

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Π. Γκουλιάρας, Ηλεκτρολόγος μηχανικός
Δ. Γκουλιάρας, Υδραυλικός Μηχανικός
Φ. Γκουλιάρας, Πολιτικός Μηχανικός

Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι φυσικοί παράμετροι και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός επίγειου P/V πάρκου που είναι απευθείας διασυνδεδεμένο στο δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Συγκεκριμένα μελετώνται:

- Η θέση και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του πάρκου
- Η μορφολογία του εδάφους του (ανάγλυφο, φυσικά εμπόδια)
- Η ισχύς του πάρκου
- Ο τύπος των συλλεκτών (ισχύς, τάση και ένταση εξόδου, διαστάσεις)
- Ο τύπος των μετατροπέων (INVERTER), δηλαδή η ισχύς και η τάση εισόδου –εξόδου τους
- Οι αγωγοί μεταφοράς της ισχύος
- Τα έργα υποδομής

Η ανάλυση βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία που έχουν συλλεχθεί από την υλοποίηση τριών έργων συνολικής ισχύος 215 kWp. Το ένα από τα τρία έργα έχει ισχύ 135 kWp και θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα σε εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα. Και τα τρία έργα είναι απευθείας διασυνδεδεμένα στο δίκτυο της Δ.Ε.Η και λειτουργούν χωρίς συσσωρευτές.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό σε όλους ότι ο άνθρωπος με τις δραστηριότητες του έχει υποβαθμίσει το φυσικό περιβάλλον σε σημαντικό βαθμό. Επίσης είναι γνωστή και η χρονική περίοδος (δεκαετία του '70) κατά τη διάρκεια της οποίας εκδηλώθηκε η περιβαλλοντική κρίση. Τα φαινόμενα που εμφανίστηκαν τότε ήταν στο στάδιο της επιστημονικής μελέτης και παρακολούθησης. Τριάντα χρόνια αργότερα η ανθρωπότητα αναζητά λύσεις μέσα από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ηλιακή, η οποία με ροή ισχύος περίπου 1,4 Kw/m² αποτελεί σημαντικό ενεργειακό πλούτο ειδικότερα για την Ελλάδα. Η γήινη ατμόσφαιρα αντανακλά ένα μέρος της ενέργειας και επιτρέπει τελικά να καταλήξει στο έδαφος περίπου 1 Kw/m², τιμή που αντιστοιχεί σε συνθήκες θερινού ηλιοστασίου κατά τις μεσημεριανές ώρες και με αίθριο καιρό. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα τετραγωνικό μέτρο εκτεθειμένο στον ήλιο δέχεται ημερησίως κατά μέσο όρο 4,3 Kwh. Συγκριτικά με τα αποθέματα πετρελαίου που είναι γνωστά σε όλο τον πλανήτη η ενέργεια που δέχεται ετησίως η γη είναι χίλιες φορές μεγαλύτερη.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση των φυσικών παραμέτρων και των τεχνικών χαρακτηριστικών που επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

Ποιος θα είναι επομένως ο τρόπος ιεράρχησης και επιλογής των ζητημάτων – ερωτημάτων που πρέπει να έχουμε κατά νου; Είναι εφικτή και θεμιτή η μοντελοποίηση αυτού του τρόπου ή σε μερικές των περιπτώσεων είναι περιττή, δύσκολη και πιθανόν εσφαλμένη;

2. ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1 Κριτήρια επιλογής ισχύος

Ο σχεδιασμός ενός P/V πάρκου όπως και κάθε σχεδιασμός τεχνικού έργου προαπαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Μέγεθος αφετηρία για τη σχεδίαση ενός P/V πάρκου αποτελεί η ισχύς του, η οποία καθορίζεται κατά περίπτωση από τα παρακάτω κριτήρια (διάγραμμα 1):

α). Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης). Στην περίπτωση αυτή, στην οποία απαιτείται οικονομοτεχνική μελέτη, εμπíπτουν κυρίως οι αυτοπαραγωγοί, με απευθείας διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα P/V.

β). Κριτήρια με βάση την διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς του πάρκου είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει αν "καλύψουμε" πλήρως με συλλέκτες την διαθέσιμη επιφάνεια (εννοείται ότι συνυπολογίζονται οι ζώνες σκίασης και επισκεψιμότητας τους, όταν πρόκειται για έδαφος). Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα με συσσωρευτές ή χωρίς, με απευθείας διασύνδεση στο δίκτυο.

γ). Καθαρά τεχνικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά αφορούν τον καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ισχύος που απορρέει από συγκεκριμένες απαιτήσεις κατανάλωσης (αυτόνομα συστήματα μη διασυνδεδεμένα, είτε αυτοπαραγωγοί όπως στο πρώτο κριτήριο). Το μειονέκτημα του αυτόνομου συστήματος είναι ότι δεν αξιοποιεί την ενέργεια όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, πράγμα που δεν ισχύει με το απευθείας διασυνδεδεμένο σύστημα.



