.Σ.	Δ.Σ.
Ψαμμίτης (well cemented)	Μέτριο	Αργό	Γρήγορο	Δ.Σ.	Δ.Σ.
Ασβεστόλιθος	Γρήγορο	Γρήγορο	Γρήγορο	Πολύ γρήγορο	Δ.Σ.
Ασβεστόλιθος (ρηγματωμένος)	Γρήγορο	Αργό*	Γρήγορο	Πολύ γρήγορο	Δ.Σ.
Ασβεστόλιθος (καρστικός)	Γρήγορο	Αργό - Δύσκολο*	Δύσκολο	Πολύ γρήγορο	Δ.Σ.
Δολομίτης	Γρήγορο	Γρήγορο	Γρήγορο	Γρήγορο	Δ.Σ.
Στρώματα βασάλτη σε ιζηματογενή πετρώματα	Γρήγορο	Αργό	Γρήγορο	Πολύ γρήγορο	Δ.Σ.
Στρώματα βασάλτη, συμπαγή	Αργό	Αργό	Μέτριο	Γρήγορο	Δ.Σ.
Στρώματα βασάλτη, ρηγματωμένα	Αργό	Δύσκολο*	Αργό	Αργό	Δ.Σ.
Μάρμαρο, χαλαζίτης	Αργό	Αργό	Μέτριο	Γρήγορο	Δ.Σ.
Γρανίτης	Αργό	Αργό	Γρήγορο	Γρήγορο	Δ.Σ.

Σημειώσεις:
**Μπορεί να απαγορεύεται σε κάποιες περιοχές,*
Δ.Σ.: Δεν Συνιστάται

Πίνακας 5.2.4: Θερμική αγωγιμότητα και πυκνότητα υλικών πλήρωσης γεώτρησης (ενέματα) [10]

Σύσταση Μπετονίτη Νατρίου						
Μπετονίτης [kg]	Πυριτική άμμος, [kg]	Γραφίτης [kg]	Νερό [L]	Κάλυψη [L]	Πυκνότητα [kg/m³]	λ [W/(m K)]
23	0	0	125	36	1077	0,68
23	0	0	91	27	1113	0,73
23	0	0	53	17	1173	0,76
23	45	0	57	23	1436	1,2
23	91	0	68	32	1496	1,6
23	181	0	83	42	1807	2,2
23	0	4	61	18	1269	1,6
23	23	4	68	23	1340	1,6
23	0	7	61	19	1245	1,6
23	23	5	91	31	1197	1,6
23	0	7	68	21	1221	2,2
23	23	7	76	25	1352	2,2
23	0	9	57	18	1293	2,2
23	45	7	61	23	1556	2,2

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 5.2.4: Θερμική αγωγιμότητα και πυκνότητα υλικών πλήρωσης γεώτρησης (ενέματα) [10] συνέχεια.

Σύσταση Τσιμέντου						
Τσιμέντο [kg]	**Πυριτική άμμος, [kg]**	**Άλλα [kg]**	**Νερό [L]**	**Κάλυψη [L]**	**Πυκνότητα [kg/m³]**	**λ [W/(m K)]**
43	91	0	καθαρό τσιμέντο			
43	91	135-180	σκυρόδεμα			
43	91	0	23	21	2178	2,2
Επεξεργασμένο Τσιμέντο Υψηλής Απόδοσης για Εφαρμογές Γεωθερμίας						
Τσιμέντο [kg]	**Πυριτική άμμος, [kg]**	**Γραφίτης (kg)**	**Νερό [L]**	**Κάλυψη [L]**	**Πυκνότητα [kg/m³]**	**λ [W/(m K)]**
23	0	0	42	49	1305	0,8
23	0	4	42	49	1376	1,6
23	0	7	42	53	1340	2,3
Άμμος-Χαλίκι, Αδρανή, Θρυμματισμένος Ασβεστόλιθος, Κονιάματα						
Ξηρή Πυκνότητα [kg/m³]	**Υγρασία [%]**	**Γραφίτης (kg)**	**Νερό [L]**	**Κάλυψη [L]**	**Πυκνότητα [kg/m³]**	**λ [W/(m K)]**
23	0	0	42	49	1305	0,8
23	0	4	42	49	1376	1,6
23	0	7	42	53	1340	2,3

5.2.3. Γεωλογικά δεδομένα

Για την εγκατάσταση ενεργειακών γεωθερμικών συστημάτων θέρμανσης ή/και δροσισμού (ψύξη) ή/και κλιματισμού χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας και των θερμικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των φυσικών και θερμικών χαρακτηριστικών τους [1, 11]. Τα φυσικά και θερμικά χαρακτηριστικά των εδαφών και των πετρωμάτων που απαιτούνται για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας, όπως αναλύονται και στην ενότητα 2.4, είναι:

- η πραγματική πυκνότητα ή το ειδικό βάρος (για κάθε επιμέρους υλικό),
- η φαινομενική πυκνότητα ή το βάρος ανά μονάδα όγκου,
- το πορώδες του εδάφους,
- η υγρασία του εδάφους και την ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό,
- η ειδική θερμότητα (μέση ως συνισταμένη των τιμών των επιμέρους υλικών),
- η ειδική θερμική αγωγιμότητα (μέση ως συνισταμένη των τιμών των επιμέρους υλικών),
- η ειδική θερμική διάχυση (μέση ως συνισταμένη των τιμών των επιμέρους υλικών).

5.3. Διαστασιολόγηση γεωθερμικών συστημάτων

Ο σχεδιασμός, η ανάλυση και η διαστασιολόγηση εγκαταστάσεων κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας, δηλαδή των ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης μέσω της αξιοποίησης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, γίνεται μέσω των ακόλουθων σταδίων [1]:

1. προσδιορισμός σκοπού/χρήσης της γεωθερμικής εγκατάστασης,
2. αποτύπωση της περιοχής και του διαθέσιμου οικοπέδου του έργου,
3. εύρεση και ανάλυση γεωλογικών δεδομένων της περιοχής,
4. συμμόρφωση με τα κριτήρια σχεδιασμού και διερεύνηση των περιορισμών,
5. υπολογισμός μέγιστων και ελάχιστων ενεργειακών απαιτήσεων,
6. προσδιορισμός του τύπου της εγκατάστασης, των απαιτουμένων γεωτρήσεων και εκσκαφών, καθώς και των θέσεων τους,

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

7. προδιαγραφές των απαιτούμενων γεωτρήσεων και των γεωεναλλακτών,
8. προσδιορισμός του ηλεκτρικού και μηχανολογικού εξοπλισμού του συστήματος.

Τα πιο σημαντικά κριτήρια / παράμετροι σχεδιασμού είναι η υψηλή ενεργειακή απόδοση, η υψηλή αξιοπιστία και η οικονομοτεχνική βιωσιμότητα [1]. Τα συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται με τον πιο απλό τρόπο, καθώς αυτός βοηθά στην ελαχιστοποίηση των ενδεχόμενων σφαλμάτων σχεδιασμού και λειτουργίας. Επίσης, κατά τον σχεδιασμό πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι υπάρχει σημαντική απόκλιση στο χρόνο ζωής, μεταξύ των στοιχείων της εγκατάστασης στο υπέδαφος και των εγκαταστάσεων εντός κτιρίου. Η αντλία θερμότητας, οι αντλίες κυκλοφορίας και τα περισσότερα από τα τμήματα του συστήματος, αλλάζουν δύο με τρεις φορές κατά τη διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων στο υπέδαφος. Επομένως, οι γεωεναλλάκτες θα πρέπει να συνεχίζουν να λειτουργούν μετά από περίπου τρεις αντικαταστάσεις αντλιών θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λειτουργία της εγκατάστασης σε υψηλή απόδοση, δηλαδή με τη διατήρηση όσο το δυνατόν μικρότερης διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στην πηγή θερμότητας (έδαφος, νερό) και στο θερμικό φορτίο (θερμοκρασία Ζ.Ν.Χ., θερμοκρασία θέρμανσης ή ψύξης χώρων κ.λπ.), καθώς και με την ελαχιστοποίηση των πιθανών θερμικών απωλειών, πτώσης πίεσης κ.λπ.

Οι γερμανικοί κανονισμοί προσεγγίζουν το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων της κανονικής γεωθερμίας και την αντίστοιχη φόρτιση του υπεδάφους, ως προς την κάλυψη φορτίων της περιόδου θέρμανσης κτιρίων, ανάλογα με το εύρος της περιόδου, καθώς οι κλιματολογικές συνθήκες της χώρας τους παρουσιάζουν κυρίως ανάγκες θέρμανσης χώρων και παραγωγής Ζ.Ν.Χ. και όχι δροσισμού/ψύξης των χώρων. Η απαίτηση αυτή προϋποθέτει σωστό σχεδιασμό των εγκαταστάσεων κανονικής γεωθερμίας, καθώς η άντληση θερμότητας από το υπέδαφος οδηγεί σε υποβιβασμό της θερμοκρασίας του εδάφους (στη θέση του κατακόρυφου ή οριζόντιου γεωεναλλάκτη), με κίνδυνο τη στερεοποίηση του ρευστού (νερό ή διάλυμα) που εμπεριέχεται στον γεωεναλλάκτη και κατά συνέπεια επιπτώσεις στην συμπεριφορά του, αντοχή, διόγκωση, θερμική αγωγή και διάχυση. Στην γερμανική Τεχνική Οδηγία - VDI 4640-1 [14] καθορίζονται δύο περίοδοι χρονικής διάρκειας της εποχικής θέρμανσης, η ήπια περίοδος με 1800 ώρες λειτουργίας και η σχετικά βαριά περίοδος με 2400 ώρες λειτουργίας (Πίνακας 5.3.1).

Για να εφαρμοσθεί η παραπάνω μέθοδος για τους κατακορύφου τύπου γεωεναλλάκτες πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- Ισχύει μόνο για χρήση θέρμανσης συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής Ζ.Ν.Χ.
- Το μήκος μεμονωμένων κατακόρυφων γεωεναλλακτών δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 40m και δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100m.
- Η μικρότερη απόσταση μεταξύ των κατακόρυφων γεωεναλλακτών πρέπει να είναι τουλάχιστον 5m για βάθη έως 50m, και 6m για βάθη μεγαλύτερα από 50m.
- Χρήση σωλήνων διπλού – U ή ομοαξονικών σωλήνων.
- Δεν ισχύει για έναν μεγαλύτερο αριθμό μικρών μονάδων σε μία περιορισμένη περιοχή.

Στην περίπτωση υψηλού αριθμού ωρών ετήσιας λειτουργίας, εκτός από τις παραπάνω τιμές άντλησης, πρέπει να ληφθεί υπόψη το ειδικό ετήσιο έργο άντλησης, που προσδιορίζει τη μακροπρόθεσμη επίδραση, το οποίο δίνεται σε (kWh/m/yr) για κατακόρυφους γεωεναλλάκτες και πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 100 και 150 (kWh/m/yr) [14, 15]. Αυτό αφορά μόνο στην αποκλειστική λειτουργία θέρμανσης και μπορεί να αποκλίνει στην περίπτωση εισαγωγής θερμότητας κατά τη θερινή περίοδο (ψύξη, επαναφόρτιση).

ΤΕΙΚΟ ΣΥΕΑΙΟ

Πίνακας 5.3.1: Τυπικές τιμές της ειδικής θερμότητας άντλησης για κατακόρυφου τύπου γεωθερμικούς εναλλάκτες [15]

Υπέδαφος	Ειδική θερμότητα άντλησης [W/m]	
	για 1800 ώρες λειτουργίας	για 2400 ώρες λειτουργίας
Γενικές ενδεικτικές τιμές		
Φτωχό υπέδαφος (ξηρό ίζημα), λ<1,5 W/(m·K)	25	20
Κανονικό, βραχώδες υπέδαφος και κορεσμένο με νερό ίζημα, λ< 1,5 -3,0 W/(m K)	60	50
Πέτρωμα με προσμίξεις με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, λ>3,0 W/(m K)	84	70
Μεμονωμένα πετρώματα		
Χαλίκι, άμμος, ξηρό	< 25	< 20
Χαλίκι, άμμος, κορεσμένο με νερό	65-80	55-65
Για ισχυρή ροή υπόγειων νερών σε χαλίκι και άμμο, για μεμονωμένα συστήματα	80-100	80-100
Άργιλος, πηλώδες, υγρασία	35-50	30-40
Ασβεστόλιθος	55-70	45-60
Ψαμμίτης (Αμμόλιθος)	65-80	55-65
Πυριτικά μαγματικά magmatite (π.χ. γρανίτης)	65-85	55-70
Βασικά μαγματικά (π.χ. βασάλτης)	40-65	35-55
Γνεύσιος	70-85	60-70
***Σημείωση**:* *Οι τιμές μπορούν να διαφέρουν σημαντικά εξαιτίας του ιστού του πετρώματος, όπως σχίσματα, σχηματισμό φυλλώματος, αποσάθρωση κ.λπ.*		

Σε απλές εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, οριζόντιου τύπου γεωεναλλακτών, για καθαρά λειτουργία θέρμανσης, π.χ. κατοικίες με χρόνο ετήσιας λειτουργίας από 1800 έως 2400 ώρες, η διαστασιολόγηση ενός οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη μπορεί να γίνει με χρήση των τιμών ειδικής θερμότητας άντλησης (W/m), κατά VDI 4640-2 [15].

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.3.2) δίνονται ενδεικτικές τιμές της ειδικής θερμότητας άντλησης για οριζόντιους γεωθερμικούς εναλλάκτες και μπορεί να εφαρμοσθεί για τις ακόλουθες συνθήκες:

- Μόνο άντληση θερμότητας για θέρμανση συμπεριλαμβανομένου του Ζ.Ν.Χ..
- Με παραγωγή Ζ.Ν.Χ. από την αντλία θερμότητας πρέπει να ληφθούν υπόψη οι συνεπακόλουθες αυξημένες ώρες πλήρους φορτίου.

Για μεγαλύτερη ετήσια λειτουργία, εκτός από τις τιμές άντλησης του σχετικού πίνακα (Πίνακας 5.3.2), πρέπει να ληφθεί υπόψη το ειδικό ετήσιο έργο άντλησης, που προσδιορίζει τη μακροπρόθεσμη επίδραση. Το ειδικό ετήσιο έργο για οριζόντιου τύπου γεωθερμικούς εναλλάκτες κυμαίνεται μεταξύ 50 και 70 (kWh/m²/έτος) και αφορά σε λειτουργία θέρμανσης. Οι τιμές μπορεί να είναι διαφορετικές αν λαμβάνει χώρα εισαγωγή θερμότητας κατά τη διάρκεια του θέρους (ψύξη, επαναφόρτιση).

Πίνακας 5.3.2: Τυπικές τιμές της ειδικής θερμότητας άντλησης για οριζοντίου τύπου γεωθερμικούς εναλλάκτες [15]

Υπέδαφος	Ειδική θερμότητα άντλησης (W/m)	
	για 1800 ώρες λειτουργίας	για 2400 ώρες λειτουργίας
Ξηρό, μη-συνεκτικό έδαφος	10 W/m	8 W/m
Συνεκτικό έδαφος	20-30 W/m	18-24 W/m
Κορεσμένη με νερό άμμος/χαλίκι	40 W/m	32 W/m

Η ως άνω προσεγγιστική μέθοδος και ο Οδηγία δεν είναι επαρκής για τις ελληνικές περιοχές, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενδεικτικά. Στις ελληνικές περιοχές η περίοδος θέρμανσης είναι σχετικά μικρότερη,

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

καθώς ακόμα και στις πιο ψυχρές περιοχές της Ελλάδας η μέση περίοδος θέρμανσης δεν υπερβαίνει τις 1500 ώρες. Παράλληλα στις ελληνικές περιοχές υπάρχει και ανάγκη κάλυψης φορτίων δροσισμού (ψύξης) χώρων κατά τη θερινή περίοδο, έστω και μικρή, που ακόμα και στην πιο ψυχρή ελληνική περιοχή ανέρχεται περίπου σε 100 ώρες ετήσιας. Η περιοχή των Αθηνών, με τις σημερινές κλιματολογικές συνθήκες παρουσιάζει περίπου ισοδυναμία μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3) ενώ σε νοτιότερες περιοχές υπερέχει η λειτουργία δροσισμού/ψύξης κατά τη θερινή περίοδο.

Η ιδιαιτερότητα της ελληνικής επικράτειας ως προς την ανάγκη θέρμανσης και ψύξης χώρων σε ετήσια βάση, με εναλλαγή της περιόδου, βελτιώνει σημαντικά και την απόδοση του συστήματος αλλά και την απόδοση των γεωεναλλακτών εποχικά και ετήσια. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός των συστημάτων γεωθερμίας είναι πολυπλοκότερος μεν, αλλά ακριβέστερος δε και οδηγεί σε μικρότερες εγκαταστάσεις. Στην Ελλάδα υπάρχουν περιορισμένες καταγραφές και ακόμα δεν έχει αναπτυχθεί ένας αξιόπιστος χάρτης με αποτέλεσμα να είναι χρησιμότερη η εφαρμογή μετρήσεων μέσω των μεθόδων της θερμικής απόκρισης ή απόκρισης ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Αντίστοιχα, τα ανοικτά γεωθερμικά συστήματα διέπονται από νόμους και κανονισμούς που σχετίζονται με τη διαχείριση υδάτων κάθε περιοχής και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την υλοποίηση έργων κανονικής γεωθερμίας με ανοικτό κύκλωμα.

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζεται η διαδικασία διαστασιολόγησης των κλειστών κατακόρυφων και οριζόντιων γεωθερμικών εγκαταστάσεων καθώς και των συστημάτων ανοικτού κυκλώματος.

5.3.1. Κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος

Για τη διαστασιολόγηση των κατακόρυφων γεωεναλλακτών σε δεδομένο φορτίο θέρμανσης ή/και ψύξης, είναι διαθέσιμες διάφορες μέθοδοι, τόσο για μικρότερα όσο και για μεγαλύτερα έργα γεωθερμίας [1]. Για μικρότερα συστήματα, όπως σε κατοικίες, ο προκαταρκτικός σχεδιασμός μπορεί να γίνει με χρήση πινάκων ή νομογραφημάτων. Όμως για να γίνει ακριβής σχεδιασμός απαιτούνται σε όλες τις περιπτώσεις αναλυτικοί υπολογισμοί ή ακόμη και αριθμητική προσομοίωση. Ειδικά ο προσδιορισμός της θερμικής ροής του εδάφους είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο στον χώρο και στον χρόνο, καθώς συνίσταται από διάφορους εδαφικούς σχηματισμούς (τα πρώτα μέτρα κοντά στην επιφάνεια) και από πετρώματα. Για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς ενός τόσο πολύπλοκου σχηματισμού που συνίσταται από αμφισβητούμενης αναλογίας υλικά, η πραγματική μέση συμπεριφορά επηρεάζεται από πολλές φυσικές και θερμικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.4.

5.3.1.1. Μικρά συστήματα θέρμανσης

Σε μικρά συστήματα που χρησιμοποιούνται μόνο για θέρμανση χώρων, ο σχεδιασμός μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τις τιμές ειδικής θερμότητας άντλησης (σε W/m) που δίνονται στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 5.3.1). Στην περίπτωση αυτή, ο υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους γεώτρησης L_{BHE} [m] προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση [1]:

$$L_{BHE} = \frac{P_{ground}}{N \cdot P_{BHE}} \qquad (εξ. 5.3.1)$$

όπου:

P_{ground}, η θερμότητα που απαιτείται να αντληθεί από το έδαφος σε (W),

N, το πλήθος των κατακόρυφων γεωεναλλακτών,

P_{BHE}, η ειδική θερμότητα άντλησης σε (W/m) [*Πίνακας 5.3.1*]

Η θερμότητα που απαιτείται να αντληθεί από το έδαφος για τη χρήση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, μπορεί να υπολογισθεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$P_{ground} = q_{h,HP,out} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \qquad (εξ. 5.3.2)$$

όπου:

$q_{h,HP,out}$, η δυναμικότητα της αντλίας θερμότητας ή εν γένει το μέγιστο φορτίο σε (W),

SPF, ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας (%).

Για περιοχές της Νότιας Ευρώπης όπου οι ώρες λειτουργίας σε θέρμανση είναι μικρότερες των 1800 ανά χρονική περίοδο και ταυτόχρονα παρουσιάζεται εναλλαξιμότητα περιόδων θέρμανσης και ψύξης, οι τιμές του σχετικού πίνακα (Πίνακας 5.3.1) χρησιμοποιούνται ενδεικτικά. Επισημαίνεται, ότι οι τιμές αυτές μπορούν να δώσουν μόνο μια πρώτη εκτίμηση για το εύρος της δυνατότητας μεταφοράς θερμότητας από τους γεωεναλλάκτες σε συνθήκες της Κεντρικής Ευρώπης [1].

5.3.1.2. Μεγάλα συστήματα θέρμανσης

Στην περίπτωση μεγαλύτερου αριθμού μεμονωμένων συστημάτων:

α) με περισσότερες από 2400 ώρες ετήσιας λειτουργίας,

β) με πρόσθετες πηγές θερμότητας/καταβόθρες (π.χ. ψύξη) και

γ) συστημάτων με συνολική ισχύ αντλίας θερμότητας >30kW, ο σωστός σχεδιασμός γίνεται με αναλυτικούς υπολογισμούς.

Ο σχεδιασμός κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης/ψύξης των κτιρίων, τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (Γ.Α.Θ.), τις θερμοφυσικές παραμέτρους του εδάφους και τις τεχνικές παραμέτρους των γεωεναλλακτών (σωλήνες, ένεμα, φορέας θερμότητας). Οι απλοποιημένες εξισώσεις υπολογισμού του συνολικού μήκους της γεώτρησης για ψύξη (L_c) και για θέρμανση (L_h) είναι οι ακόλουθες [10]:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (Cf_c \cdot q_{lc}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + F_{sc} \cdot R_{gd})}{(t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} + t_p)} \qquad \text{(εξ. 5.3.3)}$$

$$L_h = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (Cf_h \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + F_{sc} \cdot R_{gd})}{(t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} + t_p)} \qquad \text{(εξ. 5.3.4)}$$

όπου:

q_a, η καθαρή ετήσια μέση μετάδοση θερμότητας προς το έδαφος, σε (W),

q_{lc}, το ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού κτιρίου, σε (W),

q_{lh}, το θερμικό φορτίο σχεδιασμού κτιρίου, σε (W),

Cf_c, ο συντελεστής διόρθωσης ποσού θερμότητας που αποβάλλεται από την Α.Θ., (-)

Cf_h, ο συντελεστής διόρθωσης ποσού θερμότητας που απορροφάται από την Α.Θ., (-)

R_b, η θερμική αντίσταση της γεώτρησης, σε (m·K/W),

R_{ga}, η αποτελεσματική θερμική αντίσταση εδάφους - ετήσιος παλμός, σε (m·K/W),

R_{gm}, η αποτελεσματική θερμική αντίσταση εδάφους - μηνιαίος παλμός, σε (m·K/W),

R_{gd}, η αποτελεσματική θερμική αντίσταση εδάφους - ημερήσιος παλμός, σε (m·K/W),

PLF_m, ο παράγοντας μερικού φορτίου κατά το μήνα σχεδιασμού, (-),

F_{sc}, ο παράγοντας θερμικών απωλειών μικρού κυκλώματος μεταξύ σωλήνων προσαγωγής και επιστροφής στη γεώτρηση (-),

t_g, η μη-διαταραγμένη θερμοκρασία εδάφους, σε (°C),

t_p, η διόρθωση θερμοκρασίας εδάφους λόγω παρεμβολής γειτονικών οπών, σε (°C)

t_{wi}, η θερμοκρασία εισόδου του νερού στην αντλία θερμότητας, σε (°C)

t_{wo}, η θερμοκρασία εξόδου του νερού από την αντλία θερμότητας, σε (°C)

Το απαιτούμενο συνολικό μήκος του κατακόρυφου εναλλάκτη είναι το μεγαλύτερο από τα δύο που υπολογίζονται από τις δύο παραπάνω εξισώσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Οι συντελεστές διόρθωσης Cf_c, Cf_h αναφέρονται στο ποσό της θερμότητας που αποβάλλεται (q_{cond}) ή απορροφάται (q_{evap}) από τις αντλίες θερμότητας και εξαρτώνται από τους συντελεστές EER, COP των μονάδων. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές EER και COP για όλες τις μονάδες στο συγκεκριμένο κτίριο. Οι τιμές των συντελεστών διόρθωσης Cf_c, Cf_h υπολογίζονται μέσω των παρακάτω εξισώσεων:

$$Cf_c = 1 + \frac{1}{EER} = \frac{q_{cond}}{q_{lc}} \qquad (εξ. 5.3.5)$$

$$Cf_h = 1 - \frac{1}{COP} = \frac{q_{evap}}{q_{lh}} \qquad (εξ. 5.3.6)$$

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός μετάδοσης θερμότητας (q_a σε W), προς το έδαφος μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας τις ετήσιες ώρες ψύξης και θέρμανσης ισοδύναμου πλήρους φορτίου, με χρήση της ακόλουθης εξίσωσης [10]:

$$q_a = \frac{Cf_c \cdot q_{lc} \cdot EFL_{hours,c} + Cf_h \cdot q_{lh} \cdot EFL_{hours,h}}{T_a} \qquad (εξ. 5.3.7)$$

όπου:

$EFL_{hours,c}$, $EFL_{hours,h}$, είναι οι ισοδύναμες ώρες (h) σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως και

T_a, είναι το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8760 h).

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου μπορούν να υπολογισθούν, μέσω των παρακάτω εξισώσεων, ως το ποσό των ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο ψύξης και θέρμανσης αντίστοιχα κατά τη διάρκεια ενός έτους [10]:

$$EFL_{hours,c} = \frac{E_c}{q_{lc}} \qquad (εξ. 5.3.8)$$

$$EFL_{hours,h} = \frac{E_h}{q_{lh}} \qquad (εξ. 5.3.9)$$

όπου:

όπου E_c και E_h, είναι οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας (kWh) για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα.

Για την επίλυση των εξισώσεων (εξ. 5.3.3), (εξ. 5.3.4) και (εξ. 5.3.7) λαμβάνεται κατά σύμβαση ότι το ενεργειακό ισοζύγιο εφαρμόζεται στην αντλία θερμότητας, και επομένως η θερμότητα που προσδίδεται στην αντλία θερμότητας ($q_{evap} = Cf_h \cdot q_{lh}$) πρέπει να έχει θετικό πρόσημο, ενώ αντίστοιχα αυτή που απορρίπτεται προς το περιβάλλον ($q_{cond} = Cf_c \cdot q_{lc}$), εν προκειμένω μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη, πρέπει να έχει αρνητικό πρόσημο.

Οι εξισώσεις σχεδιασμού για τη διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη έχουν τέσσερις όρους που αναφέρονται σε θερμική αντίσταση ανά μονάδα μήκους γεώτρησης (m·K/W), όχι μονάδα μήκους σωλήνα. Ένας από τους όρους είναι και η ισοδύναμη θερμική αντίσταση της γεώτρησης (R_b). Εφόσον το υγρό μέσα στο βρόχο, η σωλήνωση και το υλικό του ενέματος έχουν πολύ μικρή θερμική αδράνεια συγκριτικά με το έδαφος, η θερμική αντίσταση R_b μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Η θερμική αντίσταση του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη λαμβάνει υπόψη την επίδραση της θερμικής αντίστασης του σωλήνα και της θερμικής αντίστασης του δακτυλιοειδούς ενέματος, και υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση [10]:

$$R_b = \frac{(R_{film} + R_{tube})}{No} = \frac{\dfrac{1}{(\pi \cdot d_i \cdot h_{conv} + ln\frac{d_o}{d_i}/2 \cdot \pi \cdot \lambda_p)}}{No} + \left(\beta_0 \cdot \left(\frac{d_b}{d_o}\right)^{\beta_1} \cdot \lambda_{grt}\right)^{-1} \qquad (εξ. 5.3.10)$$

όπου το πρώτο μέρος που χαρακτηρίζεται και ως (R_p), αφορά στο σωλήνα και εάν είναι μονού ή διπλού –U, και το δεύτερο μέρος που χαρακτηρίζεται και ως (R_{grt}) αφορά στο ένεμα, δηλαδή είναι οι θερμικές αντιστάσεις του σωλήνα και του ενέματος αντίστοιχα. Η θερμική αντίσταση του σωλήνα (R_p) περιλαμβάνει την αντίσταση του ρευστού που ρέει εντός του σωλήνα (R_{film}) και τη θερμική αντίσταση των

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

τοιχωμάτων του σωλήνα (R_{tube}). Για σωλήνα διάταξης απλού-U (δύο αγωγοί), η τιμή του No=2, ενώ για σωλήνα διάταξης διπλού-U (τέσσερις αγωγοί), η τιμή του No=4, [10]:

όπου:

d_i, η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα, σε (m),

d_o, η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα, σε (m),

d_b, η διάμετρος της οπής της γεώτρησης, σε (m),

h_{conv}, ο συντελεστής συναγωγής του ρευστού εντός του σωλήνα, (W/m²·K),

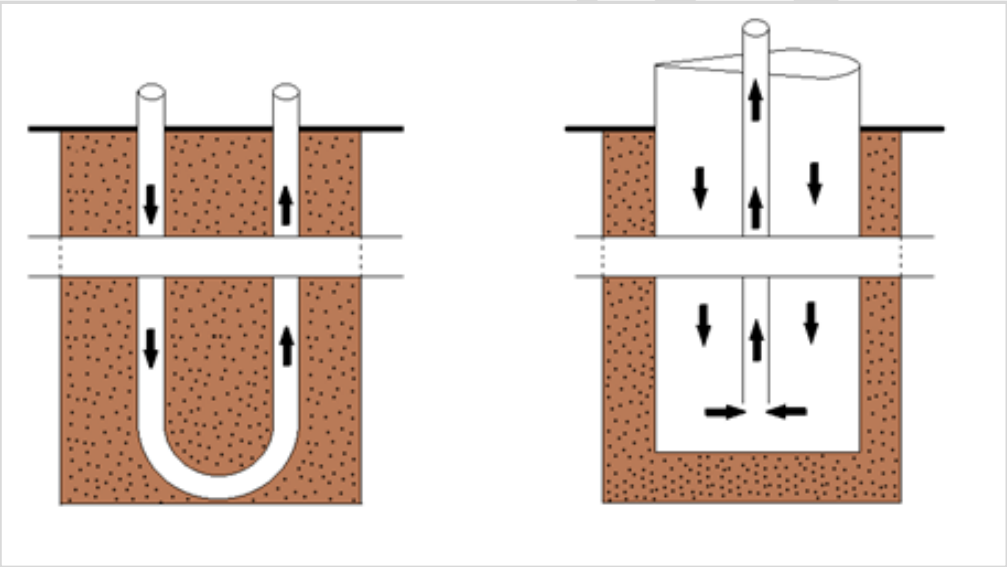
λ_p, η θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος του σωλήνα, σε (W/m·K),

λ_{grt}, η θερμική αγωγιμότητα του ενέματος, σε (W/m·K),

β_0 και β_1, οι συντελεστές διάταξης σωλήνων εντός της οπής της γεώτρησης, (-), Σχήμα 5.3.3.

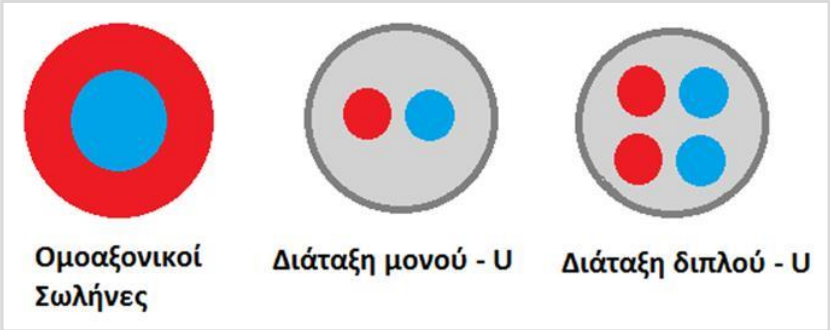
Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον τρόπου ανταλλαγής θερμότητας, από τα κανάλια ροής στη γεωμετρία της διατομής τους. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται οι δύο βασικοί σχεδιασμοί κατακόρυφου γεωεναλλάκτη [1]:

- Γεωεναλλάκτης τύπου U σωλήνα (αριστερά)
- Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης (δεξιά)

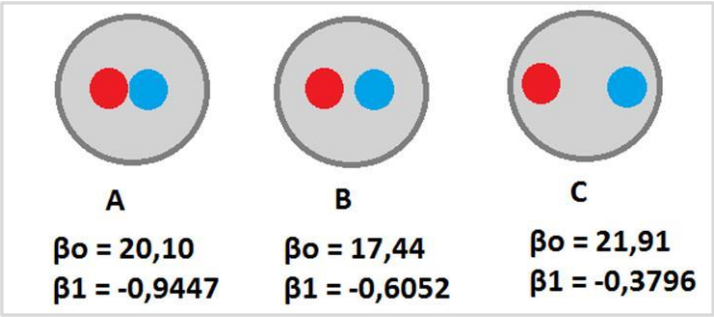


Σχήμα 5.3.1: Βασικοί σχεδιασμοί κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών [1]

Οι διατάξεις τύπου μονού-U, διπλού-U και ομοαξονικών (ομόκεντρων αγωγών), παρουσιάζονται εποπτικά στο Σχήμα 5.3.2.



Σχήμα 5.3.2: Διάταξη αγωγών μονού, διπλού-U και ομοαξονικών σωλήνων [5]



Σχήμα 5.3.3: Τυπικές διατάξεις αγωγών τύπου-U εντός της γεώτρησης [5]

Σύμφωνα με τους Kavanaugh & Rafferty [10] ανάλογα με τη θέση των αγωγών εντός της οπής προκύπτουν οι εξής διατάξεις για τη διάταξη μονού U (Σχήμα 5.3.3):

- η διάταξη (A) όπου οι αγωγοί του σωλήνα είναι στο κέντρο της οπής της γεώτρησης και σε επαφή μεταξύ τους,
- η διάταξη (B) όπου οι αγωγοί του σωλήνα ισαπέχουν από το κέντρο της οπής της γεώτρησης και από τα όρια της γεώτρησης, και
- η διάταξη (C) όπου οι αγωγοί του σωλήνα τοποθετούνται αντιδιαμετρικά και σε επαφή με τα τοιχώματα της γεώτρησης.

Η θερμική αγωγιμότητα του ενέματος (λ_{grt}) λαμβάνεται ανάλογα με τη σύσταση του υλικού πλήρωσης από τον σχετικό πίνακα (Πίνακας 5.2.4). Η θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος του σωλήνα (λ_p) λαμβάνεται ανάλογα με τη σύσταση του υλικού κατασκευής του σωλήνα από τον τον σχετικό πίνακα (Πίνακας 5.2.1).

Ο υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής του ρευστού εντός του σωλήνα (h_{conv}) που απαιτείται για τον προσδιορισμό της θερμικής αντίστασης του ρευστού εντός του σωλήνα, είναι ιδιαίτερα σύνθετος και σε πολλές περιπτώσεις αρκετά αβέβαιος. Ωστόσο, η θερμική αντίσταση αυτή είναι συνήθως πολύ μικρή συγκριτικά με τη θερμική αντίσταση του πλαστικού σωλήνα, του ενέματος και του εδάφους. Επομένως, αποκλίσεις κατά τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης του ρευστού, δεν οδηγούν σε σημαντικό σφάλμα στον προσδιορισμό της συνολικής θερμικής αντίστασης του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη και μπορεί να θεωρηθεί μηδενικός.

Αντίθετα, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο προσδιορισμός του αριθμού Reynolds ο οποίος προσδιορίζει το είδος της ροής εντός του σωλήνα (στρωτή, μεταβατική, τυρβώδης). Στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 5.2.2) δίνονται τιμές του αριθμού Reynolds για διαφορετικές τιμές παροχής μάζας (L/min), εσωτερική διατομής σωλήνα (mm), θερμοκρασίας (°C) και είδους ρευστού που συνηθίζονται σε εφαρμογές γεωθερμίας.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.3.3) δίνει τιμές της θερμικής αντίστασης της γεώτρησης, υπολογισμένες μέσω των ως άνω εξισώσεων, για τρεις διαφορετικές τιμές της θερμικής αγωγιμότητας ενέματος (λ_{grt}), τρία διαφορετικά είδη ροής ρευστού (αριθμός Reynolds για στρωτή = 2.000, μεταβατική = 4.000, και τυρβώδης = 10.000), τρία διαφορετικά μεγέθη σωλήνων τύπου-U και τρεις διαφορετικές διαμέτρους γεώτρησης (100, 125 και 150 mm) για σχηματισμούς B και C μονού-U και διπλού-U.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 5.3.3: Θερμική αντίσταση γεώτρησης [10]

Διάμετρος Σωλήνα-U, d_o	Θέση Σωλήνα	Διάμετρος γεώτρησης, d_b (mm)	Θερμική αντίσταση της γεώτρησης R_b, [m·K/W]								
			Αρ. Reynolds 2.000			Αρ. Reynolds 4.000			Αρ. Reynolds 10.000		
			Για αγωγιμότητα ενέματος λ σε [W/(m·K)]								
			0,7	1,4	2,1	0,7	1,4	2,1	0,7	1,4	2,1
25 mm DR 11 HDPE Σωλήνας-U	B	100	0,26	0,17	0,14	0,24	0,14	0,11	0,23	0,14	0,11
		125	0,29	0,18	0,15	0,26	0,16	0,12	0,26	0,11	0,12
	C	100	0,18	0,13	0,11	0,16	0,1	0,09	0,15	0,10	0,08
		125	0,19	0,13	0,11	0,17	0,11	0,09	0,16	0,10	0,08
	Διπλού-U	125	0,16	0,1	0,08	0,14	0,08	0,06	0,14	0,08	0,06
32 mm DR 11 HDPE Σωλήνας-U	B	100	0,24	0,16	0,13	0,21	0,13	0,1	0,21	0,13	0,10
		125	0,26	0,17	0,14	0,23	0,14	0,11	0,23	0,14	0,11
		150	0,28	0,18	0,14	0,26	0,15	0,12	0,25	0,15	0,11
	C	100	0,17	0,12	0,11	0,15	0,10	0,08	0,14	0,09	0,08
		125	0,18	0,13	0,11	0,16	0,10	0,08	0,15	0,10	0,08
		150	0,19	0,13	0,11	0,17	0,11	0,09	0,16	0,10	0,08
	Διπλού-U	125	0,15	0,09	0,07	0,13	0,08	0,06	0,13	0,08	0,06
		150	0,15	0,1	0,08	0,14	0,08	0,06	0,14	0,08	0,06
40 mm DR 11 HDPE Σωλήνας-U	B	125	0,24	0,16	0,13	0,22	0,13	0,11	0,21	0,13	0,10
		150	0,26	0,17	0,14	0,23	0,14	0,11	0,23	0,114	0,11
	C	125	0,17	0,12	0,11	0,15	0,10	0,09	0,14	0,09	0,08
		150	0,18	0,13	0,11	0,16	0,11	0,09	0,15	0,10	0,08
	Διπλού-U	150	0,14	0,09	0,07	0,13	0,08	0,06	0,13	0,08	0,06

Οι παράμετροι R_{ga}, R_{gd}, R_{gm} χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ισοδύναμης θερμικής αντίστασης του εδάφους. Ο υπολογισμός τους πραγματοποιείται για διαφορετικούς θερμικούς παλμούς: για 10 χρόνια (3650 μέρες), για 1 μήνα (30 μέρες) και για 4 ώρες (0,167 μέρες). Στο πλαίσιο αυτό ορίζονται τρεις χρόνοι λειτουργίας (τ) [10]:

$$\tau_1 = 3650 \quad \text{(εξ. 5.3.11)}$$

$$\tau_2 = 3650 + 30 = 3680 \quad \text{(εξ. 5.3.12)}$$

$$\tau_f = 3650 + 30 + 0{,}167 = 3680{,}17 \quad \text{(εξ. 5.3.13)}$$

Ο αριθμός Fourier (Fo) υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης [10] για κάθε περίπτωση:

$$Fo_f = 4 \cdot \alpha_g \cdot \tau_f / d_b^2 \quad \text{(εξ. 5.3.14)}$$

$$Fo_1 = 4 \cdot \alpha_g \cdot (\tau_f - \tau_1) / d_b^2 \quad \text{(εξ. 5.3.15)}$$

$$Fo_2 = 4 \cdot \alpha_g \cdot (\tau_f - \tau_2) / d_b^2 \quad \text{(εξ. 5.3.16)}$$

όπου:

α_g, η θερμική διάχυση του εδάφους, (m^2/day),

τ, ο χρόνος λειτουργίας, σε (days),

d_b, η εξωτερική διάμετρος της γεώτρησης, σε (m).

Μέσω του γραφήματος στο Σχήμα 5.3.4, προσδιορίζεται ο παράγοντας-G για κάθε τιμή του αριθμού Fourier (G_f, G_1 και G_2) [10]. Οι τρεις ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους κατά τη διάρκεια κάθε θερμικού παλμού υπολογίζονται ως ακολούθως [10]:

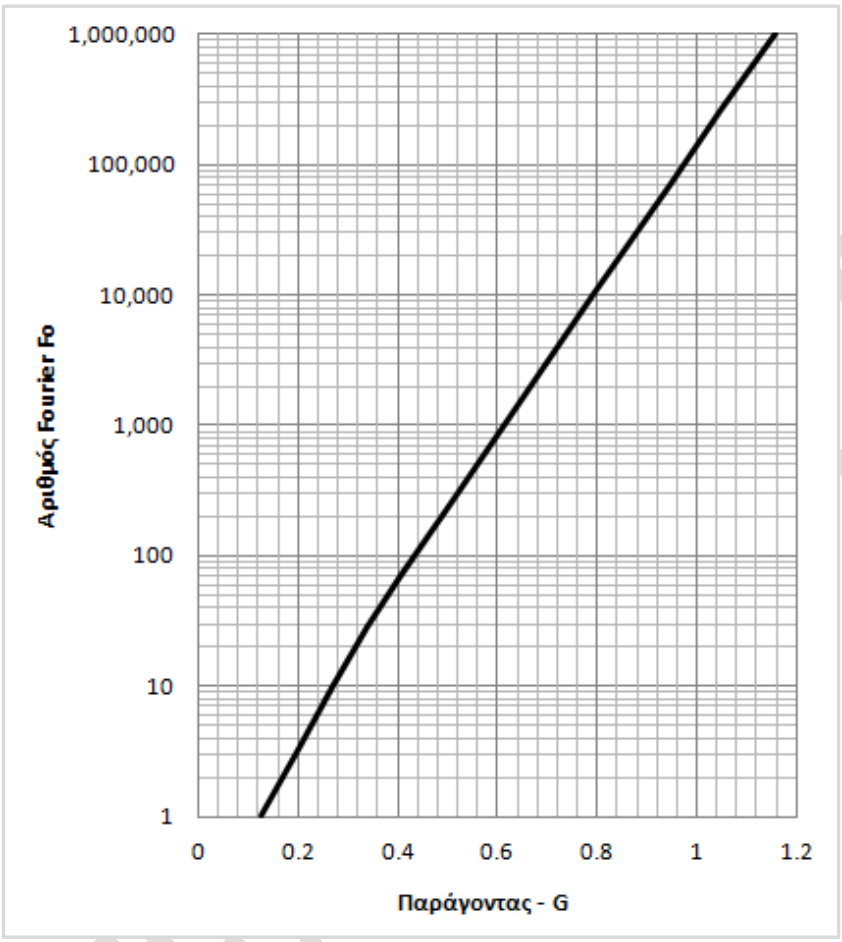
$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{\lambda_g} \quad (εξ.\ 5.3.17)$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{\lambda_g} \quad (εξ.\ 5.3.18)$$

$$R_{gst} = \frac{G_2}{\lambda_g} \quad (εξ.\ 5.3.19)$$

όπου:

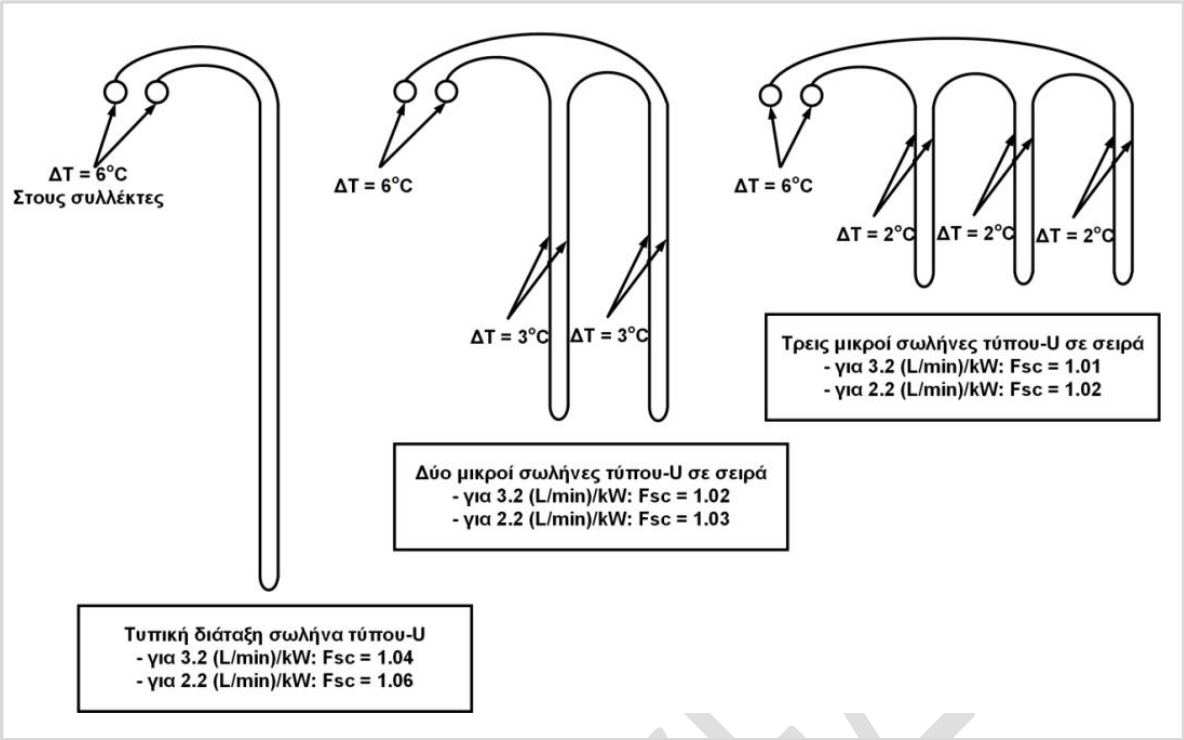
λ_g είναι η θερμική αγωγιμότητα εδάφους (W/(m·K))



Σχήμα 5.3.4: Αριθμός Fourier σε συνάρτηση του Παράγοντας-G για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης του εδάφους. [10]

Ο παράγοντας θερμικών απωλειών μικρού κυκλώματος (F_{sc}) μεταξύ σωλήνων προσαγωγής και επιστροφής, για συνήθεις εφαρμογές διατάξεων κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών [10], λαμβάνει τις τιμές που δίνονται στο Σχήμα 5.3.5.

Για τη μη-διαταραγμένη θερμοκρασία του εδάφους συνυπολογίζεται η διόρθωση θερμοκρασίας εδάφους ((εξ. 5.3.3) και(εξ. 5.3.4)) λόγω παρεμβολής γειτονικών οπών (t_p), η οποία προκύπτει από το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στο έδαφος κατά τη λειτουργία της ψύξης και αντίστοιχα από το ποσό θερμότητας που απορροφάται από το έδαφος κατά τη λειτουργία θέρμανσης. Για λόγους απλοποίησης η διόρθωση θερμοκρασίας t_p λαμβάνεται προσεγγιστικά ως +0,5K για τη λειτουργία της ψύξης και -0,5K για τη λειτουργία της θέρμανσης.



