



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΚΤΗΡΙΑ ΜΕ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ
ΟΠΤΙΚΗΣ ΤΟΥΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ**

ΤΥΧΑΛΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αναπλ. Καθηγητής Κουτρούλης Ευτύχιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος

Αναπλ. Καθηγητής Κανέλλος Φώτιος

Χανιά, Νοέμβριος 2021

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Κυκλωμάτων, Αισθητήρων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (ΗΜΜΥ) του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η βελτιστοποίηση σχεδιασμού φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια με αξιολόγηση της οπτικής επίδρασης που προκαλούν. Η διπλωματική εργασία αυτή εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κουτρούλη Ευτύχιου, στον οποίο οφείλω ευχαριστίες για τη βοήθειά του. Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στην οικογένειά μου, τους φίλους μου και όσους με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια πολλές χώρες έχουν αρχίσει να επενδύουν στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) θέτοντας υψηλούς στόχους μέχρι και για πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους από αυτές γεγονός που οφείλεται κυρίως στα σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματά τους, όπως η μείωση εκπομπών CO_2 σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Ένας βασικός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η αξιοποίηση επιφανειών, οι οποίες δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη χρήση, όπως είναι οι ταράτσες, οι σκεπές και οι τοίχοι των κτιρίων, των οποίων η κάλυψη με φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα θα προσέφερε ένα σημαντικό ποσό ενέργειας. Πέρα από τα πλεονεκτήματα τους όμως, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να δημιουργήσουν ανεπιθύμητες καταστάσεις, όπως είναι για παράδειγμα αλλαγές στο τοπίο, οι οποίες έχουν οπτικό αντίκτυπο στον άνθρωπο. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος έχουν ληφθεί κάποια μέτρα, όπως είναι η ενσωμάτωση των Φ/Β πλαϊσίων στα δομικά υλικά των κτιρίων, δηλαδή αντικατάσταση των κεραμιδιών με Φ/Β κεραμίδια και των διάφανων επιφανειών του κτιρίου με διάφανα Φ/Β πλαίσια. Ένα επιπλέον μέτρο είναι η ταξινόμηση των Φ/Β εγκαταστάσεων σε κτίρια σε δύο κατηγορίες την Building Integrated Photovoltaic (BIPV) όταν το σύστημα είναι πλήρως ενσωματωμένο στο κτίριο ως πρόσθετο δομικό υλικό και την Building Applied Photovoltaic (BAPV) όταν το σύστημα βρίσκεται απλά στην οροφή με μεταλλική δομή στήριξης.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους σε κτίρια με ενσωματωμένα Φ/Β πλαίσια, βρίσκοντας τον βέλτιστο συνδυασμό διαστασιολόγησης με παράλληλη αξιολόγηση της οπτικής τους επίδρασης. Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης συστήματος διασυνδεδεμένου με το ηλεκτρικό δίκτυο με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Η ελαχιστοποίηση του κόστους και η βελτιστοποίηση του Φ/Β συστήματος έχει υλοποιηθεί με τη χρήση του αλγορίθμου Particle Swarm Optimization (PSO). Η καινοτομία της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού διαστασιολόγησης λαμβάνοντας υπόψιν στο κόστος το Visual Impact Assessment (VIA).

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Σύνοψη κεφαλαίων.....	8
2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	9
2.1 Εισαγωγή	9
2.2 Σχεδίαση φωτοβολταϊκών συστημάτων	11
2.2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	11
2.2.2 Μπαταρίες	15
2.2.3 Ρυθμιστές φόρτισης μπαταριών	16
2.2.4 Μετατροπείς DC/AC.....	18
2.3 Οπτική επίδραση	19
2.3.1 Εισαγωγή	19
2.3.2 1 ^η Μέθοδος	20
2.3.3 2 ^η Μέθοδος	31
2.3.4 3 ^η Μέθοδος	40
2.3.5 4 ^η Μέθοδος	47
3. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ.....	54
3.1 Εισαγωγή	54
3.2 Αλγόριθμος προσομοίωσης λειτουργίας φωτοβολταϊκού συστήματος και υπολογισμός της οπτικής επίδρασης	56
3.3 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης του κόστους λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος	84
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	98
4.1 Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης πολυκατοικίας σε αστικό ιστό	102

4.1.1	Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh ..	104
4.1.2	Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh	115
4.2	Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης δημόσιου κτιρίου σε αστικό ιστό	125
4.2.1	Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh ..	127
4.2.2	Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh	137
4.3	Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης μονοκατοικίας σε μη αστικό ιστό.....	147
4.3.1	Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh ..	148
4.3.2	Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh	159
4.4	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα και αξιολόγηση.....	169
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....		180
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		183

1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η κλιματική αλλαγή και η αυξανόμενη ανάγκη της ανθρωπότητας για ηλεκτρική ενέργεια έχουν οδηγήσει τα τελευταία χρόνια πολλές χώρες στην απομάκρυνση τους από τις συμβατικές πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο, το λιγνίτη και άλλα ορυκτά καύσιμα, τα οποία πέρα από την σημαντική επιβάρυνση που έχουν στο περιβάλλον έχουν υποστεί μια σημαντική συρρίκνωση στα αποθέματα τους λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους. Ως αποτέλεσμα, έχουν στραφεί στις Α.Π.Ε. θέτοντας υψηλούς στόχους, μέχρι και για πλήρη εξάρτηση από αυτές, γεγονός που οφείλεται κυρίως στα σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματά τους, όπως η μείωση εκπομπών CO_2 σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας άλλα και η αέναη προμήθεια ενέργειας που μπορούν να προσφέρουν σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα συμβατικές πηγές. Ένας σημαντικός τύπος των Α.Π.Ε. είναι τα Φ/Β συστήματα, τα οποία χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια μπορούν να προσφέρουν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια.

Η τεχνολογία αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως την μηδενική σχεδόν επίδραση στο περιβάλλον, καθώς η πιθανή ρύπανση συντελείται μόνο κατά το χρονικό διάστημα μέχρι την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων και όχι κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους, την σχεδόν μηδαμινή ανάγκη για συντήρηση, την δυνατότητα επέκτασης της εγκατάστασης ανάλογα με τις ανάγκες

του εκάστοτε συστήματος, την αθόρυβη λειτουργία, την αξιοπιστία και τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους. Ακόμα, σημαντικά οφέλη αποτελούν η δυνατότητα τοπικής αποθήκευσης ή διοχέτευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο, η εύκολη εγκατάσταση τους σχεδόν σε όλων των ειδών τις επιφάνειες καθώς και η συνεχής και ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας πάνω στα Φ/Β πλαίσια από τη βιομηχανία και η παραγωγή νέων τύπων Φ/Β πλαισίων με μεγαλύτερη απόδοση, αλλά και ενσωμάτωση στα δομικά υλικά για τη κατασκευή ενός κτιρίου. Παρόλα αυτά όμως έχουν και κάποια μειονεκτήματα, όπως το μεγάλο εμβαδόν κάλυψης και την αλλοίωση - οπτική επίδραση του τοπίου εγκατάστασης. Συνεπώς, η εκμετάλλευση μη-χρήσιμων επιφανειών, όπως είναι οι επιφάνειες κτιρίων δίνει τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης “καταστροφής” και ρύπανσης χρήσιμων επιφανειών, όπως είναι τα δάση, τα βουνά και οι πεδιάδες.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η ελαχιστοποίηση της οπτικής επίδρασης που μπορεί να προκαλέσει μια Φ/Β εγκατάσταση σε συνδυασμό με τη βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης και του κόστους της Φ/Β εγκατάστασης σε κτίρια. Το μοντέλο που μελετήθηκε είναι ένα σύστημα διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Στο πλαίσιο της εργασίας αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος που προσομοιώνει τη λειτουργία του Φ/Β συστήματος και λαμβάνοντας υπόψιν την οπτική του επίδραση υπολογίζει το τελικό συνολικό κόστος του συστήματος. Ως δεδομένα εισόδου ο αλγόριθμος λαμβάνει τα γεωγραφικά στοιχεία της τοποθεσίας, τα μετεωρολογικά δεδομένα, τις επιφάνειες του κτιρίου στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν Φ/Β πλαίσια καθώς και τέσσερις εικόνες. Η μία εικόνα είναι για την τοποθεσία που θα γίνει η Φ/Β εγκατάσταση και οι άλλες τρεις είναι για τα τρία διαφορετικά είδη Φ/Β πλαισίων που υποστηρίζει η παρούσα εργασία. Τα τρία αυτά είδη Φ/Β πλαισίων είναι τα εξής: Φ/Β πλαίσια τύπου κεραμιδιού, διάφανα Φ/Β πλαίσια και συμβατικά Φ/Β πλαίσια. Για τις παραπάνω βελτιστοποιήσεις γίνεται η χρήση του αλγορίθμου PSO. Για το προαναφερθέν σύστημα έγιναν δοκιμές και συγκρίσεις αποτελεσμάτων με τα ακόλουθα σενάρια:

1. Διαφορετικά τοπία.
2. Διαφορετικά ποσοστά επίδρασης του Visual Impact (VI).
3. Διαφορετικές τιμές αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από και προς το ηλεκτρικό δίκτυο αντίστοιχα.

1.2 Σύνοψη κεφαλαίων

Η δομή αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

- ❖ Το 2^ο Κεφάλαιο αναφέρεται σε διάφορες μεθόδους υπολογισμού του VI. Επίσης, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δομικών μονάδων ενός Φ/Β συστήματος, τα οποία είναι μπαταρίες, ρυθμιστές τάσης και μετατροπείς ισχύος.
- ❖ Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται ο αλγόριθμος προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για τα διαφορετικά σενάρια που έχουν μελετηθεί.
- ❖ Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από όλα τα σενάρια που έχουν μελετηθεί.
- ❖ Στο 5^ο Κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντική μελέτη.

2.

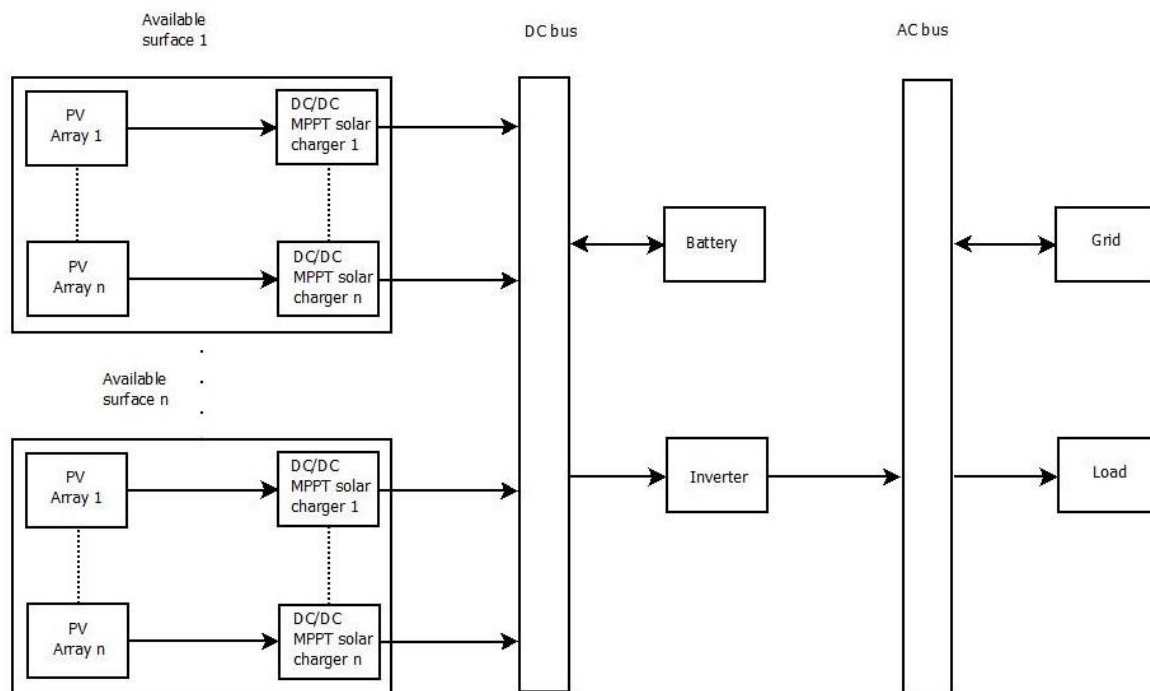
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται ένα Φ/Β σύστημα το οποίο είναι διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο και έχει και τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες. Στην παράγραφο 2.2 αναλύονται τα χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων του Φ/Β συστήματος, ενώ στην παράγραφο 2.3 αναπτύσσονται διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της οπτικής επίδρασης του Φ/Β συστήματος σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα, τα οποία είναι τα εξής:

- ❖ Πολυκατοικία σε αστικό ιστό,
- ❖ Δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό και
- ❖ Μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό.

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται γραφικά τα διαγράμματα λειτουργίας και τα επιμέρους υποσυστήματα του Φ/Β συστήματος.



Σχήμα 2.1: Φ/Β σύστημα διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν σε όλες τις διαθέσιμες επιφάνειες του εκάστοτε κτιρίου, δηλαδή την ταράτσα αλλά και τις πλάγιες όψεις του κτιρίου. Στον αλγόριθμο εισάγονται σαν είσοδοι δεδομένα για τις επιφάνειες, τις μετεωρολογικές συνθήκες, τις τιμές πώλησης και αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς και γεωγραφικά δεδομένα. Τέλος, ο αλγόριθμος υπολογίζει το σύνολο των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν, λαμβάνοντας υπόψιν το εμβαδόν της εκάστοτε επιφάνειας, καθώς και το εμβαδόν του κάθε Φ/Β πλαισίου. Η τάση εξόδου του εκάστοτε φορτιστή και η τάση εισόδου της εκάστοτε μπαταρίας καθορίζουν το μέγεθος της κάθε συστοιχίας μπαταριών που θα τοποθετηθούν. Η κάθε Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα αριθμό Φ/Β πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά και σειρές Φ/Β πλαισίων συνδεδεμένες παράλληλα.

Όσον αφορά την οπτική επίδραση, περιγράφονται διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού της, οι οποίες διακρίνονται σε ποιοτικές και σε ποσοτικές, ανάλογα με τα κριτήρια που χρησιμοποιούν. Οι πρώτες βασίζονται κυρίως σε αισθητικά κριτήρια, ενώ οι δεύτερες σε πιο πρακτικά.

2.2 Σχεδίαση φωτοβολταϊκών συστημάτων

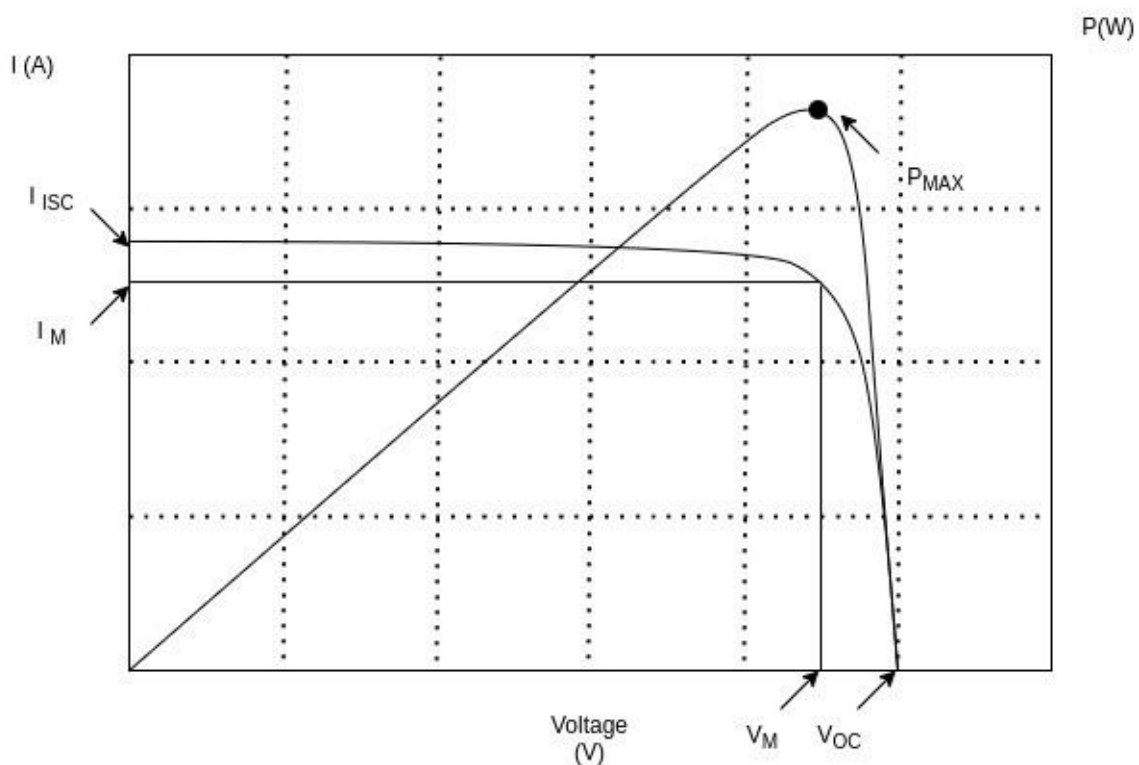
2.2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Ένας σημαντικός τύπος των Α.Π.Ε. είναι τα Φ/Β συστήματα, τα οποία χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, μπορούν να προσφέρουν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια. Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας πάνω στα Φ/Β συστήματα έχει προσφέρει τη δυνατότητα αύξησης της απόδοσης τους (παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας), καθώς και τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των Φ/Β πλαισίων ως δομικά υλικά ενός κτιρίου. Υπάρχουν διάφορα είδη Φ/Β πλαισίων, όπως για παράδειγμα τα Φ/Β κεραμίδια ή τα διάφανα Φ/Β πλαίσια, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη της οροφής ή διάφανων και γυάλινων επιφανειών ενός κτιρίου αντίστοιχα. Τα Φ/Β στοιχεία είναι αυτά τα οποία εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ουσιαστικά είναι η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου, κάτι το οποίο επιτρέπει την απομάκρυνση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις, κάτι που οδηγεί στη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Έπειτα, το ρεύμα αυτό οδηγείται στο φορτίο με το οποίο συνδέεται το Φ/Β στοιχείο. Τα Φ/Β πλαίσια δομούνται από πολλά μικρότερα ηλιακά στοιχεία (solar cells), τα οποία είναι κατάλληλα επεξεργασμένοι ημιαγωγοί μικρού πάχους πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες Φ/Β στοιχείων:

- ❖ τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου
 - Μονοκρυσταλλικού πυριτίου: με απόδοση πλαισίου 14,5% έως 21%
 - Πολυκρυσταλλικού πυριτίου: με απόδοση πλαισίου 13% έως 14,5%
- ❖ τα Φ/Β στοιχεία λεπτών μεμβρανών
 - Άμορφο πυρίτιο με ονομαστική απόδοση ~7%
 - τύπου CIS/CIGS με απόδοση 7 έως 14%.

Το πυρίτιο αποτελεί τη βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα Φ/Β στοιχεία δίνουν μικρή τάση εξόδου. Έτσι οι κατασκευαστές δημιουργούν μεγαλύτερες διατάξεις Φ/Β στοιχείων με κοινή έξοδο, οι οποίες ονομάζονται Φ/Β πλαίσια και περιλαμβάνουν κάποιο αριθμό Φ/Β στοιχείων, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά και παράλληλα. Αυτά τα Φ/Β πλαίσια αποτελούν το δομικό συστατικό ενός Φ/Β συστήματος. Τα Φ/Β πλαίσια αποδίδουν μία τυπική ισχύ, η οποία κυμαίνεται στις τιμές από

20W έως 300W. Κάθε Φ/Β πλαίσιο αποτελείται από N_p ομάδες Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένες μεταξύ τους παράλληλα, η καθεμία από τις οποίες αποτελείται από N_s Φ/Β στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά. Αυτοί οι αριθμοί N_s και N_p δίνονται από τον κατασκευαστή του κάθε Φ/Β πλαισίου. Επιπλέον, ο κατασκευαστής αναγράφει και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων: ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SCM} , τάση ανοικτοκύκλωσης V_{OCM} και μέγιστη ισχύ P_{maxm} . Οι τιμές αυτές έχουν υπολογιστεί υπό κανονικές συνθήκες (STC), οι οποίες είναι ακτινοβολία 1000 W/m^2 , Air Mass (AM) 1.5 και θερμοκρασία στοιχείων (T_{stc}) 25°C . Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης και ισχύος-τάσης ενός Φ/Β στοιχείου.



Σχήμα 2.2: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και P-V ενός Φ/Β στοιχείου.

Στο Σχήμα 2.2 η καμπύλη με τη συνεχή γραμμή απεικονίζει τη χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης, ενώ η καμπύλη με τη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζει τη χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος-τάσης. Παρατηρείται ότι υπάρχει ένα σημείο (V_m , I_m), στο οποίο η ισχύς είναι μέγιστη (P_{MAX}). Το σημείο αυτό ονομάζεται μέγιστο σημείο ισχύος (Maximum Power Point, MPP). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης συμβολίζεται με I_{SC} και η τάση ανοικτοκύκλωσης συμβολίζεται με V_{OC} .

Στη παρούσα εργασία υπολογίζεται η ισχύς εξόδου ενός Φ/Β πλαισίου κάτω από ορισμένες συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, οι οποίες μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους. Για την υλοποίηση αυτών των υπολογισμών είναι απαραίτητο να γίνει πρώτα ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών των Φ/Β στοιχείων υπό συνθήκες STC.

$$P_{maxc} = \frac{P_{maxm}}{N_s * N_p} \quad (2.1)$$

$$V_{occ} = \frac{V_{ocm}}{N_s} \quad (2.2)$$

$$I_{sc} = \frac{I_{scm}}{N_p} \quad (2.3)$$

όπου:

P_{maxm} : η μέγιστη ισχύς,

V_{ocm} : η τάση ανοικτοκύκλωσης,

I_{scm} : το ρεύμα βραχυκύκλωσης,

N_s : ο αριθμός των Φ/Β στοιχείων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά,

N_p : ο αριθμός των ομάδων Φ/Β στοιχείων που είναι συνδεδεμένα παράλληλα.

Ακολούθως υπολογίζεται η παράμετρος V_{OC} και η αντίσταση σε σειρά των Φ/Β στοιχείων, R_s , σύμφωνα με την μέθοδο που περιγράφεται στο [16]. Η τάση και το ρεύμα στο σημείο μέγιστης παραγωγής ισχύος (Maximum Power Point, MPP), που συνδέονται με την τάση ανοικτοκύκλωσης και το ρεύμα βραχυκύκλωσης, αντίστοιχα, του Φ/Β στοιχείου, υπολογίζονται επίσης όπως περιγράφεται στο [16].

Μόλις ολοκληρωθεί ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών λειτουργίας ενός Φ/Β στοιχείου υπό συνθήκες STC, ξεκινά η διαδικασία υπολογισμού των χαρακτηριστικών λειτουργίας του Φ/Β συστήματος για συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες καθορίζονται από το σχεδιαστή του Φ/Β συστήματος. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ενός Φ/Β στοιχείου δίνεται από τη σχέση (2.4).

$$I_{scw} = C_1 * G \quad (2.4)$$

όπου:

G : η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας W/m^2 .

$$C_1 = \frac{I_{sc}}{1000} \quad (2.5)$$

Η εξάρτηση της θερμοκρασίας T_c , η οποία είναι η θερμοκρασία Φ/Β των στοιχείων του πλαισίου, από τη θερμοκρασία T_a , η οποία είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, δίνεται από τη σχέση (2.6).

$$T_c = C_2 * G - T_a \quad (2.6)$$

$$C_2 = \frac{NOCT-20}{800} \quad (2.7)$$

Ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται η τάση ανοικτοκύκλωσης σε κάθε Φ/Β στοιχείο σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου είναι $\frac{dV_{oc}}{dT_c}$. Συνεπώς, σε συνθήκες λειτουργίας, η τάση ανοικτοκύκλωσης δίνεται από τη σχέση (2.8):

$$V_{ocw} = V_{oc} + \frac{dV_{oc}}{dT_c} * (T_c - T_{stc}) \quad (2.8)$$

Στη συνέχεια, όπως περιγράφεται στο [16], υπολογίζονται εκ νέου οι παράμετροι που χρειάζονται για τον υπολογισμό του V_{oc} αλλά αυτή τη φορά με τάση ανοικτοκύκλωσης και ρεύμα βραχυκύκλωσης τα οποία προκύπτουν από τις συνθήκες των επιθυμητών μετεωρολογικών συνθηκών. Ακολούθως, υπολογίζονται ξανά η τάση ανοικτοκύκλωσης και το ρεύμα βραχυκύκλωσης στις συνθήκες των επιθυμητών μετεωρολογικών συνθηκών μέσω των σχέσεων (2.4) και (2.8) από τις νέες τιμές των παραμέτρων και του V_{oc} .

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοικτοκύκλωσης του Φ/Β πλαισίου υπό συνθήκες λειτουργίας δίνονται από τις σχέσεις (2.9) και (2.10) αντίστοιχα.

$$I_{scg} = I_{scw} * N_p \quad (2.9)$$

$$V_{ocg} = V_{ocw} * N_s \quad (2.10)$$

Υπό συνθήκες λειτουργίας η τάση και το ρεύμα στο σημείο μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP) του Φ/Β πλαισίου δίνεται από τις σχέσεις (2.11) και (2.12):

$$V_m = V_{ocg} * \frac{V_{mcw}}{V_{ocw}} \quad (2.11)$$

$$I_m = I_{scg} * \frac{I_{mcw}}{I_{scw}} \quad (2.12)$$

Τελικά, η ζητούμενη μέγιστη παραγόμενη ισχύς ενός Φ/Β πλαισίου υπό τις επιθυμητές συνθήκες λειτουργίας δίνεται από τη σχέση (2.13):

$$P_m = V_m * I_m \quad (2.13)$$

2.2.2 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες ή ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι συσκευές, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, αφού πρώτα μετατραπεί σε χημική ενέργεια και μετέπειτα απόδοσης της με τη μορφή ηλεκτρισμού σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελούνται από ένα δοχείο κατασκευασμένο από ηλεκτρικά μη-αγώγιμο υλικό, όπως είναι ο εβονίτης, το πλαστικό και το γυαλί, το οποίο περιέχει μέσα έναν ηλεκτρολύτη (πχ. οξύ), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής των ηλεκτροδίων οι μπαταρίες χωρίζονται σε διαφορετικές κατηγορίες. Τρεις βασικές κατηγορίες συσσωρευτών είναι οι συσσωρευτές νικελίου - καδμίου, αργύρου - ψευδαργύρου και μολύβδου. Οι δύο πρώτες κατηγορίες συσσωρευτών έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους συσσωρευτές μολύβδου, καθώς μπορούν να ανταπεξέλθουν καλύτερα στις χαμηλές θερμοκρασίες και στην πίεση και έχουν μεγαλύτερη ειδική ενέργεια, όμως το σημαντικό μειονέκτημα τους είναι ότι έχουν κόστος τέσσερις με δέκα φορές μεγαλύτερο από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές μολύβδου – οξέος. Συνεπώς έχει αποδειχθεί ότι οι συσσωρευτές μολύβδου αποτελούν την οικονομικότερη λύση για χρήση σε Φ/Β συστήματα. Τα ηλεκτρόδια τους αποτελούνται από πλάκες από κράματα μολύβδου π.χ. Pb – Sb ή Pb – Ca, τα οποία βυθίζονται σε ένα διάλυμα θειικού οξέος.

Ένας ηλεκτρικός συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από τη χωρητικότητά του, η οποία μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Αυτή η ποσότητα προκύπτει από το γινόμενο της έντασης του ρεύματος που μπορεί να παρέχει ο συσσωρευτής ανεξάρτητα από την τάση του επί το πλήθος των ωρών μέχρι την εκφόρτιση του ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση. Ένα άλλο χρήσιμο μέγεθος για τους συσσωρευτές είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε αυτούς. Συνεπώς, ένας συσσωρευτής χωρητικότητας π.χ. $C = 100 \text{ Ah}$ που μπορεί να παρέχει μέση τάση π.χ. $V_b = 12 \text{ Volt}$ έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ίση με $100 \text{ Ah} * 12 \text{ V} = 1200 \text{ Wh} = 1.2 \text{ kWh}$.

Από την τάση εξόδου του ρυθμιστή τάσης υπολογίζεται το πλήθος των μπαταριών, οι οποίες πρέπει να συνδεθούν σε σειρά, ούτως ώστε να συμβαδίζουν με τις προδιαγραφές λειτουργίας του ρυθμιστή φόρτισης. Οι σχέσεις (2.14) και (2.15) δείχνουν τη διαδικασία υπολογισμού του πλήθους μπαταριών που χρειάζεται να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα αντίστοιχα:

$$N_{bs} = \text{ceil}\left(\frac{V_{Cout}}{V_{bn}}\right) \quad (2.14)$$

$$N_{bp} = \text{floor}\left(\frac{N_b}{N_{bs}}\right) \quad (2.15)$$

όπου:

N_b : το πλήθος των μπαταριών,

V_{cout} : η τάση εξόδου του ρυθμιστή φόρτισης,

V_{bn} : η ονομαστική τάση της μπαταρίας.

Λόγω του ότι το πλήθος των μπαταριών που θα συνδεθούν πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός γίνεται στρογγυλοποίηση και έπειτα υπολογίζεται εκ νέου ο συνολικός αριθμός των μπαταριών που θα τοποθετηθούν παράλληλα και σε σειρά.

$$N_{fb} = N_{bs} * N_{bp} \quad (2.16)$$

Η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών σε Ah δίνεται μέσω της σχέσης.

$$C_{tot} = N_{bp} * C_n \quad (2.17)$$

όπου:

C_n : η ονομαστική χωρητικότητα της κάθε μπαταρίας.

Όλες οι μπαταρίες έχουν ένα μέγιστο επιτρεπτό βάθος εκφόρτισης το οποίο παρέχεται από τον κατασκευαστή και το οποίο δεν πρέπει να υπερβούν κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους ώστε να μην φθαρούν. Κατά τη λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος η χωρητικότητα των μπαταριών μειώνεται ή αυξάνεται όταν η μπαταρία εκφορτίζεται παρέχοντας ισχύ προς το φορτίο ή όταν η μπαταρία φορτίζεται απορροφώντας ισχύ από Φ/Β πλαίσια, αντίστοιχα.

2.2.3 Ρυθμιστές φόρτισης μπαταριών

Οι ρυθμιστές φόρτισης είναι ηλεκτρονικές συσκευές που φροντίζουν για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών ενός Φ/Β συστήματος. Οι ρυθμιστές τάσης είναι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος DC/DC. Διακόπτουν τη φόρτιση των συσσωρευτών όταν αυτοί έχουν φορτιστεί πλήρως και εμποδίζουν την εκφόρτιση των συσσωρευτών πέραν του μέγιστου επιτρεπτού βάθους εκφόρτισης, με σκοπό την προστασία της μπαταρίας. Επιπλέον, φροντίζουν αυτόματα την επανέναρξη της διαδικασίας φόρτισης των μπαταριών όταν διαπιστωθεί ότι η τάση τους έχει πέσει κάτω από το επίπεδο πλήρους φόρτισης. Πέρα από τον έλεγχο της φόρτισης, κάποιοι ρυθμιστές τάσης με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών ισχύος έχουν τη δυνατότητα να απορροφήσουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τα Φ/Β πλαίσια. Αυτές οι διατάξεις ονομάζονται Maximum Power Point Trackers (MPPTs). Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκαν ρυθμιστές τάσης (charger controllers) με MPPT. Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που μπορεί να υποστηρίξει

ένας ρυθμιστής τάσης, δηλαδή το πόσα Φ/Β πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά και πόσα παράλληλα, υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων και του ρυθμιστή τάσης. Ο εκάστοτε κατασκευαστής αναγράφει την τάση εισόδου του φορτιστή σε ένα εύρος τιμών τάσης MPP $V_{in,min} - V_{in,max}$, όπου $V_{in,min}$ είναι η ελάχιστη και $V_{in,max}$ η μέγιστη MPP τάση εισόδου αντίστοιχα. Όταν η τάση στο MPP ενός Φ/Β πλαισίου βρίσκεται ανάμεσα στο $V_{in,min} - V_{in,max}$, τότε χρειάζεται να συνδεθεί ένα μόνο Φ/Β πλαίσιο σε σειρά και όλα τα υπόλοιπα παράλληλα. Όταν, όμως, ισχύει ότι $V_{mpp} < V_{in,min}$, τότε χρειάζεται να τοποθετηθούν περισσότερα Φ/Β πλαίσια σε σειρά, τόσα ώστε η συνολική τάση να βρίσκεται μεταξύ των τιμών $V_{in,min} - V_{in,max}$, ούτως ώστε το Φ/Β σύστημα να μπορέσει να λειτουργήσει, ενώ παράλληλα πρέπει να συνδεθούν πλέον και ανάλογες συστοιχίες Φ/Β πλαισίων. Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που πρέπει να συνδεθούν σε σειρά υπολογίζεται μέσω της σχέσης (2.18):

$$N_s = \text{floor}\left(\frac{V_{in,max}}{V_{mpp}}\right) \quad (2.18)$$

Ο αριθμός των κλάδων (strings) Φ/Β πλαισίων που μπορούν να συνδεθούν παράλληλα υπολογίζεται μέσω της σχέσης (2.19):

$$N_p = \text{floor}\left(\frac{N_{PV}}{N_s}\right) \quad (2.19)$$

όπου:

N_{PV} : το πλήθος των Φ/Β πλαισίων, το οποίο δίνεται ως είσοδος για την κάθε επιφάνεια.

Το συνολικό πλήθος Φ/Β πλαισίων, N_{fPV} που πρέπει να τοποθετηθούν σε έναν ρυθμιστή φόρτισης μπαταριών προκύπτει από το γινόμενο του πλήθους των Φ/Β πλαισίων, που έχει υπολογιστεί ότι χρειάζεται να συνδεθούν σε σειρά με το πλήθος των Φ/Β πλαισίων, τα οποία θα συνδεθούν παράλληλα.

$$N_{fPV} = N_s * N_p \quad (2.20)$$

Εάν το πλήθος των Φ/Β πλαισίων είναι μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να καλύψει ένας φορτιστής, τότε το συνολικό πλήθος των Φ/Β πλαισίων χωρίζεται σε μικρότερες ίδιες συστοιχίες, ούτως ώστε κάθε συστοιχία να αντιστοιχεί σε ένα ρυθμιστή. Η ισχύς με την οποία μπορεί να τροφοδοτήσει ένας ρυθμιστής τάσης τις μπαταρίες δεν μπορεί να υπερβαίνει την ονομαστική τιμή του. Ο συνολικός αριθμός ρυθμιστών που απαιτείται υπολογίζεται μέσω της σχέσης (2.21):

$$N_{ch} = \text{ceil}\left(\frac{P_{VPnom} * N_{fPV}}{P_{ch}}\right) \quad (2.21)$$

όπου:

PV_{Pnom} : η ονομαστική ισχύς του κάθε Φ/Β πλαισίου,

P_{ch} : η ονομαστική ισχύς του ρυθμιστή φόρτισης.

Το πλήθος των Φ/Β πλαισίων που μπορούν να τοποθετηθούν ανά Φ/Β συστοιχία δίνεται μέσω της σχέσης (2.22):

$$N_{PVar} = \text{floor}\left(\frac{N_{PV}}{N_{ch}}\right) \quad (2.22)$$

Από αυτά ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που θα συνδεθούν παράλληλα σε μία συστοιχία υπολογίζεται μέσω της σχέσης (2.23):

$$N_{Par} = \text{floor}\left(\frac{N_{PVar}}{N_s}\right) \quad (2.23)$$

Επομένως, τελικά το συνολικό πλήθος των Φ/Β πλαισίων υπολογίζεται από τη σχέση (2.24):

$$N_{fPV} = N_s * N_{Par} * N_{ch} \quad (2.24)$$

2.2.4 Μετατροπείς DC/AC

Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος (αντιστροφείς, inverters) είναι διατάξεις, οι οποίες επιτρέπουν την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο (AC) και το αντίστροφο. Στην παρούσα εργασία, λόγω του ότι οι περισσότερες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), καθώς και ότι οι ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) έχουν χαμηλότερο κόστος από τις αντίστοιχες ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα (DC), είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρικών μετατροπέων ισχύος DC/AC για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC), το οποίο προέρχεται από τα Φ/Β πλαίσια ή τις μπαταρίες σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) για την τροφοδότηση του φορτίου. Οι μετατροπείς ισχύος DC/AC χαρακτηρίζονται από το βαθμό απόδοσης μετατροπής της ισχύος, ο οποίος δίνεται στη σχέση (2.25):

$$n_i = \frac{P_{inv}^{out}}{P_{inv}^{in}} \quad (2.25)$$

όπου:

P_{inv}^{out} : η ισχύς εξόδου του μετατροπέα DC/AC,

P_{inv}^{in} : η ισχύς εισόδου του μετατροπέα DC/AC.

Όταν ένας μετατροπέας DC/AC λειτουργεί στην ονομαστική του ισχύ, τότε ο βαθμός απόδοσης του μπορεί να αγγίξει και το 95%. Η απόδοση του μετατροπέα πέφτει όταν λειτουργεί σε ισχύ, η οποία είναι διαφορετική της ονομαστικής του. Ο μετατροπέας DC/AC που μοντελοποιήθηκε στην παρούσα εργασία θεωρείται ως ένα σύστημα που μπορεί να μεταφέρει ενέργεια από την είσοδο στην έξοδο του με βαθμό απόδοσης η_i . Ο βαθμός απόδοσης ενός μετατροπέα συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή. Όταν δεν παρέχεται θεωρείται ίσος με 90%. Ο αριθμός των μετατροπέων DC/AC που απαιτείται, εξαρτάται από το φορτίο το οποίο τροφοδοτείται από τη Φ/Β εγκατάσταση και υπολογίζεται μέσω της σχέσης (2.26):

$$N_{inv} = \text{ceil} \left(\frac{\max(L)}{P_{inv}^{nom} \cdot \eta_i} \right) \quad (2.26)$$

όπου:

P_{inv}^{nom} : η ονομαστική DC ισχύς εισόδου του μετατροπέα DC/AC,

L : το ημερήσιο ωριαίο προφίλ κατανάλωσης ισχύος του φορτίου σε Watt.

2.3 Οπτική επίδραση

2.3.1 Εισαγωγή

Η σημαντική αύξηση παγκοσμίως σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας που βασίζονται σε Α.Π.Ε. οφείλεται κυρίως στα σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματά τους, όπως η μείωση εκπομπών CO_2 σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Πολλές χώρες παγκοσμίως έχουν ξεκινήσει ποικίλα προγράμματα, τα οποία σε βάθος κάποιων δεκαετιών έχουν ως σκοπό την απεξάρτηση από τους παλιούς συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και την αντικατάστασή τους με Α.Π.Ε.

Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στην κοινωνική αποδοχή των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας. Ένας από αυτούς τους περιορισμούς είναι ο οπτικός αντίκτυπος που μπορεί να δημιουργήσουν οι μεγάλοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας στους ανθρώπους, προκαλώντας ανεπιθύμητες αλλαγές στο τοπίο. Η άρνηση του τοπικού πληθυσμού μπορεί να επιβραδύνει αν όχι και να εμποδίσει την κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας. Η επιλογή των χώρων με το χαμηλότερο οπτικό αντίκτυπο σε μια περιοχή μπορεί να συμβάλλει στην επιτάχυνση της κατασκευής τους και κατά συνέπεια στην επίλυση του προβλήματος. Τα περισσότερα από τα μεγάλα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, που βασίζονται σε Α.Π.Ε., είναι αιολικά πάρκα και Φ/Β εγκαταστάσεις, κάτι που δικαιολογεί τις προσπάθειες

εύρεσης διάφορων μεθοδολογιών υπολογισμού της οπτικής επίδρασης (Visual Impact Assessment, VIA) για αυτές τις μονάδες.

Πολλές κυβερνήσεις επικεντρώνουν τις προσπάθειες τους στην εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε αστικές περιοχές, έτσι ώστε να αποφευχθεί η περεταίρω επέκταση του αστικού ιστού και οι ζημιές σε υπάρχοντα φυσικά τοπία. Έτσι, οι Φ/Β εγκαταστάσεις σε κτίρια ταξινομούνται σε BIPV (Φ/Β ενσωματωμένα σε κτίρια) όταν το σύστημα είναι πλήρως ενσωματωμένο στην δομή του κτιρίου ως πρόσθετο δομικό υλικό, ή BAPV (Φ/Β που εφαρμόζονται σε κτίρια) όταν το σύστημα βρίσκεται απλά στην οροφή με μεταλλική δομή στήριξης.

Αυτές οι μέθοδοι αξιολόγησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως ποιοτικές είτε ως ποσοτικές, ανάλογα με τα κριτήρια που εφαρμόζουν:

- ❖ Οι ποιοτικές μέθοδοι εστιάζουν περισσότερο στις αισθητικές πτυχές του συστήματος BIPV. Για παράδειγμα, προτείνεται η εγκατάσταση της μονάδας σε καλή θέση με κατάλληλες διαστάσεις, χρησιμοποιώντας ευχάριστη υφή και μοτίβο επιφάνειας, γεγονός που θα συμβάλλει θετικά στην ποιότητα ενσωμάτωσης ενός σχεδιασμού BIPV. Σε αυτές τις μεθόδους, μια καλή ενσωμάτωση BIPV απαιτεί οι μονάδες να βρίσκονται στην ίδια επίπεδη επιφάνεια με τις υπόλοιπες επιφάνειες του κτιρίου και να σέβονται τις υπάρχουσες γραμμές.
- ❖ Στις μεθόδους ποσοτικής αξιολόγησης πρέπει, συνήθως, να αποφασιστεί το ανθρώπινο οπτικό πεδίο (η οπτική περιοχή που μπορεί να δει ο παρατηρητής) πρώτα. Το αντιληπτό μέγεθος του συστήματος BIPV ως ποσοστό της περιοχής του οπτικού πεδίου είναι τότε ανάλογο με τον προκύπτον οπτικό αντίκτυπο του συστήματος BIPV. Όσον αφορά αυτές τις μεθόδους, στις οποίες η ορατή περιοχή είναι ο τρόπος μέτρησης της οπτικής επίδρασης των συστημάτων BIPV, η διαδικασία υπολογισμού βασίζεται σε καθαρή γεωμετρική λογική.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού της οπτικής επίδρασης, οι οποίες αναπτύσσονται και αναλύονται αναλυτικά στα παρακάτω κεφάλαια.

2.3.2 1^η Μέθοδος

Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται σε μια έκταση γης, στην οποία θα τοποθετηθεί μια εγκατάσταση Α.Π.Ε. Βασίζεται στην μέθοδο “fuzzy viewshed and distance decay”, η οποία

επιτρέπει τον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού ωρών σε μια μέση ημέρα, κατά τις οποίες η εγκατάσταση Α.Π.Ε. μπορεί να θεαθεί από κάθε πιθανό παρατηρητή. Αυτός ο αριθμός υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψιν τους κατοίκους της περιοχής, το μέγεθος της εγκατάστασης, τους πιθανούς παρατηρητές από μονοπάτια και δρόμους και την απόστασή τους από την εγκατάσταση Α.Π.Ε. [2], [3].