Διάγραμμα 1: Κριτήρια επιλογής μεγέθους ισχύος

2.2 Ανάλυση κριτηρίων

Όσον αφορά στο πρώτο κριτήριο, εφόσον η διαθέσιμη έκταση δεν μας περιορίζει η επιλογή του μεγέθους της ισχύος είναι καθαρά θέμα μεγέθους επένδυσης – απόσβεσης και έτσι αποτελεί αντικείμενο ουσιαστικά οικονομοτεχνικής μελέτης.

Κατά προσέγγιση, εάν Q το ποσό της επένδυσης και q το κόστος ανά Kw εγκατεστημένης ισχύος, τότε η ισχύς του πάρκου (P) θα είναι:

$$P = Q / q$$

(Kw)

Έτσι, από την τιμή πώλησης (α) της Kwh και από το χρόνο (t) σε ώρες της μέσης ημερήσιας ηλιοφάνειας στη διάρκεια του έτους, υπολογίζεται κατ' αρχάς το ετήσιο ενεργειακό πλεόνασμα (E):

$$E = P \times t$$

(Kwh)

και στη συνέχεια το ετήσιο οικονομικό όφελος:

$$S = E \times \alpha$$

Τα παραπάνω αποτελούν μόνο ενδεικτικές προσεγγίσεις ενώ η ακριβής εκτίμηση της απόσβεσης απαιτεί τη χρήση των κατάλληλων μοντέλων. Σ' αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι η πολιτική των επιδοτήσεων είναι η πλέον καθοριστική για τις επιλογές του επενδυτή – παραγωγού όσο καλές προθέσεις και αν τρέφει για το περιβάλλον. Στην ουσία το μέγεθος της επιδότησης ή η τιμή πώλησης της Kwh ή και τα δύο, είναι αυτά που θα διαμορφώσουν μία ελκυστική ή απαγορευτική - ασύμφορη σε βάθος χρόνου απόσβεση.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά περιπτώσεις όπου έχουμε συνήθως να καλύψουμε συγκεκριμένες επιφάνειες όπως στέγες, όψεις ή να χρησιμοποιήσουμε P/V πάνελ ως υλικό πλήρωσης επιφανειών που εξυπηρετούν αισθητικές, λειτουργικές και σύγχρονες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις.

Πρόκειται για αυτό που ονομάζουμε ενεργειακή λειτουργία ή ενεργειακή ταυτότητα μιας κατασκευής. Μια τέτοια κατασκευή πέραν των αναγκών που εκπληρώνει, μπορεί ταυτόχρονα να είναι αυτόνομη ενεργειακά ή ακόμη και αν δεν χρειάζεται ενέργεια για την αποστολή της να την παράγει σε συνεισφορά σε συνολικότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα παραπάνω γίνονται αντιληπτά από εφαρμογές που ήδη υφίστανται όπως στέγαστρα, όψεις κτιρίων ή και ηχοπετάσματα σε αυτοκινητόδρομους, οι οποίες εκπληρώνοντας το σκοπό τους, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με απόλυτο σεβασμό στο περιβάλλον.