Σχήμα 5.3.5: Παράγοντας θερμικών απωλειών μικρού κυκλώματος (Fsc) για συνήθεις εφαρμογές διατάξεων κατακόρυφων γεωεναλλακτών [10]

5.3.2. Οριζόντια γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος

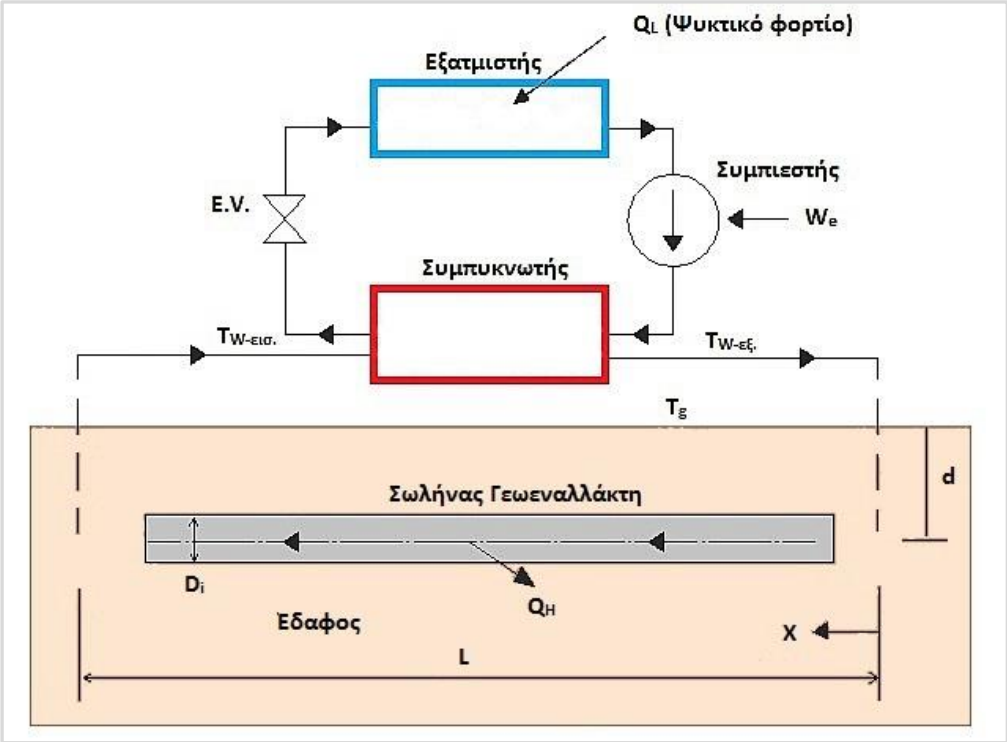
Η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους σε διάφορα βάθη διαμορφώνεται από τη θερμική ισορροπία ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία, στη γεωθερμική θερμική ροή και σε διάφορες θερμικές παραμέτρους και ιδιότητες όπως ορίζονται από αυτούς τους δύο παράγοντες. Στην περίπτωση των Γ.Α.Θ., είναι επιθυμητό το έδαφος να έχει υψηλή ικανότητα μεταφοράς θερμότητας, γιατί έτσι επιτυγχάνεται εύκολα και αποδοτικά η εναλλαγή θερμότητας (απορρόφηση ή απόρριψη) μεταξύ των γεωεναλλακτών και του υπεδάφους. Ταυτόχρονα, η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και η θερμική διάχυση διατηρεί τη θερμοκρασία του υπεδάφους, στα σημεία επαφής με τους γεωεναλλάκτες, σταθερή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες VDI 4640-1 [14] και VDI 4640-2 [15] η θερμοκρασία του ρευστού φορέα θερμότητας, που επιστρέφει στον οριζόντιο γεωεναλλάκτη, δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο των ±12K, σε λειτουργία ονομαστικού φορτίου (μέσο εβδομαδιαίο) σε σχέση με τη μη διαταραγμένη θερμοκρασία εδάφους, ενώ στα φορτία αιχμής το όριο των ±18K. Γενικότερα η καλύτερη απόδοση τέτοιων συστημάτων επιτυγχάνεται σε λεπτόκοκκους τύπους εδαφών με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, όπως αργιλώδη και ιλυώδη, ενώ θα πρέπει να αποφεύγονται εδάφη με χαλίκι και άμμο. Ο σχεδιασμός προσδιορίζεται για τις αντλίες θερμότητας οι οποίες λειτουργούν με θερμοκρασιακή διαφορά ±5 έως ±7K.

Γνωρίζοντας την ονομαστική ισχύ (Q_L) της αντλίας θερμότητας, τη θερμοκρασία εισόδου του νερού, την παροχή του νερού και τον συντελεστή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας για ψύξη ή θέρμανση (EER ή COP) μπορεί να εκτιμηθεί το φορτίο και η διαφορά θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο και στην έξοδο $T_{w\text{-}\varepsilon\iota\sigma}$ και $T_{w\text{-}\varepsilon\xi}$ της Γ.Α.Θ. από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Q_H = \left(1 + \frac{1}{COP}\right) \cdot Q_L \qquad \text{(εξ. 5.3.20)}$$

$$Q_H = m_w \cdot c_w \cdot \left(T_{w-\varepsilon\xi} - T_{w-\varepsilon\iota\sigma}\right) \qquad \text{(εξ. 5.3.21)}$$



Σχήμα 5.3.6: Διάταξη γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με οριζόντιο εναλλάκτη [1]

Θεωρώντας έναν οριζόντιο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου D_i και εξωτερικής διαμέτρου D_o που είναι τοποθετημένος σε βάθος d (m) από την επιφάνεια του εδάφους μπορούν να υπολογισθούν οι θερμικές αντιστάσεις ($R_{συναγωγής}$ ή $R_{συν}$, $R_{σωλήνα}$, $R_{εδάφους}$) ανά μονάδα μήκους του σωλήνα [1]:

$$R_{ολικό} = R_{συν} + R_{σωλήνα} + R_{εδάφους} \qquad (εξ.\ 5.3.22)$$

$$R_{συν} = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_w} \qquad (εξ.\ 5.3.23)$$

$$R_{σωλήνα} = \frac{ln(D_o/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{σωλήνα}} \qquad (εξ.\ 5.3.24)$$

$$R_{συν} = \frac{1}{s \cdot \lambda_{εδάφους}} \qquad (εξ.\ 5.3.25)$$

όπου

$\lambda_{σωλήνα}$, είναι η θερμική αγωγιμότητα του υλικού του σωλήνα,

$\lambda_{εδάφους}$ είναι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους,

S είναι ο συντελεστής σχήματος του σωλήνα που μπορεί να υπολογισθεί από τη βιβλιογραφία για διάφορους τύπους σωλήνων [1].

Ο συντελεστής σχήματος S υπολογίζεται για ευθύγραμμο αγωγό από την ακόλουθη εξίσωση [17]:

$$S = \frac{2 \cdot \pi}{ln\left[\left(\frac{2 \cdot d}{D_o}\right) + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot d}{D_o}\right)^2 - 1}\right]} \qquad (εξ.\ 5.3.26)$$

d, είναι το βάθος στο οποίο είναι βυθισμένοι οι σωλήνες (Σχήμα 5.2.6).

Οι ιδιότητες του νερού μπορούν να υπολογισθούν στη μέση θερμοκρασία του νερού ενώ ο συντελεστής συναγωγής του νερού h_w μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση Dittus-Boelter για τον αριθμό Nusselt [1]:

$$Nu = \frac{h_w \cdot D_i}{k} = 0{,}023 \left(\frac{\rho \cdot V \cdot D_i}{\mu}\right)^{0{,}8} \cdot Pr^{0{,}3} \qquad (εξ.\ 5.3.27)$$

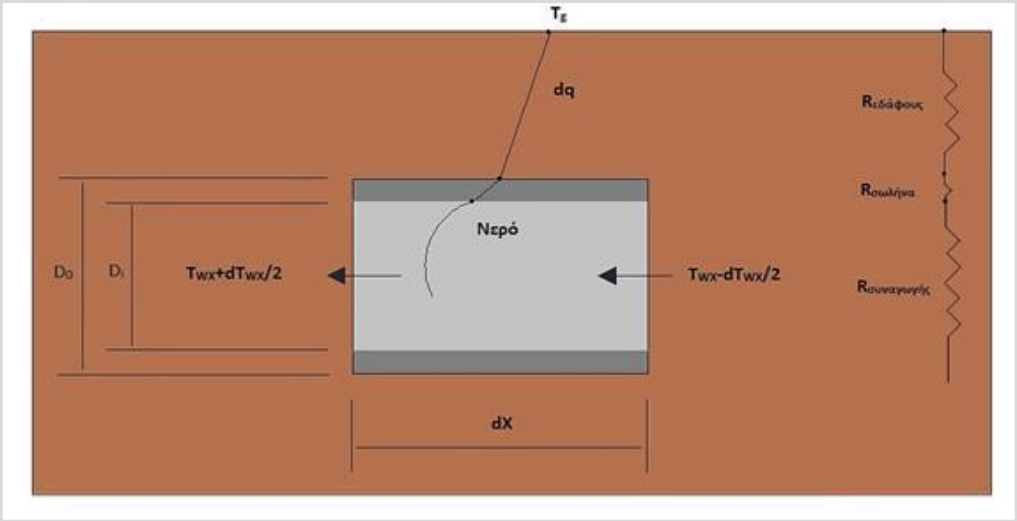
Εφαρμόζοντας ένα διαφορικό ενεργειακό ισοζύγιο στον όγκο ελέγχου του σχήματος διαφορικού μήκους dx μπορεί να υπολογισθεί η μεταφορά θερμότητας:

$$dq = \left(\frac{T_{wx} - T_g}{R_{ολικό}}\right) \cdot dx = m_w \cdot c_w \cdot dT_w \qquad (εξ. 5.3.28)$$

Αν $\theta_w = T_{wx} + T$ και $x = \frac{x}{m_w \cdot c_w \cdot R_{ολικό}}$ τότε η εξίσωση με ολοκλήρωση δίνει την κατανομή θερμοκρασίας κατά μήκος του σωλήνα και το μήκος του γεωεναλλάκτη.

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις μπορούν να μελετηθούν διαφορετικές περιπτώσεις διατάξεων οριζόντιων γεωεναλλακτών σε σειρά ή παράλληλα καθώς και η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της εγκατάστασης. Συνεπώς, το ισοδύναμο μήκος (L) ενός οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$L = (m_w \cdot c_w \cdot R_{ολικό}) \cdot ln\left(\frac{\theta_{w_in}}{\theta_{w_out}}\right) \qquad (εξ. 5.3.29)$$



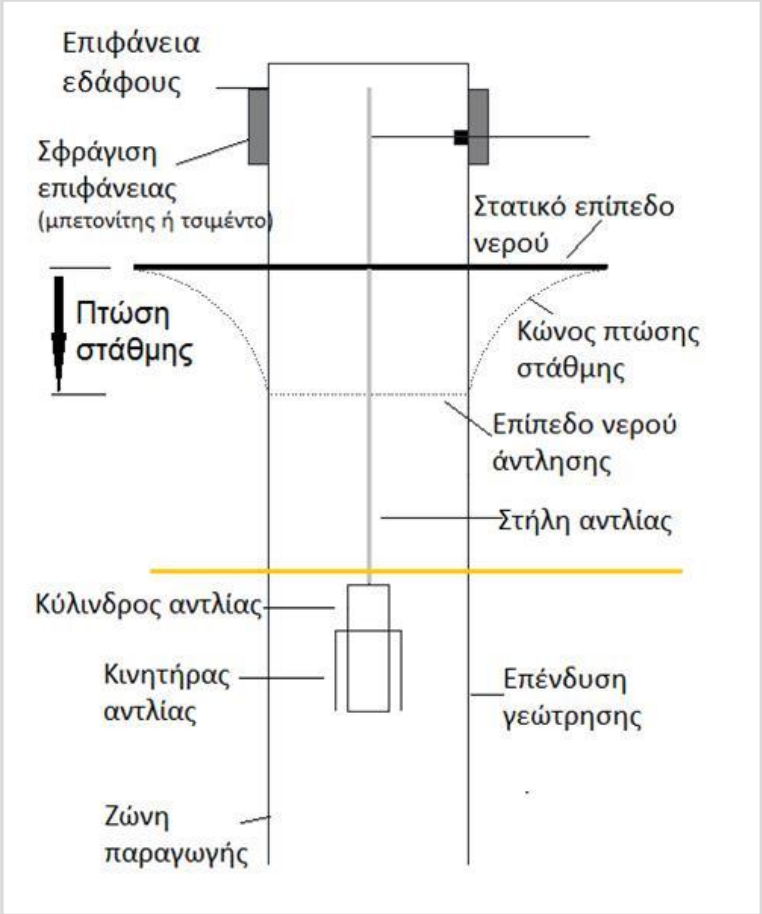
Σχήμα 5.3.7: Θερμικές αντιστάσεις σε διαφορικό τμήμα σε σωλήνα οριζοντίου γεωεναλλάκτη [1]

5.3.3. Ανοικτά γεωθερμικά συστήματα

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος ή ανοικτού βρόχου χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια νερά (από λίμνη, πηγάδι, ποτάμι, γεώτρηση ή τη θάλασσα), ως πηγή θερμότητας ή/και ψύξης και χώρους απόθεσης/επιστροφής του νερού. Τα συστήματα αυτά αντλούν νερό από υπόγειο ταμιευτήρα με χρήση γεώτρησης και συνήθως ενδιάμεσου εναλλάκτη νερού/νερού που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (Γ.Α.Θ.) και του ανοικτού κυκλώματος, ενώ προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια στο σύστημα πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα [19]. Σε αυτή την περίπτωση, αξιοποιείται η ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα στη διάρκεια όλου του έτους, ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν, καθώς και η μεγάλη ειδική θερμότητα του νερού (υπεδαφικού ρευστού). Κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης το σύστημα αντλεί θερμότητα από τα υπόγεια νερά και τη μεταφέρει στο κτίριο, ενώ κατά τη διάρκεια του κύκλου ψύξης, το σύστημα μεταφέρει θερμότητα από το κτίριο στα υπόγεια νερά. Η μεταφορά της θερμότητας συνοδεύεται από τη μεταφορά μάζας του υπεδαφικού ρευστού και βεβαίως για την περιβαλλοντική ισορροπία του συστήματος πρέπει το ρευστό αυτό να επανέλθει στον αρχικό υδροφόρο ορίζοντα.

Ο σχεδιασμός ενός ανοικτού συστήματος λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις ισχύος της αντλίας γεώτρησης, της αντλίας του κυκλώματος (κυκλοφορητής) και των Γ.Α.Θ.. Όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή του νερού,

τόσο πιο ευνοϊκές θα είναι οι θερμοκρασίες στις οποίες θα λειτουργούν οι Γ.Α.Θ., στο βαθμό που αυτό επιτρέπεται από τις συνθήκες σχεδιασμού και κατασκευής τους (άνω και κάτω όριο λειτουργίας). Ωστόσο, η μεγάλη αύξηση της ροής του υπόγειου νερού, οδηγεί σε αύξηση της ισχύος της αντλίας γεώτρησης, σε βαθμό που μπορεί να μειώσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση όλου του συστήματος. Ειδικά, όταν η μεταβολή της ισχύος άντλησης εξαρτάται από το βάθος άντλησης, δηλαδή το ύψος ανύψωσης του υπεδαφικού ρευστού, τότε η επίδραση στην απόδοση (αρνητική) είναι ιδιαίτερα σημαντική και πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό [1]. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία μιας υδρογεώτρησης δίνονται εποπτικά στο Σχήμα 5.3.8.



Σχήμα 5.3.8: Τομή και ορολογία υδρογεώτρησης [1]

Το στατικό επίπεδο νερού (static water level - SWL) είναι το επίπεδο που παραμένει το υπόγειο νερό στη γεώτρηση, σε συνθήκες μη άντλησης [1]. Τα επίπεδα νερού στη γεώτρηση συνήθως αναφέρονται σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους ή το επάνω μέρος της γεώτρησης. Αντίστοιχα το επίπεδο άντλησης νερού (pumping water level, PWL) είναι η στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία άντλησης. Η διαφορά ανάμεσα στα δύο μεγέθη (SWL-PWL) καλείται πτώση στάθμης. Ένας χρήσιμος δείκτης για δυνατότητα παροχής νερού της γεώτρησης είναι η ειδική δυναμικότητα (specific capacity - SC), η οποία υπολογίζεται από τη διαίρεση του ρυθμού άντλησης (l/s) προς την πτώση-στάθμης. Μία φτωχή γεώτρηση μπορεί να έχει ειδική δυναμικότητα 0,41 l/s/m και μία καλή γεώτρηση 3,1 l/s/m [1]. Όσο πιο βαθύ είναι το στατικό επίπεδο νερού και χαμηλότερη η ειδική δυναμικότητα, τόσο υψηλότερη θα είναι η ισχύς άντλησης της γεώτρησης.

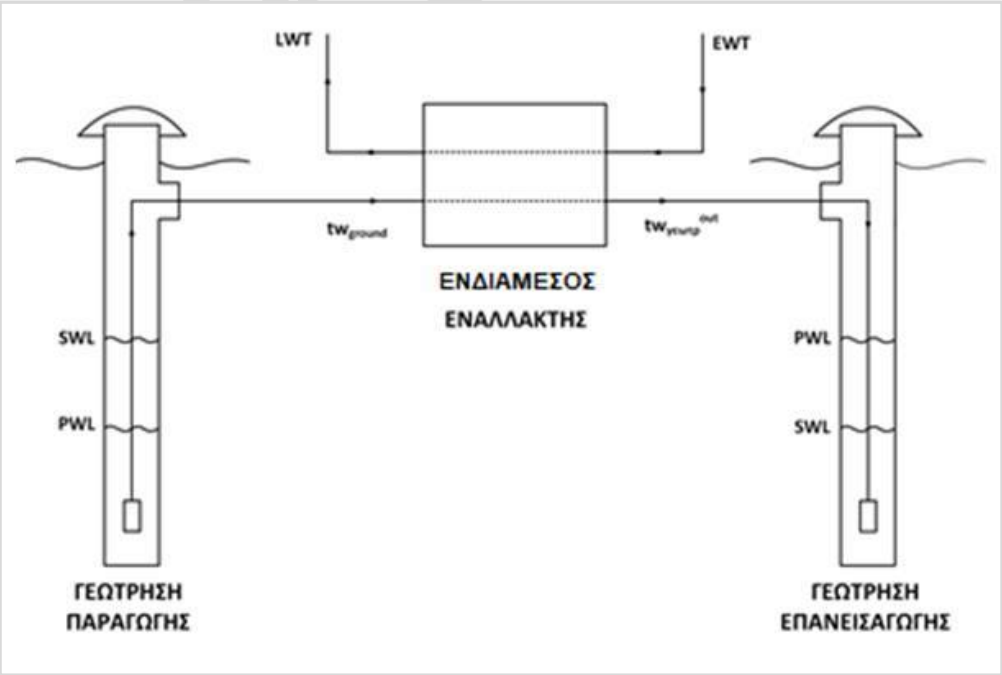
Η αντίδραση ενός υδροφόρου ορίζοντα στην άντληση νερού είναι η ταπείνωση (πτώση) της στάθμης του υπόγειου νερού γύρω από την αντλούμενη γεώτρηση. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ομογενής και ισότροπος τότε η ταπείνωση της στάθμης, γύρω από τη γεώτρηση, είναι ομοιόμορφη και έχει τη μορφή ενός ανεστραμμένου κώνου. Ο κώνος αυτός ονομάζεται κώνος πτώσης στάθμης ή άντλησης ή/και κατάπτωσης. Όσο απομακρυνόμαστε από την αντλούμενη γεώτρηση τόσο μειώνεται το μέγεθος της ταπείνωσης της στάθμης. Η απόσταση από την αντλούμενη γεώτρηση, πέραν της οποίας δεν παρατηρείται

πτώση της στάθμης, ονομάζεται ακτίνα επίδρασης (αντιστοιχεί στην ακτίνα του κώνου κατάπτωσης). Το σχήμα και η έκταση του κώνου εξαρτάται από την παροχή άντλησης και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.

Ο σχεδιασμός βασίζεται στον προσδιορισμό της ισχύος της αντλίας γεώτρησης που απαιτείται για την παραγωγή συγκεκριμένου εύρους ροών υπόγειου νερού και στο συνδυασμό του με την απόδοση της Γ.Α.Θ. σε αυτές τις ροές. Η βέλτιστη σχέση ανάμεσα στην ισχύ της άντλησης και στην απόδοση της Γ.Α.Θ. προσδιορίζεται από τις συνθήκες σχεδιασμού και η απόδοση του συστήματος, σε εκτός συνθήκες αιχμής, διατηρείται με κατάλληλο έλεγχο της λειτουργίας της αντλίας γεώτρησης. Ο προσδιορισμός της βέλτιστης παροχής υπόγειου νερού σε μία εφαρμογή Γ.Α.Θ. ανοικτού κυκλώματος προϋποθέτει τα ακόλουθα στοιχεία/δεδομένα [10]:

- Φορτία ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου,
- Παροχή μάζας νερού ενδιάμεσου (κλειστού) κυκλώματος,
- Βαθμοί απόδοσης (EER, COP) αντλίας θερμότητας (στοιχεία κατασκευαστή) για διάφορες, θερμοκρασίες εισόδου νερού στον ενδιάμεσο εναλλάκτη. Για περισσότερη ακρίβεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μέσες εποχικές τιμές των συντελεστών ενεργειακής αποδοτικότητας (SEER και SCOP) των Ευρωπαϊκών Κανονισμών οικολογικού σχεδιασμού [8] 813/2013 και 814/12013, καθώς Ενεργειακής Σήμανσης [9] 811/2013 και 812/2013.
- Στατικό επίπεδο νερού γεώτρησης παραγωγής,
- Ειδική δυναμικότητα γεώτρησης παραγωγής,
- Θερμοκρασία υπόγειου νερού,
- Διαφορικό θερμοκρασίας μεταξύ συναλλασσόμενων μέσων στον ενδιάμεσο εναλλάκτη.

Το στατικό επίπεδο του νερού, η ειδική δυναμικότητα της γεώτρησης παραγωγής και η θερμοκρασία του υπόγειου νερού, αφορούν χαρακτηριστικά της γεώτρησης και απαιτούν τη διεξαγωγή δοκιμαστικής άντλησης για τον προσδιορισμό τους. Ωστόσο, δεν είναι πάντοτε εφικτή η διενέργεια δοκιμαστικών αντλήσεων και επομένως στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνονται παραδοχές για τον προσδιορισμό των σχετικών μεγεθών, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν διαθέσιμα στοιχεία από γειτνιάζουσες γεωτρήσεις.



Σχήμα 5.3.9: Τυπική διάταξη ανοικτού γεωθερμικού συστήματος

Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός γεωθερμικού συστήματος αντλίας θερμότητας ανοικτού κυκλώματος, αρχικά προσδιορίζεται η απαιτούμενη παροχή νερού του κλειστού κυκλώματος της

αντλίας θερμότητας ($m_W^{\alpha/\theta}$), όπως αυτή προκύπτει από τη μελέτη θέρμανσης ή/και ψύξης. Ταυτόχρονα, γίνεται εκτίμηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού κλειστού κυκλώματος (Σχήμα 5.3.9) στον ενδιάμεσο εναλλάκτη (entering water temperature - EWT), η οποία είναι συνήθως κατά 3 έως 14 K μεγαλύτερη της θερμοκρασίας του υπογείου ρευστού που βρίσκεται στον υδροφόρο (tw_{ground}) με συνήθη τιμή τα 5K. Για κάθε θερμοκρασία εισόδου νερού κλειστού κυκλώματος στον ενδιάμεσο εναλλάκτη (EWT) προσδιορίζεται η απόδοση του συστήματος σε ψύξη (EER) και θέρμανση (COP), λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής για τη ΓΑΘ, σύμφωνα και με τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής αποδοτικότητας όπως ορίζονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (ECODESIGN, LABELLING) [8, 9]. Με χρήση του συντελεστή συμπεριφοράς (EER, COP), καθώς και των ζητούμενων φορτίων θέρμανσης και ψύξης, υπολογίζεται η απορριπτόμενη και η απορροφούμενη θερμότητα στον ενδιάμεσο εναλλάκτη (Q_{cond} και Q_{evap} αντίστοιχα).

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου του νερού κλειστού κυκλώματος στον ενδιάμεσο εναλλάκτη και κατ' επέκταση του νερού εξόδου (leaving water temperature – LWT) από αυτόν, μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$LWT = EWT - \frac{Q_{cond/evap}}{m_w^{\alpha/\theta} \cdot c_p} \qquad (εξ.\ 5.3.30)$$

Με χρήση του διαφορικού θερμοκρασίας του ενδιάμεσου εναλλάκτη (συνήθως ~2K) και της θερμοκρασίας εξόδου του νερού κλειστού κυκλώματος σε αυτόν (LWT), υπολογίζεται η θερμοκρασία του υπόγειου νερού στην έξοδο του εναλλάκτη $tw_{γεωτρ}^{out}$. Επομένως, η απαιτούμενη παροχή μάζας της γεώτρησης υπολογίζεται με χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$m_w^{γεωτρ} = \frac{Q_{cond/evap}}{c_p \cdot (tw_{γεωτρ}^{out} - tw_{ground})} \qquad (εξ.\ 5.3.31)$$

Αναλόγως της απαιτούμενης παροχής μάζας και της ειδικής δυναμικότητας της γεώτρησης, επιλέγεται το επιθυμητό πλήθος γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής.

Η πτώση πίεσης της αντλίας της γεώτρησης υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά στατικής πίεσης (ανύψωση του νερού), τις απώλειες του δικτύου σωληνώσεων (κατακόρυφου στη στήλη της γεώτρησης και οριζόντιου στην επιφάνεια του εδάφους), καθώς και τις απώλειες πίεσης της γεώτρησης/σεων επανεισαγωγής (που μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική).

Το μήκος της στήλης της γεώτρησης υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το εκτιμώμενο ύψος άντλησης, προσαυξημένο με ένα ποσό ασφαλείας της τάξης των 6 έως 12m, μείον το μήκος του κυλίνδρου της αντλίας (συνήθως μικρότερο από 2,5m) [10]. Οι γραμμικές απώλειες υπολογίζονται προσεγγιστικά με χρήση ενός συντελεστή 1,2mΣΥ/30m μήκους ευθύγραμμου αγωγού.

Οι τοπικές απώλειες του δικτύου οφείλονται στα διάφορα υδραυλικά εξαρτήματα του δικτύου (βάνες, γωνίες κ.λπ.), καθώς και στον ενδιάμεσο εναλλάκτη. Οι τοπικές τριβές των εξαρτημάτων μπορούν να υπολογιστούν προσεγγιστικά (σε mΣΥ) με χρήση ενός συντελεστή της τάξης του 30% επί του μήκους των οριζόντιων δικτύων [1]. Για τον ενδιάμεσο εναλλάκτη μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά μία τυπική πτώση πίεσης της τάξης των 2mΣΥ [10].

Η κατανάλωση ενέργειας της επιλεγμένης Γ.Α.Θ. υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την παροχή μάζας και την πτώση πίεσης και βάσει αυτής υπολογίζεται και ο ισοδύναμος βαθμός απόδοσης για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα. Οι παραπάνω υπολογισμοί των βαθμών απόδοσης επαναλαμβάνονται μέχρι να προσδιοριστεί η παροχή υπόγειου νερού (βέλτιστη), για την οποία επιτυγχάνεται ο βέλτιστος (μέγιστος) ισοδύναμος βαθμός απόδοσης του συστήματος.

Η επιλογή της θέσης των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής/απόρριψης εξαρτάται από παραμέτρους όπως η πρόσβαση στη θέση, κ.ά. Γενικά, ενδείκνυται η τοποθέτηση των γεωτρήσεων παραγωγής/άντλησης στην περιοχή εισόδου της υπεδαφικής ροής (ανάντι) προς τη θέση των γεωτρήσεων ενώ η γεώτρηση (-εις) επανεισαγωγής/απόρριψης στην περιοχή εξόδου της υπεδαφικής ροής (κατάντι), σε όρους ροής του υδροφόρου ορίζοντα. Ο προσδιορισμός της διεύθυνσης ροής του υδροφόρου ορίζοντα προκύπτει από τη μέτρηση του επιπέδου του νερού σε δύο ή περισσότερες γεωτρήσεις και τη διόρθωση τους σε σχέση με την ανύψωση του επίπεδου της θάλασσας, χρησιμοποιώντας τις ανυψώσεις του

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

εδάφους στις κεφαλές των γεωτρήσεων. Η ροή του υδροφόρου είναι στη διεύθυνση της βαθμίδας του επιπέδου του νερού που προσδιορίζεται από αυτές τις ανυψώσεις. Η απόσταση ανάμεσα στις γεωτρήσεις στα ανοικτά συστήματα είναι σημαντική παράμετρος όπως είναι η απόσταση ανάμεσα στις οπές (boreholes) στα κλειστά κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ανάμεσα στις δύο γεωτρήσεις τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα για μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Για τον προσδιορισμό των ελάχιστων αποστάσεων μεταξύ γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του επόμενου πίνακα (Πίνακας 5.3.4).

Πίνακας 5.3.4: Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής [10]

Μέση παροχή γεώτρησης $V_{γεωτρ}$ (L/s)	**Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ γεωτρήσεων (m)**						
	Πάχος υδροφόρου (m)						
	3	**6**	**9**	**12**	**15**	**24**	**30**
0,6	54	48	46	42	39	35	31
1,2	74	67	63	60	53	49	42
1,9	92	82	77	71	66	57	52
2,5	107	95	89	85	77	68	59
3,2	120	109	101	94	85	76	68
3,8	133	118	109	104	98	82	74
4,4	145	129	118	112	106	88	80
5	156	139	126	118	113	95	85
5,7	167	147	132	126	120	101	96
6,3	177	156	141	133	121	107	121
13			199	191	175	155	139
19					207	186	168
25					241	208	191
32					273	233	210
63					391	330	302

Η ενδεχόμενη παρεμβολή ανάμεσα στις γεωτρήσεις εξαρτάται από τη μεταδοτικότητα του τοπικού υδροφόρου, τους ρυθμούς άντλησης των γεωτρήσεων και την απόσταση ανάμεσα στις γεωτρήσεις (Σχήμα 5.3.9). Ο υδροφόρος ορίζοντας με καλή μεταδοτικότητα μπορεί να παρέχει νερό για κάθε χρήστη. Η ζήτηση για υπόγειο νερό μεταβάλλεται με το μέγεθος και το σχεδιασμό του συστήματος άντλησης. Η υπεράντληση νερού μπορεί να διευρύνει τον κώνο πτώσης στάθμης, μέχρι να δημιουργηθεί παρεμβολή με την περιοχή απομάκρυνσης από άλλη γεώτρηση. Μία γεώτρηση γενικά θα πρέπει να τοποθετείται κατ' ελάχιστον 30m από μία υφιστάμενη γεώτρηση [1], αν και η απόσταση αυτή δεν εξασφαλίζει πάντα την αποφυγή παρεμβολής. Ο κώνος πτώσης στάθμης θα συνεχίσει να διευρύνεται μέχρι την επίτευξη υδρογεωλογικής ισορροπίας (όταν η ροή εισόδου στον υδροφόρο ισούται με τη ροή εξόδου) το οποίο αποτελεί μία διαδικασία που μπορεί να διαρκέσει από εβδομάδες μέχρι και χρόνια.

5.3.4. Τερματικές μονάδες για πλήρη κάλυψη φορτίου

Ο εξοπλισμός τερματικών μονάδων που χρησιμοποιείται είναι ο ίδιος που χρησιμοποιείται και σε άλλες ενεργειακές εγκαταστάσεις (που χρησιμοποιούν άλλα μέσα ανταλλαγής θερμότητας πλην της θερμικής ενέργειας των επιφανειακών γεωλογικών στρωμάτων ή επιφανειακών υδροφόρων). Εντούτοις, μερικοί τύποι τερματικών μονάδων ταιριάζουν καλύτερα με τις απαιτήσεις των γεωθερμικών εγκαταστάσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα κτίρια που θερμαίνονται με χαμηλής θερμοκρασίας γεωθερμία λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες παροχής νερού σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, συνδυάζονται καλύτερα με συστήματα διανομής θερμότητας εσωτερικά του κτιρίου, τα οποία θα πρέπει να λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι 45°C) όπως η ενδοδαπέδια θέρμανση και οι τερματικές μονάδες στοιχείου ανεμιστήρα (fan coils). Επειδή η λειτουργία του συστήματος είναι σε χαμηλές θερμοκρασίες, απαιτείται ακριβής έλεγχος των θερμοκρασιών και των παροχών σε κάθε κύκλωμα. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση οργάνων όπως, βάνες εξισορρόπησης ροής, διακόπτες ροής, διαφορικούς θερμοστάτες, αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας, κ.ά.. Κάθε κύκλωμα

πρέπει να ρυθμιστεί με ακρίβεια, ώστε να είναι ικανό να μεταφέρει την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας από το έδαφος προς το κτίριο και αντίστροφα.

5.4. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης

Η εγκατάσταση και χρήση ενεργειακών συστημάτων που αξιοποιούν την κανονική (αβαθή) γεωθερμία, πριν από τη διαδικασία του σχεδιασμού, έχει κάποιες τεχνικές προϋποθέσεις, οι οποίες θα πρέπει διερευνηθούν. Αυτές χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Χωροταξικές – Πολεοδομικές – Νομικές,
- Γεωλογικές,
- Κλιματολογικές,
- Χημική ανάλυση του υπόγειου νερού,
- Οικονομοτεχνικές.

5.4.1. Χωροταξικές – Πολεοδομικές – Νομικές

Το πρώτο στάδιο διερεύνησης για εγκατάσταση κανονικής γεωθερμίας είναι η τοπογραφική αποτύπωση του οικοπέδου του έργου αλλά και της γύρω περιοχής. Ο διαθέσιμος χώρος για εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος χωροθετείται στον ελεύθερο χώρο εντός του οικοπέδου (με κάποιους επιπλέον περιορισμούς για τις γεωτρήσεις). Η έκταση του διαθέσιμου χώρου μπορεί να είναι απαγορευτική για χρήση γεωθερμικά συστήματα οριζοντίου τύπου, η οποία απαιτεί μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια. Αντίθετα, η χρήση κατακόρυφης διάταξης γεωθερμικών συστημάτων έχει μικρή απαίτηση χώρου στο οικόπεδο. Επιπλέον αν στην περιοχή του ακινήτου απαγορεύεται η διάνοιξη υδρογεωτρήσεων, η εγκατάσταση γεωεναλλακτών κλειστού κυκλώματος είναι η μόνη επιλογή.

Η χωροθέτηση της κατακόρυφης διάταξης κανονικής γεωθερμίας υπόκειται σε περιορισμούς σύμφωνα με το Αρ. 4 Παρ. 1 της Υπουργικής Απόφασης Αριθμ. Δ9Β, Δ/Φ166/ οικ13068/ ΓΔΦΠ2488 (ΦΕΚ Β 1249 /24.06.2009) [20] για τα κτίσματα εντός σχεδίου πόλεως. Συγκεκριμένα οι γεωτρήσεις οφείλουν να απέχουν τουλάχιστον:

1. Δύο (2) μέτρα από τα όρια της ιδιοκτησίας.
2. Πέντε (5) μέτρα από υφιστάμενο γειτονικό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας.
3. Πέντε (5) μέτρα από το όριο της απαλλοτριωμένης ζώνης σιδηροδρομικής γραμμής.
4. Δέκα (10) μέτρα από κεντρικό αγωγό φυσικού αερίου. Ως κεντρικός νοείται ο αγωγός ο οποίος χρησιμεύει στην τροφοδοσία/επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορά στη σύνδεση του τελικού χρήστη.
5. Δέκα (10) μέτρα από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς (ύδρευσης, άρδευσης, αποχέτευσης κ.λπ.) Ως κεντρικοί αγωγοί νοούνται οι αγωγοί μεγάλης διαμέτρου οι οποίοι χρησιμεύουν στην τροφοδοσία/επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορά τη σύνδεση του τελικού χρήστη.
6. Δέκα (10) μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης, εκτός εάν ανάμεσα στη γραμμή και τη γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα.
7. Πέντε (5) μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης, εκτός εάν ανάμεσα στην γραμμή και την γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα.

Για τις περιπτώσεις 2, 5 και 7 μπορούν να μειωθούν οι αποστάσεις στην περίπτωση εγκατάστασης εντός σχεδίου πόλεως, υπό τον όρο η γεώτρηση να βρίσκεται εντός γραμμής δόμησης, έπειτα από έγκριση της αδειοδοτούσας αρχής.

Σύμφωνα με τους παραπάνω περιορισμούς προσδιορίζεται ο διαθέσιμος χώρος για εγκατάσταση κατακόρυφης γεωθερμίας και επομένως, λαμβάνοντας υπόψη και την απαραίτητη απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις πιθανές θέσεις και τον μέγιστο αριθμό αυτών.

Βασική απαίτηση για την εκμετάλλευση θερμότητας με χρήση επιφανειακών ή υπογείων νερών, είναι η επαναφορά του συνόλου του χρησιμοποιημένου νερού αναλλοίωτο και στην ίδια ποσότητα στον αρχικό

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

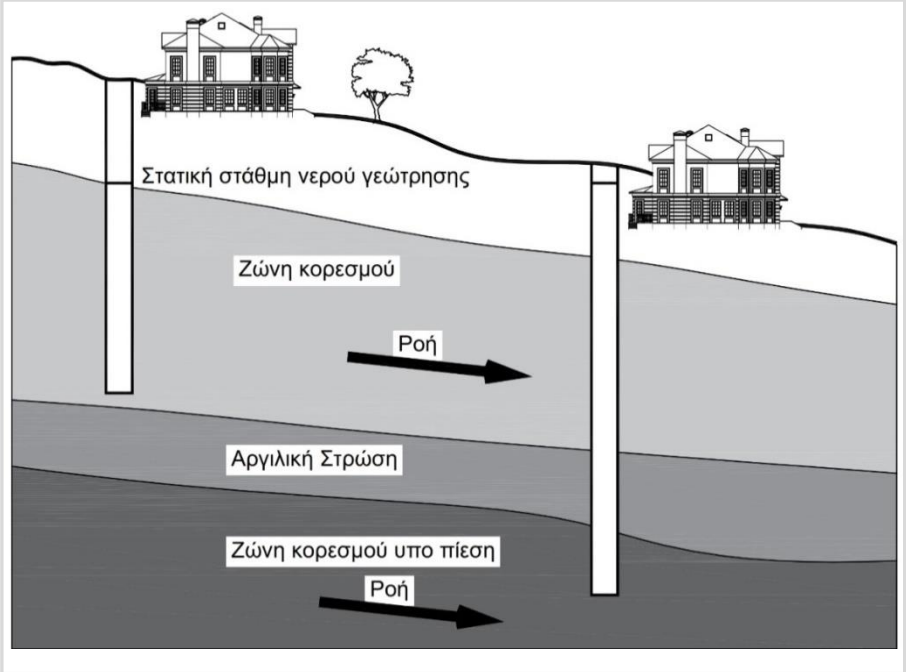
αποδέκτη. Σε διαφορετική περίπτωση η έκδοση της σχετικής άδειας υπόκειται και στις διατάξεις του άρθρου 11 και 16 του ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α΄).

5.4.2. Γεωλογικές

Για τη σωστή εκτίμηση της συμπεριφοράς και θερμικής απόδοσης των γεωεναλλακτών, αλλά και της ασφαλούς λειτουργίας αυτών, θα πρέπει να υπάρχουν διαθέσιμα τα γεωλογικά στοιχεία της συγκεκριμένης θέσης αλλά και της ευρύτερης περιοχής. Από τα γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής, μπορούν να εκτιμηθούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για τον σωστό σχεδιασμό:

- Η σταθερότητα του υπεδάφους, η οποία είναι κρίσιμη πληροφορία για την ασφάλεια έναντι πιθανών κατακρημνίσεων.
- Η ύπαρξη υπεδαφικών σπηλαίων που μεταβάλλουν σημαντικά τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά τη γεώτρηση και τον γεωεναλλάκτη.
- Τα υλικά του υπεδάφους και οι αναλογίες αυτών, σε συνδυασμό με την ύπαρξη νερού και το πορώδες, μας δίνουν πληροφορίες των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους όπως είναι η θερμική αγωγιμότητα (μέση τιμή), η ειδική θερμότητα (μέση τιμή), η πυκνότητα και η θερμική διαχυτότητα (Πίνακας 2.4.2 και Πίνακας 2.4.3). Με αυτή την πληροφορία μπορούμε να εκτιμήσουμε την μέση απόδοση των γεωεναλλακτών για να προσδιορίσουμε την απόδοση και το μέγεθος των απαιτούμενων γεωεναλλακτών.

Επιπλέον θα πρέπει να είναι γνωστή η φορά ροής του υδροφόρου ορίζοντα. Για την περίπτωση ανοιχτού κυκλώματος, ο λόγος είναι ότι η γεώτρηση επιστροφής των νερών, θα πρέπει να είναι στα κατάντι της γεώτρησης άντλησης. Σε διαφορετική περίπτωση θα αντλείται νερό το οποίο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στον εναλλάκτη θερμότητας και επομένως έχει μεταβληθεί η θερμοκρασία του νερού, με αποτέλεσμα την συνεχώς φθίνουσα απόδοση στον εναλλάκτη. Αντίστοιχα για την περίπτωση κλειστού κυκλώματος, θα πρέπει η διάταξη των γεωτρήσεων να είναι έτσι ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατό λιγότερες γεωτρήσεις στα κατάντι άλλων, για αποφυγή αλληλεπίδρασης.



Σχήμα 5.4.1: Γεωτρήσεις σε ζώνη κορεσμού και σε ζώνη κορεσμού υπό πίεση [12]

Ένα άλλο στοιχείο το οποίο χρειάζεται να προσδιοριστεί, είναι το αν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται υπό πίεση (Σχήμα 5.4.1). Για να είναι υπό πίεση ο υδροφόρος ορίζοντας θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από εδαφική στρώση που δεν επιτρέπει στο νερό να διέλθει. Έτσι όταν η γεώτρηση τρυπήσει αυτή τη στρώση, το νερό θα ανέλθει σε ύψος ανάλογα με την πίεσή του. Αυτή η πληροφορία είναι σημαντική τόσο για τη κανονική γεωθερμία ανοικτού κυκλώματος όσο και για αυτή του κλειστού κυκλώματος. Για τη κανονική γεωθερμία ανοικτού κυκλώματος μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας για την άντληση του νερού, αφού μειώνεται το βάθος άντλησης και ενδεχομένως και της παροχής. Για

τη κανονική γεωθερμία κλειστού κυκλώματος, η ύπαρξη νερού σε μικρότερο βάθος μεταβάλει την απόδοση του γεωεναλλάκτη.

Η ανάλυση των γεωθερμικών ιδιοτήτων των υπεδαφικών υλικών δεν μπορεί να προσδιορίσει πάντα με ακρίβεια τα απαραίτητα μεγέθη για το σχεδιασμό του γεωεναλλάκτη στο σημείο της γεώτρησης. Σε μεγάλες εφαρμογές για μεγαλύτερη ακρίβεια θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της θερμικής απόκρισης (Thermal Response Test).

Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο θα πρέπει να τροφοδοτηθεί ο γεωεναλλάκτης με κλιματισμένο νερό και να καταγραφεί η θερμοκρασία εξόδου και η θερμική ροή για 24 έως 48 ώρες. Από την καταγραφή αυτή προσδιορίζεται η θερμική συμπεριφορά του υπεδάφους στην περιοχή του γεωεναλλάκτη σε βάθος χρόνου. Συγκεκριμένα προσδιορίζονται:

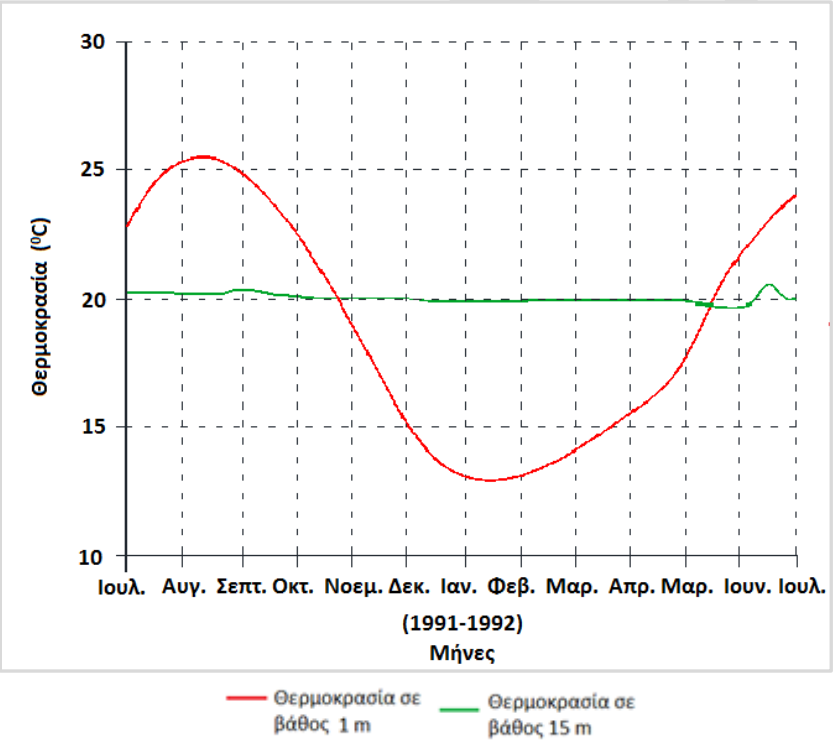
- Η θερμική αντίσταση του γεωεναλλάκτη.
- Η μέση θερμοκρασία του γεωεναλλάκτη.
- Η μέση θερμική αγωγιμότητα (k_{eff}) του υπεδάφους λαμβάνοντας υπόψη και τη συμβολή των υπογείων υδάτων.

Η διάταξη για την πραγματοποίηση της μεθόδου θερμικής απόκρισης περιλαμβάνει:

- Αντλία θερμότητας αέρα – νερού για την παραγωγή ψυχρού ή θερμού νερού.
- Σύστημα καταγραφής και αισθητήρια (δύο θερμοκρασίας και δύο θερμότητας).
- Θερμόμετρα για μέτρηση θερμοκρασίας του νερού πριν και μετά τον γεωεναλλάκτη.

5.4.3. Κλιματολογικές – Εδαφολογικές τιμές

Τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής είναι κρίσιμα για τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας. Για τις περιπτώσεις κανονικής γεωθερμίας, η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του αέρα (στην περιοχή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους) και άρα επηρεάζει και την απόδοση του γεωεναλλάκτη.



Σχήμα 5.4.2: Θερμοκρασίες εδάφους για βάθη 1 m και 15 m στο Κορωπί Αττικής [2]

Στο Σχήμα 5.4.2 απεικονίζεται μια μεταβολή θερμοκρασίας του εδάφους σε βάθος ενός (1) μέτρου στη διάρκεια ενός έτους, η οποία λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό. Αντίστοιχα, και η σταθερή θερμοκρασία σε μεγαλύτερα βάθη (π.χ. 15 m) θα πρέπει να προσδιορίζεται κατά τον σχεδιασμό του συστήματος.

5.4.4. Χημική ανάλυση του υπόγειου νερού

Η χημική ανάλυση θα πρέπει να διερευνηθεί για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του για εφαρμογές γεωθερμίας. Ο έλεγχος συνίσταται σε δύο μέρη [10]:

Μικροβιολογικός έλεγχος. Για τον μικροβιολογικό έλεγχο θα πρέπει να αντληθεί δείγμα νερού τουλάχιστον 1lt, το οποίο θα αποθηκευτεί σε αποστειρωμένο δοχείο, αφού η αντλία έχει δουλέψει ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Το δείγμα θα πρέπει να παραδοθεί στο μικροβιολογικό εργαστήριο σε λιγότερο από 24 ώρες. Η ανάλυση θα διερευνήσει την παρουσία βακτηριδίων που οξειδώνουν τον σίδηρο, που σχηματίζουν λάσπη ή που μειώνουν τα θειικά άλατα.

Χημική ανάλυση. Για τη χημική ανάλυση λαμβάνεται δείγμα τουλάχιστον 2lt σε κατάλληλο δοχείο σύμφωνα με τις προδιαγραφές του εργαστηρίου. Το νερό δεν θα πρέπει να έρθει σε επαφή με ανθρώπινα χέρια ή με άλλα αντικείμενα, παρά μόνο με τις επιφάνειες του δοχείου συλλογής. Τα στοιχεία προς έλεγχο αναφέρονται συνολικά στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.4.1). Από τα ευρήματα των ελέγχων μπορεί να τροποποιηθεί ο σχεδιασμός κατά περίπτωση για να αντιμετωπίσει προβλήματα που ενδέχεται να δημιουργήσει η ποιότητα του νερού.