Ο οπτικός αντίκτυπος που μπορεί να προκαλέσει μια νέα μονάδα Α.Π.Ε. σχετίζεται άμεσα με το πόσο ορατή είναι αυτή από τα διάφορα σημεία παρατήρησης. Αυτό σημαίνει ότι η οπτική επίδραση της μονάδας Α.Π.Ε. είναι αμελητέα όταν δεν είναι ορατή από μέρη στα οποία συνωστίζονται παρατηρητές, ενώ αυξάνεται όσο αυξάνονται και τα μέρη από τα οποία είναι ορατή.

Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται σε ένα Geographical Information System (GIS) που επιτρέπει την παρουσίαση οπτικών αποτελεσμάτων, τα οποία βοηθούν στον εντοπισμό των καλύτερων περιοχών της υπό μελέτη περιοχής. Ουσιαστικά αυτή η μέθοδος προτείνει μια κλίμακα με 6 επίπεδα, από το ελάχιστο έως το μέγιστο, με την οποία αξιολογεί την οπτική επίδραση. Το επίπεδο υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τον πληθυσμό της περιοχής, τους χρήστες των δρόμων και των σιδηροδρόμων, καθώς και την απόσταση μεταξύ του παρατηρητή και του έργου Α.Π.Ε. Θεωρείται ότι η οπτική επίδραση είναι υψηλή όταν η απόσταση είναι μικρότερη από 10 km, ενδιάμεση όταν η απόσταση κυμαίνεται από 10 km έως 20 km και χαμηλή όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 20 km. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι η απόσταση διαδραματίζει το ρόλο διαιρέτη στο δείκτη οπτικών επιπτώσεων. Έτσι, έχει δημιουργηθεί μια συνάρτηση για τον υπολογισμό αυτού του δείκτη, ο οποίος θα εκφράζει την αντικειμενική αισθητική επίδραση όλων των έργων Α.Π.Ε. Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής: ορατότητα, ύψος παρατηρητή, γεωγραφικό ανάγλυφο, μέγεθος κάλυψης γης από την εγκατάσταση, ύψος και πλάτος εγκατάστασης, καθώς και το χρώμα.

Το μοντέλο δεδομένων raster χωρίζει τη μελετημένη γεωγραφική περιοχή σε ένα πλέγμα κελιών GIS, όπου κάθε κελί περιέχει την τιμή μιας μεταβλητής ενδιαφέροντος και μια γεωγραφική θέση. Ορίζεται μια νέα μεταβλητή, η Potential Observation Hours (POH), η οποία αντιπροσωπεύει τη συγκεντρωτική τιμή του μέγιστου αριθμού ωρών σε μια μέση ημέρα, κατά την οποία ένα αντικείμενο μπορεί να θεαθεί από κάθε πιθανό παρατηρητή. Με την αξιολόγηση της μεταβλητής POH για όλα τα κελιά GIS που αντιπροσωπεύουν μια γεωγραφική περιοχή μπορεί να ληφθεί ένας χάρτης. Αυτός ο χάρτης βοηθά στην οπτική αναγνώριση των σημείων της περιοχής με την υψηλότερη ή χαμηλότερη πιθανότητα θέασης από κάποιο παρατηρητή. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε όλα τα είδη σταθμών Α.Π.Ε.,

αλλάζοντας μόνο το ύψος, το μέγεθος των κελιών και την έκταση που καταλαμβάνει ο σταθμός παραγωγής ενέργειας Α.Π.Ε.

Ο κύριος στόχος αυτής της μεθοδολογίας είναι η επίτευξη ενός συνόλου χαρτών GIS που βοηθούν στον οπτικό προσδιορισμό των θέσεων σε μια περιοχή με τη χαμηλότερη θέαση. Αυτοί οι χάρτες είναι κατασκευασμένοι με βάση τη μεταβλητή POH, που λαμβάνει υπόψη όλους τους πιθανούς παρατηρητές (κινούμενους και επιτόπιους).

Οι τιμές POH αποθηκεύονται σε μορφή raster σε GIS. Η μορφή raster διατηρεί τις γεωγραφικές πληροφορίες σε κελιά που αντιπροσωπεύουν μια μικρή τετραγωνική επιφάνεια στη γεωγραφική περιοχή που μελετάται. Συνήθως προτιμάται το μέγεθος των κυψελών να είναι ανάλογο με την πραγματική έκταση που καλύπτει η εγκατάσταση Α.Π.Ε.

Για ένα μόνο σημείο παρατήρησης και για ένα μεμονωμένο οδικό τμήμα, ορίζεται το POH ως μια αριθμητική τιμή, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των πιθανών παρατηρητών και την απόσταση μεταξύ αυτών και του παρατηρούμενου αντικειμένου. Ο λόγος για τον οποίο η απόσταση διαδραματίζει θεμελιώδη ρόλο είναι ότι η ανθρώπινη οπτική οξύτητα μειώνεται όταν η απόσταση αυξάνεται. Η μεταβλητή POH εξαρτάται ακόμη από την μορφολογία του εδάφους ανάμεσα στο σημείο παρατήρησης και το παρατηρούμενο αντικείμενο.

Αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχουν καθορισμένοι τύποι που να επηρεάζουν άμεσα τα όρια της ανθρώπινης οπτικής οξύτητας, την υποβάθμιση της ορατότητας με την απόσταση και τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων και του περιβάλλοντός τους. Για αυτό εφαρμόζονται ασαφείς συναρτήσεις, οι τιμές των οποίων εξασθενούν με την αύξηση της απόστασης μεταξύ παρατηρητή και αναλυόμενης τοποθεσίας. Σε αυτές τις συναρτήσεις το μέγεθος του παρατηρούμενου αντικειμένου στη θέση ανάλυσης και η απόσταση από τον παρατηρητή λαμβάνονται από κοινού. Οι παράμετροι της συνάρτησης αποσύνθεσης υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση κατά την οποία ένα αντικείμενο φτάνει στο τυπικό όριο της οξύτητας αναγνώρισης.

Η συνάρτηση αποσύνθεσης απόστασης είναι η εξής:

Για $d \leq b1$:

$$\mu(x) = 1 \quad (2.27)$$

Για $d > b1$:

$$\mu(x) = \frac{1}{1+2\left(\frac{d-b1}{b2}\right)^2} \quad (2.28)$$

όπου:

x : η θέση του παρατηρούμενου αντικειμένου,

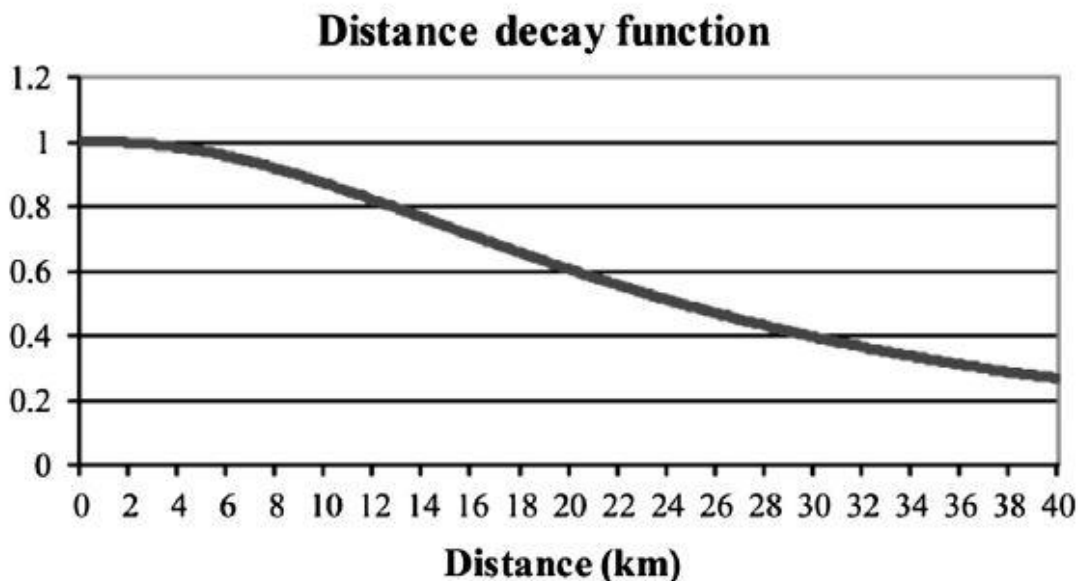
d : η απόσταση μεταξύ της θέσης του παρατηρητή και του x ,

$b1$: το όριο (απόσταση από τον παρατηρητή) της περιοχής προσκηνίου υψηλής διαύγειας,

$b2$: το κατώφλι από το οποίο γίνεται αντιληπτό το αντικείμενο.

Οι παράμετροι $b1$ και $b2$ εξαρτώνται από το μέγεθος του παρατηρούμενου αντικειμένου. Το άθροισμα των $b1$ και $b2$ αντιστοιχεί στην απόσταση, κατά την οποία ένα αντικείμενο φτάνει στο τυπικό όριο της οξύτητας αναγνώρισης. Οι ασαφείς τιμές που λαμβάνονται από τις σχέσεις (2.27) και (2.28) κυμαίνονται από 0 έως 1, δίνοντας μια τιμή 0,33 στο σημείο κατά το οποίο ένα αντικείμενο φτάνει στο τυπικό όριο της οξύτητας αναγνώρισης.

Το d αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ της κεντρικής θέσης της περιοχής που αντιπροσωπεύεται από αυτό το κελί και της θέσης του παρατηρητή. Για έναν μόνο παρατηρητή, η τιμή που προκύπτει από τις σχέσεις (2.27) και (2.28) αντιπροσωπεύει την ασαφή τιμή ιδιότητας μέλους για το αντικείμενο που βρίσκεται στη θέση (κελί) x .

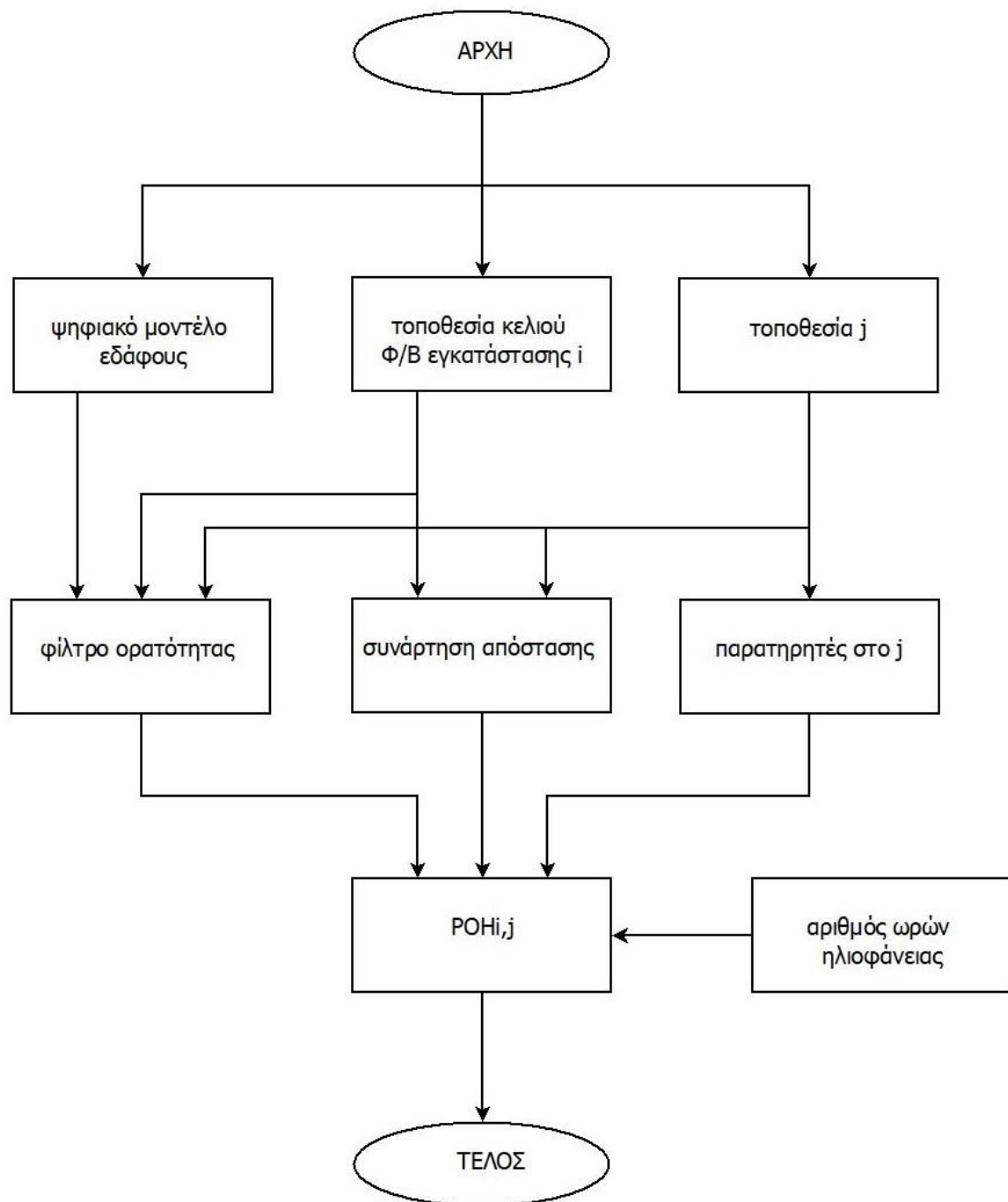


Σχήμα 2.3: Η λειτουργία αποσύνθεσης απόστασης [2].

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η λειτουργία αποσύνθεσης απόστασης που αντιστοιχεί σε ένα αντικείμενο με μέγεθος 10 m, όπου οι τιμές των παραμέτρων $b1$ και $b2$ είναι 570 m και 33.800 m, αντίστοιχα.

Τα δυο είδη παρατηρητών αντιμετωπίζονται σε γενικό πλαίσιο με τον ίδιο τρόπο με μικρές διαφοροποιήσεις, ανάλογα τις ανάγκες του καθενός.

Αρχικά, τα δεδομένα που αντιστοιχούν στα σημεία παρατήρησης αποθηκεύονται σε έναν πίνακα παρατηρητών. Αυτός ο πίνακας περιέχει τη γεωγραφική θέση κάθε σημείου παρατήρησης, το ύψος του παρατηρητή πάνω από το έδαφος και τον αριθμό των πιθανών παρατηρητών.



Σχήμα 2.4: Η διαδικασία υπολογισμού της μεταβλητής POH .

Στο Σχήμα 2.4 δίνεται η διαδικασία υπολογισμού της μεταβλητής POH που αντιστοιχεί σε μια εγκατάσταση Α.Π.Ε τοποθετημένη στην περιοχή, η οποία αναπαρίσταται από το κελί i και σε ένα σημείο παρατήρησης j .

Τα στάδια της διαδικασίας είναι τα εξής:

1. Τα δεδομένα που αντιστοιχούν στο ύψος πάνω από το έδαφος και την έκταση γης της εγκατάστασης Α.Π.Ε. αποθηκεύονται στο GIS στο αντίστοιχο κελί.
2. Τα δεδομένα που αντιστοιχούν στο ύψος του παρατηρητή πάνω από το έδαφος και τον αριθμό πιθανών παρατηρητών από το σημείο παρατήρησης j ή το τμήμα δρόμου k διαβάζονται από τον αντίστοιχο πίνακα παρατηρητών (επιτόπιων ή κινούμενων).
3. Εφαρμόζεται το "φίλτρο ορατότητας": Για επιτόπιους παρατηρητές, αυτό το φίλτρο αντιστοιχεί σε μια συνάρτηση που επιστρέφει μια τιμή 0 εάν η εγκατάσταση Α.Π.Ε. σε μια θέση ή στο κελί i δεν είναι ορατή από τη θέση j . Αυτό το φίλτρο επιστρέφει μια τιμή 1 όταν η εγκατάσταση Α.Π.Ε. στο κελί i είναι ορατή από τη θέση j . Αντίθετα, όσον αφορά τους παρατηρητές στο δρόμο, αυτό το φίλτρο αντιστοιχεί σε μια συνάρτηση που επιστρέφει τον αριθμό των κόμβων από τους οποίους είναι ορατή η περιοχή που εκπροσωπείται από το κελί i . Η τιμή φίλτρου ορατότητας αποθηκεύεται στο κελί i .
4. Το GIS υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του κέντρου της περιοχής που παρουσιάζεται από το κελί i (Α.Π.Ε. εγκατάσταση) και της θέσης j (επιτόπιοι) ή του οδικού τμήματος k (κινούμενοι).
5. Το GIS υπολογίζει την τιμή για τη συνάρτηση αποσύνθεσης απόστασης (τιμή που επιστρέφεται από τη συνάρτηση σύμφωνα με την απόσταση μεταξύ της Α.Π.Ε. εγκατάστασης και των παρατηρητών).
6. Το GIS πολλαπλασιάζει την τιμή που λαμβάνεται με το φίλτρο ορατότητας, την τιμή για τη συνάρτηση αποσύνθεσης απόστασης, τον αριθμό των πιθανών παρατηρητών (επιτόπιοι) και τον αριθμό των ωρών ηλιοφάνειας της μέσης ημέρας (12 ώρες) ή την απόσταση από κόμβο σε κόμβο του τμήματος δρόμου k (κινούμενοι). Αυτό το γινόμενο διαιρείται με τη μέση ταχύτητα των οχημάτων σε αυτό το τμήμα δρόμου για τους εν κινήσει παρατηρητές.

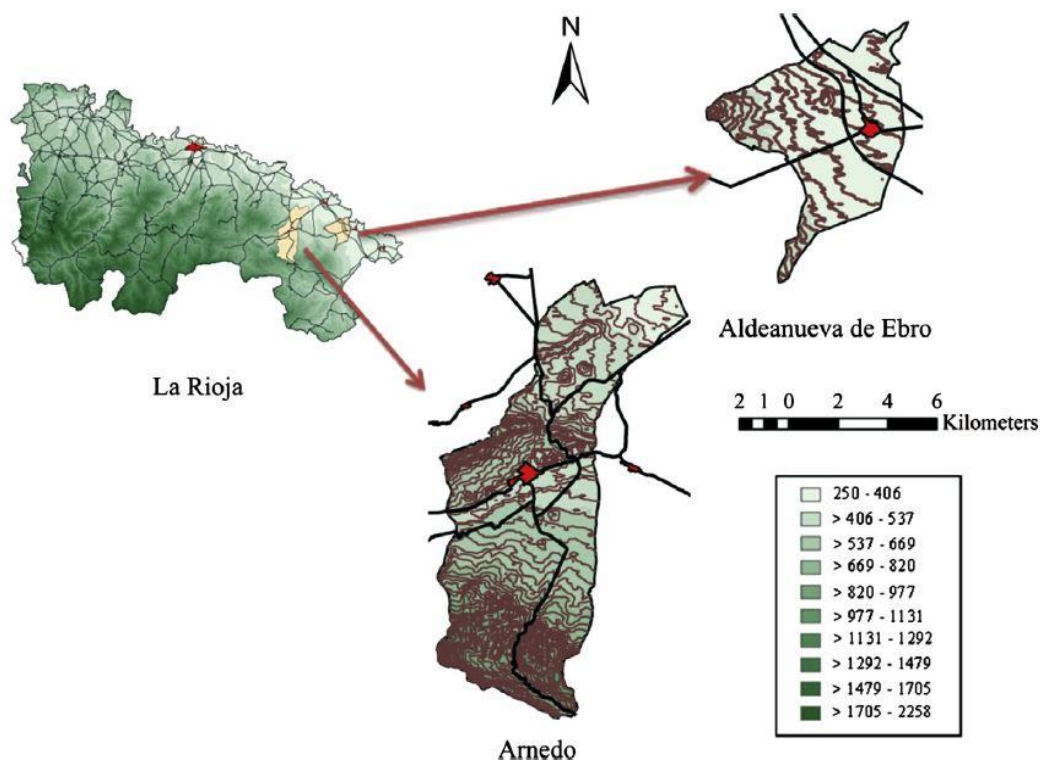
Τα στάδια 2 έως 6 επαναλαμβάνονται για όλα τα σημεία παρατήρησης και όλα τα είδη παρατηρητών στην περιοχή υπό μελέτη. Σε αυτή την περιοχή το σύνολο όλων των σημείων παρατήρησης είναι M , το καθένα με διαφορετική θέση, ύψος και αριθμό πιθανών παρατηρητών, ενώ τα συνολικά τμήματα δρόμων είναι K .

Οι τιμές που λαμβάνονται για κάθε σημείο παρατήρησης και για κάθε τμήμα του δρόμου συγκεντρώνονται για να ληφθούν οι τιμές On-Site Global Potential Observation Hours (OSGPOHi) και On-Road Global Potential Observation Hours (ORGPOHi). Αυτές οι τιμές είναι οι συγκεντρωτικές τιμές του μέγιστου αριθμού ωρών παρατήρησης σε μια μέση ημέρα για όλους τους πιθανούς ακίνητους παρατηρητές και για όλους τους πιθανούς κινούμενους παρατηρητές αντίστοιχα. Η αριθμητική τιμή που λαμβάνεται αποθηκεύεται στο κελί που αντιστοιχεί στη θέση i .

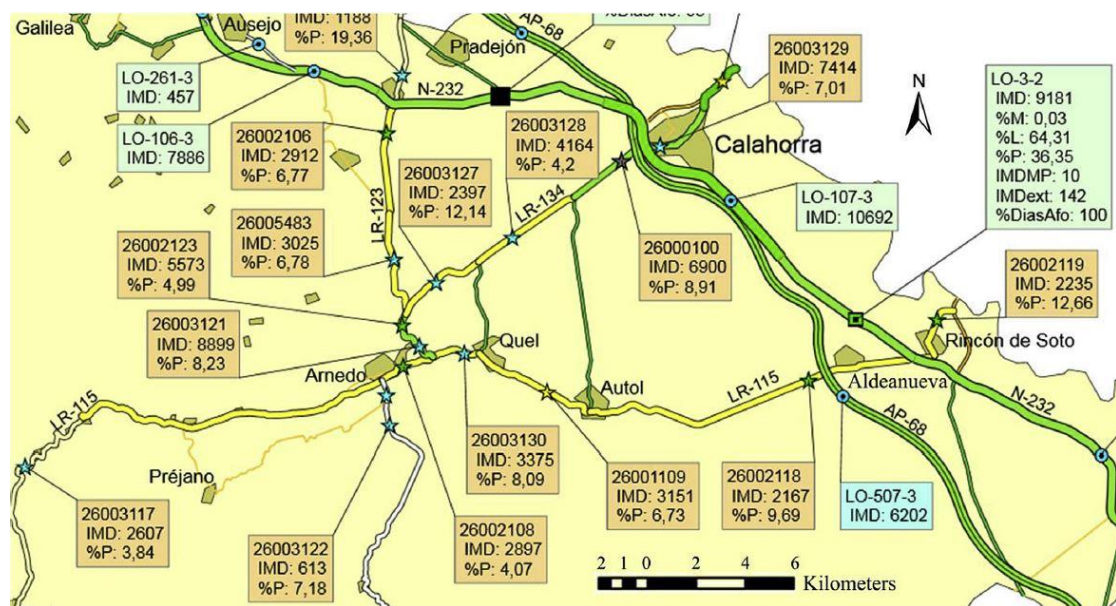
$$OSGPOHi = \sum_{j=1}^M POHi, j \quad (2.29)$$

$$ORGPOHi = \sum_{k=1}^K POHi, k \quad (2.30)$$

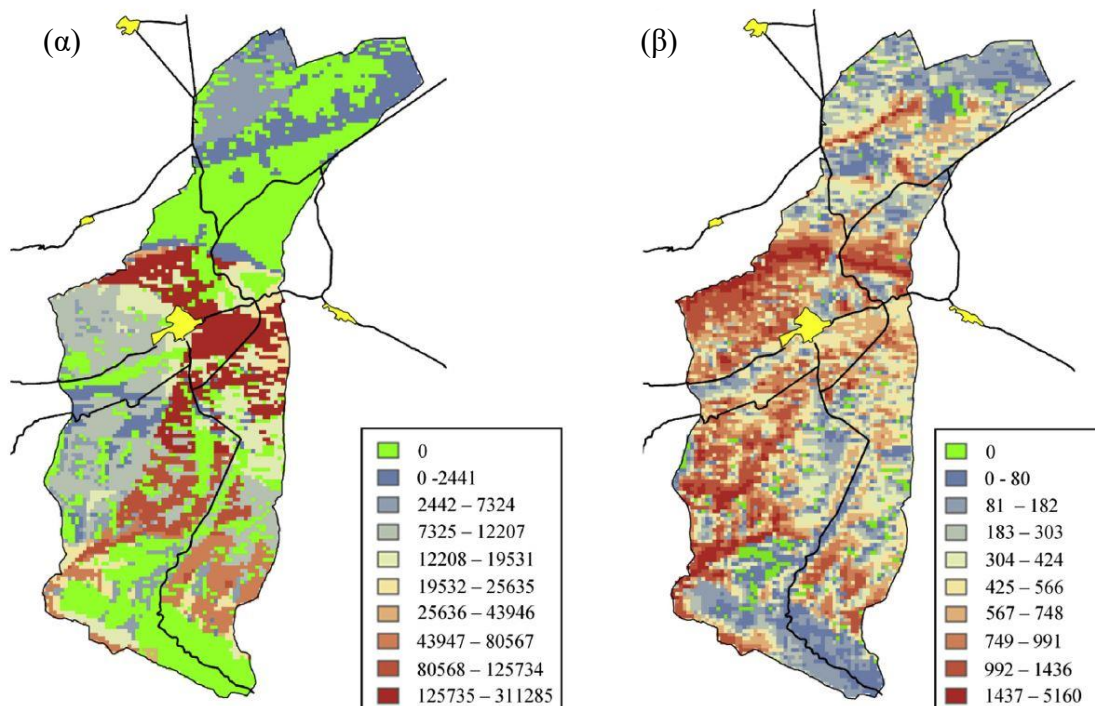
Η παραπάνω διαδικασία μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί, ώστε να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη των σταθερών και κινούμενων παρατηρητών. Το μόνο που χρειάζεται είναι να συμπεριληφθεί μια νέα στήλη με το ύψος του κάθε είδους παρατηρητή στον αντίστοιχο πίνακα.



Σχήμα 2.5: Περιοχή ανάλυσης [2].



Σχήμα 2.6: Δρόμοι της περιοχής που θα αναλυθεί [2].



Σχήμα 2.7: (α) OSGPOH χάρτης και (β) ORGPOH χάρτης [2].

Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζονται δυο διαφορετικές περιοχές, οι οποίες θα αναλυθούν [2]. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται το οδικό δίκτυο από τις δύο διαφορετικές περιοχές, οι οποίες θα

αναλυθούν [2]. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζονται ο χάρτης OSGPOH, ο οποίος παρουσιάζει χρωματικά τις συγκεντρωτικές τιμές του μέγιστου αριθμού ωρών παρατήρησης σε μια μέση ημέρα για όλους τους πιθανούς ακίνητους παρατηρητές και ο χάρτης ORGPOH, ο οποίος παρουσιάζει χρωματικά τις συγκεντρωτικές τιμές του μέγιστου αριθμού ωρών παρατήρησης σε μια μέση ημέρα για όλους τους πιθανούς παρατηρητές στο δρόμο [2].

Εφαρμόζοντας την παραπάνω διαδικασία σε όλα τα κελιά που αντιστοιχούν στην περιοχή υπό μελέτη προκύπτει ένα σύνολο χαρτών που σχετίζονται με το POH της εγκατάστασης Α.Π.Ε. Κάθε κελί στο χάρτη έχει ένα χρώμα που υποδηλώνει την τιμή της μεταβλητής σε αυτό. Αυτές οι τιμές μπορούν να κανονικοποιηθούν σε μια κλίμακα από το 0 έως το 1, με το 0 να αντιστοιχεί στην πιο χαμηλή τιμή θέασης και το 1 στην πιο υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα απόκτησης των ομαλοποιημένων τιμών OSGPOH και ORGPOH χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (2.31) και (2.32):

$$n \text{ OSGPOH}_i = \frac{\text{OSGPOH}_i}{\max(\text{OSGPOH}_i)} \quad (2.31)$$

$$n \text{ ORGPOH}_i = \frac{\text{ORGPOH}_i}{\max(\text{ORGPOH}_i)} \quad (2.32)$$

όπου τα $\max(\text{OSGPOH})$ και $\max(\text{ORGPOH})$ αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές για όλα τα κελιά και των δύο μεταβλητών.

Με βάση τις παραπάνω συναρτήσεις δίνεται ένας κανονικοποιημένος χάρτης, ο οποίος αντιπροσωπεύει μια κατάταξη των περιοχών, στις οποίες είναι δυνατή η κατασκευή της εγκατάστασης Α.Π.Ε.. Τα κελιά με τις χαμηλότερες τιμές αντιστοιχούν στις περιοχές με τη χαμηλότερη POH στην περιοχή, ενώ τα κελιά με την τιμή 1 αντιστοιχούν στις περιοχές με τη μεγαλύτερη. Τα κελιά με τιμή 0 αντιστοιχούν σε περιοχές με μηδενική οπτική επίδραση, επειδή δεν είναι παρατηρήσιμες ούτε από επιτόπιους, ούτε από οδικούς παρατηρητές.

Προκειμένου να συμπεριληφθούν και τα δυο είδη παρατηρητών σε ένα μόνο χάρτη, μπορούν να επιλεγούν δύο διαφορετικές στρατηγικές:

Οι ομαλοποιημένες μεταβλητές POH, δηλαδή, οι μεταβλητές $n\text{OSGPOH}$ και $n\text{ORGPOH}$, συνδυάζονται μέσω της σχέσης (2.33) για να ληφθεί η μεταβλητή Global Potential Observation Hours Index (GPOHi):

$$\text{GPOHi} = W_s n\text{OSGPOHi} + W_r n\text{ORGPOHi} \quad (2.33)$$

όπου:

W_s : κανονικοποιημένο βάρος για ακίνητους παρατηρητές,

W_r : κανονικοποιημένο βάρος για εν κινήσει παρατηρητές.

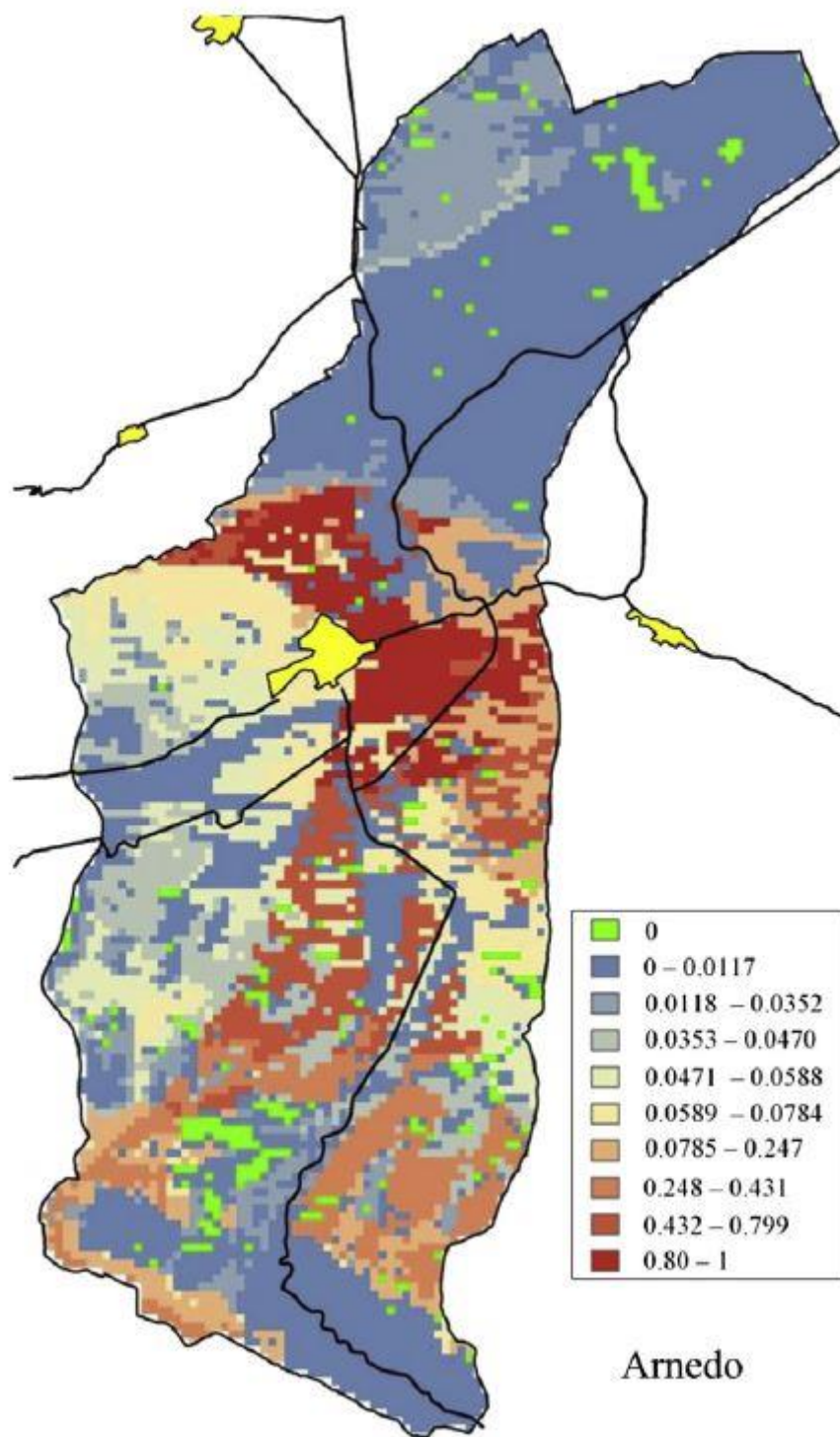
Το άθροισμα του W_s με το W_r είναι ίσο με την μονάδα.

Η μεταβλητή $GPOH_i$ που λαμβάνεται με αυτή τη λειτουργία, μπορεί να αναπαρασταθεί σε έναν χάρτη, στον οποίο κάθε κελί (θέση i) παρουσιάζει μια τιμή μεταξύ 0 και 1. Αυτή η στρατηγική είναι εφαρμόσιμη σε περιοχές, στις οποίες οι παρατηρητές είναι είτε μόνιμοι κάτοικοι, είτε περαστικοί και θα ήταν ωφέλιμο να δοθεί περισσότερο βάρος στο ένα από τα δύο είδη παρατηρητών.

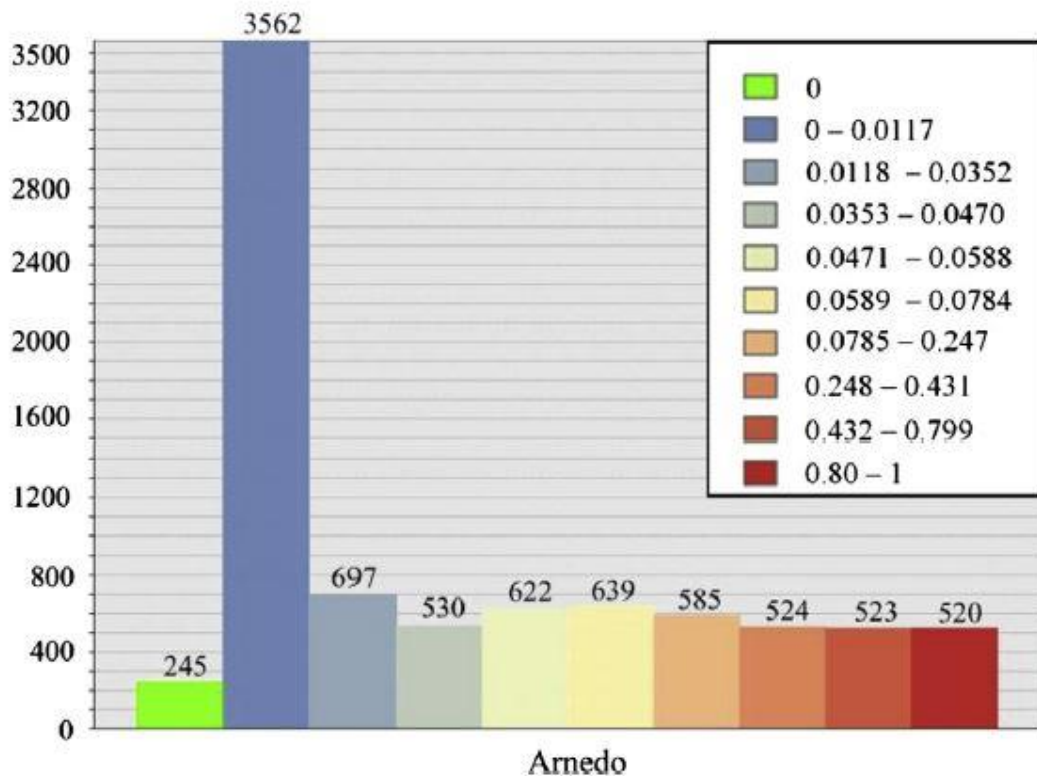
Οι μεταβλητές POH , δηλαδή οι $OSGPOH$ και $ORGPOH$, συνδυάζονται μέσω της σχέσης (2.34) για να ληφθεί η μεταβλητή Global Potential Observation Hours ($nGPOH_i$):

$$nGPOH_i = \frac{W_s OSGPOH_i + W_r ORGPOH_i}{\max(W_s OSGPOH + W_r ORGPOH)} \quad (2.34)$$

Η μεταβλητή που λαμβάνεται με αυτήν τη λειτουργία, $nGPOH_i$, μπορεί επίσης να αναπαρασταθεί σε έναν χάρτη, στον οποίο κάθε κελί (θέση i) παρουσιάζει μια τιμή μεταξύ 0 και 1. Αυτή η στρατηγική πρέπει να επιλεγεί όταν οι ακίνητοι και οι εν κινήσει παρατηρητές είναι κατά κύριο λόγο μόνιμοι κάτοικοι της περιοχής.



Σχήμα 2.8: GPOHI χάρτης με $W_s = 0.5$ και $W_r = 0.5$ [2].



Σχήμα 2.9: Ιστόγραμμα σύμφωνα με τη μεταβλητή GPOHI [2].

Στο Σχήμα 2.8 παρουσιάζεται ο χάρτης GPOHI με βάρη $W_s = 0.5$ και $W_r = 0.5$, ο οποίος παρουσιάζει χρωματικά τις συγκεντρωτικές τιμές του μέγιστου αριθμού ωρών παρατήρησης σε μια μέση ημέρα για όλους τους πιθανούς παρατηρητές [2]. Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα του χάρτη GPOHI [2].

2.3.3 2^η Μέθοδος

Αυτή η μέθοδος αντιμετωπίζει τον οπτικό αντίκτυπο που προκαλούν οι εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. με δυο προσεγγίσεις. Η μια είναι η χωρική προσέγγιση και η άλλη η αντιληπτική [4].

Αυτή η μέθοδος χρειάζεται ένα GIS για τον υπολογισμό των δεικτών αξιολόγησης και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Στο GIS η χωρική ανάλυση που χρησιμοποιείται είναι $200\text{m} \times 200\text{m}$ για τις μελέτες σε εθνικό επίπεδο και $90\text{m} \times 90\text{m}$ για τις τοπικές. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε raster maps.

Τα δεδομένα τα οποία απαιτούνται για να περατωθεί ο υπολογισμός του οπτικού αντίκτυπου και για τις δυο προσεγγίσεις είναι :

- ❖ Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των εγκαταστάσεων Α.Π.Ε., των οποίων ο αντίκτυπος πρέπει να αξιολογηθεί.
- ❖ Οι διαστάσεις αυτών των εγκαταστάσεων (ύψος και πλάτος).
- ❖ Το οπτικό κατώφλι τους, δηλαδή η μέγιστη απόσταση από την οποία μπορεί να αναγνωριστεί μια εγκατάσταση.
- ❖ Ένα Digital Elevation Model (DEM), δηλαδή ένας χάρτης ο οποίος καταγράφει το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής. Σε αυτό το ανάγλυφο λαμβάνονται επίσης υπόψη και το ύψος της βλάστησης, καθώς και το ύψος των κτιρίων (το οποίο θεωρείται 3 μετρά ανά όροφο).
- ❖ Ένας χάρτης χρήσης γης, δηλαδή ποιες περιοχές ανήκουν στον αστικό ιστό, καθώς και ο πληθυσμός αυτών των περιοχών και η οριοθέτηση των δικτύων επικοινωνίας, δρόμοι και σιδηρόδρομοι.
- ❖ Το ύψος στη θέση του παρατηρητή.

Η χωρική πτυχή καθορίζει εάν οι εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι ή δεν είναι ορατές από καθεμία από τις τοποθεσίες στην περιοχή μελέτης. Ένας αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ορατότητας λαμβάνοντας υπόψη την ανύψωση της επιφάνειας, τις διαστάσεις των εγκαταστάσεων, το ανάγλυφο του τοπίου και την καμπυλότητα της Γης. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένας χάρτης ορατότητας, στον οποίο σε κάθε τοποθεσία εκχωρείται μια τιμή Boolean που δείχνει εάν οποιαδήποτε εγκατάσταση Α.Π.Ε. είναι ορατή από αυτή την τοποθεσία. Αυτή η διαδικασία έχει το πλεονέκτημα ότι παρέχει μια συνολική περίληψη του οπτικού αντίκτυπου που προκαλείται και επιτρέπει μια πρώτη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών σεναρίων.

Η αντιληπτική προσέγγιση προσπαθεί να προχωρήσει στην ποσοτικοποίηση της οπτικής αντίληψης των εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. Ένας ακόμα αλγόριθμος προέρχεται από τον προηγούμενο για την αξιολόγηση αυτής της οπτικής αντίληψης, μετρώντας το κλάσμα του οπτικού πεδίου που καταλαμβάνουν οι εγκαταστάσεις Α.Π.Ε.

Η μεθοδολογία αυτή προσπαθεί να υπολογίσει τις οπτικές επιπτώσεις μιας εγκατάστασης Α.Π.Ε. και το επιτυγχάνει προσδιορίζοντας το κατά πόσο μπορεί αυτή να γίνει αντιληπτή. Αρχικά, υπολογίζεται το εύρος διακριτότητας, το οποίο βασίζεται στην έννοια του οπτικού κατωφλίου που χρησιμοποιείται στην ψυχοφυσική και ορίζεται ως το ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να γίνει αντιληπτό. Αποδεικνύεται ότι το ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να αναγνωριστεί από ένα άτομο με φυσιολογική οπτική οξύτητα είναι 25 min^2 . Το οπτικό μέγεθος μετριέται σε min^2 οπτικής γωνίας και ορίζεται ως το τμήμα του οπτικού πεδίου που

καταλαμβάνεται από ένα αντικείμενο. Με βάση αυτήν την παραδοχή καθορίζεται η μέγιστη απόσταση, από την οποία μια εγκατάσταση Α.Π.Ε. μπορεί να αναγνωριστεί. Το εύρος διακριτότητας, επομένως, διαφέρει από τη μία εγκατάσταση Α.Π.Ε. στην άλλη, καθώς εξαρτάται από το μέγεθος της.

Για μια εγκατάσταση Α.Π.Ε. (t), η σχέση μεταξύ του εύρους διακριτότητας Δt και των διαστάσεων της εγκατάστασης υπολογίζεται από την εξίσωση:

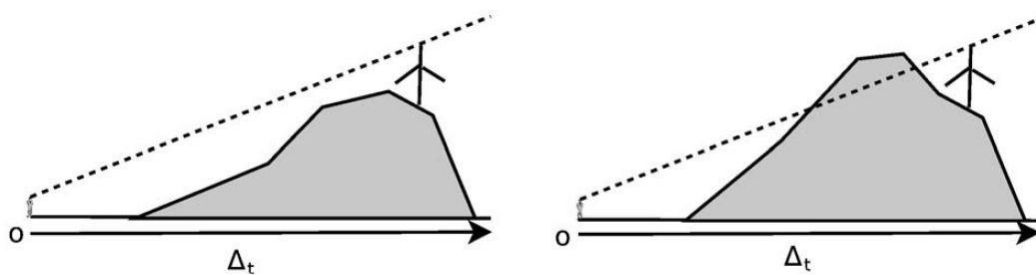
$$\Delta_t = \sqrt{I_t^w I_t^h c / 25} \quad (2.35)$$

όπου:

I^h : το ύψος της εγκατάστασης,

I^w : το πλάτος της εγκατάστασης,

c : σταθερά για τη μετατροπή των steradians σε min^2 , η οποία είναι ίση με $(180 * \frac{60}{\pi})^2 \simeq 1,18 * 10^7$.