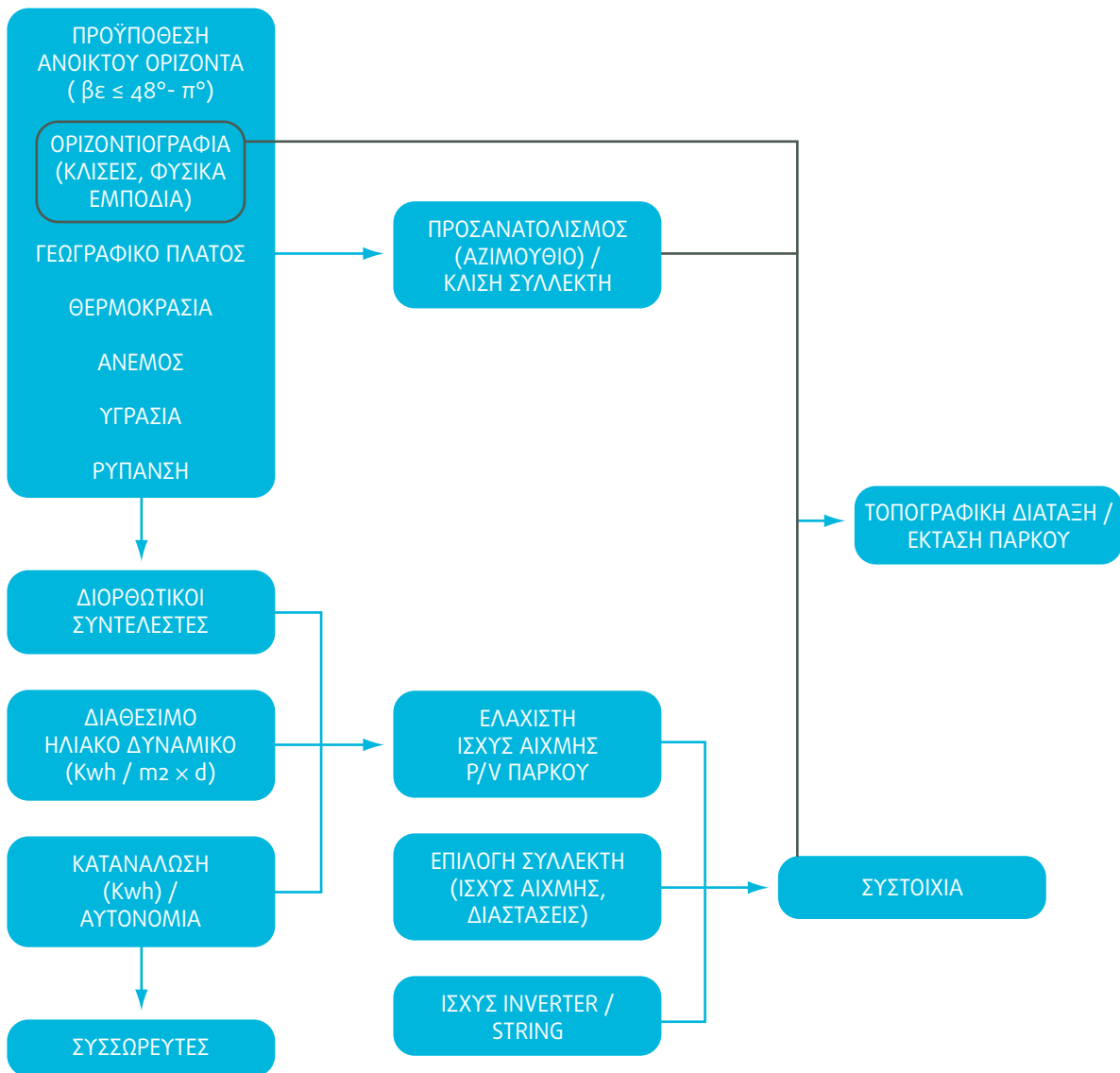
Ο σύγχρονος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός εκτός της προωθημένης αισθητικής έχει να επιδείξει ευφυείς λύσεις για την εξοικονόμηση της ενέργειας, όπως η πλήρωση επιφανειών με P/V panels, στοχεύοντας έτσι στην ενσωμάτωση της παραγωγής ενέργειας με "έξυπνες κατασκευές", οι οποίες συγχωνεύουν πολλές αποστολές – λειτουργίες.

Οι παραπάνω τρόποι (πρώτο και δεύτερο κριτήριο) εκτιμούν με ακρίβεια την ισχύ αιχμής του φωτοβολταϊκού πάρκου όσον αφορά στο πρώτο κριτήριο και του φωτοβολταϊκού συστήματος όσον αφορά στο δεύτερο κριτήριο.

Το τρίτο κριτήριο αφορά περιπτώσεις στις οποίες κυρίως το δίκτυο της Δ.Ε.Η είναι απομακρυσμένο. Η σύγκριση του κόστους μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με το κόστος της επένδυσης των φωτοβολταϊκών αναδεικνύει τη χρήση των φωτοβολταϊκών ως την πλέον κατάλληλη και με οικολογικό χαρακτήρα λύση.

Σε αυτό το κριτήριο γίνεται χρήση αλγόριθμου, με μια πορεία υπολογισμών που επηρεάζονται από τη θέση (γεωγραφικό πλάτος), το κλίμα (ηλιοφάνεια, υγρασία, θερμοκρασίες, άνεμοι), τη μορφολογία εδάφους και τη ρύπανση.

Όλες οι προηγούμενες φυσικές παράμετροι θα καθορίσουν κατ' αρχήν και με ένα συντελεστή απωλειών κατά περίπτωση, την "ελάχιστη ισχύ αιχμής" της P/V γεννήτριας, που φυσικά θα είναι μεγαλύτερη από αυτή της κατανάλωσης. Θεωρώντας ότι έχουμε επαρκείς πίνακες με αξιόπιστες μετρήσεις ηλιοφάνειας και θερμοκρασιών του πρόσφατου παρελθόντος γίνεται εφικτός και ακριβής ο υπολογισμός του P/V πάρκου (όπως φαίνεται στο παρακάτω λογικό διάγραμμα).



