



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**«Κατανεμημένη πράσινη ηλεκτρική ενέργεια και οι
προηγμένες δικτυακές υποδομές για τη διαχείριση
και την οικονομία της»**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
του Γεραλή Νικόλαου
Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και
Τεχνολογίας Υπολογιστών
Αριθμός Μητρώου: 1012572**

Θέμα:

**Ενσωματωμένα Φωτοβολταϊκά στα Κτίρια και
Αντικεραυνική τους Προστασία**

**Επιβλέπων Σύμβουλος Καθηγητής:
Καθηγητής Τρυπαναγνωστόπουλος Ιωάννης**

**Αριθμός Διατριβής:
Πάτρα, 22/02/2016**

*Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών
Γεραλής Νικόλαος
© [2016] – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος*

- Το σύνολο της εργασίας αποτελεί πρωτότυπο έργο, παραχθέν από το Γεραλή Νικόλαο, και δεν παραβιάζει δικαιώματα τρίτων καθ' οιονδήποτε τρόπο.
- Αν η εργασία περιέχει υλικό, το οποίο δεν έχει παραχθεί από τον ίδιο, αυτό είναι ευδιάκριτο και αναφέρεται ρητώς εντός του κειμένου της εργασίας ως προϊόν εργασίας τρίτου, σημειώνοντας με παρομοίως σαφή τρόπο τα στοιχεία ταυτοποίησής του, ενώ παράλληλα βεβαιώνει πως στην περίπτωση χρήσης αυτούσιων γραφικών αναπαραστάσεων, εικόνων, γραφημάτων κλπ., έχει λάβει τη χωρίς περιορισμούς άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων για την συμπερίληψη και επακόλουθη δημοσίευση του υλικού αυτού.

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η Μεταπτυχιακή Διπλωματική
Εργασία με θέμα:

«Ενσωματωμένα Φωτοβολταϊκά στα Κτίρια και
Αντικεραυνική τους Προστασία»

του κ. Γεραλή Νικόλαου Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και
Τεχνολογίας Υπολογιστών παρουσιάστηκε δημοσίως στο Τμήμα
Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών στις 22/02/2016 και εξετάστηκε
και εγκρίθηκε από την ακόλουθη Εξεταστική Επιτροπή:

1. Τρυπαναγνωστόπουλος Ιωάννης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών,
Επιβλέπων Καθηγητής
2. Πυργιώτη Ελευθερία, Επικ. Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Πατρών,
Μέλος τριμελούς εξεταστικής επιτροπής
3. Περράκη Βασιλική, Λέκτορας Πανεπιστημίου Πατρών, Μέλος
τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

Πάτρα, 22/02/2016

Ο Επιβλέπων Σύμβουλος Καθηγητής

Ο Διευθυντής του ΔΜΔΕ

Καθηγητής Τρυπαναγνωστόπουλος Ι.

Καθηγητής Βοβός Ν.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί τη Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στα Τμήματα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής και Φυσικού, του Πανεπιστημίου Πατρών, για το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Κατανεμημένη πράσινη ηλεκτρική ενέργεια και οι προηγμένες δικτυακές υποδομές για τη διαχείριση και την οικονομία της» και αφορά την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στα κτίρια και την αντικεραιλική τους προστασία.

Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στο Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο και την ελληνική πολιτική για τις ΑΠΕ, ενώ παρουσιάζεται η εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού τόσο σε παγκόσμιο, όσο σε ευρωπαϊκό και ελληνικό επίπεδο μέχρι και το 2014. Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη επισκόπηση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και παρουσιάζονται οι μέθοδοι ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στα κτίρια. Επίσης, αφού γίνει μια σύντομη αναφορά στο φαινόμενο των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών εκκενώσεων, παρουσιάζεται η προστασία των φωτοβολταϊκών συστημάτων που ενσωματώνονται στα κτίρια από τα άμεσα πλήγματα του κεραυνού και τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματός του. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια εφαρμογή που είχε ως στόχο να μελετήσει την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε στέγη και πρόσοψη ενός κτιρίου χρήσης κατοικίας στην Πάτρα, προκειμένου να εξαχθούν κάποια βασικά συμπεράσματα όσον αφορά την αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια του κάθε τρόπου ενσωμάτωσης καθώς και να μελετηθεί η επίδρασή τους στο εσωτερικό κλίμα του κτιρίου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τόσο τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Τρυπαναγωστόπουλο Ιωάννη, για την συνεχή και πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, όσο και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Περράκη Β. (Λέκτορας Παν. Πατρών) και Πυργιώτη Ε. (Επικ. Καθ. Παν. Πατρών) για τη συνεργασία μας επάνω στα ειδικά θέματα της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ τέλος τους γονείς και τα αγαπημένα μου πρόσωπα που με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Πάτρα
22/02/2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία αφορά την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια και την αντικεραυνική τους προστασία. Διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια ως εξής:

Το *πρώτο κεφάλαιο* παρουσιάζει το Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για την ενέργεια, κάνοντας μια αναφορά στις πολιτικές και τα κυριότερα νομοθετικά εργαλεία πραγμάτωσης που προωθούν γενικότερα τη διείσδυση των ΑΠΕ, και ειδικότερα την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού αναλύεται το νομοθετικό πλαίσιο και την ελληνική πολιτική για τις ΑΠΕ. Το πρώτο κεφάλαιο κλείνει με την παρουσίαση της εξέλιξης του φωτοβολταϊκού δυναμικού σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και ελληνικό επίπεδο μέχρι και το 2014.

Το *δεύτερο κεφάλαιο* πραγματοποιεί μια σύντομη επισκόπηση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Αρχικά περιγράφει τις βασικές έννοιες της θεωρίας των ημιαγωγών (ενεργειακές ζώνες-ενεργειακό χάσμα, ενδογενείς-εξωγενείς ημιαγωγοί, επαφή p-n κ.α.) και στη συνέχεια, αφού ορίσει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ξεκινάει την ανάλυση των σχέσεων που υπολογίζουν τις βασικές παραμέτρους των φωτοβολταϊκών στοιχείων, των πλαισίων και τέλος των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει παρουσιάζοντας τις κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το *τρίτο κεφάλαιο* αφορά την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στα κτίρια. Αφού εξετάσει το θέμα της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στα κτίρια από διάφορες σκοπιές, αναφέρει τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα των ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων και τις προοπτικές ενσωμάτωσής τους στα κτίρια σε παγκόσμιο και Ελληνικό επίπεδο. Στη συνέχεια, το τρίτο αυτό κεφάλαιο παρουσιάζει τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων κατάλληλων για χρήση σε κτιριακές εφαρμογές, τη μορφή των φωτοβολταϊκών προϊόντων που προορίζονται για ενσωμάτωσή τους στα κτίρια και αναλύει τις δυνατότητες ενσωμάτωσής τους στα κτίρια. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με μια περιγραφή πραγματικών παραδειγμάτων, κτιρίων με ενσωματωμένα φ/β συστήματα.

Το *τέταρτο κεφάλαιο* πραγματοποιεί μια εισαγωγή στο φαινόμενο των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών εκκενώσεων (κεραυνών), αναλύοντας ορισμένα από τα βασικότερα θέματα που διαπραγματεύονται τα τέσσερα διεθνή πρότυπα προστασίας από κεραυνούς IEC 62305 (part 1-4) όπως τα είδη των κεραυνών, οι βασικές τους παράμετροι, τα επίπεδα αντικεραυνικής προστασίας κ.α. Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει εκτενώς το Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας μιας και αυτό αποτελεί τη βασικότερη μέθοδο προστασίας τόσο μιας κατασκευής από φυσική καταστροφή όσο και της ανθρώπινη ζωή που αυτή περικλείει (από τραυματισμό). Στη συνέχεια, το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στην προστασία του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εντός των κατασκευών έναντι των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων του ρεύματος του κεραυνού και καταλήγει με την περιγραφή των απαιτούμενων μέτρων προστασίας, για κάθε έναν τρόπο ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών που ορίζει το πρότυπο CLC/TS 50539-12:2010.

Η παρούσα εργασία ολοκληρώνεται με το *πέμπτο κεφάλαιο*, σκοπός του οποίου είναι να γίνει μια προσομοίωση ενός κτιρίου, στο οποίο έχουν ενσωματωθεί φωτοβολταϊκά τόσο στην οροφή όσο και στην πρόσοψή του. Η προσομοίωση αυτή θα αφορά την ηλεκτρική απόδοση, τις απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο και τη ροή θερμού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, προκειμένου να δημιουργηθεί μια πρώτη πρακτική γνώση για το συγκεκριμένο θέμα της ενσωμάτωσης φ/β στα κτίρια και τις επιδράσεις τους στο εσωτερικό τους κλίμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
------------------------	---

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	14
------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Παγκόσμια πολιτική για το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή.....	16
1.2. Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για την ενέργεια.....	17
1.2.1. Πράσινη Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική - Ενέργεια και το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	19
1.2.2. Λευκή Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική - Ενέργεια για το Μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	20
1.2.3. Οδηγία 2001/77/ΕΚ για την προώθηση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	21
1.2.4. Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.....	22
1.2.5. Οδηγία 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ.....	23
1.3. Το νομοθετικό πλαίσιο και η ελληνική πολιτική για τις ΑΠΕ.....	25
1.4. Αξιολόγηση της προόδου στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην ΕΕ.....	29
1.5. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού.....	30
1.5.1. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού παγκοσμίως.....	30
1.5.2. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	32
1.5.3. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού στην Ελλάδα.....	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

2.1. Βασικές έννοιες θεωρίας ημιαγωγών.....	43
2.1.1. Ενεργειακές ζώνες - ενεργειακό χάσμα.....	43
2.1.2. Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί.....	44
2.1.3. Φορείς αγωγιμότητας στους ημιαγωγούς.....	45
2.1.4. Ενδογενείς ημιαγωγοί.....	46
2.1.5. Εξωγενείς ημιαγωγοί.....	47
2.1.6. Η επαφή p-n.....	49
2.2. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	51
2.3. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	53
2.3.1. Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείο.....	56
2.3.2. Βαθμός απόδοσης - ισχύ αιχμής φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	58
2.4. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	59
2.4.1. Προβλήματα σκιασμών στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	63
2.4.2. Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	67
2.5. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	70
2.6. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

3.1. Εισαγωγή.....	76
3.1.1. Ενσωμάτωση φ/β σε κτίρια από τεχνική και συμβατική άποψη.....	77

3.2. Γιατί φωτοβολταϊκά στα κτίρια;.....	78
3.3. Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων ενσωματωμένων στα κτίρια.....	80
3.4. Προοπτικές ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στα κτίρια σε παγκόσμιο και ελληνικό επίπεδο.....	81
3.5. Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων κατάλληλων για χρήση σε κτιριακές εφαρμογές.....	83
3.6. Μορφή φ/β στοιχείων για ενσωμάτωσή τους στα κτίρια.....	90
3.7. Δυνατότητες ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στα κτίρια.....	95
3.7.1. Ενσωμάτωση φ/β στην στέγη των κτιρίων.....	96
3.7.2. Ενσωμάτωση φ/β στις προσόψεις των κτιρίων.....	100
3.7.3. Ενσωμάτωση φ/β στοιχείων ως σκίαστρα-στέγαστρα στα κτίρια.....	106
3.8. Παραδείγματα κτιρίων με ενσωματωμένα φ/β συστήματα.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

4.1. Στοιχεία ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού.....	116
4.2. Είδη κεραυνών.....	117
4.3. Χαρακτηριστικές παράμετροι κεραυνών.....	119
4.4. Επίπεδα προστασίας από κεραυνούς (LPLs)	120
4.5. Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (LPZs)	121
4.6. Συνέπειες πλήγματος κεραυνού.....	124
4.7. Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας.....	125
4.7.1. Σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας (external Lightning Protection System).....	126
4.7.2. Σύστημα εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας (internal Lightning Protection System).....	140
4.8. Προστασία ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εντός των κατασκευών έναντι των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων του ρεύματος των κεραυνών.....	142
4.9. Προστασία φωτοβολταϊκών συστημάτων ενσωματωμένων στα κτίρια έναντι κεραυνικών ηλεκτρομαγνητικών κρούσεων.....	150
4.9.1. Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια χωρίς ΣΑΠ (Κατηγορία Β).....	151
4.9.2. Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια με ΣΑΠ και τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων διαχωρισμού (Κατηγορία Α1).....	153
4.9.3. Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια με ΣΑΠ και μη τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων διαχωρισμού (Κατηγορία Α2).....	156

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ: ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΕΞΟΧΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΤΡΑ

5.1. Εισαγωγή.....	159
5.2. Σκοπός της εφαρμογής.....	159
5.3. Δεδομένα εφαρμογής.....	160
5.4. Προσομοίωση ηλεκτρικής απόδοσης.....	161
5.5. Προσομοίωση για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.....	180
5.6. Προσομοίωση ροής θερμού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου.....	192
5.7. Προστασία ενσωματωμένου φ/β συστήματος από κεραυνούς και κρουστικές υπερτάσεις.....	198

5.8. Συμπεράσματα.....	200
5.8.1. Συμπεράσματα προσομοίωσης ηλεκτρικής απόδοσης (ετήσιας παραγόμενης ενέργειας).....	200
5.8.2. Συμπεράσματα μελέτης υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.....	201
5.8.3. Συμπεράσματα προσομοίωσης ροής θερμού αέρα εσωτερικά του κτιρίου.....	203
 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΧΙΣΗΣ ΤΗΣ.....	 204
 ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	 208

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1. Αξιολόγηση της προόδου στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην ΕΕ τα έτη 2005-2012 ^[68]	29
Εικόνα 1-2. Εξέλιξη της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος από φ/β μέχρι και το 2014 ^[115]	31
Εικόνα 1-3. Εξέλιξη της ετήσιας νέας εγκατεστημένης ισχύος από φ/β την περίοδο 2008-2014 στην Ευρωπαϊκή Ένωση ^{[73]-[78]}	33
Εικόνα 1-4. Εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β την περίοδο 2008-2014 στην Ευρωπαϊκή Ένωση ^{[73]-[78]}	33
Εικόνα 1-5. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2008 ^[73]	34
Εικόνα 1-6. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2009 ^[74]	35
Εικόνα 1-7. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2010 ^[75]	36
Εικόνα 1-8. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2011 ^[76]	37
Εικόνα 1-9. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2012 ^[77]	38
Εικόνα 1-10. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β τα έτη 2013-14 ^[78]	39
Εικόνα 1-11. Εξέλιξη της νέας ετήσιας εγκατεστημένης ισχύος από φ/β στην Ελλάδα την περίοδο 2008-2014 ^{[73]-[78]}	41
Εικόνα 1-12. Εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β στην Ελλάδα την περίοδο 2008-2014 ^{[73]-[78]}	41
Εικόνα 1-13. Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά τάξη μεγέθους ^[79]	42

Εικόνα 2-1. Γραμμικό ενεργειακό φάσμα μεμονωμένου ατόμου με τη θεμελιώδη και ελεύθερη κατάσταση ^[47]	43
Εικόνα 2-2. Πιθανά ενεργειακά διαγράμματα ενός κρυστάλλου και η διάκριση των υλικών σε αγωγούς, ημιαγωγούς, μονωτές ^[47]	44
Εικόνα 2-3. Αλληλεπίδραση φωτονίου με ηλεκτρόνιο στη ζώνη σθένους ^[47]	45
Εικόνα 2-4. Επίπεδη συμβολική παράσταση της κρυσταλλικής δομής ενός ενδογενούς ημιαγωγού πυριτίου ^[39]	46
Εικόνα 2-5. Επίπεδη συμβολική παράσταση της δομής του Ge με πρόσμιξη As ^[120]	48
Εικόνα 2-6. Επίπεδη συμβολική παράσταση της δομής του Ge με πρόσμιξη Ga ^[120]	48
Εικόνα 2-7. Ιόντα και φορείς σε ημιαγωγούς τύπου p και n πριν έρθουν σε επαφή ^[39]	49
Εικόνα 2-8. Επαφή p-n χωρίς εξωτερική πόλωση ^[120]	50
Εικόνα 2-9. Επαφή p-n στην ορθή πόλωση και μορφή του ρεύματός της συναρτήσει της τάσης στα άκρα της ^[120]	50
Εικόνα 2-10. Επαφή p-n στην ανάστροφη πόλωση και μορφή του ρεύματός της συναρτήσει της τάσης στα άκρα της ^[120]	51
Εικόνα 2-11. Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου ^{[35],[35]}	52
Εικόνα 2-12. Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου ^{[35],[35],[34]}	54
Εικόνα 2-13. Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου στην κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος ^{[35],[34]}	54
Εικόνα 2-14. Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου στην κατάσταση βραχυκυκλώματος ^{[35],[34]}	55
Εικόνα 2-15. Ακριβέστερο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φ/β στοιχείου ^{[39],[35],[35],[54]}	55
Εικόνα 2-16. Χαρακτηριστική καμπύλη φ/β στοιχείου ^{[35],[35]}	56
Εικόνα 2-17. Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στις χαρακτηριστικές καμπύλες V-I ^[54]	57
Εικόνα 2-18. Επίδραση της θερμοκρασίας στις χαρακτηριστικές καμπύλες V-I ^[54]	58
Εικόνα 2-19. Πλαίσιο n φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά για την κατανόηση της επίδρασης της σκίασης ^[39]	63
Εικόνα 2-20. Πλαίσιο n φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά με αντικατάσταση του n-ιοστού στοιχείου με το ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμά του, για την κατανόηση της επίδρασης της σκίασης ^[39]	64
Εικόνα 2-21. Προσθήκη διόδου παράκαμψης για διόρθωση του προβλήματος της πτώσης τάσης στα σκισμένα φ/β στοιχεία ενός πλαισίου ^[39]	65

Εικόνα 2-22. Χρήση διόδου φραγής για την απορρόφηση ανάστροφου ρεύματος από μία σκιασμένη ομάδα φ/β πλαισίων ^[39]	66
Εικόνα 2-23. Γωνίες προσανατολισμού φ/β πλαισίου στην επιφάνεια της γης ^[35]	67
Εικόνα 2-24. Απόδοση φ/β πλαισίων ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη κλίση τους ^[54]	69
Εικόνα 2-25. Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός κτιριακού φ/β συστήματος ^[51]	70
Εικόνα 2-26. Φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελούμενη από $N_p \times N_s$ φ/β πλαίσια ^[36]	72
Εικόνα 2-27. Κατηγοριοποίηση φ/β συστημάτων ^[35]	74

Εικόνα 3-1. Παράδειγμα “formal” integration με εγκατάσταση πρόσθετων φ/β στοιχείων στην οροφή κτιρίου (“Energy Dream Center”, Seoul, South Korea) ^[11]	77
Εικόνα 3-2. Παράδειγμα “technical” integration με καθεαυτού ενσωμάτωση φ/β στοιχείων στην πρόσοψη κτιρίου (“Climate Change Research Building”, Incheon, South Korea) ^[11]	78
Εικόνα 3-3. Παραγωγή φ/β στοιχείων των δυο πρώτων γενιών σε ποσοστό της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής ^[116]	86
Εικόνα 3-4. Κατανομή παραγωγής φ/β στοιχείων δεύτερης γενιάς σε ποσοστό της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής, για τρία βασικά είδη φ/β στοιχείων thin film ^[116]	87
Εικόνα 3-5. Μέγιστες επιτευχθείσες αποδόσεις φ/β στοιχείων των δυο πρώτων γενιών ^[116]	87
Εικόνα 3-6. Σχηματική δομή του πρώτου Single Layer OPV ^{[13],[14],[17]}	88
Εικόνα 3-7. Εξέλιξη της απόδοσης των αντιπροσωπευτικότερων τεχνολογιών φ/β στοιχείων για τις τρεις γενιές ^[116]	89
Εικόνα 3-8. Φ/β πλαίσιο με περίβλημα αλουμινίου. Αριστερά: τεχνολογίας mono c-Si, δεξιά: τεχνολογίας poly c-Si ^[85]	90
Εικόνα 3-9. Τομή ενός τυπικού φ/β πλαισίου με περίβλημα αλουμινίου ^[86]	90
Εικόνα 3-10. Σύγκριση μεταξύ γυαλιού χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (επάνω) και κανονικού γυαλιού (κάτω) ^[95]	91
Εικόνα 3-11. Διαστρωμάτωση φ/β πλαισίου άνευ περιβλήματος ^[87]	92
Εικόνα 3-12. Εύκαμπτα φ/β πλαίσια. Αριστερά: τύπου ορθογώνιου πλαισίου, Δεξιά: φ/β πλαίσιο σε ρολό ^[88]	93
Εικόνα 3-13. Φ/β στοιχεία σε μορφή υαλοπίνακα διαφορετικών χρωμάτων, διαφάνειας και συντελεστού πληρότητας ^[3]	93
Εικόνα 3-14. Δομή ενός ημιπερατού φ/β πλαισίου μορφής υαλοπίνακα για ενσωμάτωση σε κτίριο ^[53]	94
Εικόνα 3-15. Παραδοσιακά ηλιακά κεραμίδια ^{[3],[104]}	95
Εικόνα 3-17. Κατασκευαστές ηλιακών κεραμιδιών-πλακών και βασικά χαρακτηριστικά από τα προϊόντα τους ^[3]	95
Εικόνα 3-18. Δυνατότητες ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε κτίριο ^[53]	96
Εικόνα 3-19. Τοποθέτηση φ/β επάνω στην επιφάνεια της στέγης. Αριστερά: υπό κλίση, ανεξάρτητη της κλίσης της στέγης, Δεξιά: ακολουθώντας την κλίση της στέγης ^[1]	97
Εικόνα 3-20. Απευθείας ενσωμάτωση φ/β στη στέγη και αντικατάσταση μέρους της ^{[1],[53]}	97
Εικόνα 3-21. Αντικατάσταση όλης της στέγης με φ/β ^[53]	97
Εικόνα 3-22. Οι τρεις εναλλακτικοί τρόποι ενσωμάτωσης φ/β στις στέγες κτιρίων ^[53]	98
Εικόνα 3-23. Χρήση στάνταρ φ/β πλαισίου με περίβλημα για εγκατάσταση σε στέγη ^[100]	98
Εικόνα 3-24. Χρήση frameless solar panels για εγκατάσταση σε στέγη ^[90]	99
Εικόνα 3-25. Χρήση εύκαμπτων φ/β πλαισίων (σε ρολό), για εγκατάσταση σε στέγη ^[96]	99
Εικόνα 3-26. Χρήση φ/β πλαισίων σε μορφή υαλοπίνακα για ενσωμάτωση σε στέγη ^[106]	99
Εικόνα 3-27. Χρήση ηλιακών κεραμιδιών (solar tiles) για ενσωμάτωση σε στέγη ^[105]	100
Εικόνα 3-28. Εναλλακτικοί τρόποι ενσωμάτωσης φ/β στην πρόσοψη κτιρίων ^[53]	101
Εικόνα 3-29. Πηγές σκίασης φ/β στοιχείων στην πρόσοψη κτιρίων. 1) σκίαση από εξωτερικά εμπόδια 2) σκίαση από τη γεωμετρία του ίδιου του κτιρίου 3) σκίαση από τα ίδια τα φ/β στοιχεία της πρόσοψης ^[4]	102
Εικόνα 3-30. Τυπική ενσωμάτωση φ/β πλαισίου thin film σε κατασκευή πρόσοψης post-beam (curtain wall) ^[92]	103
Εικόνα 3-31. Τυπική ενσωμάτωση φ/β σε κατασκευή πρόσοψης double facade ^[91]	104
Εικόνα 3-32. Πρόσοψη και την τομή μιας τυπικής κατασκευής double skin facade ^[110]	105
Εικόνα 3-33. Πρόσοψη SSG σε κτίριο της Γερμανίας ^[05]	106
Εικόνα 3-34. Παραδείγματα φ/β πλαισίων στην πρόσοψη κτιρίου ως σκίαστρα σταθερής κλίσης ^[7] ..	106
Εικόνα 3-35. Παράδειγμα ενσωμάτωσης φ/β στην πρόσοψη κτιρίου ως σκίαστρα μεταβλητής κλίσης (κινούμενες περσίδες) ^[19]	107

Εικόνα 3-36. Παραδείγματα φ/β μπλοκ με περσίδες για χρήση ως σκίαστρα μεταβλητής κλίσης ^[19]	107
Εικόνα 3-37. Φάσεις εγκατάστασης φ/β στοιχείων στο κτιριακό συγκρότημα ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration (περιοχή Elverta, California) ^[2]	108
Εικόνα 3-38. Ολοκληρωμένη άποψη της εγκατάστασης ηλιακών κεραμιδιών στο κτιριακό συγκρότημα ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration (περιοχή Elverta, California) ^[2]	109
Εικόνα 3-39. Διαστρωμάτωση οροφής κτιριακού συγκροτήματος ^[2]	109
Εικόνα 3-40. Εσωτερική άποψη της οροφής του κτιρίου της Ακαδημίας Mont-Cenis στην πόλη Herne της Γερμανίας ^[2]	110
Εικόνα 3-41. Εξωτερική άποψη της οροφής του κτιρίου της Ακαδημίας Mont-Cenis στην πόλη Herne της Γερμανίας κατά τη φάση εγκατάστασης των φ/β πλαϊσίων ^[2]	111
Εικόνα 3-42. Εξωτερική άποψη της πρόσοψης του κτιρίου της βιβλιοθήκης Pompeu Fabra, στην πόλη Mataro της Ισπανίας ^[5]	112
Εικόνα 3-43. Εσωτερική άποψη της πρόσοψης του κτιρίου της βιβλιοθήκης Pompeu Fabra, στην πόλη Mataro της Ισπανίας ^[5]	112
Εικόνα 3-44. Κοντινή άποψη πρόσοψης κτιρίου γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια ^[2]	114
Εικόνα 3-45. Κτίριο γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια στην πρόσοψη ^[2]	114
Εικόνα 3-46. Σχηματική κάτοψη του στεγάστρου του παρκινγκ του Ολυμπιακού Πάρκου στο Πεκίνο ^[5]	115
Εικόνα 3-47. Ολοκληρωμένη άποψη του στεγάστρου του Ολυμπιακού Πάρκου του Πεκίνου με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια ^[5]	115
<hr/>	
Εικόνα 4-1. Ηλεκτρικό ανάλογο του συστήματος γη - ιονόσφαιρα ^[42]	117
Εικόνα 4-2. Τυπική μορφή κρουστικού ρεύματος σύντομης εκκένωσης ($T_2 < 2 \text{ msec}$) ^[25]	118
Εικόνα 4-3. Τυπική μορφή σταθερού ρεύματος εκκένωσης μακράς διάρκειας ($2 \text{ msec} < T_{\text{long}} < 1 \text{ sec}$) ^[25]	119
Εικόνα 4-4. Μέγιστες τιμές παραμέτρων ηλεκτρικών εκκενώσεων ανάλογα με το επίπεδο προστασίας LPL ^[25]	121
Εικόνα 4-5. Παραδείγματα ζωνών προστασίας LPZ-0 _A και LPZ-0 _B σε κτίριο ^[97]	122
Εικόνα 4-6. Παραδείγματα ζώνης προστασίας LPZ-1 σε κτίριο ^[97]	123
Εικόνα 4-7. Παραδείγματα ζωνών προστασίας LPZ-2..n σε κτίριο ^[97]	123
Εικόνα 4-8. Κατηγορίες πηγές ζημιών από την πτώση κεραυνών ^{[25][26]}	124
Εικόνα 4-9. Τύποι ζημιών Dx και επακόλουθων απωλειών Lx ανάλογα της πηγής προέλευσης Sx των ηλεκτρικών εκκενώσεων ^{[25],[26]}	125
Εικόνα 4-10. Σύστημα τερματισμού - συλλήψεως αποτελούμενο από ράβδους ^[27]	128
Εικόνα 4-11. Σύστημα τερματισμού - συλλήψεως αποτελούμενο από πλέγμα αγωγών ^[27]	128
Εικόνα 4-12. Σύστημα τερματισμού - συλλήψεως αποτελούμενο από οριζόντιο τανυσμένο αγωγό ^[113]	128
Εικόνα 4-13. Εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας για τον προσδιορισμό της θέσης του συστήματος συλλήψεως ^[73]	129
Εικόνα 4-14. Βάθος εισχώρησης p κυλιόμενης σφαίρας ^[113]	130
Εικόνα 4-15. Εφαρμογή της μεθόδου των βρόχων για τη χωροθέτηση του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως σε επίπεδες στέγες κτισμάτων ^[113]	131
Εικόνα 4-16. Εφαρμογή της μεθόδου της γωνίας προστασίας α για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας συστήματος τερματισμού-συλλήψεως που αποτελείται από κατακόρυφες ράβδους ^[113]	131
Εικόνα 4-17. Επιλογή της γωνίας προστασίας α ανάλογα του συνολικού ύψους της ράβδου και της κατηγορίας του ΣΑΠ ^[27]	132
Εικόνα 4-18. Σύγκριση των ζωνών προστασίας της μεθόδου της γωνίας προστασίας και της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας ^[113]	132
Εικόνα 4-19. Εφαρμογή της μεθόδου της γωνίας προστασίας α για τον προσδιορισμό των ζωνών προστασίας συστήματος συλλήψεως αποτελούμενου από κατακόρυφες ράβδους ύψους h ₁ στην οροφή κτιρίου ύψους H ^[113]	133
Εικόνα 4-20. Σύστημα τερματισμού-συλλήψεως αποτελούμενο από ράβδο και πλέγμα και εφαρμογές των μεθόδων της κυλιόμενης σφαίρας του πλέγματος και της γωνίας προστασίας για την χωροθέτησή του ^[113]	133
Εικόνα 4-21. Σχηματισμός βρόχου σε αγωγό καθόδου ^[113]	135
Εικόνα 4-22. Τιμές συντελεστού k _c ^[113]	136

Εικόνα 4-23. Σύστημα προστασίας με τεταμένο σύρμα και σύστημα γείωσης τύπου B ^[113]	136
Εικόνα 4-24. Σύστημα προστασίας με πλέγμα και σύστημα γείωσης τύπου B ^[113]	137
Εικόνα 4-25. Τιμές του συντελεστή kc στη περίπτωση συστήματος συλλήψεως πλέγματος, με αγωγούς καθόδου συνδεδεμένους με περιμετρικούς δακτυλίους και σύστημα γείωσης τύπου B. ^[45]	138
Εικόνα 4-26. Ελάχιστο μήκος L1 κάθε ηλεκτροδίου γείωσης διάταξης τύπου A, σύμφωνα με την κατηγορία των LPS ^[113]	139
Εικόνα 4-27. Τυπικό παράδειγμα ζυγού ισοδυναμικών συνδέσεων ^[27]	141
Εικόνα 4-28. Πλήρες σύστημα γείωσης ^[28]	144
Εικόνα 4-29. Ζυγός ισοδυναμικών συνδέσεων ^[46]	144
Εικόνα 4-30. Οι δύο τύποι διατάξεων ισοδυναμικών συνδέσεων ενσωματωμένων στο BN (Αριστερά: ακτινική διάταξη, Δεξιά: διάταξη πλέγματος) ^[28]	145
Εικόνα 4-31. Υλικό και ελάχιστη διατομή των στοιχείων δικτύου ισοδυναμικών συνδέσεων ^[28]	145
Εικόνα 4-32. Τυπικές κυματομορφές κρουστικών ρευμάτων 10/350 και 8/20 μ s για τις δοκιμές των SPDs ^[117]	148
Εικόνα 4-33. Οριοθέτηση LPZ με χρήση SPSs ^[117]	149
Εικόνα 4-34. Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο δεν έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ ^[98]	152
Εικόνα 4-35. Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ και τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού s ^[98]	153
Εικόνα 4-36. Προστασία της AC πλευράς του αντιστροφέα για καλωδιακή απόσταση E<10m ^[20] ...	154
Εικόνα 4-37. Προστασία της AC πλευράς του αντιστροφέα για καλωδιακή απόσταση E>10m ^[20] ...	155
Εικόνα 4-38. Προστασία της DC πλευράς του αντιστροφέα για καλωδιακή απόσταση E>10m ^[20]	156
Εικόνα 4-39. Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ αλλά δεν τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού s ^[98]	157
Εικόνα 4-40. Εγκατάσταση απαγωγών T1+T2 στη μεριά του AC & DC ^[48]	158

Εικόνα 5-1. Κάτοψη του κτιρίου κατοικίας της εφαρμογής σχεδιασμένη με το λογισμικό Autocad 2012.....	160
Εικόνα 5-2. Υποστηριζόμενη βάση δεδομένων της επιλογής Import meteo data του μενού Tools του PVSYSY.....	161
Εικόνα 5-3. Πλήρης ενσωμάτωση σε κεραμοσκεπή πλαίσια SOLON Black της γερμανικής εταιρείας SOLON SOLitaire ^[111]	162
Εικόνα 5-4. Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαίσια SOLON Black 240Wp της εταιρείας SOLON SOLitaire ^[111]	163
Εικόνα 5-5. Τελική χωροθέτηση φ/β πλαίσια στην οροφή του κτιρίου, μαζί με τις βασικές παραμέτρους του συστήματος.....	165
Εικόνα 5-6. Διάγραμμα σκιασμού και πίνακας συντελεστού σκίασης της Περίπτωσης 1 (ενσωμάτωση φ/β στην οροφή)	165
Εικόνα 5-7. Περιεχόμενα της σελίδας Simulation parameters της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1.....	167
Εικόνα 5-8. Περιεχόμενα της σελίδας Main results της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1.....	168
Εικόνα 5-9. Γράφημα κανονικοποιημένης παραγωγής ανά εγκατεστημένο kWp (Normalized production per installed kWp), της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1...169	169
Εικόνα 5-10. Γράφημα μηνιαίου και ετήσιου συντελεστή αποδοτικότητας του φ/β συστήματος της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1.....	170
Εικόνα 5-11. Πίνακας “Δείκτες Παραγωγής και Απόδοσης Εγκατάστασης (Balances and main results)” κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1.....	171
Εικόνα 5-12. Διάγραμμα απωλειών της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1.....	172
Εικόνα 5-13. Πρόσοψη κτιρίου στην Αυστρία με 245 πλαίσια EFL διαφόρων διαστάσεων της εταιρείας Ertex Solar. ^[112]	173
Εικόνα 5-14. Τελική χωροθέτηση φ/β πλαίσια στην πλαϊνή πλευρά του κτιρίου, μαζί με τις βασικές παραμέτρους του συστήματος.....	174
Εικόνα 5-15. Διάγραμμα σκιασμού και πίνακας συντελεστού σκίασης της Περίπτωσης 2 (ενσωμάτωση φ/β στην πλαϊνή πλευρά)	175
Εικόνα 5-16. Περιεχόμενα της σελίδας Simulation parameters της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2.....	176
Εικόνα 5-17. Περιεχόμενα της σελίδας Main results της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2	177

Εικόνα 5-18. Γράφημα κανονικοποιημένης παραγωγής ανά εγκατεστημένο kWp (Normalized production per installed kWp), της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2.....	178
Εικόνα 5-19. Γράφημα μηνιαίου και ετήσιου συντελεστή αποδοτικότητας του φ/β συστήματος της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2.....	178
Εικόνα 5-20. Πίνακας “Δείκτες Παραγωγής και Απόδοσης Εγκατάστασης (Balances and main results)” κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2.....	179
Εικόνα 5-21. Διάγραμμα απωλειών της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2.....	179
Εικόνα 5-22. Τρισδιάστατη δομή του κτιρίου της εφαρμογής μας για τον καθορισμό της θερμογραφικής του εικόνας.....	184
Εικόνα 5-23. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό για την περίπτωση 1.....	186
Εικόνα 5-24. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου με φυσικό αερισμό για την περίπτωση 1.....	187
Εικόνα 5-25. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό για την περίπτωση 2.....	188
Εικόνα 5-26. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου με φυσικό αερισμό για την περίπτωση 2.....	189
Εικόνα 5-27. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό για την περίπτωση 3.....	190
Εικόνα 5-28. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου με φυσικό αερισμό για την περίπτωση 3.....	191
Εικόνα 5-29. Κατασκευή της τρισδιάστατης μορφής του κτιρίου με το λογισμικό Desing Builder μετά από εισαγωγή της κάτοψής του από το λογισμικό Autocad.	192
Εικόνα 5-30. Ο εν λόγω κάρναβος για τη μελέτη πεπερασμένων στοιχείων.....	193
Εικόνα 5-31. Ροή θερμότητας κατά την πρώτη περίπτωση προσομοίωσης.....	194
Εικόνα 5-32. Ροή θερμότητας κατά τη δεύτερη περίπτωση προσομοίωσης.....	194
Εικόνα 5-33. Ροή θερμότητας κατά τη δεύτερη περίπτωση προσομοίωσης.....	196
Εικόνα 5-34. Ροή θερμότητας κατά την τρίτη περίπτωση προσομοίωσης.....	197
Εικόνα 5-35. Ενδεικτικά μέσα προστασίας φ/β συστήματος του κτιρίου της εφαρμογής, από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και τις αναπτυσσόμενες κρουστικές υπερτάσεις (ενσωμάτωση πλαισίων σε στέγη)	199
Εικόνα 5-36. Ενδεικτικά μέσα προστασίας φ/β συστήματος του κτιρίου της εφαρμογής, από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και τις αναπτυσσόμενες κρουστικές υπερτάσεις (ενσωμάτωση πλαισίων σε πλάγια όψη)	200

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-1 ^{[52],[32]} Στόχοι που έθεσε η Λευκή Βίβλος και άμεσα οφέλη τους στον περιορισμό των καυσίμων και των εκπομπών CO ₂	20
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-2 ^[67] Εθνικοί συνολικοί στόχοι για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2020 (Οδηγία 2009/28/ΕΚ)	24
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-3 ^[114] Εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως την περίοδο 2000-2014	31
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-4 ^[115] Κατάταξη των δέκα πρώτων χωρών όσον αφορά τη νέα εγκατεστημένη ισχύς τους από φωτοβολταϊκά το 2014.....	31
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-5 ^{[115]-[78]} Κατανομή της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύς από φωτοβολταϊκά στις χώρες την περίοδο 2000-2013 (σε GWp)	32
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-1 ^[36] Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα t_a σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας (°C)	61
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-2 ^[36] Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα t_a σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας (°C)	62
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-3 ^[70] Γεωγραφικό πλάτος και μήκος διάφορων Ελληνικών πόλεων.....	68
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-4 ^[70] Γεωγραφικό πλάτος και μήκος διάφορων Ελληνικών πόλεων.....	69
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-1 ^[101] Διαθέσιμο δυναμικό ισχύος από την εκμετάλλευση κατάλληλων (για εγκατάσταση φ/β) επιφανειών σε κτίρια.....	81
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-2 ^{[81],[108]} Σύνολο κτιρίων στην Ελλάδα ανά γεωγραφική περιοχή κατά τις δυο τελευταίες απογραφές τους από την Ελληνική Στατιστική Αρχή.....	82
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-3 ^[108] Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τη χρήση τους (απογραφή 2011)	82
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-4 ^[52] Διαθέσιμη επιφάνεια κτιρίων (km ²) στην Ελλάδα, για αξιοποίησή της στην εγκατάσταση φ/β.....	82
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-5 Καταλληλότητα φ/β προϊόντων σε σχέση με τη δυνατότητα ενσωμάτωσής τους στην πρόσοψη του κτιρίου.....	101
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-6 ^[2] Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού συγκροτήματος ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE)	110
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-7 ^[2] Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού της Ακαδημίας Mont-Cenis	111
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-8 ^[5] Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού συγκροτήματος βιβλιοθήκης Pompeu Fabra.....	113
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-9 ^[2] Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού συγκροτήματος γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation.....	113
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-10 ^[5] Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος στεγάστρου του Ολυμπιακού Πάρκου του Πεκίνου.....	115
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-1 ^{[25],[26]} Τύποι επακόλουθων απωλειών των υπό προστασία αντικειμένων ανάλογα της πηγής προέλευσης.....	125
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-2 ^[27] Κατηγορίες ΣΑΠ ανάλογα με το επίπεδο αντικεραυνικής προστασίας LPL...126	126
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-3 ^[97] Ακτίνας r της κυλιόμενης σφαίρας σε σχέση με την κατηγορία LPS.....	130
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-4 ^{[113],[97]} Διαστάσεις βρόχου σε σχέση με την κατηγορία LPS.....	130
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-5 ^{[97],[49]} Υλικό, η μορφή και η ελάχιστη διατομή των αγωγών του συστήματος τερματισμού – συλλήψεως.....	134
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-6 ^[113] Μέση απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου ανάλογα με την κατηγορία του LPS.....	135
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-7 ^[113] Τιμές συντελεστή k_i για το καθορισμό της απαιτούμενης διαχωριστικής απόστασης μεταξύ της εξωτερικής εγκατάστασης προστασίας και άλλων εγκαταστάσεων της κατασκευής.....	142
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-8 ^[46] Κρουστική τάση U_c αντοχής του καλωδίου ανάλογα με την ονομαστική τάση λειτουργίας.....	146
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-9 ^[46] Μήκος καλωδίου L_c ανάλογα με τη κατάσταση της θωράκισης σε σχέση με το έδαφος.....	146
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-10 ^[29] Κατηγορίες συσκευών (τάσης 230/400V) βάση IEC 60664-1 και επίπεδο κρουστικής τάσης τους.....	149
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-1 Εξωτερική θερμοκρασία για τις δυο δυσμενέστερες ημέρες της θερινής περιόδου.....	185

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης ηλεκτρικής απόδοσης.....	200
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μελέτης υπολογισμού ψυκτικών φορτίων (συνολικό απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο σε kW)	202
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης ροής θερμού αέρα (μέγιστη και ελάχιστη αναπτυσσόμενη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου σε °C)	203

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Παγκόσμια πολιτική για το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή

Η Κλιματική Αλλαγή αποτελεί μια παγκόσμια περιβαλλοντική και αναπτυξιακή πρόκληση, οι επιδράσεις της οποίας έχουν επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της ζωής. Ήδη από τη δεκαετία του 1970, η παγκόσμια κοινότητα αναγνωρίζοντας την κοινή ευθύνη όλων των κρατών, έχει ξεκινήσει μια προσπάθεια για την προστασία του περιβάλλοντος, τόσο μέσω ενός συστήματος περιφερειακών, πολυμερών και διμερών συμφωνιών, όσο και με την εμβάθυνση και επέκταση της συνεργασίας μεταξύ των κρατών. Η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκύπτουν όλο και πιο έντονα τα τελευταία χρόνια, έχει αποκτήσει σημαντικές διεθνείς διαστάσεις λόγω της πολυπλοκότητας και του διασυνοριακού χαρακτήρα τους. Πέραν της κλιματικής αλλαγής, ορισμένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που απασχολούν την παγκόσμια κοινότητα είναι η αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και η διαχείριση των υδάτων, η καταπολέμηση της ερημοποίησης, η προστασία του στρώματος του όζοντος, η προστασία της Βιοποικιλότητας κ.α. Αξίζει να αναφερθεί ότι ορισμένα από τα εν λόγω περιβαλλοντικά θέματα, όπως η κλιματική αλλαγή και η διαχείριση των υδάτων, εκτός από περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις έχουν προεκτάσεις ακόμα και στον τομέα της διεθνούς ασφάλειας.^[118]

Οι διεθνείς πολιτικές που αφορούν το περιβάλλον διαμορφώνονται κυρίως στο πλαίσιο του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών με την υιοθέτηση πολυμερών Συμβάσεων. Για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής, η Διάσκεψη (3-14 Ιουνίου το 1992) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών υιοθέτησε Σύμβαση Πλαίσιο με την ονομασία *United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*. Η Σύμβαση αυτή που έθετε ως στόχο τη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδο που να αποτρέπει την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα, υπογράφηκε από την Ελλάδα στις 12/6/1992 και τέθηκε σε εφαρμογή στις 2/11/1994. Στην 3^η Διάσκεψη των Συμβαλλομένων Μερών της Σύμβασης (Κιότο, 1997), υιοθετήθηκε το «Πρωτόκολλο του Κιότο». Σ' αυτό ορίστηκαν συγκεκριμένοι στόχοι συνολικής μείωσης των εκπομπών έξι αερίων του θερμοκηπίου για ορισμένες ανεπτυγμένες χώρες, για την περίοδο 2008-2012.

Στο πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών, η βιώσιμη ανάπτυξη συνιστά ένα θέμα ιδιαίτερης σημασίας, το οποίο ενσωματώνει περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις. Για το θέμα αυτό της βιώσιμης ανάπτυξης πραγματοποιήθηκε στις 20-22 Ιουνίου του 2012 στο Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας, η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, «Rio+20». Οι βασικοί

στόχοι της Διάσκεψης «Rio+20» αφορούσαν κυρίως τους τομείς της Πράσινης Οικονομίας, στο πλαίσιο της Βιώσιμης Ανάπτυξης και της Εξάλειψης της Φτώχειας (*Green Economy in the context of Sustainable Development and Poverty Eradication*) καθώς και το Θεσμικό Πλαίσιο για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (*Institutional Framework for Sustainable Development*). Η Διάσκεψη Κορυφής «Rio+20» υιοθέτησε κείμενο με τίτλο «*Το μέλλον που θέλουμε*» (*The future we want*), το οποίο αποτέλεσε μια βάση για τις μελλοντικές εργασίες σε όλα τα επίπεδα για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης. Την ίδια χρονιά (26/11/2012-7/12/2012), στη 18^η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή στην Ντόχα, (με τη συμμετοχή εκπροσώπων από περίπου 190 χώρες που επιθυμούσαν να σημειωθεί πρόοδος) εγκρίθηκε τροποποίηση σχετικά με τη δεύτερη δεσμευτική περίοδο του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την περίοδο από το 2013 έως το 2020, οπότε αναμένεται να τεθεί σε ισχύ μια νέα παγκόσμια, νομικά δεσμευτική συμφωνία για την Κλιματική Αλλαγή με εφαρμογή από όλα τα Μέρη της Σύμβασης.^{[118][102]}

Στη Σύνοδο Κορυφής για την Αειφόρο Ανάπτυξη των Ηνωμένων Εθνών, στις 25 Σεπτεμβρίου 2015, περισσότεροι από 150 ηγέτες ενέκριναν τη νέα «Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη». Οι 17 νέοι Στόχοι, γνωστοί ως Παγκόσμιοι Στόχοι, περιλαμβάνουν, μεταξύ των άλλων, την ανάληψη δράσης για την κλιματική αλλαγή και το περιβάλλον. Από τις 30 Νοεμβρίου έως τις 12 Δεκεμβρίου του 2015, το Παρίσι φιλοξένησε την 21^η σύνοδο της Διάσκεψης των Μερών (COP 21) της Σύμβασης Πλαισίου του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή και την 11η σύνοδο της Διάσκεψης των Μερών του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Τα μέλη της Σύμβασης-Πλαίσιο ενέκριναν μια νέα καθολική και νομικά δεσμευτική παγκόσμια συμφωνία για το κλίμα, τη «*Συμφωνία του Παρισιού*», η οποία αντικατέστησε το *Πρωτόκολλο του Κιότο*. Τα κύρια στοιχεία της νέας συμφωνίας του Παρισιού ήταν:^{[72],[123]}

- μακροπρόθεσμος στόχος: οι κυβερνήσεις συμφώνησαν να διατηρηθεί η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αρκετά κάτω από 2 °C για τα επόμενα 15 χρόνια και να συνεχιστούν οι προσπάθειες για περιορισμό της σε 1,5 °C
- συνεισφορές: πριν και κατά τη διάσκεψη του Παρισιού οι χώρες υπέβαλαν ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια δράσης για το κλίμα με στόχο τη μείωση των εκπομπών τους
- φιλοδοξία: οι κυβερνήσεις συμφώνησαν να κοινοποιούν κάθε 5 χρόνια τις συνεισφορές τους για τον καθορισμό πιο φιλόδοξων στόχων
- διαφάνεια: δέχθηκαν επίσης να αναφέρουν μεταξύ τους και στο κοινό τις επιδόσεις τους σχετικά με την υλοποίηση των στόχων τους για την εξασφάλιση διαφάνειας και εποπτείας
- αλληλεγγύη: η ΕΕ και οι άλλες ανεπτυγμένες χώρες θα εξακολουθήσουν να παρέχουν χρηματοδότηση για το κλίμα ώστε να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες χώρες να μειώσουν τις εκπομπές και να θωρακιστούν έναντι των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

1.2. Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για την ενέργεια

Τις τελευταίες δεκαετίες και κυρίως από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, μετά την πετρελαϊκή κρίση, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει επικεντρώσει το ενδιαφέρον της στα θέματα που αφορούν την ασφάλεια των ενεργειακών αποθεμάτων, την προστασία του περιβάλλοντος, την ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής οικονομίας

και την τοπική/περιφερειακή ανάπτυξη. Έχει υπολογιστεί ότι η κατανάλωση ενέργειας στα κράτη-μέλη αυξάνεται περίπου κατά 1-2% κάθε χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι εάν η τάση αυτή συνεχιστεί, όπως αναφέρεται στην Πράσινη Βίβλο για την Ενεργειακή Απόδοση, προβλέπεται αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας τουλάχιστον κατά 10% για τα επόμενα 15 χρόνια.^[52] Η ενεργειακή εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από εξωτερικές πηγές εξακολουθεί να αυξάνεται συνεχώς. Έχει υπολογιστεί ότι σήμερα, η ΕΕ καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες σε ποσοστό περίπου 50% από εισαγόμενα προϊόντα. Επίσης, αν δεν καταβληθούν σχετικές προσπάθειες, εκτιμάται ότι το ποσοστό αυτό της ενεργειακής εξάρτησης θα αυξηθεί σε 70% μέχρι το 2020 ή το 2030. Τα αντίστοιχα ποσοστά εξωτερικής ενεργειακής εξάρτησης για το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο εκτιμώνται ότι θα είναι 80% και 90% αντίστοιχα. Λόγω της τεράστιας αυτής ενεργειακής εξάρτησης της ΕΕ από εξωτερικές πηγές, οικονομικοί, κοινωνικοί και οικολογικοί κίνδυνοι εγκυμονούν.^{[52],[50],[64]} Σε περιβαλλοντικούς όρους, η σημερινή τάση δείχνει ότι οι εκπομπές CO₂ θα είναι το 2030 κατά 14% πάνω από το αντίστοιχο επίπεδο εκπομπών του 1990. Η ανταγωνιστικότητα της οικονομίας και η περιφερειακή ανάπτυξη της ΕΕ υφίστανται ήδη τις συνέπειες των σύγχρονων τάσεων στην ενεργειακή κατανάλωση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν ήδη οι αρνητικές επιπτώσεις από τις υψηλές τιμές του πετρελαίου στην αύξηση του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ). Συνεπώς, η μείωση της εξάρτησης από τα προϊόντα πετρελαίου θα αποφέρει άμεσα οφέλη στην Ευρωπαϊκή οικονομία. Κάτω από το πρίσμα δυσμενέστερων εξελίξεων, τόσο στην οικονομία και την ανταγωνιστικότητα, όσο και στο περιβάλλον, η ΕΕ έχει δεσμευτεί να λάβει μέτρα για την ενεργειακή απόδοση και να ενθαρρύνει τόσο την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών ενεργειακών τεχνολογιών όσο και την προώθηση των εγχώριων ΑΠΕ, με στόχο τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών.

Η ένταξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) γενικά, και ειδικότερα η ένταξη των φωτοβολταϊκών (φ/β) στο αστικό περιβάλλον υποστηρίζεται από πληθώρα Ευρωπαϊκών νομοθεσιών, οδηγιών και ρυθμιστικών πλαισίων. Από τη μία πλευρά, η Ευρωπαϊκή πολιτική στήριξης των ΑΠΕ προωθεί την ανάπτυξη των καθαρών και βιώσιμων πηγών ενέργειας σε όλα τα κράτη - μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ από την άλλη, πρόσφατες Ευρωπαϊκές Οδηγίες υιοθετούν συγκεκριμένα μέτρα και κανονισμούς για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Σήμερα, είναι διαθέσιμες αρκετές τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κάποιες από αυτές όπως η αιολική, η ενέργεια από μικρά υδροηλεκτρικά, η βιομάζα και η ηλιακή θερμική ενέργεια, έχουν πλέον φτάσει σε υψηλό επίπεδο τεχνολογικής ωριμότητας, οικονομικής βιωσιμότητας και ανταγωνιστικότητας. Άλλες τεχνολογίες, όπως η φωτοβολταϊκή, παρότι έχουν ήδη επιτύχει σημαντικό βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας προσπαθούν ακόμα να αποδείξουν ότι είναι οικονομικά βιώσιμες, ενώ η ανάπτυξή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ευνοϊκό νομοθετικό πλαίσιο, τόσο από την Ευρωπαϊκή, όσο και από την Εθνική νομοθεσία των κρατών-μελών. Η ΕΕ έχει ήδη υιοθετήσει αρκετές πολιτικές που προωθούν γενικότερα τη διείσδυση των ΑΠΕ, και ειδικότερα την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών. Οι δυο βασικότερες από αυτές αναφέρονται παρακάτω:^[52]

- 1) "Πράσινη Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική - Ενέργεια και το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας", (COM(96) 576 final)

2) *"Λευκή Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης - Ενέργεια και το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας", (COM(97) 599 final).*

Τα κυριότερα νομοθετικά εργαλεία πραγμάτωσης των ανωτέρων στόχων που έθεσαν η Λευκή και Πράσινη Βίβλος αποτέλεσαν οι Οδηγίες για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

1) *Οδηγία 2001/77/EK για την προώθηση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας*

2) *Οδηγία 2002/91/EK για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων*

3) *Οδηγία 2009/28/EK σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ.*

Σύντομη παρουσίαση των παραπάνω Στρατηγικών και Οδηγιών ακολουθεί στις επόμενες παραγράφους.

1.2.1. Πράσινη Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική - Ενέργεια και το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Την πρώτη σημαντική προσπάθεια για την προαγωγή των ΑΠΕ, αποτέλεσε το 1996 η έκδοση *"Πράσινη Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική - Ενέργεια και το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας"*, με την οποία η ΕΕ έθεσε τους βασικούς προβληματισμούς σχετικά με τις ΑΠΕ, προσπαθώντας να στρέψει τα κράτη μέλη προς μία συστηματικότερη χρήση των φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας και ενθαρρύνοντας τη συνεργασία μεταξύ τους σχετικά με τις ΑΠΕ. Όριζε ένα φιλόδοξο στόχο ο οποίος έχει να κάνει με το διπλασιασμό του ποσοστού χρήσης των ΑΠΕ έως το 2010. Να διπλασιαστεί δηλαδή, εντός 15ετίας, η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εσωτερική ενεργειακή κατανάλωση, φτάνοντας το ποσοστό του 12% το έτος 2010, γεγονός που θα επέτρεπε την καθαρή δημιουργία άνω των 500.000 θέσεων εργασίας.^{[99],[38]} Επιπλέον στόχος ήταν και η θέσπιση μιας γενικά αποδεκτής στρατηγικής για τις ΑΠΕ, η οποία θα διασφάλιζε την αναγνώριση της ανάγκης προώθησης των εν λόγω ενεργειακών πηγών τόσο στις νέες πρωτοβουλίες όσο στην εφαρμογή των υφιστάμενων πολιτικών.^[38] Αφορμή της βίβλου αυτής αποτέλεσε το γεγονός ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση διέθετε στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ένα ισχυρό δυναμικό το οποίο τα προηγούμενα χρόνια εκμεταλλεύονταν κατά τρόπο άνισο και ανεπαρκή. Τα κίνητρα που συντέλεσαν στην προσφυγή στις ΑΠΕ ήταν:^{[99],[31]}

- η χρήση των ΑΠΕ ήταν σύμφωνη με τη συνολική στρατηγική αειφόρου ανάπτυξης
- επέτρεπαν τη μείωση της εξάρτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις εισαγωγές ενέργειας, και την ως εκ τούτου εξασφάλιση του εφοδιασμού
- συνέβαλλαν στη βελτίωση της συνολικής ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας
- είχαν θετικές επιπτώσεις στην περιφερειακή ανάπτυξη και στην απασχόληση
- τύγχαναν της υποστηρίξεως του κοινού.^{[64],[107]}

1.2.2. Λευκή Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική - Ενέργεια για το Μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η "Λευκή Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης, Ενέργεια για το Μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας" έθεσε ως μακροπρόθεσμο στόχο το διπλασιασμό του μεριδίου των ΑΠΕ στην αγορά, διπλασιάζοντας τη χρήση τους από 6% το 1996 σε 12% μέχρι το 2010. Πιο συγκεκριμένα, η Λευκή Βίβλος ανέφερε:^{[52],[32]}

- την εγκατάσταση 1.000.000 φ/β συστημάτων έως το 2010, μέσω της πρωτοβουλίας για την εγκατάσταση 500.000 φ/β σε προσόψεις και στέγες στον οικιακό τομέα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύ του μέτρου αυτού ανέρχονταν στα 1000MWp
- επίτευξη εγκατεστημένης ισχύος από Αιολικά Πάρκα της τάξης των 10000MW, έως το 2010
- επίτευξη εγκατεστημένης ισχύος από Βιομάζα της τάξης των 10000MW_(therm), έως το 2010
- ενσωμάτωση των ΑΠΕ σε 100 χώρες για την εξ' ολοκλήρου τροφοδότησή τους με ηλεκτρική ενέργεια. Ένα πλήθος από πιλοτικές χώρες, πόλεις, νησιά κ.α. θα επιλέγονταν για την τροφοδότησή τους από ΑΠΕ σε ποσοστό 100%. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύ του μέτρου αυτού ανέρχονταν σε 1500MW.

Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τους στόχους που έθετε η Λευκή Βίβλος και εκτιμά τα άμεσα οφέλη όσον αφορά την αποφυγή του κόστους των καυσίμων και τη μείωση των εκπομπών CO₂.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1 ^{[52],[32]}					
Στόχοι που έθεσε η Λευκή Βίβλος και άμεσα οφέλη τους στον περιορισμό των καυσίμων και των εκπομπών CO ₂					
Στόχος	Προτεινόμενη νέα εγκατεστημένη ισχύς	Εκτιμώμενο συνολικό κόστος επενδύσεων (σε δις ECU)	Προτεινόμενη δημόσια χρηματοδότηση (σε δις ECU)	Συνολικό κόστος καυσίμων που αποφεύγεται (σε δις ECU)	Μείωση των εκπομπών CO ₂ (σε εκ. τόνους /έτος)
1.000.000 PV systems	1.000 MWp	3	1	0.07	1
10.000 MW Wind Farms	10.000 MW	10	1.5	2.8	20
10.000 MW _{th} Biomass	10.000 MW _{th}	5	1	-	16
Integration in 100 communities	1.500 MW	2.5	0.5	0.43	3
Σύνολο		20.5	4	3.3	40

Η Λευκή Βίβλος προέβλεπε κατ' αρχήν την ανάγκη μιας κοινοτικής στρατηγικής στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, μέσω σημαντικών προγραμμάτων, όπως το JOULE - THERMIE, το INCO και το FAIR και φυσικά τα σημαντικότερα όλων, τα ALTENER και ALTENER II. Η κοινοτική αυτή στρατηγική θα είχε ως στόχους:^[64]

- την επίτευξη αυξημένης ανταγωνιστικότητας για την ΕΕ

- την ασφάλεια της παροχής ενέργειας
- την προστασία του περιβάλλοντος.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Κοινότητας, η Λευκή Βίβλος πρότεινε και ένα σχέδιο δράσης που είχε ως στόχο να υπάρξουν συντονισμένες ενέργειες από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς. Η διάρθρωσή του σχεδίου αυτού δράσης έπρεπε να περιλαμβάνει κάποια μέτρα όπως:^[64]

- α) τη δίκαιη πρόσβαση των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρισμού, που είναι η κυριότερη ενεργειακή αγορά και που έως τώρα κατακλύζεται από πηγές ενέργειας που δεν είναι φιλικές προς το Περιβάλλον
- β) την καθιέρωση φορολογικών και χρηματοδοτικών κινητήριων μέτρων αλλά και ελαφρύνσεις που θα δοθούν προς τις εταιρείες και τους ιδιώτες, προκειμένου να χρησιμοποιούν "πράσινη" ενέργεια για την ικανοποίηση των αναγκών τους
- γ) τη χρήση βιοενέργειας για τις μεταφορές, τη θέρμανση και τον ηλεκτρισμό
- δ) τη βελτίωση των κανονισμών δομήσεως όλων των οικημάτων, καθώς σημαντικό μέρος της καταναλωμένης ενέργειας γίνεται απ' τα νοικοκυριά.

1.2.3. Οδηγία 2001/77/ΕΚ για την προώθηση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Η παρούσα οδηγία αποσκοπούσε σε δυο κυρίως στόχους. Κύρια προτεραιότητά της ήταν η προαγωγή της αύξησης της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ο δεύτερος στόχος της Οδηγίας αυτής, ήταν η δημιουργία βάσης για ένα μελλοντικό κοινοτικό πλαίσιο στον εν λόγω τομέα. Κίνητρο δημιουργίας της Οδηγίας 2001/77/ΕΚ, αποτελούσε το γεγονός ότι οι δυνατότητες εκμετάλλευσης των ΑΠΕ στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα δεν αξιοποιούντουσαν επαρκώς. Αναγνωρίστηκε λοιπόν η ανάγκη της προαγωγής των ΑΠΕ ως μέτρου προτεραιότητας, μιας και η εκμετάλλευσή τους συμβάλλει γενικά τόσο στην προστασία του περιβάλλοντος όσο και στη γενικότερη βιώσιμη ανάπτυξη. Επιπλέον, η εκμετάλλευση των ΑΠΕ ενδεχομένως να μπορούσε να δημιουργήσει τοπικές θέσεις απασχόλησης και γενικότερα να είχε ένα θετικό αντίκτυπο στην κοινωνική συνοχή. Η προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ αποτελεί υψηλή προτεραιότητα για την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, όπως εξάλλου αναφέρεται και στη Λευκή Βίβλο, τόσο για λόγους ασφάλειας και διαφοροποίησης του ενεργειακού εφοδιασμού, όσο και για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, κοινωνικής και οικονομικής συνοχής. Για να εξασφαλισθεί η αυξημένη διείσδυση της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην αγορά, θα πρέπει να κληθούν όλα τα κράτη μέλη σε μεσοπρόθεσμη βάση, να θεσπίσουν εθνικούς στόχους για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από ΑΠΕ. Ενδεικτικοί εθνικοί στόχοι ήταν (άρθρο 3):^[65]

- τα κράτη μέλη να λαμβάνουν κατάλληλα μέτρα για την προώθηση της αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- τα κράτη μέλη να υιοθετούν και να δημοσιεύουν έκθεση με την οποία καθορίζουν τους εθνικούς ενδεικτικούς στόχους μελλοντικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η έκθεση θα περιγράφει επίσης τα μέτρα που ελήφθησαν ή μελετώνται, σε εθνικό επίπεδο, προς επίτευξη αυτών των εθνικών ενδεικτικών στόχων

- τα κράτη μέλη να δημοσιεύουν ανά προκαθορισμένο χρόνο, έκθεση που περιέχει αναλυτική εξέταση της επίτευξης των εθνικών ενδεικτικών στόχων.

Η εν λόγω Οδηγία καθιέρωσε το Σύστημα Εγγυήσεων Προέλευσης της ενέργειας (άρθρο 5), πράγμα που σημαίνει ότι κατόπιν αιτήσεως της Κοινότητας, τα κράτη μέλη θα πρέπει να φροντίζουν να εκδίδεται εγγύηση προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που θα παράγεται από ΑΠΕ με βάση αντικειμενικά, διαφανή και αμερόληπτα κριτήρια, τα οποία καθορίζει κάθε κράτος μέλος. Η Οδηγία αυτή έδωσε τη δυνατότητα θέσπισης κατευθυντήριων γραμμών για την ορθολογικοποίηση και την επιτάχυνση των διαδικασιών σε διοικητικό επίπεδο, το συντονισμό μεταξύ των διαφόρων διοικητικών υπηρεσιών όσον αφορά τις προθεσμίες, την παραλαβή και τη διεκπεραίωση των αιτήσεων αδείας κ.α. (άρθρο 6).^[65]

Από την άλλη πλευρά, η Οδηγία 2001/77/EK έθεσε τους βασικούς κανόνες για ζητήματα σύνδεσης στο Ηλεκτρικό Δίκτυο (άρθρο 7), όπως:^[65]

- τα κράτη μέλη θα θεσπίζουν νομικό πλαίσιο ή θα απαιτούν από τους φορείς εκμετάλλευσης των Συστημάτων Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας να καθορίζουν και να δημοσιεύουν τους τυποποιημένους κανόνες τους για την ανάληψη του κόστους των τεχνικών εργασιών, όπως των συνδέσεων με το δίκτυο, των ενδεχόμενων ενισχύσεων του δικτύου και των λοιπών εργασιών δικτύων
- οι φορείς εκμετάλλευσης των Συστημάτων Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας υποχρεούνται να παρέχουν στους επιθυμούντες να συνδεθούν με το δίκτυο νέους παραγωγούς, μια πλήρη και αναλυτική εκτίμηση των δαπανών της σύνδεσης
- τα κράτη μέλη θα θεσπίζουν νομικό πλαίσιο ή θα απαιτούν από τους φορείς εκμετάλλευσης των Συστημάτων Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας να καθορίζουν και να δημοσιεύουν τους τυποποιημένους κανόνες τους για τον καταμερισμό των δαπανών των εγκαταστάσεων του συστήματος, ανάμεσα σε όλους τους ωφελούμενους παραγωγούς.^[65]

1.2.4. Οδηγία 2002/91/EK για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων

Στόχος της παρούσας οδηγίας ήταν η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Κοινότητας λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις εξωτερικές κλιματολογικές και τις τοπικές συνθήκες, όσο και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων. Ορισμένες από τις απαιτήσεις που θέσπιζε Οδηγία 2002/91/EK αφορούσαν:^[66]

- ένα γενικό πλαίσιο για μια μεθοδολογία υπολογισμού που θα αφορά την ολοκληρωμένη ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
- την καθιέρωση ελαχίστων απαιτήσεων που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων
- την καθιέρωση ελαχίστων απαιτήσεων που αφορούν την ενεργειακή απόδοση των μεγάλων υφισταμένων κτιρίων στα οποία γίνεται μεγάλης κλίμακας ανακαίνιση
- την ενεργειακή πιστοποίηση των κτιρίων μέσω αντίστοιχου πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης

- την τακτική επιθεώρηση των λεβήτων των κτιρίων, των εγκαταστάσεων κλιματισμού τους, καθώς και την αξιολόγηση των εγκαταστάσεων θέρμανσης των οποίων οι λέβητες είναι παλαιότεροι των 15 ετών.

Με την Οδηγία 2002/91/EK καθορίστηκε το γενικό πλαίσιο που θα πρέπει να ακολουθεί η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων από τα κράτη μέλη (άρθρο 3), ενώ όρισε ότι τα ίδια τα κράτη μέλη θα μεριμνούν ώστε να καθοριστούν οι απαιτήσεις ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Κατά τον καθορισμό των απαιτήσεων, τα κράτη μέλη δύνανται να κάνουν διάκριση μεταξύ νέων και υφισταμένων κτιρίων καθώς και διάφορων κατηγοριών κτιρίων (άρθρο 4). Εισήχθη η έννοια του “Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης” και η διάρκεια ισχύος του. Αυτό σημαίνει ότι κατά την κατασκευή, την πώληση ή την εκμίσθωση κτιρίων θα διατίθεται πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης στον ιδιοκτήτη ή από τον ιδιοκτήτη στον υποψήφιο αγοραστή ή μισθωτή (άρθρο 7).^[66]

1.2.5. Οδηγία 2009/28/EK σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ

Έχοντας υπόψη ότι ο έλεγχος της ευρωπαϊκής ενεργειακής κατανάλωσης καθώς και η αυξημένη χρήση ενέργειας από ΑΠΕ, σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας και την αυξημένη ενεργειακή απόδοση, αποτελούν σημαντικές συνιστώσες της δέσμης μέτρων που απαιτήθηκαν για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το συμβούλιο της ευρωπαϊκής ένωσης έκδωσε στις 23 Απριλίου του 2009 την Οδηγία 2009/28/EK σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η παρούσα οδηγία (άρθρο 1):^[67]

- θέσπιζε ένα κοινό πλαίσιο για την προώθηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- έθετε υποχρεωτικούς εθνικούς στόχους για το συνολικό μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας και το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στις μεταφορές
- καθόριζε κανόνες για κοινά έργα μεταξύ κρατών μελών και με τρίτες χώρες, τις εγγυήσεις προέλευσης, τις διοικητικές διαδικασίες, την πληροφόρηση, την κατάρτιση και την πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές.
- καθιέρωσε κριτήρια αειφορίας του περιβάλλοντος για τα βιοκαύσιμα και τα βιορευστά.^[67]

Πιο συγκεκριμένα, η Οδηγία αυτή καθόρισε δεσμευτικούς εθνικούς συνολικούς στόχους και μέτρα για τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (άρθρο 3). Κάθε κράτος μέλος έπρεπε να μεριμνά ώστε το μερίδιο της ενέργειας από ΑΠΕ, στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020 να αντιστοιχεί τουλάχιστον στον εθνικό συνολικό στόχο του. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εθνικοί συνολικοί στόχοι για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην τελική κατανάλωση ενέργειας έως το έτος 2020.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-2^[67]			
Εθνικοί συνολικοί στόχοι για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2020 (Οδηγία 2009/28/EK)			
<i>Χώρα</i>	<i>Μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2005</i>	<i>Μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2010</i>	<i>Στόχος για το μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020</i>
Αυστρία	23,3 %	30,1	34 %
Βέλγιο	2,2 %	5,4	13 %
Βουλγαρία	9,4 %	13,8	16 %
Κύπρος	2,9%	5,7%	13%
Τσεχική Δημοκρατία	6,1 %	9,4	13 %
Γερμανία	5,8 %	11,0	18 %
Δανία	17,0 %	22,2	30 %
Εσθονία	18,0 %	24,3	25 %
Ελλάδα	6,9 %	9,7	18 %
Ισπανία	8,7 %	13,8	20 %
Φινλανδία	28,5 %	33,0	38 %
Γαλλία	10,3 %	13,5	23 %
Ουγγαρία	4,3 %	8,8	13 %
Ιρλανδία	3,1 %	5,8	16 %
Ιταλία	5,2 %	10,4	17 %
Λιθουανία	15,0 %	19,7	23 %
Λουξεμβούργο	0,9 %	3,0	11 %
Λεττονία	32,6 %	32,6	40 %
Μάλτα	0,0 %	0,4	10 %
Κάτω Χώρες	2,4 %	3,8	14 %
Πολωνία	7,2 %	9,5	15 %
Πορτογαλία	20,5 %	24,6	31 %
Ρουμανία	17,8 %	23,6	24 %
Σουηδία	39,8 %	49,1	49 %
Σλοβενία	16,0 %	19,9	25 %
Σλοβακική Δημοκρατία	6,7 %	9,8	14 %
Ηνωμένο Βασίλειο	1,3 %	3,3	15 %
ΕΕ	8,5%	12,7%	20%

Για να επιτευχθούν ευκολότερα οι στόχοι αυτοί που ορίστηκαν στο άρθρο 3 της παρούσας Οδηγίας, κάθε κράτος μέλος έπρεπε να προωθήσει και να ενθαρρύνει τόσο την απόδοση ενέργειας όσο και την εξοικονόμηση ενέργειας. Στο άρθρο 5 της Οδηγίας αυτής καθορίστηκε και ο τρόπος υπολογισμού του μεριδίου της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Με το άρθρο 6 Οδηγίας 2009/28/EK τα κράτη μέλη μπορούν να προβαίνουν κατόπιν συμφωνίας σε ρυθμίσεις για τη στατιστική μεταβίβαση

συγκεκριμένης ποσότητας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές από ένα κράτος μέλος σε άλλο. Στα άρθρα 7 και 8 καθορίστηκαν οι κανόνες για τα κοινά έργα μεταξύ κρατών μελών και οι επιπτώσεις των κοινών αυτών έργων μεταξύ κρατών μελών. Αντίστοιχα, στα άρθρα 9 και 10 καθορίστηκαν οι κανόνες για τα κοινά έργα μεταξύ κρατών μελών και τρίτων χωρών, καθώς και οι επιπτώσεις των κοινών αυτών έργων.^[67]

Αξίζει να αναφερθεί ότι το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική τελική εθνική κατανάλωση ενέργειας για την χώρα μας έφτασε το 15% το 2013, σημειώνοντας αύξηση μεγαλύτερη του 10% σε σχέση με το προηγούμενο έτος (13,4% για το έτος 2012). Αυτό μεταφράζεται σε επίτευξη άνω του 80% του σχετικού εθνικού στόχου σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/EK.^[121]

1.3. Το νομοθετικό πλαίσιο και η ελληνική πολιτική για τις ΑΠΕ

Η Ελληνική πολιτική για τις ΑΠΕ βασίζεται στην αρχή ότι οι πηγές αυτές αποτελούν πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον και συνιστούν βασική συνιστώσα της αειφόρου ανάπτυξης, συμβάλλοντας παράλληλα στην ενεργειακή ανεξάρτηση της χώρας και στην καλύτερη χωρική αξιοποίηση των φυσικών πόρων.^[52] Επισημαίνεται ότι ο όρος αειφόρος ανάπτυξη χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στην Έκθεση της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του ΟΗΕ με τίτλο *"Το κοινό μας μέλλον (Our common Future)"*, το 1987, ως: "η ανάπτυξη εκείνη που ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας γενεάς, χωρίς να διακυβεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες".

Αρχή της εισόδου των ανανεώσιμων πηγών στην Ελλάδα, αποτέλεσε ο νόμος 1559/1985, *"Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις"*. Με το νόμο αυτό δόθηκε η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σε ιδιώτες και στους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης, ως ανεξάρτητους αυτοπαραγωγούς, πουλώντας την περίσσεια της παραγόμενης ενέργειάς τους στη ΔΕΗ. Η συνεισφορά του νόμου αυτού στην ανάπτυξη των ΑΠΕ ήταν μηδαμινή για δυο κυρίως λόγους. Πρώτον, λόγω της χαμηλής τιμής πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΔΕΗ και δεύτερον, λόγω των πολύπλοκων διαδικασιών αδειοδότησης.^[55]

Η Ουσιαστική έναρξη της ανάπτυξης των ΑΠΕ έγινε με το νόμο 2244/1994 *"Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις"*. Ο νόμος αυτός καθόρισε τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας, απαγορεύοντας στους αυτοπαραγωγούς και στους ανεξάρτητους παραγωγούς τη διάθεσή σε τρίτους, της ενέργειας που παράγεται από τους σταθμούς τους, ορίζοντας ότι τόσο το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας των αυτοπαραγωγών, όσο και ολόκληρη η ηλεκτρική ενέργεια των ανεξάρτητων παραγωγών θα διατίθεται αποκλειστικά στη ΔΕΗ. Με το νόμο αυτό καθορίστηκε επίσης η διάρκεια σύμβασης πώλησης μεταξύ αυτοπαραγωγού και ΔΕΗ στα δέκα έτη, με δυνατότητα ανανέωσής της, ενώ παράλληλα ορίστηκαν και οι αρχές τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νόμος αυτός όρισε επίσης ότι τα απαιτούμενα έργα σύνδεσης του σταθμού με τις εγκαταστάσεις της ΔΕΗ θα μελετώνται και θα κατασκευάζονται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ με δαπάνες του παραγωγού.^[56]

Σημαντική ήταν και η συμβολή του νόμου 2773/1999 *"Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας - Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις"*,

στην απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Με το νόμο αυτό προτάθηκε η σύσταση ανεξάρτητης διοικητικής αρχής (με την επωνυμία Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, ΡΑΕ) με κύριους σκοπούς:^[57]

- να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς της, κάνοντας εισήγηση στα αρμόδια όργανα για τη λήψη των αναγκαίων μέτρων για την τήρηση των κανόνων ανταγωνισμού και την προστασία των καταναλωτών
- να γνωμοδοτεί για τη χορήγηση των αδειών στην τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας
- να συλλέγει, οργανώνει, επεξεργάζεται και αξιολογεί, υπό τον όρο της εχεμύθειας, τεχνικά, εμπορικά, οικονομικά και λοιπά στοιχεία που αφορούν πρόσωπα που ασκούν δραστηριότητα στον τομέα της ενέργειας.

Καθιερώθηκε επίσης η υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής σε όσους επιθυμούν την κατασκευή εγκαταστάσεων παραγωγής και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.^[57]

Με το νόμο 2941/2001 *"Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. "ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ" και άλλες διατάξεις"*, επιτράπη στους ενδιαφερόμενους επενδυτές που διαθέτουν άδεια εγκατάστασης να κατασκευάζουν με δικές τους δαπάνες τα έργα σύνδεσης των σταθμών ΑΠΕ (δίκτυο, μεταφοράς, διανομής, υποσταθμοί κ.α.) με το Σύστημα ή το Δίκτυο. Παράλληλα, έγινε μια προσπάθεια απλοποίησης της αδειοδότησης των σταθμών ΑΠΕ, μιας και ορίστηκε ότι δεν απαιτείται οικοδομική άδεια για την κατασκευή ηλιακών σταθμών και ανεμογεννητριών, αλλά αρκούσε η έγκριση εργασιών από την αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία.^[58]

Στο ανωτέρω νομοθετικό πλαίσιο εντάχθηκε και ο νόμος 3175/2003 *"Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις"*. Σκοπός του νόμου αυτού ήταν η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας μας, μιας και η αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού ως ανανεώσιμη πηγή ενεργείας, θα προωθούσε τη βιώσιμη ανάπτυξη και θα εξυπηρετούσε το γενικό συμφέρον. Αξίζει ν' αναφέρουμε ότι ως "αξιοποίηση" θεωρείται η έρευνα, η εκμετάλλευση και η διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού.^[59]

Οι πιο πρόσφατες νομοθετικές ρυθμίσεις για τις ΑΠΕ περιγράφονται στους τέσσερις παρακάτω νόμους:

- Ν. 3468/2006 *"Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις"*.
- Ν. 3661/2008 *"Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις"*
- Ν. 3734/2009 *"Πρώτηση της συμπαράγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις"*.
- Ν. 3851/2010 *"Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα*

αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής"

Αναλυτικότερα:

Με τις διατάξεις του νόμου 3468/2006 αφ' ενός μεταφέρθηκε στο ελληνικό δίκαιο η Οδηγία 2001/77/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 2001 για την "προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας" και αφ' ετέρου προωθήθηκε, κατά προτεραιότητα, στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με κανόνες και αρχές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.). Ο νόμος 3468/2006 καθόρισε θέματα που αφορούν:^[60]

- την άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (όπως τα στοιχεία που περιλαμβάνει και τη χρονική της διάρκεια, τις εξαιρέσεις από την υποχρέωση λήψης άδεια παραγωγής, τον τρόπο χορήγησής της, τη χορήγηση άδειας παραγωγής για Υβριδικούς Σταθμούς ΑΠΕ κ.α.)
- την εγκατάσταση και διάθεση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σταθμών παραγωγής και μονάδων Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) (εγκατάσταση και λειτουργία τους, άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας, ένταξή τους στο σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, σύμβαση πώλησης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.)
- την τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (σταθμών ΑΠΕ, Υβριδικών Σταθμών, ΣΗΘΥΑ, Φωτοβολταϊκών Σταθμών)
- τις εγγυήσεις προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (έκδοση εγγυήσεων προέλευσης, φορείς έκδοσης και ελέγχου εγγυήσεων προέλευσης, περιεχόμενο και διαδικασία έκδοσης εγγυήσεων προέλευσης κ.α.)
- τα όργανα συντονισμού και προώθησης επενδύσεων στους τομείς των ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.^[60]

Με τις διατάξεις του νόμου 3661/2008, εναρμονίστηκε η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου "Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων". Αναλυτικά, με το νόμο αυτό, ο οποίος αφορά νέα και υφιστάμενα κτίρια, εγκρίθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (KENAK). Με τον Κανονισμό αυτό καθορίστηκαν:^[61]

- η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοσή τους
- ο τύπος και το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης
- τα αρμόδια για την εκπόνησή της πρόσωπα
- η διαδικασία και η συχνότητα διενέργειας ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων των λεβήτων, των εγκαταστάσεων θέρμανσης και των συστημάτων κλιματισμού
- ο τύπος και το περιεχόμενο του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.

καθώς και κάθε άλλο ειδικότερο θέμα ή αναγκαία λεπτομέρεια σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.^[61]

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και την εφαρμογή των επί μέρους ρυθμίσεων του Κανονισμού, τα κτίρια κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:^[61]

- α) κατοικίες διαφόρων τύπων, όπως μονοκατοικίες, διαμερίσματα και συγκροτήματα αυτών*
- β) πολυκατοικίες*
- γ) γραφεία*
- δ) εκπαιδευτικά κτίρια*
- ε) νοσοκομεία*
- στ) ξενοδοχεία και εστιατόρια*
- ζ) αθλητικές εγκαταστάσεις*
- η) κτίρια υπηρεσιών χονδρικού και λιανικού εμπορίου*
- θ) κάθε άλλη κατηγορία κτιρίων που καταναλώνουν ενέργεια*

Με το άρθρο 4 του νόμου 3661/2008 καθιερώθηκε η έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή νέου κτιρίου ή η ριζική ανακαίνιση υφιστάμενου κτιρίου, καθώς επίσης καθορίστηκε και η χρονική διάρκειά του. Με τα άρθρα 7 και 8 του παρόν νόμου καθιερώθηκε η επιθεώρηση των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού κτιρίων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Στο άρθρο 9 του ίδιου νόμου ορίστηκε ότι η πιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και η επιθεώρηση των λεβήτων και εγκαταστάσεων κλιματισμού θα πρέπει να διεξάγονται από ειδικευμένους και για το σκοπό αυτόν διαπιστευμένους ενεργειακούς επιθεωρητές.^[61]

Τα βασικά σημεία του νόμου 3734/2009, σε σχέση με τα φ/β είναι τα εξής:^{[62],[52]}

- αναπροσαρμόστηκαν οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (άρθρο 27, παρ. 3)
- η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκό σταθμό και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, τιμολογείται σε μηνιαία βάση και ανά μεγαβατώρα (MWh) της απορροφούμενης ηλεκτρικής ενέργειας (άρθρο 27, παρ. 4)
- η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκό σταθμό συνάπτεται για είκοσι έτη (άρθρο 27, παρ. 5)
- ορίζεται χρονοδιάγραμμα χορήγησης αδειών παραγωγής ή αποφάσεων εξαιρέσης για αιτήσεις για φωτοβολταϊκούς σταθμούς που εγκαθίστανται στην ελληνική επικράτεια (άρθρο 27, παρ. 6)
- οι άδειες παραγωγής ή αποφάσεις εξαιρέσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς δεν επιτρέπεται να μεταβιβασθούν πριν την έναρξη λειτουργίας των σταθμών (άρθρο 27, παρ. 7)
- καταρτίζεται Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε στέγες και προσόψεις κτιρίων σύμφωνα με τους ισχύοντες όρους δόμησης (άρθρο 27, παρ.8)
- για την εγκατάσταση σταθμών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας (φ/β σταθμών) δεν απαιτείται η έκδοση οικοδομικής άδειας, αλλά έγκριση εργασιών που χορηγείται από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία της περιοχής της εγκατάστασης κατ' εφαρμογή των ισχυουσών Γενικών και Ειδικών Πολεοδομικών Διατάξεων (άρθρο 27, παρ. 9).^[62]

Τέλος, με το νόμο 3851/2010 έγινε σαφές ότι η προστασία του κλίματος, μέσω της προώθησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, αποτελεί περιβαλλοντική και ενεργειακή προτεραιότητα για τη χώρα. Ορίστηκαν οι εθνικοί στόχοι για τις ΑΠΕ, με βάση την Οδηγία 2009/28, για το έτος 2020 ως:^[63]

- α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%
- β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%
- γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%
- δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%

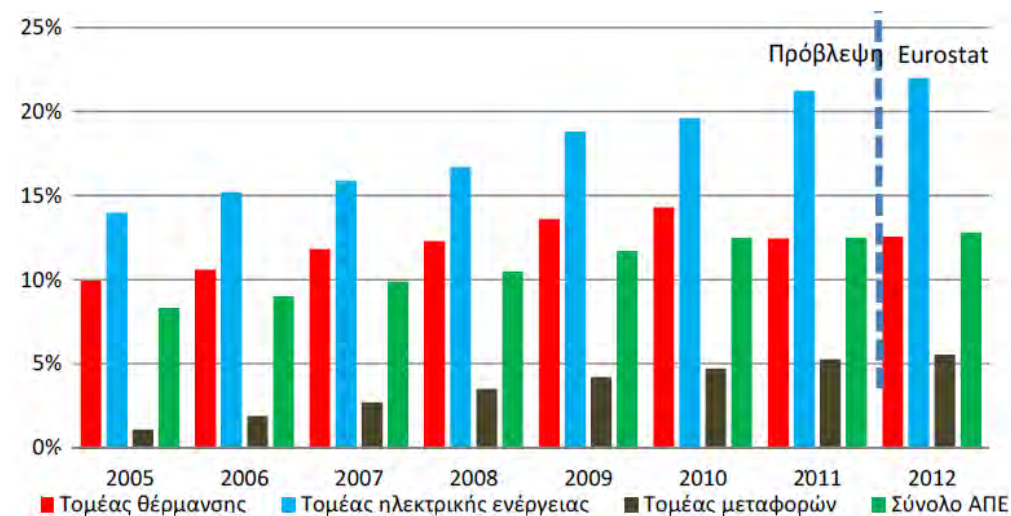
Με το νόμο 3851/2010 ρυθμίστηκαν επίσης θέματα:^[63]

- που αφορούν τις άδειες παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ΑΠΕ
- που αφορούν την ένταξη και σύνδεση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με το Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο
- που αφορούν την εφαρμογή των ΑΠΕ στα κτίρια
- χωροθέτησης των εγκαταστάσεων ΑΠΕ.

Τέλος, με το νόμο αυτό έγινε ορθολογικοποίηση της τιμολόγησης ενέργειας που παράγεται από τους σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.^[63]

1.4. Αξιολόγηση της προόδου στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην ΕΕ

Με την εφαρμογή των Οδηγιών για τις ΑΠΕ και των εθνικών πολιτικών που ορίστηκαν στα εθνικά σχέδια δράσης για την ανανεώσιμη ενέργεια, στα περισσότερα κράτη μέλη της ΕΕ σημειώθηκε σημαντική επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του επόμενου σχήματος.^[68]



Εικόνα 1-1. Αξιολόγηση της προόδου στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην ΕΕ τα έτη 2005-2012^[68]

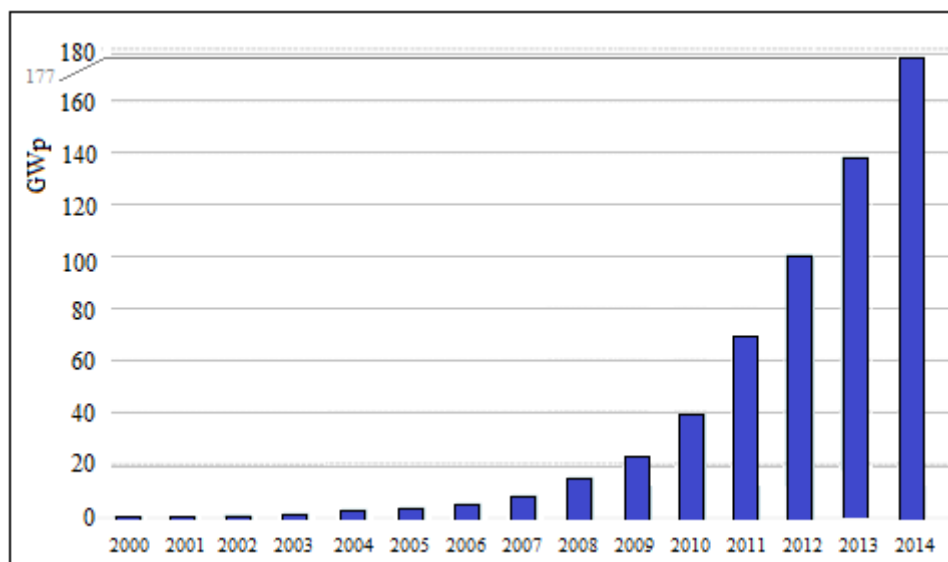
Όπως προκύπτει από το σχήμα αυτό, φαίνεται ότι έχει γίνει μια καλή αρχή σε επίπεδο ΕΕ. Παρόλα αυτά, ο ρυθμός άρσης των φραγμών για τις ΑΠΕ είναι βραδύτερος του αναμενόμενου, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούνται πρόσθετες προσπάθειες από συγκεκριμένα κράτη μέλη. Οι αποκλίσεις από τα εθνικά σχέδια αυξάνουν τον κίνδυνο που αντιμετωπίζουν οι επενδυτές, ενώ εξακολουθούν να υφίστανται φραγμοί που θα πρέπει να υπερκεραστούν. Σε επίπεδο ΕΕ και κρατών μελών, απαιτούνται περαιτέρω προσπάθειες όσον αφορά τη διοικητική απλούστευση και τη σαφήνεια των διαδικασιών σχεδιασμού και αδειοδότησης, καθώς και την ανάπτυξη και λειτουργία των υποδομών. Απαιτούνται επίσης περαιτέρω προσπάθειες όσον αφορά τον χειρισμό και την ένταξη της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γενικές οικονομικές συνθήκες που επικρατούν στην ΕΕ σήμερα, σε συνδυασμό με τις ανατρεπτικές αλλαγές στα καθεστώτα στήριξης των ΑΠΕ, ενισχύουν το συμπέρασμα ότι θα απαιτηθεί η λήψη πρόσθετων μέτρων σε επίπεδο κρατών μελών για τη διατήρηση στην ενδεδειγμένη πορεία και την επίτευξη των στόχων. Η αντιμετώπιση αυτών των φραγμών θα συμβάλει σημαντικά στην οικονομικώς συμφέρουσα ανάπτυξη της ενέργειας από ΑΠΕ και στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ για το 2020.^[68]

1.5. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού

Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί μια ανασκόπηση της εξέλιξης της εγκατεστημένης ισχύος από φωτοβολταϊκά σε παγκόσμιο, Ευρωπαϊκό και Ελληνικό επίπεδο.