Σχήμα 2.10: Διαδικασία για να εξακριβωθεί εάν ένα pixel παρατήρησης (ο) επηρεάζεται οπτικά [4].

Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζεται γραφικά ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εξακρίβωση για το εάν ένα pixel παρατήρησης (ο) επηρεάζεται οπτικά ή όχι από μια εγκατάσταση Α.Π.Ε. [4].

Το οπτικό μέγεθος ορίζεται ως το προϊόν των κατακόρυφων και οριζόντιων γωνιών προβολής ενός αντικειμένου. Δίνεται ο δείκτης οπτικής αντίληψης από μια θέση παρατήρησης (ο) ως την οπτική στερεά γωνία (visual solid angle) που αντιστοιχίζεται σε όλες τις εγκαταστάσεις που υπάρχουν στην περιοχή ανάλυσης. Συνεπώς, αντί να αντιστοιχίζεται μια δυαδική τιμή στο pixel παρατήρησης (ο), υπολογίζεται ο δείκτης αντίληψης P_0 ως η συνολική στερεά γωνία που διαιρείται με 2π steradians και εκφράζεται ποσοστιαία μέσω της σχέσης (2.36):

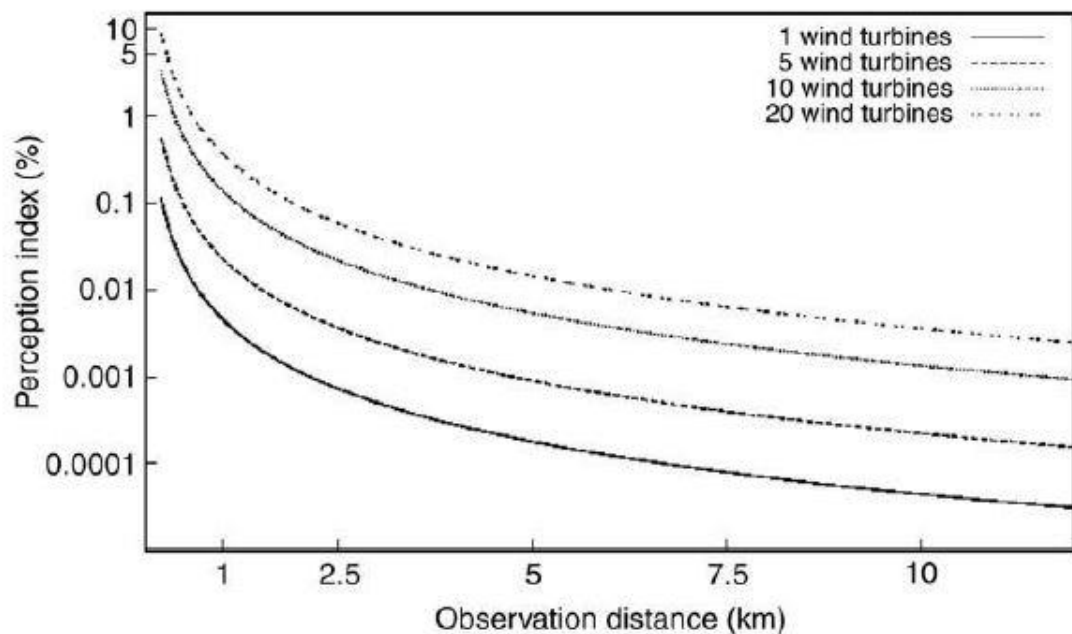
$$P_0 = \sum_i \frac{A_t}{2\pi D_{oi}^2} 100 \quad (2.36)$$

όπου:

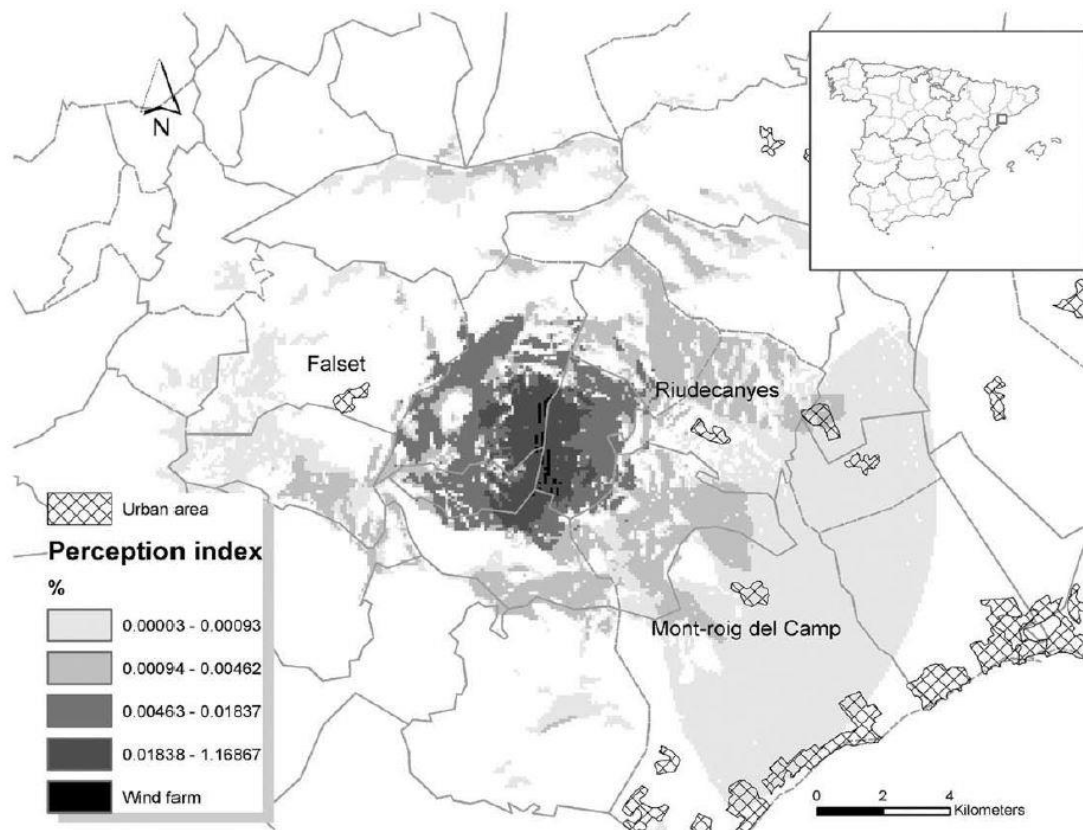
A_t : η ορατή περιοχή των εγκαταστάσεων σε pixel i ,

D_{oi} : η απόσταση από το σημείο παρατήρησης (ο) έως την εγκατάσταση στο i .

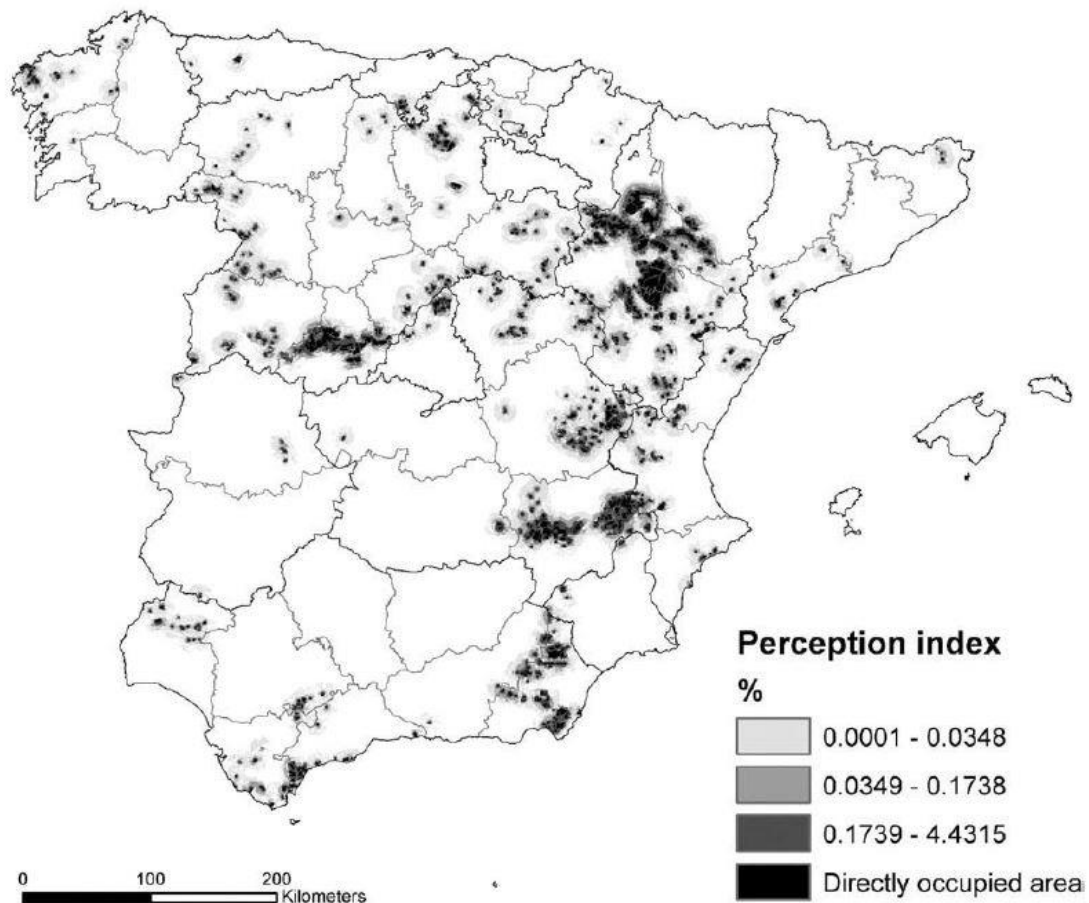
Σε αυτήν την εξίσωση, η οπτική γωνία υπολογίζεται ως ο λόγος μεταξύ της ορατής εγκατεστημένης περιοχής (καθορίζεται από το μέγεθος της εγκατάστασης) και του τετραγώνου της απόστασης, ο οποίος έχει το αναμενόμενο αποτέλεσμα της μείωσης του επιπέδου αντίληψης, καθώς αυξάνεται η απόσταση παρατήρησης. Για να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί και να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου, θεωρείται ότι η ορατή περιοχή για μια εγκατάσταση Α.Π.Ε. (t) είναι ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με εμβαδόν ίσο με αυτό της εγκατάστασης.



Σχήμα 2.11: Παράδειγμα τιμών του δείκτη αντίληψης P_o ως συνάρτηση του αριθμού των ανεμογεννητριών και της απόστασης του παρατηρητή [4].



Σχήμα 2.12: Ο δείκτης αντίληψης P_o για μια εγκατάσταση ΑΠΕ κοντά σε κατοικημένη περιοχή [4].



Σχήμα 2.13: Ο δείκτης αντίληψης P_o για εγκατάσταση Α.Π.Ε. ισχύος 50TWh / έτος [4].

Στο Σχήμα 2.11 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τιμών του δείκτη αντίληψης P_o ως συνάρτηση του αριθμού των ανεμογεννητριών και της απόστασης του παρατηρητή [4]. Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται ο δείκτης αντίληψης P_o για μια εγκατάσταση ΑΠΕ κοντά σε κατοικημένη περιοχή [4]. Στο Σχήμα 2.13 παρουσιάζεται ο δείκτης αντίληψης P_o για εγκατάσταση Α.Π.Ε. ισχύος 50TWh / έτος [4].

Στη συνέχεια αναγνωρίζονται όλα τα pixel (i), τα οποία καταλαμβάνονται από μια εγκατάσταση Α.Π.Ε. και είναι ορατά από ένα pixel (o) παρατήρησης σε μια απόσταση (Δt). Σχεδιάζονται οι γραμμές προβολής από το σημείο παρατήρησης (o) έως την κορυφή της εγκατάστασης στο pixel (i) και για κάθε ενδιάμεσο pixel (n) το ύψος της γραμμής όρασης συγκρίνεται με το άθροισμα του ύψους ανάγλυφου και του ύψους της βλάστησης ή των κτιρίων ανάλογα με τη χρήση της γης (relief and land-cover heights):

$$R_n + L_n \quad (2.37)$$

όπου:

R : το ανάγλυφο,

L : το ύψος χρήσης της γης.

Μια τιμή 1 αποδίδεται στο εικονοστοιχείο παρατήρησης εάν καμία από τις οπτικές γραμμές δεν παρεμποδίζεται από το έδαφος, πράγμα που σημαίνει ότι το εικονοστοιχείο παρατήρησης (ο) επηρεάζεται οπτικά.

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί σε ένα μόνο σχήμα η συνολική οπτική επίδραση των εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. καθορίζονται οι ακόλουθοι δείκτες:

- ❖ Το Visually-Affected Area (VAA) ορίζεται ως το κλάσμα της επιφάνειας στην περιοχή ανάλυσης, από την οποία μπορεί να φανεί μια εγκατάσταση Α.Π.Ε.:

$$VAA = \frac{\sum_i S_i^a}{S} 100 \quad (2.38)$$

όπου:

S_i^a : η επιφάνεια του εικονοστοιχείου που επηρεάζεται οπτικά,

S : η συνολική επιφάνεια της περιοχής μελέτης.

- ❖ Το Visually-Affected Populated Area (VAPA) είναι, ομοίως, το κλάσμα της κατοικημένης περιοχής στην περιοχή μελέτης που επηρεάζεται οπτικά. Υπολογίζεται ως ο λόγος μεταξύ της οπτικά επηρεαζόμενης κατοικημένης περιοχής και της συνολικής έκτασης της αστικής περιοχής στην περιοχή μελέτης :

$$VAPA = \frac{\sum_i S_i^{pa}}{S^p} 100 \quad (2.39)$$

όπου:

S_i^{pa} : η περιοχή των επηρεαζόμενων και κατοικημένων εικονοστοιχείων i,

S^p : η συνολική κατοικημένη περιοχή της περιοχής μελέτης.

- ❖ Το Visually-Affected Travel Time (VATT) είναι το κλάσμα του χρόνου ταξιδιού, στον οποίο παρατηρούνται οι εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. Αυτός ο δείκτης υπολογίζεται, χωριστά για οδική και σιδηροδρομική κυκλοφορία, ως ο λόγος μεταξύ του επηρεαζόμενου χρόνου ταξιδιού και του συνολικού χρόνου ταξιδιού :

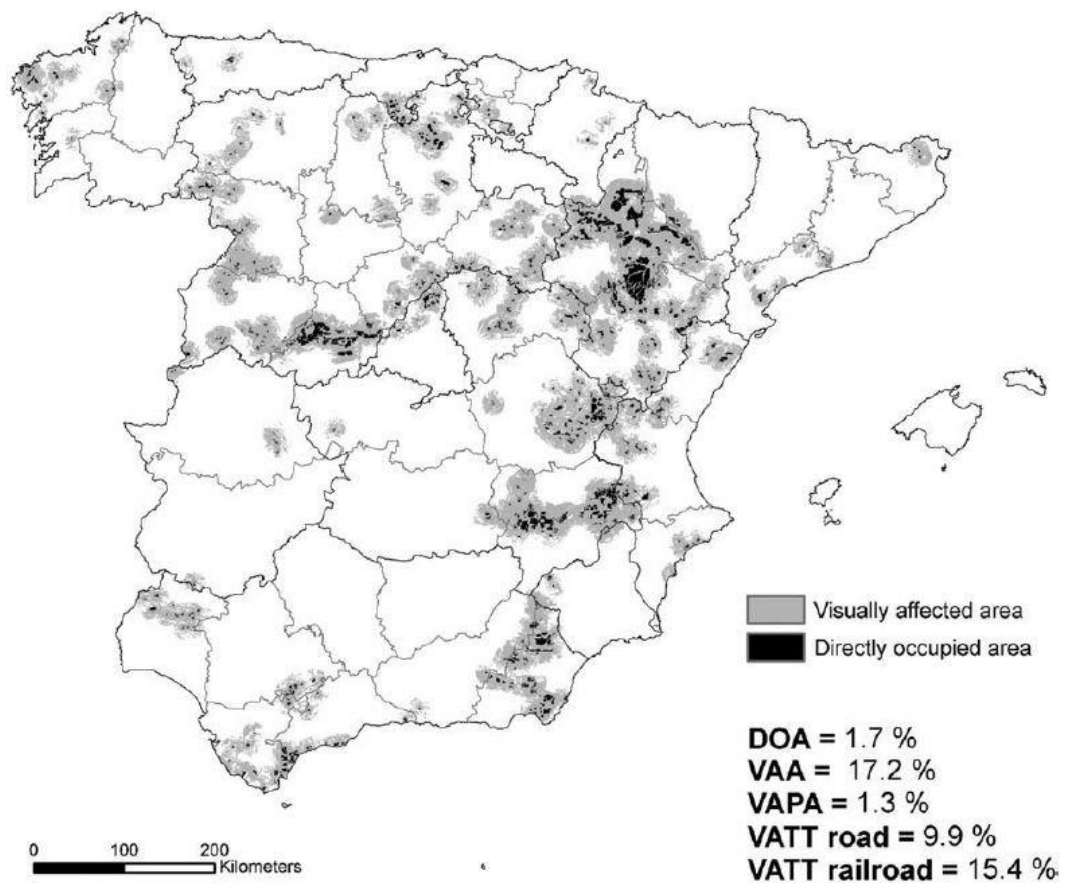
$$VATT = \frac{\sum_i t_i^t}{t_t^t} 100 \quad (2.40)$$

όπου:

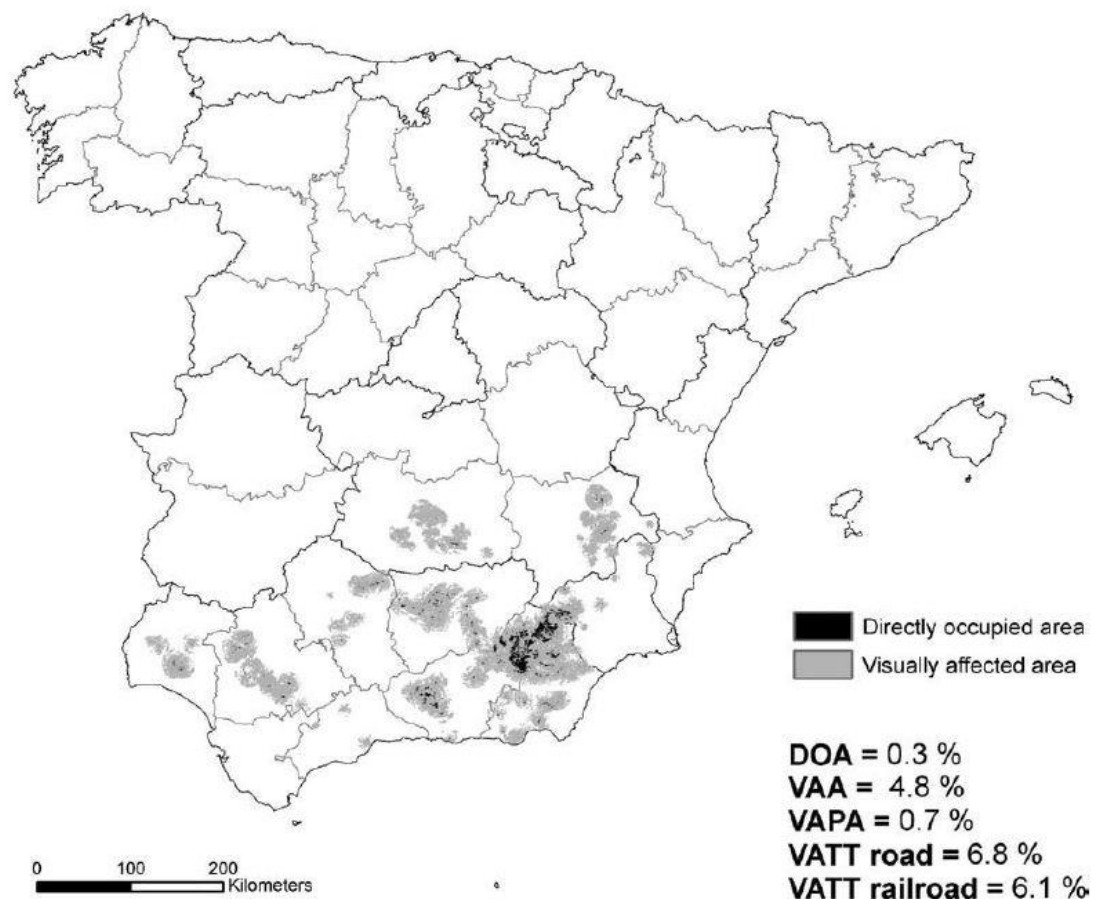
t_i^t : είναι ο χρόνος ταξιδιού του επηρεαζόμενου pixel (i),

t_t^t : είναι ο συνολικός χρόνος ταξιδιού.

Ο χρόνος ταξιδιού σε ένα εικονοστοιχείο (σε ώρες ετησίως) υπολογίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για ένα όχημα να διασχίσει το εικονοστοιχείο επί τον αριθμό των οχημάτων ανά έτος. Το πρώτο υπολογίζεται ως η αναλογία του μήκους των pixel προς τη μέση ταχύτητα στο δρόμο ή σιδηρόδρομο. Επιπλέον, ο δείκτης Directly Occupied Area (DOA) περιγράφεται ως το άθροισμα των περιοχών αυτών των pixel, στα οποία είναι εγκαταστημένες οι Α.Π.Ε. προς την συνολική έκταση της περιοχής που είναι υπό μελέτη.



Σχήμα 2.14: Χάρτης ορατότητας μιας εγκατάστασης Α.Π.Ε. αιολικής ενέργειας, παραγωγής 50TWh / έτος [4].



Σχήμα 2.15: Χάρτης ορατότητας μιας εγκατάστασης Α.Π.Ε. ηλιακής ενέργειας, παραγωγής 50TWh / έτος [4].

Potential Twh/y	DOA (%)	V_A (%)	V_P	V_T (%) Railroads	V_T (%) Roads
23	0.7	10.1	0.8	6.8	10.4
27	0.8	11.2	0.9	7.8	11.7
50	1.7	17.2	1.3	9.9	15.4
100	3.9	30.3	2.5	17.8	24.9
200	9.2	45.2	4.2	28.7	37.8
300	15.7	58.4	6.1	44.0	54.5

Σχήμα 2.16: Δείκτες οπτικής επίδρασης για έξι διεισδύσεις εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. [4].

Στο Σχήμα 2.14 παρουσιάζεται ο χάρτης ορατότητας μιας εγκατάστασης Α.Π.Ε. αιολικής ενέργειας, παραγωγής 50TWh / έτος [4]. Στο Σχήμα 2.15 παρουσιάζεται ο χάρτης ορατότητας μιας εγκατάστασης Α.Π.Ε. ηλιακής ενέργειας, παραγωγής 50TWh / έτος [4]. Στο Σχήμα 2.16 παρουσιάζονται οι δείκτες οπτικής επίδρασης για έξι διεισδύσεις εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. [4].

Παρατηρείται ότι η περιοχή VA, δηλαδή η περιοχή που επηρεάζεται οπτικά από την εγκατάσταση Α.Π.Ε., είναι μεγαλύτερη τουλάχιστον κατά δέκα φορές σε σχέση με την περιοχή DOA, δηλαδή την περιοχή που καλύπτει η εγκατάσταση.

2.3.4 3^η Μέθοδος

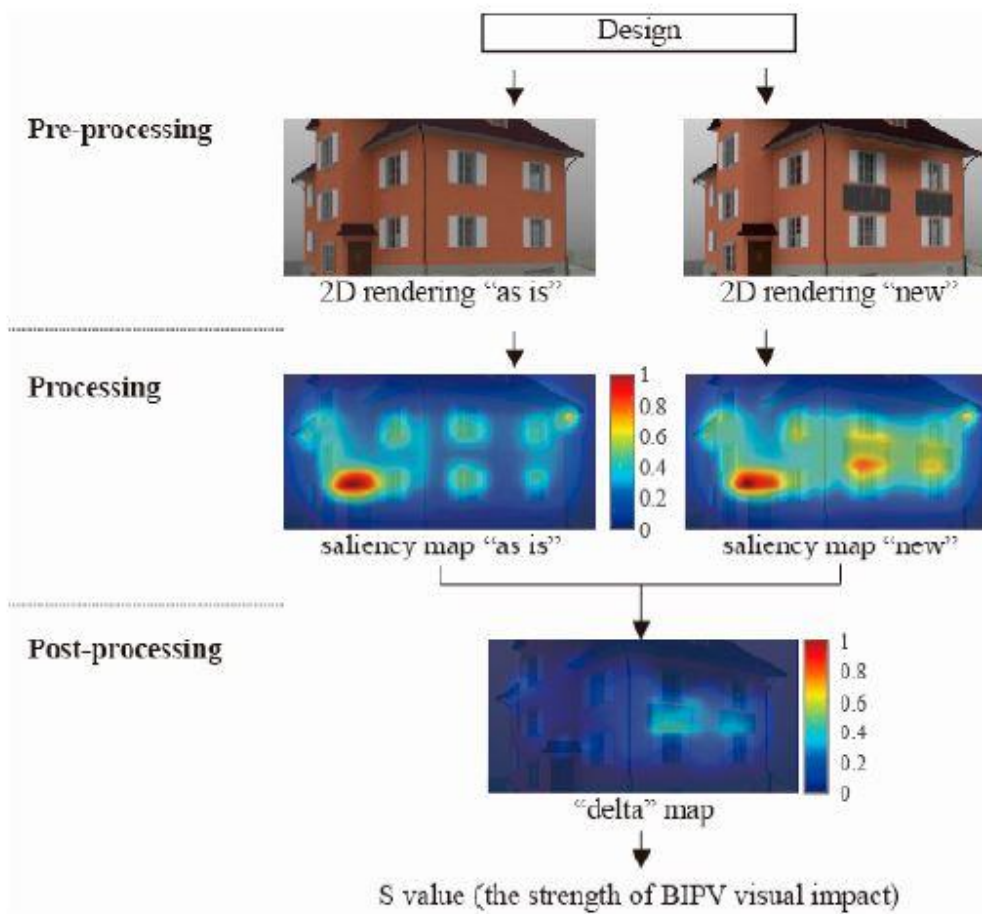
Η μέθοδος “saliency” υπολογίζει την οπτική ορατότητα, η οποία δίνει την πιθανότητα που έχει μια συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας να προσελκύσει την ανθρώπινη οπτική προσοχή, σε σύγκριση με το περιβάλλον της. Μέσω του μηχανισμού σύγκρισης - αντίθεσης του ανθρώπινου οπτικού συστήματος παράγεται ένα “saliency map” που πραγματοποιεί εκτίμηση της κατανομής των σημείων, στα οποία εστιάζει το ανθρώπινο μάτι σε μία εικόνα. Οι περιοχές που έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να προσελκύσουν την ανθρώπινη οπτική προσοχή λαμβάνουν υψηλότερες τιμές, σε σχέση με τις περιοχές που φαίνεται ότι δεν θα επιπκεντρωθεί το ανθρώπινο μάτι. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται σε μια κλίμακα από το 0 έως το 1 [7].

Προκειμένου η οπτική ορατότητα να μετατραπεί σε οπτική επίδραση, χρειάζεται να γίνει φωτορεαλιστική απεικόνιση (rendering) του συστήματος BIPV και του κτιρίου υπό μελέτη. Αυτό το σύστημα δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των οπτικών επιπτώσεων διαφορετικών διατάξεων ενός συστήματος BIPV.

Το 2D rendering γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά, χρησιμοποιείται ένα 3D μοντέλο του κτιρίου, το οποίο περιέχει πληροφορίες για τα βασικά χαρακτηριστικά του, όπως το χρώμα και τα υλικά του και πραγματοποιείται η φωτορεαλιστική απεικόνιση του κτιρίου όπως εκείνο φαίνεται συχνότερα από τους κινούμενους παρατηρητές. Στη συνέχεια προστίθεται στο ήδη υπάρχον μοντέλο το σύστημα BIPV και πραγματοποιείται ξανά φωτορεαλιστική απεικόνιση από την ίδια οπτική γωνία. Δημιουργούνται, λοιπόν, δύο απεικονίσεις, η “as is” και η “new” αντίστοιχα.

Οι απεικονίσεις “as is” και “new” εισάγονται στο λογισμικό Matrix Laboratory του MATLAB. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα σενάρια, δημιουργούνται τα saliency maps “as is” και “new” αναλόγως. Όλες οι τιμές στα saliency maps κανονικοποιούνται αυτόματα στο εύρος 0-1. Τα saliency maps έχουν τον ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων με τις απεικονίσεις (renderings). Η διαφορά μεταξύ των saliency maps “as is” και “new” αντιπροσωπεύει τη διακύμανση της οπτικής προσοχής στις απεικονίσεις με και χωρίς την εγκατάσταση BIPV και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την απόλυτη διαφορά μεταξύ του saliency map “as is” και “new”:

$$\text{Delta map} = |\text{Saliency map}_{\text{as is}} - \text{Saliency map}_{\text{new}}| \quad (2.41)$$



Σχήμα 2.17: Η ροή εργασίας της μεθόδου [7].

Στο Σχήμα 2.17 παρουσιάζεται η ροή της μεθόδου που αναλύεται σε αυτήν την παράγραφο [7].

Σύμφωνα με το Area Under Curve metrics όλα τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες, είτε μεταξύ των κορυφαίων 10%, είτε μεταξύ των κατώτερων 90% εικονοστοιχείων στο Delta map.

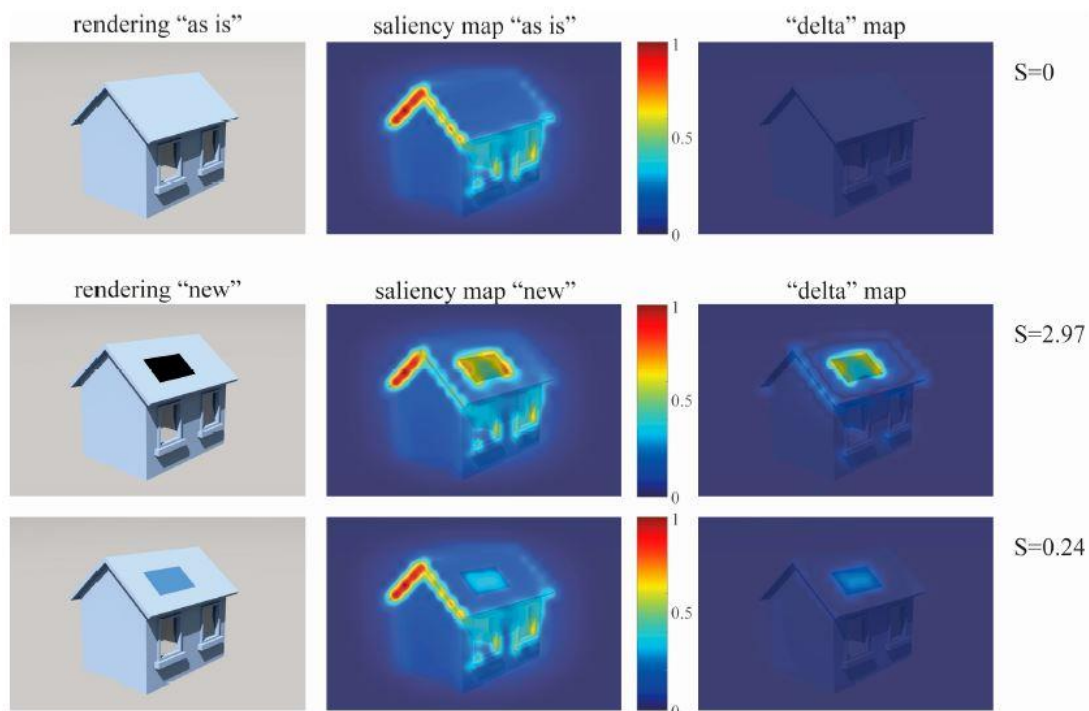
$$S = 100 * ST_{t=10\%} * \text{MAX}_{\text{Delta map}} \quad (2.42)$$

Το $ST_{t=10\%}$ είναι η τιμή κατωφλίου μεταξύ του 10% και του 90% των saliency εικονοστοιχείων, πράγμα που σημαίνει ότι το 10% των εικονοστοιχείων στον Delta map έχουν υψηλότερες τιμές και το 90% των εικονοστοιχείων έχουν χαμηλότερες τιμές από το $ST_{t=10\%}$. Το S είναι το γινόμενο μεταξύ της τιμής $ST_{t=10\%}$ και της μέγιστης τιμής στο Delta map, τα οποία πολλαπλασιάζονται με το 100.

Σε κλίμακα από το 0 έως το 100, μια χαμηλή τιμή S σημαίνει ότι είτε η συντριπτική πλειοψηφία των pixel έχει μάλλον μικρές τιμές στο Delta map, είτε ότι η μέγιστη τιμή στο Delta map είναι χαμηλή, πράγμα που υποδεικνύει ότι η διακύμανση της οπτικής προσοχής στην εικόνα πριν και μετά την εγκατάσταση του BIPV είναι μικρή.

Αντίθετα, μια μεγαλύτερη τιμή S σημαίνει ότι είτε τα περισσότερα από τα εικονοστοιχεία κατανέμονται εντός εύρους τιμών με ένα μεγάλο άνω όριο, είτε ότι μια συγκεκριμένη περιοχή έχει ιδιαίτερα υψηλές τιμές στο Delta map, οπότε η συνολική αλλαγή στην οπτική προσοχή είναι μεγάλη.

Έτσι συγκεντρωτικά, μια μικρότερη τιμή S σημαίνει χαμηλότερη οπτική επίδραση, δηλαδή το κτίριο μοιάζει περισσότερο με την αρχική του κατάσταση, ακόμη και μετά την εγκατάσταση του BIPV.



Σχήμα 2.18: Η τιμή S για μια εγκατάσταση BIPV με διαφορετικό (2^η σειρά) και παρόμοιο χρώμα (3^η σειρά) από την οροφή [7].

Στο Σχήμα 2.18 παρουσιάζεται η τιμή S για μια εγκατάσταση BIPV για δυο διαφορετικά σενάρια [7]. Στη δεύτερη σειρά αναλύεται το σενάριο, στο οποίο το χρώμα της εγκατάστασης BIPV είναι διαφορετικό από το χρώμα της οροφής, ενώ στην τρίτη σειρά τα δυο χρώματα είναι παρόμοια.

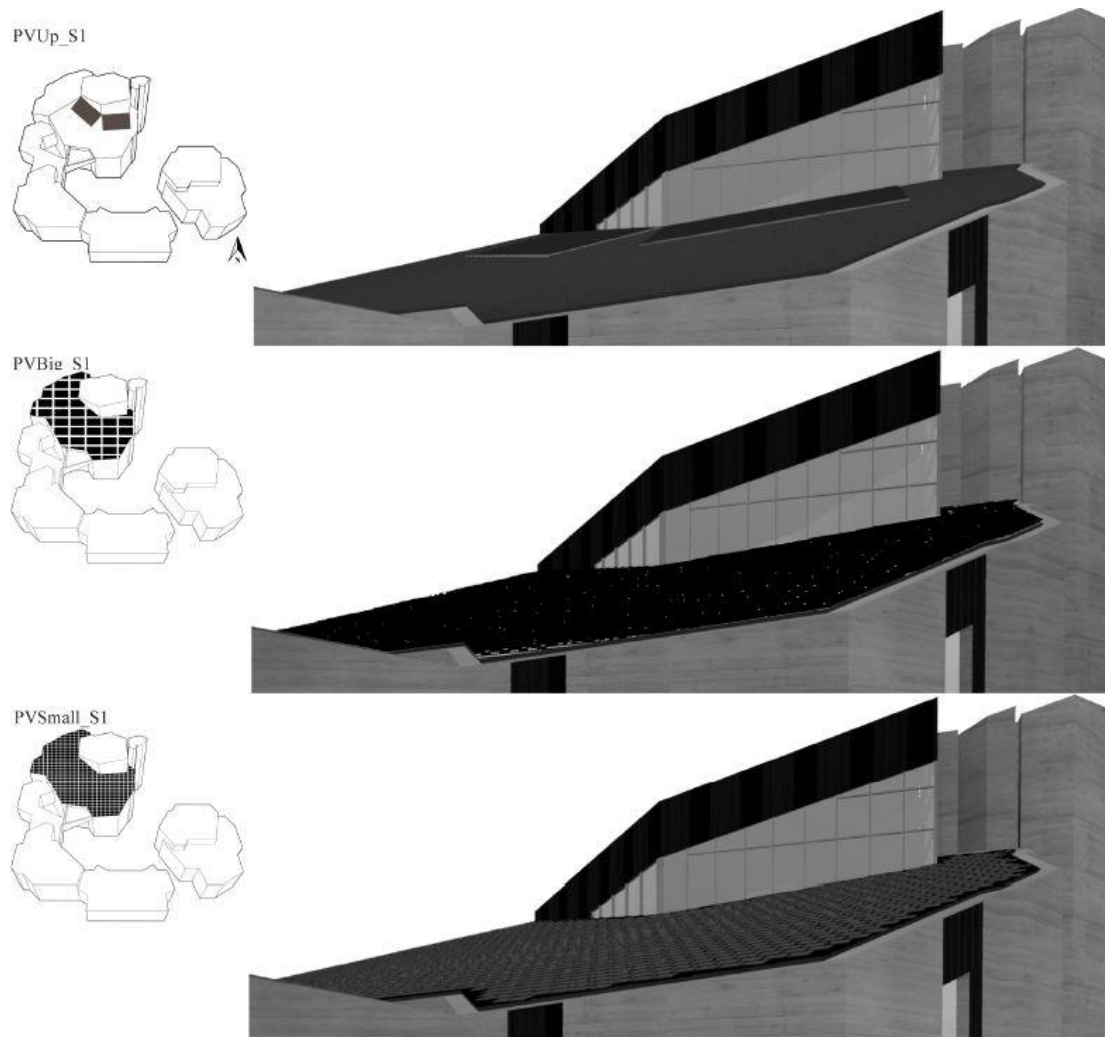
Παρατηρείται ότι εάν μια εγκατάσταση BIPV έχει παρόμοιο χρώμα με το περιβάλλον της, τότε η S τιμή της θα είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με μια εγκατάσταση BIPV που έχει διαφορετικό χρώμα από το περιβάλλον της.

Ωστόσο, πρέπει να διευκρινιστεί ότι εάν ένα συγκεκριμένο σχέδιο BIPV έχει αρνητική ή θετική επίδραση στο υπάρχον κτίριο, δεν μπορεί να αποφασιστεί από την ισχύ της τιμής S και μόνο. Η ποιότητα της επιρροής εξαρτάται και από την τοποθεσία αυτού του κτιρίου. Όταν το BIPV είναι εγκατεστημένο σε κτίρια στο κέντρο της πόλης, τότε τα επιτρεπτά όρια οπτικής επίδρασης είναι μικρότερα από όταν το ίδιο BIPV εγκαθίσταται σε ένα βιομηχανικό κτίριο που βρίσκεται σε προαστιακή περιοχή, όπου απαιτείται υψηλότερη οπτική επίδραση BIPV, προκειμένου να προσελκυσθεί η οπτική προσοχή ενός παρατηρητή.

Οι προσεγγίσεις για τον υπολογισμό των saliency maps είναι πολύ διαφορετικές. Σε αυτήν τη μελέτη ενσωματώθηκαν τα μοντέλα saliency Itti Koch Niebur (IKN) και Graph Based Visual Saliency (GBVS).

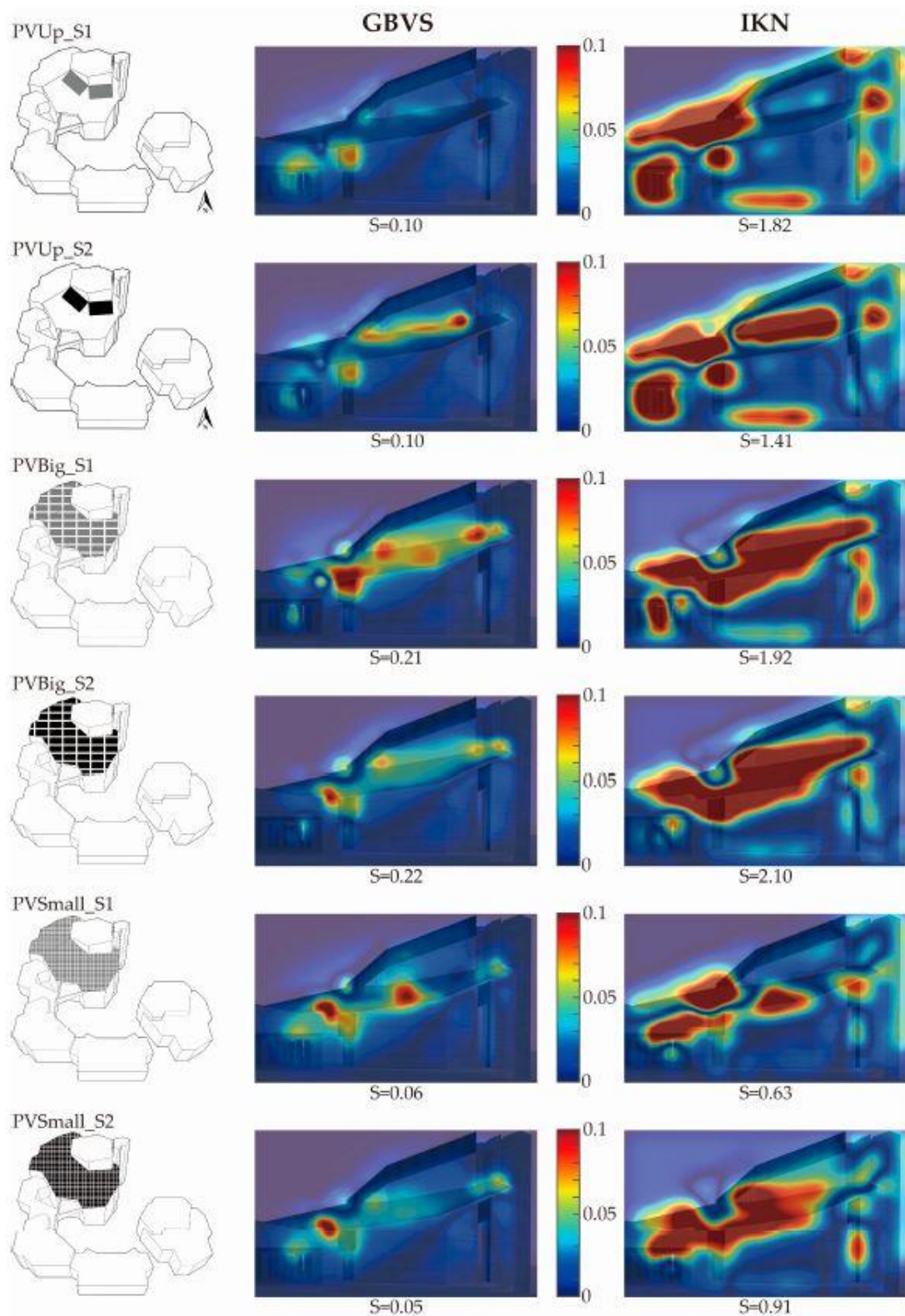
Το IKN βασίζεται σε ψυχολογικά/νευροψυχολογικά ευρήματα. Έχει αποδειχθεί ότι η ανθρώπινη οπτική προσοχή καθοδηγείται από το χρώμα, την ευαισθησία αντίθεσης και τον προσανατολισμό στην οπτική σκηνή. Επομένως, το μοντέλο IKN εξάγει πρώτα πληροφορίες από τα κανάλια χρώματος, έντασης και προσανατολισμού της εικόνας εισόδου και στη συνέχεια συγκρίνει τις αντιθέσεις σε αυτά τα ξεχωριστά κανάλια χρησιμοποιώντας τη λειτουργία center-surround. Αυτή η λειτουργία μιμείται το ανθρώπινο οπτικό κύτταρο και είναι ικανή να αναγνωρίσει την αντίθεση χρώματος ή φωτός μεταξύ του κεντρικού και των περιφερειακών οπτικών πεδίων. Τέλος, τα αποτελέσματα σύγκρισης από αυτά τα ξεχωριστά κανάλια κανονικοποιούνται και συνδυάζονται σε έναν τελικό saliency map.

Το GBVS βασίζεται σε υπολογισμούς πιθανότητας. Ξεκινά, επίσης, με την εξαγωγή κάποιων χαρακτηριστικών, δηλαδή πληροφοριών χρώματος, έντασης και προσανατολισμού της εικόνας εισόδου και συγκρίνει τις διαφορές εντός αυτών των καναλιών. Στη συνέχεια, κάθε εικονοστοιχείο αντιμετωπίζεται ως κόμβος σε κατευθυνόμενο γράφημα που συγκρίνεται με κάθε άλλο κόμβο στην εικόνα εισόδου. Το βάρος μεταξύ των δύο κόμβων είναι ανάλογο με τη διαφορά τιμής του εκάστοτε χαρακτηριστικού και αντιστρόφως ανάλογο με τη χωρική τους απόσταση. Συνεπώς, οι κόμβοι που είναι πολύ ανόμοιοι με τους γύρω κόμβους θα έχουν μεγαλύτερα αθροίσματα βαρών και, επομένως, θα έχουν υψηλότερες τιμές Saliency.



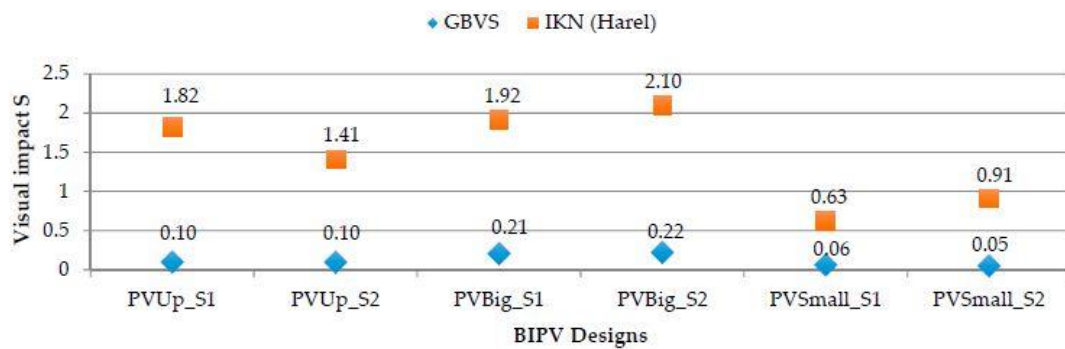
Σχήμα 2.19: Διαφορετικά σχέδια BIPV για την ίδια σκεπή [7].

Στο Σχήμα 2.19 παρουσιάζονται τρία διαφορετικά σχέδια BIPV για την ίδια σκεπή [7].



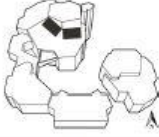
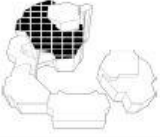
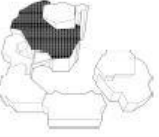
Σχήμα 2.20: Η εκτίμηση της τιμής S και το Delta map [7].

Στο Σχήμα 2.20 φαίνεται η εκτίμηση της τιμής S και το Delta map για τα διαφορετικά σχέδια BIPV με τη χρήση δύο ειδών Φ/Β σε κλίμακα 0-0.1. Γίνεται χρήση και των δύο τεχνικών [7].



Σχήμα 2.21: Η εκτίμηση της τιμής S [7].

Στο Σχήμα 2.21 απεικονίζεται η εκτίμηση της τιμής S για τα διαφορετικά σχέδια BIPV με τη χρήση δύο ειδών Φ/Β σε κλίμακα 0-0.1 [7]. Γίνεται χρήση και των δύο τεχνικών.

Design Name	PVUp	PVBig	PVSmall
Location of the PV System			
Total BIPV area	82.5 m ²	336.9 m ²	414.3 m ²
Nominal Power of the BIPV system	13 kW _p	58.3 kW _p	53.8 kW _p
Annual electricity production (under the condition that specific annual yield is 924 kWh/kW _p)	12 MWh	53.9 MWh	49.7 MWh
Annual heat production using a heat pump (with a coefficient of performance COP = 3)	36 MWh	161.7 MWh	149.1 MWh
Coverage (in %) of the church's annual heat demand (=397 MWh)	9.0%	40.7%	37.6%

Σχήμα 2.22: Πληροφορίες σχετικά με τα διαφορετικά σχέδια BIPV. Τα μαύρα πλαίσια υποδεικνύουν τη θέση του συστήματος BIPV σε κάθε σχέδιο [7].

Στο Σχήμα 2.22 δίνονται πληροφορίες σχετικά με τα διαφορετικά σχέδια BIPV [7]. Τα μαύρα πλαίσια υποδεικνύουν τη θέση του συστήματος BIPV σε κάθε σχέδιο.

Από τις παραπάνω εικόνες γίνεται φανερό ότι πέραν του χρώματος που έχει μια εγκατάσταση BIPV σε συνάρτηση με το περιβάλλον της, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η μίμηση εμφάνισης της υπάρχουσας δομής, πάνω στην οποία έχει εγκατασταθεί το BIPV. Όσο πιο πιστή είναι η εγκατάσταση BIPV στην πρωτύπη εμφάνιση της δομής, τόσο η S τιμή της θα είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με μια εγκατάσταση BIPV που δε σέβεται την αρχική εμφάνιση της δομής. Με το συνδυασμό και των δύο η S τιμή θα είναι ελάχιστη. Φυσικά σε όλα τα παραπάνω θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το κόστος της εγκατάστασης, καθώς και το γεγονός ότι όπως

φαίνεται στη 2^η και 3^η στήλη, ενώ η εγκατάσταση καλύπτει την ίδια περίπου έκταση και συνεπώς παράγεται η ίδια ποσότητα ενέργειας, η τιμή S στην 3^η στήλη είναι πολύ χαμηλότερη της 2^{ης}.

2.3.5 4^η Μέθοδος

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι Α.Π.Ε. ως προς την οπτική τους επίδραση γίνεται χρήση δυο ακόμη μεθοδολογιών, που εστιάζουν και στην επίλυση του προβλήματος της αντανάκλασης του ηλιακού φωτός που προκαλείται από την επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων. Υπάρχουν δύο οικογένειες μεθοδολογιών εκτίμησης επιπτώσεων τοπίου, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στην περίπτωση των Φ/Β συστημάτων. Αυτές είναι οι εξής :

- ❖ Οι μεθοδολογίες που βασίζονται στον υπολογισμό ορατότητας των Φ/Β πάνελ σε μια μεγάλη έκταση γης. Αυτές βασίζονται στη διακριτοποίηση της περιοχής, η οποία ενδέχεται να επηρεαστεί από το Φ/Β πάνελ και στον προσδιορισμό ορισμένων δεικτών επιπτώσεων στο τοπίο.
- ❖ Οι μεθοδολογίες που βασίζονται στην ανάλυση φωτογραφικών εικόνων και των προσομοιώσεων. Αυτές λαμβάνουν υπόψη την ορατότητα των πάνελ καθώς και πτυχές της αντίληψης που είναι πιο δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, όπως το σχήμα και το χρώμα των αντικειμένων [8] [9].

Αυτοί οι τύποι αξιολογήσεων διεξάγονται συνήθως μέσω μιας εφαρμογής GIS, με τα σχετικά εργαλεία χωρικής ανάλυσης και βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί (πυκνότητα πληθυσμού, ιστορικές τοποθεσίες, διατήρηση της ταυτότητας του τοπίου). Η τεχνική της οπτικής αξιολόγησης του τοπίου, που κάνει χρήση φωτογραφικών εικόνων, εμπίπτει στις τεχνικές οπτικής προσομοίωσης για την αξιολόγηση της συμβατότητας των έργων Α.Π.Ε. Χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της οπτικής ποιότητας της υπαίθρου, παρόλο που επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν τη στιγμή που τραβήχτηκε η φωτογραφία, ειδικότερα τον καιρό. Ο δείκτης αισθητικής επίδρασης ενός Φ/Β πλαισίου εκφράζεται μέσω της συνεχούς παραμέτρου OAI_{SSP} , που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Αυτός ο δείκτης είναι το σταθμισμένο άθροισμα τεσσάρων παραμέτρων που σχετίζονται με τις ακόλουθες πτυχές:

- ❖ την ορατότητα της εγκατάστασης: παράμετρος I_v .
- ❖ το χρώμα του Φ/Β πλαισίου σε σύγκριση με το χρώμα του άμεσου περιβάλλοντος: παράμετρος I_c .

- ❖ το σχήμα της εγκατάστασης: παράμετρος I_F ·
- ❖ τη συνάφεια διαφόρων μορφών και τύπων πλαισίων στην ίδια εγκατάσταση: παράμετρος I_{CC} ·



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 2.23: Τέσσερα τοπία για τα οποία θα εξαχθεί ο δείκτης OAI_{SSP} [8].

Στο Σχήμα 2.23 παρουσιάζονται τέσσερα διαφορετικά τοπία, για τα οποία θα γίνει ο υπολογισμός του δείκτη OAI_{SSP} [8].

Για να καθοριστεί η παράμετρος I_V , αρχικά υπολογίστηκε ο λόγος της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνεται από την εγκατάσταση Α.Π.Ε. και της περιοχής του τοπίου και εκφράστηκε σε ποσοστιαία κλίμακα.

$$x = \frac{A_{pl}}{A_{ba}} \quad (2.43)$$

όπου:

A_{pl} : η συνολική έκταση που καταλαμβάνεται από την Α.Π.Ε.,

A_{ba} : η συνολική έκταση του τοπίου.

Από αυτήν την ποσότητα υπολογίζεται ο δείκτης της επίδρασης στην ορατότητα μέσω της καμπύλης που προτάθηκε από τον Torres. Αυτή η καμπύλη τροποποιείται ώστε να ταιριάζει με την καμπύλη που αναπαρίσταται από την εκάστοτε εικόνα.

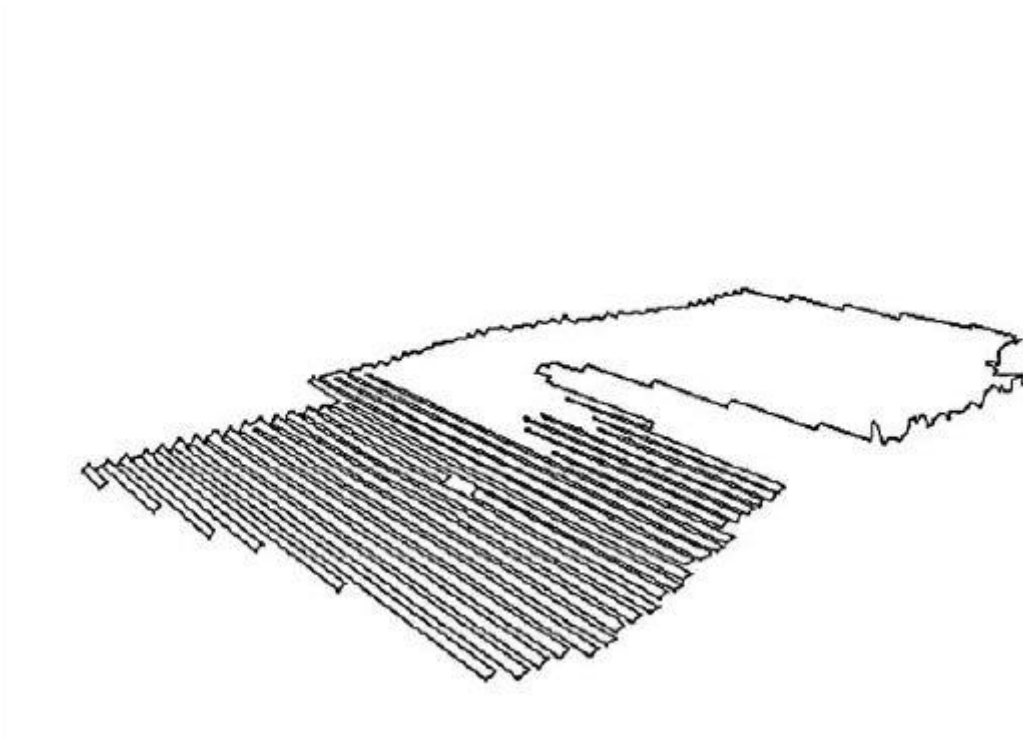
$$I_V = \begin{cases} -0.004x^2 + 0.128x, & x < 13.5 \\ 1, & x > 13.5 \end{cases} \quad (2.44)$$

Για να προσδιοριστεί η παράμετρος I_F , η οποία αναφέρεται στη μορφή του Φ/Β πλαισίου, χρησιμοποιήθηκαν οι διαστάσεις των εικόνων των Φ/Β και του φόντου.

Μόλις τα περιγράμματα εξαχθούν από τις φωτογραφίες των εγκαταστάσεων και εισαχθούν σε bitmap, οι διαστάσεις fractal υπολογίζονται μέσω του λογισμικού Fractal Dimension, με βάση την τεχνική καταμέτρησης κουτιού (box counting technique).



Σχήμα 2.24: Η αρχική εικόνα [9].



Σχήμα 2.25: Το περίγραμμά της αρχικής εικόνας [9].

Στο Σχήμα 2.24 παρουσιάζεται η αρχική εικόνα του τοπίου [9], ενώ στο Σχήμα 2.25 παρουσιάζεται το περίγραμμα της αρχικής εικόνας του τοπίου [9].

$$z = \frac{D_{f,pl}}{D_{f,ba}} \quad (2.45)$$

όπου:

$D_{f,pl}$: η διάσταση του fractal του Φ/Β,

$D_{f,ba}$: η διάσταση του fractal του φόντου.

Ο λόγος μεταξύ της διάστασης fractal των Φ/Β πλαισίων και του φόντου, ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται από 0 έως 2 για τον ορισμό της διάστασης του fractal, είναι ελάχιστος για ένα $\frac{D_{f,pl}}{D_{f,ba}}$ ίσο με 1, ενώ αυξάνεται για το $\frac{D_{f,pl}}{D_{f,ba}}$ που τείνει στο 0 ή 2.

Από αυτήν την ποσότητα υπολογίζεται ο δείκτης I_F μέσω μιας καμπύλης, η οποία τροποποιείται, ώστε να ταιριάζει με την καμπύλη που αναπαρίσταται από την εκάστοτε εικόνα.

$$I_F = \begin{cases} 1, & z = 0 \\ 100z, & 0 < z \leq 0.01 \\ -0.085z + 1, & 0.01 < z \leq 0.75 \\ -3.745z + 3.745, & 0.75 < z \leq 1 \\ -1.048z^2 + 4.145z - 3.097, & 1 < z \leq 1.94 \\ 1, & 1.94 < z \leq 2 \end{cases} \quad (2.46)$$

Η παράμετρος I_{CC} μπορεί να πάρει είτε την τιμή 1, όταν στην Φ/Β εγκατάσταση υπάρχουν περισσότερα από ένα είδος Φ/Β πλαισίων, είτε την τιμή 0, όταν χρησιμοποιείται μόνο ένα είδος Φ/Β πλαισίων, καθώς θεωρείται ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Όσον αφορά το υπολογισμό της παραμέτρου I_C αρχικά γίνεται η χρήση της φόρμουλας CIELab για τον προσδιορισμό της διαφοράς χρώματος. Ο χώρος CIELab είναι ομοιόμορφος, δηλαδή ίσες αποστάσεις αντιστοιχούν σε ίσες διαφορές στο χρώμα. Σε αυτόν τον χρωματικό χώρο ένα χρώμα προσδιορίζεται από τρεις παραμέτρους, τις χρωματομετρικές συντεταγμένες, οι οποίες είναι η απόχρωση L^* , ο κορεσμός a^* και η φωτεινότητα b^* . Η διαφορά μεταξύ δύο χρωμάτων μπορεί να εκφραστεί μέσω της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των δύο σημείων που αντιπροσωπεύουν τα δύο χρώματα στον χρωματικό χώρο.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.47)$$

όπου:

ΔL^* : διαφορά στην απόχρωση,

Δa^* : διαφορά στον κορεσμό,

Δb^* : διαφορά στη φωτεινότητα.

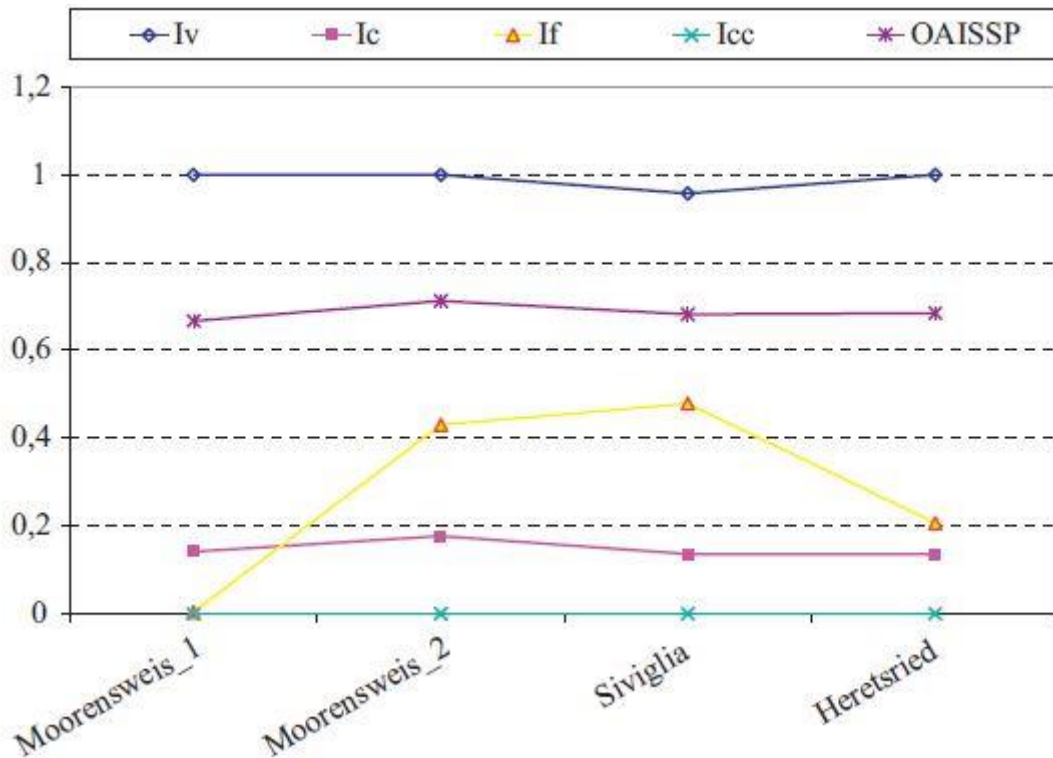
Από αυτές τις συντεταγμένες, οι διαφορές χρώματος ΔE^* υπολογίστηκαν με την σχέση (2.47) και οι μέσες διαφορές χρώματος ΔE^*_{m} προσδιορίστηκαν όταν ήταν απαραίτητο.

Η μετάβαση από τη μέση διαφορά χρώματος στην παράμετρο I_C έγινε υποθέτοντας μια μέγιστη τιμή I_C , η οποία είναι ίση με 1 για τη μέγιστη τιμή ΔE^* και 0 για μηδενική ΔE^* . Η μέγιστη δυνατή τιμή που μπορεί να πάρει η ΔE^* είναι ίση με 374, δίνοντας τα πεδία μεταβλητότητας των συντεταγμένων L^* , a^* και b^* να είναι ίσα με $0 < L^* < 100$, $-128 < a^* < +127$ και $-128 < b^* < +127$.

Συνεπώς, με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται ο κεντρικός δείκτης OAISSP :

$$OAI_{SSP} = 0,64 * I_V + 0,19 * I_C + 0,09 * I_F + 0,08 * I_{CC} \quad (2.48)$$

Από μια πρώτη ανάλυση του δείκτη OAI_{SSP} , μπορεί να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της αισθητικής επίδρασης αποδίδεται στην ορατότητα και το χρώμα του Φ/Β πλαισίου, καθώς πάνω από το 80% του συνολικού δείκτη αντιπροσωπεύεται από αυτές τις παραμέτρους.



Σχήμα 2.26: Οι τιμές των παραμέτρων και ο OAI_{SSP} για τις τέσσερις αρχικές εικόνες [9].

Στο Σχήμα 3.26 παρουσιάζονται όλες οι τιμές των παραμέτρων, μέσω των οποίων υπολογίζεται ο δείκτης OAI_{SSP} , καθώς και ο δείκτης αυτός για τα τοπία του Σχήματος 2.29 [9].

Υιοθετήθηκε μια κλίμακα εκτίμησης επιπτώσεων, η οποία χωρίζεται σε 6 βαθμίδες

$$VIA = \begin{cases} \text{minimum,} & 0 \leq OAI_{SSP} < 0.1 \\ \text{light,} & 0.1 \leq OAI_{SSP} < 0.3 \\ \text{average,} & 0.3 \leq OAI_{SSP} < 0.5 \\ \text{significant,} & 0.5 \leq OAI_{SSP} < 0.7 \\ \text{very significant,} & 0.7 \leq OAI_{SSP} < 0.9 \\ \text{maximum,} & 0.9 \leq OAI_{SSP} \leq 1 \end{cases} \quad (2.49)$$

Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης της οπτικής επίδρασης των Φ/Β εγκαταστάσεων με βάση τον δείκτη OAI_{SSP} προκύπτουν ορισμένα προβλήματα. Στην περίπτωση χρήσης για το σχεδιασμό

μιας Φ/Β εγκατάστασης είναι απαραίτητο να επιτευχθεί μια καλή οπτική προσομοίωση της. Αυτό είναι κάτι που μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση ενός τρισδιάστατου εργαλείου σχεδίασης. Επιπλέον, τα πραγματικά χρώματα της Φ/Β εγκατάστασης και του περιβάλλοντος γύρω από αυτή δεν ταυτίζονται πάντα με αυτά της εικόνας. Σε περίπτωση χρήσης για την επαλήθευση της οπτικής επίδρασης μιας υπάρχουσας εγκατάστασης, η διαδικασία επηρεάζεται από τις συνθήκες με τις οποίες τραβήχτηκε η φωτογραφία (απόσταση, φακός, εστίαση, ατμόσφαιρα, ανάκλαση).

Τέλος, ενδείκνυται η χρήση ενός μόνο τύπου Φ/Β πλαισίων εντός της ίδιας Φ/Β εγκατάστασης, καθώς επίσης στις μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις προτείνεται ο διαμερισμός της εγκατάστασης σε μικρότερα κομμάτια, για να μειωθεί η ορατή περιοχή της Φ/Β εγκατάστασης.

3.

Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ

3.1 Εισαγωγή

Τα Φ/Β συστήματα έχουν ευρεία χρήση στη σημερινή εποχή για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτροδότησης της κοινωνίας. Υπάρχουν δυο κατηγορίες Φ/Β συστημάτων, τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα (off-grid) και τα διασυνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β συστήματα (on-grid). Επίσης, με βάση την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε αυτά με αποθήκευση ενέργειας και στα Φ/Β συστήματα χωρίς αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η διπλωματική εργασία ασχολείται με τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα, τα οποία έχουν και τη

δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας λαμβάνοντας υπόψιν την οπτική τους επίδραση για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού τους.

Ο αλγόριθμος προσομοίωσης που αναπτύχθηκε, λαμβάνει ως είσοδο τα χαρακτηριστικά της κάθε διαθέσιμης επιφάνειας ενός κτηρίου τα οποία είναι: εμβαδόν (m^2), γωνία κλίσης ($^\circ$), αζιμούθια γωνία ($^\circ$) και τον τύπο του Φ/Β πλαισίου που μπορεί να ενσωματωθεί σε κάθε μία από αυτές. Για την επιφάνεια που αφορά την οροφή δεν λαμβάνεται υπόψιν η γωνία κλίσης, ενώ η αζιμούθια γωνία ορίζεται ίση με 0° . Μελετώνται τρεις κατηγορίες Φ/Β συστημάτων, οι οποίες είναι: τα διάφανα Φ/Β (transparent), τα συμβατικά Φ/Β (conventional) και τα Φ/Β κεραμίδια (roof tiles). Στην οροφή υπάρχει δυνατότητα ενσωμάτωσης συμβατικών Φ/Β πλαισίων ή Φ/Β κεραμιδιών. Σε διάφανες επιφάνειες μπορούν να ενσωματωθούν διάφανα Φ/Β πλαίσια. Στις υπόλοιπες επιφάνειες μπορούν να ενσωματωθούν συμβατικά Φ/Β πλαίσια. Ο αλγόριθμος προσομοίωσης λαμβάνει επίσης ως είσοδο τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου Φ/Β πλαισίου, μεταξύ αυτών το εμβαδόν του κάθε Φ/Β πλαισίου σε mm^2 , το κόστος κ.α.. Αρχικά ο αλγόριθμος υπολογίζει το μέγιστο πλήθος Φ/Β που μπορούν να ενσωματωθούν σε κάθε διαθέσιμη επιφάνεια με βάση το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής και το εμβαδόν του εκάστοτε Φ/Β πλαισίου.

Επιπλέον, σαν είσοδος λαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά των λοιπών ηλεκτρικών στοιχείων όπως μπαταρίες, ρυθμιστές φόρτισης και μετατροπείς DC/AC. Επίσης, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η γεωγραφική τοποθεσία της περιοχής που θα γίνει η εγκατάσταση, καθώς και οι τιμές αγοραπωλησίας του ρεύματος και το χρονικό διάστημα για το οποίο θα γίνει η προσομοίωση. Για το υπολογισμό της οπτικής επίδρασης εισάγονται στον αλγόριθμο τέσσερις εικόνες και το εμβαδόν της περιοχής στην οποία θα γίνει η οπτική ανάλυση. Η πρώτη εικόνα είναι της περιοχής στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση και οι άλλες τρεις είναι μια για κάθε ένα από τα είδη των Φ/Β πλαισίων που θα εγκατασταθούν. Τέλος, ως είσοδος λαμβάνεται επίσης το ημερήσιο προφίλ φορτίου ανά ώρα σε Watt.

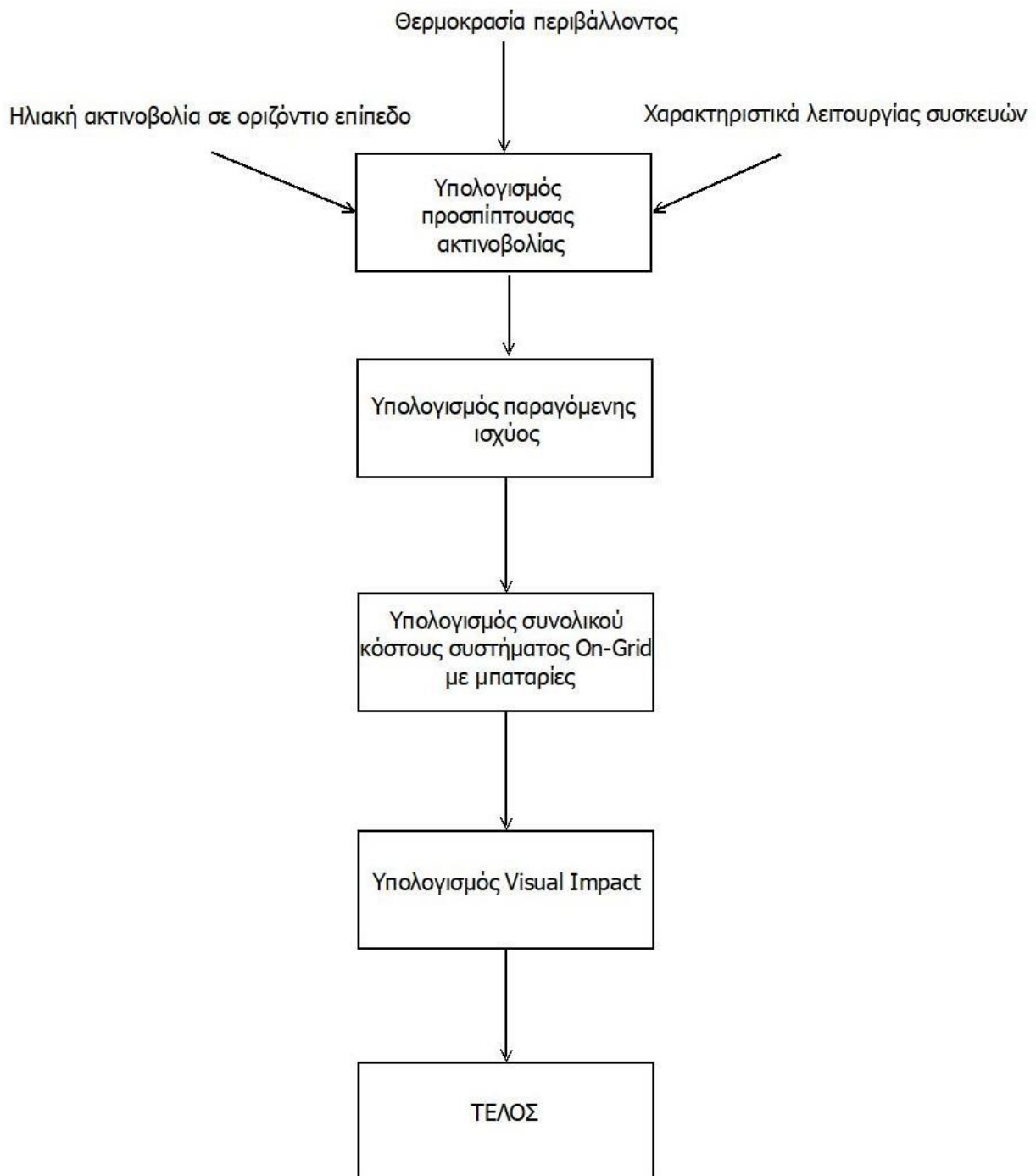
Ο αλγόριθμος προσομοίωσης υπολογίζει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς κλίσης και προσανατολισμού κάθε διαθέσιμης επιφάνειας. Έπειτα, υπολογίζεται η παραγομένη ισχύς των Φ/Β πλαισίων λαμβάνοντας υπόψιν και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, πέρα από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Ακολουθώντας, ο αλγόριθμος υπολογίζει το κόστος της εκάστοτε εγκατάστασης και το VI της, ο υπολογισμός του οποίου γίνεται με βάση την 4^η μέθοδο που αναλύθηκε παραπάνω. Δηλαδή, υπολογίζονται τα I_V , I_F , I_C , I_{CC} της κάθε εγκατάστασης. Στη συνέχεια, προσθέτει με τη χρήση βαρών την οπτική

επίδραση στο κόστος της εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο ο αλγόριθμος αποφασίζει ποιο μοντέλο προσομοίωσης θα ακολουθήσει για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους της εγκατάστασης.

Αυτό το πετυχαίνει χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης Particle Swarm Optimization (PSO). Ο αλγόριθμος PSO καλείται να βρει το βέλτιστο πλήθος Φ/Β πλαισίων για μια επιφάνεια, τη βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων της οροφής και το βέλτιστο πλήθος μπαταριών.

3.2 Αλγόριθμος προσομοίωσης λειτουργίας φωτοβολταϊκού συστήματος και υπολογισμός της οπτικής επίδρασης

Ο αλγόριθμος προσομοιώνει τη λειτουργία ενός διασυνδεδεμένου στο ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β συστήματος με αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες. Υπολογίζει την ισχύ που παράγεται από τα Φ/Β, αποθηκεύεται στις μπαταρίες, καταναλώνεται από το φορτίο και αγοράζεται ή πωλείται από και προς το ηλεκτρικό δίκτυο, αντίστοιχα, ανά ώρα. Ουσιαστικά, αν κάποια ώρα της ημέρας υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β τότε αυτή αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Αν δεν μπορεί να αποθηκευτεί στις μπαταρίες, τότε αυτή η περίσσεια ενέργειας πωλείται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αντίστοιχα, αν κάποια ώρα της ημέρας η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρουν τα Φ/Β πλαίσια δεν επαρκεί ώστε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του φορτίου, τότε αρχικά το φορτίο προσπαθεί να καλυφθεί από τις μπαταρίες και αν αυτό δεν είναι εφικτό τότε αγοράζεται ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο. Το βήμα προσομοίωσης είναι μια ώρα. Συνεπώς για ένα χρόνο προσομοίωσης αυτό το βήμα θα εκτελεστεί 8760 φορές, όσες δηλαδή είναι και οι ώρες ενός έτους. Συνεπώς, για y έτη το κάθε βήμα θα εκτελεστεί $y \cdot 8760$ φορές.



Σχήμα 3.1: Αρχικά στάδια αλγορίθμου.

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τα αρχικά στάδια του αλγορίθμου προσομοίωσης, τα οποία αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου εν τάχει και εξηγούνται παρακάτω πιο αναλυτικά.

Οι τρεις τύποι Φ/Β πλαισίων που αναφέρθηκαν παραπάνω χωρίζονται σε συστοιχίες για να μπορούν να συμβαδίζουν με τους ρυθμιστές τάσης.

Το σύνολο της παραγόμενης ισχύος από αυτές τις συστοιχίες συμβολίζεται με P_{pv} . Η ισχύς μετά το ρυθμιστή τάσης συμβολίζεται με P_{re} :

$$P_{pv} = \sum N_{fpv}^{tra} P_{pv}^{tra} + \sum N_{fpv}^{con} P_{pv}^{con} + \sum N_{fpv}^{tile} P_{pv}^{tile} \quad (3.1)$$

$$P_{re} = n_s P_{pv} \quad (3.2)$$

όπου:

n_s : ο συντελεστής απόδοσης του ρυθμιστή τάσης,

P_{pv}^{tra} : η παραγόμενη ισχύς από τα διάφανα-transparent Φ/B πλαίσια,

P_{pv}^{con} : η παραγόμενη ισχύς από τα συμβατικά-conventional Φ/B πλαίσια,

P_{pv}^{tile} : η παραγόμενη ισχύς από τα Φ/B πλαίσια τύπου κεραμιδιού,

N_{fpv}^{tra} : το τελικό πλήθος των διαφανων Φ/B πλαισίων,

N_{fpv}^{con} : το τελικό πλήθος των συμβατικών Φ/B πλαισίων,

N_{fpv}^{tile} : το τελικό πλήθος των Φ/B πλαισίων τύπου κεραμιδιού.

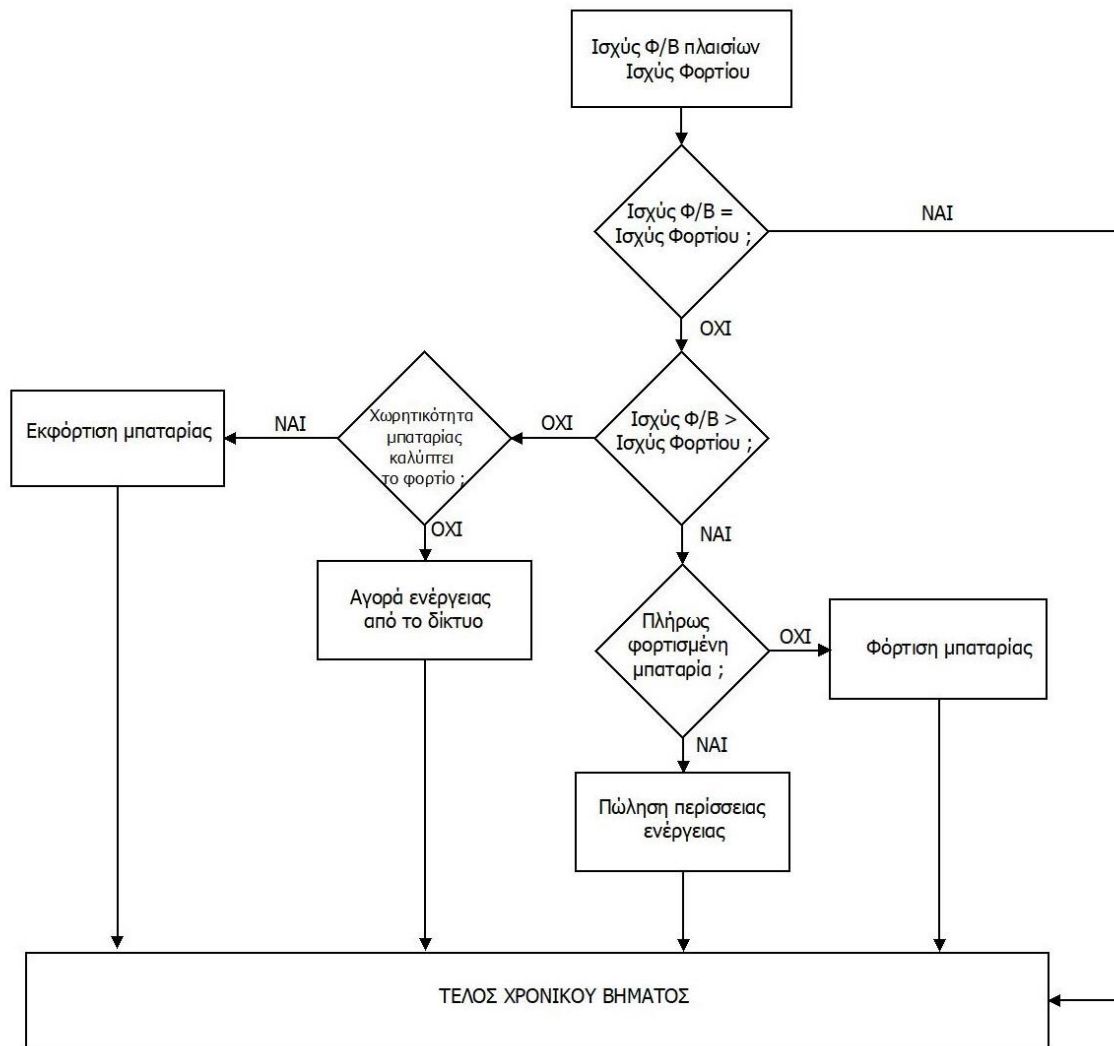
Με P_L συμβολίζουμε την ισχύ εισόδου του inverter. Το P_L δίνεται από τη σχέση (3.3):

$$P_L = \frac{P_{load}}{n_i} \quad (3.3)$$

όπου:

P_{load} : η κατανάλωση του φορτίου,

n_i : ο βαθμός απόδοσης του inverter.

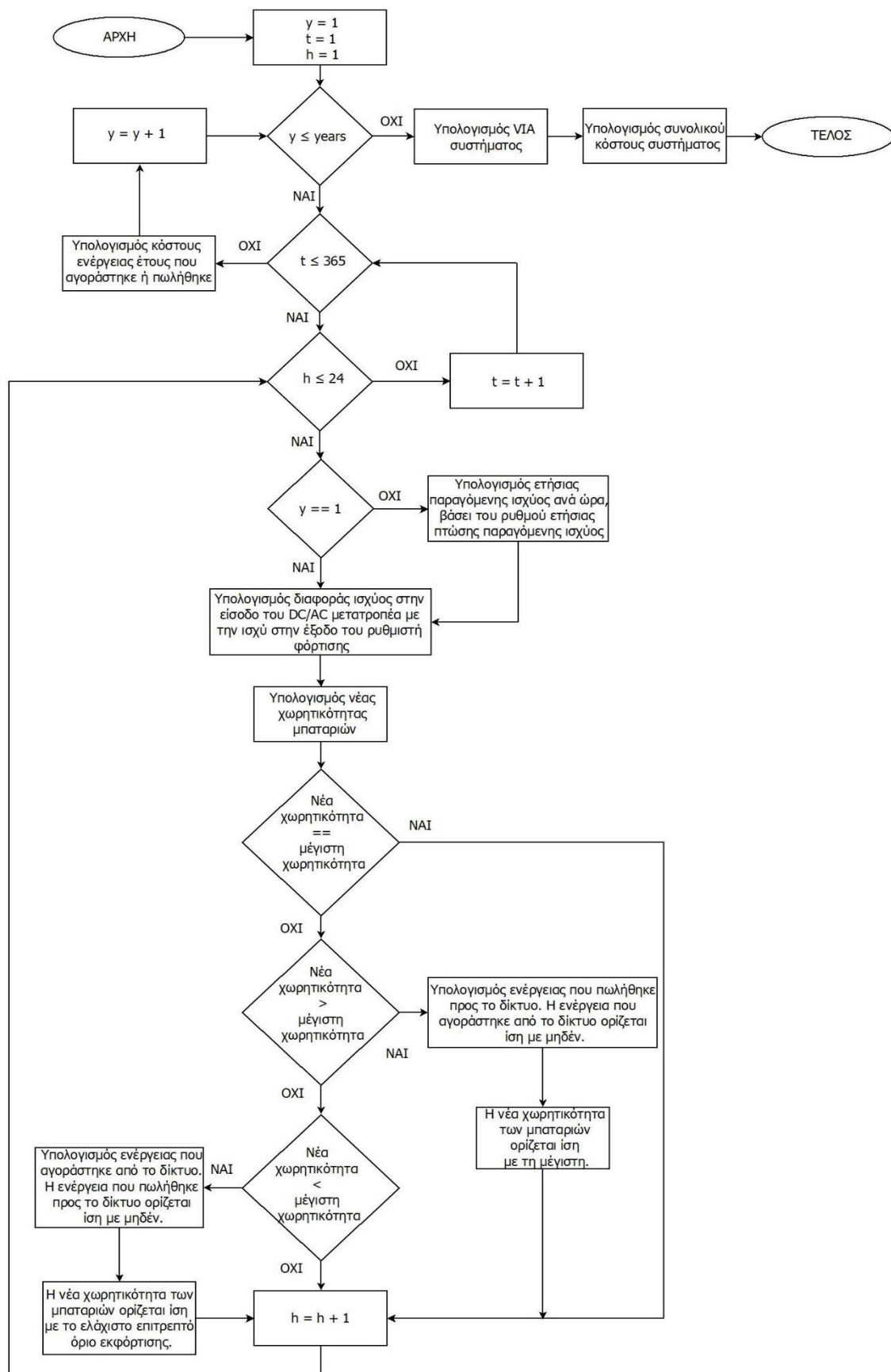


Σχήμα 3.2: Ο αλγόριθμος διαχείρισης της ισχύος του Φ/Β συστήματος.

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του Φ/Β συστήματος, το οποίο είναι διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο και επομένως έχει τη δυνατότητα αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας και το οποίο επίσης έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες.