Διάγραμμα 2: Αλγόριθμος υπολογισμού P/V πάρκου

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

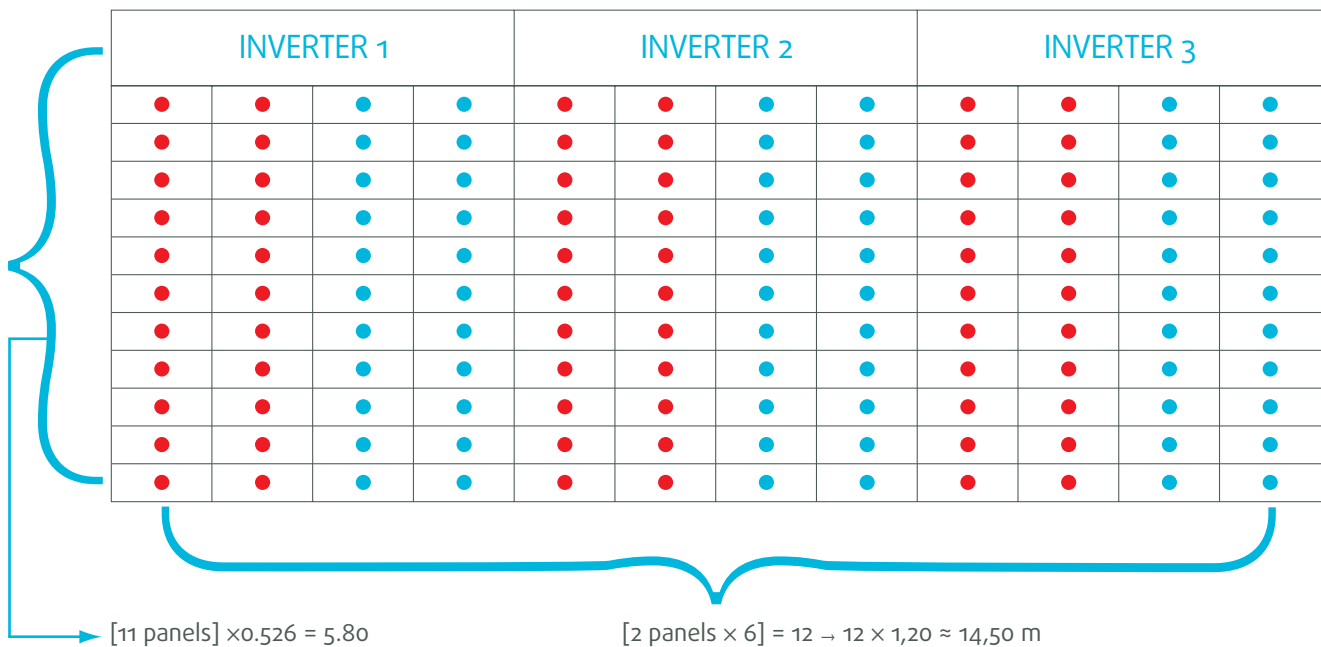
Εξειδικεύοντας θα αναφερθούμε στο P/V πάρκο που υλοποιήθηκε στην τοποθεσία **ΠΕΡΙΒΟΛΙΑ ΧΑΝΙΩΝ** στην Κρήτη και είχε ονομαστική ισχύ αιχμής 60 Kwp, (υπολογισμός ισχύος βάση του πρώτου κριτηρίου). Το συγκεκριμένο, αν και μικρότερο από αυτό του Ηρακλείου με ισχύ 135 Kwp, είναι τεχνικά πιο άρτιο, όσον αφορά και μόνο στην "οργάνωση" των panels στη συστοιχία κι αυτό γιατί χρονικά έπεται, οπότε η εμπειρία του πρώτου έργου αναθεώρησε τον τρόπο διάταξης των panels πάνω στη συστοιχία. Η ποιότητα κατασκευής φυσικά παρέμεινε και παραμένει πάντα το ίδιο υψηλή σε επίπεδο σχεδιασμού και υλικών.

Η οργάνωση και το μέγεθος της συστοιχίας που είναι ουσιαστικά το module του P/V πάρκου, καθορίζεται κυρίως από τους μετατροπείς (inverters) ενώ παράλληλα επιδιώκεται η βέλτιστη χρήση υλικών για τη σκυροδέτηση και τις μεταλλικές κατασκευές. Σημαντικός παράγοντας επίσης είναι η τοποθεσία και η ευκολία πρόσβασης σε αυτήν.

Η επιλογή inverter μπορεί να γίνει με κριτήριο το χαμηλό κόστος οπότε οδηγούμαστε σε μεγάλη ισχύ και συνεπώς μέγεθος. Αυτό όμως σημαίνει πιο δύσκολο έλεγχο και εποπτεία του όλου συστήματος. Για παράδειγμα το συγκεκριμένο έργο στα Χανιά θα μπορούσε να καλυφθεί με ένα inverter των 60 Kw με κίνδυνο την αποκοπή όλου του συστήματος σε τυχόν βλάβη του. Επισημαίνεται ότι ο τύπος των inverter για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του (range) λειτουργίας. Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός).

Στο συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιήθηκε ο ευρέως προτεινόμενος και δοκιμασμένος στο εξωτερικό inverter Sunpy Boy με ισχύ 2,5 Kw. Οι συλλέκτες τύπου ASTROPOWER με ισχύ 65 w και διαστάσεις (1,20 x 0,52) ομαδοποιούνται έτσι ώστε σε κάθε inverter να καταλήγουν παραλληλισμένα 2 string με 22 panels εν σειρά το καθένα, δηλ. συνολικά 44 panels /inv. **Το μέγεθος του string (δηλ. τα 22 panel) είναι το κρίσιμο για τη βέλτιστη απόδοση της ισχύος του inverter.** Με βάση τις διαστάσεις των panels, το επιθυμητό πρακτικό μέγεθος της συστοιχίας και τον αριθμό "κλειδί" των 22 panel που προαναφέρθηκε, ορίζεται ως ύψος της συστοιχίας αυτό των 11 panel (22/2 =11).