Πίνακας 5.4.1: Στοιχεία ανάλυσης νερού γεώτρησης [10]

pH	Chloride (Cl)
Total Dissolved Solids (TDS)	Carbonate (CO_3)
Iron (Fe)	Bicarbonate (HCO_3)
Total (M) Alkalinity	Hydrogen Sulfide (H_2S)
Phenolphthalein (P) Alkalinity	Carbon Dioxide (CO_2)
Sulfate (SO_4)	Oxygen (O)
Calcium (Ca)	Manganese (Mn)
Iron Bacteria	Total Hardness
Slime-Forming Bacteria	Sulfate-Reducing Bacteria
Langlier Saturation Index (LSI)	Ryznar Stability Index (RSI)

5.4.5. Οικονομοτεχνική ανάλυση αβαθούς γεωθερμίας

Η αβαθής γεωθερμία είναι μια μορφή Α.Π.Ε. που μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή θερμικής ή/και ψυκτικής ενέργειας, αρκεί η εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση της ΓΑΘ να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ενέργεια που δαπανάται στην άντληση ή κυκλοφορία του νερού (ή διαλύματος) στους γεωεναλλάκτες. Η οικονομική βιωσιμότητας είναι ένα βασικό κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου συστήματος γεωθερμίας.

Για την ενεργειακή και οικονομική απόδοση μιας τέτοιας γεωθερμικής εγκατάστασης σε βάθος χρόνου, είναι σημαντικό να υπάρχει ισορροπία μεταξύ των φορτίων θέρμανσης και ψύξης στη διάρκεια του έτους. Από τα φορτία σχεδιασμού για ψύξη και θέρμανση, το πιο μεγάλο φορτίο προσδιορίζει το μέγεθος του γεωεναλλάκτη και της ΓΑΘ. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλη διαφορά των δύο φορτίων επηρεάζεται σημαντικά η απόδοση της γεωθερμίας για την πρωταρχική λειτουργία. Ο λόγος είναι ότι κατά την εναλλαγή θερμότητας με το έδαφος, προκαλείται μεταβολή στη θερμοκρασία του. Ουσιαστικά αποθηκεύεται θερμότητα στη μάζα του εδάφους. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο όταν έχουμε εναλλαγή ψύξης - θέρμανσης μέσα στο έτος, καθώς, μετά την περίοδο ψύξης, στην περίοδο θέρμανσης έχουμε αυξημένη θερμοκρασία εδάφους και άρα μεγαλύτερη απόδοση και αποδοτικότητα του συστήματος και αντίστοιχα μετά την περίοδο θέρμανσης στην περίοδο ψύξης έχουμε χαμηλή θερμοκρασία εδάφους και πάλι μεγαλύτερη απόδοση και αποδοτικότητα του συστήματος. Αντίθετα, όταν υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στην ψύξη και στη θέρμανση, η συνεχής μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους μειώνει αντίστοιχα την απόδοση της γεωθερμίας.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

5.5. Συντήρηση Γ/Θ συστημάτων

Η συντήρηση των εγκαταστάσεων κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας σε ότι αφορά στα κλειστά συστήματα, ακολουθεί πλήρως τις προδιαγραφές των εγκαταστάσεων κλιματισμού. Σε ότι αφορά στα ανοικτά συστήματα, τότε επιπλέον απαιτείται τακτικός καθαρισμός των εναλλακτών θερμότητας με το ανοικτό κύκλωμα ρευστού ώστε να διατηρείται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Τέλος, σε περίπτωση πολύ διαβρωτικού ρευστού, απαιτείται η χρήση εναλλακτών με προστατευτική επικάλυψη τεφλόν ή τιτανίου.

Σημειώνεται, ότι όλα τα κλειστά δίκτυα, αν και παρέχουν υψηλή προστασία ως προς την δημιουργία αλάτων, υπόκεινται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών, οι οποίοι δεν δημιουργούν διαβρώσεις αλλά μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην ροή λόγω των επικαθίσεων που αναπτύσσονται.

Τα συστήματα γεωεναλλακτών πρακτικά δε χρειάζονται συντήρηση και με σωστή εγκατάσταση ο γεωεναλλάκτης μπορεί να λειτουργεί για πολλές δεκαετίες. Τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος, η αντλία θερμότητας, οι κυκλοφορητές και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας βρίσκονται εντός του κτιρίου προστατευμένα από τις σκληρές εξωτερικές συνθήκες. Ωστόσο, κατά τους περιοδικούς ελέγχους για τη σωστή λειτουργία ορισμένα σημεία θα πρέπει να ελέγχονται όπως:

- Μέτρηση της πίεσης του συστήματος (σε ετήσια βάση από το χειριστή) και καταγραφή της τιμής σε ένα αρχείο καταγραφής (log file).
- Έλεγχος της αντιψυκτικής προστασίας του φορέα θερμότητας κάθε 10 χρόνια.
- Καταγραφή κάθε προσθήκης υγρών (νερό ή αντιψυκτικό).

Η παρακολούθηση του συστήματος υποστηρίζει οποιαδήποτε μελλοντική βελτιστοποίηση του συστήματος. Το σύστημα ελέγχου πρέπει να καταγράφει και κατά προτίμηση να αποθηκεύει τις εξής παραμέτρους του συστήματος :

- Συνολικός χρόνος λειτουργίας.
- Θερμοκρασία εισαγωγής και επιστροφής του κυκλώματος του γεωεναλλάκτη και του κυκλώματος θέρμανσης / χρήστη.
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (προαιρετικά).

Για μικρότερες εγκαταστάσεις, ενδείκνυται η καταγραφή αυτών των παραμέτρων, στην αρχή σε καθημερινή ή εβδομαδιαία βάση, ενώ αργότερα, η καταγραφή σε μηνιαία ή ετήσια βάση. Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, συνίσταται μια πιο λεπτομερής και αυτόματη παρακολούθηση [14, 21].

5.6. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Βραχόπουλος, Μ., Κούκου, Μ., Καρύτσας, Κ., 2015. Κανονική γεωθερμία - αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: http://hdl.handle.net/11419/4773
2. Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργάκης, «Εκμεταλλεύσιμη Ηλιογενής και Γηγενής Θερμότητα στο Αβαθές Υπέδαφος της Αττικής», Τεχνικά χρονικά ΤΕΕ, τεύχος 1, pp. 1-18, 1998.
3. Μ. Φυτίκα, και Ν. Ανδρίτσου, Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
4. Φραγκογιάννης Γεωργίος «Αναλυτικός Σχεδιασμός και Παραμετρική ανάλυση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες. Πειραματική διερεύνηση του θερμικού δυναμικού του υπεδάφους», Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π. 2011
5. ASHRAE Handbook - HVAC Applications. Atlanta, Chapter 35 Geothermal Energy (2019): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
6. EN 14511-2:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors - Part 2: Test conditions
7. EN 14511-3:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors - Part 3: Test methods
8. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of Ecodesign requirements for energy-related products.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

9. Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2017 setting a framework for energy labelling and repealing Directive 2010/30/EU.
10. S.P. Kavanaugh & K.D. Rafferty, Geothermal Heating and Cooling: Design of Ground-Source Heat Pump system, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2014.
11. Μιχάλης Γ. Βραχόπουλος, Αθηνά Γ. Γαγλία, Κοσμάς Α. Καββαδίας, Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κωνσταντίνος Α. Μπαλαράς. Θεματική Ενότητα ΔΕ4: «Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας». Εκπαιδευτικό υλικό για την κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών Κτιρίων, Τ.Ε.Ε. Αθήνα, 2011.
12. B. Sanner, Swallow Geothermal Energy, International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy. Chapter 2.3.
13. B. Sanner, Overview of shallow geothermal systems. [συγγρ. βιβλίου] M. McCorry και G. Ll. Jones. Geotrainet Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems. Brussels : Geotrainet, European Federation of Geologists, 2011.
14. VDI 4640 Part 1: 2010-06, Thermal use of the underground Fundamentals, approvals, environmental aspects.
15. VDI 4640 Part 2: 2001-09, Thermal use of the underground - Ground source heat pump systems.
16. S.A.M. Said et al, Horizontal Ground Heat Exchanger Design for Ground-Coupled Heat Pumps,. Ecologic Vehicles Renewable Energies Conference, 2009 Monaco.
17. Incropera, Frank P. και Dewitt, David P. Fundamentals of heat and mass transfer, 5th ed. s.l. : Wiley Eds.
18. VDI 4640 Part 3: 2001-09, Utilization of the subsurface for thermal purposes. Underground thermal energy storage.
19. VDI 4640 Part 4: 2004-09, Thermal use of the underground - Direct uses.
20. Υπουργική Απόφαση υπ' Αριθμ. Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488 (ΦΕΚ Β΄ 1249 / 2009) «Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης – ψύξης χώρων μέσω εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό».
21. B. Sanner, BHE design examples. In Geotrainet Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems. Brussels : Geotrainet, European Federation of Geologists, pp. 123-127, 2011.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

6. Αιολικές μηχανές μικρής ισχύος

6.1. Γενικά στοιχεία

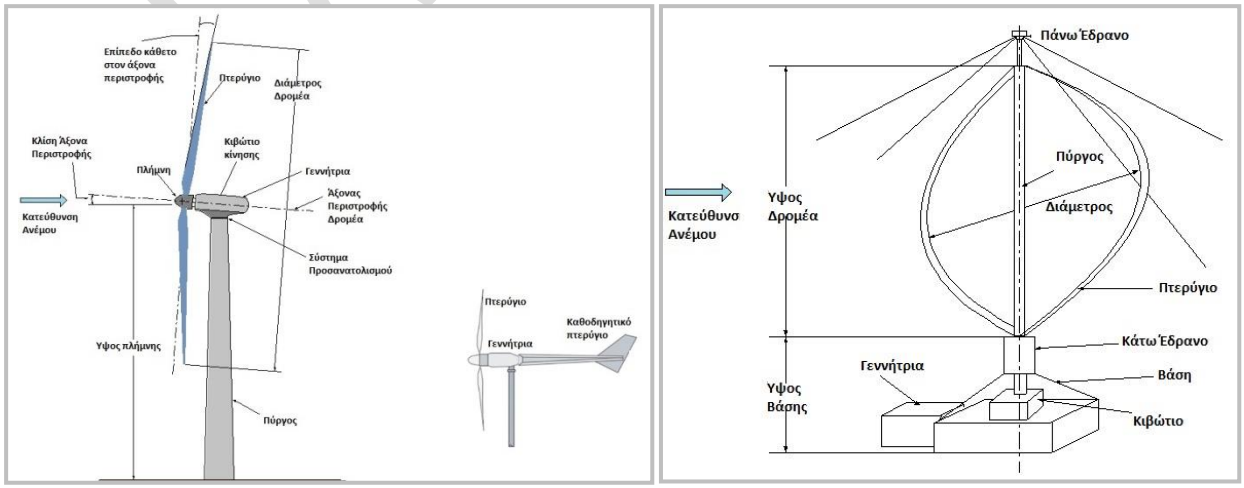
Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων (αιολικών μηχανών) είναι οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ) «οριζοντίου» και οι ανεμογεννήτριες «κατακορύφου» άξονα. Περίπου το 98% του συνόλου της εγκατεστημένης ισχύος ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οριζοντίου άξονα τύπου «έλικας», οι οποίες αποτελούνται συνήθως από δύο ή τρία πτερύγια, με βασικό χαρακτηριστικό τον σχετικά υψηλό αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης (C_p). Οι μηχανές κατακορύφου άξονα είναι πιο απλές κατασκευές που περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο στο έδαφος, αλλά και στη διεύθυνση του ανέμου, με δυνατότητα αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου. Το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακορύφου άξονα απ' ευθείας στο έδαφος, όπου βρίσκεται τοποθετημένη και η γεννήτρια, με αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους της υπερκείμενης κατασκευής και τη διευκόλυνση της συντήρησης.

Οι δύο βασικές κατηγορίες Α/Γ κατακόρυφου άξονα είναι οι Α/Γ Savonius και οι Α/Γ Darrieus (Σχήμα 6.2.1).Το μεγάλο μειονέκτημα των μηχανών κατακορύφου άξονα τύπου Darrieus είναι ότι απαιτείται εξωτερική βοήθεια (ηλεκτρική ισχύς) κατά την εκκίνησή τους, λόγω της χαμηλής αρχικής ροπής εκκίνησης. Ο συνδυασμός των δύο Α/Γ Savonius και Darrieus, έχει επιλύσει το τεχνολογικό αυτό πρόβλημα [1]. Οι μικρές Α/Γ κατακορύφου άξονα έχουν μικρότερες διαστάσεις πτερωτής και θεωρείται ως καλύτερη επιλογή για εφαρμογές σε κτίρια και γενικά σε αστικό περιβάλλον.

6.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών

Οι Α/Γ ανάλογα με την ονομαστική τους ισχύ και κατά συνέπεια το μέγεθός τους διακρίνονται σε:

- μίκρο (micro) Α/Γ με ισχύ έως 1kW,
- μικρές Α/Γ με ισχύ από 1÷10kW,
- μικρές/μεσαίες Α/Γ 10÷100kW,
- μεσαίες Α/Γ 100÷500kW και
- μεγάλες Α/Γ με ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη από 500kW.
- Το διεθνές πρότυπο IEC 61400-2 [2] ορίζει ως μικρές τις Α/Γ, αυτές που έχουν επιφάνεια σάρωσης δρομέα μικρότερη από 200 m^2, το οποίο αντιστοιχεί σε ισχύ περί τα 50 kW. Οι Α/Γ έως και 10kW είναι κατάλληλες για την κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών στον κτιριακό τομέα, καθώς μπορούν υπό προϋποθέσεις να εγκατασταθούν και σε αστικές περιοχές.



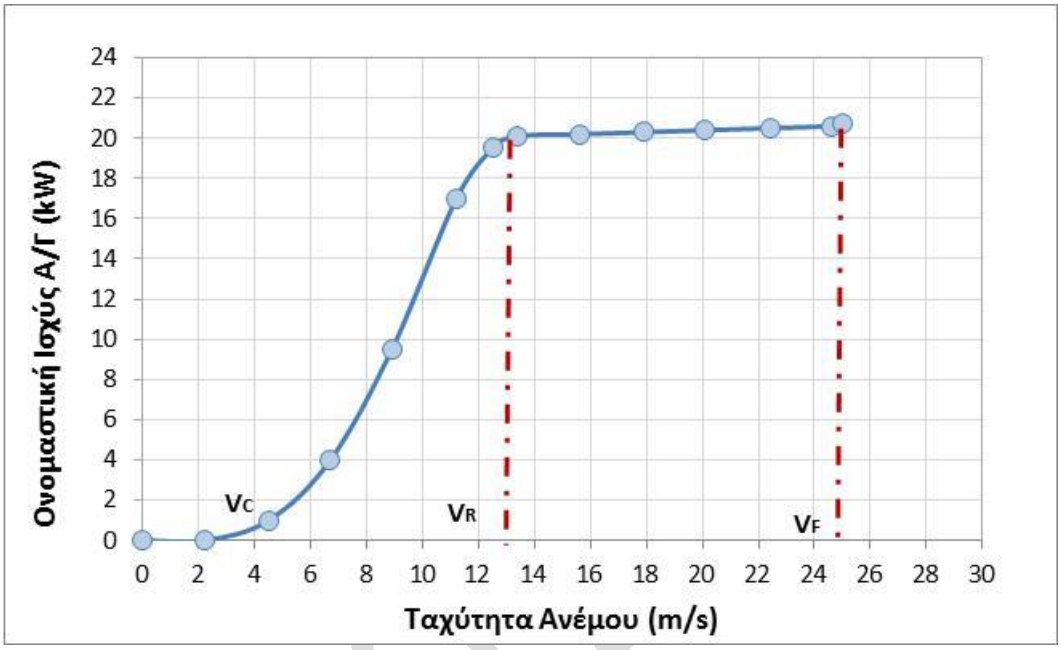
Σχήμα 6.2.1: Σχηματική απεικόνιση μεγάλης και μικρής Α/Γ οριζοντίου (αρ.), και κατακορύφου άξονα (δεξ.). [1,7,8]

Η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από μια Α/Γ περιγράφεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της, η οποία απεικονίζει τη διακύμανση της παραγόμενης ισχύος της Α/Γ σε συνάρτηση με την

ΕΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

ταχύτητα του ανέμου (Σχήμα 6.2.2). Η ονομαστική ισχύς (kW) είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παράγει μια Α/Γ και η μικρότερη ταχύτητα ανέμου (m/s) στην οποία επιτυγχάνεται αυτή η ισχύς, ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα ανέμου (V_R). [1, 7, 8]

Η λειτουργία μιας Α/Γ και κατά συνέπεια και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκινάει συνήθως σε ταχύτητα ανέμου από 2 έως 5 m/s και η οποία ονομάζεται ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (V_C). Για λόγους ασφαλείας η λειτουργία της Α/Γ διακόπτεται όταν η ταχύτητα ανέμου υπερβεί τα 20 έως 25 m/s και η ταχύτητα αυτή ονομάζεται ταχύτητα διακοπής λειτουργίας (V_F). Η μέγιστη ενεργειακή παραγωγή μιας Α/Γ επιτυγχάνεται σε ονομαστικές ταχύτητες ανέμου (V_R) μεταξύ 10 και 15 m/s. [1, 7, 8]



Σχήμα 6.2.2: Καμπύλη λειτουργίας μικρής Α/Γ ονομαστικής ισχύος P_{wt}=20 kW.

Το ποσοστό της ενέργειας του ανέμου που μπορεί να αξιοποιηθεί από μια Α/Γ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τη γεωμετρία και τον τρόπο λειτουργίας της. Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο (στρεπτική ροπή) στον άξονα της πτερωτής και στη συνέχεια μέσω της γεννήτριας μετασχηματίζεται σε ηλεκτρική ισχύ, ανάλογα με την ένταση του ανέμου. Η ηλεκτρική ισχύς (P_{wt}) που παράγει η Α/Γ για δεδομένη ταχύτητα και πυκνότητα ανέμου, υπολογίζεται με χρήση της επόμενης σχέσης [7]:

$$P_{wt} = C_p \cdot \eta \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3\right) \qquad \textit{(εξ. 6.2.1)}$$

όπου P_{wt} [kW]: η παραγόμενη τελική ηλεκτρική ισχύς,

C_p [%]: ο αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης (ή συντελεστής ισχύος) της πτερωτής (βλ. *(εξ. 6.2.2)*),

η [%]: ο ηλεκτρομηχανολογικός βαθμός απόδοσης της Α/Γ, ο οποίος στις μικρές Α/Γ κυμαίνεται μεταξύ 80÷95%. Ο βαθμός απόδοσης μειώνεται με τα χρόνια λόγω γήρανσης και φθορών στις Α/Γ. Οι Α/Γ μεγάλης ισχύος εμφανίζουν μεγαλύτερο ηλεκτρομηχανολογικό βαθμό απόδοσης που φτάνει μέχρι και το 95%,

ρ [kg/m^3]:η πυκνότητα του αέρα. Οι καμπύλες λειτουργίας των Α/Γ που δίνουν οι κατάσκευαστές αναφέρονται συνήθως σε πυκνότητα αέρα 1,225 kg/m^3, η οποία αντιστοιχεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 15˚C. Ωστόσο, η πυκνότητα του αέρα παρουσιάζει μικρές μεταβολές ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που

επικρατούν (ατμοσφαιρική πίεση, σχετική υγρασία και θερμοκρασία περιβάλλοντος) και ανάλογα με το υψόμετρο εγκατάστασης της Α/Γ,

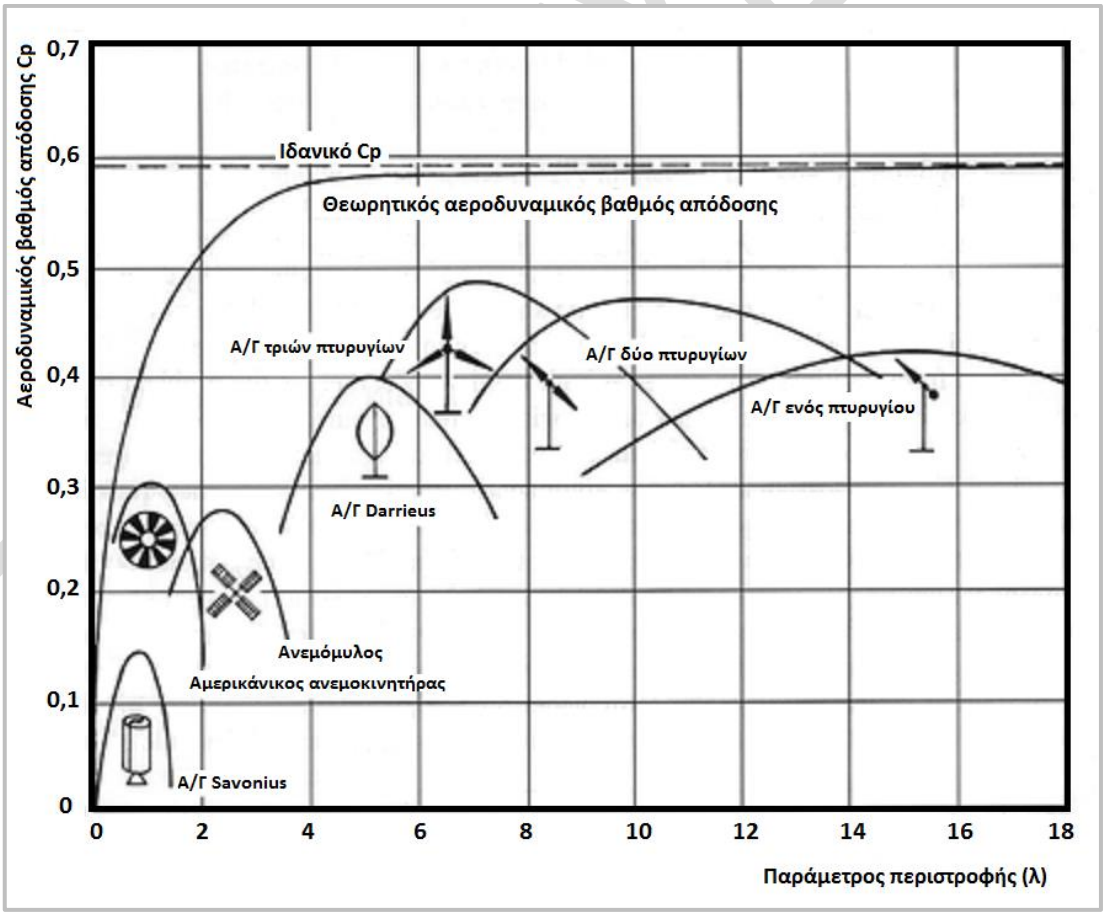
A [m^2]: η επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής: $A = \pi \cdot D^2/4$, όπου D, είναι η διάμετρος της πτερωτής. Η παραγωγή ενέργειας αυξάνεται εκθετικά με το τετράγωνο της διαμέτρου μιας Α/Γ,

V [m/s]: η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πτερωτής. Η ταχύτητα του ανέμου εξαρτάται από το ύψος τοποθέτησης της Α/Γ και από την ποιότητα του αιολικού δυναμικού της περιοχής.

Ο αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης (ή συντελεστής ισχύος) C_p, της πτερωτής εξαρτάται από τον τύπο και την ισχύ της Α/Γ, ενώ μεταβάλλεται από την ταχύτητα του ανέμου. Για μικρές Α/Γ οριζοντίου άξονα η μέγιστη τιμή του αεροδυναμικού βαθμού απόδοσης κυμαίνεται από 10%÷35% και επιτυγχάνεται σε ταχύτητες ανέμου μεταξύ 10÷15 m/s. Το C_p εξαρτάται από τον σχεδιασμό της πτερωτής της Α/Γ και εκφράζεται σε συνάρτηση της παραμέτρου περιστροφής (λ) της πτερωτής, ως εξής:

$$C_p = C_p(\lambda) \quad \text{και} \quad \lambda = \frac{\pi \cdot D \cdot n_r}{60 \cdot V} \qquad \textit{(εξ. 6.2.2)}$$

όπου n_r [-]: ο αριθμός στροφών του άξονα της πτερωτής. Στο Σχήμα 6.2.3 δίνονται ενδεικτικές τιμές του αεροδυναμικού βαθμού απόδοσης (C_p) για διάφορους τύπου Α/Γ.



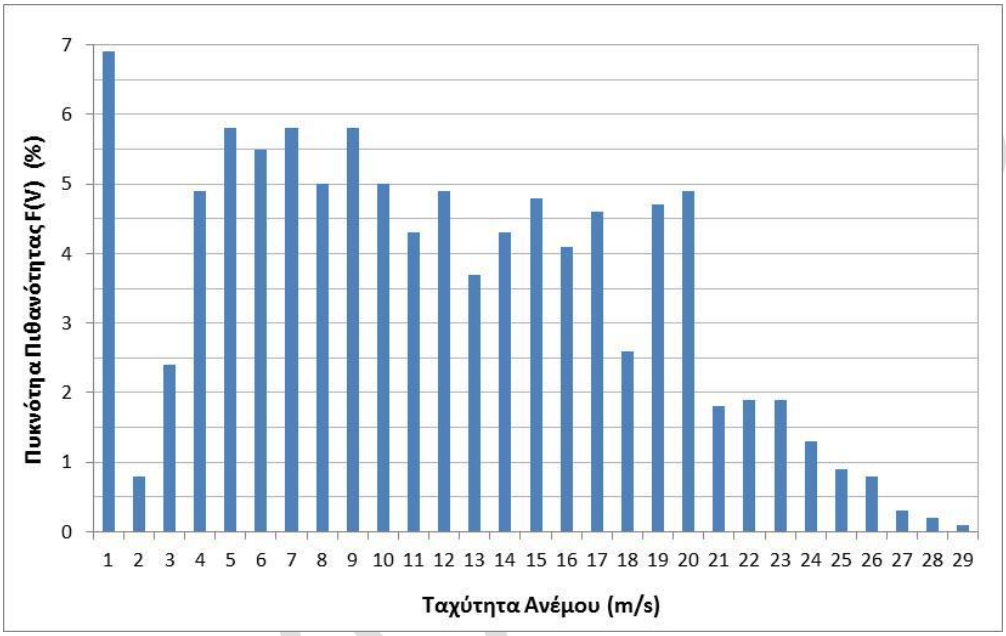
Σχήμα 6.2.3: Αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης (C_p) για τους διάφορους τύπους Α/Γ

Οι Α/Γ πρέπει να διαθέτουν πιστοποίηση τύπου και πιστοποίηση ποιότητας ισχύος. Με την πιστοποίηση τύπου ελέγχεται η ισχύς μιας Α/Γ, το επίπεδο θορύβου, η ασφάλεια, η αντοχή και η αξιοπιστία της Α/Γ, σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 61400-1 [3], IEC 61400-2 [2] και IEC 61400-11 [4]. Αντίστοιχα, με την πιστοποίηση ποιότητας ισχύος διασφαλίζεται ότι η ενέργεια που εγχέεται στο Δίκτυο έχει τα κατάλληλα

τεχνικά χαρακτηριστικά ποιότητας, έτσι ώστε να μην προκαλεί διαταραχές στην τάση του Δικτύου, σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 61000-3 [5] και IEC 61400-21 [6].

6.3. Διαστασιολόγηση ανεμογεννητριών αστικού περιβάλλοντος

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή μιας Α/Γ, για χρονικό διάστημα (Δt), υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το αιολικό δυναμικό της υπό μελέτη περιοχής εγκατάστασης και τη χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας $P_{wt}(V)$ ή αλλιώς καμπύλη ισχύος που δίνει ο κατασκευαστής. Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής περιγράφεται από την καμπύλη πυκνότητας πιθανότητας F(V) εμφάνισης της ταχύτητας του ανέμου, για μια δεδομένη χρονική περίοδο (Σχήμα 6.3.1).



Σχήμα 6.3.1: Καμπύλη Πυκνότητας Πιθανότητας f(V) ταχύτητας ανέμου [4]

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια Ε(Δt) από την Α/Γ για δεδομένη χρονική περίοδο (Δt) υπολογίζεται από την επόμενη σχέση:

$$E(\Delta t) = P_{wt} \cdot \omega \cdot \Delta \cdot \Delta t \qquad (εξ.\ 6.3.1)$$

όπου E [kWh]: η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την Α/Γ,

P_{wt} [kW]: η ονομαστική ηλεκτρική ισχύς της Α/Γ,

Δt [h]: το χρονικό διάστημα υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας,

Δ [-]: ο μέσος συντελεστής τεχνικής διαθεσιμότητας της εγκατάστασης για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (βλ.παρακάτω)

ω []: ο μέσος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης (βλ. *(εξ. 6.3.2)*)

Η τεχνική διαθεσιμότητα δεν συνδέεται άμεσα με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό της περιοχής, αλλά οι ισχυροί άνεμοι και οι ριπές αυξάνουν την πιθανότητα βλάβης και κυρίως την καθυστέρηση της αποκατάστασης πιθανών βλαβών. Η διαθεσιμότητα εξαρτάται από το χρόνο αποκατάσταση των βλαβών, την προγραμματισμένη ή έκτατη συντήρηση, τη διακοπή λειτουργίας από τους μηχανισμούς αυτοπροστασίας, καθώς και την αδυναμία του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου να απορροφήσει την παραγόμενη ενέργεια από την Α/Γ. Για Α/Γ μικρής ισχύος ο συντελεστής τεχνικής διαθεσιμότητας εμφανίζει τιμές χαμηλότερες του 90%, με περαιτέρω σταδιακή μείωση με το χρόνο λειτουργίας της μηχανής.

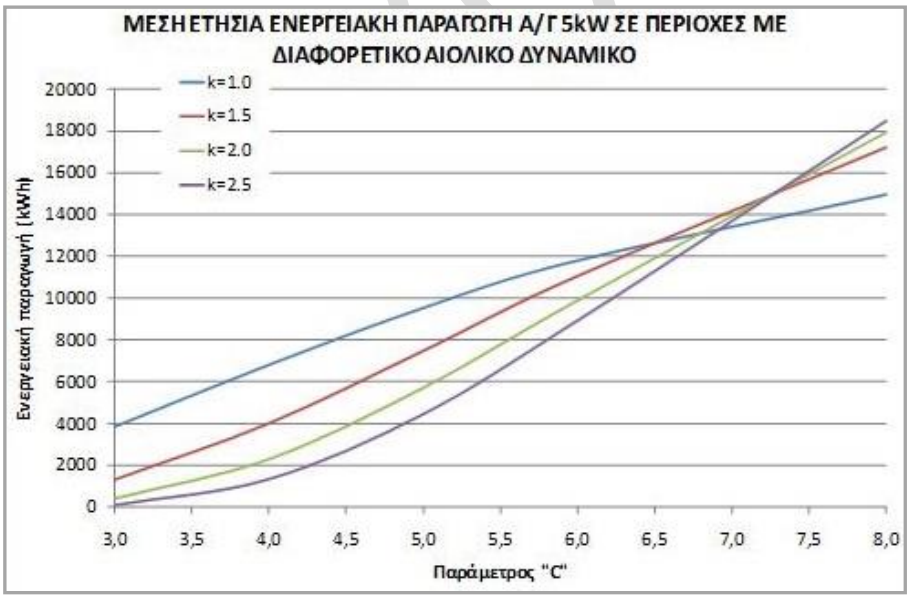
Ο μέσος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης ω υπολογίζεται αναλυτικά συναρτήσει της καμπύλης πυκνότητας πιθανότητας του ανέμου f(V) και της χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας $P_{wt}(V)$ της Α/Γ, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\omega = \int_{V_C}^{V_F} \frac{P_{wt}(V)}{P_{wt}} f(V) \cdot dV \qquad (εξ.\ 6.3.2)$$

Ο μέσος συντελεστής ισχύος (ω) λαμβάνει συνήθως τιμές μεταξύ 0,2 και 0,6 ανάλογα με την ποιότητα του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού, όπου στις αστικές περιοχές οι τιμές του είναι συνήθως πολύ χαμηλές. Ο μέσος συντελεστής ισχύος είναι μια βασική παράμετρος για την εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας μιας εγκατάστασης Α/Γ. Η μεγιστοποίηση της τιμής του συντελεστή ισχύος (ω) επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή Α/Γ για το αιολικό δυναμικό της υπό μελέτη περιοχής.

Για τη διαστασιολόγηση μιας Α/Γ επιλέγεται μια ενδεικτική τιμή του μέσου συντελεστή ισχύος (ω) και της διαθεσιμότητας (Δ), και προσδιορίζεται η περιοχή της ελάχιστης και μέγιστης ισχύος λειτουργίας της Α/Γ, ανάλογα το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής και τις ενεργειακές απαιτήσεις (Ε) τους κτιρίου. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. συστοιχία συσσωρευτών) θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο ενεργειακό φορτίο και οι απώλειες αποθήκευσης, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να αυξήσουν την ετήσια ενεργειακή ζήτηση έως και 15% [10]. Μια πρώτη προσέγγιση της εκτίμησης της παραγόμενης ενέργειας από μια Α/Γ, με ονομαστική ισχύ (P_{wt}), είναι μέσω της θεώρησης ότι η μηχανή παράγει συνεχή ισχύ και ίση με το γινόμενο ($\omega \cdot P_{wt}$). Βασική επιδίωξη είναι η επιλογή μιας Α/Γ, η οποία με δεδομένο το διαθέσιμο τοπικό αιολικό δυναμικό μεγιστοποιεί την ετήσια παραγωγή ενέργειας [7].

Οι κατασκευαστές παρέχουν ενδεικτικές καμπύλες (Σχήμα 6.3.2) για την εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής μιας Α/Γ, δεδομένης της ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με το αιολικό δυναμικό της περιοχής όπως περιγράφεται από τις παραμέτρους (k) και (C) της κατανομής Weibull (Σχήμα 2.3.5 και Σχήμα 2.3.6), αλλά και του ύψους τοποθέτησης της Α/Γ. Θεωρώντας μια απλοποιημένη μορφή καμπύλης λειτουργίας της Α/Γ, μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά η μέση ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή της, ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος (kW) σε περιοχές με διαφορετικές μέσες ετήσιες ταχύτητες του ανέμου [7,8,11,12].

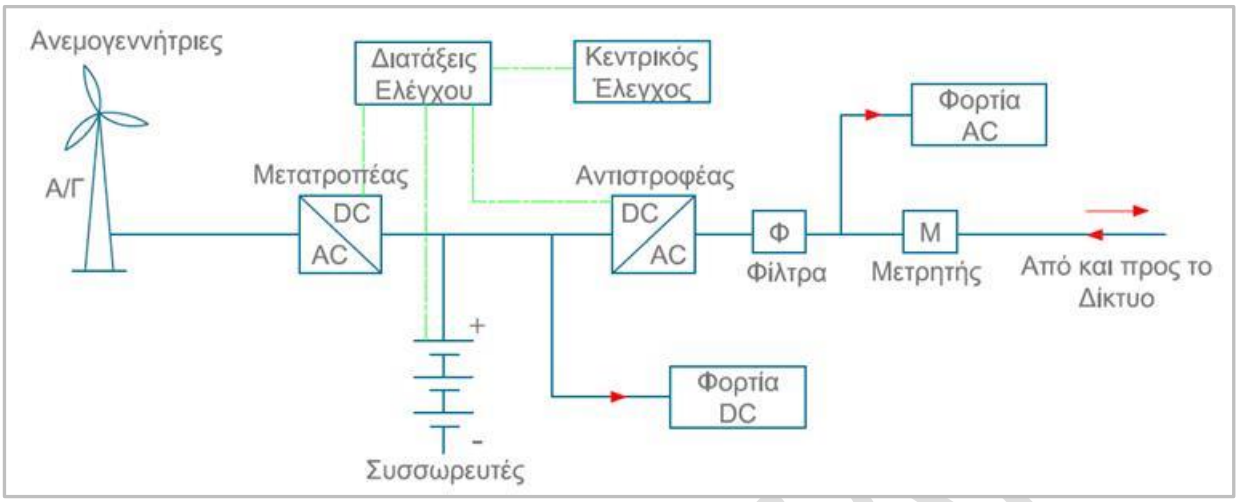


Σχήμα 6.3.2: Αναμενόμενη ετήσια ενεργειακή παραγωγή Α/Γ 5kW εγκατεστημένη σε περιοχές με διαφορετικό αιολικό δυναμικό [7,8,11,12]

Για τη μελέτη της οικονομοτεχνικής βιωσιμότητα μιας εγκατάστασης Α/Γ λαμβάνονται υπόψη όλες οι σχετικές παράμετροι, όπως οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, η εκτίμηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού στην περιοχή, οι διαθέσιμες τεχνολογίες Α/Γ μικρής ισχύος, το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και λειτουργίας, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα και την αξιοπιστία της εγκατάστασης σε χρονικό ορίζοντα τουλάχιστον 15-20 ετών με τις ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης.

6.3.1. Σύστημα αποθήκευσης

Για την επιλογή των συσσωρευτών μιας εγκατάστασης Α/Γ ισχύουν όσα αναφέρονται στην ενότητα 4.3 και για τις αυτόνομες Φ/Β εγκαταστάσεις. Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται κυρίως από το ηλεκτρικό φορτίο του κτιρίου και τις μέρες νηνεμίας στην περιοχή.



Σχήμα 6.3.3: Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης Α/Γ

6.4. Τεχνικές προϋποθέσεις εγκατάστασης και διασύνδεσης με το Δίκτυο

Για την επιλογή και εγκατάσταση μικρών Α/Γ εντός ή πλησίον κατοικημένων περιοχών, με σκοπό την κάλυψη μέρους ή του συνόλου των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου, με την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής είναι σκόπιμο να ληφθούν υπόψιν τα ακόλουθα:

- Η ένταση του ανέμου εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις, ειδικότερα εντός οικιστικού ιστού ή πλησίον απομονωμένων κτιρίων, με αποτέλεσμα η απαιτούμενη αιολική ενέργεια να μην είναι συνεχώς διαθέσιμη, πολλές φορές για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτό, στην περίπτωση κτιρίου χωρίς διασύνδεσης με το δίκτυο, και προκειμένου για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (ενεργειακή αυτονομία), απαιτείται είτε η ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης (συσσωρευτές), είτε η χρήση παράλληλων ή/και εφεδρικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής (Φ/Β, Η/Ζ, κ.λπ.).
- Η παρουσία κτισμάτων και άλλων υποδομών αλλοιώνει σημαντικά το πεδίο ροής του ανέμου στην περιοχή της Α/Γ, αυξάνοντας κατά κανόνα και το επίπεδο τύρβης, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή παραγωγή της μικρής Α/Γ, μειώνοντας ταυτόχρονα και τον ωφέλιμο χρόνο ζωής της. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ο κατάλληλος και επαρκής χώρος εγκατάστασης της Α/Γ, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλότητα του πεδίου ροής του ανέμου.
- Σημαντικούς περιορισμούς είναι πιθανόν να προκαλούν υφιστάμενες πολεοδομικές διατάξεις, οι οποίες και θα πρέπει να εξετασθούν κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης.
- Οι κανόνες ασφαλούς λειτουργίας της Α/Γ σε οικιστικές περιοχές θα πρέπει να είναι πιο αυστηροί, καθώς πρόκειται για την προστασία ανθρώπων και ζώων στην ευρύτερη περιοχή. Για την ασφάλεια λειτουργία των Α/Γ, θα πρέπει πάντα να εξετάζεται η σωστή και ασφαλής στήριξης της Α/Γ (στατική επάρκεια). Επίσης, ένας βασικός κανόνας ασφαλούς λειτουργίας Α/Γ είναι η πρόληψη για την αποφυγήν οποιαδήποτε τυχαίας προσέγγισης των ανθρώπων ή των ζώων με την πτερωτή της Α/Γ, διατηρώντας συγκεκριμένη απόσταση του κατώτατου σημείου διέλευσης των πτερυγίων από το έδαφος ή από την οροφή κτιρίων. Για την εγκατάσταση Α/Γ θα πρέπει να τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που ορίζονται στο άρθρο 4 της υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74462/2976 (ΦΕΚ 3150 Β' 2020) υπουργικής απόφασης [14]. Συγκεκριμένα:

α) Η απόσταση του πλησιέστερου κινητού σημείου της Α/Γ από το έδαφος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον πέντε (5) μέτρα, ενώ από κτίσμα εντός της ιδιοκτησίας τουλάχιστον το μήκος του πτερυγίου και πάντως όχι μικρότερη από τρία (3) μέτρα.

β) Θα πρέπει να τηρείται οριζόντια απόσταση τουλάχιστον ίση με το μέγιστο ύψος της Α/Γ, προσαυξημένο κατά 5%, από εναέρια δίκτυα (διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τηλεπικοινωνιών, φωτισμού), από εγκαταστάσεις δημόσιας χρήσης (σιδηροδρομικούς σταθμούς, σταθμούς και στάσεις λεωφορείων), από οδικούς άξονες και από τα όρια όμορου ακινήτου, με την επιφύλαξη της έγγραφης συναίνεσης από τον κύριο του όμορου ακινήτου.

γ) Σε περίπτωση που εγκαθίστανται περισσότερες από μία Α/Γ οριζοντίου άξονα, απαιτείται η μεταξύ τους απόσταση να είναι τουλάχιστον ίση με τη διάμετρο (D) της φτερωτής επί 2,5 φορές (2,5 x D).

- Η παρουσία Α/Γ πλησίον κατοικημένων περιοχών είναι αρκετά πιθανόν να ενισχύει το επίπεδο θορύβου της περιοχής. Για το λόγο αυτό, κατά για την εγκατάσταση Α/Γ πρέπει να εξασφαλίζεται επίπεδο θορύβου μικρότερο από 45 db(A) στο εγγύτερο της Α/Γ σημείο νομίμως υφιστάμενης κατοικίας. Το επίπεδο θορύβου τεκμηριώνεται με το διάγραμμα απόστασης-θορύβου, το οποίο περιλαμβάνεται στα δικαιολογητικά πιστοποίησης (εξέτασης) τύπου κάθε Α/Γ, όπως ορίζεται στην παράγραφο 4β, του άρθρου 4, της υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74462/2976 (ΦΕΚ 3150 Β΄ 2020) υπουργικής απόφασης [14]. Σήμερα υπάρχουν διαθέσιμες αποδοτικές τεχνικές περιορισμού του μηχανικού θορύβου. Ο αεροδυναμικός θόρυβος εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα του ανέμου όσο και από την ταχύτητα περιστροφής της πτερωτής της Α/Γ [13]. Ο θόρυβος ενδεχομένως να μην είναι σημαντικό πρόβλημα για απομακρυσμένες αγροικίες ή για θορυβώδεις αστικές περιοχές, ωστόσο είναι πιθανόν να απαιτείται η αναστολή της λειτουργία της Α/Γ τις ώρες κοινής ησυχίας, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της αποδιδόμενης ισχύος.
- Η λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας κατά τη διάρκεια της ημέρας ενδέχεται να δημιουργεί σκιάσεις σε παρακείμενες κατοικίες. Για το λόγο αυτό η θέση της Α/Γ θα πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να μη δημιουργείται σκίαση (shadow flicker) σε μεμονωμένη νομίμως υφιστάμενη κατοικία, μεγαλύτερης διάρκειας από 30 ώρες ετησίως και 30 λεπτών ημερησίως, σύμφωνα με την παράγραφο 4α, του άρθρου 4, της υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74462/2976 (ΦΕΚ 3150 Β΄ 2020) υπουργικής απόφασης [14].
- Το κόστος των μικρών Α/Γ είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με άλλες σύγχρονες μηχανές, και αυξάνεται όσο μικρότερη είναι η ονομαστική ισχύς μιας Α/Γ.
- Η επιλογή Α/Γ θα πρέπει να εξασφαλίζει αξιοπιστία σε βάθος χρόνου, όσον αφορά θέματα ανταλλακτικών και συντήρησης, καθώς και την κατάλληλη πιστοποίηση τύπου (συμμόρφωση με τα πρότυπα IEC 61400-1 [3], 61400-2 [2] και 61400-11 [4]), όπως ήδη αναφέρθηκε. Οι Α/Γ που χωροθετούνται σε γήπεδα εκτός εγκεκριμένων σχεδίων πόλεων, εκτός ορίων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο των 2000 κατοίκων ή οικισμών προ του 1923, και οι οποίες δε συνδέονται με το δίκτυο διανομής, έχουν ισχύ έως 3 kW και εγκαθίστανται σε απόσταση μεγαλύτερη των 20 μέτρων ή του τετραπλασίου της διαμέτρου της φτερωτής τους από τα όρια γηπέδου, δεν είναι υποχρεωτικό να συμμορφώνονται με τα ανωτέρω πρότυπα πιστοποίησης τύπου, αλά απαιτείται να φέρουν σήμανση CE, σύμφωνα με την παράγραφο 5, του άρθρου 5, της υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74462/2976 (ΦΕΚ 3150 Β' 2020) υπουργικής απόφασης [14].

6.4.1. Διασύνδεση με το Δίκτυο των σταθμών παραγωγής με ενεργειακό ή εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό

Για τη διασύνδεση σταθμού ανεμογεννήτριας (ων) με το Δίκτυο ισχύουν τα αναφερόμενα στην ενότητα 4.5.2.1 ενώ όταν ο σταθμός συνδυάζεται με σύστημα αποθήκευσης ισχύουν τα αναφερόμενα στην ενότητα 4.5.3.1. Επιπλέον για την απόζευξη των Α/Γ σε μη κανονικές συνθήκες του Δικτύου εφαρμόζονται τα είδη προστασίας που αναφέρονται στην ενότητα 4.5.2.2. Όσον αφορά τους μετατροπείς ισχύος των Α/Γ, εκτός των απαιτήσεων (α) έως και (ζ) της ενότητα 4.5.3.2, θα πρέπει επιπλέον να πληρούνται τα ακόλουθα:

- Οι εκπομπές αρμονικών ρευμάτων Α/Γ με ονομαστικό ρεύμα έως και 16 Α/ φάση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια που τίθενται στο πρότυπο IEC 61000-3-2 [17]ενώ σε Α/Γ με ονομαστικό ρεύμα μεγαλύτερο από 16 Α/φάση και έως 75 Α/φάση θα πρέπει να τηρούνται τα όρια αρμονικών κατά IEC 61000-3-12 [18].

- Οι Α/Γ θα πρέπει να είναι συμβατές με το πρότυπο IEC 61000-3-3 [19] ή το IEC 61000-3-11 [20]. Με τα πρότυπα αυτά τίθενται όρια ως προς τις γρήγορες μεταβολές της τάσης (βυθίσεις) κατά τη ζεύξη/απόζευξη και ως προς τις εκπομπές flicker κατά την κανονική λειτουργία μιας Α/Γ.