1.5.1. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού παγκοσμίως

Σύμφωνα με τα στοιχεία που αναφέρει η νέα έκθεση του Προγράμματος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency Photovoltaic Power System Programme - IEA PVPS), μέχρι και το τέλος του 2014 η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών, ανέρχεται παγκοσμίως στα 177 GW. Η ισχύς αυτή υπολογίζεται ότι καλύπτει μόνο το 1% της παγκόσμιας ζήτησης ισχύος. Μόνο το 2014, 38,7 GW νέων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων προστέθηκαν στο σύνολο, ποσό ελαφρώς αυξημένο σε σύγκριση τα 37,6 GW που προστέθηκαν το 2013. Για την ισχύ αυτή, τις τρεις πρώτες θέσεις διατηρούν: α) η Κίνα (10,6 GW φ/β εγκαταστάσεων το 2014), β) η Ιαπωνία (9,6 GW φ/β εγκαταστάσεων το 2014) και γ) η Αμερική (6,2 GW φ/β εγκαταστάσεων το 2014). Στην κορυφή της παραγωγής από φ/β βρίσκεται η Ασία, η οποία κατέχει περίπου το 60% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύς. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το 2013 η Ευρώπη έχασε από την Ασία για πρώτη φορά, την πρωτιά που διατηρούσε από το 2003 όσον αφορά το νέο εγκατεστημένο φ/β δυναμικό. Η Κίνα μείωσε τον αριθμό των φ/β εγκαταστάσεων της από 12,92 GW το 2013 σε 10,6 GW το 2014. Σημαντική είναι η συμβολή αναδυόμενων χωρών στην παγκόσμια ανάπτυξη του κλάδου για το 2014. Μεταξύ των χωρών συμπεριλαμβάνονται οι Νότια Αφρική (0,8 GW), η Χιλή (0,4 GW), το Μεξικό (64 MW) και η Τουρκία.^{[115],[114]} Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την εξέλιξη της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος από φ/β κατά τη χρονική περίοδο 2000-2014.



Εικόνα 1-2. Εξέλιξη της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος από φ/β μέχρι και το 2014^[115]

Οι επόμενοι πίνακες παρουσιάζουν τις συνολικές ετήσιες τιμές της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος της περιόδου 2000-2014 καθώς και την κατάταξη των δέκα πρώτων χωρών, όσων αφορά τη νέα εγκατεστημένη ισχύς από φ/β το έτος 2014.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-3^[114]			
Εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως την περίοδο 2000-2014			
<i>Έτος</i>	<i>Συνολική εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως (GWp)</i>	<i>Έτος</i>	<i>Συνολική εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως (GWp)</i>
2000	1,288	2008	15,844
2001	1,615	2009	23,185
2002	2,069	2010	40,336
2003	2,635	2011	70,469
2004	3,723	2012	100,480
2005	5,112	2013	138,833
2006	6,660	2014	177,0
2007	9,183	-	-

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-4^[115]		
Κατάταξη των δέκα πρώτων χωρών όσων αφορά τη νέα εγκατεστημένη ισχύς τους από φωτοβολταϊκά το 2014		
<i>Κατάταξη</i>	<i>Χώρα</i>	<i>Νέα εγκατεστημένη ισχύς το 2014 (σε GWp)</i>
1η	Κίνα	10,6
2η	Ιαπωνία	9,6
3η	Αμερική	6,2
4η	Ηνωμένο Βασίλειο	2,27
5η	Γερμανία	1,9
6η	Γαλλία	0,92
7η	Αυστραλία	0,9
8η	Κορέα	0,9
9η	Νότιος Αφρική	0,8
10η	Ινδία	0,6

Στον επόμενο πίνακα ακολουθεί η κατανομή της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύς από φωτοβολταϊκά στις χώρες, κατά την περίοδο 2000-2013.

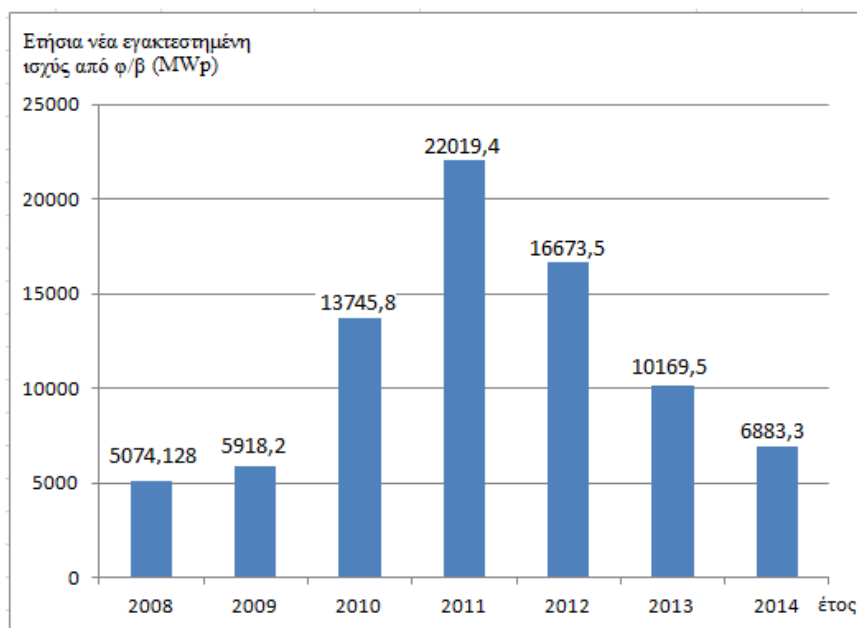
ΠΙΝΑΚΑΣ 1-5 ^{[115]-[78]}																					
Κατανομή της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύς από φωτοβολταϊκά στις χώρες την περίοδο 2000-2013 (σε GWp)																					
Ευρώπη	Ασία-Ειρηνικός	Αμερική	Κίνα	Μέση Ανατολή και Αφρική	Υπόλοιπος κόσμος	Χώρα	Έτος	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0,129	0,368	0,021	0,019	0,000	0,751																
0,265	0,496	0,024	0,024	0,000	0,807																
0,399	0,686	0,054	0,042	0,000	0,887																
0,601	0,916	0,102	0,052	0,000	0,964																
1,306	1,198	0,163	0,062	0,001	0,993																
2,291	1,502	0,246	0,070	0,001	1,003																
3,289	1,827	0,355	0,080	0,001	1,108																
5,312	2,098	0,522	0,100	0,002	1,150																
10,376	2,628	0,828	0,140	0,003	1,226																
16,304	3,373	1,328	0,300	0,025	1,306																
29,828	4,951	2,410	0,800	0,080	1,590																
52,127	7,513	4,590	3,300	0,205	2,098																
68,882	12,159	8,365	6,800	0,570	2,098																
79,793	21,992	13,727	18,600	0,953	2,098																

1.5.2. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού στην Ευρωπαϊκή Ένωση

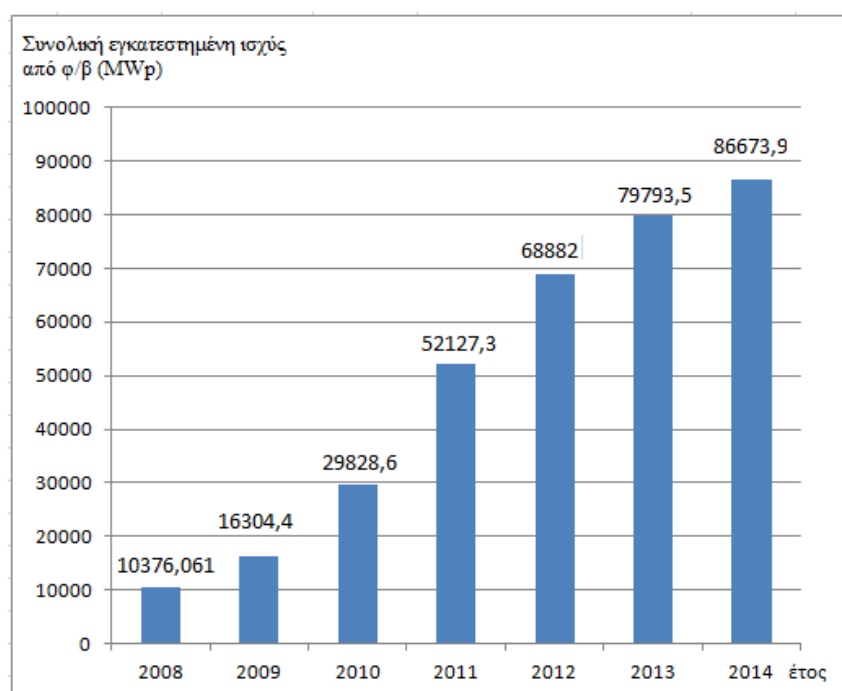
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων υπήρξε ραγδαία την προηγούμενη δεκαετία. Από μια ετήσια παραγωγή ισχύος της τάξης του ενός GW το 2006, οδηγηθήκαμε μέσα σε δυο χρόνια στον πενταπλασιασμό της ισχύος (>5GW το 2008) για να φτάσουμε σε μια παραγωγή πάνω από 13GW το 2010. Η νέα εγκατεστημένη ισχύς από φ/β ανήλθε στα 22 GW περίπου το επόμενο έτος, κυρίως λόγω της γρήγορης εξάπλωσης των φ/β εγκαταστάσεων στην Ιταλία και τη συνέχιση του υψηλού ρυθμού ανάπτυξης φ/β στη Γερμανία. Παρά το γεγονός ότι μέχρι και το 2011 η Ευρώπη διατηρούσε την παγκόσμια πρωτιά σε εγκατεστημένη ισχύ, μείωσε την παραγωγή της από τα 22 GW στα 16,6 GW το 2012. Η μείωση του

φ/β δυναμικού συνεχίστηκε και το 2013 με 10,1 GW νέες εγκαταστάσεις για να καταλήξει στα 7 περίπου GW το 2014. Όσον αφορά το έτος 2014, την πρωτιά στην Ευρώπη κατέχουν α) το Ηνωμένο Βασίλειο (2,44 GW νέων φ/β εγκαταστάσεων), β) η Γερμανία (1,89 GW νέων φ/β εγκαταστάσεων) και γ) η Γαλλία (0,975 GW νέων φ/β εγκαταστάσεων).^{[73]-[78]}

Τα γραφήματα των επόμενων εικόνων παρουσιάζουν την εξέλιξη της ετήσιας νέας εγκατεστημένης ισχύς από φ/β και τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ την περίοδο 2008-2014.



Εικόνα 1-3. Εξέλιξη της ετήσιας νέας εγκατεστημένης ισχύς από φ/β την περίοδο 2008-2014 στην Ευρωπαϊκή Ένωση^{[73]-[78]}



Εικόνα 1-4. Εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς από φ/β την περίοδο 2008-2014 στην Ευρωπαϊκή Ένωση^{[73]-[78]}

Αναλυτικότερα, για το έτος 2008 η κατάταξη των χωρών της ΕΕ όσον αφορά τη νέα ετήσια παραγωγή ισχύος από φ/β αλλά η γενικότερη κατάταξη τους όσον αφορά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.^[73]

2008			
Χώρα	Νέα εγκατεστημένη ισχύς (MWp)	Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MWp)
Spain	2 687,225	Germany	6 019,000
Germany	1 814,000	Spain	3 421,071
Italy	338,100	Italy	458,300
France	56,662	France	103,902
Portugal	50,082	Belgium	70,923
Belgium	49,399	Portugal	67,952
Czech Republic	49,213	Netherlands	57,200
Greece	9,330	Czech Republi	54,674
Austria	4,686	Austria	32,387
United Kingdom	4,420	Luxembourg	24,562
Netherlands	4,100	United Kingdo	22,510
Sweden	1,678	Greece	18,500
Bulgaria	1,332	Sweden	7,910
Slovenia	0,981	Finland	5,649
Cyprus	0,754	Denmark	3,265
Luxembourg	0,628	Cyprus	2,157
Finland	0,550	Slovenia	2,006
Poland	0,371	Bulgaria	1,407
Denmark	0,190	Poland	1,011
Romania	0,150	Hungary	0,450
Malta	0,142	Romania	0,450
Hungary	0,100	Ireland	0,400
Slovakia	0,020	Malta	0,238
Lithuania	0,015	Slovakia	0,066
Estonia	0,000	Lithuania	0,055
Ireland	0,000	Estonia	0,012
Latvia	0,000	Latvia	0,004
Total EU 27	5 074,128	Total EU 27	10 376,061

Εικόνα 1-5. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2008^[73]

Η ετήσια νέα εγκατεστημένη ισχύς το 2008 ξεπέρασε τα 5 MWp λόγω της ραγδαίας εξάπλωσης των φ/β στην Ισπανία, τη Γερμανία και λιγότερο στην Ιταλία. Οι τρεις αυτές χώρες εγκατέστησαν 4839,325 νέα MWp, ισχύς που αποτελεί το 95% περίπου της νέας εγκατεστημένης ισχύος για το έτος αυτό. Στην Ελλάδα η ανάπτυξη των φ/β περιορίστηκε στα 9,33 MWp.^[73]

Για το έτος 2009 η κατάταξη των χωρών της ΕΕ όσον αφορά τη νέα ετήσια παραγωγή ισχύος από φ/β αλλά η γενικότερη κατάταξη τους όσον αφορά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα. Μόνη της η Γερμανία εγκαθιστά 3940 νέα MW, ενώ η Ισπανία μειώνει δραματικά τις νέες τις εγκαταστάσεις από 2678,225 MWp το 2008 σε μόλις 17,01 νέα MW το 2009. Την Γερμανία ακολουθούν οι Ιταλία, το Βέλγιο, η Δημοκρατία της Τσεχίας και η Γαλλία με συνολική νέα εγκατεστημένη ισχύς που φτάνει τα 5788,765 MWp, ποσό που αποτελεί περίπου το 98% της ετήσιας νέας εγκατεστημένης ισχύος το 2009. Το έτος

αυτό η Ελλάδα τετραπλασίασε σχεδόν την ετήσια εγκατεστημένη ισχύ της, εγκαθιστώντας 36,5 νέα MWp φ/β.^[74]

2009			
Χώρα	Νέα εγκατεστημένη ισχύς (MWp)	Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MWp)
Germany	3940,000	Germany	9 959,000
Italy	698,800	Spain	3 438,081
Belgium	503,109	Italy	1 157,400
Czech Rep.	408,646	Belgium	574,032
France	221,200	Czech Rep.	463,320
Greece	36,500	France	335,200
Portugal	34,253	Portugal	102,194
Austria	20,209	Netherlands	67,507
Spain	17,010	Greece	55,000
Netherlands	10,669	Austria	52,596
United Kingdom	7,077	United Kingdom	29,590
Slovenia	6,858	Luxembourg	26,357
Bulgaria	4,293	Slovenia	9,004
Finland	2,000	Sweden	8,764
Luxembourg	1,795	Finland	7,649
Denmark	1,300	Bulgaria	5,700
Malta	1,289	Denmark	4,565
Cyprus	1,142	Cyprus	3,328
Sweden	0,854	Malta	1,527
Poland	0,369	Poland	1,380
Ireland	0,210	Hungary	0,650
Hungary	0,200	Romania	0,640
Romania	0,190	Ireland	0,610
Slovakia	0,126	Slovakia	0,192
Estonia	0,038	Lithuania	0,070
Lithuania	0,015	Estonia	0,050
Latvia	0,004	Latvia	0,008
Total EU 27	5 918,2	Total EU 27	16 304,4

Εικόνα 1-6. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2009^[74]

Το 2010 η νέα ετήσια εγκατεστημένη ισχύς από φ/β εκτοξεύεται στα 13,8 περίπου MWp. Μέσα σε μόλις μια χρονιά, διπλασιάστηκε η ετήσια νέα εγκατεστημένη ισχύς φ/β στην ΕΕ. Η Γερμανία συνεχίζει να διατηρεί την πρωτιά στην εγκατάσταση νέων φ/β μονάδων, εγκαθιστώντας συνολικά 7144 νέα MWp. Η Ιταλία διατηρεί την δεύτερη θέση της με 2326,1 νέα MWp ενώ και η Δημοκρατία της Τσεχίας συνεχίζει να πρωταγωνιστεί στην εγκατάσταση νέων φ/β μονάδων με 1495,8 νέα MWp. Και η Ελλάδα ακολουθεί τους ρυθμούς ανάπτυξης φ/β των υπόλοιπων Ευρωπαϊκών χωρών, εγκαθιστώντας 150,4 νέα MWp το έτος αυτό.^[75]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την κατάταξη των χωρών της ΕΕ όσον αφορά τη νέα ετήσια παραγωγή ισχύος από φ/β αλλά η γενικότερη κατάταξη τους όσον αφορά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους το 2010.^[75]

2010			
Χώρα	Νέα εγκατεστημένη ισχύς (MWp)	Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MWp)
Germany	7 411,0	Germany	17 370,0
Italy	2 326,1	Spain	3 859,2
Czech Republic	1 495,8	Italy	3 483,5
France	862,1	Czech Republic	1 959,1
Belgium	730,8	France	1 197,3
Spain	371,2	Belgium	1 036,9
Slovakia	174,0	Greece	205,4
Greece	150,4	Slovakia	174,2
United Kingdom	50,4	Portugal	130,8
Austria	42,9	Austria	95,5
Slovenia	36,5	Netherlands	88,0
Portugal	28,6	United Kingdom	76,9
Bulgaria	26,6	Slovenia	45,5
Netherlands	21,0	Bulgaria	32,3
Luxembourg	3,1	Luxembourg	29,5
Cyprus	2,9	Sweden	11,4
Sweden	2,7	Finland	9,6
Denmark	2,5	Denmark	7,1
Malta	2,2	Cyprus	6,2
Finland	2,0	Malta	3,8
Romania	1,3	Romania	1,9
Hungary	1,1	Hungary	1,8
Poland	0,4	Poland	1,8
Ireland	0,1	Ireland	0,7
Estonia	0,0	Estonia	0,1
Lithuania	0,0	Lithuania	0,1
Latvia	0,0	Latvia	0,0
Total EU 27	13745,8	Total EU 27	29828,6

Εικόνα 1-7. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2010^[75]

Το 2011 ήταν μια χρονιά σταθμός για την ΕΕ, όσον αφορά το γεγονός της ανάπτυξης νέων φ/β εγκαταστάσεων. Η νέα ετήσια παραγωγή ανήλθε σε 22019,4 MWp, φτάνοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ από φ/β στην τιμή των 52127,3 MWp. Η Γερμανία παρέμεινε στα ίδια επίπεδα με τη περσινή χρονιά, εγκαθιστώντας περίπου 7500 νέα MWp, χάνοντας την πρωτιά από την Ιταλία, που σε σχέση με τα 2326,1 MWp του 2010 εγκατάστησε το 2011, 9303 νέα MWp. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την κατάταξη των χωρών της ΕΕ όσον αφορά τη νέα ετήσια παραγωγή ισχύος από φ/β αλλά η γενικότερη κατάταξη τους όσον αφορά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους το 2011.^[76]

2011			
Χώρα	Νέα εγκατεστημένη ισχύς (MWp)	Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MWp)
Germany	7 490,0	Germany	25 094,0
Italy	9 303,0	Italy	12 783,0
France	1 755,9	Spain	4 322,2
United Kingdom	899,3	France	2 948,6
Belgium	995,6	Belgium	2 050,6
Greece	425,9	Czech rep	1 913,4
Spain	378,9	United Kingdom	978,3
Slovakia	313,1	Greece	631,3
Bulgaria	179,9	Slovakia	487,3
Austria	91,7	Bulgaria	212,2
Netherlands	58,0	Austria	187,2
Slovenia	54,9	Portugal	160,9
Portugal	34,9	Netherlands	146,0
Luxembourg	11,2	Slovenia	100,4
Denmark	9,6	Luxembourg	40,7
Sweden	4,3	Denmark	16,7
Cyprus	3,8	Sweden	15,7
Malta	2,8	Finland	11,2
Romania	1,6	Cyprus	10,1
Finland	1,5	Malta	6,6
Latvia	1,5	Romania	3,5
Hungary	1,0	Hungary	2,7
Poland	0,8	Poland	2,2
Estonia	0,1	Latvia	1,5
Lithuania	0,0	Ireland	0,7
Czech Republic	0,0	Estonia	0,2
Ireland	0,0	Lithuania	0,1
Total EU 27	22019,4	Total EU 27	52127,3

Εικόνα 1-8. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2011^[76]

Το 2012 η νέα ετήσια παραγωγή ισχύος μειώνεται από τα 22 περίπου GWp στα 16,7 GWp. Πιο συγκεκριμένα, τη χρονιά αυτή εγκαταστάθηκαν 16673,5 νέα MWp, φτάνοντας την συνολική εγκατεστημένη ισχύ από φ/β στην τιμή των 68882 MWp. Η Γερμανία ανέκτησε πάλι την πρωτιά, εγκαθιστώντας 7609 νέα MWp, ενώ ακολουθεί η Ιταλία με 3369 νέα MWp και η Γαλλία με 1136 νέα MWp. Αξίζει να αναφερθεί ότι η χρονιά αυτή αποτέλεσε σταθμό για την Ελλάδα, μιας και συνεχίστηκε η ραγδαία εξάπλωση των φ/β. Πιο συγκεκριμένα, το 2012 εγκαταστάθηκαν 912 νέα MWp από φ/β, ποσό που κατατάσσει την Ελλάδα την τέταρτη κατά σειρά χώρα σε ετήσια παραγωγή ισχύος από φ/β για τη χρονιά αυτή. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει αναλυτικά την κατάταξη των χωρών της ΕΕ όσον αφορά τη νέα ετήσια παραγωγή ισχύος από φ/β αλλά η γενικότερη κατάταξη τους όσον αφορά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους το 2012.^[77]

2012			
Χώρα	Νέα εγκατεστημένη ισχύς (MWp)	Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MWp)
Germany	7 609.0	Germany	32 703.0
Italy	3 369.0	Italy	16 152.0
France	1 136.0	Spain	4 603.1
Greece	912.0	France	4 084.6
Belgium	717.8	Belgium	2 768.4
United Kingdom	713.0	Czech rep	2 022.4
Bulgaria	702.6	United Kingdom	1 708.3
Denmark	360.0	Greece	1 543.3
Austria	234.5	Bulgaria	914.8
Spain	227.8	Slovakia	543.1
Netherlands	219.0	Austria	421.7
Slovenia	121.1	Denmark	376.2
Czech Republic	109.0	Netherlands	365.0
Portugal	56.4	Portugal	228.4
Slovakia	55.8	Slovenia	221.5
Romania	46.4	Luxembourg	76.7
Luxembourg	35.7	Romania	49.3
Malta	12.1	Sweden	24.1
Hungary	9.6	Malta	18.7
Sweden	8.3	Cyprus	17.2
Cyprus	7.1	Hungary	12.3
Lithuania	6.1	Finland	11.2
Croatia	3.6	Lithuania	6.2
Poland	1.4	Croatia	4.4
Ireland	0.2	Poland	3.6
Finland	0.0	Latvia	1.5
Latvia	0.0	Ireland	0.9
Estonia	0.0	Estonia	0.2
Total EU 27	16673,5	Total EU 27	68882,0

Εικόνα 1-9. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β το έτος 2012^[77]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την κατάταξη η κατάταξη των χωρών της ΕΕ όσον αφορά τη νέα ετήσια παραγωγή ισχύος από φ/β αλλά η γενικότερη κατάταξη τους όσον αφορά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους τα έτη 2013 και 2014. Όπως παρατηρούμε και από την εικόνα αυτή, και τις δυο χρονιές συνεχίστηκε η μείωση της ετήσιας νέας παραγωγής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, το 2013 η Γερμανία εξακολουθεί να διατηρεί την πρωτιά στην εγκατάσταση νέων φ/β σταθμών, μια πρωτιά που χάνει το 2014 από το Ηνωμένο Βασίλειο. Σε αντίθεση με τις περισσότερες χώρες που το 2014 μείωσαν περεταίρω την παραγωγή τους, η Γαλλία παρουσίασε αύξηση της ετήσιας παραγωγής της από 672 MWp το 2013 σε 975 MWp το 2014.^[77] Παρ' ότι η οικονομική κρίση έπληξε την Ελλάδα, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος συνεχίστηκε με αντίστοιχους ρυθμούς μέχρι το τέλος του 2013, αγγίζοντας τα 1042,5 MWp. Δεν πραγματοποιήθηκε όμως η ίδια τάση για το επόμενο έτος, μιας και το 2014 ήταν μια πολύ κακή χρονιά για την Ελλάδα, φτάνοντας σε μια ετήσια εγκατεστημένη ισχύ μόλις 16,9 MWp.^[79]

Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MWp)		Χώρα	Νέα εγκατεστημένη ισχύς (MWp)	
	2013	2014		2013	2014
Germany	36 402.0	38 301.0	United Kingdom	1 033.0	2 448.0
Italy	18 065.0	18 450.0	Germany	3 309.0	1 899.0
France	4 625.0	5 600.0	France	672.0	975.0
United Kingdom	2 782.3	5 230.3	Italy	1 364.5	385.0
Spain	4 766.0	4 787.3	Netherlands	374.0	361.0
Belgium	3 040.0	3 105.3	Romania	972.7	270.5
Greece	2 585.8	2 602.8	Austria	208.8	140.0
Czech rep	2 063.9	2 061.0	Portugal	57.5	116.2
Romania	1 022.0	1 292.6	Belgium	459.0	65.2
Netherlands	739.0	1 100.0	Sweden	19.1	36.2
Bulgaria	1 019.2	1 020.4	Cyprus	17.6	30.0
Austria	630.5	770.5	Denmark	169.2	29.1
Denmark	572.4	601.5	Malta	9.5	26.0
Slovakia	588.1	590.1	Spain	120.3	21.3
Portugal	302.8	419.0	Poland	0.6	20.2
Slovenia	248.2	256.0	Greece	1 042.5	16.9
Luxembourg	95.0	110.0	Luxembourg	21.0	15.0
Sweden	43.2	79.4	Croatia	16.0	14.2
Lithuania	68.1	68.1	Slovenia	26.7	7.7
Cyprus	34.8	64.8	Hungary	22.6	3.3
Malta	28.2	54.2	Slovakia	45.0	2.0
Hungary	34.9	38.2	Bulgaria	104.4	1.3
Croatia	20.0	34.2	Ireland	0.1	0.1
Poland	4.2	24.4	Czech Republic	41.5	0.0
Finland	10.2	10.2	Estonia	0.0	0.0
Latvia	1.5	1.5	Finland	1.0	0.0
Ireland	1.0	1.1	Latvia	0.0	0.0
Estonia	0.2	0.2	Lithuania	61.9	0.0
European Union	79 793.5	86 673.9	European Union	10 169.5	6 883.3

Εικόνα 1-10. Κατανομή ανά ευρωπαϊκό κράτος της νέας ετήσιας και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από φ/β τα έτη 2013-14^[78]

1.5.3. Εξέλιξη του φωτοβολταϊκού δυναμικού στην Ελλάδα

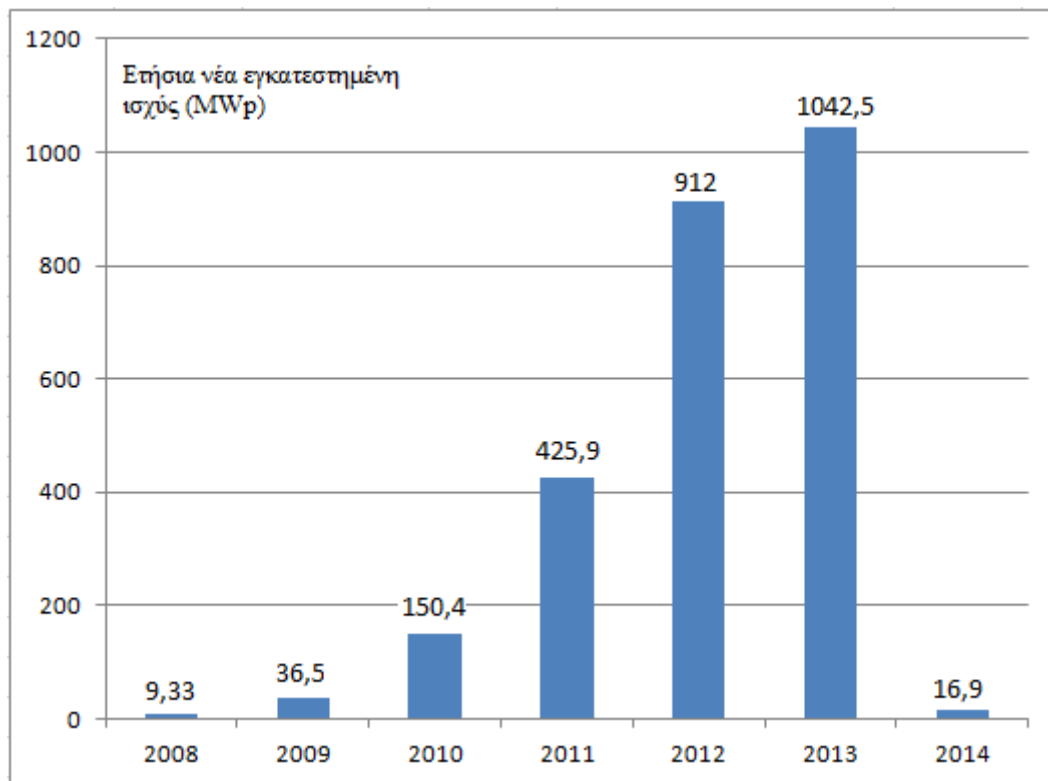
Όσον αφορά το καθεστώς που διέπει εν γένει τον κλάδο των ΑΠΕ στη χώρα μας και συγκεκριμένα την ανάπτυξη των φ/β, μπορεί να διαπιστωθεί ότι η ανάπτυξή τους τουλάχιστον μέχρι το 2006, υπήρξε μηδαμινή (περίπου 2 MWp το 2006). Οι εγκαταστάσεις αυτές περιορίζονταν κυρίως στις φ/β εγκαταστάσεις της ΔΕΗ σε νησιά και σε εγκαταστάσεις ιδιωτών για την τροφοδότηση απομακρυσμένων κατοικιών. Εύκολα μπορεί να συμπεράνει κανείς, ότι δεδομένου του εξαιρετικού ηλιακού δυναμικού της χώρας μας, μια τέτοια ανάπτυξη φ/β εγκαταστάσεων ήταν σαφώς απογοητευτική. Οι κύριοι λόγοι της μικρής αυτής ανάπτυξης ήταν τα συνήθη γραφειοκρατικά προβλήματα που διέπουν όλες σχεδόν τις υπηρεσίες της χώρας μας, τα μηδαμινά κίνητρα των επενδυτών τα οποία καθιστούσαν ασύμφορη την επένδυση σε φ/β, ο μονοπωλιακός χαρακτήρας του ενεργειακού τομέα μέχρι το 2001 και η ελλιπής ενημέρωση των επενδυτών.^[109]

Ένα αρκετά σαφέστερο νομοθετικό πλαίσιο σε σχέση με τα φ/β και γενικότερα τις ΑΠΕ δημιουργήθηκε το 2006, με το νόμο 3468/2006. Το νομοθετικό αυτό πλαίσιο σε συνδυασμό με τις επιχορηγήσεις και τις ευνοϊκές τιμολογιακές ρυθμίσεις οδήγησαν στη θεσμοθέτηση ενός προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών, το οποίο είχε ως στόχο την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών, καθαρά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νόμος 3468/2006 σε συνδυασμό με επιδοτήσεις που είχαν αναγγελθεί για το κόστος της επένδυσης, κίνησαν το ενδιαφέρον πολλών μικροεπενδυτών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο αριθμός των αιτήσεων για άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπερνάει κατά πολύ το στόχο του προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών. Σαν αποτέλεσμα, στα τέλη του 2007 το Υπουργείο Ανάπτυξης ανάστειλε την αδειοδοτική διαδικασία. Μέχρι και το τέλος του 2007, η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών είχε φτάσει τα 8,2 MWp. Η αύξηση στο ενδιαφέρον της επένδυσης στα φωτοβολταϊκά εντάθηκε με την ψήφιση του νόμου 3851/2010. Ο νόμος αυτός εισήγαγε σημαντική αύξηση του ορίου ισχύος των φ/β πάρκων που απαλλάσσονται από την ανάγκη λήψης άδειας παραγωγής και από την ανάγκη λήψης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων. Έτσι, στα τέλη του 2009 η εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε στα 55 MWp, ενώ μέχρι το τέλος του 2010 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς έφτασε τα 205,4 MWp. Την ίδια χρονιά οι αιτήσεις για άδεια παραγωγής ή εξαίρεση από άδεια για Φ/Β αντιστοιχούσαν σε ισχύ ίση με 9437 MWp.^[109]

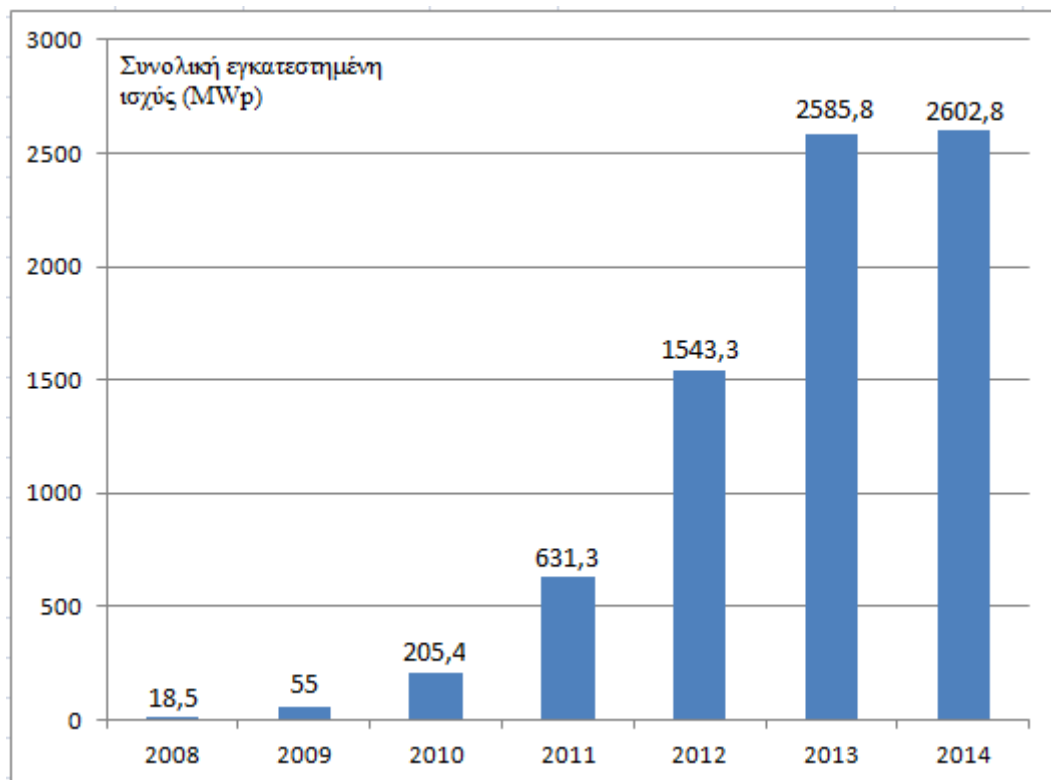
Παρά την οικονομική κρίση που έπληττε την Ελλάδα, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος συνεχίστηκε μέχρι το τέλος του 2013 με 2585,8 MWp. Η αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος δεν πραγματοποιήθηκε όμως με του ίδιους ρυθμούς για το επόμενο έτος. Το 2014 ήταν μια πολύ κακή χρονιά για την αγορά φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα με μόλις 16,9 νέα MWp να προστίθενται στο σύνολο των 2585,8 MWp. Εγκαταστάθηκαν ελάχιστα φ/β συστήματα, ενώ χάθηκαν χιλιάδες θέσεις εργασίας στον κλάδο. Αιτία της κατάρρευσης αυτής υπήρξε η καταστροφική πολιτική που ακολουθήθηκε, σε μια προσπάθεια να διορθωθούν παλαιότερες θεσμικές αστοχίες. Πιο συγκεκριμένα, τα αίτια που οδήγησαν τις επενδύσεις των φ/β σε τέλμα ήταν:^[109]

- ο νόμος 4254/2014 με τη μείωση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που επέβαλε
- το γεγονός ότι η εθνικά ορισμένη ισχύς από φ/β στα 2200 MWp μέχρι το 2020, υλοποιήθηκε και υπερκορέστηκε αρκετά νωρίτερα.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζεται η εξέλιξη της ετήσιας νέας εγκατεστημένης και της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς από φ/β στην Ελλάδα την περίοδο 2008-2014.

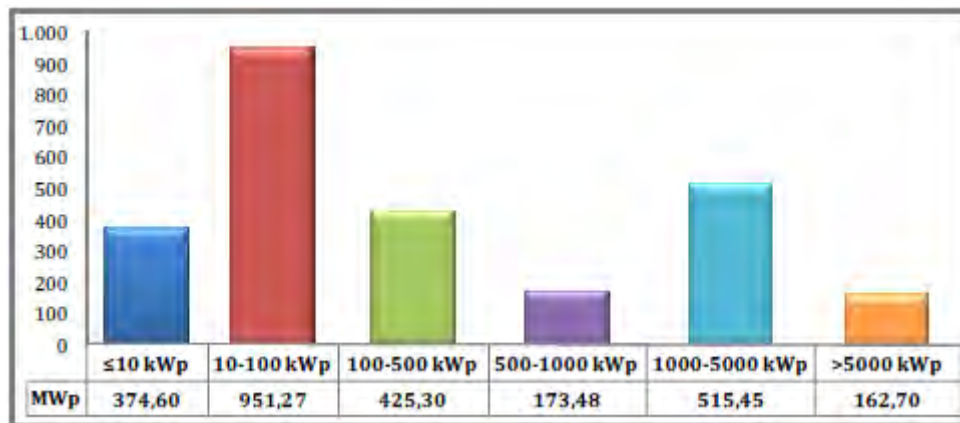


Εικόνα 1-11. Εξέλιξη της νέας ετήσιας εγκατεστημένης ισχύς από φ/β στην Ελλάδα την περίοδο 2008-2014^{[73]-[78]}



Εικόνα 1-12. Εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς από φ/β στην Ελλάδα την περίοδο 2008-2014^{[73]-[78]}

Η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά τάξη μεγέθους παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 1-13. Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά τάξη μεγέθους^[79]

Μέχρι και το τέλος του 2014 στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένα 2602,8 MWp φωτοβολταϊκών, εκ των οποίων τα 2061 MWp επί εδάφους και τα υπόλοιπα σε στέγες κτιρίων. Η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων των 2061 MWp καλύπτει περίπου 12300 στρέμματα. Η συνολική έκταση που δεσμεύουν αυτά τα 2061 MWp (μαζί με τα διάκενα μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών και την περιμετρική απόσταση ασφαλείας από τα όρια των γηπέδων) είναι περίπου 40000 στρέμματα. Για σύγκριση, η έκταση που καταλαμβάνουν οι λιγνιτικοί σταθμοί και τα λιγνιτωρυχεία είναι, σύμφωνα με τη ΔΕΗ, περίπου 253000 στρέμματα.^[109]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

2.1. Βασικές έννοιες θεωρίας ημιαγωγών

Για την κατανόηση της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών διατάξεων, απαραίτητη είναι η γνώση βασικών στοιχείων από τη θεωρία της φυσικής στερεάς κατάστασης καθώς και των μηχανισμών που αναπτύσσονται, κατά την κίνηση των ηλεκτρονίων, στο εσωτερικό των κρυσταλλικών στερεών. Οι επόμενες παραγράφους εξετάζουν τις ηλεκτρονικές ιδιότητες των ημιαγωγών, μιας και αυτοί αποτελούν το δομικό στοιχείο των φωτοβολταϊκών διατάξεων και στη συνέχεια περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων, των πλαισίων και των συστοιχιών αντίστοιχα.

2.1.1. Ενεργειακές ζώνες - ενεργειακό χάσμα

Όπως είναι γνωστό από την ημικλασική περιγραφή των στερεών, σε ένα μεμονωμένο άτομο, τα ηλεκτρόνια βρίσκονται γύρω από τον πυρήνα και οι ενέργειές τους είναι κβαντισμένες. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να έχουν μόνο μια συγκεκριμένη, διακριτή τιμή. Για ένα τυπικό μεμονωμένο άτομο, το γραμμικό ενεργειακό φάσμα αποτελείται από δυο καταστάσεις. Οι καταστάσεις αυτές είναι η θεμελιώδη κατάσταση, όπου τα ηλεκτρόνια συγκρατούνται από τον πυρήνα με δυνάμεις Coulomb και η ελεύθερη κατάσταση όπου τα ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα. Οι δυο αυτές περιοχές διαχωρίζονται από μια κατάσταση μηδενικής ενέργειας E_{vacuum} .^[47]



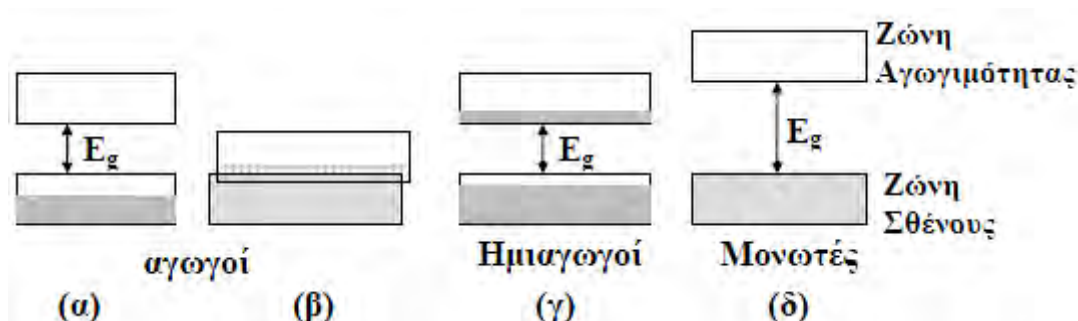
Εικόνα 2-1. Γραμμικό ενεργειακό φάσμα μεμονωμένου ατόμου με τη θεμελιώδη και ελεύθερη κατάσταση^[47]

Έστω τώρα η περίπτωση κατά την οποία n άτομα συνδέονται μεταξύ τους για το σχηματισμό ενός κρυσταλλικού στερεού. Καθώς οι αποστάσεις μεταξύ των ατόμων μικραίνουν, οι τροχιές των ηλεκτρονίων σθένους υπερκαλύπτονται και τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου βλέπουν τους πυρήνες των γειτονικών ατόμων. Επειδή όμως η

απαγορευτική αρχή του Pauli ορίζει ότι δυο ηλεκτρόνια ενός ατόμου δεν μπορεί να υπάρχουν στην ίδια κατάσταση, υπαγορεύει το διαχωρισμό του ενεργειακού διαγράμματος σε n το πλήθος πολύ κοντά διατεταγμένες στάθμες. Καθώς η απόσταση μεταξύ των ατόμων ελαττώνεται, άλλες εσωτερικές τροχιές αρχίζουν να υπερκαλύπτονται και οι ενεργειακές τους στάθμες χωρίζονται επίσης σε n πολύ κοντά ταξινομημένες στάθμες. Κάθε ομάδα χωριστών ενεργειακών σταθμών ονομάζεται **ενεργειακή ζώνη**. Οι ζώνες διαχωρίζονται μεταξύ τους από **ενεργειακά χάσματα E_g (Energy Gaps)**, απαγορευμένες δηλαδή τιμές ενέργειας στις οποίες δεν μπορούν να υπάρξουν ελεύθεροι φορείς. Σε συνθήκες $T=0$ K, η ζώνη που είναι τελείως πληρωμένη περιέχει μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων καλείται **ζώνη σθένους**. Τα ηλεκτρόνια της ζώνης αυτής δεν συμμετέχουν στην αγωγιμότητα του στερεού, αφού δεν υπάρχουν διαθέσιμες ενεργειακές καταστάσεις, που μπορούν να τις καταλάβουν υπό την επίδραση εξωτερικού πεδίου. Η αμέσως επόμενη ζώνη που είναι κενή ή μερικώς πληρωμένη, καλείται **ζώνη αγωγιμότητας**. Οι κενές ζώνες δεν περιέχουν ηλεκτρόνια και δεν συμμετέχουν στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού. Οι μερικώς πληρωμένες ζώνες περιέχουν ηλεκτρόνια και έχουν ελεύθερες ενεργειακές στάθμες, επιτρέποντας στους φορείς να αποκτήσουν ενέργεια, όταν μετακινούνται υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου. Έτσι, στην περίπτωση αυτή, τα ηλεκτρόνια συμμετέχουν στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού.^[47]

2.1.2. Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί

Ανάλογα με το ενεργειακό χάσμα E_g μεταξύ των ζωνών αγωγιμότητας και σθένους, τα στερεά υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τα πιθανά ενεργειακά διαγράμματα ενός κρυστάλλου και η διάκριση των υλικών σε αγωγούς, ημιαγωγούς, μονωτές.



Εικόνα 2-2. Πιθανά ενεργειακά διαγράμματα ενός κρυστάλλου και η διάκριση των υλικών σε αγωγούς, ημιαγωγούς, μονωτές^[47]

Η περίπτωση (α) παρουσιάζεται σε υλικά, που έχουν άτομα με ένα ηλεκτρόνιο σθένους ανά άτομο. Αυτά τα υλικά παρουσιάζουν υψηλή αγωγιμότητα. Τέτοια υλικά, όπως για παράδειγμα ο χαλκός, ο χρυσός και το ασήμι καλούνται **αγωγοί**. Η περίπτωση (β) αφορά υλικά των οποίων τα άτομα έχουν δυο ηλεκτρόνια σθένους, η πλήρης ζώνη επικαλύπτεται με την κενή ζώνη και παρουσιάζουν και αυτά υψηλή αγωγιμότητα. Και τα υλικά αυτά ανήκουν στην κατηγορία των αγωγών. Στην περίπτωση (δ), η αγωγιμότητα του υλικού είναι μηδενική μιας και είναι σχεδόν αδύνατη η μεταπήδηση ενός από τα ηλεκτρόνια σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, λόγω υψηλών τιμών του ενεργειακού χάσματος ($E_g \approx 5$ eV). Τα υλικά αυτά καλούνται **μονωτές**. Στην περίπτωση (γ), η πλήρης ζώνη διαχωρίζεται από την κενή ζώνη με μικρό ενεργειακό χάσμα ($E_g \leq 2$ eV), που επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να μετακινηθούν προς την αμέσως υψηλότερη ζώνη και να καταστούν ελεύθερα. Οι κενές θέσεις που

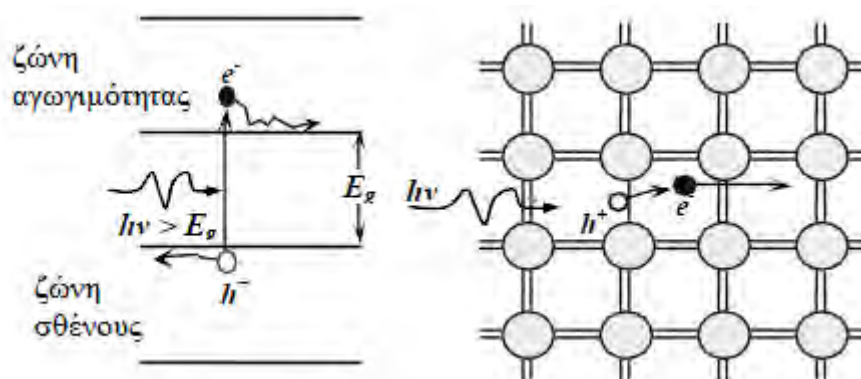
αφήνουν στη ζώνη σθένους καλούνται **οπές**.^{[47],[120]} Επομένως, ορίζονται πλέον σαν **ημιαγωγοί** τα στερεά εκείνα των οποίων το χάσμα είναι αρκετά μικρό ώστε να έχουν μετρήσιμη αγωγιμότητα σε θερμοκρασίες μικρότερες από το σημείο τήξεως.^[37]

Οι ημιαγωγοί αποτελούν μία από τις πλέον ενδιαφέρουσες κατηγορίες υλικών, μιας και διαθέτουν ηλεκτρικές ιδιότητες που καλύπτουν το φάσμα από τους αγωγούς μέχρι τους μονωτές. Η τεχνολογία που το κάνει αυτό, σχετίζεται στενά με τις τεχνολογίες στερεάς κατάστασης που χρησιμοποιούνται για να κατασκευάζουν τα τρανζίστορ, τις διόδους και όλες τις άλλες συσκευές ημιαγωγών. Στην ουσία, οι ημιαγωγοί αποτελούν μια κατηγορία στερεών σωμάτων που χαρακτηρίζονται από μικρό αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων σε αντίθεση με τους αγωγούς (τα μέταλλα) που παρουσιάζουν μεγάλο πλήθος ελεύθερων ηλεκτρονίων και τους μονωτές που διαθέτουν ελάχιστα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η αγωγιμότητα των ημιαγωγών βρίσκεται δηλαδή μεταξύ των δύο άκρων, των αγωγών και των μονωτών. Πιο συγκεκριμένα, οι ημιαγωγοί έχουν τιμές ειδικής αντίστασης στη περιοχή 10^{-4} - 10^{-7} Ω.m, ενώ τα μέταλλα τιμές της τάξης των 10^{-8} Ω.m και οι μονωτές μεγαλύτερες των 10^{12} Ω.m.^[120] Το ηλεκτρικό ρεύμα στους ημιαγωγούς οφείλεται τόσο στη ροή ελεύθερων ηλεκτρονίων (αρνητικών φορτίων), όσο και στη ροή θετικών φορτίων (οπών). Η οικογένεια των ημιαγωγών περιλαμβάνει:^[37]

- (1) τους στοιχειακούς ημιαγωγούς (elemental semiconductors) Si και Ge
- (2) δυαδικές ενώσεις (binary semiconductors): III-V (π.χ. GaAs), II-VI (π.χ. CdS)
- (3) τριαδικά κράματα (ternary alloys): π.χ. $Al_xGa_{1-x}As$, $Ga_xIn_{1-x}P$
- (4) τετραδικά κράματα (quaternary alloys): π.χ. $Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$

2.1.3. Φορείς αγωγιμότητας στους ημιαγωγούς

Η μετακίνηση των ηλεκτρονίων σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, συνήθως γίνεται με θερμική ή οπτική διέγερση με ελάχιστο ποσό ενέργειας ίσο με το ενεργειακό χάσμα E_g του κρυστάλλου. Ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας είναι ελεύθερο να κινηθεί στον κρύσταλλο και επίσης να ανταποκριθεί σε ηλεκτρικά πεδία, λόγω των κενών γειτονικών ενεργειακών ζωνών. Στη συνέχεια εξετάζεται η περίπτωση όπου ένα φωτόνιο με ενέργεια $h\nu > E_g$ αλληλεπιδρά με ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη σθένους και απορροφάται από αυτό (εικόνα 2-3).



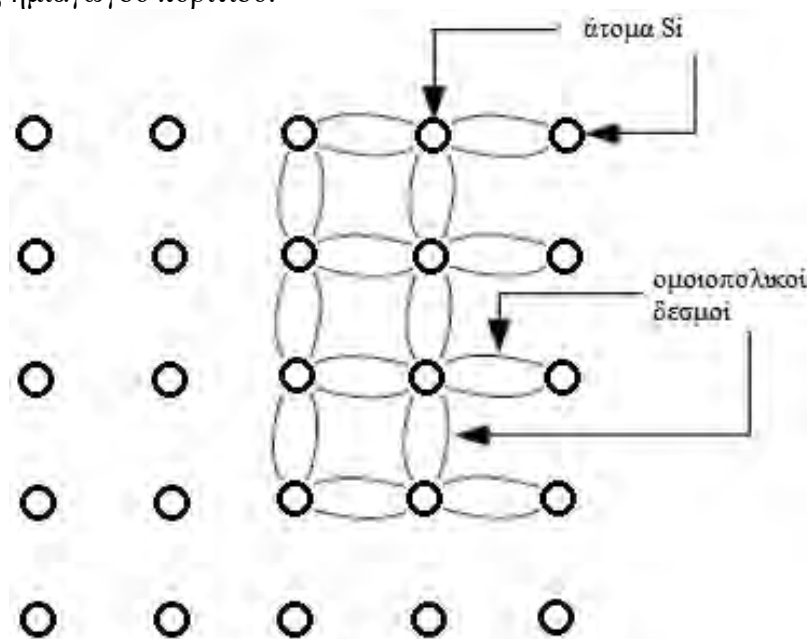
Εικόνα 2-3. Αλληλεπίδραση φωτονίου με ηλεκτρόνιο στη ζώνη σθένους^[47]

Το ηλεκτρόνιο αποκτά ενέργεια ικανή για να ξεπεράσει το ενεργειακό χάσμα E_g , να φθάσει στη ζώνη αγωγιμότητας και να καταστεί ελεύθερο. Είναι φανερό ότι κατά την μετακίνηση του ηλεκτρονίου προς τη ζώνη αγωγιμότητας, δημιουργείται μια ελεύθερη θέση στη ζώνη σθένους, που καλείται **οπή**. Η περιοχή γύρω από την οπή

είναι θετικά φορτισμένη λόγω της αφαίρεσης ενός αρνητικού φορτίου από μια ουδέτερη, κατά τα άλλα περιοχή. Η οπή, που συμβολίζεται ως h^+ , επίσης μετακινείται ελεύθερα στον κρύσταλλο λόγω του ότι ένα ηλεκτρόνιο γειτονικού δεσμού, μπορεί να καλύψει τη θέση της, δημιουργώντας έτσι μια καινούργια ελεύθερη θέση. Αυτό ισοδυναμεί με κίνηση της οπής προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του ηλεκτρονίου. Έτσι και τα ηλεκτρόνια και οι οπές με φορτία $-e$ και $+e$ αντίστοιχα, συμμετέχουν στην αγωγιμότητα του ημιαγωγού. Αν και στο συγκεκριμένο παράδειγμα, φωτόνιο ενέργειας $h\nu > E_g$ δημιουργεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίου - οπής, υπάρχουν και άλλες πηγές ενέργειας, που επίσης δημιουργούν τέτοια ζεύγη. Όταν ένα ηλεκτρόνιο μετακινηθεί από τη ζώνη αγωγιμότητας στη ζώνη σθένους, συναντά μια οπή την οποία και καλύπτει. Το φαινόμενο καλείται **επανασύνδεση** και έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση του ζεύγους ηλεκτρονίου - οπής.

2.1.4. Ενδογενείς ημιαγωγοί

Ενδογενείς ημιαγωγοί ονομάζονται οι ημιαγωγοί οι οποίοι δεν έχουν καμιά πρόσμιξη.^[120] Στους ενδογενείς ημιαγωγούς, το κάθε άτομο πυριτίου σχηματίζει τέσσερις δεσμούς (που καλούνται ομοιοπολικοί δεσμοί) μεταξύ των τεσσάρων ηλεκτρονίων σθένους κάθε ατόμου πυριτίου και ηλεκτρονίων γειτονικών ατόμων, προσδίδοντας την στερεότητα στον κρύσταλλο του πυριτίου. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την επίπεδη συμβολική παράσταση της κρυσταλλικής δομής ενός ενδογενούς ημιαγωγού πυριτίου.^[39]



Εικόνα 2-4. Επίπεδη συμβολική παράσταση της κρυσταλλικής δομής ενός ενδογενούς ημιαγωγού πυριτίου^[39]

Φορείς της αγωγιμότητας στους ενδογενείς ημιαγωγούς είναι τα ηλεκτρόνια αλλά και οι οπές, οι οποίες υπάρχουν σε ίσο αριθμό, καθιστώντας τον ημιαγωγό ηλεκτρικά ουδέτερο. Ο αριθμός των οπών ή ηλεκτρονίων ανά μονάδα όγκου ονομάζεται **ενδογενής συγκέντρωση** n_i . Η ενδογενής συγκέντρωση εξαρτάται από τη θερμοκρασία και ισχύει:^[40]

$$n_i = A_0 \cdot T^{2/3} \cdot e^{-E_g/2.k.T} \quad 2-1$$

όπου:

A_0 = εμπειρική σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό

k = σταθερά Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = απόλυτος θερμοκρασία σε K

E_g = εύρος απαγορευμένης ζώνης στους 0 K

Για θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με το απόλυτο μηδέν, ο ενδογενής ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν μονωτής, αφού δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος.^[39] Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα άτομα των κρυστάλλων εκτελούν τυχαίες ταλαντώσεις γύρω από τη θέση ισορροπίας τους. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία, λόγω θερμικής διέγερσης ορισμένοι ομοιοπολικοί δεσμοί σπάζουν, με αποτέλεσμα να παράγονται καινούρια ζεύγη οπών και ηλεκτρονίων. Η διαδικασία αυτή με την οποία παράγονται μια οπή και ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο καλείται **θερμικός ιονισμός**. Ο ρυθμός με τον οποίο παράγονται τα ζεύγη οπών και ηλεκτρονίων θα είναι οπωσδήποτε συνάρτηση της θερμοκρασίας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου αφήνει ένα κενό στη στιβάδα σθένους που λέγεται οπή. Αυτή η οπή συμπεριφέρεται σαν θετικό φορτίο, μιας και μπορεί να έλκει και να συλλαμβάνει κάθε ηλεκτρόνιο σθένους που βρίσκεται σε γειτονικό άτομο, δημιουργώντας οπή σ' αυτό.^{[39],[40]}

Επειδή τόσο η γέννηση των φορέων όσο και η εξαφάνισή τους γίνεται κατά ζεύγη, η συγκέντρωση των οπών p πρέπει να είναι ίση με τη συγκέντρωση των ηλεκτρονίων n και αυτές ίσες με την ενδογενή συγκέντρωση n_i .^[40]

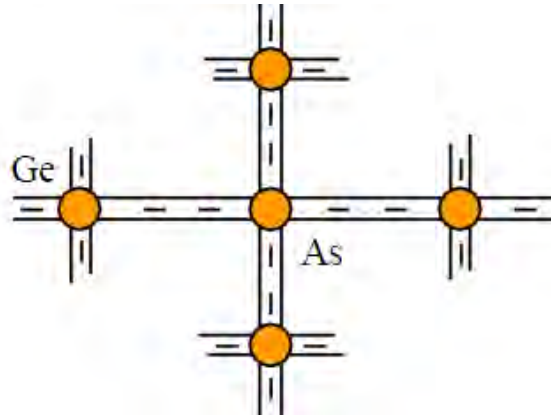
$$p = n = n_i$$

2-2

2.1.5. Εξωγενείς ημιαγωγοί

Εξωγενείς ημιαγωγοί, είναι οι ημιαγωγοί των οποίων η αγωγιμότητα οφείλεται στην ύπαρξη ξένων ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα τους. Τα άτομα αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από ατέλειες του ίδιου του κρυσταλλικού πλέγματος είτε από την ύπαρξη προσμίξεων. **Προσμίξεις** είναι η ηθελημένη προσθήκη μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων που προστίθεται σε έναν καθαρό (ενδογενή) ημιαγωγό. Έτσι, δημιουργείται πλέον ένα καινούριο υλικό που δεν είναι καθαρό. Δυο κυρίως ομάδες υλικών που δρουν ως προσμίξεις παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η μια ομάδα αποτελείται από χημικά στοιχεία που τα άτομά τους έχουν πέντε ηλεκτρόνια σθένους (πεντασθενή στοιχεία), όπως το αρσενικό (As), το αντιμόνιο (Sb) και ο φωσφόρος (P). Η δεύτερη ομάδα προσμίξεων αποτελείται από στοιχεία με τρία εξωτερικά ηλεκτρόνια (τρισθενή στοιχεία), όπως το γάλλιο (Ga), το αλουμίνιο (Al), το ίνδιο (In) και το βόριο (B). Τα άτομα της πρώτης κατηγορίας ονομάζονται δότες, διότι δίνουν στον ημιαγωγό το ένα από τα πέντε εξωτερικά τους ηλεκτρόνια, ενώ τα άτομα της δεύτερης ομάδας ονομάζονται αποδέκτες, επειδή δέχονται ένα ηλεκτρόνιο από το πλέγμα του ημιαγωγού. Στην περίπτωση που ο ημιαγωγός εμφανίζει περίσσεια ηλεκτρονίων, λέγεται ημιαγωγός **τύπου n**. Αντίθετα, όταν ο ημιαγωγός έχει περίσσεια οπών, καλείται **τύπου p**.^[40]

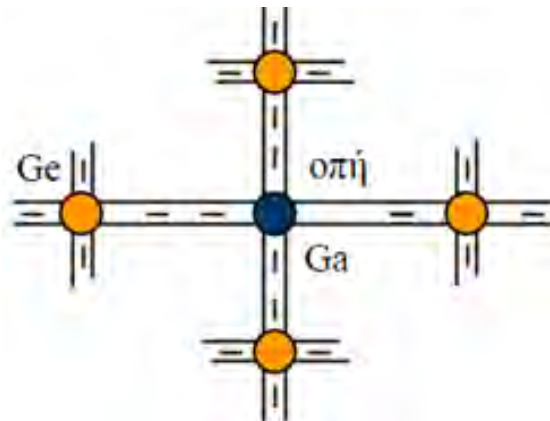
Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει έναν ενδογενή ημιαγωγό (γερμάνιο Ge), με μία πρόσθεση μικρής ποσότητας πεντασθενούς στοιχείου (Αρσενίου As).



Εικόνα 2-5. Επίπεδη συμβολική παράσταση της δομής του Ge με πρόσμιξη As^[120]

Τα τέσσερα από τα πέντε εξωτερικά ηλεκτρόνια σθένους του Αρσενίου (δότης) θα δημιουργήσουν με τα τέσσερα άτομα του γερμανίου ομοιοπολικούς δεσμούς. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο του δότη συνδέεται πολύ χαλαρά με τον πυρήνα, πράγμα που σημαίνει ότι με την προσφορά ελάχιστης ενέργειας μπορεί να απομακρυνθεί από αυτόν και να γίνει ηλεκτρόνιο αγωγιμότητας. Με την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου αυτού από τον πυρήνα του δότη, αυτός μετατρέπεται σε θετικό ιόν, το οποίο όμως, σε αντίθεση με το ηλεκτρόνιο αγωγιμότητας, είναι δέσμιο και δεν μπορεί να κινηθεί ελεύθερα. Ο κρύσταλλος του ημιαγωγού θα είναι στο σύνολό του ηλεκτρικά ουδέτερος, γιατί για κάθε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, υπάρχει ένα θετικό ιόν του δότη. Αυξάνοντας τον αριθμό των δοτών σε ένα ημιαγωγό Ge, αυξάνουμε τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μικρού ρεύματος, όταν ο ημιαγωγός βρεθεί σε ηλεκτρικό πεδίο. Οι ημιαγωγοί του τύπου αυτού καλούνται **ημιαγωγοί τύπου n**, διότι τα ηλεκτρόνια (που αποτελούν τους φορείς πλειονότητας στην περίπτωση αυτή) είναι πολύ περισσότερα στον αριθμό από τις οπές.^[120]

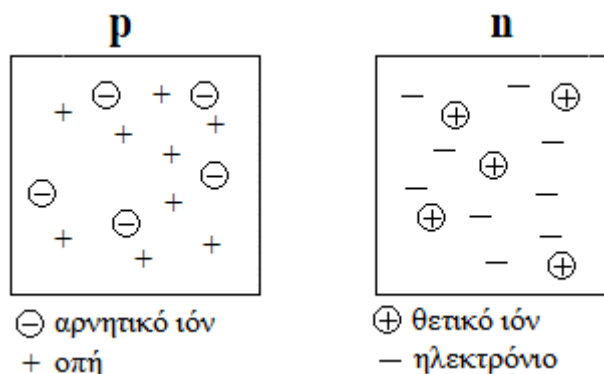
Αντίθετα, αν στο γερμάνιο προσθέσουμε ένα τρισθενές στοιχείο, π.χ. το γάλλιο, τα τρία ηλεκτρόνια σθένους του γαλλίου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς με τρία γειτονικά άτομα γερμανίου. Η έλλειψη ηλεκτρονίου στον τέταρτο δεσμό, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία οπής σε εκείνο το σημείο. Το άτομο του γαλλίου μπορεί να δεσμεύσει ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό άτομο γερμανίου και έτσι η οπή να μετατοπιστεί. Έτσι λοιπόν, κάθε άτομο βορίου προσφέρει μία οπή στο κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου, για αυτό το τρισθενές άτομο του βορίου ονομάζεται αποδέκτης. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ο εξωγενής ημιαγωγός τύπου p, στον οποίο οι οπές είναι φορείς πλειονότητας και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι φορείς μειονότητας.^{[120],[39]}



Εικόνα 2-6. Επίπεδη συμβολική παράσταση της δομής του Ge με πρόσμιξη Ga^[120]

2.1.6. Η επαφή p-n

Θεωρούμε δυο ενδογενή κομμάτια ημιαγωγού, από τα οποία έχουν προκύψει με προσμίξεις δυο τύποι ημιαγωγών: ένας τύπου p και ένας τύπου n, όπως προαναφέρθηκε. Όπως είναι γνωστό, στον ημιαγωγό τύπου p υπάρχουν οπές, ως φορείς πλειονότητας καθώς και αρνητικά ιόντα τρισθενούς στοιχείου κυρίως, ενώ στον ημιαγωγό τύπου n υπάρχουν ηλεκτρόνια (ως φορείς πλειονότητας) καθώς και θετικά ιόντα πεντασθενούς στοιχείου κυρίως. Και στους δυο ημιαγωγούς υπάρχουν βεβαίως ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων που προέρχονται από τη θραύση των δεσμών των ατόμων του καθαρού ημιαγωγού^{[120],[140]}

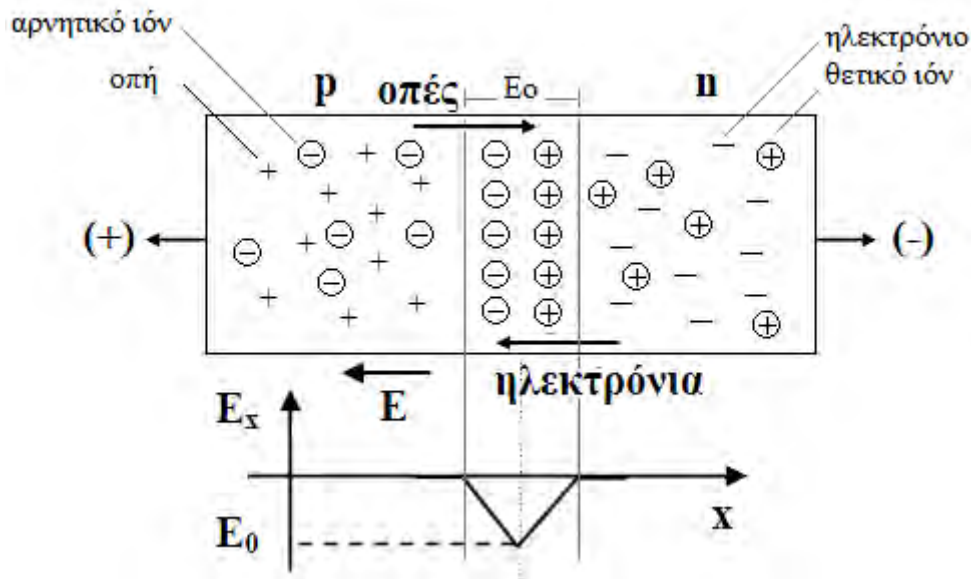


Εικόνα 2-7. Ιόντα και φορείς σε ημιαγωγούς τύπου p και n πριν έρθουν σε επαφή^[39]

Αν οι δυο αυτοί ημιαγωγοί έρθουν σε επαφή, τότε η ένωσή τους ονομάζεται **επαφή p-n** και η όλη διάταξη καλείται **δίοδος επαφής**. Διακρίνονται τρεις δυνατές λειτουργίες της επαφής p-n:

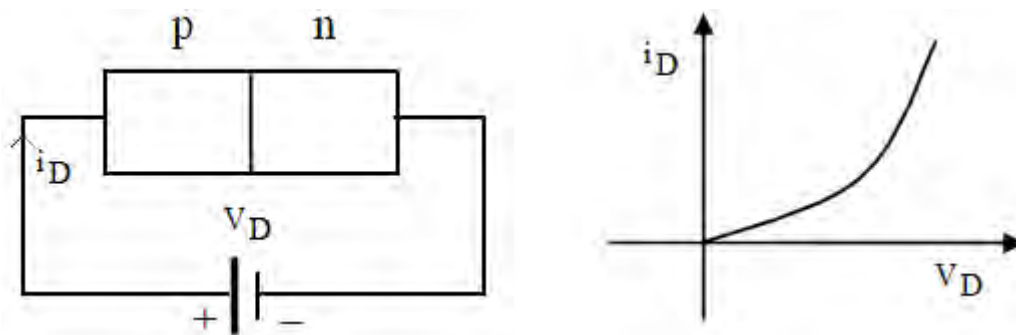
- α) ανοιχτού κυκλώματος (χωρίς εξωτερική πόλωση)
- β) με ορθή πόλωση
- γ) με ανάστροφη πόλωση

Στην περίπτωση ανοιχτού κυκλώματος, χωρίς δηλαδή εξωτερική πόλωση, στη διαχωριστική επιφάνεια της επαφής p-n παρουσιάζεται διαφορά συγκεντρώσεως, πράγμα που σημαίνει ότι ηλεκτρόνια θα διαχυθούν από τον ημιαγωγό τύπου n προς τον ημιαγωγό τύπου p όπου και θα επανασυνδεθούν με τις οπές, που είναι φορείς πλειονότητας ενώ οι οπές αντίστοιχα θα διαχυθούν από τον ημιαγωγό τύπου p προς τον ημιαγωγό n και θα επανασυνδεθούν με τα ηλεκτρόνια, που είναι φορείς πλειονότητας.^[40] Με αυτό το τρόπο σε μια περιοχή γύρω από την επαφή p-n (τάξης 1-2μm) δεν υπάρχουν ούτε ελεύθερα ηλεκτρόνια ούτε οπές. Υπό αυτή την έννοια η περιοχή καλείται **περιοχή απογύμνωσης ή ζώνη αποκοπής**.^[120] Εξ αιτίας του διαχωρισμού αυτού των φορέων, αναπτύσσεται στη ζώνη απογύμνωσης ένα εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Η ένταση του πεδίου αυτού κατευθύνεται από τη περιοχή n προς τη περιοχή p. Το φαινόμενο της διάχυσης των ηλεκτρονίων και οπών παύει, όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στη περιοχή αυτή αποκτήσει μια συγκεκριμένη τιμή.^[120]



Εικόνα 2-8. Επαφή p-n χωρίς εξωτερική πόλωση^[120]

Στην περίπτωση ορθής πόλωσης της επαφής p-n, τα άκρα της συνδέονται με μια πηγή συνεχούς ρεύματος V_D , έτσι ώστε ο θετικός πόλος της να συνδεθεί με το τμήμα p και ο αρνητικός πόλος της με το τμήμα n. Στην περίπτωση της ορθής πόλωσης, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται εύκολα από τον ημιαγωγό n στον p, ενώ και οι οπές αντίστοιχα, κινούνται από τον ημιαγωγό p προς τον n. Προκύπτει έτσι τη δημιουργία ενός ρεύματος i_D στην επαφή, το οποίο αυξάνει όσο αυξάνει η εφαρμοζόμενη τάση σε αυτή. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η επαφή p-n στην ορθή πόλωση και τη μορφή του ρεύματός της συναρτήσει της τάσης στα άκρα της.^[120]



Εικόνα 2-9. Επαφή p-n στην ορθή πόλωση και μορφή του ρεύματός της συναρτήσει της τάσης στα άκρα της^[120]

Η τιμή του ρεύματος που διαρρέει την επαφή p-n στην ορθή πόλωση δίνεται από τη σχέση:^[40]

$$i_D = I_s \left[e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right] \quad 2-3$$

όπου:

I_s = ανάστροφο ρεύμα κόρου της επαφής p-n

q = φορτίο ηλεκτρονίου ($1,60 \times 10^{-19}$ C)

V_D = εφαρμοζόμενη εξωτερική τάση

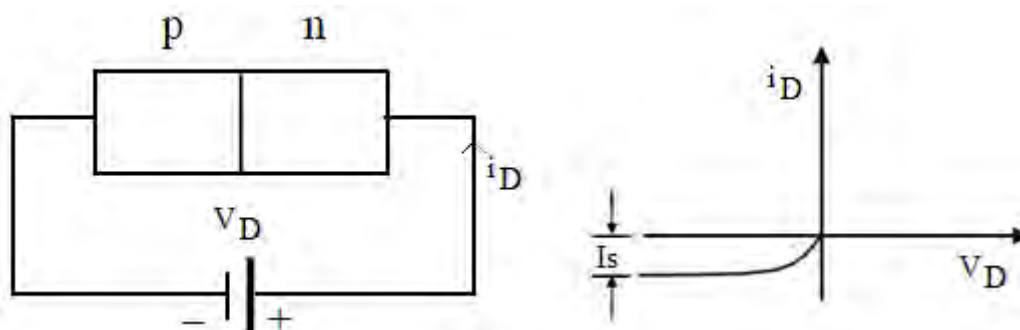
n = σταθερά απόκλισης ($n=1$ για Si και $n=2$ για Ge)

k = σταθερά Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = απόλυτος θερμοκρασία σε K

Αν τα άκρα της επαφής συνδεθούν με πηγή συνεχούς ρεύματος, έτσι ώστε ο θετικός πόλος της να συνδεθεί με το τμήμα n και ο αρνητικός πόλος της με το τμήμα p τότε θεωρούμε ότι η επαφή είναι **πολωμένη ανάστροφα**. Το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο E_0 στην κατάσταση ισορροπίας που υπήρχε στην επαφή αυξάνει κατά το εφαρμοζόμενο εξωτερικό πεδίο ($E_0 + E_{εξ}$). Έτσι, οι οπές του τμήματος p έλκονται από τον αρνητικό πόλο της πηγής, ενώ τα ηλεκτρόνια του τμήματος n από τον θετικό πόλο συνέπεια την αύξηση του εύρους της περιοχής απογύμνωσης. Η διάχυση των οπών από το τμήμα p προς το n και η διάχυση των ηλεκτρονίων προς την αντίθετη κατεύθυνση τώρα εμποδίζεται. Ένας μικρός μόνο αριθμός φορέων μειονότητας κινείται (οπές από το n στο p και ηλεκτρόνια από το p στο n) σε αντίθετες κατευθύνσεις, γεγονός που συμβαίνει λόγω του μικρού αριθμού θερμικών διασπάσεων στο κρυσταλλικό πλέγμα.^{[120],[40]} Κατά την ανάστροφη πόλωση, ο εκθετικός όρος της σχέσης του ρεύματος είναι πολύ μικρότερος από τη μονάδα (αμελητέος) και το ρεύμα διόδου i_D θα είναι περίπου ίσο με $-I_S$. Το ρεύμα αυτό καλείται **ανάστροφο ρεύμα διαρροής**. Ισχύει δηλαδή:^[40]

$$i_D \approx -I_S \quad 2-4$$

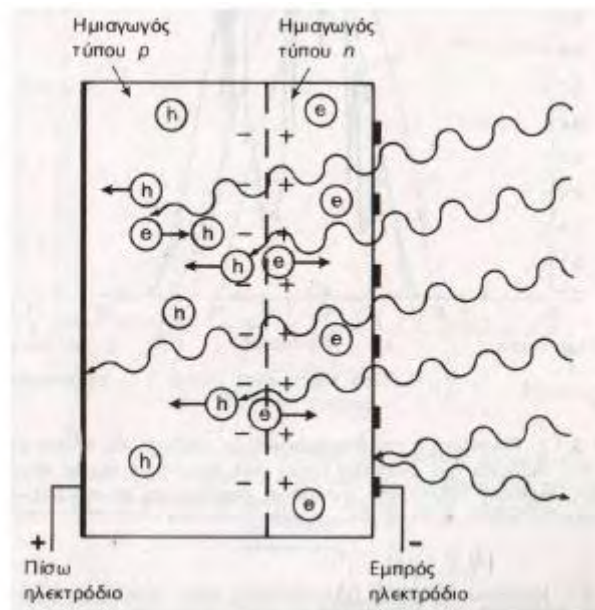


Εικόνα 2-10. Επαφή p-n στην ανάστροφη πόλωση και μορφή του ρεύματός της συναρτήσει της τάσης στα άκρα της^[120]

2.2. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Όταν σε μια δίοδο επαφής προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία, κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο λοιπόν προσπίπτει ακτινοβολία στην επαφή αυτή, δημιουργείται μια περίσσεια από ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη αυτά βρεθούν στη περιοχή της επαφής των ημιαγωγών p και n, έχουμε μια εκτροπή των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό n και μια εκτροπή των οπών προς τον ημιαγωγό p.^[35]

Δημιουργείται δηλαδή μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών της επαφής p-n, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωσή της και η οποία διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό καλείται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**. Η διάταξη αυτή μπορεί να λειτουργεί σαν πηγή ρεύματος και λέγεται **φωτοβολταϊκό στοιχείο** (αναλύεται στην επόμενη παράγραφο). Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φ/β στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου.^{[35],[36]}



Εικόνα 2-11. Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου^{[35],[35]}

Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από ένα τέτοιο στοιχείο μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου καλείται **φωτόρρευμα**. Το φωτόρρευμα " I_{ph} " δίνεται από τη παρακάτω σχέση:^{[35],[36]}

$$I_{ph} = q \cdot g \cdot (L_n + L_p) \quad 2-5$$

Όπου:

q = φορτίο ηλεκτρονίου ($1,60 \times 10^{-19}$ C)

g = ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων από τα φωτόνια της ακτινοβολίας

L_n, L_p = μέσα διάχυσης οπών και των ηλεκτρονίων αντίστοιχα

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι είναι αδύνατη η μετατροπή όλης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε ηλιακή ενέργεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται από την επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται προς την ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, από την ακτινοβολία που διεισδύει στο φ/β στοιχείο, δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο το οποίο αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα E_g της επαφής.^{[35],[36]} Η ενέργεια E ενός φωτονίου συνδέεται με τη συχνότητα ν της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και το μήκος κύματός της λ με τις σχέσεις:^[35]

$$E = h \cdot \nu = (h \cdot c) / \lambda \quad 2-6$$

όπου:

h = σταθερά του Planck ($6,3 \times 10^{-34}$ J sec)

c = ταχύτητα του φωτός (3×10^8 m/sec)

λ = μήκος κύματος ακτινοβολίας (σε μm)

Φωτόνια με ενέργεια E , μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού παρά το γεγονός ότι δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών δεν συμβάλουν στη παραγωγή φωτορεύματος, μιας και η περίσσεια ενέργειας $E - E_g$ συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του ημιαγωγού. Από την άλλη, η αύξηση της θερμοκρασίας του φ/β στοιχείου επιδρά αρνητικά στην απόδοσή του. Τελικά μόνο τα

φωτόνια με ενέργεια $E=h \cdot \nu$ ίση με το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού συμβάλλουν στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.^{[35],[36]}

Αν στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού, προσπίπτει ακτινοβολία από φωτόνια έντασης $h \cdot \nu$ με πυκνότητα ισχύος H (ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας), τότε το πλήθος φωτονίων ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου καλείται **ροή φωτονίων Φ** και δίνεται από τη σχέση:^[35]

$$\Phi = \frac{H}{h \cdot \nu} = \frac{H \cdot \lambda}{h \cdot c} \quad 2-7$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι για σταθερή πυκνότητας ισχύος H , η ροή Φ είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ενέργεια των φωτονίων και ανάλογη του μήκους κύματος λ .^[35]

Ένα ακόμα χρήσιμο μέγεθος για τον υπολογισμό του φωτορεύματος είναι η **φασματική απόκριση S** . Η φασματική απόκριση ορίζεται ως το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φ/β στοιχείου σε σχέση με τη ροή φωτονίων Φ . Με άλλα λόγια, η φασματική απόκριση S εκφράζει το πλήθος φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το φ/β στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου. Για ακτινοβολία μήκους κύματος λ , η φασματική απόκριση $S(\lambda)$ θα είναι:^[35]

$$S(\lambda) = \frac{I_{ph}}{q \cdot \Phi(\lambda)} \quad 2-8$$

Όπου:

q = φορτίο ηλεκτρονίου ($1,60 \times 10^{-19}$ C)

I_{ph} = φωτόρευμα

$\Phi(\lambda)$ = πλήθος φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ έως $(\lambda+d\lambda)$

Συνεπώς, το συνολικό φωτόρευμα του στοιχείου όταν δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία θα είναι:^[35]

$$I_{ph} = q \cdot \int_0^\lambda S(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot d\lambda \quad 2-9$$

Επειδή αναφέρθηκε προηγουμένως ότι ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του φ/β στοιχείου, η παραπάνω σχέση γράφεται ως:^[35]

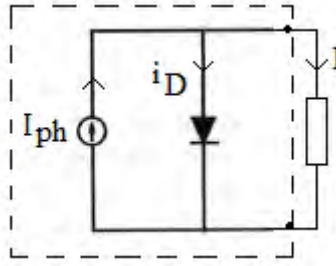
$$I_{ph} = q \cdot \int_0^\lambda S(\lambda) \cdot [1 - R(\lambda)] \cdot \Phi(\lambda) \cdot d\lambda \quad 2-10$$

Όπου:

$R(\lambda)$ = ο δείκτης ανάκλασης για την ακτινοβολία μήκους κύματος λ

2.3. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο

Προκειμένου να μελετηθούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φ/β στοιχείου που δέχεται σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, θεωρείται ότι αυτό αποτελείται από μια πραγματική δίοδο, παράλληλα συνδεδεμένη με μία ιδανική πηγή ρεύματος όπως παρουσιάζει η επόμενη εικόνα. Η ιδανική πηγή ρεύματος δίνει ρεύμα (φωτόρευμα) ανάλογο της ηλιακής έντασης στην οποία εκτίθεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο.^{[35],[36]}



Εικόνα 2-12. Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου^{[35],[36],[34]}

Από την εφαρμογή των νόμων του Kirchhoff στο απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα του φ/β στοιχείου ισχύει ότι:^[39]

$$I_{ph} = i_D + I \quad 2-11$$

από τη σχέση 2-3, για:

$$i_D = I_s \left[e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right]$$

προκύπτει ότι το συνολικό ρεύμα I που μπορεί να αποδώσει το φ/β στοιχείο θα είναι:^{[35],[39]}

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right] \quad 2-12$$

Διακρίνονται δυο ακραίες συνθήκες λειτουργίας του φ/β στοιχείου: α) η **κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος** και β) η **κατάσταση βραχυκυκλώσεως**. Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος, τα άκρα του φ/β στοιχείου είναι ανοιχτά και το συνολικό ρεύμα I θα είναι ίσο με μηδέν, πράγμα που σημαίνει ότι όλο το φωτόρευμα θα ρέει μέσω της διόδου. Η τάση στα άκρα του στοιχείου ονομάζεται **τάση ανοιχτού κυκλώματος** V_{oc} . Στην ακραία αυτή κατάσταση ισχύουν:^{[39],[35],[36]}

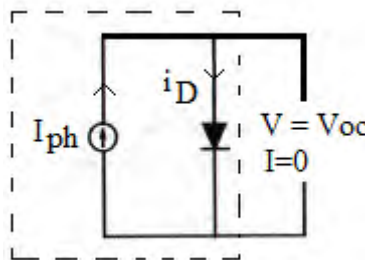
$$I = 0 \quad 2-13$$

$$I_{ph} = i_D \quad 2-14$$

$$V = V_{oc} \quad 2-15$$

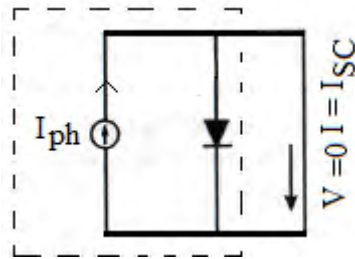
Από τη σχέση 2-12 προκύπτει ότι:^{[35], [34]}

$$\begin{aligned} 0 &= I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{qV_{oc}}{nkT}} - 1 \right] \Rightarrow \\ I_{ph} &= I_s \left[e^{\frac{qV_{oc}}{nkT}} - 1 \right] \Rightarrow \frac{I_{ph}}{I_s} = e^{\frac{qV_{oc}}{nkT}} - 1 \Rightarrow \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 = e^{\frac{qV_{oc}}{nkT}} \Rightarrow \\ \frac{qV_{oc}}{nkT} &= \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \Rightarrow V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \end{aligned} \quad 2-16$$



Εικόνα 2-13. Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου στην κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος^{[35], [34]}

Στη δεύτερη ακραία συνθήκη λειτουργίας του φ/β στοιχείου θεωρείται ότι τα άκρα της επαφής βραχυκυκλώνονται.



Εικόνα 2-14. Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου στην κατάσταση βραχυκυκλώματος^[35],^[34]

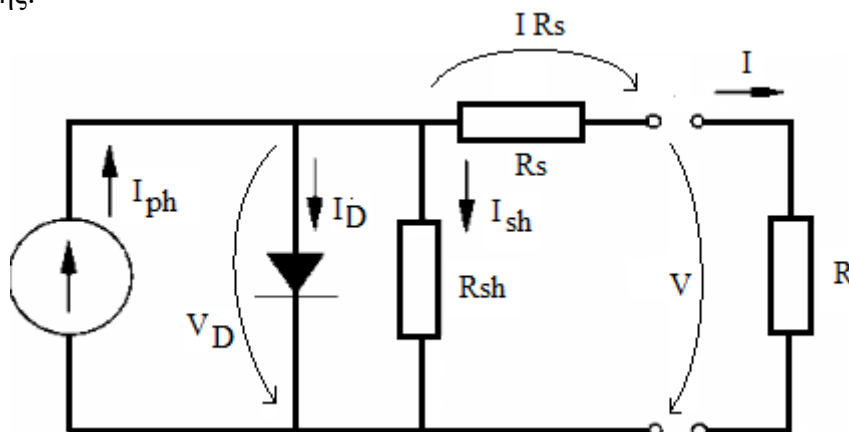
Στην περίπτωση αυτή δεν διαρρέει ρεύμα τη δίοδο ($i_D=0$) και όλο το ρεύμα I που διαρρέει το βραχυκύκλωμα είναι ίσο με το φωτόρευμα ($I=I_{ph}=I_{sc}$). Το ρεύμα αυτό ονομάζεται **ρεύμα βραχυκύκλωσης** I_{sc} . Στην ακραία αυτή κατάσταση ισχύουν:^{[39],[35],[36]}

$$V = 0 \quad 2-17$$

$$i_D = 0 \quad 2-18$$

$$I_{sc} = I_{ph} \quad 2-19$$

Το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα του φ/β στοιχείου που περιγράφηκε προηγουμένως αφορά ιδανικές συνθήκες λειτουργίας. Παρόλο που σε γενικές γραμμές το ισοδύναμο αυτό κύκλωμα προσεγγίζει ικανοποιητικά τη λειτουργία του φ/β στοιχείου, υπάρχει η ανάγκη για ένα ακριβέστερο ισοδύναμο κύκλωμα, προκειμένου να μπορούν να μοντελοποιηθούν ρεαλιστικά προβλήματα όπως αυτό της σκίασης του φ/β στοιχείου. Στη πραγματικότητα, το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου περιλαμβάνει δυο ακόμα αντιστάσεις: α) τη **σειριακή αντίσταση** R_s που αφορά τις αντιστάσεις κατά το πέρασμα του ρεύματος μέσα από τη δίοδο και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια και β) την **αντίσταση διαρροής** R_{sh} , η οποία συνδέεται παράλληλα στην δίοδο επαφής και αφορά τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής.^{[35],[39]}



Εικόνα 2-15. Ακριβέστερο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φ/β στοιχείου^{[39],[35],[36],[54]}

Η εξίσωση που δίνει το συνολικό ρεύμα I που δίνει το φ/β στοιχείο τροποποιείται και γίνεται:^[39]

$$I = I_{ph} - i_D - I_{sh} \quad 2-20$$

Για:^[39]

$$V_D = V + IR_s \quad 2-21$$

και

$$i_D = I_s \left[e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right]$$

προκύπτει ότι το συνολικό ρεύμα που αποδίδει το φ/β στοιχείο είναι:^[39]

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V_D}{R_{sh}} \Rightarrow$$

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad 2-21$$

Και στην περίπτωση αυτή διακρίνονται δυο ακραίες συνθήκες λειτουργίας: α) η κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος και β) η κατάσταση βραχυκυκλώσεως.