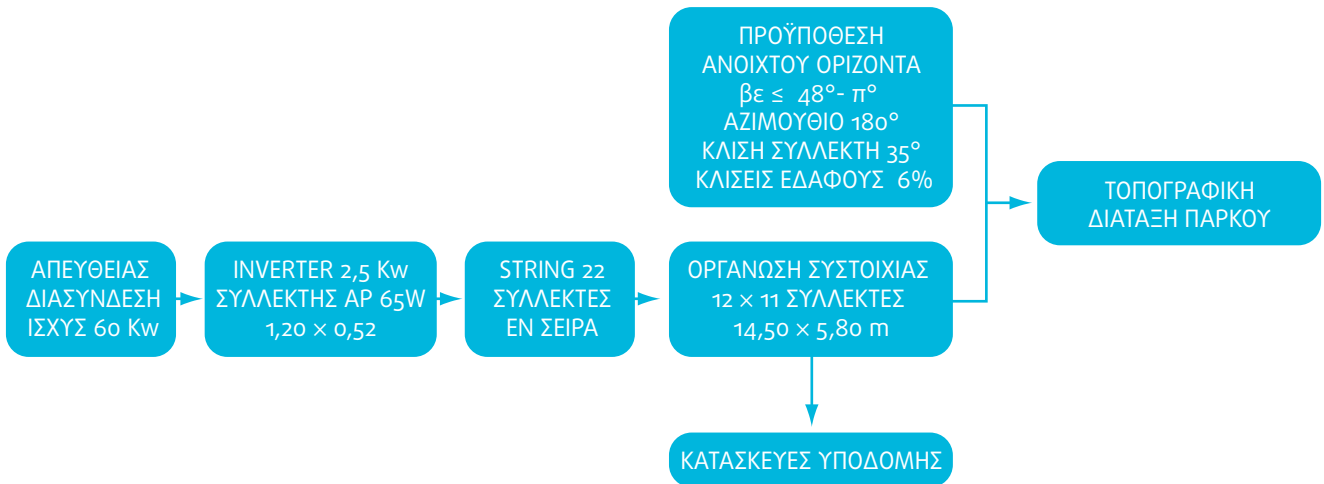
Με δεδομένο επίσης ότι το μήκος των μεταλλικών profile I.P.E στο εμπόριο είναι τυποποιημένο στα 12m, εύκολα μπορεί να οριστεί το μήκος της συστοιχίας ως άρτιο πολλαπλάσιο του 2(string=2στήλες X 11panels) που ταυτόχρονα δεν θα είναι μικρότερο των 12m (Σχήμα 1). Αυτό γίνεται, ώστε αφενός στη συστοιχία να υπάρχει ακέραιος αριθμός inverter και αφετέρου να έχουμε άριστη εποπτεία, απόλυτη γεωμετρική και ηλεκτρική συμμετρία των κυκλωμάτων (strings), ευκολία διασύνδεσης και αποφυγή λαθών. Τα παραπάνω αφορούν τόσο το στάδιο της κατασκευής όσο και το στάδιο λειτουργίας του πάρκου. Όμοια λογική ακολουθείται και στην περίπτωση που παρεμβάλεται συστοιχία συσσωρευτών.



Σχήμα 1: Κυκλωματική διάταξη συστοιχίας

Το P/V πάρκο αποτελείται από 7 συστοιχίες των 132 panels η καθεμιά, συνολικά 7x132 = 924 panels και 3 inverters ανά συστοιχία, συνολικά 3x7= 21 inverters που με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε 7 inverters ανά φάση (21 inverters/3 φάσεις = 7 inverters/φάση).

Αφού ορίστηκε η συστοιχία, το module του P/V πάρκου, είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε την τοπογραφική διάταξη τους μέσα στο πάρκο και ταυτόχρονα να εκπονήσουμε μελέτη εφαρμογής για τις κατασκευές υποδομής και ανάρτησης των συλλεκτών (διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Πορεία υπολογισμού διασυνδεδεμένου P/V πάρκου

Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικοί άξονες υπολογισμού κατά πρώτον για τα έργα υποδομής και κατά δεύτερον για την τοπογραφική διάταξη του πάρκου.

Τα έργα υποδομής περιλαμβάνουν εκσκαφές, εργασίες θεμελίωσης σκυροδέτησης και κατασκευή –τοποθέτηση μεταλλικών ζευκτών για την ανάρτηση των 924 panels. Όλες οι παραπάνω κατασκευές υποστηρίζονται από μελέτη εφαρμογής παίρνοντας υπόψη τους δυσμενέστερους συνδυασμούς δράσεων όπως μόνιμα φορτία, άνεμος με 150 Kg/m² και χιόνι. Την κάθε συστοιχία με τα 132 panels υλοποιούν τρία χυτά βάθρα από Ο/Σ αποτελούμενα το καθένα από μια πεδילוδοκό κουτί: 400 x 90 x 45cm και δύο στύλους 40 x 40cm από εμφανές μπετόν.