6.5. Συντήρηση ανεμογεννητριών

Με τη σωστή εγκατάσταση και τακτική συντήρηση μιας μικρής Α/Γ, ο ωφέλιμος χρόνος ζωής της μπορεί φτάσει ή και να υπερβεί και τα 20 χρόνια. Το πρόγραμμα συντήρησης καθορίζεται από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή ή από τον εγκαταστάτη της Α/Γ που περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις απαιτήσεις συντήρησης και τις συστάσεις για αντικατάσταση ανταλλακτικών, προσαρμοσμένο στις τεχνικές απαιτήσεις και τις συνθήκες λειτουργίας της Α/Γ. Το πρόγραμμα θα πρέπει να ακολουθείται προκειμένου να διασφαλίζεται η ορθή και ασφαλής λειτουργία της Α/Γ. Η συντήρηση της Α/Γ μεταξύ άλλων μπορεί να περιλαμβάνει:

- Επιθεώρηση όλων των ηλεκτρικών εξαρτημάτων και καλωδίων. Στον έλεγχο αυτό περιλαμβάνονται όλα τα εξαρτήματα, από τους αυτόματους διακόπτες έως τον μετατροπέα, τη γείωση, τη σύσφιξη συνδέσμων, τη διάβρωση ή τη διεξαγωγή των ηλεκτρικών δοκιμών που συστήνονται από τον κατασκευαστή της Α/Γ. Εάν υπάρχουν συσσωρευτές (μπαταρίες) πρέπει να ελέγχονται για τυχόν διαρροές ή φθορές. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο και σύσφιξη των ηλεκτρικών συνδέσεων.
- Έλεγχο και συντήρηση του πύργου στήριξης. Οι απαιτήσεις ελέγχου και συντήρησης του πύργου ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του. Σε γενικές γραμμές, θα πρέπει να επιθεωρείται η θεμελίωση για να διασφαλίζεται ότι ο πύργος είναι ευθύς και κατακόρυφος. Θα πρέπει επίσης να γίνεται έλεγχος για τυχόν διαβρώσεις (σκουριά), φθορές/ρωγμές στις συγκολλήσεις και στα τμήματα της βάσης του πύργου. Σε περίπτωση στήριξης με συρματόσχοινα, απαιτείται να γίνεται έλεγχος χαλαρότητας και φθοράς. Η διάβρωση (που συχνά εμφανίζεται με οξείδωση των μεταλλικών στοιχείων, σκουριά), η ασυνήθιστη κίνηση του πύργου και η φθορά στα σημεία σύνδεσης είναι ζητήματα που θα πρέπει να αντιμετωπίζονται κατά τη διαδικασία συντήρησης. Θα πρέπει επίσης να γίνεται έλεγχος των φρένων και της γείωσης του πύργου.
- Έλεγχο σύσφιξης κοχλιών και περικοχλίων της Α/Γ. Επιθεώρηση όλων των κινούμενων τμημάτων και σημείων σύνδεσης της Α/Γ. Χαλαροί σύνδεσμοι, ύπαρξη σκουριάς, παρουσία λιπαντικών (γράσο ή διαρροές λαδιού) σε σημεία που δεν αναμένονται και τυχόν ρινίσματα, είναι ενδείξεις φθοράς που πρέπει να αντιμετωπίζονται. Θα πρέπει να επιθεωρούνται και να ελέγχονται επίσης οι σύνδεσμοι των πτερυγίων και τα εξαρτήματα που σχετίζονται με τον αεροδυναμικό έλεγχο της πτερωτής.
- Έλεγχο τυχόν φθοράς ή/και αποκατάσταση των πτερυγίων. Τα πτερύγια της πτερωτής θα πρέπει να ελέγχονται για ρωγμές, εγκοπές, κοιλώματα και ζημιές που αλλοιώνουν τον αεροδυναμικό σχεδιασμό του πτερυγίου. Συνήθως, εφαρμόζεται αντικατάσταση των πτερυγίων ή/και των εδράνων (ρουλεμάν) της Α/Γ μετά από 10 χρόνια, εφόσον απαιτείται.

6.6. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Μπεργελές Γ., 1994, «Ανεμοκινητήρες», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
2. IEC 61400-2: 2013. Wind turbines - Part 2: Small wind turbines.
3. IEC 61400-1: 2019. Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements.
4. IEC 61400-11: 2012. Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques.
5. IEC 61000-3:2019. Wind energy generation systems - Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines.
6. IEC 61400-21-1:2019 Wind energy generation systems - Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics - Wind turbines.
7. Μιχάλης Γ. Βραχόπουλος, Αθηνά Γ. Γαγλία, Κοσμάς Α. Καββαδίας, Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κωνσταντίνος Α. Μπαλαράς. Θεματική Ενότητα ΔΕ4: «Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας». Εκπαιδευτικό υλικό για την κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών Κτιρίων.,Τ.Ε.Ε. Αθήνα 2011.

8. Καλδέλλης Ι.Κ., «Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας», 2η Έκδοση, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, 2005.
9. Χαραλαμπόπουλος Ν.Γ., Σταμούλος Θ., Γαγλία Γ.Α., Μελέτη Εγκατάστασης Α/Γ. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά. Αθήνα 1988.
10. Kaldellis J.K., Zafirakis D., Kavadias K., 2009, "Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13(2), pp.378-392.
11. Καλδέλλης Ι.Κ., Καββαδίας Κ.Α., «Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας», Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, 2001.
12. Καλδέλλης Ι.Κ., Καββαδίας Κ.Α., «Υπολογιστικές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας (Αιολική Ενέργεια – Μικρά Υδροηλεκτρικά)», Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, 2005.
13. Kaldellis J.K., Garakis K., Kapsali M., 2012, «Noise Impact Assessment on the Basis of Onsite Acoustic Noise Emission Measurements for a Representative Wind Farm», Renewable Energy, Vol.41, pp.306-314.
14. Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΑ.Π.Ε. ΕΚ/74462/2976 (ΦΕΚ 3150 Β' 2020) «Καθορισμός της αδειοδοτικής διαδικασίας για την εγκατάσταση και τη σύνδεση με το δίκτυο διανομής σταθμών μικρών ανεμογεννητριών εγκατεστημένης ισχύος μικρότερης ή ίσης των 60 kW, καθώς και κάθε άλλης αναγκαίας λεπτομέρειας, με βάση την παρ. 1 του άρθρου 4 του ν. 4203/2013 (Α' 235) όπως τροποποιήθηκε με την παρ. 2 του άρθρου 50 του ν. 4546/2018 (Α' 101) και ισχύει».
15. "Energy Saver: Installing and Maintaining a Small Wind Electric System", U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/energysaver/installing-and-maintaining-small-wind-electric-system
16. Project: Exploring Energy Efficiency and Alternatives (E3A) – Small Wind. Montana State University and University of Wyoming Extension, 2021, https://www.e3a4u.info/energy-technologies/small-wind/overview/
17. IEC 61000-3-2: 2018. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase)
18. IEC 61000-3-12:2011. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and ≤ 75 A per phase.
19. IEC 61000-3-3: 2013. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤16 A per phase and not subject to conditional connection.
20. IEC 61000-3-11: 2017 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-11: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems - Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection.

ΤΕΙΚΟ ΧΑΛΚΙΔΑΣ

7. Συστήματα βιομάζας

7.1. Γενικά στοιχεία

Η βιομάζα προέρχεται από την εκμετάλλευση (αξιοποίηση) φυτικών, ζωικών και δασικών προϊόντων και υπολειμμάτων, αστικών λυμάτων και απορριμμάτων για την παραγωγή ενέργειας. Θεωρείται ως ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και για το λόγω αυτό συγκαταλέγεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ειδικότερα η βιομάζα προέρχεται από: [1,2,3]

- προϊόντα, υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, καθώς και υποπροϊόντα από την επεξεργασία των υλικών αυτών,
- αστικά λύματα και απορρίμματα (υγρά και στερεά οργανικά απόβλητα),
- φυσικές ύλες που προέρχονται από φυσικά ή τεχνητά οικοσυστήματα (δάση, φυτά).

7.2. Καύση και τεχνικές προδιαγραφές βιομάζας

Η άμεση καύση είναι ο πιο παλιός και κοινός τρόπος αξιοποίησης της βιομάζας για την παραγωγή θερμικής (ή και ηλεκτρικής) ενέργειας, κατά την οποία χρησιμοποιούνται καυσόξυλα και γεωργικά υποπροϊόντα (άχυρο, καλάμια, κότσαλα, κλαδοδέματα και υπολείμματα ξύλου) με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό (<15%). Η θερμαντική αξία ή αλλιώς θερμογόνος δύναμη (Πίνακας 7.2.1) των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων εξαρτάται από την περιεκτικότητα τους σε υγρασία και επηρεάζεται από τον τρόπο καύσης τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα της δασικής και γεωργικής βιομάζας σε υγρασία, τόσο χαμηλότερη είναι η θερμογόνος δύναμη, η οποία δίνεται συνήθως για υγρασία 10% έως 15%. [1,2,3,4]

Πίνακας 7.2.1: Θερμαντική αξία (θερμογόνος δύναμη) βιομάζας [2,3,4,5]

Χαρακτηριστικά	Θερμαντική αξία [MJ/kg]	Θερμαντική αξία [kWh/kg]
Αγριαγκινάρα	14,5	4,03
Ευκάλυπτος	19,0	5,28
Καλάμι	18,6	5,17
Κλαδοδέματα ελιάς	22,0	6,11
Πεύκο	20,1	5,58
Οξιά, Δρυς	19,7	5,47
Έλατο	18,8	5,22
Σόγια	21,0	5,83
Υπολείμματα αμυγδαλιάς	18,9	5,25
Υπολείμματα βελανιδιάς	19,8	5,50
Υπολείμματα καπνού	15,3	4,25
Υπολείμματα μηλιάς	26,3	7,31

Ένα από τα πιο ενεργειακά φυτά θεωρείται η αγριαγκινάρα, καθώς είναι πολυετές (άνω των 7 ετών) και με μεγάλη απόδοση παραγωγής από 1200 έως 3000 kg/στρέμμα, ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, ποτιστική ή άνυδρη. Η καλλιέργεια αγριαγκινάρας έχει ελάχιστες απαιτήσεις σε νερό και σε λίπασμα και καθόλου ζιζανιοκτόνα, διότι το ίδιο το φυτό είναι ισχυρό ζιζάνιο (εισβολέας). Η θερμογόνος δύναμή της αγριαγκινάρας είναι περίπου 16,5 MJ/kg (4,58 kWh/kg) [3,6].

Στην αγορά διατίθεται και τυποποιημένη βιομάζα όπως είναι τα συσσωματώματα ξύλου (wood pellets), μια μορφή τυποποιημένου κυλινδρικού βιολογικού καυσίμου, που χρησιμοποιείται σε λέβητες βιομάζας για τη θέρμανση κτιρίων ή/και την παραγωγή Ζ.Ν.Χ.. Τα συσσωματώματα παρασκευάζονται με τη συμπίεση ξηρών πριονιδιών, ή/και σκόνη ξύλου, ή/και μικρών τεμαχιδίων, τα οποία προέρχονται από καθαρά υπολείμματα ξύλου (π.χ. βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου). Για την παραγωγική διαδικασία των συσσωματωμάτων δεν χρησιμοποιούνται κόλλες ή άλλα χημικά πρόσθετα, παρά μονό υψηλή συμπίεση

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

και ατμός. Σε ορισμένες διαδικασίες παραγωγής, χρησιμοποιούνται βιολογικά πρόσθετα σε μικρή περιεκτικότητα. Τα επιπλέον πρόσθετα και οι προσμίξεις στην παραγωγή συσσωματωμάτων, δημιουργούν λειτουργικά προβλήματα στο λέβητα λόγω αύξησης της εναπομένουσας στάχτης κατά την καύση. Σημαντικό είναι τα συσσωματώματα να έχουν τις κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες ώστε να μη διαλύονται κατά την καύση, αφού η σκόνη τους παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες.

Επίσης για τη θέρμανση χώρων κτιρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα θρύμματα ξύλου (wood chips), τα οποία είναι μικρά τεμάχια ξύλου μήκους 5÷50mm. Η ποιότητα των θρυμμάτων εξαρτάται από την πρώτη ύλη και τη διαδικασία παραγωγής. Οι βασικοί τύποι θρυμμάτων προέρχεται από δασικά υπολείμματα (κλαδιά, κορυφές και κορμοί δένδρων) κατάλληλα για μεγάλους λέβητες, από βιομάζα που παράγεται σε πριονιστήρια τα οποία έχουν καλύτερες ιδιότητες καύσης αλλά είναι πολύ υγρά και δεν ενδείκνυται για μικρούς λέβητες, και από αραίωμα χωρίς κλαδιά και φύλλα που περνάνε από διαδικασία ξήρανσης πριν το θρυμμάτισμα.

Τα συσσωματώματα ξύλου διαθέτουν θερμογόνο δύναμη περίπου 17MJ/kg και υγρασία 8% ενώ τα θρύμματα ξύλων διαθέτουν θερμογόνο δύναμη περίπου 13MJ/kg και υγρασία 30% (Πίνακας 7.2.2). Τα συσσωματώματα ξύλων είναι προϊόν βιομηχανίας και το κόστος του είναι πιο αυξημένο σε σχέση με τα θρύμματα ξύλων, αλλά απαιτούν μικρότερο χώρο αποθήκευσης σε σχέση με τα θρύμματα (περίπου το 1/3), έχουν καλύτερη ποιότητα καύσης λόγω ομοιομορφίας και λιγότερες απαιτήσεις κατά τη λειτουργία και συντήρηση του λέβητα. Τα θρύμματα ξηρής βιομάζας είναι προϊόν που παράγεται τοπικά σε μια περιοχή, είναι φθηνότερα, αλλά έχουν μεγάλες απαιτήσεις χώρου αποθήκευσης. Λόγω της έλλειψης ομοιομορφίας των θρυμμάτων ξύλου, η ποιότητα της καύσης είναι μειωμένη και για τη λειτουργία και συντήρηση του λέβητα απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό.

Πίνακας 7.2.2: Θερμοφυσικές ιδιότητες συσσωματωμάτων και θρυμμάτων [3,4,6,7]

Χαρακτηριστικά	Συσσωματώματα ξύλων	Θρύμματα ξηρής βιομάζας
Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	4,7	3,7
Θερμογόνος δύναμη (kWh/m^3)	3077	744
Υγρασία [%]	8%	30%
Φαινόμενη πυκνότητα [kg/m^3]	650	200
Τέφρα [%]	0,5	1

7.3. Εστίες καύσης και λέβητες βιομάζας

Η βιομάζα στο κτιριακό τομέα χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση χώρων (εστίες καύσης, κ.ά.) και για μαγείρεμα (ψησταριές, κ.λπ.). Ο πιο παραδοσιακός θέρμανσης κτιρίων από βιομάζα είναι οι ανοικτού τύπου εστίες καύσης (τζάκια, σόμπες, κ.ά.). Σήμερα οι εστίες καύσης έχουν εξελιχθεί, κοινώς ενεργειακά τζάκια που παρουσιάζουν υψηλή απόδοση και είναι η τεχνολογία που εφαρμόζεται κυρίως σε νέα κτίρια.

Οι εστίες καύσης (τζάκια ανοιχτού ή κλειστού τύπου) μπορούν να συνδεθούν και να τροφοδοτήσουν με θερμό νερό μια κεντρική εγκατάσταση θέρμανσης, με κλασικά σώματα ακτινοβολίας (καλοριφέρ - radiators). Μια εστία καύσης έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση μιας μικρής κατοικίας. Στην περίπτωση αυτή η εστία καύση (τζάκι) διαθέτει ενσωματωμένο εναλλάκτη νερού, ο οποίος τοποθετείται μετά τον χώρο καύσης πριν τον καπναγωγό της εστίας, μέσω του οποίου κυκλοφορεί το θερμό νερό που τροφοδοτεί το δίκτυο διανομής της κεντρικής εγκατάστασης θέρμανσης. Απαιτείται εγκατάσταση ανοιχτού δοχείου διαστολής. Τα ενεργειακά τζάκια μπορούν να καταναλώνουν κάθε τύπο στερεάς βιομάζας, τυποποιημένης ή μη.

Σε περιορισμένη κλίμακα και κυρίως σε αγροτικές περιοχές εφαρμόζεται η χρήση λεβήτων στερεάς βιομάζας, καθώς υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης αυτής στα κτίρια. Οι λέβητες βιομάζας καταναλώνουν κυρίως τυποποιημένη βιομάζα, δηλαδή επεξεργασμένα υποπροϊόντα ξύλου ή βιοκαυσίμων όπως είναι τα συσσωματώματα ξύλου (wood pellets) και τα θρύμματα ξύλου (wood chips). Οι σύγχρονοι λέβητες στερεάς βιομάζας έχουν θερμική ισχύ από 50÷500kW. Η θερμική απόδοση των λεβήτων τυποποιημένης βιομάζας ανέρχεται πάνω από 85%. Η αντίστοιχη θερμική απόδοση σε παραδοσιακές εστίες καύσης

ΤΕΑΙΚΟ ΧΕΛΙΟ

(τζάκια) κυμαίνεται περίπου στο 10÷25%, ενώ για τα ενεργειακά τζάκια, ανάλογα την ποιότητα κατασκευής και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, η θερμική απόδοση ανέρχεται πάνω από 50%. [3, 6, 8]

Η διαστασιολόγηση των λεβήτων βιομάζας, αλλά και των εστιών καύσης, γίνεται βάση του απαιτούμενου φορτίου που προκύπτει από τη μελέτη θέρμανσης, σύμφωνα με τη σχετική Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ. Σε μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις, όπου υπάρχει συχνή και έντονη διακύμανση του θερμικού φορτίου, να επιλέγεται η εγκατάσταση δύο έναντι ενός λέβητα. Η διακύμανση του φορτίου εξαρτάται από το προφίλ λειτουργίας του κτιρίου, τον αριθμό χρηστών, την κλιματική ζώνη και το ωράριο λειτουργίας. Βασική προϋπόθεση εγκατάστασης συστημάτων βιομάζας είναι να εξασφαλισθεί ο χώρος αποθήκευσης της βιομάζας, κάτι που είναι δύσκολο στα μεγάλα πολυώροφα κτίρια των αστικών και ημιαστικών πόλεων. Η διαμόρφωση χώρου αποθήκευσης της βιομάζας αυξάνει σημαντικά τα αρχικό κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης. Το πρότυπο EN 15316-4-3 [9] περιλαμβάνει μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων καύσης βιομάζας.

Η χρήση λεβήτων και εστιών καύσης βιομάζας προκαλεί την έκλυση αερίων και στερεών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ενδεικτικές τιμές των ρύπων που εκλύονται από την καύση τυποποιημένης βιομάζας σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης δίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 7.3.1). δίνονται συγκριτικά οι εκπομπές ρύπων από καμινάδες λεβήτων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο, φυσικό αέριο και θρύμματα ξύλου. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές για λέβητες μεγάλης ισχύος 500÷600 kW. Οι εκπομπές σε διοξείδιο του θείου (SO_2) και οξείδια του αζώτου (NOx) κατά την καύση θρυμμάτων ξύλου είναι αρκετά αυξημένες σε σχέση με την καύση αερίου.

Πίνακας 7.3.1: Έκλυση ρύπων λεβήτων ανά είδος καυσίμου [7]

Εκπομπές (mg/m³ καυσαερίων)	SO_2	NOx	Τέφρα	CO	NMVOC
Λέβητας πετρελαίου	130	78.2	0	2.3	<3
Λέβητας αερίου	0	44.5	0	14.8	0
Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0	12.2	0	7.4	0
Λέβητας θρυμμάτων ξύλου	27	81	24	6	<1

Για την πιστοποίηση των λεβήτων εφαρμόζεται το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 303-05 [12]. Στο πρότυπο αυτό ορίζονται οι κανόνες, οι κατευθυντήριες οδηγίες και οι τεχνικές απαιτήσεις για την κατασκευή, τη διενέργεια της δοκιμής και η τήρηση των προτεινόμενων ορίων, όπως τα ελάχιστα όρια για την απόδοση και τα ανώτατα όρια για τους εκπεμπόμενους ρύπους από λέβητες που τροφοδοτούνται με στερεά καύσιμα [10].

7.4. Συντήρηση εστιών καύσης

Η συντήρηση των εστιών καύσης είναι υποχρεωτική και γίνεται σύμφωνα τα τις διαδικασίες που ορίζονται στην απόφαση του ΥΠΕΚΑ με αρ. πρωτ. οικ.:189533/9.1.2011 (ΦΕΚ 2654 Β' 2011) «Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού». Ειδικότερα, επιβάλλεται η εκτέλεση εργασιών συντήρησης – ρύθμισης και τίθενται όροι σωστής λειτουργίας, στις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης, θέρμανσης νερού ή παραγωγής ατμού, εξαιρουμένων των τοπικών θερμάνσεων, όπως εξειδικεύονται στο άρθρο 1 της απόφασης.

Για τις νέες εγκαταστάσεις θέρμανσης με χρήση στερεής βιομάζας θα πρέπει να πληρούνται κατ' ελάχιστο τα όρια απόδοσης και τα ανώτατα όρια εκπομπών ρύπων του προτύπου EN 303-05 [12], σύμφωνα με την κλάση 3, όπως δίνονται στον «πίνακας 2» της υπουργικής απόφασης (Πίνακας 7.4.1). Το ίδιο ισχύει και για τις υβριδικές εγκαταστάσεις θέρμανσης ή θέρμανσης/ψύξης που κάνουν χρήση καυσίμων στερεής βιομάζας, από τον Νοέμβριο του 2013 και μετά. Ειδικότερα για τις συγκεντρώσεις ολικού αέριου οργανικού άνθρακα (OGC) και σωματιδίων, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην εν λόγω απόφαση, θα πρέπει να προσκομίζεται έγγραφο του κατασκευαστή του λέβητα ή βεβαίωση αναγνωρισμένου εργαστηρίου.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 7.4.1: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές εκπομπών ρύπων σε εστίες καύσης βιομάζας (Πίνακας 2, Υ.Α. Αρ. πρωτ. οικ.:189533/ΦΕΚ/2654/Β'/2011)

Μέθοδος τροφοδοσίας	Ονομαστική ισχύς	Οριακές τιμές εκπομπών ρύπων (εκφρασμένες σε mg/m3 και ανηγμένες σε 10 % O2) [τιμές εκφρασμένες σε ppm και ανηγμένες σε 10 % O2]				Βαθμός Απόδοσης
	(kW)	CO	OGC (Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας)	Σωματί-δια	NOx (εκφρασμένα ως NO2)	%
Χειροκίνητη	< 50	5000 [4000]	150 [91]	150	340 [166]	η = 67 + 61og Qn, όπου Qn είναι η ονομαστική ισχύς του λέβητα σε kW.
	50 - 150	2500 [2000]	100 [61]	150		
	150 - 300	1200 [960]	100 [61]	150		
Αυτόματη	< 50	3000 [2400]	100 [61]	150		
	50 - 150	2500 [2000]	80 [49]	150		
	150 - 300	1200 [960]	80 [49]	150		

Για τις νέες εγκαταστάσεις θέρμανσης στερεής βιομάζας, ο εγκαταστάτης υποχρεούται να χορηγεί στον υπεύθυνο της εγκατάστασης:

α) επίσημη βεβαίωση από τον κατασκευαστή του λέβητα, ότι ο τοποθετούμενος λέβητας πληροί εκ κατασκευής τις απαιτήσεις του προτύπου EN 303-05 (κλάση 3) [12]και

β) επίσημες και επικυρωμένες από τον κατασκευαστή του λέβητα οδηγίες χρήσης και συντήρησης του συστήματος.

Ο υπεύθυνος της εγκατάστασης υπογράφει υπεύθυνη δήλωση ότι παρέλαβε μαζί με το σύστημα και έλαβε γνώση των παραπάνω βεβαιώσεων και οδηγιών.

Σύμφωνα με το άρθρο 5 της απόφασης, για τις εγκαταστάσεις θέρμανσης που χρησιμοποιούν καύσιμα στερεής βιομάζας:

α) επιβάλλεται η τακτική συστηματική συντήρηση μέσα στο έτος, πέραν της ετήσιας υποχρεωτικής συντήρησης, εφόσον αυτό προβλέπεται από τις οδηγίες του κατασκευαστή.

β) εφόσον έχουν θερμική ισχύ μεγαλύτερη ή ίση των 400 kW, επιβάλλεται ο έλεγχος και η διενέργεια μέτρησης καυσαερίων, τουλάχιστον μία φορά το μήνα και η καταχώρισή τους σε σχετικό βιβλίο μετρήσεων καυσαερίων.

7.5. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Κούκιος Μ., "Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - Βιομάζα". Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. Αθήνα 2004.
2. Αποστολάκης, Μ., Κυρίτσης, Σ. και Σούτερ Χ., (1987). Το Ενεργειακό Δυναμικό της Βιομάζας Γεωργικών και Δασικών Υποπροϊόντων, Ινστιτούτο Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα.
3. Μπαλαράς Κ., Γαγλία Α.. «Εξοικονόμηση Ενέργειας – Ενεργειακή Αποδοτικότητα Κτιρίων, Εφαρμογή Ευρωπαϊκών Μεθοδολογιών & Λογισμικών Βελτίωσης της Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων». Σύνταξη εκπαιδευτικού υλικού στα πλαίσια του επιχειρησιακού προγράμματος «Εκπαίδευση

Μηχανικών σε Τεχνολογίες Πληροφορικής & Επικοινωνιών - Κοινωνία της Πληροφορίας», Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 2009.

4. ΚΑ.Π.Ε. 2003. Εγχειρίδιο Καυσίμων Ξύλου. Biomass Trade Center, Intelligent Energy, (2008).
5. Σούτερ Χ., (1995). Η Βιομάζα και η ενεργειακή της αξιοποίηση. Παραγωγή-δυναμικό. Μηνιαία Τεχνική Επιθεώρηση, Νο 41, Ιούνιος.
6. Μιχάλης Γ. Βραχόπουλος, Αθηνά Γ. Γαγλία, Κοσμάς Α. Καββαδίας, Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κωνσταντίνος Α. Μπαλαράς. Θεματική Ενότητα ΔΕ4: "Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας". Εκπαιδευτικό υλικό για την κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών Κτιρίων, Τ.Ε.Ε. Αθήνα, 2011.
7. SEI 2003. Brochure for «Wood Fuels for Residential Buildings». Sustainable Energy Ireland, Renewable Energy Information Office.
8. ΚΑ.Π.Ε. 2003. Οδηγός Επενδυτών «Θέρμανση κτιρίων και Κατοικιών με Εφαρμογές Βιομάζας». Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Ευρωπαϊκό πρόγραμμα ”Promoting Biomass Heating in Large Buildings and Blocks - BIOHEAT”.
9. EN 15316-4-2:2017 : Energy performance of buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-2: Space heating generation systems, heat pump systems, Module M3-8-2, M8-8-2
10. Παναγιώτης Βουρλιώτης, Σωτήρης Κατσιμίχας, Λάμπρος Μανασής, Πλάτων Πάλλης, Χριστίνα Στραπάτσα, Ιωάννα Ξεκάκη. Θεματική Ενότητα ΘΚ2: «Επιθεώρηση Λεβήτων και Εγκαταστάσεων Θέρμανσης». Εκπαιδευτικό υλικό για την κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών Λεβήτων και Εγκαταστάσεων Θέρμανσης, Τ.Ε.Ε. Αθήνα 2011.
11. EVA 2003. Final report of European project: ”Promoting Biomass Heating in Large Buildings and Blocks - BIOHEAT”. Project 4.1030/Z/00-163/200, in the frame of Altener programme. Vienna 2003.
12. EN 303-5:2021 Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW - Terminology, requirements, testing and marking»

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας – www.cres.gr
- European Biomass Industry Association EUBIA - www.eubia.org
- European Pellet Centre : www.pelletcentre.info
- Green Energy – Ecologic Heating System: www.acp-bioenergy.gr/frontend/articles.php?cid=123
- **www.biofuels.gr/biomass_burn_1.html**
- Biomass Trade Center http://www.biomasstradecentre2.eu/Biomass-Trade-CentreII/
- www.bioheat.info

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

8. Εφεδρικοί σταθμοί παραγωγής (ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη)

8.1. Γενικά στοιχεία

Για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών των κτιρίων στην περίπτωση διακοπής τροφοδότησης ηλεκτρικού ρεύματος, ή αδυναμία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση αυτόνομων συστημάτων Α.Π.Ε. (Α/Γ., Φ/Β κ.λπ.), συνίσταται η χρήση εφεδρικών σταθμών παραγωγής (Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος - Η/Ζ).

Σύμφωνα με τα οριζόμενα στην παράγραφο 11, του άρθρου 132, του ν. 4001 (ΦΕΚ 179 Α 2011) όπως τροποποιήθηκε και ισχύει [1], εξαιρούνται, μεταξύ άλλων, από την υποχρέωση έκδοσης άδειας παραγωγής:

α) οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 20 KW. Συμπεριλαμβάνονται και οι εφεδρικοί Η/Ζ για ηλεκτρική εγκατάσταση κτιρίου μη συνδεδεμένη με το Δίκτυο, όπως τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτροδότηση με Α.Π.Ε. .

β) οι εφεδρικοί σταθμοί Η/Ζ, ανεξάρτητα από την ισχύ τους, οι οποίοι λειτουργούν μόνο σε περίπτωση διακοπής της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω βλάβης ή περιορισμών του Συστήματος ή του Δικτύου.

Ανεξαρτήτως την περίπτωση χρήσης των εφεδρικών μονάδων Η/Ζ, δηλαδή σε εγκατάσταση συνδεδεμένη ή μη με το Δίκτυο, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η ηλεκτρική εγκατάσταση λειτουργεί κανονικά και συμμορφώνεται με τους ισχύοντες τεχνικούς κανόνες καθώς και με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 60364 «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

Ειδικότερα για την ως άνω περίπτωση (β), η συνδρομή των προϋποθέσεων εξαίρεσης, από την υποχρέωση έκδοσης άδειας παραγωγής, διαπιστώνεται από τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος για την περίπτωση σύνδεσης Η/Ζ στο Δίκτυο Χ.Τ. ή Μ.Τ., είναι ο ΔΕΔΔΗΕ. Επομένως το στάδιο της βεβαίωσης εξαίρεσης πλέον εκλείπει και υποκαθίσταται από την «Πρόσθετη Συμφωνία Εφεδρικής Ηλεκτροπαραγωγής» (στο εξής «Πρόσθετη Συμφωνία») που υπογράφεται από τον ΔΕΔΔΗΕ και τον ενδιαφερόμενο συμβεβλημένο χρήστη της παροχής κατανάλωσης, κατόπιν αιτήματος του τελευταίου και έγκρισης του ΔΕΔΔΗΕ, όπως ορίζεται στην υπ' αριθμ. 754/2019 (ΦΕΚ 3433 Β' 2019) Απόφαση ΡΑΕ [2].

8.2. Όροι, προϋποθέσεις, διαδικασίες και τεχνικές απαιτήσεις σύνδεσης εφεδρικών σταθμών παραγωγής (Η/Ζ) σε ηλεκτρική εγκατάσταση κατανάλωσης διασυνδεδεμένη με το δίκτυο

Στην περίπτωση εφεδρικών σταθμών παραγωγής (Η/Ζ), για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις συνδεμένες με το Δίκτυο, οι σχετικοί όροι και προϋποθέσεις, καθώς και όλη η διαδικασία εξέτασης μέχρι την υπογραφή της Πρόσθετης Συμφωνίας έχουν εγκριθεί με την υπ' αριθμ. 754/2019 (ΦΕΚ 3433 Β' 2019) Απόφαση ΡΑΕ. Οι βασικοί όροι και προϋποθέσεις για τη σύνδεση και λειτουργία Η/Ζ σε ηλεκτρική εγκατάσταση καταναλωτή είναι οι παρακάτω:

α) Η τροφοδότηση μέρους ή ολόκληρης της ηλεκτρικής εγκατάστασης καταναλωτή του Δικτύου από Η/Ζ, επιτρέπεται αποκλειστικά για τα χρονικά διαστήματα διακοπής της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω βλάβης ή λόγω προγραμματισμένης διακοπής ή αδυναμίας των εγκαταστάσεων του Δικτύου Διανομής ή του Συστήματος Μεταφοράς. Η λειτουργία του Η/Ζ σε χρονικά διαστήματα που η λειτουργία του Δικτύου είναι κανονική επιτρέπεται μόνο για λόγους τακτικών δοκιμών, ώστε να διαπιστώνεται η ετοιμότητα λειτουργίας του Η/Ζ.

β) Απαγορεύεται ρητά η λειτουργία του Η/Ζ για οικονομικούς λόγους ή στα χρονικά διαστήματα που ο Διαχειριστής έχει διακόψει τη σύνδεση του Χρήστη με το Δίκτυο για τους λόγους που αναφέρονται στο άρθρο 54 του Κώδικα Διαχείρισης Δικτύου (Αριθμ. απόφασης 395/2016 – ΦΕΚ 78 Β' 2017, [3]), όπως διακοπή λόγω οφειλών, κ.λπ.

γ) γ) Δεν επιτρέπεται η τροφοδότηση φορτίων που ανήκουν σε διαφορετικές (διαχωρισμένες) ηλεκτρικές εγκαταστάσεις από το ίδιο Η/Ζ. Το Η/Ζ χωροθετείται εντός της εγκατάστασης που τροφοδοτεί.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

δ) Δεν επιτρέπεται η παράλληλη λειτουργία του Η/Ζ με το Δίκτυο ή η τροφοδότηση τμήματος του Δικτύου από το Η/Ζ (νησιδοποιημένη λειτουργία). Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται ο συγχρονισμός της γεννήτριας του ζεύγους με το Δίκτυο και η παράλληλη λειτουργία της για βραχύ χρόνο (έως 100 ms), μόνο στην περίπτωση όπου, ενώ η εγκατάσταση τροφοδοτείται από το Η/Ζ επέρχεται κανονική λειτουργία του Δικτύου, προκειμένου με τον τρόπο αυτό να αποφευχθεί η στιγμιαία διακοπή τροφοδότησης της εγκατάστασης λόγω μεταγωγής από το Η/Ζ στο Δίκτυο. Για τον συγχρονισμό και τη μεταγωγή χρησιμοποιείται αυτόματη διάταξη.

Η επιλογή (διαστασιολόγηση) του μεγέθους του Η/Ζ ανήκει στην αρμοδιότητα του καταναλωτή και εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος των φορτίων που πρόκειται να τροφοδοτηθούν, με τον περιορισμό ότι η φαινόμενη ισχύς της γεννήτριας του ζεύγους δεν υπερβαίνει το 120% της συμφωνημένης ισχύος της παροχής. Στην περίπτωση περισσότερων του ενός Η/Ζ σε μια εγκατάσταση που πρόκειται να λειτουργούν ταυτόχρονα, λαμβάνεται υπόψη το άθροισμα της φαινόμενης ισχύος των γεννητριών.

Η εγκατάσταση γεννητριών με φαινόμενη ισχύ που υπερβαίνει το 120% της συμφωνημένης ισχύος της παροχής, δύναται να επιτραπεί μόνο εφόσον υπάρχουν τεχνικοί ή τεχνοοικονομικοί λόγοι που τεκμηριώνουν την αναγκαιότητα υπέρβασης του ορίου.

Η διαδικασία από την υποβολή αιτήματος στον ΔΕΔΔΗΕ έως και την έναρξη λειτουργίας του Η/Ζ με σκοπό την εφεδρική τροφοδότηση καταναλωτή έχει ως εξής:

α) Ο καταναλωτής υποβάλλει αίτημα στην οικεία τοπική μονάδα του ΔΕΔΔΗΕ, στην αρμοδιότητα της οποίας ανήκει η παροχή στην οποία θα συνδεθεί ο εφεδρικός σταθμός Η/Ζ. Με την υποβολή του τυποποιημένου έντυπου αίτησης, συνυποβάλλεται μονογραμμικό σχέδιο για τον τρόπο σύνδεσης του Η/Ζ υπογεγραμμένο αρμοδίως, σε περίπτωση επικείμενης τοποθέτησης-σύνδεσης του εφεδρικού σταθμού στην ηλεκτρική εγκατάσταση ή Υπεύθυνη Δήλωση Εγκαταστάτη (ΥΔΕ) με τα συνημμένα σε αυτή δικαιολογητικά, εφόσον η εγκατάσταση του εφεδρικού σταθμού έχει ήδη υλοποιηθεί και ο εφεδρικός σταθμός είναι σε ετοιμότητα να λειτουργήσει.

β) Το αίτημα εξετάζεται από τον ΔΕΔΔΗΕ και εφόσον ο φάκελος είναι πλήρης και τα δηλωθέντα στοιχεία σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΔΕΔΔΗΕ, ορίζεται με τον αιτούντα ή εκπρόσωπό του, εντός δέκα (10) εργάσιμων ημερών από την παραλαβή της αίτησης, ο χρόνος για τον επιτόπιο έλεγχο των διατάξεων μεταγωγής που έχουν εγκατασταθεί για τη σύνδεση και λειτουργία του Η/Ζ.

γ) Το αρμόδιο τεχνικό προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ διενεργεί επιτόπιο έλεγχο παρουσία του υπεύθυνου αδειούχου ηλεκτρολόγου εγκαταστάτη, όπου επιβεβαιώνεται η τοποθέτηση της κατάλληλης διάταξης μεταγωγής και διενεργείται δοκιμαστική λειτουργία του εφεδρικού σταθμού, ενώ στη συνέχεια η διάταξη αυτή ασφαλίζεται, εφόσον υπάρχει τέτοια δυνατότητα, με σκοπό την αποτροπή αντικατάστασής της ή την αλλαγή συνδεσμολογίας.

δ) Μετά τη διενέργεια του ελέγχου και της ορθής λειτουργίας της διάταξης μεταγωγής και της δοκιμής λειτουργίας του εφεδρικού σταθμού, υπογράφεται η Πρόσθετη Συμφωνία, αφού προσκομιστεί η ΥΔΕ, στην περίπτωση που δεν προσκομίστηκε στο Βήμα 1.

ε) Για την έναρξη λειτουργίας του εφεδρικού σταθμού Η/Ζ, ο καταναλωτής υποβάλλει την Υπεύθυνη Δήλωση (Υ.Δ.), του Παραρτήματος Ι της υπ' αρ. ΥΠΕΝ/ΔΗΕ/44608/534 (ΦΕΚ 1976 Β' 2020) Υπουργικής Απόφασης, προς τη Διεύθυνση Ανάπτυξης της οικείας Περιφέρειας, με συνημμένη την Πρόσθετη Συμφωνία, με την οποία δεσμεύεται για την τήρηση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, της νομοθεσίας για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων, την τήρηση των προτύπων για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και των όρων και προϋποθέσεων που επιβάλλονται από τον ΔΕΔΔΗΕ. Η Υ.Δ. κοινοποιείται στη ΡΑΕ, στο ΥΠΕΝ, στον ΔΕΔΔΗΕ, και στην Πυροσβεστική Υπηρεσία.

8.2.1. Σύνδεση εφεδρικών σταθμών (Η/Ζ) σε εγκατάσταση διασυνδεδεμένη με το Δίκτυο

Οι τεχνικές απαιτήσεις που πρέπει να τηρούνται σχετικά με τη λειτουργία εφεδρικού σταθμού παραγωγής (Η/Ζ) και τη μεταγωγή των φορτίων της ηλεκτρικής εγκατάστασης από το Δίκτυο στο Η/Ζ και αντίστροφα είναι οι εξής:

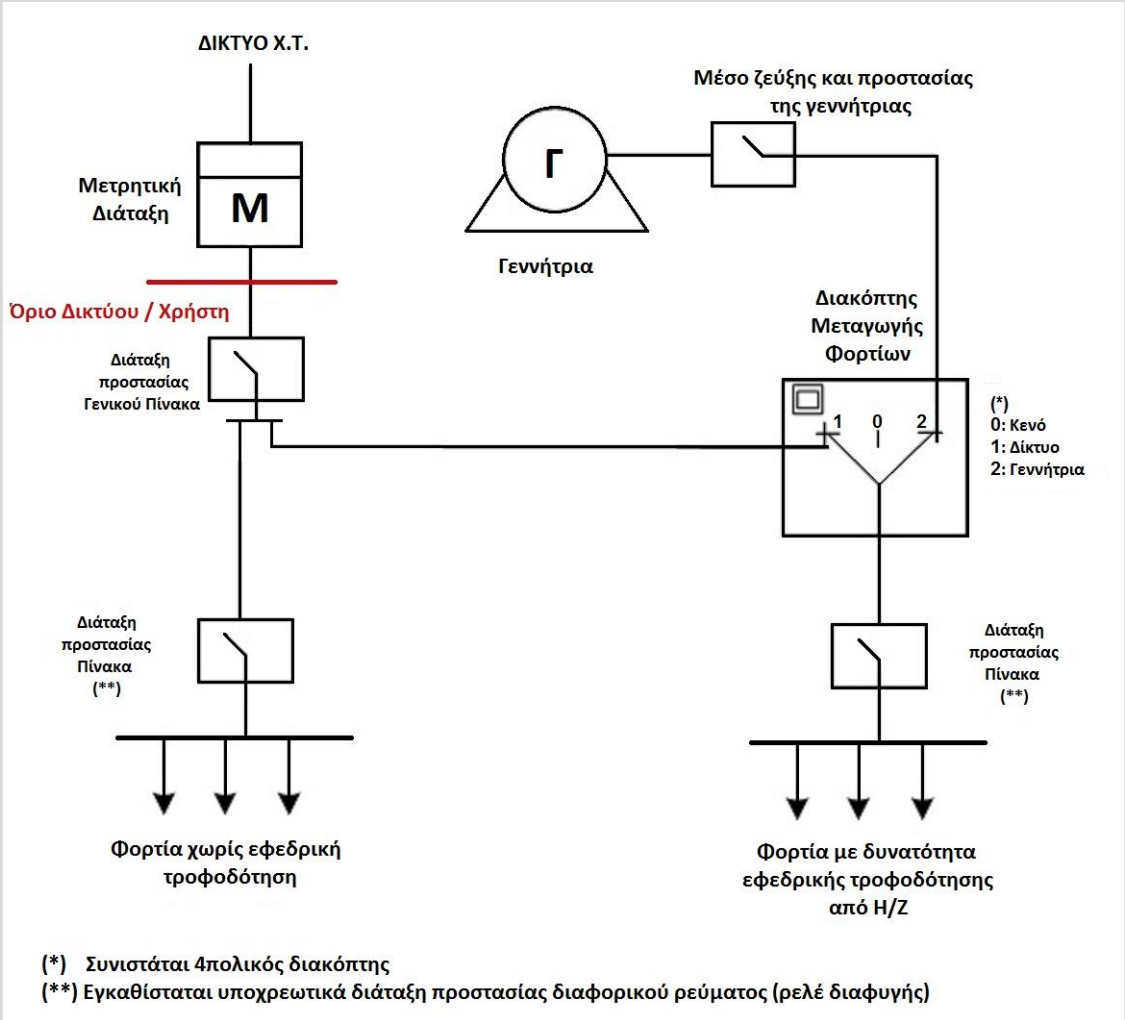
ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

α) Ο καταναλωτής πρέπει να εξασφαλίσει ότι η ηλεκτρική εγκατάσταση λειτουργεί κανονικά και συμμορφώνεται με τους ισχύοντες τεχνικούς κανόνες καθώς και με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 60364 «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», είτε τροφοδοτείται από το Δίκτυο είτε από το Η/Ζ. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να τηρούνται επιπλέον οι προδιαγραφές του κατασκευαστή, ως προς τα ελάχιστα τεχνικά όρια λειτουργίας του Η/Ζ, τον χώρο εγκατάστασης του Η/Ζ, τις προστασίες κ.λπ.

β) Η μεταγωγή των φορτίων της εγκατάστασης από το Δίκτυο στο Η/Ζ και αντίστροφα επιτυγχάνεται με διακόπτη διπλής ενέργειας τριών θέσεων: «1 – 0 – 2» (Σχήμα 8.8.1), ή με δύο διακόπτες με αλληλομανδάλωση (μηχανική ή/και ηλεκτρική). Η διάταξη μεταγωγής μπορεί να είναι χειροκίνητη ή αυτόματη. Η χειροκίνητη διάταξη μεταγωγής φέρει διπλή μόνωση. Η εν λόγω κατασκευή του διακόπτη διασφαλίζει την αποφυγή μονοπολικής ζεύξης ή απόζευξης καθώς και την ενδεχόμενη γεφύρωση των εκατέρωθεν φάσεων σε περίπτωση χειρισμού αυτού υπό τάση ή και φορτίο. Απαιτείται να διακρίνεται ευκρινώς η εκάστοτε θέση αυτού (προς το Δίκτυο ή το Η/Ζ) με κατάλληλες πινακίδες και επισημάνσεις. Ο καταναλωτής μεριμνά για τη σήμανση της διάταξης με ενδεικτική αναγραφή: «Απαγορεύεται η επέμβαση στη διάταξη χωρίς την έγκριση του ΔΕΔΔΗΕ».

γ) Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται αυτόματη διάταξη, η μεταγωγή από το Η/Ζ στο Δίκτυο πρέπει να γίνεται εφόσον η τάση στο Δίκτυο έχει τα κανονικά χαρακτηριστικά της, για χρόνο ο οποίος δεν μπορεί να υπολείπεται των τριών πρώτων λεπτών (3 min) της ώρας.

δ) Η μεταγωγή συνιστάται να είναι τετραπολική, δηλαδή να διακόπτονται οι τρεις φάσεις και ο ουδέτερος αγωγός, ανεξαρτήτως του συστήματος σύνδεσης των γειώσεων (TT ή TN). Επισημαίνεται ότι η προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή κατά την λειτουργία του Η/Ζ δεν πρέπει να βασίζεται στη σύνδεση με τον ουδέτερο αγωγό του Δικτύου.



Σχήμα 8.2.1: Ενδεικτικό ηλεκτρολογικό σχέδιο εγκατάστασης χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) με δυνατότητα εφεδρικής τροφοδότησης από Η/Ζ που συνδέεται μέσω χειροκίνητου διακόπτη διπλής ενέργειας.

8.3. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Ν. 4001 (ΦΕΚ 179 Α 2011), «Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις».
2. Η υπ’ αριθμ. 754/2019 (ΦΕΚ 3433 Β΄ 2019) Απόφαση της ΡΑΕ, «Έγκριση της διαδικασίας υποβολής αιτήσεων και εξέτασης των φακέλων για τη σύνδεση και έναρξη λειτουργίας των εφεδρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγών ζεύγων (Η/Ζ), κατ' εφαρμογή της παραγράφου 13, του άρθρου 132 του ν. 4001/2011»
3. Η υπ’ αριθμ. απόφ. 395/2016/17 (ΦΕΚ 78 Β’ 2017), «Κώδικας διαχείρισης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ)».

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

9. Συστάσεις και κριτήρια βέλτιστης επιλογής συστημάτων Α.Π.Ε.

9.1. Γενικά στοιχεία

Η επιλογή εγκατάστασης και χρήσης ενός συστήματος Α.Π.Ε. σε κτίρια, εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως είναι η βιωσιμότητα της επένδυσης, η τεχνική εφικτότητα, τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη, το λειτουργικό κόστος κ.λπ. Το ενεργειακό και οικονομικό όφελος είναι τα βασικά κριτήρια επιλογής ενός συστήματος Α.Π.Ε. και απαιτεί εκτενή οικονομοτεχνική ανάλυση, ειδικά όταν πρόκειται για μια επένδυση υψηλού κόστους με αβέβαιη απόδοση, δεδομένου και της συνεχούς διακύμανσης του κόστους ενέργειας παγκοσμίως.

Μερικά από τα βασικά κριτήρια επιλογής ενός συστήματος Α.Π.Ε. για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε κτιριακές εγκαταστάσεις, αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

9.2. Διαθεσιμότητα Α.Π.Ε. – Τεχνικές δυσκολίες

Η επιλογή εγκατάστασης ενός συστήματος Α.Π.Ε. εξαρτάται πρωτίστως από τη διαθεσιμότητα της και τη δυνατότητα αξιοποίησης της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Ειδικότερα:

- Υπάρχουν περιοχές με έντονο ανάγλυφο ή με πυκνή δόμηση που δεν ευνοούν τον συνεχή και επαρκή ηλιασμό, για την εγκατάστασης ενός ηλιακού συστήματος. Η πυκνή δόμηση μπορεί να σκιάζει το ελεύθερο δώμα ενός κτιρίου για μεγάλο χρονικό διάστημα στη διάρκεια της ημέρας, οπότε να κρίνεται ασύμφορη η οποιαδήποτε εγκατάσταση Η.Σ.
- Υπάρχουν περιοχές με έντονο ανάγλυφο ή με πυκνή δόμηση που δεν ευνοούν την εγκατάσταση μιας Α/Γ.
- Υπάρχουν περιοχές με μεγάλη διαθεσιμότητα σε βιομάζα, η οποία μπορεί να προέρχεται κυρίως από το κλάδεμα δέντρων που είναι απαραίτητο, οπότε η χρήση εστιών καύσης κρίνεται ως οικονομικά συμφέρουσα, ενώ το κόστος μεταφοράς βιομάζας είναι αμελητέο.
- Πολλά κτίρια δεν διαθέτουν ελεύθερη επιφάνεια στο δώμα, τη στέγη ή στον περιβάλλοντα χώρο για την εγκατάσταση ενός Η.Σ. ή μικρής Α/Γ, καθώς χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση άλλων συστημάτων (δορυφορικά συστήματα, κεραίες, αντλίες θερμότητας κτλ) που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του κτιρίου.
- Σε πολλές περιπτώσεις η εγκατάσταση ενός συστήματος Α.Π.Ε. μπορεί να είναι αδύνατη λόγω παλαιότητας του κτιρίου και ανεπαρκούς στατικής επάρκειας.
- Η εγκατάσταση ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας προϋποθέτει ελεύθερο περιβάλλοντα χώρο για την εγκατάστασης των γεωεναλλακτών. Αυτός είναι ένας βασικός παράγοντας που καθιστά σχεδόν αδύνατη την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων σε πυκνοδομημένες περιοχές ή σε πολυώροφα κτίρια με απαίτηση μεγαλύτερης επιφάνειας περιβάλλοντα χώρου. Επιπλέον, για την απόδοση της γεωθερμίας σε βάθος χρόνου, είναι σημαντικό να υπάρχει ισορροπία μεταξύ των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου στη διάρκεια του έτους.
- Σε πολλές περιοχές και κυρίως παραδοσιακούς οικισμούς, οι όροι δόμησης μπορεί να μην επιτρέπουν την εγκατάσταση κάποιου συστήματος Α.Π.Ε. . Η ίδια αδυναμία μπορεί να παρουσιάζεται και σε διατηρητέα κτίρια.
- Όταν η μέγιστη ενεργειακή απόδοση ενός συστήματος Α.Π.Ε. συμπίπτει με την περίοδο μέγιστης ζήτησης σε ενέργεια από το κτίριο, τότε η επένδυση γίνεται αποδοτικότερη. Για παράδειγμα η παραγωγή ενός Φ/Β συστήματος που λειτουργεί αποδοτικά κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας, συμπίπτει με τη μέγιστη ηλεκτρική ζήτηση σε ένα κτίριο γραφείων.
- Ορισμένα συστήματα Α.Π.Ε. προϋποθέτουν τη χρήση κλειστών κτιριακών χώρων για την εγκατάσταση τους (π.χ. γεωθερμική αντλία θερμότητας), ή την εγκατάσταση βοηθητικού εξοπλισμού (συσσωρευτές, θερμαντήρες αποθήκευσης θερμού νερού, κ.λπ.), που δεν είναι πάντα διαθέσιμα.
- Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης κάποιου συστήματος Α.Π.Ε. , θα πρέπει να βοηθάει στη διαδικασία συντήρησης ή επισκευής του.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

9.3. Βιωσιμότητα επένδυσης Α.Π.Ε.