Κατά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων χωρίς φορτίο ισχύει ότι $V=V_{oc}$ και $I=0$. Οπότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

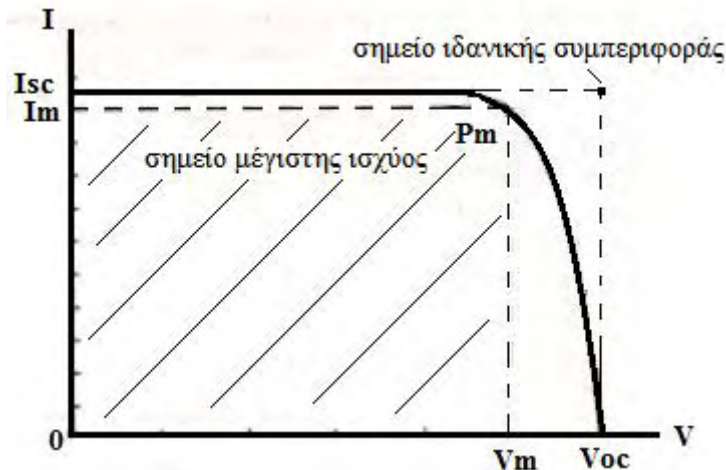
$$0 = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{qV_{oc}}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad 2-22$$

Σε συνθήκες βραχυκύκλωσης του στοιχείου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} είναι ίσο με το ολικό ρεύμα I και η τάση V στα άκρα του γίνεται ίση με 0. Η σχέση 2-21 γίνεται:

$$I_{sc} = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{qI_{sc}R_s}{nkT}} - 1 \right] - \frac{I_{sc}R_s}{R_{sh}} \quad 2-23$$

2.3.1. Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου

Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η καμπύλη εκείνη που περιγράφει πως μεταβάλλεται η τάση του στοιχείου σε συνάρτηση με το ρεύμα που μπορεί να προσφέρει σε ένα φορτίο σε συνθήκες σταθερής ηλιακής ακτινοβολίας. Μια τέτοια τυπική καμπύλη απεικονίζει η επόμενη εικόνα. Όταν το φ/β στοιχείο είναι βραχυκυκλωμένο ($V=0$) η ένταση του ρεύματος μεγιστοποιείται στη τιμή I_{sc} . Αντίθετα, όταν το φ/β στοιχείο είναι ανοιχτό, ($I=0$) τότε η τάση παίρνει τη μέγιστη τιμή της, V_{oc} .^{[39],[35],[35]}



Εικόνα 2-16. Χαρακτηριστική καμπύλη φ/β στοιχείου^{[33],[35]}

Υπάρχει ένα ζεύγος τιμών τάσης και έντασης (V_m , I_m), όπου το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μέσα στην χαρακτηριστική καμπύλη V-I του στοιχείου, μεγιστοποιείται. Το εμβαδόν $V_m \times I_m$ του ορθογωνίου είναι ίσο με τη **μέγιστη ισχύ** P_{max} που μπορεί να αποδώσει το φ/β στοιχείο. Το ορθογώνιο με πλευρές V_{oc} και I_{sc} περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του φ/β στοιχείου. Ορίζεται ως **συντελεστής πλήρωσης FF** του φ/β στοιχείου το πηλίκο:^{[39],[35],[35]}

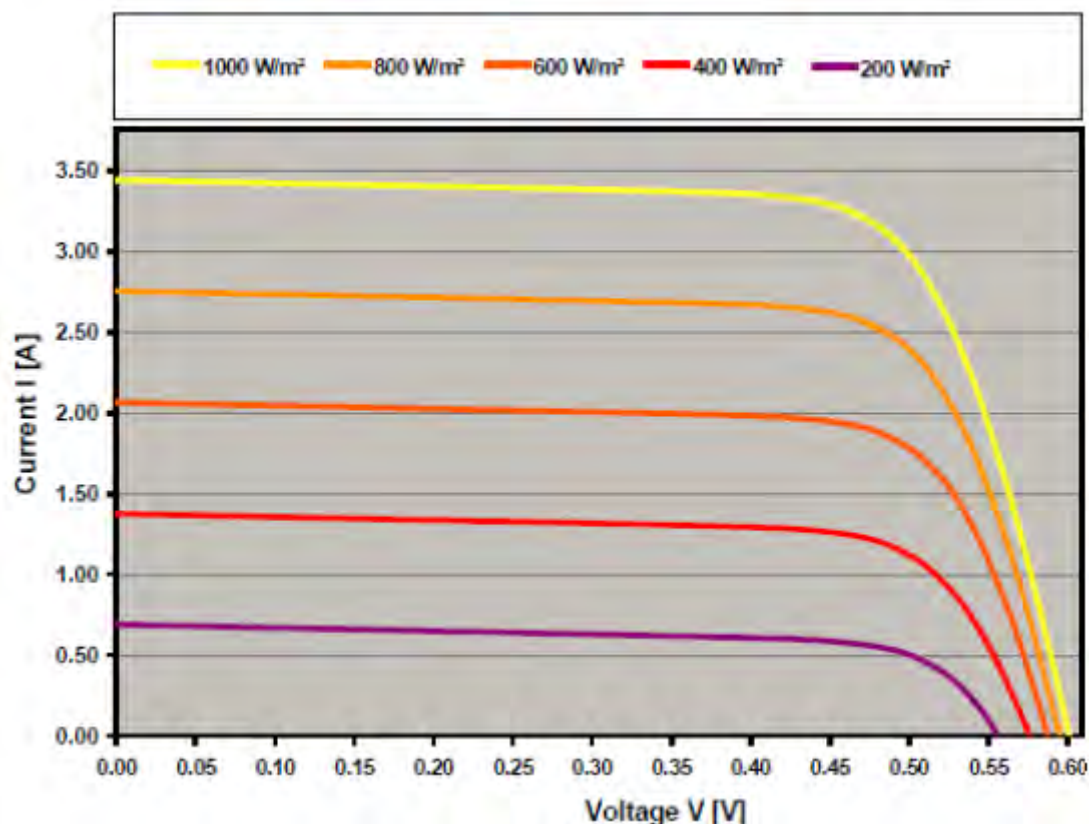
$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad 2-24$$

Όπου:

I_m = ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος
 V_m = τάση φ/β στοιχείου στο σημείο μέγιστης ισχύος
 I_{sc} = ρεύμα βραχυκύκλωσης φ/β στοιχείου
 V_{oc} = τάση ανοικτού κυκλώματος φ/β στοιχείου

Η τιμή του συντελεστή πλήρωσης κυμαίνεται από 0 μέχρι 1 και χαρακτηρίζει την ενεργειακή απόδοση του φ/β στοιχείου. Όσο το σημείο μέγιστης ισχύος πλησιάζει το σημείο ιδανικής συμπεριφοράς, τόσο αποδίδεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φ/β στοιχείο.^{[39],[35],[35]}

Η χαρακτηριστική καμπύλη του φ/β στοιχείου ισχύει σε συνθήκες σταθερής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει τη μεταβολή της χαρακτηριστικής καμπύλης για διαφορετικές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας.

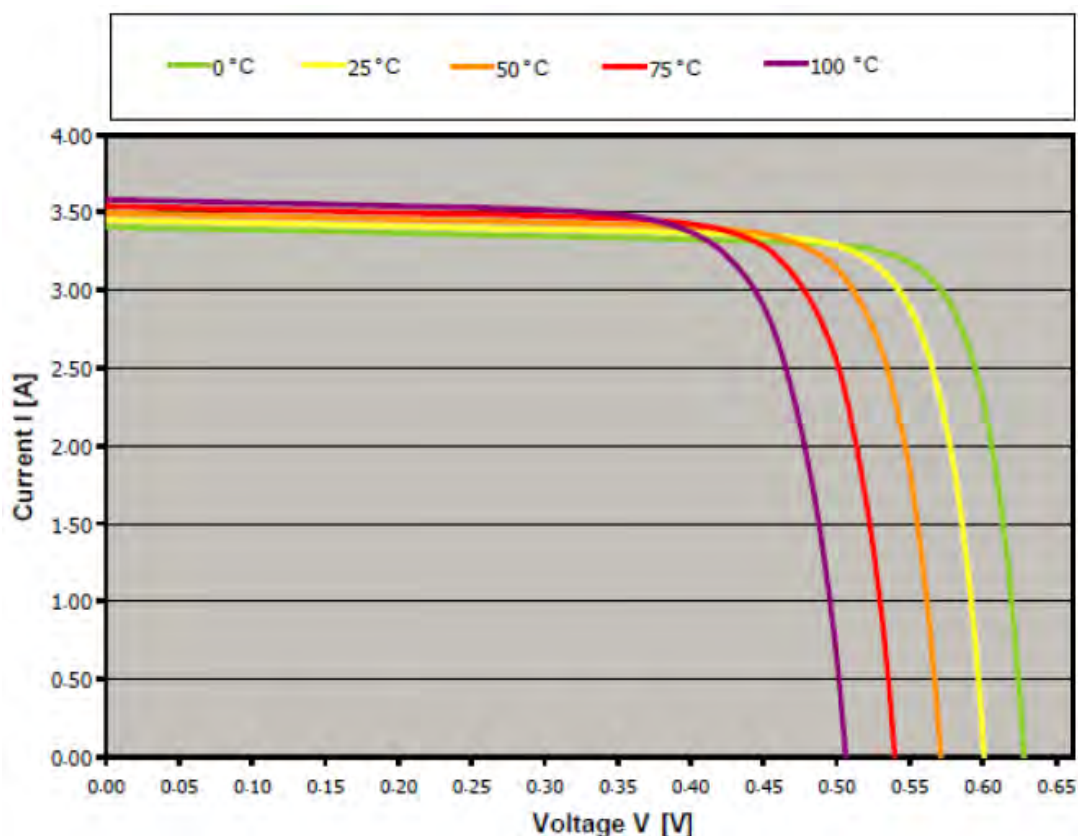


Εικόνα 2-17. Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στις χαρακτηριστικές καμπύλες V-I^[54]

Από την εικόνα αυτή προκύπτει ότι καθώς μειώνεται η ηλιακή ένταση, το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται αναλογικά. Η μείωση της ηλιακής έντασης επίσης μειώνει

και την τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC} αλλά αυτή η μείωση ακολουθεί λογαριθμική σχέση που προκαλεί σχετικά μικρές αλλαγές στην V_{OC} .^[39]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει τη μεταβολή της χαρακτηριστικής καμπύλης όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Όπως φαίνεται από την εικόνα αυτή, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του φ/β στοιχείου, η τάση ανοικτού κυκλώματος μειώνεται σημαντικά ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνεται μόνο λίγο.^[39]



Εικόνα 2-18. Επίδραση της θερμοκρασίας στις χαρακτηριστικές καμπύλες V-I^[54]

2.3.2. Βαθμός απόδοσης - ισχύ αιχμής φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ορίζεται ως **βαθμός απόδοσης "η"** ενός φ/β στοιχείου το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύς P_m , προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία P_{HA} σε αυτό. Δηλαδή:^[35]

$$\eta = \frac{P_m}{P_{AH}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{AH}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{AH}} \quad 2-25$$

Όπου:

P_m = μέγιστη ισχύς φ/β στοιχείου [W]

P_{AH} = ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας [W]

I_m = ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος [52]

V_m = τάση φ/β στοιχείου στο σημείο μέγιστης ισχύος [V]

FF = συντελεστής πλήρωσης

I_{sc} = ρεύμα βραχυκύκλωσης φ/β στοιχείου [52]

V_{oc} = τάση ανοικτού κυκλώματος φ/β στοιχείου [V]

Αν θεωρηθεί ότι η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας ισούται με H και A είναι η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η προηγούμενη σχέση γράφεται ως:^[35]

$$\eta = \frac{P_m}{P_{AH}} = \frac{I_m \cdot V_m}{H \cdot A} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{H \cdot A} \quad 2-26$$

Ορίζεται ως **ισχύς αιχμής "Pmpp"** ενός φ/β στοιχείου, η μέγιστη ισχύ που αποδίδεται από αυτό, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC (Standard Test Conditions). Οι συνθήκες αυτές είναι:^[35]

- α) θερμοκρασία φ/β στοιχείου ίση με $25^\circ C \pm 2^\circ C$.
- β) ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P_{stc} = 1kW/m^2$ και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα ίση με 1,5.
- γ) κάθετη πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Οι πρότυπες αυτές συνθήκες ελέγχου έχουν καθιερωθεί, προκειμένου να γίνεται δίκαιη σύγκριση μεταξύ των φ/β στοιχείων.^[39]

2.4. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Η τάση που αναπτύσσεται σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία είναι έως και 0,5V και η ισχύ του δεν ξεπερνά τα 0,4W. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μικρές για να τροφοδοτήσουν τις συνηθισμένες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Πολλά φ/β στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά για να αυξηθεί η τάση. Επίσης, πολλά φ/β στοιχεία μπορούν να συνδεθούν παράλληλα για να αυξηθεί η ένταση του ρεύματος. Ένα τέτοιο σύνολο φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ή και παράλληλα αποτελεί το **φωτοβολταϊκό πλαίσιο**. Μία σημαντική παράμετρος στη σχεδίαση των φ/β πλαισίων είναι η απόφαση για το πλήθος των φ/β στοιχείων που θα πρέπει να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα για να παραχθεί η απαιτούμενη ενέργεια.^{[36],[39]}

Κατά τη σύνδεση N όμοιων φ/β στοιχείων σε σειρά, ισχύουν οι αντίστοιχοι κανόνες συνδεσμολογίας ηλεκτρικών πηγών.^[36]

- 1) Η ολική τάση ανοιχτού κυκλώματος του φ/β πλαισίου $V_{oc\pi}$ θα ισούται με:^[36]

$$V_{oc\pi} = N \cdot V_{oc} \quad 2-27$$

Όπου:

N : το πλήθος των όμοιων φ/β στοιχείων που αποτελείται το φ/β πλαίσιο

V_{oc} : τάση ανοιχτού κυκλώματος του ενός φ/β στοιχείου

- 2) Το ολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης του πλαισίου $I_{sc\pi}$ θα ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ενός φ/β στοιχείου I_{sc} . Δηλαδή:^[36]

$$I_{sc\pi} = I_{sc} \quad 2-28$$

Επιπλέον, κατά την παράλληλη σύνδεση N όμοιων φ/β στοιχείων, ισχύουν ότι:

1) Η ολική τάση ανοιχτού κυκλώματος του φ/β πλαισίου $V_{oc\pi}$ θα ισούται με την τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} του ενός φ/β στοιχείου:

$$V_{oc\pi} = V_{oc} \quad 2-29$$

2) Το ολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης του πλαισίου $I_{sc\pi}$ θα ισούται με το άθροισμα του ρεύματος βραχυκύκλωσης των N φ/β στοιχείων. Δηλαδή:

$$I_{sc\pi} = N \cdot I_{sc} \quad 2-30$$

Η έννοια της ισχύος αιχμής, όπως ορίστηκε για το φ/β στοιχείο, ισχύει και για το φ/β πλαίσιο. Έτσι, η **ισχύς αιχμής ενός πλαισίου** $P_{p\pi}$ αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC, όταν δηλαδή το φ/β πλαίσιο δεχτεί κάθετα ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα 1kW/m^2 και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα ίση με 1,5 σε θερμοκρασία $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Η ισχύς αιχμής πλαισίου αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του και με βάση την ισχύ αυτή γίνεται η αναζήτησή στους στο εμπόριο, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.^{[35],[36]}

Ορίζεται ως **βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου** η_π ο λόγος της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύς του φ/β πλαισίου $P_{m\pi}$, προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} που δέχεται στην επιφάνειά του. Δηλαδή:^{[35],[36]}

$$\eta_\pi = \frac{P_{m\pi}}{P_{AH}} \quad 2-29$$

Σε περίπτωση που η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας $[\text{W/m}^2]$, τότε η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται επί την επιφάνεια του πλαισίου $S_\pi [\text{m}^2]$.^[36]

Ο βαθμός απόδοσης ενός φ/β πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC υπολογίζεται από τη σχέση:^[36]

$$\eta_{STC\pi} = \frac{P_{p\pi}/P_{STC}}{S_\pi} \quad 2-30$$

Όπου:

$P_{p\pi}$ = ισχύς αιχμής του πλαισίου

P_{STC} = ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC και ισούται με $1000\text{W/m}^2 = 1\text{kW/m}^2$

S_π = επιφάνεια του φ/β πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης του φ/β πλαισίου επηρεάζεται από τέσσερεις κυρίως παράγοντες:^[35]

α) Γήρανση. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής του. Παρόλα αυτά οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν εγγυήσεις που καθορίζουν το μέγιστο ποσοστό μείωσης της απόδοσης των φ/β πλαισίων τους, μετά από 20 ή 25 χρόνια λειτουργίας. Πιο συχνή εγγύηση είναι ότι η απόδοση ενός φ/β πλαισίου θα είναι ίση τουλάχιστον με το

85% της αρχικής απόδοσης του μετά από 25 χρόνια λειτουργίας. Για τους λόγους αυτούς λαμβάνεται συντελεστή γήρανσης $\sigma_\gamma=0,9$.^{[36],[41]}

β) Ρύπανση. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω ρύπανσης της επιφάνειάς του από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, αλατιού, ακαθαρσιών, αιθάλης κ.α.. Για το λόγο αυτό λαμβάνεται συντελεστής ρύπανσης σ_ρ σύμφωνα με τις ακόλουθες τιμές:^[36]

- $\sigma_\rho = 0,95$ για πλαίσια που καθαρίζονται συχνά
- $\sigma_\rho = 0,90$ για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα
- $\sigma_\rho = 0,80$ για πλαίσια που οριζόντια και ακαθάριστα

γ) Δίοδος αντεπιστροφής. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω της διόδου αντεπιστροφής που συνδέεται σε ένα φ/β πλαίσιο, η οποία εμποδίζει την εκφόρτιση του συσσωρευτή της εγκατάστασης (εφόσον πρόκειται για εγκατάσταση που διαθέτει συσσωρευτές για αποθήκευση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας), όταν το πλαίσιο δεν φωτίζεται. Για το λόγο αυτό λαμβάνεται συντελεστή διόδου $\sigma_\delta=0,99$.^[36]

δ) Θερμοκρασία. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω αύξησης της θερμοκρασίας λειτουργίας του πέραν της ονομαστικής που ορίζουν οι πρότυπες συνθήκες STC ($25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$). Η μείωση της απόδοσης καθορίζεται από τον συντελεστή θερμοκρασίας των φ/β πλαισίων που αναφέρεται στις τεχνικές προδιαγραφές του κάθε κατασκευαστή. Ο συντελεστής θερμοκρασίας προκύπτει σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:^{[36],[41]}

$$\sigma_\theta = 1 - [(t_a + 30) - 25] \cdot 0,004 \quad 2-31$$

Όπου:

t_a = μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα [$^\circ\text{C}$] και δίνεται από τους παρακάτω πίνακες

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-1 ^[36]												
Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα t_a σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας ($^\circ\text{C}$)												
Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Ελληνικό)	10,3	10,6	12,3	16,0	20,7	25,4	28,1	28,0	24,3	19,6	15,4	12,0
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	10,3	10,6	12,3	16,0	20,7	25,4	28,1	28,0	24,3	19,6	15,4	12,0
Αγρίνιο	8,3	9,2	11,5	15,2	20,4	24,8	27,2	27,0	23,0	18,0	13,2	9,6
Αγχίαλος	6,6	7,7	10,0	14,3	19,6	24,6	26,9	26,3	22,2	17,0	12,1	8,1
Αλεξανδρούπολη	5,0	5,9	8,3	13,2	18,4	23,2	25,9	25,6	21,1	15,7	10,8	7,0
Αλιάρτος	7,1	8,2	10,6	15,2	20,6	25,7	27,2	26,2	22,6	16,9	12,0	8,6
Ανδραβίδα	9,4	9,9	11,8	14,8	19,5	23,7	25,9	26,0	22,9	18,3	14,1	10,9
Αραξος	10,2	10,5	12,2	15,2	19,8	24,1	26,6	26,8	23,4	19,0	14,7	11,6
Αργος (Πυργέλα)	8,1	8,4	10,6	14,7	20,0	24,9	27,3	26,5	22,6	17,8	12,9	9,5
Αργοστόλι	11,4	11,5	12,8	15,3	19,5	23,5	25,7	26,1	23,4	19,8	15,8	12,8
Άρτα	8,0	9,0	11,5	14,6	19,6	23,6	25,7	25,6	22,0	17,8	12,5	9,1
Δράμα	4,7	6,5	10,0	14,7	20,2	24,7	26,7	25,9	22,3	16,4	9,9	6,0
Έδεσσα	4,5	6,2	9,6	13,4	18,6	23,8	25,2	24,5	20,7	15,6	9,4	5,8
Ζάκυνθος	10,5	10,5	11,8	14,8	19,7	24,3	27,2	27,1	23,6	19,1	14,8	11,7
Ηράκλειο	12,1	12,2	13,5	16,5	20,3	24,4	26,2	26,1	23,6	20,1	16,7	13,7
Θεσσαλονίκη	5,3	6,8	9,8	14,3	19,7	24,5	26,8	26,2	21,9	16,3	11,1	6,9

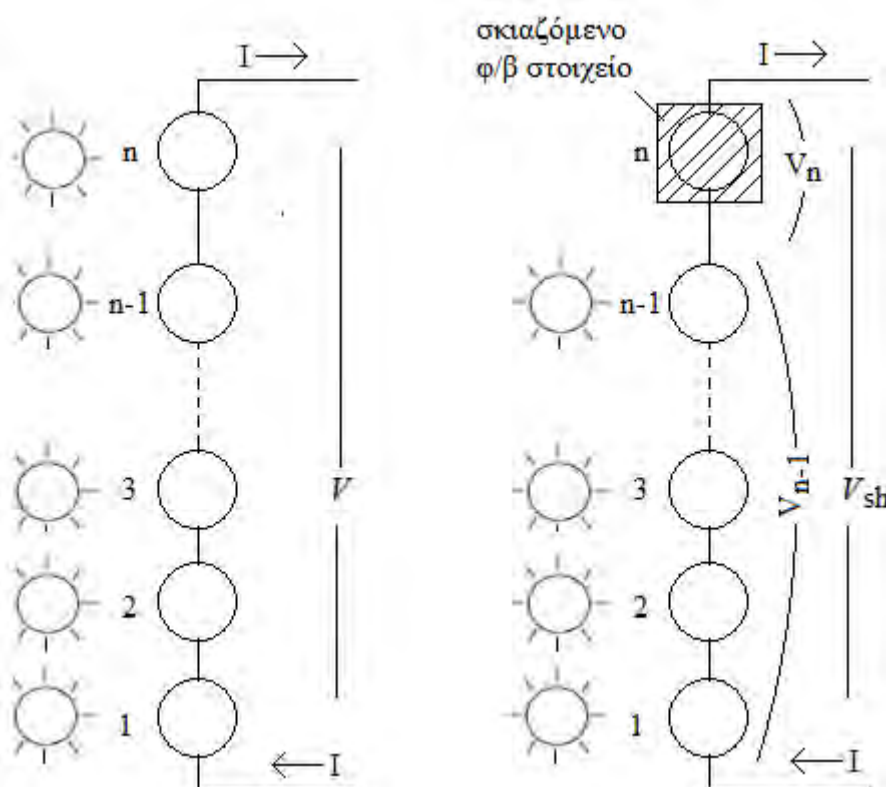
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-2 ^[36]												
Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα t _a σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας (°C)												
Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ιεράπετρα	12,9	12,9	14,2	17,0	20,9	25,4	27,8	27,7	24,9	21,0	17,5	14,5
Ιωάννινα	4,7	6,0	8,8	12,4	17,5	22,0	24,9	24,5	20,1	15,0	9,7	5,8
Καλαμάτα	10,2	10,6	12,3	15,2	19,8	24,2	26,5	26,3	23,2	19,0	14,8	11,6
Καρδίτσα	4,5	6,9	10,4	13,9	18,0	24,2	26,3	25,6	22,1	16,1	10,1	4,3
Καρπενήσι	3,8	3,1	5,4	10,6	14,7	18,9	21,6	20,9	17,6	12,4	6,8	4,8
Κάρυστος	10,4	10,3	12,4	15,7	19,5	24,2	26,8	26,4	23,6	19,4	14,9	11,7
Καστοριά	2,2	3,4	6,9	11,5	16,4	21,4	24,0	23,2	18,9	13,4	7,2	3,0
Κέρκυρα	9,7	10,3	12,0	15,0	19,8	24,0	26,5	26,5	22,7	18,5	14,3	11,1
Κοζάνη	2,3	3,7	6,9	11,6	16,8	21,5	24,1	23,6	19,3	13,5	8,0	3,9
Κομοτηνή	4,8	6,2	8,6	13,1	18,4	23,0	25,5	25,0	20,6	15,2	10,8	7,0
Κόνιτσα	5,2	6,5	9,5	12,2	17,2	21,7	24,4	24,0	20,3	15,4	9,8	6,4
Κόρινθος (Βέλο)	8,8	9,3	11,5	15,4	20,7	25,8	28,3	27,8	23,4	18,6	13,4	10,1
Κύθηρα	10,9	10,9	11,9	14,6	18,9	23,2	25,7	25,7	22,9	19,1	15,8	12,7
Κως	11,0	10,5	12,1	15,4	19,5	23,8	25,9	25,4	23,2	19,4	15,0	12,4
Λαμία	7,1	8,1	10,7	15,0	20,2	25,4	27,0	26,0	22,5	17,0	11,9	8,2
Λάρισα	5,2	6,8	9,5	14,0	19,7	25,2	27,3	26,3	21,9	16,3	10,9	6,5
Λευκάδα	10,2	10,6	12,7	15,2	19,4	23,1	25,4	25,5	23,0	19,3	14,6	11,5
Λήμνος	7,4	7,8	9,7	13,8	18,5	23,6	25,9	25,1	21,5	16,8	12,3	9,0
Μεθώνη	11,3	11,5	12,9	15,4	19,0	22,6	24,8	25,7	23,6	19,8	16,0	12,9
Μήλος	10,7	10,8	11,9	15,0	19,4	23,6	25,2	24,9	22,3	18,8	15,3	12,4
Μυτιλήνη	9,5	9,9	11,6	15,6	20,2	24,7	26,6	26,1	22,9	18,5	14,3	11,3
Νάξος	12,1	12,2	13,3	16,1	19,5	23,3	24,9	24,8	22,8	19,6	16,3	13,6
Ξάνθη	5,6	6,8	9,6	14,3	19,8	24,1	26,6	26,0	22,4	16,5	11,0	6,9
Πάρος	11,2	11,2	12,9	16,2	19,8	24,0	25,5	25,0	22,8	19,1	15,2	12,3
Πάτρα	10,0	10,6	12,5	15,6	20,1	24,1	26,4	26,7	23,5	19,0	14,5	11,4
Πολύγυρος	4,9	4,7	8,7	12,4	16,3	22,4	24,0	24,1	21,3	15,1	10,7	6,8
Πύργος	9,6	10,1	12,2	15,2	19,7	23,9	26,4	26,3	23,0	18,7	14,1	11,0
Ρέθυμνο	12,8	12,9	14,2	17,1	20,7	24,9	26,9	26,8	24,2	20,6	17,3	14,5
Ρόδος	12,0	12,2	13,7	16,6	20,6	24,8	26,9	27,1	24,7	20,9	16,7	13,5
Σάμος	10,4	10,2	12,2	16,1	20,8	25,7	28,6	28,2	24,4	19,6	14,7	12,0
Σέρρες	4,0	6,3	9,7	14,4	19,7	24,4	26,5	25,6	21,7	15,7	9,4	4,8
Σητεία	12,2	12,3	13,6	16,6	20,3	24,2	25,9	25,7	23,6	20,2	16,8	13,8
Σκύρος	9,9	10,2	11,5	15,0	19,3	23,7	25,5	25,1	22,2	18,3	14,6	11,6
Σούδα	10,9	11,0	12,6	15,8	20,1	24,6	26,6	26,1	23,1	19,3	15,6	12,6
Σπάρτη	9,5	10,1	12,3	15,6	20,9	25,9	28,2	27,4	24,2	19,3	14,0	10,7
Σύρος	11,8	11,8	13,1	16,4	20,3	25,0	26,7	26,5	24,1	20,1	15,9	12,8
Τανάγρα	7,5	8,2	10,2	14,5	20,0	25,3	27,5	26,7	22,4	17,2	12,8	9,4
Τρίκαλα (Ημαθίας)	4,7	6,1	9,6	14,4	19,7	24,3	25,9	25,0	21,1	15,8	9,7	5,5
Τρίκαλα (Θεσσαλίας)	5,4	6,9	10,6	15,0	20,6	25,6	27,4	26,1	22,6	16,4	10,2	6,4
Τρίπολη	5,1	5,8	7,9	11,7	17,0	22,0	24,5	24,1	20,0	14,6	10,1	6,7
Τυμπάκιο	11,7	11,8	13,4	16,4	20,7	24,9	27,8	27,5	24,4	20,3	16,4	13,2
Φλώρινα	0,5	2,7	6,7	11,6	16,8	21,0	23,1	22,5	18,4	12,6	7,0	2,2
Χαλκίδα	9,1	9,1	11,8	16,1	20,7	25,8	27,8	27,5	24,5	19,7	13,9	10,5
Χανιά	11,6	11,8	13,2	16,3	20,1	24,5	26,5	26,1	23,3	19,4	16,1	13,1
Χίος	9,6	9,7	11,6	15,1	19,6	24,1	26,4	25,9	22,7	18,1	13,6	11,1
Χρυσούπολη (Καβάλα)	5,5	6,2	8,7	13,7	18,6	23,4	25,9	25,3	21,0	15,6	10,4	6,6

Συμπερασματικά, στους υπολογισμούς των φ/β συστημάτων, ο βαθμός απόδοσης του φ/β πλαισίου η_{π} θα ισούται με το γινόμενο του βαθμού απόδοσης ο οποίος δίνεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC ($\eta_{STC\pi}$) επί τους τέσσερις προηγούμενους συντελεστές μείωσης απόδοσης. Συνεπώς:^[36]

$$\eta_{\pi} = \eta_{STC\pi} \cdot \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\theta}$$

2.4.1. Προβλήματα σκιασμών στα φωτοβολταϊκά πλαίσια

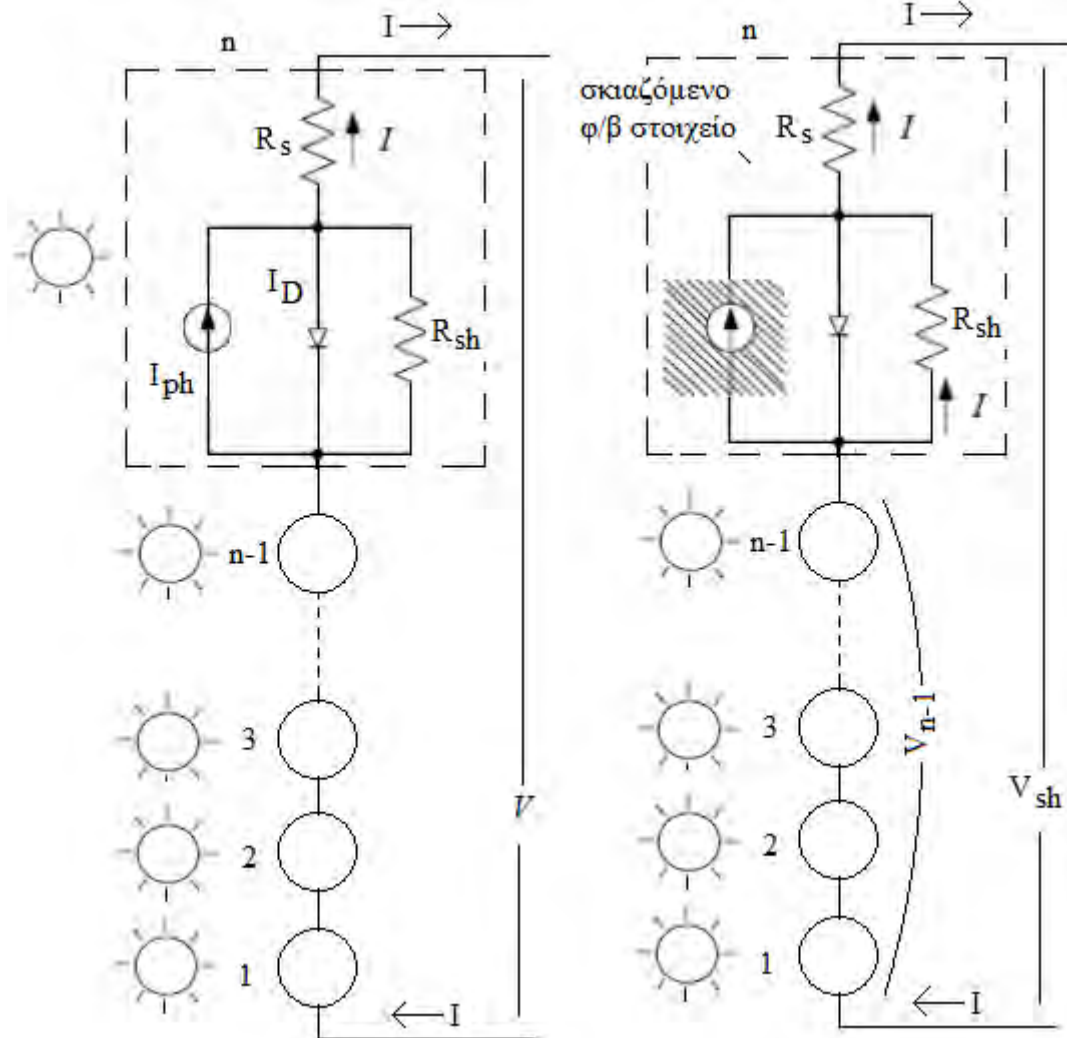
Ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός φ/β πλαισίου είναι η ύπαρξη τυχών σκιαζόμενων στοιχείων του.^[39] Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων όπως δένδρα, στύλοι, κτίρια κ.α. ή από παροδικά, στοχαστικού φαινόμμενα (π.χ. σύννεφα). Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα φ/β πλαίσιο τόσο τα φ/β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα φ/β πλαίσια μιας συστοιχίας συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της φ/β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής.^[54] Για την κατανόηση του φαινομένου της σκίασης θεωρούμε την περίπτωση της επόμενης εικόνας. Στην εικόνα αυτή παρουσιάζονται δυο περιπτώσεις ενός φ/β πλαισίου, που αποτελείται από ένα πλήθος n φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά. Στην πρώτη περίπτωση, το πλήθος n των φ/β στοιχείων δέχεται την ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και η συνολική τάση στα άκρα του πλαισίου είναι V . Στη δεύτερη περίπτωση, τα $n-1$ φ/β στοιχεία δέχονται την ίδια ποσότητα ακτινοβολίας και το n -οστό στοιχείο είναι σκιασμένο. Η συνολική τάση στα άκρα του πλαισίου είναι τώρα ίση με V_{sh} .



Εικόνα 2-19. Πλαίσιο n φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά για την κατανόηση της επίδρασης της σκίασης^[39]

Αν αντικατασταθεί το n -οστό φ/β στοιχείο με το πλήρες ισοδύναμό του (όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα), στην περίπτωση που όλα τα φ/β στοιχεία βρίσκονται κάτω από τον ήλιο, από τη στιγμή που είναι συνδεδεμένα σε σειρά θα διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα I . Το ρεύμα αυτό αποτελεί το συνολικό ρεύμα του πλαισίου. Στη δεύτερη περίπτωση όμως που το n -οστό φ/β στοιχείο είναι σκιασμένο και η πηγή ρεύματός του δε διαρρέεται από ρεύμα ($I_{ph}=0$), το συνολικό ρεύμα I θα ρέει μέσω των

R_s και R_{sh} . Η πτώση τάσης κατά μήκος της R_{sh} θα πολώνει ανάστροφα τη δίοδο, πράγμα που σημαίνει ότι ούτε αυτή θα διαρρέεται από ρεύμα ($I_D=0$). Συνεπώς, όλο το ρεύμα I που ρέει μέσα από το φ/β πλαίσιο θα πρέπει να περάσει μέσα από τις αντιστάσεις R_s και R_{sh} του σκιαζόμενου φ/β στοιχείου. Αυτό σημαίνει ότι η τάση του n -οστού φ/β στοιχείου αφαιρείται, αντί να προστίθεται στην τάση του φ/β πλαισίου.



Εικόνα 2-20. Πλαίσιο n φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά με αντικατάσταση του n -ιοστού στοιχείου με το ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμά του, για την κατανόηση της επίδρασης της σκιάσης^[39]

Έστω η περίπτωση που τα $n-1$ φ/β στοιχεία είναι υπό πλήρη ηλιοφάνεια και ότι με κάποιο τρόπο εξακολουθούν να μεταφέρουν το αρχικό τους ρεύμα I , οπότε θα εξακολουθούν να παράγουν την αρχική τους τάση V_{n-1} . Αυτό σημαίνει ότι η συνολική τάση εξόδου V_{sh} του φ/β πλαισίου με ένα φ/β στοιχείο σκιασμένο θα μειωθεί (σε σχέση με την αρχική τάση V) και θα είναι:^[39]

$$V_{sh} = V_{n-1} - I(R_s + R_{sh}) \quad 2-33$$

Με όλα τα φ/β στοιχεία κάτω από ήλιο να μεταφέρουν ρεύμα I και τάση εξόδου του φ/β πλαισίου V , η τάση των $n-1$ φ/β στοιχείων θα είναι:

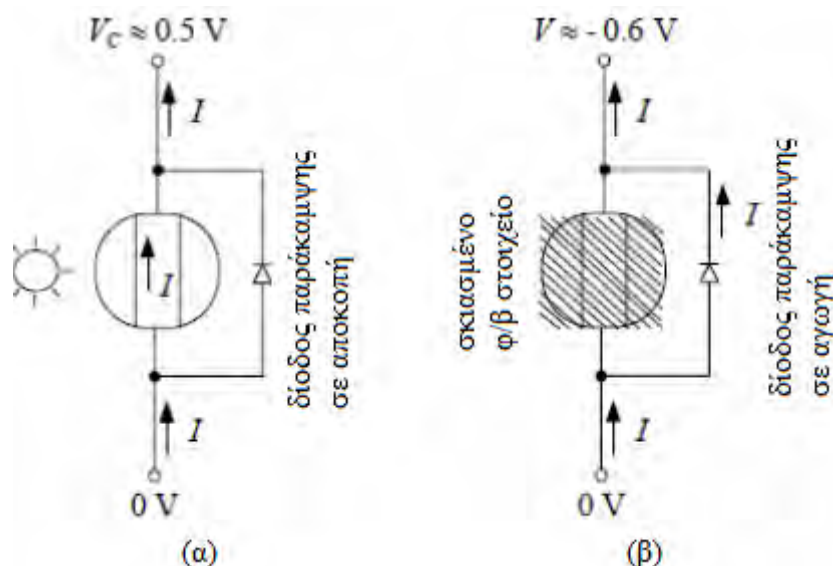
$$V_{n-1} = [(n-1)/n] \cdot V \quad 2-34$$

Σε συνδυασμό με την προηγούμενη σχέση προκύπτει ότι:

$$V_{sh} = [(n-1)/n] \cdot V - I \cdot (R_s + R_{sh})$$

2-35

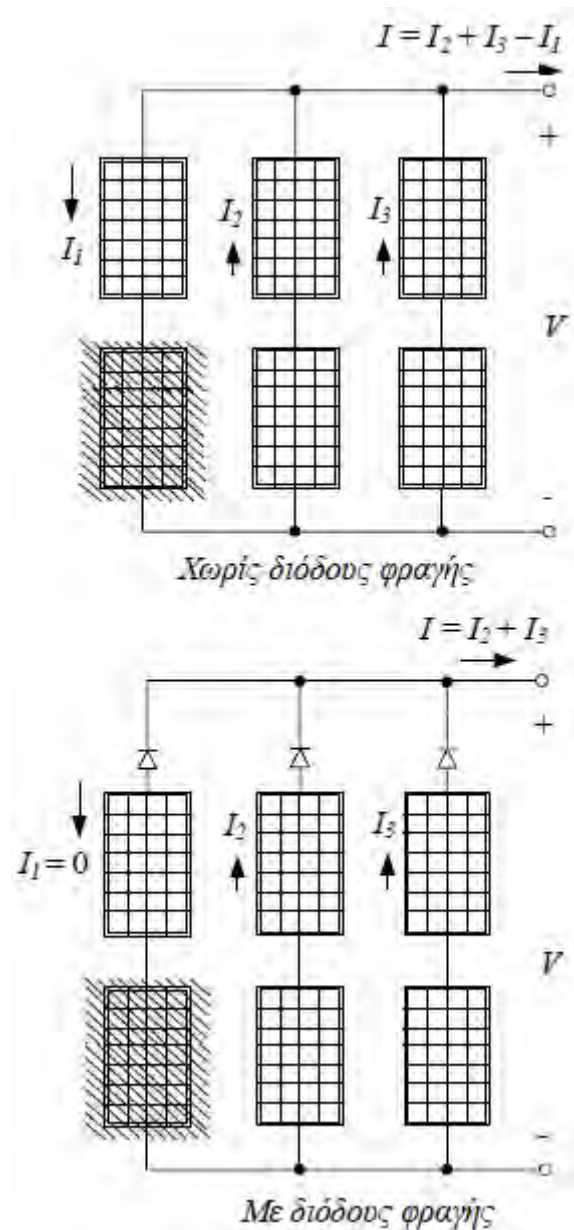
Το πρόβλημα της πτώσης τάσης στα σκιασμένα φ/β στοιχεία μπορεί να διορθωθεί προσθέτοντας μία διόδο παράκαμψης παράλληλα σε κάθε φ/β στοιχείο, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 2-21. Προσθήκη διόδου παράκαμψης για διόρθωση του προβλήματος της πτώσης τάσης στα σκιασμένα φ/β στοιχεία ενός πλαισίου^[39]

Η λειτουργία της διόδου παράκαμψης είναι η εξής: όταν ένα φ/β στοιχείο βρίσκεται υπό το φως του πλήρη ηλίου, η αναπτυσσόμενη τάση κατά μήκος του (περίπου 0,5V) πολώνει ανάστροφα τη διόδο παράκαμψης, πράγμα που σημαίνει ότι δεν περνάει ρεύμα μέσα της και όλο το ρεύμα I του κλάδου περνάει κανονικά μέσα του. Όταν όμως ένα φ/β στοιχείο ενός κλάδου από ένα πλαίσιο είναι σκιασμένο, η πτώση τάσης στα άκρα του, εφόσον άγει οποιοδήποτε ρεύμα, πολώνει τη διόδο παράκαμψης ορθά, εκτρέποντας το συνολικό ρεύμα I να περνάει μέσα της μέσα της. Όταν η διόδος παράκαμψης άγει, η πτώση τάσης στα άκρα της είναι περίπου 0,6 V. Αυτό σημαίνει ότι η διόδος παράκαμψης ελέγχει την πτώση τάσης κατά μήκος ενός σκιασμένου φ/β στοιχείου, περιορίζοντας την στη σχετικά μικρή τιμή των 0,6 V αντί για τη σχετικά μεγάλη πτώση τάσης που θα λάμβανε χώρα αν δεν υπήρχε αυτή. Ωστόσο, η χρήση μίας διόδου παράκαμψης ανά φ/β στοιχείο είναι γενικά αρκετά δαπανηρή, γι' αυτό και στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιείται μία διόδος ανά 10-12 κελιά. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διόδοι παράκαμψης δεν προκαλούν απώλειες, μιας και σε κανονικές συνθήκες δεν διαρρέονται από ρεύμα.^{[39],[54]}

Παρόμοιο πρόβλημα προκύπτει όταν σε σειρές φ/β πλαισίων που συνδέονται παράλληλα, μία από αυτές δεν λειτουργεί κανονικά. Αντί της παροχής ρεύματος, μία ελαττωματική ή σκιασμένη ομάδα φ/β πλαισίων μπορεί να απορροφήσει ρεύμα από την υπόλοιπη ομάδα. Τοποθετώντας διόδους φραγής (που ονομάζονται και διόδοι απομόνωσης) στην κορυφή κάθε ομάδας φ/β πλαισίων, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, εμποδίζεται η απορρόφηση ανάστροφου ρεύματος από μία σκιασμένη ομάδα φ/β πλαισίων.

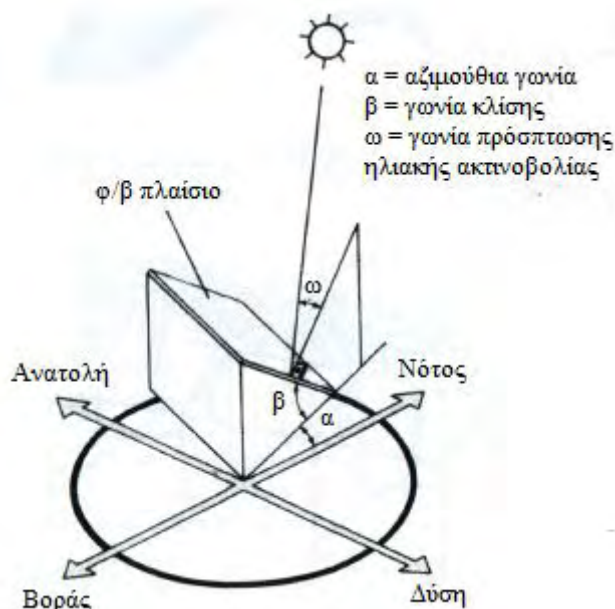


Εικόνα 2-22. Χρήση διόδου φραγής για την απορρόφηση ανάστροφου ρεύματος από μία σκιασμένη ομάδα φ/β πλαισίων^[39]

Γενικά, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας είναι δυνατό να καταπονήσουν το σκιαζόμενο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, προκαλώντας πρόωρη γήρανση σε αυτό. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κεραίες κολώνες, ηλεκτρικά καλώδια και ακόμη περισσότερο, από δένδρα, γειτονικά κτίρια κ.α.. Η επιλογή της θέσης των φ/β πλαισίων θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Εάν στην τοποθεσία έδρασης του φ/β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη. Το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτιρίων θα πρέπει να εξετάζεται σημαντικά στην περίπτωση ενσωμάτωσης φ/β στα κτίρια.^[51]

2.4.2. Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών πλαισίων

Προκειμένου να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των φ/β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα, επειδή η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, προκύπτει πως για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στη κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Πρακτικά, η μηχανική πολυπλοκότητα και το κόστος ενός μηχανισμού που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων σύμφωνα με το παραπάνω τρόπο, καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή την εφαρμογή του σε φ/β συστήματα. Έτσι στη πλειονότητα των φ/β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατό μέγιστη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Και όπως είναι γνωστό, η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι μέγιστη, όταν η επιφάνεια είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της **κλίσης** και της **αξιμούθιας γωνίας** του πλαισίου.^{[51],[35]}



Εικόνα 2-23. Γωνίες προσανατολισμού φ/β πλαισίου στην επιφάνεια της γης^[35]

Ορίζεται ως **γωνία κλίσης "β"**, τη διέδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του φ/β πλαισίου και στο οριζόντιο επίπεδο. Η γωνία κλίσης μας δείχνει πόσο 'γέρνει' το πλαίσιο. Ορίζεται ως **αξιμούθια γωνία "α"**, τη γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατακόρυφου του φ/β πλαισίου και στον Νότο. Στο Βόρειο ημισφαίριο (που ανήκει και η Ελλάδα) τα πλαίσια τοποθετούνται προς το Νότο ($\alpha=0^\circ$). Αντίθετα, στο Νότιο ημισφαίριο τα πλαίσια τοποθετούνται προς το Βορρά ($\alpha=-180^\circ$).^[35]

Η βέλτιστη γωνία κλίσης των φ/β πλαισίων στο Βόρειο ημισφαίριο είναι.^[35]

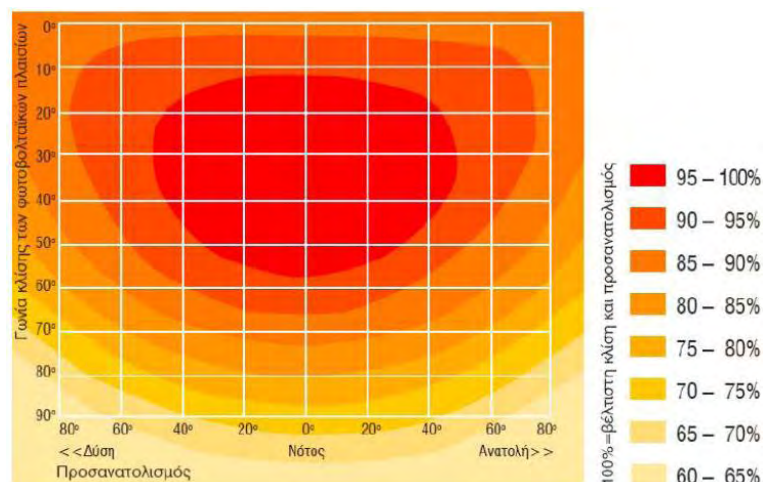
- $\beta = \varphi$ (γεωγραφικό πλάτος θέσης φ/β εγκατάστασης)
- $\beta = \varphi + 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση το χειμώνα
- $\beta = \varphi - 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση το καλοκαίρι

Όπου "φ" είναι το γεωγραφικό πλάτος της θέσης της φ/β εγκατάστασης (πίνακες 2-3, 2-4).

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-3 ^[70]			
Γεωγραφικό πλάτος και μήκος διάφορων Ελληνικών πόλεων			
Πόλη	Περιοχή (Νομός)	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
Καρδίτσα	Καρδίτσας	39 ⁰ 22'	20 ⁰ 48'
Καρπενήσι	Ευρυτανίας	38 ⁰ 54'	21 ⁰ 47'
Κάρυστος	Εύβοιας	38 ⁰ 01'	24 ⁰ 25'
Καστοριά	Καστοριάς	40 ⁰ 27'	21 ⁰ 17'
Κέρκυρα	Κερκύρας	39 ⁰ 37'	19 ⁰ 55'
Κοζάνη	Κοζάνης	40 ⁰ 18'	21 ⁰ 47'
Κομοτηνή	Ροδόπης	41 ⁰ 07'	25 ⁰ 24'
Κόνιτσα	Ιωαννίνων	40 ⁰ 03'	20 ⁰ 45'
Κύθηρα	Αττικής	36 ⁰ 17'	23 ⁰ 10'
Κως	Δωδεκανήσου	36 ⁰ 47'	27 ⁰ 04'
Λαμία	Φθιώτιδας	38 ⁰ 51'	22 ⁰ 24'
Λάρισα	Λαρίσης	39 ⁰ 39'	22 ⁰ 27'
Λευκάδα	Λευκάδας	38 ⁰ 50'	20 ⁰ 43'
Λήμνος	Λέσβου	39 ⁰ 55'	25 ⁰ 14'
Μεθώνη	Μεσσηνίας	36 ⁰ 50'	21 ⁰ 42'
Μήλος	Κυκλάδων	36 ⁰ 43'	24 ⁰ 27'
Μυτιλήνη	Λέσβου	39 ⁰ 04'	26 ⁰ 36'
Νάξος	Κυκλάδων	37 ⁰ 06'	25 ⁰ 23'
Ξάνθη	Ξάνθης	41 ⁰ 08'	24 ⁰ 53'
Πάρος	Κυκλάδων	37 ⁰ 01'	25 ⁰ 08'
Πάτρα	Αχαΐας	38 ⁰ 15'	21 ⁰ 44'
Πολύγυρος	Χαλκιδικής	40 ⁰ 23'	23 ⁰ 26'
Πύργος	Ηλείας	37 ⁰ 40'	21 ⁰ 18'
Ρέθυμνο	Ρεθύμνου	35 ⁰ 21'	24 ⁰ 31'
Ρόδος	Δωδεκανήσου	36 ⁰ 24'	28 ⁰ 07'
Σάμος	Σάμου	37 ⁰ 42'	26 ⁰ 55'
Σέρρες	Σερρών	41 ⁰ 05'	23 ⁰ 34'
Σητεία	Λασιθίου	35 ⁰ 12'	26 ⁰ 06'
Σκύρος	Ευβοίας	38 ⁰ 54'	24 ⁰ 33'
Σούδα	Χανίων	35 ⁰ 33'	24 ⁰ 07'
Σπάρτη	Λακωνίας	37 ⁰ 04'	22 ⁰ 25'
Σύρος	Κυκλάδων	37 ⁰ 25'	24 ⁰ 57'
Τανάγρα	Αττικής	38 ⁰ 19'	23 ⁰ 33'
Τρίκαλα	Θεσσαλίας	39 ⁰ 33'	21 ⁰ 46'
Τρίκαλα Ημαθίας	Ημαθίας	40 ⁰ 36'	22 ⁰ 33'
Τυμπάκι	Ηρακλείου	35 ⁰ 00'	24 ⁰ 46'
Φλώρινα	Φλώρινας	40 ⁰ 48'	21 ⁰ 26'
Χαλκίδα	Εύβοιας	38 ⁰ 28'	23 ⁰ 36'
Χανιά	Χανίων	35 ⁰ 29'	24 ⁰ 07'
Χίος	Χίου	38 ⁰ 28'	26 ⁰ 08'

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4 ^[70]			
Γεωγραφικό πλάτος και μήκος διάφορων Ελληνικών πόλεων			
Πόλη	Περιοχή (Νομός)	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
Αθήνα (Ελληνικό)	Αττικής	37 ⁰ 54'	23 ⁰ 45'
Αθήνα (Ν. Φιλαδέλφεια)	Αττικής	38 ⁰ 03'	23 ⁰ 40'
Αγρίνιο	Αιτωλοακαρνανίας	38 ⁰ 37'	21 ⁰ 23'
Αγχιάλος	Μαγνησίας	39 ⁰ 13'	22 ⁰ 48'
Αλεξανδρούπολη	Έβρου	40 ⁰ 51'	25 ⁰ 56'
Αλίαρτος	Βοιωτίας	38 ⁰ 23'	23 ⁰ 06'
Ανδραβίδα	Ηλείας	37 ⁰ 55'	21 ⁰ 17'
Άραξος	Αχαΐας	38 ⁰ 09'	21 ⁰ 25'
Άργος (Πυργέλα)	Αργολίδας	37 ⁰ 36'	22 ⁰ 47'
Αργοστόλι	Κεφαλληνίας	38 ⁰ 11'	20 ⁰ 29'
Άρτα	Άρτας	39 ⁰ 10'	21 ⁰ 00'
Βέλος	Κορινθίας	37 ⁰ 58'	22 ⁰ 45'
Δράμα	Δράμας	41 ⁰ 09'	24 ⁰ 09'
Έδεσσα	Πέλλας	40 ⁰ 58'	22 ⁰ 03'
Ζάκυνθος	Ζακύνθου	37 ⁰ 47'	20 ⁰ 54'
Ηράκλειο	Ηρακλείου	35 ⁰ 20'	25 ⁰ 11'
Θεσσαλονίκη (Μίκρα)	Θεσσαλονίκης	40 ⁰ 31'	22 ⁰ 58'
Ιεράπετρα	Λασιθίου	35 ⁰ 00'	25 ⁰ 44'
Ιωάννινα	Ιωαννίνων	39 ⁰ 42'	20 ⁰ 49'
Καλαμάτα	Μεσσηνίας	37 ⁰ 04'	22 ⁰ 00'

Ωστόσο, ένα συχνό θέμα αποτελεί υπολογισμός της απόδοσης όταν υπάρχει απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες προσανατολισμού και κλίσης. Το φαινόμενο αυτό συναντάται συνήθως σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε κτίρια όπου η επιφάνεια χωροθέτησης είναι δεδομένου προσανατολισμού και κλίσης. Αντίθετα, σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών επί εδάφους υπάρχει συνήθως αρκετός χώρος ώστε να επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την απόδοση των πλαισίων ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη κλίση τους:^[54]



Εικόνα 2-24. Απόδοση φ/β πλαισίων ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη κλίση τους^[54]

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός κτιριακού φ/β συστήματος.^[51]

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	30°	0°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	85% kWh _(max)	90% kWh _(max)	50% kWh _(max)
Νότιανατολικός - Δυτικός	95% kWh _(max)	90% kWh _(max)	60% kWh _(max)
Νότιος	kWh _(max)	90% kWh _(max)	60% kWh _(max)
Βόρειανατολικός - Δυτικός	95% kWh _(max)	90% kWh _(max)	30% kWh _(max)
Βόρειος	60% kWh _(max)	90% kWh _(max)	20% kWh _(max)

Εικόνα 2-25. Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός κτιριακού φ/β συστήματος.^[51]

Όσον αφορά το βόρειο ημισφαίριο, αν η θέση του κτιρίου δεν επιτρέπει τον νότιο προσανατολισμό των φ/β πλαισίων, τότε τα πλαίσια θα πρέπει να τοποθετούνται προς την Ανατολή ή τη Δύση και όχι προς τον Βορά, μιας και τότε η απόδοσή τους θα είναι πολύ χαμηλή. Μόνο στην περίπτωση που τα πλαίσια τοποθετηθούν αναγκαστικά οριζόντια (γωνία $\beta=0^\circ$), τότε μόνο είναι δυνατός ο βόρειος προσανατολισμός τους.^[35]

2.5. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία

Ένα μικρό (συνήθως) πλήθος φ/β πλαισίων τοποθετημένα σε ένα κατάλληλο μεταλλικό πλαίσιο, έτσι ώστε το σύνολό τους να αποτελεί μια ενιαία κατασκευή έτοιμη για εγκατάσταση, ονομάζεται *φ/β πανέλο (pv panel)*. *Φωτοβολταϊκή συστοιχία (pv array)* ορίζεται ένα σύνολο από φ/β πανέλα συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα, για επίτευξη ενός επιδιωκόμενου στόχου.

Αντίστοιχα με το φ/β πλαίσιο και η φ/β συστοιχία χαρακτηρίζεται από τον βαθμό απόδοσης και την ισχύ αιχμής της. Ο *βαθμός απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας* η_σ προκύπτει από τη σχέση:^[36]

$$\eta_\sigma = \eta_\pi \cdot \sigma_\alpha \cdot \sigma_\kappa \quad 2-36$$

Όπου:

η_π = βαθμός απόδοσης ενός πλαισίου της συστοιχίας

σ_a =συντελεστής ανομοιομορφίας. Εκφράζει την ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών καμπύλων V-I των πλαισίων που απαρτίζουν την φ/β συστοιχία ($\sigma_a=0,98$)

σ_k = συντελεστής καλωδιώσεων. Εκφράζει τις απώλειες στα καλώδια σύνδεσης των φ/β πλαισίων ($\sigma_k=0,98$).

Η επιφάνεια της φ/β συστοιχίας υπολογίζεται από τη σχέση:^{[35],[36]}

$$S_{\sigma} = \frac{E}{E_{HA} \cdot \eta_{\sigma}} \quad 2-37$$

Όπου:

E = η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία [kWh/ημέρα]

E_{HA} = ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

η_{σ} = βαθμός απόδοσης φ/β συστοιχίας

Η επόμενη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας φ/β συστοιχίας είναι η **ισχύς αιχμής** της P_{ps} . Ορίζεται ως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται από τη φ/β συστοιχία, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC. Η ισχύς αιχμής για τη κάλυψη των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων υπολογίζεται από τη σχέση:^[36]

$$P_{ps} = \frac{E \cdot P_{STC} \cdot m}{E_{HA} \cdot \sigma_{AS}} \quad 2-38$$

Όπου:

P_{ps} = ισχύς αιχμής φ/β συστοιχίας [kWp]

E = η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία [kWh/ημέρα]

P_{STC} = είναι η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC και ισούται με $1000W/m^2 = 1kW/m^2$

m = συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων, για να καλύψουμε μια πιθανή υποτίμηση των αναγκών κατανάλωσης ($m=1,2$)

E_{HA} = ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

σ_{AS} = συντελεστής απωλειών φ/β συστοιχίας ($\sigma_{AS} = \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_a \cdot \sigma_k$)

Σε περίπτωση που η φ/β συστοιχία μας πρέπει να καλύψει ενεργειακές απαιτήσεις "n" ημερών αυτονομίας μέσα σε ένα διάστημα "v" ημερών (π.χ. $v=30$ ημέρες = ένας μήνας), η ισχύς αιχμής δίνεται από τη σχέση:^{[35],[36]}

$$P_{ps} = \frac{E \cdot P_{STC} \cdot m}{E_{HA} \cdot \sigma_{AS}} \cdot \frac{v}{v-n} \quad 2-39$$

Η ισχύς αιχμής στη περίπτωση "n" ημερών αυτονομίας είναι σαφώς μεγαλύτερη από την ισχύ αιχμής για καμία ημέρα αυτονομίας. Αυτό είναι λογικό, μιας η φ/β συστοιχία πρέπει να μπορεί να καλύπτει καθημερινά την ενεργειακή κατανάλωση "E" και κατά τις "n" μη ηλιοφανείς ημέρες.

Το επόμενο βήμα έχοντας υπολογιστεί η ισχύς αιχμής P_{ps} της φ/β συστοιχίας, είναι ο υπολογισμός του πλήθους "N" των πλαισίων που θα αποτελείται. Το πλήθος αυτό προκύπτει από το λόγο:^{[35],[36]}

$$N = P_{ps} / P_{p\pi}$$

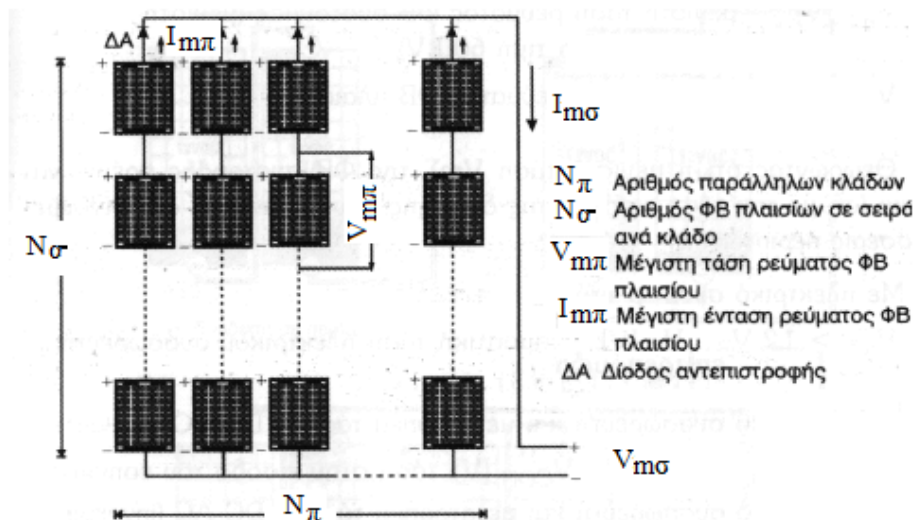
2-40

Όπου:

P_{ps} = ισχύς αιχμής φ/β συστοιχίας [kWp]

$P_{p\pi}$ = ισχύς αιχμής ενός φ/β πλαισίου [kWp]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει μια φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελούμενη από $N_{\pi} \times N_{\sigma}$ φ/β πλαίσια.



Εικόνα 2-26. Φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελούμενη από $N_{\pi} \times N_{\sigma}$ φ/β πλαίσια^[36]

Τα "N" αυτά πλαίσια κατανέμονται σε " N_{π} " κλάδους συνδεδεμένους παράλληλα, όπου κάθε ένας κλάδος αποτελείται από " N_{σ} " πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Προφανώς το γινόμενο $N_{\pi} \times N_{\sigma}$ θα ισούται με το ολικό πλήθος των πλαισίων "N". Η σύνδεση των φ/β πλαισίων γίνεται με κατάλληλο τρόπο, ώστε η τάση εξόδου της φ/β συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Για τη σύνδεση των φ/β πλαισίων ισχύουν οι γνωστοί κανόνες συνδεσμολογίας των ηλεκτρικών πηγών.^[36]

- α) Η τάση της φ/β συστοιχίας " $V_{m\sigma}$ " είναι ίση με την τάση του ενός κλάδου του.
- β) Η τάση ενός κλάδου ισούται με το γινόμενο του αριθμού πλαισίων " N_{σ} " του επί τη τάση του ενός πλαισίου " $V_{m\pi}$ ".
- γ) Η ένταση ρεύματος ενός κλάδου ισούται με την ένταση ρεύματος ενός φ/β πλαισίου " $I_{m\pi}$ ".
- δ) Η ένταση ρεύματος της φ/β συστοιχίας " $I_{m\sigma}$ " ισούται με το γινόμενο του αριθμού των παράλληλων κλάδων " N_{π} " του επί το ρεύμα ενός κλάδου.

Ισχύουν δηλαδή ότι:

Μέγιστη τάση φ/β συστοιχίας:

$$V_{m\sigma} = V_{m\pi} \cdot N_{\sigma} \quad 2-41$$

Μέγιστη ένταση ρεύματος φ/β συστοιχίας:

$$I_{m\sigma} = I_{m\pi} \cdot N_{\pi} \quad 2-42$$

2.6. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το κεφάλαιο αυτό θα κλείσει με μια αναφορά στις κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα φ/β συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους:

- α) *Ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας*
- β) *Ανάλογα με την εγκατάστασή τους*
- γ) *Ανάλογα με την θέση τους σε σχέση με τη τροχιά του ήλιου*

α) Ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: στα **απομονωμένα φ/β συστήματα** και στα **συνδεδεμένα με το δίκτυο**.

Απομονωμένα φ/β συστήματα είναι τα φ/β συστήματα εκείνα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Με τον όρο "δίκτυο" το εθνικό δίκτυο παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές. Τα απομονωμένα φ/β συστήματα διακρίνονται σε **αυτόνομα** και σε **υβριδικά**.^[36]

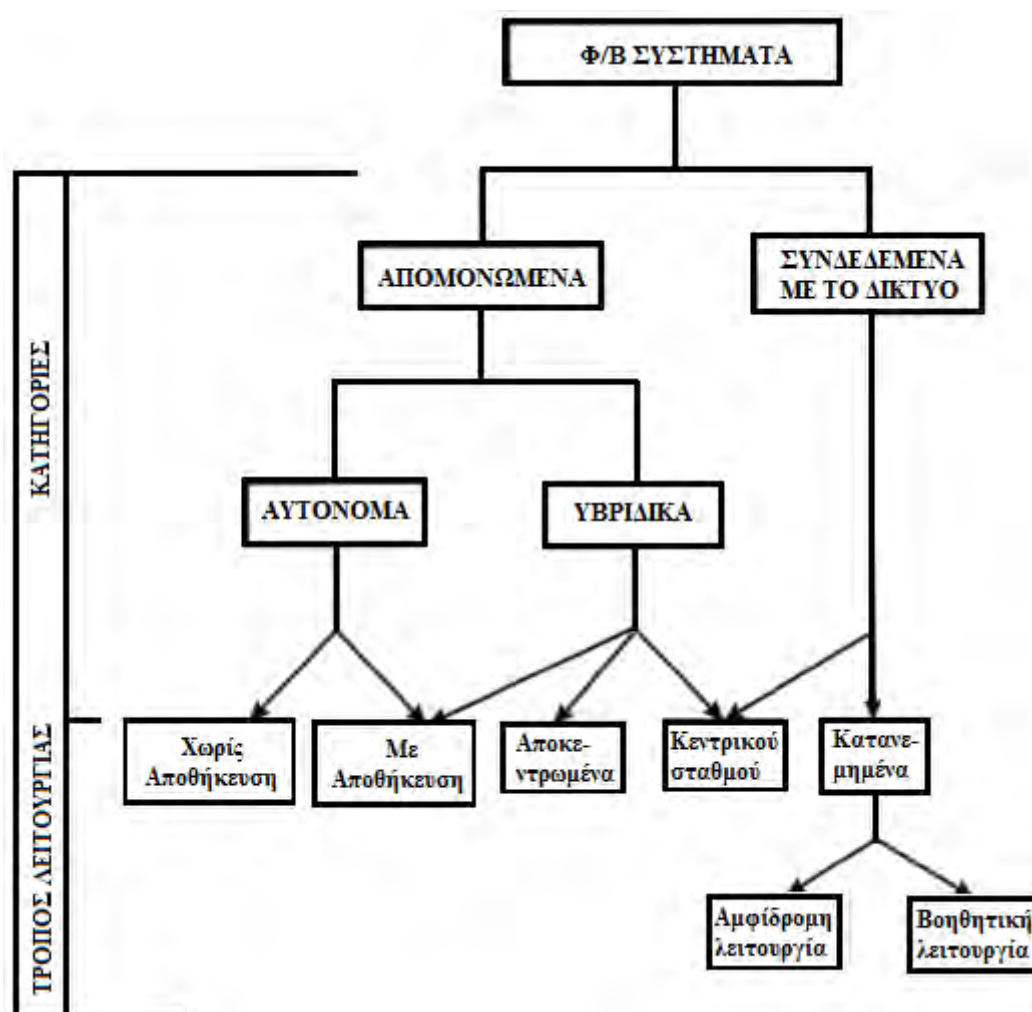
Αυτόνομα φ/β συστήματα αποτελούν τη συνηθέστερη εφαρμογή της φ/β τεχνολογίας. Στα συστήματα αυτά, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από τη φ/β συστοιχία και μπορεί να είναι συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Οι αυτόνομες φ/β εγκαταστάσεις λειτουργούν αυτοδύναμα, τροφοδοτώντας εξ' ολοκλήρου τις ηλεκτρικές καταναλώσεις τους.^{[35],[36]} Τα αυτόνομα φ/β συστήματα διακρίνονται σε **συστήματα χωρίς αποθήκευση** και σε **συστήματα με αποθήκευση**. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα φ/β συστήματα τα οποία παράγουν παραγόμενη ηλεκτρική όσο φωτίζεται η φ/β συστοιχία. Η παραγόμενη αυτή η ενέργεια αποδίδεται κατευθείαν στις καταναλώσεις, χωρίς να αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές. Στη δεύτερη κατηγορία, η περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους χωρίς ηλιοφάνεια.^[36]

Υβριδικά φ/β συστήματα, είναι τα συστήματα εκείνα στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το συνδυασμό της φ/β συστοιχίας με άλλες βοηθητικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, ανανεώσιμες (ανεμογεννήτριες) ή μη (ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη).^[36]

Τα **φ/β συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο** είναι τα συστήματα εκείνα που συνδέονται απ' ευθείας με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, προσδίδοντάς του σε αυτό την ενέργεια που παράγουν.^[35] Κάθε συνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να αναλυθεί σε δύο επιμέρους δομικές μονάδες: τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και τον ηλεκτρονικό μετατροπέα, που αναλαμβάνει την προσαρμογή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις προδιαγραφές του δικτύου.^[51] Τα **φ/β συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο** διακρίνονται σε: **συνδεδεμένα φ/β συστήματα κεντρικού σταθμού**, και σε **συνδεδεμένα καταναμημένα φ/β συστήματα**. Τα πρώτα συνιστούν κεντρικούς φ/β σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Τα **συνδεδεμένα καταναμημένα φ/β συστήματα** διακρίνονται σε **συστήματα με βοηθητική πηγή το δίκτυο** και σε **συστήματα με αμφίδρομη λειτουργία**. Στα συνδεδεμένα καταναμημένα φ/β συστήματα με βοηθητική πηγή το δίκτυο, το δίκτυο καλύπτει μια έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή

κάποια αστοχία του Φ/Β συστήματος, οπότε ο σχεδιασμός γίνεται ώστε το σύστημα να καλύπτει κατά μέσο όρο τις μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Στα συνδεδεμένα καταναμημένα φ/β συστήματα με αμφίδρομη λειτουργία Το σύστημα σχεδιάζεται ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Η περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο, ενώ όταν το Φ/Β σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις καταναλωτικές ανάγκες η απαιτούμενη ενέργεια προέρχεται από το δίκτυο.^{[36],[122]}

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των φ/β συστημάτων ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με το δίκτυο.



Εικόνα 2-27. Κατηγοριοποίηση φ/β συστημάτων^[36]

β) Ανάλογα με την εγκατάστασή τους

Μια άλλη διάκριση των φ/β συστημάτων γίνεται ανάλογα με την εγκατάστασή τους. Στην περίπτωση αυτή, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε στα **κτιριακά συστήματα** και στα **υπαίθρια συστήματα**. Η πρώτη κατηγορία αφορά τα φ/β συστήματα που εγκαθίστανται επί κτιρίων ή ενσωματώνονται σε αυτά και αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τα φ/β συστήματα που εγκαθίστανται στην ύπαιθρο, σε γήπεδα και χωράφια, τα οποία είναι τα γνωστά μας φωτοβολταϊκά πάρκα.

γ) Ανάλογα με την θέση τους σε σχέση με τη τροχιά του ήλιου

Ανάλογα με την θέση τους σε σχέση με τη τροχιά του ήλιου, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: στα **σταθερά συστήματα** και στα **ηλιοστατικά συστήματα**. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα στα οποία τα φ/β πλαίσια διατηρούν σταθερό προσανατολισμό σε κατάλληλες βάσεις στήριξης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατό μέγιστη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα στα οποία τα φ/β πλαίσια τοποθετούνται σε ειδικές κινούμενες βάσεις (Tracker) με τις οποίες προσανατολίζονται διαρκώς, ακολουθώντας την πορεία του ηλίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

3.1. Εισαγωγή

Παρά το γεγονός ότι η φωτοβολταϊκή τεχνολογία αποτελεί σήμερα μια πολύ ώριμη τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν εφαρμογές της οι οποίες δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες. Μια από τις εφαρμογές αυτές, είναι η αρχιτεκτονική ενσωμάτωσή τους στα κτίρια, συμβάλλοντας καθοριστικά στην ενεργειακή ανεξάρτησή τους από συμβατικές πηγές, επιλύοντας τα όποια προβλήματα είναι δυνατόν να προέλθουν από αυτές και αξιοποιώντας τον ήλιο που αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, προσιτή σε όλους.^{[52][53]}

Προτού γίνει η ανάπτυξη του κεφαλαίου αυτού, κρίνεται σκόπιμο να ορισθεί η έννοια της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια. Ένα φ/β σύστημα θεωρείται ότι είναι ενσωματωμένο σε ένα κτίριο, όταν η χρήση των φ/β πλασίων έχει ενταχθεί στον αρχιτεκτονικό του σχεδιασμό και η τοποθέτησή τους γίνεται παράλληλα με την κατασκευή του οικοδομήματος, έτσι ώστε αυτά να αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του κτιρίου.^[52] Ωστόσο, η τοποθέτηση των φ/β πλασίων θα μπορούσε να γίνει και αργότερα, με την εναπόθεσή τους από πάνω. Στην επόμενη παράγραφο θα γίνει μια εκτενέστερη διάκριση της έννοιας της ενσωμάτωσης σε “τεχνική” και “συμβατική”. Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα Ενσωματωμένα στα Κτίρια (ΦΒΕΚ), όπου στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται και με τον όρο “Building Integrated Photovoltaic’s” (BIPV) δεν αποτελούν μόνο δομικό υλικό για το κέλυφος του κτιρίου, αλλά ταυτόχρονα λειτουργούν ως παραγωγοί καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, με πλεονέκτημα την εξοικονόμηση κόστους τόσο των υλικών όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας.^[52]

Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών στα κτίρια άρχισαν να εμφανίζονται στις κυρίως στις ΗΠΑ αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο στη δεκαετία του 1970. Φ/β πλαίσια με περίβλημα από αλουμίνιο άρχισαν να τοποθετούνται στα κτίρια απομακρυσμένων, από το ηλεκτρικό δίκτυο, περιοχών. Στη δεκαετία του 1980, φ/β πλαίσια ως πρόσθετα (add-ons) σε οροφές άρχισαν να επιδεικνύονται. Στη δεκαετία του 1990, δομικά φ/β προϊόντα ειδικά για την ενσωμάτωσή τους στα κτίρια, άρχισαν να γίνονται εμπορικά διαθέσιμα. Σήμερα δημιουργούνται όλο και περισσότερα καινοτόμα υλικά, που ικανοποιούν ακόμα και τις πιο απαιτητικές λειτουργικές ή αισθητικές παραμέτρους της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, τα οποία καθιστούν τα BIPV ως ιδανικά οικοδομικά στοιχεία. Εύχρηστα και ανθεκτικά, με ποικιλία σε σχήματα και χρώματα, επιτρέπουν μεγάλη ευελιξία για την αρχιτεκτονική τους ενσωμάτωση, ικανοποιώντας και τις πιο απαιτητικές λειτουργικές ή αισθητικές παραμέτρους. Για παράδειγμα, η πολύ διαδεδομένη και ώριμη τεχνολογία φ/β στοιχείων του λεπτών επιστρώσεων (thin film) αποτελεί σήμερα μια από τις ευέλικτες λύσεις χαμηλού κόστους για την ενσωμάτωση της β/β σε ένα κτίριο.^{[52][1]}

Για το σωστό σχεδιασμό και εγκατάσταση ενός συστήματος BIPV, είναι απαραίτητη η συνεργασία πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων όπως αρχιτεκτόνων, πολιτικών μηχανικών ηλεκτρολόγων-μηχανολόγων μηχανικών και σχεδιαστών φωτοβολταϊκών συστημάτων.^[52]

3.1.1. Ενσωμάτωση φ/β σε κτίρια από τεχνική και συμβατική άποψη

Η ενσωμάτωση φ/β στοιχείων σε ένα κτίριο μπορεί αρχικά να διαχωριστεί σε “τεχνική” ενσωμάτωση (technical integration) και “συμβατική” (formal integration). Στη “συμβατική” ενσωμάτωση, σημεία εστίασης αποτελούν τα δημιουργικά-αισθητικά θέματα. Για παράδειγμα, από αρχιτεκτονικής άποψης, σκοπός είναι να επιτευχθεί ένα καλαίσθητο αποτέλεσμα από την ενσωμάτωση των φ/β στοιχείων στο κέλυφος του κτιρίου. Επιπλέον, η “συμβατική” ενσωμάτωση μπορεί να κάνει διάκριση ανάμεσα σε μέτρα που αφορούν την καθεαυτού ενσωμάτωση των φ/β στοιχείων στο κτίριο ή την πρόσθετη εγκατάστασή τους επάνω σε αυτό. Βασικά, ο κύριος λόγος για την συμβατική ενσωμάτωση με πρόσθετα φ/β στοιχεία είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει ένα παράδειγμα “formal” integration με εγκατάσταση πρόσθετων φ/β στοιχείων στην οροφή κτιρίου (“Energy Dream Center”, Seoul, South Korea).



Εικόνα 3-1. Παράδειγμα “formal” integration με εγκατάσταση πρόσθετων φ/β στοιχείων στην οροφή κτιρίου (“Energy Dream Center”, Seoul, South Korea)^[11]

Η “τεχνική” ενσωμάτωση των φ/β στοιχείων σημαίνει ότι τα στοιχεία αυτά ενσωματώνονται στο κέλυφος του κτιρίου, όπως και τα συμβατικά δομικά στοιχεία, ενώ με την απουσία τους το κτίριο δεν θα λειτουργεί σωστά.^[8] Με την “τεχνική” ενσωμάτωση, τα φ/β στοιχεία έχουν πολυλειτουργικές ιδιότητες μιας και αποτελούν τόσο τμήματα του κτιρίου όσο και γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος. Σαν τμήματα του ίδιου του κτιρίου εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς όπως προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες, θερμομόνωση, ηχομόνωση, προστασία από πυρκαγιά κ.α. ενώ παράλληλα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Πέρα των κύριων αυτών

λειτουργιών, η “τεχνική” ενσωμάτωση των φ/β στοιχείων εξυπηρετεί και βοηθητικές λειτουργίες όπως προστασία από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και φυσική διαχείριση του φωτός. Εάν αυτές οι λειτουργίες δεν ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία της “τεχνικής” ενσωμάτωσης, τότε θα απαιτούνται επιπρόσθετα μέτρα μετά την κατασκευή του κτιρίου.^[9]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει ένα παράδειγμα “formal” integration με καθεαυτού ενσωμάτωση φ/β στοιχείων στην πρόσοψη κτιρίου (“Climate Change Research Building”, Incheon, South Korea).



Εικόνα 3-2. Παράδειγμα “technical” integration με καθεαυτού ενσωμάτωση φ/β στοιχείων στην πρόσοψη κτιρίου (“Climate Change Research Building”, Incheon, South Korea)^[11]

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, για το σωστό σχεδιασμό και εγκατάσταση ενός συστήματος BIPV, είναι απαραίτητη η συνεργασία πολλών ειδικοτήτων μηχανικών. Αρχιτέκτονες και πολιτικοί μηχανικοί επεμβαίνουν στα σχεδιαστικά και κατασκευαστικά θέματα της ενσωμάτωσης, ενώ ηλεκτρολόγοι-μηχανολόγοι μηχανικοί επιλύουν θέματα που αφορούν τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, τον τρόπο διασύνδεσης των φ/β στοιχείων, την επιλογή του απαιτούμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού κ.α. Παράδειγμα θέματος που απαιτεί την παρέμβαση αρχιτέκτονα μηχανικού αποτελεί η ενσωμάτωση μοντέρνων φ/β προϊόντων σε κτίριο με παραδοσιακά δομικά στοιχεία.^{[9],[10]}

3.2. Γιατί φωτοβολταϊκά στα κτίρια;

Η επικείμενη απειλή της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, η συνεχόμενη αύξηση των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια στις αναπτυσσόμενες κυρίως χώρες και η σταδιακή μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων, έχουν καταστήσει το

βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό ένα θέμα που απασχολεί ολόκληρο τον πλανήτη, το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί κυριολεκτικά σε κάθε τομέα της ζωής του ανθρώπου.

Ταυτόχρονα, τα κτίρια εξακολουθούν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην η παγκόσμια ενεργειακή ισορροπία. Συνήθως αντιπροσωπεύουν περίπου το 20-30% του συνόλου των πρωτογενών ενεργειακών αναγκών των βιομηχανικών χωρών. Με την αύξηση της ευαισθητοποίησης των οικολογικών συνεπειών της κατανάλωσης ενέργειας, η ανάγκη για ενεργειακό και περιβαλλοντικά συνειδητό σχεδιασμό των κτιρίων έχει γίνει όλο και πιο πιεστική.^[1] Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διασύνδεσης μεταξύ των κατασκευαστών φωτοβολταϊκών και τη βιομηχανία παραγωγής οικοδομικών υλικών.

Πέρα από την άνεση και την αισθητική, το σκεπτικό της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια περιλαμβάνει τόσο περιβαλλοντικούς όσο και λοιπούς κατασκευαστικούς παράγοντες. Περιβαλλοντικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την πρόσβαση μιας δομής του κτιρίου στην ηλιακή ακτινοβολία, τη μέση εποχιακή εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής, τις τοπικές καιρικές συνθήκες, τη σκίαση από τις κοντινές δομές (κτίρια, δέντρα κ.α.) και το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το οποίο επηρεάζει το βέλτιστο προσανατολισμό και την κλίση των φ/β πλαισίων στο κτίριο. Κατασκευαστικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, οι οποίες επηρεάζουν το μέγεθος του φ/β συστήματος, καθώς και απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησής του.^[2]

Η επιλογή της φ/β τεχνολογίας για χρήση στα κτίρια προτιμάται για τους εξής λόγους:^{[52][1][53]}

- παράγουν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο
- έχουν μικρό λειτουργικό κόστος, δεν απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και χρειάζονται ελάχιστη περιοδική συντήρηση
- βασίζονται σε μια ώριμη τεχνολογία τουλάχιστον 30 ετών
- έχουν αποδείξει την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος για περισσότερα από 15 χρόνια.

Από αρχιτεκτονική, τεχνική και οικονομική άποψη, η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στα κτίρια σήμερα:^{[1][53]}

- δεν απαιτεί καμία επιπλέον έκταση γης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές
- δεν απαιτεί οποιεσδήποτε πρόσθετες εγκαταστάσεις υποδομής
- μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής (μεσημεριανές ώρες) μειώνοντας έτσι της απαιτήσεις σε αιχμή των μονάδων παραγωγής
- μπορούν να καλύπτουν το σύνολο ή σημαντικό μέρος της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του αντίστοιχου κτιρίου
- μπορεί να αντικαταστήσει συμβατικά δομικά στοιχεία (από γυάλινες προσόψεις μέχρι οροφές) ή να υποκαταστήσουν παραδοσιακά οικοδομικά υλικά σε εφαρμογές όπως η σκίαση και η στεγανοποίηση
- μπορεί να παρέχει μια βελτιωμένη αισθητική εμφάνιση με καινοτόμο τρόπο
- μπορεί να ενσωματωθεί με τη λειτουργία και άλλων εγκαταστάσεων και συστημάτων του κτιρίου.

Λόγω των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν τόσο από τη χρήση των φ/β, όσο και από την ενσωμάτωσή τους στα κτίρια, κρίνεται αναγκαία η άμεση κινητοποίηση όλων των εμπλεκόμενων φορέων που θα διαμορφώσουν κατάλληλα κίνητρα και θα θέσουν σε ισχύ σχετική ευνοϊκή νομοθεσία. προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των φ/β συστημάτων ενσωματωμένων στα κτίρια. Τα πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα της ενσωμάτωσης φ/β στα κτίρια περιγράφονται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο^[53]

3.3. Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων ενσωματωμένων στα κτίρια

Ως γνωστόν, ορισμένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της φωτοβολταϊκής ενέργειας είναι ότι η χρήση της δεν προκαλεί οποιαδήποτε επιβάρυνση στην ατμόσφαιρα από εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ή άλλων επικίνδυνων ρύπων, ενώ παράλληλα δεν προκαλεί όχληση από θόρυβο. Η ελάχιστη επίδραση στο περιβάλλον, από τη δέσμευση γης ή από ενδεχόμενη αισθητική όχληση, μπορούν να αντιμετωπιστούν πλήρως με την πλήρη ενσωμάτωσή των φ/β πλαισίων στα κτίρια.^[52]

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών ενσωματωμένων στα κτίρια είναι:^[52]

- με την ενσωμάτωση τους στο αστικό περιβάλλον, τα BIPV μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ακριβώς στο σημείο όπου αυτή παρουσιάζεται, μειώνοντας έτσι τις απώλειες μεταφοράς και διανομής.
- εκτός από την παραγωγή καθαρής, φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας, μπορούν με ένα σωστό σχεδιασμό ενσωμάτωσής τους στο κτίριο να παρέχουν επιπλέον λειτουργίες όπως, θερμική προστασία και μόνωση, προστασία από τον ήλιο και το θόρυβο, σκίαση κ.α.
- υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης των BIPV για τη μετατροπή της απορροφούμενης ηλιακής ενέργειας σε θερμική (π.χ. για κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό), πέραν της απευθείας μετατροπής της σε ηλεκτρική, αυξάνοντας έτσι το συνολικό ενεργειακό αποτέλεσμα της εγκατάστασης.

Παρά το γεγονός των σημαντικών πλεονεκτημάτων της ενσωμάτωσης φ/β στα κτίρια, μια σειρά αρνητικών παραμέτρων εμποδίζει την ευρεία διάδοσή τους. Μια από αυτές, σχετίζεται με το γεγονός ότι η απόδοση ενός BIPV συστήματος είναι χαμηλότερη από την απόδοση μιας μεγάλης φ/β εγκατάστασης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη απωλειών, λόγω της ατομικής συναρμολόγησης κάθε πλαισίου, γεγονός που καθιστά δύσκολη την απόκτηση της μέγιστης διαθέσιμης ισχύος από τη φ/β γεννήτρια. Μια άλλη αρνητική παράμετρος για τη διάδοση των BIPV είναι η άποψη ότι η μαζική εγκατάστασή τους θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στην προβλεψιμότητα του δικτύου, λόγω του ότι ο ήλιος αποτελεί πηγή ενέργειας με στοχαστική συμπεριφορά.^[52]

Παρόλο που η χρήση των φ/β, από τους αρχιτέκτονες, ως δομικό στοιχείο αυξάνεται συνεχώς, ο αριθμός των κτιρίων που έχουν ενσωματωμένα φ/β συστήματα είναι ακόμα χαμηλός. Το υψηλό κόστος της ενσωμάτωσης τους προβάλλεται συνήθως ως η αιτία για τη μη υιοθέτησή τους. Ωστόσο, το κόστος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως καθοριστική αιτία, καθώς συχνά στις προσόψεις των κτιρίων χρησιμοποιούνται υλικά υψηλότερου κόστους όπως π.χ. ο γρανίτης. Ο βασικός λόγος

πιθανόν εστιάζεται στην έλλειψη γνώσης και τεχνογνωσίας για τη νέα αυτή τεχνολογία, παρόλο που η διαδικασία σχεδιασμού και εγκατάστασης ενός φ/β συστήματος δε διαφέρει σημαντικά από τη διαδικασία τοποθέτησης μιας στέγης ή πρόσοψης σε ένα κτίριο, ενσωματώνεται σχεδόν με την ίδια ευκολία τοποθέτησης μιας τυπικής πρόσοψης ή στέγης από γυαλί και συνδέεται ηλεκτρικά όπως μια συμβατική ηλιακή εγκατάσταση.^[53]

3.4. Προοπτικές ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στα κτίρια σε παγκόσμιο και ελληνικό επίπεδο

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το διαθέσιμο δυναμικό ισχύος από την εκμετάλλευση κατάλληλων (για εγκατάσταση φ/β) επιφανειών σε κτίρια.^[52]

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-1 ^[101]			
Διαθέσιμο δυναμικό ισχύος από την εκμετάλλευση κατάλληλων (για εγκατάσταση φ/β) επιφανειών σε κτίρια			
Χώρα	Καθαρή επιφάνεια σε στέγες (km ²)	Δυναμικό ισχύος (GWp)	Δυναμικό ενέργειας (TWh/ year)
ΗΠΑ	4563	757	904
Ευρώπη	3723	618	494
Ιαπωνία	1050	174	159
Υπόλοιπες χώρες	1273	211	230

Όπως παρατηρεί κανείς από τον πίνακα αυτό, το δυναμικό ισχύος στην Ευρώπη από την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε κτίρια έρχεται δεύτερο σε κατάταξη μετά το δυναμικό των ΗΠΑ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει ένα πολύ μεγάλο πλήθος διαθέσιμων επιφανειών (τόσο σε στέγες όσο και προσόψεις κτιρίων) σε όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες, έτσι ώστε μεγάλο ποσοστό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να καλυφθεί από την παραγωγή ενέργειας με φ/β συλλέκτες στα κτίρια αυτά. Παρά το γεγονός ότι σε πολλές χώρες όπου η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, έχουν ήδη εγκατασταθεί φ/β πλαίσια μεγάλης ισχύος, υπάρχουν ακόμα αρκετές χιλιάδες m² κατάλληλης επιφάνειας σε κτίρια, τα οποία θα μπορούσαν να καλυφθούν με φ/β πλαίσια.

Από ελληνικής πλευράς, το ενδιαφέρον για εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων της φ/β τεχνολογίας στα κτίρια αναγεννιέται με το Νόμο 3661/2008 (ΦΕΚ 89/Α/19.5.2008), σύμφωνα με τον οποίο η ελληνική νομοθεσία εναρμονίστηκε με την Οδηγία 2002/91 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της παρούσας εργασίας, στόχος του νόμου αυτού ήταν η εξοικονόμηση ενέργειας και η υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης και της ενέργειας από φ/β).

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει το σύνολο των κτιρίων στην Ελλάδα ανά γεωγραφική περιοχή κατά τις δυο τελευταίες απογραφές τους από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 ^{[81],[108]}		
Σύνολο κτιρίων στην Ελλάδα ανά γεωγραφική περιοχή κατά τις δυο τελευταίες απογραφές τους από την Ελληνική Στατιστική Αρχή		
Γεωγραφική Περιοχή	Σύνολο κτιρίων	
	Απογραφή κτιρίων 2001	Απογραφή κτιρίων 2011
Βόρεια Ελλάδα	1.197.142	1.205.969
Κεντρική Ελλάδα	1.146.639	1.444.364
Αττική	660.506	783.752
Νησιά Αιγαίου, Κρήτη	573.068	671.552
Σύνολο χώρας	3.577.355	4.105.637

Η κατανομή των κτιρίων ανάλογα με τη χρήση τους κατά το τελευταίο έτος απογραφής παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3 ^[108]	
Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τη χρήση τους (απογραφή 2011)	
Χρήση	Πλήθος κτιρίων
Κατοικίες	3.246.008
Εκκλησίες – μοναστήρια	48.387
Ξενοδοχεία	43.516
Εργοστάσια - εργαστήρια	33.762
Σχολικά κτίρια	21.853
Καταστήματα γραφεία	206.254
Σταθμοί αυτοκινήτων	17.467
Νοσοκομεία	1.973
Άλλη χρήση	486.417
Σύνολο χώρας	4.105.637

Τα πιο υποσχόμενα κτίρια για BIPV είναι εκείνα που βρίσκονται στο αστικό περιβάλλον μιας και είναι τεχνολογικά εφικτό και οικονομικά βιώσιμο να γίνει ενσωμάτωση φ/β. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κτίρια που η χρήση τους χαρακτηρίζεται ως:^[52]

- κοινής ωφέλειας (σχολεία, εκκλησίες, νοσοκομεία, μοναστήρια)
- επαγγελματική (βιομηχανίες, ξενοδοχεία, καταστήματα)
- κτίρια του δημόσιου τομέα (υπουργεία, νομαρχίες, δήμοι κλπ.)