Το κάθε ένα από τα τρία βάθρα των συστοιχιών θεμελιώνεται σε βάθος 1m περίπου, ενώ οι κεφαλές των 6 συνολικά στύλων (2 στύλοι x 3 βάθρα) της κάθε συστοιχίας ορίζουν μια κοινή οριζόντια στάθμη όπου τελικά εδράζονται με εκτνωόμενα αγγύρια M16-8,8 οι δύο αμφιπροέχουσες δοκοί δύο ανοιγμάτων διατομής I.P.E. 180 και συνολικού μήκους 14 m η καθεμιά (4,65m x 2 ανοιγμάτα x 2,35 m x 2πρόβολοι).

Στο παραπάνω γεωμετρικό σύστημα, γνωρίζοντας το συνολικό μήκος της δοκού (14m), το οποίο καθορίστηκε εύκολα μετά από τον υπολογισμό του πλήθους των panels κατά την οριζόντια – διαμήκη έννοια της συστοιχίας και εξισώνοντας τη ροπή του ανοίγματος με τη ροπή της στήριξης στον πρόβολο, προκύπτει το μήκος ανοίγματος και πρόβολου. Με αυτό τον τρόπο έγινε η βέλτιστη επιλογή profile από τη σειρά I.P.E 180 και πάντα προς την πλευρά της ασφάλειας, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιήθηκε κατά το δυνατό το βάρος της μεταλλικής κατασκευής.

Τέλος, 24 αρθρωτοί φορείς αποτελούμενοι ο καθένας από μία γαλβανισμένη μηκίδα διατομής U 100x60x2,0mm και έναν ορθοστάτη γωνιακής διατομής L 60x6 mm, αρθρώνονται με τη σειρά τους πάνω στις δοκούς. Την οριζόντια σταθεροποίηση της κατασκευής αναλαμβάνουν δύο χιαστί σύνδεσμοι γωνιακής διατομής L 50x5 mm, καθώς και τα ίδια τα panels υλοποιώντας στην ουσία έναν άκαμπτο δίσκο.

Η μηκίδα λειτουργεί σαν αμφιπροέχουσα δοκός ενός ανοίγματος συνολικού μήκους 11 panel x 0,526 ≈ 5,80m, παραλαμβάνοντας άμεσα τα φορτία καθώς σε αυτήν αναρτώνται με τη βοήθεια οπών στήριξης τα panels, ενώ ο ορθοστάτης λειτουργεί σαν θλιβόμενη ράβδος, όπως φαίνεται στις παρακάτω (1 & 2) φωτογραφίες.



Φωτογραφίες 1 & 2: Υποδομή στήριξης φωτοβολταϊκών κυψελών

Σχετικά με την τοπογραφική διάταξη του πάρκου, ο προσανατολισμός όλων των συστοιχιών είναι απόλυτα νότιος (αζιμούθιο 180ο). Η κλίση της μηκίδας ως προς τον οριζόντα υλοποιεί την κλίση της συστοιχίας και τελικά αυτή των συλλεκτών. Η τελευταία ορίστηκε στις 35ο που ταυτίζεται σχεδόν με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Σε πιο οριζόντιες κλίσεις θα είχαμε αυξημένη σκόνη αν και η τοπική ρύπανση στη συγκεκριμένη τοποθεσία είναι ασήμαντη. Αν και η ένταση των ανέμων που πνέουν στην περιοχή είναι αρκετά χαμηλή, ο δροσισμός των rapels είναι ικανοποιητικός πράγμα που εξασφαλίζει χαμηλή ειδική αντίσταση στο σύστημα και συνεπώς χαμηλές απώλειες. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ξηρό κλίμα σε συνδυασμό με το πετρώδες έδαφος, τους γειτονικούς ορεινούς όγκους και την κλίση των 35ο ευνοούν την αξιοποίηση ποσοστού της αντανακλώμενης ακτινοβολίας.

Το εύρος των ουδέτερων ζωνών, (ελεύθερη απόσταση μεταξύ συστοιχιών), υπολογίζεται με βάση το εμπειρικό μοντέλο της εταιρείας Monegon, τις γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των φυσικών διαστάσεων της συστοιχίας και των κλίσεων του εδάφους απαρτίζοντας το παρακάτω σύστημα. Οι συμβολισμοί αναλύονται στο σχήμα 2.

}

u = γημβσ ± δ

α / u = [σταθερά διαγράμματος Monegon]

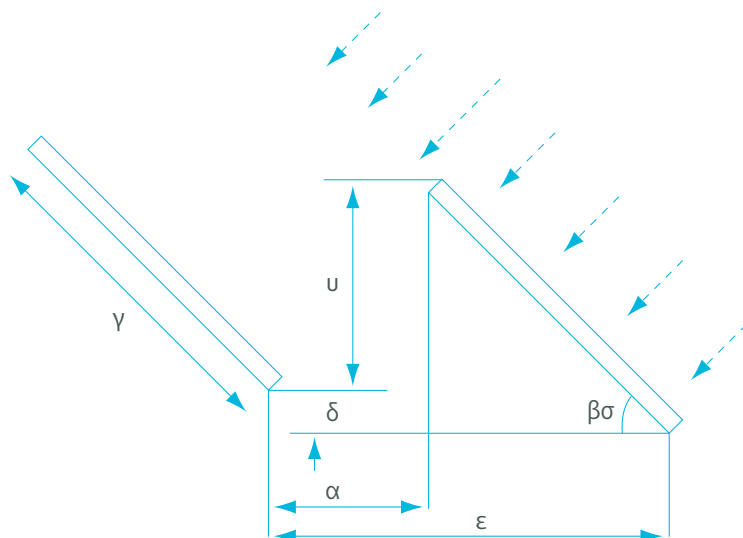
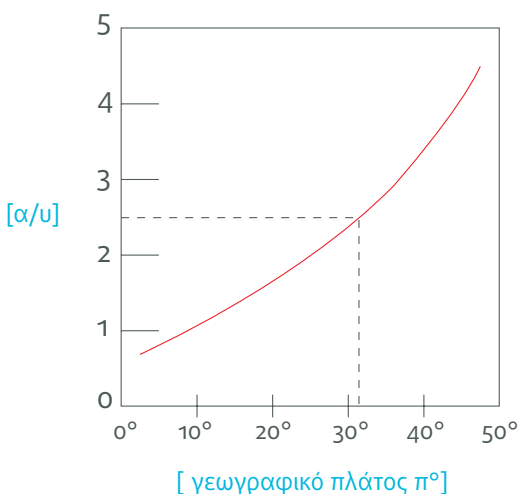
ε = α + γσυνβσ

δ = ε × κε

[το πρόσρημο γίνεται (-) όταν η κλίση του εδάφους είναι ευμενής δηλ. υπερύψωση της βορινής πλευράς και (+) όταν είναι δυσμενής δηλ. υπερύψωση της νότιας πλευράς]

Στην περίπτωση μας:
 $\gamma = 11 \times 0.526 \approx 5.80\text{m}$ [ύψος συστοιχίας]
 $\beta\sigma = 35^\circ$ [κλίση συστοιχίας ως προς τον οριζόντα]
 $\alpha/u = 2.3$ [τιμή από το διάγραμμα Monegon]
 $\text{κε} = 6\%$ [κλίση εδάφους]

Η επιφάνεια που καλύφθηκε, ανήλθε στα 1700m² και η τιμή της ελεύθερης απόστασης (α) που προκύπτει από τη λύση του συστήματος είναι α≈9,6m, ενώ το έργο υλοποιήθηκε με α= 11m. Αξιοποιώντας όλο το μήκος της έκτασης και στη διεύθυνση του άξονα Β-Ν, αυξήθηκε ο χρόνος της ηλιακής πρόσπτωσης κατά την διάρκεια της ανατολής (πρωινές ώρες) και κατά την διάρκεια της δύσης (απογευματινές ώρες). Όσον αφορά στους υπολογισμούς, πρέπει να σημειωθεί ότι οι κλίσεις του εδάφους ήταν αρκετά μεγάλες (περίπου 6%) και δυσμενείς για τον άξονα Β-Ν. Επίσης οι κλίσεις του εδάφους ήταν περίπου 10% στον άξονα Α-Δ με την υπερύψωση στην πλευρά της δύσης.



Σχήμα 2: Διάγραμμα Monegon
 [Πηγή: Καγκαράκης Κ., "Φωτοβολταϊκή τεχνολογία"]

Ο υπολογισμός των ουδέτερων ζωνών έλαβε υπόψη την δυσμενή επιρροή των κλίσεων και στους δύο άξονες, αφού η διάταξη των συστοιχιών ακολουθεί κλιμακωτά τις φυσικές κλίσεις του εδάφους (ουσιαστικά στον άξονα Δ-Α), επιτυγχάνοντας έτσι την φυσική αλλά και αισθητική αναρμόνιση του έργου στο περιβάλλοντα χώρο.

Η οριζόντιωση του πάρκου κατά την έννοια του άξονα Δ-Α κρίθηκε ασύμφορη σε σχέση με το ενεργειακό όφελος από πλευράς παράτασης της ηλιοφάνειας που θα ήταν της τάξης των 20 λεπτών ημερησίως στην καλύτερη περίπτωση (θερινό ηλιοστάσιο).

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι 21 inverters αναρτήθηκαν ένας σε κάθε νότιο στύλο της συστοιχίας, που είναι και συμμετρικά τοποθετημένοι στο νοητό μέσον των δύο string, τα οποία καταλήγουν παραλληλισμένα στην είσοδο DC του inverter. Με αυτό τον τρόπο ομοιομορφοποιείται η ροή των φορτίων DC αφενός και αφετέρου μειώνεται δραστικά το μήκος των αγωγών (διατομής 1x2,5 ΝΕΟΠΡΕΝΙΟΥ) που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα, τάσεως 16V και έντασης 4A, περίπου, από τα panels στο inverter. Κατά συνέπεια ελαχιστοποιούνται οι απώλειες. Επίσης η είσοδος DC του κάθε inverter προστατεύεται με διάταξη αυτόματης ασφάλειας και φυσιγγίου βραδείας τήξης των 6A και τα δύο. Η διάταξη με τη σειρά της προστατεύεται από στεγανό ανοιγόμενο κιτίο στον αντίστοιχο στύλο.