Η οικονομική αξιολόγηση και η βιωσιμότητα μιας εγκατάστασης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) σε ένα κτίριο είναι βασικό κριτήριο για την απόφαση εφαρμογής ή μη, καθώς λαμβάνονται υπόψη, μεταξύ άλλων και ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί παράμετροι. Ειδικά για τον σχεδιασμό κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης που προβλέπονται από την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/ΕΕ [1] καθώς και τον νόμο 4122/2013 [2] για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, είναι απαραίτητη η διερεύνηση εγκατάστασης συστημάτων Α.Π.Ε. , κατά τον σχεδιασμό νέων κτιρίων ή την ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων. Η οικονομική αξιολόγηση πρέπει να περιλαμβάνει και συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ δύο ή περισσοτέρων σεναρίων εγκατάστασης συστημάτων Α.Π.Ε. , τα οποία θα μπορούσαν να εγκατασταθούν σε ένα κτίριο, π.χ. ηλιακοί συλλέκτες ή/και Φ/Β στο δώμα ενός κτιρίου.

Για την οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας συμπεριλαμβανομένων και της εγκατάστασης συστημάτων Α.Π.Ε., που συμβάλουν στην ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων (Οδηγία 2010/31/ΕΕ), έχει εκδοθεί ο εφαρμοστέος Ευρωπαϊκός Κανονισμός 244/2012 «προς συμπλήρωση της οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων με τον καθορισμό συγκριτικού μεθοδολογικού πλαισίου για τον υπολογισμό των επιπέδων βέλτιστου κόστους των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και των δομικών στοιχείων» [3-4]. Ο εφαρμογή του Κανονισμού είναι υποχρεωτική για την εκτίμηση του βέλτιστου κόστους (αξιολόγηση κόστους-οφέλους επεμβάσεων), όπου αυτή προβλέπεται στην Οδηγία 2010/31/ΕΕ, στον ν. 4122/2013, και κατ' επέκταση στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων [5].

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 244/2012, για κάθε επέμβαση υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) μέσω της οποίας αξιολογείται η απόδοση μιας επένδυσης σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (t), ως ακολούθως:

$$ΚΠΑ = \sum_{t=0}^{T} [\frac{ΚΧΡ_t}{(1+i)^t}] \qquad (εξ. 9.3.1)$$

όπου:

Τ, είναι η εξεταζόμενη χρονική περίοδος, περίοδος αξιολόγησης/ ανάλυσης της επένδυσης, συνήθως από 20 έως 30 έτη για τις περισσότερες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, ανάλογα πάντα και με τη διάρκεια ζωής της επένδυσης.

i είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο (%) της επένδυσης που σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς και οδηγίες [3-4,6], λαμβάνεται συνήθως 2% ως 4% ανάλογα με τα σενάρια αξιολόγησης (συντηρητικά ή μη).

$ΚΧΡ_t$, είναι οι Καθαρές Χρηματοροές, δηλαδή η διαφορά του κόστους επένδυσης μείον και του κόστους εξοικονόμησης ενέργειας (ενεργειακό όφελος) για τη χρονική περίοδο (t). Στο συνολικό κόστος επένδυσης θα πρέπει να συνυπολογίζεται και υπολειμματική αξία των επενδύσεων σε περίπτωση που η εξεταζόμενη περίοδος της επένδυσης (Τ) είναι μικρότερη από τη διάρκεια ζωής της υπό εξέτασης επέμβασης εξοικονόμησης ενέργειας [3]. Επιπλέον, στην περίπτωση μακροοικονομικής εξέτασης της επένδυσης στο συνολικό κόστος θα πρέπει να συνυπολογίζεται και το κόστος των εκλυόμενων άμεσων ή έμμεσων ρύπων.

Η οικονομική αξιολόγηση μιας εγκατάστασης αξιοποίησης μιας (Α.Π.Ε.) μπορεί να γίνει επίσης με τον υπολογισμό:

α) είτε της απλής περιόδου αποπληρωμής, κοινώς ως Simple Payback Period (SPP) του αρχικού κόστος της επένδυσης, όπου δεν λαμβάνεται υπόψη η αξία του χρήματος. Η απλή περίοδος αποπληρωμής ισούται με το πηλίκο του αρχικού κόστους επένδυσης προς το κόστος της εξοικονόμησης ενέργειας από την εγκατάσταση του συστήματος Α.Π.Ε. .

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

β) είτε της έντοκης περιόδου αποπληρωμής, κοινώς ως Discounted Payback Period (DPP) του αρχικού κόστος της επένδυσης, όπου λαμβάνεται υπόψη και η αξία του χρήματος μέσω του προεξοφλητικού επιτοκίου (i).

Η συσχέτιση μεταξύ απλής και έντοκης περιόδου αποπληρωμής περιγράφεται με την ακόλουθη εξίσωση ως εξής:

$$DPP = \frac{ln(\frac{1}{1 - SPP * i})}{ln(1 + i)} \qquad (εξ. 9.3.2)$$

όπου i είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο (%) της επένδυσης [3-4, 6]. Εναλλακτικά, για πιο ακριβείς υπολογισμούς, χρησιμοποιείται το σταθμισμένο προεξοφλητικό επιτόκιο (%), στο οποίο λαμβάνεται υπόψη και ο πληθωρισμός της τιμής ενέργειας (i_f, %). Η ετήσια μέση αύξηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται σήμερα περίπου στο 0,5%, ενώ για τη θερμική ενέργεια στο 2% [3-4, 7]. Το σταθμισμένο προεξοφλητικό επιτόκιο (i_w, %) υπολογίζεται ως εξής:

$$i_w = \frac{(1 + i)}{(1 + i_f)} - 1 \qquad (εξ. 9.3.3)$$

Η επιλογή υψηλότερου προεξοφλητικού χαμηλού επιτοκίου 5% και 6% [3-4], ανάλογα με το βαθμό ασφάλειας που επιλέγεται να γίνει η εκτίμηση της οικονομικής αποδοτικότητας μιας επένδυσης, αυξάνει την έντοκη περίοδο αποπληρωμής, αλλά δίνει ασφαλέστερα συμπεράσματα για την εφαρμογή της επένδυσης.

Κατά τον υπολογισμό του κόστους εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το ποσοστό της ετήσιας υποβάθμισης (degradation) της ενεργειακής απόδοσης ενός συστήματος Α.Π.Ε. (π.χ. 0,5% για τα Φ/Β). Το κόστος θερμικής ενέργειας διαφοροποιείται ανάλογα το είδος καυσίμου και την περιοχή. Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι ενιαίο σε όλες τις ελληνικές περιοχές, ανάλογα με το τιμολόγιο χρέωσης, όπως π.χ. μεταξύ 0,17 έως 0,22 €/kWh για τον οικιακό τομέα, ανάλογα με την τετραμηνιαία κατανάλωση της κατοικίας. Επισημαίνεται ότι, το κόστος παραγωγής στις διάφορες Ελληνικές περιοχές διαφοροποιείται σημαντικά, ανάλογα με τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (λιγνίτης ή φυσικό αέριο στην ηπειρωτική χώρα, πετρέλαιο στα νησιά, κλπ.), την εποχή και την ώρα της ημέρας (φορτία αιχμής) και κυμαίνεται από 0,035 €/kWh_{el} έως 1,5 €/kWh_{el}, ή ακόμα και σε μεγαλύτερες τιμές σε μικρά νησιά περιορισμένου πληθυσμού. Στον Κανονισμό 244/2012 η ανάλυση κόστους οφέλους γίνεται βάσει της πρωτογενούς ενέργειας.

Σε μια πιο λεπτομερής οικονομοτεχνική ανάλυση, όπου λαμβάνονται επιπλέον υπόψη το περιβαλλοντικό και το ενεργειακό κόστος για την κατασκευή ενός συστήματος Α.Π.Ε. , καθώς και το περιβαλλοντικό κόστος για την παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας, η έντοκη περίοδο αποπληρωμής διαφοροποιείται. Ειδικά για συστήματα Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή (Φ/Β), αναμένεται η λεπτομερής οικονομοτεχνική ανάλυση να έχει θετικό πρόσημο, καθώς ο συντελεστή πρωτογενούς ενέργειας για την ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα είναι ακόμα υψηλός και κατ' επέκταση και οι εκλυόμενοι ρύποι που επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ειδικά στην περίπτωση αδυναμίας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου μέσω του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου, ένα σύστημα Α.Π.Ε. , εκτός από οικονομικά βιώσιμη λύση, αποτελεί και τη μοναδική λύση.

9.4. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Μαΐου 2010 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση)», ΕΕ L.153, 18.6.2010.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

2. Νόμος 4122/2013, (Φ.Ε.Κ. Α' 42), «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.
3. Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.
4. Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, (2012/C 115/01).
5. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων - Κ.Εν.Α.Κ. (ΦΕΚ Β' 2367/2017).
6. Walter Short, Daniel J. Packey and Thomas Holt. A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies. National Renewable Energy Laboratory, prepared under Task No. AS026100, March 1995.
7. EU Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050 - Reference Scenario 2013. European Commission, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action and Directorate-General for Mobility and Transport, 2013.

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

10. Παραρτήματα

10.1. Παράρτημα Α: Ενδεικτικές τιμές απόδοση ηλιακών συλλεκτών

Α. Πίνακες με ενδεικτικές τιμές:

α) του μέσου μηνιαίου ποσοστού κάλυψης (*f*) του απαιτούμενου θερμικού φορτίου από Η/Θ συστήματα, με απλό Η.Σ., με επιλεκτικό Η.Σ. και με συλλέκτη κενού,

β) της μέσης μηνιαίας ηλιακής αξιοποίησης από Η/Θ συστήματα, με απλό Η.Σ., με επιλεκτικό Η.Σ. και με συλλέκτη κενού, του απαιτούμενου θερμικού φορτίου.

Για τα ακόλουθα σενάρια:

Α.1. Για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. με τρείς τύπους ηλιακών συλλεκτών, σε 25 ελληνικές περιοχές των τεσσάρων κλιματικών ζωνών (Πίνακας 10.1.1, Πίνακας 10.1.2 και Πίνακας 10.1.3).

Α.2. Για θέρμανση χώρων μονοκατοικίας 280m², με τρείς τύπους ηλιακών συλλεκτών, σε 25 ελληνικές περιοχές των τεσσάρων κλιματικών ζωνών (Πίνακας 10.1.4, Πίνακας 10.1.5 και Πίνακας 10.1.6).

Α.3. Για θέρμανση χώρων πολυκατοικίας 1400m², με τρείς τύπους ηλιακών συλλεκτών, σε 25 ελληνικές περιοχές των τεσσάρων κλιματικών ζωνών (Πίνακας 10.1.7, Πίνακας 10.1.8 και Πίνακας 10.1.9).

Α.4. Για διαφορετικά σενάρια του μέσου ημερήσιου φορτίου (L_w) για Ζ.Ν.Χ. και της χωρητικότητας θερμαντήρα (V_{tank}), ανηγμένα ανά μονάδα επιφάνειας Η.Σ. (A_c) σε (m²), σε συνάρτηση εύρους τιμών της μέσης μηνιαίας ηλιακής ενέργειας (H_T), που προσπίπτει στην επιφάνεια του Η.Σ. (kWh/m²/m_o), αντιπροσωπευτικές για τις ελληνικές περιοχές (Πίνακας 10.1.10, Πίνακας 10.1.11, Πίνακας 10.1.12, Πίνακας 10.1.13, Πίνακας 10.1.14 και Πίνακας 10.1.15).

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 10.1.1: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με απλό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Απλός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,73, a_1 =5,51 (W/m²/K), a_2 =0,006 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,52	0,62	0,72	0,83	0,88	0,92	0,94	0,95	0,93	0,84	0,7	0,54	0,76
Ιεράπετρα	0,59	0,68	0,78	0,86	0,88	0,91	0,94	0,95	0,94	0,88	0,79	0,62	0,8
Καλαμάτα	0,56	0,63	0,72	0,78	0,85	0,91	0,94	0,95	0,91	0,82	0,67	0,52	0,75
Νάξος	0,48	0,59	0,71	0,81	0,87	0,91	0,93	0,95	0,92	0,84	0,66	0,49	0,74
Ρόδος	0,59	0,69	0,79	0,84	0,89	0,93	0,95	0,96	0,95	0,9	0,76	0,58	0,8
Χανιά	0,47	0,59	0,71	0,81	0,88	0,92	0,95	0,96	0,93	0,79	0,67	0,51	0,75
Αθήνα	0,52	0,62	0,68	0,79	0,86	0,92	0,96	0,97	0,92	0,8	0,64	0,5	0,74
Αλίαρτος	0,44	0,53	0,64	0,78	0,86	0,92	0,95	0,95	0,91	0,73	0,55	0,43	0,7
Κέρκυρα	0,49	0,59	0,69	0,78	0,86	0,92	0,96	0,97	0,91	0,78	0,6	0,47	0,73
Κόρινθος	0,54	0,64	0,71	0,8	0,87	0,93	0,95	0,96	0,91	0,82	0,64	0,48	0,75
Λαμία	0,47	0,55	0,65	0,76	0,83	0,91	0,94	0,94	0,88	0,73	0,57	0,44	0,71
Λήμνος	0,39	0,53	0,65	0,78	0,86	0,91	0,94	0,94	0,9	0,78	0,54	0,38	0,69
Πάτρα	0,43	0,55	0,73	0,76	0,87	0,92	0,94	0,95	0,92	0,8	0,6	0,47	0,72
Μυτιλήνη	0,4	0,54	0,66	0,8	0,9	0,94	0,96	0,96	0,93	0,81	0,62	0,44	0,72
Αλεξ/πολη	0,4	0,53	0,62	0,73	0,82	0,9	0,94	0,95	0,89	0,75	0,52	0,36	0,67
Θεσ/ονίκη	0,42	0,52	0,6	0,73	0,81	0,89	0,94	0,94	0,86	0,69	0,5	0,39	0,67
Καβάλα	0,49	0,63	0,65	0,71	0,84	0,9	0,93	0,93	0,88	0,74	0,57	0,36	0,7
Λάρισα	0,43	0,54	0,64	0,77	0,84	0,91	0,94	0,94	0,89	0,72	0,53	0,39	0,69
Ιωάννινα	0,4	0,49	0,6	0,69	0,79	0,88	0,94	0,94	0,84	0,7	0,49	0,37	0,65
Τρίπολη	0,53	0,57	0,67	0,75	0,81	0,89	0,92	0,94	0,9	0,79	0,63	0,51	0,72
Δράμα	0,39	0,49	0,61	0,72	0,81	0,88	0,94	0,92	0,88	0,7	0,51	0,38	0,66
Καστοριά	0,47	0,54	0,64	0,71	0,77	0,88	0,91	0,92	0,85	0,71	0,51	0,4	0,67
Κοζάνη	0,44	0,45	0,54	0,6	0,63	0,77	0,83	0,89	0,81	0,59	0,46	0,46	0,6
Κόνιτσα	0,42	0,48	0,65	0,7	0,83	0,87	0,94	0,95	0,87	0,73	0,56	0,44	0,68
Σέρρες	0,4	0,52	0,61	0,73	0,81	0,89	0,93	0,93	0,87	0,71	0,49	0,35	0,66
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,31	0,33	0,32	0,3	0,27	0,23	0,21	0,2	0,21	0,25	0,28	0,3	0,26
Ιεράπετρα	0,31	0,32	0,31	0,29	0,26	0,23	0,21	0,2	0,21	0,24	0,27	0,3	0,26
Καλαμάτα	0,33	0,33	0,33	0,31	0,29	0,26	0,23	0,22	0,24	0,27	0,3	0,31	0,28
Νάξος	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,23	0,22	0,23	0,27	0,3	0,31	0,28
Ρόδος	0,33	0,33	0,33	0,31	0,28	0,25	0,23	0,22	0,23	0,26	0,3	0,31	0,27
Χανιά	0,31	0,33	0,33	0,31	0,29	0,26	0,25	0,24	0,24	0,27	0,29	0,3	0,28
Αθήνα	0,34	0,35	0,34	0,33	0,3	0,26	0,24	0,23	0,25	0,28	0,31	0,32	0,29
Αλίαρτος	0,32	0,34	0,34	0,32	0,29	0,26	0,23	0,22	0,24	0,28	0,3	0,3	0,28
Κέρκυρα	0,34	0,35	0,34	0,33	0,29	0,27	0,25	0,25	0,26	0,29	0,31	0,32	0,29
Κόρινθος	0,32	0,33	0,32	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21	0,22	0,26	0,29	0,29	0,27
Λαμία	0,32	0,33	0,34	0,32	0,31	0,28	0,26	0,26	0,27	0,29	0,3	0,3	0,29
Λήμνος	0,32	0,35	0,35	0,32	0,29	0,24	0,22	0,22	0,23	0,27	0,3	0,29	0,27
Πάτρα	0,31	0,33	0,33	0,32	0,29	0,26	0,24	0,23	0,24	0,27	0,3	0,3	0,28
Μυτιλήνη	0,3	0,33	0,33	0,32	0,28	0,25	0,23	0,23	0,24	0,27	0,3	0,29	0,27
Αλεξ/πολη	0,32	0,35	0,35	0,33	0,31	0,27	0,25	0,23	0,25	0,28	0,29	0,28	0,29
Θεσ/ονίκη	0,34	0,36	0,36	0,34	0,31	0,28	0,27	0,26	0,27	0,3	0,31	0,31	0,3
Καβάλα	0,33	0,35	0,35	0,33	0,3	0,27	0,26	0,24	0,25	0,28	0,3	0,28	0,29
Λάρισα	0,32	0,34	0,34	0,32	0,3	0,27	0,25	0,24	0,25	0,27	0,29	0,28	0,29
Ιωάννινα	0,35	0,37	0,37	0,35	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,3	0,32	0,32	0,31
Τρίπολη	0,34	0,35	0,35	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,25	0,28	0,3	0,31	0,3
Δράμα	0,32	0,35	0,35	0,34	0,31	0,28	0,27	0,25	0,25	0,28	0,3	0,29	0,3
Καστοριά	0,34	0,37	0,36	0,35	0,33	0,29	0,28	0,26	0,27	0,29	0,3	0,3	0,31
Κοζάνη	0,37	0,37	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,26	0,29	0,32	0,33	0,35	0,32
Κόνιτσα	0,35	0,37	0,38	0,36	0,33	0,3	0,29	0,28	0,29	0,31	0,33	0,34	0,32
Σέρρες	0,32	0,35	0,35	0,34	0,31	0,27	0,25	0,25	0,26	0,29	0,3	0,29	0,29

Πίνακας 10.1.2: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Επιλεκτικός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,77, a_1 =3,75 (W/m²/K), a_2 =0,015 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,62	0,72	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,82	0,65	0,86
Ιεράπετρα	0,70	0,78	0,88	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,73	0,90
Καλαμάτα	0,66	0,72	0,82	0,88	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,78	0,62	0,85
Νάξος	0,57	0,68	0,80	0,91	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,77	0,58	0,83
Ρόδος	0,69	0,78	0,88	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,68	0,89
Χανιά	0,58	0,68	0,81	0,91	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,79	0,62	0,84
Αθήνα	0,61	0,70	0,77	0,88	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,75	0,59	0,83
Αλίαρτος	0,53	0,61	0,73	0,88	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,66	0,53	0,79
Κέρκυρα	0,58	0,67	0,78	0,87	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,71	0,56	0,82
Κόρινθος	0,64	0,74	0,81	0,90	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,76	0,58	0,84
Λαμία	0,57	0,64	0,74	0,86	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,68	0,55	0,80
Λήμνος	0,48	0,61	0,73	0,87	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,65	0,48	0,78
Πάτρα	0,53	0,64	0,82	0,85	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,71	0,57	0,81
Μυτιλήνη	0,50	0,63	0,76	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,73	0,54	0,81
Αλεξ/πολη	0,49	0,61	0,70	0,82	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,63	0,46	0,77
Θεσ/ονίκη	0,51	0,60	0,68	0,82	0,91	0,99	1,00	1,00	0,98	0,80	0,60	0,48	0,76
Καβάλα	0,58	0,71	0,73	0,80	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	0,68	0,46	0,79
Λάρισα	0,52	0,62	0,73	0,86	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	0,64	0,49	0,78
Ιωάννινα	0,48	0,57	0,68	0,77	0,88	0,98	1,00	1,00	0,96	0,81	0,58	0,45	0,73
Τρίπολη	0,62	0,66	0,75	0,84	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,74	0,61	0,82
Δράμα	0,48	0,57	0,69	0,81	0,91	0,99	1,00	1,00	1,00	0,82	0,62	0,48	0,75
Καστοριά	0,55	0,61	0,71	0,80	0,86	0,98	1,00	1,00	0,97	0,83	0,62	0,49	0,76
Κοζάνη	0,51	0,53	0,61	0,69	0,73	0,87	0,95	1,00	0,92	0,69	0,55	0,54	0,69
Κόνιτσα	0,50	0,56	0,72	0,78	0,92	0,97	1,00	1,00	0,97	0,83	0,65	0,53	0,76
Σέρρες	0,48	0,60	0,70	0,82	0,91	1,00	1,00	1,00	0,99	0,82	0,59	0,45	0,75
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,38	0,38	0,37	0,34	0,3	0,25	0,22	0,21	0,23	0,28	0,33	0,36	0,29
Ιεράπετρα	0,37	0,37	0,35	0,33	0,29	0,25	0,22	0,21	0,22	0,27	0,31	0,35	0,29
Καλαμάτα	0,38	0,38	0,37	0,35	0,32	0,28	0,25	0,24	0,26	0,31	0,35	0,37	0,31
Νάξος	0,39	0,39	0,38	0,35	0,32	0,28	0,25	0,23	0,25	0,3	0,35	0,38	0,31
Ρόδος	0,38	0,38	0,36	0,34	0,31	0,27	0,24	0,23	0,24	0,29	0,34	0,37	0,3
Χανιά	0,37	0,38	0,37	0,35	0,32	0,28	0,26	0,25	0,26	0,31	0,34	0,36	0,31
Αθήνα	0,39	0,4	0,39	0,36	0,33	0,28	0,25	0,23	0,27	0,32	0,36	0,38	0,32
Αλίαρτος	0,39	0,4	0,39	0,36	0,33	0,28	0,24	0,23	0,26	0,32	0,36	0,37	0,32
Κέρκυρα	0,4	0,4	0,38	0,37	0,33	0,29	0,26	0,26	0,29	0,33	0,37	0,38	0,33
Κόρινθος	0,38	0,38	0,37	0,35	0,31	0,27	0,23	0,22	0,25	0,3	0,34	0,36	0,3
Λαμία	0,38	0,39	0,39	0,36	0,34	0,31	0,28	0,27	0,3	0,33	0,36	0,37	0,33
Λήμνος	0,39	0,4	0,39	0,36	0,32	0,27	0,23	0,23	0,26	0,31	0,36	0,37	0,31
Πάτρα	0,38	0,39	0,38	0,36	0,33	0,28	0,25	0,24	0,26	0,31	0,35	0,37	0,32
Μυτιλήνη	0,37	0,38	0,38	0,36	0,31	0,27	0,24	0,24	0,25	0,31	0,35	0,36	0,31
Αλεξ/πολη	0,39	0,4	0,4	0,37	0,34	0,3	0,27	0,25	0,28	0,32	0,36	0,36	0,33
Θεσ/ονίκη	0,41	0,41	0,41	0,38	0,35	0,31	0,29	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,34
Καβάλα	0,39	0,4	0,4	0,37	0,34	0,31	0,27	0,26	0,29	0,32	0,36	0,36	0,33
Λάρισα	0,39	0,4	0,39	0,36	0,34	0,3	0,27	0,25	0,28	0,32	0,35	0,36	0,32
Ιωάννινα	0,42	0,42	0,41	0,4	0,36	0,33	0,29	0,27	0,31	0,35	0,39	0,4	0,35
Τρίπολη	0,39	0,4	0,4	0,38	0,35	0,31	0,29	0,26	0,28	0,32	0,35	0,37	0,33
Δράμα	0,39	0,41	0,4	0,38	0,35	0,31	0,28	0,28	0,29	0,33	0,36	0,37	0,34
Καστοριά	0,4	0,42	0,41	0,39	0,36	0,32	0,3	0,28	0,3	0,33	0,37	0,38	0,35
Κοζάνη	0,43	0,43	0,41	0,39	0,37	0,33	0,31	0,3	0,33	0,37	0,4	0,41	0,36
Κόνιτσα	0,42	0,42	0,42	0,4	0,36	0,34	0,3	0,29	0,33	0,36	0,39	0,41	0,36
Σέρρες	0,39	0,4	0,4	0,38	0,34	0,3	0,27	0,26	0,3	0,33	0,36	0,37	0,33

Πίνακας 10.1.3: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με Η.Σ. Κενού και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Ηλιακός Συλλέκτης Κενού: η_o=0,65, a_1 =1,80 (W/m²/K), a_2 =0,020 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,69	0,78	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,73	0,90
Ιεράπετρα	0,77	0,85	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,81	0,94
Καλαμάτα	0,72	0,79	0,88	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	0,70	0,90
Νάξος	0,64	0,74	0,86	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,65	0,88
Ρόδος	0,75	0,84	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,75	0,93
Χανιά	0,65	0,75	0,88	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,70	0,89
Αθήνα	0,67	0,76	0,83	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,66	0,87
Αλίαρτος	0,59	0,67	0,79	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,74	0,60	0,83
Κέρκυρα	0,64	0,73	0,84	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,78	0,63	0,86
Κόρινθος	0,71	0,80	0,88	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,67	0,89
Λαμία	0,64	0,70	0,80	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,76	0,62	0,85
Λήμνος	0,55	0,67	0,79	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,73	0,56	0,83
Πάτρα	0,59	0,71	0,88	0,92	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,79	0,65	0,86
Μυτιλήνη	0,57	0,70	0,82	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,81	0,62	0,86
Αλεξ/πολη	0,55	0,67	0,76	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,71	0,54	0,82
Θεσ/ονίκη	0,56	0,64	0,73	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,68	0,55	0,80
Καβάλα	0,64	0,76	0,79	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,76	0,53	0,84
Λάρισα	0,58	0,68	0,79	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,72	0,58	0,83
Ιωάννινα	0,52	0,61	0,72	0,82	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0,65	0,51	0,78
Τρίπολη	0,68	0,71	0,81	0,90	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,68	0,87
Δράμα	0,54	0,62	0,75	0,87	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,70	0,56	0,80
Καστοριά	0,61	0,66	0,76	0,85	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,70	0,56	0,81
Κοζάνη	0,55	0,57	0,66	0,75	0,81	0,99	1,00	1,00	1,00	0,76	0,61	0,59	0,75
Κόνιτσα	0,55	0,60	0,76	0,83	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,71	0,58	0,81
Σέρρες	0,54	0,66	0,75	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,67	0,52	0,80
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,42	0,41	0,4	0,36	0,3	0,25	0,22	0,21	0,23	0,29	0,37	0,41	0,31
Ιεράπετρα	0,41	0,4	0,38	0,34	0,29	0,25	0,22	0,21	0,22	0,27	0,35	0,39	0,3
Καλαμάτα	0,42	0,42	0,4	0,38	0,34	0,28	0,25	0,24	0,26	0,32	0,38	0,42	0,33
Νάξος	0,43	0,42	0,41	0,38	0,33	0,28	0,25	0,23	0,25	0,32	0,39	0,42	0,33
Ρόδος	0,42	0,41	0,39	0,36	0,31	0,27	0,24	0,23	0,24	0,29	0,37	0,41	0,32
Χανιά	0,42	0,42	0,4	0,38	0,33	0,28	0,26	0,25	0,26	0,35	0,38	0,41	0,33
Αθήνα	0,43	0,43	0,42	0,39	0,35	0,28	0,25	0,23	0,27	0,35	0,4	0,43	0,34
Αλίαρτος	0,44	0,44	0,42	0,39	0,34	0,28	0,24	0,23	0,26	0,36	0,4	0,42	0,34
Κέρκυρα	0,44	0,43	0,41	0,39	0,34	0,29	0,26	0,26	0,29	0,36	0,4	0,43	0,35
Κόρινθος	0,42	0,41	0,4	0,38	0,32	0,27	0,23	0,22	0,25	0,32	0,38	0,41	0,32
Λαμία	0,43	0,43	0,42	0,39	0,37	0,31	0,28	0,27	0,3	0,37	0,4	0,42	0,35
Λήμνος	0,44	0,44	0,42	0,39	0,33	0,27	0,23	0,23	0,26	0,35	0,4	0,43	0,33
Πάτρα	0,43	0,43	0,4	0,39	0,34	0,28	0,25	0,24	0,26	0,34	0,4	0,42	0,33
Μυτιλήνη	0,43	0,42	0,41	0,38	0,31	0,27	0,24	0,24	0,25	0,33	0,39	0,42	0,33
Αλεξ/πολη	0,44	0,44	0,43	0,4	0,37	0,3	0,27	0,25	0,28	0,36	0,4	0,42	0,35
Θεσ/ονίκη	0,45	0,45	0,44	0,41	0,38	0,31	0,29	0,28	0,32	0,38	0,41	0,44	0,37
Καβάλα	0,43	0,43	0,43	0,4	0,36	0,31	0,27	0,26	0,29	0,36	0,4	0,42	0,35
Λάρισα	0,43	0,43	0,42	0,39	0,36	0,3	0,27	0,25	0,28	0,36	0,4	0,42	0,35
Ιωάννινα	0,46	0,46	0,44	0,42	0,4	0,33	0,29	0,27	0,33	0,38	0,43	0,45	0,37
Τρίπολη	0,43	0,43	0,42	0,4	0,38	0,31	0,29	0,26	0,28	0,35	0,39	0,42	0,36
Δράμα	0,44	0,45	0,43	0,41	0,38	0,32	0,28	0,28	0,29	0,37	0,41	0,42	0,36
Καστοριά	0,44	0,45	0,43	0,42	0,4	0,33	0,3	0,28	0,31	0,37	0,41	0,43	0,37
Κοζάνη	0,46	0,46	0,45	0,43	0,41	0,37	0,33	0,3	0,36	0,41	0,44	0,45	0,39
Κόνιτσα	0,46	0,45	0,44	0,42	0,39	0,35	0,3	0,29	0,34	0,39	0,42	0,45	0,38
Σέρρες	0,44	0,44	0,43	0,41	0,38	0,3	0,27	0,26	0,3	0,37	0,41	0,43	0,36

Πίνακας 10.1.4: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση μονοκατοικίας από Η/Θ με απλό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Απλός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,73, a_1 =5,51 (W/m²/K), a_2 =0,006 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,28	0,35	0,52	1,00							1,00	0,37	0,43
Ιεράπετρα	0,36	0,42	0,61	1,00							1,00	0,49	0,50
Καλαμάτα	0,24	0,29	0,42	0,74							0,57	0,26	0,36
Νάξος	0,25	0,32	0,47	0,91							0,80	0,32	0,41
Ρόδος	0,31	0,39	0,57	0,99							0,94	0,38	0,47
Χανιά	0,23	0,30	0,47	0,93							0,77	0,31	0,39
Αθήνα	0,23	0,31	0,41	0,89							0,64	0,27	0,37
Αλίαρτος	0,15	0,21	0,34	0,81						0,99	0,33	0,17	0,28
Κέρκυρα	0,23	0,29	0,44	0,81							0,58	0,24	0,36
Κόρινθος	0,23	0,30	0,42	0,85							0,48	0,22	0,34
Λαμία	0,17	0,22	0,35	0,76						1,00	0,34	0,17	0,28
Λήμνος	0,14	0,20	0,31	0,64						0,99	0,34	0,15	0,27
Πάτρα	0,19	0,27	0,47	0,86							0,55	0,25	0,35
Μυτιλήνη	0,17	0,25	0,39	0,88							0,53	0,23	0,32
Αλεξ/πολη	0,13	0,20	0,29	0,60						0,88	0,30	0,14	0,26
Θεσ/ονίκη	0,15	0,21	0,32	0,74						0,95	0,33	0,15	0,27
Καβάλα	0,18	0,25	0,32	0,62						0,86	0,32	0,13	0,28
Λάρισα	0,15	0,22	0,34	0,71						0,92	0,31	0,15	0,27
Ιωάννινα	0,13	0,19	0,30	0,54	1,00					0,79	0,27	0,13	0,26
Τρίπολη	0,19	0,22	0,31	0,52	1,00					0,78	0,35	0,20	0,31
Δράμα	0,16	0,24	0,42	0,83						0,97	0,34	0,18	0,30
Καστοριά	0,18	0,22	0,34	0,57	1,00					0,70	0,27	0,15	0,29
Κοζάνη	0,16	0,18	0,27	0,48	1,00					0,58	0,25	0,19	0,26
Κόνιτσα	0,18	0,23	0,43	0,60	1,00					0,90	0,37	0,21	0,34
Σέρρες	0,16	0,26	0,41	0,81						0,91	0,30	0,15	0,29
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,34	0,35	0,34	0,16							0,14	0,32	0,27
Ιεράπετρα	0,34	0,35	0,33	0,13							0,07	0,32	0,25
Καλαμάτα	0,36	0,37	0,36	0,3							0,32	0,34	0,34
Νάξος	0,33	0,35	0,35	0,24							0,24	0,32	0,3
Ρόδος	0,35	0,36	0,34	0,18							0,19	0,33	0,29
Χανιά	0,33	0,35	0,35	0,22							0,26	0,33	0,3
Αθήνα	0,34	0,36	0,36	0,24							0,29	0,33	0,32
Αλίαρτος	0,33	0,35	0,36	0,27						0,15	0,34	0,32	0,29
Κέρκυρα	0,33	0,35	0,35	0,27							0,3	0,32	0,32
Κόρινθος	0,35	0,37	0,36	0,26							0,33	0,33	0,33
Λαμία	0,34	0,36	0,36	0,28						0,14	0,34	0,33	0,3
Λήμνος	0,31	0,35	0,36	0,32						0,15	0,33	0,3	0,3
Πάτρα	0,32	0,35	0,36	0,24							0,3	0,32	0,31
Μυτιλήνη	0,31	0,35	0,35	0,25							0,31	0,32	0,31
Αλεξ/πολη	0,31	0,35	0,36	0,32						0,23	0,33	0,3	0,31
Θεσ/ονίκη	0,32	0,35	0,35	0,28						0,16	0,32	0,3	0,29
Καβάλα	0,34	0,37	0,36	0,31						0,24	0,35	0,29	0,32
Λάρισα	0,32	0,35	0,36	0,3						0,19	0,33	0,31	0,3
Ιωάννινα	0,31	0,34	0,35	0,33	0,05					0,26	0,33	0,29	0,27
Τρίπολη	0,35	0,36	0,37	0,35	0,1					0,29	0,36	0,34	0,31
Δράμα	0,3	0,33	0,33	0,24						0,15	0,32	0,3	0,28
Καστοριά	0,33	0,35	0,36	0,32	0,13					0,29	0,34	0,31	0,3
Κοζάνη	0,32	0,32	0,34	0,32	0,12					0,29	0,32	0,33	0,29
Κόνιτσα	0,31	0,33	0,34	0,31	0,06					0,21	0,33	0,32	0,26
Σέρρες	0,30	0,34	0,34	0,25						0,19	0,32	0,29	0,29

ΤΕΕ/ΤΚΕ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 10.1.5: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση μονοκατοικίας από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Επιλεκτικός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,77, a_1 =3,75 (W/m²/K), a_2 =0,015 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,35	0,43	0,61	1,00							1,00	0,46	0,50
Ιεράπετρα	0,44	0,50	0,72	1,00							1,00	0,59	0,58
Καλαμάτα	0,29	0,35	0,49	0,86							0,68	0,32	0,43
Νάξος	0,32	0,39	0,56	1,00							0,94	0,40	0,49
Ρόδος	0,38	0,46	0,66	1,00							1,00	0,47	0,54
Χανιά	0,29	0,37	0,55	1,00							0,91	0,39	0,47
Αθήνα	0,29	0,37	0,49	1,00							0,76	0,34	0,44
Αλίαρτος	0,20	0,26	0,41	0,94						1,00	0,41	0,22	0,34
Κέρκυρα	0,29	0,36	0,52	0,94							0,70	0,30	0,44
Κόρινθος	0,29	0,36	0,50	0,98							0,58	0,29	0,42
Λαμία	0,22	0,27	0,42	0,89						1,00	0,42	0,22	0,35
Λήμνος	0,18	0,26	0,38	0,75						1,00	0,42	0,21	0,33
Πάτρα	0,25	0,34	0,55	1,00							0,67	0,31	0,42
Μυτιλήνη	0,23	0,31	0,47	1,00							0,64	0,30	0,40
Αλεξ/πολη	0,18	0,25	0,35	0,70						1,00	0,37	0,19	0,32
Θεσ/ονίκη	0,19	0,26	0,39	0,86						1,00	0,41	0,21	0,33
Καβάλα	0,23	0,31	0,39	0,74						1,00	0,39	0,18	0,35
Λάρισα	0,20	0,27	0,41	0,83						1,00	0,39	0,20	0,34
Ιωάννινα	0,18	0,24	0,36	0,65	1,00					0,92	0,34	0,18	0,32
Τρίπολη	0,24	0,27	0,37	0,60	1,00					0,91	0,42	0,26	0,37
Δράμα	0,22	0,31	0,51	0,97						1,00	0,42	0,24	0,37
Καστοριά	0,23	0,28	0,41	0,68	1,00					0,82	0,34	0,20	0,36
Κοζάνη	0,21	0,23	0,34	0,58	1,00					0,71	0,32	0,24	0,33
Κόνιτσα	0,24	0,30	0,51	0,71	1,00					1,00	0,45	0,27	0,41
Σέρρες	0,21	0,32	0,49	0,95						1,00	0,39	0,20	0,37
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,42	0,43	0,4	0,16							0,14	0,4	0,31
Ιεράπετρα	0,42	0,42	0,39	0,13							0,07	0,39	0,29
Καλαμάτα	0,44	0,45	0,43	0,34							0,38	0,43	0,41
Νάξος	0,42	0,43	0,41	0,26							0,28	0,4	0,36
Ρόδος	0,43	0,43	0,4	0,19							0,2	0,41	0,33
Χανιά	0,42	0,43	0,41	0,24							0,3	0,41	0,36
Αθήνα	0,43	0,44	0,42	0,27							0,35	0,42	0,38
Αλίαρτος	0,43	0,44	0,43	0,32						0,15	0,42	0,42	0,36
Κέρκυρα	0,42	0,43	0,42	0,31							0,36	0,42	0,39
Κόρινθος	0,44	0,44	0,43	0,3							0,4	0,42	0,4
Λαμία	0,43	0,44	0,43	0,33						0,14	0,42	0,42	0,36
Λήμνος	0,41	0,44	0,44	0,38						0,15	0,41	0,41	0,37
Πάτρα	0,42	0,43	0,42	0,28							0,36	0,41	0,38
Μυτιλήνη	0,41	0,43	0,42	0,28							0,38	0,41	0,38
Αλεξ/πολη	0,42	0,44	0,44	0,38						0,26	0,42	0,41	0,39
Θεσ/ονίκη	0,42	0,44	0,43	0,33						0,17	0,4	0,41	0,36
Καβάλα	0,44	0,45	0,44	0,37						0,28	0,42	0,4	0,4
Λάρισα	0,42	0,44	0,43	0,35						0,2	0,42	0,41	0,37
Ιωάννινα	0,42	0,43	0,43	0,39	0,05					0,3	0,42	0,41	0,34
Τρίπολη	0,44	0,45	0,44	0,41	0,1					0,33	0,43	0,44	0,37
Δράμα	0,41	0,42	0,4	0,28						0,15	0,4	0,4	0,34
Καστοριά	0,43	0,44	0,43	0,38	0,13					0,35	0,42	0,41	0,36
Κοζάνη	0,42	0,42	0,42	0,38	0,12					0,35	0,41	0,42	0,36
Κόνιτσα	0,41	0,42	0,41	0,37	0,06					0,24	0,41	0,41	0,32
Σέρρες	0,41	0,42	0,41	0,3						0,21	0,41	0,4	0,35

ΤΕΕ/ΤΚΕ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 10.1.6: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση μονοκατοικίας από Η/Θ με Η.Σ. Κενού και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Ηλιακός Συλλέκτης Κενού: η_o=0,65, a_1 =1,80 (W/m²/K), a_2 =0,020 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,36	0,44	0,63	1,00							1,00	0,48	0,52
Ιεράπετρα	0,45	0,51	0,73	1,00							1,00	0,62	0,60
Καλαμάτα	0,30	0,35	0,50	0,90							0,71	0,33	0,44
Νάξος	0,33	0,40	0,57	1,00							1,00	0,43	0,51
Ρόδος	0,39	0,47	0,68	1,00							1,00	0,48	0,55
Χανιά	0,31	0,38	0,57	1,00							0,98	0,41	0,49
Αθήνα	0,30	0,38	0,50	1,00							0,80	0,36	0,45
Αλίαρτος	0,21	0,27	0,42	0,99						1,00	0,43	0,24	0,35
Κέρκυρα	0,31	0,37	0,54	1,00							0,74	0,32	0,46
Κόρινθος	0,30	0,36	0,51	1,00							0,60	0,30	0,43
Λαμία	0,23	0,28	0,43	0,94						1,00	0,43	0,24	0,36
Λήμνος	0,20	0,26	0,38	0,78						1,00	0,44	0,23	0,35
Πάτρα	0,26	0,35	0,56	1,00							0,70	0,33	0,44
Μυτιλήνη	0,24	0,32	0,48	1,00							0,67	0,32	0,41
Αλεξ/πολη	0,19	0,26	0,36	0,73						1,00	0,39	0,21	0,33
Θεσ/ονίκη	0,21	0,28	0,41	0,91						1,00	0,43	0,22	0,35
Καβάλα	0,24	0,31	0,40	0,77						1,00	0,41	0,20	0,36
Λάρισα	0,21	0,28	0,42	0,87						1,00	0,40	0,21	0,35
Ιωάννινα	0,19	0,25	0,38	0,67	1,00					0,99	0,35	0,20	0,33
Τρίπολη	0,25	0,28	0,38	0,62	1,00					0,95	0,43	0,27	0,38
Δράμα	0,24	0,32	0,53	1,00						1,00	0,44	0,26	0,39
Καστοριά	0,24	0,29	0,42	0,70	1,00					0,86	0,35	0,22	0,37
Κοζάνη	0,23	0,25	0,36	0,61	1,00					0,75	0,34	0,26	0,35
Κόνιτσα	0,26	0,32	0,53	0,75	1,00					1,00	0,47	0,29	0,43
Σέρρες	0,23	0,34	0,51	1,00						1,00	0,41	0,23	0,39
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,44	0,44	0,41	0,16							0,14	0,42	0,32
Ιεράπετρα	0,43	0,43	0,4	0,13							0,07	0,4	0,3
Καλαμάτα	0,45	0,45	0,44	0,36							0,39	0,44	0,42
Νάξος	0,44	0,44	0,42	0,26							0,3	0,42	0,37
Ρόδος	0,44	0,44	0,41	0,19							0,2	0,43	0,34
Χανιά	0,44	0,44	0,42	0,24							0,32	0,43	0,37
Αθήνα	0,45	0,45	0,43	0,27							0,37	0,44	0,39
Αλίαρτος	0,45	0,45	0,44	0,33						0,15	0,43	0,45	0,38
Κέρκυρα	0,45	0,45	0,43	0,33							0,38	0,44	0,41
Κόρινθος	0,45	0,45	0,43	0,31							0,41	0,44	0,41
Λαμία	0,46	0,46	0,44	0,35						0,14	0,43	0,45	0,38
Λήμνος	0,45	0,46	0,45	0,39						0,15	0,43	0,44	0,38
Πάτρα	0,44	0,45	0,43	0,28							0,38	0,44	0,4
Μυτιλήνη	0,44	0,45	0,43	0,28							0,39	0,44	0,4
Αλεξ/πολη	0,45	0,46	0,45	0,39						0,26	0,43	0,44	0,4
Θεσ/ονίκη	0,45	0,45	0,44	0,35						0,17	0,43	0,44	0,38
Καβάλα	0,46	0,46	0,45	0,38						0,28	0,44	0,44	0,41
Λάρισα	0,45	0,45	0,44	0,37						0,2	0,43	0,45	0,39
Ιωάννινα	0,45	0,45	0,45	0,4	0,05					0,33	0,44	0,44	0,35
Τρίπολη	0,46	0,46	0,45	0,42	0,1					0,35	0,44	0,45	0,38
Δράμα	0,44	0,44	0,42	0,29						0,15	0,42	0,44	0,36
Καστοριά	0,45	0,45	0,44	0,4	0,13					0,36	0,44	0,45	0,38
Κοζάνη	0,45	0,45	0,44	0,4	0,12					0,37	0,44	0,45	0,38
Κόνιτσα	0,44	0,44	0,43	0,39	0,06					0,24	0,43	0,44	0,33
Σέρρες	0,44	0,44	0,42	0,31						0,21	0,43	0,44	0,37