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τη διαθέσιμη επιφάνεια κτιρίων στην Ελλάδα για αξιοποίησή της στην εγκατάσταση φ/β.^[52]

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4 ^[52]			
Διαθέσιμη επιφάνεια κτιρίων (km ²) στην Ελλάδα, για αξιοποίησή της στην εγκατάσταση φ/β			
Κατοικίες	Γραφεία και κτίρια υπηρεσιών	Βιομηχανικά κτίρια	Συνολική καθαρή επιφάνεια
64	11	6	81

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα αυτού, υπάρχουν στη χώρα μας περί τα 81km² επιφάνειας σε κτίρια, η οποία θα μπορούσε σήμερα να αξιοποιήσει την τεχνολογία των BIPV.

Ένα βασικό κριτήριο για την ενσωμάτωση φ/β σε ένα κτίριο, αποτελεί η αισθητική όχληση που μπορεί να προκαλέσει στην περιοχή. Για παράδειγμα, σε ένα νησιώτικο οικισμό με τα χαρακτηριστικά λευκά σπίτια και τις μπλε πόρτες/ παράθυρα, η ενσωμάτωση μαύρων φ/β στις όψεις ενός κτιρίου πιθανά δεν θα είχε ένα ικανοποιητικό αισθητικό αποτέλεσμα. Αντίθετα, φ/β πλαίσια μπλε χρώματος (π.χ. πολυκρυσταλλικών στοιχείων) θα μπορούσαν να διορθώσουν την αντίθεση αυτή. Για την αποφυγή της αισθητικής όχλησης γενικά, η σύγχρονη βιομηχανία διαθέτει μια μεγάλη ποικιλία (σε σχήματα και χρώματα) φ/β προϊόντων για ενσωμάτωση στα κτίρια, τα οποία παρέχουν την ικανότητα στους σχεδιαστές να τα συνδυάζονται αρμονικά με τις τοπικές αρχιτεκτονικές απαιτήσεις.^[52]

3.5. Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων κατάλληλων για χρήση σε κτιριακές εφαρμογές

Ένα φ/β στοιχείο γενικά σχεδιάζεται και κατασκευάζεται για εξωτερική χρήση. Συνεπώς, όλα τα προϊόντα που διαθέτουν φ/β στοιχεία θα πρέπει να αντέχουν στις διάφορες κλιματικές επιδράσεις όπως είναι η έκθεσή τους στον ήλιο, τη βροχή το κρύο κ.ο.κ. Αυτό σημαίνει ότι τα φ/β στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δομικά υλικά κτιρίων, αποτελώντας τμήμα τους, μιας και η εξωτερική επιφάνεια των κτιρίων υπόκειται στις ίδιες κλιματικές επιδράσεις.^[2] Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για ενσωμάτωσή τους στα κτίρια βασίζονται στις υπάρχουσες τρεις γενιές φ/β στοιχείων. Οι γενιές αυτές είναι:

- 1^η γενιά: *φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (crystalline Silicon, c-Si)*
- 2^η γενιά: *φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών επιστρώσεων (thin film)*
- 3^η γενιά: *οργανικά φωτοβολταϊκά στοιχεία (OPV)*

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (crystalline Silicon, c-Si)

Το κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si) είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση, μιας και αποτελεί το 25% του γήινου φλοιού. Είναι το ημιαγωγό υλικό εκείνο που κυριάρχησε μέχρι σήμερα στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία σαν υλικό κατασκευής φ/β στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, τα ηλιακά κύτταρα από κρυσταλλικό πυρίτιο αποτελούν το 80-85% της παγκόσμιας αγοράς φ/β. Τα φ/β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου καλούνται συχνά “συμβατικά” ή “πρώτης γενιάς”, καθώς άρχισαν να αναπτύσσονται από το 1950. Στις 25 Απρίλη του 1954, τα Bell Labs παρουσιάζουν το πρώτο φ/β στοιχείο c-Si απόδοσης 6%. Παρόλα αυτά παραμένουν ακόμα και σήμερα ο πιο διαδεδομένος τύπος φ/β στοιχείων για χρήση στη βιομηχανία φ/β. Ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού και τον ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής, τα φ/β στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:^{[35],[80],[33]}

i) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono c-Si):* Τα μονοκρυσταλλικά φ/β στοιχεία κατασκευάζονται τεμαχίζοντας έναν ενιαίο κρύσταλλο σε κυψέλες πάχους 0,33 έως 0,5mm. Ο κρύσταλλος αυτός προέρχεται από ένα μεγάλο πλίνθωμα ενιαίου κρυστάλλου, το οποίο έχει επεξεργαστεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 1400°C). Η διαδικασία αυτή παραγωγής των μονοκρυσταλλικών φ/β στοιχείων είναι μια πολύ ακριβή διαδικασία, πράγμα που συνεπάγεται το υψηλό κόστος των στοιχείων αυτών. Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν και τη μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή μετατρέπουν

μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (Float Zone). Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι 25,6% (144cm^2 cell).^{[116],[82]}

ii) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly c-Si)*: Τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται με μια διαδικασία χύτευσης στην οποία το λειωμένο πυρίτιο χύνεται σε μια φόρμα όπου μορφοποιείται και στη συνέχεια κόβεται στις φέτες. Δεδομένου ότι τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία κατασκευάζονται με τη διαδικασία της χύτευσης, σημαίνει ότι η παραγωγή τους είναι σημαντικά φτηνότερη (σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά), πράγμα που οδηγεί σε μείωση της απόδοσής τους. Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι 20,8% (243cm^2 cell).^{[116],[λ]}

iii) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (ribbon Si)*: Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φ/β στοιχείων πυριτίου πάχους 300μm. Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα με φωτολιθογραφική μέθοδο είναι 16,2%, ενώ εργαστηριακά έχει επιτευχθεί απόδοση 17,8% (4cm^2 cell).^[16]

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών επιστρώσεων (thin film)

Τα φ/β στοιχεία λεπτών επιστρώσεων αποτελούν τη δεύτερη γενιά φ/β στοιχείων και κατασκευάζονται από μια ή περισσότερες στρώσεις φ/β υλικού σε ένα υπόστρωμα από γυαλί, πλαστικό κ.α. Τα φ/β στοιχεία αυτά προέκυψαν από έρευνα που έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών στοιχείων με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων. Τα φ/β στοιχεία λεπτών επιστρώσεων έχουν πάχος από μερικά νανόμετρα (nm) έως μερικές δεκάδες μικρόμετρα (μm). Επιτρέπουν τα στοιχεία τους να είναι ελαστικά και μικρού βάρους. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονο σχεδόν μαύρο χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω φ/β στοιχεία.^[54]

i) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία τελλουριούχου καδμίου (CdTe)*: Από τα 4,4 GWp φ/β λεπτών επιστρώσεων που παρήχθησαν παγκοσμίως το 2014, τα φ/β στοιχεία CdTe έφτασαν το ποσοστό του 43% περίπου της συνολικής παραγωγής (1,9GWp), κατατάσσοντας τα φ/β αυτά στοιχεία στην πρώτη σειρά φ/β λεπτών επιστρώσεων. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του τελλουριούχου καδμίου είναι ότι παρέχει την δυνατότητα απορρόφησης ολόκληρης σχεδόν της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (σε ποσοστό περί το 99%). Σημαντικότερη χρήση του CdTe είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα στην τεχνολογία αυτή φ/β στοιχείων να αξιοποιηθεί για ενσωμάτωσή τους στα κτίρια. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των φ/β στοιχείων CdTe για οικιακή χρήση αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο, σύμφωνα με κάποιες έρευνες, είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Πρόβλημα επίσης αποτελεί και η γενικότερη έλλειψη του Τελλουρίου. Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι 21,0% (1cm^2 cell).^{[116],[ο]}

ii) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία δισεληνοϊνδιούχου χαλκού με προσθήκη γάλλιου CI(G)S*: Έρχονται δεύτερα σε παραγωγή το 2014 με συνολική παραχθείσα ισχύ που φτάνει τα 1,7 GWp. Παρουσιάζουν εξαιρετική απορροφητικότητα την προσπίπτον ηλιακή

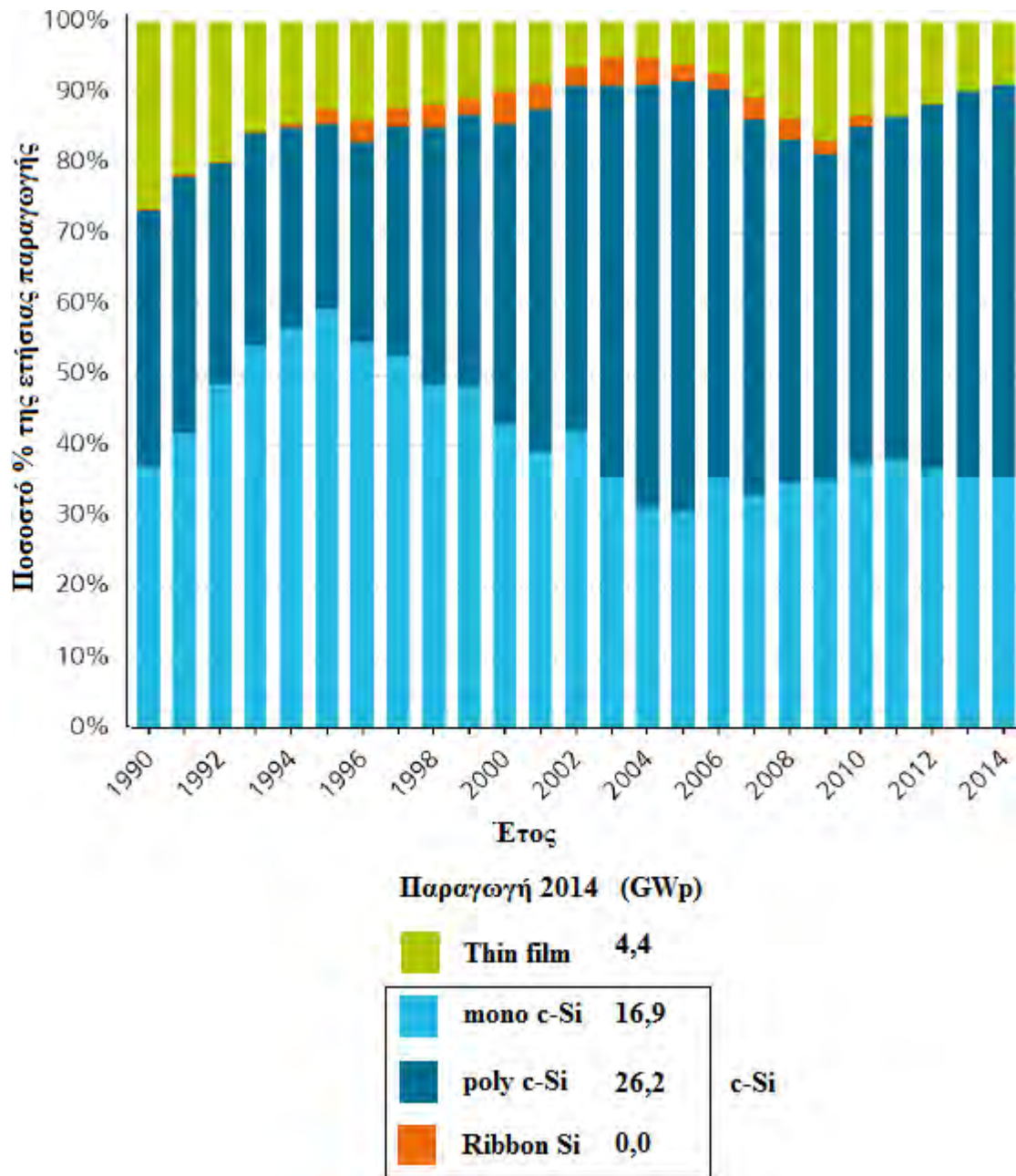
ακτινοβολία. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι 20,5% ($1\text{cm}^2 \text{ cell}$).^{[116],[119]}

iii) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (a-Si)*: Τα φ/β στοιχεία άμορφου πυριτίου ήρθαν τρίτα στην κατάταξη σε παραγωγή φ/β στοιχείων λεπτών επιστρώσεων το 2014, καλύπτοντας 0,8 GWp από τα συνολικά 4,4 GWp που παρήχθησαν τη χρονιά αυτή. Ο χαρακτηρισμός "άμορφο" προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Το άμορφο πυρίτιο, γίνεται με την εναπόθεση του πυριτίου επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού από ένα αντιδραστικό αέριο όπως το Σιλάνιο (SiH_4). Δεν έχει κρυσταλλική δομή και το πάχος του (2-3 μm) είναι ιδιαίτερα μικρότερο από το κρυσταλλικής μορφής πυρίτιο (200-500 μm). Από κατασκευαστικής άποψης, τα φ/β στοιχεία a-Si κατασκευάζονται με συμπύκνωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης αερίων πυριτιούχων ενώσεων, μια σχετικά απλή και φθηνή διαδικασία, πράγμα που κάνει την τεχνολογία αυτή φ/β στοιχείων σαφώς πιο οικονομική από την προηγούμενη. Όσον αφορά την απόδοσή τους, αυτή είναι συγκριτικά μικρότερη από αυτή των στοιχείων c-Si. Παρόλα αυτά, είναι ικανοποιητική ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης ηλιοφάνειας. Τα ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου έχουν μια κοκκινωπή-καφέ απόχρωση, σχεδόν μαύρη, και επιφάνεια αποτελούμενη από στενές, μεγάλου μήκους λωρίδες. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των φ/β στοιχείων a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζονται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι 13,4% ($1\text{cm}^2 \text{ cell}$).^{[116],[119],[35]}

iv) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία θειούχου καδμίου (CdS)*: Το θειούχο κάδμιο είναι ένας ημιαγωγός με σχετικά μεγάλο ενεργειακό χάσμα ($E_g=2,45\text{eV}$) που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές οπτοηλεκτρονικές εφαρμογές. Συμπεριφέρεται συνήθως σαν ημιαγωγός τύπου n. Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι 21,0% ($1\text{cm}^2 \text{ cell}$).^{[116],[35]}

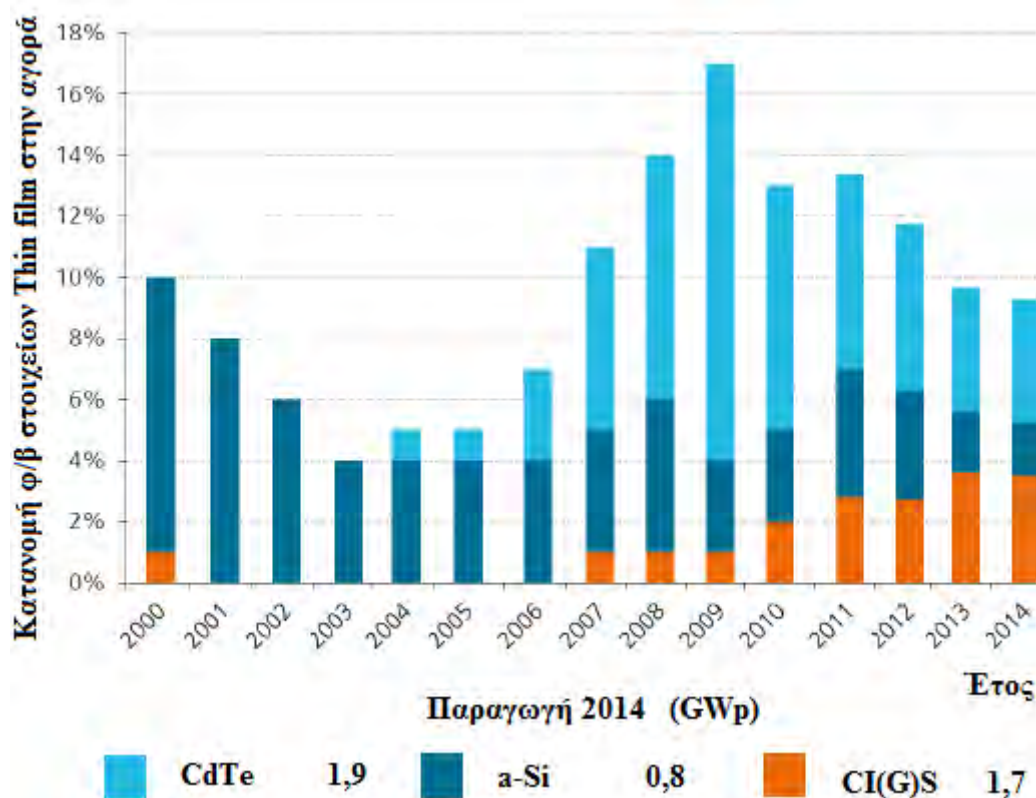
v) *Φωτοβολταϊκά στοιχεία αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)*: Το αρσενικούχο γάλλιο είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό χάσμα 1,42eV. Η τιμή αυτή του ενεργειακού χάσματος βρίσκεται στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας. Το σχετικά μεγάλο ενεργειακό χάσμα του GaAs κάνει τα στοιχεία αυτά εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων. Το γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι τόσο σπάνιο, άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Τα φ/β στοιχεία GaAs αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Σε συνδυασμό με την πολύ υψηλή τους απόδοση, ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Μειονεκτούν λόγω του υψηλού τους κόστους. Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι 28,8%^{[35],[83],[12]}

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την παραγωγή φ/β στοιχείων των δυο πρώτων γενιών σε ποσοστό της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής. Η ίδια εικόνα παρουσιάζει και την παγκόσμια νέα παραγωγή φ/β στοιχείων των δυο πρώτων γενιών (σε GWp) το έτος 2014.



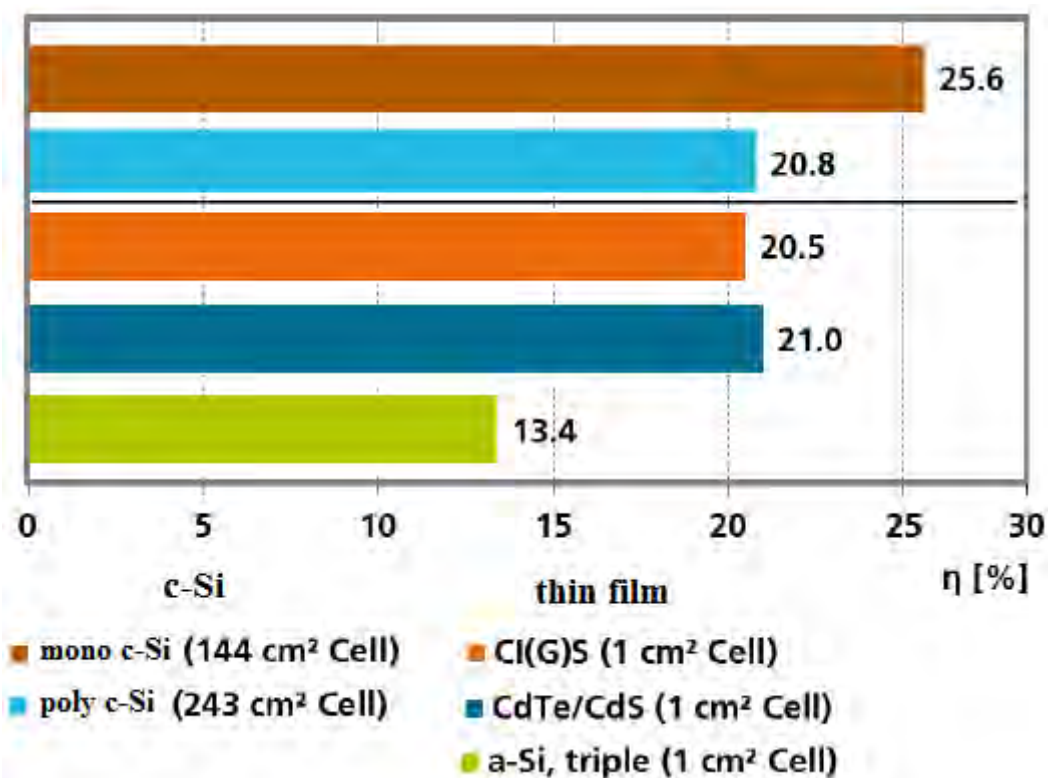
Εικόνα 3-3. Παραγωγής φ/β στοιχείων των δυο πρώτων γενιών σε ποσοστό της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής^[116]

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την παραγωγή φ/β στοιχείων δεύτερης γενιάς σε ποσοστό της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής, για τα τρία κυριότερα είδη φ/β στοιχείων thin film.



Εικόνα 3-4. Κατανομή παραγωγής φ/β στοιχείων δεύτερης γενιάς σε ποσοστό της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής, για τρία βασικά είδη φ/β στοιχείων thin film^[116]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει τις μέγιστες επιτευχθείσες αποδόσεις των στοιχείων των δυο πρώτων γενιών.

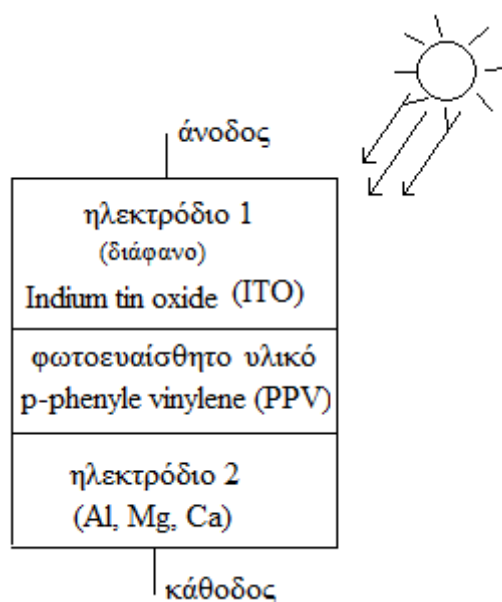


Εικόνα 3-5. Μέγιστες επιτευχθείσες αποδόσεις φ/β στοιχείων των δυο πρώτων γενιών^[116]

3) Οργανικά φωτοβολταϊκά (OPV)

Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία και την τρίτη κατά σειρά γενιά φ/β στοιχείων. Τα οργανικά φ/β στοιχεία λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγωγίμες p-n επαφές, τα οργανικά στοιχεία χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν τη μεγάλης κλίμακας, χαμηλής θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών στοιχείων σε υποστρώματα πλαστικών.^[82] Λόγω του πλαστικού αυτού υποστρώματος, τα οργανικά φ/β στοιχεία καλούνται και “πλαστικά”. Τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι ο πολύ χαμηλός βαθμός απόδοσης των στοιχείων και το υψηλό τους κόστος. Διακρίνουμε τρεις κατηγορίες οργανικών (πλαστικών) φ/β στοιχείων:

i) *Οργανικά φωτοβολταϊκά μονού στρώματος (Single Layer OPVs)*. Είναι ο πιο απλός τύπος οργανικών φ/β στοιχείων. Αποτελούνται από ένα στρώμα ενός φωτοευαίσθητου ημιαγωγού υλικού ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια (άνοδος και κάθοδος). Το ένα εκ των δυο ηλεκτροδίων (άνοδος) είναι διάφανο έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να μπορεί να φτάνει στο φωτοευαίσθητο στρώμα. Το δεύτερο ηλεκτρόδιο (κάθοδος) είναι από μέταλλο όπως Al, Mg ή Ca. Μια τέτοια διάταξη παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1994 από τον R. N. Marks. Ένα φωτοευαίσθητο στρώμα από p-phenylene vinylene (PPV) τοποθετήθηκε ανάμεσα σε δυο ηλεκτρόδια, ένα εκ των οποίων ήταν διάφανο, κατασκευασμένο από Indium Tin Oxide (ITO). Η μέγιστη απόδοση του στοιχείου αυτού ήταν 0,1% υπό πυκνότητα ακτινοβολίας 0,1mW/cm². Η χαμηλή απόδοση των στοιχείων μονού στρώματος οφείλεται στην πολύ χαμηλή κινητικότητα των φορέων του ημιαγωγού.^{[13],[14],[17]}



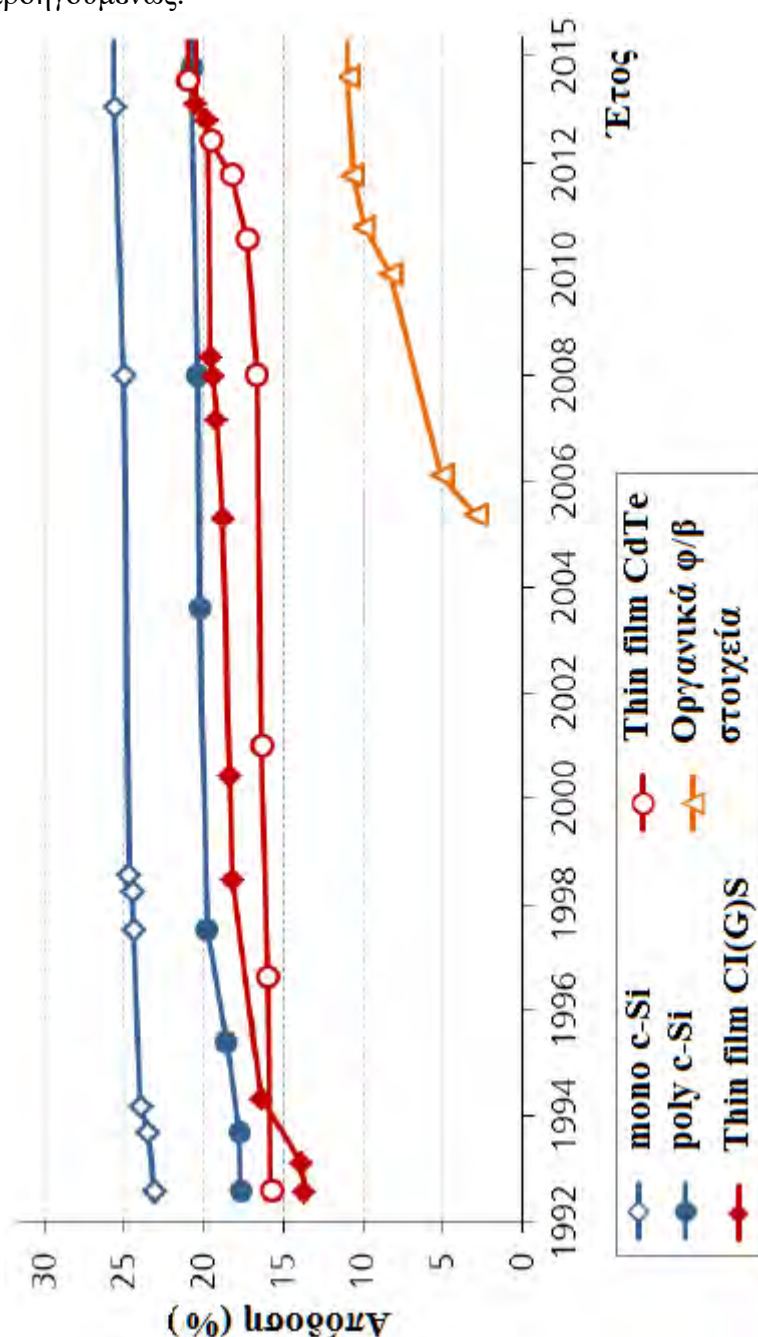
Εικόνα 3-6. Σχηματική δομή του πρώτου Single Layer OPV^{[13],[14],[17]}

ii) *Οργανικά φωτοβολταϊκά διπλού στρώματος (Bilayer OPVs)*. Τα οργανικά φ/β διπλού στρώματος περιλαμβάνουν ένα επιπλέον στρώμα οργανικού υλικού ανάμεσα στα δυο ηλεκτρόδια. Τα δύο αυτά στρώματα έχουν διαφορετική ηλεκτρική τάση και ενέργεια ιονισμού, πράγμα που σημαίνει ότι στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των δύο στρώσεων αναπτύσσονται ηλεκτροστατικές δυνάμεις. Το στρώμα με την

υψηλότερη ενέργεια ιονισμού είναι ο αποδέκτης ηλεκτρονίων, ενώ το άλλο στρώμα είναι ο δότης ηλεκτρονίων. Η απόδοσή τους φτάνει το 11,0%.^{[13],[15],[17],[116]}

iii) *Οργανικά φωτοβολταϊκά διεσπαρμένης ετεροεπαφής (Bulk Heterojunction)*. Η απόδοσή τους φτάνει το 4,4%.^{[30],[17]}

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει συγκεντρωτικά την εξέλιξη της απόδοσης των αντιπροσωπευτικότερων τεχνολογιών φ/β στοιχείων για τις τρεις γενιές που αναλύσαμε προηγουμένως.



Εικόνα 3-7. Εξέλιξη της απόδοσης των αντιπροσωπευτικότερων τεχνολογιών φ/β στοιχείων για τις τρεις γενιές^[116]

3.6. Μορφή φ/β στοιχείων για ενσωμάτωσή τους στα κτίρια

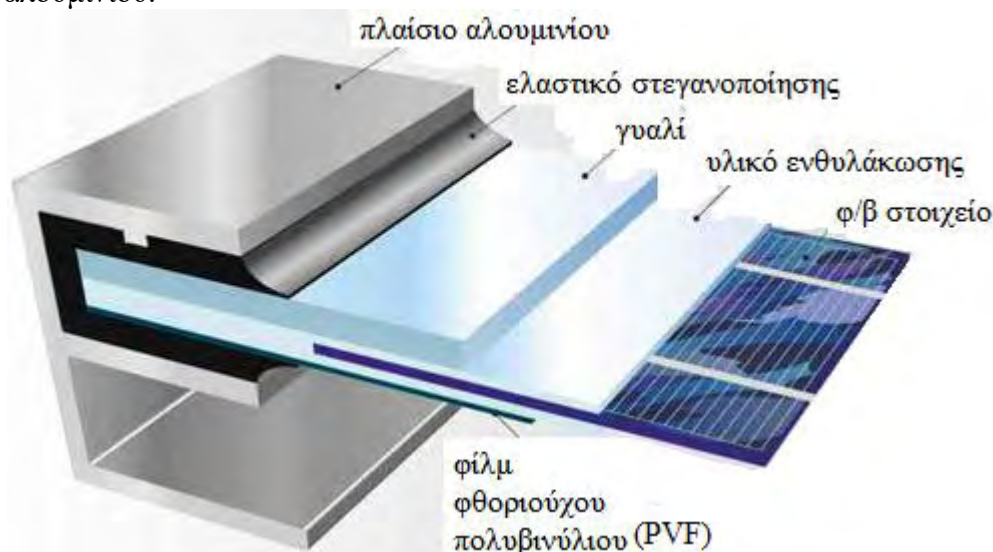
Τα φ/β στοιχεία των τριών γενιών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο δεν μπορούν από μόνα τους να ενσωματωθούν στα κτίρια. Πρέπει είτε να μετασχηματιστούν σε κατάλληλα δομικά στοιχεία, είτε να υποστούν κάποια επεξεργασία προκειμένου να προκύψουν προϊόντα τα οποία στη συνέχεια θα μπορέσουν ενσωματωθούν στα κτίρια. Έτσι, τα πρωτογενή φ/β στοιχεία μπορούν να ενσωματωθούν στα κτίρια ως:

1) Στάνταρ φ/β πλαίσια με περίβλημα (framed solar panels). Πρόκειται για τα συνήθη φ/β πλαίσια με μεταλλικό ή πλαστικό περίβλημα που τοποθετούνται ήδη στις στέγες των κτιρίων και στα φ/β πάρκα στην ύπαιθρο. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από μερικά τετραγωνικά εκατοστά μέχρι και τα δυο περίπου τετραγωνικά μέτρα ανά πλαίσιο. Διατίθενται σε ισχύς από 10W έως και 290W. Συνήθως διαθέτουν φ/β στοιχεία τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου (mono c-Si, poly c-Si) ή λεπτών επιστρώσεων (thin film).



Εικόνα 3-8. Φ/β πλαίσια με περίβλημα αλουμινίου. Αριστερά: τεχνολογίας mono c-Si, δεξιά: τεχνολογίας poly c-Si^[85]

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η τομή ενός τυπικού φ/β πλαίσια με πλαίσιο αλουμινίου.



Εικόνα 3-9. Τομή ενός τυπικού φ/β πλαισίου με περίβλημα αλουμινίου^[86]

Για την κατασκευή των φ/β πλαισίων αυτής της μορφής, τα φ/β στοιχεία αφού αρχικά συνδεθούν μεταξύ τους προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλαισίου, ενθυλακώνονται σε ένα πολυμερή υλικό. Το υλικό αυτό ενθυλάκωσης εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς όπως η παροχή μηχανικής υποστήριξης, ηλεκτρική απομόνωση, προστασία από τις εξωτερικές καιρικές επιδράσεις (υγρασία κ.α.). Διάφορα υλικά χρησιμοποιούνται για την ενθυλάκωση των φ/β στοιχείων, αλλά το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο είναι συνήθως το EVA (Ethylene Vinyl Acetate). Το υλικό αυτό διαθέτει καλή διηλεκτρική αντοχή και προστασία από την υγρασία, ενώ παράλληλα δημιουργεί μια μόνιμη, σταθερή και σφιχτή συνένωση των φ/β στοιχείων. Τα ενθυλακωμένα φ/β στοιχεία τοποθετούνται επάνω σε μια βάση από PVF και καλύπτονται από γυάλινο τζάμι. Το γυαλί που κατασκευάζονται τα φ/β πλαίσια πρέπει να είναι υψηλής διαφάνειας και καθαρότητας, προκειμένου να έχουμε μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φ/β στοιχεία. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο (low iron glass). Η υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο δίνει τη χαρακτηριστική πρασινωπή απόχρωση στις ακμές του γυαλιού.^[9]



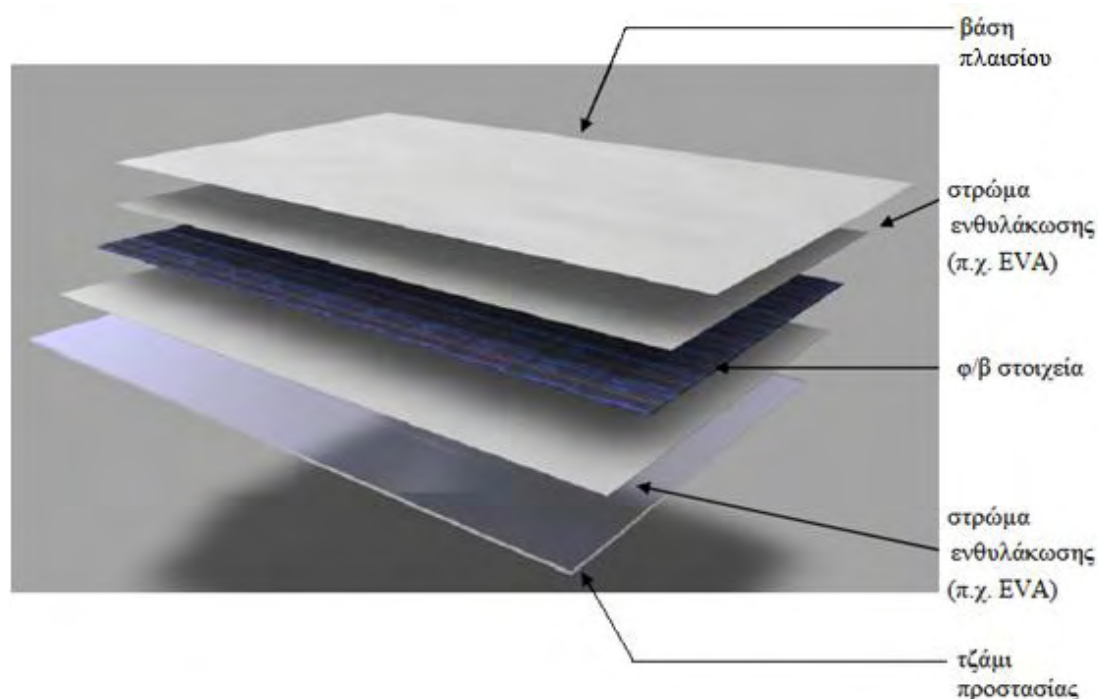
Εικόνα 3-10. Σύγκριση μεταξύ γυαλιού χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (επάνω) και κανονικού γυαλιού (κάτω)^[95]

Υπάρχουν δυο τύποι γυάλινων τζαμιών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των φ/β πλαισίων:

- *Toughened (tempered) glass*. Ο τύπος αυτού γυαλιού παρέχει υψηλή αντοχή και ασφάλεια. Σε περίπτωση θραύσης του τεμαχίζεται σε πολύ μικρά, συνήθως τετράγωνα κομμάτια για περιορισμό του κινδύνου τραυματισμού.
- *Laminated glass*. Πρόκειται για γυαλί ασφαλείας που αποτελείται από δυο ξεχωριστά φύλλα γυαλιού ενωμένα μεταξύ τους με ένα φιλμ από PVB (Polyvinyl Butyral). Σε περίπτωση θραύσης του γυαλιού, το ενδιάμεσο φιλμ από PVB συγκρατεί θραύσματα.^[6]

Το όλο σύνολο αυτό τοποθετείται ανάμεσα σε κατάλληλο πλαίσιο (συνήθως αλουμινίου) και σφραγίζεται με προστατευτικές ελαστικές φλάντζες. Συνήθως στη βάση από PVF υπάρχουν μικρές τρύπες για να διαφεύγει η τυχόν εγκλωβισμένη υγρασία. Είναι προφανές ότι η κατασκευή αυτή εξασφαλίζει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις υποδοχές στήριξης και την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία.^{[35],[103]}

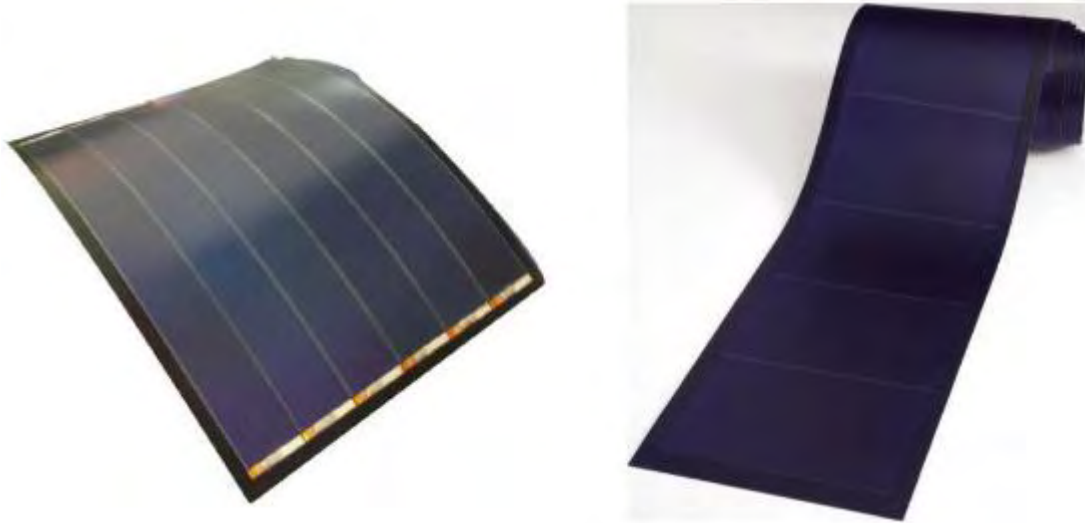
2) Φ/β πλαίσια άνευ περιβλήματος (frameless solar panels). Στα πλαίσια αυτά, τα φ/β στοιχεία ενθυλακώνονται ανάμεσα στο προστατευτικό τζάμι και το υλικό της βάση χωρίς να υπάρχει εξωτερικά περιμετρικό πλαίσιο. Λόγω της απουσίας του πλαισίου αυτού, τα πλαίσια της κατηγορίας αυτής επιλέγονται για αισθητικούς λόγους.^[6] Και στα πλαίσια αυτά το προστατευτικό τζάμι της πρόσοψης δεν είναι από κοινό γυαλί αλλά από toughened/tempered glass, υψηλής καθαρότητας, για αυξημένη προστασία και αντοχή. Η ενθυλάκωση των φ/β στοιχείων γίνεται συνήθως είτε με φύλλα EVA (Ethylene Vinyl Acetate), είτε με φύλλα PVB (Polyvinyl Butyral), είτε με φύλλα TPU (Thermoplastic Polyurethane). Η μηχανική αντοχή των πλαισίων άνευ περιβλήματος οφείλεται στη βάση και το προστατευτικό τζάμι, που παρέχουν ακαμψία σε όλο το πλαίσιο. Το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι το σχετικά μικρότερο συνολικό πάχος τους σε σχέση με τα πλαίσια με περίβλημα. Η ισχύς και οι διαστάσεις των πλαισίων αυτών βρίσκονται στην ίδια κατηγορία με των πλαισίων με περίβλημα. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει τα διάφορα στρώματα ενός φ/β πλαισίου άνευ περιβλήματος.^[87]



Εικόνα 3-11. Διαστρωμάτωση φ/β πλαισίου άνευ περιβλήματος^[87]

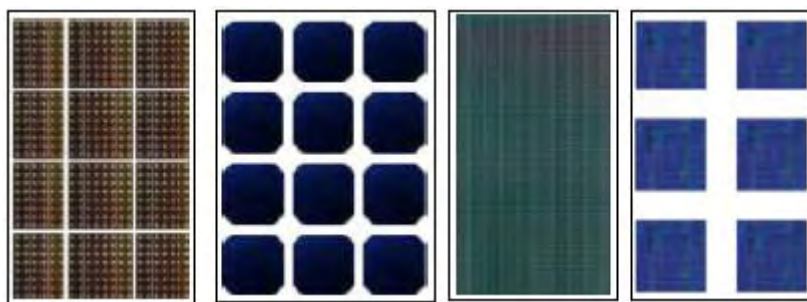
3) Εύκαμπτα φ/β πλαίσια (flexible solar panels). Πρόκειται για εύκαμπτα πλαίσια πάχους μερικών χιλιοστών, με δυνατότητα να προσαρμόζονται σε επιφάνειες σχεδόν οποιασδήποτε ακτίνας καμπυλότητας. Κατασκευάζονται με την τοποθέτηση φ/β στοιχείων thin film (κυρίως άμορφου πυριτίου) επάνω σε ένα πλαστικό υπόστρωμα, τα οποία στη συνέχεια καλύπτονται με ένα πολυεστερικό στρώμα ή στρώμα από ETFE (Ethylene tetrafluoroethylene). Πέραν της ελαστικότητάς τους, ο τύπος αυτός φ/β πλαισίων είναι ιδιαίτερα ελαφρύς, ενώ σε συνδυασμό με την ευκολία στην εγκατάστασή τους καθιστά την ιδέα για τοποθέτησή τους στις οροφές των κτιρίων ιδιαίτερα ελκυστική. Τα εύκαμπτα φ/β πλαίσια διαθέτουν συνήθως μικρό συντελεστής πληρότητας (Fill Factor) που σημαίνει ότι μέρος της επιφάνειάς τους δεν καλύπτεται από φ/β στοιχεία παρέχοντας τη δυνατότητα στο ηλιακό φως να περάσει μέσα τους. Τα εύκαμπτα φ/β πλαίσια διατίθενται σε δυο τύπους:^{[3], [89]}

- *Εύκαμπτα ορθογώνια πλαίσια διαστάσεων συναφών με τα φ/β πλαίσια με περίβλημα*
- *Εύκαμπτο πλαίσιο σε ρολό*



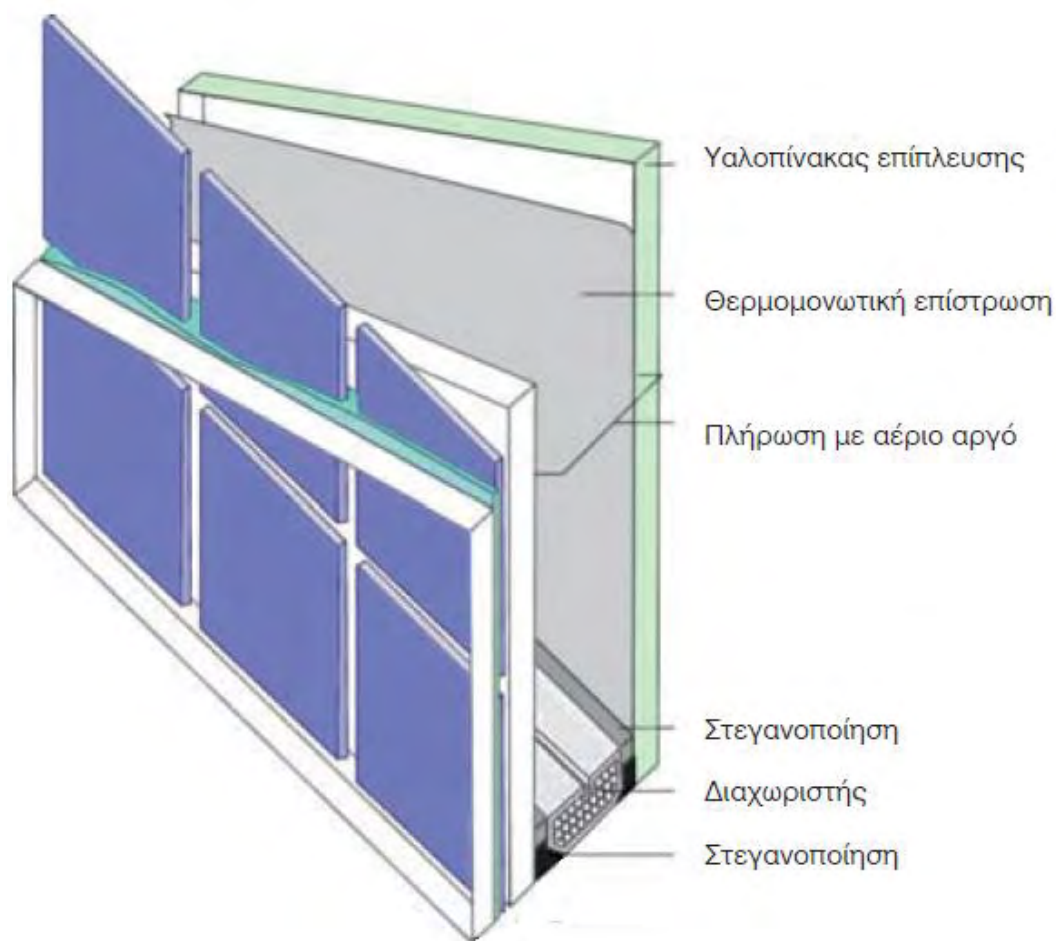
Εικόνα 3-12. Εύκαμπτα φ/β πλαίσια. Αριστερά: τύπου ορθογώνιου πλαισίου, Δεξιά: φ/β πλαίσιο σε ρολό^[88]

4) Φ/β πλαίσια σε μορφή υαλοπίνακα ή γυάλινου τζαμιού. Πρόκειται για γυάλινα τζάμια ή υαλοπίνακες που διαθέτουν φ/β στοιχεία συγκεκριμένης διαφάνειας, επιτρέποντας το ηλιακό φως να περάσει μέσα τους, παρέχοντας προστασία από τη βροχή και το κρύο. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία υαλοπινάκων ανάλογα με το χρώμα των φ/β στοιχείων που διαθέτουν, το ποσοστό διαφάνειάς τους και το συντελεστή πληρότητας. Η απόσταση των φ/β στοιχείων (συνήθως 3-50mm) σε έναν τέτοιο υαλοπίνακα σχετίζεται με την επιθυμητή διαφάνεια και το ποσοστό σκίασης που θέλουμε να διαθέτει. Μπορούν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά τζάμια στα παράθυρα ή αποτελέσουν τμήμα της οροφής ή της πρόσοψης ενός κτιρίου. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει παραδείγματα φ/β στοιχείων σε μορφή γυάλινων τζαμιών διαφορετικών χρωμάτων, διαφάνειας και συντελεστού πληρότητας.^[3]



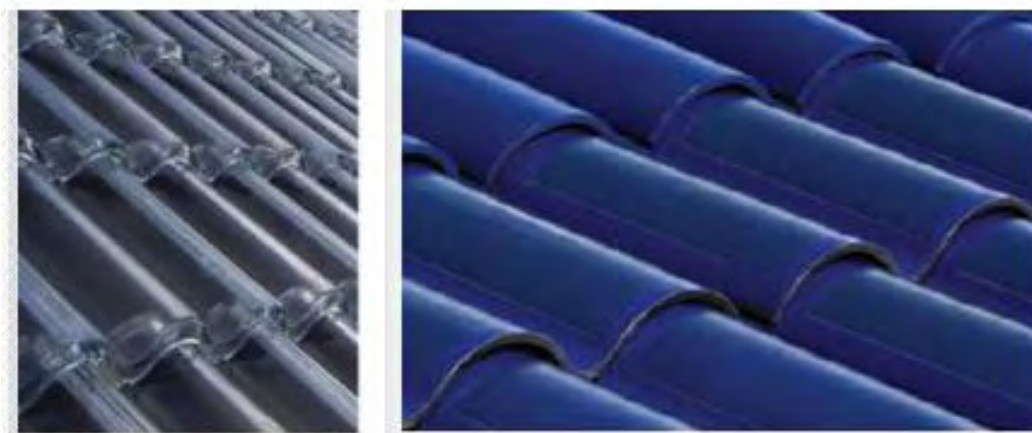
Εικόνα 3-13. Φ/β στοιχεία σε μορφή υαλοπίνακα διαφορετικών χρωμάτων, διαφάνειας και συντελεστού πληρότητας^[3]

Τα πλαίσια αυτά επιλέγονται στις περιπτώσεις αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης, όχι μόνο λόγω του ιδιαίτερου σχεδιασμού τους, αλλά και γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτικοί υαλοπίνακες. Η δομή ενός τέτοιου ημιπερατού φ/β πλαισίου για ενσωμάτωση σε κτίριο φαίνεται στην επόμενη εικόνα.^[53]



Εικόνα 3-14. Δομή ενός ημιπερατού φ/β πλαισίου μορφής υαλοπίνακα για ενσωμάτωση σε κτίριο^[53]

5) Φ/β στοιχεία σε σχήμα κεραμιδιών – ηλιακά κεραμίδια (solar tiles). Πρόκειται για φ/β στοιχεία σε σχήμα κεραμιδιού. Αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη στέγη των κτιρίων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Διατίθενται σε διάφορα σχέδια κεραμιδιών (από επίπεδες πλάκες έως τα κλασικά παραδοσιακά καμπυλωτά κεραμίδια). Μπορούν να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά κεραμίδια από πηλό για να καλύψουν τμήμα ή και ολόκληρη τη στέγη.^{[3][104]}



Εικόνα 3-15. Παραδοσιακά ηλιακά κεραμίδια^{[3][104]}



Εικόνα 3-16. Ηλιακά κεραμίδια σε σχήμα πλάκας (slates)^[3]

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ορισμένους κατασκευαστές ηλιακών κεραμιδιών-πλακών και τα βασικά χαρακτηριστικά από προϊόντα τους.

Manufacturer	Product	U_{oc} (V)	I_{sc} (A)	P_{max} (W)	FF	$P_{max}/area$ (W/m ²)
Solardachstein	STEPdesign	23.15	2.40	1.36 /cell	0.76	136
SRS Energy	Solé Powertile	6.3	4.6	15.75 /module	0.54	39.7
Lumeta	Solar Flat Tile	7.4	5.2	28 /module	0.73	71.6
Solar Century	C21e Tile	12.0	5.55	52 /module	0.78	101.5

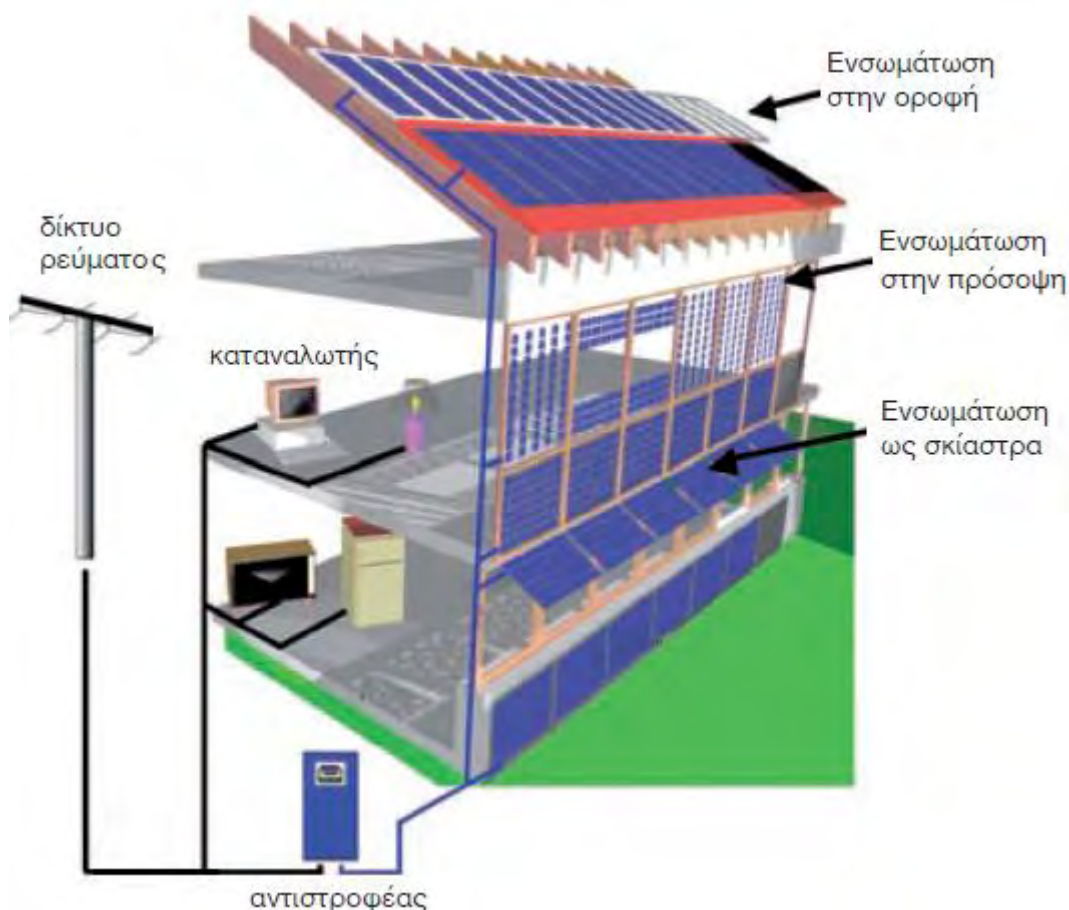
Εικόνα 3-17. Κατασκευαστές ηλιακών κεραμιδιών-πλακών και βασικά χαρακτηριστικά από τα προϊόντα τους^[3]

3.7. Δυνατότητες ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στα κτίρια

Τα φ/β στοιχεία μπορούν να ενσωματωθούν στα κτίρια με τρεις κυρίως μεθόδους:^[53]

- ενσωμάτωση στην στέγη
- ενσωμάτωση στις προσόψεις
- ως σκίαστρα-στέγαστρα

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τις τρεις αυτές δυνατότητες ενσωμάτωσης.



Εικόνα 3-18. Δυνατότητες ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε κτίριο^[53]

Τα ενσωματωμένα φ/β συστήματα μπορούν να λειτουργούν:

- είτε ως αυτόνομα με αποθήκευση (*Stand-alone PV Systems*), αξιοποιώντας την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των καταναλώσεων του κτιρίου, αποθηκεύοντας την περίσσειά της σε συσσωρευτές,
- είτε ως συνδεδεμένα με το δίκτυο (*Utility-Grid Connected PV Systems*), διοχετεύοντας όλη την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής.^[84]

3.7.1. Ενσωμάτωση φ/β στην στέγη των κτιρίων

Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στοιχείων στο εξωτερικό κέλυφος ενός κτιρίου και κυρίως στην στέγη, είναι μία τεχνική η οποία κερδίζει συνεχώς έδαφος καθώς η τεχνολογία φ/β στοιχείων αναπτύσσεται ραγδαία.^[93]

Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές δυνατότητες ενσωμάτωσης φ/β στην στέγη των κτιρίων. Οι δυνατότητες αυτές ενσωμάτωσης είναι οι εξής:

Α) Τοποθέτηση των φ/β επάνω στην επιφάνεια της στέγης. Στην ουσία δεν πρόκειται για ενσωμάτωση τους με τη στέγη. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή είναι η πιο διαδεδομένη εφαρμογή εγκατάστασης φ/β στις στέγες των κτιρίων. Η τοποθέτηση των φ/β μπορεί να γίνει υπό κλίση, ανεξάρτητη της κλίσης της στέγης, ή να

ακολουθεί την υπάρχουσα κλίση της. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει τις δυο περιπτώσεις τοποθέτησης φ/β στη στέγη κτιρίου.^{[1],[53]}



Εικόνα 3-19. Τοποθέτηση φ/β επάνω στην επιφάνεια της στέγης. Αριστερά: υπό κλίση, ανεξάρτητη της κλίσης της στέγης, Δεξιά: ακολουθώντας την κλίση της στέγης^[1]

Β) Μερική ενσωμάτωση φ/β σε τμήμα της στέγης. Στην περίπτωση αυτή τα φ/β ενσωματώνονται στα δομικά υλικά και αποτελούν τμήμα της στέγης.^[53]



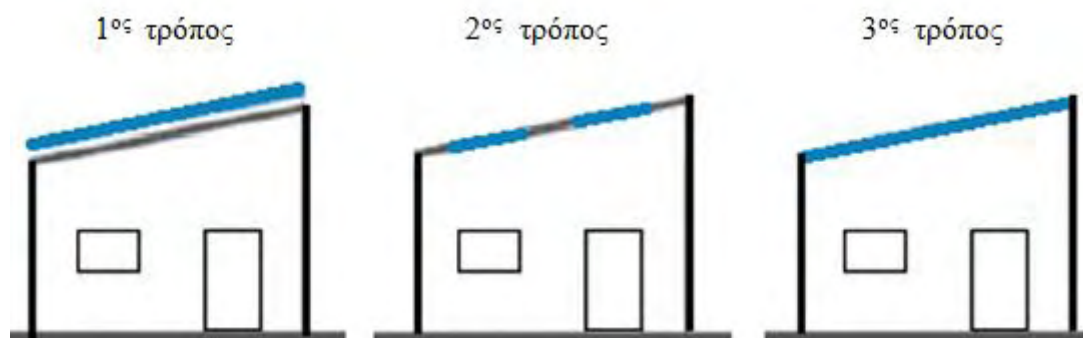
Εικόνα 3-20. Απευθείας ενσωμάτωση φ/β στη στέγη και αντικατάσταση μέρους της^{[1],[53]}

Γ) Πλήρης ενσωμάτωση φ/β στη στέγη. Στην περίπτωση αυτή τα φ/β υποκαθιστούν τα συνήθη δομικά υλικά της στέγης.^[53]



Εικόνα 3-21. Αντικατάσταση όλης της στέγης με φ/β^[53]

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει σχηματικά τους τρεις αυτούς εναλλακτικούς τρόπους ενσωμάτωσης φ/β στις στέγες κτιρίων.



Εικόνα 3-22. Οι τρεις εναλλακτικοί τρόποι ενσωμάτωσης φ/β στις στέγες κτιρίων^[53]

Και οι πέντε διαθέσιμες μορφές φ/β προϊόντων που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.6. μπορούν να βρουν εφαρμογή σε εγκατάσταση-ενσωμάτωση στις στέγες των κτιρίων. Αναφέρεται πάλι ότι οι μορφές αυτές φ/β προϊόντων για κτιριακές εφαρμογές στις στέγες των κτιρίων είναι:

- 1) Στάνταρ φ/β πλαίσια με περίβλημα (framed solar panels)
- 2) Φ/β πλαίσια άνευ περιβλήματος (frameless solar panels)
- 3) Εύκαμπτα φ/β πλαίσια (flexible solar panels)
- 4) Φ/β στοιχεία σε μορφή υαλοπίνακα ή γυάλινου τζαμιού
- 5) Φ/β στοιχεία σε σχήμα κεραμιδιών - ηλιακά κεραμίδια (solar tiles)

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τυπικές εφαρμογές στις στέγες κτιρίων όλων των διαθέσιμων φ/β προϊόντων που αναφέραμε.



Εικόνα 3-23. Χρήση στάνταρ φ/β πλαισίων με περίβλημα για εγκατάσταση σε στέγη^[100]



Εικόνα 3-24. Χρήση frameless solar panels για εγκατάσταση σε στέγη^[90]



Εικόνα 3-25. Χρήση εύκαμπτων φ/β πλαισίων (σε ρολό), για εγκατάσταση σε στέγη^[96]



Εικόνα 3-26. Χρήση φ/β πλαισίων σε μορφή υαλοπίνακα για ενσωμάτωση σε στέγη^[106]



Εικόνα 3-27. Χρήση ηλιακών κεραμιδιών (solar tiles) για ενσωμάτωση σε στέγη^[105]

3.7.2. Ενσωμάτωση φ/β στις προσόψεις των κτιρίων

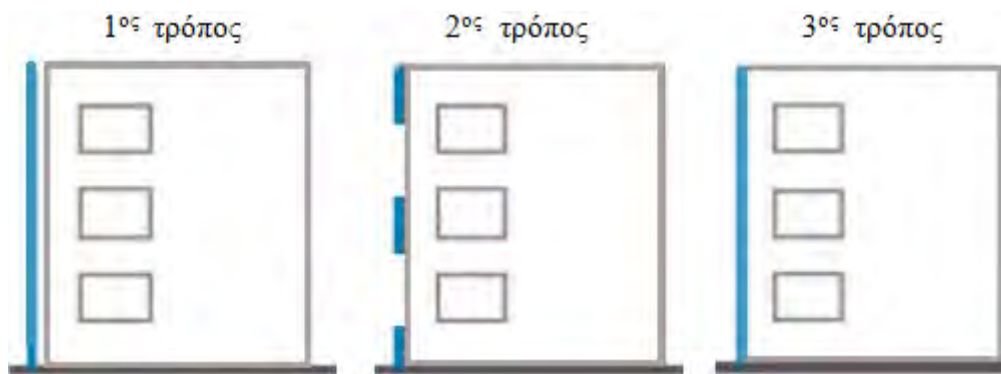
Με τη ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας φ/β προϊόντων για κτιριακή χρήση, η ενσωμάτωση φ/β στοιχείων στις προσόψεις κτιρίων σήμερα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Το ενδιαφέρον αυτό πηγάζει από τη δυνατότητα που προσφέρει η ενσωμάτωση φ/β στα κτίρια να αξιοποιήσουν πολλά από τα πλεονεκτήματα που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου. Είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται συχνά σε κτίρια με μεγάλες προσόψεις και νότιο προσανατολισμό. Παρ' όλα αυτά, δύσκολα αποτελεί μια αποδοτική ενεργειακά και οικονομικά λύση για ήδη υπάρχοντα κτίρια, καθώς το κόστος μετατροπής είναι μεγάλο. Ένα μειονέκτημα ακόμα της τοποθέτησης φ/β στοιχείων εκ των υστέρων σε πρόσοψη ενός υπάρχον κτιρίου είναι η μειωμένη απόδοσή τους λόγω του σταθερού προσανατολισμού και της σταθερής κλίσης που έχουν.^[93]

Μια σύγχρονη πρόσοψη μπορεί να παρέχει διαφορετικές λειτουργίες στο κτίριο όπως θερμική προστασία, μόνωση, προστασία από τον ήλιο και την υγρασία, προστασία από τον θόρυβο κ.α. Με την ενσωμάτωση φ/β στα κτίρια είναι δυνατή η επίτευξη όλων των παραπάνω στόχων, με επιπλέον πλεονέκτημα την παραγωγή, φιλικής προς το περιβάλλον, ηλεκτρικής ενέργειας.^[53]

Υπάρχουν τρεις βασικές δυνατότητες για την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στην πρόσοψη ενός κτιρίου:^[53]

- α) τοποθέτηση των φ/β επάνω από την υπάρχουσα πρόσοψη
- β) απευθείας ενσωμάτωση φ/β σε τμήμα της πρόσοψης
- γ) πλήρης αντικατάσταση των συμβατικών δομικών υλικών της πρόσοψης με φ/β

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει σχηματικά τις τρεις εναλλακτικές δυνατότητες ενσωμάτωσης φ/β στην πρόσοψη κτιρίων.^[53]



Εικόνα 3-28. Εναλλακτικοί τρόποι ενσωμάτωσης φ/β στην πρόσοψη κτιρίων^[53]

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει την καταλληλότητα των φ/β προϊόντων που προορίζονται για τοποθέτηση-ενσωμάτωση στα κτίρια και τα οποία αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.6, σε σχέση με τη δυνατότητα ένταξής τους στην πρόσοψη του κτιρίου.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-5					
Καταλληλότητα φ/β προϊόντων σε σχέση με τη δυνατότητα ενσωμάτωσής τους στην πρόσοψη του κτιρίου					
<div>Φ/β προϊόν</div> <div>Δυνατότητα ενσωμάτωσης</div>	Στάνταρ φ/β πλαίσια με περίβλημα (framed solar)	Φ/β πλαίσια άνευ περιβλήματος (frameless solar)	Ευκάμπτα φ/β πλαίσια (flexible solar panels)	Φ/β στοιχεία σε μορφή υαλοπίνακα ή γυάλινου τζαμιού	Φ/β στοιχεία σε σχήμα κεραμιδιών - ηλιακά κεραμίδια (solar tiles)
Τοποθέτηση των φ/β επάνω από την υπάρχουσα πρόσοψη	+	+	-	-	0
Απευθείας ενσωμάτωση φ/β σε τμήμα της πρόσοψης	-	-	-	+	0
Πλήρης αντικατάσταση των συμβατικών δομικών υλικών της πρόσοψης με φ/β	-	-	-	+	0
Σημ: + μεγάλη καταλληλότητα, - μέτρια καταλληλότητα, 0 ακατάλληλο					

Σε περίπτωση που επιλεχθεί να εγκατασταθούν φ/β σε μια υπάρχουσα πρόσοψη κατασκευασμένη με συμβατικά δομικά υλικά, τότε θα πρέπει να καταφύγει κανείς στη χρήση των στάνταρ φ/β πλαισίων με περίβλημα ή των φ/β πλαισίων άνευ περιβλήματος. Σε περίπτωση καμπύλων επιφανειών συνίσταται η χρήση των ευκάμπτων φ/β πλαισίων, ενώ τα φ/β στοιχεία σε μορφή υαλοπίνακα κρίνονται ακατάλληλα. Ο πρώτος αυτός τρόπος ενσωμάτωσης φ/β στις προσόψεις στην ουσία δεν αποτελεί καθεαυτού μέθοδο ενσωμάτωσης, αλλά επιπρόσθετη τοποθέτησή τους

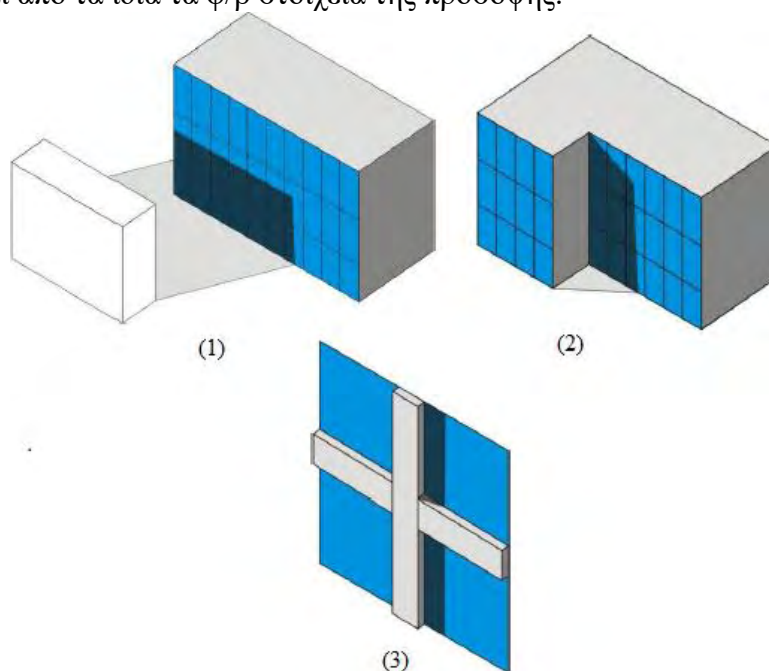
στο κτίριο και στοχεύει καθαρά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να απασχολούν ιδιαίτερα αρχιτεκτονικά θέματα.

Όσων αφορά τη δεύτερη και τρίτη δυνατότητα ενσωμάτωσης φ/β στοιχείων στις προσόψεις, από τον προηγούμενο πίνακα προκύπτει ότι μεγάλη καταλληλότητα διαθέτει η χρήση φ/β στοιχείων σε μορφή υαλοπίνακα ή γυάλινου τζαμιού. Μια πρόσοψη με φ/β στοιχεία σε μορφή υαλοπίνακα μπορεί να σχεδιαστεί σχεδόν με τον ίδιο τρόπο όπως μια πρόσοψη από συμβατικούς υαλοπίνακες και να συνδεθεί όπως τα συνήθη φ/β πλαίσια. Έτσι, με μια ελαφρώς επιπρόσθετη εργασία σε σχέση με την εργασία που απαιτείται για την εγκατάσταση των συμβατικών υαλοπινάκων, μπορούμε να δημιουργήσουμε οικολογικές και αρχιτεκτονικά ελκυστικές προσόψεις κτιρίων.^[92]

Ανάλογα με το αν τα φ/β πλαίσια στις προσόψεις των κτιρίων ψύχονται με φυσική ή τεχνική κυκλοφορία του αέρα ή δεν ψύχονται καθόλου, διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

- *Ψυχρές προσόψεις (cold facades)*: τα φ/β ψύχονται με φυσική ή τεχνική κυκλοφορία του αέρα.
- *Θερμές προσόψεις (warm facades)*: τα φ/β στις προσόψεις αυτές δεν αερίζονται. Λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας λειτουργίας των φ/β στοιχείων από τον ελλιπή αερισμό τους, οι θερμές προσόψεις παρουσιάζουν ελαφρώς μειωμένη απόδοση σε σχέση με τις ψυχρές προσόψεις. Τα φ/β στοιχεία στις θερμές προσόψεις αποτελούν δομικό υλικό του κελύφους του κτιρίου και επιτελούν όλες τις λειτουργίες μιας πρόσοψης όπως θερμομόνωση, ηχομόνωση κ.α.^[92]

Σε περίπτωση ενσωμάτωσης φ/β στοιχείων στην πρόσοψη ενός κτιρίου, τρεις πηγές σκίασης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι πηγές αυτές σκίασης μπορούν να προέρχονται από αντικείμενα γειτονικά του κτιρίου, από τη γεωμετρία του ίδιου του κτιρίου ή και από τα ίδια τα φ/β στοιχεία της πρόσοψης.^[4]



Εικόνα 3-29. Πηγές σκίασης φ/β στοιχείων στην πρόσοψη κτιρίων. 1) σκίαση από εξωτερικά εμπόδια 2) σκίαση από τη γεωμετρία του ίδιου του κτιρίου 3) σκίαση από τα ίδια τα φ/β στοιχεία της πρόσοψης^[4]

Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να ενσωματωθούν τα φ/β στις προσόψεις των κτιρίων είναι:

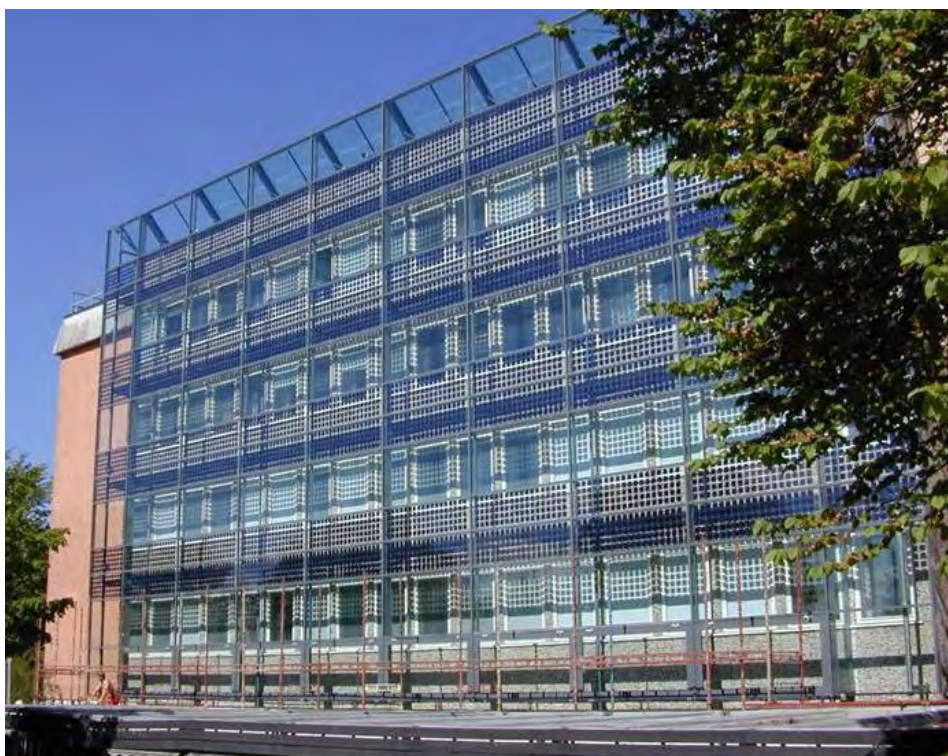
α) σε προσόψεις post-beam (post-beam facades) ή τύπου κουρτίνας (curtain wall): Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη κατασκευή προσόψεων από γυαλί. Όλα τα επιμέρους τμήματα της πρόσοψης αυτής κατασκευάζονται επιτόπου στο κτίριο. Στις προσόψεις αυτές, τα γυάλινα φ/β πλαίσια στερεώνονται σε κατακόρυφα στηρίγματα (posts) τα οποία συνήθως ασφαρίζονται με ενδιάμεσα οριζόντια στηρίγματα (beams). Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει μια τυπική ενσωμάτωση φ/β πλαισίων thin film σε κατασκευή πρόσοψης post-beam.^{[92],[7]}



Εικόνα 3-30. Τυπική ενσωμάτωση φ/β πλαισίων thin film σε κατασκευή πρόσοψης post-beam (curtain wall)^[92]

Επειδή ολόκληρη η πρόσοψη είναι συνεχόμενη και μπροστά από το μεταλλικό σκελετό, καλύπτοντάς τον σαν κουρτίνα, η ίδια η πρόσοψη καλείται και τύπου “κουρτίνας” (curtain wall).^[110] Ο τρόπος αυτός ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών αντικαθιστά πλήρως τα δομικά υλικά της πρόσοψης (στην προκειμένη περίπτωση το γυάλινο τζάμι της πρόσοψης αντικαθίσταται από γυάλινο φ/β πλαίσιο), γι’ αυτό και εντάσσεται στην τρίτη δυνατότητα ενσωμάτωσης.^{[92],[7]}

β) σε διπλές προσόψεις (double facades): Σε ένα κτίριο με διπλή πρόσοψη, πέραν της κανονικής πρόσοψης που διαθέτει από τα συνήθη δομικά υλικά (μπετό, γυαλί, τούβλα κ.α.) υπάρχει εξωτερικά και μια δεύτερη πρόσοψη από γυαλί. Η δεύτερη αυτή πρόσοψη τοποθετείται σε απόσταση συνήθως από 10cm έως και το 1m. Μεγαλύτερες αποστάσεις ανάμεσα στις δυο προσόψεις επιτρέπουν την εγκατάσταση σκίαστρων ή μονάδων θέρμανσης, εξαερισμού κ.α.. Ανάμεσα σε αυτές τις δυο προσόψεις σχηματίζεται μια κοιλότητα. Ο αέρας μέσα στην κοιλότητα αυτή είναι συνήθως θερμότερος από τον αέρα έξω από την γυάλινη πρόσοψη, πράγμα που συμβάλει στη μείωση των απωλειών θερμότητας του κτιρίου.



Εικόνα 3-31. Τυπική ενσωμάτωση φ/β σε κατασκευή πρόσοψης double facade^[91]

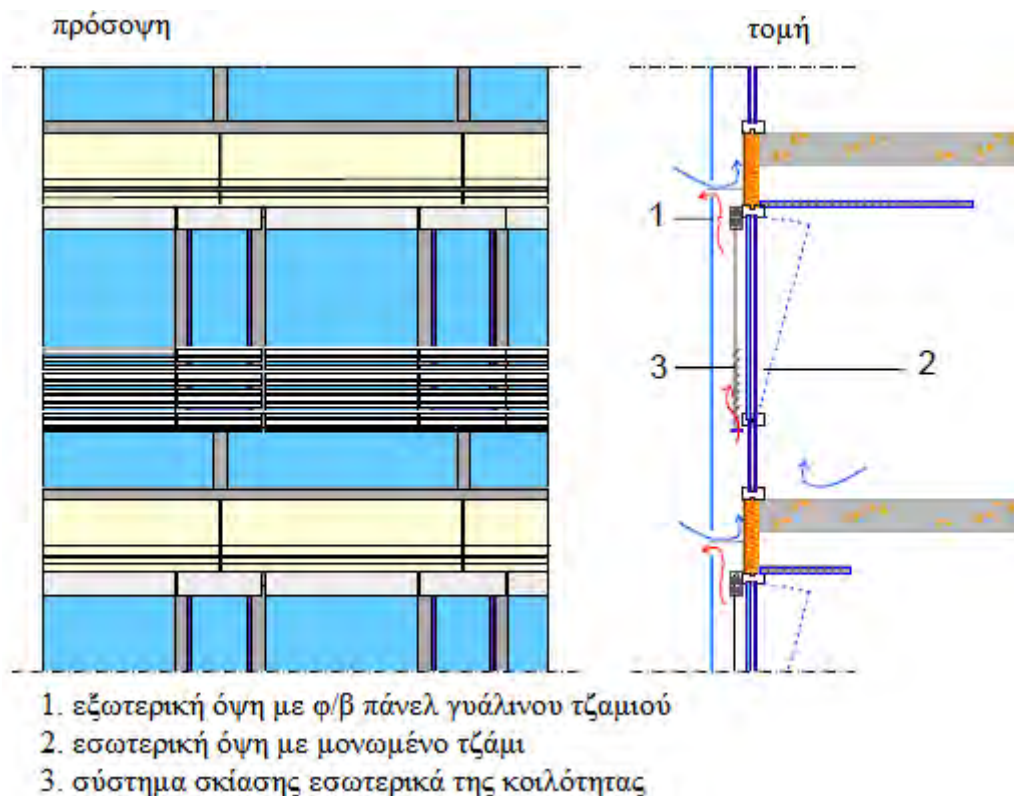
Εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι σε περιοχές με ψυχρό κλίμα, ευνοείται η εγκατάσταση διπλής όψης στα κτίρια, γιατί εξωτερικά της κύριας πρόσοψης υπάρχει θερμότερος αέρας, μειώνοντας τις απαιτήσεις σε θερμότητα εσωτερικά του κτιρίου. Από την άλλη πλευρά, σε περιοχές με θερμό κλίμα, ο θερμός αέρας μέσα στην κοιλότητα συντελεί στην επιπλέον θέρμανση του κτιρίου, πράγμα που σημαίνει ότι αυξάνονται οι απαιτήσεις του κτιρίου σε ψύξη.^{[92],[94]} Ένα ακόμα πλεονέκτημα της εξωτερικής πρόσοψης είναι ότι αυξάνει και την ηχομονωτική προστασία του κτιρίου. Επίσης, με την τοποθέτηση περσίδων στην κοιλότητα των προσόψεων περιορίζεται σημαντικά η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας εσωτερικά του κτιρίου.

Κατά την ενσωμάτωση των φ/β στις διπλές προσόψεις, η εξωτερική πρόσοψη από γυαλί, αντικαθίσταται από τα φ/β σε μορφή γυάλινου τζαμιού. Επειδή η εξωτερική πρόσοψη ψύχεται λόγω του περιβάλλοντος αέρα, αυξάνει και η απόδοση των φ/β, σε αντίθεση με την εγκατάστασή τους εσωτερικά, στην κύρια όψη του κτιρίου. Η εγκατάσταση των φ/β σε κτίρια με διπλές προσόψεις μπορεί να γίνει σε όλη τη διάσταση της πρόσοψης ή σε τμήμα της. Λόγω του ότι τα φ/β στοιχειάζονται αντικαθιστούν τμήμα της πρόσοψης και όχι εξολοκλήρου όλα τα συμβατικά δομικά υλικά της, ο τρόπος αυτός ενσωμάτωσης εντάσσεται στη δεύτερη δυνατότητα ενσωμάτωσης των φ/β στις προσόψεις κτιρίων.^{[92],[94]}

γ) σε προσόψεις διπλού κελύφους (double skin facades): Πρόκειται για ένα συνδυασμό των προσόψεων post-beam και double facade η οποία αρχικά αναπτύχθηκε τη δεκαετία του '90. Η θερμότητα, ο άνεμος η υγρασία και ο θόρυβος από το γειτονικό περιβάλλον αποκλείονται, ενώ μόνο το φως της ημέρας από τον ήλιο μπορεί να εισέλθει στο εσωτερικό του κτιρίου και με ελεγχόμενο τρόπο. Στις προσόψεις αυτές, την εξωτερική όψη αποτελούν τα φ/β πλαίσια από γυάλινο τζάμι. Τα πλαίσια μεταξύ τους έχουν μικρά διάκενα στο πάνω και κάτω μέρος τους, τα οποία βοηθάνε στην ψύξη τους μέσω φυσικής κυκλοφορίας του αέρα. Η εσωτερική πρόσοψη κατασκευάζεται από μονωμένα γυάλινα τζάμια. Μπροστά από την εσωτερική αυτή

πρόσοψη τοποθετείται σύστημα σκίασης για έλεγχο της εισερχόμενης ποσότητας φωτισμού. Μεταξύ των δυο προσόψεων υπάρχει κοιλότητα.

Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει αρχικά στην εξωτερική γυάλινη πρόσοψη από φ/β. Λόγω της προσπίπτουσας αυτής ακτινοβολίας, ο αέρας στην ενδιάμεση κοιλότητα των δυο προσόψεων θερμαίνεται. Ο θερμός αυτός αέρας μέσω ενός συστήματος εξαερισμού μπορεί να εισέλθει στο κτίριο και να αξιοποιηθεί για τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε την πρόσοψη και την τομή μιας τυπικής κατασκευής double skin facade.^[110]



Εικόνα 3-32. Πρόσοψη και την τομή μιας τυπικής κατασκευής double skin facade^[110]

Χάριν της εξωτερικής πρόσοψης με τα φ/β πλαίσια και της προστασίας που παρέχουν από τη βροχή και τον άνεμο, τα εσωτερικά τζάμια μπορούν να ανοίγουν. Η κοιλότητα ανάμεσα στις δυο προσόψεις είναι της κλίμακας.^[110]

- 200-350mm (μικρή κοιλότητα)
- 550-750mm (κοιλότητα προσβάσιμη για καθαρισμό)
- 1000-2000mm (κοιλότητα προσβάσιμη για το κοινό)

δ) σε προσόψεις SSG (Structural Sealant Glazing facades): Στις προσόψεις αυτού του τύπου, τα φ/β στοιχεία γυάλινου τζαμιού συγκολλούνται απευθείας στο φέρον πλαίσιο, το οποίο τοποθετείται στη συνέχεια στο κτίριο ως δομικό στοιχείο της πρόσοψης. Με τις προσόψεις αυτού του τύπου πετυχαίνουμε βέλτιστο αισθητικό αποτέλεσμα, μιας και απουσιάζουν οι ενδιάμεσες ενώσεις των πλαισίων. Το όλο πλαίσιο κατασκευάζεται στο εργοστάσιο στις επιθυμητές διαστάσεις και παραδίδεται έτοιμο για τοποθέτηση. Τα φ/β στοιχεία έχουν συνδεθεί εσωτερικά του πλαισίου πράγμα που σημαίνει ότι περιορίζεται ο κίνδυνος να υπάρξει καταστροφή τους σε περίπτωση που γινόταν μεμονωμένη τοποθέτησή τους στο στάδιο της κατασκευής της πρόσοψης.^[7]

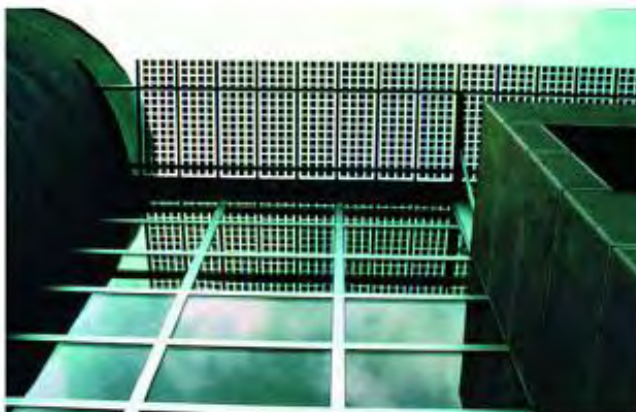


Εικόνα 3-33. Πρόσοψη SSG σε κτίριο της Γερμανίας^[05]

3.7.3. Ενσωμάτωση φ/β στοιχείων ως σκίαστρα-στεγάστρα στα κτίρια

Η ενσωμάτωση φ/β στοιχείων υπό μορφή σκίαστρων-στεγάστρων στα κτίρια μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος αφορά την εγκατάσταση των φ/β στην πρόσοψη του κτιρίου ως σκίαστρα πάνω από πόρτες ή παράθυρα. Τα σκίαστρα αυτά στην πρόσοψη μπορεί να είναι σταθερής κλίσης ή μεταβλητής. Παρά το γεγονός ότι τα φ/β ως σκίαστρα σταθερής κλίσης στις προσόψεις των κτιρίων αποτελούν τον πιο απλό τρόπο ενσωμάτωσης, η προσεχτική τους εγκατάσταση μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα αποδοτική. Συνήθως χρησιμοποιούνται γυάλινα φ/β πλαίσια καθορισμένης διαπερατότητας, συνδεδεμένα έτσι ώστε να σχηματίζουν κανάλια, στερεωμένα πάνω σε κατάλληλους βραχίονες στην πρόσοψη του κτιρίου. Με κατάλληλες διαστάσεις σε σχέση με την επιφάνεια που στοχεύουν να σκιάσουν, τα φ/β σκίαστρα μπορούν να εμποδίσουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους θερινούς μήνες, επιτρέποντας το χειμώνα να διεισδύσει στο εσωτερικό του κτιρίου η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.^[7]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει παραδείγματα φ/β πλαισίων στην πρόσοψη κτιρίου ως σκίαστρα σταθερής κλίσης.^{[7],[53]}



Εικόνα 3-34. Παραδείγματα φ/β πλαισίων στην πρόσοψη κτιρίου ως σκίαστρα σταθερής κλίσης^[7]

Ως φ/β σκίαστρα μεταβλητής κλίσης θεωρούνται τα συστήματα με κινούμενες περσίδες (louvers) και τα επεκτάσιμα σκίαστρα (extendable canopies). Τα συστήματα με κινούμενες περσίδες μπορούν να προσαρμοστούν στις προσόψεις των κτιρίων έτσι ώστε οι περσίδες με τα φ/β στοιχεία να μετακινούνται οριζόντια ή κάθετα. Η κάλυψη της πρόσοψη μπορεί να γίνει είτε με ανεξάρτητα συναρμολογούμενα μπλοκ, είτε με προκατασκευασμένα συστήματα προκαθορισμένων διαστάσεων.^[7]

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενσωμάτωσης φ/β στην πρόσοψη κτιρίου ως σκίαστρα μεταβλητής κλίσης (κινούμενες περσίδες).



Εικόνα 3-35. Παράδειγμα ενσωμάτωσης φ/β στην πρόσοψη κτιρίου ως σκίαστρα μεταβλητής κλίσης (κινούμενες περσίδες)^[19]

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει παραδείγματα φ/β μπλοκ με περσίδες για χρήση ως σκίαστρα μεταβλητής κλίσης.



Εικόνα 3-36. Παραδείγματα φ/β μπλοκ με περσίδες για χρήση ως σκίαστρα μεταβλητής κλίσης^[19]

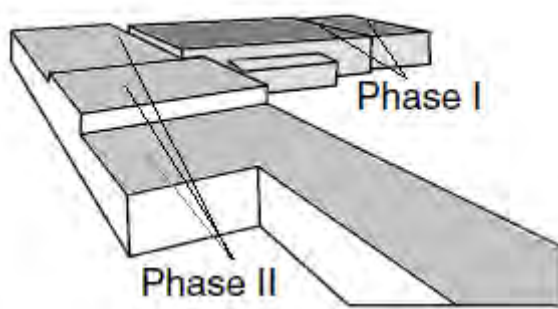
Ο δεύτερος τρόπος ενσωμάτωσης φ/β ως σκίαστρα-στέγαστρα, πέραν της ενσωμάτωσής τους στις προσόψεις των κτιρίων, αποτελεί η αντικατάσταση των συμβατικών δομικών υλικών σε στέγαστρα-πέργκολες με φ/β προϊόντα. Ανάλογα με το ποσοστό σκίασης που θέλουμε να πετύχουμε, τα συμβατικά δομικά υλικά στα στέγαστρα και τις πέργκολες αντικαθίστανται με φ/β πλαίσια συγκεκριμένης διαπερατότητας. Για πλήρη σκίαση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα στάνταρ φ/β πλαίσια με περίβλημα, ή τα φ/β πλαίσια άνευ περιβλήματος. Σε περίπτωση που απαιτείται η είσοδος ορισμένης ποσότητας ηλιακής ακτινολογίας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε γυάλινα φ/β πλαίσια.

3.8. Παραδείγματα κτιρίων με ενσωματωμένα φ/β συστήματα

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσουν ορισμένα παραδείγματα πραγματικών κτιρίων που αξιοποίησαν την δυνατότητα ενσωμάτωσης φ/β στοιχείων στο κέλυφός τους για την παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Για κάθε μια περίπτωση, θα αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος, όπως τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ του, την απόδοση των πλαισίων, την τεχνολογία τους κ.α.