Στην περίπτωση που το $P_{re} = P_L$, το φορτίο μπορεί να καλυφθεί εξ ολοκλήρου από το Φ/Β σύστημα και επομένως δεν υπάρχει κάποια αλλαγή στην κατάσταση της μπαταρίας ή κάποια ανταλλαγή ενέργειας με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αν το $P_{re} > P_L$, τότε το Φ/Β σύστημα παράγει αρκετή ενέργεια τόσο για να καλύψει το φορτίο, όσο και για να φορτίσει την μπαταρία. Το περίσσειμα ισχύος με το οποίο θα φορτίσει η μπαταρία είναι το $P_{re} - P_L$. Όταν ολοκληρωθεί η φόρτιση της μπαταρίας, τότε η πλεονάζουσα ενέργεια θα πωληθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Εν αντιθέσει, αν το $P_{re} < P_L$ είναι προφανές ότι το Φ/Β σύστημα δεν είναι ικανό να καλύψει το

φορτίο και επομένως η έλλειψη ισχύος, η οποία είναι ίση με $P_L - P_{re}$, καλύπτεται από την μπαταρία αρχικά, αν αυτό είναι δυνατόν, αλλιώς αν η μπαταρία φτάσει στο όριο εκφόρτισής της, τότε αυτή η έλλειψη καλύπτεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με αγορά ενέργειας.



Σχήμα 3.3: Αναλυτικό διάγραμμα αλγορίθμου προσομοίωσης της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος.

Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά ο αλγόριθμος προσομοίωσης της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος, το οποίο όπως έχει αναφερθεί είναι διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο και έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, για τα γ έτη λειτουργίας με χρονικό βήμα μιας ώρας.

Ο αλγόριθμος ξεκινά αφού υπολογιστεί η παραγόμενη ισχύς ανά ώρα του Φ/Β συστήματος για το πρώτο έτος λειτουργίας $P_{pv}^i(t)$, όπου το i εκφράζει τις μέρες του έτους και το t τις ώρες μιας ημέρας. Είναι γνωστό ότι τα Φ/Β πλαίσια με την πάροδο του χρόνου χάνουν την απόδοση τους κατά κάποιο ποσοστό, το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή, με αποτέλεσμα οι τιμές $P_{pv}^i(t)$ να ισχύουν μόνο για το πρώτο έτος. Με βάση αυτό το ποσοστό κάθε χρόνο υπολογίζεται εκ νέου η νέα τιμή της συνολικής παραγόμενης ισχύος του εκάστοτε Φ/Β πλαισίου βάσει της συνολικής παραγόμενης ισχύος του προηγούμενου χρόνου όπως προκύπτει από τους παρακάτω τύπους:

$$P_{pv}^{tra,i}(t) = P_{pv}^{tra,i}(t) - P_{pv}^{tra,i}(t) * r_{disc}^{tra} \quad (3.4)$$

$$P_{pv}^{con,i}(t) = P_{pv}^{con,i}(t) - P_{pv}^{con,i}(t) * r_{disc}^{con} \quad (3.5)$$

$$P_{pv}^{tile,i}(t) = P_{pv}^{tile,i}(t) - P_{pv}^{tile,i}(t) * r_{disc}^{tile} \quad (3.6)$$

όπου:

r_{disc}^{tra} : η ποσοστιαία ετήσια πτώση ισχύος διάφανων Φ/Β πλαισίων,

r_{disc}^{con} : η ποσοστιαία ετήσια πτώση ισχύος συμβατικών Φ/Β πλαισίων,

r_{disc}^{tile} : η ποσοστιαία ετήσια πτώση ισχύος Φ/Β πλαισίων τύπου κεραμιδιών.

Έπειτα, με βάση τη σχέση (3.1) υπολογίζεται η συνολική παραγόμενη ισχύς του Φ/Β συστήματος για το συγκεκριμένο έτος. Η διαφορά της ισχύος στην είσοδο του μετατροπέα DC/AC [σχέση (3.3)] με την ισχύ στην έξοδο του ρυθμιστή φόρτισης [σχέση (3.2)] συμβολίζεται με P_b και είναι:

$$P_b^i(t) = \frac{P_{load}^i(t)}{n_i} - P_{re}^i(t) \quad (3.7)$$

Όταν η τιμή του $P_b^i(t)$ είναι μικρότερη του μηδενός, τότε η ισχύς που υπάρχει μετά τους ρυθμιστές φόρτισης μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες του φορτίου και το περίσσειμα ενέργειας μπορεί είτε να αποθηκευτεί στις μπαταρίες, είτε να πωληθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Διαφορετικά, αν η τιμή του $P_b^i(t)$ είναι μεγαλύτερη του μηδενός, τότε η ισχύς που υπάρχει μετά

τους ρυθμιστές φόρτισης δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες του φορτίου και το έλλειμμα ενέργειας μπορεί είτε να καλυφθεί από τις μπαταρίες, είτε να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών κατά την φόρτιση και εκφόρτιση τους υπολογίζεται ως εξής:

$$C^i(t) = C^i(t-1) - \frac{n_c * P_b^i(t)}{V_{bn} * n_{bs}} * \Delta_t \quad (3.8)$$

$$C^i(t) = C^i(t-1) - \frac{P_b^i(t)}{V_{bn} * n_{bs} * n_d} * \Delta_t \quad (3.9)$$

όπου:

n_d : ο βαθμός απόδοσης κατά την εκφόρτιση των μπαταριών,

n_c : ο βαθμός απόδοσης κατά την φόρτιση των μπαταριών,

V_{bn} : η ονομαστική τάση μιας μπαταρίας,

n_{bs} : το πλήθος των μπαταριών που συνδέονται σε σειρά στη συστοιχία μπαταριών,

Δ_t : το χρονικό βήμα προσομοίωσης που είναι ίσο με 1 ώρα.

Ο βαθμός απόδοσης φόρτισης και εκφόρτισης της μπαταρίας είναι 90% και η αρχική κατάσταση της συστοιχίας μπαταριών λαμβάνεται ίση με το 50% της ονομαστικής της χωρητικότητας.

Όταν η νέα κατάσταση φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών $C^i(t)$ είναι ίση με τη μέγιστη χωρητικότητα των μπαταριών C_{tot} , τότε οι μπαταρίες έχουν φορτιστεί πλήρως χωρίς να υπάρχει κάποιο έλλειμμα ή πλεόνασμα ενέργειας και ο αλγόριθμος προχωρά στο επόμενο χρονικό βήμα. Αν όμως η νέα κατάσταση της συστοιχίας των μπαταριών είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα τους $C^i(t) > C_{tot}$, τότε οι μπαταρίες θα έχουν φορτιστεί πλήρως και θα υπάρχει και κάποιο περίσσειμα ενέργειας το οποίο θα πωληθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Εφόσον υπολογιστεί η ισχύς, η οποία διατίθεται προς πώληση στο ηλεκτρικό δίκτυο $P_{ex}^i(t)$ τη συγκεκριμένη ώρα ορίζεται η νέα κατάσταση φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών η οποία είναι ίση με την ονομαστική χωρητικότητα τους $C^i(t) = C_{tot}$. Η ισχύς που θα αγοραστεί τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή $P_{buy}^i(t)$ ορίζεται ίση με μηδέν. Μόλις υπολογιστούν οι παραπάνω τιμές ο αλγόριθμος προχωρά στο επόμενο χρονικό βήμα.

Αντίθετα, όταν η νέα κατάσταση φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών είναι μικρότερη από το επιτρεπτό βάθος εκφόρτισης SOC_{min} , τότε η παραγόμενη ισχύς αλλά και η ισχύς που

μπορούν να παρέχουν οι μπαταρίες δεν είναι επαρκείς για να καλύψουν το φορτίο τη δεδομένη χρονική στιγμή και συνεπώς πρέπει να γίνει αγορά ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο. Εφόσον υπολογιστεί η ισχύς $P_{buy}^i(t)$ η οποία θα αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο, η νέα κατάσταση της συστοιχίας των μπαταριών τίθεται στον ελάχιστο βαθμό εκφόρτισης της, που δίνεται από την σχέση (3.12) και η τιμή της ισχύος $P_{ex}^i(t)$ που πωλείται προς το ηλεκτρικό δίκτυο ορίζεται ίση με μηδέν. Μόλις υπολογιστούν οι παραπάνω τιμές ο αλγόριθμος προχωρά στο επόμενο χρονικό βήμα.

Στη σχέση (3.10) φαίνεται ο υπολογισμός της ισχύος που πωλείται στο ηλεκτρικό δίκτυο:

$$P_{ex}^i(t) = \frac{(C^i(t) - C_{tot}) * V_{bn} * n_{bs} * n_i}{\Delta_t} \quad (3.10)$$

Στη σχέση (3.11) φαίνεται ο υπολογισμός της ισχύος που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο:

$$P_{buy}^i(t) = \frac{(C_{tot} * SOC_{min} - C^i(t)) * V_{bn} * n_{bs} * n_i}{\Delta_t} \quad (3.11)$$

$$C^i(h) = C_{tot} * SOC_{min} \quad (3.12)$$

Μόλις ολοκληρωθεί η προσομοίωση ενός έτους γίνεται ο συνολικός απολογισμός της ενέργειας που πωλήθηκε και αγοράστηκε από το ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η διαδικασία γίνεται για όλα τα έτη της προσομοίωσης.

Στη σχέση (3.13) φαίνεται ο υπολογισμός του κόστους της ενέργειας που αγοράστηκε από το ηλεκτρικό δίκτυο:

$$CP_{buy}^{tot} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} P_{buy}^i(t)}{1000} \right) * C_{buy}(y) \quad (3.13)$$

όπου:

$C_{buy}(y)$: η τιμή αγοράς μιας κιλοβατώρας,

y : τα έτη της προσομοίωσης.

Η σχέση (3.14) δείχνει τον υπολογισμό του κόστους της ενέργειας που πωλήθηκε στο ηλεκτρικό δίκτυο:

$$CP_{sell}^{tot} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} P_{sell}^i(t)}{1000} \right) * C_{sell}(y) \quad (3.14)$$

όπου:

$C_{sell}(y)$: η τιμή πώλησης μιας κιλοβατώρας.

Οι τιμές $C_{buy}(y)$ και $C_{sell}(y)$ αλλάζουν κάθε χρόνο με βάση τον πληθωρισμό και το επιτόκιο, όπως φαίνεται από τις σχέσεις:

$$C_{buy}(y) = C_{buy}(1) * \frac{(1+g)^y}{(1+i)^y} \quad (3.15)$$

$$C_{sell}(y) = C_{sell}(1) * \frac{(1+g)^y}{(1+i)^y} \quad (3.16)$$

όπου:

g : ο πληθωρισμός,

i : το επιτόκιο.

Η τιμή αγοράς και πώλησης της κιλοβατώρας για το πρώτο έτος δίνονται ως είσοδοι στον αλγόριθμο από το σχεδιαστή. Το συνολικό καθαρό κόστος της ενέργειας που αγοράστηκε και πωλήθηκε κατά τη διάρκεια ενός έτους δίνεται από τον τύπο :

$$C_{year}(y) = CP_{buy}^{tot} - CP_{sell}^{tot} \quad (3.17)$$

Αφού υπολογιστεί το καθαρό κόστος της ενέργειας που αγοράστηκε και πωλήθηκε για κάθε χρόνο της προσομοίωσης υπολογίζεται και το κόστος του εξοπλισμού, από το οποίο θα προκύψει και το κόστος συντήρησης. Με τη σχέση (3.18) υπολογίζεται το κόστος των Φ/Β πλαισίων όλων των τύπων και με τη σχέση (3.19) το κόστος όλης της εγκατάστασης:

$$C_{pv}^{tot} = N_{fpv}^{tra} * C_{pv}^{tra} + N_{fpv}^{con} * C_{pv}^{con} + N_{fpv}^{tile} * C_{pv}^{tile} \quad (3.18)$$

$$C_{equip} = C_{pv}^{tot} + N_{fb} * C_b + N_{ch} * C_{ch} + N_{inv} * C_{inv} \quad (3.19)$$

όπου:

C_{pv}^{tra} : το κόστος του διάφανου Φ/Β πλαισίου,

C_{pv}^{con} : το κόστος του συμβατικού Φ/Β πλαισίου,

C_{pv}^{tile} : το κόστος του Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιού,

C_b : το κόστος μιας μπαταρίας,

C_{ch} : το κόστος ενός φορτιστή,

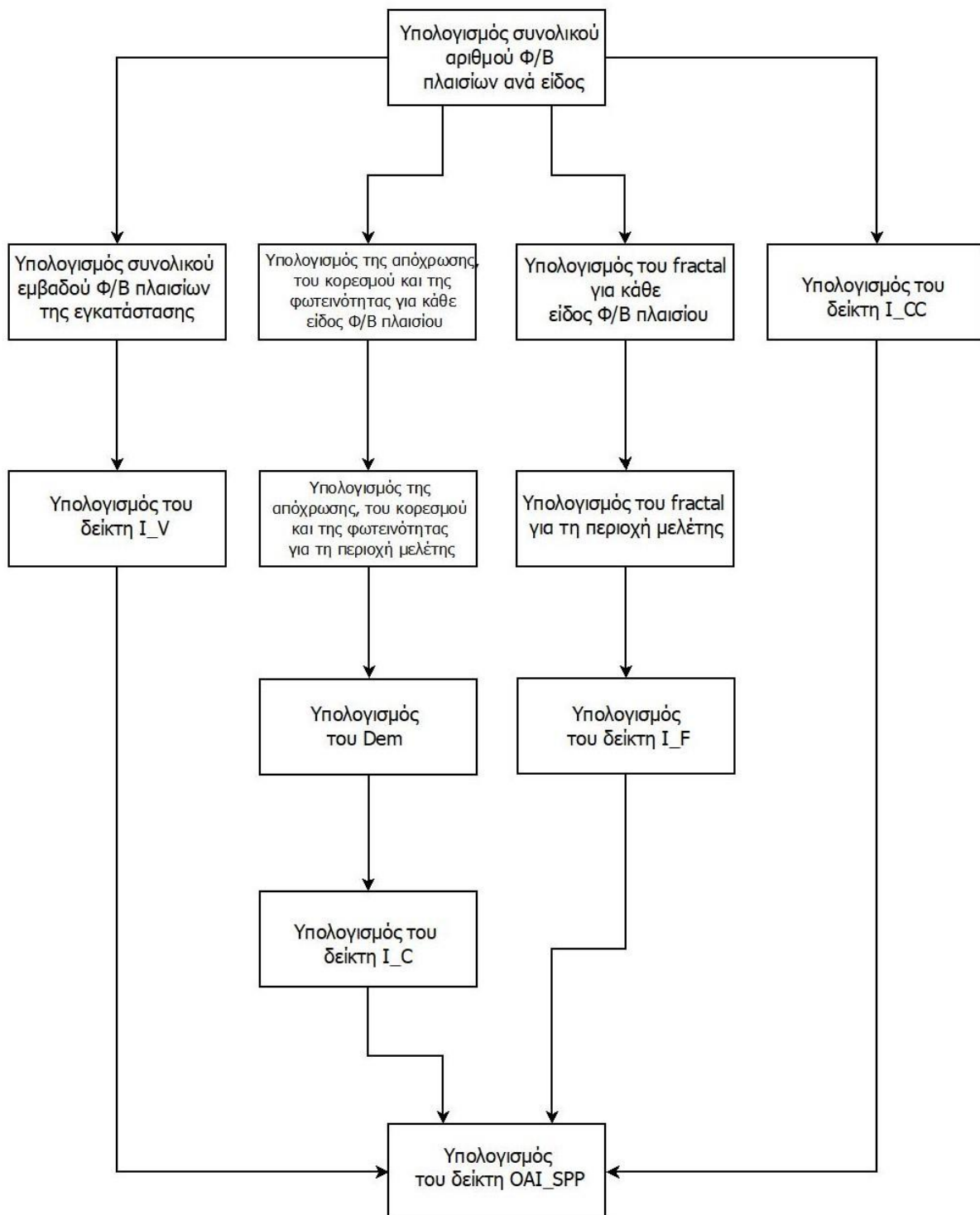
C_{inv} : το κόστος ενός μετατροπέα DC/AC,

C_{pv}^{tot} : το συνολικό κόστος όλων των Φ/Β πλαισίων,

N_{fb} : το πλήθος των μπαταριών,

N_{ch} : το πλήθος των φορτιστών (ρυθμιστών τάσης),

N_{inv} : το πλήθος των μετατροπέων DC/AC.



Σχήμα 3.4: Αναλυτικό διάγραμμα αλγορίθμου υπολογισμού της οπτικής επίδρασης.

Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται όλες οι παράμετροι, καθώς και ο δείκτης της οπτικής επίδρασης. Η μέθοδος αυτή αναλύεται διεξοδικά παρακάτω.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εισάγει την οπτική επίδραση της εγκατάστασης στο κόστος της εγκατάστασης. Αυτό επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο 4, η οποία αναλύθηκε παραπάνω, αρχικά υπολογίζονται οι τέσσερις παράμετροι. Έπειτα, χρησιμοποιώντας αυτές τις τέσσερις παραμέτρους και με τη βοήθεια του βάρους που έχει η κάθε παράμετρος, εξάγεται ένας δείκτης, ο οποίος ονομάζεται OAI_{SSP} και η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 1. Αυτός ο δείκτης είναι το σταθμισμένο άθροισμα των τιμών των τεσσάρων παραμέτρων, οι οποίες σχετίζονται με τις ακόλουθες πτυχές:

- ❖ την ορατότητα της εγκατάστασης: παράμετρος I_V .
- ❖ το χρώμα του Φ/Β πλαισίου σε σύγκριση με το χρώμα του άμεσου περιβάλλοντος: παράμετρος I_C .
- ❖ το σχήμα της εγκατάστασης: παράμετρος I_F .
- ❖ τη συνάφεια διαφόρων μορφών και τύπων Φ/Β πλαισίων στην ίδια εγκατάσταση: παράμετρος I_{CC} .

Για να εξαχθεί ο δείκτης OAI_{SSP} , το ποσοστό καθενός από αυτούς τους δευτερεύοντες δείκτες θεωρείται ίσο με 64%, 19%, 9% και 8% αντίστοιχα:

$$OAI_{SSP} = 0,64 * I_V + 0,19 * I_C + 0,09 * I_F + 0,08 * I_{CC} \quad (3.20)$$

Από μια πρώτη ανάλυση του δείκτη OAI_{SSP} , μπορεί να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της αισθητικής επίδρασης αποδίδεται στην ορατότητα και το χρώμα του Φ/Β πλαισίου, καθώς πάνω από το 80% του συνολικού δείκτη αντιπροσωπεύεται από αυτές τις παραμέτρους.

Για να γίνει ο υπολογισμός όλων των παραμέτρων χρειάζεται να εισαχθούν κάποιες εικόνες, ώστε να ληφθούν δεδομένα για τον περιβάλλοντα χώρο της εγκατάστασης αλλά και την ίδια την εγκατάσταση. Οι εικόνες που εισάγονται είναι τέσσερις και πιο συγκεκριμένα είναι μια για τον περιβάλλοντα χώρο, καθώς και το κτίριο στο οποίο θα γίνει η εγκατάσταση και τρεις για τα τρία διαφορετικά είδη Φ/Β πλαισίων που μπορούν να εγκατασταθούν.

Για να καθοριστεί η παράμετρος I_V , αρχικά, υπολογίζεται ο λόγος της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνεται από την Φ/Β εγκατάσταση προς την έκταση της περιοχής του τοπίου, στο οποίο μελετάται η οπτική επίδραση και έπειτα αυτός ο λόγος εκφράζεται σε ποσοστιαία κλίμακα. Το εμβαδόν της περιοχής που είναι υπό μελέτη δίνεται ως είσοδος στον αλγόριθμο ως η παράμετρος $area_{background}^{tot}$. Το εμβαδόν της εγκατάστασης υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (3.21):

$$area_{pv}^{tot} = mod_{total}^{tra} * area^{tra} + mod_{total}^{con} * area^{con} + mod_{total}^{tile} * area^{tile} \quad (3.21)$$

όπου:

- mod_{total}^{tra} : το πλήθος των διάφανων Φ/Β πλαισίων,
 $area^{tra}$: το εμβαδόν ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου,
 mod_{total}^{con} : το πλήθος των συμβατικών Φ/Β πλαισίων,
 $area^{con}$: το εμβαδόν ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου,
 mod_{total}^{tile} : το πλήθος των Φ/Β πλαισίων τύπου κεραμιδιού,
 $area^{tile}$: το εμβαδόν ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιού.

Η μετατροπή του σε ποσοστιαία κλίμακα γίνεται μέσω της σχέσης (3.22):

$$area_{pv}^{pu} = \frac{area_{pv}^{tot}}{area_{background}^{tot}} \quad (3.22)$$

Αφού υπολογιστεί η ποσοστιαία ποσότητα $area_{pv}^{pu}$, με τη χρήση της ακόλουθης συνθήκης γίνεται ο υπολογισμός της παραμέτρου I_V :

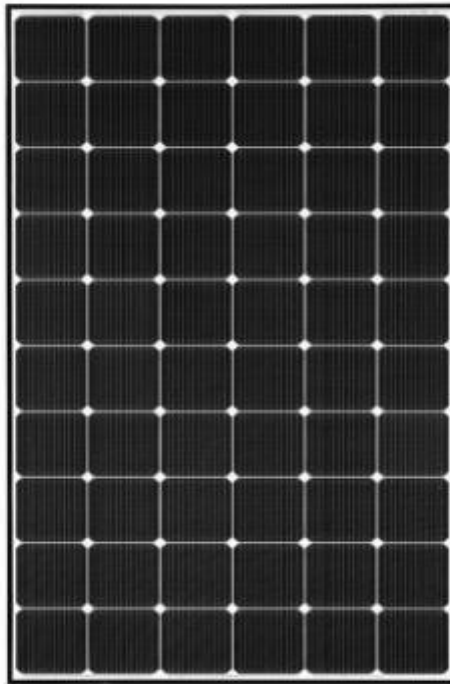
$$I_V = \begin{cases} -0.004area_{pv}^{pu^2} + 0.128area_{pv}^{pu}, & area_{pv}^{pu} < 13.5 \\ 1, & area_{pv}^{pu} > 13.5 \end{cases} \quad (3.23)$$

Για να καθοριστεί η παράμετρος I_F πρέπει να υπολογιστεί ο λόγος του συνολικού Fractal της Φ/Β εγκατάστασης προς το Fractal της περιοχής του τοπίου, στο οποίο μελετάται η οπτική επίδραση. Για να γίνει αυτό, πρώτα θα πρέπει να υπολογιστούν τα Fractal Dimension των τεσσάρων εικόνων, αφού πρώτα εξαχθούν τα περιγράμματα τους σε bitmap. Η Fractal διάσταση (ή διάσταση Hausdorff – Besicovitch) είναι ένα άλλο είδος διάστασης ενός υποσυνόλου του Ευκλείδειου χώρου, η οποία μπορεί να οριστεί ως ο βαθμός πολυπλοκότητας ή "τραχύτητας" ενός σχήματος, ο οποίος δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από την Ευκλείδεια διάσταση του αντίστοιχου χώρου, στον οποίο έχουμε εμβυθίσει το σχήμα. Ο αριθμός αυτός, ο οποίος συμβολίζεται με **D**, είναι και αυτός μη αρνητικός, αλλά μπορεί να παίρνει και μη ακέραιες τιμές.

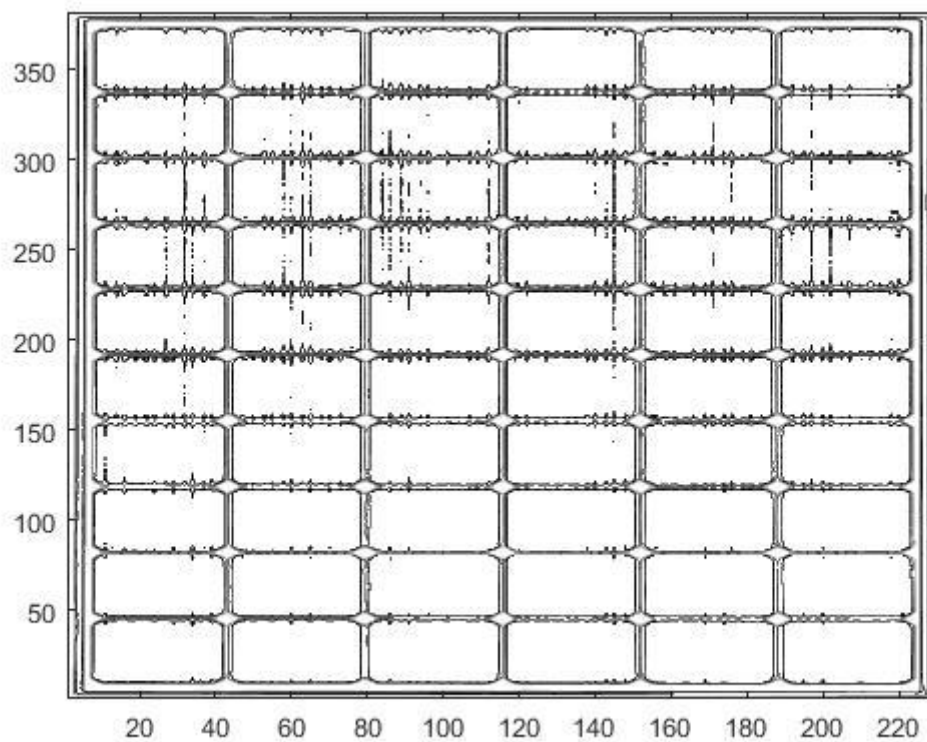
Αυτό γίνεται με τη μετατροπή των εικόνων αρχικά σε μορφή grayscale και την εφαρμογή ενός threshold σε αυτές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται χρήση της συνάρτησης "graythresh" από το toolbox της MATLAB, η οποία υπολογίζει ένα global όριο (threshold) T από την εικόνα I σε κλίμακα του γκρι, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Otsu. Η μέθοδος του Otsu επιλέγει ένα κατώφλι που ελαχιστοποιεί την διακύμανση της ενδοκλάσης των κατωτάτων ασπρόμαυρων

pixel. Το global όριο T μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την εντολή `imbinarize` για να μετατρέψει μια εικόνα από κλίμακα του γκρι σε δυαδική εικόνα (binary image). Ακολούθως, με τη χρήση της συνάρτησης “`boxcount`” από το toolbox της MATLAB εξάγεται για την κάθε εικόνα η τιμή Fractal της. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το $Fract_{\rho\nu}^{total}$ της Φ/Β εγκατάστασης ανάλογα με το πόσα Φ/Β από το κάθε είδος έχει αυτή.

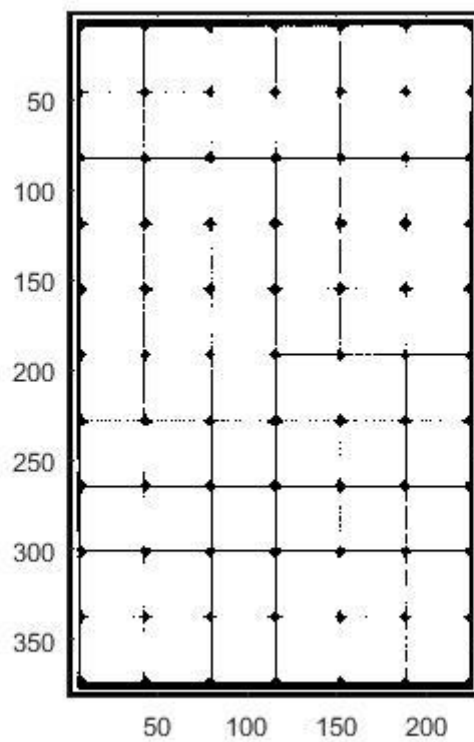
Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα της διαδικασίας που αναλύθηκε παραπάνω.



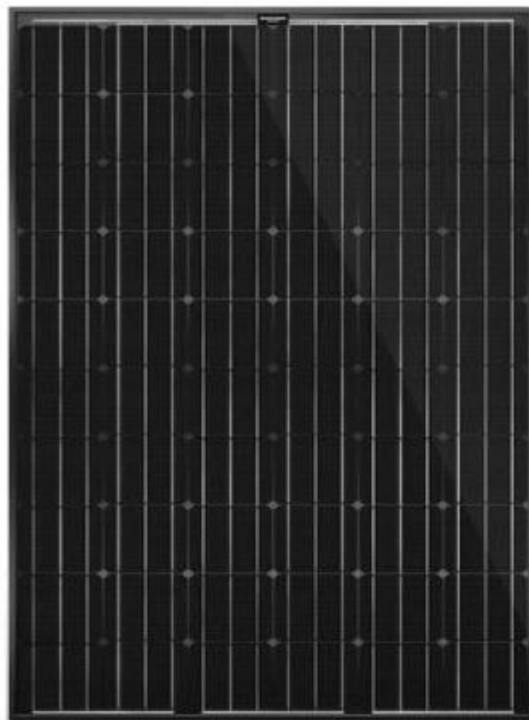
Σχήμα 3.5: Αρχική εικόνα ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου.



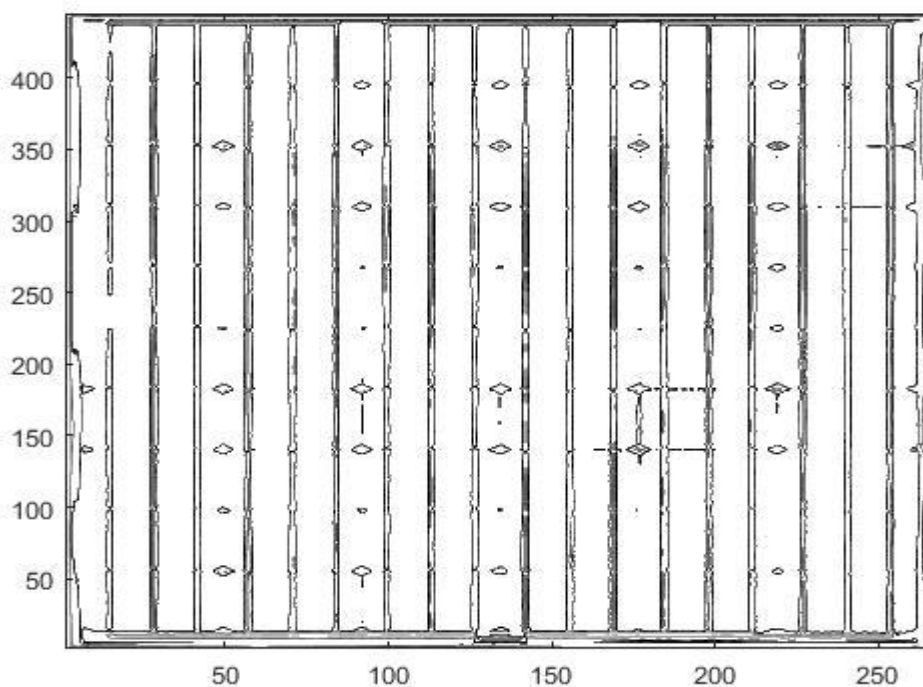
Σχήμα 3.6: Εξαγωγή του περιγράμματος σε bitmap ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου.



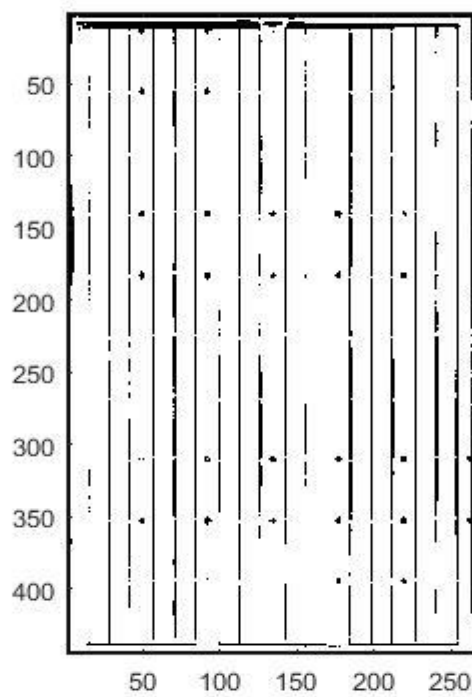
Σχήμα 3.7: Εφαρμογή του threshold στο bitmap ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου.



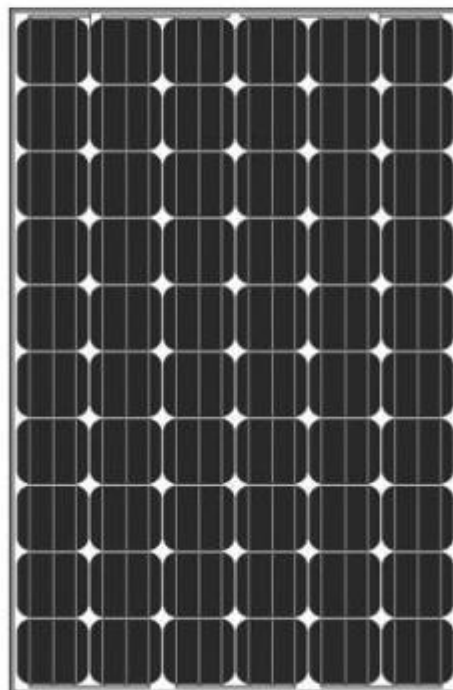
Σχήμα 3.8: Αρχική εικόνα ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιών.



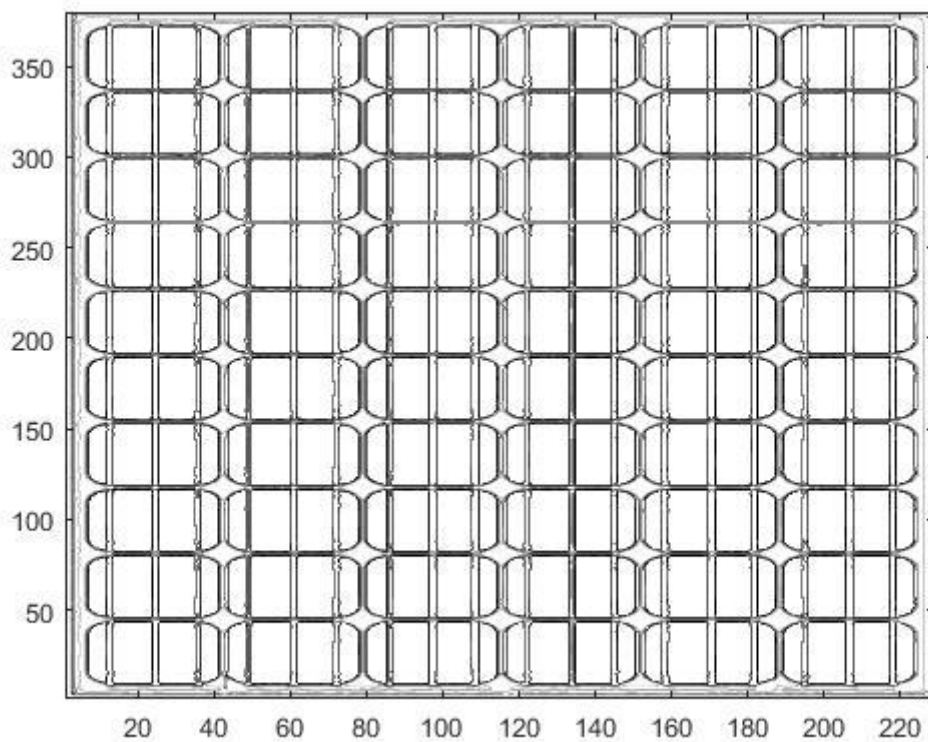
Σχήμα 3.9: Εξαγωγή του περιγράμματος σε bitmap ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιών.



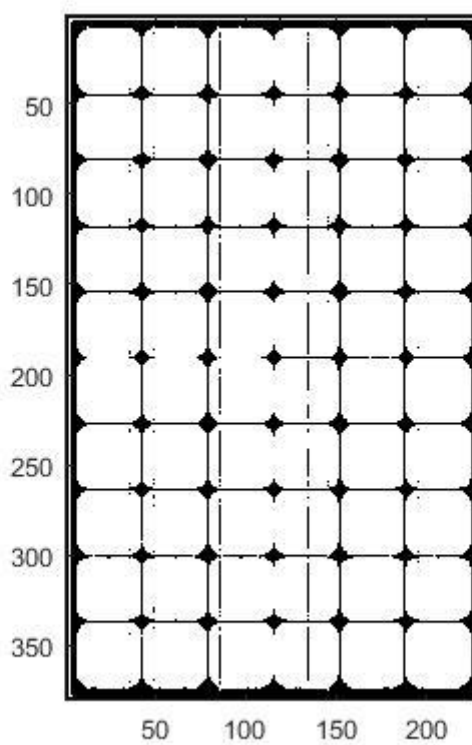
Σχήμα 3.10: Εφαρμογή του threshold στο bitmap ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιών.



Σχήμα 3.11: Αρχική εικόνα ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου.



Σχήμα 3.12: Εξαγωγή του περιγράμματος σε bitmap ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου.

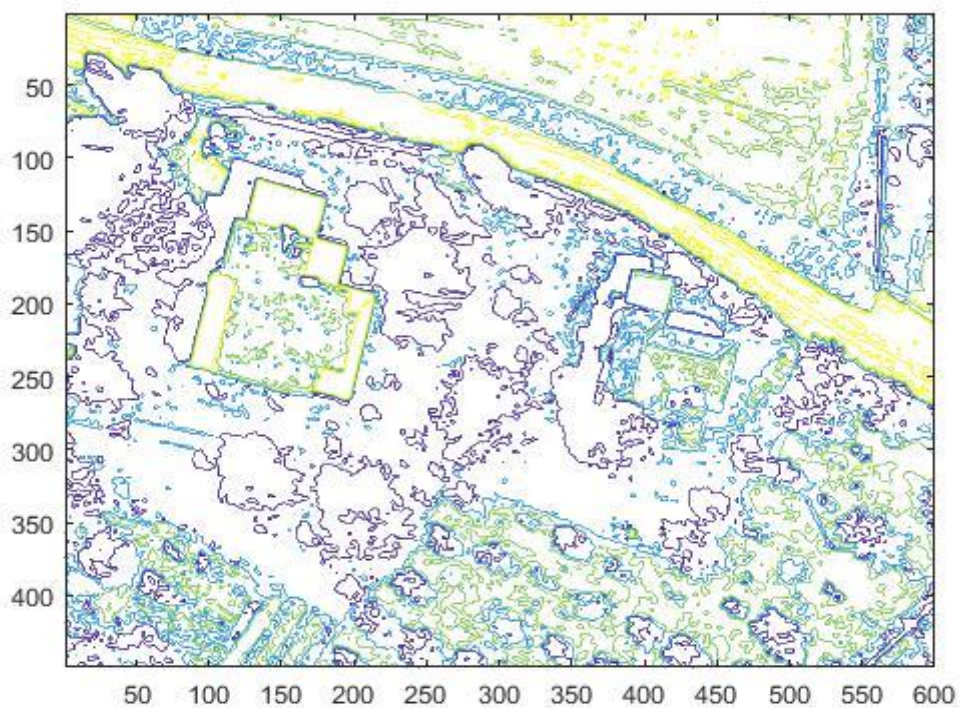


Σχήμα 3.13: Εφαρμογή του threshold στο bitmap ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου.

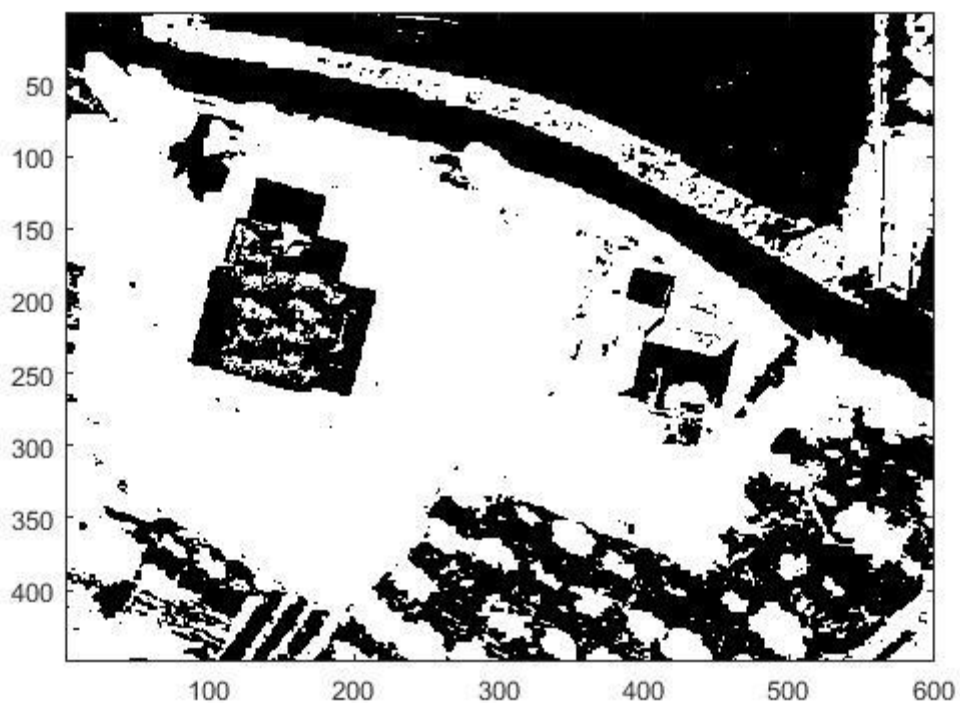
Στα Σχήματα 3.5, 3.8 και 3.11 παρουσιάζονται οι αρχικές εικόνες για τα τρία διαφορετικά είδη Φ/Β πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν. Στα Σχήματα 3.6, 3.9 και 3.12 παρουσιάζονται τα περιγράμματα σε bitmap, όπως προέκυψαν από τις αρχικές εικόνες για τα τρία διαφορετικά είδη Φ/Β πλαισίων των Σχημάτων 3.5, 3.8 και 3.11 αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.7, 3.10 και 3.13 παρουσιάζονται τα περιγράμματα σε bitmap, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή threshold από τις εικόνες για τα τρία διαφορετικά είδη Φ/Β πλαισίων των Σχημάτων 3.6, 3.9 και 3.12 αντίστοιχα.



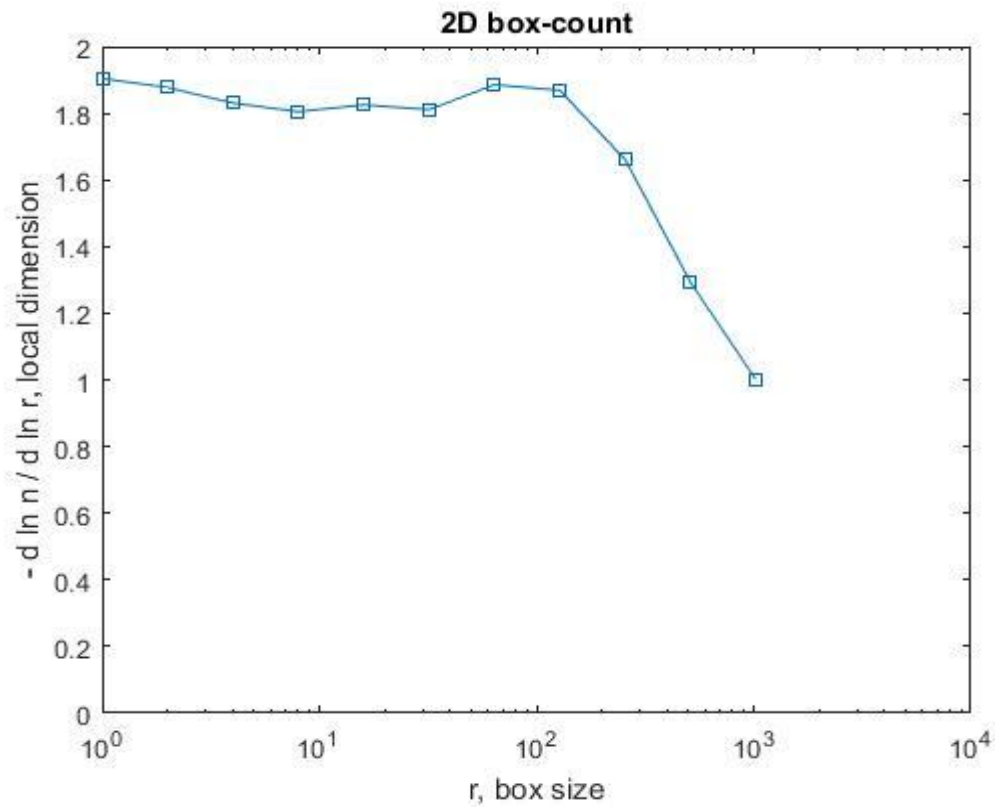
Σχήμα 3.14: Αρχική εικόνα τοπίου (μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό).



Σχήμα 3.15: Εξαγωγή του περιγράμματος σε bitmap τοπίου(σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.16: Εφαρμογή του threshold στο bitmap του τοπίου(σχήμα 3.14).



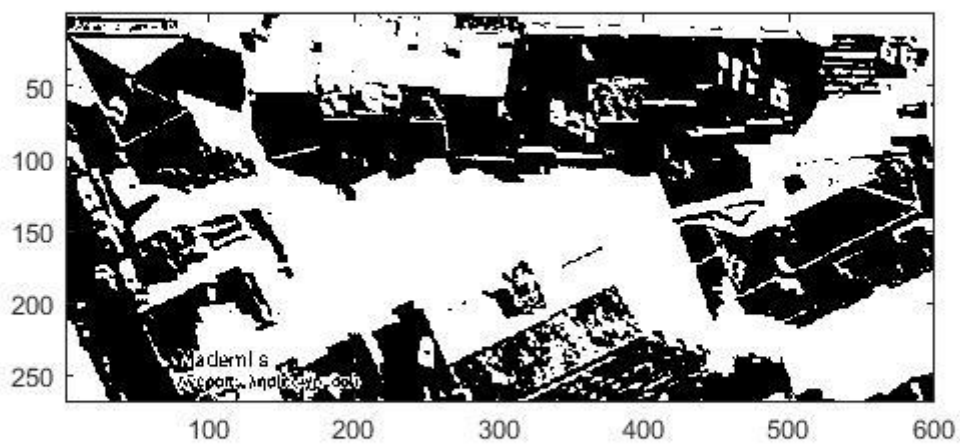
Σχήμα 3.17: Υπολογισμός του Fractal του τοπίου (σχήμα 3.14).



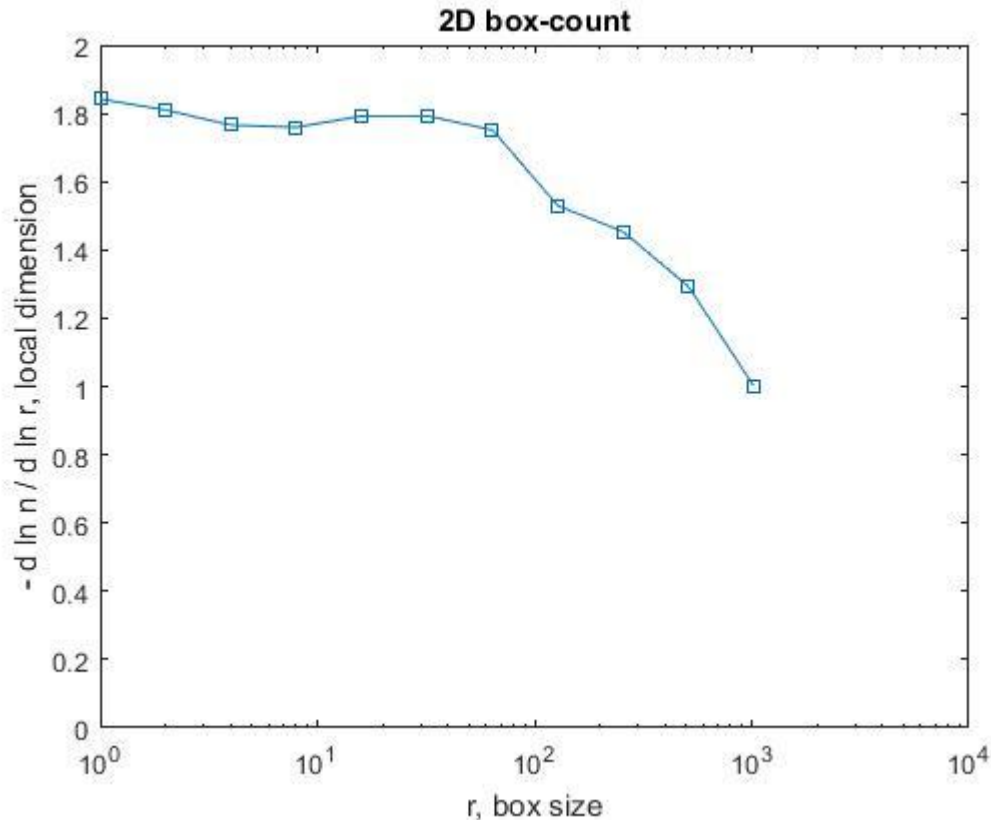
Σχήμα 3.18: Αρχική εικόνα τοπίου (πολυκατοικία σε αστικό ιστό).



Σχήμα 3.19: Εξαγωγή του περιγράμματος σε bitmap τοπίου(σχήμα 3.18).



Σχήμα 3.20: Εφαρμογή του threshold στο bitmap του τοπίου(σχήμα 3.18).



Σχήμα 3.21: Υπολογισμός του Fractal του τοπίου (σχήμα 3.18).

Στα Σχήματα 3.14 και 3.18 παρουσιάζονται οι αρχικές εικόνες για δύο από τα τοπία, στα οποία εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος. Στα Σχήματα 3.15 και 3.19 παρουσιάζονται τα περιγράμματα σε bitmap, όπως προέκυψαν από τις αρχικές εικόνες για τα δυο τοπία των Σχημάτων 3.14 και 3.18 αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.16 και 3.20 παρουσιάζονται τα περιγράμματα σε bitmap, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή threshold από τις εικόνες για τα δυο τοπία των Σχημάτων 3.15 και 3.19 αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.17 και 3.21 παρουσιάζεται ο υπολογισμός του Fractal για τα για τα δυο τοπία των Σχημάτων 3.14 και 3.18 αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός του Fractal της Φ/Β εγκατάστασης γίνεται μέσω των σχέσεων (3.24) και (3.25):

$$\text{Fract}_{pv} = \text{mod}_{total}^{\text{tra}} * \text{Fract}^{\text{tra}} + \text{mod}_{total}^{\text{con}} * \text{Fract}^{\text{con}} + \text{mod}_{total}^{\text{tile}} * \text{Fract}^{\text{tile}} \quad (3.24)$$

$$\text{Fract}_{pv}^{\text{tot}} = \frac{\text{Fract}_{pv}}{\text{mod}_{total}^{\text{tra}} + \text{mod}_{total}^{\text{con}} + \text{mod}_{total}^{\text{tile}}} \quad (3.25)$$

όπου:

$\text{Fract}^{\text{tra}}$: το Fractal ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου,

$\text{Fract}^{\text{con}}$: το Fractal ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου,

$\text{Fract}^{\text{tile}}$: το Fractal ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιού.

Ο υπολογισμός του λόγου του συνολικού Fractal της Φ/Β εγκατάστασης και του Fractal της περιοχής του τοπίου γίνεται ως εξής:

$$\text{Fract}_{pv}^{pu} = \frac{\text{Fract}_{pv}^{\text{total}}}{\text{Fract}_{\text{background}}^{\text{total}}} \quad (3.26)$$

όπου:

$\text{Fract}_{\text{background}}^{\text{total}}$: το Fractal της περιοχής.

Αφού υπολογιστεί η ποσοστιαία ποσότητα Fract_{pv}^{pu} , με τη χρήση της ακόλουθης συνθήκης γίνεται ο υπολογισμός της παραμέτρου I_F :

$$I_F = \begin{cases} 1, & \text{Fract}_{pv}^{pu} = 0 \\ 100 * \text{Fract}_{pv}^{pu}, & 0 < \text{Fract}_{pv}^{pu} \leq 0.01 \\ -0.085 * \text{Fract}_{pv}^{pu} + 1, & 0.01 < \text{Fract}_{pv}^{pu} \leq 0.75 \\ -3.745 * \text{Fract}_{pv}^{pu} + 3.745, & 0.75 < \text{Fract}_{pv}^{pu} \leq 1 \\ -1.048 * \text{Fract}_{pv}^{pu^2} + 4.145\text{Fract}_{pv}^{pu} - 3.097, & 1 < \text{Fract}_{pv}^{pu} \leq 1.94 \\ 1, & 1.94 < \text{Fract}_{pv}^{pu} \leq 2 \end{cases} \quad (3.27)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο λόγος μεταξύ του Fractal Dimension του Φ/Β συστήματος και της περιοχής μπορεί να κυμαίνεται από 0 έως 2. Το I_F είναι ελάχιστο όταν το Fract_{pv}^{pu} είναι ίσο με 1, ενώ αυξάνεται όσο το Fract_{pv}^{pu} τείνει στο 0 ή στο 2.

Για να καθοριστεί η παράμετρος I_C , πρέπει να βρεθεί η μέση διαφορά του χρώματος dem , της οποίας η μέγιστη δυνατή τιμή είναι το 374 και να κανονικοποιηθεί, ώστε το εύρος της I_C να είναι από το 0 έως το 1. Σαν πρώτο βήμα, θα πρέπει να εξαχθεί και από τις τέσσερις εικόνες η απόχρωση, ο κορεσμός και η φωτεινότητα. Αυτό γίνεται εύκολα, καθώς αυτή η πληροφορία περιέχεται στα κανάλια που έχει κάθε έγχρωμη εικόνα. Συνεπώς εξάγεται ο μέσος όρος του κάθε καναλιού χρησιμοποιώντας την εντολή της MATLAB `mean` δύο φορές, καθώς οι εικόνες είναι δισδιάστατες. Συνεχίζοντας, υπολογίζεται η διαφορά του χρώματος μεταξύ του κάθε είδους Φ/Β πλαισίου και της περιοχής που είναι υπό μελέτη. Αυτό γίνεται με τη χρήση των παρακάτω σχέσεων:

$$DES_{bg}^{con} = \sqrt{(DEL^{con} - DEL^{bg})^2 + (DEa^{con} - DEa^{bg})^2 + (DEb^{con} - DEb^{bg})^2} \quad (3.28)$$

$$DES_{bg}^{tra} = \sqrt{(DEL^{tra} - DEL^{bg})^2 + (DEa^{tra} - DEa^{bg})^2 + (DEb^{tra} - DEb^{bg})^2} \quad (3.29)$$

$$DES_{bg}^{tile} = \sqrt{(DEL^{tile} - DEL^{bg})^2 + (DEa^{tile} - DEa^{bg})^2 + (DEb^{tile} - DEb^{bg})^2} \quad (3.30)$$

όπου:

- DEL^{con} : η μέση απόχρωση ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου,
 DEL^{tra} : η μέση απόχρωση ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου,
 DEL^{tile} : η μέση απόχρωση ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιού,
 DEL^{bg} : η μέση απόχρωση της περιοχής,
 DEa^{con} : ο μέσος κορεσμός ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου,
 DEa^{tra} : ο μέσος κορεσμός ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου,
 DEa^{tile} : ο μέσος κορεσμός ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιού,
 DEa^{bg} : ο μέσος κορεσμός της περιοχής,
 DEb^{con} : η μέση φωτεινότητα ενός διάφανου Φ/Β πλαισίου,
 DEb^{tra} : η μέση φωτεινότητα ενός συμβατικού Φ/Β πλαισίου,
 DEb^{tile} : η μέση φωτεινότητα ενός Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιού,
 DEb^{bg} : η μέση φωτεινότητα της περιοχής.

Μετά τον υπολογισμό των παραπάνω τιμών γίνεται μια κανονικοποίηση ανάλογα με το πόσα Φ/Β πλαίσια από το κάθε είδος έχει η Φ/Β εγκατάσταση μέσω των σχέσεων (3.31) και (3.32):

$$DES^{sum} = mod_{total}^{tra} * DES_{bg}^{tra} + mod_{total}^{con} * DES_{bg}^{con} + mod_{total}^{tile} * DES_{bg}^{tile} \quad (3.31)$$

$$DEM = \frac{DES^{sum}}{mod_{total}^{tra} + mod_{total}^{con} + mod_{total}^{tile}} \quad (3.32)$$

όπου:

- mod_{total}^{tra} : ο συνολικός αριθμός των διάφανων Φ/Β πλαισίων.
 mod_{total}^{con} : ο συνολικός αριθμός των συμβατικών Φ/Β πλαισίων.
 mod_{total}^{tile} : ο συνολικός αριθμός των Φ/Β πλαισίων τύπου κεραμιδιών.

Τέλος, η εύρεση του I_C γίνεται με την κανονικοποίηση του dem με βάση τη σχέση (3.33):

$$I_C = \frac{DEM}{374} \quad (3.33)$$

Το 374 είναι η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει το dem και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τα πεδία μεταβλητότητας των συντεταγμένων L^* , a^* και b^* πρέπει να κυμαίνονται στα εξής διαστήματα αντίστοιχα: $0 < L^* < 100$, $-128 < a^* < +127$ και $-128 < b^* < +127$.

Για να καθοριστεί η παράμετρος I_{CC} · το μόνο που χρειάζεται να γίνει είναι να ελεγχθεί εάν οποιεσδήποτε δύο από τις τρεις τιμές mod_{total}^{tra} , mod_{total}^{con} και mod_{total}^{tile} είναι μηδέν. Αν ναι, τότε η παράμετρος I_{CC} παίρνει την τιμή 0, αλλιώς παίρνει την τιμή 1.

$$VIA = \begin{cases} minimum, & 0 \leq OAI_{SSP} < 0.1 \\ light, & 0.1 \leq OAI_{SSP} < 0.3 \\ average, & 0.3 \leq OAI_{SSP} < 0.5 \\ significant, & 0.5 \leq OAI_{SSP} < 0.7 \\ very\ significant, & 0.7 \leq OAI_{SSP} < 0.9 \\ maximum, & 0.9 \leq OAI_{SSP} \leq 1 \end{cases} \quad (3.34)$$

Η σχέση (3.34) δίνει μια κατηγοριοποίηση της οπτικής επίδρασης που προκαλεί η εγκατάσταση με τη χρήση του δείκτη OAI_{SSP} .

Έχοντας ολοκληρώσει όλους τους παραπάνω υπολογισμούς, το πρόγραμμα συνεχίζει την εκτέλεσή του εισάγοντας τον υπολογισμένο, πλέον, δείκτη OAI_{SSP} , ο οποίος εκφράζει την οπτική επίδραση της εγκατάστασης σαν μέρος του κόστους της εγκατάστασης. Πρωτίστως, θα πρέπει να κανονικοποιηθεί το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, όπως ακριβώς είναι κανονικοποιημένος και ο δείκτης OAI_{SSP} . Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να υπολογιστεί το μέγιστο δυνατό συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης που θα μπορούσε να τοποθετηθεί στο συγκεκριμένο κτίριο. Αφού υπολογιστεί το συνολικό κόστος του εξοπλισμού, υπολογίζεται το κόστος συντήρησης, το οποίο για το πρώτο έτος λαμβάνεται ίσο με το 5% του συνολικού κόστους του εξοπλισμού. Ακολούθως, για τα επόμενα έτη το κόστος συντήρησης αλλάζει και αυτό με βάση τον πληθωρισμό και το επιτόκιο, όπως γίνεται και για τις τιμές αγοράς και πώλησης της κιλοβατώρας. Τέλος, ο αλγόριθμος φτάνει στο σημείο να υπολογίζει την παρούσα αξία του συνολικού κόστους της Φ/Β εγκατάστασης, μέσα στην οποία έχει ενσωματωθεί και η αγοροπωλησία του ηλεκτρικού ρεύματος, καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της για τα y έτη μέσω της σχέσης (3.35):

$$C_{tot} = C_{equip} + \sum_{y=1}^y C_{year}(y) + \sum_{y=1}^y C_{maint}(y) \quad (3.35)$$

Όταν τελειώσει η προσομοίωση για y έτη λειτουργίας γίνεται ένας έλεγχος βιωσιμότητας του συστήματος, μετρώντας τη χωρητικότητα της συστοιχίας μπαταριών την τελευταία ώρα. Η λύση απορρίπτεται αν η χωρητικότητα αυτή είναι μικρότερη από τη χωρητικότητα τους την πρώτη ώρα της προσομοίωσης.

Ύστερα, με αυτό το μέγιστο συνολικό κόστος διαιρείται το εκάστοτε συνολικό κόστος κάθε πιθανής Φ/Β εγκατάστασης που δύναται να προτείνει ο αλγόριθμος. Αυτό το ποσό υπολογίζεται πριν εκτελεστεί ο αλγόριθμος με τη χρήση των δεδομένων που βρίσκονται στο αρχείο `max_data.txt`, τα οποία μπορεί να παρέχει ο ίδιος ο αλγόριθμος μετά από μια πειραματική του εκτέλεση.

Με τους παρακάτω τύπους το συνολικό κόστος πλέον περιλαμβάνει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.

$$C_{tot}^{pu\ before} = \frac{C_{tot}}{Cost_{high}} \quad (3.36)$$

$$C_{tot}^{pu\ new} = weight * OAI_{SSP} + (1 - weight) * C_{tot}^{pu\ before} \quad (3.37)$$

$$C_{tot}^{new} = C_{tot}^{pu\ new} * Cost_{high} \quad (3.38)$$

όπου:

C_{tot} : το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης,

$Cost_{high}$: το μέγιστο συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης,

$C_{tot}^{pu\ before}$: το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης κανονικοποιημένο χωρίς την οπτική επίδραση,

$C_{tot}^{pu\ new}$: το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης κανονικοποιημένο με την οπτική επίδραση,

$weight$: το βάρος της οπτικής επίδρασης.

Η αντικειμενική συνάρτηση (objective function) δίνεται από τη σχέση (3.38). Οι επιμέρους μεταβλητές που την συνθέτουν φαίνονται στη σχέση (3.37) και είναι ο δείκτης οπτικής επίδρασης (OAI_{SSP}) και το $C_{tot}^{pu\ before}$, το οποίο είναι το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης κανονικοποιημένο χωρίς την οπτική επίδραση. Το $C_{tot}^{pu\ before}$ υπολογίζεται από τη σχέση (3.35) και κανονικοποιείται μέσω της σχέσης (3.36) και το OAI_{SSP} υπολογίζεται από τη σχέση (3.20). Σκοπός της αντικειμενικής συνάρτησης είναι να βελτιστοποιήσει τα decision variables, τα οποία είναι το πλήθος των Φ/Β πλαισίων ανά διαθέσιμη επιφάνεια, τον τύπο των

Φ/Β πλαισίων (διάφανα, κεραμίδια, συμβατικά), το πλήθος των μπαταριών, το πλήθος των ρυθμιστών φόρτισης και η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στο κτίριο.

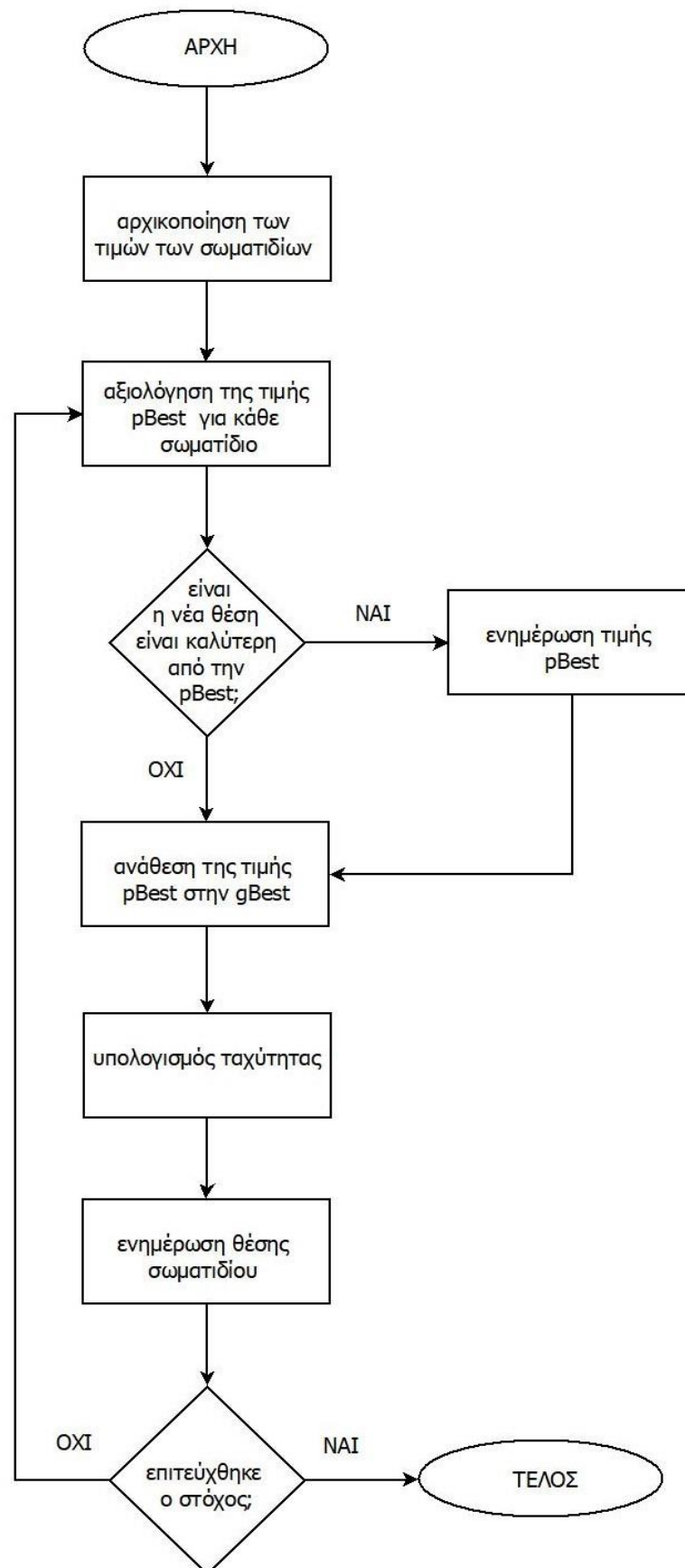
3.3 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης του κόστους λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος

Όταν πρόκειται να γίνει μια Φ/Β εγκατάσταση σε ένα κτίριο, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί ο βέλτιστος συνδυασμός από άποψη ποσότητας και τρόπου τοποθέτησης των ηλεκτρικών στοιχείων. Επειδή υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διατάξεις σχετικά με την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων και των περιφερειακών ηλεκτρικών συσκευών που βοηθούν στη σωστή και ολοκληρωμένη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης, η επιλογή γίνεται με γνώμονα το ελάχιστο συνολικό κόστος και τη μέγιστη συνολική παραγόμενη ενέργεια που μπορεί να εξασφαλισθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συνολικό κόστος λαμβάνεται υπόψιν τόσο το πραγματικό κόστος της εγκατάστασης, όσο και το κόστος της οπτικής επίδρασης που προκαλείται, αφού πρώτα αναχθεί σε οικονομικό κόστος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Particle Swarm Optimization (PSO) για την επίλυση του προαναφερθέντος προβλήματος και την εύρεση της βέλτιστης λύσης [12] – [14].

Οι James Kennedy, Russell Eberhart και Shi εισήγαγαν τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης PSO το 1995 ως έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης υπολογιστικής νοημοσύνης. Αρχικά προοριζόταν να προσομοιώσει κοινωνική συμπεριφορά, καθώς οι Kennedy και Eberhart παρατηρούσαν τη συμπεριφορά που παρουσίαζε ένα σμήνος πτηνών. Ο αλγόριθμος τελειοποιήθηκε από τους ίδιους το 2001.

Στον αλγόριθμο PSO παρατηρείται η συμπεριφορά που παρουσιάζει ένα σύνολο σωματιδίων (particles), στα οποία έχει ανατεθεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Κάθε σωματίδιο αποτελεί και μια αυτόνομη λύση στο πρόβλημα αυτό και με βάση την εμπειρία του, αλλά και την αλληλεπίδραση του με τα υπόλοιπα σωματίδια αποφασίζει με ποιο τρόπο θα κινηθεί στο χώρο. Το αξιοσημείωτο στο συγκεκριμένο αλγόριθμο είναι η ικανότητα μνήμης που έχει, καθώς τα σωματίδια αποθηκεύουν κάθε φορά τη βέλτιστη προσωπική λύση που βρίσκουν και την αξιοποιούν.

Κάθε σωματίδιο χαρακτηρίζεται από μία τυχαία αρνητική θέση και μία τυχαία ταχύτητα. Η θέση αυτή αποτελεί μία πιθανή λύση στο πρόβλημα βελτιστοποίησης και έχει τιμή που ορίζεται από την αντικειμενική συνάρτηση. Κάθε σωματίδιο κινείται στον ορισμένο πολυδιάστατο χώρο και κάθε φορά αποθηκεύει τη βέλτιστη λύση που βρίσκει. Η ταχύτητα του εκάστοτε σωματιδίου σε κάθε επανάληψη προκύπτει από το άθροισμα της προηγούμενης του ταχύτητας, μίας συνιστώσας της προηγούμενης ταχύτητάς του και μίας συνιστώσας της ταχύτητας για τη νέα του θέση. Η συνιστώσα της προηγούμενης ταχύτητάς του το οδηγεί στην αναζήτηση της νέας βέλτιστης τοποθεσίας που μπορεί να επιτευχθεί, σε σχέση με την προηγούμενη καλύτερη λύση που είχε πετύχει (ατομικό βέλτιστο, *pbest*). Η συνιστώσα της ταχύτητας για τη νέα του θέση εξαρτάται από την ανατροφοδότηση που λαμβάνει από τα γειτονικά του σωματίδια και την καλύτερη λύση που εκείνα είχαν βρει (καθολικό βέλτιστο, *gbest*).



Σχήμα 3.22: Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου βελτιστοποίησης PSO.

Στο Σχήμα 3.22 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου βελτιστοποίησης PSO. Ο αλγόριθμος PSO είναι ικανός να αποθηκεύσει τόσο τα ατομικά, όσο και τα ολικά βέλτιστα από τις καλύτερες θέσεις των σωματιδίων, γεγονός που οδηγεί σε γρηγορότερη σύγκλιση, αφού κατευθύνει τα σωματίδια προς τις περιοχές που είναι πιθανότερο να είναι κατάλληλες για τη βελτιστοποίηση. Επιπλέον, ο αλγόριθμος είναι απλός στην υλοποίηση, καθώς χρησιμοποιεί απλές εξισώσεις για τον υπολογισμό των παραμέτρων του, οι οποίες είναι μικρές σε αριθμό. Τέλος, είναι πολύ σημαντικό ότι μπορεί να εκτελεί παράλληλους υπολογισμούς και να βρίσκει λύσεις σε προβλήματα, τα οποία απαιτούν δύσκολους μαθηματικούς υπολογισμούς.

Το πρόβλημα που θα αντιμετωπιστεί είναι η βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός Φ/Β συστήματος, με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του εκάστοτε κτιρίου με γνώμονα το ελάχιστο δυνατό οικονομικό κόστος. Στο εν λόγω κόστος, όμως, πέρα από το πραγματικό οικονομικό κόστος των στοιχείων της Φ/Β εγκατάστασης έχει συμπεριληφθεί και η οπτική επίδραση της, η οποία με τη σειρά της έχει αναχθεί με τη χρήση του παραπάνω αλγορίθμου σε οικονομικό κόστος. Η διαστασιολόγηση αφορά το πλήθος των Φ/Β πλαισίων ανά διαθέσιμη επιφάνεια, τον τύπο των Φ/Β πλαισίων (διάφανα, κεραμίδια, συμβατικά), το πλήθος των μπαταριών, το πλήθος των ρυθμιστών φόρτισης και τη βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων της οροφής του κτιρίου. Το φορτίο του συστήματος θεωρείται σταθερό και δίνεται ως είσοδος στο σύστημα σε μορφή .txt αρχείου όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1. Για κάθε συνδυασμό διαστασιολόγησης προκύπτει και μια λύση, η οποία αντιστοιχεί στο συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Στην παρούσα εργασία, το Φ/Β σύστημα είναι διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο με τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες. Για αυτό το λόγο, στη συνάρτηση του κόστους, εκτός από το κόστος της Φ/Β εγκατάστασης και της οπτικής επίδρασης της, λαμβάνεται υπόψιν μια ακόμα παράμετρος, η οποία δεν είναι άλλη από το κόστος της ηλεκτρικής ισχύος που αγοράστηκε ή πωλήθηκε από και προς το ηλεκτρικό δίκτυο, αντίστοιχα.

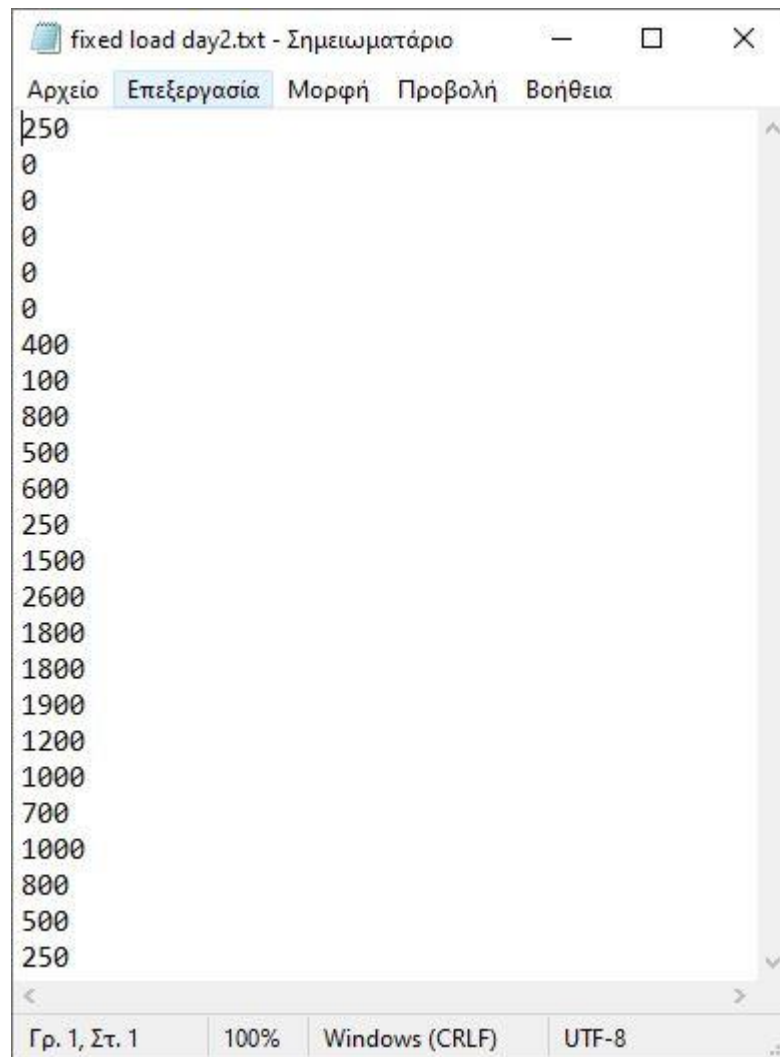
Πριν εφαρμοστεί, αλλά και κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου PSO, είναι απαραίτητο να διαβαστούν όλες οι είσοδοι - παράμετροι που απαιτούνται για την εκτέλεση του, καθώς και να γίνουν κάποιοι απαραίτητοι υπολογισμοί αρχικοποίησης τους. Αρχικά, ορίζεται η μέγιστη δυνατή τιμή της εκάστοτε μεταβλητής βελτιστοποίησης. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή πλήθους Φ/Β πλαισίων για κάθε διαθέσιμη επιφάνεια υπολογίζεται διαιρώντας το εμβαδόν της εκάστοτε επιφάνειας με το εμβαδόν του κάθε Φ/Β πλαισίου που αντιστοιχεί σε αυτήν. Το μέγιστο πλήθος των μπαταριών έχει οριστεί ως 100 μπαταρίες. Η μέγιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων της οροφής ορίστηκε να είναι ίση με 90° . Σε κάθε μεταβλητή βελτιστοποίησης

αντιστοιχεί μία τιμή, η οποία παίρνει τιμές με εύρος από το 0 έως το 1, ενός διανύσματος X . Ο αριθμός τιμών που περιέχει το X είναι ίσος με το πλήθος των μεταβλητών βελτιστοποίησης. Το διάνυσμα αυτό παίρνει μία αρχική ποσοστιαία τιμή από τον αλγόριθμο PSO. Πολλαπλασιάζοντας την ποσοστιαία αυτή τιμή με τη μέγιστη τιμή κάθε μεταβλητής βελτιστοποίησης προκύπτουν οι πραγματικές τιμές, με τις οποίες εκτελείται κάθε φορά ο αλγόριθμος προσομοίωσης, επιστρέφοντας το συνολικό κόστος σε Ευρώ του συγκεκριμένου διανύσματος. Κάθε συνδυασμός τιμών του διανύσματος X είναι μία πιθανή λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Ο αλγόριθμος προσομοίωσης εκτελείται με διαφορετικούς συνδυασμούς του διανύσματος X κάθε φορά, μέχρι να βρεθεί ο βέλτιστος.

Πίνακας 3.1 Σταθερό φορτίο	
Ωρα ημέρας (h)	Κατανάλωση ισχύος (W)
1	250
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	400
8	100
9	800
10	500
11	600
12	250
13	1500
14	2600
15	1800
16	1800
17	1900
18	1200
19	1000
20	700
21	1000
22	800
23	500
24	250
Συνολική κατανάλωση ημέρας	17950

Στον Πίνακα 3.1 απεικονίζεται η προκαθορισμένη κατανάλωση ισχύος σε Watt ανά ώρα για μια ημέρα (24 ώρες).

Αυτά τα στοιχεία δίνονται στο πρόγραμμα μέσω ενός αρχείου .txt, όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.23: Τα φορτία που πρέπει να καλυφθούν.

Στο Σχήμα 3.23 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των φορτίων που πρέπει να καλυφθούν κατά τη διάρκεια του 24ωρου για την Φ/Β εγκατάσταση.

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων

Τύπος Φ/Β πλαisiού	P _m (W)	VOC (V)	ISC (A)	V _{mp} STC (V)	I _{mp} STC (A)	Φ/Β στοιχεία σε σειρά	Φ/Β strings παράλληλα	Επιφάνεια (mm ²)	Κόστος (€)	NOCT (°C)
S79 Sol_300 tile	300	39.4	9.97	31.2	9.63	60	1	1731264	280	49
AS-6M30 transparent	275	37.8	9.2	31	8.88	6	10	1626880	160	45
LG335N1C -A5	335	41.0	10.49	34.1	9.83	6	10	1712976	240	45

Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων. Αυτά είναι με τη σειρά που απεικονίζονται η ισχύς στο MPP, το ρεύμα βραχυκύκλωσης, η τάση ανοικτοκύκλωσης, η τάση στο MPP, το ρεύμα στο MPP, ο αριθμός στοιχείων που περιλαμβάνει το Φ/Β πλαίσιο σε σειρά και παράλληλα, το εμβαδόν του πλαισίου, το κόστος και η θερμοκρασία NOCT.

Αυτά τα στοιχεία δίνονται στο πρόγραμμα μέσω τριών αρχείων .txt, ένα για το κάθε είδος όπως φαίνεται παρακάτω.



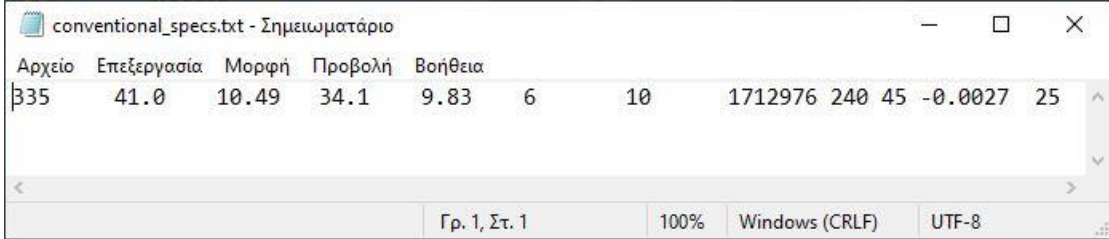
Σχήμα 3.24 Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου τύπου κεραμιδιού.



Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
275	37.8	9.2	31	8.88
6	10	1626880	160	45
-0.0033	25			

Γρ. 1, Στ. 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

Σχήμα 3.25 Χαρακτηριστικά διάφανου Φ/Β πλαισίου.



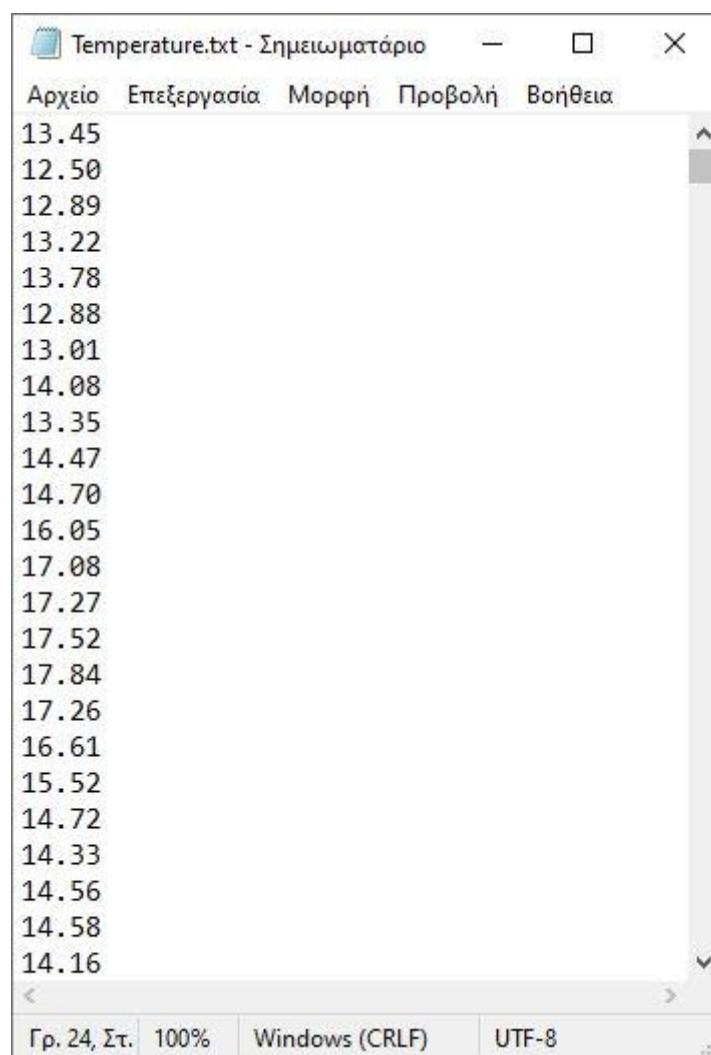
Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
β35	41.0	10.49	34.1	9.83
6	10	1712976	240	45
-0.0027	25			

Γρ. 1, Στ. 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

Σχήμα 3.26 Χαρακτηριστικά συμβατικού Φ/Β πλαισίου.

Στα Σχήματα 3.24, 3.25 και 3.26 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των τριών διαφορετικών Φ/Β πλαισίων.

Στο Σχήμα 3.27 φαίνεται ένα παράδειγμα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κοντά στη Φ/Β εγκατάσταση. Στο συγκεκριμένο αρχείο υπάρχουν θερμοκρασίες για έναν ολόκληρο χρόνο με βήμα μιας ώρας.



Σχήμα 3.27: Ενδεικτικές θερμοκρασίες μιας ημέρας.

Πίνακας 3.3 Διαθέσιμες επιφάνειες			
Εμβαδόν (m ²)	Αζιμούθιο (°)	Τύπος Φ/Β	Γωνία κλίσης (°)
60	0	0	-
20	0	1	90
20	0	2	90
8	90	1	90
23	90	2	90
20	-90	1	90
31	-90	2	90

Στον Πίνακα 3.3 δίνεται ένα παράδειγμα των χαρακτηριστικών της κάθε διαθέσιμης επιφάνειας ενός κτιρίου για τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι το εμβαδόν, ο προσανατολισμός, η γωνία κλίσης της κάθε επιφάνειας και ο τύπος του Φ/Β πλαισίου για τη συγκεκριμένη επιφάνεια. Με 0 συμβολίζονται τα Φ/Β τύπου κεραμιδιών, με 1 τα διάφανα Φ/Β πλαίσια και με 2 τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια. Η επιφάνεια, στην οποία δεν δίνεται γωνία κλίσης, θεωρείται ότι είναι η επιφάνεια της οροφής. Η βέλτιστη κλίση για την επιφάνεια της οροφής θα υπολογιστεί από τον αλγόριθμο PSO. Οι παράμετροι διαστασιολόγησης προς βελτιστοποίηση για το παράδειγμα του Πίνακα 3.3 είναι οκτώ, μία για κάθε επιφάνεια (πλήθος Φ/Β πλαισίων που μπορεί να τοποθετηθεί σε κάθε μία από αυτές) και η γωνία κλίσης για τα Φ/Β πλαίσια της οροφής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους βελτιστοποίησης αντιστοιχεί σε μία τιμή του διανύσματος X .

Αυτά τα στοιχεία δίνονται στο πρόγραμμα μέσω δυο αρχείων .txt, όπως φαίνεται παρακάτω.

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
60000000	NaN	0	NaN	
20000000	0	1	90	
20000000	0	2	90	
8000000		90	1	90
23000000	90	2	90	
20000000	-90	1	90	
31000000	-90	2	90	

Σχήμα 3.28 Χαρακτηριστικά διαθέσιμων επιφανειών.

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
60000000	0			

Σχήμα 3.29: Χαρακτηριστικά οροφής.

Στο Σχήμα 3.28 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων επιφανειών του κτιρίου και στο Σχήμα 3.29 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της οροφής του κτιρίου.

Από το εμβαδόν των Φ/Β πλαισίων και το εμβαδόν της κάθε επιφάνειας υπολογίζεται ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων που μπορεί να τοποθετηθεί σε κάθε μία από αυτές. Βάσει του μέγιστου αριθμού Φ/Β πλαισίων που μπορεί να τοποθετηθεί στην εκάστοτε επιφάνεια και της τιμής του

διανύσματος X , που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη επιφάνεια, γίνεται η αρχικοποίηση από την αντικειμενική συνάρτηση.



Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
200	0.2	24	190	

Σχήμα 3.30: Χαρακτηριστικά μπαταρίας.

Στο Σχήμα 3.30 φαίνεται ένα παράδειγμα των χαρακτηριστικών μιας μπαταρίας, όπως δίνονται ως είσοδος στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, τα οποία είναι η ονομαστική χωρητικότητα (Ah), το ελάχιστο επιτρεπτό ποσοστό φόρτισης, η ονομαστική τάση (V) και το κόστος (€).

charge_controller.txt - Σημειωματάριο

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια	
2080	50	108	48	150	0.95

Γρ. 1, Στ. 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

Σχήμα 3.31: Χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης.

Τα χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης, όπως δίνονται σαν είσοδος στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, φαίνονται στο Σχήμα 3.31 και είναι η ονομαστική ισχύς (Watt), η ελάχιστη τάση MPP εισόδου (V), η μέγιστη τάση MPP εισόδου (V), η ονομαστική τάση εξόδου (V), το κόστος (€) και ο συνολικός βαθμός απόδοσης, ο οποίος ορίζεται από το γινόμενο της απόδοσης μετατροπής ισχύος και της απόδοσης της λειτουργίας MPPT του ρυθμιστή φόρτισης.



Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
2000	48	250	0.9	

Σχήμα 3.32: Χαρακτηριστικά μετατροπέα DC/AC.

Στο Σχήμα 3.32 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του μετατροπέα DC/AC, όπως δίνονται ως είσοδος στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, τα οποία είναι η ονομαστική ισχύς (Watt), η ονομαστική τάση εισόδου (V), το κόστος (€) και ο βαθμός απόδοσης του μετατροπέα DC/AC.



Σχήμα 3.33: Χαρακτηριστικά περιοχής.

Στο Σχήμα 3.33 απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής, στην οποία βρίσκεται το κτίριο, στο οποίο γίνεται η Φ/Β εγκατάσταση, όπως δίνονται ως είσοδος στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Αυτά είναι το γεωγραφικό πλάτος ($^{\circ}$), το γεωγραφικό μήκος ($^{\circ}$), ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους και η ζώνη ώρας GMT.



Σχήμα 3.34: Γενικές παράμετροι.

Στο Σχήμα 3.34 φαίνονται ορισμένες γενικές παράμετροι, που παρέχονται ως είσοδοι στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, όπως τα έτη λειτουργίας του συστήματος, η τιμή αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος (€), η τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος (€), ο πληθωρισμός και το επιτόκιο.



Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
0.64	0.19	0.09	0.08	

Σχήμα 3.35: Τα βάρη για τον υπολογισμό του δείκτη της οπτικής επίδρασης.

Στο Σχήμα 3.35 εμφανίζονται τα βάρη για τον υπολογισμό του δείκτη οπτικής επίδρασης OAI_{SSP} , όπως παρέχονται ως είσοδοι στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, το βάρος της παραμέτρου I_v , το βάρος της παραμέτρου I_C , το βάρος της παραμέτρου I_F και το βάρος της παραμέτρου I_{CC} .

Ο αλγόριθμος PSO έχει υλοποιηθεί με τη χρήση της συνάρτησης `particleswarm` από το toolbox της MATLAB.

4.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου που προέκυψαν για διαφορετικά σενάρια όσον αφορά το τοπίο, αλλά και τις τιμές αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

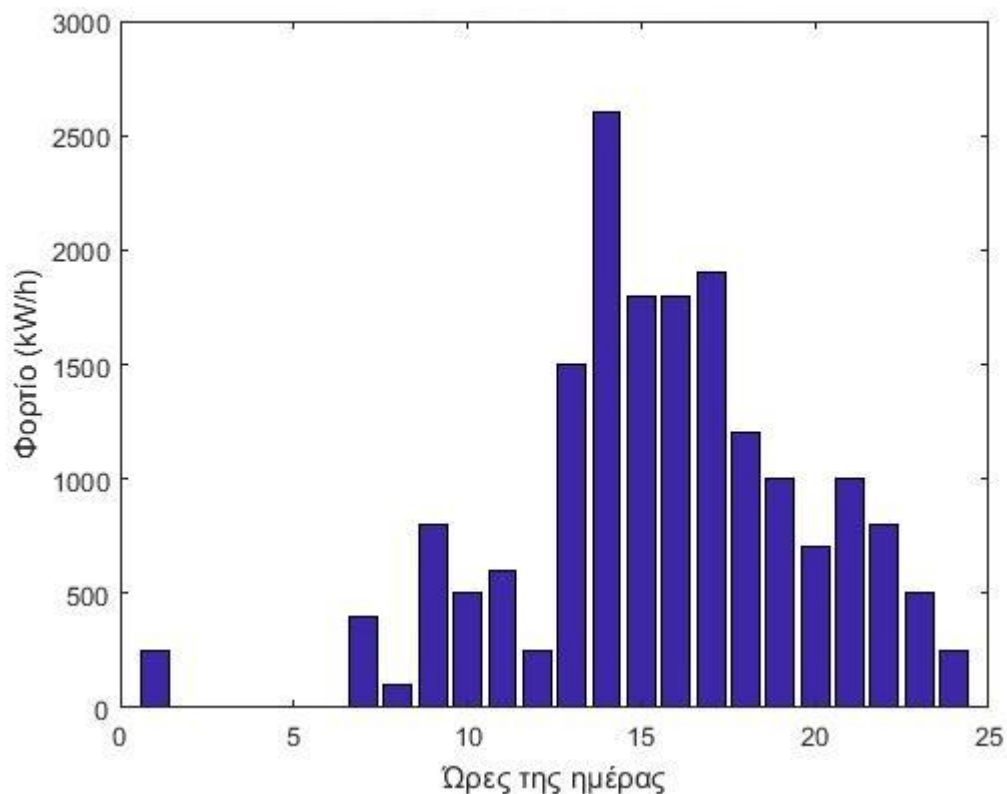
Ο αλγόριθμος προσομοίωσης και ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο εκτελέστηκαν για τρία διαφορετικά τοπία και δυο διαφορετικές τιμές αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για το κάθε τοπίο.

❖ Μια πολυκατοικία σε αστικό ιστό

- Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης: 0.09 €/kWh
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % και ποσοστό VIA 100 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % και ποσοστό VIA 80 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % και ποσοστό VIA 50 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % και ποσοστό VIA 20 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %.
- Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης: 0.285 €/kWh

- Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % και ποσοστό VIA 100 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % και ποσοστό VIA 80 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % και ποσοστό VIA 50 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % και ποσοστό VIA 20 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %.
- ❖ Ένα δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό
- Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης: 0.09 €/kWh
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % και ποσοστό VIA 100 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % και ποσοστό VIA 80 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % και ποσοστό VIA 50 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % και ποσοστό VIA 20 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %.
 - Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης: 0.285 €/kWh
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % και ποσοστό VIA 100 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % και ποσοστό VIA 80 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % και ποσοστό VIA 50 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % και ποσοστό VIA 20 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %.
- ❖ Μια μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό
- Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης: 0.09 €/kWh
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % και ποσοστό VIA 100 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % και ποσοστό VIA 80 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % και ποσοστό VIA 50 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % και ποσοστό VIA 20 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %.
 - Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης: 0.285 €/kWh
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % και ποσοστό VIA 100 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % και ποσοστό VIA 80 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % και ποσοστό VIA 50 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % και ποσοστό VIA 20 %,
 - Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %.

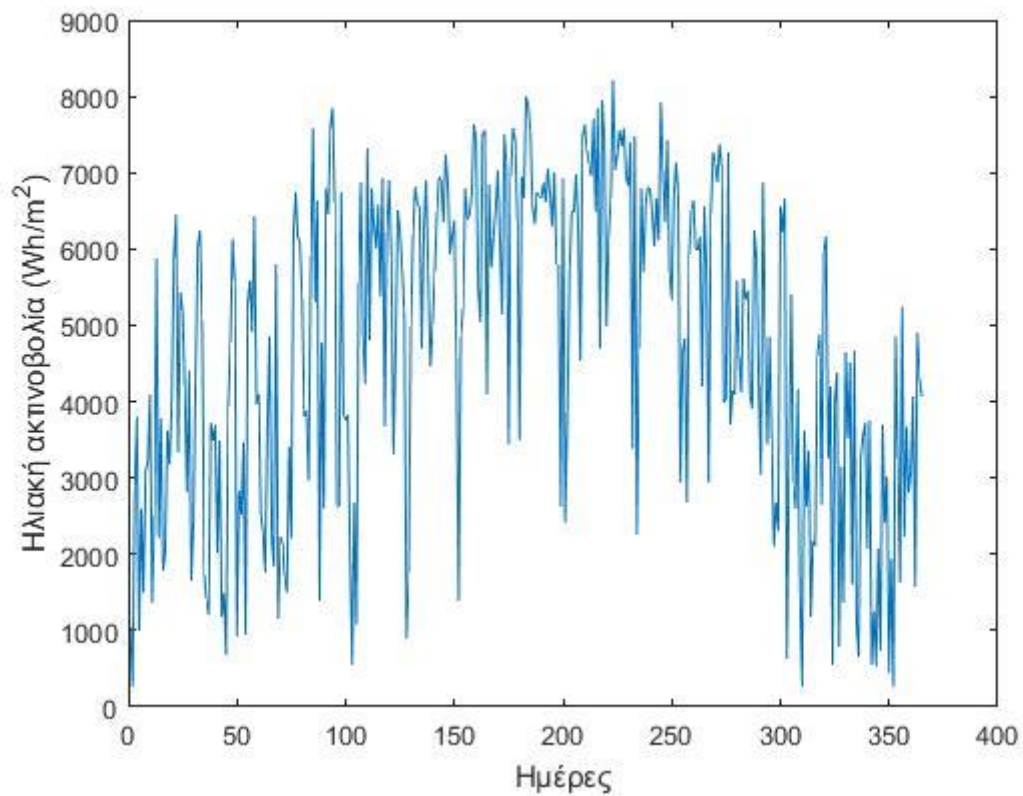
Για όλες τις περιπτώσεις το φορτίο που λαμβάνεται υπόψιν είναι ένα σταθερό φορτίο. Το ωριαίο προφίλ του φορτίου φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



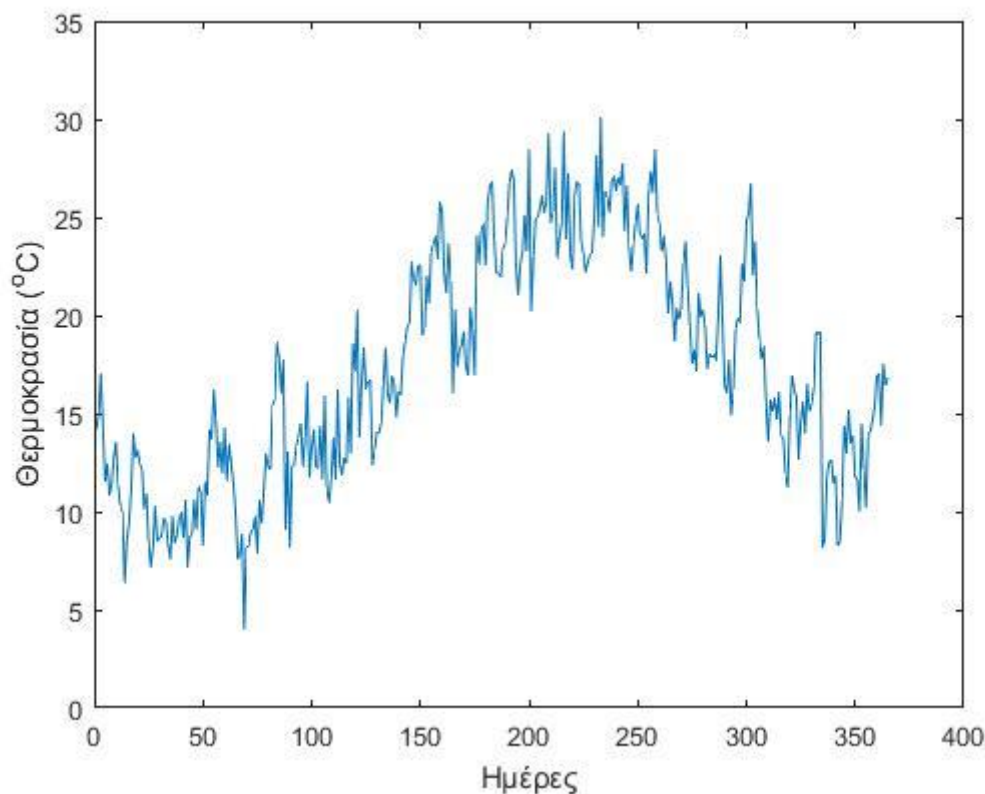
Σχήμα 4.1: Ημερήσιο προφίλ φορτίου.

Για όλες τις περιπτώσεις ο αλγόριθμος PSO εκτελέστηκε με αριθμό σωματιδίων ίσο με τέσσερις φορές το πλήθος των παραμέτρων βελτιστοποίησης και 100 επαναλήψεις. Έπειτα ο αλγόριθμος εκτελέστηκε ξανά με περισσότερα σωματίδια, καθώς και μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων, ώστε να διαπιστωθεί εάν συγκλίνει και οι λύσεις που έχουν βρεθεί είναι οι βέλτιστες.

Στα Σχήματα 4.2 και 4.3 φαίνονται οι συνολικές ημερήσιες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και μέση θερμοκρασία αντίστοιχα, βασισμένες στα αρχεία με τις ωριαίες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης.



Σχήμα 4.2: Συνολικές ημερήσιες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 4.3: Μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας.

Όλα τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία αφορούν κτίρια, τα οποία βρίσκονται στην πόλη των Χανίων με γεωγραφικό πλάτος 35.51 και γεωγραφικό μήκος 24.01 , καθώς και με συντελεστή ανάκλασης εδάφους ίσο με 0.2.

4.1 Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης πολυκατοικίας σε αστικό ιστό

Σε αυτό το σενάριο ο αλγόριθμος καλείται να βελτιστοποιήσει τη διαστασιολόγηση των Φ/Β πλαισίων για κάθε επιφάνεια της πολυκατοικίας που φαίνεται στο Σχήμα 3.18. Προσπαθεί, δηλαδή, να βρει το βέλτιστο πλήθος αλλά και τη βέλτιστη διάταξη των Φ/Β πλαισίων για όλες τις επιφάνειες που απεικονίζονται στον Πίνακα 3.3, το βέλτιστο αριθμό μπαταριών, καθώς και ρυθμιστών τάσης. Αυτή η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται για τα επόμενα 30 έτη. Έχει χρησιμοποιηθεί σταθερό φορτίο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.

Η βέλτιστη διαστασιολόγηση των Φ/Β πλαισίων, όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο PSO για το κάθε σενάριο, φαίνεται στους Πίνακες 4.1, 4.5, 4.9, 4.13, 4.17, 4.21, 4.25, 4.29, 4.33 και 4.37. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.1, κάποιες ώρες της ημέρας η ισχύς που απαιτείται από το φορτίο είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα DC/AC, επομένως απαιτούνται δύο μετατροπείς DC/AC για την τροφοδότηση της παραγόμενης ισχύος στο φορτίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε συστοιχία απαιτεί ένα ρυθμιστή τάσης, επομένως ο αριθμός απαιτούμενων ρυθμιστών τάσης είναι και ο αριθμός των συστοιχιών. Επιπλέον, κάθε συστοιχία αποτελείται από Φ/Β πλαίσια, τα οποία είναι διασυνδεδεμένα παράλληλα και σε σειρά. Τέλος οι τιμές του αξιμούθιου που αντιστοιχούν που είναι στραμμένα προς την Ανατολή, το Νότο και τη Δύση είναι 90° , 0° και -90° αντίστοιχα.

Στους Πίνακες 4.2, 4.6, 4.10, 4.14, 4.18, 4.22, 4.26, 4.30, 4.34 και 4.38 παρουσιάζονται αναλυτικά τα συνολικά κόστη αγοράς του εξοπλισμού για το κάθε ένα σενάριο.

Στους Πίνακες 4.3, 4.7, 4.11, 4.15, 4.19, 4.23, 4.27, 4.31, 4.35 και 4.39 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των παραμέτρων I_V , I_C , I_F , και I_{CC} , οι οποίες βοηθάνε στον υπολογισμό του δείκτη της οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} της Φ/Β εγκατάστασης.

Με τη χρήση των βαρών που δίνονται στο πραγματικό κόστος και στην οπτική επίδραση της Φ/Β εγκατάστασης γίνεται η βελτιστοποίηση της Φ/Β εγκατάστασης.

Στους Πίνακες 4.4, 4.8, 4.12, 4.16, 4.20, 4.24, 4.28, 4.32, 4.36 και 4.40 παρουσιάζονται στην πρώτη στήλη το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (3.35) και δείχνει το πόσο θα κοστίσει η Φ/Β εγκατάσταση τελικά μετά τη βελτιστοποίηση για το συγκεκριμένο σενάριο, για το οποίο έχει υπολογιστεί το κόστος οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} . Όταν το συνολικό κόστος αγοροπωλησίας του ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο παρουσιάζεται στη δεύτερη στήλη, έχει αρνητικό πρόσημο, τότε το κόστος της ενέργειας που πωλήθηκε είναι μεγαλύτερο από το κόστος ενέργειας που αγοράστηκε για την εκάστοτε τιμή πώλησης και τιμή αγοράς. Αντίθετα, όταν έχει θετικό πρόσημο, τότε το κόστος της ενέργειας που πωλήθηκε είναι μικρότερο από το κόστος ενέργειας που αγοράστηκε για την εκάστοτε τιμή πώλησης και τιμή αγοράς. Το αρχικό κόστος του εξοπλισμού και το κόστος συντήρησης της Φ/Β εγκατάστασης για τα 30 χρόνια παρουσιάζονται στην τρίτη και τέταρτη στήλη αντίστοιχα. Τέλος, στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται ο δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} της Φ/Β εγκατάστασης.

Το κόστος συντήρησης είναι το 5% του συνολικού κόστους αγοράς της εγκατάστασης ετησίως, συνυπολογίζοντας τον πληθωρισμό και το επιτόκιο.

Η παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος σε σχέση με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος μπορεί να είναι είτε ζημιογόνα, όταν η πρώτη είναι μικρότερη από τη δεύτερη, είτε κερδοφόρα όταν η πρώτη είναι μεγαλύτερη από τη δεύτερη. Επίσης, στην περίπτωση που είναι κερδοφόρα υπάρχουν άλλες δύο περιπτώσεις. Κατά την πρώτη περίπτωση, όταν το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος έχει θετικό πρόσημο, τότε η εγκατάσταση εξοικονομεί κατά ένα ποσοστό, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 0 % έως και 100 %. Στη δεύτερη περίπτωση, όταν το συνολικό κόστος έχει αρνητικό πρόσημο, τότε το σύστημα όχι μόνο καλύπτει τις ανάγκες του, αλλά έχει και οικονομικό όφελος. Ο υπολογισμός του παραπάνω ποσοστού γίνεται με τη χρήση της σχέσης (4.1).

$$pc = \left(1 - \left(\frac{C_{tot}}{Cost_{ener}} \right) \right) * 100 \quad (4.1)$$

όπου:

C_{tot} : το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης,

$Cost_{ener}$: το κόστος της ενέργειας για τα 30 έτη λειτουργίας,

4.1.1 Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh

Σε αυτή τη περίπτωση το ενεργειακό κόστος του φορτίου για αυτά τα 30 έτη λειτουργίας ανέρχεται στις 30886.36 € με τιμή αγοράς 0.16 €/kWh. Σε αυτό το κόστος συνυπολογίζονται πάντα ο πληθωρισμός και το επιτόκιο. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για διαφορετικά ποσοστά πραγματικού κόστους και VIA.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες με βάρος πραγματικού κόστους 100 % βάρος VIA 0 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.2 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	15	160	2400
Conventional	18	240	4320
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	11	150	1650
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	18030

Πίνακας 4.3 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.625788	0.803417	0.082924	0.176067	1

Πίνακας 4.4 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης και τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.625788

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 68.1 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % ποσοστό VIA 20 %

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 80 % βάρος VIA 20 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.6 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	15	160	2400
Conventional	18	240	4320
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	11	150	1650
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	18030

Πίνακας 4.7 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.625788	0.803417	0.082924	0.176067	1

Πίνακας 4.8 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.625788

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 68.1 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % ποσοστό VIA 50 %

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 50 % βάρος VIA 50 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	12	2	3*2
Transparent	0	90	0	0	0
Transparent	90	90	0	0	0
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.10 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	12	280	3360
Transparent	0	160	0
Conventional	6	240	1440
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	3	150	450
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	6510

Πίνακας 4.11 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.298647	0.293297	0.0901163	0.153503	1

Πίνακας 4.12 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
20301.68	3875.70	6510.00	9915.98	0.298647

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 34.3 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % ποσοστό VIA 80 %

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 20 % βάρος VIA 80 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	12	2	3*2
Transparent	0	90	0	0	0
Transparent	90	90	0	0	0
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.14 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	12	280	3360
Transparent	0	160	0
Conventional	6	240	1440
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	3	150	450
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	6510

Πίνακας 4.15 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.218647	0.293297	0.090113	0.153503	0

Πίνακας 4.16 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
20301.68	3875.70	6510.00	9915.98	0.218647

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 34.3 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % ποσοστό VIA 100 %

Πίνακας 4.17 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 0 % βάρος VIA 100 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	90	6	1	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	0	0	0
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	0	0	0
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίση των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στην οροφή είναι μεγάλη και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης επικεντρώνεται περισσότερο στη βελτιστοποίηση του δείκτη οπτικής επίδρασης OAI_{SP} , λόγω του ότι αυτός λαμβάνει μεγαλύτερο μέρος ποσοστιαία από ότι το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης.

Πίνακας 4.18 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	6	280	1680
Transparent	12	160	1920
Conventional	0	240	0
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	3	150	450
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	5310

Πίνακας 4.19 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.292337	0.283378	0.072438	0.191242	1

Πίνακας 4.20 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
25280.29	11882.14	5310.00	8088.15	0.292337

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 18.2 %.

4.1.2 Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh

Σε αυτή τη περίπτωση το ενεργειακό κόστος του φορτίου για αυτά τα 30 έτη λειτουργίας ανέρχεται στις 42439.75 € με τιμή αγοράς 0.22 €/kWh. Σε αυτό το κόστος συνυπολογίζονται πάντα ο πληθωρισμός και το επιτόκιο. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για διαφορετικά ποσοστά πραγματικού κόστους και VIA.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % ποσοστό VIA 0 %

Πίνακας 4.21 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 100 % βάρος VIA 0 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.22 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.23 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.738546	0.977827	0.079974	0.194906	1

Πίνακας 4.24 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738546

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % ποσοστό VIA 20 %

Πίνακας 4.25 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 80 % βάρος VIA 20 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.26 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.27 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.738546	0.977827	0.079974	0.194906	1

Πίνακας 4.28 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος	Κόστος εξοπλισμού	Κόστος συντήρησης	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738546

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % ποσοστό VIA 50 %

Πίνακας 4.29 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 50 % βάρος VIA 50 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.30 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.31 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.738546	0.977827	0.079974	0.194906	1

Πίνακας 4.32 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738546

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % ποσοστό VIA 80 %

Πίνακας 4.33 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 20 % βάρος VIA 80 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.34 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.35 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.738546	0.977827	0.079974	0.194906	1

Πίνακας 4.36 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738546

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % ποσοστό VIA 100 %

Πίνακας 4.37 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 0 % βάρος VIA 100 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	90	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	2	3*1
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	88	-	2*44
Inverters	-	-	2	-	-

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίση των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στην οροφή είναι μεγάλη και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης επικεντρώνεται περισσότερο στη βελτιστοποίηση του δείκτη οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} , λόγω του ότι αυτός λαμβάνει μεγαλύτερο μέρος ποσοστιαία από ότι το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης.

Πίνακας 4.38 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	88	190	16720
Inverters	2	250	500
Charge controllers	17	150	2550
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	41130

Πίνακας 4.39 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.738546	0.977827	0.079974	0.194906	1

Πίνακας 4.40 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-21582.07	-125360.97	41130.00	62648.90	0.738546

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 21582.07 €.

4.2 Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης δημόσιου κτιρίου σε αστικό ιστό

Σε αυτό το σενάριο ο αλγόριθμος καλείται να βελτιστοποιήσει τη διαστασιολόγηση των Φ/Β πλαισίων για κάθε επιφάνεια του δημοσίου κτιρίου που φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Προσπαθεί, δηλαδή, να βρει το βέλτιστο πλήθος αλλά και τη βέλτιστη διάταξη των Φ/Β πλαισίων για όλες τις επιφάνειες που απεικονίζονται στον Πίνακα 3.3, το βέλτιστο αριθμό μπαταριών, καθώς και ρυθμιστών τάσης. Αυτή η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται για τα επόμενα 30 έτη. Έχει χρησιμοποιηθεί σταθερό φορτίο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.3: Αρχική εικόνα τοπίου (δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό).

Η βέλτιστη διαστασιολόγηση των Φ/Β πλαισίων, όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο PSO για το κάθε σενάριο, φαίνεται στους Πίνακες 4.41, 4.45, 4.49, 4.53, 4.57, 4.61, 4.65, 4.69, 4.73 και 4.37. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.1 κάποιες ώρες της ημέρας η ισχύς που απαιτείται από το φορτίο είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα DC/AC, επομένως απαιτούνται δύο μετατροπείς DC/AC για την τροφοδότηση της παραγόμενης ισχύος στο φορτίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε συστοιχία απαιτεί ένα ρυθμιστή τάσης, επομένως ο αριθμός απαιτούμενων ρυθμιστών τάσης είναι και ο αριθμός των συστοιχιών. Επιπλέον, κάθε συστοιχία αποτελείται από Φ/Β πλαίσια, τα οποία είναι διασυνδεδεμένα παράλληλα και σε σειρά. Τέλος οι τιμές του αξιμούθιου που αντιστοιχούν που είναι στραμμένα προς την Ανατολή, το Νότο και τη Δύση είναι 90° , 0° και -90° αντίστοιχα.

Στους Πίνακες 4.42, 4.46, 4.50, 4.54, 4.58, 4.62, 4.66, 4.70, 4.74 και 4.78 παρουσιάζονται αναλυτικά τα συνολικά κόστη αγοράς του εξοπλισμού για το κάθε ένα σενάριο.

Στους Πίνακες 4.43, 4.47, 4.51, 4.55, 4.59, 4.63, 4.67, 4.71, 4.75 και 4.79 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των παραμέτρων I_V , I_C , I_F , και I_{CC} , οι οποίες βοηθάνε στον υπολογισμό του δείκτη της οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} της Φ/Β εγκατάστασης.

Με τη χρήση των βαρών που δίνονται στο πραγματικό κόστος και στην οπτική επίδραση της Φ/Β εγκατάστασης γίνεται η βελτιστοποίηση της Φ/Β εγκατάστασης.

Στους Πίνακες 4.44, 4.48, 4.52, 4.56, 4.60, 4.64, 4.68, 4.72, 4.76 και 4.80 παρουσιάζονται στην πρώτη στήλη το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (3.35) και δείχνει το πόσο θα κοστίσει η Φ/Β εγκατάσταση τελικά μετά τη βελτιστοποίηση για το συγκεκριμένο σενάριο, για το οποίο έχει υπολογιστεί το κόστος οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} . Όταν το συνολικό κόστος αγοροπωλησίας του ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο παρουσιάζεται στη δεύτερη στήλη, έχει αρνητικό πρόσημο, τότε το κόστος της ενέργειας που πωλήθηκε είναι μεγαλύτερο από το κόστος ενέργειας που αγοράστηκε για την εκάστοτε τιμή πώλησης και τιμή αγοράς. Αντίθετα, όταν έχει θετικό πρόσημο, τότε το κόστος της ενέργειας που πωλήθηκε είναι μικρότερο από το κόστος ενέργειας που αγοράστηκε για την εκάστοτε τιμή πώλησης και τιμή αγοράς. Το αρχικό κόστος του εξοπλισμού και το κόστος συντήρησης της Φ/Β εγκατάστασης για τα 30 χρόνια παρουσιάζονται στην τρίτη και τέταρτη στήλη αντίστοιχα. Τέλος, στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται ο δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} της Φ/Β εγκατάστασης.

Το κόστος συντήρησης είναι το 5% του συνολικού κόστους αγοράς της εγκατάστασης ετησίως, συνυπολογίζοντας τον πληθωρισμό και το επιτόκιο.

Η παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος σε σχέση με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος μπορεί να είναι είτε ζημιογόνα, όταν η πρώτη είναι μικρότερη από τη δεύτερη, είτε κερδοφόρα όταν η πρώτη είναι μεγαλύτερη από τη δεύτερη. Επίσης, στην περίπτωση που είναι κερδοφόρα υπάρχουν άλλες δύο περιπτώσεις. Κατά την πρώτη περίπτωση, όταν το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος έχει θετικό πρόσημο, τότε η εγκατάσταση εξοικονομεί κατά ένα ποσοστό, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 0 % έως και 100 %. Στη δεύτερη περίπτωση, όταν το συνολικό κόστος έχει αρνητικό πρόσημο, τότε το σύστημα όχι μόνο καλύπτει τις ανάγκες του, αλλά έχει και οικονομικό όφελος. Ο υπολογισμός του παραπάνω ποσοστού γίνεται με τη χρήση της σχέσης (4.1).

4.2.1 Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh

Σε αυτή τη περίπτωση το ενεργειακό κόστος του φορτίου για αυτά τα 30 έτη λειτουργίας ανέρχεται στις 30886.36 € με τιμή αγοράς 0.16 €/kWh. Σε αυτό το κόστος συνυπολογίζονται πάντα ο πληθωρισμός και το επιτόκιο. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για διαφορετικά ποσοστά πραγματικού κόστους και VIA.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % ποσοστό VIA 0 %

Πίνακας 4.41 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 100 % βάρος VIA 0 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.42 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	15	160	2400
Conventional	18	240	4320
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	11	150	1650
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	18030

Πίνακας 4.43 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.615560	0.803417	0.106905	0.011787	1

Πίνακας 4.44 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.615560

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 68.1 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % ποσοστό VIA 20 %

Πίνακας 4.45 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 80 % βάρος VIA 20 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.46 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	15	160	2400
Conventional	18	240	4320
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	11	150	1650
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	18030

Πίνακας 4.47 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.615560	0.803417	0.106905	0.011787	1

Πίνακας 4.48 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.615560

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 68.1 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % ποσοστό VIA 50 %

Πίνακας 4.49 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 50 % βάρος VIA 50 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	6	1	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	0	0	0
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.50 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	6	280	1680
Transparent	15	160	2400
Conventional	0	240	0
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	4	150	600
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	5940

Πίνακας 4.51 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.307520	0.325271	0.094919	0.014573	1

Πίνακας 4.52 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
19384.56	4396.80	5940.00	9047.76	0.307520

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 37.2 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % ποσοστό VIA 80 %

Πίνακας 4.53 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 20 % βάρος VIA 80 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	25	3	1	3*1
Transparent	0	90	6	2	3*1
Transparent	90	90	0	0	0
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	3	1	3*1
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.54 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	3	280	840
Transparent	6	160	960
Conventional	9	240	2160
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	5	150	750
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	5970

Πίνακας 4.55 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.286022	0.287393	0.101194	0.031816	1

Πίνακας 4.56 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
21794,62	6731,16	5970,00	9093,46	0.286022

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 29.4 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % ποσοστό VIA 100 %

Πίνακας 4.57 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 0 % βάρος VIA 100 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	57	24	4	3*2
Transparent	0	90	0	0	0
Transparent	90	90	0	0	0
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	0	0	0
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	98	-	2*49
Inverters	-	-	2	-	-

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίση των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στην οροφή είναι μεγάλη και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης επικεντρώνεται περισσότερο στη βελτιστοποίηση του δείκτη οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} , λόγω του ότι αυτός λαμβάνει μεγαλύτερο μέρος ποσοστιαία από ότι το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης.

Πίνακας 4.58 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	24	280	6720
Transparent	0	160	0
Conventional	0	240	0
Batteries	98	190	18620
Inverters	2	250	500
Charge controllers	4	150	600
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	26440

Πίνακας 4.59 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.278168	0.381279	0.118129	0.130052	0

Πίνακας 4.60 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
63146,70	-3566,50	26440,00	40273,20	0,278168

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες είναι ζημιογόνο της τάξης του 104.4 %. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος του παρόντος Φ/Β συστήματος είναι μεγαλύτερο από το ενεργειακό κόστος του συνολικού φορτίου, σύμφωνα με την τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που έχει οριστεί.

4.2.2 Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.22€/kWh και τιμή πώλησης 0.285€/kWh

Σε αυτή τη περίπτωση το ενεργειακό κόστος του φορτίου για αυτά τα 30 έτη λειτουργίας ανέρχεται στις 42439.75 € με τιμή αγοράς 0.22 €/kWh. Σε αυτό το κόστος συνυπολογίζονται πάντα ο πληθωρισμός και το επιτόκιο. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για διαφορετικά ποσοστά πραγματικού κόστους και VIA.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % ποσοστό VIA 0 %

Πίνακας 4.61 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 100 % βάρος VIA 0 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.62 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.63 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.64 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % ποσοστό VIA 20 %

Πίνακας 4.65 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 80 % βάρος VIA 20 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.66 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.67 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.68 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % ποσοστό VIA 50 %

Πίνακας 4.69 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 50 % βάρος VIA 50 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.70 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.71 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.72 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % ποσοστό VIA 80 %

Πίνακας 4.73 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 20 % βάρος VIA 80 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.74 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.75 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.76 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % ποσοστό VIA 100 %

Πίνακας 4.77 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 100 % βάρος VIA 0 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	86	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	2	3*1
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	82	-	2*41
Inverters	-	-	2	-	-

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίση των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στην οροφή είναι μεγάλη και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης επικεντρώνεται περισσότερο στη βελτιστοποίηση του δείκτη οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} , λόγω του ότι αυτός λαμβάνει μεγαλύτερο μέρος ποσοστιαία από ότι το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης.

Πίνακας 4.78 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	82	190	15580
Inverters	2	250	500
Charge controllers	17	150	2550
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	39990

Πίνακας 4.79 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.80 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-27926.93	-128829.39	39990.00	60912.46	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 27926.93 €.

4.3 Βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης μονοκατοικίας σε μη αστικό ιστό

Σε αυτό το σενάριο ο αλγόριθμος καλείται να βελτιστοποιήσει τη διαστασιολόγηση των Φ/Β πλαισίων για κάθε επιφάνεια της μονοκατοικίας που φαίνεται στο Σχήμα 3.14. Προσπαθεί, δηλαδή, να βρει το βέλτιστο πλήθος αλλά και τη βέλτιστη διάταξη των Φ/Β πλαισίων για όλες τις επιφάνειες που απεικονίζονται στον Πίνακα 3.3, το βέλτιστο αριθμό μπαταριών, καθώς και ρυθμιστών τάσης. Αυτή η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται για τα επόμενα 30 έτη. Έχει χρησιμοποιηθεί σταθερό φορτίο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.

Η βέλτιστη διαστασιολόγηση των Φ/Β πλαισίων, όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο PSO για το κάθε σενάριο, φαίνεται στους Πίνακες 4.81, 4.85, 4.89, 4.93, 4.97, 4.101, 4.105, 4.109, 4.113 και 4.117. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.1 κάποιες ώρες της ημέρας η ισχύς που απαιτείται από το φορτίο είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα DC/AC, επομένως απαιτούνται δύο μετατροπείς DC/AC για την τροφοδότηση της παραγόμενης ισχύος στο φορτίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε συστοιχία απαιτεί ένα ρυθμιστή τάσης, επομένως ο αριθμός απαιτούμενων ρυθμιστών τάσης είναι και ο αριθμός των συστοιχιών. Επιπλέον, κάθε συστοιχία αποτελείται από Φ/Β πλαίσια, τα οποία είναι διασυνδεδεμένα παράλληλα και σε σειρά. Τέλος οι τιμές του αξιμούθιου που αντιστοιχούν που είναι στραμμένα προς την Ανατολή, το Νότο και τη Δύση είναι 90°, 0° και -90° αντίστοιχα.

Στους Πίνακες 4.82, 4.86, 4.90, 4.94, 4.98, 4.102, 4.106, 4.110, 4.114 και 4.118 παρουσιάζονται αναλυτικά τα συνολικά κόστη αγοράς του εξοπλισμού για το κάθε ένα σενάριο.

Στους Πίνακες 4.83, 4.87, 4.91, 4.95, 4.99, 4.103, 4.107, 4.111, 4.115 και 4.119 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των παραμέτρων I_V , I_C , I_F , και I_{CC} , οι οποίες βοηθάνε στον υπολογισμό του δείκτη της οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} της Φ/Β εγκατάστασης.

Με τη χρήση των βαρών που δίνονται στο πραγματικό κόστος και στην οπτική επίδραση της Φ/Β εγκατάστασης γίνεται η βελτιστοποίηση της Φ/Β εγκατάστασης.

Στους Πίνακες 4.84, 4.88, 4.92, 4.96, 4.100, 4.104, 4.108, 4.112, 4.116 και 4.120 παρουσιάζονται στην πρώτη στήλη το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (3.35) και δείχνει το πόσο θα κοστίσει η Φ/Β εγκατάσταση τελικά μετά τη βελτιστοποίηση για το συγκεκριμένο σενάριο, για το οποίο έχει υπολογιστεί το κόστος οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} . Όταν το συνολικό κόστος αγοροπωλησίας του ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο παρουσιάζεται στη δεύτερη στήλη, έχει αρνητικό πρόσημο, τότε το κόστος της ενέργειας που πωλήθηκε είναι μεγαλύτερο από το κόστος ενέργειας που αγοράστηκε για την εκάστοτε τιμή πώλησης και τιμή αγοράς. Αντίθετα, όταν έχει θετικό πρόσημο, τότε το κόστος της ενέργειας που πωλήθηκε είναι μικρότερο από το κόστος ενέργειας που αγοράστηκε για την εκάστοτε τιμή πώλησης και τιμή αγοράς. Το αρχικό κόστος του εξοπλισμού και το κόστος συντήρησης της Φ/Β εγκατάστασης για τα 30 χρόνια παρουσιάζονται στην τρίτη και τέταρτη στήλη αντίστοιχα. Τέλος, στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται ο δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP} της Φ/Β εγκατάστασης.

Το κόστος συντήρησης είναι το 5% του συνολικού κόστους αγοράς της εγκατάστασης ετησίως, συνυπολογίζοντας τον πληθωρισμό και το επιτόκιο.

Η παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος σε σχέση με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος μπορεί να είναι είτε ζημιογόνα, όταν η πρώτη είναι μικρότερη από τη δεύτερη, είτε κερδοφόρα όταν η πρώτη είναι μεγαλύτερη από τη δεύτερη. Επίσης, στην περίπτωση που είναι κερδοφόρα υπάρχουν άλλες δύο περιπτώσεις. Κατά την πρώτη περίπτωση, όταν το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος έχει θετικό πρόσημο, τότε η εγκατάσταση εξοικονομεί κατά ένα ποσοστό, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 0 % έως και 100 %. Στη δεύτερη περίπτωση, όταν το συνολικό κόστος έχει αρνητικό πρόσημο, τότε το σύστημα όχι μόνο καλύπτει τις ανάγκες του, αλλά έχει και οικονομικό όφελος. Ο υπολογισμός του παραπάνω ποσοστού γίνεται με τη χρήση της σχέσης (4.1).

4.3.1 Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh

Σε αυτή τη περίπτωση το ενεργειακό κόστος του φορτίου για αυτά τα 30 έτη λειτουργίας ανέρχεται στις 30886.36 € με τιμή αγοράς 0.16 €/kWh. Σε αυτό το κόστος συνυπολογίζονται πάντα ο πληθωρισμός και το επιτόκιο. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για διαφορετικά ποσοστά πραγματικού κόστους και VIA.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % ποσοστό VIA 0 %

.Πίνακας 4.81 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 100 % βάρος VIA 0 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.82 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	15	160	2400
Conventional	18	240	4320
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	11	150	1650
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	18030

Πίνακας 4.83 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.607072	0.803417	0.066977	0.001774	1

Πίνακας 4.84 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.607072

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 68.1 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % ποσοστό VIA 20 %

Πίνακας 4.85 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 80 % βάρος VIA 20 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.86 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	15	160	2400
Conventional	18	240	4320
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	11	150	1650
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	18030

Πίνακας 4.87 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.607072	0.803417	0.066977	0.001774	1

Πίνακας 4.88 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.607072

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 68.1 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % ποσοστό VIA 50 %

.Πίνακας 4.89 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 50 % βάρος VIA 50 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	6	1	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	0	0	0
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.90 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	6	280	1680
Transparent	15	160	2400
Conventional	0	240	0
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	4	150	600
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	5940

Πίνακας 4.91 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.300738	0.325271	0.055325	0.022805	1

Πίνακας 4.92 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
19384.56	4396.80	5940.00	9047.76	0.300738

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 37.2 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % ποσοστό VIA 80 %

Πίνακας 4.93 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 20 % βάρος VIA 80 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	36	6	1	3*2
Transparent	0	90	3	1	3*1
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.94 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	6	280	1680
Transparent	6	160	960
Conventional	6	240	1440
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	4	150	600
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	5940

Πίνακας 4.95 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.278037	0.28787	0.063531	0.019209	1

Πίνακας 4.96 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
21037.67	6049.91	5940.00	9047.76	0.278037

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες προσφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 31.9 %.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % ποσοστό VIA 100 %

.Πίνακας 4.97 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 0 % βάρος VIA 100 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	56	24	4	3*2
Transparent	0	90	0	0	0
Transparent	90	90	0	0	0
Transparent	-90	90	0	0	0
Conventional	0	90	0	0	0
Conventional	90	90	0	0	0
Conventional	-90	90	0	0	0
Batteries	-	-	84	-	2*42
Inverters	-	-	2	-	-

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίση των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στην οροφή είναι μεγάλη και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης επικεντρώνεται περισσότερο στη βελτιστοποίηση του δείκτη οπτικής επίδρασης OAI_{SP} , λόγω του ότι αυτός λαμβάνει μεγαλύτερο μέρος ποσοστιαία από ότι το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης.

Πίνακας 4.98 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	24	280	6720
Transparent	0	160	0
Conventional	0	240	0
Batteries	84	190	15960
Inverters	2	250	500
Charge controllers	4	150	600
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	23780

Πίνακας 4.99 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.269113	0.381279	0.077367	0.115496	0

Πίνακας 4.100 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
56390.30	-3611.20	23780.00	36221.50	0.269113

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες είναι ζημιογόνο της τάξης του 82.6 %. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος του παρόντος Φ/Β συστήματος είναι μεγαλύτερο από ότι το ενεργειακό κόστος του συνολικού φορτίου, σύμφωνα με την τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που έχει οριστεί.

4.3.2 Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh

Σε αυτή τη περίπτωση το ενεργειακό κόστος του φορτίου για αυτά τα 30 έτη λειτουργίας ανέρχεται στις 42439.75 € με τιμή αγοράς 0.22 €/kWh. Σε αυτό το κόστος συνυπολογίζονται πάντα ο πληθωρισμός και το επιτόκιο. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για διαφορετικά ποσοστά πραγματικού κόστους και VIA.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 100 % ποσοστό VIA 0 %

.Πίνακας 4.101 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 100 % βάρος VIA 0 %.					
Είδος	Αξιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.102 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.103 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.104 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 80 % ποσοστό VIA 20 %

Πίνακας 4.105 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 80 % βάρος VIA 20 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.106 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.107 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.108 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 50 % ποσοστό VIA 50 %

Πίνακας 4.109 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 50 % βάρος VIA 50 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.110 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.111 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.112 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 20 % ποσοστό VIA 80 %

Πίνακας 4.113 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 20 % βάρος VIA 80 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	1	3*2
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	4	-	2*2
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.114 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	4	190	760
Inverters	2	250	500
Charge controllers	16	150	2400
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	25020

Πίνακας 4.115 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.116 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 92002.79 €.

❖ Ποσοστό πραγματικού κόστους 0 % ποσοστό VIA 100 %

.Πίνακας 4.117 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαστασιολόγησης διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες. Βάρος πραγματικού κόστους 0 % βάρος VIA 100 %.					
Είδος	Αζιμούθιο (°)	Γωνία κλίσης (°)	Ποσότητα	Απαιτούμενοι ρυθμιστές τάσης / Συστοιχίες	Φ/Β σε σειρά * κλάδοι παράλληλα
Roof / Tiles	0	27	30	5	3*2
Transparent	0	90	12	2	3*2
Transparent	90	90	3	1	3*1
Transparent	-90	90	12	2	3*2
Conventional	0	90	6	2	3*1
Conventional	90	90	12	2	3*2
Conventional	-90	90	18	3	3*2
Batteries	-	-	60	-	2*30
Inverters	-	-	2	-	-

Πίνακας 4.118 Συνολικό κόστος εξοπλισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με μπαταρίες.			
Είδος	Ποσότητα	Κόστος μονάδας (€)	Συνολικό κόστος (€)
Tiles	30	280	8400
Transparent	27	160	4320
Conventional	36	240	8640
Batteries	60	190	11400
Inverters	2	250	500
Charge controllers	17	150	2550
Συνολικό κόστος εξοπλισμού (€)	-	-	35810

Πίνακας 4.119 Οι τιμές των παραμέτρων και του δείκτη της οπτικής επίδρασης.				
OAI_{SPP}	I_V	I_C	I_F	I_{CC}
0.726697	0.977827	0.10397	0.012597	1

Πίνακας 4.120 Το συνολικό κόστος της Φ/Β εγκατάστασης, τα επιμέρους κόστη από τα οποία προκύπτει και το κόστος της οπτικής επίδρασης.				
Συνολικό κόστος Φ/Β εγκατάστασης (€)	Συνολικό κόστος αγοροπωλησίας ηλεκτρικού ρεύματος (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI_{SPP}
-68810.81	-154372.26	35810.00	49751.45	0.726697

Συγκρίνοντας την παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους χωρίς οποιαδήποτε εγκατάσταση Φ/Β συστήματος με το συνολικό κόστος του βελτιστοποιημένου Φ/Β συστήματος, συμπεραίνεται ότι το διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β σύστημα με μπαταρίες καλύπτει τις ανάγκες του και έχει επιπλέον οικονομικό όφελος 68810.81 €.

4.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα και αξιολόγηση

Σε αυτήν την παράγραφο θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα από όλα τα σενάρια βελτιστοποίησης που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Τα διαφορετικά σενάρια είναι τα εξής:

- ❖ Πολυκατοικία σε αστικό ιστό,
- ❖ Δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό,
- ❖ Μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό.

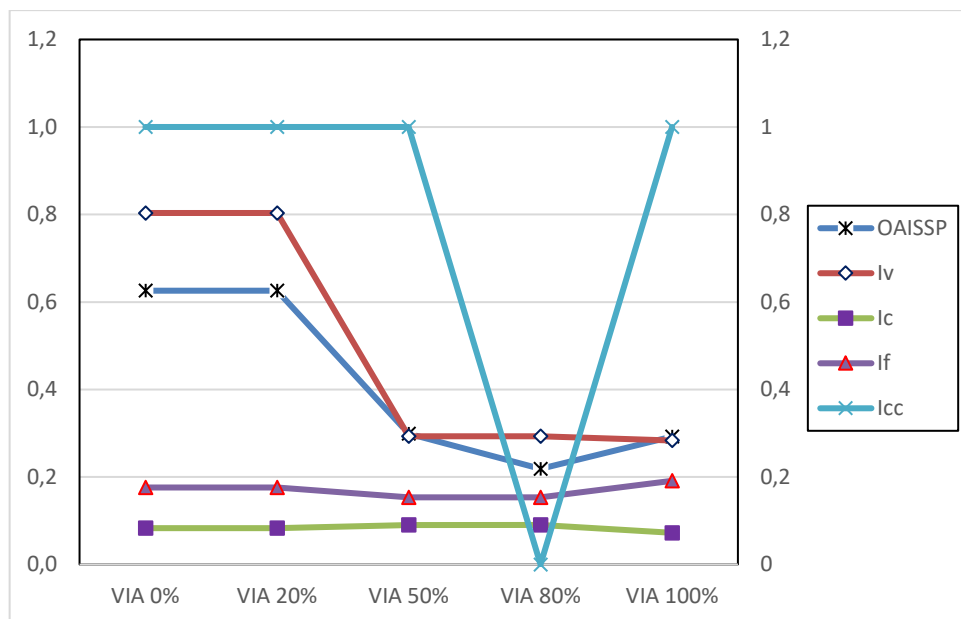
Σε κάθε ένα από αυτά τα σενάρια η βελτιστοποίηση γίνεται με δύο διαφορετικά σενάρια για τις τιμές αγοράς και πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίες είναι:

- ❖ τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.16€/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh,
- ❖ τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας 0.22€/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh.

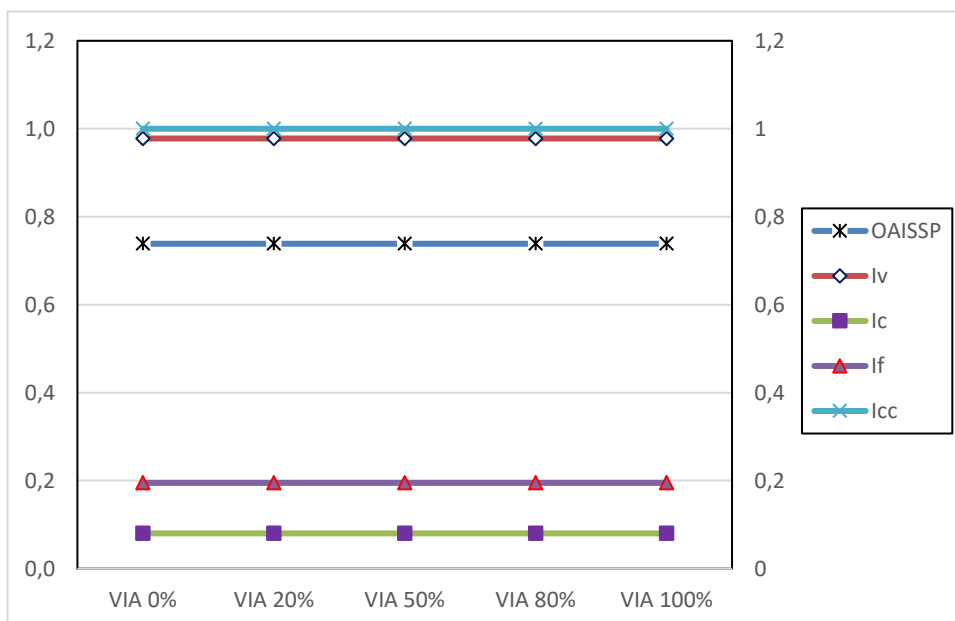
Τέλος, σε όλα αυτά τα σενάρια εξετάζονται πέντε διαφορετικές περιπτώσεις για το ποσοστό επηρεασμού του VIA στο αρχικό κόστος της εγκατάστασης, οι οποίες είναι οι εξής:

- ❖ πραγματικού κόστους 100 % και ποσοστό VIA 0 %,
- ❖ πραγματικού κόστους 80 % και ποσοστό VIA 20 %,
- ❖ πραγματικού κόστους 50 % και ποσοστό VIA 50 %,
- ❖ πραγματικού κόστους 20 % και ποσοστό VIA 80 %,
- ❖ πραγματικού κόστους 0 % και ποσοστό VIA 100 %.

Συνολικά, όλα τα δυνατά σενάρια είναι 30.



Σχήμα 4.4: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για πολυκατοικία σε αστικό ιστό με τιμή αγοράς 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh.



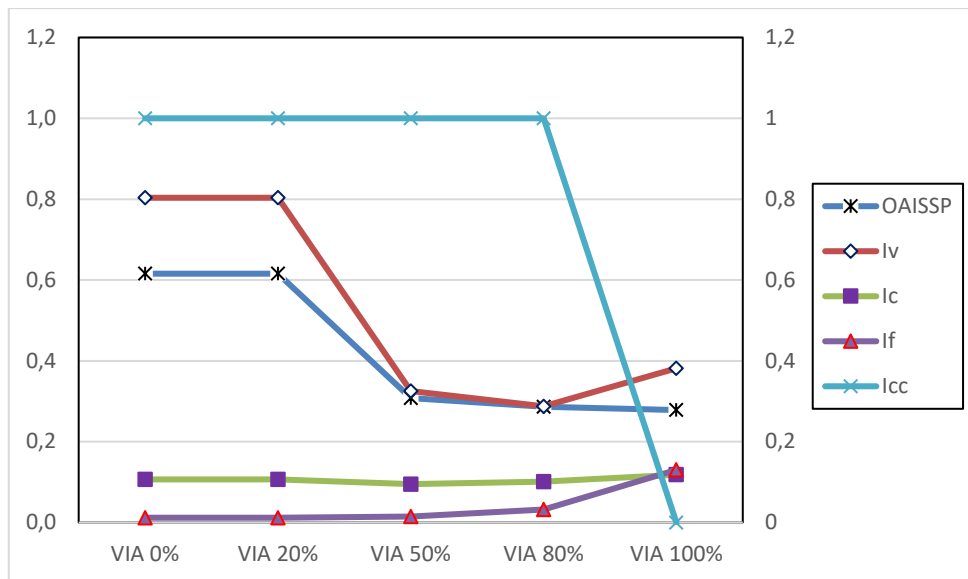
Σχήμα 4.5: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για πολυκατοικία σε αστικό ιστό με τιμή αγοράς 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh.

Στα Σχήματα 4.4 και 4.5 παρουσιάζονται οι τιμές που παίρνουν οι τέσσερις παράμετροι, καθώς και η τιμή του δείκτη OAISSP, που είναι και ο δείκτης οπτικής επίδρασης για κάθε ποσοστό επηρεασμού του VIA, σε σχέση με το ποσοστό του συνολικού κόστους στην αντικειμενική συνάρτηση για τις τιμές αγοράς 0.16 €/kWh και 0.22 €/kWh και τιμές πώλησης 0.09 €/kWh και 0.285 €/kWh αντίστοιχα.

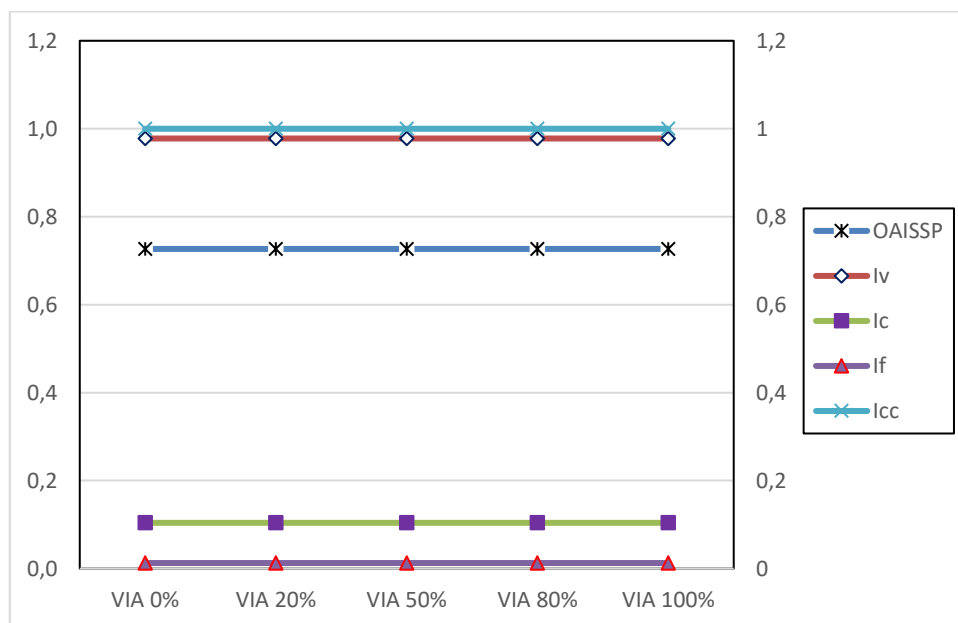
Πίνακας 4.121 Επιμέρους και συνολικά κόστη για μια εγκατάσταση πολυκατοικίας σε αστικό ιστό.

Ποσοστό VIA (%)	Τιμή αγοράς - πώλησης (€/kWh)	Συνολικό κόστος (€)	Κόστος αγοράς και πώλησης ενέργειας (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης ΟΑΙ _{SPP}
0	0.16-0.09	9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.625788
20	0.16-0.09	9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.625788
50	0.16-0.09	20301.68	3875.70	6510.00	9915.98	0.298647
80	0.16-0.09	20301.68	3875.70	6510.00	9915.98	0.218647
100	0.16-0.09	25280.29	11882.14	5310.00	8088.15	0.292337
0	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738545
20	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738545
50	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738545
80	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.738545
100	0.22-0.285	-21582.07	-125360.97	41130.00	62648.90	0.738545

Στον Πίνακα 4.121 παρουσιάζονται τα επιμέρους αλλά και τα συνολικά κόστη σε (€) καθώς και η οπτική επίδραση για το κάθε σενάριο.



Σχήμα 4.6: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό με τιμή αγοράς 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh.



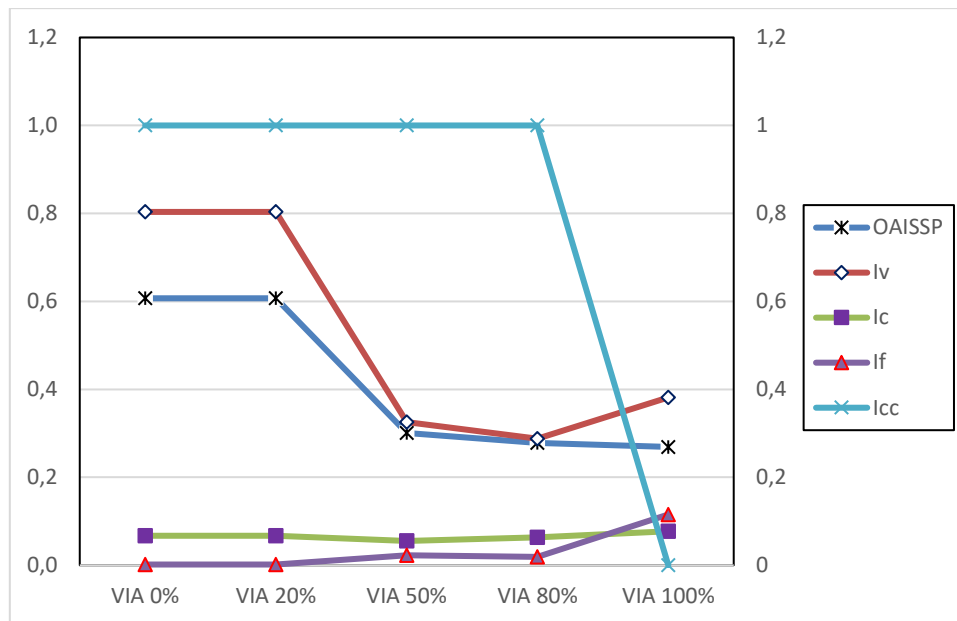
Σχήμα 4.7: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό με τιμή αγοράς 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh.

Στα Σχήματα 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται οι τιμές που παίρνουν οι τέσσερις παράμετροι, καθώς και η τιμή του δείκτη OAISSP, που είναι και ο δείκτης οπτικής επίδρασης για κάθε ποσοστό επηρεασμού του VIA, σε σχέση με το ποσοστό του συνολικού κόστους στην αντικειμενική συνάρτηση για τις τιμές αγοράς 0.16 €/kWh και 0.22 €/kWh και τιμές πώλησης 0.09 €/kWh και 0.285 €/kWh αντίστοιχα.

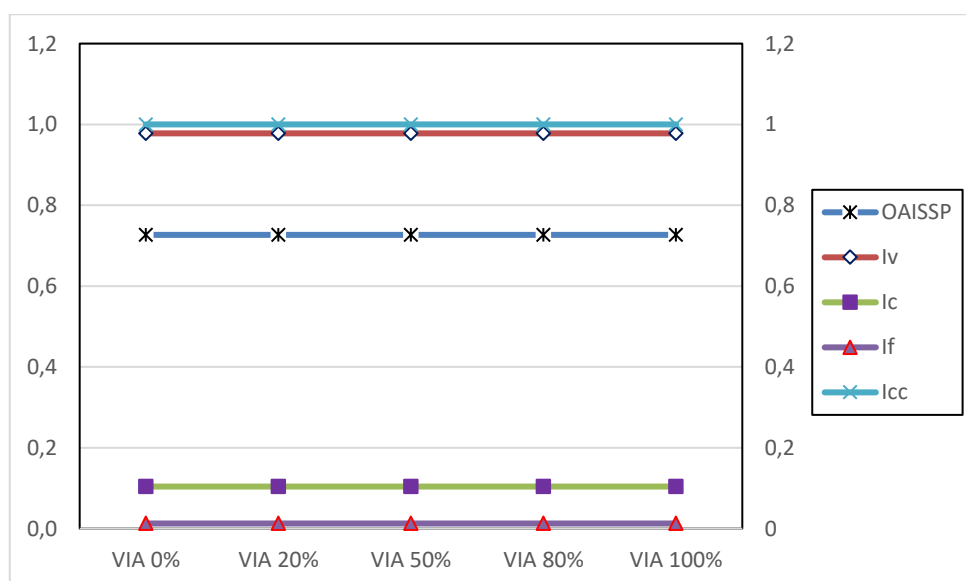
Πίνακας 4.122 Επιμέρους και συνολικά κόστη για μια εγκατάσταση δημόσιου κτιρίου σε αστικό ιστό.

Ποσοστό VIA (%)	Τιμή αγοράς - πώλησης (€/kWh)	Συνολικό κόστος (€)	Κόστος αγοράς και πώλησης ενέργειας (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης OAI _{SPP}
0	0.16-0.09	9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.615560
20	0.16-0.09	9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.615560
50	0.16-0.09	19384.56	4396.80	5940.00	9047.76	0.307520
80	0.16-0.09	21794.62	6731.16	5970.00	9093.46	0.286022
100	0.16-0.09	63146.70	-3566.50	26440.00	40273.20	0.278168
0	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
20	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
50	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
80	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
100	0.22-0.285	-27926.93	-128829.39	39990.00	60912.46	0.726697

Στον Πίνακα 4.122 παρουσιάζονται τα επιμέρους αλλά και τα συνολικά κόστη σε (€) καθώς και η οπτική επίδραση για το κάθε σενάριο.



Σχήμα 4.8: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό με τιμή αγοράς 0.16 €/kWh και τιμή πώλησης 0.09 €/kWh.



Σχήμα 4.9: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό με τιμή αγοράς 0.22 €/kWh και τιμή πώλησης 0.285 €/kWh.

Στα Σχήματα 4.8 και 4.9 παρουσιάζονται οι τιμές που παίρνουν οι τέσσερις παράμετροι, καθώς και η τιμή του δείκτη OAISSP, που είναι και ο δείκτης οπτικής επίδρασης για κάθε ποσοστό επηρεασμού του VIA, σε σχέση με το ποσοστό του συνολικού κόστους στην αντικειμενική συνάρτηση για τις τιμές αγοράς 0.16 €/kWh και 0.22 €/kWh και τιμές πώλησης 0.09 €/kWh και 0.285 €/kWh αντίστοιχα.

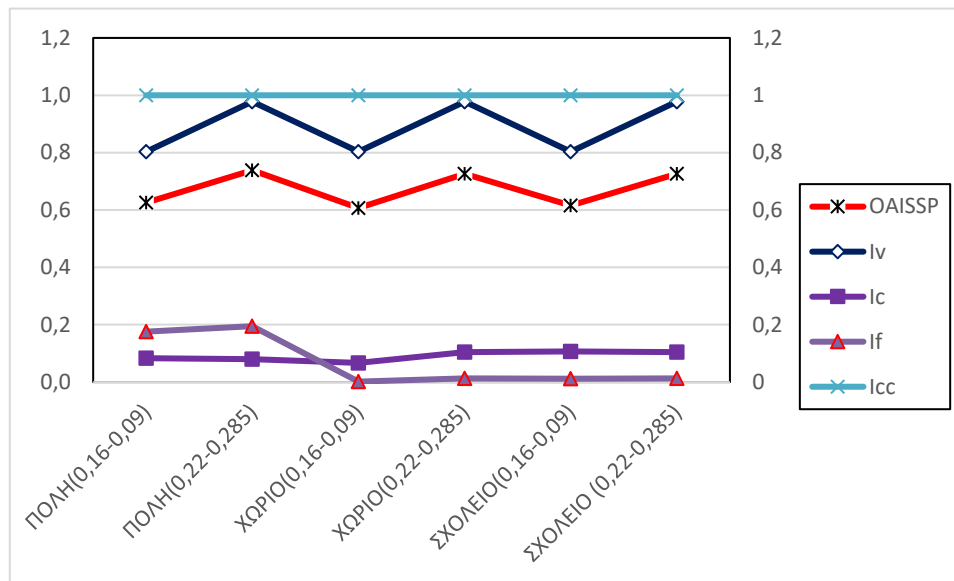
Πίνακας 4.123 Επιμέρους και συνολικά κόστη για μια εγκατάσταση μονοκατοικίας σε μη αστικό ιστό.

Ποσοστό VIA (%)	Τιμή αγοράς - πώλησης (€/kWh)	Συνολικό κόστος (€)	Κόστος αγοράς και πώλησης ενέργειας (€)	Κόστος εξοπλισμού (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Δείκτης οπτικής επίδρασης ΟΑ _{ISSP}
0	0.16-0.09	9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.607072
20	0.16-0.09	9864.20	-35628.95	18030.00	27463.16	0.607072
50	0.16-0.09	19384.56	4396.80	5940.00	9047.76	0.300738
80	0.16-0.09	21037.67	6049.91	5940.00	9047.76	0.278037
100	0.16-0.09	56390.30	-3611.20	23780.00	36221.50	0.269113
0	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
20	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
50	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
80	0.22-0.285	-92002.79	-155133.06	25020.00	38110.27	0.726697
100	0.22-0.285	-68810.81	-154372.26	35810.00	49751.45	0.726697

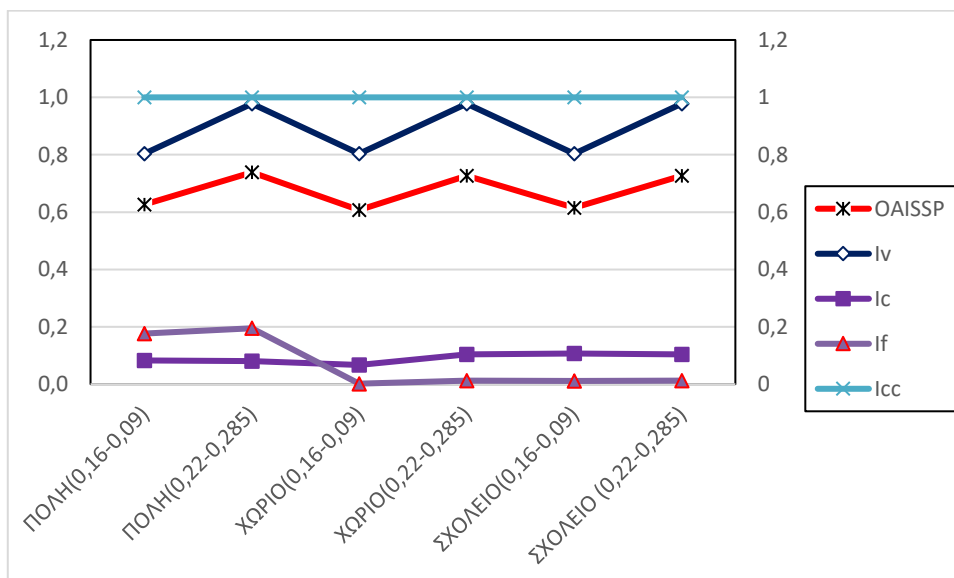
Στον Πίνακα 4.123 παρουσιάζονται τα επιμέρους αλλά και τα συνολικά κόστη σε (€) καθώς και η οπτική επίδραση για το κάθε σενάριο.

Στα Σχήματα 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 και 4.14 παρουσιάζονται οι τιμές που παίρνουν οι τέσσερις παράμετροι, καθώς και η τιμή του δείκτη ΟΑ_{ISSP} που είναι και ο δείκτης οπτικής επίδρασης για κάθε τιμή αγοράς και πώλησης καθώς και μέρη εγκατάστασης για τα ποσοστά που αναγράφονται στον τίτλο του εκάστοτε σχήματος.

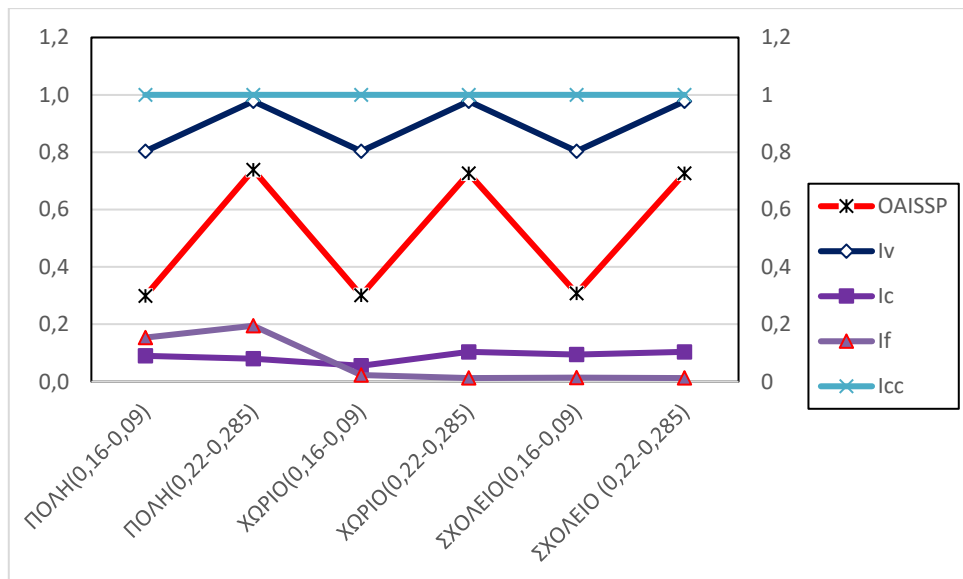
Αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλους τους παραπάνω πίνακες όταν το συνολικό κόστος είναι αρνητικός αριθμός, αυτό σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα, δηλαδή όχι μόνο έχει καλύψει τα κόστη της αλλά έχει επιφέρει και επιπλέον κέρδη.



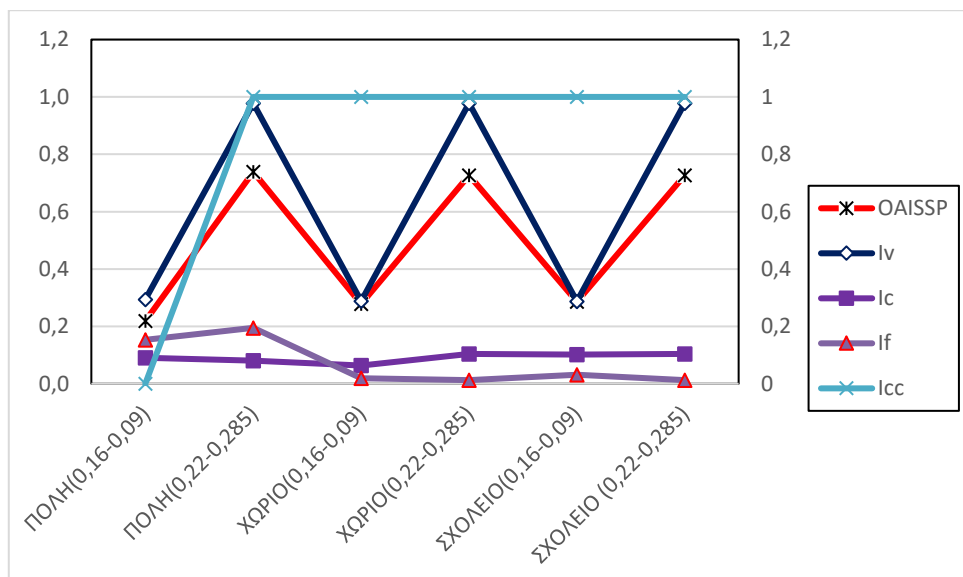
Σχήμα 4.10: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για 0 % επίδραση του VIA στο κόστος της εγκατάστασης για όλα τα σενάρια.



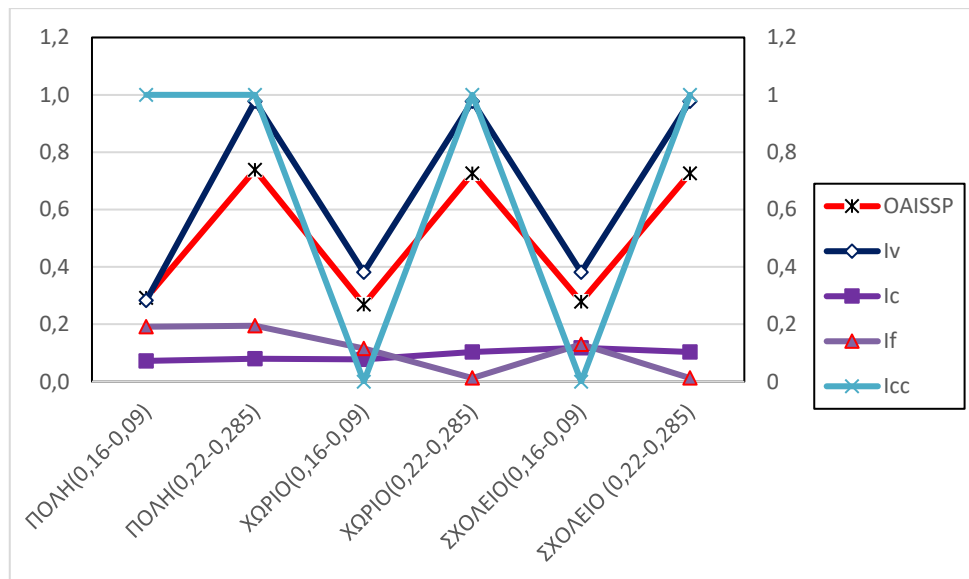
Σχήμα 4.11: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για 20 % επίδραση του VIA στο κόστος της εγκατάστασης για όλα τα σενάρια.



Σχήμα 4.12: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για 50 % επίδραση του VIA στο κόστος της εγκατάστασης για όλα τα σενάρια.



Σχήμα 4.13: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για 80 % επίδραση του VIA στο κόστος της εγκατάστασης για όλα τα σενάρια.



Σχήμα 4.14: Δείκτης οπτικής επίδρασης και παράμετροι για 100 % επίδραση του VIA στο κόστος της εγκατάστασης για όλα τα σενάρια.

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι όταν η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την τιμή αγοράς, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αγνοεί την οπτική επίδραση που θα έχει το Φ/Β σύστημα. Αυτό συμβαίνει διότι από οικονομική άποψη η τοποθέτηση του μέγιστου αριθμού Φ/Β πλαισίων μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερα κέρδη από την πώληση της περίσσιας ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξάρτητα από το πόσο θα επηρεάσει την αύξηση του κόστους της Φ/Β εγκατάστασης και η μεγαλύτερη οπτική επίδραση, τα οποία είναι οι δύο παράγοντες της αντικειμενικής συνάρτησης (objective function). Επιπλέον, παρατηρείται ότι όταν η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από την τιμή αγοράς όσο ανεβαίνει το κόστος επηρεασμού της οπτικής επίδρασης σε σχέση με το κόστος της εγκατάστασης, τόσο λιγότερο κερδοφόρα γίνεται η Φ/Β εγκατάσταση. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι για μικρά ποσοστά επηρεασμού της οπτικής επίδρασης δεν υπάρχει κάποια σημαντική αλλαγή στη διαστασιολόγηση της Φ/Β εγκατάστασης, κάτι που επηρεάζεται αρκετά για τα μεγαλύτερα ποσοστά επηρεασμού. Ακόμη, παρατηρείται ότι η επίτευξη μείωσης της οπτικής επίδρασης της Φ/Β εγκατάστασης συνεπάγεται με μείωση των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στο κτίριο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα και την μικρότερη παραγωγή ενέργειας και συνεπώς και ποσοστιαία μικρότερη κάλυψη του συνολικού φορτίου, αλλά και σημαντική μείωση στην περίπτωση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και αύξηση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όπως ήταν αναμενόμενο. Επιπροσθέτως, όταν η οπτική επίδραση επηρεάζει τον αριθμό των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν, παρατηρείται ότι συνήθως

τοποθετούνται λιγότερα Φ/Β πλαίσια. Ακόμα, γίνεται αντιληπτό ότι σε κάποιες περιπτώσεις, κυρίως σε αυτές όπου η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την τιμή πώλησης της, ο αλγόριθμος προτιμά να τοποθετήσει περισσότερες συστοιχίες από μπαταρίες, ανεξάρτητα αν αυτό αυξήσει το αρχικό κόστος κατασκευής. Αυτό το κάνει, διότι μακροπρόθεσμα τα χρήματα που θα εξοικονομήσει η εγκατάσταση αποθηκεύοντας το πλεόνασμα ενέργειας στις μπαταρίες ώστε να το χρησιμοποιήσει όταν η παραγόμενη ισχύς των Φ/Β πλαισίων δεν θα μπορεί να καλύψει το φορτίο της εγκατάστασης, είναι περισσότερα συγκριτικά με τα χρήματα που ξόδεψε για αυτή την επένδυση. Τέλος, εξάγεται το συμπέρασμα ότι από όλα τα σενάρια τα πιο κερδοφόρα τόσο οικονομικά, όσο και σε σχέση με την οπτική επίδραση είναι αυτά του δημόσιου κτιρίου σε αστικό ιστό και της μονοκατοικίας σε μη αστικό ιστό, σε σχέση με τα αντίστοιχα σενάρια της πολυκατοικίας σε αστικό ιστό, με τα πρώτα να έχουν μικρές διαφορές μεταξύ τους, άλλοτε υπέρ του ενός και άλλοτε υπέρ του άλλου. Ωστόσο και τα δυο είναι καλύτερα σε όλα τα σενάρια όσον αφορά τον τομέα της οπτικής επίδρασης. Σχεδόν σε όλα τα σενάρια γίνεται αντιληπτό ότι η πολυκατοικία σε αστικό ιστό έχει το μεγαλύτερο δείκτη οπτικής επίδρασης, σε αντίθεση με το δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό και τη μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό.

5.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα Φ/Β συστήματα, καθώς και όλες οι Α.Π.Ε., είναι σίγουρο ότι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρολό στην κάλυψη των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας στο μέλλον. Η συνεχής βελτίωση και εξέλιξη τους αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι σε αυτόν το δρόμο. Ένα από τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα, κατά πολλούς, μειονεκτήματα που έχουν όλες οι Α.Π.Ε., είναι το γεγονός ότι, σε σχέση με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ. πυρηνικοί σταθμοί, λιγνιτικές μονάδες, μονάδες φυσικού αερίου κ.α.) καταλαμβάνουν μεγάλες χωρικές εκτάσεις. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η τοποθέτηση τέτοιων μονάδων σε επιφάνειες, οι οποίες είναι αδύνατον να αξιοποιηθούν για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Συνεπώς, η κάλυψη των επιφανειών ενός κτιρίου αποτελεί μια τέτοια περίπτωση.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης σχεδιασμού ενός Φ/Β συστήματος ενσωματωμένου σε διαφορά κτίρια:

- ❖ Πολυκατοικία σε αστικό ιστό,
- ❖ Δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό και
- ❖ Μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό.

Ο αλγόριθμος αυτός προσομοιώνει τη λειτουργία του Φ/Β συστήματος ως προς την κατανάλωση του φορτίου, την παραγωγή ισχύος και την κατάσταση φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών με

ωριαίο βήμα. Μετά το τέλος της προσομοίωσης, ο αλγόριθμος υπολογίζει την οπτική του επίδραση ανάλογα με το βάρος που έχει αυτή στο κόστος εγκατάστασης και λαμβάνοντας υπόψιν το κόστος συντήρησης και το κόστος της ενέργειας που πωλήθηκε ή αγοράστηκε από το ηλεκτρικό δίκτυο υπολογίζει το συνολικό κόστος του συστήματος. Έπειτα, με τη χρήση του αλγόριθμου βελτιστοποίησης Particle Swarm Optimization (PSO) βρίσκεται ο βέλτιστος συνδυασμός διαστασιολόγησης των Φ/Β πλαισίων και όλης της Φ/Β εγκατάστασης.

Οι τελικές λύσεις που προέκυψαν για όλα τα σενάρια στα τρία διαφορετικά κτίρια ικανοποιούν πλήρως το φορτίο και είναι βέλτιστες οικονομικά.

Από τη μελέτη προέκυψαν κάποια συμπεράσματα, τα οποία είναι τα εξής:

- ❖ Όταν η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την τιμή αγοράς, τότε ο αλγόριθμος κοιτάζοντας οικονομικά τι τον συμφέρει περισσότερο τοποθετεί το μέγιστο αριθμό Φ/Β πλαισίων που μπορεί να τοποθετήσει στην κάθε επιφάνεια, με στόχο την πώληση περισσότερης ενέργειας και αδιαφορεί για το αν με αυτή του την κίνηση ανεβάσει την οπτική επίδραση.
- ❖ Όσο περισσότερο αυξάνεται το ποσοστό επηρεασμού της οπτικής επίδρασης στο κόστος της εγκατάστασης, τόσο λιγότερο κερδοφόρα γίνεται η Φ/Β εγκατάσταση. Αυτό το γεγονός παρατηρήθηκε σε όλα τα σενάρια, στα οποία η τιμή αγοράς ήταν μεγαλύτερη από την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας.
- ❖ Η επίτευξη μείωσης της οπτικής επίδρασης της Φ/Β εγκατάστασης συνεπάγεται τη μείωση των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν στο κτίριο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα και την μικρότερη παραγωγή ενέργειας και συνεπώς και ποσοστιαία μικρότερη κάλυψη του συνολικού φορτίου, αλλά και σημαντική μείωση στην περίπτωση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και αύξησης στην περίπτωση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- ❖ Όταν η οπτική επίδραση επηρεάζει τον αριθμό των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν, παρατηρείται ότι συνήθως τοποθετούνται λιγότερα Φ/Β πλαίσια. Ακόμα, παρατηρείται ότι σε κάποιες περιπτώσεις, κυρίως σε αυτές όπου η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την τιμή πώλησης της, ο αλγόριθμος προτιμά να τοποθετήσει περισσότερες συστοιχίες από μπαταρίες, ανεξάρτητα αν αυτό αυξήσει το αρχικό κόστος κατασκευής. Αυτό το κάνει διότι μακροπρόθεσμα τα χρήματα που θα εξοικονομήσει η εγκατάσταση αποθηκεύοντας το πλεόνασμα ενέργειας ώστε να το χρησιμοποιήσει όταν η παραγόμενη ισχύς των Φ/Β πλαισίων δεν θα μπορεί να καλύψει

το φορτίο της εγκατάστασης, είναι περισσότερα συγκριτικά με τα χρήματα που ξόδεψε για αυτή την επένδυση.

- ❖ Σχεδόν σε όλα τα σενάρια γίνεται αντιληπτό ότι η πολυκατοικία σε αστικό ιστό έχει το μεγαλύτερο δείκτη οπτικής επίδρασης, σε αντίθεση με το δημόσιο κτίριο σε αστικό ιστό και τη μονοκατοικία σε μη αστικό ιστό.
- ❖ Τέλος, εξάγεται το συμπέρασμα ότι από όλα τα σενάρια τα πιο κερδοφόρα τόσο οικονομικά, όσο και οπτικά είναι αυτά του δημόσιου κτιρίου σε αστικό ιστό και της μονοκατοικίας σε μη αστικό ιστό, σε σχέση με τα αντίστοιχα σενάρια της πολυκατοικίας σε αστικό ιστό, με τα πρώτα να έχουν μικρές διαφορές μεταξύ τους, άλλοτε υπέρ του ενός και άλλοτε υπέρ του άλλου.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε άλλα σενάρια με περισσότερα ή λιγότερα είδη Φ/Β πλαισίων κάνοντας κάποιες μικρές αλλαγές στον τρόπο υπολογισμού της οπτικής επίδρασης.

Μελλοντική επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να αποτελέσει η ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος για την επίτευξη πιο φιλικής διεπαφής με το χρήστη, καθώς και η εφαρμογή κάποιας άλλης μεθόδου υπολογισμού της οπτικής επίδρασης της Φ/Β εγκατάστασης για συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

6.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Romanos Ioannidis, Panayiotis Dimitriadis, G. -Fivos Sargentis, Evangelia Frangedaki, Theano Iliopoulou, Demetris Koutsoyiannis, "Stochastic similarities between natural processes and art: Application in the analysis and optimization of landscape aesthetics of renewable energy and civil works", European Geoscience Union General Assembly Vienna, Austria, 2019.
- [2] L.Alfredo Fernandez-Jimenez, Montserrat Mendoza-Villena, Pedro Zorzano-Santamaria, Eduardo Garcia-Garrido, Pedro Lara-Santillan, Enrique Zorzano-Alba, Alberto Falces, "Site selection for new PV power plants based on their observability", Renewable Energy, Vol. 78, pp. 7-15, 2015.
- [3] E. Garcia-Garrido, P. Lara-Santilian, E. Zorzano-Alba, M. Mendozavillena, P. Zorzano-Santamaria, L.A. Fernandez-Jimenez, A. Falces, "Visual impact assessment for small and medium size PV plants", 12th WSEAS International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (POWER '12), pp. 57-61, 2012.
- [4] Marcos Rodrigues, Carlos Montanes, Norberto Fueyo, "A method for the assessment of the visual impact caused by the large-scale deployment of renewable-energy facilities", Environmental Impact Assessment Review, Vol. 30, Issue 4, pp. 240-246, 2010.

- [5] Pietro Florio, A.T.D. Perera, Silvia Coccolo, Jean-Louis Scartezzini, "Towards a digital workflow to assess visual impact of solar modules and their operation within energy-hubs", *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1343, 2019.
- [6] Pietro Florio, Silvia Coccolo, A.T. Dasun Perera, Jean-Louis Scartezzini, "Matching visual impact, solar energy production potential and energy system optimization for an enhanced solar integration", *34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Vol. 1, Lausanne, 2018.
- [7] Hongxing Yang, Jinqing Peng and Dimitrios Karamanis, "Quantitative Evaluation of BIPV Visual Impact in Building Retrofits Using Saliency Models", *Energies*, Vol. 10, Issue 5, 2017.
- [8] Roberto Chiabrando, Enrico Fabrizio, Gabriele Garnero, "On the applicability of the visual impact assessment OAISPP tool to photovoltaic plants", *Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 15, Issue 1, pp. 845-850, 2011.
- [9] Enrico Fabrizio and Gabriele Garnero, "Visual impact, landscape and renewable energy plants: the case of PV", *FIG Working Week Rome-Italy*, 2012.
- [10] Cristina Manchado, Valentin Gomez-Jauregui, Piedad E.Lizcano, Andres Iglesias, Akemi Galvez, Cesar Otero, "Wind farm repowering guided by visual impact criteria", *Renewable Energy*, Vol. 135, pp. 197-207, 2019.
- [11] Nuria Sanchez-Pantoja, Rosario Vidal, M.Carmen Pastor, "Aesthetic impact of solar energy systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 98, pp. 227-238, 2018.
- [12] Kennedy J., "The particle swarm: social adaptation of knowledge", *Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, pp. 303-308, 1997.
- [13] Shi Y., Eberhart R.C., "A modified particle swarm optimizer", *Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, pp. 69-73, 1997.
- [14] Kennedy J., Eberhart R.C., Shi Y., "Swarm Intelligence", Morgan Kaufmann. ISBN 978-1-55860-595-4, 2001.
- [15] Γλυκός Θεόδωρος, "Βελτιστοποίηση παραγωγής και διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα", Πολυτεχνείο Κρήτης, 2019.
- [16] E. Lorenzo, "Solar Electricity: Engineering of Photovoltaic Systems", 1st edition, Progensa, 1994.