ΤΕΕ/ΤΚΣ ΕΧΕΑΠ

Πίνακας 10.1.7: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση πολυκατοικίας από Η/Θ με απλό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Απλός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,73, a_1 =5,51 (W/m²/K), a_2 =0,006 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,39	0,49	0,68	1,00							1,00	0,51	0,55
Ιεράπετρα	0,49	0,57	0,79	1,00							1,00	0,65	0,64
Καλαμάτα	0,34	0,40	0,57	0,89							0,73	0,36	0,48
Νάξος	0,35	0,45	0,63	0,99							0,91	0,44	0,53
Ρόδος	0,44	0,53	0,74	1,00							1,00	0,52	0,60
Χανιά	0,33	0,42	0,63	1,00							0,89	0,43	0,51
Αθήνα	0,32	0,42	0,54	0,97							0,78	0,37	0,47
Αλίαρτος	0,22	0,29	0,46	0,93						1,00	0,45	0,24	0,36
Κέρκυρα	0,32	0,40	0,58	0,93							0,72	0,33	0,47
Κόρινθος	0,32	0,40	0,56	0,95							0,62	0,31	0,45
Λαμία	0,24	0,31	0,47	0,89						1,00	0,46	0,24	0,37
Λήμνος	0,19	0,28	0,42	0,80						1,00	0,45	0,22	0,36
Πάτρα	0,26	0,37	0,61	0,95							0,69	0,34	0,45
Μυτιλήνη	0,24	0,34	0,52	0,97							0,67	0,32	0,42
Αλεξ/πολη	0,19	0,28	0,40	0,75						0,96	0,41	0,20	0,34
Θεσ/ονίκη	0,21	0,29	0,44	0,87						1,00	0,44	0,22	0,35
Καβάλα	0,25	0,35	0,44	0,78						0,94	0,44	0,19	0,38
Λάρισα	0,21	0,31	0,46	0,86						1,00	0,42	0,21	0,36
Ιωάννινα	0,19	0,26	0,41	0,70	1,00					0,90	0,37	0,19	0,34
Τρίπολη	0,27	0,31	0,43	0,67	1,00					0,91	0,47	0,28	0,41
Δράμα	0,24	0,34	0,56	0,93						1,00	0,47	0,25	0,40
Καστοριά	0,25	0,32	0,47	0,74	1,00					0,85	0,38	0,22	0,40
Κοζάνη	0,23	0,26	0,39	0,63	1,00					0,74	0,36	0,27	0,36
Κόνιτσα	0,26	0,33	0,58	0,77	1,00					0,98	0,50	0,30	0,45
Σέρρες	0,23	0,36	0,55	0,93						1,00	0,42	0,22	0,39
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,31	0,32	0,3	0,11							0,09	0,29	0,23
Ιεράπετρα	0,31	0,32	0,28	0,09							0,05	0,28	0,21
Καλαμάτα	0,34	0,34	0,33	0,24							0,27	0,32	0,3
Νάξος	0,31	0,32	0,31	0,17							0,18	0,29	0,26
Ρόδος	0,33	0,33	0,3	0,12							0,13	0,3	0,24
Χανιά	0,31	0,33	0,31	0,16							0,2	0,3	0,26
Αθήνα	0,33	0,34	0,33	0,18							0,25	0,31	0,28
Αλίαρτος	0,31	0,33	0,33	0,22						0,1	0,31	0,31	0,26
Κέρκυρα	0,32	0,33	0,32	0,21							0,25	0,31	0,29
Κόρινθος	0,33	0,35	0,33	0,2							0,3	0,31	0,3
Λαμία	0,33	0,34	0,33	0,23						0,09	0,32	0,31	0,27
Λήμνος	0,3	0,34	0,34	0,28						0,1	0,31	0,29	0,27
Πάτρα	0,3	0,33	0,32	0,18							0,26	0,31	0,28
Μυτιλήνη	0,3	0,33	0,32	0,19							0,27	0,3	0,28
Αλεξ/πολη	0,3	0,34	0,34	0,28						0,17	0,31	0,29	0,28
Θεσ/ονίκη	0,31	0,33	0,32	0,23						0,11	0,3	0,29	0,26
Καβάλα	0,33	0,35	0,34	0,26						0,18	0,32	0,28	0,29
Λάρισα	0,31	0,33	0,33	0,25						0,14	0,31	0,3	0,27
Ιωάννινα	0,3	0,33	0,33	0,28	0,04					0,2	0,31	0,29	0,24
Τρίπολη	0,34	0,35	0,35	0,31	0,07					0,23	0,33	0,33	0,28
Δράμα	0,29	0,31	0,3	0,18						0,1	0,29	0,28	0,24
Καστοριά	0,32	0,33	0,33	0,28	0,09					0,24	0,31	0,3	0,26
Κοζάνη	0,31	0,31	0,31	0,28	0,08					0,24	0,3	0,31	0,26
Κόνιτσα	0,3	0,31	0,31	0,26	0,04					0,15	0,3	0,3	0,23
Σέρρες	0,29	0,32	0,3	0,19						0,14	0,29	0,28	0,25

ΤΕΕ/ΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 10.1.8: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση πολυκατοικίας από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Επιλεκτικός Ηλιακός Συλλέκτης: η_o=0,77, a_1 =3,75 (W/m²/K), a_2 = 0,015 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,49	0,59	0,80	1,00							1,00	0,63	0,65
Ιεράπετρα	0,60	0,68	0,91	1,00							1,00	0,78	0,75
Καλαμάτα	0,42	0,49	0,67	1,00							0,87	0,45	0,58
Νάξος	0,45	0,55	0,75	1,00							1,00	0,56	0,63
Ρόδος	0,53	0,63	0,86	1,00							1,00	0,63	0,69
Χανιά	0,42	0,51	0,74	1,00							1,00	0,54	0,60
Αθήνα	0,40	0,51	0,65	1,00							0,92	0,46	0,56
Αλίαρτος	0,28	0,36	0,55	1,00						1,00	0,55	0,31	0,44
Κέρκυρα	0,40	0,49	0,69	1,00							0,86	0,42	0,56
Κόρινθος	0,39	0,49	0,66	1,00							0,74	0,39	0,54
Λαμία	0,30	0,38	0,56	1,00						1,00	0,56	0,31	0,45
Λήμνος	0,26	0,35	0,51	0,92						1,00	0,56	0,29	0,44
Πάτρα	0,34	0,46	0,72	1,00							0,83	0,43	0,54
Μυτιλήνη	0,31	0,43	0,62	1,00							0,81	0,41	0,51
Αλεξ/πολη	0,25	0,35	0,49	0,88						1,00	0,51	0,27	0,42
Θεσ/ονίκη	0,27	0,37	0,53	1,00						1,00	0,55	0,29	0,43
Καβάλα	0,32	0,43	0,53	0,91						1,00	0,53	0,26	0,46
Λάρισα	0,28	0,38	0,56	0,99						1,00	0,53	0,28	0,44
Ιωάννινα	0,25	0,33	0,50	0,82	1,00					1,00	0,46	0,26	0,42
Τρίπολη	0,34	0,38	0,51	0,78	1,00					1,00	0,57	0,36	0,49
Δράμα	0,32	0,43	0,68	1,00						1,00	0,58	0,34	0,49
Καστοριά	0,33	0,40	0,57	0,87	1,00					0,99	0,47	0,29	0,48
Κοζάνη	0,31	0,34	0,48	0,76	1,00					0,88	0,45	0,35	0,45
Κόνιτσα	0,34	0,42	0,69	0,90	1,00					1,00	0,62	0,39	0,54
Σέρρες	0,31	0,45	0,67	1,00						1,00	0,53	0,30	0,48
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,39	0,39	0,35	0,11							0,09	0,36	0,27
Ιεράπετρα	0,38	0,38	0,33	0,09							0,05	0,33	0,25
Καλαμάτα	0,42	0,41	0,39	0,26							0,32	0,4	0,36
Νάξος	0,39	0,39	0,36	0,17							0,2	0,36	0,3
Ρόδος	0,4	0,39	0,34	0,12							0,13	0,37	0,28
Χανιά	0,39	0,4	0,37	0,16							0,22	0,38	0,31
Αθήνα	0,41	0,41	0,39	0,18							0,29	0,39	0,34
Αλίαρτος	0,41	0,42	0,4	0,23						0,1	0,38	0,4	0,32
Κέρκυρα	0,4	0,41	0,38	0,23							0,3	0,39	0,34
Κόρινθος	0,41	0,42	0,39	0,21							0,35	0,4	0,36
Λαμία	0,42	0,42	0,4	0,26						0,09	0,39	0,41	0,33
Λήμνος	0,4	0,42	0,41	0,32						0,1	0,38	0,39	0,33
Πάτρα	0,4	0,4	0,38	0,19							0,31	0,39	0,34
Μυτιλήνη	0,39	0,41	0,39	0,2							0,33	0,39	0,34
Αλεξ/πολη	0,4	0,42	0,41	0,32						0,18	0,39	0,39	0,35
Θεσ/ονίκη	0,41	0,41	0,4	0,26						0,11	0,37	0,39	0,32
Καβάλα	0,42	0,43	0,41	0,31						0,19	0,39	0,39	0,35
Λάρισα	0,41	0,42	0,4	0,29						0,14	0,38	0,4	0,34
Ιωάννινα	0,4	0,41	0,4	0,33	0,04					0,23	0,39	0,39	0,3
Τρίπολη	0,42	0,43	0,41	0,36	0,07					0,25	0,4	0,41	0,33
Δράμα	0,39	0,39	0,36	0,19						0,1	0,37	0,38	0,3
Καστοριά	0,41	0,41	0,39	0,32	0,09					0,28	0,39	0,39	0,32
Κοζάνη	0,4	0,4	0,39	0,33	0,08					0,29	0,38	0,4	0,33
Κόνιτσα	0,39	0,39	0,37	0,31	0,04					0,16	0,37	0,39	0,28
Σέρρες	0,39	0,4	0,36	0,21						0,14	0,37	0,38	0,31

ΤΕΕ/ΤΚΣ ΕΧΕΑΝ

Πίνακας 10.1.9: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση πολυκατοικίας από Η/Θ με Η.Σ. Κενού και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης

Ηλιακός Συλλέκτης Κενού: η_o=0,65, a_1 =1,80 (W/m²/K), a_2 =0,020 (W/m²/K²)													
Περιοχή	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Ποσοστό κάλυψης (f)													
Ηράκλειο	0,51	0,61	0,84	1,00							1,00	0,67	0,68
Ιεράπετρα	0,63	0,71	0,96	1,00							1,00	0,83	0,78
Καλαμάτα	0,43	0,50	0,70	1,00							0,93	0,48	0,60
Νάξος	0,47	0,57	0,78	1,00							1,00	0,60	0,66
Ρόδος	0,56	0,65	0,90	1,00							1,00	0,67	0,72
Χανιά	0,44	0,54	0,77	1,00							1,00	0,57	0,63
Αθήνα	0,42	0,53	0,67	1,00							0,99	0,49	0,59
Αλίαρτος	0,30	0,38	0,57	1,00						1,00	0,58	0,33	0,46
Κέρκυρα	0,42	0,51	0,71	1,00							0,94	0,45	0,59
Κόρινθος	0,41	0,50	0,69	1,00							0,78	0,42	0,56
Λαμία	0,32	0,39	0,59	1,00						1,00	0,58	0,33	0,47
Λήμνος	0,28	0,37	0,53	0,98						1,00	0,59	0,32	0,46
Πάτρα	0,37	0,48	0,74	1,00							0,90	0,46	0,57
Μυτιλήνη	0,34	0,45	0,65	1,00							0,86	0,44	0,54
Αλεξ/πολη	0,27	0,37	0,51	0,94						1,00	0,53	0,30	0,45
Θεσ/ονίκη	0,30	0,39	0,56	1,00						1,00	0,59	0,32	0,46
Καβάλα	0,34	0,44	0,55	0,98						1,00	0,56	0,28	0,48
Λάρισα	0,30	0,40	0,58	1,00						1,00	0,56	0,30	0,46
Ιωάννινα	0,27	0,35	0,52	0,87	1,00					1,00	0,49	0,29	0,44
Τρίπολη	0,35	0,39	0,53	0,82	1,00					1,00	0,59	0,38	0,51
Δράμα	0,35	0,46	0,72	1,00						1,00	0,62	0,37	0,52
Καστοριά	0,35	0,41	0,59	0,92	1,00					1,00	0,50	0,32	0,51
Κοζάνη	0,33	0,36	0,51	0,82	1,00					0,96	0,48	0,37	0,48
Κόνιτσα	0,37	0,45	0,73	0,97	1,00					1,00	0,65	0,42	0,57
Σέρρες	0,34	0,48	0,71	1,00						1,00	0,57	0,33	0,51
Συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης													
Ηράκλειο	0,41	0,41	0,37	0,11							0,09	0,38	0,28
Ιεράπετρα	0,4	0,39	0,34	0,09							0,05	0,36	0,26
Καλαμάτα	0,43	0,43	0,4	0,26							0,34	0,42	0,37
Νάξος	0,41	0,41	0,38	0,17							0,2	0,39	0,32
Ρόδος	0,41	0,4	0,36	0,12							0,13	0,39	0,29
Χανιά	0,42	0,42	0,38	0,16							0,22	0,4	0,32
Αθήνα	0,43	0,42	0,4	0,18							0,32	0,41	0,35
Αλίαρτος	0,44	0,44	0,42	0,23						0,1	0,4	0,43	0,33
Κέρκυρα	0,43	0,42	0,39	0,23							0,33	0,42	0,36
Κόρινθος	0,43	0,43	0,4	0,21							0,37	0,42	0,37
Λαμία	0,44	0,44	0,41	0,26						0,09	0,4	0,43	0,34
Λήμνος	0,43	0,44	0,42	0,34						0,1	0,4	0,43	0,35
Πάτρα	0,43	0,42	0,39	0,19							0,34	0,42	0,35
Μυτιλήνη	0,43	0,43	0,4	0,2							0,35	0,41	0,36
Αλεξ/πολη	0,44	0,44	0,43	0,34						0,18	0,41	0,43	0,37
Θεσ/ονίκη	0,44	0,43	0,41	0,26						0,11	0,4	0,43	0,34
Καβάλα	0,44	0,44	0,42	0,33						0,19	0,41	0,43	0,37
Λάρισα	0,44	0,43	0,41	0,29						0,14	0,41	0,43	0,35
Ιωάννινα	0,44	0,44	0,42	0,36	0,04					0,23	0,41	0,43	0,32
Τρίπολη	0,44	0,44	0,43	0,38	0,07					0,25	0,41	0,44	0,34
Δράμα	0,42	0,42	0,38	0,19						0,1	0,39	0,42	0,31
Καστοριά	0,43	0,43	0,41	0,35	0,09					0,28	0,41	0,43	0,34
Κοζάνη	0,43	0,43	0,42	0,36	0,08					0,32	0,41	0,43	0,35
Κόνιτσα	0,42	0,42	0,39	0,33	0,04					0,16	0,39	0,42	0,3
Σέρρες	0,42	0,42	0,38	0,21						0,14	0,4	0,42	0,32

ΤΕΕ/ΤΚΣ ΕΧΕΑΠ

Πίνακας 10.1.10: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με απλό Η.Σ.

H_T (kWh/m²)	Μέσο ημερήσιο φορτίο (L_w) / Χωρητικότητα θερμαντήρα (V_{tank}), Ανηγμένα ανά μονάδα επιφάνειας Η.Σ. (A_c) σε (m²)															
	50/25	50/50	50/75	50/100	33/25	33/50	33/75	33/100	25/25	25/50	25/75	25/100	20/25	20/50	20/75	20/100
40-44	0,00	0,02	0,05	0,07	0,03	0,08	0,10	0,12	0,15	0,16	0,18	0,20	0,32	0,29	0,28	0,29
45-49	0,00	0,05	0,08	0,10	0,08	0,12	0,14	0,17	0,20	0,21	0,23	0,25	0,38	0,34	0,34	0,34
50-54	0,05	0,10	0,13	0,15	0,15	0,19	0,22	0,24	0,28	0,29	0,31	0,33	0,47	0,43	0,42	0,43
55-59	0,10	0,15	0,17	0,19	0,21	0,25	0,27	0,29	0,37	0,37	0,39	0,40	0,59	0,53	0,51	0,51
60-64	0,14	0,19	0,22	0,24	0,26	0,30	0,33	0,35	0,43	0,43	0,44	0,46	0,64	0,58	0,57	0,57
65-69	0,18	0,23	0,26	0,28	0,33	0,36	0,39	0,41	0,52	0,51	0,51	0,53	0,75	0,67	0,65	0,65
70-74	0,23	0,28	0,31	0,33	0,38	0,41	0,44	0,46	0,58	0,56	0,57	0,58	0,82	0,73	0,71	0,70
75-79	0,25	0,30	0,33	0,35	0,41	0,44	0,46	0,48	0,60	0,58	0,59	0,60	0,80	0,74	0,73	0,72
80-84	0,28	0,33	0,36	0,38	0,43	0,47	0,50	0,52	0,59	0,60	0,61	0,63	0,75	0,73	0,73	0,73
85-89	0,32	0,37	0,40	0,41	0,48	0,51	0,54	0,56	0,65	0,65	0,66	0,67	0,81	0,78	0,78	0,78
90-94	0,35	0,40	0,43	0,45	0,52	0,55	0,58	0,59	0,71	0,70	0,70	0,71	0,88	0,83	0,82	0,82
95-99	0,39	0,43	0,46	0,48	0,57	0,60	0,62	0,63	0,77	0,75	0,75	0,76	0,90	0,87	0,86	0,86
100-104	0,43	0,47	0,50	0,52	0,63	0,64	0,66	0,68	0,81	0,80	0,80	0,80	0,92	0,89	0,89	0,89
105-109	0,46	0,51	0,53	0,55	0,67	0,68	0,70	0,71	0,83	0,83	0,83	0,84	0,93	0,91	0,91	0,91
110-114	0,48	0,53	0,56	0,58	0,66	0,69	0,71	0,73	0,81	0,81	0,82	0,83	0,93	0,91	0,91	0,91
115-119	0,52	0,57	0,60	0,61	0,70	0,73	0,75	0,77	0,85	0,85	0,86	0,87	0,95	0,94	0,94	0,94
120-124	0,56	0,60	0,63	0,65	0,74	0,76	0,78	0,80	0,89	0,88	0,88	0,89	0,96	0,96	0,96	0,96
125-129	0,58	0,63	0,66	0,68	0,75	0,78	0,80	0,82	0,88	0,89	0,89	0,90	0,97	0,95	0,95	0,96
130-134	0,61	0,66	0,68	0,70	0,77	0,80	0,82	0,84	0,90	0,91	0,91	0,92	0,98	0,96	0,96	0,97
135-139	0,65	0,69	0,72	0,74	0,81	0,83	0,86	0,87	0,92	0,92	0,93	0,94	0,99	0,98	0,98	0,98
140-144	0,68	0,73	0,75	0,77	0,85	0,86	0,88	0,90	0,95	0,95	0,96	0,97	1,00	0,99	0,99	1,00
145-149	0,71	0,76	0,79	0,81	0,89	0,89	0,90	0,92	0,97	0,97	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
150-154	0,74	0,79	0,82	0,84	0,90	0,91	0,93	0,94	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
155-159	0,76	0,81	0,83	0,85	0,92	0,93	0,94	0,95	0,99	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
160-164	0,78	0,83	0,86	0,88	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
165-169	0,81	0,85	0,88	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
170-174	0,84	0,87	0,90	0,92	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
175-179	0,85	0,89	0,92	0,94	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
180-184	0,86	0,90	0,93	0,95	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
185-189	0,87	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
190-194	0,89	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
195-199	0,89	0,93	0,96	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200-204	0,91	0,95	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
205-209	0,92	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
210-214	0,94	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
215-219	0,94	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
220-224	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
225-229	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Πίνακας 10.1.11: Μέση μηνιαία ηλιακή αξιοποίηση από Η/Θ συστήματα με απλό Η.Σ., για παραγωγή Ζ.Ν.Χ.

H_T (kWh/m²)	Μέσο ημερήσιο φορτίο (L_w) / Χωρητικότητα θερμαντήρα (V_{tank}), Ανηγμένα ανά μονάδα επιφάνειας Η.Σ. (A_c) σε (m²)															
	50/25	50/50	50/75	50/100	33/25	33/50	33/75	33/100	25/25	25/50	25/75	25/100	20/25	20/50	20/75	20/100
40-44	0,00	0,03	0,08	0,11	0,03	0,08	0,11	0,13	0,12	0,13	0,14	0,15	0,20	0,18	0,18	0,18
45-49	0,00	0,08	0,12	0,14	0,07	0,11	0,14	0,16	0,14	0,15	0,17	0,18	0,21	0,19	0,19	0,20
50-54	0,07	0,13	0,17	0,19	0,12	0,16	0,18	0,20	0,18	0,18	0,20	0,21	0,23	0,21	0,21	0,22
55-59	0,11	0,16	0,19	0,21	0,15	0,18	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21	0,22	0,26	0,23	0,22	0,23
60-64	0,14	0,19	0,22	0,24	0,18	0,20	0,22	0,24	0,22	0,22	0,23	0,23	0,26	0,23	0,23	0,23
65-69	0,16	0,21	0,24	0,25	0,19	0,21	0,23	0,24	0,23	0,22	0,23	0,23	0,27	0,24	0,23	0,23
70-74	0,19	0,23	0,25	0,27	0,21	0,23	0,24	0,25	0,23	0,23	0,23	0,24	0,26	0,24	0,23	0,23
75-79	0,20	0,24	0,26	0,28	0,21	0,23	0,25	0,26	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,23	0,23	0,23
80-84	0,23	0,27	0,29	0,30	0,23	0,25	0,26	0,27	0,23	0,24	0,24	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23
85-89	0,24	0,27	0,29	0,31	0,23	0,25	0,26	0,27	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23
90-94	0,23	0,27	0,29	0,30	0,23	0,25	0,26	0,27	0,24	0,23	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22	0,22
95-99	0,25	0,28	0,29	0,31	0,24	0,25	0,26	0,27	0,24	0,23	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22	0,22
100-104	0,25	0,28	0,29	0,31	0,24	0,25	0,26	0,26	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21	0,21	0,21	0,21
105-109	0,25	0,28	0,29	0,30	0,24	0,25	0,26	0,26	0,23	0,23	0,23	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20
110-114	0,27	0,30	0,31	0,32	0,24	0,25	0,26	0,27	0,22	0,22	0,23	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20
115-119	0,27	0,29	0,31	0,32	0,24	0,25	0,26	0,26	0,22	0,22	0,22	0,22	0,19	0,19	0,19	0,19
120-124	0,27	0,29	0,30	0,31	0,24	0,24	0,25	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21	0,18	0,18	0,18	0,18
125-129	0,27	0,30	0,31	0,32	0,23	0,25	0,25	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21	0,18	0,18	0,18	0,18
130-134	0,27	0,30	0,31	0,32	0,23	0,24	0,25	0,25	0,20	0,20	0,21	0,21	0,18	0,17	0,17	0,17
135-139	0,27	0,29	0,30	0,31	0,23	0,23	0,24	0,25	0,19	0,19	0,20	0,20	0,17	0,17	0,17	0,17
140-144	0,26	0,28	0,29	0,30	0,22	0,22	0,23	0,23	0,18	0,18	0,18	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15
145-149	0,25	0,27	0,28	0,29	0,21	0,21	0,21	0,22	0,17	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14
150-154	0,25	0,27	0,28	0,28	0,20	0,21	0,21	0,21	0,17	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14
155-159	0,25	0,26	0,27	0,28	0,20	0,20	0,20	0,21	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
160-164	0,25	0,26	0,27	0,28	0,19	0,20	0,20	0,20	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
165-169	0,24	0,25	0,26	0,26	0,18	0,19	0,19	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12
170-174	0,23	0,24	0,25	0,25	0,18	0,18	0,18	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
175-179	0,23	0,24	0,24	0,25	0,17	0,17	0,18	0,18	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11
180-184	0,22	0,23	0,24	0,25	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
185-189	0,23	0,24	0,24	0,25	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
190-194	0,22	0,23	0,24	0,25	0,16	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
195-199	0,23	0,24	0,25	0,25	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
200-204	0,21	0,22	0,22	0,23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
205-209	0,21	0,22	0,23	0,23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
210-214	0,20	0,20	0,21	0,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08
215-219	0,20	0,21	0,21	0,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
220-224	0,19	0,20	0,20	0,20	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
225-229	0,19	0,20	0,20	0,20	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08

Πίνακας 10.1.12: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ.

H_T (kWh/m²)	Μέσο ημερήσιο φορτίο (L_w) / Χωρητικότητα θερμαντήρα (V_{tank}), Ανηγμένα ανά μονάδα επιφάνειας Η.Σ. (A_c) σε (m²)															
	50/25	50/50	50/75	50/100	33/25	33/50	33/75	33/100	25/25	25/50	25/75	25/100	20/25	20/50	20/75	20/100
40-44	0,05	0,09	0,12	0,13	0,10	0,15	0,18	0,20	0,16	0,21	0,24	0,26	0,24	0,28	0,31	0,32
45-49	0,08	0,12	0,15	0,16	0,14	0,19	0,22	0,23	0,21	0,26	0,28	0,31	0,29	0,33	0,35	0,37
50-54	0,13	0,17	0,20	0,21	0,20	0,25	0,28	0,30	0,29	0,33	0,36	0,38	0,38	0,41	0,44	0,46
55-59	0,17	0,21	0,24	0,26	0,26	0,31	0,34	0,36	0,35	0,40	0,43	0,45	0,46	0,49	0,51	0,53
60-64	0,21	0,26	0,28	0,29	0,31	0,36	0,39	0,41	0,41	0,46	0,48	0,51	0,52	0,55	0,57	0,59
65-69	0,25	0,30	0,32	0,34	0,37	0,42	0,45	0,47	0,48	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65
70-74	0,30	0,34	0,37	0,38	0,42	0,47	0,50	0,52	0,53	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	0,70
75-79	0,32	0,36	0,39	0,40	0,44	0,49	0,52	0,54	0,56	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73
80-84	0,35	0,39	0,41	0,43	0,48	0,52	0,55	0,57	0,58	0,63	0,66	0,68	0,68	0,71	0,74	0,76
85-89	0,38	0,42	0,45	0,46	0,51	0,56	0,59	0,61	0,63	0,67	0,70	0,72	0,73	0,76	0,78	0,80
90-94	0,41	0,46	0,48	0,50	0,55	0,60	0,63	0,65	0,67	0,71	0,73	0,75	0,78	0,79	0,81	0,83
95-99	0,44	0,49	0,51	0,53	0,59	0,64	0,67	0,69	0,71	0,75	0,77	0,79	0,82	0,83	0,85	0,86
100-104	0,48	0,53	0,55	0,57	0,63	0,68	0,71	0,73	0,76	0,79	0,81	0,83	0,86	0,87	0,88	0,90
105-109	0,51	0,56	0,58	0,60	0,67	0,71	0,74	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,89	0,90	0,91	0,92
110-114	0,54	0,58	0,61	0,62	0,69	0,74	0,77	0,78	0,80	0,83	0,86	0,88	0,88	0,90	0,92	0,94
115-119	0,57	0,62	0,64	0,66	0,73	0,77	0,80	0,82	0,83	0,87	0,89	0,91	0,91	0,92	0,94	0,96
120-124	0,61	0,65	0,68	0,69	0,76	0,80	0,83	0,85	0,86	0,89	0,91	0,93	0,93	0,95	0,96	0,98
125-129	0,64	0,68	0,71	0,72	0,78	0,83	0,86	0,88	0,87	0,91	0,94	0,96	0,94	0,96	0,98	0,99
130-134	0,66	0,71	0,73	0,75	0,81	0,86	0,88	0,90	0,89	0,93	0,96	0,97	0,95	0,98	0,99	1,00
135-139	0,70	0,74	0,77	0,79	0,84	0,89	0,92	0,94	0,92	0,95	0,98	0,99	0,96	0,99	1,00	1,00
140-144	0,73	0,78	0,81	0,82	0,87	0,91	0,94	0,96	0,94	0,97	0,99	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00
145-149	0,77	0,81	0,84	0,86	0,89	0,93	0,96	0,98	0,96	0,99	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00
150-154	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,96	0,98	0,99	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
155-159	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,97	0,99	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
160-164	0,84	0,89	0,91	0,93	0,94	0,99	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
165-169	0,87	0,92	0,94	0,96	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
170-174	0,89	0,94	0,96	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
175-179	0,91	0,96	0,98	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
180-184	0,92	0,97	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
185-189	0,93	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
190-194	0,94	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
195-199	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200-204	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
205-209	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
210-214	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
215-219	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
220-224	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
225-229	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Πίνακας 10.1.13: Μέση μηνιαία ηλιακή αξιοποίηση από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ., για παραγωγή Ζ.Ν.Χ.

H_T (kWh/m²)	Μέσο ημερήσιο φορτίο (L_w) / Χωρητικότητα θερμαντήρα (V_{tank}), Ανηγμένα ανά μονάδα επιφάνειας Η.Σ. (A_c) σε (m²)															
	50/25	50/50	50/75	50/100	33/25	33/50	33/75	33/100	25/25	25/50	25/75	25/100	20/25	20/50	20/75	20/100
40-44	0,08	0,15	0,18	0,21	0,10	0,16	0,19	0,21	0,13	0,16	0,19	0,20	0,15	0,17	0,19	0,20
45-49	0,12	0,18	0,21	0,23	0,13	0,18	0,21	0,23	0,15	0,19	0,21	0,22	0,17	0,19	0,21	0,22
50-54	0,17	0,22	0,25	0,27	0,17	0,21	0,24	0,25	0,18	0,21	0,23	0,24	0,19	0,21	0,22	0,23
55-59	0,19	0,24	0,26	0,28	0,19	0,23	0,25	0,26	0,19	0,22	0,23	0,25	0,20	0,21	0,22	0,23
60-64	0,22	0,26	0,28	0,30	0,21	0,24	0,26	0,28	0,21	0,23	0,25	0,26	0,21	0,22	0,23	0,24
65-69	0,23	0,27	0,29	0,30	0,22	0,25	0,26	0,28	0,21	0,23	0,24	0,25	0,21	0,22	0,23	0,23
70-74	0,24	0,28	0,30	0,31	0,23	0,25	0,27	0,28	0,22	0,23	0,25	0,25	0,21	0,22	0,22	0,23
75-79	0,25	0,29	0,31	0,32	0,23	0,26	0,28	0,29	0,22	0,24	0,25	0,26	0,21	0,22	0,23	0,23
80-84	0,28	0,31	0,33	0,34	0,25	0,28	0,29	0,30	0,23	0,25	0,26	0,27	0,22	0,23	0,24	0,24
85-89	0,28	0,31	0,33	0,34	0,25	0,28	0,29	0,30	0,23	0,25	0,26	0,27	0,22	0,22	0,23	0,24
90-94	0,28	0,31	0,32	0,33	0,25	0,27	0,28	0,29	0,22	0,24	0,25	0,25	0,21	0,21	0,22	0,22
95-99	0,28	0,31	0,32	0,34	0,25	0,27	0,28	0,29	0,22	0,24	0,24	0,25	0,21	0,21	0,21	0,22
100-104	0,28	0,31	0,32	0,33	0,25	0,26	0,28	0,28	0,22	0,23	0,24	0,24	0,20	0,20	0,21	0,21
105-109	0,28	0,31	0,32	0,33	0,25	0,26	0,27	0,28	0,22	0,23	0,23	0,24	0,19	0,20	0,20	0,20
110-114	0,30	0,32	0,34	0,34	0,26	0,27	0,28	0,29	0,22	0,23	0,24	0,24	0,19	0,20	0,20	0,21
115-119	0,30	0,32	0,33	0,34	0,25	0,27	0,27	0,28	0,21	0,22	0,23	0,23	0,19	0,19	0,19	0,20
120-124	0,29	0,31	0,32	0,33	0,24	0,26	0,27	0,27	0,21	0,21	0,22	0,22	0,18	0,18	0,18	0,19
125-129	0,30	0,32	0,33	0,34	0,25	0,26	0,27	0,28	0,21	0,22	0,22	0,23	0,18	0,18	0,19	0,19
130-134	0,30	0,32	0,33	0,34	0,24	0,26	0,27	0,27	0,20	0,21	0,22	0,22	0,17	0,18	0,18	0,18
135-139	0,29	0,31	0,32	0,33	0,24	0,25	0,26	0,26	0,19	0,20	0,21	0,21	0,16	0,17	0,17	0,17
140-144	0,28	0,30	0,31	0,32	0,22	0,23	0,24	0,25	0,18	0,19	0,19	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15
145-149	0,27	0,29	0,30	0,31	0,21	0,22	0,23	0,23	0,17	0,18	0,18	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14
150-154	0,27	0,29	0,30	0,30	0,21	0,22	0,22	0,23	0,17	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14
155-159	0,26	0,28	0,29	0,29	0,20	0,21	0,21	0,22	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
160-164	0,26	0,28	0,29	0,29	0,20	0,21	0,21	0,21	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
165-169	0,25	0,27	0,28	0,28	0,19	0,19	0,19	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12
170-174	0,24	0,26	0,26	0,27	0,18	0,18	0,18	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
175-179	0,24	0,25	0,26	0,27	0,18	0,18	0,18	0,18	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11
180-184	0,24	0,25	0,26	0,26	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
185-189	0,24	0,25	0,26	0,26	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
190-194	0,24	0,25	0,25	0,25	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
195-199	0,24	0,25	0,26	0,26	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
200-204	0,22	0,23	0,23	0,23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
205-209	0,23	0,23	0,23	0,23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
210-214	0,21	0,21	0,21	0,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08
215-219	0,21	0,21	0,21	0,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
220-224	0,20	0,20	0,20	0,20	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
225-229	0,20	0,20	0,20	0,20	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08

Πίνακας 10.1.14: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με συλλέκτη Κενού

H_T (kWh/m²)	Μέσο ημερήσιο φορτίο (L_w) / Χωρητικότητα θερμαντήρα (V_{tank}), Ανηγμένα ανά μονάδα επιφάνειας Η.Σ. (A_c) σε (m²)															
	50/25	50/50	50/75	50/100	33/25	33/50	33/75	33/100	25/25	25/50	25/75	25/100	20/25	20/50	20/75	20/100
40-44	0,14	0,16	0,16	0,17	0,20	0,23	0,24	0,24	0,26	0,29	0,30	0,31	0,32	0,35	0,37	0,38
45-49	0,16	0,17	0,18	0,19	0,23	0,25	0,26	0,27	0,29	0,32	0,33	0,34	0,36	0,39	0,40	0,41
50-54	0,19	0,21	0,22	0,22	0,28	0,30	0,31	0,32	0,35	0,38	0,39	0,40	0,42	0,46	0,47	0,48
55-59	0,23	0,24	0,25	0,25	0,32	0,34	0,36	0,36	0,41	0,44	0,45	0,46	0,49	0,52	0,54	0,55
60-64	0,25	0,27	0,27	0,28	0,36	0,38	0,39	0,40	0,45	0,48	0,49	0,50	0,53	0,57	0,58	0,59
65-69	0,29	0,30	0,31	0,32	0,41	0,43	0,44	0,45	0,51	0,54	0,55	0,56	0,60	0,63	0,65	0,66
70-74	0,32	0,33	0,34	0,35	0,45	0,47	0,48	0,49	0,56	0,58	0,60	0,61	0,65	0,68	0,70	0,71
75-79	0,33	0,35	0,36	0,36	0,46	0,49	0,50	0,51	0,58	0,60	0,62	0,63	0,67	0,70	0,72	0,73
80-84	0,34	0,36	0,36	0,37	0,48	0,50	0,51	0,52	0,59	0,62	0,63	0,64	0,69	0,72	0,74	0,75
85-89	0,37	0,38	0,39	0,40	0,51	0,53	0,55	0,55	0,63	0,66	0,68	0,68	0,73	0,77	0,78	0,79
90-94	0,40	0,42	0,43	0,43	0,55	0,58	0,59	0,60	0,68	0,71	0,72	0,73	0,78	0,81	0,83	0,84
95-99	0,43	0,44	0,45	0,46	0,59	0,61	0,62	0,63	0,71	0,74	0,76	0,77	0,81	0,85	0,87	0,88
100-104	0,46	0,48	0,48	0,49	0,63	0,65	0,66	0,67	0,76	0,79	0,80	0,81	0,86	0,89	0,91	0,92
105-109	0,48	0,50	0,51	0,52	0,66	0,68	0,69	0,70	0,79	0,82	0,84	0,85	0,89	0,92	0,94	0,96
110-114	0,49	0,51	0,52	0,52	0,67	0,69	0,70	0,71	0,81	0,84	0,85	0,86	0,91	0,94	0,96	0,97
115-119	0,53	0,54	0,55	0,56	0,71	0,73	0,74	0,75	0,85	0,88	0,89	0,90	0,95	0,97	0,98	0,99
120-124	0,56	0,58	0,59	0,59	0,75	0,77	0,78	0,79	0,89	0,92	0,93	0,94	0,98	0,99	1,00	1,00
125-129	0,58	0,59	0,60	0,60	0,77	0,79	0,80	0,81	0,91	0,93	0,95	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00
130-134	0,60	0,62	0,63	0,63	0,80	0,82	0,83	0,84	0,94	0,96	0,97	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00
135-139	0,64	0,65	0,66	0,67	0,84	0,86	0,87	0,88	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
140-144	0,68	0,70	0,70	0,71	0,88	0,91	0,92	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
145-149	0,72	0,74	0,75	0,76	0,92	0,94	0,95	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
150-154	0,75	0,77	0,78	0,78	0,95	0,97	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
155-159	0,78	0,79	0,80	0,81	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
160-164	0,80	0,81	0,82	0,83	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
165-169	0,84	0,86	0,87	0,87	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
170-174	0,87	0,89	0,90	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
175-179	0,89	0,91	0,92	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
180-184	0,91	0,93	0,94	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
185-189	0,91	0,93	0,94	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
190-194	0,93	0,94	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
195-199	0,93	0,94	0,95	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200-204	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
205-209	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
210-214	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
215-219	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
220-224	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
225-229	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Πίνακας 10.1.15: Μέση μηνιαία ηλιακή αξιοποίηση από Η/Θ με συλλέκτη Κενού, για παραγωγή Ζ.Ν.Χ.

H_T (kWh/m²)	Μέσο ημερήσιο φορτίο (L_w) / Χωρητικότητα θερμαντήρα (V_{tank}), Ανηγμένα ανά μονάδα επιφάνειας Η.Σ. (A_c) σε (m²)															
	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25	50/25
40-44	0,22	0,24	0,25	0,26	0,21	0,23	0,25	0,25	0,21	0,23	0,24	0,24	0,20	0,22	0,23	0,24
45-49	0,23	0,25	0,26	0,27	0,22	0,24	0,25	0,26	0,21	0,23	0,24	0,25	0,21	0,22	0,23	0,24
50-54	0,24	0,26	0,27	0,28	0,23	0,25	0,26	0,27	0,22	0,24	0,25	0,25	0,21	0,23	0,24	0,24
55-59	0,25	0,26	0,27	0,28	0,24	0,25	0,26	0,26	0,22	0,24	0,25	0,25	0,21	0,23	0,23	0,24
60-64	0,26	0,27	0,28	0,28	0,24	0,26	0,26	0,27	0,23	0,24	0,25	0,25	0,22	0,23	0,24	0,24
65-69	0,26	0,27	0,28	0,28	0,24	0,25	0,26	0,27	0,23	0,24	0,25	0,25	0,21	0,22	0,23	0,24
70-74	0,26	0,27	0,28	0,28	0,24	0,26	0,26	0,27	0,23	0,24	0,25	0,25	0,21	0,22	0,23	0,23
75-79	0,26	0,28	0,28	0,29	0,25	0,26	0,26	0,27	0,23	0,24	0,25	0,25	0,21	0,22	0,23	0,23
80-84	0,27	0,28	0,29	0,29	0,25	0,26	0,27	0,27	0,24	0,25	0,25	0,26	0,22	0,23	0,24	0,24
85-89	0,27	0,28	0,29	0,29	0,25	0,26	0,27	0,27	0,23	0,24	0,25	0,25	0,22	0,23	0,23	0,23
90-94	0,27	0,28	0,28	0,29	0,25	0,26	0,26	0,27	0,23	0,24	0,24	0,25	0,21	0,22	0,22	0,23
95-99	0,27	0,28	0,28	0,29	0,25	0,26	0,26	0,26	0,23	0,23	0,24	0,24	0,21	0,21	0,22	0,22
100-104	0,27	0,28	0,28	0,28	0,24	0,25	0,26	0,26	0,22	0,23	0,23	0,24	0,20	0,21	0,21	0,22
105-109	0,27	0,27	0,28	0,28	0,24	0,25	0,25	0,26	0,22	0,23	0,23	0,23	0,20	0,20	0,21	0,21
110-114	0,27	0,28	0,29	0,29	0,25	0,26	0,26	0,26	0,22	0,23	0,24	0,24	0,20	0,21	0,21	0,21
115-119	0,27	0,28	0,28	0,28	0,24	0,25	0,25	0,26	0,22	0,23	0,23	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20
120-124	0,27	0,27	0,28	0,28	0,24	0,25	0,25	0,25	0,21	0,22	0,22	0,23	0,19	0,19	0,19	0,19
125-129	0,27	0,28	0,28	0,28	0,24	0,25	0,25	0,25	0,21	0,22	0,22	0,23	0,19	0,19	0,19	0,19
130-134	0,27	0,28	0,28	0,28	0,24	0,24	0,25	0,25	0,21	0,22	0,22	0,22	0,18	0,18	0,18	0,18
135-139	0,27	0,27	0,28	0,28	0,23	0,24	0,24	0,25	0,20	0,21	0,21	0,21	0,17	0,17	0,17	0,17
140-144	0,26	0,27	0,27	0,27	0,23	0,23	0,24	0,24	0,19	0,19	0,19	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15
145-149	0,25	0,26	0,26	0,27	0,22	0,22	0,22	0,23	0,18	0,18	0,18	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14
150-154	0,25	0,26	0,26	0,26	0,21	0,22	0,22	0,22	0,17	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14
155-159	0,25	0,26	0,26	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
160-164	0,25	0,25	0,26	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
165-169	0,24	0,25	0,25	0,25	0,19	0,19	0,19	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12
170-174	0,24	0,24	0,25	0,25	0,18	0,18	0,18	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
175-179	0,24	0,24	0,24	0,25	0,18	0,18	0,18	0,18	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11
180-184	0,23	0,24	0,24	0,24	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
185-189	0,24	0,24	0,24	0,24	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
190-194	0,23	0,24	0,24	0,24	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
195-199	0,24	0,24	0,24	0,24	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10
200-204	0,22	0,23	0,23	0,23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
205-209	0,22	0,23	0,23	0,23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
210-214	0,21	0,21	0,21	0,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08
215-219	0,21	0,21	0,21	0,21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
220-224	0,20	0,20	0,20	0,20	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
225-229	0,20	0,20	0,20	0,20	0,13	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08

10.2. Παράρτημα Β: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$)

Α. Πίνακες με ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για διάφορους τύπους Φ/Β πυριτίου με συντελεστή θερμοκρασίας (β_{ref}), με συντελεστή Ross (k) ανάλογα με τη δυνατότητα αερισμού της Φ/Β επιφάνειας, με προσανατολισμός Φ/Β (γ) και κλίση (β), για μέσες τιμές κλιματικών συνθηκών στις τέσσερεις (4) κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 10.2.1: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για άμορφα Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,002, k=0,02), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά κλιματική ζώνη (Κ.Ζ.).

Άμορφα Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,002, k=0,02)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,954	0,947	0,930	0,915	0,900	0,888	0,885	0,890	0,902	0,917	0,942	0,954	0,912
45°	0,964	0,953	0,931	0,912	0,895	0,883	0,880	0,886	0,902	0,919	0,950	0,965	0,914
60°	0,968	0,954	0,928	0,907	0,889	0,873	0,872	0,880	0,897	0,917	0,954	0,970	0,913
90°	0,963	0,944	0,901	0,859	0,829	0,819	0,812	0,823	0,862	0,898	0,948	0,966	0,889
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,948	0,943	0,931	0,918	0,902	0,892	0,888	0,892	0,905	0,906	0,936	0,947	0,911
45°	0,953	0,946	0,933	0,918	0,902	0,890	0,887	0,892	0,906	0,902	0,940	0,953	0,913
60°	0,956	0,948	0,935	0,917	0,900	0,888	0,885	0,891	0,907	0,899	0,943	0,957	0,914
90°	0,948	0,938	0,922	0,905	0,882	0,866	0,865	0,879	0,895	0,878	0,935	0,950	0,901
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,923	0,928	0,925	0,915	0,906	0,896	0,893	0,892	0,900	0,888	0,913	0,919	0,904
45°	0,930	0,933	0,929	0,917	0,908	0,899	0,895	0,895	0,903	0,882	0,920	0,927	0,907
60°	0,936	0,937	0,929	0,918	0,909	0,899	0,896	0,897	0,905	0,876	0,926	0,933	0,909
90°	0,931	0,929	0,925	0,914	0,905	0,895	0,892	0,895	0,903	0,848	0,921	0,929	0,903
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,949	0,944	0,933	0,919	0,904	0,894	0,890	0,894	0,907	0,908	0,937	0,948	0,913
45°	0,955	0,948	0,935	0,921	0,905	0,893	0,890	0,895	0,909	0,905	0,943	0,955	0,915
60°	0,959	0,951	0,938	0,920	0,903	0,891	0,889	0,895	0,911	0,902	0,946	0,959	0,917
90°	0,951	0,942	0,927	0,908	0,886	0,870	0,869	0,884	0,900	0,882	0,939	0,953	0,905
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,926	0,931	0,928	0,917	0,908	0,899	0,896	0,896	0,903	0,891	0,916	0,922	0,907
45°	0,934	0,936	0,932	0,920	0,911	0,903	0,899	0,900	0,908	0,886	0,924	0,930	0,911
60°	0,940	0,941	0,934	0,922	0,913	0,904	0,901	0,903	0,911	0,880	0,930	0,936	0,913
90°	0,935	0,934	0,930	0,919	0,910	0,901	0,898	0,902	0,909	0,853	0,925	0,933	0,909
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,962	0,953	0,935	0,918	0,901	0,889	0,886	0,891	0,906	0,929	0,949	0,960	0,915
45°	0,972	0,960	0,937	0,916	0,897	0,884	0,881	0,887	0,906	0,935	0,958	0,971	0,917
60°	0,977	0,962	0,934	0,911	0,892	0,876	0,875	0,882	0,902	0,935	0,962	0,976	0,917
90°	0,973	0,952	0,910	0,869	0,837	0,820	0,817	0,830	0,870	0,923	0,957	0,972	0,895
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,955	0,949	0,935	0,915	0,904	0,892	0,889	0,892	0,908	0,925	0,942	0,952	0,913
45°	0,961	0,952	0,938	0,913	0,903	0,891	0,888	0,893	0,909	0,928	0,947	0,958	0,916
60°	0,965	0,955	0,940	0,910	0,902	0,889	0,886	0,893	0,911	0,931	0,951	0,962	0,917
90°	0,957	0,944	0,928	0,889	0,885	0,868	0,868	0,882	0,899	0,921	0,943	0,955	0,906
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,930	0,933	0,929	0,906	0,906	0,896	0,893	0,893	0,902	0,912	0,918	0,922	0,906
45°	0,937	0,938	0,932	0,903	0,908	0,899	0,895	0,896	0,906	0,916	0,925	0,929	0,909
60°	0,942	0,942	0,934	0,899	0,910	0,899	0,896	0,898	0,908	0,921	0,931	0,933	0,911
90°	0,937	0,935	0,929	0,882	0,906	0,895	0,892	0,897	0,906	0,914	0,926	0,928	0,906
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,957	0,950	0,937	0,917	0,905	0,894	0,891	0,895	0,910	0,927	0,944	0,953	0,915
45°	0,963	0,954	0,940	0,915	0,906	0,894	0,891	0,896	0,912	0,931	0,950	0,960	0,918
60°	0,968	0,958	0,943	0,913	0,905	0,892	0,890	0,897	0,915	0,934	0,954	0,964	0,920
90°	0,961	0,948	0,932	0,893	0,889	0,872	0,871	0,886	0,904	0,926	0,947	0,958	0,910
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,932	0,935	0,932	0,909	0,909	0,899	0,896	0,896	0,906	0,915	0,921	0,924	0,909
45°	0,940	0,941	0,936	0,906	0,912	0,902	0,899	0,900	0,910	0,920	0,929	0,932	0,913
60°	0,946	0,946	0,938	0,902	0,914	0,904	0,901	0,903	0,913	0,925	0,935	0,937	0,916
90°	0,942	0,940	0,934	0,886	0,911	0,901	0,898	0,903	0,912	0,919	0,931	0,932	0,911

Άμορφα Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,002, k=0,02)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,971	0,960	0,940	0,922	0,905	0,892	0,888	0,893	0,910	0,936	0,957	0,948	0,918
45°	0,981	0,967	0,943	0,920	0,901	0,886	0,883	0,890	0,911	0,941	0,967	0,952	0,920
60°	0,987	0,970	0,941	0,915	0,896	0,881	0,878	0,885	0,907	0,943	0,972	0,952	0,921
90°	0,983	0,961	0,920	0,878	0,849	0,828	0,824	0,838	0,879	0,932	0,967	0,940	0,899
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,962	0,955	0,941	0,916	0,907	0,894	0,890	0,894	0,912	0,931	0,950	0,934	0,916
45°	0,970	0,959	0,943	0,914	0,907	0,893	0,890	0,896	0,914	0,934	0,956	0,933	0,918
60°	0,974	0,962	0,945	0,909	0,905	0,891	0,888	0,895	0,916	0,938	0,961	0,931	0,919
90°	0,967	0,952	0,934	0,886	0,890	0,872	0,871	0,883	0,904	0,928	0,953	0,911	0,907
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,936	0,937	0,933	0,905	0,908	0,897	0,893	0,894	0,906	0,917	0,925	0,894	0,907
45°	0,943	0,943	0,937	0,900	0,910	0,899	0,895	0,897	0,911	0,922	0,932	0,888	0,910
60°	0,948	0,947	0,939	0,893	0,912	0,900	0,897	0,899	0,912	0,926	0,938	0,877	0,911
90°	0,945	0,941	0,933	0,872	0,907	0,896	0,893	0,897	0,909	0,920	0,934	0,846	0,904
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,964	0,956	0,942	0,917	0,908	0,896	0,892	0,896	0,914	0,933	0,952	0,935	0,917
45°	0,972	0,961	0,945	0,916	0,909	0,896	0,893	0,899	0,917	0,937	0,958	0,935	0,920
60°	0,977	0,965	0,948	0,912	0,908	0,894	0,892	0,899	0,920	0,941	0,963	0,932	0,922
90°	0,971	0,956	0,938	0,889	0,893	0,875	0,875	0,887	0,909	0,932	0,956	0,914	0,911
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,938	0,940	0,936	0,907	0,911	0,899	0,896	0,897	0,910	0,920	0,927	0,896	0,910
45°	0,947	0,946	0,940	0,903	0,914	0,903	0,899	0,901	0,915	0,925	0,936	0,891	0,913
60°	0,952	0,951	0,943	0,897	0,915	0,905	0,901	0,905	0,917	0,930	0,941	0,880	0,915
90°	0,950	0,946	0,938	0,875	0,912	0,901	0,898	0,904	0,915	0,925	0,938	0,849	0,909
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,974	0,963	0,942	0,925	0,909	0,894	0,891	0,895	0,913	0,938	0,961	0,958	0,922
45°	0,984	0,970	0,945	0,924	0,905	0,889	0,886	0,892	0,914	0,944	0,970	0,964	0,925
60°	0,990	0,972	0,943	0,919	0,901	0,883	0,881	0,887	0,910	0,945	0,975	0,966	0,925
90°	0,986	0,963	0,923	0,884	0,860	0,833	0,829	0,839	0,882	0,935	0,971	0,956	0,906
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,966	0,957	0,942	0,921	0,910	0,897	0,893	0,897	0,915	0,934	0,954	0,945	0,920
45°	0,973	0,961	0,944	0,920	0,910	0,896	0,893	0,898	0,917	0,937	0,960	0,947	0,922
60°	0,977	0,965	0,946	0,917	0,908	0,894	0,891	0,897	0,919	0,940	0,964	0,946	0,924
90°	0,971	0,954	0,935	0,898	0,894	0,874	0,873	0,884	0,907	0,930	0,956	0,931	0,913
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,940	0,941	0,935	0,913	0,911	0,899	0,895	0,896	0,909	0,920	0,931	0,908	0,911
45°	0,948	0,946	0,938	0,911	0,912	0,901	0,897	0,899	0,913	0,925	0,937	0,907	0,914
60°	0,953	0,950	0,940	0,907	0,913	0,902	0,898	0,902	0,915	0,929	0,942	0,901	0,915
90°	0,950	0,944	0,934	0,892	0,908	0,897	0,894	0,900	0,912	0,922	0,938	0,878	0,909
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,967	0,959	0,944	0,922	0,911	0,898	0,895	0,899	0,917	0,936	0,955	0,947	0,921
45°	0,975	0,964	0,946	0,922	0,912	0,898	0,895	0,901	0,920	0,939	0,962	0,949	0,925
60°	0,980	0,967	0,949	0,920	0,911	0,896	0,894	0,901	0,922	0,943	0,966	0,948	0,927
90°	0,974	0,958	0,939	0,901	0,896	0,877	0,876	0,889	0,912	0,934	0,959	0,934	0,916
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,943	0,944	0,937	0,915	0,913	0,901	0,898	0,899	0,912	0,923	0,933	0,910	0,914
45°	0,951	0,949	0,941	0,913	0,915	0,905	0,901	0,904	0,918	0,928	0,940	0,910	0,917
60°	0,956	0,954	0,944	0,910	0,916	0,906	0,903	0,907	0,920	0,933	0,945	0,903	0,919
90°	0,954	0,948	0,938	0,895	0,911	0,902	0,899	0,906	0,918	0,926	0,942	0,881	0,914

Πίνακας 10.2.2: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για άμορφα Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,002, k=0,055), για προσανατολισμό (γ) Φ/Β και κλίση (β), ανά Κ.Ζ.