Περίπτωση 1: U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration (Elverta, California)

Πρόκειται για το κτιριακό συγκρότημα ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration (περιοχή Elverta, California). Η εγκατάσταση φ/β στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε δυο φάσεις. Στην πρώτη φάση (phase I) εγκαταστάθηκε στο ένα τμήμα του κτιριακού συγκροτήματος ένα φ/β σύστημα 40 kWp που αποτελούταν από ηλιακά κεραμίδια. Η δεύτερη φάση (phase II) περιελάμβανε την εγκατάσταση στο υπόλοιπο κτιριακό συγκρότημα ενός φ/β συστήματος ισχύος 38 kWp το οποίο αποτελούταν και αυτό από ηλιακά κεραμίδια. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει πιο τμήμα της οροφής του κτιριακού συγκροτήματος περιελάμβανε η κάθε φάση εγκατάστασης.^[2]



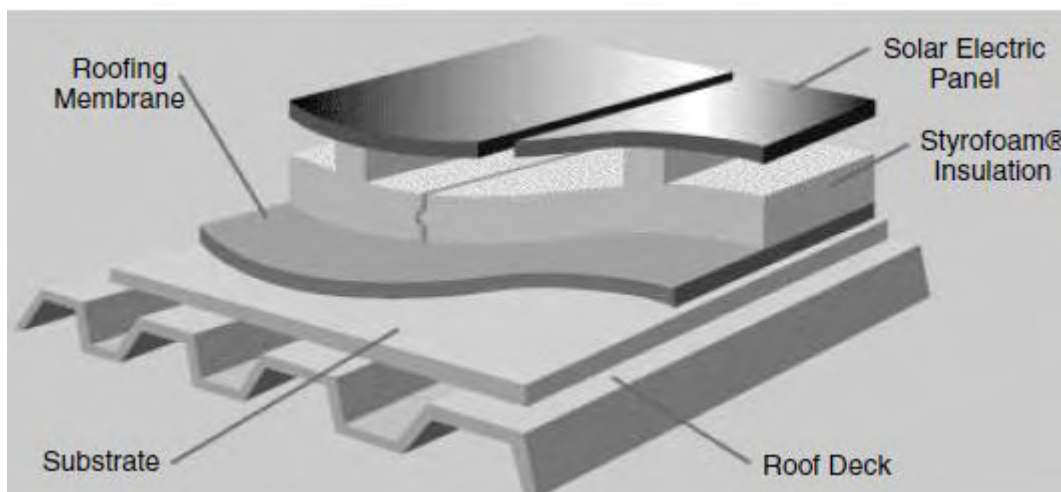
Εικόνα 3-37. Φάσεις εγκατάστασης φ/β στοιχείων στο κτιριακό συγκρότημα ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration (περιοχή Elverta, California)^[2]

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη άποψη της εγκατάστασης ηλιακών κεραμιδιών στο κτιριακό συγκρότημα.



Εικόνα 3-38. Ολοκληρωμένη άποψη της εγκατάστασης ηλιακών κεραμιδιών στο κτιριακό συγκρότημα ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration (περιοχή Elverta, California)^[2]

Στην εικόνα που ακολουθεί, βλέπουμε πως η διάρθρωση των επίπεδων της οροφής παρέχει όχι μόνο υψηλού βαθμού μονωτική προστασία, αλλά και μια καλή βάση στήριξης των ηλιακών κεραμιδιών.^[2]



Εικόνα 3-39. Διαστρωμάτωση οροφής κτιριακού συγκροτήματος^[2]

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος του κτιριακού συγκροτήματος ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration.

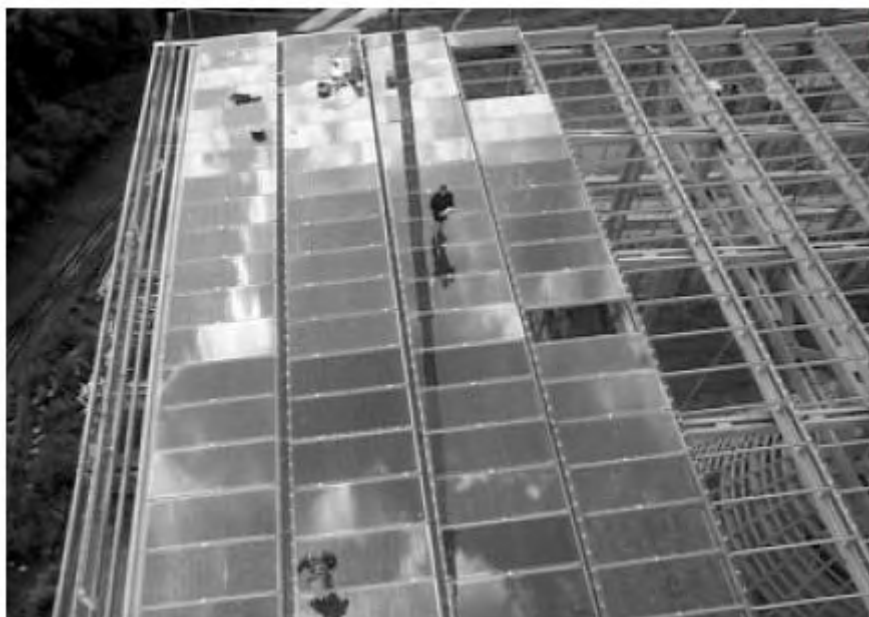
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-6 ^[2]		
Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού συγκροτήματος ιδιοκτησίας U.S. Department of Energy (DOE)		
Τοποθεσία	Elverta, California	
Ιδιοκτησία	U.S. Department of Energy (DOE) Western Area Power Administration	
	Φάση I	Φάση II
Δυνατότητα ενσωμάτωσης	Στην οροφή	Στην οροφή
Ημερομηνία ολοκλήρωσης	Μάιος 1996	Ιούνιος 1998
Φ/β προϊόν	BIPV roof tiles	BIPV roof tiles
Εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	40 kWp	38 kWp
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	poly c-Si	Thin film (a-Si)
Απόδοση φ/β στοιχείων	12%	4%-5%
Εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ηλ. ενέργειας	70000 kWh/year	67500 kWh/year
Αλληλεπίδραση με το δίκτυο	Utility-Grid Connected	Utility-Grid Connected

Περίπτωση 2: Ακαδημία Mont-Cenis (Herne, Germany)

Πρόκειται για το κτίριο της Ακαδημίας Mont-Cenis στην πόλη Herne της Γερμανίας. Πρόκειται για μια φ/β εγκατάσταση ισχύος 1 MWp που ενσωματώθηκε στην οροφή του κτιρίου της Ακαδημίας. Η φ/β εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε με γυάλινα πλαίσια moso c-Si και poly c-Si. Η μέγιστη παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται στις 750000 kWh/έτος. Από την παραγόμενη αυτή ενέργεια, 200000 kWh περίπου εξυπηρετούν τις ανάγκες του κτιρίου, ενώ οι υπόλοιπες 550000 kWh εγχέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο της Herne. Στις επόμενες παρουσιάζονται ορισμένα από τα στάδια κατασκευής της οροφής με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια.^{[2],[53]}



Εικόνα 3-40. Εσωτερική άποψη της οροφής του κτιρίου της Ακαδημίας Mont-Cenis στην πόλη Herne της Γερμανίας^[2]



Εικόνα 3-41. Εξωτερική άποψη της οροφής του κτιρίου της Ακαδημίας Mont-Cenis στην πόλη Herne της Γερμανίας κατά τη φάση εγκατάστασης των φ/β πλασίων^[2]

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος του κτιρίου της Ακαδημίας Mont-Cenis στην πόλη Herne της Γερμανίας.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-7 ^[2]	
Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού συγκροτήματος της Ακαδημίας Mont-Cenis	
Τοποθεσία	Herne, Germany
Ιδιοκτησία	Ministry of Interiors of North Rhine-Westphalia
Δυνατότητα ενσωμάτωσης	Στην οροφή
Ημερομηνία ολοκλήρωσης	Μάιος 1999
Φ/β προϊόν	Γυάλινα φ/β πλαίσια
Εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	1 MWp
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	mono c-Si, poly c-Si
Απόδοση φ/β στοιχείων	12,8-16%
Εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ηλ. ενέργειας	750000 kWh/year
Αλληλεπίδραση με το δίκτυο	550000 KWh Utility-Grid Connected 200000KWh Stand-alone

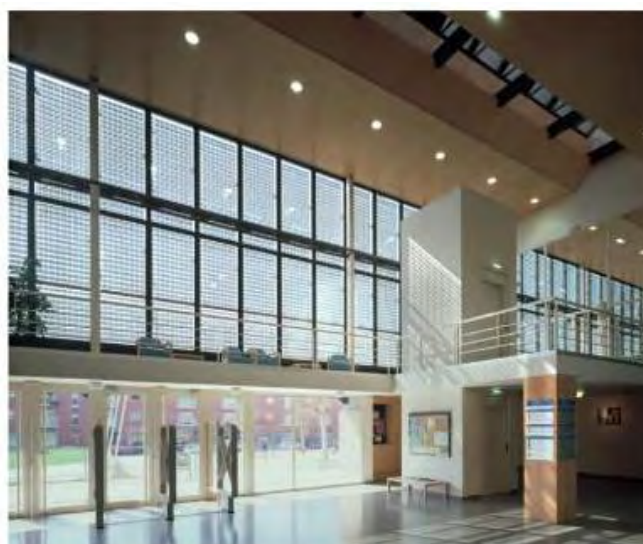
Περίπτωση 3: Βιβλιοθήκη Pompeu Fabra, (Mataro, Spain)

Πρόκειται για ενσωμάτωση διαπερατών φ/β στοιχείων στην πρόσοψη του δημοτικού κτιρίου της βιβλιοθήκης Pompeu Fabra, στην πόλη Mataro της Ισπανίας. Η συνολική ισχύς της φ/β εγκατάστασης ανήλθε στα 20 kWp και πραγματοποιήθηκε με γυάλινα πλαίσια από φ/β στοιχεία poly c-Si, που επιτρέπουν την είσοδο του φυσικού φωτός στο εσωτερικό του κτιρίου.^[5]

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται απόψεις του κτιρίου της βιβλιοθήκης με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια.



Εικόνα 3-42. Εξωτερική άποψη της πρόσοψης του κτιρίου της βιβλιοθήκης Pompeu Fabra, στην πόλη Mataró της Ισπανίας^[5]



Εικόνα 3-43. Εσωτερική άποψη της πρόσοψης του κτιρίου της βιβλιοθήκης Pompeu Fabra, στην πόλη Mataró της Ισπανίας^[5]

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος του κτιρίου της βιβλιοθήκης Pompeu Fabra, στην πόλη Mataro της Ισπανίας.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-8^[5]	
Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού συγκροτήματος βιβλιοθήκης Pompeu Fabra	
Τοποθεσία	Mataro, Spain
Ιδιοκτησία	Κτίριο βιβλιοθήκης Pompeu Fabra
Δυνατότητα ενσωμάτωσης	Στην πρόσοψη (double facade)
Ημερομηνία ολοκλήρωσης	1996
Φ/β προϊόν	Γυάλινα φ/β πλαίσια 1,1x2,15m
Εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	20 kWp
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	poly c-Si
Εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ηλ. ενέργειας	20000 kWh/year

Περίπτωση 4: Πολυώροφο κτίριο γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation, (New York)

Πρόκειται για ενσωμάτωση φ/β στοιχείων στην πρόσοψη πολυώροφου κτιρίου γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation επί των οδών Broadway and 42nd Street στην πόλη της Νέας Υόρκης. Η συνολική ισχύς της φ/β εγκατάστασης ανήλθε στα 14 kWp και πραγματοποιήθηκε με γυάλινα πλαίσια από φ/β στοιχεία thin film (a-Si). Τα φ/β πλαίσια τοποθετήθηκαν επάνω σε κατασκευή post-beam αλουμινίου σχηματίζοντας πρόσοψη τύπου curtain wall, αντικαθιστώντας τα συμβατικά γυάλινα τζάμια.^[2]

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος του κτιρίου γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation στην πόλη της Νέας Υόρκης.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-9^[2]	
Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος κτιριακού συγκροτήματος γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation	
Τοποθεσία	Broadway and 42 nd Street, New York
Ιδιοκτησία	Durst Corporation
Δυνατότητα ενσωμάτωσης	Στην πρόσοψη (post-beam/curtain wall)
Ημερομηνία ολοκλήρωσης	Σεπτέμβριος 1999
Φ/β προϊόν	Γυάλινα φ/β πλαίσια (custom-sized BIPV glass laminate)
Εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	14 kWp
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	thin film (a-Si)
Απόδοση φ/β στοιχείων	6%
Εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ηλ. ενέργειας	13800 kWh/year
Αλληλεπίδραση με το δίκτυο	Utility-Grid Connected

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται απόψεις του κτιρίου γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια στην πρόσοψη.



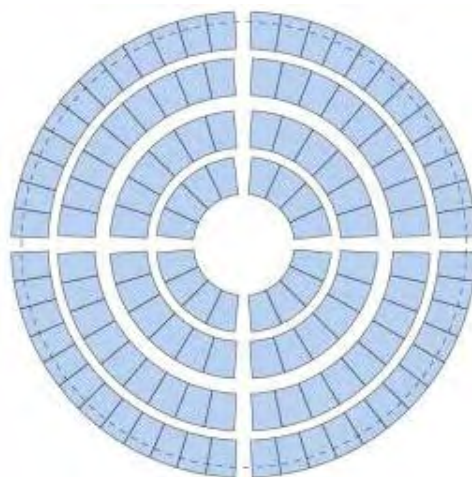
Εικόνα 3-44. Κοντινή άποψη πρόσοψης κτιρίου γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια.^[2]



Εικόνα 3-45. Κτίριο γραφείων ιδιοκτησίας Durst Corporation με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια στην πρόσοψη.^[2]

Περίπτωση 5: Στέγαστρο παρκινγκ Ολυμπιακού Πάρκου Πεκίνου

Πρόκειται για ενσωμάτωση φ/β στοιχείων στο στέγαστρο του παρκινγκ επισκεπτών του Ολυμπιακού Πάρκου του Πεκίνου. Το κυκλικό αυτό στέγαστρο αποτελείται από τέσσερα ομόκεντρα δαχτυλίδια, όπου κάθε ένα διαιρείται σε τέσσερεις τομείς. Σχηματική κάτοψη του στεγαστρου του παρκινγκ παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.^[5]



Εικόνα 3-46. Σχηματική κάτοψη του στεγάστρου του παρκινγκ του Ολυμπιακού Πάρκου στο Πεκίνο^[5]

Η φ/β εγκατάσταση συνολικής ισχύος 18 kWp κατασκευάστηκε με 496 πλαίσια τραπέζιου σχήματος, τεχνολογίας thin film (CIS) (124 πλαίσια ανά τομέα).^[5]

Στην επόμενη παρατηρείται η ολοκληρωμένη άποψη του στεγάστρου με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια.



Εικόνα 3-47. Ολοκληρωμένη άποψη του στεγάστρου του Ολυμπιακού Πάρκου του Πεκίνου με τα ενσωματωμένα φ/β πλαίσια^[5]

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος του στεγάστρου του παρκινγκ επισκεπτών στο Ολυμπιακό Πάρκο του Πεκίνου.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-10^[5]	
Βασικά χαρακτηριστικά φ/β συστήματος στεγάστρου του Ολυμπιακού Πάρκου του Πεκίνου	
Τοποθεσία	Πεκίνο, Κίνα
Δυνατότητα ενσωμάτωσης	Ως στέγαστρο-σκίαστο
Ημερομηνία ολοκλήρωσης	2008
Φ/β προϊόν	Γυάλινα φ/β πλαίσια (custom-sized BIPV glass laminate)
Εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	18 kWp
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	thin film (CSI)
Εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ηλ. ενέργειας	17800 kWh/year

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

4.1. Στοιχεία ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού

Τα ηλεκτρικά φαινόμενα που λαβαίνουν χώρα στην ατμόσφαιρα όσο και οι ηλεκτρικές ιδιότητές της, παίζουν σημαντικό ρόλο σε μετεωρολογικές και άλλες ατμοσφαιρικές διεργασίες. Με τα ατμοσφαιρικά ηλεκτρικά φαινόμενα ασχολείται ένας ξεχωριστός κλάδος της ατμοσφαιρικής φυσικής, που ονομάζεται **ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός**.^[42]

Στην ατμόσφαιρα υπάρχει πάντα ένα ηλεκτρικό πεδίο λόγω της ύπαρξης ιονισμένων σωματιδίων μέσα σε αυτήν. Τα ιονισμένα (θετικά ή αρνητικά) αυτά σωματίδια οφείλονται είτε στην υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου, είτε από την κοσμική ακτινοβολία, είτε από ηλεκτρικά φαινόμενα, είτε από την γήινη ραδιενέργεια, προσδίδοντας στον ατμοσφαιρικό αέρα της γης μια συγκεκριμένη αγωγιμότητα λ ($\lambda=2,25 \cdot 10^{-14} \text{ S/m}$). Το ηλεκτρικό πεδίο στην ατμόσφαιρα είναι ηλεκτροστατικής φύσης και μεταβάλλεται ευρύτατα τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Η μέση τιμή E_0 του ηλεκτρικού πεδίου στην ατμόσφαιρα, πλησίον της επιφάνειας της γης είναι περίπου 120 V/m και κατευθύνεται προς τη γη.^{[42],[43]}

Όταν γίνεται λόγος για το ατμοσφαιρικό ηλεκτρικό πεδίο πρέπει να διευκρινίζεται τι είδους ατμοσφαιρικές συνθήκες επικρατούν. Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες ατμοσφαιρικών συνθηκών: α) **πεδίο καλού καιρού (fair weather field)** όταν λιγότερο από τα 4/10 του ουρανού είναι καλυμμένοι με νέφη, οι άνεμοι δεν είναι ισχυροί και δεν υπάρχουν υδροαπόβλητα, και β) **πεδίο διαταραγμένου καιρού (disturbed weather field)** για τις άλλες περιπτώσεις (π.χ. καταιγίδες).^[42]

Η γη, εμφανίζεται μόνιμα φορτισμένη στην επιφάνειά της, με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο της τάξης των $5,5 \cdot 10^5 \text{ Cb}$. Ισοδύναμη περίπου ποσότητα θετικού φορτίου παραμένει κατανεμημένη στην ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη πυκνότητα στα κατώτερα στρώματα (ιονόσφαιρα). Σε ατμοσφαιρικές συνθήκες πεδίου καλού καιρού, η ηλεκτρική κατάσταση στην ατμόσφαιρα μπορεί να προσομοιωθεί με ένα σφαιρικό πυκνωτή, με εσωτερικό αγωγό τη γη και εξωτερικό την ανώτερη ατμόσφαιρα (εικόνα 4-1). Έχει υπολογιστεί ότι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σφαιρικών αγωγών του πυκνωτή είναι 300 KV. Το ολικό ρεύμα εκφόρτισης I του πυκνωτή θα είναι:^{[42],[43]}

$$I = j \cdot S = \lambda \cdot E_0 \cdot S \quad 4-1$$

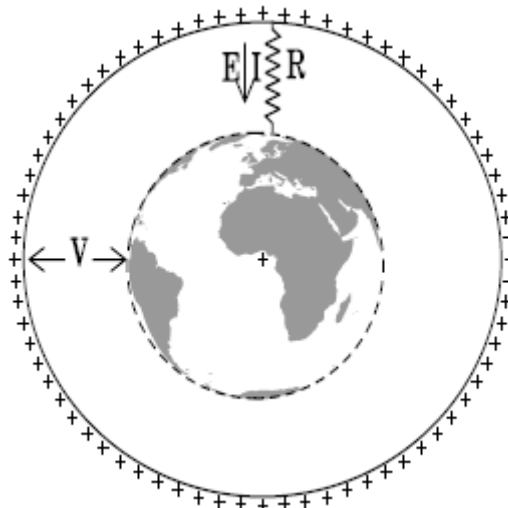
Όπου:

j = πυκνότητα ρεύματος ανά μονάδα επιφανείας

S = ολική επιφάνεια της γης ($5 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$)

λ = ηλεκτρική αγωγιμότητα γης ($2,25 \cdot 10^{-14} \text{ S/m}$)

E_0 = ένταση ατμοσφαιρικού ηλεκτρικού πεδίου (120 V/m)



Εικόνα 4-1. Ηλεκτρικό ανάλογο του συστήματος γη - ιονόσφαιρα^[42]

Συνεπώς:^[42]

$$I = j \cdot S = \lambda \cdot E_o \cdot S = 2,25 \cdot 10^{-14} \cdot 120 \cdot 5 \cdot 10^{14} = 1350 \text{ A}$$

Η ολική ωμική αντίσταση της ατμόσφαιρας θα είναι:

$$R = V / I = 300 \cdot 10^5 / 1350 = 222 \Omega \mu \quad 4-2$$

Η χωρητικότητα του πυκνωτή θα είναι:

$$C = Q / V = 5,5 \cdot 10^5 / 300 \cdot 10^5 = 1,8 \text{ F} \quad 4-3$$

Η εκφόρτιση του ισοδύναμου αυτού πυκνωτή θα γίνεται με σταθερά χρόνου:

$$\tau = R \cdot C = 222 \cdot 1,8 = 400 \text{ sec} \quad 4-4$$

Λόγω της εκφόρτισης του πυκνωτή με τη σταθερά χρόνου που υπολογίσαμε, εύκολα μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι το φορτίο της γης θα πρέπει να ουδετεροποιηθεί πολύ γρήγορα. Το φορτίο της γης όμως παραμένει σχεδόν σταθερό, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός που συνεχώς θα πρέπει να φορτίζει τη γη σε σχέση με τη ατμόσφαιρα, με ρυθμό τουλάχιστον ίσο με 1350 Cb/s. Αυτός ο μηχανισμός, φόρτισης του πυκνωτή ατμόσφαιρα-γη, σχετίζεται άμεσα με τις κεραυνο-καταιγίδες, που λαβαίνουν χώρα ανά τον κόσμο με ρυθμό μερικών εκατοντάδων ανά πάσα στιγμή.^[42]

4.2. Είδη κεραυνών

Ένα παράδειγμα ατμοσφαιρικού ηλεκτρικού φαινομένου που λαμβάνει χώρα στην ατμόσφαιρα είναι ο κεραυνός. Ορίζεται ως **κεραυνός**, η ηλεκτρική εκκένωση που λαμβάνει χώρα μεταξύ ενός ηλεκτρισμένου νέφους και του εδάφους (της γης).^{[42],[43]} Οι κεραυνοί διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

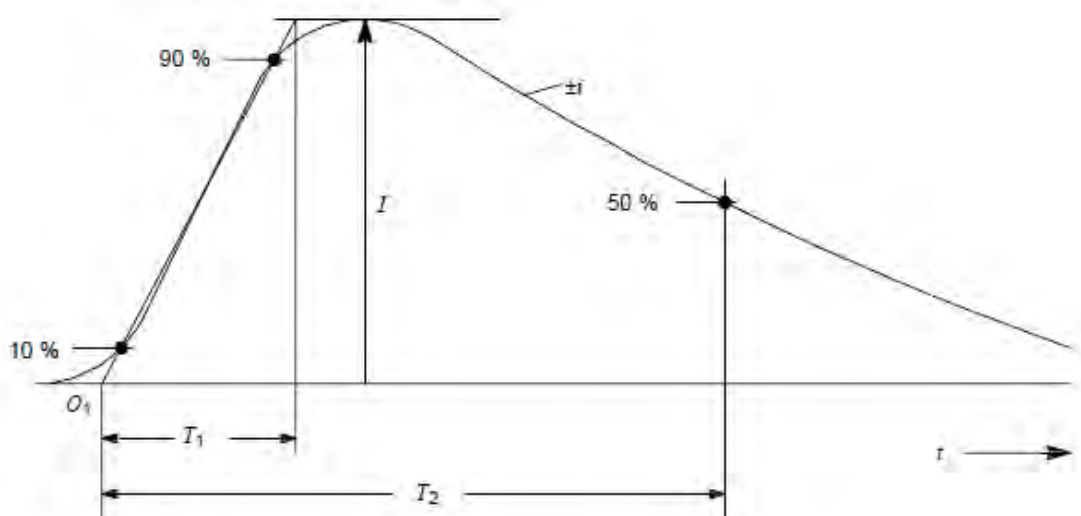
- α) ηλεκτρικές εκκενώσεις μέσα στο νέφος
- β) ηλεκτρικές εκκενώσεις ανάμεσα σε γειτονικά νέφη
- γ) ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ νέφους και γης ή το αντίστροφο

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις τόσο μεταξύ νεφών, όσο και στο εσωτερικό τους, όμως αυτές δεν θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία. Όσον αφορά τις ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ νέφους και γης ή το αντίστροφο, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι εκκενώσεων, ανάλογα με την πορεία του οχετού προεκκένωσης. Οι τύποι αυτοί είναι οι εξής.^{[43][25]}

- *Κατερχόμενη ηλεκτρική εκκένωση που ξεκινά από ένα διπολικά φορτισμένο νέφος και καταλήγει στο έδαφος.* Αποτελείται από μια κύρια σύντομη εκκένωση που μπορεί να ακολουθείται από δευτερεύουσες σύντομες ή μακρές. Ο τύπος αυτός της ηλεκτρικής εκκένωσης συμβαίνει συνήθως σε επίπεδες περιοχές, χωρίς ιδιαίτερες εξάρσεις. Σε περίπτωση που ο οχετός του κεραυνού δεν φθάσει στο έδαφος, τότε συμβαίνει “νεφική εκκένωση” (αστραπή) και όχι κεραυνός εδάφους..
- *Ανερχόμενη ηλεκτρική εκκένωση που ξεκινά από το έδαφος και καταλήγει στην βάση ενός διπολικά φορτισμένου νέφους.* Ο τύπος αυτός της ηλεκτρικής εκκένωσης αποτελείται από μια κύρια μακρά εκκένωση με ή χωρίς σύντομες εκκενώσεις, ακολουθούμενη από μια ή περισσότερες σύντομες εκκενώσεις. Συμβαίνει σε περιοχές που υπάρχει ψηλό κτίριο ή ιδιαίτερα ψηλό σημείο του εδάφους.

Το ρεύμα του κεραυνού μπορεί να αποτελείται από μια ή περισσότερες συνιστώσες οι οποίες μπορεί να είναι:^[25]

- *Σύντομες εκκενώσεις (short strokes), με διάρκεια μικρότερη των 2 msec (εικόνα 4-2)*
- *Μακράς διάρκειας εκκενώσεις (long strokes), με διάρκεια μεγαλύτερη των 2 msec (εικόνα 4-3)*



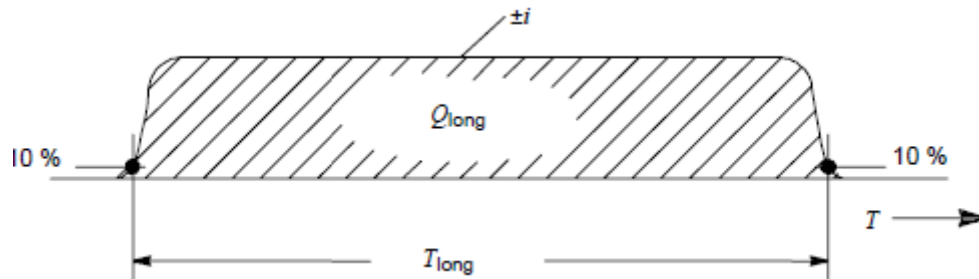
Εικόνα 4-2. Τυπική μορφή κρουστικού ρεύματος σύντομης εκκένωσης ($T_2 < 2 \text{ msec}$)^[25]

Όπου:

I = ρεύμα κορυφής (μέγιστο ρεύμα κεραυνού)

T_1 = διάρκεια μετώπου (χρόνος για να φτάσει στο ρεύμα στην μέγιστη τιμή του I)

T_2 = διάρκεια ουράς (χρόνος για να μειωθεί το ρεύμα του κεραυνού σε ποσοστό 50% του μέγιστου)



Εικόνα 4-3. Τυπική μορφή σταθερού ρεύματος εκκένωσης μακράς διάρκειας ($2 \text{ msec} < T_{\text{long}} < 1 \text{ sec}$)^[25]

Όπου:

T_{long} = χρονική διάρκεια μακράς εκκένωσης

Q_{long} = συνολικό φορτίο μακράς εκκένωσης

Μια επιπλέον κατηγοριοποίηση των κεραυνών σχετίζεται με την πολικότητά τους. Έτσι μπορεί να υπάρξουν θετικοί ή αρνητικοί κεραυνοί. Η εκκένωση ενός “αρνητικού νέφους” προς τη γη γίνεται με έναν “αρνητικό κεραυνό” και ενός “θετικού νέφους” με έναν “θετικό κεραυνό”. Ομοίως, κατά την εκκένωση ενός “αρνητικού νέφους” ρέει προς τη γη ένα “αρνητικό ρεύμα” ενώ κατά την εκκένωση ενός “θετικού νέφους” ρέει προς τη γη ένα “θετικό ρεύμα”.^{[43][25]}

4.3. Χαρακτηριστικές παράμετροι κεραυνών

Ορισμένες από τις πιο χαρακτηριστικές παραμέτρους που σχετίζονται με τους κεραυνούς είναι:^{[25][28]}

Σημείο πλήγματος (point of strike). Ορίζεται ως το σημείο εκείνο όπου το πλήγμα ενός κεραυνού έρχεται σε επαφή με τη γη, με μία κατασκευή ή με ένα Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας. Το σημείο πλήγματος μπορεί να είναι:^{[25],[45]}

- α) απευθείας σε μια κατασκευή
- β) κοντά σε μια κατασκευή
- γ) απευθείας σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μια γραμμή ενός ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς ή διανομής)
- δ) κοντά σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μια γραμμή ενός ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς ή διανομής)

Ρεύμα κεραυνού (lightning current - i). Ορίζεται ως το ρεύμα που ρέει στο σημείο του πλήγματος.

Μέγιστη τιμή ρεύματος (peak value - I). Είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος του κεραυνού.

Μέση κλίση του ρεύματος του κεραυνού ($di/dt_{90/30\%}$). Ο μέσος ρυθμός ανόδου του ρεύματος ο οποίος υπολογίζεται στο τμήμα του μετώπου του κύματος που βρίσκεται μεταξύ του 30% και 90% της μέγιστης τιμής.

$$di / dt = (I_{90\%} - I_{30\%}) / (t_{90\%} - t_{30\%}) \quad 4-5$$

Διάρκεια εκκένωσης (flash duration - T). Η χρονική διάρκεια ροής του ρεύματος του κεραυνού στο σημείο του πλήγματος.

Φορτίο σύντομης εκκένωσης (Q_{short}). Το ολικό φορτίο του ρεύματος της σύντομης εκκένωσης. Προκύπτει από το χρονικό ολοκλήρωμα του κρουσικού ρεύματος της σύντομης εκκένωσης.

Φορτίο μακράς εκκένωσης (Q_{long}). Το ολικό φορτίο του ρεύματος της μακράς εκκένωσης. Προκύπτει από το χρονικό ολοκλήρωμα της συνεχούς συνιστώσας του ρεύματος του κεραυνού.

Ειδική ενέργεια (specific energy - W/R). Εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη ροή του ρεύματος του κεραυνού σε μοναδιαία αντίσταση. Προκύπτει από το χρονικό ολοκλήρωμα του τετραγώνου του ρεύματος του κεραυνού, για όλη τη διάρκειά του.

4.4. Επίπεδα προστασίας από κεραυνούς (LPLs)

Σύμφωνα με το IEC 62305-1 Ed. 1.0: Protection against lightning – Part 1, για την προστασία των κατασκευών και των υπηρεσιών από τους κεραυνούς, έχουν καθοριστεί τέσσερα επίπεδα προστασίας (Lightning Protection Levels, LPLs): Τα επίπεδα αυτά είναι:^[25]

- LPL I
- LPL II
- LPL III
- LPL IV

Το επίπεδο προστασίας ενός ΣΑΠ σχετίζεται με το πόσο ικανοποιητικά προστατεύεται ένας χώρος από τις επιπτώσεις του κεραυνού και διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά του. Η αποτελεσματικότητα ενός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) μειώνεται από την στάθμη I προς την στάθμη IV. Όσο μεγαλύτερο είναι δηλαδή το επίπεδο προστασίας ενός ΣΑΠ, τόσο μειώνεται ο κίνδυνος ζημίας από άμεσο πλήγμα στη κατασκευή ή την υπηρεσία.^{[25][45][46]}

Οι μέγιστες τιμές των παραμέτρων του ρεύματος κεραυνού ανάλογα, με τη στάθμη προστασίας (I-IV), παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα. Με τις τιμές αυτές γίνεται η επιλογή και η διαστασιολόγηση των διαφόρων στοιχείων προστασίας του ΣΑΠ όπως επιλέγεται το είδος και η διατομή των αγωγών του, η ικανότητα ρεύματος των απαγωγών υπερτάσεων SPDs, οι αποστάσεις διαχωρισμού των αγωγίμων στοιχείων της κατασκευής από τα μέρη του ΣΑΠ κ.λ.π.^[25]

κύρια σύντομη εκκένωση				LPL			
παράμετρος ρεύματος	σύμβολο	μονάδα		I	II	III	IV
μέγιστη τιμή ρεύματος	I	kA		200	150		100
φορτίο σύντομης εκκένωσης	Q_{short}	C		100	75		50
ειδική ενέργεια	W/R	MJ/Ω		10	5,6		2,5
λόγος χρόνων μετώπου/συχράς	T_1/T_2	μs/μs		10 / 350			
δευτερεύουσα σύντομη εκκένωση				LPL			
παράμετρος ρεύματος	σύμβολο	μονάδα		I	II	III	IV
μέγιστη τιμή ρεύματος	I	kA		50	37,5		25
μέση κλίση ρεύματος	di/dt	kA/μs		200	150		100
λόγος χρόνων μετώπου/συχράς	T_1/T_2	μs/μs		0,25 / 100			
μακρά εκκένωση				LPL			
παράμετρος ρεύματος	σύμβολο	μονάδα		I	II	III	IV
φορτίο μακράς εκκένωσης	Q_{long}	C		200	150		100
λόγος χρόνων μετώπου/συχράς	T_1/T_2	μs/μs		0,5			

Εικόνα 4-4. Μέγιστες τιμές παραμέτρων ηλεκτρικών εκκένωσης ανάλογα με το επίπεδο προστασίας LPL^[25]

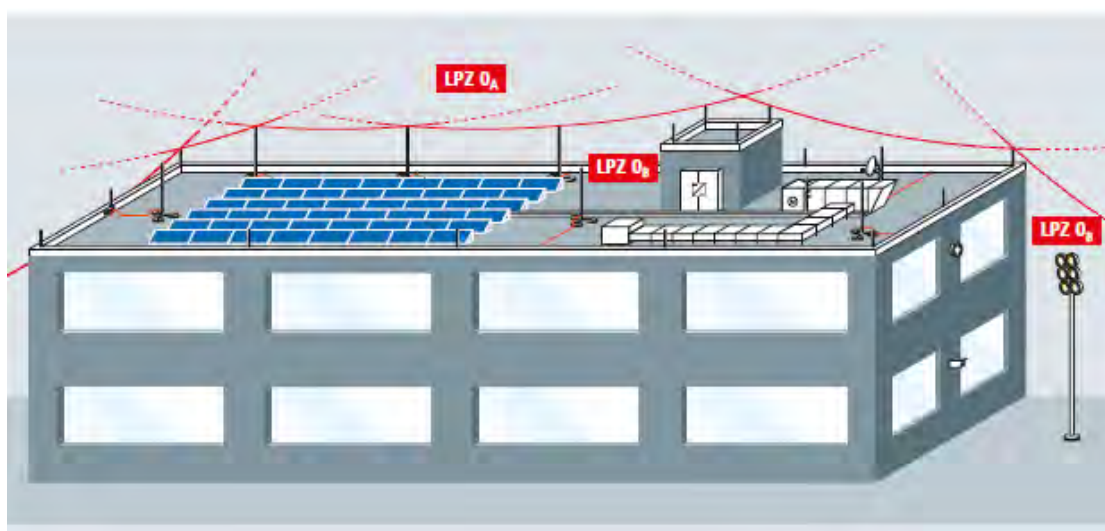
4.5. Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (LPZs)

Πολλές φορές, γεννάται η ανάγκη σε ένα συγκεκριμένο τμήμα (χώρο) μιας κατασκευής, να υπάρχουν είτε αυξημένες απαιτήσεις αντικεραυνικής προστασίας, είτε να απαιτείται η λήψη επιπρόσθετων μέσων προστασίας έναντι των κεραυνικών κρούσεων. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η διαίρεση του χώρου μιας υπό προστασίας κατασκευής (τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά της) σε συγκεκριμένες **ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (Lightning Protection Zones, LPZs)**. Οι ζώνες αντικεραυνικής προστασίας δηλαδή, είναι περιοχές εκτός και εντός της κατασκευής που χρήζει προστασίας, όπου οι αναμενόμενες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι καθορισμένες σε σχέση με την επικινδυνότητά τους και επομένως μπορούν να περιοριστούν. Θυμίζουμε ότι ως *ηλεκτρομαγνητική διαταραχή* ορίζεται

οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που μπορεί να υποβαθμίσει τη λειτουργία εξοπλισμού. Οι ζώνες αντικεραυνικής προστασίας είναι:^{[25],[28],[46],[97]}

- 1) LPZ-0. Η ζώνη αυτή διαιρείται σε δυο επιμέρους ζώνες και αφορούν το εξωτερικό μέρος (περιβάλλοντα χώρο) μιας κατασκευής. Οι ζώνες αυτές είναι η LPZ-0_A και η LPZ-0_B. Η ζώνη LPZ-0_A αφορά τα εξωτερικά σημεία εκείνα μιας κατασκευής τα οποία μπορούν να προσβληθούν είτε από άμεσα κεραυνικά πλήγματα, είτε από το πλήρες ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του κεραυνού. Τα εσωτερικά συστήματα της κατασκευής μπορούν να υποβληθούν στο πλήρες ρεύμα του κεραυνού. Η ζώνη LPZ-0_B αφορά τα σημεία εκείνα της κατασκευής που προστατεύονται από το άμεσο κεραυνικό πλήγμα, αλλά όχι από το πλήρες ηλεκτρομαγνητικό του πεδίο. Τα εσωτερικά συστήματα της κατασκευής μπορούν να υποβληθούν στο ασθενές ρεύμα του κεραυνού.

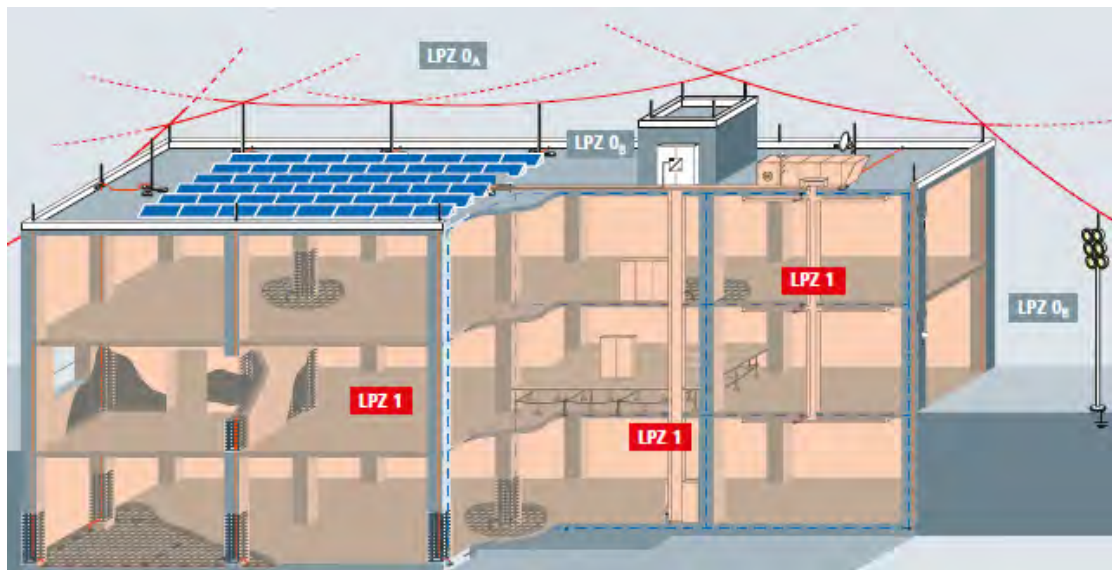
Παραδείγματα ζωνών προστασίας LPZ-0_A και LPZ-0_B σε μια κατασκευή (κτίριο) παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4-5. Παραδείγματα ζωνών προστασίας LPZ-0_A και LPZ-0_B σε κτίριο^[97]

- 2) LPZ-1. Η ζώνη αυτή αφορά το εσωτερικό μέρος μιας υπό προστασίας κατασκευής, το οποίο δεν μπορεί να προσβληθεί από το άμεσο πλήγμα του κεραυνού, αλλά μπορεί να προσβληθεί είτε από το κρουστικό ρεύμα του, είτε από το ασθενές ηλεκτρομαγνητικό του πεδίο.

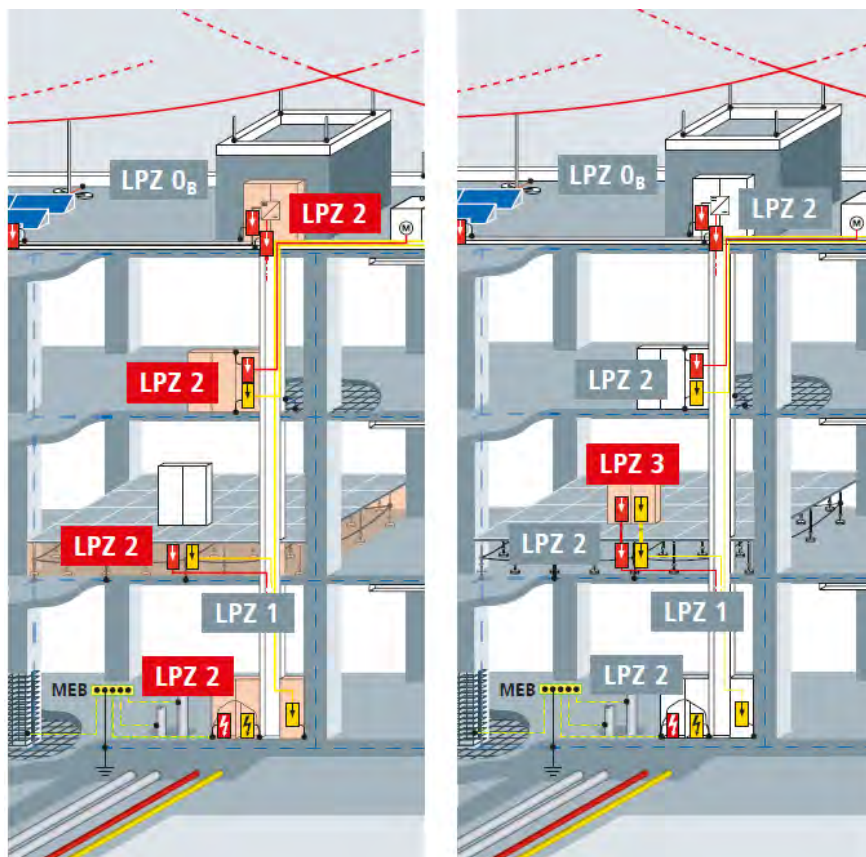
Παραδείγματα ζώνης προστασίας LPZ-1 σε μια κατασκευή (κτίριο) παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4-6. Παραδείγματα ζώνης προστασίας LPZ-1 σε κτίριο^[97]

- 3) LPZ-2...n. Οι ζώνες αυτές αφορούν την περαιτέρω προστασία του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εσωτερικά της κατασκευής από το ασθενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του ρεύματος του κεραυνού.

Παραδείγματα ζωνών προστασίας LPZ-2...n στο εσωτερικό μιας κατασκευής (ενός κτιρίου) παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.



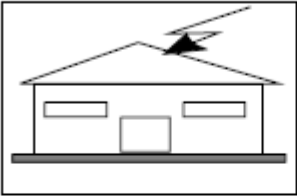
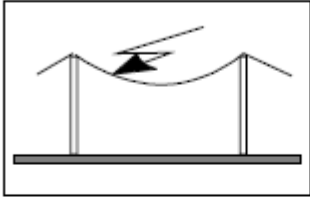
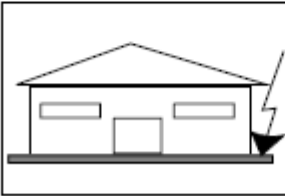
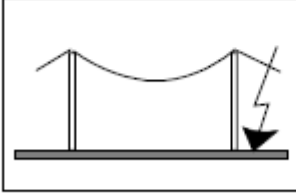
Εικόνα 4-7. Παραδείγματα ζωνών προστασίας LPZ-2...n σε κτίριο^[97]

4.6. Συνέπειες πλήγματος κεραυνών

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, το σημείο πλήγματος ενός κεραυνού μπορεί να είναι: είτε απευθείας σε μια κατασκευή ή κοντά της, είτε απευθείας σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ή κοντά της. Οι πηγές ζημιάς ενός κεραυνού ανάλογα με το σημείο πλήγματός του διακρίνονται σε:^{[25],[26]}

- S1: ηλ. εκκένωση απευθείας σε μια κατασκευή
- S2: ηλ. εκκένωση κοντά σε μια κατασκευή
- S3: ηλ. εκκένωση απευθείας σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μια γραμμή ενός ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς ή διανομής)
- S4: ηλ. εκκένωση κοντά σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μια γραμμή ενός ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς ή διανομής)

Η επόμενη εικόνα περιγράφει τις τέσσερις πηγές ζημιάς λόγω των κεραυνικών πλήγμων.

Σημείο πλήγματος	Πηγή ζημιάς	Σημείο πλήγματος	Πηγή ζημιάς
 απευθείας σε μια κατασκευή	S1	 απευθείας σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας	S3
 κοντά σε μια κατασκευή	S2	 κοντά σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας	S4

Εικόνα 4-8. Κατηγορίες πηγές ζημιών από την πτώση κεραυνών^{[25][26]}

Μια ηλεκτρική εκκένωση μπορεί να προκαλέσει ζημιές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου που πρόκειται να προστατευτεί. Οι κατηγορίες ζημιών από πλήγματα ηλεκτρικών εκκενώσεων ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες.^{[25],[26],[28]}

- D1: τραυματισμοί σε ζωντανούς οργανισμούς (άνθρωποι, ζώα) εξαιτίας άμεσης επαφής ή βηματικής τάσης
- D2: φυσικές καταστροφές (μηχανικές, θερμικές, ηλεκτρικές)
- D3: βλάβες σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα από την ηλεκτρομαγνητική επίδραση του ρεύματος κεραυνού

Κάθε μια από τις τρεις κατηγορίες ζημιών, μόνη της ή σε συνδυασμό με κάποια άλλη, μπορεί να προκαλέσει διαφορετικές επακόλουθες απώλειες στο αντικείμενο που πρόκειται να προστατευθεί. Οι τύποι των επακόλουθων απωλειών είναι:^{[25],[26]}

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-1 ^{[25],[26]}			
Τύποι επακόλουθων απωλειών των υπό προστασία αντικειμένων ανάλογα της πηγής προέλευσης			
για μια κατασκευή		για μια υπηρεσία	
L1	απώλεια ανθρώπινης ζωής	L'2	απώλεια υπηρεσιών προς το κοινό
L2	απώλεια υπηρεσιών προς το κοινό		
L3	απώλεια της πολιτιστικής κληρονομιάς	L'4	οικονομικές απώλειες (απώλεια των παρεχόμενων υπηρεσιών και δραστηριοτήτων)
L4	οικονομικές απώλειες (απώλεια της κατασκευής και των περιεχομένων της)		

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει τους τύπους ζημιών Dx και των επακόλουθων απωλειών Lx ανάλογα της πηγής προέλευσης Sx των ηλεκτρικών εκκενώσεων.

Πηγή ζημιάς	Κατασκευή		Υπηρεσία	
	Τύπος ζημιάς	Τύπος απώλειας	Τύπος ζημιάς	Τύπος απώλειας
S1	D1	L1, L4	D2 D3	L'2, L'4
	D2	L1, L2, L3, L4		L'2, L'4
	D3	L1', L2, L4		L'2, L'4
S2	D3	L1, L2, L4		
S3	D1	L1, L4	D2 D3	L'2, L'4
	D2	L1, L2, L3, L4		L'2, L'4
	D3	L1, L2, L4		L'2, L'4
S4	D3	L1, L2, L4	D3	L'2, L'4

Εικόνα 4-9. Τύποι ζημιών Dx και επακόλουθων απωλειών Lx ανάλογα της πηγής προέλευσης Sx των ηλεκτρικών εκκενώσεων^{[25],[26]}

4.7. Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας

Ορίζεται ως **Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ)** το σύστημα εκείνο που τοποθετείται σε μια κατασκευή, προκειμένου να προστατεύσει:^[27]

- α) την ίδια την κατασκευή από φυσική καταστροφή
- β) την ανθρώπινη ζωή που η κατασκευή περικλείει, από τραυματισμό

τα οποία μπορεί να προκληθούν από τα πλήγματα των κεραυνών.

Ένα ΣΑΠ έχει ως σκοπό να οδηγήσει το ρεύμα του κεραυνού σε προκαθορισμένα σημεία, μακριά από την υπό προστασία κατασκευή, προστατεύοντάς την τόσο από φυσικές ζημιές, ενώ παράλληλα συμβάλει και στην προστασία από τραυματισμούς των ζωντανών οργανισμών που αυτή περιβάλλει.

Ανάλογα με το επίπεδο προστασίας LPL, τα Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες (class of Lightning Protection System, class of LPS):^{[97],[27]}

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-2^[27]	
Κατηγορίες ΣΑΠ ανάλογα με το επίπεδο αντικεραυνικής προστασίας LPL	
<i>Επίπεδο προστασίας LPL</i>	<i>Κατηγορία ΣΑΠ (class of LPS)</i>
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Ένα πλήρες Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας περιλαμβάνει δυο επιμέρους συστήματα:^[27]

α) το **σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας** (external Lightning Protection System - external LPS)

β) το **σύστημα εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας** (internal Lightning Protection System - internal LPS).

Αυτό που αξίζει να επισημάνει κάποιος είναι ότι ένα Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας δεν μπορεί να εμποδίσει το σχηματισμό κεραυνού. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν συσκευές ή μέθοδοι επιστημονικά αποδεδειγμένες, ικανές να εμποδίσουν τον σχηματισμό κεραυνού ή να εμποδίσουν τον κεραυνό να πλήξει μία κατασκευή. Επίσης, ένα ΣΑΠ δεν εξασφαλίζει απόλυτη προστασία σε κατασκευές, άτομα ή αντικείμενα, ωστόσο η χρησιμοποίησή του μειώνει τους κινδύνους σε σημαντικό βαθμό.^[45]

4.7.1. Σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας (external Lightning Protection System)

Στόχος ενός συστήματος εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας, είναι να αποτρέψει τις ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις (κεραυνούς) να πλήξουν άμεσα μια κατασκευή. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, το σύστημα εξωτερικής προστασίας θα πρέπει να είναι ικανό να προσελκύσει τις ηλεκτρικές εκκενώσεις επάνω του και ακολούθως να διοχετεύσει το ρεύμα τους ελεγχόμενα στο έδαφος μέσω μιας εγκατάστασης γείωσης. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα εξωτερικής προστασίας θα πρέπει να συλλαμβάνει τον κεραυνό πριν εκείνος πλήξει την υπό προστασία κατασκευή και διοχετεύει το ρεύμα του από το σημείο πλήγματος στη γη χωρίς να προκληθούν θερμικές και μηχανικές ζημιές στην κατασκευή που χρήζει προστασίας.^{[45],[46],[27],[113]}

Ένα σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας μπορεί να είναι **απομονωμένο** ή **μη απομονωμένο**. Στην πρώτη περίπτωση, το σύστημα

τερματισμού-συλλήψεως και το σύστημα αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή που χρήζει προστασίας. Ένα σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας είναι μη απομονωμένο, όταν το σύστημα τερματισμού-συλλήψεως και το σύστημα αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μπορεί να έρχεται σε επαφή με την κατασκευή που χρήζει προστασίας.^[45]

Ένα σύστημα εξωτερικής προστασίας αποτελείται κυρίως από τρία επιμέρους συστήματα:^{[27][113]}

α) Το **σύστημα εναέριου τερματισμού-συλλήψεως (air-termination system)**. Αποτελείται από ράβδους, μεταλλικά πλέγματα και άλλα αντικείμενα που έχουν σκοπό να προσελκύουν επάνω τους τον οχετό του κεραυνού που κατεβαίνει από το νέφος.

β) Το **σύστημα αγωγών καθόδου (down-conductor system)**. Συνδέει το σύστημα συλλήψεως με σύστημα τερματισμού - γειώσεως, προκειμένου το προσπίπτων ρεύμα της εκκένωσης να περάσει ελεγχόμενα στο έδαφος.

γ) Το **σύστημα τερματισμού - γειώσεως (earth-termination system)**. Χρησιμεύει στο να διανέμει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος μέσω κατάλληλων ηλεκτροδίων γειώσεως.^[45]

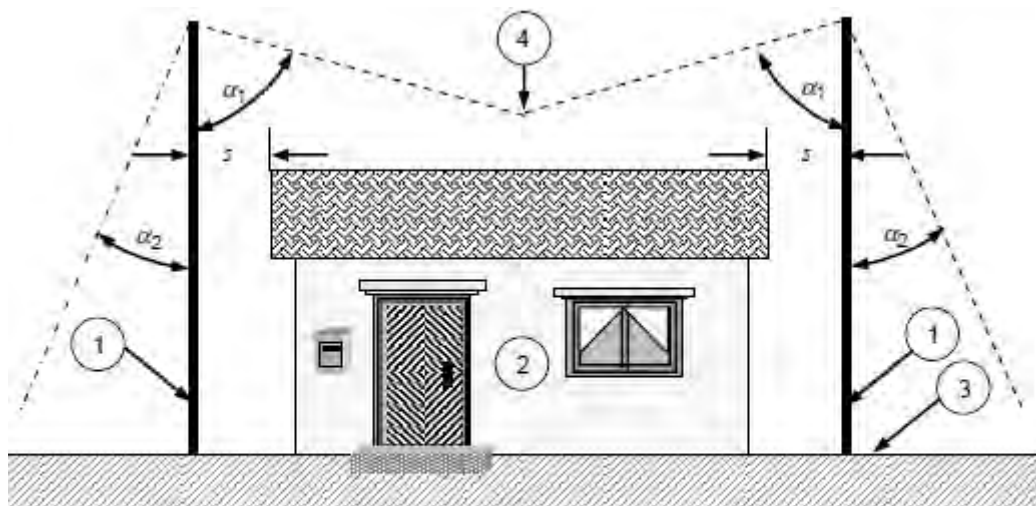
Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη περιγραφή των επιμέρους υποσυστημάτων ενός συστήματος εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας.

α) Σύστημα τερματισμού - συλλήψεως (air-termination system)

Ως **σύστημα τερματισμού - συλλήψεως** ορίζεται το τμήμα εκείνο του συστήματος εξωτερικής προστασίας ενός ΣΑΠ, το οποίο προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς. Αξίζει να αναφερθεί ότι η πιθανότητα μιας κατασκευής να προσβληθεί από άμεσο πλήγμα κεραυνού περιορίζεται σημαντικά, με το σωστό σχεδιασμό του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως. Το σύστημα αυτό μπορεί να αποτελείται από ένα συνδυασμό από τα εξής:^{[27],[46]}

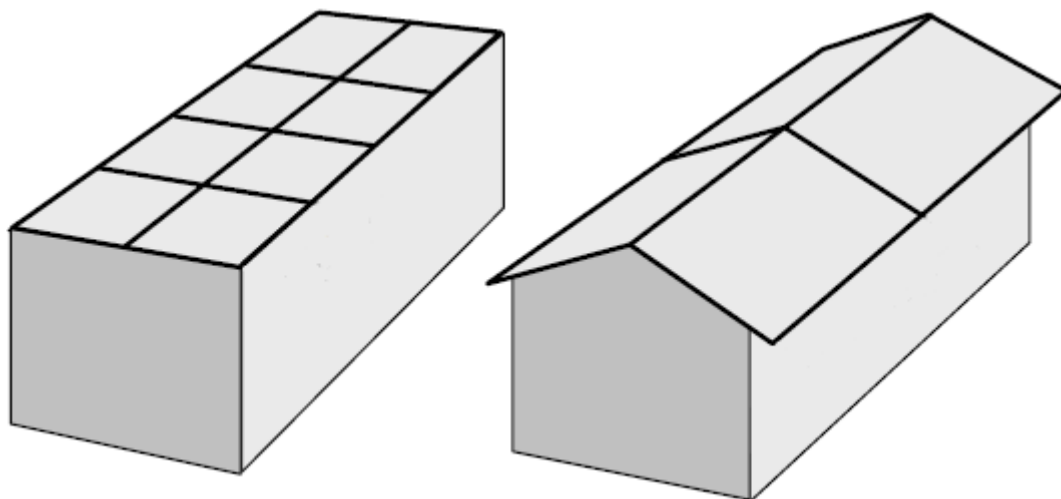
- *Ράβδους*
- *Πλέγματα αγωγών*
- *Οριζόντιοι τανυσμένοι αγωγοί*

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν τυπικά παραδείγματα χρήσης των τριών διατάξεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, από τις οποίες μπορεί να αποτελείται το σύστημα τερματισμού - συλλήψεως.

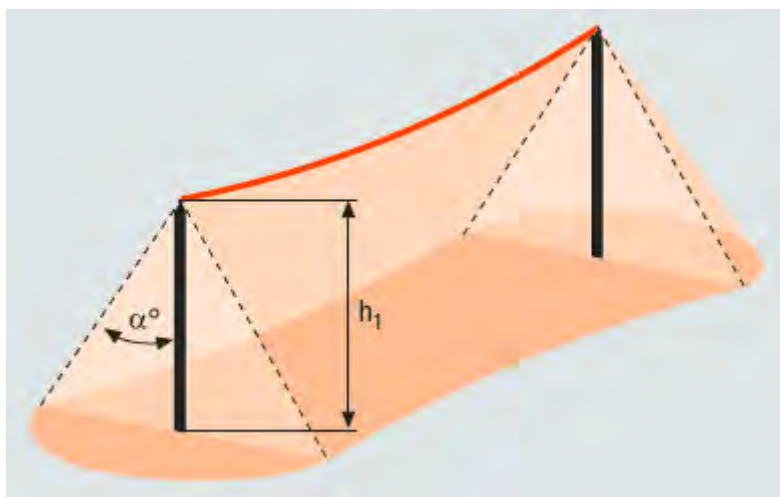


- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1. συλλεκτήριοι ράβδοι | 4. διαστάυρωση ζωνών προστασίας |
| 2. υπό προστασία κατασκευή | s απόσταση διαχωρισμού |
| 3. επίπεδο αναφοράς ύψους (έδαφος) | α1, α2 γωνίες προστασίας |

Εικόνα 4-10. Σύστημα τερματισμού - συλλήψεως αποτελούμενο από ράβδους^[27]



Εικόνα 4-11. Σύστημα τερματισμού - συλλήψεως αποτελούμενο από πλέγμα αγωγών^[27]



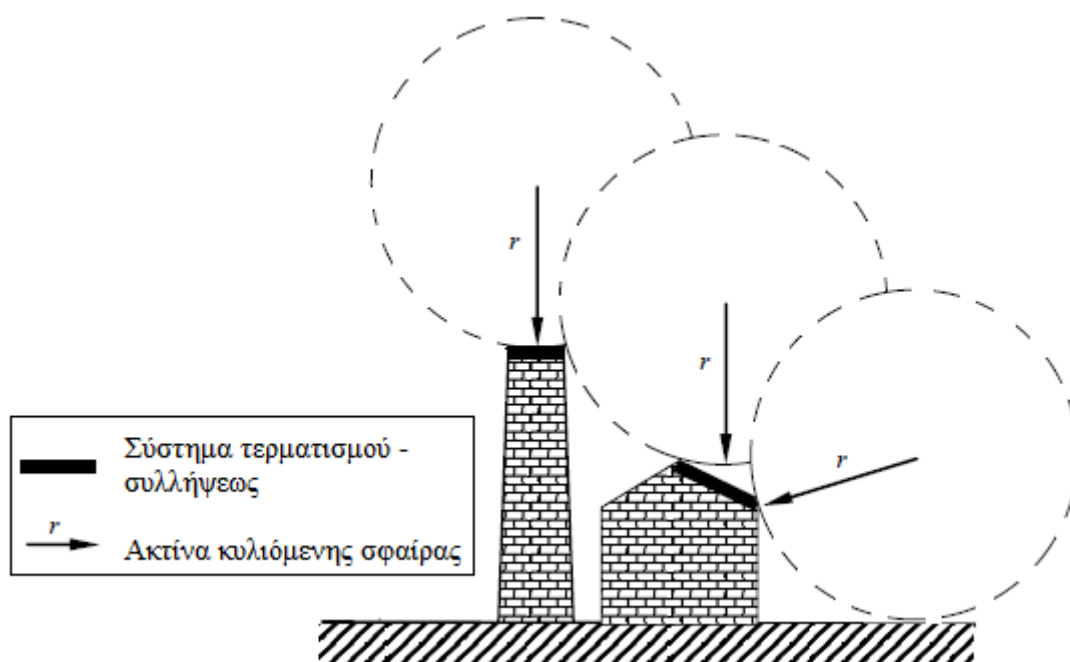
Εικόνα 4-12. Σύστημα τερματισμού - συλλήψεως αποτελούμενο από οριζόντιο τανυσμένο αγωγό^[113]

Για τον καθορισμό της ζώνης προστασίας του συστήματος τερματισμού - συλλήψεως μπορεί να εφαρμοστεί μια (ή και συνδυασμός) από τις παρακάτω μεθόδους.^[27]

- Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας
- Μέθοδος των βρόχων
- Μέθοδος της γωνίας προστασίας α

Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις κατηγορίες Συστημάτων Αντικεραυνικής Προστασίας, ανεξαρτήτως του σχήματος της υπό προστασίας κατασκευής.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας για τη χωροθέτηση του συστήματος συλλήψεως.



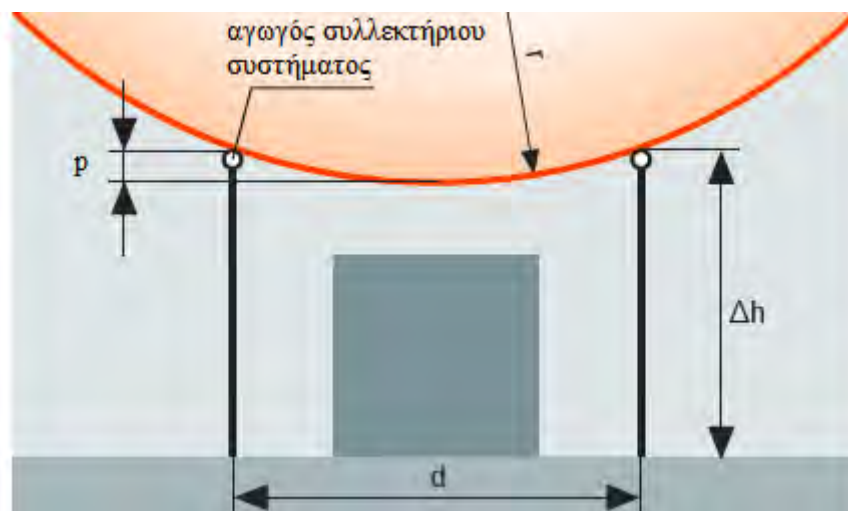
Εικόνα 4-13. Εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας για τον προσδιορισμό της θέσης του συστήματος συλλήψεως^[73]

Σύμφωνα με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας, ο σχεδιασμός του συστήματος συλλήψεως είναι κατάλληλος, εάν κανένα σημείο της κατασκευής που χρήζει προστασίας δεν έρχεται σε επαφή με μία εικονική σφαίρα ακτίνας r , (εξαρτώμενης από την κατηγορία LPS), η οποία κυλιέται γύρω την κατασκευή και προς όλες τις διευθύνσεις. Κατά την κύλισή της, η σφαίρα πρέπει να εφάπτεται μόνο στην επιφάνεια του κτιρίου ή μόνο σύστημα τερματισμού-συλλήψεως ή και στα δύο και τα σημεία που αυτή δεν αγγίζει είναι προστατευμένα.^[46] Θεωρείται δηλαδή μια κυλιόμενη σφαίρα ακτίνας r , να κυλιέται παντού πάνω στη συλλεκτήρια εγκατάσταση και τη γη. Τα σημεία της κατασκευής που δεν αγγίζει η σφαίρα είναι προστατευμένα. Στα σημεία που η κυλιόμενη σφαίρα έρχεται σε επαφή, πρέπει να τοποθετηθεί σύστημα συλλήψεως.^[44] Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τη συσχέτιση της ακτίνας r με την κατηγορία του ΣΑΠ.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-3 ^[97]	
Ακτίνας r της κυλιόμενης σφαίρας σε σχέση με την κατηγορία LPS	
<i>Class of LPS</i>	<i>Ακτίνα r (m)</i>
I	20
II	30
III	45
IV	60

Μεταξύ δυο ράβδων συλλήψεως ύψους Δh , που απέχουν απόσταση d , το βάθος εισχώρησης p της κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας r δίνεται από τη σχέση.^[113]

$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad 4-6$$



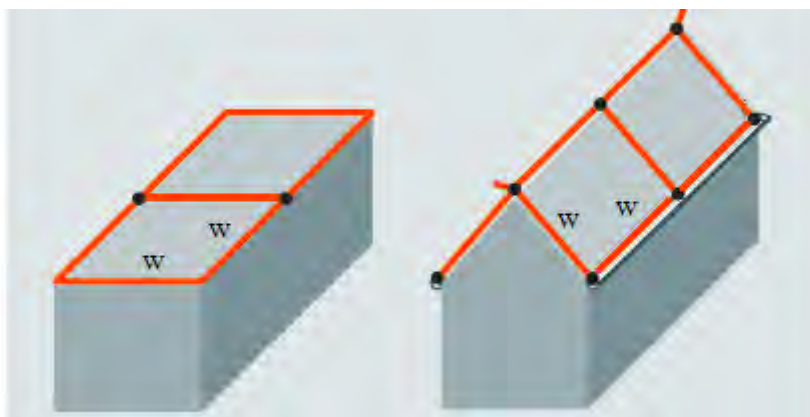
Εικόνα 4-14. Βάθος εισχώρησης p κυλιόμενης σφαίρας^[113]

Το ύψος Δh των ράβδων συλλήψεως θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το βάθος εισχώρησης p της κυλιόμενης σφαίρας έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση αυτή να ακουμπήσει την κατασκευή.^[113]

Η μέθοδος των βρόχων βρίσκει εφαρμογή σε κατασκευές που έχουν κυρίως επίπεδες επιφάνειες. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η ζώνη προστασίας του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως οριοθετείται από βρόχους διαστάσεων $w \times w$. Η διαστασιολόγηση των βρόχων του συστήματος συλλήψεως εξαρτάται από την κατηγορία του ΣΑΠ (I-IV) και προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα:

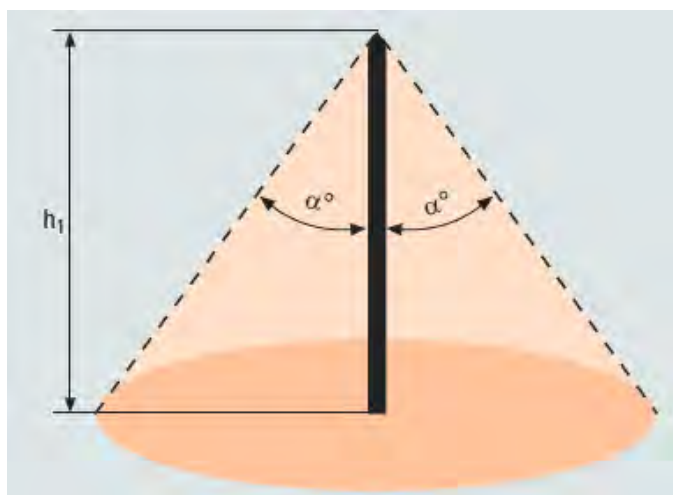
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-4 ^{[113],[97]}	
Διαστάσεις βρόχου σε σχέση με την κατηγορία LPS	
<i>Class of LPS</i>	<i>Διαστάσεις βρόχου $w \times w$ (m)</i>
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τυπικά παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου των βρόχων για τη χωροθέτηση του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως.



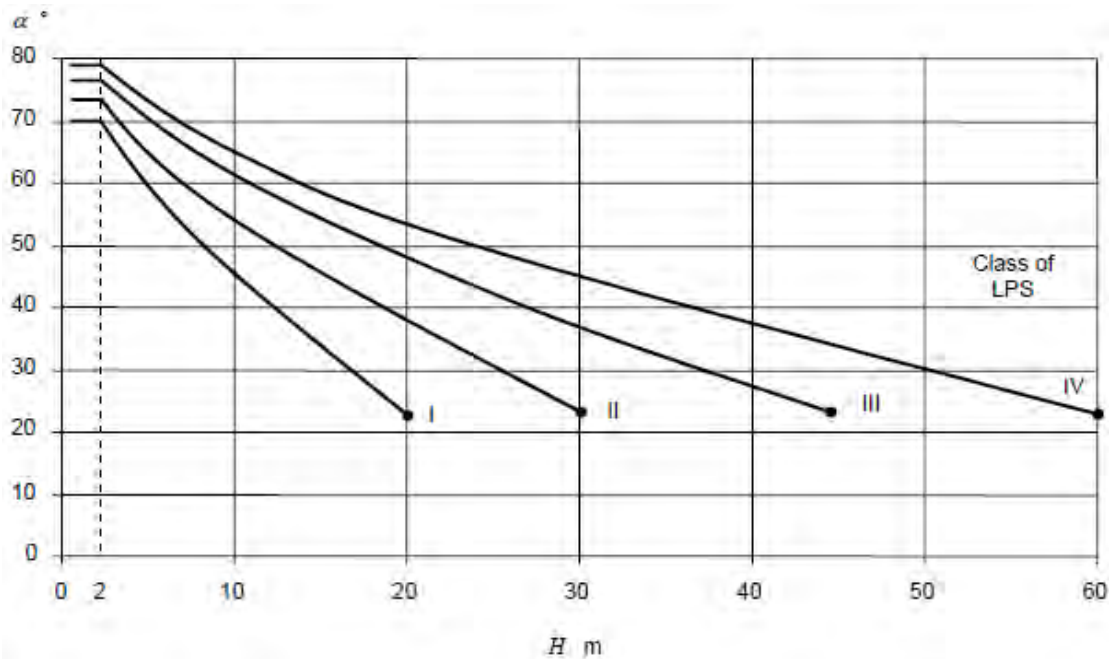
Εικόνα 4-15. Εφαρμογή της μεθόδου των βρόχων για τη χωροθέτηση του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως σε επίπεδες στέγες κτισμάτων^[113]

Η **μέθοδος της γωνίας προστασίας** αφορά συστήματα συλλήψεως που αποτελούνται από μια ή περισσότερες κατακόρυφες ράβδους. Η ζώνη προστασίας των συλλεκτήριων συστημάτων με ράβδους καθορίζεται από έναν κώνο με κορυφή την ακίδα της ράβδου και γωνία προστασίας α που σχετίζεται με το ύψος h_1 της ράβδου και κατηγορία την του ΣΑΠ (εικόνα 4-16).



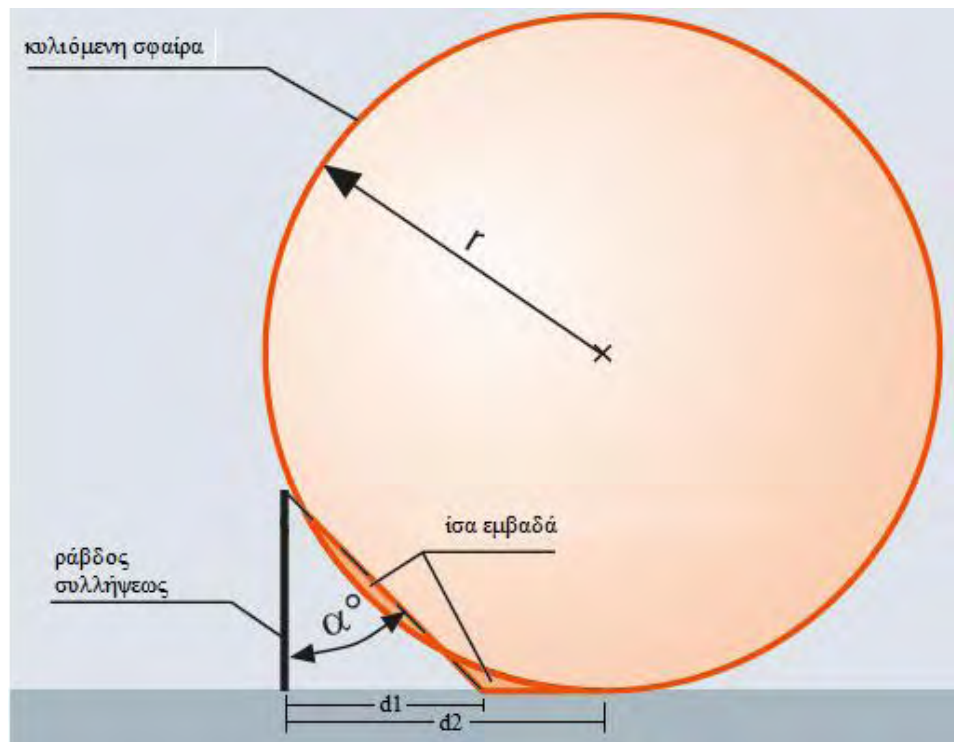
Εικόνα 4-16. Εφαρμογή της μεθόδου της γωνίας προστασίας α για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας συστήματος τερματισμού-συλλήψεως που αποτελείται από κατακόρυφες ράβδους^[113]

Η γωνία προστασίας α προκύπτει από το διάγραμμα της επόμενης εικόνας, ανάλογα με την κατηγορία του ΣΑΠ.



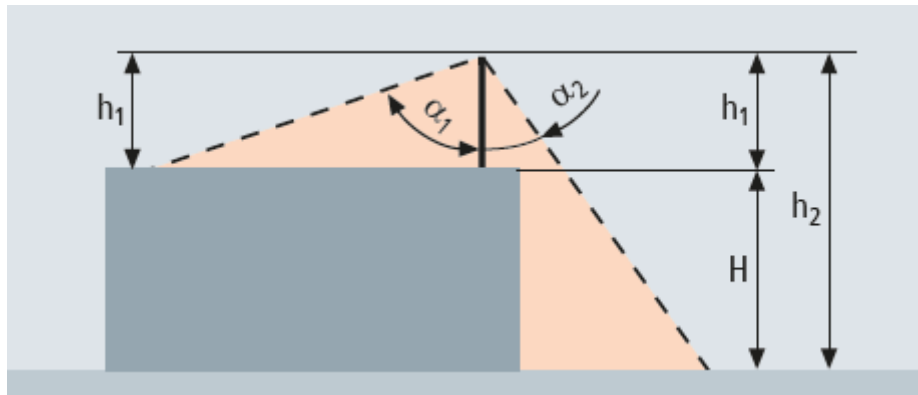
Εικόνα 4-17. Επιλογή της γωνίας προστασίας α ανάλογα του συνολικού ύψους της ράβδου και της κατηγορίας του ΣΑΠ^[27]

Στην επόμενη εικόνα πραγματοποιείται σύγκριση της προκύπτουσας ζώνης προστασίας μιας ράβδου συλλήψεως χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της γωνίας προστασίας και τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ζώνη προστασίας με τη μέθοδο της γωνίας προστασίας έχει μικρότερο μήκος ($d1$) σε σχέση με το μήκος της ζώνης προστασίας που προκύπτει με εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας ($d2$). Η διαφορά των μηκών $d2-d1$ είναι τέτοια έτσι ώστε τα εμβαδά που απεικονίζονται στο επόμενο σχήμα να είναι ίσα.^[113]



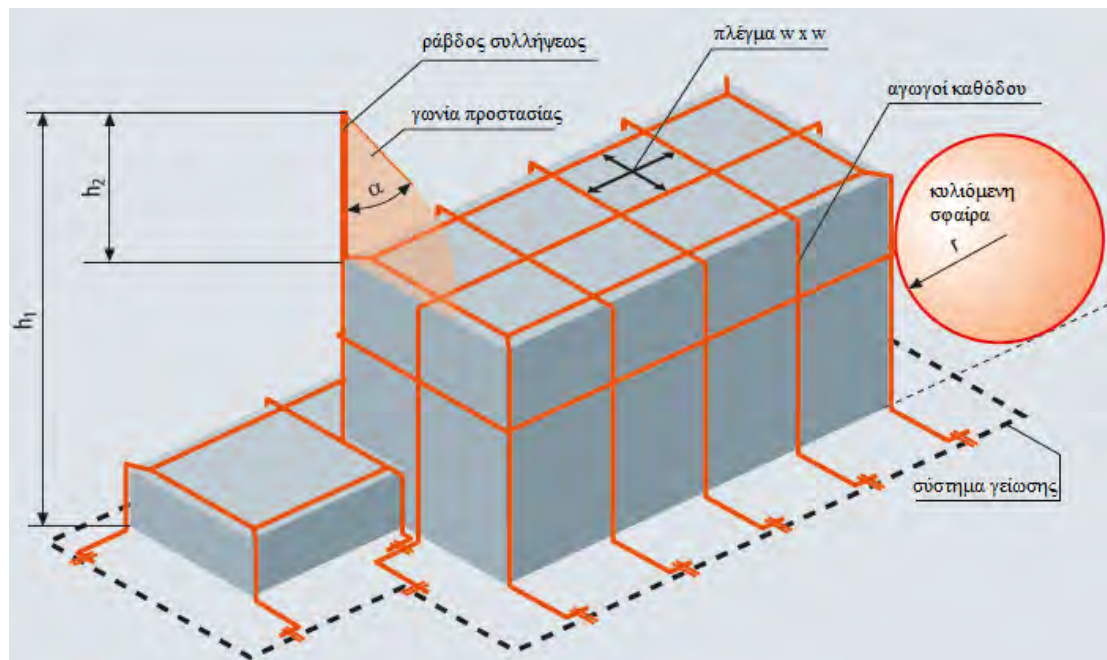
Εικόνα 4-18. Σύγκριση των ζωνών προστασίας της μεθόδου της γωνίας προστασίας και της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας^[113]

Σε περίπτωση που μια ράβδος συλλήψεως ύψους h_1 τοποθετείται επάνω σε μια κατασκευή ύψους H , η ζώνη προστασίας (γωνία α_1) στο ύψος H της κατασκευής θα υπολογίζεται για ύψος h_1 , ενώ η ζώνη προστασίας στο επίπεδο του εδάφους θα υπολογίζεται για ύψος $h_2 = h_1 + H$.^{[27],[113]}



Εικόνα 4-19. Εφαρμογή της μεθόδου της γωνίας προστασίας α για τον προσδιορισμό των ζωνών προστασίας συστήματος συλλήψεως αποτελούμενου από κατακόρυφες ράβδους ύψους h_1 στην οροφή κτιρίου ύψους H ^[113]

Είναι φανερό ότι για την προστασία μιας κατασκευής, το σύστημα συλλήψεως μπορεί να περιλαμβάνει συνδυασμό περισσοτέρων της μιας διάταξης προστασίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα συστήματος συλλήψεως παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4-20. Σύστημα τερματισμού-συλλήψεως αποτελούμενο από ράβδο και πλέγμα και εφαρμογές των μεθόδων της κυλιόμενης σφαίρας του πλέγματος και της γωνίας προστασίας για την χωροθέτησή του^[113]

Στην περίπτωση κτιρίων ύψους μεγαλύτερου από 60m, όπου στους εξωτερικούς τοίχους δεν υπάρχουν μεταλλικά στοιχεία όπως μεταλλικές προσόψεις, ή άλλες σιδηροκατασκευές πρέπει να ληφθεί υπόψη ο κίνδυνος οριζόντιου προσβολής του κτιρίου από κεραυνό. Για το λόγο αυτό, το σύστημα συλλήψεως της οροφής θα πρέπει να επεκτείνεται και στις πλαϊνές πλευρές κατά ένα μήκος ίσο με το 20% του συνολικού ύψους του κτιρίου. Ειδικότερα, για κτίρια ψηλότερα από 120m, όλα τα

μέρη τους που εξέχουν πάνω από τα 120m θα πρέπει να προστατεύονται ξεχωριστά.^{[97][21]}

Το υλικό, η μορφή και οι ελάχιστες διατομές των αγωγών που μπορεί να κατασκευαστεί το σύστημα συλλήψεως παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-5 ^{[97],[49]}			
Υλικό, η μορφή και η ελάχιστη διατομή των αγωγών του συστήματος τερματισμού - συλλήψεως			
Υλικό	Μορφή	Ελάχιστη διατομή	Σημειώσεις
Χαλκός	Ταινία	50mm ²	ελάχιστο πάχος 2 mm
	Στρογγυλός ⁵	50mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Πολύκλωνος	50mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου 1,7 mm
	Στρογγυλός ^{6,7}	200mm ²	διαμέτρου Φ16 mm
Χαλκός επικασσιτερωμένος ²	Ταινία	50mm ²	ελάχιστο πάχος 2 mm
	Στρογγυλός ⁵	50mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Πολύκλωνος	50mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου 1,7 mm
Αλουμίνιο	Ταινία	70mm ²	ελάχιστο πάχος 3 mm
	Στρογγυλός	50mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Πολύκλωνος	50mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου 1,7 mm
Κράμα Αλουμινίου	Ταινία	50mm ²	ελάχιστο πάχος 2,5 mm
	Στρογγυλός	50mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Πολύκλωνος	50mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου 1,7 mm
	Στρογγυλός ⁶	200mm ²	διαμέτρου Φ16 mm
Χάλυβας θερμά Επιψευδαργυρωμένος ³	Ταινία	50mm ²	ελάχιστο πάχος 2,5 mm
	Στρογγυλός ¹	50mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Πολύκλωνος	50mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου 1,7 mm
	Στρογγυλός ^{1,6,7}	200mm ²	διαμέτρου Φ16 mm
Ανοξείδωτος Χάλυβας ⁴	Ταινία ⁸	50mm ²	ελάχιστο πάχος 2 mm
	Στρογγυλός ⁸	50mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Πολύκλωνος	70mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου 1,7 mm
	Στρογγυλός ^{6,7}	200mm ²	διαμέτρου Φ16 mm

1: Η ελάχιστη διατομή για την αποφυγή της τήξης είναι 16 mm² για το χαλκό 25 mm² για το αλουμίνιο και 50 mm² για το χάλυβα για ειδική ενέργεια 10.000KJ/Ω
2: Εν θερμώ ή ηλεκτρολυτικά, με ελάχιστο πάχος επικάλυψης 1 μm.
3: Η επιφάνεια της επιψευδαργύρωσης πρέπει να είναι λεία και συνεχής με ελάχιστο πάχος 50 μm.
4: Ανοξείδωτος χάλυβας με περιεκτικότητα Χρωμίου : ≥ 16 %, Νικελίου ≥ 8 %, Άνθρακα ≤ 0,07 %.
5: 50 mm² (Φ8 mm) που μπορεί να μειωθεί σε 28 mm² (Φ6 mm) σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει απαίτηση μηχανικής αντοχής.
6: Για χρήση μόνο ως ακίδες σύλληψης. Όταν οι μηχανικές καταπονήσεις (π.χ. από άνεμο) δεν είναι σημαντικές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ακίδα διαμέτρου Φ10 mm και μήκους 1,0 m.
7: Για χρήση ως ράβδου σύλληψης (ακίδες) μόνο.
8: Για εγκιβωτισμό σε σκυρόδεμα ή σε επαφή με εύφλεκτες επιφάνειες, χρησιμοποιείται στρογγυλός αγωγός 78 mm² (Φ10 mm) ή ταινία 75 mm² (ελάχιστου πάχους 3 mm).

β) Σύστημα αγωγών καθόδου (down-conductor system)

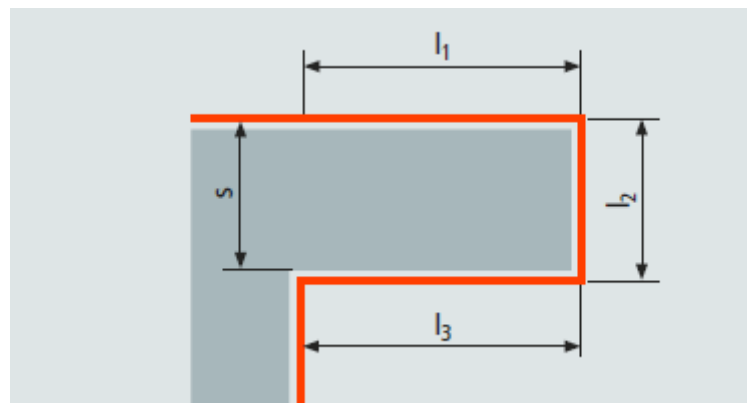
Σκοπός του συστήματος αγωγών καθόδου είναι να συνδέσει ηλεκτρικά το σύστημα τερματισμού - συλλήψεως με το σύστημα γειώσεως. Οι αγωγοί καθόδου πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε σε σχέση με το σημείο του πλήγματος μέχρι τη γη.^{[45],[97]}

- να υπάρχουν αρκετές παράλληλες οδοί ροής του ρεύματος
- το μήκος των οδών ροής του ρεύματος να είναι το μικρότερο δυνατόν
- να γίνονται ισοδυναμικές συνδέσεις οπουδήποτε είναι απαραίτητο

Οι αγωγοί του συστήματος καθόδου θα πρέπει να διανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του κτιρίου, αρχίζοντας από τις γωνίες του, αποτελώντας φυσική συνέχεια του συστήματος τερματισμού - συλλήψεως. Γενικά, η τοποθέτηση των αγωγών καθόδου θα πρέπει να γίνεται επί της περιμέτρου της υπό προστασίας κατασκευής και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις γωνίες της. Τα διαστήματα των αγωγών καθόδου σχετίζονται με την κατηγορία του ΣΑΠ. Η μέση απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου ανάλογα με την κατηγορία του ΣΑΠ παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.^[25]

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-6 ^[113]	
Μέση απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου ανάλογα με την κατηγορία του LPS	
Κατηγορία LPS	Μέση απόσταση (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Οι αγωγοί καθόδου πρέπει να τοποθετούνται ευθείς και κατακόρυφοι ώστε να εξασφαλίζεται η συντομότερη και άμεση όδευση προς τη γη, ενώ παράλληλα θα πρέπει να αποφεύγεται ο σχηματισμός βρόχων. Όπου αυτό δεν είναι δυνατόν, η απόσταση, s , του διακένου μετρούμενη μεταξύ δύο σημείων του αγωγού και το μήκος l του αγωγού μεταξύ αυτών των σημείων πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της παραγράφου 4.7.2.^{[45],[113]}



Εικόνα 4-21. Σχηματισμός βρόχου σε αγωγό καθόδου^[113]

Στα σημεία σύνδεσης των αγωγών καθόδου με το σύστημα γειώσεως θα πρέπει να τοποθετείται ένας σύνδεσμος ελέγχου (λυόμενος). Ο σύνδεσμος αυτός θα πρέπει να

ανοίγει με τη βοήθεια ενός εργαλείου, έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα μετρήσεων, ενώ κανονικά πρέπει να είναι κλειστός.^{[45],[113]}

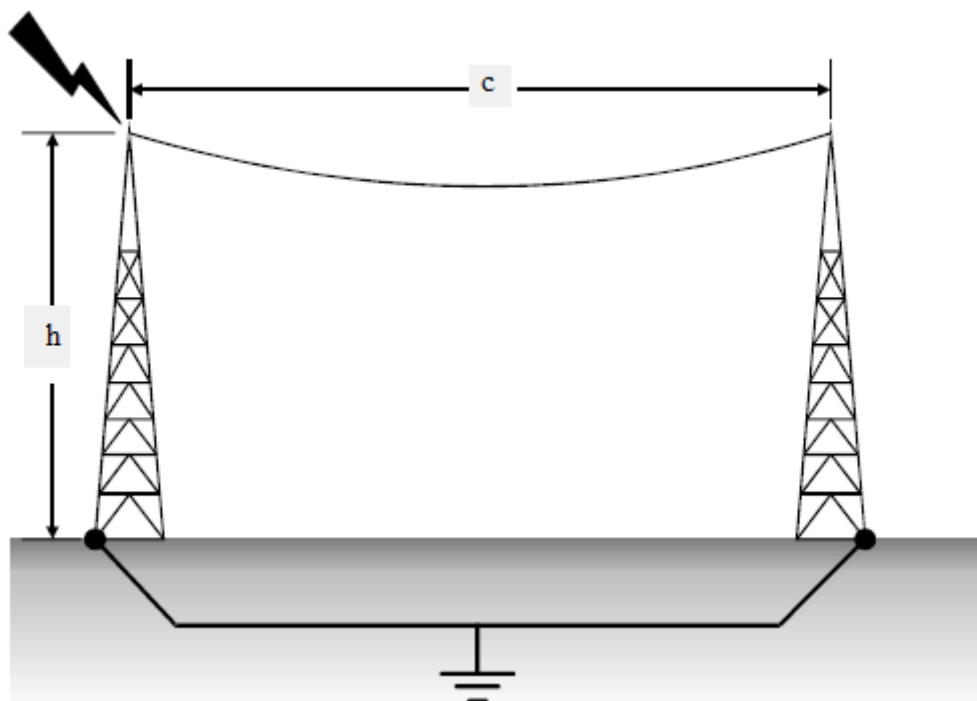
Μια σημαντική παράμετρος που σχετίζεται με το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι ο **συντελεστής κατανομής k_c** . Ο συντελεστής αυτός αφορά την κατανομή του ρεύματος του κεραυνού στους αγωγούς καθόδου. Εξαρτάται από το συνολικό αριθμό n των αγωγών καθόδου, τον τύπο του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως και από τον τύπο του συστήματος γείωσης. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή k_c λαμβάνοντας υπόψη τις προηγούμενες τρεις παραμέτρους.^{[45],[113]}

τύπος συστήματος τερματισμού-συλλήψεως	πλήθος αγωγών καθόδου n	k_c	
		Διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Α	Διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Β
απλή ράβδος οριζόντιο σύρμα πλέγμα	1	1	1
	2	0,66	0,5... 1
	4 ή περισσότερα	0,44	0,25... 0,5
πλέγμα	4 ή περισσότερα, συνδεδεμένα με οριζόντιους αγωγούς	0,44	1/n... 0,5

Εικόνα 4-22. Τιμές συντελεστού k_c ^[113]

Οι αναλυτικές σχέσεις για τον προσδιορισμό του συντελεστή k_c για διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Β, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως και τον αριθμό n των αγωγών καθόδου είναι:^{[45],[113]}

1) Για οριζόντιο τεταμένο σύρμα:



Εικόνα 4-23. Σύστημα προστασίας με τεταμένο σύρμα και σύστημα γείωσης τύπου Β^[113]

$$k_c = \frac{h+c}{2 \cdot h+c}$$

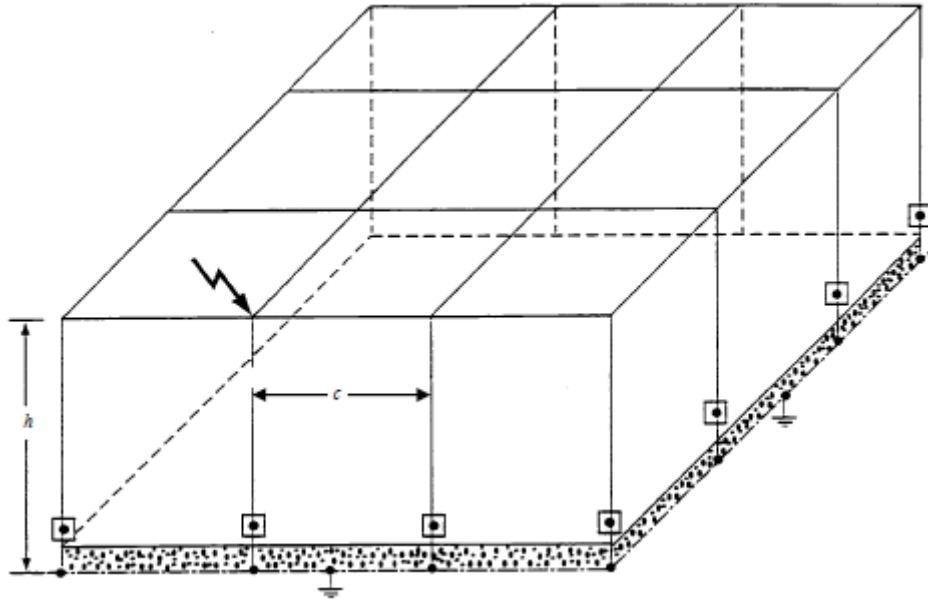
4-7

Όπου:

h = ύψος ανάρτησης σύρματος
 c = απόσταση σημείων ανάρτησης

Οι τιμές του συντελεστή k_c κυμαίνονται από 0,5 για $c \ll h$ έως 1 για $h \ll c$.

2) Πλέγματος



Εικόνα 4-24. Σύστημα προστασίας με πλέγμα και σύστημα γείωσης τύπου B^[113]

Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής k_c προκύπτει από τη σχέση:

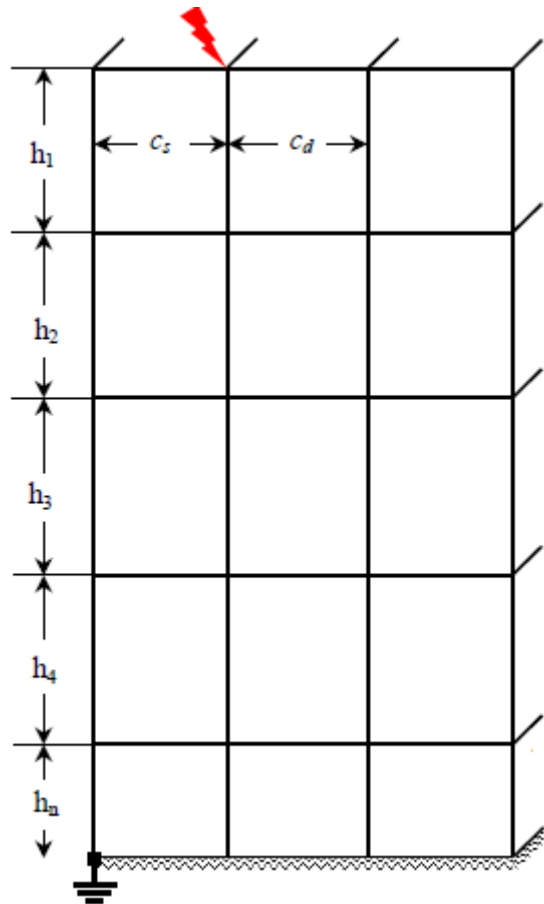
$$k_c = \frac{1}{2.n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} \quad 4-8$$

Όπου:

h = απόσταση μεταξύ των περιμετρικών δακτυλίων
 c = απόσταση από τον πλησιέστερο αγωγό καθόδου
 n = πλήθος αγωγών καθόδου

3) Πλέγματος, με αγωγούς καθόδου συνδεδεμένων με περιμετρικούς δακτυλίους

Μια τέτοια περίπτωση αφορά ψηλά κτίρια και παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4-25. Τιμές του συντελεστή k_c στη περίπτωση συστήματος συλλήψεως πλέγματος, με αγωγούς καθόδου συνδεδεμένους με περιμετρικούς δακτυλίους και σύστημα γείωσης τύπου Β. ^[45]

Στην περίπτωση αυτή οι συντελεστές k_c προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$k_{c1} = \frac{1}{2 \cdot n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c_s}{h_1}} \cdot \sqrt[6]{\frac{c_d}{c_s}} \quad 4-9$$

$$k_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1 \quad 4-10$$

$$k_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01 \quad 4-11$$

$$k_{c4} = \frac{1}{n} \quad 4-12$$

$$k_{cn} = k_{c4} = \frac{1}{n} \quad 4-13$$

Όπου:

$h_{1...n}$ = απόσταση μεταξύ των περιμετρικών δακτυλίων

c_s, c_d = αποστάσεις αγωγών καθόδου εκατέρωθεν του αγωγού που πλήχθηκε

n = πλήθος αγωγών καθόδου

γ) Σύστημα γειώσεως (earth-termination system)

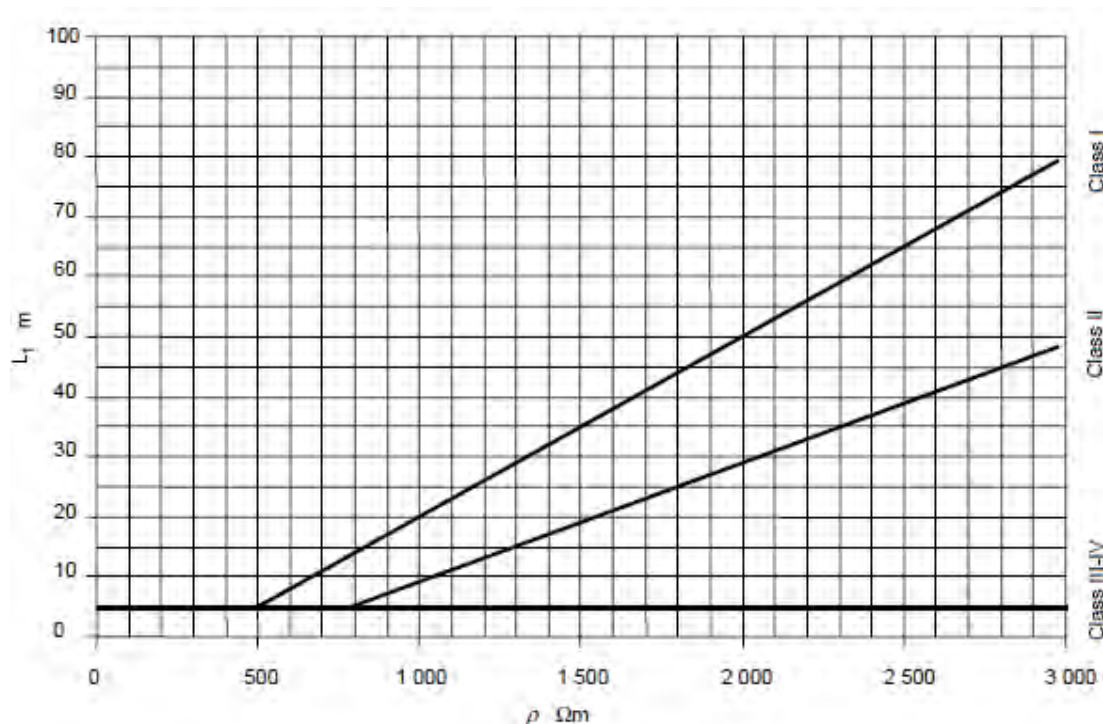
Σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να διαχέεται το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος, μέσω κατάλληλων ηλεκτροδίων γείωσης, χωρίς να αναπτύσσονται επικίνδυνες υπερτάσεις. Οι κανονισμοί κατατάσσουν τις διατάξεις των ηλεκτροδίων γείωσης σε δύο βασικές κατηγορίες: τη διάταξη τύπου Α και τη διάταξη τύπου Β.^{[45],[113]}

Διάταξη τύπου Α

Η διάταξη αυτού του τύπου περιλαμβάνει οριζόντια ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια γείωσης εξωτερικά της κατασκευής που χρήζει προστασίας, συνδεδεμένα σε κάθε αγωγό καθόδου. Ο ελάχιστος συνολικός αριθμός ηλεκτροδίων γείωσης για τη διάταξη τύπου Α πρέπει να είναι δύο, ενώ το ελάχιστο μήκος ενός ηλεκτροδίου είναι:^[113]

- $L1$ για οριζόντια ηλεκτρόδια
- $0,5.L1$ για κατακόρυφα ή κεκλιμένα ηλεκτρόδια

Η τιμή του ελάχιστου μήκους $L1$ προκύπτει από το διάγραμμα της επόμενης εικόνας. Για τις κατηγορίες LPS III – IV το μήκος αυτό είναι ανεξάρτητο της ειδικής αντίστασης του εδάφους.



Εικόνα 4-26. Ελάχιστο μήκος $L1$ κάθε ηλεκτροδίου γείωσης διάταξης τύπου Α, σύμφωνα με την κατηγορία των LPS^[113]

Τα ελάχιστα μήκη που αναφέρονται στο διάγραμμα της προηγούμενης εικόνας είναι δυνατόν να αγνοηθούν, υπό την προϋπόθεση ότι επιτυγχάνεται μια αντίσταση γείωσης του μικρότερη από 10Ω .^[113]

Διάταξη τύπου Β

Η διάταξη αυτού του τύπου αποτελείται από ένα περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης τύπου δακτυλίου, εξωτερικά της κατασκευής, με τουλάχιστον το 80% του μήκους του σε επαφή με το έδαφος ή από ένα ηλεκτρόδιο θεμελιακής γείωσης. Για περιμετρική γείωση (ή θεμελιακή γείωση), η μέση ακτίνα r_e της περιοχής που περικλείεται από την περιμετρική γείωση ή από τη θεμελιακή γείωση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή $L1$ που ορίζεται στο διάγραμμα της προηγούμενης εικόνας. Εάν η απαίτηση αυτή δεν ικανοποιείται, πρέπει να εγκατασταθούν επιπρόσθετα οριζόντια ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια, με ανεξάρτητα μήκη τα οποία δίνονται από τις σχέσεις:^[113]

$$L_v = 0,5 \cdot (L1 - r_e) \quad 4-14$$

$$L_r = L1 - r_e \quad 4-15$$

Όπου:

L_v = μήκος κάθετου ηλεκτροδίου

L_r = μήκος οριζόντιου ηλεκτροδίου

r_e = μέση ακτίνα της περιοχής που περικλείεται από την περιμετρική γείωση ή από τη θεμελιακή γείωση

Το περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης τύπου δακτυλίου πρέπει, κατά προτίμηση, να ενταφιάζεται σε βάθος τουλάχιστον 0,5 m και σε απόσταση τουλάχιστον 1 m από τους εξωτερικούς τοίχους της κατασκευής.^[113]

4.7.2. Σύστημα εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας (internal Lightning Protection System)

Το σύστημα εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας έχει ως σκοπό να αποκλείει τη δημιουργία επικίνδυνου σπινθήρα μέσα στην κατασκευή που χρήζει προστασίας, λόγω της ροής του ρεύματος του κεραυνού που ρέει στο σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας.^[45] Ως μέσα προστασίας που συνιστούν το εσωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (internal LPS) θεωρούνται:^{[46],[27]}

α) οι ισοδυναμικές συνδέσεις

β) η τήρηση ελαχίστων αποστάσεων διαχωρισμού s

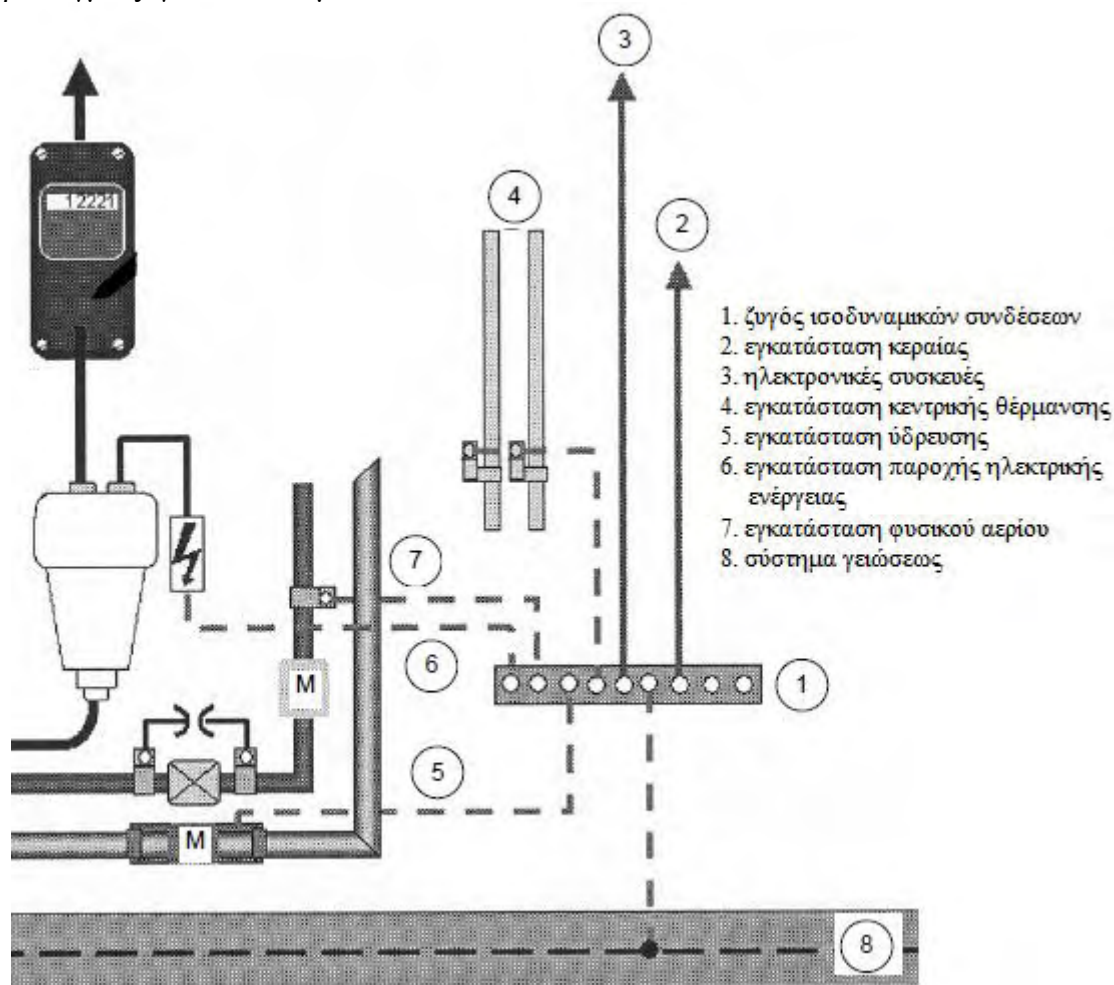
Γενικά, οι ισοδυναμικές συνδέσεις εξασφαλίζουν την εξίσωση του δυναμικού μεταξύ των σημείων ενός κυκλώματος ή μεταξύ διαφορετικών κυκλωμάτων. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται με:^[45]

- συνδετήριους αγωγούς, όπου η ηλεκτρική συνέχεια δεν εξασφαλίζεται με φυσικές συνδέσεις
- απαγωγούς (ή εκτροπείς) υπερτάσεων (SPDs), όπου δεν επιτρέπεται άμεση γεφύρωση

Όλες οι ισοδυναμικές συνδέσεις καταλήγουν σε έναν ζυγό ισοδυναμικών συνδέσεων (bonding bar) ή περισσότερους, εφόσον το κτίριο έχει εκτεταμένη επιφάνεια ή σε αυτό εισέρχονται παροχές από διαφορετικά σημεία. Οι ζυγοί αυτοί τοποθετούνται στο επίπεδο του εδάφους, ενώ καλό είναι να βρίσκονται εσωτερικά

της κατασκευής που χρήζει προστασίας και κοντά στο σύστημα γειώσεως, όπου και συνδέονται με αυτό. Στους ζυγούς αυτούς καταλήγουν τμήματα της εγκατάστασης που απαιτούν ισοδυναμική σύνδεση μέσω συνδετήριων αγωγών, τμήματα της εγκατάστασης που απαιτούν ισοδυναμική σύνδεση μέσω εκτροπών υπέρτασης, ο αγωγός προστασίας (PE) και η γείωση. Ειδικότερα, στους ζυγούς ισοδυναμικών συνδέσεων συνδέονται ο ενδοσυνδεδεμένος οπλισμός του σκυροδέματος της κατασκευής ή ο μεταλλικός σκελετός της, οι εσωτερικές μεταλλικές εγκαταστάσεις της όπως υδραυλική ή θέρμανσης καθώς και οι θωρακίσεις, ή οι μεταλλικοί σωλήνες όδευσης, των καλωδίων των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ισχυρών ή ασθενών ρευμάτων. Επιπλέον, στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών συνδέονται, μέσω συνδετήριων αγωγών είτε εκτροπών υπερτάσεων, όλες οι παροχές υπηρεσιών κοινής ωφέλειας (ηλεκτρισμού, τηλεπικοινωνιών, φυσικού αερίου, ύδρευσης). Σαν αποτέλεσμα, μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνων υπερτάσεων σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού σε μια κατασκευή.^{[45],[46]}

Σε κτίρια ψηλότερα από 30m, συνίσταται οι ισοδυναμικές συνδέσεις να επαναλαμβάνονται από το ύψος των 20m και για κάθε 20m πάνω από αυτό. Όλοι οι αγωγοί με τους οποίους πραγματοποιούνται οι ισοδυναμικές συνδέσεις θα πρέπει να αντέχουν στο ρεύμα του κεραυνού. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα ζυγού ισοδυναμικών συνδέσεων.^[27]



Εικόνα 4-27. Τυπικό παράδειγμα ζυγού ισοδυναμικών συνδέσεων^[27]

Η διαχωριστική απόσταση ασφαλείας s (απόσταση διαχωρισμού) μεταξύ των αγωγών του συστήματος εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας, μονωμένης ή μη,

και των γειτνιαζόντων αγωγίμων τμημάτων της κατασκευής (εσωτερικών και εξωτερικών) πρέπει να είναι μεγαλύτερη της απόστασης ασφαλείας d . Δηλαδή: ^{[45],[46],[113]}

$$s \geq d, \text{ όπου } d = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot L \quad 4-16$$

όπου:

k_i = εξαρτάται από την επιλεγθείσα κατηγορία του ΣΑΠ σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-7^[113]	
Τιμές συντελεστή k_i για το καθορισμό της απαιτούμενης διαχωριστικής απόστασης μεταξύ της εξωτερικής εγκατάστασης προστασίας και άλλων εγκαταστάσεων της κατασκευής	
<i>Κατηγορία ΣΑΠ</i>	<i>Συντελεστής k_i</i>
I	0,08
II	0,06
III,IV	0,04

k_c = συντελεστής κατανομής ρεύματος. Λαμβάνει τιμές σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην περιγραφή του συστήματος αγωγών καθόδου (εικόνα 4-22)

k_m = εξαρτάται από το διαχωριστικό μέσο που παρεμβάλλεται μεταξύ των εγκαταστάσεων που ελέγχεται η γειννιάσή τους, λαμβάνει τιμές 1 εάν πρόκειται για αέρα και 0,5 εάν πρόκειται για στερεό υλικό.

L = το μήκος του αγωγού καθόδου από το σημείο που ελέγχεται η γειννιάση μέχρι το πλησιέστερο σημείο ισοδυναμικής σύνδεσης. Στην περίπτωση που δομικά στοιχεία της κατασκευής, π.χ. ο ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός ή ο μεταλλικός σκελετός, χρησιμοποιούνται ως φυσικοί αγωγοί καθόδου ως μήκος L θεωρείται η απόσταση από το σημείο γειννιάσης μέχρι το σημείο σύνδεσης στο φυσικό αγωγό καθόδου. ^{[46],[113]}

Πέραν των ελάχιστων αποστάσεων διαχωρισμού, το σύστημα εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας είναι το ίδιο για όλες τις κατηγορίες LPS (I-IV). ^[27]

4.8. Προστασία ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εντός των κατασκευών έναντι των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων του ρεύματος των κεραυνών

Ο κεραυνός, σαν πηγή ζημιάς, είναι ένα φαινόμενο που περικλείει υψηλή ενέργεια. Οι ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις απελευθερώνουν ηλεκτρική ενέργεια πολλών εκατοντάδων μεγατζαουλ (MJ). Όταν η ενέργεια αυτή συγκρίνεται με τα μιλιτζάουλ (mJ) ενέργειας που είναι ικανά να προκαλέσουν καταστροφή στις ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές στο εσωτερικό των κατασκευών, προκύπτει ότι είναι αναγκαία η λήψη επιπρόσθετων μέτρων προστασίας για την προστασία των συσκευών αυτών. ^[28] Από την άλλη πλευρά, σήμερα, σχεδόν σε όλες τις οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται συστήματα πληροφορικής και βάσεις

δεδομένων. Μια βλάβη σε αυτά τα συστήματα πληροφορικής από μεταβατικές υπερτάσεις, μπορεί να οδηγήσει σε μακρά περίοδο μη διαθεσιμότητας του συστήματος το οποίο μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα. Η απώλεια λειτουργίας, η απώλεια υπηρεσίας, η απώλεια δεδομένων και παραγωγικότητας, στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν τεράστιες συνέπειες πολύ πιο σοβαρές, από τα έξοδα εγκατάστασης ενός συστήματος προστασίας από υπερτάσεις.^[117]

Το πρότυπο IEC 62305-4 που αφορά την προστασία του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού στο εσωτερικό κατασκευών έναντι των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων του ρεύματος του κεραυνού, ορίζει ως **κεραυνική ηλεκτρομαγνητική κρούση (Lightning ElectroMagnetic imPulse, LEMP)**, τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις που προκαλούνται από το ρεύμα του κεραυνού. Οι επιδράσεις αυτές περιλαμβάνουν τις αναπτυσσόμενες υπερτάσεις και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η έννοια του **ηλεκτρικού εξοπλισμού** σε μια κατασκευή περιλαμβάνει τις συσκευές εκείνες που εργάζονται με χαμηλή τάση, ενώ το ίδιο το πρότυπο ορίζει ως **ηλεκτρονικό εξοπλισμό** τα συστήματα εκείνα που διαθέτουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα ευαίσθητα σε υπερτάσεις και ηλεκτρομαγνητικά πεδία.^{[18],[28]}

Το πρότυπο IEC 62305-4 ορίζει ως **σύστημα προστασίας έναντι κεραυνικών ηλεκτρομαγνητικών κρούσεων (LEMP Protection Measures System, LPMS)**, το πλήρες σύστημα μέτρων για την προστασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών στο εσωτερικό μιας κατασκευής έναντι των κεραυνικών ηλεκτρομαγνητικών κρούσεων (LEMP).^[28] Η προστασία έναντι των LEMP ενός LPMS βασίζεται στην διαίρεση της υπό προστασίας κατασκευής σε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (LPZ). Σχετικά με τις ζώνες αντικεραυνικής προστασίας αναφερθήκαμε στην παράγραφο 4.5. Οι ζώνες αυτές είναι θεωρητικά όγκοι της κατασκευής (στην περίπτωση των ενσωματωμένων φ/β συστημάτων στα κτίρια οι κατασκευές αυτές είναι τα ίδια τα κτίρια) όπου οι επιδράσεις των LEMP στις εσωτερικές συσκευές που περικλείουν χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη σοβαρότητα. Οι διαδοχικές ζώνες χαρακτηρίζονται από σημαντικές αλλαγές στη σοβαρότητα των LEMP. Όσο μειώνεται η σοβαρότητα των επιδράσεων των LEMP και εξασφαλίζεται η ηλεκτρομαγνητική ατρωσία των συσκευών στο εσωτερικό της υπό προστασίας κατασκευής, αυξάνει το επίπεδο της LPZ (LPZ-1, LPZ-2,...LPZ-n). Όσο βαίνει κανείς στην εξωτερική περιοχή της κατασκευής, όπου υπάρχει κίνδυνος άμεσου πλήγματος, αυξάνονται οι απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής προστασίας και μειώνεται το επίπεδο της ζώνης προστασίας (LPZ-0).^{[18],[28],[46]}

Ως μέσα προστασίας που συνιστούν ένα σύστημα προστασίας έναντι κεραυνικών ηλεκτρομαγνητικών κρούσεων (LEMP) θεωρούνται:

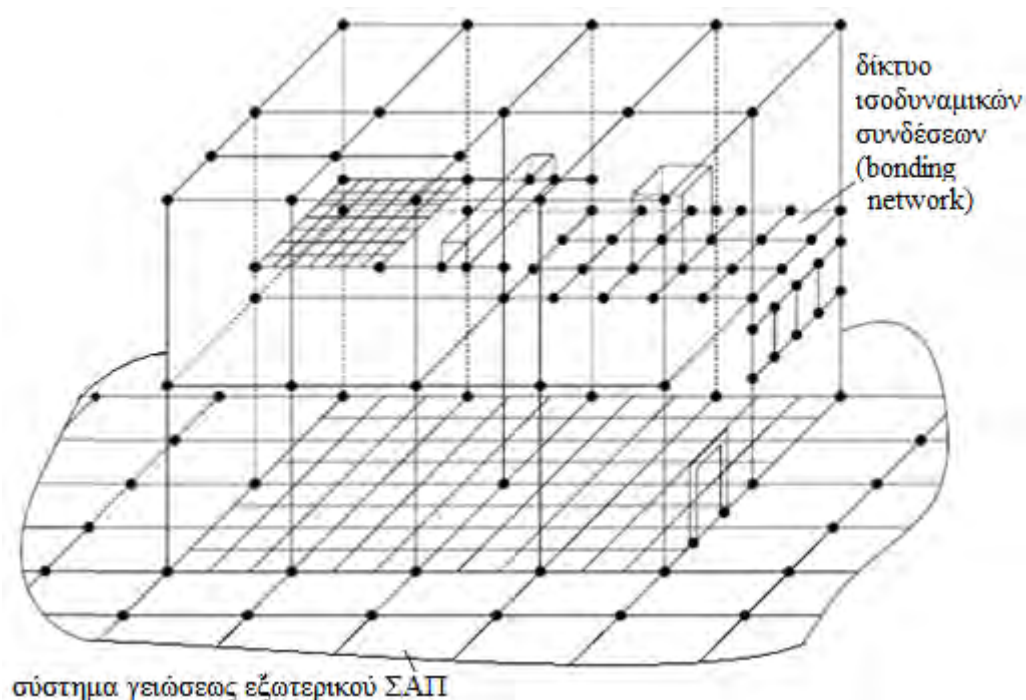
- Το πλήρες σύστημα γειώσεως
- Μαγνητική θωράκιση και δρομολόγηση γραμμών
- Απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων (SPDs)

Τα τρία αυτά μέσα προστασίας περιγράφονται στη συνέχεια.

α) Το πλήρες σύστημα γειώσεως

Ένα πλήρες σύστημα γειώσεως αποτελείται: α) από το σύστημα γειώσεως του εξωτερικού LPS και β) από το δίκτυο ισοδυναμικών συνδέσεων (Bonding Network, BN). Το σύστημα γειώσεως του εξωτερικού LPS διανέμει το ρεύμα του κεραυνού

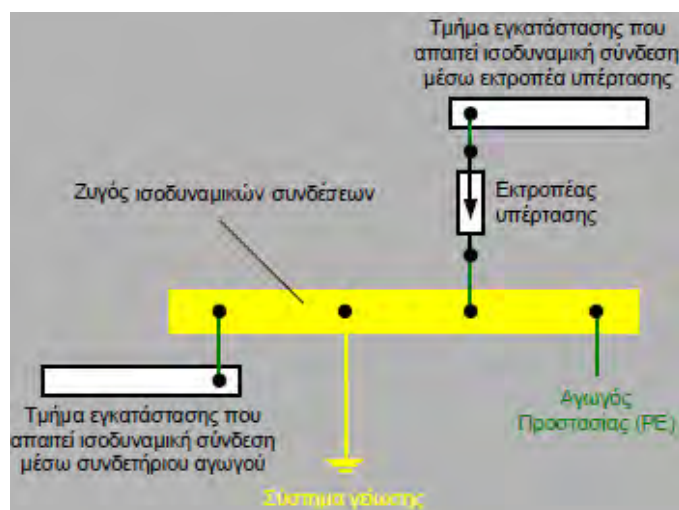
στην γη, ενώ το δίκτυο ισοδυναμικών συνδέσεων μειώνει τις διαφορές δυναμικού και το μαγνητικό πεδίο του χώρου μέσα σε μια LPZ.^[28]



Εικόνα 4-28. Πλήρες σύστημα γείωσης^[28]

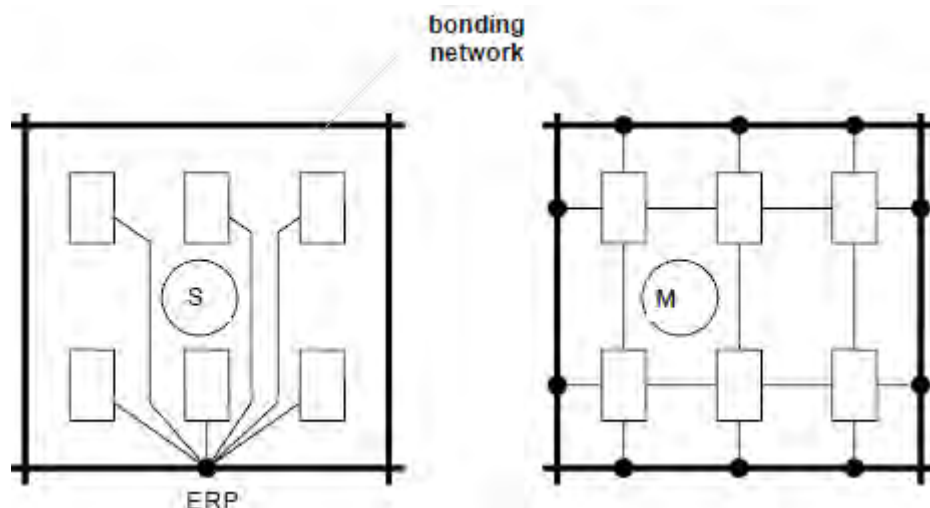
Κάθε μια ζώνη αντικεραυνικής προστασίας (LPZ) θα πρέπει να οριοθετείται από ένα δίκτυο ισοδυναμικών συνδέσεων. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από ένα πλέγμα αγωγών στο οποίο συνδέονται όλες οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που εσωτερικά της LPZ που χρήζουν προστασίας. Το δίκτυο ισοδυναμικών συνδέσεων συνδέεται υποχρεωτικά με το σύστημα γείωσης. Οι επιμέρους συνδέσεις των αγωγίμων τμημάτων με το BN πραγματοποιούνται μέσω κατάλληλων ζυγών ισοδυναμικών συνδέσεων (bonding bars).^{[28],[46],[18]}

Σε περίπτωση LPZ μεγάλων όπου οι διάφορες παροχές εισέρχονται από διαφορετικά σημεία, τότε για κάθε μια παροχή απαιτείται και ένας ζυγός ισοδυναμικών συνδέσεων. Οι ζυγοί αυτοί θα διασυνδέονται μεταξύ τους. Παράδειγμα ζυγού ισοδυναμικών συνδέσεων παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.^{[28],[46],[18]}



Εικόνα 4-29. Ζυγός ισοδυναμικών συνδέσεων^[46]

Υπάρχουν δυο βασικές διατάξεις για τη σύνδεση των υπό προστασία συσκευών: α) **ακτινική διάταξη (Star configuration, S)** και β) η **διάταξη πλέγματος (mesh configuration, M)**. Στην ακτινική διάταξη, όλα τα μεταλλικά στοιχεία εσωτερικά της υπό προστασίας κατασκευής μιας συγκεκριμένης LPZ συνδέονται ακτινικά, ανεξάρτητα μεταξύ τους, σε ένα κοινό σημείο. Στη διάταξη ισοδυναμικών συνδέσεων τύπου πλέγματος τα μεταλλικά στοιχεία εσωτερικά της υπό προστασίας κατασκευής μιας συγκεκριμένης LPZ συνδέονται μεταξύ τους μέσω ισοδυναμικών συνδέσεων. Και οι δυο αυτές διατάξεις ενσωματώνονται στο BN είτε σε ένα σημείο - στην περίπτωση ακτινικών συνδέσεων - είτε σε περισσότερα - στην περίπτωση συνδέσεων διάταξης πλέγματος. Και οι δυο αυτές περιπτώσεις παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.^{[28],[46]}



Εικόνα 4-30. Οι δύο τύποι διατάξεων ισοδυναμικών συνδέσεων ενσωματωμένων στο BN (Αριστερά: ακτινική διάταξη, Δεξιά: διάταξη πλέγματος)^[28]

Το κοινό σημείο της ακτινικής διάταξης σύνδεσης με το BN ονομάζεται **σημείο αναφοράς γείωσης (Earthing Reference Point, ERP)**. Το μοναδικό αυτό κοινό σημείο σύνδεσης εξασφαλίζει την αποφυγή βρόχων και ρευμάτων επιστροφής μέσω της κοινής γης. Η ακτινική διάταξη συνδέσεων εφαρμόζεται όταν οι παροχές σε μια LPZ εισέρχονται από ένα σημείο. Η διάταξη πλέγματος εφαρμόζεται όταν η είσοδος παροχών σε μια LPZ γίνεται από διαφορετικά σημεία.^{[46],[28]}

Το υλικό και η ελάχιστη διατομή των στοιχείων του δικτύου ισοδυναμικών συνδέσεων παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.

Στοιχείο δικτύου ισοδυναμικών συνδέσεων		Υλικό	Διατομή mm ²
Ζυγοί ισοδυναμικών συνδέσεων		Cu, Fe	50
Συνδετήριοι αγωγοί μεταξύ ζυγών ή ζυγών και συστήματος γείωσης		Cu	14
		Al	22
		Fe	50
Συνδετήριοι αγωγοί μεταξύ αγωγίων στοιχείων της εγκατάστασης και ζυγών		Cu	5
		Al	8
		Fe	16
Συνδετήριοι αγωγοί εκτροπών υπέρτασης	Class I	Cu	5
	Class II		3
	Class III		1

Εικόνα 4-31. Υλικό και ελάχιστη διατομή των στοιχείων δικτύου ισοδυναμικών συνδέσεων^[28]

β) Μαγνητική θωράκιση και δρομολόγηση γραμμών

Η μαγνητική θωράκιση έχει ως στόχο να μειώσει τόσο το μαγνητικό πεδίο μέσα σε μια LPZ μιας κατασκευής, το οποίο προέρχεται από πλήγματα κεραυνών είτε άμεσα στην κατασκευή είτε κοντά σε αυτή, όσο και τις εσωτερικές επαγόμενες υπερτάσεις. Έτσι, το μη εξασθενημένο μαγνητικό πεδίο του ρεύματος του κεραυνού περιορίζεται σε μια επαρκώς χαμηλότερη τιμή.^[18] Η χωρική θωράκιση καθορίζει τα όρια μιας LPZ και μπορεί να περικλείει ολόκληρη την κατασκευή, ένα τμήμα της, ένα συγκεκριμένο χώρο, η ακόμα και μια μεμονωμένη συσκευή. Η θωράκιση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω κατάλληλου πλέγματος ή ενός μεταλλικού περιβλήματος εντός του οποίου βρίσκεται η υπό προστασία συσκευή.^[28] Όσον αφορά τη θωράκιση καλωδίων, η περίπτωση αυτή αφορά την ελάχιστη διατομή που πρέπει να έχουν τα θωρακισμένα καλώδια, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης υπέρτασης μεταξύ της θωράκισης του καλωδίου και του ενεργού αγωγού του. Κατά τη χρήση θωρακισμένων καλωδίων με γείωση στα άκρα τους, το ρεύμα του κεραυνού ρέει μέσω της θωράκισης. Σαν συνέπεια, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης υπέρτασης μεταξύ της θωράκισης του καλωδίου και του ενεργού αγωγού του εφόσον κατά τον υπολογισμό της διατομής του καλωδίου δεν έχει ληφθεί η παράμετρος αυτή. Η ελάχιστη διατομή της θωράκισης που εξασφαλίζει την αυτοπροστασία ενός καλωδίου και δεν απαιτείται εγκατάσταση εκτροπέα υπέρτασης, προκύπτει από τη σχέση:^[46]

$$A_{min} = \frac{I_f \cdot \rho_c \cdot L_c \cdot 10^6}{U_c} \quad 4-17$$

Όπου:

A_{min} = ελάχιστη διατομή της θωράκισης σε mm²

ρ_c = ειδική αντίσταση της θωράκισης (Cu: $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, Al: $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)

I_f = ρεύμα κεραυνού που ρέει στη θωράκιση

U_c = κρουστική τάση αντοχής του καλωδίου ανάλογα με την ονομαστική τάση λειτουργίας του σύμφωνα με τον πίνακα 4-8

L_c = μήκος του καλωδίου σύμφωνα με τον πίνακα 4-9

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-8 ^[46]	
Κρουστική τάση U_c αντοχής του καλωδίου ανάλογα με την ονομαστική τάση λειτουργίας	
Ονομαστική τάση (KV)	Κρουστική τάση U_c
$\leq 0,05$	5
0,22	15
10	75
15	95
20	125

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-9 ^[46]	
Μήκος καλωδίου L_c ανάλογα με τη κατάσταση της θωράκισης σε σχέση με το έδαφος	
Κατάσταση θωράκισης	Μήκος καλωδίου L_c
Σε επαφή με το έδαφος ειδικής αντίστασης ρ	$\leq 8 \cdot \sqrt{\rho}$
Απομονωμένη από το έδαφος ή στον αέρα	= απόσταση μεταξύ της κατασκευής και του πλησιέστερου σημείου γείωσης της θωράκισης

Από την άλλη πλευρά, η κατάλληλη όδευση των ηλεκτρικών γραμμών στοχεύει στην αποφυγή βρόχων, περιορίζοντας σημαντικά τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού και τις εσωτερικές επαγόμενες υπερτάσεις. Η περιοχή βρόχου μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη δρομολόγηση των καλωδίων κοντά στα φυσικά στοιχεία της κατασκευής που είναι γειωμένα ή / και με τη δρομολόγηση ηλεκτρικών γραμμών μαζί με γραμμές σήματος.^{[28],[46],[18]}

γ) Απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων (SPDs)

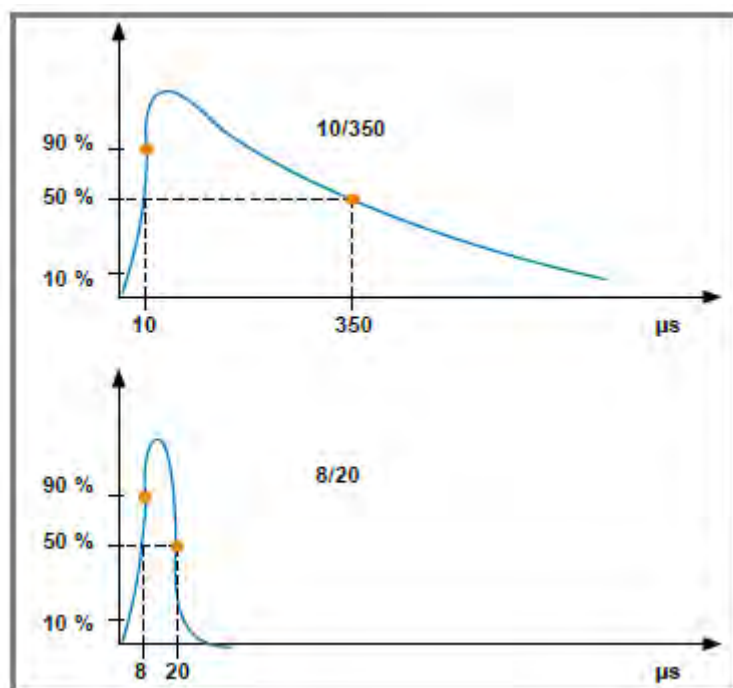
Από όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα, προκύπτει ότι όταν ένας κεραυνός πλήξει άμεσα ένα κτίριο το οποίο είναι εξοπλισμένο με σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας, το ρεύμα του κεραυνού οδεύει προς το έδαφος μέσω των αγωγών καθόδου. Παρόλα αυτά υπάρχει η δυνατότητα να εμφανιστεί μεταβατική υπέρταση στο κτίριο μέσω της γείωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Ο τύπος αυτός προκαλούμενων υπερτάσεων μπορεί να προκαλέσει ζημιά στην εσωτερική εγκατάσταση και τον εξοπλισμό της. Η εμφάνιση τέτοιων μεταβατικών υπερτάσεων μπορεί επίσης να προέρχονται και από έμμεσο πλήγμα κεραυνού κοντά στο κτίριο ή δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με το οποίο συνδέονται με το κτίριο. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ρεύμα εκκένωσης του κεραυνού σε μια τέτοια περίπτωση προκαλεί ωμικές και επαγωγικές ζεύξεις. Αποτέλεσμα των ζεύξεων αυτών είναι βλάβη ή στην εσωτερική εγκατάσταση ή τον εξοπλισμό. Οι **απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων** είναι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να περιορίζουν τις μεταβατικές υπερτάσεις και το ρεύμα σε απευθείας κεραυνικό πλήγμα. Οι συσκευές αυτές σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 61643-11, ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το επίπεδο προστασίας που παρέχουν.^{[117],[46],[48]}

- Απαγωγοί υπερτάσεων Κλάσης 1 (Class 1 SPD): Συνδυασμένος απαγωγέας υπερτάσεων και υπερεντάσεων. Οι δοκιμές κλάσης 1 στις οποίες υποβάλλονται οι συγκεκριμένοι απαγωγοί, διεξάγονται με κρουστικό ρεύμα κεραυνού με κυματομορφή ρεύματος 10/350 μs. Συνιστάται η εγκατάστασή τους σε σημεία υψηλού κινδύνου από άμεσο πλήγμα κεραυνού, όπως για παράδειγμα στα σημεία εισόδου των παροχών κοινής ωφέλειας σε κατασκευές που διαθέτουν ΣΑΠ (π.χ. στην είσοδο της παροχής χαμηλής τάσης, αποτρέποντας την καταστροφή του γενικού πίνακα διανομής χαμηλής τάσης). Βάσει του IEC 61643-11, η εγκατάσταση των SPD class 1 επιβάλλεται στις ζώνες LPZ 0A έως 1. Παρέχουν προστασία έναντι άμεσων κεραυνικών πληγμάτων.
- Απαγωγοί υπερτάσεων Κλάσης 2 (Class 2 SPD): Απαγωγείς υπερτάσεων για πίνακες και υποπίνακες διανομής, μόνιμες εγκαταστάσεις. Οι δοκιμές κλάσης 2 στις οποίες υποβάλλονται οι συγκεκριμένοι απαγωγοί, διεξάγονται και αυτές με κρουστικό ρεύμα κεραυνού με κυματομορφή ρεύματος 10/350 μs. Συνιστάται η εγκατάστασή τους σε σημεία μικρότερης απαίτησης προστασίας έναντι υπερτάσεων όπως για παράδειγμα στο γενικό πίνακα χαμηλής τάσης του καταναλωτή. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία ευαίσθητων ηλεκτρονικών συσκευών από μεταβατικές υπερτάσεις που προκαλούνται από έμμεσα κεραυνικά πλήγματα Τοποθετούνται σε υποπίνακες διανομής, όσο το δυνατόν πιο κοντά στις συσκευές που προορίζονται να προστατέψουν. Βάσει

του IEC 61643-11, η εγκατάσταση των SPD class 2 επιβάλλεται στις ζώνες LPZ 1 έως 2. Παρέχουν προστασία έναντι έμμεσων κεραυνικών πληγμάτων.

- Απαγωγοί υπερτάσεων Κλάσης 3 (Class 3 SPD): Οι απαγωγοί κλάσης 3 υποβάλλονται σε δοκιμές συνδυασμένων κυματομορφών ρεύματος 1,2/50 και 8/20. Οι συγκεκριμένες μονάδες χρησιμοποιούνται για την προστασία εξαιρετικά ευαίσθητων συσκευών έναντι διακοπτικών υπερτάσεων σε περιπτώσεις μειωμένης απαίτησης προστασίας (έναντι υπερτάσεων).^{[117],[46]}

Τυπικές κυματομορφές κρουστικού ρεύματος κεραυνού 10/350 και 8/20 μs για τις δοκιμές των SPDs παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα. Το πρώτο ψηφίο προσδιορίζει τον ανερχόμενο χρόνο της κρούσης ρεύματος έως το 90% της μέγιστης τιμής του, ενώ το δεύτερο ψηφίο δίνει τον χρόνο όπου η μέγιστη τιμή του ρεύματος πέφτει στο μισό της (σε μικροδευτερόλεπτα, μs).^[117]



Εικόνα 4-32. Τυπικές κυματομορφές κρουστικών ρευμάτων 10/350 και 8/20 μs για τις δοκιμές των SPDs^[117]

Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες εκτροπέων υπέρτασης (χαμηλής τάσης). Η παρεχόμενη προστασία τους προδιαγράφεται από αντίστοιχους διεθνείς κανονισμούς IEC. Οι κατηγορίες αυτές είναι:^{[46],[117],[18]}

- Σπινθηριστές αερίων, *Gas Discharge Tubes (GDT)*
- Δίοδοι περιορισμού υπέρτασης, *Avalanche Breakdown Diodes (ABD)*
- Θυρίστορ περιορισμού υπέρτασης, *Thyristor Surge Suppressors (TSS)*
- Βαρίστορ μεταλλικών οξειδίων, *Metal Oxide Varistors (MOV)*

Το πρότυπο IEC 60664-1 χωρίζει τις συσκευές σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα το επίπεδο κρουστικής τάσης U_w που αυτή αντέχει. Μια συσκευή προστατεύεται, όταν το επίπεδο κρουστικής τάσης της είναι μεγαλύτερο από αναπτυσσόμενη υπέρταση μεταξύ των αγωγών τροφοδοσίας της και της γης. Η διάκριση των

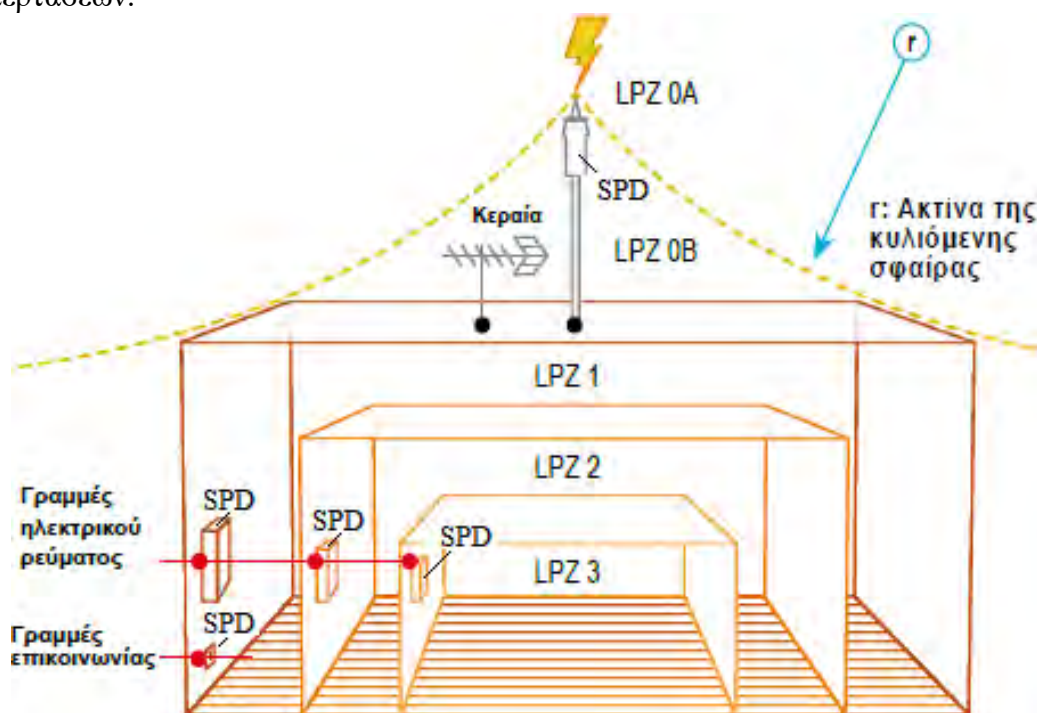
συσκευών στις τέσσερις κατηγορίες (για συσκευές τάσης 230/400V) και το επίπεδο κρουστικής τάσης U_w παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.^{[117],[29]}

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-10 ^[29]	
Κατηγορίες συσκευών (τάσης 230/400V) βάση IEC 60664-1 και επίπεδο κρουστικής τάσης τους	
Κατηγορία συσκευής	Επίπεδο κρουστικής τάσης U_w (V)
I	1500
II	2500
III	4000
IV	6000

Αν η τιμή της αναμενόμενης αναπτυσσόμενης υπέρτασης είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο κρουστικής τάσης U_w της συσκευής, τότε απαιτείται η εγκατάσταση απαγωγού για την προστασία της. Ο απαγωγός προστατεύει τη συσκευή όταν το επίπεδο προστασίας του (U_p) είναι μικρότερο ή ίσο από την αντοχή σε κρουστική τάση της συσκευής. Δηλαδή ο απαγωγός προστατεύει την συσκευή όταν:^{[117],[29]}

$$U_p \leq U_w \quad 4-18$$

Για να διασφαλιστεί ότι μια LPZ παρέχει επαρκή προστασία στον εσωτερικό εξοπλισμό της, θα πρέπει στα όρια της περιοχής προστασίας της να τοποθετούνται SPD. Με άλλα λόγια, κάθε φορά που τοποθετείται ένας εκτροπέας υπέρτασης δημιουργείται μια καινούρια ζώνη προστασίας. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται μια υπό προστασία κατασκευή διαιρεμένη σε πέντε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (LPZ-0_A, LPZ-0_B, LPZ-1, LPZ-2, LPZ-3) όπου στα όρια τους, στα σημεία που εισέρχεται μια παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εγκαθίσταται εκτροπέας υπερτάσεων.^{[18],[117]}



Εικόνα 4-33. Οριοθέτηση LPZ με χρήση SPDs^[117]

Συντονισμός της παρεχόμενης προστασίας μεταξύ των εκτροπών υπέρτασης απαιτείται είτε όταν μία διάταξη προστασίας έναντι υπερτάσεων συνδυάζει πολλούς διαφορετικούς εκτροπείς υπέρτασης είτε στην περίπτωση σύνδεσης πολλών εκτροπών υπέρτασης σε διαφορετικά σημεία μίας εγκατάστασης.^[46]

Όσον αφορά τους απαγωγείς υπερτάσεων για φ/β συστήματα, είναι κατασκευασμένοι από βαρίστορ οξειδίου μετάλλου (MOV) οι οποίοι λόγω του πολύ μικρού χρόνου απόκρισης, προσφέρουν ολοκληρωμένη προστασία τόσο στους inverter και όσο και στα φ/β πάνελ. Οι SPD MOV δεν απαιτούν εξωτερική προστασία, αφού διαθέτουν ικανότητα θερμικής απόξυζιξης σε βραχυκύκλωμα.^[117]

4.9. Προστασία φωτοβολταϊκών συστημάτων ενσωματωμένων στα κτίρια έναντι κεραυνικών ηλεκτρομαγνητικών κρούσεων

Για τη διατήρηση της μεγάλης διάρκειας ζωής τόσο των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, όσο και του λοιπού ηλεκτρονικού εξοπλισμού μιας φ/β εγκατάστασης που εγγυούνται οι κατασκευαστές τους, απαιτείται μια αποτελεσματική προστασία από τους κεραυνούς και προκαλούμενες υπερτάσεις τους.^[98] Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενσωμάτωση ενός φ/β συστήματος σε ένα κτίριο απαιτεί την κάλυψη μεγάλου μέρους της επιφάνειάς του με φ/β πλαίσια διαφόρων τεχνολογιών, συνεπάγεται ότι αυτά αντιμετωπίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο να πληγούν από κεραυνούς κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Και επειδή η διακοπή της λειτουργίας ενός φ/β συστήματος ενσωματωμένου σε κτίριο έχει ποικίλες αρνητικές συνέπειες (υψηλό κόστος επισκευής-αντικατάστασης των στοιχείων του, διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο κτίριο, απώλεια εσόδων από τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας, καταστροφή ηλεκτρονικού εξοπλισμού) κρίνεται αναγκαία η σχεδίαση ενός αποτελεσματικού συστήματος κατά των κεραυνικών πληγμάτων και των ηλεκτρομαγνητικών τους κρούσεων.^{[98],[18]}

Η προστασία των ενσωματωμένων φ/β συστημάτων στα κτίρια από κεραυνούς και τις επαγόμενες υπερτάσεις είναι ένα θέμα που δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς. Στο παρελθόν, μόνο μια πρωταρχική αντικεραυνική προστασία θεωρούνταν επαρκής, αποτελούμενη από κατακόρυφες γειωμένες ράβδους ή εναέρια καλώδια. Μόλις το 1990 οι ερευνητές εστίασαν στη σημαία της επαγόμενης υπέρτασης που συνδέεται με τα μαγνητικά πεδία των κεραυνών και μπορεί να θέσει σε κίνδυνο ολόκληρη την φ/β εγκατάσταση.^[18]

Αρχικά, κατά την ενσωμάτωση ενός φ/β συστήματος σε ένα κτίριο θα πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός τους ανάμεσα στα κτίρια που διαθέτουν ή όχι σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Το πρότυπο CLC/TS 50539-12:2010 (*Low-voltage surge protective devices. Surge protective devices for specific application including d.c. Selection and application principles - SPDs connected to photovoltaic installations*) ορίζει τρεις κατηγορίες ενσωμάτωσης φ/β συστημάτων για την προστασία τους από υπερτάσεις. Οι κατηγορίες αυτές είναι:^{[98],[48]}

- *Κατηγορία A1: Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια με ΣΑΠ και τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων διαχωρισμού*
- *Κατηγορία A2: Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια με ΣΑΠ και μη τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων διαχωρισμού*
- *Κατηγορία B: Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια χωρίς ΣΑΠ*

Γενικά, οι εθνικοί κανονισμοί για λόγους ασφαλείας απαιτούν αντικεραυνική προστασία για δημόσια κτίρια όπως π.χ. σχολεία, νοσοκομεία, κτλ. Τέτοιου είδους κτίρια και κατασκευές που χρειάζονται προστασία, πρέπει να εφοδιαστούν με ένα αποτελεσματικό και μόνιμο ΣΑΠ.^[98]

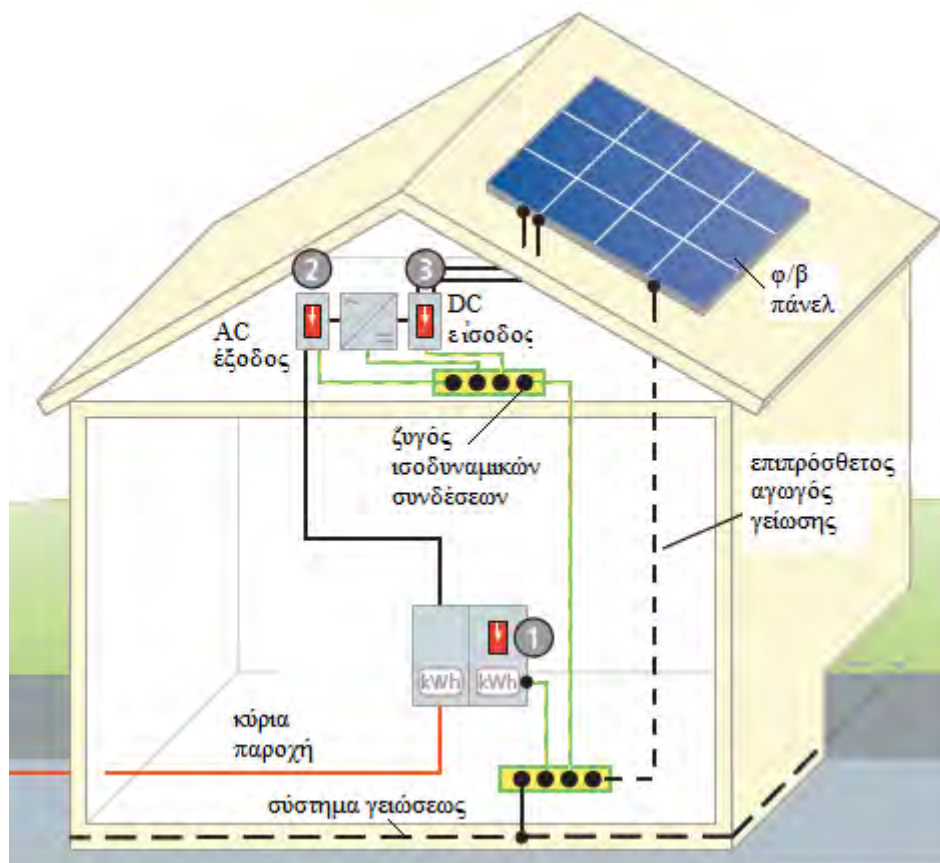
Πολλές φορές στην περίπτωση ιδιωτικών κτιρίων παραλείπεται ή αποφεύγεται η εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Αυτό μπορεί να συμβαίνει τις περισσότερες φορές για οικονομικούς λόγους, αλλά μπορεί να οφείλεται και στην άγνοια ως προς το θέμα της αντικεραυνικής προστασίας. Εάν σε ένα κτίριο χωρίς σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας πρόκειται να γίνει ενσωμάτωση φ/β στοιχείων, δημιουργείται το ερώτημα, αν με την ενσωμάτωση αυτή των φωτοβολταϊκών, το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας θα πρέπει να σχεδιαστεί για ολόκληρη την κατασκευή. Σύμφωνα με τις πρόσφατες επιστημονικές απόψεις, η ενσωμάτωση φ/β πλαισίων σε ένα κτίριο δεν αυξάνει τον κίνδυνο κεραυνικού πλήγματος. Συνεπώς η απαίτηση για αντικεραυνική προστασία δεν μπορεί να είναι αποτέλεσμα μόνο της ύπαρξης του φ/β συστήματος. Παρόλα αυτά, σε περίπτωση κεραυνικού πλήγματος μπορεί να υπάρξει αυξημένος κίνδυνος για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο εσωτερικό του κτιρίου στην. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εξ' αιτίας της καλωδίωσης των γραμμών του φ/β συστήματος μέσα στο κτίριο, ισχυρά επαγόμενες και εκπεμπόμενες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές μπορεί να προκληθούν σαν αποτέλεσμα των ρευμάτων του κεραυνού. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί ο κίνδυνος από τα κεραυνικά πλήγματα και τα αποτελέσματα να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό.^[98]

Ένας κεραυνός επηρεάζει ένα ενσωματωμένο φ/β σύστημα προκαλώντας βλάβη όχι μόνο στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό του εξοπλισμό (τύπος καταστροφής D3) αλλά και φυσικές καταστροφές στα στοιχεία του εκείνα που είναι εκτεθειμένα στο άμεσο πλήγμα του (τύπος καταστροφής D2) και αποτελούν μέρος ή όχι του κτιρίου. Οι παραπάνω καταστροφές μπορούν να προκαλέσουν τους εξής τύπους απωλειών: α) απώλεια υπηρεσιών προς το κοινό (τύπος απώλειας κατά IEC 62305-2: L2), β) απώλεια της πολιτιστικής κληρονομιάς (τύπος απώλειας κατά IEC 62305-2: L3), γ) οικονομικές απώλειες (τύπος απώλειας κατά IEC 62305-2: L4). Όσον αφορά την προέλευση, οι ζημιές που οφείλονται στους κεραυνούς μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:^[18]

- S1: ηλ. εκκένωση απευθείας σε μια φ/β εγκατάσταση
- S2: ηλ. εκκένωση κοντά σε μια φ/β εγκατάσταση
- S3: ηλ. εκκένωση απευθείας σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μια γραμμή διανομής) συνδεδεμένη με μια φ/β εγκατάσταση
- S4: ηλ. εκκένωση κοντά σε μια υπηρεσία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μια γραμμή διανομής) συνδεδεμένη με μια φ/β εγκατάσταση

4.9.1. Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια χωρίς ΣΑΠ (Κατηγορία Β)

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η προστασία έναντι υπερτάσεων για κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο δεν έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ.



Εικόνα 4-34. Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο δεν έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ^[98]

Πιθανές αιτίες υπερτάσεων είναι:^[48]

- Υπερτάσεις από το κύριο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαγόμενες υπερτάσεις από κεραυνικά πλήγματα σε κοντινή απόσταση

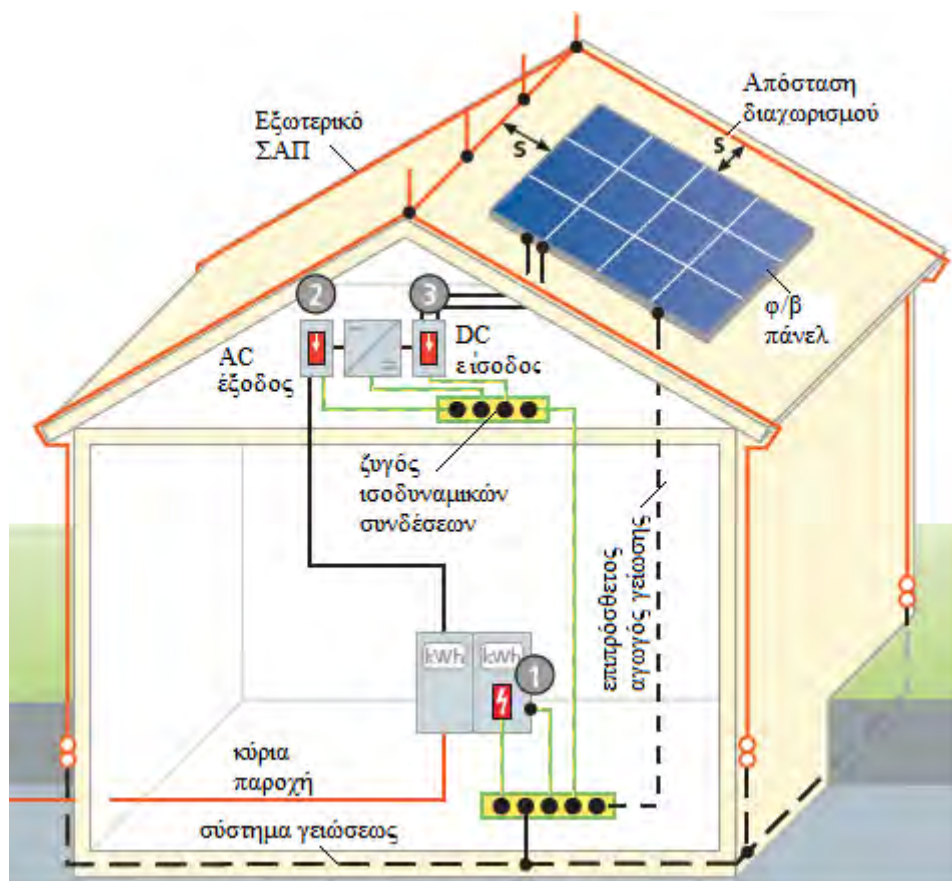
Πιθανά σημεία τοποθέτησης των συσκευών προστασίας (SPD) είναι:^[98]

- Μετρητής κύριας παροχής ρεύματος (θέση 1)
- Η AC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 2)
- Η DC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 3)

Απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων πρέπει να εγκατασταθούν στην κύρια τροφοδοσία χαμηλής τάσης. Εάν η απόσταση ανάμεσα στον αντιστροφέα και το σημείο εγκατάστασης του απαγωγέα παροχής χαμηλής τάσης είναι μικρότερη από 5m η AC έξοδος του αντιστροφέα προστατεύεται επαρκώς. Στην περίπτωση που το μήκος αυτό είναι μεγαλύτερο από 5m, για την προστασία της AC πλευράς του αντιστροφέα απαιτούνται επιπλέον απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας 2. Στη DC πλευρά του αντιστροφέα κάθε ένας από τους εισερχόμενους αγωγούς πρέπει να προστατευτεί προς γη με έναν απαγωγέα κατηγορίας 2. Η εγκατάσταση αυτή παρέχει ασφαλή προστασία έναντι υπερτάσεων για φ/β συστήματα με τάση μέχρι και 1000V DC. Για την αποτελεσματικότερη γείωση των φ/β πλαισίων χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό (επιπρόσθετο) ηλεκτρόδιο που συνδέει τα φ/β πλαίσια με το σύστημα κύριας γείωσης της εγκατάστασης.^[98]

4.9.2. Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια με ΣΑΠ και τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων διαχωρισμού (Κατηγορία Α1)

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την προστασία έναντι υπερτάσεων για κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ και τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού s μεταξύ του εξωτερικού ΣΑΠ και των αγωγίμων τμημάτων της φ/β εγκατάστασης (φ/β πλαίσια, βάσεις στήριξης κ.α.).



Εικόνα 4-35. Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ και τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού s ^[98]

Για την προστασία των φ/β πλαισίων καθώς και των φ/β συστοιχιών από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα είναι απαραίτητο αυτά να βρίσκονται μέσα στη ζώνη προστασίας του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως του εξωτερικού ΣΑΠ. Το σύστημα τερματισμού-συλλήψεως μπορεί να αποτελείται από συνδυασμό ράβδων, πλεγμάτων ή και οριζόντιων αγωγών, ενώ η χωροθέτησή του γίνεται βάση όσων αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.7.1. χρησιμοποιώντας τις μεθόδους της κυλιόμενης σφαίρας, των βρόχων και της γωνίας προστασίας α . Το σύστημα τερματισμού-συλλήψεως θα πρέπει να εγκαθίσταται έτσι ώστε να μην προκαλεί μεγάλη σκίαση στα φ/β πλαίσια, μιας και αυτό θα οδηγούσε σε απώλεια παραγόμενης ενέργειας. Ανάμεσα στα μεταλλικά του φ/β συστήματος και τους αγωγούς του συστήματος τερματισμού-συλλήψεως θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι θα διατηρηθούν οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού, σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 62305-3. Πέραν της τήρησης των ελαχίστων αποστάσεων διαχωρισμού μεταξύ του εξωτερικού ΣΑΠ και των μεταλλικών μερών του φ/β συστήματος, η αποστάσεις διαχωρισμού θα πρέπει να τηρούνται και για τα λοιπά μέρη της κατασκευής, όπως υδρορροές, φεγγίτες, κεραίες

κ.α. Στις περιπτώσεις που η απόσταση διαχωρισμού δεν μπορεί να τηρηθεί εξαιτίας των συνθηκών της εγκατάστασης, τότε μόνο θα πραγματοποιείται μια άμεση αγωγίμη σύνδεση μεταξύ του εξωτερικού ΣΑΠ και του εκάστοτε μεταλλικού στοιχείου.^[98]

Πιθανές αιτίες υπερτάσεων στα συστήματα αυτά είναι:^[48]

- Υπερτάσεις από το κύριο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- Υπερτάσεις από άμεσα κεραυνικά πλήγματα
- Επαγόμενες υπερτάσεις από κεραυνικά πλήγματα σε κοντινή απόσταση

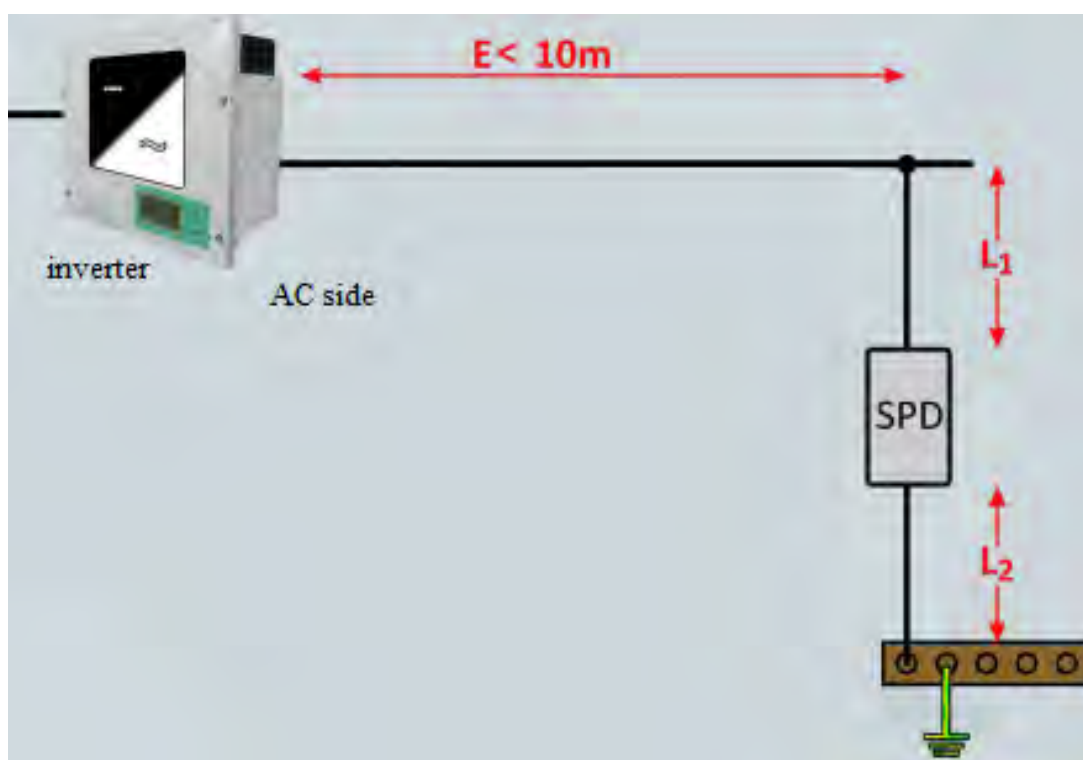
Πιθανά σημεία τοποθέτησης των συσκευών προστασίας (SPD) είναι:^[98]

- Μετρητής κύριας παροχής ρεύματος (θέση 1)
- Η DC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 3)
- Η AC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 2)

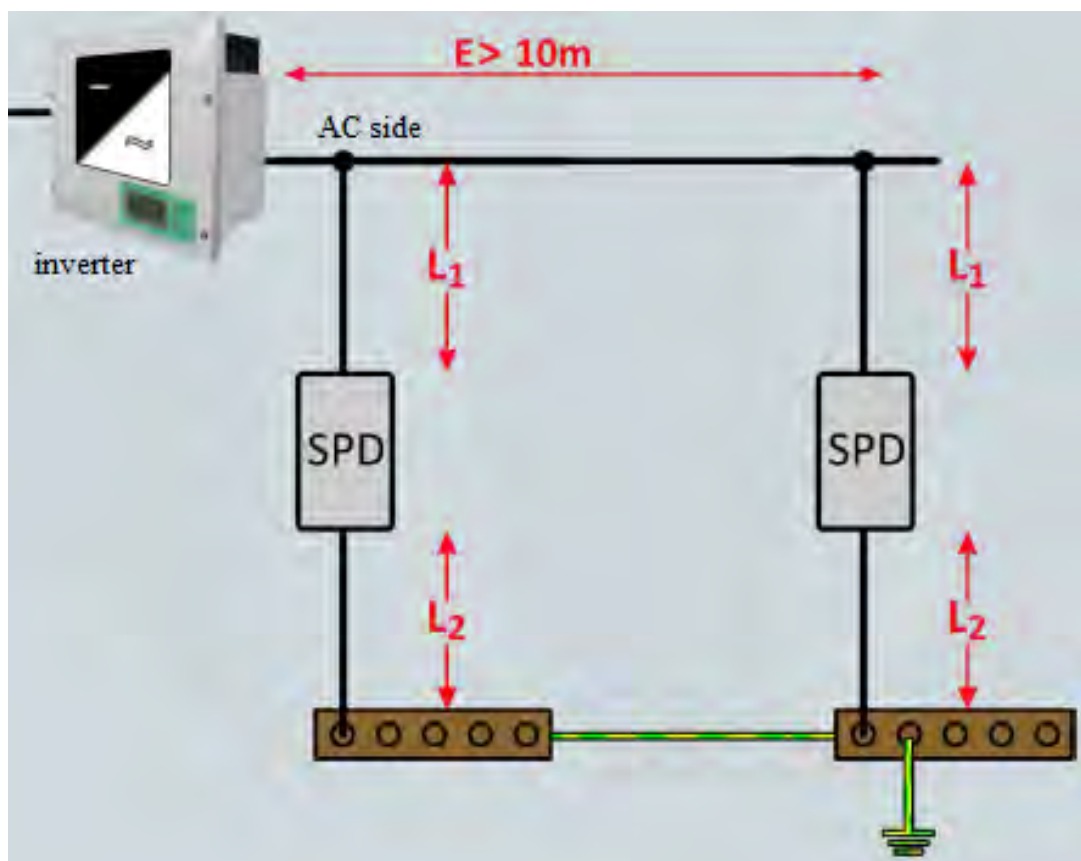
Αναλυτικότερα:

Προστασία της AC πλευράς του αντιστροφέα

Η εγκατάσταση απαγωγών υπερτάσεων στην AC μεριά του αντιστροφέα πρέπει να είναι κατηγορίας 2 (class 2 SPD). Η καλωδιακή απόσταση E μεταξύ του αντιστροφέα και του απαγωγού που τον προστατεύει θα πρέπει να είναι μικρότερη από 10m. Σε περίπτωση που η απόσταση αυτή είναι μεγαλύτερη από 10m τότε εγκαθιστάτε ακόμα ένας επιπρόσθετος απαγωγός στην αρχή του inverter. Και οι δυο αυτές περιπτώσεις παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες.^{[48],[20]}



Εικόνα 4-36. Προστασία της AC πλευράς του αντιστροφέα για καλωδιακή απόσταση $E < 10m$ ^[20]



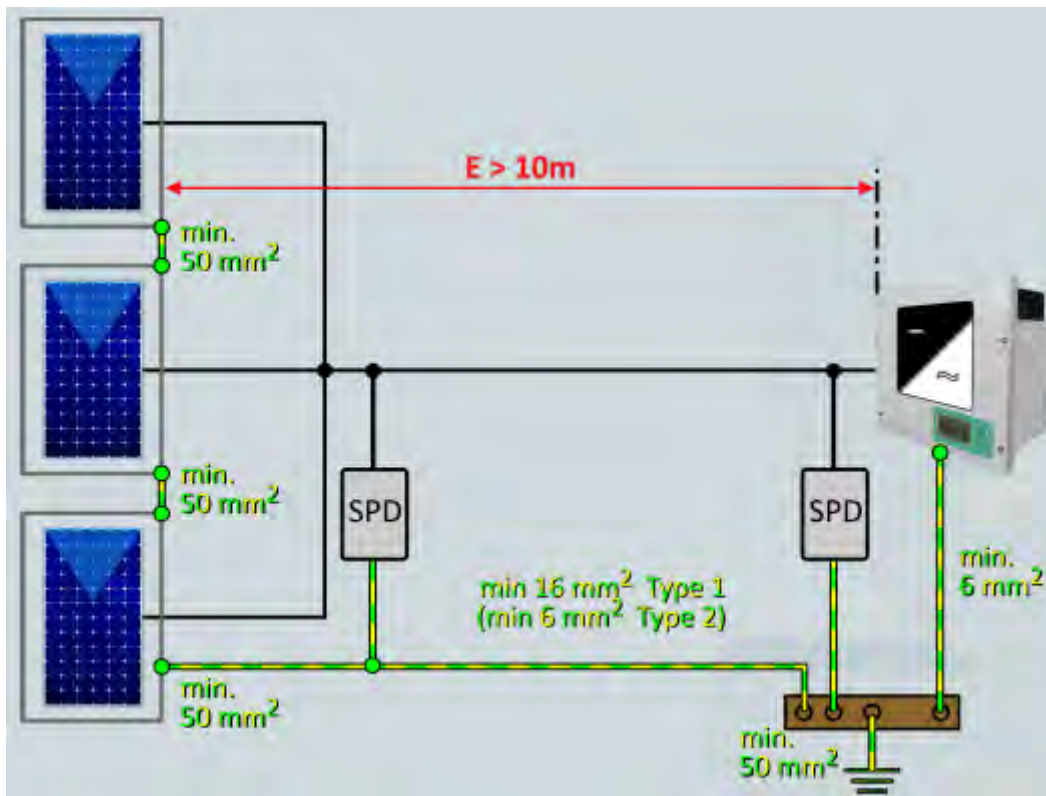
Εικόνα 4-37. Προστασία της AC πλευράς του αντιστροφέα για καλωδιακή απόσταση $E > 10\text{m}$ ^[20]

Και στις δυο περιπτώσεις, το καλωδιακό μήκος $L1+L2$ δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 50cm.^{[48],[20]}

Το επίπεδο προστασίας U_p των απαγωγών αυτών θα πρέπει να είναι $\leq 2500\text{V}$ (για σύστημα 230/400V). Το ελάχιστο κρουστικό ρεύμα εκφόρτισης (minimum impulse current, I_{imp}) αυτών των απαγωγών περιγράφεται στον πίνακα A.1 του προτύπου CLC/TS 50539-12:2010 και σχετίζεται με τη απαιτούμενη στάθμη προστασίας (I – IV) και του συστήματος γείωσης της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.^{[48],[20]}

Προστασία της DC πλευράς του αντιστροφέα

Η επιλογή των απαγωγών και στη DC μεριά του αντιστροφέα θα πρέπει να είναι κατηγορίας 2 (class 2 SPD). Η σχηματική συνδεσμολογία τους παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα. Όπως φαίνεται και από την εικόνα αυτή, αν η καλωδιακή απόσταση E , από τα φ/β πλαίσια μέχρι το inverter, είναι μεγαλύτερη από 10m, προτείνεται η εγκατάσταση επιπρόσθετου σετ απαγωγών. Στην ίδια εικόνα φαίνονται και οι ελάχιστες διατομές των αγωγών για τη γείωση των επιμέρους στοιχείων.^{[48],[20]}



Εικόνα 4-38. Προστασία της DC πλευράς του αντιστροφέα για καλωδιακή απόσταση $E > 10m$ ^[20]

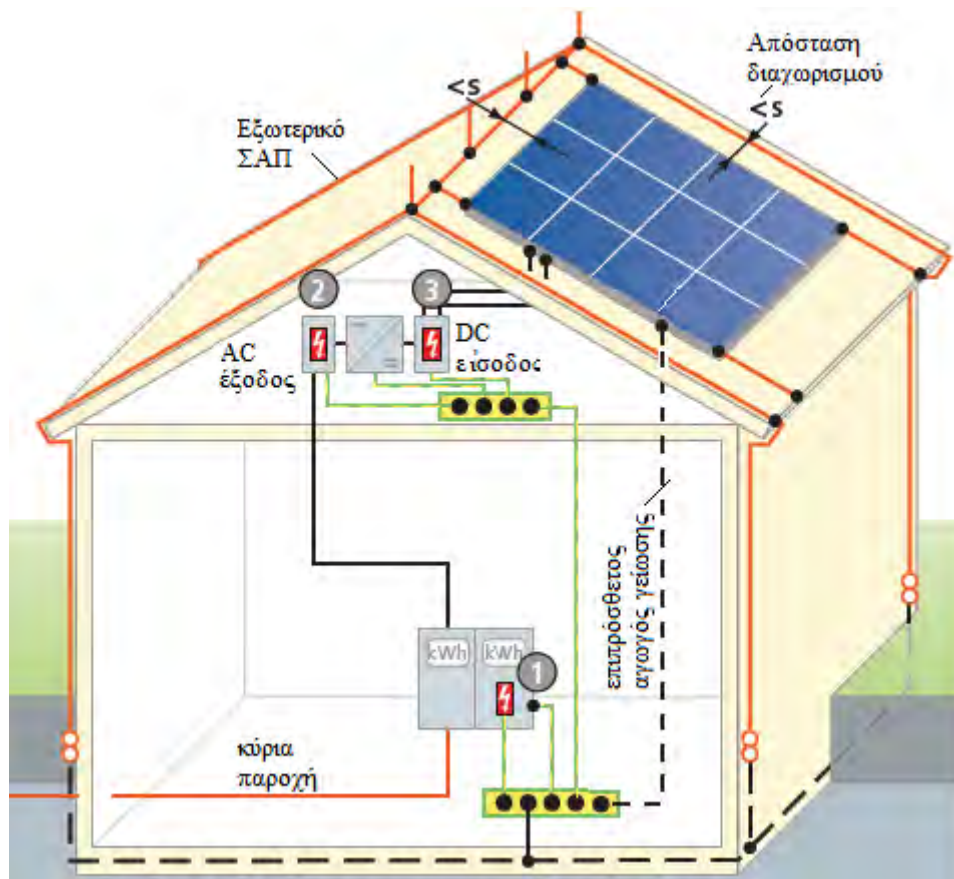
Παράλληλα με την μείωση των υπερτάσεων με τη χρήση SPDs, για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, προτείνεται η χρήση θωρακισμένων καλωδίων για την κύρια DC γραμμή. Η διάμετρος της θωράκισης των καλωδίων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $16mm^2$ Cu, προκειμένου να αντέχουν στο ρεύμα του κεραυνού.

Ένα επίσης βασικό στοιχείο του ΣΑΠ είναι και οι ισοδυναμικές συνδέσεις για όλα τα αγωγίμα συστήματα που εισέρχονται στο κτίριο από έξω. Όπως αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο, οι απαιτήσεις των ισοδυναμικών συνδέσεων καλύπτονται με άμεση σύνδεση όλων των μεταλλικών συστημάτων και έμμεση μέσω εκτροπέων υπέρτασης όλων των ενεργών συστημάτων στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να πραγματοποιούνται όσο το δυνατό στην είσοδο της κατασκευής, έτσι ώστε να εμποδίζεται η εισχώρηση του ρεύματος του κεραυνού στο εσωτερικό του κτιρίου. ^[98]

Για την αποτελεσματικότερη γείωση των φ/β πλαισίων χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό (επιπρόσθετο) ηλεκτρόδιο που συνδέει τα φ/β πλαίσια με το σύστημα γειώσεως του εξωτερικού ΣΑΠ. ^{[98],[48]}

4.9.3. Ενσωματωμένα φ/β συστήματα σε κτίρια με ΣΑΠ και μη τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων διαχωρισμού (Κατηγορία A2)

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την προστασία έναντι υπερτάσεων για κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ αλλά δεν τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ του εξωτερικού ΣΑΠ και των αγωγίμων τμημάτων της φ/β εγκατάστασης (φ/β πλαίσια, βάσεις στήριξης κ.α.).

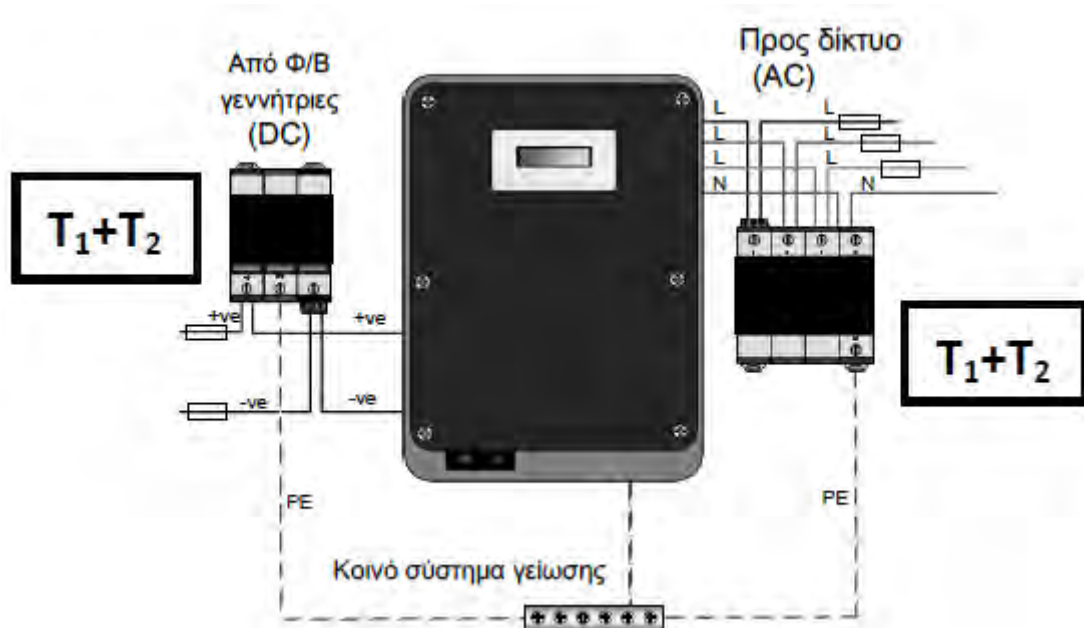


Εικόνα 4-39. Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με ενσωματωμένο φ/β σύστημα, στο οποίο έχει εγκατασταθεί ΣΑΠ αλλά δεν τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού s ^[98]

Πιθανά σημεία τοποθέτησης των συσκευών προστασίας (SPD) είναι:^[98]

- Μετρητής κύριας παροχής ρεύματος (θέση 1)
- Η DC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 3)
- Η AC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 2)

Σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί τήρηση των ελαχίστων αποστάσεων διαχωρισμού κατά την ενσωμάτωση ενός φ/β συστήματος σε ένα κτίριο, τότε πρέπει να πραγματοποιηθούν αγωγίμες συνδέσεις ανάμεσα στο εξωτερικό ΣΑΠ και στα μεταλλικά στοιχεία του φ/β. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις των ρευμάτων που μεταφέρονται μέσα στο κτίριο ή την κατασκευή διά μέσου των DC αγωγών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να διασφαλιστεί η εξίσωση δυναμικού μέσω ισοδυναμικών συνδέσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι DC αγωγοί που μεταφέρουν το ρεύμα του κεραυνού θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο σύστημα εξίσωσης δυναμικών. Σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 62305-3 (EN 62305-3) απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων κατηγορίας 1+2 (συνδυασμένοι απαγωγείς υπερτάσεων και κεραυνικών ρευμάτων) πρέπει να συνδεθούν στους DC αγωγούς. Απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων κατηγορίας 1+2 θα πρέπει να συνδεθούν και στην AC πλευρά του αντιστροφέα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η σύνδεση απαγωγέων υπερτάσεων κατηγορίας 1+2 στην DC και AC πλευρά του αντιστροφέα.^{[98],[48]}



Εικόνα 4-40. Εγκατάσταση απαγωγών T1+T2 στη μεριά του AC & DC^[48]

Και στην περίπτωση της κατηγορίας A2, για την αποτελεσματικότερη γείωση των φ/β πλαισίων χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό (επιπρόσθετο) ηλεκτρόδιο που συνδέει τα φ/β πλαίσια με το σύστημα γείωσης του εξωτερικού ΣΑΠ.^{[98],[48]}

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ: ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΕΞΟΧΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΤΡΑ

5.1. Εισαγωγή

Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στην πρόσοψη και στην επικλινή στέγη των κτιρίων συνοδεύεται με ορισμένα ζητήματα που αφορούν τόσο την αποδοτικότητά τους, όσο και την προσλαμβάνουσα ηλιακή ακτινοβολία και ανύψωση της θερμοκρασίας τους. Σε σχέση με την προσλαμβάνουσα ηλιακή ακτινοβολία, η εγκατάσταση στην πρόσοψη παρουσιάζει μεταβολή τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τις διαφορετικές εποχές. Στις εγκαταστάσεις αυτές δεν αξιολογείται όμως η υψηλή τιμή της ηλιοφάνειας κατά τη θερινή περίοδο λόγω του μεγάλου ύψους του ήλιου, σε συνδυασμό με την κατακόρυφη, συνήθως, τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην πρόσοψη των κτιρίων. Ο μειωμένος όμως φωτισμός έχει θετική συμβολή στην θερμοκρασία των τους, περιορίζοντας την ανύψωση της θερμοκρασίας τους και διατηρώντας σε ικανοποιητικό επίπεδο την απόδοσή τους. Στις επικλινείς στέγες ο φωτισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι κανονικός και κατά συνέπεια η αύξηση της θερμοκρασίας τους είναι σημαντική επηρεάζοντας αρνητικά την απόδοσή τους.^{[22],[23]}

Στην εφαρμογή αυτή εξετάζεται η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στην πρόσοψη και επικλινή οροφή του κτιρίου. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών εξαρτάται από την ανύψωση της θερμοκρασίας τους, η οποία οφείλεται τόσο στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία όσο και στις συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ταχύτητας ανέμου.^{[22],[23]}

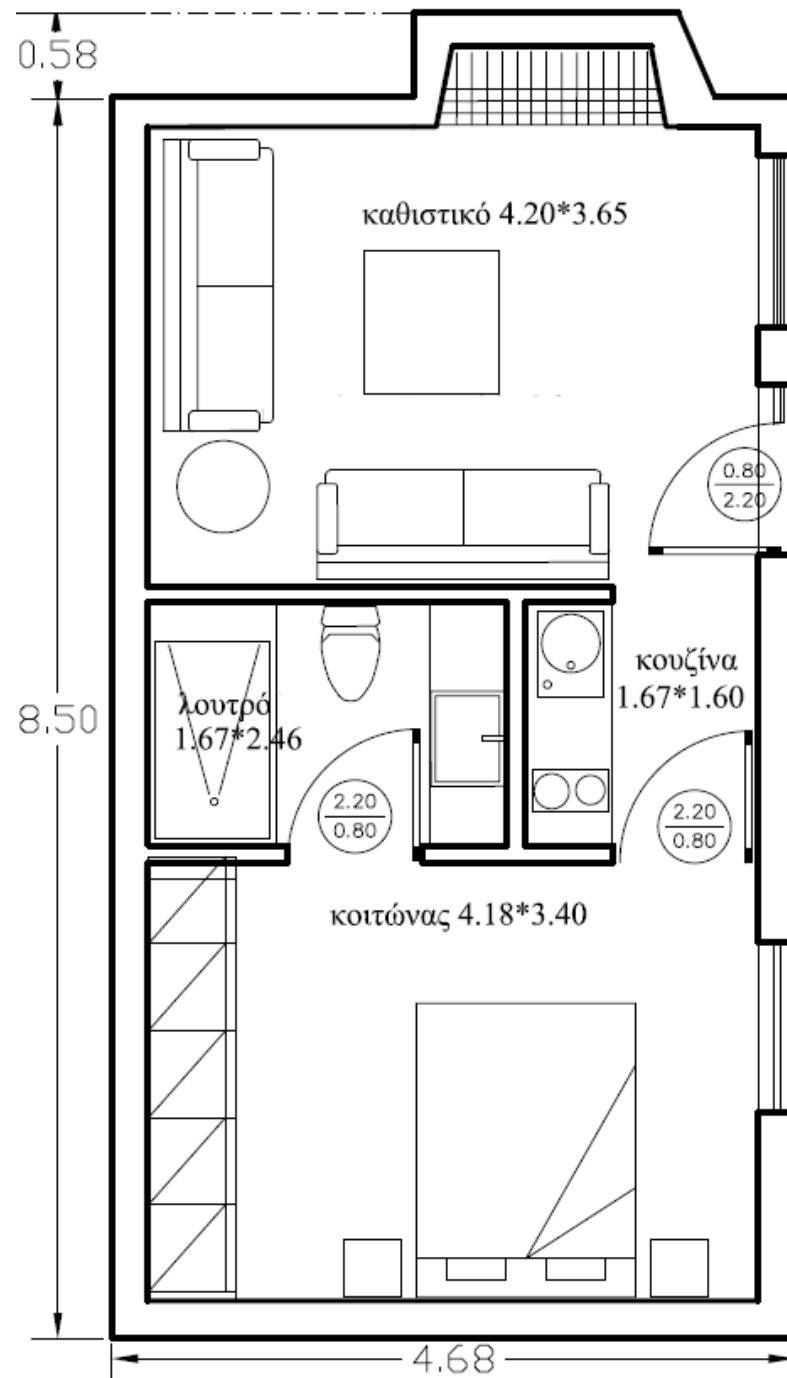
5.2. Σκοπός της εφαρμογής

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να γίνει μία σειρά προσομοιώσεων ενός κτιρίου κατοικίας, στο οποίο έχουν ενσωματωθεί φωτοβολταϊκά με δυο τρόπους: α) *ενσωμάτωση στην οροφή* και β) *ενσωμάτωση στην πρόσοψή* του. Οι προσομοιώσεις αυτές θα αφορούν την ηλεκτρική απόδοση (ετήσια παραγόμενη ηλ. ενέργεια), τις απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο και τη ροή θερμού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου από τη λειτουργία των φ/β για τον κάθε ένα δυνατό τρόπο ενσωμάτωσης, προκειμένου να δημιουργηθεί μια πρακτική γνώση για το συγκεκριμένο θέμα της ενσωμάτωσης φ/β στα κτίρια και τις επιδράσεις τους στο εσωτερικό τους κλίμα. Στο τέλος, προτείνονται τα κατάλληλα μέσα για την προστασία τόσο του κτιρίου με τα ενσωματωμένα φ/β από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα, όσο και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού του συστήματος εσωτερικά του κτιρίου από τις κρουστικές υπερτάσεις και τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού, βάση όσων

αναφέρθηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο. Για την επίτευξη των στόχων της εφαρμογής αυτής χρησιμοποιήθηκαν εξειδικευμένα λογισμικά όπως Autocad, PVSYST, Desing Builder, FINE, Adapt κ.α.

5.3. Δεδομένα εφαρμογής

Η κάτοψη του κτιρίου με τις επιμέρους διαστάσεις του παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα. Ο τύπος της σκεπής είναι τετράριχτη κεραμοσκεπή κλίσης 25°. Το συνολικό εμβαδό του κτιρίου είναι 42,92m² και το ύψος του 3,15m.



Εικόνα 5-1. Κάτοψη του κτιρίου κατοικίας της εφαρμογής σχεδιασμένη με το λογισμικό Autocad 2012

5.4. Προσομοίωση ηλεκτρικής απόδοσης

Για την προσομοίωση της ηλεκτρικής απόδοσης του εν λόγω κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PVSYST V5.21. Το λογισμικό PVSYST είναι ένα λογισμικό για το σχεδιασμό και την ανάλυση φ/β συστημάτων. Προσφέρει είτε *Προκριματικό Σχεδιασμό (Preliminary design)*, όπου οι εκτιμήσεις για την παραγωγή του φ/β συστήματος γίνονται πολύ γρήγορα σε μηνιαίες τιμές, κάνοντας χρήση μόνο κάποιων βασικών χαρακτηριστικών του συστήματος και παραμέτρων, είτε *Σχεδιασμό Έργου (Project Design)* που έχει ως στόχο την δημιουργία ενός αναλυτικού σχεδίου της φ/β εγκατάστασης, κάνοντας χρήση προσομοίωσης ανά ώρα.

Η περίπτωση *Σχεδιασμού Έργου (Project Design)* μπορεί να γίνει για τις εξής κατηγορίες φ/β συστημάτων:

- *Grid Connected (Διασυνδεδεμένα Συστήματα)*
- *Stand Alone (Αυτόνομα Συστήματα)*
- *Pumping (Αντλητικά Συστήματα)*
- *DC Grid (Δίκτυα Συνεχούς Ρεύματος)*

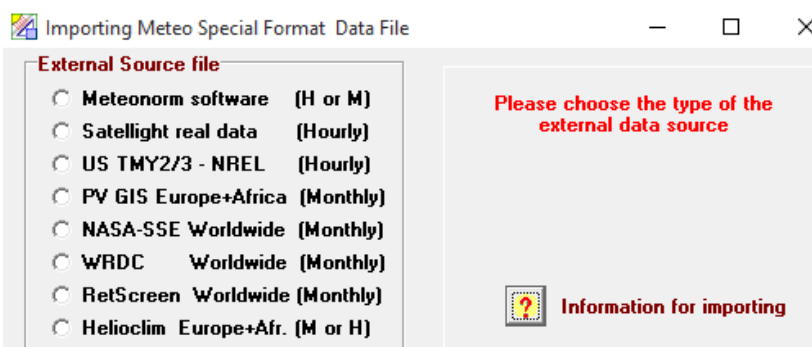
Η επιλογή *DC Grid (Δίκτυα Συνεχούς Ρεύματος)* αφορά ηλεκτρικά δίκτυα που λειτουργούν με DC τάση 600-1500V, όπως για παράδειγμα τα δίκτυα Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (τραμ, τρόλεϊ κ.α.).

Στην παρούσα εφαρμογή παρουσιάζεται η περίπτωση *Σχεδιασμού Έργου (Project Design)* ενός *διασυνδεδεμένου συστήματος (Grid Connected)*.

Το πρώτο βήμα για τον Σχεδιασμό Έργου είναι η εισαγωγή της τοποθεσίας και των μετεωρολογικών δεδομένων. Η εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων για μια επιλεγμένη τοποθεσία μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- α) *Χειροκίνητη εισαγωγή των δεδομένων*
- β) *Χρήση δεδομένων αποθηκευμένων στο πρόγραμμα*
- γ) *Εισαγωγή δεδομένων από εξωτερικές πηγές*

Με την επιλογή *Import meteo data* του μενού *Tools* μας δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής κλιματολογικών δεδομένων της περιοχής μας από διάφορες βάσεις δεδομένων. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η υποστηριζόμενη βάση δεδομένων του PVSYST.



Εικόνα 5-2. Υποστηριζόμενη βάση δεδομένων της επιλογής Import meteo data του μενού Tools του PVSYST

Η πιο διαδεδομένη βάση για την Ευρώπη είναι η PV GIS Europe. Ο διαδικτυακός τόπος της σελίδας αυτής είναι:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

Από τον παγκόσμιο χάρτη της ιστοσελίδας αυτής, επιλέγοντας το μέρος που μας ενδιαφέρει στον Ελλαδικό χώρο, όπου στην περίπτωση μας είναι η πόλη της Πάτρας, η συγκεκριμένη εφαρμογή μας παρέχει τα κλιματολογικά και ηλιακά δεδομένα που χρειαζόμαστε. Αφού γίνει αυτό, με την επιλογή *Import* εισάγονται στο λογισμικό τα δεδομένα ακτινοβολίας της περιοχής που επιλέξαμε.

Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός της κλίσης των φ/β πλαισίων και ο προσανατολισμός τους (αξιμούθια γωνία α'). Στην περίπτωση ενσωμάτωσης των φ/β πλαισίων στην οροφή του κτιρίου, η κλίση τους ακολουθεί υποχρεωτικά την υπάρχουσα κλίση της σκεπής (25°). Στην περίπτωση ενσωμάτωσης των φ/β πλαισίων στην πρόσοψη του κτιρίου, η κλίση τους είναι υποχρεωτικά 90° . Και στις δυο περιπτώσεις ο προσανατολισμός λαμβάνεται $\alpha=0^\circ$.

Περίπτωση 1^η: Ενσωμάτωση πλαισίων στην οροφή του κτιρίου (κλίση πλαισίων 25° , προσανατολισμός 0°)

Το επόμενο βήμα σχεδιασμού είναι ο ορισμός των στοιχείων του φ/β συστήματος μέσω τις επιλογής *System* του μενού *Project Desing*.

Για την περίπτωση της ενσωμάτωσης σε κεκλιμένη κεραμοσκεπεπή, επιλέγεται η χρήση των πλαισίων SOLON Black 240Wp της γερμανικής εταιρείας SOLON SOLitaire. Πρόκειται για πλαίσια κατάλληλα για πλήρη ενσωμάτωση σε οροφές κλίσης 10° έως 60° .^[111]



Εικόνα 5-3. Πλήρης ενσωμάτωση σε κεραμοσκεπή πλαίσια SOLON Black της γερμανικής εταιρείας SOLON SOLitaire^[111]

Τα βασικά χαρακτηριστικά των πλαισίων αυτών είναι:

- 100% στεγανά
- Υψηλή απόδοση
- Ευκολία στην εγκατάσταση
- Πλαίσιο συνθετικών υλικών για αντοχή σε ακραίας καιρικές συνθήκες

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εν λόγω πλαισίων παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.

SOLON Black <i>(monocrystalline)</i>		Electrical data – typical (STC)	
		STC (Standard Test Conditions): 1,000 W/m ² , (25 ± 2)°C, AM 1.5 in accordance with EN 60904-3	
		Power rating	P _{max} 240 Wp
		Module efficiency	14.63 %
		Rated voltage	V _{mpp} 29.62 V
		Rated current	I _{mpp} 8.11 A
		Open circuit voltage	V _{OC} 36.75 V
		Short circuit current	I _{SC} 8.56 A
		Maximum reverse current	I _R 20 A
		Maximum system voltage	1,000 V
		Measuring tolerance for P _{max} : ±3 %	

Εικόνα 5-4. Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίων SOLON Black 240Wp της εταιρείας SOLON SOLitaire^[111]

Επειδή το συγκεκριμένο πλαίσιο δεν υπάρχει στη βάση δεδομένων του PVSYST, με την επιλογή *PV modules* του μενού *Tools* κατασκευάζουμε οι ίδιοι το πλαίσιο αυτό, σύμφωνα με τα δεδομένα του data sheet του κατασκευαστή.

Στη συνέχεια επιλέγονται τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος:

- *Ονομαστική ισχύς συστήματος*: 1,44kWp (6 πλαίσια των 240Wp)

Η ονομαστική ισχύς του φ/β συστήματος που επιλέχθηκε περιορίζεται από την επιφάνεια της στέγης, μιας και όπως προκύπτει από την εικόνα 5-5 στη νότια όψη της στέγης οριακά χωράνε 6 φ/β πλαίσια.

Επειδή στην παρούσα εργασία δεν ήταν σκοπός να μελετηθεί ο αναλυτικός τρόπος επιλογής των inverter, επιλέχθηκε από τη βάση δεδομένων του λογισμικού ο αντιστροφέας Sunny Boy SWR 2000 της εταιρείας SMA, χωρίς να γίνουν λεπτομερείς υπολογισμοί και χωρίς να αποκλείεται η χρήση κάποιου άλλου αντιστροφέα. Επιλέγεται έτσι αντιστροφέας:

- Sunny Boy SWR 2000 (χαρακτηριστικά: τάση λειτουργίας 125-500V DC, ονομαστική ισχύς εξόδου 1,80 kW AC, ονομαστική ισχύς εισόδου 2 kW DC, μέγιστο ρεύμα εισόδου I_{max} 10A DC).

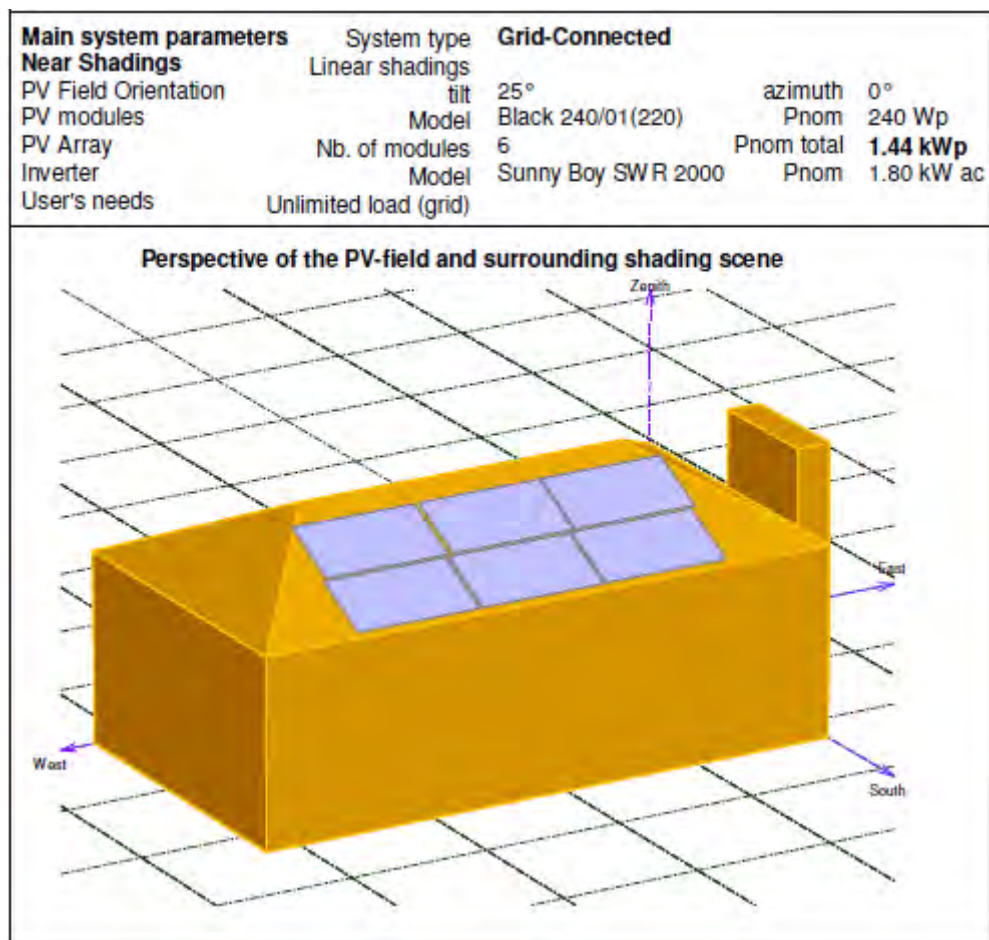
Μετά την επιλογή και του αντιστροφέα, το λογισμικό εκτελεί έναν εσωτερικό έλεγχο προκειμένου να εξακριβωθεί η συμβατότητα των στοιχείων που επιλέχθηκαν. Από τον έλεγχο αυτό δεν προέκυψε ασυμβατότητα μεταξύ επιλεγμένου αντιστροφέα και πλαισίων.

Αν τοποθετιόντουσαν φ/β και στην απέναντι πλευρά της στέγης (βόρεια πλευρά), τότε αυτά θα έπρεπε να συνδεθούν σε ξεχωριστό αντιστροφέα, μιας και αν συνδέονταν στον αντιστροφέα που εξυπηρετεί τα πλαίσια της νότιας πλευράς της στέγης, στην περίπτωση που αυτά δεν φωτίζονταν επαρκώς λόγω της θέσης του ηλίου, η τάση ανοιχτού κυκλώματός τους θα βρίσκονταν εκτός της περιοχής λειτουργίας του inverter, με συνέπεια αυτός να αποκόπτονταν από τη λειτουργία, βγάζοντας ‘εκτός’ και τη συστοιχία της νότιας πλευρά της στέγης. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού θα έπρεπε τα πλαίσια της βόρειας πλευρά της στέγης να συνδέονταν σε δικό τους inverter. Το λογισμικό όμως δεν υποστηρίζει τη χρήση ανεξάρτητων inverter που να δουλεύουν με διαφορετικά επίπεδα τάσης. Για τους λόγους αυτούς, η ενσωμάτωση στην οροφή μελετάται ανεξάρτητα από την ενσωμάτωση στην πρόσοψη, μιας και αν τοποθετιόντουσαν οι δυο συστοιχίες στον ίδιο αντιστροφέα, όταν τα πλαίσια της πρόσοψης δεν θα φωτίζονταν, θα έβγαιναν εκτός και τα πλαίσια της στέγης.

Αφού δοθούν τα βασικά στοιχεία του φ/β συστήματος, το λογισμικό προχωρά σε μια γρήγορη επιλογή του αριθμού των πλαισίων σε σειρά ή παράλληλα και ταυτόχρονα καθορίζει το πλήθος των απαραίτητων inverter.

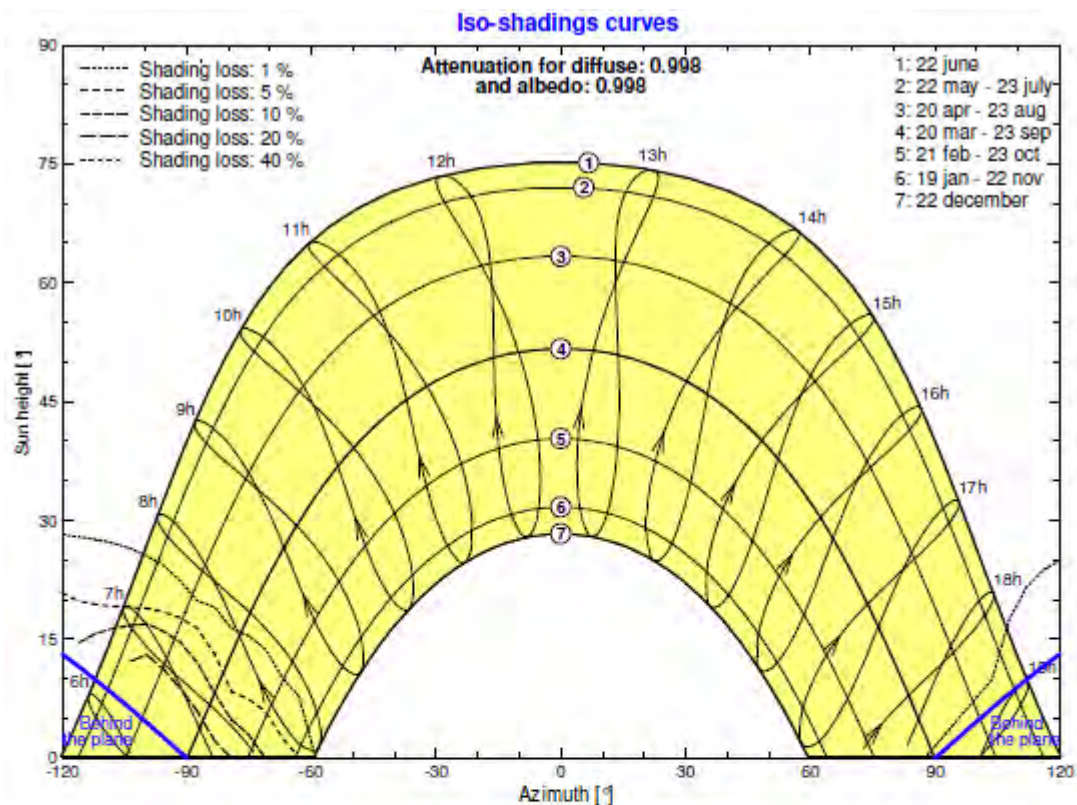
Έχοντας επιλέξει κλίση πλαισίων, προσανατολισμό και στοιχεία του φ/β συστήματος, το επόμενο βήμα είναι η ανάλυση σκιάσεων μέσω της επιλογής *Near Shadings* του μενού *Project Desing*. Για να γίνει αυτό απαιτητή είναι η σχεδίαση της τρισδιάστατης δομής του κτιρίου. Η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου και του περιβάλλοντος του γίνεται με το εσωτερικό λογισμικό σχεδίασης του PVSYST.

Στη συνέχεια, το λογισμικό δίνει μια πρόχειρη χωροθέτηση των πλαισίων, ενώ παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να τροποποιήσει την αρχική αυτή χωροθέτηση, ή ακόμα και να την επαναπροσδιορίσει από την αρχή. Η τελική χωροθέτηση των πλαισίων στην οροφή του κτιρίου, μαζί με τις βασικές παραμέτρους του συστήματος παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5-5. Τελική χωροθέτηση φ/β πλαισίων στην οροφή του κτιρίου, μαζί με τις βασικές παραμέτρους του συστήματος

Μετά την κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου του έργου, το λογισμικό υπολογίζει και παρουσιάζει το διάγραμμα σκιασμού επάνω στον ηλιακό χάρτη και τον πίνακα συντελεστών σκιασμού (*συντελεστής σκίασης* ορίζεται ως ο λόγος της επιφάνειας της συστοιχίας που φωτίζεται προς την ολική της επιφάνεια).



Azimuth	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°
Height													
90°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
80°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
70°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
60°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
40°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
30°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20°	0.986	0.985	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998
10°	0.971	0.742	0.981	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995
2°	Behind	0.459	0.787	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind

Εικόνα 5-6. Διάγραμμα σκιασμού και πίνακας συντελεστού σκίασης της Περίπτωσης 1 (ενσωμάτωση φ/β στην οροφή)

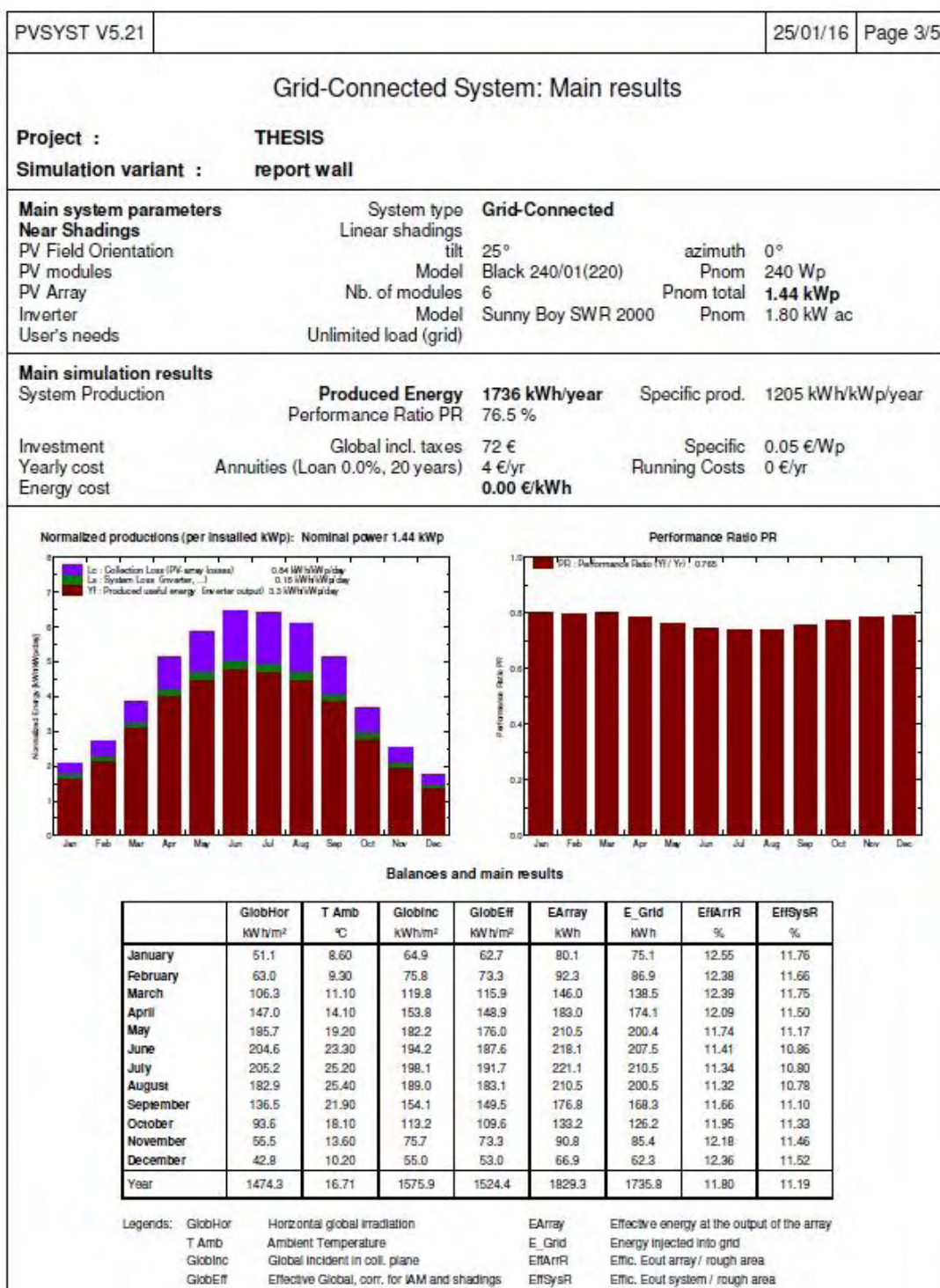
Θυμίζουμε ότι ο ηλιακός χάρτης προσδιορίζει τη θέση του ηλίου (αζιμούθια γωνία και γωνία ύψους ηλίου) οποιαδήποτε ώρα της ημέρας κάθε μήνα του έτους για ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Η καμπύλη 1 αφορά τον μήνα Ιούνιο και η καμπύλη 7 τον μήνα Δεκέμβριο. Οι υπόλοιπες πέντε καμπύλες αφορούν τους υπόλοιπους μήνες (μια καμπύλη για δυο μήνες, μιας και τους μήνες αυτούς η τροχιά του ηλίου γύρω από τη γη ταυτίζεται). Μια σωστά επιλεγμένη εγκατάσταση φ/β δεν θα πρέπει να σκιάζεται από τις 9:00 το πρωί μέχρι τις 3:00 το μεσημέρι.^{[35],[125]} Το διάγραμμα σκίασης και ο αντίστοιχος πίνακας συντελεστού σκίασης της πρώτης περίπτωσης παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα. Όπως παρατηρεί κανείς αριστερά του διαγράμματος αυτού, για αζιμούθιο από -60° έως -120° και μέχρι ένα ύψος ηλίου της τάξης των 28° περίπου οι απώλειες σκιασμού λόγω της καμινάδας είναι της τάξης του 1% (καμπύλη με). Αντίστοιχες καμπύλες οριοθετούν τις θέσεις του ηλίου

όπου οι απώλειες σκάσης είναι της τάξης του 5, 10, 20 και 40%. Κεντρικά στο διάγραμμα αυτό δεν παρατηρείται άλλη σκίαση των πλαισίων. Η μπλε γραμμή του διαγράμματος οριοθετεί τη θέση όπου ο ήλιος βρίσκεται πίσω από τα πάνελ.

Το τελευταίο βήμα σχεδιασμού η προσομοίωση του συστήματος που σχεδιάσαμε. Αυτό γίνεται μέσω τις επιλογής *Simulation* του μενού *Project Desing*. Υπάρχει ένα πλήθος διαθέσιμων επιλογών για την μορφή των αποτελεσμάτων που το λογισμικό μπορεί να παράγει. Η συνηθέστερη και χρησιμότερη επιλογή όλων των δυνατών είναι η επιλογή *Report*, η οποία παράγει μια αναφορά ορισμένων σελίδων που περιέχει τα βασικότερα αποτελέσματα. Τα βασικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης που περιλαμβάνει η αναφορά της επιλογής *Report* παρουσιάζονται στις σελίδες *Simulation parameters* και *Main results*. Τα περιεχόμενα των σελίδων αυτών παρουσιάζονται στις επόμενες δυο εικόνες.

PVSYST V5.21			25/01/16	Page 1/5
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	THESIS			
Geographical Site	patra	Country	Greece	
Situation	Latitude	38.2°N	Longitude	21.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	135 m
	Albedo	0.20		
Meteo data :	patra, Synthetic Hourly data			
Simulation variant :	report wall			
	Simulation date	25/01/16 09h52		
Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	25°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Linear shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	Black 240/01(220)	
	Manufacturer	Solon AG		
Number of PV modules	In series	6 modules	In parallel	1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	6	Unit Nom. Power	240 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1.44 kWp	At operating cond.	1.28 kWp (50 °C)
Array operating characteristics (50 °C)	U mpp	164 V	I mpp	7.8 A
Total area	Module area	9.8 m²		
Inverter				
	Model	Sunny Boy SWR 2000		
	Manufacturer	SMA		
Characteristics	Operating Voltage	125-500 V	Unit Nom. Power	1.80 kW AC
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20 °C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT	56 °C		
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	350 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

Εικόνα 5-7. Περιεχόμενα της σελίδας Simulation parameters της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1



Εικόνα 5-8. Περιεχόμενα της σελίδας Main results της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1

Η βασικότερη τιμή που υπολογίζει το λογισμικό είναι η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, όπου για την πρώτη περίπτωση προσομοίωσης το αποτέλεσμα είναι **1736 kWh/year**.

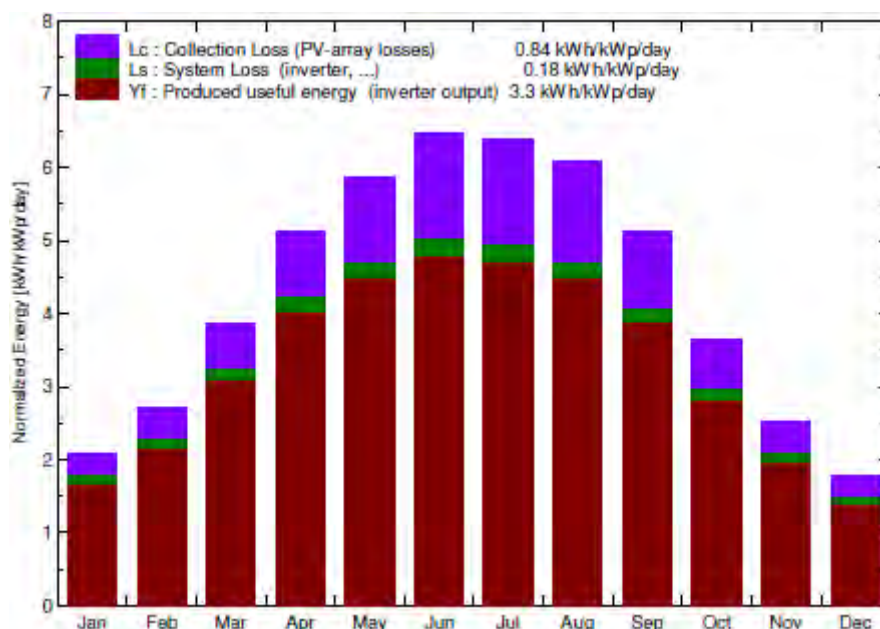
Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα δύο βασικότερα γραφήματα που το παράγει το λογισμικό στην τελική του αναφορά. Το πρώτο είναι το γράφημα “Κανονικοποιημένη παραγωγή ανά εγκατεστημένο kWp και ανά ημέρα (Normalized production per installed kWp/day)”. Πρόκειται για το λόγο της εγχεόμενης ισχύς στο

δίκτυο E_{Grid} , προς την ονομαστική dc του φ/β συστήματος P_N και προς το πλήθος n των ημερών του εκάστοτε μήνα. Δηλαδή:^[126]

$$Y_f = E_{Grid} / (P_N \cdot n) \quad (kWh/kWp/day) \quad 5.1$$

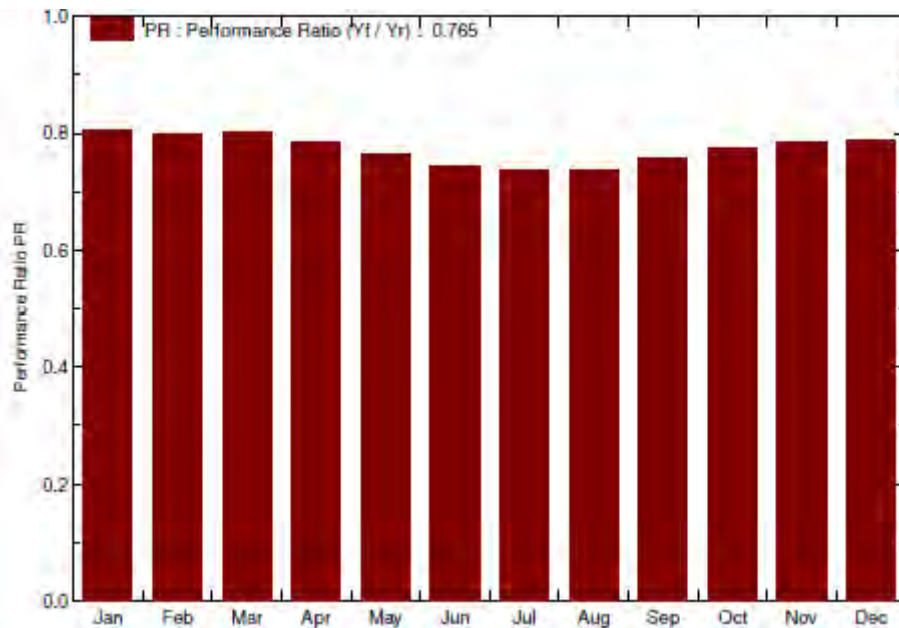
Οι μηνιαίες τιμές της E_{Grid} προκύπτουν από τον πίνακα της εικόνας 5-11. Η παράμετρος Y_f κανονικοποιεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με την ονομαστική ισχύ του συστήματος και είναι μια βολική παράμετρος για σύγκριση συστημάτων διαφορετικών μεγεθών.^[126]

Για $P_N=1,44kWp$ και ανάλογα τις ημέρες έκαστου μήνα προκύπτουν οι κανονικοποιημένες τιμές του επόμενου διαγράμματος. Το βυσσινί χρώμα αφορά την κανονικοποιημένη ωφέλιμη παραγόμενη ηλ. ενέργεια (εγχεδόμενη στο δίκτυο), το μοβ χρώμα αφορά τις απώλειες της φ/β συστοιχίας και το πράσινο χρώμα αφορά τις απώλειες του αντιστροφέα. Όπως είναι αναμενόμενο, η παραγωγή ενέργειας μεγιστοποιείται κατά τους θερινούς μήνες ενώ γίνεται ελάχιστη μεταξύ Νοέμβρη και Ιανουαρίου.



Εικόνα 5-9. Γράφημα κανονικοποιημένης παραγωγής ανά εγκατεστημένο kWp (Normalized production per installed kWp), της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1

Το επόμενο βασικό γράφημα της σελίδας *Main results* της τελικής αναφοράς είναι αυτό της μηνιαίας αλλά και ετήσιας αποδοτικότητας (*Performance ratio, PR*) του φ/β συστήματος. Ο αποδοτικότητα του συστήματος λαμβάνει υπόψη του όλες τις πιθανές απώλειες του φ/β συστήματος όπως: απώλειες του αντιστροφέα, απώλειες καλωδιώσεων, απώλειες λόγω αύξησης της θερμοκρασίας των πλαισίων, απώλειες λόγω ανακλάσεων της ακτινοβολίας στην επιφάνεια των πλαισίων κ.α.^[126] Όπως προκύπτει από το γράφημα αυτό, η ετήσια αποδοτικότητα του φ/β συστήματος κατά την περίπτωση ενσωμάτωσης των πλαισίων στην οροφή είναι ίση με 0,765 (**76,5%**).



Εικόνα 5-10. Γράφημα μηνιαίου και ετήσιου συντελεστή αποδοτικότητας του φ/β συστήματος της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1

Οι μηνιαίες τιμές του συντελεστή PR του διαγράμματος αυτού προκύπτουν διαιρώντας την παράμετρο Y_f με την παράμετρο Y_r (reference yield) η οποία ισούται με:

$$Y_r = GlobInc / (G_r \cdot n) \quad (kWh/kWp/day) \quad 5.2$$

Όπου:

$GlobInc$ = ακτινοβολία επί της επιφάνειας της συστοιχίας kWh/m^2 (από πίνακα εικόνας 5.11)

G_r = ακτινοβολία αναφοράς (=1 kWp/m^2)

n = πλήθος ημερών έκαστου μήνα

Δηλαδή:

$$PR = Y_f / Y_r \quad 5.3$$

Στο τέλος της σελίδας *Main results* της τελικής αναφοράς, υπάρχει ο πίνακας “*Δείκτες Παραγωγής και Απόδοσης Εγκατάστασης (Balances and main results)*” ο οποίος περιλαμβάνει τις τιμές μεγεθών όπως: ακτινοβολία επί οριζόντιας επιφάνειας (G_{lobHor}), θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_{Amb}), ακτινοβολία επί της επιφάνειας των πλαισίων (G_{lobInc}), ακτινοβολία επί της επιφάνειας των πλαισίων λαμβάνοντας υπόψη σκιασμούς και φαινόμενο IAM^* (G_{lobEff}), παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο της συστοιχίας (E_{Array}), τελική ενέργεια που εγχέεται στο δίκτυο (E_{Grid}), βαθμός απόδοσης στην έξοδο της φ/β συστοιχίας (Eff_{ArrR}) και βαθμός απόδοσης ολόκληρου του φ/β συστήματος (Eff_{SysR}).

* IAM , "Incidence Angle Modifier". Φαινόμενο που σχετίζεται με τη μείωση της ακτινοβολίας που φτάνει τελικά στα φ/β στοιχεία ενός πλαισίου λόγω ανακλάσεων στη διαχωριστική επιφάνεια δυο διάφανων υλικών διαφορετικών δεικτών διάθλασης. Υπακούει στους νόμους Fresnel και σχετίζεται με τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	%	%
January	51.1	8.60	64.9	62.7	80.1	75.1	12.55	11.76
February	63.0	9.30	75.8	73.3	92.3	86.9	12.38	11.66
March	106.3	11.10	119.8	115.9	146.0	138.5	12.39	11.75
April	147.0	14.10	153.8	148.9	183.0	174.1	12.09	11.50
May	185.7	19.20	182.2	176.0	210.5	200.4	11.74	11.17
June	204.6	23.30	194.2	187.6	218.1	207.5	11.41	10.86
July	205.2	25.20	198.1	191.7	221.1	210.5	11.34	10.80
August	182.9	25.40	189.0	183.1	210.5	200.5	11.32	10.78
September	136.5	21.90	154.1	149.5	176.8	168.3	11.66	11.10
October	93.6	18.10	113.2	109.6	133.2	126.2	11.95	11.33
November	55.5	13.60	75.7	73.3	90.8	85.4	12.18	11.46
December	42.8	10.20	55.0	53.0	66.9	62.3	12.36	11.52
Year	1474.3	16.71	1575.9	1524.4	1829.3	1735.8	11.80	11.19

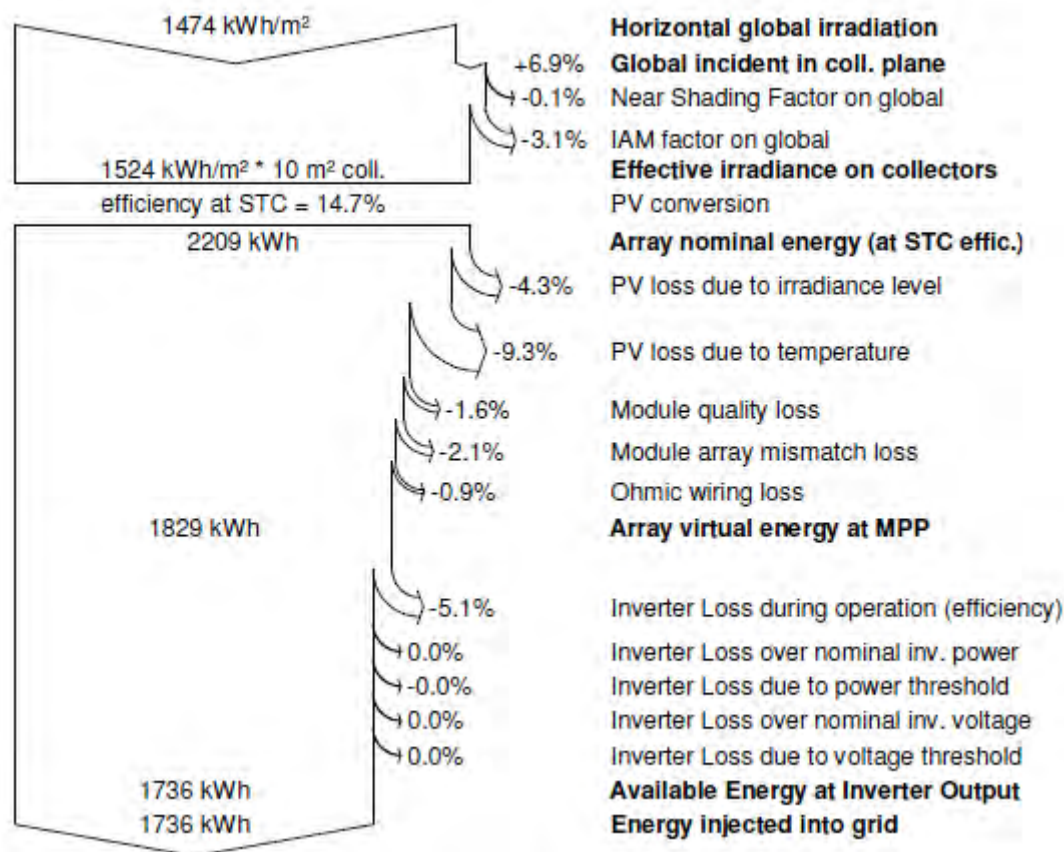
Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

Εικόνα 5-11. Πίνακας “Δείκτες Παραγωγής και Απόδοσης Εγκατάστασης (Balances and main results)” κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1

Όπως προκύπτει από τον πίνακα αυτό, η ετήσια τιμή της ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια ισούται με 1474,3 kWh/m². Η αντίστοιχη τιμή της ακτινοβολίας στην επιφάνεια των πλαισίων είναι αυξημένη κατά 6,9% (σύμφωνα με τα δεδομένα του παρακάτω διαγράμματος απωλειών) και λαμβάνει τιμή 1474,3x1,069=1575,9 kWh/m². Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι η ετήσια τιμή της ακτινοβολίας επί της επιφάνειας των πλαισίων λαμβάνοντας υπόψη σκιασμούς και IAM ισούται με 1524,4 kWh/m², η οποία τιμή προκύπτει αν η τιμή της ετήσιας *GlobInc* μειωθεί κατά 3,2% (0,1%+3,1% σύμφωνα με τα δεδομένα του παρακάτω διαγράμματος απωλειών). Η έκτη στήλη του προηγούμενου πίνακα (*EArray*) παρουσιάζει τη μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη φ/β συστοιχία, ενώ η στήλη *E_Grid* παρουσιάζει τις αντίστοιχες τιμές της τελικής (ωφέλιμης) ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο. Η ετήσια τιμή της ενέργειας αυτής ανέρχεται στις 1736 kWh και προκύπτει αν από την ενέργεια *EArray* αφαιρεθούν οι απώλειες του αντιστροφέα.

Μια ακόμα βασική σελίδα της τελικής αναφοράς είναι η σελίδα *Loss diagram*, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι εκτιμώμενες απώλειες.



Εικόνα 5-12. Διάγραμμα απωλειών της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 1

Περίπτωση 2^η: Ενσωμάτωση πλαισίων στην πρόσοψη του κτιρίου (κλίση πλαισίων 90°, προσανατολισμός 0°)

Η ίδια πορεία ακολουθείται και κατά την ενσωμάτωση των πλαισίων στην πλαϊνή πλευρά του κτιρίου.

Για την ενσωμάτωση στην πρόσοψη του κτιρίου επιλέγονται τα πλαίσια της σειράς EFL της εταιρείας Ertex Solar. Πρόκειται για πλαίσια κατάλληλα για ενσωμάτωση σε προσόψεις κτιρίων. Επιλέγονται πλαίσια ίδιας ισχύος (240Wr) όπως και κατά την ενσωμάτωση των πλαισίων στην οροφή, προκειμένου να προκύψουν συγκρίσιμα συμπεράσματα. Η συγκεκριμένη εταιρεία αναφέρει ότι τα πλαίσια της μπορούν να κατασκευαστούν σε όποιες διαστάσεις επιθυμεί ο πελάτης. Δεν χρησιμοποιήθηκαν τα πλαίσια SOLON Black 240Wr που επιλέχθηκαν για την ενσωμάτωση σε στέγη, μιας και η κατασκευάστρια εταιρία αναφέρει πως τα συγκεκριμένα πλαίσια αφορούν αποκλειστικά ενσωμάτωση σε στέγη.

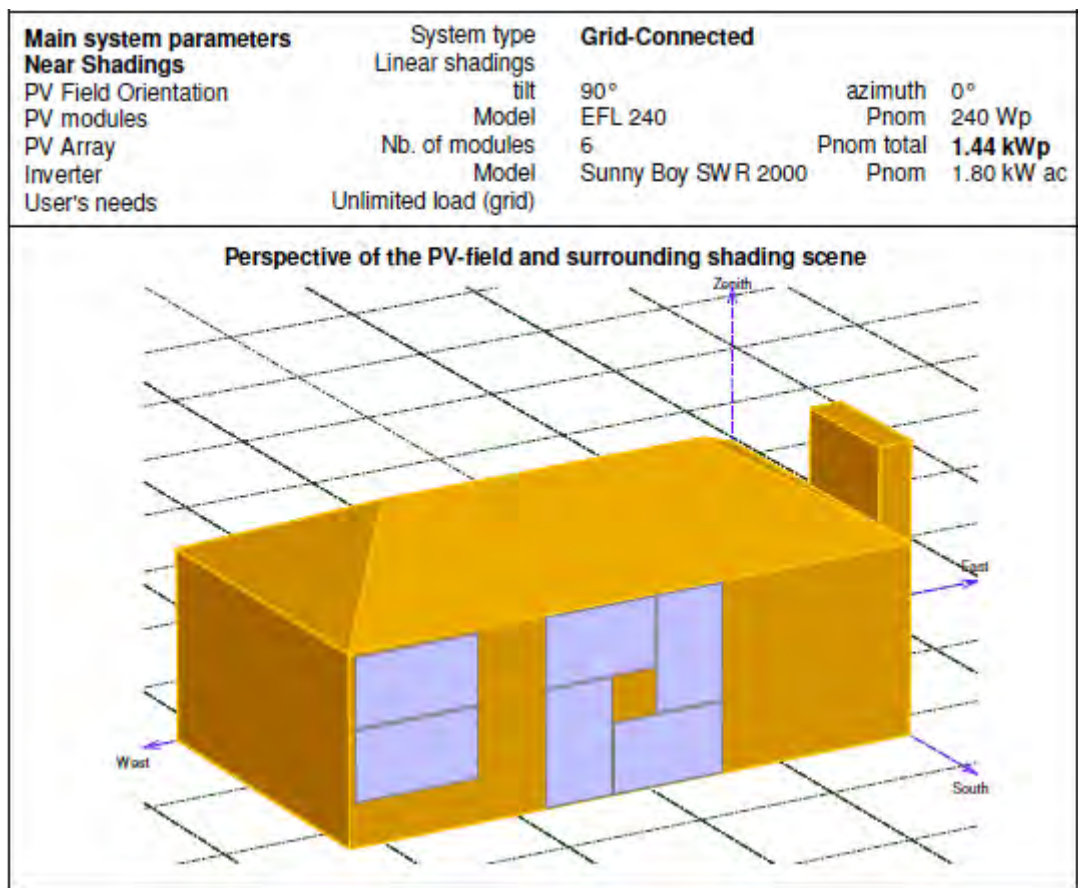


Εικόνα 5-13. Πρόσοψη κτιρίου στην Αυστρία με 245 πλαίσια EFL διαφόρων διαστάσεων της εταιρείας Ertex Solar.^[112]

Στη συνέχεια επιλέγονται τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του φ/β συστήματος τα οποία παραμένουν τα ίδια με αυτά της ενσωμάτωσης στην οροφή, προκειμένου να έχω συγκρίσιμα αποτελέσματα:

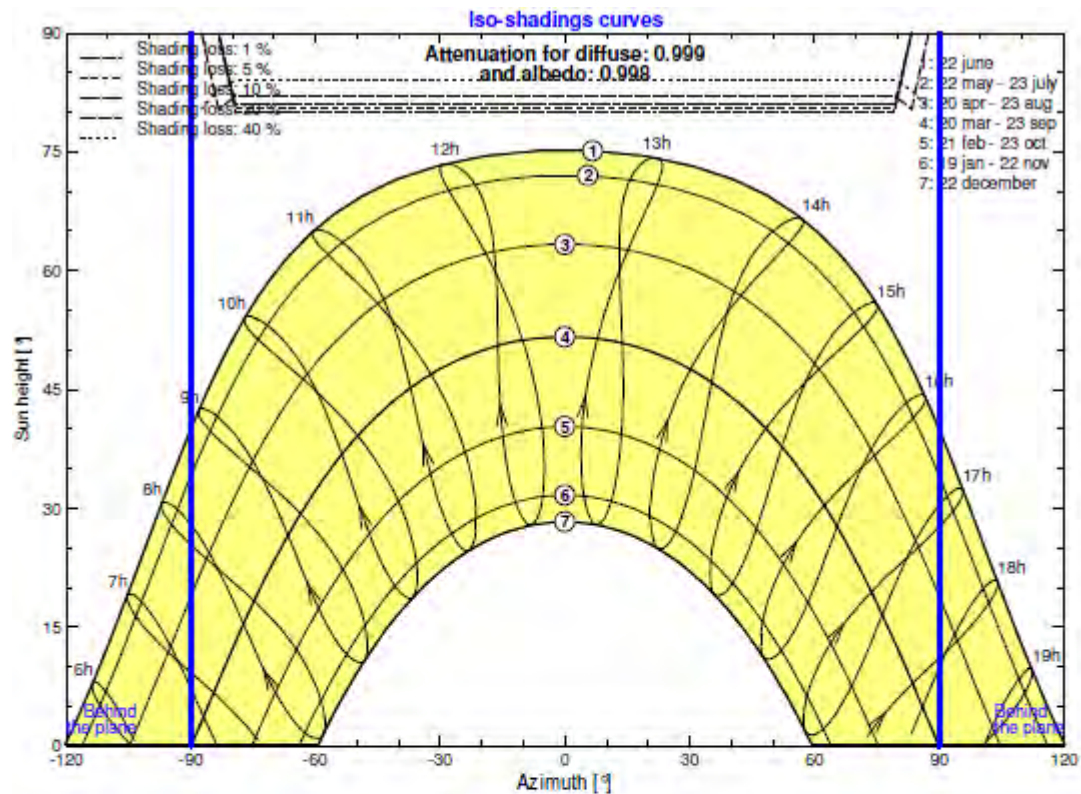
- *Ονομαστική ισχύς συστήματος:* 1,44kWp
- *Inverter:* Sunny Boy SWR 2000 (χαρακτηριστικά: τάση λειτουργίας 125-500V DC, ονομαστική ισχύς εξόδου 1,80 kW AC, ονομαστική ισχύς εισόδου 2 kW DC, μέγιστο ρεύμα εισόδου $I_{\max}$ 10A DC).

Έχοντας κάνει την επιλογή της κλίση και του προσανατολισμού των πλαισίων, καθώς και των υπόλοιπων στοιχείων του φ/β συστήματος, η τελική χωροθέτησή τους στην πρόσοψη του κτιρίου, μαζί με τις βασικές παραμέτρους του συστήματος παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5-14. Τελική χωροθέτηση φ/β πλαισίων στην πλαϊνή πλευρά του κτιρίου, μαζί με τις βασικές παραμέτρους του συστήματος

Το διάγραμμα σκίασης και ο αντίστοιχος πίνακας συντελεστού σκίασης της Περίπτωσης 2 παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.



Beam shading factor

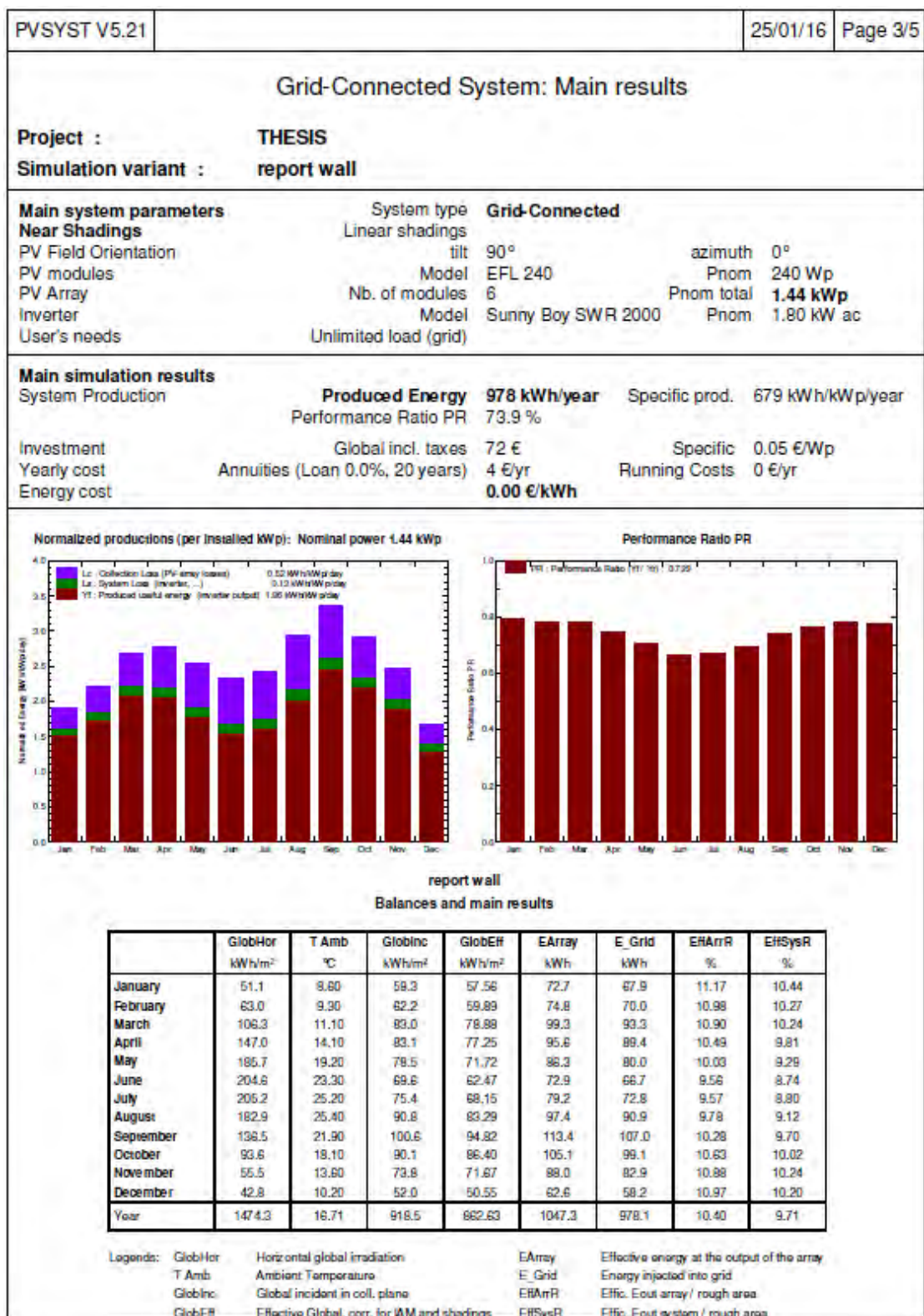
Azimuth	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°
Height													
90°	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane	Behind the plane
80°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
70°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
60°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
50°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
40°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
30°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
20°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
10°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane
2°	Behind the plane	Behind the plane	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Behind the plane	Behind the plane

Εικόνα 5-15. Διάγραμμα σκιασμού και πίνακας συντελεστού σκίασης της Περίπτωσης 2 (ενσωμάτωση φ/β στην πλαϊνή πλευρά)

Τα περιεχόμενα των αντίστοιχων σελίδων *Simulation parameters* και *Main results*, της προσομοίωσης της Περίπτωσης 2 παρουσιάζονται στις επόμενες δυο εικόνες.

PVSYST V5.21			25/01/16	Page 1/5
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	THESIS			
Geographical Site	patra		Country	Greece
Situation	Latitude	38.2°N	Longitude	21.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	135 m
	Albedo	0.20		
Meteo data :	patra, Synthetic Hourly data			
Simulation variant :	report wall			
	Simulation date	25/01/16 09h34		
Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	90°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Linear shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	EFL 240	
		Manufacturer	Erte Solar	
Number of PV modules	In series	6 modules	In parallel	1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	6	Unit Nom. Power	240 Wp
Array global power	Nominal (STC)	1.44 kWp	At operating cond.	1.28 kWp (50 °C)
Array operating characteristics (50 °C)	U mpp	179 V	I mpp	7.2 A
Total area	Module area	11.0 m²		
Inverter	Model	Sunny Boy SWR 2000		
	Manufacturer	SMA		
Characteristics	Operating Voltage	125-500 V	Unit Nom. Power	1.80 kW AC
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20 °C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT	56 °C		
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	414 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

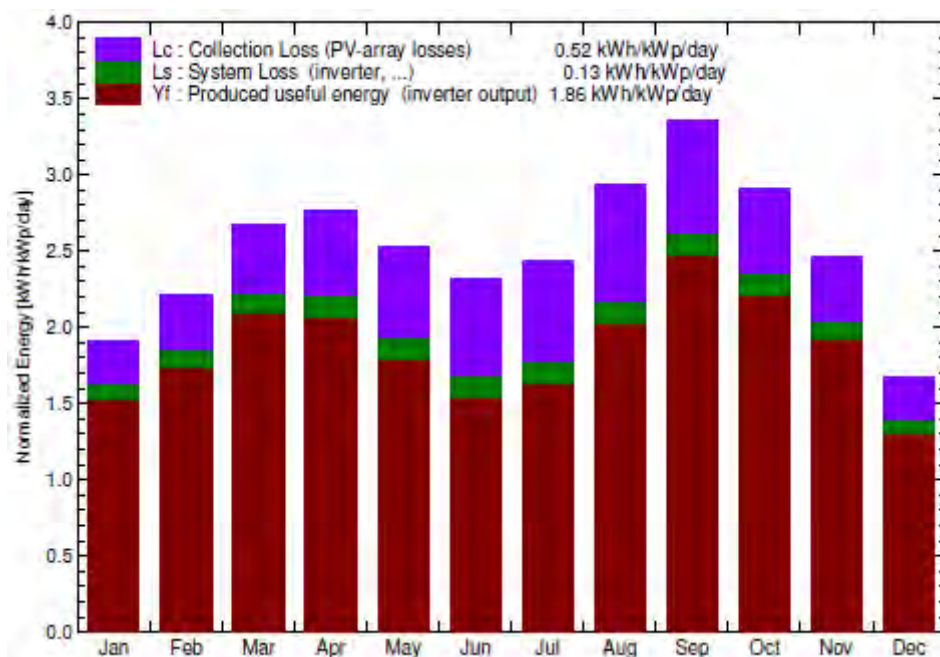
Εικόνα 5-16. Περιεχόμενα της σελίδας Simulation parameters της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2



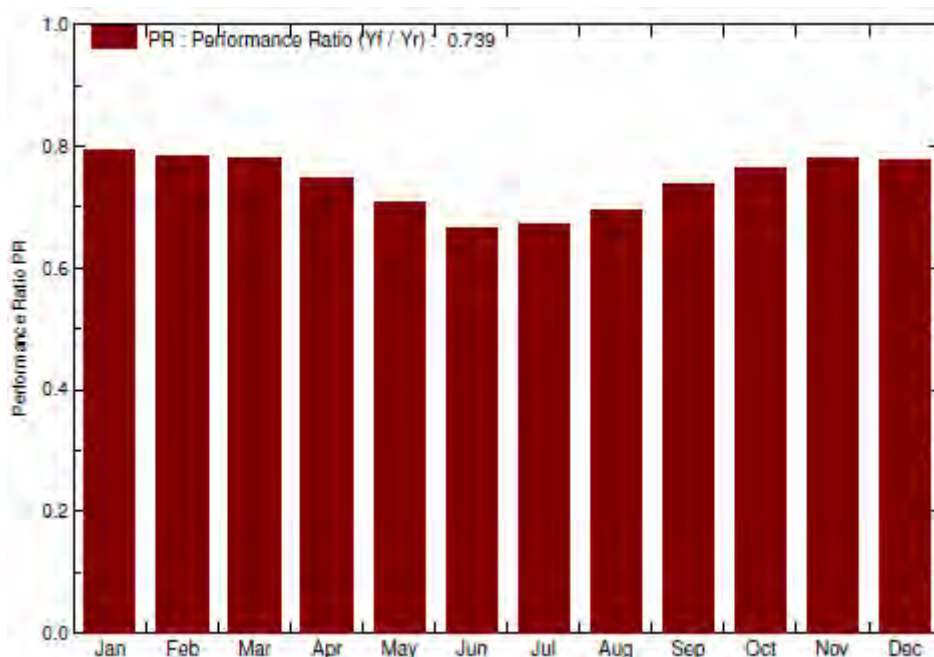
Εικόνα 5-17. Περιεχόμενα της σελίδας Main results της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2

Από την εικόνα αυτή, προκύπτει ότι η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη δεύτερη περίπτωση προσομοίωσης είναι **978 kWh/year**.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα δύο βασικότερα γραφήματα που το παράγει το λογισμικό στην τελική του αναφορά.



Εικόνα 5-18. Γράφημα κανονικοποιημένης παραγωγής ανά εγκατεστημένο kWp (Normalized production per installed kWp), της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2



Εικόνα 5-19. Γράφημα μηνιαίου και ετήσιου συντελεστή αποδοτικότητας του φ/β συστήματος της τελικής αναφοράς, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2

Όπως προκύπτει από το γράφημα αυτό, ο ετήσιος συντελεστής αποδοτικότητας PR του φ/β συστήματος κατά την δεύτερη περίπτωση ενσωμάτωσης των πλαισίων είναι ίσος με **0,739 (73,9%)**.

Ο αντίστοιχος πίνακας “*Δείκτες Παραγωγής και Απόδοσης Εγκατάστασης (Balances and main results)*” κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2, παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	51.1	8.60	59.3	57.56	72.7	67.9	11.17	10.44
February	63.0	9.30	62.2	59.89	74.8	70.0	10.98	10.27
March	106.3	11.10	83.0	78.88	99.3	93.3	10.90	10.24
April	147.0	14.10	83.1	77.25	95.6	89.4	10.49	9.81
May	185.7	19.20	78.5	71.72	86.3	80.0	10.03	9.29
June	204.6	23.30	69.6	62.47	72.9	66.7	9.56	8.74
July	205.2	25.20	75.4	68.15	79.2	72.8	9.57	8.80
August	182.9	25.40	90.8	83.29	97.4	90.9	9.78	9.12
September	136.5	21.90	100.6	94.82	113.4	107.0	10.28	9.70
October	93.6	18.10	90.1	86.40	105.1	99.1	10.63	10.02
November	55.5	13.60	73.8	71.67	88.0	82.9	10.88	10.24
December	42.8	10.20	52.0	50.55	62.6	58.2	10.97	10.20
Year	1474.3	16.71	918.5	862.63	1047.3	978.1	10.40	9.71

Legends:

GlobHor Horizontal global irradiation

T Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

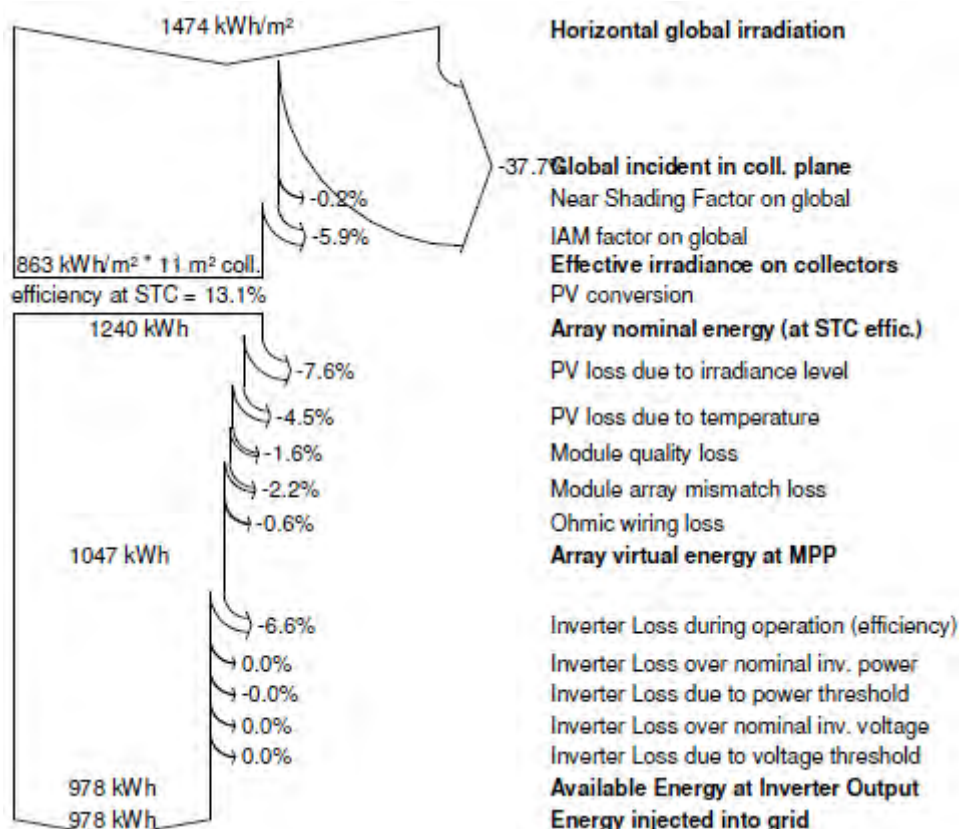
E_Grid Energy injected into grid

EffArrR Effic. Eout array / rough area

EffSysR Effic. Eout system / rough area

Εικόνα 5-20. Πίνακας “Δείκτες Παραγωγής και Απόδοσης Εγκατάστασης (Balances and main results)” κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2

Η τελευταία εικόνα απεικονίζει το διάγραμμα απωλειών που τυπώνει η τελική αναφορά, κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2.



Εικόνα 5-21. Διάγραμμα απωλειών της τελικής αναφοράς κατά την προσομοίωση της Περίπτωσης 2

5.5. Προσομοίωση για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων

Έχοντας υπολογίσει την απόδοση ηλεκτρικές ενέργειας για τον κάθε ένα τρόπο ενσωμάτωσης φ/β πλαισίων στο κτίριο θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων για δυο περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση αφορά τον υπολογισμό των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων κατά τη δυσμενέστερη ημέρα του έτους όπου στο κτίριο δεν υπάρχουν ενσωματωμένα. Η δεύτερη περίπτωση αφορά τον υπολογισμό των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων κατά τη δυσμενέστερη ημέρα του έτους, στην περίπτωση που έχουν ενσωματωθεί τα φ/β στο κτίριο (σε οροφή και πρόσοψη). Σκοπός της προσομοίωσης αυτής είναι να δούμε πως μεταβάλλονται οι απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο λόγω της λειτουργίας των φ/β πλαισίων, μιας και όπως είναι γνωστό, κατά τη λειτουργία τους προκαλούν εκπομπή θερμότητας λόγω αύξησης της θερμοκρασίας τους. Θυμίζετε ότι **ψυκτικό φορτίο ενός χώρου** είναι η θερμική ισχύς που πρέπει να αφαιρείται από το χώρο αυτό, προκειμένου ο αέρας του χώρου να διατηρείται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.^{[69],[124]}

Το σύστημα ή τα συστήματα ψύξης χώρων, που καλύπτουν ένα κτίριο ή τμήμα αυτού, σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται έτσι ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις ψύξης σε δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος (συνθήκες σχεδιασμού θέρους). Οι δυσμενέστερες αυτές συνθήκες περιβάλλοντος προδιαγράφονται στην τεχνική οδηγία του Τ.Ε.Ε. «Κλιματικά δεδομένα για ελληνικές περιοχές». Ο σχεδιασμός του συστήματος ψύξης θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να προβλέπεται η κάλυψη των μερικών φορτίων με τον κατά το δυνατόν καλύτερο βαθμό απόδοσης, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου, το ωράριο λειτουργίας και τη διακύμανση των ψυκτικών αναγκών του. Για κάθε σύστημα ψύξης που χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση όλου του κτιρίου ή μιας θερμικής ζώνης του πρέπει να προσδιορίζονται τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά που εισάγονται ως δεδομένα στους υπολογισμούς της τελικής κατανάλωσης ενέργειας για την ψύξη ή/και κλιματισμό των χώρων.^[69]

Τα συστήματα, ψύξης και κλιματισμού, πρέπει να διαστασιολογούνται έτσι ώστε να καλύπτουν τις ακραίες εποχιακές συνθήκες θερμοκρασίας (θερινή περίοδος) της κάθε περιοχής. Ως ακραίες εποχιακές συνθήκες σχεδιασμού θεωρούνται αυτές που η υπέρβασή τους (εμφάνιση υψηλότερων τιμών αντίστοιχα για θέρος) δεν ξεπερνά σε ποσοστό το 1%, 2%, ή 5% του συνόλου των μετρήσεων όπως ορίζεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 15927.2:2005.^[70]

Για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου ενός χώρου, της θερμότητας δηλαδή που πρέπει να απάγεται ανά ώρα από το χώρο για να εξασφαλιστεί η επιθυμητή μέσα σε αυτόν θερμοκρασία υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες, θα πρέπει αρχικά να καθοριστούν οι συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου. Οι συνθήκες αυτές προκύπτουν από την τεχνική οδηγία του Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης». Η οδηγία αυτή καθορίζει όλες τις παράμετροι που σχετίζονται με τις συνθήκες λειτουργίας ενός κτιρίου οι οποίες απαιτούνται για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός κτιρίου μπορεί να διαφέρουν κατά περίπτωση, ανάλογα τη χρήση και τους χρήστες του κτιρίου. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να καθοριστούν σε εθνικό επίπεδο οι αποδεκτές σύμφωνα με τα πρότυπα συνθήκες λειτουργίας ενός κτιρίου συγκεκριμένης χρήσης.^[69] Για το κτίριο της εφαρμογής μας έχουμε:^[69]

Κλιματική ζώνη: Β (Πόλη: Πάτρα – Αχαΐα) [Πίνακας 1-4 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Χρήση κτιρίου: κατοικία (Μονοκατοικία, πολυκατοικία - κτίριο με περισσότερα του ενός ανεξάρτητα διαμερίσματα) [Πίνακας 1-5 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Περίοδος μελέτης: Θερινή περίοδος – περίοδος ψύξης (λόγω του ότι μελετάμε ψυκτικό φορτίο)

Ωράριο λειτουργίας: 18 ώρες, 7 ημέρες την εβδομάδα, 12 μήνες το χρόνο [Πίνακας 2-1 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Διάρκεια περιόδου ψύξης: 15 Μαΐου μέχρι και τις 15 Σεπτεμβρίου [Παράγραφος 2.3. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Δυσμενέστερες ημερομηνίες θερινής περιόδου: 23 Ιουλίου και 24 Αυγούστου

Θερμοκρασία εσωτερικών χώρων: 26°C (για θερινή περίοδο) [Πίνακας 2-1 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Σχετική υγρασία εσωτερικών χώρων: 45% (για θερινή περίοδο) [Πίνακας 2-1 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Εμβαδό κτιρίου: 42,92m²

Πλήθος ατόμων που κατοικούν στο κτίριο: 5 άτομα/100m² επιφ. δαπέδου (για κτίριο κατοικίας) [Πίνακας 2-3 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Απαιτούμενος νωπός αέρας: 15m³/h/άτομο [Πίνακας 2-3 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού: 6,4W/m² [Πίνακας 2-4 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Εκλύομενη θερμότητα ατόμων: 80W/άτομο [Πίνακας 2-7 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Θερμική ισχύς ηλεκτρικών συσκευών / εξοπλισμού: 4W/m² [Πίνακας 2-8 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010]

Συνολικό εμβαδόν κάλυψης φ/β πλαισίων: (9,8m² στην οροφή, 11 m² στην πρόσοψη. Λήφθηκε επιφάνεια κάλυψης ίση με 10m² και για τις δυο περιπτώσεις, προκειμένου να έχουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα)

Το ψυκτικό φορτίο ενός χώρου προκύπτει από το άθροισμα των φορτίων που οφείλονται:

α) στους εξωτερικούς τοίχους. Οι διαστάσεις και το είδος των εξωτερικών τοίχων συνεισφέρουν στο συνολικό ψυκτικό φορτίο κατά την ποσότητα:

$$Q_{a_i} = K \cdot A \cdot \Delta t_a \quad 5.4$$

Όπου:

Q_{a_i} = ψυκτικό φορτίο εξωτερικών τοίχων κατά την ώρα i (kcal/h)

K = συντελεστής θερμοπερατότητας τοίχου (kcal/ m². °C)

A = εμβαδόν επιφάνειας τοίχου (m^2)

Δt_a = ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά για την ώρα i ($^{\circ}C$)

b) στους εσωτερικούς τοίχους. Οι διαστάσεις και το είδος των εσωτερικών τοίχων συνεισφέρουν στο συνολικό ψυκτικό φορτίο κατά την ποσότητα:

$$Q_{b_i} = K \cdot A \cdot \Delta t_b \quad 5.5$$

Όπου:

Q_{b_i} = ψυκτικό φορτίο εσωτερικών τοίχων κατά την ώρα i (kcal/h)

K = συντελεστής θερμοπερατότητας τοίχου (kcal/ $m^2 \cdot ^{\circ}C$)

A = εμβαδόν επιφάνειας τοίχου (m^2)

Δt_b = ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά σε μη κλιματιζόμενους χώρους για την ώρα i ($^{\circ}C$). Η Δt_b λαμβάνεται ως η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας του μη κλιματιζόμενου χώρου για την ώρα i , μείων τη θερμοκρασία του χώρου.

c) στις οροφές. Οι διαστάσεις και το είδος των εκτεθειμένων οροφών συνεισφέρουν στο συνολικό ψυκτικό φορτίο κατά την ποσότητα:

$$Q_{c_i} = K \cdot A \cdot \Delta t_c \quad 5.6$$

Όπου:

Q_{b_i} = ψυκτικό φορτίο οροφής κατά την ώρα i (kcal/h)

K = συντελεστής θερμοπερατότητας τοίχου (kcal/ $m^2 \cdot ^{\circ}C$)

A = εμβαδόν οροφής (m^2)

Δt_c = ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά οροφής για την ώρα i ($^{\circ}C$). Η Δt_c λαμβάνεται από πίνακες.

d) στα δάπεδα. Οι διαστάσεις και το είδος των δαπέδων συνεισφέρουν στο συνολικό ψυκτικό φορτίο κατά την ποσότητα:

$$Q_{d_i} = K \cdot A \cdot \Delta t_c \quad 5.7$$

Όπου:

Q_{d_i} = ψυκτικό φορτίο δαπέδου κατά την ώρα i (kcal/h)

K = συντελεστής θερμοπερατότητας τοίχου (kcal/ $m^2 \cdot ^{\circ}C$)

A = εμβαδόν επιφάνειας δαπέδου (m^2)

Δt_d = ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά του κλιματιζόμενου χώρου από τη θερμοκρασία του εδάφους για την ώρα i ($^{\circ}C$).

e) στα φορτία από χαραμάδες. Πρόκειται για το ψυκτικό φορτίο που εισέρχεται εντός του κλιματιζόμενου χώρου μέσω χαραμάδων από πόρτες και παράθυρα.

f) στα ανοίγματα. Τα ψυκτικά φορτία από τα ανοίγματα προκύπτουν από το άθροισμα των φορτίων από θερμική αγωγιμότητα και των φορτίων από ακτινοβολία.

$$Q_{e_i} = Q_{e_{\alpha\gamma i}} + Q_{e_{\alpha\kappa i}} \quad 5.8$$

Όπου:

Q_{e_i} = ψυκτικό φορτίο ανοιγμάτων κατά την ώρα i (kcal/h)

$Q_{e_{\alpha\gamma i}}$ = ψυκτικό φορτίο λόγω θερμικής αγωγιμότητας κατά την ώρα i (kcal/h)

$Q_{e_{aki}}$ = ψυκτικό φορτίο λόγω ακτινοβολίας κατά την ώρα i . (kcal/h)

Το ψυκτικό φορτίο λόγω θερμικής αγωγιμότητας κατά την ώρα i προκύπτει από τη σχέση:

$$Q_{e_{agi}} = K \cdot A \cdot \Delta t_{e_{agi}} \quad 5.9$$

Όπου:

$Q_{e_{agi}}$ = ψυκτικό φορτίο λόγω θερμικής αγωγιμότητας κατά την ώρα i (kcal/h)

K = συντελεστής θερμοπερατότητας ανοίγματος (kcal/ m². °C)

A = εμβαδόν επιφάνειας ανοίγματος (m²)

$\Delta t_{e_{agi}}$ = ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά αγωγιμότητας ανοιγμάτων για την ώρα i (°C).

Το ψυκτικό φορτίο $Q_{e_{aki}}$ λόγω θερμικής ακτινοβολίας κατά την ώρα i , προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της επιφάνειας του ανοίγματος με το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από κοινό τζάμι, διορθωμένο από ορισμένους συντελεστές.

g) στο φωτισμό. Τα ψυκτικά φορτία από το φωτισμό σχετίζονται με το είδος του χώρου και τις ώρες λειτουργίας τους. Υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_{fi} = F_{1i} \cdot 1,25 \cdot 0,86 + F_{2i} \cdot 0,86 \quad 5.10$$

Όπου:

Q_{fi} = ψυκτικό φορτίο φωτισμού κατά την ώρα i (kcal/h)

F_{1i} = ισχύς των λαμπτήρων φθορισμού κατά την ώρα i (W)

F_{2i} = ισχύς των λαμπτήρων πυράκτωσης κατά την ώρα i (W)

h) στα φορτία ατόμων. Οι ίδιοι οι άνθρωποι εντός του χώρου που κατοικούν αποτελούν πηγή θερμότητας του χώρου. Η αποδιδόμενη στο χώρο θερμότητα από τα άτομα διακρίνεται σε αισθητή και λανθάνουσα. Το αισθητό και λανθάνον φορτίο ανά άτομο δίνεται από πίνακες.

ι) στα φορτία συσκευών. Οι διάφορες ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν εντός του κλιματιζόμενου χώρου προσθέτουν ψυκτικό φορτίο ανάλογα της ισχύς τους και της χρονικής διάρκειας που λειτουργούν. Και το φορτίο των συσκευών διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Η αποδιδόμενη στο χώρο θερμότητα από τα άτομα διακρίνεται σε αισθητή και λανθάνουσα. Τα φορτία αυτά προκύπτουν από πίνακες ανάλογα με το πλήθος των συσκευών και τη χρήση τους.

Για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων φορτίων ψύξης, το κτίριο χωρίζεται σε «θερμικές ζώνες», σε χώρους δηλαδή με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Για το διαχωρισμό του κτιρίου σε θερμικές ζώνες συνιστάται να ακολουθούνται οι παρακάτω γενικοί κανόνες:^[69]

- Ο διαχωρισμός του κτιρίου να γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών, προκειμένου να επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο.
- Για να γίνει διαχωρισμός της μίας θερμικής ζώνης από την άλλη θα πρέπει να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεγαλύτερη από 4 °C. Σε περίπτωση ίδιων

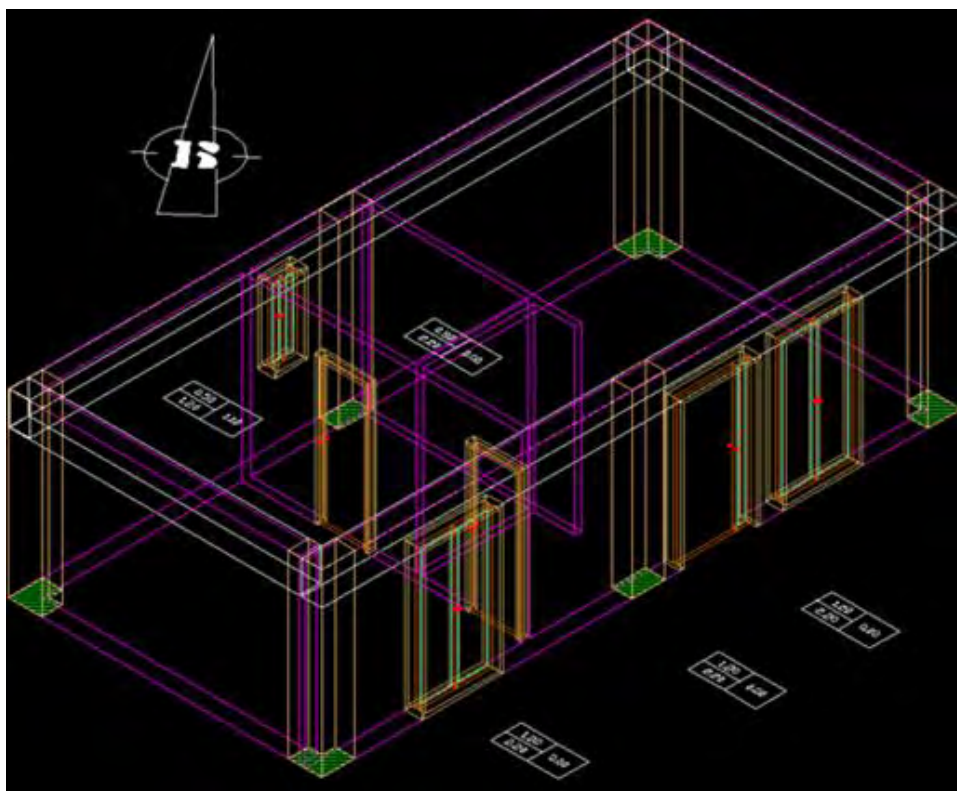
εσωτερικών θερμοκρασιών σε δυο διαφορετικούς χώρους, τότε οι χώροι αυτοί λαμβάνονται ως μια θερμική ζώνη.

- Τμήματα του κτιρίου με όγκο μικρότερο από το 10% του συνολικού όγκου του κτηρίου να εξετάζονται ενταγμένα σε άλλες θερμικές ζώνες, κατά το δυνατόν παρόμοιες, ακόμη και αν οι συνθήκες λειτουργίας τους δικαιολογούν τη θεώρησή τους ως ανεξάρτητων ζωνών.

Η απεικόνιση των θερμικών ζωνών γίνεται επάνω στα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου. Τα γεωμετρικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων είναι οι επιφάνειες όλων των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων ανά θερμική ζώνη και προσανατολισμό, τα μήκη των θερμογεφυρών που εμφανίζονται, καθώς και ο όγκος του κτιρίου. Μετά τον καθορισμό των απαιτούμενων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κτιρίου θα πρέπει να καθορίσουμε τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών του στοιχείων.^[69]

Για κάθε δομικό στοιχείο που διαχωρίζει μία θερμική ζώνη του κτιρίου με τον εξωτερικό αέρα, με το έδαφος και με τους μη θερμαινόμενους χώρους θα πρέπει να προσδιοριστούν οι θερμοφυσικές ιδιότητες τόσο των επί μέρους στρώσεων που το συνθέτουν, όσο και της συνολικής διατομής. Πιο συγκεκριμένα για κάθε δομικό στοιχείο που αναφέρθηκε παραπάνω, υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας, U-value, με τον τρόπο που αναλύεται στην τεχνική οδηγία «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων».^[69]

Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες και ο προσδιορισμός των απαραίτητων γεωμετρικών και θερμοφυσικών χαρακτηριστικών του προκειμένου να έχουμε μια ολοκληρωμένη θερμογραφική εικόνα του κτιρίου, πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό FINE 10 NG. Η τρισδιάστατη αυτή δομή του κτιρίου της εφαρμογής μας παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5-22. Τρισδιάστατη δομή του κτιρίου της εφαρμογής μας για τον καθορισμό της θερμογραφικής του εικόνας

Το κτίριο αποτελεί ολόκληρο μια θερμική ζώνη, μιας και οι εσωτερικοί του χώροι έχουν την ίδια επιθυμητή θερμοκρασία (26°C).

Στη συνέχεια και με το λογισμικό ADAPT της εταιρείας 4M υπολογίσθηκε το απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο για τις δυο δυσμενέστερες ημέρες του έτους (23/Ιουλ και 24/Αυγ.) σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις.

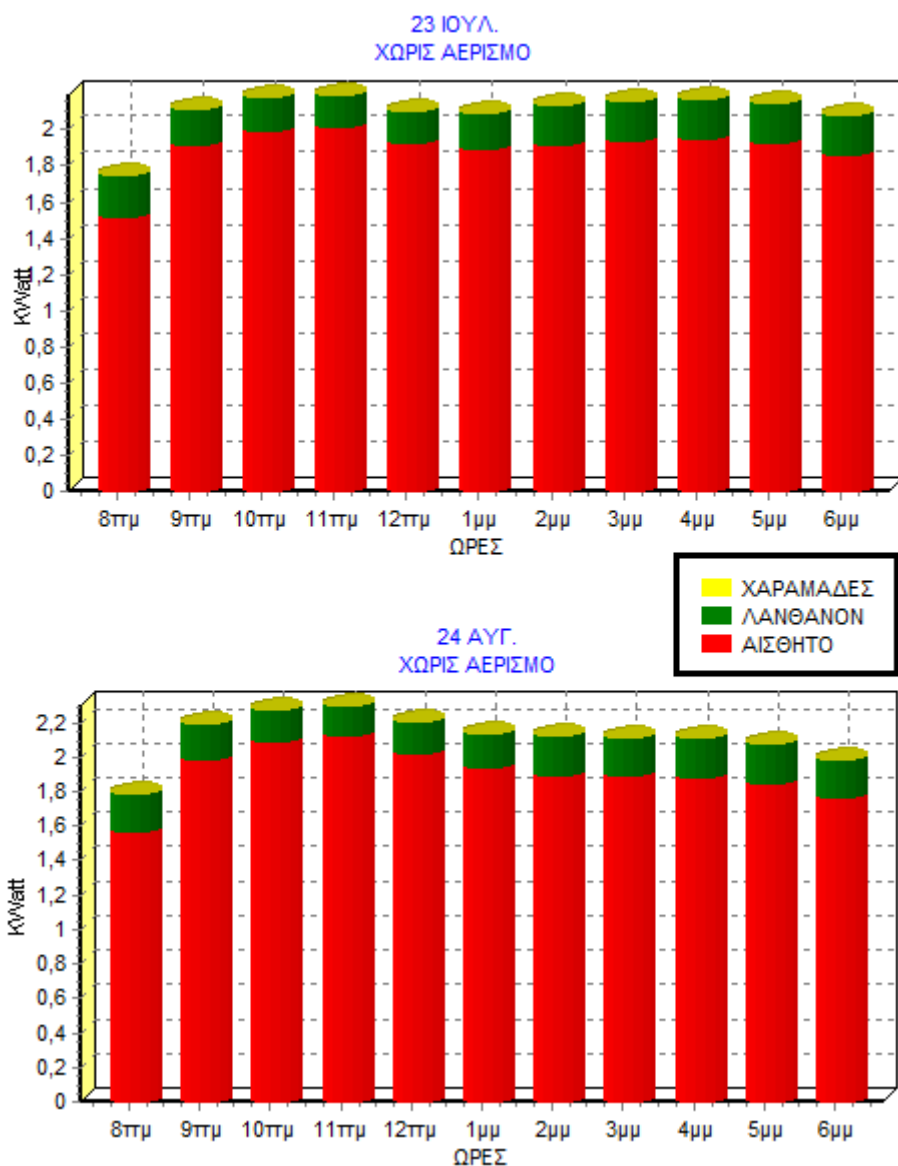
- *Περίπτωση 1: κτίριο χωρίς ϕ/β*
- *Περίπτωση 2: κτίριο με ενσωμάτωση ϕ/β στην οροφή του*
- *Περίπτωση 3: κτίριο με ενσωμάτωση ϕ/β στην πρόσοψή του*

Η διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας για τις δυο δυσμενέστερες ημέρες της θερινής περιόδου προσδιορίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα και παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα (με γραμματοσειρά bold είναι η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας της ημέρας).

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-1									
Εξωτερική θερμοκρασία για τις δυο δυσμενέστερες ημέρες της θερινής περιόδου									
Ω ρα Hμ/νία	9πμ	10πμ	11πμ	12πμ	1μμ	2μμ	3μμ	4μμ	5μμ
23 Ιουλίου	22.7	24.4	26.4	28.6	30.7	32.3	33.3	33.7	33.3
24 Αυγούστου	22.4	24.1	26.0	28.2	30.3	31.9	32.9	33.3	32.9

Περίπτωση 1: κτίριο χωρίς ϕ/β

- 1α) χωρίς φυσικό αερισμό

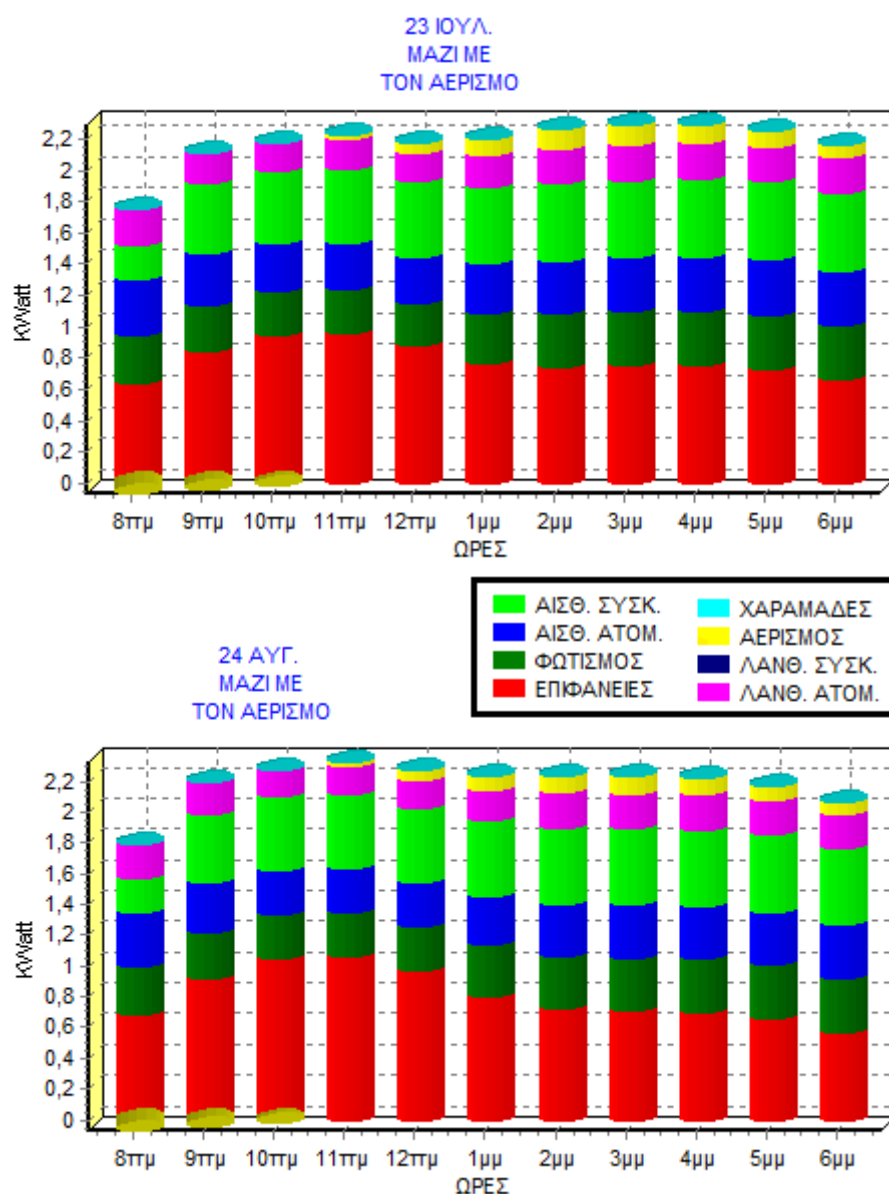


Εικόνα 5-23. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό για την περίπτωση 1

Μέγιστες τιμές διαγραμμάτων περίπτωσης 1α:

23 Ιουλίου: **2,2kW**
 24 Αυγούστου: **2,3kW**

- 1β) με φυσικό αερισμό (άνοιγμα παραθύρων σε ποσοστό 5%)



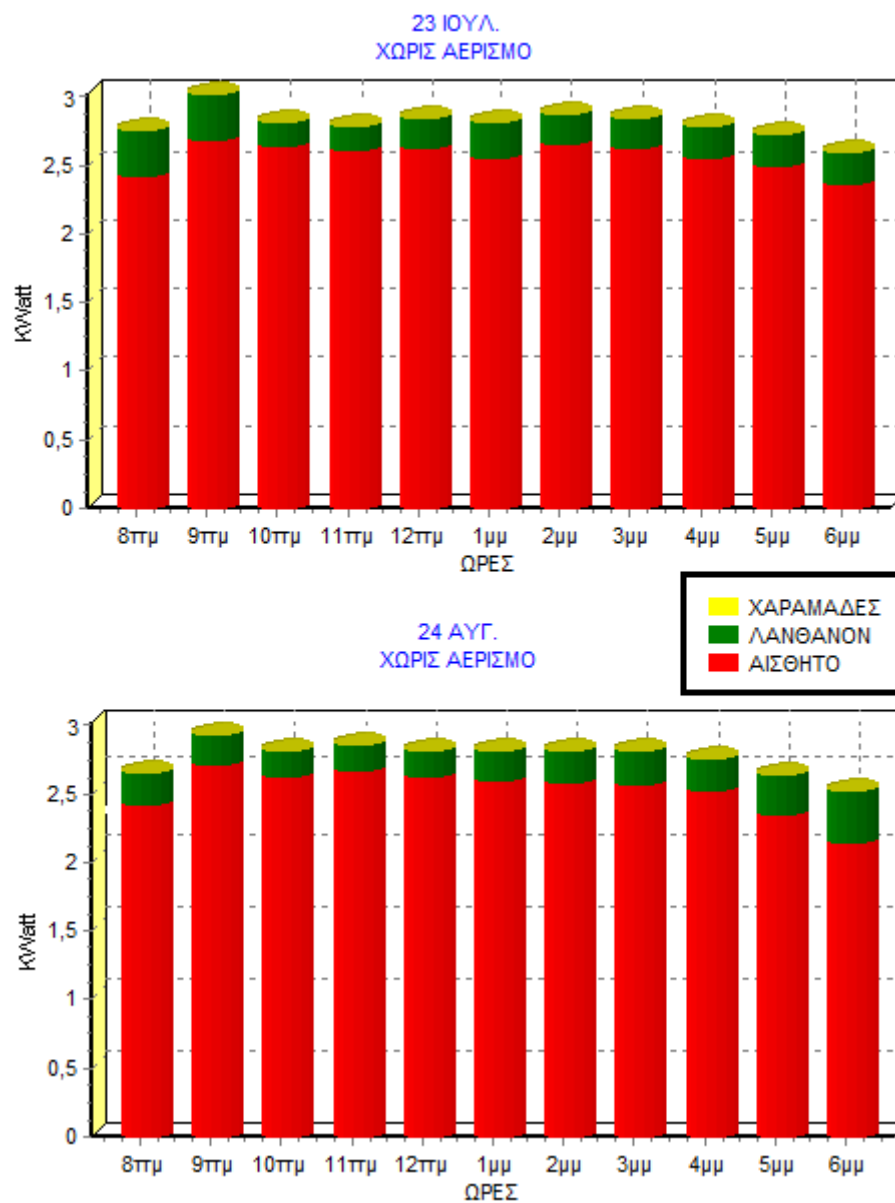
Εικόνα 5-24. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου με φυσικό αερισμό για την περίπτωση 1

Μέγιστες τιμές διαγραμμάτων περίπτωσης 1β:

23 Ιουλίου: **2,2kW**
24 Αυγούστου: **2,3kW**

Περίπτωση 2: κτίριο με ενσωμάτωση φ/β στην οροφή του

- 2α) χωρίς φυσικό αερισμό

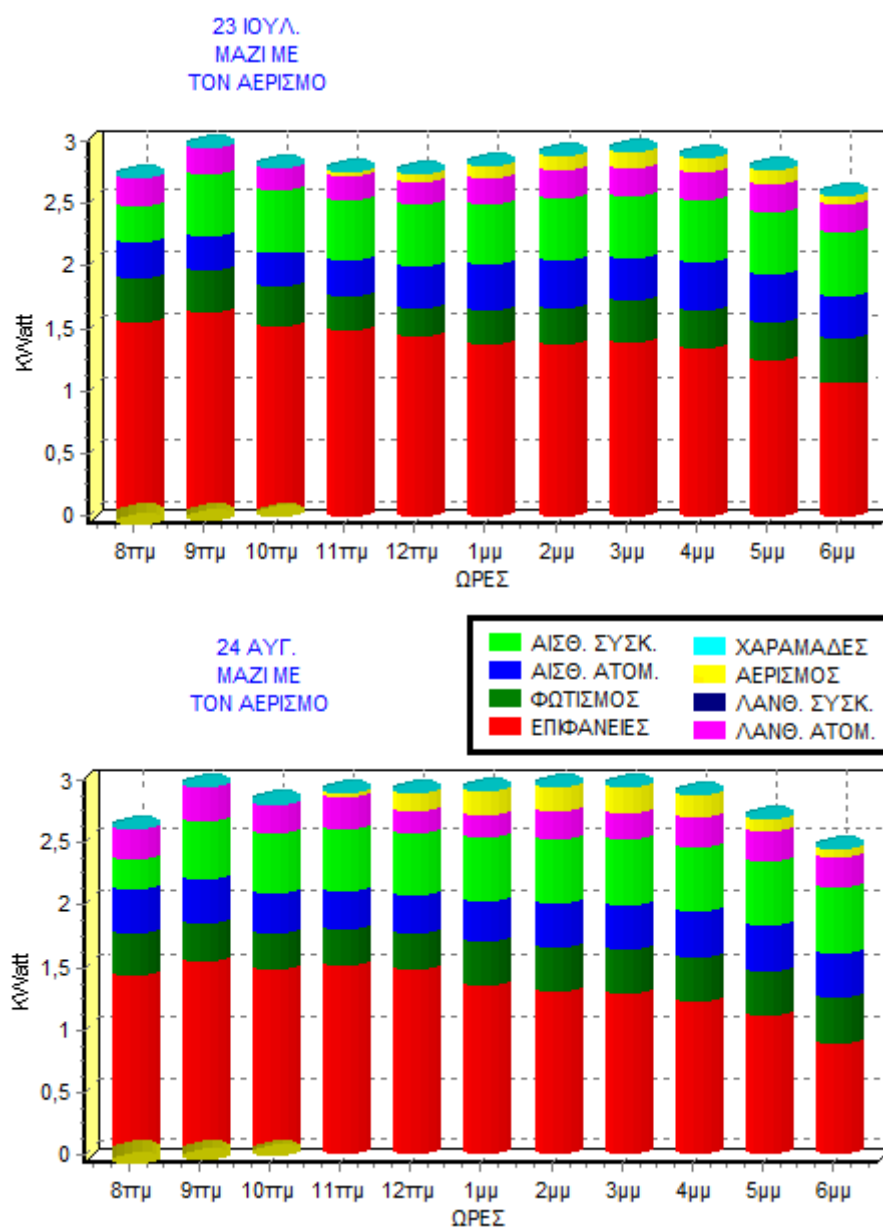


Εικόνα 5-25. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό για την περίπτωση 2

Μέγιστες τιμές διαγραμμάτων περίπτωσης 2α:

23 Ιουλίου: **3,0kW**
24 Αυγούστου: **2,9kW**

- 2β) με φυσικό αερισμό (άνοιγμα παραθύρων σε ποσοστό 5%)



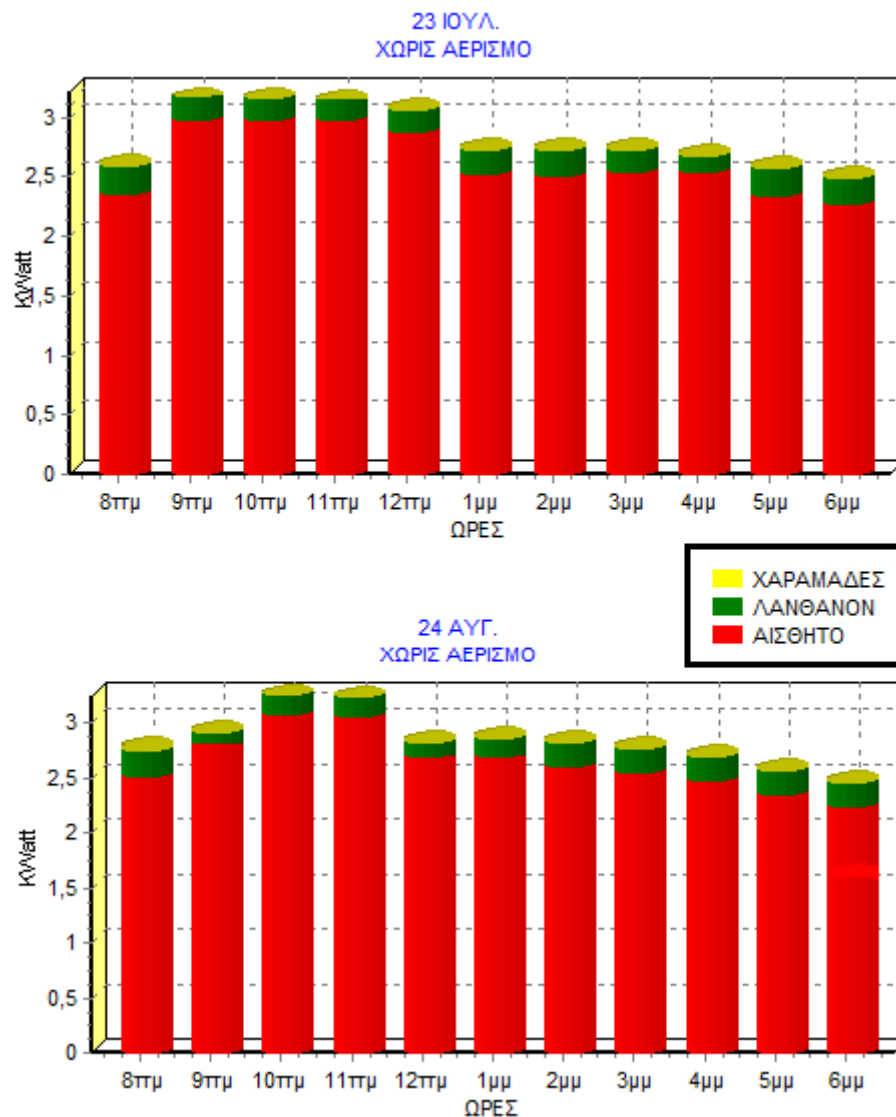
Εικόνα 5-26. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου με φυσικό αερισμό για την περίπτωση 2

Μέγιστες τιμές διαγραμμάτων περίπτωσης 2β:

23 Ιουλίου: **2,95kW**
24 Αυγούστου: **2,95kW**

Περίπτωση 3: κτίριο με ενσωμάτωση φ/β στην πρόσοψή του

- 3α) χωρίς φυσικό αερισμό

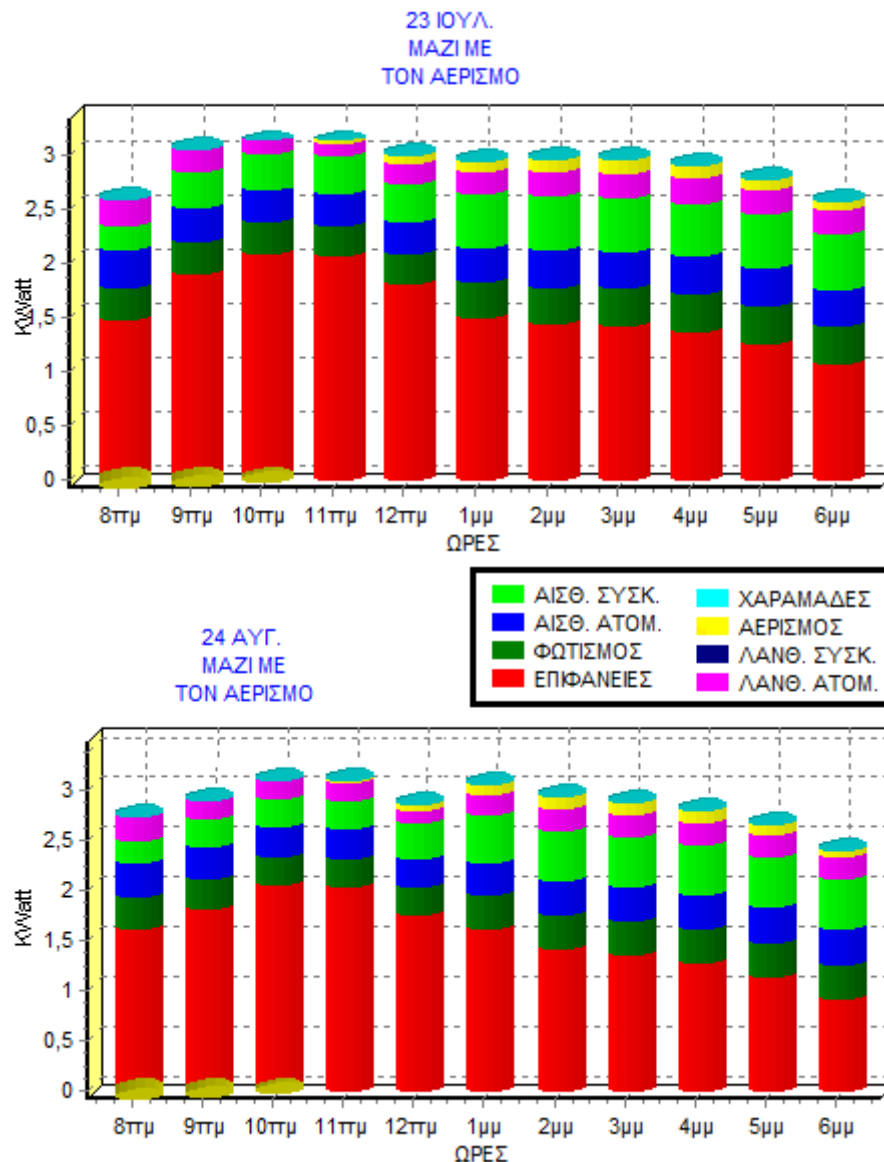


Εικόνα 5-27. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό για την περίπτωση 3

Μέγιστες τιμές διαγραμμάτων περίπτωσης 3α:

23 Ιουλίου: **3,1kW**
24 Αυγούστου: **3,2kW**

- 3β) με φυσικό αερισμό (άνοιγμα παραθύρων σε ποσοστό 5%)



Εικόνα 5-28. Διαγράμματα συγκεντρωτικών ψυκτικών φορτίων κτιρίου με φυσικό αερισμό για την περίπτωση 3

Μέγιστες τιμές διαγραμμάτων περίπτωσης 3β:

23 Ιουλίου: **3,05kW**
24 Αυγούστου: **3,15kW**

Γενική παρατήρηση για τον υπολογισμό των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων της κάθε περίπτωσης

Ο μόνος τρόπος για να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την επίδραση της λειτουργίας των φ/β πλαισίων με το λογισμικό ADAPT είναι να θεωρήσουμε μια επιφάνεια ίση με αυτή που καλύπτουν τα φ/β πλαίσια (10m^2 σε κάθε περίπτωση ενσωμάτωσης) η οποία αποτελείται από φιμέ τζάμι. Η θεώρηση αυτή μας επιτρέπει να ορίσουμε στο πρόγραμμα θερμοκρασία στην κάτω πλευρά του φιμέ τζαμιού

(εσωτερική πλευρά στο κτίριο) όσο εμείς θέλουμε. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα εργασίας του Εργαστηρίου Ηλιακής Ενέργειας, εκτιμάται ότι η ανύψωση της θερμοκρασίας στην πίσω πλευρά των φ/β πλαϊσίων είναι μεγαλύτερη για την επικλινή οροφή και μπορεί να προσεγγιστεί στους $+25^{\circ}\text{C}$ υπεράνω της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ως μέση ετήσια, καθώς η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα φ/β πλαίσια είναι σχετικά μικρή για το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Για την εγκατάσταση στην πρόσοψη η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα φ/β πλαίσια είναι μεγαλύτερη και κυρίως την περίοδο υψηλής ηλιοφάνειας (θέρος) και έτσι εκτιμάται ως μέση ετήσια στους $+15^{\circ}\text{C}$ υπεράνω της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.^[22]

5.6. Προσομοίωση ροής θερμού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου

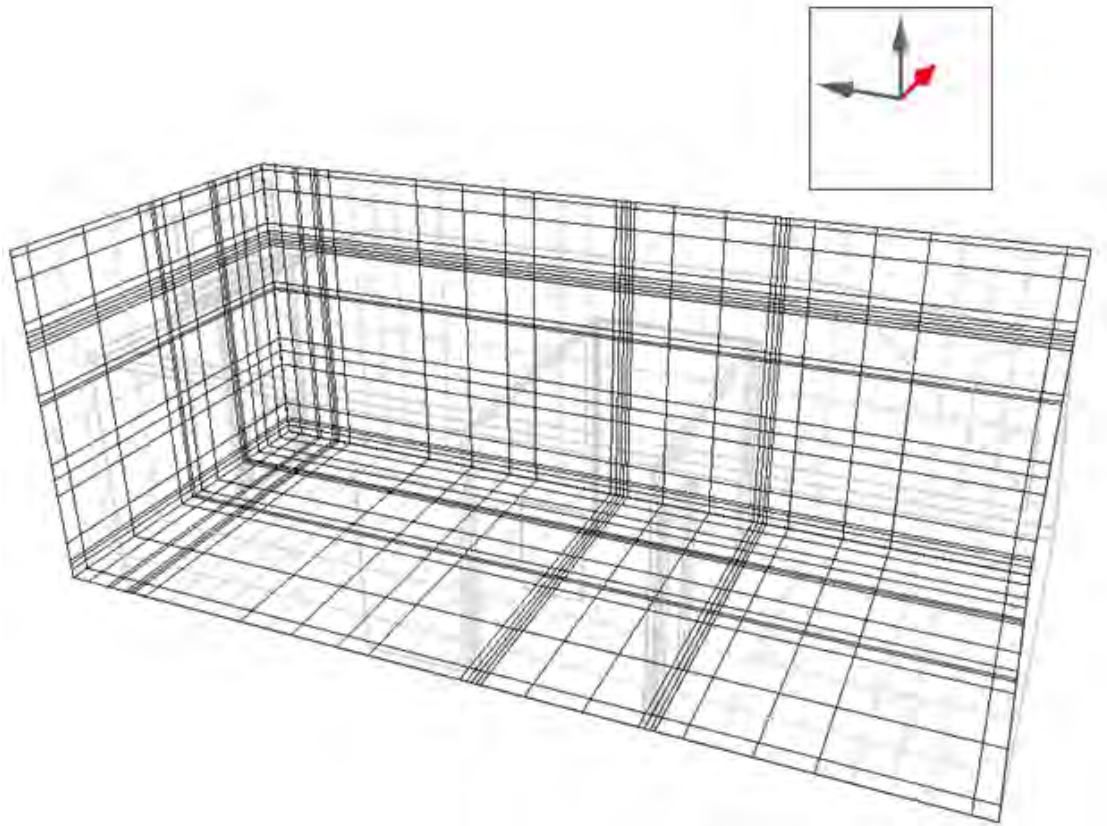
Η τελευταία προσομοίωση αφορά τη ροή θερμού αέρα εσωτερικά του κτιρίου από τη λειτουργία των φ/β είτε όταν αυτά ενσωματώνονται στην οροφή του είτε όταν ενσωματώνονται στην πρόσοψή του. Όπως και για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων, έτσι και οι υπολογισμοί ροής θερμού αέρα θα γίνουν για τις δυσμενέστερες ημέρες της θερινής περιόδου. Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης αυτής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Desing Builder, αφού πρώτα έγινε εισαγωγή σε αυτό της κάτοψης του κτιρίου που σχεδιάστηκε αρχικά με το λογισμικό Autocad. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την ολοκληρωμένη τρισδιάστατη μορφή του κτιρίου της εφαρμογής στο λογισμικό Desing Builder.



Εικόνα 5-29. Κατασκευή της τρισδιάστατης μορφής του κτιρίου με το λογισμικό Desing Builder μετά από εισαγωγή της κάτοψής του από το λογισμικό Autocad.

Μετά από την κατασκευή της τρισδιάστατης δομής του κτιρίου, για να πραγματοποιηθεί η μελέτη ροής θερμού αέρα με πεπερασμένα στοιχεία είναι απαραίτητο να οριστεί και ο κάνναβος με τα επιμέρους στοιχεία του. Για τις συγκεκριμένες αναλύσεις τα πεπερασμένα στοιχεία ήταν κυβικής μορφής διαστάσεων $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}$. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα χρήσης κάνναβου μεταβλητών διαστάσεων έτσι ώστε στα σημεία άμεσου ενδιαφέροντος η πυκνότητα των στοιχείων να είναι μεγαλύτερη, ενώ στα σημεία μειωμένου ενδιαφέροντος η πυκνότητα των

στοιχείων να είναι μικρότερη, επιτυγχάνοντας έτσι μια αισθητή μείωση του χρόνου πραγματοποίησης των υπολογισμών Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η μορφή του κάνναβου που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 5-30. Ο εν λόγω κάνναβος για τη μελέτη πεπερασμένων στοιχείων

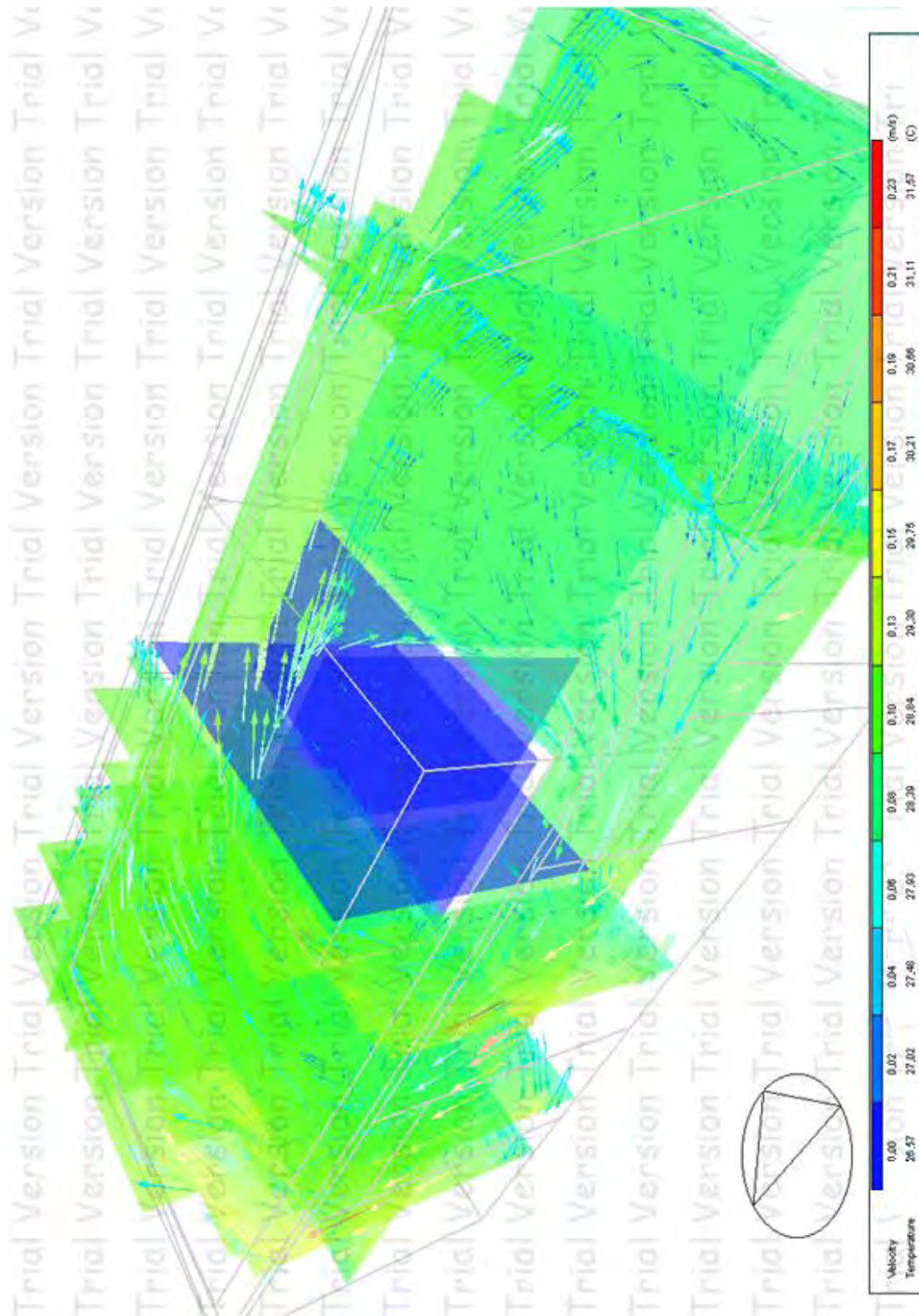
Στα σημεία που αναμένεται σημαντική ροή του ρευστού (ακμές του κτιρίου, ανοίγματα κ.α.) το πρόγραμμα αυτόματα πραγματοποιεί πύκνωση της κάνναβου, ενώ στις περιοχές που δεν αναμένεται σημαντική ροή ρευστού ο κάνναβος γίνεται πιο αραιός.

Και στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται η ροή θερμού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις.

- *Περίπτωση 1: κτίριο χωρίς ϕ/β*
- *Περίπτωση 2: κτίριο με ενσωμάτωση ϕ/β στην οροφή του*
- *Περίπτωση 3: κτίριο με ενσωμάτωση ϕ/β στην πρόσοψή του*

Η προσομοίωση αφορά τη μια από τις δυο δυσμενέστερες ημέρες της θερινής περιόδου (23 Ιουλίου).

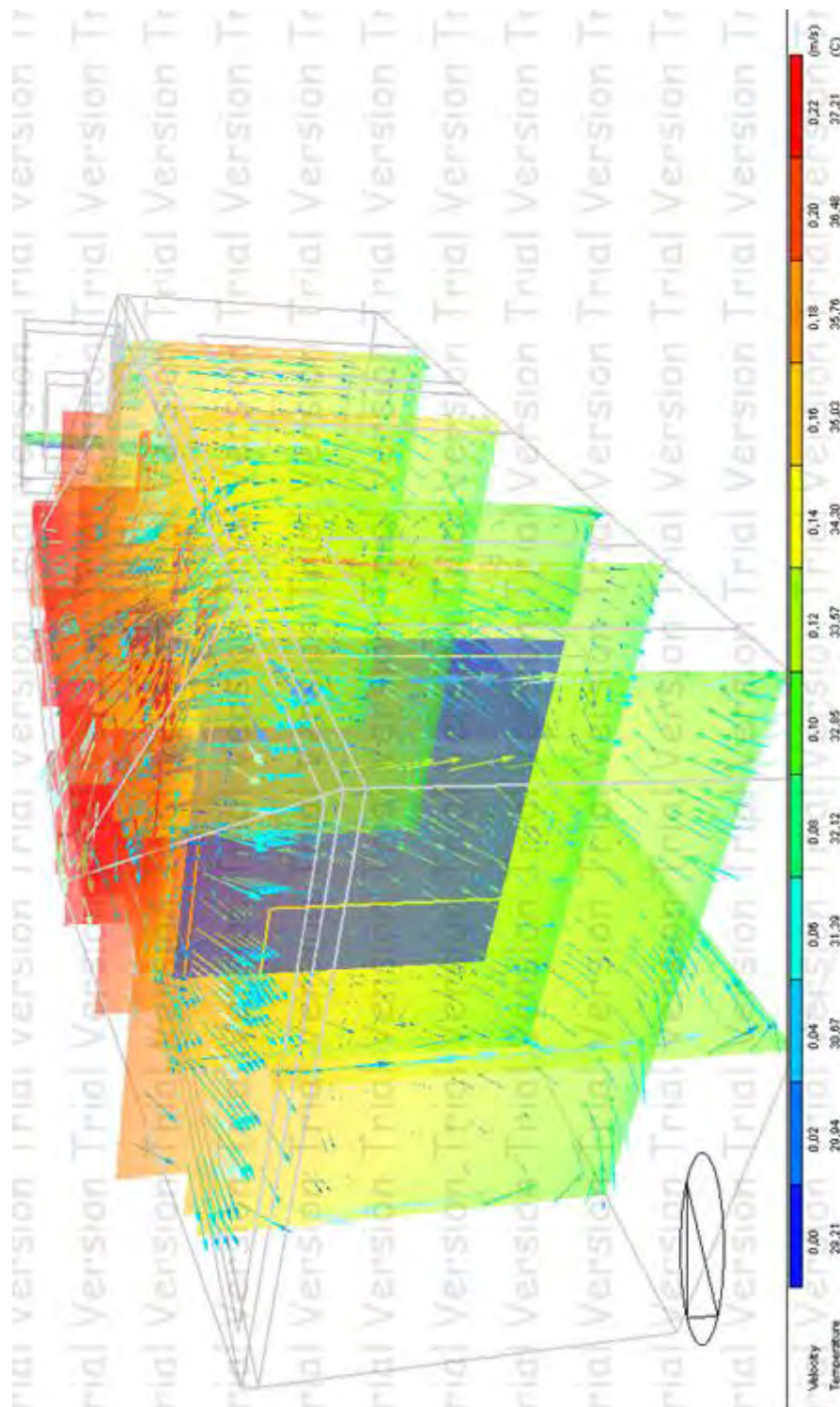
Περίπτωση 1: κτίριο χωρίς φ/β



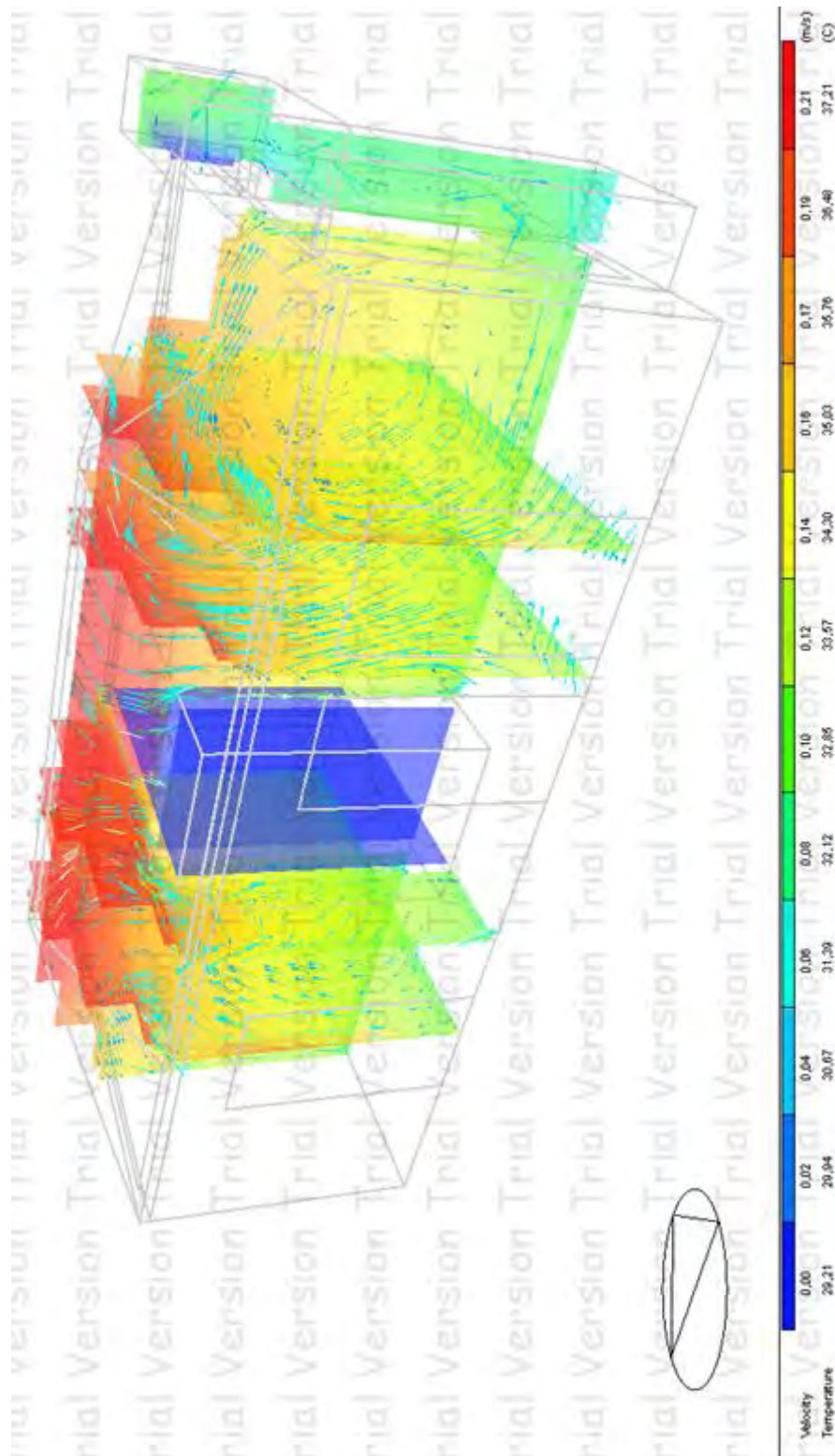
Εικόνα 5-31. Ροή θερμότητας κατά την πρώτη περίπτωση προσομοίωσης

Μέγιστη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου για την περίπτωση 1: 31,57°C
Ελάχιστη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου για την περίπτωση 1: 26,57°C

Περίπτωση 2: κτίριο με ενσωμάτωση φ/β στην οροφή του



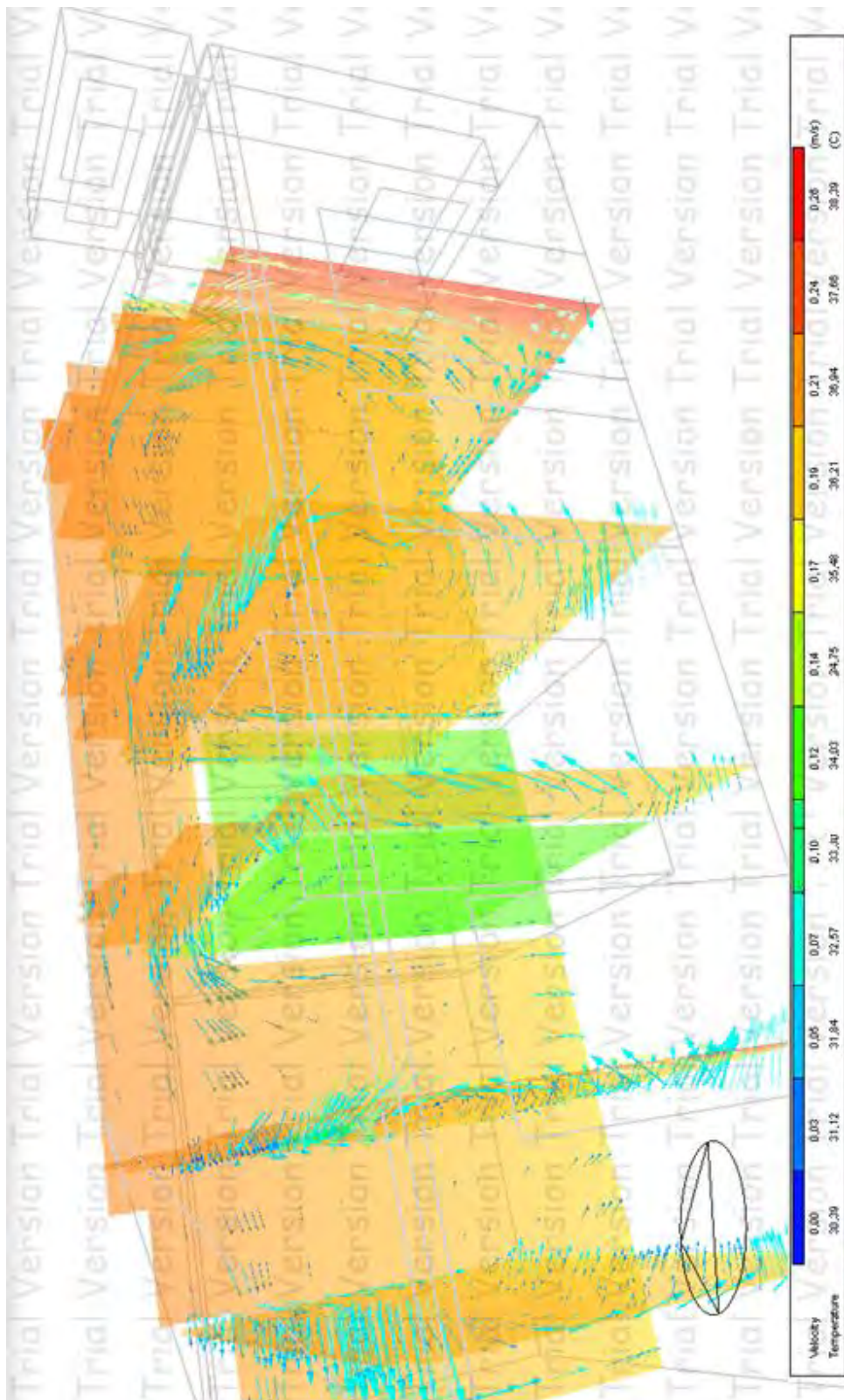
Εικόνα 5-32. Ροή θερμότητας κατά τη δεύτερη περίπτωση προσομοίωσης



Εικόνα 5-33. Ροή θερμότητας κατά τη δεύτερη περίπτωση προσομοίωσης

Μέγιστη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου για την περίπτωση 2: 37,21°C
Ελάχιστη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου για την περίπτωση 2: 29,21°C

Περίπτωση 3: κτίριο με ενσωμάτωση φ/β στην πρόσοψή του



Εικόνα 5-34. Ροή θερμότητας κατά την τρίτη περίπτωση προσομοίωσης

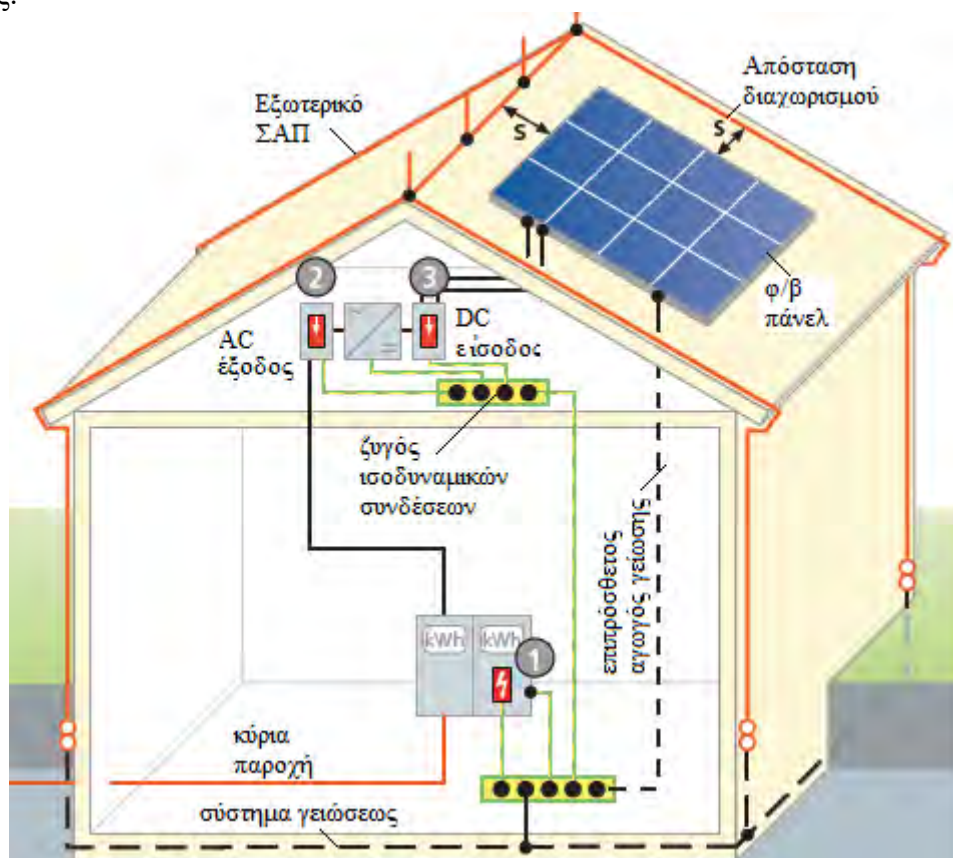
Μέγιστη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου για την περίπτωση 3: 38,39°C
Ελάχιστη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου για την περίπτωση 3: 30,39°C

5.7. Προστασία ενσωματωμένου φ/β συστήματος από κεραυνούς και κρουστικές υπερτάσεις

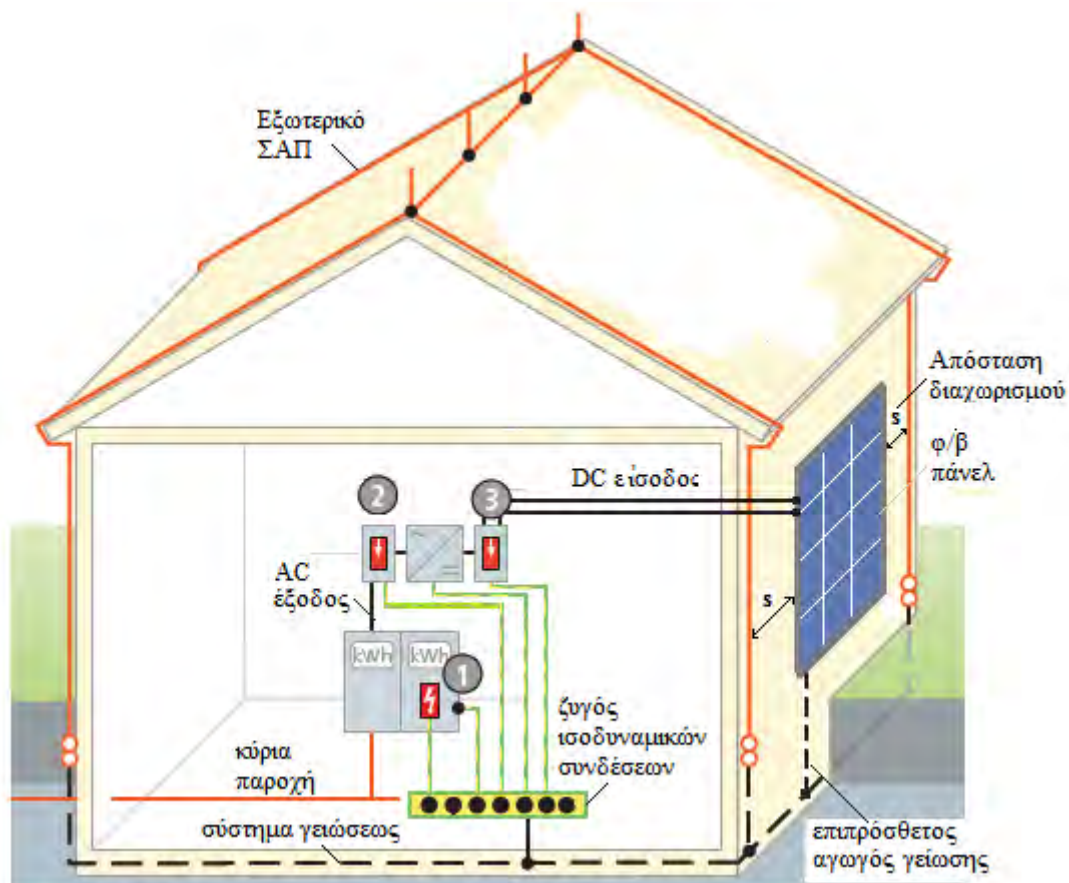
Στην παράγραφο αυτή προτείνονται ενδεικτικά μέσα για την προστασία ολόκληρου του φ/β συστήματος του κτιρίου της εφαρμογής (πλαίσια – ηλεκτρονικός εξοπλισμός), τόσο από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα, όσο και από τις αναπτυσσόμενες κρουστικές υπερτάσεις από το ρεύμα του κεραυνού. Τα μέσα αυτά δεν υποκαθιστούν την πλήρη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας του κτιρίου και προέρχονται από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Πιο αναλυτικά:

α) Προστασία κτιρίου (μαζί με τα ενσωματωμένα σε αυτό φ/β πλαίσια)

Για την προστασία των φ/β πλαισίων και εν γένει του κτιρίου ολόκληρου από τα άμεσα πλήγματα κεραυνών, συστήνεται η εγκατάσταση *Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ)*, μιας και όπως ορίζει το πρότυπο IEC 62305-1, το ΣΑΠ αποτελεί τη βασικότερη και αποδοτικότερη μέθοδο προστασίας κατασκευών από κεραυνούς. Η κατηγορία του ΣΑΠ (class of LPS) προκύπτει ανάλογα με την στάθμη προστασίας του ΣΑΠ η οποία θα προκύψει έπειτα από ανάλυση κινδύνου όπως ορίζει το πρότυπο IEC 62305-2. Σχηματική απεικόνιση του πλήρες ΣΑΠ για την προστασία των πλαισίων και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού του φ/β συστήματος για τους δυο τρόπους ενσωμάτωσης των πλαισίων σε αυτό παρουσιάζεται στις επόμενες δυο εικόνες.



Εικόνα 5-35. Ενδεικτικά μέσα προστασίας φ/β συστήματος του κτιρίου της εφαρμογής, από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και τις αναπτυσσόμενες κρουστικές υπερτάσεις (ενσωμάτωση πλαισίων σε στέγη)



Εικόνα 5-36. Ενδεικτικά μέσα προστασίας φ/β συστήματος του κτιρίου της εφαρμογής, από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και τις αναπτυσσόμενες κρουστικές υπερτάσεις (ενσωμάτωση πλαισίων σε πλάγια όψη)

Όσον αφορά το σύστημα συλλήψεως του εξωτερικού ΣΑΠ, προτείνεται η χρήση πλέγματος στην επικλινή στέγη, διαστάσεων βρόχου ανάλογα με την κατηγορία του ΣΑΠ. Η χρήση πλέγματος αγωγών ως σύστημα συλλήψεως προτείνεται μιας και το κτίριο της εφαρμογής διαθέτει επίπεδες επιφάνειες. Η χωροθέτηση του πλέγματος στη στέγη θα πρέπει να γίνει με τρόπο έτσι ώστε όλα τα πλαίσια να βρίσκονται εντός της ζώνης προστασίας του. Το σύστημα συλλήψεως θα πρέπει να εγκαθίσταται έτσι ώστε να προκαλεί τη λιγότερη δυνατή σκίαση στα φ/β πλαίσια. Όσον αφορά την ενσωμάτωση των πλαισίων στην πρόσοψη του κτιρίου, λόγω του μικρού ύψους του δεν απαιτείται επέκταση του συστήματος συλλήψεως χαμηλότερα της στέγης και τα πλαίσια προστατεύονται από το υπάρχον σύστημα συλλήψεως. Ανάμεσα στα μεταλλικά μέρη του φ/β συστήματος και τους αγωγούς του συστήματος συλλήψεως θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι θα διατηρηθούν οι ελάχιστες αποστάσεις διαχωρισμού. Στις περιπτώσεις που η απόσταση διαχωρισμού δεν μπορεί να τηρηθεί εξαιτίας των συνθηκών της εγκατάστασης, τότε μόνο θα πραγματοποιείται μια άμεση αγωγίμη σύνδεση μεταξύ του εξωτερικού ΣΑΠ και του εκάστοτε μεταλλικού στοιχείου της φ/β εγκατάστασης. Πέραν της τήρησης των ελαχίστων αποστάσεων διαχωρισμού μεταξύ του εξωτερικού ΣΑΠ και των μεταλλικών μερών του φ/β συστήματος, η απόσταση διαχωρισμού θα πρέπει να τηρούνται και για τα λοιπά μέρη του κτιρίου, όπως υδρορροές, κεραίες κ.α. Για την αποτελεσματικότερη γείωση των φ/β πλαισίων χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό (επιπρόσθετο) ηλεκτρόδιο που συνδέει τα φ/β πλαίσια με το σύστημα γείωσης του εξωτερικού ΣΑΠ.

Όσον αφορά το σύστημα αγωγών καθόδου του εξωτερικού ΣΑΠ, συνίσταται η τοποθέτηση αγωγών καθόδου στις τέσσερις ακμές περιμετρικά του κτιρίου, καθώς και σε ενδιάμεσες θέσεις στις προσόψεις του, εφόσον δεν πληρούνται οι απαιτήσεις της ελάχιστης μεταξύ τους απόστασης ανάλογα την κατηγορία του ΣΑΠ.

β) προστασία ηλεκτρονικού εξοπλισμού φ/β συστήματος από κρουστικές υπερτάσεις λόγω της ροής του ρεύματος του κεραυνού στο σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας

Πιθανά σημεία τοποθέτησης των συσκευών προστασίας (SPD) είναι:

- SPD class 1: Μετρητής κύριας παροχής ρεύματος (θέση 1 εικόνα 4-35)
- SPD class 2: Στην DC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 3 εικόνα 4-35)
- SPD class 2: Στην AC πλευρά του αντιστροφέα (θέση 2 εικόνα 4-35)

Αναλυτικότερα:

Όσον αφορά εγκατάσταση απαγωγών υπερτάσεων για την προστασία της AC και DC πλευράς του αντιστροφέα, ισχύουν οι ειδικές παρατηρήσεις της παραγράφου 4.9.2.

5.8. Συμπεράσματα

Στη συνέχεια ακολουθούν τα συμπεράσματα που εξάγονται από τις πιο πάνω προσομοιώσεις.

5.8.1. Συμπεράσματα προσομοίωσης ηλεκτρικής απόδοσης (ετήσιας παραγόμενης ενέργειας)

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτής παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-2		
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης ηλεκτρικής απόδοσης		
Τρόπος ενσωμάτωσης	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Συνολικός βαθμός απόδοσης (%)
Οροφή (κλίση 25°)	1736	76,5
Πλαϊνή όψη (κλίση 90°)	978	73,9

Όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο, η απόδοση των φ/β πλαισίων σχετίζεται με τον προσανατολισμό και την κλίση τους. Όσον αφορά τον προσανατολισμό, για τις περιοχές που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο, όπως είναι γνωστό, βέλτιστη απόδοση των πλαισίων υπάρχει όταν αυτά 'βλέπουν' προς το Νότο. Γι' αυτό το λόγο και στις δυο περιπτώσεις προσομοίωσης, τα φ/β πλαίσια έχουν

τοποθετηθεί είτε στη νότια πλευρά στέγης είτε στη νότια πλευρά της πλαϊνής πλευράς του κτιρίου. Όσον αφορά την κλίση των πλαισίων, για το βόρειο ημισφαίριο, βέλτιστη απόδοση των πλαισίων έχουμε όταν αυτή είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Για την περίπτωση του κτιρίου της εφαρμογής της παρούσας εργασίας, μεγαλύτερη απόδοση προφανώς θα έχουν τα φ/β πλαίσια όταν ενσωματώνονται στην οροφή, μιας και στην περίπτωση αυτή βρίσκονται αναγκαστικά σε κλίση ίδια με την οροφή (25°) η οποία προσεγγίζει περισσότερο αυτή του γεωγραφικού πλάτους της Πάτρας (38,2°). Κατά την ενσωμάτωση των φ/β πλαισίων στην πλαϊνή πλευρά του κτιρίου (νότιος προσανατολισμός, κλίση πλαισίων 90°) παρατηρείται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ελαττώνεται κατά ποσοστό 43,6%. Η παραγόμενη ενέργεια στην πρόσοψη αποτελεί $978/1736=56,3\%$ της παραγόμενης ενέργειας στην οροφή, ποσοστό που προσεγγίζει το εκτιμώμενο ποσοστό μείωσης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο 60% της μέγιστης, όπως παρουσιάζει και η εικόνα 2-25 του δεύτερου κεφαλαίου, όταν τα πλαίσια ενσωματώνονται στο κτίριο με κλίση 90° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Εξάλλου, από το διάγραμμα σκιασμού και τον πίνακα συντελεστών σκίασης κατά την πλαϊνή ενσωμάτωση των πλαισίων παρατηρείται ότι για μεγάλο μέρος της ημέρας αυτά βρίσκονται πίσω από τον ήλιο και δεν αποδίδουν ηλεκτρική ενέργεια. Ακόμα και στις περιπτώσεις εκείνες που τα πλαίσια δεν σκιάζονται καθόλου (συντελεστής σκίασης ίσος με τη μονάδα), λόγω της μεγάλης τους κλίσης (90°) η ακτινοβολία σε αυτά δεν προσπίπτει κάθετα, οδηγώντας τα πλαίσια σε μειωμένη απόδοση. Παρατηρώντας το αντίστοιχο διάγραμμα και τον πίνακα σκιασμού της ενσωμάτωσης των πλαισίων στην οροφή του κτιρίου, προκύπτει ότι μόνο για ένα μικρό διάστημα υπάρχει πλήρη σκίαση των πλαισίων (λόγω της καμινάδας) ενώ τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας τα πλαίσια δουλεύουν, ακόμα και με ένα μικρό ποσοστό σκίασης.

Η επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της ανύψωσης της θερμοκρασίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν μελετηθεί στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας^[22] του τμήματος Φυσικού του Παν. Πατρών και έχουν προταθεί μέθοδοι βελτίωσης της αποδοτικότητάς τους, κυρίως με την απαγωγή της θερμότητας με αέρα και την συμβολή ειδικών προσαρτήσεων εντός του αεραγωγού πίσω από το φβ πλαίσιο.^[23] Με την προσθήκη πτερυγίων στην απέναντι επιφάνεια του διαμορφούμενου αεραγωγού πίσω του φ/β πλαισίου, επιτυγχάνεται αύξηση της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας και καλύτερη θέρμανση του αέρα. Επίσης, με την τοποθέτηση λεπτού μεταλλικού φύλλου στην μέση του αεραγωγού, εκτός από την βελτίωση της θέρμανσης του αέρα μειώνεται και η θερμοκρασία του φ/β πλαισίου. Ακόμη, υπάρχει και η δυνατότητα να γίνεται ψύξη του φ/β πλαισίου άλλοτε με νερό (την θερινή περίοδο) και άλλοτε (κυρίως τον χειμώνα) με αέρα.^[24]

5.8.2. Συμπεράσματα μελέτης υπολογισμού ψυκτικών φορτίων

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα της μελέτης ψυκτικών φορτίων παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3		
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μελέτης υπολογισμού ψυκτικών φορτίων (συνολικό απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο σε kW)		
Τρόπος ενσωμάτωσης	Χωρίς αερισμό	Με φυσικό αερισμό
Καθόλου ενσωμάτωση	23 Ιουλίου: 2,2	23 Ιουλίου: 2,2
	24 Αυγούστου: 2,3	24 Αυγούστου: 2,3
Οροφή (κλίση 25°)	23 Ιουλίου: 3,0	23 Ιουλίου: 2,95
	24 Αυγούστου: 2,9	24 Αυγούστου: 2,95
Πλαϊνή όψη (κλίση 90°)	23 Ιουλίου: 3,1	23 Ιουλίου: 3,05
	24 Αυγούστου: 3,2	24 Αυγούστου: 3,15

Από τον πίνακα αυτό προκύπτει ότι κατά τη γενική περίπτωση που δεν προβλέπεται φυσικός αερισμός του κτιρίου (άνοιγμα όλων των παραθύρων σε ποσοστό 5%) οι μέγιστες απαιτήσεις ψυκτικού φορτίου κατά τις δυσμενέστερες συνθήκες είναι:

- Καθόλου ενσωμάτωση: 2,3kW κατά τις 24 Αυγ.
- Ενσωμάτωση στην οροφή: 3,0kW κατά τις 23 Ιουλ.
- Ενσωμάτωση στην πλαϊνή όψη: 3,2kW κατά τις 24 Αυγ.

Αυτό σημαίνει ότι από τις απαιτήσεις του κτιρίου σε ψυκτικό φορτίο των 2,3kW άνευ ενσωμάτωσης φ/β πλαισίων, η ενσωμάτωση 10m² φ/β πλαισίων στην οροφή αυξάνει τις απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο κατά περίπου 30%, ενώ η ενσωμάτωση ίδιας επιφάνειας φ/β πλαισίων στην πλαϊνή όψη του κτιρίου αυξάνει τις απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο κατά περίπου 39,1%. Παρατηρείται δηλαδή ότι το δυσμενέστερο σενάριο είναι η ενσωμάτωση των πλαισίων στην πλαϊνή όψη, η οποία αυξάνει τις απαιτήσεις ψυκτικού φορτίου σε ποσοστό 9,1% μεγαλύτερο από ότι κατά την ενσωμάτωση στην οροφή. Ο λόγος που οι απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο αυξάνουν σημαντικά κατά την πλαϊνή ενσωμάτωση των πλαισίων είναι ότι μέρος του θερμού αέρα που παράγεται κατά τη λειτουργία τους βρίσκεται σε χαμηλή στάθμη, πράγμα που σημαίνει ότι προκαλείται εσωτερική επανακυκλοφορία του θερμού αέρα σε ολόκληρο το κτίριο, το οποίο συμβάλλει στην αύξηση των απαιτήσεων σε ψυκτικό φορτίο. Αντίθετα, κατά την ενσωμάτωση των πλαισίων στην οροφή του κτιρίου ο εκπεμπόμενη θερμότητα από την κάτω πλευρά των πλαισίων συγκεντρώνεται ψηλά και επανακυκλοφορεί σε υψηλότερη στάθμη, επηρεάζοντας λιγότερο το κλίμα εσωτερικά του κτιρίου, πράγμα που οδηγεί σε μικρότερη αύξηση των απαιτήσεων σε ψυκτικό φορτίο.

Μια σημαντική παρατήρηση όσον αφορά τον αερισμό του κτιρίου με φυσικό τρόπο, είναι ότι η επίδραση του στην μείωση των απαιτήσεων είναι σε ψυκτικό φορτίο είναι σχεδόν μηδαμινή, μιας και οι απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο παραμένουν σε όλες τις περιπτώσεις σχεδόν οι ίδιες. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι ότι ανοίγοντας ελαφρώς το παράθυρο (θεωρήθηκε ποσοστό ανοίγματος ίσο με 5%) κατά τις δυσμενέστερες ημέρες της θερινής περιόδου που έγινε η προσομοίωση, η θερμοκρασία του εισερχόμενου εξωτερικού αέρα είναι περίπου 33-34°C (από πίνακα 5-1) πράγμα που σημαίνει ότι έχει μικρή διαφορά σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα εσωτερικά του κτιρίου, μη συνεισφέροντας στον κλιματισμό του και στην

μείωση των απαιτήσεων σε ψυκτικό φορτίο. Παρά το γεγονός όμως του ότι ο συγκεκριμένος τρόπος φυσικού αερισμού δεν συμβάλει στη μείωση των απαιτήσεων σε ψυκτικό φορτίο, η μικρή ροή αέρα που προκαλείται από τη διαφορά εσωτερικής-εξωτερικής θερμοκρασίας συμβάλει στην αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου. Όπως και ένας κοινός ανεμιστήρας που προκαλεί ροή αέρα, παρά το γεγονός του ότι μας κάνει να αισθανόμαστε λιγότερο την ζέστη, δεν προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας, μιας και τόσο ο κινούμενος όσο και ο ακίνητος αέρας έχουν την ίδια θερμοκρασία.

5.8.3. Συμπεράσματα προσομοίωσης ροής θερμού αέρα εσωτερικά του κτιρίου

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτής παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-4		
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης ροής θερμού αέρα (μέγιστη και ελάχιστη αναπτυσσόμενη θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου σε °C)		
Τρόπος ενσωμάτωσης	Μέγιστη θερμοκρασία	Ελάχιστη θερμοκρασία
Καθόλου ενσωμάτωση	31,57	26,57
Οροφή (κλίση 25°)	37,21	29,21
Πλαϊνή όψη (κλίση 90°)	38,39	30,39

Σημ: Οι τιμές του πίνακα αυτού αφορούν τη δυσμενέστερη ημερομηνία 23/Ιουλ. Προσομοιώσεις για την ημερομηνία 24/Αυγ δεν πραγματοποιήθηκαν για λόγους συντόμευσης.

Σύμφωνα με τον πίνακα 5-1, η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία στις 23 Ιουλίου είναι 33,7°C στις 4:00μμ. Χωρίς την ενσωμάτωση φ/β στο κτίριο παρατηρείται ότι η μέγιστη αναπτυσσόμενη θερμοκρασία ενός του κτιρίου είναι περίπου ίση με 31,5°C, 1,5°C χαμηλότερη δηλαδή από την εξωτερική θερμοκρασία. Η τιμή αυτή της θερμοκρασίας εσωτερικά του κτιρίου κρίνεται λογική για το συγκεκριμένο μήνα και με την απουσία οποιουδήποτε κλιματισμού-αερισμού. Παρατηρείται επίσης ότι εσωτερικά του κτιρίου υπάρχει σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή της ροής της θερμότητας, ενώ και η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι σχετικά μικρή (31,57°C - 26,57°C = 5°C). Στη συνέχεια, προκύπτει ότι ανάλογα με τον τρόπο ενσωμάτωσης φ/β στο κτίριο, η μέγιστη θερμοκρασία εσωτερικά του φτάνει τους 37,21°C κατά την ενσωμάτωση των πλαισίων στην οροφή και τους 38,39°C κατά την ενσωμάτωση των πλαισίων στην πρόσοψη. Προφανώς οι τιμές αυτές της θερμοκρασίας εσωτερικά του κτιρίου κρίνονται υπερβολικές και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν αν παραμείνουν ως έχει. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος κλιματισμού του κτιρίου προκειμένου να απομακρυνθούν κατά το δυνατό οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες από τη λειτουργία των φ/β πλαισίων.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΧΙΣΗΣ ΤΗΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να γίνει μια πρώτη προσέγγιση στο ζήτημα της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στα κτίρια και να παρουσιαστούν οι βασικές αρχές για την αντικεραινική τους προστασία. Αρχικά, παρουσιάστηκε η ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για την ενέργεια, στη συνέχεια το νομοθετικό πλαίσιο και η ελληνική πολιτική για τις ΑΠΕ και τέλος η εξέλιξη του παγκόσμιου, ευρωπαϊκού και ελληνικού του φωτοβολταϊκού δυναμικού μέχρι και το 2014. Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, δυο ήταν οι κυριότερες ευρωπαϊκές πολιτικές που προώθησαν γενικότερα τη διείσδυση των ΑΠΕ, και ειδικότερα την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών. Οι πολιτικές αυτές περιγράφηκαν στη Λευκή και Πράσινη βίβλο «Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης, Ενέργεια για το Μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Τα κυριότερα νομοθετικά εργαλεία πραγμάτωσης των στόχων που έθεσαν η Λευκή και Πράσινη Βίβλος αποτέλεσαν οι Οδηγίες 2001/77/EK, 2002/91/EK και 2009/28/EK για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά τη εξέλιξη της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύς από φ/β, αυτή ανήλθε στο τέλος του 2014 στα 177GWp. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο η συνολική εγκατεστημένη ισχύς το ίδιο έτος ανήλθε στα 88,6GWp.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας έγινε μια σύντομη εισαγωγή στην φ/β τεχνολογία. Αφού έγινε αναφορά στο φ/β φαινόμενο, παρουσιάστηκαν οι κυριότερες ηλεκτρικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα φ/β στοιχεία, τα πλαίσια και τέλος τις φ/β συστοιχίες. Ιδιαίτερη αναφορά έγινε στο φαινόμενο της σκίασης των πλαισίων και της επίδρασής της στην λειτουργία τους. Το κεφάλαιο αυτό εστίασε αποκλειστικά στα φ/β στοιχεία-πλαίσια και δεν επεκτάθηκε στα υπόλοιπα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα ολοκληρωμένο φ/β σύστημα (αντιστροφείς, μπαταρίες, μέσα προστασίας, αγωγοί-καλώδια) προκειμένου να μην ξεφύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, μιας και στην ουσία σκοπός της είναι οι μέθοδοι ενσωμάτωσης των πλαισίων στα κτίρια.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί το σπουδαιότερο μέρος της παρούσας εργασίας. Αφού ορίστηκε η έννοια της ενσωμάτωσης των φ/β πλαισίων στα κτίρια, και εξετάστηκε υπό δυο διαφορετικές σκοπιές. Παρουσιάστηκαν οι λόγοι που προωθούν την ενσωμάτωση φ/β στα κτίρια και αναφέρθηκαν ορισμένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της. Στη συνέχεια, για κάθε μια τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων κατάλληλα για χρήση σε κτιριακές εφαρμογές, παρουσιάστηκε ο τρέχον βαθμός απόδοσής της, μιας και με το πέρασμα του χρόνου γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης πλαισίων με όσο το δυνατό μέγιστο βαθμό απόδοσης για κάθε μια τεχνολογία φ/β στοιχείων. Μετά την περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των φ/β στοιχείων, έγινε αναφορά στα βασικότερα προϊόντα που υπάρχουν σήμερα για κτιριακή χρήση. Όπως προέκυψε, τα κυριότερα από αυτά είναι τα στάνταρ φ/β πλαίσια με περίβλημα, τα πλαίσια άνευ περιβλήματος, τα εύκαμπτα φ/β πλαίσια, τα φ/β στοιχεία σε μορφή υαλοπίνακα ή γυάλινου τζαμιού και τα ηλιακά κεραμίδια. Το κεφάλαιο αυτό έκλεισε με την ανάπτυξη των δυνατών τρόπων ενσωμάτωσης των πλαισίων στα κτίρια και με μια την περιγραφή ορισμένων πραγματικών παραδειγμάτων, κτιρίων με ενσωματωμένα φ/β.

Η αντικεραινική προστασία των φ/β συστημάτων που ενσωματώνονται στα κτίρια βασίζεται στα τέσσερα διεθνή πρότυπα IEC 62305 (part 1-4). Τα επιμέρους βασικά θέματα μέσα από τα πρότυπα αυτά, που επιλέχθηκαν να αναπτυχθούν στην παρούσα εργασία είναι τα είδη των κεραυνών, οι βασικές τους παράμετροι, τα επίπεδα

αντικεραυνικής προστασίας, οι ζώνες αντικεραυνικής προστασίας, οι συνέπειες πλήγμάτων κεραυνών, ενώ τέλος περιγράφηκε εκτενώς το Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας, το οποίο (σύμφωνα με τα εν λόγω πρότυπα) αποτελεί τη βασικότερη μέθοδο προστασίας κατασκευών από πλήγματα κεραυνών. Ιδιαίτερη αναφορά έγινε στην προστασία του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εντός των κατασκευών έναντι των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων του ρεύματος των κεραυνών, μιας και για ένα ενσωματωμένο φ/β σύστημα σε ένα κτίριο ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός του είναι αυτός που μπορεί να υποστεί ζημιά ακόμα και αν τα πλαίσιά του προστατεύονται πλήρως από το εξωτερικό σύστημα προστασίας του κτιρίου.

Στο τελευταίο κεφάλαιο έγινε μια προσπάθεια να εξεταστούν οι επιπτώσεις της ενσωμάτωσης φ/β πλαισίων σε μια πραγματική κατοικία στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας (περιοχή Ρίου). Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δυο από τις τρεις μεθόδους ενσωμάτωσης που αναπτύχθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο (ενσωμάτωση στην οροφή, και στις πλαϊνές πλευρές του κτιρίου). Αρχικά, με το λογισμικό PVSYST υπολογίστηκε η ηλεκτρική απόδοση της κάθε μια μεθόδου ενσωμάτωσης. Όπως ήταν αναμενόμενο, η μέγιστη ετήσια απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας προέκυψε κατά την ενσωμάτωση των πλαισίων στη στέγη του κτιρίου. Και στις δυο περιπτώσεις ενσωμάτωσης, χρησιμοποιήθηκαν πλαίσια (ίδιας ισχύος) από εταιρείες που κατασκευάζουν φ/β κατάλληλα για ενσωμάτωση σε κτίρια. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση δυο λογισμικών ηλεκτρομηχανολογικών εφαρμογών της εταιρείας 4M (FINE και ADAPT), υπολογίστηκαν τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία για τις δυο δυσμενέστερες ημέρες του έτους που ορίζουν οι κανονισμοί, για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση αφορά το μέγιστο ψυκτικό φορτίο που απαιτεί το κτίριο χωρίς να έχουν ενσωματωθεί σε αυτό φ/β. Οι επόμενες δυο περιπτώσεις αφορούν τον υπολογισμό του απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου στην περίπτωση ενσωμάτωσης φ/β στην οροφή και στην πλαϊνή πλευρά του. Σκοπός της προσομοίωσης αυτής είναι να εξαχθεί ένα πρώτο συμπέρασμα για το πως μεταβάλλονται οι απαιτήσεις του κτιρίου σε ψυκτικό φορτίο, από την ενσωμάτωση σε αυτό των πλαισίων, μιας και τα πλαίσια κατά τη λειτουργία του αναπτύσσουν αρκετά υψηλή θερμοκρασία, αυξάνοντας έτσι τις απαιτήσεις σε κλιματισμό. Για κάθε μια περίπτωση, οι υπολογισμοί ψυκτικού φορτίου έγιναν τόσο χωρίς να θεωρηθεί καθόλου φυσικός αερισμός στο κτίριο, όσο και λαμβάνοντας υπόψη φυσικό αερισμό ο οποίος προκαλείται με το άνοιγμα όλων των παραθύρων του κτιρίου σε ποσοστό 5%. Όπως προέκυψαν από τις προσομοιώσεις αυτές, κατά την ενσωμάτωση των πλαισίων στην πλαϊνή πλευρά του κτιρίου, οι απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο αυξήθηκαν κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 50%, σε σχέση με τις απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο του κτιρίου χωρίς φ/β. Τέλος, έγιναν προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων με το λογισμικό Design Builder, προκειμένου να δούμε πως μεταβάλλεται η θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου λόγω της λειτουργίας των φ/β πλαισίων. Οι υπολογισμοί και στην περίπτωση αυτή γίνονται για την ίδια δυσμενέστερη ημέρα της θερινής περιόδου, όπως και κατά τη μελέτη των ψυκτικών φορτίων. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι είτε με την ενσωμάτωση των πλαισίων στην οροφή είτε με την ενσωμάτωσή τους στην πρόσοψη του κτιρίου, η θερμοκρασία εσωτερικά του αγγίζει τους 39°C, πράγμα που καθιστά υποχρεωτική την ψύξη του.

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της εργασίας αυτής, δημιουργούνται αυτόματα ορισμένες προοπτικές συνέχισής της. Ορισμένες από αυτές τις προοπτικές αφορούν:

1) *τρόποι ψύξης των φ/β πλαισίων με φυσικά μέσα, προκειμένου να ανεβάσουν την απόδοσή τους και συγχρόνως να λειτουργήσουν σαν μέθοδοι φυσικού δροσισμού του κτιρίου.*

Η επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της ανύψωσης της θερμοκρασίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν μελετηθεί στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας^[22] του τμήματος Φυσικού του Παν. Πατρών και έχουν προταθεί μέθοδοι βελτίωσης της αποδοτικότητάς τους, κυρίως με την απαγωγή της θερμότητας με αέρα και την συμβολή ειδικών προσαρτήσεων εντός του αεραγωγού πίσω από το φ/β πλαίσιο.^[23] Με την προσθήκη πτερυγίων στην απέναντι επιφάνεια του διαμορφούμενου αεραγωγού πίσω του φ/β πλαισίου, επιτυγχάνεται αύξηση της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας και καλύτερη θέρμανση του αέρα. Επίσης, με την τοποθέτηση λεπτού μεταλλικού φύλλου στην μέση του αεραγωγού, εκτός από την βελτίωση της θέρμανσης του αέρα μειώνεται και η θερμοκρασία του φ/β πλαισίου. Ακόμη, υπάρχει και η δυνατότητα να γίνεται ψύξη του φ/β πλαισίου άλλοτε με νερό (την θερινή περίοδο) και άλλοτε (κυρίως τον χειμώνα) με αέρα.^[24]

2) *αξιοποίηση της θερμότητας που παράγεται από τα φ/β για χρήση της στη θέρμανση του κτιρίου*

Στην παρούσα μελέτη η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται με τον συνήθη τρόπο, αξιοποιώντας την απολαβή της ηλεκτρικής ενέργειας και όχι της θερμότητας. Όμως, το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα και η απολαβή της βοηθά στην αύξηση της συνολικής αποδιδόμενης ενέργειας, καθώς μπορεί να επιτευχθεί μια μικρή μείωση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων και άρα διατήρηση της ηλεκτρικής τους απόδοσης σε ικανοποιητικό επίπεδο. Παράλληλα, η απολαβή της θερμότητας με νερό ή αέρα καθιστά το σύστημα πιο χρήσιμο ενεργειακά καθώς η θερμότητα που εξάγεται μπορεί να αξιοποιηθεί για τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου. Στο θέμα αυτό υπάρχει μακρόχρονη εμπειρία στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας, με θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την προσλαμβανόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Η αξιοποίηση της θερμότητας έχει ενδιαφέρον και θα μπορούσε να είναι ένα πιθανό επόμενο βήμα μελέτης της παρούσας εργασίας.^{[22][23][24]}

3) *τρόποι φυσικού κλιματισμού του κτιρίου προκειμένου να απομακρυνθούν κατά το δυνατό οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες από τη λειτουργία των φ/β πλαισίων.*

Μια από τις βασικότερες τεχνικές απομάκρυνσης της θερμότητας κατά τους θερινούς μήνες, από ένα κτίριο, αποτελεί ο φυσικός αερισμός του. Ο φυσικός αερισμός ενός κτιρίου μπορεί να πετύχει τρία πράγματα:

- Να απομακρύνει τη θερμότητα εσωτερικά του κτιρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον, εφόσον το επιτρέπουν οι εξωτερικές θερμοκρασίες
- Να απομακρύνει την αποθηκευμένη θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου
- Να αυξήσει το επίπεδο θερμικής άνεσης εσωτερικά του κτιρίου

Ο φυσικός κλιματισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους:

- α) διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- β) μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού
- γ) με χρήση ηλιακής καμινάδας

4) προσδιορισμός του κατά πόσο η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την ενσωμάτωση των πλαισίων, αντισταθμίζει την αύξηση των απαιτήσεων σε ψυκτικό φορτίο, προκειμένου να αποφευχθούμε κατά πόσο είναι συμφέρουσα ή επένδυση σε αυτά.

5) εύρεση των βέλτιστων σημείων τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στο κτίριο που θα βελτιώνουν το φυσικό δροσισμό το καλοκαίρι (με κίνηση του εσωτερικού αέρα λόγω της θερμής τους επιφάνειας και εκμετάλλευση κάποιου υπογείου που θα έχει ψυχρό αέρα το καλοκαίρι) και θα υποβοηθούν τη θέρμανση το χειμώνα λόγω της ψηλότερης επιφανειακής θερμοκρασίας τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξενογλώσση βιβλιογραφία - αναφορές

- 1) Patrina Eiffert, Gregory J. Kiss “Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures. A Sourcebook for Architects”
- 2) Friedrich Sick, Thomas Erge “Photovoltaics in buildings. A Design Handbook for Architects and Engineers” - International Energy Agency
- 3) Christer Breivik “Building Integrated Photovoltaics – A State-of-the-Art Review, Future Research Opportunities and Large-Scale Experimental Wind-Driven Rain Exposure Investigations” - Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering
- 4) Jean-Marc Moulin “Façade Integration. Challenges and Solutions for BIPV” - BIPV2/BRE conference 2011
- 5) Simon Roberts, Nicolò Guariento “Building Integrated Photovoltaics: A Handbook”
- 6) Vahibe Kazek “Evaluation of Integrated Photovoltaic Systems on Facades” - Master of Science in Architecture, Eastern Mediterranean University
- 7) “Planning & installing photovoltaic systems - A guide for installers, architects and engineers” - The German Energy Society
- 8) Schuetze T., Hullmann H. “Economical Aspects of Multifunctional Photovoltaic Building Component Applications”
- 9) Bendel C. “Multifunctional Photovoltaic Products”
- 10) Hullmann H., Schuetze T., Bendel C., Funtan P., Kirchhof J. “Multifunctional Photovoltaics - Photovoltaics in the Building Envelope”
- 11) Thorsten Schuetze “Integration of Photovoltaics in Buildings - Support Policies Addressing Technical and Formal Aspects”
- 12) Yablonovitch Eli, Miller Owen D., Kurtz S. R., “The opto-electronic physics that broke the efficiency limit in solar cells” - 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference
- 13) Nelson J. “Organic photovoltaic films. Current Opinion in Solid State and Materials Science”
- 14) Karg S. “Electrical and optical characterization of poly(phenylene-vinylene) light emitting diodes”
- 15) Halls J.J.M. “Exciton diffusion and dissociation in a poly(p-phenylenevinylene)/C60 heterojunction photovoltaic cell”

- 16) D.S. Kim, A.M. Gabor, V. Yelundur, A.D. Upadhyaya, V. Meemongkolkiat, A. Rohatgi “String ribbon silicon solar cells with 17.8% efficiency” - University Center for Excellence in Photovoltaic Research and Education, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology
- 17) Myung-Su Kim “Understanding Organic Photovoltaic Cells: Electrode, Nanostructure, Reliability, and Performance” - University of Michigan
- 18) Jesús C. Hernández, Pedro G. Vidal, and Francisco Jurado “Lightning and Surge Protection in Photovoltaic Installations” - IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, no. 4, October 2008
- 19) Kostas Sinapis, Menno van den Donker “BIPV Report 2013. State of the art in Building Integrated Photovoltaics”
- 20) Ale Stagoj, Iskra Zascite “SPDs in PV Applications”
- 21) OBO Bettermann “Transient voltage and lightning protection systems”
- 22) Y. Tripanagnostopoulos, Th. Nousia, M. Souliotis and P. Yianoulis, “Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems”, *Solar Energy* 72, No 3, (2002).
- 23) J. K. Tonui and Y. Tripanagnostopoulos “Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation”. *Renewable Energy* 32 (4), (2007).
- 24) Y. Tripanagnostopoulos “Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems”. *Solar Energy* 81 (9), (2007).
- 25) IEC 62305-1 Ed. 1.0: Protection against lightning – Part 1: General principles
- 26) IEC 62305-2 Ed. 1.0: Protection against lightning – Part 2: Risk management
- 27) IEC 62305-3 Ed. 1.0: Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard
- 28) IEC 62305-4 Ed. 1.0 Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures
- 29) IEC 60664-1: Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests
- 30) Yu G. “Large-Area, Full-Color Image Sensors Made with Semiconducting Polymers”
- 31) “Energy for the future: Renewable Sources of Energy. Green paper for a community strategy”, Communication from the Commission - 20/11/1996 (COM(96) 576 final)

32) “Energy for the future: Renewable Sources of Energy. White paper for a community strategy and action plan”, Communication from the Commission - 26/11/1997

Ελληνική βιβλιογραφία - αναφορές

33) Περράκη Β. “Σημειώσεις μαθήματος: Νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων” - Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα ΗΜΤΥ

34) Περράκη Β. “Σημειώσεις μαθήματος: Φυσική των φωτοβολταϊκών στοιχείων” - Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα ΗΜΤΥ

35) Κ. Καγκαράκη “Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία”

36) Σταμάτης Πέρδιος “Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις” - Β' Έκδοση

37) Ε.Κ. Παλούρας “Στοιχεία Θεωρίας Ημιαγωγών. Σημειώσεις για το μάθημα Φυσική Στερεάς Κατάστασης” - Τμήμα Φυσικής ΑΠΘ

38) Γεώργιος Σ. Μάρκου “Το νέο Θεσμικό Πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα” - Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα - Μάρτιος 2013

39) Ηλίας Σταθάτος “Φωτοβολταϊκά συστήματα και εφαρμογές (θεωρία)” - ΤΕΙ Πάτρας, Τμήμα Ηλεκτρολογίας,

40) Τριάντος Γ. “Σημειώσεις μαθήματος Ηλεκτρονικά 1 (θεωρία)” - ΤΕΙ Πάτρας, Τμήμα Ηλεκτρολογίας,

41) Μάριος Μανώλης “Ήλιακά θερμικά συστήματα - φωτοβολταϊκά” - Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου

42) Χρήστος Χαλδούπης “Εισαγωγικά στοιχεία ατμοσφαιρικής φυσικής” - Πανεπιστήμιο Κρήτης - Τμήμα Φυσικής

43) Ελευθερία Πυργιώτη “Σχεδιασμός προστασίας κατασκευών από κεραυνούς” - Πανεπιστήμιο Πατρών - Τμήμα ΗΜ&ΤΥ

44) Πέτρος Ντοκόπουλος “Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης - Β έκδοση” -

45) “Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 1197. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς - Μέρος 1”

46) Παντελής Ν. Μικρόπουλος “Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας - πανεπιστημιακές σημειώσεις” - Α.Π.Θ. - Τμήμα ΗΜ&ΜΥ

47) Γ. Μήτσου “Στοιχεία Θεωρίας Ημιαγωγών” - ΑΤΕΙ Αθήνας, Εργαστήριο Οπτοηλεκτρονικής και Laser

48) Χαράλαμπος Α. Χαραλάμπους “Χρήσιμες Πληροφορίες για την Προστασία Φωτοβολταϊκών Εγκαταστάσεων Επί Κτιρίων που Εξυπηρετούν Οικιακούς Καταναλωτές Ηλεκτρικής Ενέργειας” - Τμήμα ΗΜΜΥ, Πανεπιστήμιο Κύπρου

49) “Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές - 04-50-01-00: Σύστημα Σύλληψης Κεραυνού”, Ελληνική Δημοκρατία Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

50) “Λιγνίτης & φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας” – ΤΕΕ, διημερίδα. Σύλλογος Διπλ. Μηχανικών ΔΕΗ

51) “Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις” - Ελληνική Δημοκρατία - Υπουργείο Ανάπτυξης Γεν. Γραμματείας & Τεχνολογίας - Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) - Αυγ. 2009

52) “Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα στα κτίρια. Προοπτικές και πλεονεκτήματα” - Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ανανεώσιμων & βιώσιμων Ενεργειακών συστημάτων

53) “Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα στα κτίρια. Τεχνικός οδηγός και παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών” - Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ανανεώσιμων & βιώσιμων Ενεργειακών συστημάτων

54) “Οδηγός μελέτης και υλοποίησης φωτοβολταϊκών έργων”, ΤΕΕ Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη 2011

Νομοθεσία - Πρότυπα - Οδηγίες

55) Ν. 1559/1985, “Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”

56) Ν. 2244/1994 “Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”

57) Ν. 2773/1999 “Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας - Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις”

58) Ν. 2941/2001 “Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. “ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ”

59) Ν. 3175/2003 “Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις”

60) Ν. 3468/2006 “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις”

61) Ν. 3661/2008 “Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις”

62) Ν. 3734/2009 “Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις”

63) Ν. 3851/2010 “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”

64) Πράσινη Βίβλος της Επιτροπής της 29ης Νοεμβρίου 2000: “Προς μια ευρωπαϊκή στρατηγική για τη ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού”

65) Οδηγία 2001/77/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 27ης Σεπτεμβρίου 2001, για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

66) Οδηγία 2002/91/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 2002, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων

67) Οδηγία 2009/28/EK 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/EK και 2003/30/EK

68) “Έκθεση της επιτροπής προς το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το συμβούλιο, την ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των περιφερειών. Έκθεση προόδου στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας” - COM(2013) 175 final

69) Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 “Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης”

70) Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 “Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών”

Διαδικτυακές αναφορές

71) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

72) <http://www.consilium.europa.eu/el/meetings/international-summit/2015/11/30/>

73) <http://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2010/>

74) <http://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2011/>

75) <http://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2012/>

76) <http://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2013/>

77) <http://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2014/>

- 78) <http://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2015/>
- 79) http://helapco.gr/pdf/pv-stats_greece_2014_Feb2015.pdf
- 80) <http://www.aps.org/publications/apsnews/200904/physicshistory.cfm>
- 81) http://dlib.statistics.gr/Book/GRESYE_01_0002_00061.pdf
- 82) <http://sunshine-energy.gr/en/node/15>
- 83) http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php#bookmark8
- 84) <http://www.wbdg.org/resources/bipv.php>
- 85) <http://www.e-ablepower.com/solar-panel.html>
- 86) http://www.aluminum-solar-frame.com/aluminum-frame/75_550.html
- 87) http://www.ipc.org/committee/comments/E-12_c_solarpanellamination.pdf
- 88) <http://www.brighttechsolutions.com/solarenergy.htm>
- 89) <http://www.flexsolarcells.com/PowerFilm-Solar-OEM-Components.php>
- 90) <http://artemisbs.com/projects/bipv-other/bipv-just-roof/>
- 91) http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsinfo.php?ID=86&file=pic
- 92) <http://www.solarfassade.info/en/architecture/facades/index.php>
- 93) http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/89477.asp
- 94) <https://iitbuildingscience.wordpress.com/category/uncategorized/page/10/>
- 95) <https://www.guardian.com/GuardianGlass/glassproducts/UltraWhite/index.htm>
- 96) <http://thetechnopost.blogspot.in/2012/10/solving-solar-and-then-some.html>
- 97) http://www.dehnargentina.com.ar/descargas/pdf/BBP_E_Chapter_07.pdf
- 98) http://www.dehnargentina.com.ar/descargas/pdf/BBP_E_Chapter_09_18.pdf
- 99) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=URISERV:l27018>
- 100) <http://www.croatiaweek.com/croatia-experiencing-solar-power-boom/>
- 101) www.epia.org
- 102) www.ypeka.gr

- 103)
http://www.perkinelmer.com/pdfs/downloads/app_evacuatingforsolarpanelsbydsc.pdf
- 104)
<http://www.aeliapower.gr/thermansi-eksoikonomisi/hliothermia/hliaka-keramidia/hliaka-keramidia-soltech.html>
- 105)
<http://wonderfulengineering.com/reduce-your-electricity-bills-with-new-solar-roof-tiles/>
- 106)
http://www.design-buildsolar.com/images/sized/assets/images/pythagoras_solar_2-480x250.JPG
- 107)
http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=683&Itemid=82
- 108)
http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/PAGE-themes?p_param=A1302&r_param=SKT01&y_param=2011_00&mytabs=0
- 109)
http://www.eunice-group.com/index.php?option=com_content&view=article&id=156&Itemid=174&lang=el
- 110)
http://www.brita-in-pubs.eu/bit/uk/03viewer/retrofit_measures/pdf/FINAL_12_Integration_of_PV_red_kth_rev1.pdf
- 111)
https://www.solon.com/export/sites/default/solonse.com/downloads/products/download-center/systems/SOLitaire/datasheet/SOLON-4-SOLitaire-Black-Blue-Datasheet_en.pdf
- 112)
http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj5nOnw1sDKAhXMkSwKHeaZD28QFgghMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ertex-solar.at%2Fen%2Fpress%2Fdoc_download%2F185-ertex-solar-bipv-english&usq=AFQjCNFVsYHjOKFFEjOeAWAM2FcLlgajg&bvm=bv.112454388,d.bGg
- 113)
https://www.dehn-international.com/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/blitzplaner/bpl2015/chapters/lpg_chapter_05.pdf

- 114) http://helapco.gr/wp-content/uploads/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_Medium_Res.pdf
- 115) http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2014.pdf
- 116) <https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/photovoltaics-report-in-englischer-sprache.pdf>
- 117) https://library.e.abb.com/public/541a5476b87d8729c1257d2a00484116/OVR%20Surge%20Protective%20Devices_gr.pdf
- 118) <http://www.mfa.gr/exoteriki-politiki/pagkosmia-zitimata/periballon-klimatike-allage.html>
- 119) http://www.chem-lab.gr/nafplio/index.php?option=com_content&view=article&id=17&Itemid=120
- 120) <http://physics.teiath.gr/physics/pdf/H2.pdf>
- 121) <http://www.econews.gr/2015/05/12/ape-varoufakis-122262/>
- 122) <http://greenmindset.cti.gr/categories>
- 123) <http://tvxs.gr/news/kosmos/symfonia-gia-tin-klimatiki-allagi-sto-parisi>
- 124) http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/TH_PS_KOU_II/%CE%A8%CF%85%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CF%86%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%AF%CE%B1.pdf
- 125) <https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/2-eliasmos-ktiriou>
- 126) www.nrel.gov/docs/fy05osti/37358.pdf