Η είσοδος του inverter δέχεται περίπου 22panelsx16V≈350V DC από ένα string, (επί συνόλου δύο string ανά inverter), που είναι η απαραίτητη τάση εισόδου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς εξόδου. Η τελευταία, με εναλλασσόμενη τάση 230 V, (μονοφασική η έξοδος του inverter) και αγωγούς διατομής 3x4 ΝΕΟΠΡΕΝΙΟΥ, οδηγείται με ασήμαντες απώλειες στον πίνακα (PILAR). Σ' αυτόν ασφαλιζονται και ομαδοποιούνται στις τρεις φάσεις οι έξοδοι Α.Σ. των inverters, ενώ αναχωρεί ο κεντρικός αγωγός διασύνδεσης με το δίκτυο αφού πρώτα ασφαλιζεται με ρελέ και διακόπτη. Το Ρ/Υ πάρκο υποστηρίζεται από διαγνωστικά και καταγραφικά ελέγχου κάθε inverter και άρα κάθε κυκλώματος. Το διαγνωστικό αυτό σύστημα, δέχεται σήμα μέσω τηλεφωνικού καλωδίου που συνδέει σε σειρά όλα τα inverters μέσω ειδικής θύρας του τελευταίου.

Επίσης, αντίστοιχοι αισθητήρες θα παρέχουν πληροφορίες στο διαγνωστικό σύστημα, για την ηλιοφάνεια και την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο συλλέκτη. Οι μετρήσεις αυτές σε συνδυασμό με εκείνες των inverter για το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος, θα αποτελέσουν το πιο έγκυρο και τεκμηριωμένο υλικό για την βελτίωση και εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και του τρόπου υπολογισμού τους.

Στις παρακάτω φωτογραφίες εμφανίζεται η γενική διάταξη του φωτοβολταϊκού πάρκου, καθώς και η διάταξη των κυκλωμάτων.



Φωτογραφίες 3 & 4: Γενική διάταξη Φ/Β πάρκου και κυκλωμάτων

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός ενός τεχνικού έργου από καταβολής κόσμου ήταν ένα σύνθετο, πολυπαραμετρικό πρόβλημα, με τη διαφορά ότι έγινε κοινή συνείδηση τις τελευταίες δεκαετίες του αιώνα που πέρασε. Η λύση πολλών προβλημάτων χωρίς να προϊδεάζει η μορφή τους, προκύπτει από εξισώσεις που χρησιμοποιούν ενεργειακά μεγέθη.

Βασική παράμετρος για όλα τα τεχνικά έργα υποδομής, είναι ο υπολογισμός τους σε βάθος χρόνου, για όποιο χαρακτήρα και αν έχει αυτό. Ειδικότερα για ένα έργο παραγωγής ενέργειας, οι προτεινόμενες λύσεις πρέπει να αξιολογούνται σε βάθος χρόνου και όχι στιγμιαία, γεγονός που μπορεί να παραπλανήσει την τελική επιλογή υλικών και μεγεθών.

Τέτοιας αξιολόγησης σχετικά με το αντικείμενο μας, χρήζουν π.χ. μια επένδυση σε Α.Π.Ε., η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία – ενέργεια ανά m² επιφάνειας, η παραγωγή ενέργειας. Ειδικά στα P/V συστήματα, η χρονική διάρκεια ενός έτους είναι μέγεθος αναφοράς, γιατί αποτελεί την περίοδο (T) της σχετικής κίνησης ηλίου-γης.

Πιο αναλυτικά, ένας συλλέκτης τοποθετημένος με απόλυτα νότιο προσανατολισμό και κλίση 500, είναι κατά πολύ πιο αποδοτικός από έναν δεύτερο με όμοια τοπολογία και κλίση 350 στην περίοδο του χειμερινού ηλιοστασίου και από τον Σεπτέμβριο έως τον Μάρτιο. Εάν ολοκληρώσουμε όμως τις καμπύλες χρόνου- ενέργειας των δύο περιπτώσεων και για το διάστημα ενός έτους, η προηγούμενη εικόνα ανατρέπεται, καταδεικνύοντας σαν πραγματικά αποδοτικότερη την κλίση των 350.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΧΑΝΙΑ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ (KW)	135	60	20	215
ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (ΤΕΜ) (AP75W, AP 65W)	1800	924	308	3032
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ INVERTER (KW)	125	52,5	17,5	195
ΕΚΤΑΣΗ ΠΑΡΚΟΥ (m ²)	4.000	1.700	300	6.000
ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (MWh)	246	110	37	393
ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΕΙΣ (m ³)	114	44	16	174
ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (tn)	31	10	5	46
ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (Εκ.δρχ.)	378,5	142	40	560,5

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Καγκκαράκης Κ., Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- Tomas R., Fordham M. & Partners, Photovoltaics and Architecture, London & New York
- Ledener H., Solare Stromversorgung, Grundland, Planung, Anwendung