Άμορφα Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,002, k=0,055)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,928	0,917	0,896	0,877	0,860	0,846	0,842	0,846	0,861	0,880	0,911	0,929	0,875
45°	0,935	0,922	0,897	0,876	0,858	0,845	0,841	0,845	0,861	0,881	0,917	0,937	0,878
60°	0,939	0,924	0,897	0,875	0,857	0,842	0,839	0,844	0,860	0,880	0,920	0,942	0,880
90°	0,939	0,920	0,879	0,840	0,813	0,804	0,796	0,804	0,837	0,871	0,921	0,942	0,867
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,923	0,914	0,898	0,881	0,863	0,849	0,846	0,849	0,864	0,871	0,907	0,924	0,874
45°	0,927	0,917	0,901	0,883	0,865	0,852	0,848	0,852	0,867	0,867	0,910	0,928	0,878
60°	0,930	0,920	0,905	0,886	0,868	0,855	0,851	0,855	0,871	0,865	0,913	0,931	0,881
90°	0,926	0,915	0,900	0,883	0,863	0,847	0,845	0,856	0,869	0,851	0,909	0,929	0,879
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,906	0,906	0,897	0,881	0,868	0,855	0,851	0,853	0,864	0,860	0,892	0,903	0,871
45°	0,913	0,911	0,902	0,885	0,873	0,861	0,856	0,858	0,870	0,855	0,899	0,911	0,876
60°	0,919	0,917	0,905	0,890	0,878	0,865	0,861	0,864	0,875	0,851	0,906	0,918	0,880
90°	0,918	0,914	0,908	0,894	0,884	0,872	0,868	0,872	0,880	0,830	0,905	0,917	0,883
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,925	0,916	0,900	0,882	0,864	0,851	0,848	0,851	0,867	0,873	0,909	0,925	0,876
45°	0,929	0,919	0,903	0,885	0,868	0,855	0,851	0,855	0,870	0,870	0,912	0,930	0,880
60°	0,933	0,923	0,908	0,888	0,871	0,858	0,855	0,859	0,875	0,868	0,916	0,934	0,885
90°	0,930	0,919	0,905	0,887	0,866	0,850	0,849	0,861	0,874	0,856	0,913	0,932	0,883
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,908	0,908	0,900	0,883	0,870	0,857	0,854	0,856	0,868	0,863	0,895	0,905	0,873
45°	0,916	0,915	0,906	0,889	0,876	0,864	0,860	0,863	0,874	0,859	0,903	0,914	0,879
60°	0,923	0,921	0,910	0,894	0,882	0,870	0,866	0,869	0,880	0,856	0,910	0,921	0,885
90°	0,922	0,919	0,913	0,899	0,888	0,877	0,874	0,878	0,886	0,835	0,910	0,921	0,888
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,940	0,926	0,903	0,883	0,862	0,848	0,844	0,848	0,865	0,895	0,921	0,937	0,879
45°	0,948	0,932	0,905	0,882	0,860	0,846	0,842	0,847	0,866	0,899	0,928	0,946	0,882
60°	0,952	0,934	0,904	0,881	0,860	0,845	0,842	0,846	0,865	0,900	0,932	0,950	0,886
90°	0,952	0,930	0,889	0,850	0,820	0,805	0,800	0,809	0,845	0,896	0,932	0,950	0,873
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,934	0,923	0,905	0,881	0,864	0,851	0,847	0,850	0,869	0,893	0,917	0,931	0,878
45°	0,939	0,926	0,908	0,881	0,867	0,854	0,850	0,854	0,871	0,894	0,921	0,936	0,882
60°	0,943	0,930	0,911	0,880	0,870	0,856	0,853	0,857	0,875	0,898	0,924	0,939	0,886
90°	0,938	0,924	0,907	0,869	0,865	0,849	0,847	0,859	0,873	0,895	0,920	0,935	0,885
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,915	0,913	0,903	0,875	0,869	0,856	0,852	0,854	0,868	0,886	0,899	0,908	0,874
45°	0,922	0,919	0,908	0,874	0,874	0,862	0,857	0,860	0,874	0,891	0,907	0,915	0,879
60°	0,928	0,924	0,912	0,873	0,879	0,866	0,863	0,866	0,879	0,897	0,914	0,920	0,884
90°	0,927	0,922	0,913	0,864	0,885	0,872	0,869	0,873	0,884	0,896	0,913	0,917	0,887
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,936	0,925	0,907	0,882	0,866	0,853	0,849	0,853	0,871	0,895	0,919	0,932	0,880
45°	0,941	0,929	0,910	0,883	0,870	0,856	0,853	0,857	0,874	0,897	0,923	0,938	0,885
60°	0,945	0,933	0,915	0,883	0,873	0,859	0,856	0,861	0,879	0,902	0,927	0,941	0,890
90°	0,942	0,928	0,911	0,873	0,869	0,852	0,851	0,863	0,878	0,900	0,924	0,938	0,889
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,917	0,915	0,906	0,878	0,872	0,859	0,855	0,857	0,872	0,889	0,902	0,910	0,876
45°	0,925	0,922	0,912	0,878	0,877	0,865	0,862	0,864	0,878	0,895	0,911	0,917	0,883
60°	0,932	0,928	0,916	0,877	0,883	0,871	0,867	0,871	0,884	0,902	0,918	0,923	0,888
90°	0,931	0,926	0,918	0,868	0,890	0,878	0,875	0,879	0,890	0,901	0,917	0,921	0,892

Άμορφα Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,002, k=0,055)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,949	0,934	0,912	0,889	0,870	0,853	0,848	0,852	0,873	0,904	0,933	0,928	0,885
45°	0,958	0,941	0,914	0,889	0,868	0,851	0,846	0,851	0,875	0,909	0,941	0,930	0,888
60°	0,963	0,943	0,914	0,887	0,868	0,850	0,846	0,850	0,873	0,911	0,946	0,929	0,891
90°	0,962	0,940	0,900	0,860	0,833	0,813	0,808	0,818	0,856	0,907	0,945	0,920	0,879
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,943	0,931	0,914	0,885	0,872	0,856	0,851	0,855	0,877	0,902	0,928	0,916	0,883
45°	0,948	0,934	0,916	0,884	0,875	0,858	0,853	0,858	0,879	0,904	0,933	0,914	0,887
60°	0,953	0,938	0,920	0,882	0,877	0,860	0,856	0,861	0,883	0,908	0,937	0,910	0,891
90°	0,949	0,932	0,915	0,868	0,872	0,853	0,851	0,860	0,880	0,904	0,933	0,894	0,887
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,922	0,919	0,910	0,877	0,876	0,860	0,855	0,858	0,876	0,894	0,909	0,882	0,877
45°	0,930	0,925	0,915	0,874	0,880	0,865	0,860	0,863	0,882	0,899	0,917	0,876	0,882
60°	0,935	0,931	0,920	0,870	0,885	0,870	0,865	0,869	0,886	0,905	0,923	0,866	0,886
90°	0,935	0,929	0,919	0,856	0,889	0,875	0,871	0,876	0,890	0,904	0,922	0,837	0,887
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,944	0,933	0,915	0,886	0,874	0,858	0,853	0,857	0,879	0,904	0,930	0,917	0,885
45°	0,951	0,937	0,918	0,886	0,877	0,861	0,856	0,861	0,882	0,907	0,935	0,915	0,889
60°	0,955	0,941	0,923	0,885	0,880	0,864	0,859	0,865	0,887	0,912	0,940	0,912	0,894
90°	0,952	0,936	0,919	0,871	0,875	0,856	0,855	0,865	0,885	0,908	0,936	0,896	0,891
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,925	0,922	0,913	0,879	0,878	0,862	0,858	0,861	0,879	0,897	0,912	0,884	0,880
45°	0,933	0,929	0,919	0,877	0,883	0,869	0,864	0,868	0,886	0,903	0,920	0,879	0,886
60°	0,939	0,935	0,924	0,874	0,889	0,874	0,870	0,874	0,891	0,910	0,927	0,869	0,890
90°	0,939	0,933	0,924	0,859	0,893	0,880	0,876	0,882	0,895	0,909	0,927	0,840	0,892
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,951	0,938	0,914	0,895	0,879	0,859	0,854	0,857	0,878	0,910	0,937	0,936	0,891
45°	0,959	0,944	0,917	0,895	0,877	0,857	0,852	0,855	0,879	0,915	0,945	0,939	0,895
60°	0,964	0,947	0,917	0,893	0,876	0,856	0,852	0,854	0,878	0,917	0,950	0,941	0,897
90°	0,964	0,943	0,904	0,868	0,846	0,819	0,814	0,820	0,859	0,912	0,949	0,934	0,886
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,945	0,934	0,916	0,892	0,880	0,862	0,857	0,859	0,881	0,907	0,932	0,925	0,889
45°	0,950	0,938	0,918	0,893	0,883	0,864	0,859	0,862	0,883	0,910	0,937	0,925	0,893
60°	0,954	0,942	0,922	0,893	0,884	0,866	0,861	0,865	0,887	0,914	0,941	0,924	0,897
90°	0,951	0,936	0,917	0,881	0,878	0,857	0,855	0,863	0,884	0,909	0,937	0,912	0,894
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,925	0,923	0,912	0,887	0,883	0,865	0,861	0,862	0,880	0,899	0,915	0,895	0,884
45°	0,933	0,929	0,917	0,887	0,887	0,870	0,865	0,867	0,886	0,904	0,922	0,894	0,889
60°	0,939	0,934	0,922	0,886	0,890	0,874	0,870	0,872	0,890	0,910	0,928	0,888	0,892
90°	0,938	0,932	0,920	0,877	0,892	0,878	0,874	0,879	0,893	0,908	0,927	0,868	0,893
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,946	0,936	0,917	0,893	0,882	0,863	0,858	0,861	0,883	0,909	0,934	0,927	0,891
45°	0,952	0,940	0,920	0,894	0,884	0,866	0,862	0,865	0,886	0,912	0,939	0,927	0,896
60°	0,957	0,944	0,925	0,895	0,886	0,868	0,864	0,869	0,891	0,917	0,943	0,926	0,900
90°	0,954	0,939	0,921	0,884	0,881	0,860	0,858	0,868	0,889	0,913	0,940	0,914	0,897
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,928	0,925	0,915	0,889	0,885	0,868	0,863	0,865	0,883	0,902	0,917	0,897	0,886
45°	0,936	0,932	0,920	0,889	0,889	0,874	0,869	0,872	0,890	0,908	0,925	0,897	0,892
60°	0,942	0,938	0,925	0,889	0,894	0,879	0,874	0,878	0,895	0,914	0,931	0,891	0,896
90°	0,943	0,936	0,925	0,880	0,896	0,883	0,880	0,885	0,899	0,912	0,930	0,871	0,898

Πίνακας 10.2.3: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,004, k=0,02), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά κλιματική ζώνη.

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,004, k=0,02)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,960	0,950	0,926	0,903	0,880	0,860	0,852	0,855	0,873	0,897	0,935	0,958	0,894
45°	0,966	0,954	0,927	0,903	0,878	0,858	0,850	0,854	0,874	0,898	0,940	0,965	0,897
60°	0,969	0,956	0,927	0,901	0,875	0,852	0,846	0,852	0,873	0,897	0,943	0,968	0,899
90°	0,970	0,951	0,907	0,860	0,824	0,807	0,795	0,805	0,846	0,886	0,944	0,970	0,884
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,954	0,946	0,928	0,906	0,882	0,862	0,854	0,856	0,876	0,887	0,930	0,951	0,892
45°	0,957	0,947	0,929	0,908	0,884	0,864	0,856	0,858	0,877	0,881	0,932	0,955	0,895
60°	0,958	0,948	0,932	0,910	0,885	0,865	0,857	0,861	0,880	0,878	0,933	0,956	0,898
90°	0,952	0,943	0,926	0,904	0,876	0,852	0,846	0,858	0,876	0,863	0,927	0,952	0,893
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,933	0,935	0,926	0,906	0,886	0,866	0,859	0,860	0,875	0,874	0,911	0,927	0,887
45°	0,940	0,940	0,930	0,909	0,889	0,870	0,862	0,863	0,879	0,868	0,918	0,935	0,890
60°	0,945	0,945	0,931	0,911	0,892	0,873	0,865	0,866	0,882	0,863	0,924	0,941	0,893
90°	0,942	0,940	0,930	0,913	0,896	0,877	0,869	0,871	0,884	0,839	0,921	0,938	0,894
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,957	0,950	0,932	0,909	0,885	0,865	0,858	0,860	0,880	0,891	0,933	0,954	0,896
45°	0,961	0,952	0,934	0,912	0,889	0,869	0,862	0,865	0,883	0,887	0,936	0,959	0,900
60°	0,963	0,954	0,938	0,915	0,891	0,871	0,864	0,869	0,888	0,884	0,938	0,961	0,904
90°	0,959	0,951	0,935	0,911	0,883	0,859	0,854	0,867	0,886	0,872	0,935	0,958	0,901
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,938	0,940	0,931	0,911	0,891	0,872	0,865	0,866	0,882	0,880	0,917	0,932	0,893
45°	0,946	0,947	0,937	0,915	0,896	0,878	0,870	0,872	0,888	0,876	0,925	0,940	0,898
60°	0,953	0,953	0,940	0,919	0,901	0,882	0,875	0,877	0,892	0,872	0,932	0,947	0,902
90°	0,951	0,949	0,940	0,922	0,906	0,888	0,881	0,884	0,896	0,849	0,930	0,946	0,904
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,975	0,962	0,935	0,909	0,881	0,860	0,853	0,856	0,878	0,914	0,948	0,970	0,899
45°	0,982	0,966	0,936	0,909	0,880	0,858	0,851	0,855	0,879	0,917	0,954	0,978	0,903
60°	0,985	0,968	0,936	0,907	0,878	0,855	0,849	0,853	0,878	0,919	0,957	0,981	0,905
90°	0,986	0,965	0,918	0,872	0,830	0,807	0,799	0,811	0,855	0,914	0,958	0,982	0,892
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,968	0,958	0,937	0,906	0,883	0,862	0,854	0,857	0,881	0,911	0,942	0,962	0,896
45°	0,972	0,959	0,937	0,905	0,885	0,864	0,857	0,860	0,882	0,911	0,945	0,967	0,900
60°	0,974	0,961	0,940	0,905	0,887	0,865	0,858	0,863	0,885	0,913	0,947	0,968	0,903
90°	0,968	0,954	0,935	0,890	0,878	0,853	0,848	0,860	0,881	0,909	0,941	0,962	0,899
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,946	0,945	0,934	0,901	0,887	0,866	0,859	0,861	0,880	0,902	0,922	0,936	0,890
45°	0,952	0,950	0,938	0,898	0,890	0,870	0,862	0,864	0,884	0,906	0,929	0,942	0,894
60°	0,958	0,955	0,940	0,895	0,893	0,873	0,865	0,868	0,887	0,911	0,935	0,947	0,897
90°	0,955	0,950	0,937	0,883	0,897	0,877	0,869	0,872	0,889	0,907	0,932	0,943	0,898
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,971	0,961	0,940	0,909	0,886	0,866	0,858	0,862	0,885	0,915	0,946	0,965	0,900
45°	0,977	0,964	0,942	0,909	0,890	0,869	0,862	0,866	0,888	0,916	0,950	0,971	0,905
60°	0,979	0,966	0,947	0,910	0,893	0,872	0,865	0,870	0,893	0,920	0,952	0,973	0,910
90°	0,975	0,962	0,943	0,897	0,885	0,860	0,856	0,869	0,891	0,918	0,948	0,968	0,907
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,951	0,950	0,939	0,906	0,892	0,872	0,865	0,867	0,887	0,908	0,927	0,940	0,896
45°	0,959	0,957	0,945	0,904	0,897	0,878	0,870	0,873	0,893	0,914	0,936	0,948	0,902
60°	0,965	0,963	0,948	0,902	0,902	0,882	0,875	0,878	0,897	0,921	0,943	0,953	0,906
90°	0,963	0,959	0,947	0,891	0,906	0,888	0,881	0,885	0,900	0,918	0,941	0,951	0,908

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,004, k=0,02)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,990	0,975	0,947	0,918	0,889	0,865	0,856	0,861	0,888	0,927	0,965	0,967	0,906
45°	0,998	0,979	0,948	0,918	0,888	0,863	0,854	0,860	0,889	0,930	0,972	0,967	0,910
60°	1,002	0,982	0,949	0,916	0,886	0,860	0,853	0,858	0,889	0,932	0,975	0,965	0,913
90°	1,004	0,979	0,932	0,884	0,845	0,816	0,808	0,820	0,868	0,928	0,976	0,957	0,900
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,983	0,970	0,948	0,912	0,890	0,866	0,857	0,862	0,891	0,924	0,958	0,952	0,903
45°	0,988	0,972	0,949	0,910	0,892	0,868	0,860	0,864	0,892	0,924	0,963	0,950	0,906
60°	0,990	0,974	0,951	0,908	0,894	0,869	0,861	0,867	0,895	0,926	0,964	0,945	0,909
90°	0,984	0,967	0,946	0,891	0,885	0,858	0,852	0,862	0,890	0,921	0,959	0,926	0,904
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,959	0,956	0,943	0,904	0,894	0,869	0,861	0,865	0,889	0,913	0,936	0,915	0,895
45°	0,966	0,961	0,947	0,899	0,896	0,873	0,865	0,868	0,894	0,918	0,943	0,909	0,898
60°	0,971	0,966	0,951	0,893	0,899	0,876	0,868	0,871	0,896	0,922	0,949	0,897	0,901
90°	0,969	0,962	0,947	0,876	0,901	0,879	0,871	0,875	0,897	0,919	0,947	0,866	0,900
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,986	0,974	0,951	0,915	0,893	0,870	0,861	0,866	0,895	0,927	0,961	0,955	0,906
45°	0,993	0,977	0,953	0,914	0,897	0,873	0,865	0,870	0,897	0,929	0,967	0,953	0,911
60°	0,996	0,980	0,957	0,913	0,899	0,875	0,868	0,874	0,902	0,933	0,970	0,949	0,915
90°	0,992	0,975	0,954	0,897	0,892	0,865	0,860	0,872	0,900	0,930	0,966	0,931	0,912
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,964	0,961	0,949	0,908	0,898	0,875	0,867	0,871	0,896	0,919	0,942	0,919	0,901
45°	0,973	0,968	0,954	0,905	0,903	0,881	0,873	0,877	0,902	0,925	0,950	0,914	0,906
60°	0,979	0,974	0,959	0,900	0,907	0,885	0,877	0,882	0,906	0,932	0,957	0,903	0,909
90°	0,978	0,971	0,956	0,884	0,910	0,889	0,882	0,887	0,908	0,929	0,956	0,873	0,909
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,999	0,984	0,953	0,927	0,900	0,872	0,864	0,867	0,897	0,936	0,975	0,982	0,916
45°	1,007	0,988	0,955	0,927	0,899	0,870	0,862	0,866	0,897	0,940	0,982	0,985	0,920
60°	1,011	0,991	0,956	0,925	0,897	0,868	0,860	0,865	0,897	0,942	0,985	0,984	0,923
90°	1,013	0,988	0,941	0,896	0,861	0,824	0,816	0,825	0,875	0,937	0,986	0,979	0,912
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,992	0,979	0,954	0,923	0,901	0,874	0,865	0,868	0,899	0,933	0,969	0,970	0,913
45°	0,997	0,981	0,955	0,923	0,903	0,876	0,867	0,871	0,900	0,934	0,973	0,970	0,917
60°	0,999	0,983	0,958	0,922	0,904	0,876	0,868	0,873	0,903	0,936	0,975	0,967	0,920
90°	0,994	0,976	0,952	0,908	0,895	0,864	0,858	0,868	0,898	0,931	0,969	0,952	0,915
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,969	0,966	0,950	0,918	0,903	0,877	0,869	0,871	0,897	0,923	0,949	0,936	0,906
45°	0,976	0,971	0,954	0,916	0,906	0,880	0,872	0,874	0,902	0,927	0,955	0,934	0,909
60°	0,981	0,975	0,957	0,913	0,908	0,883	0,874	0,878	0,904	0,932	0,960	0,927	0,911
90°	0,980	0,971	0,953	0,902	0,908	0,885	0,877	0,881	0,904	0,927	0,957	0,904	0,910
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,995	0,982	0,957	0,926	0,904	0,877	0,869	0,873	0,903	0,936	0,972	0,972	0,917
45°	1,001	0,985	0,959	0,926	0,906	0,880	0,872	0,877	0,906	0,939	0,977	0,973	0,921
60°	1,004	0,988	0,963	0,927	0,908	0,882	0,875	0,881	0,910	0,942	0,980	0,970	0,926
90°	1,001	0,983	0,959	0,914	0,900	0,870	0,865	0,877	0,907	0,938	0,975	0,957	0,922
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,974	0,970	0,954	0,922	0,907	0,882	0,874	0,878	0,904	0,928	0,953	0,939	0,911
45°	0,983	0,977	0,960	0,921	0,911	0,887	0,879	0,883	0,910	0,934	0,961	0,939	0,916
60°	0,989	0,982	0,964	0,919	0,914	0,891	0,883	0,888	0,914	0,940	0,967	0,933	0,920
90°	0,988	0,979	0,961	0,909	0,915	0,894	0,887	0,893	0,916	0,936	0,965	0,911	0,920

Πίνακας 10.2.4: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ελαφρώς αεριζόμενα (β_{ref}=-0,004, k=0,035), για προσανατολισμό (γ) Φ/Β και κλίση (β), ανά Κ.Ζ.

Κρυσταλλικά πυριτίου Φ/Β ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,004, k=0,035)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,937	0,924	0,897	0,871	0,845	0,823	0,815	0,818	0,837	0,866	0,908	0,936	0,862
45°	0,942	0,927	0,898	0,872	0,847	0,825	0,817	0,819	0,839	0,865	0,911	0,941	0,867
60°	0,945	0,930	0,900	0,873	0,848	0,825	0,818	0,822	0,841	0,866	0,914	0,944	0,871
90°	0,950	0,931	0,888	0,843	0,810	0,794	0,782	0,788	0,825	0,862	0,920	0,950	0,865
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,933	0,922	0,900	0,874	0,848	0,826	0,817	0,820	0,841	0,858	0,905	0,931	0,861
45°	0,935	0,922	0,901	0,877	0,852	0,831	0,822	0,824	0,843	0,851	0,906	0,934	0,865
60°	0,936	0,924	0,906	0,883	0,858	0,836	0,828	0,831	0,849	0,849	0,907	0,935	0,870
90°	0,933	0,924	0,907	0,886	0,859	0,835	0,829	0,838	0,853	0,841	0,906	0,933	0,874
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,918	0,916	0,902	0,877	0,853	0,831	0,823	0,826	0,845	0,850	0,893	0,913	0,858
45°	0,925	0,921	0,907	0,882	0,859	0,837	0,829	0,831	0,850	0,846	0,900	0,921	0,864
60°	0,931	0,927	0,911	0,887	0,865	0,844	0,836	0,838	0,855	0,842	0,907	0,928	0,869
90°	0,931	0,927	0,915	0,896	0,877	0,857	0,849	0,851	0,865	0,823	0,908	0,928	0,876
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,936	0,926	0,904	0,877	0,851	0,829	0,821	0,824	0,846	0,862	0,908	0,934	0,865
45°	0,939	0,927	0,906	0,882	0,857	0,836	0,828	0,830	0,849	0,857	0,910	0,938	0,870
60°	0,941	0,930	0,912	0,888	0,864	0,843	0,835	0,838	0,856	0,855	0,912	0,939	0,877
90°	0,941	0,932	0,916	0,893	0,866	0,842	0,837	0,848	0,863	0,849	0,913	0,939	0,882
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,923	0,921	0,907	0,882	0,859	0,836	0,829	0,832	0,852	0,856	0,899	0,918	0,864
45°	0,932	0,928	0,915	0,888	0,866	0,845	0,837	0,840	0,859	0,853	0,907	0,927	0,871
60°	0,939	0,936	0,920	0,895	0,874	0,854	0,846	0,849	0,866	0,851	0,915	0,934	0,878
90°	0,940	0,936	0,925	0,905	0,887	0,868	0,861	0,864	0,877	0,833	0,917	0,936	0,887
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,956	0,939	0,908	0,879	0,847	0,825	0,817	0,819	0,844	0,885	0,925	0,951	0,868
45°	0,961	0,942	0,909	0,880	0,848	0,826	0,818	0,821	0,845	0,887	0,929	0,956	0,873
60°	0,964	0,945	0,911	0,881	0,851	0,827	0,820	0,823	0,847	0,889	0,932	0,959	0,878
90°	0,968	0,946	0,900	0,855	0,816	0,794	0,785	0,793	0,833	0,891	0,937	0,963	0,873
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,950	0,936	0,911	0,877	0,849	0,827	0,819	0,821	0,848	0,883	0,921	0,944	0,866
45°	0,954	0,937	0,912	0,877	0,854	0,832	0,824	0,826	0,849	0,882	0,923	0,948	0,871
60°	0,955	0,939	0,916	0,879	0,860	0,837	0,829	0,832	0,855	0,885	0,924	0,949	0,877
90°	0,952	0,937	0,917	0,873	0,861	0,836	0,831	0,840	0,859	0,887	0,922	0,945	0,881
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,933	0,928	0,912	0,875	0,855	0,832	0,824	0,828	0,851	0,880	0,906	0,924	0,863
45°	0,940	0,934	0,917	0,874	0,861	0,838	0,830	0,833	0,857	0,885	0,913	0,930	0,868
60°	0,946	0,940	0,921	0,873	0,867	0,845	0,837	0,840	0,862	0,891	0,920	0,935	0,874
90°	0,945	0,938	0,924	0,868	0,878	0,857	0,850	0,852	0,870	0,892	0,920	0,933	0,881
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,954	0,940	0,914	0,880	0,853	0,831	0,823	0,826	0,852	0,887	0,924	0,947	0,870
45°	0,958	0,942	0,917	0,882	0,859	0,837	0,829	0,832	0,855	0,888	0,927	0,952	0,876
60°	0,960	0,945	0,922	0,885	0,866	0,844	0,836	0,840	0,862	0,892	0,929	0,953	0,883
90°	0,959	0,945	0,925	0,880	0,868	0,844	0,839	0,849	0,869	0,896	0,929	0,951	0,889
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,938	0,933	0,917	0,879	0,860	0,838	0,830	0,834	0,858	0,886	0,911	0,928	0,868
45°	0,946	0,940	0,924	0,880	0,868	0,846	0,838	0,842	0,866	0,893	0,920	0,936	0,876
60°	0,954	0,948	0,929	0,880	0,875	0,854	0,847	0,851	0,872	0,900	0,928	0,942	0,883
90°	0,954	0,947	0,933	0,876	0,888	0,868	0,861	0,865	0,882	0,903	0,929	0,941	0,892

Κρυσταλλικά πυριτίου Φ/Β ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,004, k=0,035)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,972	0,953	0,922	0,890	0,859	0,832	0,822	0,826	0,857	0,901	0,944	0,949	0,877
45°	0,978	0,957	0,924	0,891	0,860	0,832	0,823	0,827	0,858	0,903	0,950	0,948	0,882
60°	0,981	0,960	0,925	0,892	0,861	0,834	0,826	0,829	0,860	0,905	0,953	0,945	0,888
90°	0,986	0,961	0,916	0,869	0,832	0,802	0,793	0,803	0,847	0,907	0,957	0,940	0,883
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,966	0,950	0,925	0,885	0,861	0,833	0,823	0,828	0,860	0,899	0,939	0,937	0,875
45°	0,970	0,951	0,926	0,885	0,865	0,838	0,828	0,832	0,862	0,898	0,943	0,933	0,880
60°	0,972	0,954	0,930	0,885	0,870	0,843	0,834	0,838	0,867	0,901	0,944	0,928	0,885
90°	0,969	0,951	0,930	0,875	0,870	0,842	0,835	0,843	0,870	0,901	0,941	0,911	0,887
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,947	0,940	0,924	0,880	0,866	0,838	0,829	0,834	0,863	0,893	0,923	0,905	0,870
45°	0,954	0,946	0,929	0,877	0,871	0,844	0,835	0,839	0,869	0,898	0,930	0,898	0,875
60°	0,960	0,952	0,934	0,874	0,876	0,850	0,841	0,845	0,873	0,905	0,936	0,888	0,880
90°	0,960	0,951	0,935	0,863	0,885	0,861	0,853	0,857	0,880	0,905	0,937	0,859	0,884
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,969	0,954	0,928	0,888	0,864	0,837	0,827	0,832	0,865	0,902	0,943	0,939	0,879
45°	0,975	0,956	0,930	0,889	0,869	0,843	0,833	0,838	0,868	0,904	0,947	0,937	0,884
60°	0,977	0,959	0,936	0,890	0,875	0,849	0,840	0,846	0,874	0,908	0,950	0,932	0,891
90°	0,976	0,958	0,938	0,882	0,877	0,849	0,843	0,853	0,879	0,910	0,948	0,916	0,895
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,952	0,945	0,929	0,884	0,870	0,843	0,835	0,840	0,870	0,899	0,928	0,909	0,875
45°	0,961	0,953	0,936	0,883	0,877	0,851	0,843	0,848	0,877	0,906	0,937	0,903	0,882
60°	0,968	0,960	0,942	0,880	0,884	0,859	0,850	0,856	0,883	0,914	0,944	0,893	0,888
90°	0,969	0,960	0,944	0,870	0,894	0,871	0,864	0,869	0,891	0,915	0,946	0,865	0,894
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,980	0,963	0,930	0,901	0,874	0,842	0,832	0,834	0,866	0,912	0,955	0,963	0,890
45°	0,986	0,966	0,932	0,902	0,875	0,843	0,833	0,835	0,867	0,915	0,961	0,964	0,895
60°	0,989	0,969	0,933	0,903	0,876	0,844	0,835	0,836	0,869	0,917	0,964	0,963	0,900
90°	0,994	0,971	0,924	0,881	0,849	0,812	0,803	0,808	0,856	0,918	0,968	0,961	0,895
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,974	0,960	0,932	0,898	0,876	0,844	0,834	0,836	0,870	0,910	0,950	0,952	0,887
45°	0,978	0,961	0,933	0,899	0,879	0,848	0,838	0,840	0,871	0,911	0,954	0,951	0,892
60°	0,980	0,964	0,937	0,901	0,883	0,852	0,843	0,846	0,876	0,913	0,956	0,948	0,897
90°	0,977	0,961	0,936	0,894	0,882	0,849	0,842	0,850	0,878	0,913	0,953	0,935	0,899
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,956	0,950	0,931	0,896	0,879	0,848	0,839	0,842	0,872	0,904	0,935	0,924	0,882
45°	0,964	0,956	0,936	0,896	0,884	0,854	0,844	0,847	0,878	0,910	0,942	0,923	0,887
60°	0,970	0,962	0,940	0,895	0,888	0,859	0,850	0,853	0,882	0,915	0,948	0,916	0,892
90°	0,970	0,961	0,941	0,889	0,895	0,868	0,860	0,863	0,888	0,915	0,948	0,896	0,896
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,977	0,963	0,935	0,901	0,878	0,847	0,838	0,840	0,874	0,913	0,953	0,955	0,891
45°	0,982	0,965	0,937	0,903	0,883	0,853	0,843	0,846	0,877	0,915	0,958	0,955	0,896
60°	0,985	0,969	0,942	0,905	0,888	0,858	0,849	0,853	0,883	0,919	0,960	0,952	0,903
90°	0,984	0,968	0,944	0,899	0,887	0,856	0,850	0,859	0,888	0,921	0,959	0,940	0,906
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,961	0,955	0,935	0,900	0,883	0,853	0,845	0,848	0,878	0,909	0,940	0,928	0,887
45°	0,970	0,962	0,942	0,901	0,889	0,861	0,852	0,856	0,886	0,916	0,948	0,928	0,894
60°	0,977	0,969	0,948	0,901	0,895	0,868	0,859	0,863	0,892	0,923	0,955	0,922	0,900
90°	0,979	0,969	0,949	0,896	0,902	0,878	0,870	0,875	0,900	0,924	0,956	0,902	0,906

Πίνακας 10.2.5: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,004, k=0,055), για προσανατολισμό (γ) Φ/Β και κλίση (β), ανά Κ.Ζ.

Κρυσταλλικά πυριτίου Φ/Β ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,004, k=0,055)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,907	0,890	0,858	0,828	0,800	0,775	0,766	0,768	0,790	0,824	0,873	0,907	0,819
45°	0,910	0,892	0,860	0,831	0,805	0,782	0,772	0,773	0,792	0,822	0,874	0,910	0,826
60°	0,912	0,895	0,864	0,837	0,812	0,789	0,781	0,781	0,798	0,825	0,877	0,912	0,834
90°	0,922	0,904	0,863	0,821	0,792	0,778	0,764	0,765	0,797	0,831	0,889	0,922	0,840
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,905	0,890	0,863	0,832	0,802	0,778	0,769	0,771	0,795	0,818	0,872	0,905	0,819
45°	0,906	0,889	0,865	0,837	0,811	0,787	0,778	0,779	0,798	0,811	0,872	0,906	0,825
60°	0,907	0,892	0,872	0,846	0,821	0,798	0,790	0,790	0,807	0,810	0,872	0,906	0,834
90°	0,909	0,898	0,882	0,862	0,837	0,813	0,806	0,812	0,824	0,811	0,877	0,909	0,848
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,898	0,890	0,870	0,839	0,810	0,784	0,776	0,781	0,805	0,818	0,869	0,894	0,820
45°	0,905	0,897	0,877	0,846	0,819	0,794	0,786	0,790	0,812	0,815	0,877	0,902	0,828
60°	0,913	0,905	0,883	0,855	0,830	0,806	0,797	0,800	0,821	0,814	0,885	0,910	0,837
90°	0,916	0,910	0,895	0,873	0,852	0,830	0,822	0,824	0,839	0,802	0,890	0,914	0,853
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,909	0,893	0,866	0,835	0,806	0,781	0,773	0,776	0,800	0,822	0,876	0,908	0,823
45°	0,910	0,894	0,870	0,842	0,815	0,792	0,783	0,785	0,804	0,817	0,876	0,910	0,830
60°	0,912	0,898	0,878	0,852	0,827	0,805	0,796	0,798	0,815	0,817	0,878	0,911	0,840
90°	0,916	0,906	0,891	0,869	0,844	0,820	0,814	0,822	0,834	0,819	0,884	0,915	0,856
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,903	0,895	0,875	0,843	0,815	0,790	0,782	0,787	0,811	0,824	0,874	0,899	0,825
45°	0,912	0,904	0,885	0,852	0,826	0,802	0,794	0,798	0,821	0,823	0,884	0,908	0,835
60°	0,921	0,913	0,892	0,862	0,838	0,815	0,807	0,811	0,831	0,823	0,893	0,917	0,846
90°	0,925	0,919	0,905	0,882	0,862	0,841	0,834	0,837	0,851	0,812	0,899	0,921	0,864
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,930	0,908	0,871	0,839	0,802	0,778	0,768	0,770	0,798	0,845	0,893	0,925	0,826
45°	0,933	0,910	0,873	0,842	0,807	0,783	0,774	0,774	0,800	0,846	0,895	0,928	0,833
60°	0,936	0,914	0,877	0,847	0,815	0,791	0,783	0,782	0,805	0,850	0,898	0,930	0,842
90°	0,945	0,921	0,876	0,834	0,797	0,777	0,767	0,770	0,805	0,860	0,908	0,938	0,849
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,927	0,907	0,876	0,838	0,805	0,780	0,771	0,774	0,803	0,846	0,892	0,921	0,826
45°	0,929	0,907	0,878	0,840	0,813	0,789	0,779	0,781	0,806	0,844	0,892	0,922	0,832
60°	0,930	0,910	0,884	0,846	0,823	0,800	0,791	0,792	0,814	0,848	0,893	0,923	0,842
90°	0,930	0,914	0,893	0,851	0,839	0,814	0,807	0,813	0,829	0,858	0,895	0,923	0,856
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,916	0,905	0,882	0,839	0,813	0,786	0,779	0,784	0,813	0,850	0,885	0,907	0,826
45°	0,923	0,912	0,889	0,841	0,822	0,796	0,788	0,792	0,820	0,856	0,893	0,914	0,834
60°	0,930	0,919	0,896	0,844	0,832	0,808	0,799	0,803	0,828	0,864	0,900	0,920	0,843
90°	0,933	0,923	0,905	0,847	0,854	0,831	0,823	0,826	0,845	0,871	0,905	0,921	0,859
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,930	0,911	0,880	0,841	0,808	0,784	0,775	0,778	0,808	0,850	0,895	0,923	0,830
45°	0,933	0,912	0,883	0,844	0,818	0,794	0,785	0,787	0,812	0,850	0,896	0,926	0,838
60°	0,935	0,916	0,890	0,851	0,829	0,806	0,798	0,800	0,822	0,855	0,898	0,927	0,848
90°	0,937	0,922	0,901	0,858	0,846	0,821	0,815	0,823	0,839	0,867	0,903	0,929	0,864
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,921	0,910	0,888	0,844	0,818	0,792	0,785	0,790	0,819	0,856	0,890	0,911	0,831
45°	0,930	0,919	0,897	0,847	0,829	0,804	0,796	0,801	0,829	0,864	0,900	0,920	0,841
60°	0,938	0,927	0,904	0,851	0,841	0,817	0,809	0,814	0,838	0,874	0,908	0,926	0,852
90°	0,942	0,932	0,915	0,855	0,864	0,842	0,834	0,838	0,857	0,882	0,914	0,929	0,869

Κρυσταλλικά πυριτίου Φ/Β ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,004, k=0,055)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,947	0,924	0,890	0,853	0,819	0,787	0,776	0,780	0,815	0,865	0,917	0,926	0,839
45°	0,951	0,927	0,891	0,856	0,822	0,792	0,780	0,783	0,817	0,866	0,920	0,923	0,846
60°	0,954	0,930	0,895	0,860	0,829	0,800	0,789	0,790	0,821	0,869	0,923	0,919	0,854
90°	0,962	0,937	0,893	0,849	0,814	0,785	0,774	0,780	0,821	0,879	0,931	0,917	0,860
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,943	0,923	0,894	0,850	0,821	0,790	0,778	0,783	0,820	0,865	0,914	0,916	0,838
45°	0,946	0,923	0,895	0,851	0,828	0,798	0,786	0,789	0,822	0,864	0,916	0,911	0,844
60°	0,948	0,926	0,901	0,855	0,837	0,808	0,797	0,800	0,830	0,868	0,917	0,905	0,852
90°	0,948	0,928	0,908	0,855	0,850	0,820	0,812	0,818	0,843	0,874	0,918	0,891	0,864
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,931	0,919	0,898	0,848	0,829	0,796	0,786	0,793	0,829	0,867	0,905	0,891	0,836
45°	0,939	0,926	0,905	0,848	0,836	0,805	0,795	0,801	0,836	0,873	0,913	0,885	0,843
60°	0,945	0,933	0,912	0,848	0,846	0,816	0,805	0,811	0,843	0,881	0,920	0,875	0,851
90°	0,948	0,937	0,918	0,845	0,864	0,837	0,828	0,832	0,857	0,887	0,923	0,849	0,864
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,947	0,927	0,897	0,853	0,824	0,793	0,782	0,787	0,824	0,869	0,918	0,919	0,841
45°	0,951	0,928	0,900	0,855	0,832	0,803	0,791	0,795	0,828	0,870	0,920	0,914	0,849
60°	0,953	0,932	0,907	0,860	0,843	0,814	0,803	0,807	0,837	0,874	0,923	0,909	0,859
90°	0,955	0,936	0,916	0,861	0,856	0,827	0,820	0,827	0,852	0,883	0,925	0,896	0,872
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,936	0,924	0,903	0,853	0,833	0,801	0,792	0,799	0,835	0,872	0,910	0,895	0,841
45°	0,946	0,933	0,912	0,853	0,843	0,813	0,803	0,810	0,845	0,881	0,919	0,890	0,851
60°	0,953	0,941	0,920	0,854	0,854	0,825	0,815	0,821	0,853	0,890	0,927	0,880	0,860
90°	0,957	0,946	0,928	0,852	0,873	0,847	0,839	0,844	0,869	0,897	0,932	0,855	0,874
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,953	0,935	0,898	0,867	0,840	0,802	0,790	0,790	0,826	0,880	0,929	0,938	0,854
45°	0,957	0,937	0,900	0,870	0,843	0,806	0,794	0,793	0,827	0,881	0,932	0,936	0,860
60°	0,960	0,941	0,904	0,873	0,848	0,812	0,802	0,799	0,832	0,885	0,935	0,934	0,868
90°	0,969	0,948	0,903	0,862	0,833	0,796	0,785	0,786	0,830	0,893	0,944	0,935	0,873
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,950	0,933	0,902	0,866	0,842	0,804	0,793	0,793	0,831	0,880	0,926	0,930	0,853
45°	0,952	0,934	0,903	0,868	0,848	0,811	0,800	0,799	0,833	0,880	0,928	0,927	0,859
60°	0,954	0,937	0,909	0,873	0,855	0,821	0,810	0,809	0,841	0,883	0,930	0,923	0,867
90°	0,955	0,940	0,916	0,875	0,864	0,830	0,822	0,825	0,852	0,889	0,931	0,914	0,877
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,939	0,929	0,905	0,866	0,847	0,810	0,800	0,803	0,839	0,880	0,917	0,908	0,851
45°	0,947	0,936	0,912	0,868	0,854	0,819	0,808	0,810	0,846	0,886	0,925	0,907	0,858
60°	0,954	0,944	0,919	0,871	0,863	0,828	0,818	0,820	0,853	0,894	0,932	0,902	0,866
90°	0,957	0,947	0,925	0,873	0,877	0,847	0,838	0,840	0,867	0,899	0,935	0,885	0,878
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,953	0,937	0,905	0,868	0,844	0,808	0,796	0,798	0,835	0,883	0,929	0,932	0,856
45°	0,956	0,939	0,908	0,872	0,851	0,816	0,805	0,805	0,839	0,884	0,932	0,930	0,863
60°	0,959	0,943	0,914	0,877	0,860	0,826	0,816	0,817	0,848	0,889	0,935	0,927	0,872
90°	0,961	0,947	0,923	0,880	0,869	0,837	0,829	0,835	0,862	0,897	0,937	0,919	0,884
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,944	0,934	0,910	0,870	0,851	0,815	0,805	0,809	0,845	0,885	0,922	0,912	0,856
45°	0,953	0,942	0,918	0,873	0,860	0,826	0,816	0,819	0,855	0,893	0,931	0,912	0,865
60°	0,961	0,951	0,926	0,877	0,869	0,837	0,827	0,830	0,863	0,902	0,939	0,908	0,874
90°	0,966	0,955	0,934	0,879	0,884	0,857	0,848	0,852	0,878	0,908	0,943	0,891	0,887

Πίνακας 10.2.6: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,006, k=0,02), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά κλιματική ζώνη.

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,006, k=0,02)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,968	0,956	0,927	0,896	0,864	0,834	0,822	0,825	0,849	0,882	0,931	0,964	0,880
45°	0,974	0,960	0,929	0,897	0,864	0,835	0,823	0,825	0,850	0,882	0,935	0,970	0,885
60°	0,977	0,962	0,930	0,897	0,864	0,833	0,822	0,826	0,851	0,882	0,938	0,973	0,889
90°	0,980	0,961	0,914	0,862	0,821	0,798	0,782	0,789	0,831	0,876	0,942	0,978	0,881
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,963	0,953	0,929	0,899	0,865	0,836	0,824	0,826	0,851	0,872	0,926	0,958	0,877
45°	0,965	0,953	0,930	0,901	0,869	0,839	0,827	0,829	0,853	0,866	0,927	0,961	0,881
60°	0,965	0,955	0,934	0,905	0,873	0,843	0,832	0,834	0,857	0,863	0,928	0,962	0,886
90°	0,961	0,952	0,932	0,905	0,870	0,839	0,829	0,838	0,859	0,852	0,925	0,959	0,887
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,945	0,944	0,929	0,901	0,870	0,840	0,829	0,830	0,853	0,862	0,912	0,937	0,873
45°	0,951	0,949	0,934	0,904	0,875	0,846	0,833	0,835	0,858	0,857	0,918	0,944	0,877
60°	0,957	0,955	0,936	0,908	0,880	0,851	0,839	0,840	0,862	0,852	0,925	0,951	0,882
90°	0,956	0,952	0,939	0,915	0,889	0,861	0,849	0,851	0,869	0,832	0,924	0,950	0,887
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,968	0,958	0,935	0,904	0,870	0,841	0,830	0,832	0,858	0,878	0,931	0,962	0,883
45°	0,971	0,960	0,937	0,908	0,876	0,847	0,836	0,838	0,862	0,874	0,934	0,967	0,889
60°	0,974	0,963	0,943	0,914	0,882	0,853	0,842	0,846	0,869	0,872	0,936	0,969	0,895
90°	0,972	0,964	0,945	0,916	0,881	0,849	0,841	0,852	0,873	0,865	0,936	0,968	0,899
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,952	0,952	0,937	0,908	0,878	0,849	0,838	0,840	0,863	0,871	0,920	0,944	0,881
45°	0,961	0,960	0,945	0,914	0,885	0,857	0,846	0,848	0,871	0,869	0,929	0,953	0,889
60°	0,969	0,967	0,949	0,920	0,893	0,865	0,854	0,857	0,877	0,866	0,937	0,961	0,896
90°	0,969	0,966	0,954	0,928	0,904	0,878	0,867	0,870	0,887	0,847	0,938	0,962	0,903
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,991	0,974	0,940	0,905	0,865	0,835	0,823	0,826	0,856	0,903	0,951	0,983	0,886
45°	0,997	0,978	0,941	0,906	0,865	0,835	0,823	0,827	0,857	0,905	0,956	0,990	0,892
60°	1,000	0,980	0,942	0,906	0,867	0,835	0,824	0,827	0,858	0,908	0,959	0,993	0,897
90°	1,003	0,980	0,929	0,876	0,827	0,797	0,785	0,794	0,841	0,907	0,962	0,996	0,891
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,984	0,970	0,941	0,902	0,867	0,836	0,824	0,827	0,859	0,900	0,945	0,975	0,883
45°	0,987	0,971	0,942	0,902	0,870	0,840	0,828	0,830	0,860	0,899	0,947	0,979	0,888
60°	0,988	0,972	0,946	0,902	0,874	0,844	0,832	0,835	0,864	0,901	0,948	0,980	0,893
90°	0,984	0,968	0,944	0,893	0,872	0,839	0,830	0,839	0,865	0,901	0,945	0,975	0,895
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,963	0,959	0,941	0,898	0,872	0,840	0,829	0,832	0,861	0,894	0,928	0,952	0,877
45°	0,970	0,964	0,945	0,896	0,876	0,846	0,834	0,836	0,865	0,899	0,935	0,958	0,882
60°	0,976	0,970	0,948	0,894	0,881	0,851	0,839	0,842	0,869	0,904	0,941	0,963	0,887
90°	0,974	0,967	0,949	0,887	0,890	0,861	0,849	0,852	0,875	0,903	0,940	0,960	0,892
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,989	0,975	0,947	0,907	0,872	0,842	0,830	0,833	0,865	0,906	0,950	0,979	0,889
45°	0,994	0,977	0,950	0,908	0,877	0,848	0,836	0,839	0,869	0,907	0,954	0,985	0,896
60°	0,996	0,981	0,955	0,910	0,883	0,853	0,842	0,847	0,876	0,911	0,957	0,987	0,903
90°	0,994	0,980	0,956	0,903	0,883	0,850	0,842	0,854	0,880	0,914	0,955	0,984	0,907
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,971	0,967	0,949	0,905	0,879	0,849	0,838	0,842	0,870	0,903	0,936	0,958	0,886
45°	0,980	0,975	0,956	0,905	0,886	0,857	0,846	0,850	0,878	0,911	0,945	0,967	0,894
60°	0,987	0,982	0,961	0,905	0,894	0,865	0,854	0,858	0,885	0,918	0,953	0,973	0,901
90°	0,987	0,981	0,964	0,899	0,905	0,877	0,866	0,870	0,893	0,919	0,954	0,972	0,908

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,006, k=0,02)													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	1,013	0,993	0,957	0,918	0,877	0,841	0,828	0,833	0,871	0,922	0,976	0,988	0,898
45°	1,021	0,997	0,959	0,919	0,877	0,841	0,828	0,833	0,872	0,925	0,982	0,987	0,903
60°	1,024	1,000	0,960	0,918	0,878	0,842	0,829	0,834	0,873	0,927	0,985	0,984	0,909
90°	1,027	1,000	0,947	0,892	0,844	0,806	0,793	0,804	0,858	0,927	0,988	0,978	0,903
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	1,005	0,989	0,959	0,912	0,878	0,842	0,829	0,834	0,873	0,919	0,969	0,973	0,894
45°	1,010	0,990	0,959	0,911	0,881	0,846	0,832	0,837	0,875	0,919	0,973	0,970	0,898
60°	1,012	0,992	0,963	0,910	0,885	0,849	0,836	0,842	0,879	0,921	0,974	0,964	0,903
90°	1,007	0,987	0,960	0,897	0,882	0,845	0,834	0,843	0,878	0,919	0,970	0,946	0,904
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,984	0,976	0,956	0,906	0,882	0,846	0,834	0,838	0,874	0,911	0,950	0,938	0,886
45°	0,991	0,982	0,960	0,902	0,886	0,851	0,838	0,843	0,879	0,916	0,957	0,931	0,890
60°	0,996	0,987	0,965	0,897	0,891	0,856	0,843	0,848	0,883	0,921	0,963	0,919	0,894
90°	0,995	0,985	0,963	0,884	0,898	0,864	0,852	0,857	0,887	0,920	0,962	0,889	0,897
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	1,011	0,994	0,964	0,916	0,883	0,848	0,835	0,840	0,880	0,925	0,974	0,977	0,899
45°	1,017	0,997	0,966	0,917	0,888	0,853	0,840	0,846	0,883	0,927	0,979	0,975	0,906
60°	1,020	1,001	0,972	0,918	0,893	0,858	0,846	0,853	0,889	0,931	0,982	0,970	0,912
90°	1,018	0,999	0,972	0,907	0,892	0,855	0,846	0,857	0,893	0,932	0,980	0,953	0,915
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,991	0,984	0,964	0,912	0,889	0,854	0,842	0,848	0,884	0,920	0,958	0,944	0,894
45°	1,001	0,992	0,971	0,910	0,896	0,862	0,850	0,856	0,892	0,928	0,967	0,939	0,901
60°	1,008	0,999	0,977	0,907	0,902	0,869	0,857	0,863	0,898	0,935	0,975	0,928	0,907
90°	1,009	0,998	0,977	0,895	0,911	0,880	0,869	0,875	0,904	0,936	0,975	0,898	0,912
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	1,028	1,008	0,969	0,933	0,895	0,854	0,840	0,844	0,885	0,938	0,993	1,009	0,914
45°	1,035	1,012	0,971	0,934	0,895	0,854	0,840	0,844	0,886	0,941	0,999	1,011	0,920
60°	1,038	1,015	0,972	0,933	0,895	0,853	0,841	0,845	0,887	0,944	1,002	1,010	0,925
90°	1,042	1,015	0,960	0,908	0,865	0,818	0,805	0,813	0,870	0,942	1,005	1,006	0,921
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	1,020	1,004	0,970	0,929	0,895	0,855	0,841	0,845	0,887	0,935	0,986	0,996	0,910
45°	1,025	1,005	0,970	0,929	0,898	0,858	0,845	0,848	0,888	0,935	0,990	0,996	0,915
60°	1,027	1,007	0,974	0,930	0,901	0,861	0,848	0,852	0,892	0,937	0,992	0,992	0,920
90°	1,022	1,002	0,971	0,920	0,897	0,855	0,844	0,853	0,891	0,935	0,987	0,978	0,920
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	1,000	0,992	0,967	0,925	0,899	0,858	0,846	0,849	0,888	0,927	0,968	0,964	0,902
45°	1,007	0,997	0,971	0,924	0,902	0,863	0,850	0,853	0,893	0,932	0,975	0,962	0,907
60°	1,013	1,002	0,975	0,923	0,906	0,868	0,854	0,858	0,896	0,937	0,981	0,955	0,911
90°	1,012	1,000	0,974	0,915	0,910	0,874	0,862	0,867	0,900	0,935	0,979	0,933	0,914
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	1,025	1,008	0,974	0,933	0,899	0,860	0,847	0,851	0,893	0,940	0,991	1,000	0,915
45°	1,031	1,011	0,977	0,935	0,904	0,865	0,852	0,857	0,897	0,942	0,996	1,001	0,922
60°	1,035	1,015	0,982	0,937	0,908	0,870	0,857	0,864	0,903	0,946	0,999	0,998	0,928
90°	1,033	1,013	0,982	0,928	0,905	0,865	0,855	0,867	0,906	0,946	0,997	0,985	0,931
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	1,007	0,998	0,974	0,931	0,904	0,866	0,854	0,859	0,897	0,934	0,975	0,970	0,910
45°	1,017	1,006	0,981	0,932	0,910	0,874	0,861	0,867	0,905	0,942	0,984	0,970	0,917
60°	1,024	1,013	0,986	0,932	0,915	0,880	0,868	0,874	0,911	0,949	0,991	0,964	0,923
90°	1,025	1,012	0,986	0,925	0,921	0,889	0,878	0,885	0,917	0,949	0,991	0,943	0,928

Πίνακας 10.2.7: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου μερικώς αεριζόμενα (β_{ref}=-0,006, k=0,035), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά Κ.Ζ.

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια, με β_{ref}=-0,006 και k=0,035													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,935	0,918	0,883	0,848	0,812	0,780	0,767	0,769	0,795	0,835	0,891	0,932	0,832
45°	0,938	0,920	0,885	0,851	0,817	0,786	0,773	0,773	0,798	0,833	0,893	0,935	0,839
60°	0,940	0,924	0,889	0,856	0,823	0,792	0,780	0,781	0,803	0,835	0,895	0,938	0,847
90°	0,950	0,931	0,886	0,838	0,800	0,779	0,762	0,763	0,800	0,841	0,907	0,947	0,853
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,932	0,917	0,887	0,851	0,814	0,782	0,769	0,771	0,800	0,828	0,890	0,928	0,830
45°	0,932	0,916	0,889	0,856	0,822	0,790	0,777	0,778	0,802	0,821	0,889	0,929	0,836
60°	0,933	0,918	0,895	0,864	0,832	0,801	0,788	0,788	0,810	0,819	0,889	0,930	0,845
90°	0,934	0,923	0,904	0,878	0,845	0,814	0,803	0,808	0,825	0,818	0,892	0,931	0,858
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,922	0,915	0,893	0,857	0,821	0,787	0,776	0,780	0,808	0,827	0,884	0,916	0,829
45°	0,929	0,922	0,900	0,864	0,830	0,797	0,784	0,788	0,815	0,823	0,892	0,924	0,837
60°	0,937	0,929	0,906	0,872	0,840	0,808	0,795	0,798	0,823	0,821	0,900	0,931	0,846
90°	0,939	0,933	0,916	0,889	0,861	0,831	0,819	0,821	0,840	0,808	0,904	0,934	0,861
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,937	0,922	0,893	0,856	0,819	0,787	0,775	0,778	0,806	0,834	0,895	0,932	0,836
45°	0,939	0,923	0,896	0,863	0,829	0,798	0,786	0,787	0,811	0,829	0,895	0,935	0,844
60°	0,941	0,927	0,905	0,873	0,841	0,810	0,798	0,800	0,822	0,829	0,898	0,937	0,854
90°	0,944	0,935	0,917	0,889	0,856	0,825	0,815	0,823	0,840	0,831	0,904	0,940	0,870
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,929	0,923	0,901	0,864	0,829	0,796	0,785	0,790	0,818	0,835	0,892	0,922	0,838
45°	0,939	0,932	0,911	0,873	0,840	0,809	0,797	0,801	0,828	0,834	0,902	0,932	0,848
60°	0,948	0,941	0,919	0,883	0,853	0,822	0,810	0,814	0,838	0,834	0,912	0,941	0,859
90°	0,953	0,947	0,931	0,902	0,876	0,848	0,836	0,839	0,858	0,823	0,918	0,946	0,877
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,962	0,939	0,899	0,860	0,814	0,782	0,769	0,771	0,804	0,859	0,915	0,954	0,840
45°	0,966	0,942	0,901	0,863	0,818	0,786	0,774	0,775	0,806	0,860	0,918	0,958	0,847
60°	0,969	0,945	0,904	0,867	0,826	0,794	0,782	0,782	0,811	0,863	0,920	0,960	0,857
90°	0,976	0,952	0,901	0,852	0,806	0,777	0,764	0,768	0,810	0,873	0,930	0,967	0,864
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,957	0,937	0,903	0,858	0,817	0,783	0,770	0,773	0,809	0,858	0,913	0,948	0,838
45°	0,959	0,937	0,904	0,860	0,824	0,791	0,778	0,780	0,811	0,856	0,913	0,951	0,845
60°	0,960	0,940	0,910	0,865	0,833	0,802	0,789	0,790	0,819	0,860	0,914	0,951	0,854
90°	0,959	0,942	0,917	0,868	0,847	0,814	0,804	0,810	0,832	0,868	0,915	0,950	0,868
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,944	0,934	0,907	0,858	0,824	0,789	0,778	0,782	0,817	0,860	0,904	0,933	0,836
45°	0,951	0,940	0,914	0,859	0,832	0,798	0,786	0,790	0,824	0,866	0,912	0,940	0,843
60°	0,958	0,947	0,920	0,861	0,842	0,809	0,796	0,800	0,831	0,874	0,919	0,945	0,852
90°	0,960	0,950	0,928	0,864	0,862	0,831	0,819	0,822	0,847	0,880	0,923	0,946	0,867
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,962	0,943	0,908	0,863	0,822	0,789	0,776	0,780	0,815	0,864	0,918	0,953	0,844
45°	0,966	0,944	0,911	0,866	0,831	0,799	0,787	0,789	0,820	0,864	0,920	0,956	0,852
60°	0,968	0,948	0,919	0,873	0,842	0,811	0,799	0,801	0,830	0,870	0,922	0,958	0,863
90°	0,970	0,954	0,930	0,878	0,858	0,825	0,816	0,824	0,847	0,881	0,926	0,959	0,879
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,952	0,941	0,916	0,865	0,832	0,798	0,787	0,792	0,827	0,870	0,912	0,940	0,844
45°	0,961	0,950	0,925	0,869	0,843	0,810	0,798	0,804	0,837	0,878	0,922	0,948	0,855
60°	0,970	0,959	0,933	0,872	0,855	0,823	0,811	0,816	0,847	0,888	0,931	0,955	0,866
90°	0,973	0,964	0,943	0,876	0,877	0,848	0,836	0,841	0,865	0,896	0,936	0,957	0,883

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια, με β_{ref}=-0,006 και k=0,035													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,986	0,961	0,920	0,877	0,832	0,792	0,776	0,781	0,824	0,882	0,945	0,962	0,855
45°	0,990	0,963	0,922	0,879	0,835	0,796	0,780	0,784	0,826	0,884	0,949	0,959	0,862
60°	0,993	0,966	0,925	0,882	0,841	0,803	0,788	0,790	0,830	0,887	0,951	0,955	0,871
90°	1,001	0,973	0,922	0,869	0,823	0,786	0,772	0,778	0,828	0,895	0,959	0,952	0,877
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,980	0,958	0,924	0,872	0,834	0,793	0,778	0,783	0,828	0,881	0,941	0,950	0,852
45°	0,983	0,959	0,925	0,873	0,840	0,800	0,785	0,789	0,830	0,880	0,943	0,945	0,858
60°	0,985	0,961	0,930	0,876	0,848	0,810	0,795	0,798	0,837	0,883	0,944	0,939	0,867
90°	0,983	0,962	0,936	0,874	0,859	0,821	0,809	0,815	0,848	0,889	0,944	0,924	0,878
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,966	0,952	0,926	0,870	0,840	0,799	0,785	0,792	0,835	0,881	0,930	0,922	0,848
45°	0,973	0,959	0,933	0,869	0,848	0,808	0,793	0,800	0,842	0,887	0,937	0,916	0,855
60°	0,980	0,966	0,940	0,868	0,857	0,817	0,803	0,809	0,849	0,895	0,944	0,905	0,862
90°	0,982	0,969	0,945	0,863	0,874	0,838	0,824	0,829	0,862	0,900	0,947	0,878	0,875
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,985	0,963	0,929	0,877	0,838	0,799	0,784	0,790	0,834	0,887	0,946	0,954	0,857
45°	0,990	0,966	0,932	0,879	0,846	0,808	0,793	0,798	0,839	0,888	0,949	0,950	0,866
60°	0,993	0,970	0,939	0,883	0,856	0,819	0,805	0,810	0,848	0,893	0,952	0,944	0,876
90°	0,994	0,973	0,948	0,883	0,869	0,831	0,820	0,829	0,862	0,902	0,954	0,931	0,890
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,973	0,960	0,934	0,876	0,848	0,807	0,794	0,802	0,845	0,890	0,937	0,928	0,856
45°	0,983	0,969	0,943	0,877	0,857	0,819	0,805	0,813	0,855	0,899	0,947	0,923	0,866
60°	0,992	0,978	0,952	0,878	0,868	0,831	0,817	0,824	0,864	0,908	0,956	0,913	0,875
90°	0,996	0,982	0,959	0,875	0,887	0,853	0,841	0,847	0,879	0,915	0,960	0,887	0,889
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,998	0,977	0,933	0,894	0,856	0,809	0,793	0,795	0,839	0,902	0,963	0,980	0,874
45°	1,003	0,980	0,935	0,897	0,859	0,812	0,797	0,797	0,841	0,904	0,967	0,980	0,881
60°	1,006	0,983	0,938	0,900	0,863	0,818	0,804	0,803	0,845	0,907	0,970	0,978	0,890
90°	1,014	0,989	0,936	0,887	0,846	0,799	0,785	0,788	0,841	0,914	0,978	0,978	0,896
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,993	0,974	0,936	0,892	0,857	0,810	0,795	0,797	0,843	0,900	0,959	0,971	0,871
45°	0,996	0,975	0,937	0,894	0,863	0,817	0,802	0,802	0,845	0,900	0,961	0,968	0,878
60°	0,998	0,978	0,942	0,898	0,870	0,825	0,810	0,811	0,852	0,903	0,963	0,964	0,886
90°	0,997	0,978	0,948	0,898	0,877	0,833	0,821	0,826	0,862	0,908	0,963	0,953	0,896
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,980	0,968	0,938	0,892	0,863	0,816	0,801	0,805	0,850	0,899	0,948	0,946	0,867
45°	0,988	0,975	0,945	0,893	0,869	0,824	0,809	0,812	0,857	0,905	0,956	0,945	0,874
60°	0,995	0,982	0,951	0,895	0,877	0,833	0,818	0,821	0,863	0,913	0,962	0,939	0,882
90°	0,998	0,984	0,956	0,896	0,890	0,850	0,837	0,840	0,876	0,917	0,965	0,921	0,893
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,998	0,979	0,940	0,896	0,861	0,815	0,800	0,803	0,850	0,905	0,963	0,975	0,876
45°	1,002	0,981	0,944	0,899	0,868	0,824	0,809	0,811	0,854	0,907	0,967	0,973	0,885
60°	1,005	0,986	0,951	0,905	0,877	0,834	0,820	0,822	0,863	0,912	0,970	0,970	0,894
90°	1,007	0,989	0,959	0,907	0,885	0,843	0,832	0,840	0,876	0,919	0,972	0,961	0,907
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,988	0,975	0,945	0,898	0,868	0,823	0,810	0,815	0,859	0,907	0,955	0,952	0,875
45°	0,998	0,984	0,954	0,901	0,877	0,834	0,820	0,825	0,870	0,916	0,964	0,953	0,884
60°	1,006	0,993	0,962	0,904	0,886	0,845	0,832	0,837	0,878	0,925	0,973	0,948	0,894
90°	1,011	0,997	0,969	0,906	0,901	0,865	0,852	0,858	0,893	0,930	0,977	0,930	0,907

Πίνακας 10.2.8: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,006, k=0,055), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά Κ.Ζ.

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια, με β_{ref}=-0,006 και k=0,055													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Α													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,890	0,866	0,824	0,783	0,743	0,708	0,694	0,694	0,724	0,771	0,838	0,888	0,768
45°	0,889	0,867	0,827	0,790	0,753	0,720	0,706	0,703	0,728	0,769	0,836	0,888	0,777
60°	0,892	0,872	0,835	0,801	0,769	0,738	0,724	0,719	0,739	0,773	0,839	0,890	0,791
90°	0,909	0,891	0,848	0,805	0,773	0,754	0,735	0,730	0,758	0,794	0,860	0,906	0,815
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,890	0,868	0,831	0,788	0,746	0,710	0,696	0,698	0,731	0,768	0,841	0,888	0,768
45°	0,888	0,866	0,833	0,796	0,759	0,724	0,710	0,709	0,735	0,761	0,837	0,887	0,776
60°	0,889	0,870	0,843	0,810	0,777	0,744	0,730	0,727	0,748	0,761	0,838	0,887	0,790
90°	0,897	0,885	0,866	0,842	0,811	0,781	0,768	0,769	0,781	0,773	0,849	0,894	0,820
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,891	0,877	0,845	0,799	0,757	0,717	0,705	0,712	0,747	0,779	0,848	0,887	0,772
45°	0,900	0,885	0,855	0,810	0,770	0,732	0,719	0,725	0,758	0,777	0,856	0,896	0,783
60°	0,909	0,895	0,865	0,824	0,786	0,750	0,737	0,741	0,770	0,779	0,866	0,905	0,797
90°	0,917	0,907	0,886	0,855	0,824	0,791	0,778	0,780	0,802	0,777	0,877	0,913	0,826
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,895	0,873	0,836	0,793	0,751	0,715	0,702	0,705	0,737	0,774	0,846	0,893	0,773
45°	0,895	0,874	0,841	0,803	0,766	0,732	0,719	0,719	0,744	0,768	0,844	0,893	0,784
60°	0,897	0,879	0,853	0,818	0,786	0,754	0,740	0,739	0,759	0,771	0,846	0,894	0,800
90°	0,907	0,897	0,879	0,852	0,822	0,792	0,780	0,784	0,795	0,786	0,860	0,903	0,832
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,899	0,885	0,853	0,806	0,764	0,726	0,714	0,722	0,757	0,788	0,856	0,894	0,780
45°	0,910	0,895	0,866	0,819	0,780	0,744	0,731	0,738	0,771	0,789	0,867	0,905	0,795
60°	0,920	0,907	0,878	0,835	0,799	0,764	0,752	0,757	0,786	0,793	0,878	0,915	0,811
90°	0,931	0,921	0,901	0,868	0,839	0,808	0,796	0,799	0,819	0,792	0,891	0,925	0,842
Κλιματική Ζώνη Β													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,923	0,893	0,844	0,799	0,747	0,711	0,697	0,698	0,735	0,799	0,869	0,915	0,778
45°	0,924	0,894	0,847	0,805	0,756	0,722	0,707	0,705	0,738	0,799	0,867	0,915	0,788
60°	0,927	0,898	0,853	0,815	0,772	0,739	0,725	0,720	0,748	0,804	0,870	0,916	0,803
90°	0,940	0,915	0,865	0,819	0,777	0,751	0,736	0,733	0,767	0,827	0,887	0,929	0,827
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,922	0,894	0,851	0,799	0,750	0,713	0,699	0,702	0,742	0,802	0,870	0,913	0,778
45°	0,921	0,893	0,853	0,804	0,762	0,727	0,712	0,712	0,746	0,799	0,867	0,912	0,787
60°	0,922	0,897	0,862	0,814	0,779	0,746	0,731	0,729	0,757	0,804	0,868	0,912	0,801
90°	0,927	0,907	0,881	0,834	0,813	0,781	0,769	0,770	0,788	0,823	0,876	0,916	0,831
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,918	0,900	0,863	0,805	0,761	0,721	0,709	0,717	0,759	0,816	0,873	0,908	0,780
45°	0,927	0,908	0,873	0,810	0,774	0,735	0,722	0,729	0,769	0,823	0,881	0,916	0,792
60°	0,935	0,917	0,882	0,818	0,790	0,753	0,740	0,745	0,781	0,834	0,890	0,922	0,806
90°	0,942	0,927	0,901	0,833	0,826	0,792	0,780	0,782	0,810	0,850	0,899	0,927	0,834
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,927	0,899	0,856	0,804	0,755	0,719	0,705	0,708	0,749	0,808	0,875	0,917	0,783
45°	0,928	0,900	0,860	0,810	0,769	0,734	0,721	0,721	0,755	0,807	0,874	0,918	0,795
60°	0,930	0,905	0,871	0,822	0,788	0,755	0,741	0,741	0,769	0,814	0,876	0,919	0,810
90°	0,938	0,919	0,894	0,844	0,824	0,792	0,781	0,785	0,803	0,837	0,887	0,925	0,843
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,926	0,907	0,872	0,812	0,769	0,730	0,718	0,726	0,769	0,825	0,881	0,915	0,789
45°	0,936	0,918	0,884	0,819	0,784	0,747	0,735	0,742	0,782	0,835	0,891	0,924	0,803
60°	0,946	0,929	0,895	0,828	0,802	0,767	0,754	0,761	0,797	0,848	0,902	0,932	0,819
90°	0,955	0,941	0,916	0,845	0,841	0,809	0,797	0,801	0,828	0,865	0,913	0,939	0,850

Κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια, με β_{ref}=-0,006 και k=0,055													
Γωνία κλίσης (β)	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**	**Ετήσιο**
Κλιματική Ζώνη Γ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,949	0,917	0,872	0,821	0,771	0,725	0,707	0,712	0,761	0,829	0,904	0,927	0,798
45°	0,950	0,918	0,874	0,826	0,779	0,735	0,717	0,718	0,763	0,829	0,904	0,921	0,807
60°	0,952	0,922	0,879	0,834	0,792	0,751	0,734	0,731	0,772	0,833	0,906	0,916	0,821
90°	0,965	0,937	0,889	0,838	0,796	0,759	0,744	0,743	0,788	0,853	0,921	0,917	0,843
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,946	0,918	0,877	0,819	0,774	0,728	0,710	0,716	0,768	0,831	0,904	0,919	0,796
45°	0,947	0,917	0,879	0,822	0,785	0,740	0,722	0,725	0,771	0,829	0,903	0,911	0,805
60°	0,948	0,920	0,887	0,830	0,800	0,757	0,740	0,741	0,781	0,833	0,904	0,904	0,818
90°	0,952	0,929	0,904	0,843	0,828	0,789	0,775	0,777	0,807	0,848	0,909	0,894	0,844
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,942	0,921	0,887	0,822	0,785	0,736	0,720	0,730	0,783	0,842	0,903	0,901	0,797
45°	0,950	0,929	0,896	0,825	0,796	0,750	0,733	0,742	0,793	0,849	0,911	0,895	0,808
60°	0,957	0,938	0,906	0,829	0,811	0,766	0,749	0,757	0,804	0,859	0,919	0,886	0,820
90°	0,964	0,947	0,921	0,836	0,842	0,802	0,787	0,792	0,829	0,872	0,927	0,862	0,844
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,952	0,923	0,883	0,823	0,779	0,733	0,716	0,722	0,774	0,837	0,909	0,923	0,802
45°	0,954	0,924	0,886	0,828	0,791	0,747	0,730	0,734	0,779	0,837	0,909	0,916	0,812
60°	0,956	0,929	0,896	0,837	0,808	0,766	0,750	0,752	0,792	0,843	0,912	0,910	0,827
90°	0,962	0,940	0,916	0,852	0,838	0,799	0,786	0,791	0,822	0,861	0,920	0,901	0,855
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,950	0,929	0,895	0,828	0,792	0,744	0,729	0,740	0,793	0,850	0,910	0,907	0,805
45°	0,960	0,939	0,907	0,833	0,806	0,761	0,745	0,755	0,806	0,861	0,921	0,903	0,819
60°	0,969	0,950	0,919	0,839	0,822	0,779	0,764	0,773	0,819	0,873	0,931	0,894	0,833
90°	0,978	0,961	0,935	0,847	0,856	0,817	0,803	0,810	0,846	0,888	0,940	0,872	0,859
Κλιματική Ζώνη Δ													
Νότιος Προσανατολισμός (γ=0°)													
30°	0,958	0,934	0,885	0,843	0,804	0,748	0,731	0,728	0,779	0,853	0,923	0,942	0,821
45°	0,960	0,936	0,888	0,848	0,811	0,757	0,739	0,734	0,781	0,853	0,924	0,938	0,829
60°	0,962	0,940	0,894	0,856	0,821	0,771	0,754	0,746	0,789	0,858	0,927	0,935	0,842
90°	0,976	0,954	0,903	0,858	0,822	0,775	0,759	0,755	0,803	0,875	0,941	0,940	0,863
Νότιο-Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=45°)													
30°	0,957	0,935	0,891	0,843	0,807	0,751	0,733	0,732	0,785	0,855	0,922	0,936	0,820
45°	0,958	0,935	0,893	0,847	0,816	0,762	0,744	0,741	0,788	0,854	0,922	0,931	0,828
60°	0,959	0,939	0,901	0,856	0,828	0,777	0,760	0,756	0,798	0,858	0,924	0,926	0,840
90°	0,964	0,947	0,917	0,870	0,851	0,804	0,790	0,789	0,823	0,872	0,930	0,921	0,864
Ανατολικός Προσανατολισμός (γ=90°)													
30°	0,954	0,937	0,900	0,847	0,815	0,758	0,743	0,746	0,800	0,862	0,921	0,923	0,820
45°	0,963	0,946	0,909	0,852	0,825	0,771	0,755	0,757	0,810	0,870	0,930	0,923	0,830
60°	0,971	0,955	0,919	0,859	0,838	0,786	0,770	0,771	0,820	0,880	0,938	0,918	0,842
90°	0,979	0,964	0,933	0,871	0,864	0,818	0,803	0,804	0,844	0,893	0,946	0,904	0,865
Νότιο-Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-45°)													
30°	0,962	0,939	0,895	0,847	0,811	0,756	0,739	0,739	0,791	0,860	0,927	0,940	0,825
45°	0,964	0,941	0,899	0,853	0,821	0,769	0,752	0,750	0,797	0,861	0,928	0,936	0,835
60°	0,966	0,946	0,909	0,863	0,835	0,786	0,769	0,767	0,809	0,867	0,931	0,932	0,849
90°	0,974	0,958	0,928	0,878	0,859	0,814	0,801	0,803	0,837	0,884	0,940	0,928	0,874
Δυτικός Προσανατολισμός (γ=-90°)													
30°	0,962	0,944	0,907	0,853	0,820	0,766	0,751	0,756	0,809	0,870	0,928	0,929	0,828
45°	0,973	0,955	0,918	0,860	0,833	0,781	0,766	0,770	0,822	0,881	0,939	0,930	0,841
60°	0,982	0,966	0,930	0,868	0,847	0,798	0,783	0,787	0,835	0,892	0,948	0,926	0,854
90°	0,992	0,976	0,946	0,881	0,875	0,832	0,819	0,822	0,861	0,906	0,958	0,913	0,879

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας Νο. **Σελίδα**

Πίνακας 1.3.1: Μέγιστη επιτρεπτή ισχύς Φ/Β σταθμού παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό για διασυνδεδεμένο σύστημα (Δ.Σ.) 12

Πίνακας 1.3.2: Μέγιστη επιτρεπτή ισχύς Φ/Β σταθμού παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό για μη διασυνδεδεμένα νησιά (Μ.Δ.Ν.) 12

Πίνακας 2.2.1: Βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης ηλιακού συστήματος (β) για 54 ελληνικές περιοχές 23

Πίνακας 2.2.2: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{\beta,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη κλίση ανά μήνα 24

Πίνακας 2.2.3: Μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια (H_{β}, kWh/m²/yr) για βέλτιστη ετήσια, χειμερινή, θερινή κλίση 26

Πίνακας 2.2.4: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{\beta,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη ετήσια κλίση 27

Πίνακας 2.2.5: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{\beta,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη χειμερινή κλίση 28

Πίνακας 2.2.6: Μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ($H_{\beta,m}$, kWh/m²/mo) σε επιφάνεια με βέλτιστη θερινή κλίση 29

Πίνακας 2.2.7: Συντελεστές μετατροπής της προσπίπτουσας μηνιαίας ηλιακής ενέργειας σε κεκλιμένη επιφάνεια ηλιακού συστήματος με συγκεκριμένο προσανατολισμό σε σχέση με τη μηνιαία ηλιακή ενέργεια στο οριζόντιο επίπεδο μιας περιοχής [16] 30

Πίνακας 2.4.1: Ταξινόμηση αμμωδών εδαφών, ανάλογα με το βαθμό κορεσμού (S) [27]. 42

Πίνακας 2.4.2: Ενδεικτικές τιμές πυκνότητας, θερμικής αγωγιμότητας λ και ειδικής θερμοχωρητικότητας κατ' όγκο διαφόρων εδαφών περίπου στους 20°C [30]. 44

Πίνακας 2.4.3: Ενδεικτικές τιμές των θερμικών ιδιοτήτων ορισμένων υλικών [29]. 45

Πίνακας 2.4.4: Θερμική αγωγιμότητα και θερμική διάχυση εδαφικών σχηματισμών. [31] 47

Πίνακας 2.4.5: Θερμικές ιδιότητες πετρωμάτων στους 25°C. [30] 47

Πίνακας 2.5.1: Σταθεροί συντελεστές πολλαπλής πολυωνυμική προσέγγισης της (εξ. 2.5.1), για τον υπολογισμό της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας θερμοκρασίας του αέρα για κάθε μήνα. Οι συντελεστές ισχύουν για τις ώρες 06:00 έως 18:00 UTC (08:00 έως 20:00 τοπική ώρα Ελλάδος). 49

Πίνακας 2.5.2: Σταθεροί συντελεστές πολλαπλής πολυωνυμική προσέγγισης της (εξ. 2.5.1), για τον υπολογισμό της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας θερμοκρασίας του αέρα για κάθε μήνα. Οι συντελεστές ισχύουν για τις ώρες 18:00 έως 06:00 UTC (20:00 έως 08:00 τοπική ώρα Ελλάδος). 50

Πίνακας 2.5.3: Σταθεροί συντελεστές πολλαπλής πολυωνυμική προσέγγισης της (εξ. 2.5.1), για τον υπολογισμό της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ωριαίας θερμοκρασίας του αέρα για κάθε μήνα. Οι συντελεστές ισχύουν τις 24 ώρες (UTC). 51

Πίνακας 3.2.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη επίπεδων ηλιακών συλλεκτών [3, 5-8]. 58

Πίνακας 3.2.2: Τυπικές τιμές τεχνικών χαρακτηριστικών ηλιακών συλλεκτών [9, 10]. 60

Πίνακας 3.3.1: Εύρος παραμέτρων Η/Θ συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη της μεθόδου καμπυλών f [3, 9] 64

Πίνακας 3.3.2: Μέσες μηνιαίες τιμές του διορθωτικού συντελεστή (τα΄)/$(τα)_n$ για τις ελληνικές περιοχές, για διάφορες κλίσεις επίπεδου Η.Σ. με γυάλινο κάλυμμα [4] 65

Πίνακας 3.3.3: Ενδεικτικές τιμές μέσου μηνιαίου ποσοστού κάλυψης (f) φορτίου (Q_{dhw}) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ., και μέσου μηνιαίου συντελεστή ηλιακής αξιοποίησης, ανά τύπο Η.Σ. και ανά κλιματική ζώνη. 72

Πίνακας 3.5.1: Κανονισμοί και Οδηγίες της ΕΕ για την πιστοποίηση ενεργειακών προϊόντων 78

Πίνακας 3.5.2: Κανονισμοί Εφαρμογής 78

Πίνακας 4.1.1: Ενδεικτικά τεχνικά χαρακτηριστικά κρυσταλλικών Φ/Β κυψελών [5] 83

Πίνακας 4.2.2: Ονομαστικός βαθμός απόδοσης n_{Tref} και συντελεστής θερμοκρασίας β_{ref} για κρυσταλλικά Φ/Β [14, 19-28]. 85

Πίνακας 4.2.3: Συντελεστής k (παράμετρος Ross) (K.m²/W) [32]. 86

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 4.4.1: Ενδεικτική ηλεκτρική ισχύς, ώρες λειτουργίας ανά ημέρα και ημερήσια κατανάλωση τυπικών οικιακών συσκευών [5,58]. 92

Πίνακας 4.4.2: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης ($f_{pv,eff}$), ανά τύπο Φ/Β (β_{ref}, k) και κλιματική ζώνη, για βέλτιστη ετήσια γωνία κλίσης (β) Φ/Β. 94

Πίνακας 4.4.3: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή απωλειών λόγω θερμοκρασίας του Φ/Β [60]. 95

Πίνακας 4.6.1: Παρουσίαση διεργασιών προληπτικής συντήρησης. 106

Πίνακας 5.2.1: Θερμική αγωγιμότητα υλικών σωληνώσεων [10] 114

Πίνακας 5.2.2: Αριθμός Reynolds για σωλήνα PE-100 για διάφορες διαμέτρους σωλήνων (mm) και παροχή (L/min) ρευστού [10] 114

Πίνακας 5.2.3: Μέθοδοι γεωτρήσεων [10] 115

Πίνακας 5.2.4: Θερμική αγωγιμότητα και πυκνότητα υλικών πλήρωσης γεώτρησης (ενέματα) [10] 115

Πίνακας 5.3.1: Τυπικές τιμές της ειδικής θερμότητας άντλησης για κατακόρυφου τύπου γεωθερμικούς εναλλάκτες [15] 118

Πίνακας 5.3.2: Τυπικές τιμές της ειδικής θερμότητας άντλησης για οριζοντίου τύπου γεωθερμικούς εναλλάκτες [15] 118

Πίνακας 5.3.3: Θερμική αντίσταση γεώτρησης [10] 124

Πίνακας 5.3.4: Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής [10] 132

Πίνακας 5.4.1: Στοιχεία ανάλυσης νερού γεώτρησης [10] 136

Πίνακας 7.2.1: Θερμαντική αξία (θερμογόνος δύναμη) βιομάζας [2,3,4,5] 148

Πίνακας 7.2.2: Θερμοφυσικές ιδιότητες συσσωματωμάτων και θρυμμάτων [3,4,6,7] 149

Πίνακας 7.3.1: Έκλυση ρύπων λεβήτων ανά είδος καυσίμου [7] 150

Πίνακας 7.4.1: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές εκπομπών ρύπων σε εστίες καύσης βιομάζας (Πίνακας 2, της υ.α. ρπ. Αρ. πρωτ. οικ.:189533/ΦΕΚ/2654/Β'/2011) 151

Πίνακας 10.1.1: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με απλό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 162

Πίνακας 10.1.2: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 163

Πίνακας 10.1.3: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με Η.Σ. Κενού και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 164

Πίνακας 10.1.4: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση μονοκατοικίας από Η/Θ με απλό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 165

Πίνακας 10.1.5: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση μονοκατοικίας από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 166

Πίνακας 10.1.6: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση μονοκατοικίας από Η/Θ με Η.Σ. Κενού και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 167

Πίνακας 10.1.7: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση πολυκατοικίας από Η/Θ με απλό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 168

Πίνακας 10.1.8: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση πολυκατοικίας από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ. και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 169

Πίνακας 10.1.9: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου ($L_{S.H.}$) για θέρμανση πολυκατοικίας από Η/Θ με Η.Σ. Κενού και μέσος μηνιαίος συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης 170

Πίνακας 10.1.10: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με απλό Η.Σ. 171

Πίνακας 10.1.11: Μέση μηνιαία ηλιακή αξιοποίηση από Η/Θ συστήματα με απλό Η.Σ., για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. 172

Πίνακας 10.1.12: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ. 173

Πίνακας 10.1.13: Μέση μηνιαία ηλιακή αξιοποίηση από Η/Θ με επιλεκτικό Η.Σ., για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. 174

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας 10.1.14: Μέσο μηνιαίο ποσοστό κάλυψης (f) φορτίου (L_w) Ζ.Ν.Χ. από Η/Θ με συλλέκτη Κενού 175

Πίνακας 10.1.15: Μέση μηνιαία ηλιακή αξιοποίηση από Η/Θ με συλλέκτη Κενού, για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. 176

Πίνακας 10.2.1: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για άμορφα Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,002, k=0,02), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά κλιματική ζώνη (Κ.Ζ.). 178

Πίνακας 10.2.2: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για άμορφα Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,002, k=0,055), για προσανατολισμό (γ) Φ/Β και κλίση (β), ανά Κ.Ζ. 180

Πίνακας 10.2.3: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,004, k=0,02), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά κλιματική ζώνη. 182

Πίνακας 10.2.4: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ελαφρώς αεριζόμενα (β_{ref}=-0,004, k=0,035), για προσανατολισμό (γ) Φ/Β και κλίση (β), ανά Κ.Ζ..... 184

Πίνακας 10.2.5: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,004, k=0,055), για προσανατολισμό (γ) Φ/Β και κλίση (β), ανά Κ.Ζ..... 186

Πίνακας 10.2.6: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου καλά αεριζόμενα (β_{ref}=-0,006, k=0,02), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά κλιματική ζώνη. 188

Πίνακας 10.2.7: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου μερικώς αεριζόμενα (β_{ref}=-0,006, k=0,035), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά Κ.Ζ..... 190

Πίνακας 10.2.8: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή απόδοσης Φ/Β ($f_{pv,eff}$), για κρυσταλλικά Φ/Β πυριτίου ενσωματωμένα σε επιφάνεια (β_{ref}=-0,006, k=0,055), για προσανατολισμό (γ) και κλίση (β) Φ/Β, ανά Κ.Ζ..... 192

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα Νο. **Σελίδα**

Σχήμα 1.2.1: Εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα ανά τομέα τελικής χρήσης 7
Σχήμα 1.2.2: Κατανομή εγχώριας πρωτογενούς ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα για το 2018 7
Σχήμα 1.2.3: Κατανομή ακαθάριστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο, για το 2018 8
Σχήμα 1.2.4: Εγκατεστημένη Ισχύς Α.Π.Ε. για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 8
Σχήμα 1.2.5: Μεταβολή της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο στις Ελληνικές κατοικίες την περίοδο 2007 έως 2018 9
Σχήμα 1.2.6: Μεταβολή της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο στα Ελληνικά κτίρια του τριτογενή τομέα την περίοδο 2007 έως 2018 9
Σχήμα 2.2.1: Χάρτης της Ελλάδας με τη μέση ετήσια ολική ηλιακή ενέργεια σε οριζόντιο επίπεδο [kWh/(m² yr)] [1]. 21
Σχήμα 2.2.2: Ποσοστό μείωσης της ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (I_β) λόγω φυσικού εμποδίου ανατολικά του Η.Σ. (για βέλτιστη ετήσια κλίση β, γ=0° και φ=38°) [3] 31
Σχήμα 2.2.3: Βέλτιστη αζιμούθια γωνία (γ) Η.Σ. (για βέλτιστη κλίση β και φ=38°), σε συνάρτηση με την αζιμούθια γωνία του ήλιου (γ_s) όταν γίνεται ορατός μετά από εμπόδιο που βρίσκεται ανατολικά [3] 31
Σχήμα 2.2.4: Τοποθέτηση Φ/Β σε απόσταση πάνω σε οριζόντια βάση. 32
Σχήμα 2.2.5: Τοποθέτηση Φ/Β σε απόσταση πάνω σε κεκλιμένο έδαφος ή στέγη 32
Σχήμα 2.2.6: Συντελεστής επιφάνειας Η.Σ. για εγκατάσταση σε οριζόντια βάση (0°) 33
Σχήμα 2.2.7: Συντελεστής επιφάνειας Η.Σ. για εγκατάσταση σε κεκλιμένη βάση (30°) 33
Σχήμα 2.3.1: Μέση μηνιαία ταχύτητας ανέμου στην Ελλάδα (m/s) [20] 35
Σχήμα 2.3.2: Ποσοστιαία μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με τη μορφολογία της περιοχής [17-19]. 36
Σχήμα 2.3.3: Επίδραση ενός κτιρίου με ύψος Η στη ροή της ταχύτητας του ανέμου [18]. 36
Σχήμα 2.3.4: Κατανομή Weibull [17-18] 37
Σχήμα 2.3.5: Παράμετρος "C" κατανομής Weibull [17-19] 38
Σχήμα 2.3.6: Παράμετρος "k" κατανομής Weibull [17-19] 38
Σχήμα 2.4.1: Μεταβολή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους, για γυμνό και χλοερό έδαφος από μετρήσεις στο Αστεροσκοπείο Αθηνών στην Πεντέλη [23] 41
Σχήμα 2.4.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος, για τις τέσσερις χρονικές περιόδους ανά εποχή. 41
Σχήμα 2.4.3: Εδαφολογικός χάρτης Αττικής http://mapsportal.ypen.gr/maps/289. 45
Σχήμα 2.4.4: Κατανομή τιμών θερμικής αγωγιμότητας λ επιφανειακών εδαφών στην Ελλάδα 46
Σχήμα 2.4.5: Κατανομή είδους επιφανειακών εδαφών στην Ελλάδα. 46
Σχήμα 3.2.1: Καμπύλες στιγμιαίας απόδοσης ηλιακών συλλεκτών [3-4] 59
Σχήμα 4.2.1: Χαρακτηριστική καμπύλη Φ/Β κυψέλης «Τάσης – Έντασης» και καμπύλη «Τάσης –Ισχύος» (αρ.). Χαρακτηριστικές καμπύλες Φ/Β κυψέλης «Τάσης – Έντασης» για διαφορετικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (δεξ.). [5] 84
Σχήμα 4.2.2: Συντελεστής μετατροπής $K_{\tau\alpha}$ (Incidence angle, modifier) σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης (θ) [1, 35, 36, 38] 87
Σχήμα 4.3.1: Τυπικό διάγραμμα αυτόνομης Φ/Β εγκατάστασης 89

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Σχήμα 4.5.1: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) μετά τη σύνδεση σταθμού παραγωγής. Πηγή: www.deddie.gr 98

Σχήμα 4.5.2: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης μέσης τάσης (Μ.Τ.) μετά τη σύνδεση σταθμού παραγωγής. Πηγή: www.deddie.gr 98

Σχήμα 4.5.3: Ενδεικτικά απλοποιημένα μονογραμμικά διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης Χ.Τ., α) με σύνδεση Φ/Β πλαισίων και συσσωρευτών μέσω του ίδιου μετατροπέα (DC coupled) και β) με σύνδεση σταθμού παραγωγής και συσσωρευτών μέσω διαφορετικών μετατροπέων (AC coupled). Πηγή: www.deddie.gr 101

Σχήμα 5.2.1: Σύνδεση αντλιών θερμότητας με το έδαφος [4] 112

Σχήμα 5.2.2: Σύνδεση αντλιών θερμότητας με υπόγεια ύδατα μέσω ανοικτών κυκλωμάτων [4] 112

Σχήμα 5.3.1: Βασικοί σχεδιασμοί κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών [1] 122

Σχήμα 5.3.2: Διάταξη αγωγών μονού, διπλού-U και ομοαξονι-κών σωλήνων [5] 122

Σχήμα 5.3.3: Τυπικές διατάξεις αγωγών τύπου-U εντός της γεώτρησης [5] 123

Σχήμα 5.3.4: Αριθμός Fourier σε συνάρτηση του Παράγοντας-G για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης του εδάφους. [10] 125

Σχήμα 5.3.5: Παράγοντας θερμικών απωλειών μικρού κυκλώματος (Fsc) για συνήθεις εφαρμογές διατάξεων κατακόρυφων γεωεναλλακτών [10] 126

Σχήμα 5.3.6: Διάταξη γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με οριζόντιο εναλλάκτη [1] 127

Σχήμα 5.3.7: Θερμικές αντιστάσεις σε διαφορικό τμήμα σε σωλήνα οριζοντίου γεωεναλλάκτη [1] 128

Σχήμα 5.3.8: Τομή και ορολογία υδρογεώτρησης [1] 129

Σχήμα 5.3.9: Τυπική διάταξη ανοικτού γεωθερμικού συστήματος 130

Σχήμα 5.4.1: Γεωτρήσεις σε ζώνη κορεσμού και σε ζώνη κορεσμού υπό πίεση [12] 134

Σχήμα 5.4.2: Θερμοκρασίες εδάφους για βάθη 1 m και 15 m στο Κορωπί Αττικής [2] 135

Σχήμα 6.2.1: Σχηματική απεικόνιση μεγάλης και μικρής Α/Γ οριζοντίου (αρ.), και κατακορύφου άξονα (δεξ.). [1,7,8] 139

Σχήμα 6.2.2: Καμπύλη λειτουργίας μικρής Α/Γ ονομαστικής ισχύος P_{wt}=20 kW. 140

Σχήμα 6.2.3: Αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης (C_p) για τους διάφορους τύπους Α/Γ 141

Σχήμα 6.3.1: Καμπύλη Πυκνότητας Πιθανότητας f(V) ταχύτητας ανέμου [4] 142

Σχήμα 6.3.2: Αναμενόμενη ετήσια ενεργειακή παραγωγή Α/Γ 5kW εγκατεστημένη σε περιοχές με διαφορετικό αιολικό δυναμικό [7,8,11,12] 143

Σχήμα 6.3.3: Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης Α/Γ 144

Σχήμα 8.2.1: Ενδεικτικό ηλεκτρολογικό σχέδιο εγκατάστασης χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) με δυνατότητα εφεδρικής τροφοδότησης από Η/Ζ που συνδέεται μέσω χειροκίνητου διακόπτη διπλής ενέργειας. 155

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

© Πρώτη έκδοση Τεχνικής Οδηγίας 20701-8: «Εγκαταστάσεις αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτίρια», Οκτώβριος 2021 - Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας