



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ

Ελισάβετ Ρ. Γκιρίτη

Επιβλέπων : Μ.Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2015





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ελισάβετ Ρ. Γκιρίτη**

**Επιβλέπων :** Μ.Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ...../3/2015

.....  
Μ.Γ.ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....  
Ν.ΘΕΟΔΩΡΟΥ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Π.ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ  
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2015

.....  
ΕΛΙΣΑΒΕΤ.Ρ.ΓΚΙΡΙΤΗ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © .Ελισάβετ Γκιρ 2015  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση της διαδικασίας μελέτης ενός Φ/Β πάρκου των 5MWp . Οι φάσεις που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να φτάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα , είναι διακριτές και προκαθορισμένες.

Αρχικά, γίνεται η συγκέντρωση του απαραίτητου υλικού, το οποίο περιγράφει λεπτομερώς το υπό κατασκευή έργο και αναφέρεται τόσο στα τεχνικά χαρακτηριστικά του όσο και στο νομικό πλαίσιο που το συνοδεύει . Στη συνέχεια προβαίνουμε στην διαστασιολόγηση του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί και αφότου βεβαιωθούμε πως η λύση που θα ακολουθήσουμε είναι η βέλτιστη από οικονομικής και τεχνικής απόψεως, προβαίνουμε στην φάση του σχεδιασμού. Τα διάφορα προγράμματα προσομοίωσης που έχουμε στην διάθεσή μας, μας δίνουν την δυνατότητα μοντελοποίησης και εικονικής λειτουργίας της κατασκευής , προσφέροντας κατ'αυτόν τον τρόπο την ευχαίρια αποφυγής τυχόν αστοχιών και λανθασμένων εκτιμήσεων. Η παρουσίαση των μελετών γίνεται με την βοήθεια εξειδικευμένου λογισμικού, βάσει διεθνών προτύπων και συμβόλων.

Ελισάβετ Γκιρίτη,  
Αθήνα, Μάρτιος 2015

## **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ**

Εγκατάσταση Φ/β Πάρκου, Χωροθέτηση Φ/Β πάρκου, Ηλεκτρολογική μελέτη Φ/β Πάρκου, Μονογραμμικό Διάγραμμα Μέσης Τάσης, Πίνακες DC, Βήμα χωροθέτησης, Υποσταθμός Μέσης και Χαμηλής Τάσης, Μέσα Προστασίας Φ/Β Πάρκου

## **ABSTRACT**

The scope of the present thesis is the presentation of the procedure that has to take place before the construction of a PV park with an export capacity of 5MWp. The stages that are usually followed in order to reach the final result are default.

The first phase of the study includes the concentration of the appropriate documentation which describes in detail the project under construction and refers to both technical characteristics and legal framework accompanying it. The next step to be taken is the sizing of the equipment that is to be installed, while evaluating all plausible alternatives that could lead to the optimal solution. Subsequently, we draftly design the PV plant and via the simulation software that we have in our disposal, enable modeling and virtual operating structure, thereby avoiding any failures and incorrect assessments. The presentation of the studies is done with the help of specialized software, based on international patterns and symbols.

Elissavet Gkiriti,  
Athens, March 2015

## **KEYWORDS**

PV plant installation, stringbox location, PV plant electrical study, MV Single Line Diagram, Combiner Box, Pitch, MV & LV Production Station, PV plant protection devises

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την περάτωση της παρούσας εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω σε πρώτη φάση την κα. Μ.Π.Ιωαννίδου η οποία μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο, δείχνοντας προθυμία και εμπιστοσύνη από την πρώτη στιγμή.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συνεργάτες μου από την Biosar S.A, οι οποίοι ήταν πάντα πρόθυμοι να λύσουν την κάθε μου απορία, να με καθοδηγήσουν και να διευκολύνουν το έργο μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς και τους φίλους μου για την αδιάλειπτη παρουσία τους, την υπομονή, την υποστήριξη και την κατανόηση που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια στο δύσκολο έργο που επέλεξα να ακολουθήσω.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Ο ΗΛΙΟΣ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΓΩΝΙΩΝ</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ</b> .....	<b>15</b>
<b>1.5 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ</b> .....	<b>17</b>
1.5.1 ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟ.....	17
1.5.2 ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΣ .....	18
1.5.3 ΠΥΡΗΛΙΟΜΕΤΡΟ .....	19
1.5.4 ΑΚΤΙΝΟΜΕΤΡΟ .....	19
1.5.5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟ CAMPBELL-STOKES.....	19
<b>1.6 ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ</b> .....	<b>20</b>
<b>1.7 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ</b> .....	<b>21</b>
<b>1.8 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ Φ/Β ΚΕΛΙΟΥ</b> .....	<b>23</b>
<b>1.9 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ Φ/Β</b> .....	<b>25</b>
1.9.1 ΈΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΚΙΑΣΗΣ.....	25
1.9.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ Φ/Β ΚΥΨΕΛΗΣ.....	27
1.9.3 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	29
1.9.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	29
1.9.5 ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ .....	29
1.9.6 ΔΙΟΔΟΣ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ .....	30
<b>1.10 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗ ΠΑΝΕΛΩΝ</b> .....	<b>30</b>
<b>1.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b> .....	<b>31</b>
1.11.1 ΈΚΔΟΣΗ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	31
1.11.2 ΆΔΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ .....	32
1.11.3 ΆΔΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	33
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2Ο : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΚΟΥ</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ</b> .....	<b>34</b>
2.1.1 ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ .....	35
2.1.2 ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ .....	35
2.1.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ (THIN-FILM) .....	35
2.1.4 ΆΛΛΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΕΛΙΩΝ.....	36
<b>2.2 ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ</b> .....	<b>37</b>
2.2.1 ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ .....	37
2.2.1.1 ΠΑΣΣΑΛΟΜΠΗΞΗ .....	37
2.2.1.2 ΒΙΔΩΤΑ ΘΕΜΕΛΙΑ .....	38
2.2.1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΜΠΕΤΟΝ.....	39
2.2.1.4 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΟΡΘΟΣΤΑΤΕΣ.....	39
2.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ.....	40
<b>2.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ / INVERTER</b> .....	<b>41</b>
<b>2.4 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ</b> .....	<b>42</b>
<b>2.5 ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b> .....	<b>44</b>
2.5.1 ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ .....	45
2.5.2 ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ ΤΗΝΗΣ .....	46
2.5.3 ΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ .....	46
2.5.4 ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	48
2.5.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΣΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....	49



2.5.6	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ.....	50
<b>2.6</b>	<b>ΓΕΙΩΣΗ.....</b>	<b>51</b>
2.6.1	ΓΕΙΩΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	52
2.6.2	ΓΕΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	52
2.6.3	ΘΕΜΕΛΙΑΚΗ ΓΕΙΩΣΗ.....	52
2.6.4	ΤΡΙΓΩΝΟ ΓΕΙΩΣΗΣ.....	53
<b>2.7</b>	<b>ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....</b>	<b>54</b>
2.7.1	ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ.....	54
2.7.1.1	ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	55
2.7.1.2	ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΘΟΔΟΥ.....	56
2.7.2	ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ.....	57
2.7.2.1	ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ.....	57
<b>2.8</b>	<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>58</b>
<b>2.9</b>	<b>ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ.....</b>	<b>58</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3Ο : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΚΟΥ.....</b>		<b>61</b>
<b>3.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ ΠΑΡΚΟΥ.....</b>	<b>61</b>
<b>3.3</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ.....</b>	<b>61</b>
<b>3.4</b>	<b>ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>63</b>
3.4.1	ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΑΝΕΛΩΝ.....	63
3.4.2	ΔΙΑΤΑΞΗ STRINGBOX.....	64
3.4.3	ΚΛΙΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	64
3.4.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ (PITCH).....	65
<b>3.5</b>	<b>ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ.....</b>	<b>66</b>
<b>3.6</b>	<b>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ PVSYSYΤ.....</b>	<b>68</b>
<b>3.7</b>	<b>ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....</b>	<b>69</b>
3.7.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΓΩΓΩΝ.....	69
3.7.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ.....	70
3.7.3	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ.....	70
3.7.4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	70
3.7.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	71
3.7.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑC ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	71
<b>3.8</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΙΩΣΕΩΝ.....</b>	<b>73</b>
<b>3.9</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>73</b>
<b>3.10</b>	<b>ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....</b>	<b>74</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4Ο : ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....</b>		<b>75</b>
<b>4.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>75</b>
<b>4.2</b>	<b>ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3</b>	<b>ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ.....</b>	<b>78</b>
<b>4.4</b>	<b>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ PVSYSYΤ.....</b>	<b>83</b>
<b>4.5</b>	<b>ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....</b>	<b>89</b>
4.5.1	DC ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ.....	89
4.5.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ.....	95
4.5.2.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ.....	95
4.5.2.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	97
4.5.3	MV ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ.....	98
4.5.4	ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	101

4.6	ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΗΜΑΤΩΝ .....	103
4.7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	105

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 1.1 Ο ΗΛΙΟΣ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο ήλιος είναι η πηγή της ζωής στον πλανήτη μας και αποτελεί είτε άμεσα είτε έμμεσα το απαραίτητο «καύσιμο» για τα περισσότερα συστήματα εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πολύ μικρά ποσά προέρχονται από τα άστρα, το εσωτερικό της γης και από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Για κάθε 100 μονάδες ενέργειας που παρέχονται στην ατμόσφαιρα, τα άστρα συνεισφέρουν  $10^{-5}$  μονάδες, το εσωτερικό της γης 0,005, οι ανθρώπινες δραστηριότητες 0,01 μονάδες και το υπόλοιπο ο ήλιος.

Ο ήλιος είναι μια αεριώδης σφαίρα διαμέτρου  $1,42 \times 10^6$  km και θερμοκρασίας 6000 K στην επιφάνειά του. Αποτελείται από υδρογόνο περίπου 80%, ήλιο 20% και μόνο 0,1% από άλλα στοιχεία. Σαν άστρο καθαυτό, δεν παρουσιάζει καμία μοναδικότητα, αφού μεταξύ των δισεκατομμυρίων άστρων του γαλαξία μας έχει μια μέση αστρική μάζα και μέγεθος, ενώ ο γαλαξίας μας είναι ένας μεταξύ εκατομμυρίων παρομοίων γαλαξιών. Όμως ο ήλιος είναι μοναδικός για τον πλανήτη Γη, αφού είναι το πλησιέστερο άστρο προς αυτή ( $150 \times 10^6$  km). Ο επόμενος "ήλιος" είναι  $3 \times 10^5$  φορές μακρύτερα.

Η θερμοκρασία του ηλίου αυξάνεται προς τα βαθύτερα στρώματά του, παίρνοντας τις ψηλές τιμές που απαιτούνται για τη διατήρηση των πυρηνικών αντιδράσεων που τον ενεργοποιούν. Πηγή της ηλιακής ενέργειας πιστεύεται ότι είναι η σύντηξη τεσσάρων ατόμων υδρογόνου, από την οποία σχηματίζεται ένα άτομο ηλίου ( $4H \rightarrow He + E$ ). Η μικρή ελάττωση μάζας που λαμβάνει χώρα κατά την αντίδραση, μετατρέπεται σε ενέργεια, η οποία μεταφέρεται ακτινοβολικά μέσω ισχυρών ρευμάτων μεταφοράς από το εσωτερικό του ήλιου στην επιφάνεια, απ' όπου και εκπέμπεται ως ηλεκτρομαγνητική και σωματιδιακή ακτινοβολία, στο διάστημα. Η εκπομπή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου ομοιόμορφη προς όλες τις κατευθύνσεις. Κάθε τετραγωνικό εκατοστό της ηλιακής επιφάνειας εκπέμπει κατά μέσο όρο  $\sim 6,2$  kW. Η γη ωστόσο συλλέγει μόνο ένα μικρό κλάσμα αυτής της ενέργειας.

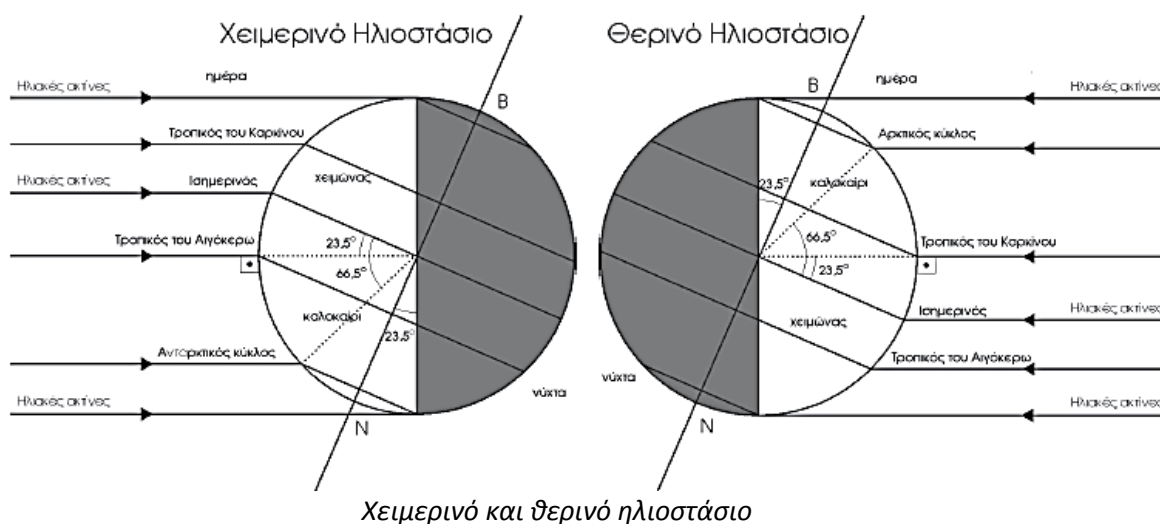
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από τον ήλιο, διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός ( $c = 2,998 \times 10^8$  m/s), έτσι ώστε η ακτινοβολία αυτή να διανύει την απόσταση ηλίου-γης σε περίπου 8,3 λεπτά. Η ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία έχει μήκη κύματος από  $10^{-14}$  έως  $10^{10}$  m, τα οποία αντιστοιχούν σε συχνότητες από  $10^{22}$  Hz ως  $10^{-2}$  Hz. Το σύνολο των μηκών κύματος συνιστούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε διάφορες ζώνες (bands) κυμάτων. Το μέρος του ηλιακού φάσματος που ενδιαφέρει τη μελέτη της ατμόσφαιρας εκτείνεται από  $10^{-2}$  μm έως  $10^2$  μm, δηλαδή από το υπεριώδες μέχρι και το υπέρυθρο. Σημειώστε ότι από το σύνολο της ΗΜ ενέργειας που εκπέμπει ο ήλιος, περίπου 50% εμπίπτει στο υπέρυθρο, 40% στην περιοχή του ορατού και 10% με  $\lambda < 0,4$  μm στο υπεριώδες. Το υπεριώδες μέρος του φάσματος για  $\lambda < 0,3$  μm, αποτελεί την κυριότερη πηγή ενέργειας για την ατμόσφαιρα πάνω από το 10 km. ([3],[9])

## 1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

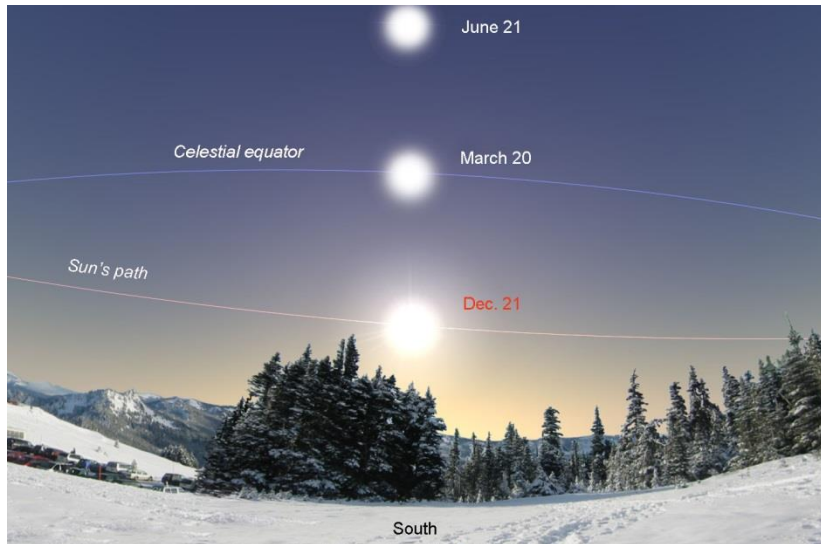
Η Ηλιακή Γεωμετρία αναφέρεται στη μελέτη της θέσης του Ήλιου σε σχέση με δεδομένο σημείο, κατά ορισμένο χρονικό διάστημα. Η μελέτη αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ποικίλα θέματα που σχετίζονται με την ηλιοπροστασία, την ερμηνεία κλιματικών συνθηκών, τον υπολογισμό της ηλιακής πρόσπτωσης κ.ο.κ

Η Ηλιακή Γεωμετρία συνδέεται με τις δύο κύριες κινήσεις της γης, την ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονα Βορρά-Νότου και την ετήσια γύρω από τον ήλιο. Το επίπεδο της τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο σχηματίζει με το επίπεδο του ισημερινού του ηλίου γωνία  $23^{\circ} 45'$ . Αυτή η απόκλιση έχει σαν αποτέλεσμα οι ακτίνες του ηλίου να μη φτάνουν σε ένα δεδομένο σημείο της γης με την ίδια γωνία κατά τη διάρκεια ενός έτους. Στο ψηλότερο σημείο της τροχιάς της, η γη δέχεται στο βόρειο ημισφαίριο τις ακτίνες του ήλιου με τη μεγαλύτερη κλίση ενώ στο νότιο ημισφαίριο είναι κάθετες. Στη θέση αυτή έχουμε χειμερινό ηλιοστάσιο το οποίο συμβαίνει στις 21 Δεκεμβρίου. Αντίθετα, στις 21 Ιουνίου - θερινό ηλιοστάσιο - το βόρειο ημισφαίριο δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία κάθετα



Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε κάποιο επίπεδο εξαρτάται κυρίως από τη γωνία μεταξύ των ακτίνων και του επιπέδου. Η γωνία αυτή μεταβάλλεται στη διάρκεια της ημέρας. Για οριζόντιο επίπεδο είναι μηδέν κατά την ανατολή και τη δύση. Κατά το «ηλιακό μεσημέρι» παρουσιάζεται η μέγιστη ημερήσια τιμή της, η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και την ημερομηνία.

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο ηλιασμός ενός κτηρίου ή ενός οικοπέδου, υιοθετείται η παραδοχή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, δηλαδή θεωρείται ότι η γη παραμένει σταθερή, ενώ ο ήλιος κινείται. Αυτή η παραδοχή διευκολύνει στη γεωμετρική απεικόνιση των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, οι οποίες ακολουθούν μια μεγάλη συνεχή σπείρα. Οι φαινόμενες τροχιές του ήλιου ταυτίζονται ανά δύο μήνες εκτός του Δεκεμβρίου και του Ιουνίου. Ο μήνας Δεκέμβριος έχει τη χαμηλότερη τροχιά, ενώ ο Ιούνιος την υψηλότερη. ([4],[10])

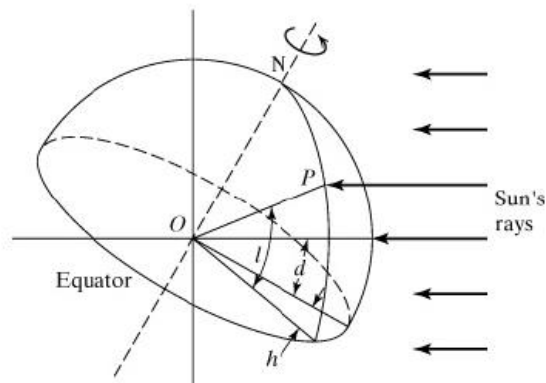


Φαινόμενες τροχιές Ηλίου

### 1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΓΩΝΙΩΝ

Η θέση του σημείου P επί της επιφανείας της γης, σε σχέση με τις ακτίνες του ήλιου, είναι γνωστή ανά πάσα στιγμή εάν για το συγκεκριμένο σημείο γνωρίζουμε :

- Το γεωγραφικό πλάτος L
- Την ωριαία γωνία h
- Την γωνία αποκλεισμού δ



Ηλιακές γωνίες

Ως *γεωγραφικό πλάτος L* (Latitude) ορίζουμε την γωνιακή απόσταση του σημείου P βόρεια ή νότια του ισημερινού. Είναι δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της γραμμής OP και της προβολής του στο επίπεδο του ισημερινού. Το σημείο O αντιπροσωπεύει το κέντρο της Γης. Βάσει σύμβασης, θεωρούμε τα βόρεια γεωγραφικά πλάτη θετικά και νότια αρνητικά προσημασμένα.

Η *ωριαία γωνία h*, είναι η γωνία που μετράται στο επίπεδο του ισημερινού της γης μεταξύ της προβολής της OP και της προβολής της νοητής ευθείας που ενώνει το κέντρο της Γης με το κέντρο του Ηλίου. Η ωρική γωνία εκφράζει την ώρα της ημέρας σε σχέση με το ηλιακό μεσημέρι. Μια ώρα της ημέρας αντιστοιχεί σε  $360 \div 24 = 15^\circ$  ωρικής γωνίας. Ως μέρος της σύμβασης, η ώρα αυτή είναι αρνητική πριν το ηλιακό μεσημέρι και θετική μετά το ηλιακό μεσημέρι.

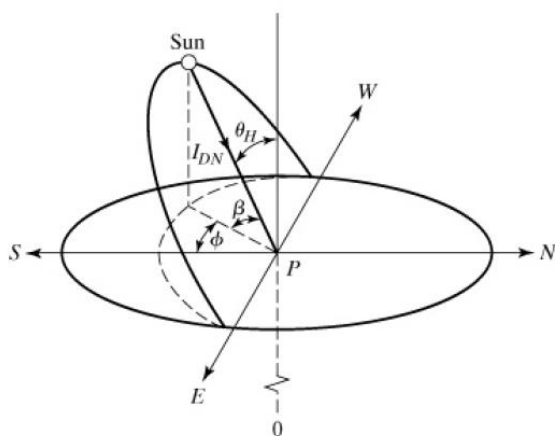
Γωνία απόκλισης του ηλίου  $\delta$ , είναι η γωνιακή απόσταση των ακτίνων του ηλίου βόρεια ή νότια του ισημερινού. Η απόκλιση είναι θετική όταν οι ακτίνες του ήλιου είναι βόρεια του ισημερινού και αρνητική όταν είναι νότια. Κατά τη διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου, οι ακτίνες του ήλιου είναι 23,5 μοίρες βόρεια του ισημερινού της Γης. Κατά τις ισημερίες, η απόκλιση του ήλιου είναι μηδέν. Η γωνία απόκλισης  $\delta$  μπορεί να υπολογιστεί από την συνάρτηση :

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + n) \right] \text{ (σε μοίρες)}$$

όπου  $n$  είναι η μέρα του ημερολογιακού έτους. Ο όρος 284 αποδίδει τον αριθμό των ημερών που πρέπει να προέλθουν μετά την έναρξη του αστρονομικού έτους, ώστε η θέση του Ηλίου να αντιστοιχεί στην εαρινή ισημερία.

Εκτός από τις τρεις βασικές γωνίες που αναφέραμε, σημαντικές για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας είναι επίσης :

- Το *αζιμούθιο* : Είναι η γωνία της οριζόντιας προβολής της ακτίνας και της διεύθυνσης που λαμβάνεται ως αφετηρία. Μετράται στο οριζόντιο επίπεδο δεξιόστροφα, με αφετηρία τον Βορρά ή τον Νότο, ανάλογα με την επιλεγμένη σύμβαση.
- Το *ύψος* : Είναι η γωνία μεταξύ μιας ακτίνας και της οριζόντιας προβολής της. Τα σημεία του ορίζοντα έχουν υψόμετρο  $0^\circ$ , ενώ το υψόμετρο του zenίθ είναι  $90^\circ$ .



Ηλιακές γωνίες

$$\cos\theta_H = \cos L \cdot \cos h \cdot \cos\delta + \sin L \cdot \sin\delta \xleftrightarrow{\beta=90-\theta_H} \sin\beta = \cos L \cdot \cos h \cdot \cos\delta + \sin L \cdot \sin\delta$$

Το αζιμούθιο  $\phi$  δίνεται από την σχέση :

$$\cos\phi = \frac{1}{\cos\beta} (\cos\delta \cdot \sin L \cdot \cos h - \sin\delta \cdot \cos L) \text{ (σε μοίρες)}$$

$\beta$  : Η γωνία για το ύψος του ήλιου στη συγκεκριμένη περιοχή και ώρα

$\delta$  : Η ηλιακή απόκλιση της συγκεκριμένης ημερολογιακής ημέρας

$L$  : Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής

$h$  : Ηλιακή ωριαία γωνία

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να γίνουν σε όρους ηλιακής ώρας. Η ηλιακή ώρα έχει ως αναφορά τον ήλιο και δεν ταυτίζεται με την τοπική ώρα. Ο τύπος υπολογισμού της είναι :

$$LST = CT + \left(\frac{1}{15}\right)(L_{std} - L_{loc}) + E - DT$$

$LST$  : Local Solar Time (hr) – Τοπική ηλιακή ώρα για δεδομένη ημέρα , σε συγκεκριμένη ηλιακή θέση

$CT$  : Clock Time (hr) – Τοπική ώρα

$L_{std}$  : Ο κεντρικός μεσημβρινός για την ώρα τοπικής ζώνης

$L_{loc}$  : Το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας όπου προσδιορίζεται η ώρα

$E$  : Εξίσωση χρόνου

$DT$ : Daylight Savings Time correction – Διόρθωση θερινής ώρας (  $DT = 0$  για θερινή ώρα )

$$L_{ST} = 15^\circ/h \cdot \Delta T_{GMT}$$

$L_{ST}$  : Ο μεσημβρινός αναφοράς για τον καθορισμό της τοπικής ώρας

$\Delta T_{GMT}$  : Η διαφορά μεταξύ ώρας Greenwich και της τοπικής ώρας

$15^\circ/h$  : =  $360^\circ/24$  ώρες

Εξίσωση χρόνου :

$$E = 0,165 \cdot \sin(2B) - 0,126 \cdot \cos B - 0,025 \cdot \sin B$$

Το  $B$  είναι η γωνία ημέρας και ισούται με :

$$B = \frac{360(n - 81)}{364}$$

όπου  $n$  είναι η μέρα του ημερολογιακού έτους

([1],[7],[11])

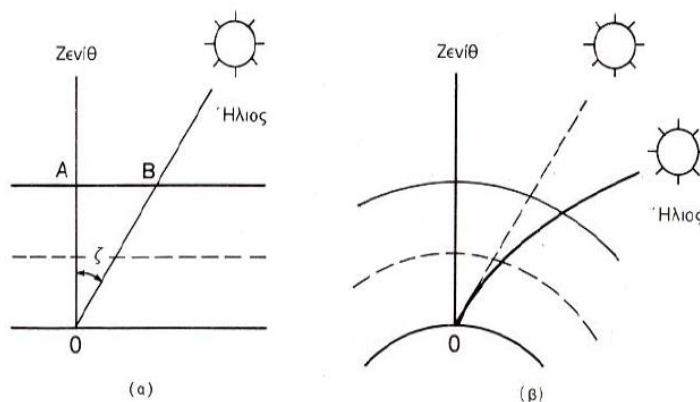
#### 1.4 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Πέρα από τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο, η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες, και κυρίως τη θέση του ήλιου στον ουρανό και την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Η ενέργεια αυτή παρουσιάζει μια μεγάλη χρονική διακύμανση μεταξύ μιας μέγιστης τιμής κατά τη διάρκεια των ευνοϊκότερων συνθηκών της ημέρας και της μηδενικής τιμής που αποκτά τη νύχτα. Επιπλέον υπάρχει μια σημαντική διακύμανση ανάλογα με την εποχή του χρόνου, όπως και ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Στον ισημερινό είναι τριπλάσια από ότι στις βορειότερες χώρες, στη βόρεια Ευρώπη το χειμώνα είναι το 1/10 του καλοκαιριού, ενώ στον ισημερινό διαφέρει κατά ένα λόγο 2. Επίσης υπάρχει διακύμανση και στη σχέση της έμμεσης προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία π.χ. στη Μεγάλη Βρετανία το χειμώνα η έμμεση είναι το 85 % της ολικής ακτινοβολίας.

Κατά τη δίοδο της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, ένα μέρος ανακλάται στο διάστημα ή απορροφάται, ένα μέρος διαχέεται και χαρακτηρίζεται σαν διάχυτη ακτινοβολία, ενώ το υπόλοιπο χαρακτηρίζεται σαν άμεση ακτινοβολία. Το άθροισμα των δύο (διάχυτης και άμεσης) χαρακτηρίζεται ως ολική ακτινοβολία.

Για πραγματικές εφαρμογές είναι συχνά απαραίτητη η εκτίμηση του ποσού της ακτινοβολίας που δέχονται κεκλιμένες ή σύνθετης μορφής επιφάνειες και είναι χρήσιμο να ερευνηθούν οι σχέσεις που επιτρέπουν την εξαγωγή συγκεκριμένων πληροφοριών από ορισμένα γνωστά βασικά μεγέθη. Για παράδειγμα, δεδομένα για ακτινοβολία συχνά υπάρχουν μόνο για οριζόντια επίπεδα και επομένως χρειάζεται μια σχέση που να προβλέπει τη ροή της ακτινοβολίας σε μια κεκλιμένη επιφάνεια.

Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα μέχρι τη στάθμη της θάλασσας, που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου, χαρακτηρίζεται από μια κλίμακα μάζας αέρα AM (air mass) βαθμολογημένης με την τέμνουσα ( το αντίστροφο του συνημίτονου) της ζενιθιακής απόστασης . Δηλαδή, η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει ουσιαστικά πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της.



*Η εξάρτηση της κλίμακας μάζας αέρα (AM) από τη θέση του ήλιου. (α) Απλοποιημένη απεικόνιση, με την ατμόσφαιρα να έχει επίπεδη ανάπτυξη σε άπειρη έκταση. Εξ ορισμού είναι  $AM = OB/OA = 1/\cos\zeta$ . (β) Η πραγματική διαμόρφωση της γήινης ατμόσφαιρας, με τα στρώματά της να ορίζονται από σφαιρικές επιφάνειες, και η αντίστοιχη ατμοσφαιρική διάθλαση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της μέσα από τα στρώματα αυτά.*

Συγκεκριμένα, ως AM1 συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως AM1,5 συμβολίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία 45° από το ζενίθ, ως AM2 με τον ήλιο σε γωνία 60° κ.λ.π. Το μηδέν της κλίμακας (AM0) συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από τον ήλιο. Επειδή η απόσταση γης από τον ήλιο μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια ενός χρόνου, η ηλιακή ακτινοβολία εκτός της γήινης ατμόσφαιρας επίσης μεταβάλλεται μεταξύ  $1325 \text{ W/m}^2$  και  $1420 \text{ W/m}^2$ . Η μέση ετήσια τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι γνωστή ως Ηλιακή Σταθερά και είναι ίση με  $1367 \pm 2 \text{ W/m}^2$ . Η σταθερά S είναι η μέση ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει κάθετα ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου, στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας. Η απορρόφηση που πραγματοποιεί η ατμόσφαιρα στην ηλιακή ακτινοβολία μειώνει προφανώς την έντασή της όταν φθάνει στη γη. Η απορρόφηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια ή σύννεφα τα οποία απορροφούν ενέργεια, σε αντίθεση με τα



κύρια αέρια της ατμόσφαιρας που δεν την απορροφούν. Έτσι η ηλιακή σταθερά φθάνει στο επίπεδο της γης και την τιμή  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Από τα παραπάνω είναι αυτονόητο, ότι για συγκεκριμένο τόπο πάνω στη γη, η ετήσια ακτινοβολία είναι συνάρτηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής και φυσικά της γεωγραφικής θέσης του τόπου.

Τιμή μάζας αέρα	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς $\text{W/m}^2$	Μέση ενέργεια φωτονίων (eV)
AM0	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα	1350	1,48
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	1060	1,32
AM2	Απόσταση του ήλιου 60ο από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	880	1,38
AM3	Απόσταση του ήλιου 70,5ο από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	750	1,21

Ο άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας της διαμόρφωσης των μετεωρολογικών συνθηκών, δηλαδή η ατμοσφαιρική υγρασία, χαρακτηρίζεται από το ύψος  $w$  της στήλης του νερού (μετρημένης σε cm), που σχηματίζεται από την υποθετική συμπύκνωση του συνόλου των υδρατμών της ατμόσφαιρας, στον συγκεκριμένο τόπο και χρόνο. ([1],[2])

## 1.5 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται πολλά όργανα και αισθητήρες με διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας. Η τυπική λειτουργία μιας διάταξης που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της ακτινοβολίας με αισθητήρα ροής θερμότητας λειτουργεί ως εξής :

Το υλικό απορρόφησης δέχεται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπει σε θερμική ενέργεια. Η παραγόμενη θερμότητα ρέει προσανατολισμένα προς μια προκείμενη δεξαμαμενή θερμότητας προκειμένου να αποθηκευτεί. Η ροή θερμότητας διέρχεται δια μέσου του αισθητήρα ροής θερμότητας όπου καταγράφεται με την παραγωγή ηλεκτρικού σήματος. Το πλεονέκτημα των αισθητήρων αυτών συνίσταται στο γεγονός ότι μπορούν να καταγράψουν όλο το εύρος συχνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα βασικά όργανα μέτρησης που διαθέτουμε είναι :

- Το πυρανόμετρο
- Η φωτοδίοδος
- Το πυρηλιόμετρο
- Το ακτινόμετρο
- Το καταγραφικό Campbell-Stokes

### 1.5.1 Πυρανόμετρο

Μετρά την συνολική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένας τόπος , δηλαδή συνεκτιμά τον συνδυασμό της άμεσης και της διάχυτης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο αισθητήρας του πυρανόμετρου είναι μια επίπεδη θερμοστήλη που είναι καλυμμένη από

ειδικό μαύρο επίχρισμα με απορροφητική ικανότητα ανεξάρτητη του μήκους κύματος. Η απόκριση του οργάνου είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Το πυρανόμετρο του Angstrom αποτελείται από τέσσερις ταινίες μαγγανίου, από τις οποίες οι δυο είναι μαυρισμένες με πλατινούχο ουσία και οι άλλες δυο είναι επιστρωμένες με οξείδιο του μαγνησίου ή οξείδιο του ψευδαργύρου. Οι δυο τελευταίες ταινίες θερμαίνονται, ώσπου η διαφορά θερμοκρασίας να εξισωθεί με την θερμοκρασία των μαυρισμένων ταινιών. Η μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας γίνεται με θερμοστοιχεία.



*Πυρανόμετρο*

Τα σύγχρονα πυρανόμετρα αποτελούνται από δύο ομόκεντρους γυάλινους θόλους και στο εσωτερικό τους υπάρχει μία μαύρη επιφάνεια με κεραμικό υπόστρωμα κάτω από την οποία υπάρχουν εκατοντάδες θερμοστοιχεία. Το σήμα του πυρανομέτρου είναι της τάξης mV και οδηγείται σε κατάλληλη συσκευή μέτρησης η οποία ταυτόχρονα κάνει και ολοκλήρωση του σήματος. Τα όργανα αυτά λέγονται ηλιακοί ολοκληρωτές (Solar integrators).

Προκειμένου να γίνει μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας τα πυρανόμετρα εφοδιάζονται και με ένα δαχτυλίδι το οποίο τοποθετείται στην διεύθυνση του ήλιου για όλο το γεωγραφικό πλάτος των  $0^{\circ}$ -  $90^{\circ}$  Βορά και Νότου έτσι ώστε να σκιάζεται ο γυάλινος θόλος συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σκοπός του δαχτυλιδιού είναι να συλλάβει την απ' ευθείας ακτινοβολία του ήλιου κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας χωρίς επαναρίθμηση. Επίσης κάθε λίγες ημέρες η θέση του δαχτυλιδιού πρέπει να επαναπροσαρμόζεται στην κλίση του ήλιου.

### **1.5.2 Φωτοδίοδος**

Είναι μια σχετικά φθηνή διάταξη που χρησιμεύει στη μέτρηση της συνολικής ακτινοβολίας. Οι βασικές διαφορές του πυρανόμετρου και της φωτοδιόδου συνίσταται στον χρόνο απόκρισης, ο οποίος για τα πυρανόμετρα που λειτουργούν με thermopiles ανέρχεται στα 20 - 30s, ενώ στις φωτοδιόδους μπορεί να είναι της τάξης των ms. Η άλλη βασική διαφορά είναι ότι τα πυρανόμετρα που βασίζονται στην λειτουργία τους στους θερμικούς αισθητήρες έχουν μικρή θερμοκρασιακή εξάρτηση σε αντίθεση με τις διατάξεις των ηλιακών στοιχείων που έχουν βαθμονομηθεί για συνθήκες STC και εμφανίζουν έντονη θερμοκρασιακή εξάρτηση. Επιπλέον, καταγράφουν ένα τμήμα μόνο του ηλιακού φάσματος.

### 1.5.3 Πυρηλιόμετρο

Αποτελεί πρότυπο όργανο για την καταγραφή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Τα χαρακτηριστικά του οργάνου είναι το επίμηκες σχήμα του, η τοποθέτησή του πάνω σε σύστημα ιχνηλάτησης ώστε να στρέφεται πάντα προς τον ήλιο ενώ συγχρόνως υπάρχει προστατευτικό κάλυμμα στην είσοδο που μειώνει την στερεά γωνία εισόδου ώστε να μην εποδρά η διάχυση και η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία.

### 1.5.4 Ακτινόμετρο

Συνιστά όργανο της μερεωρολογίας που καταγράφει τη θερμική ισχύ η οποία προέρχεται από την ακτινοβολία της άμεσης διάχυσης και χρησιμοποιείται κατ'αντιστοιχία με τα πυρηλιόμετρα. Κατασκευάστηκε το 1880 από τον S.P.Langley. Το όνομα του Langley πήρε και η μονάδα έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας :

$$1\text{Lan} = 1\text{Cal}/\text{cm}^2 = 4,1868 \text{ Joule}/\text{cm}^2$$

Ο τρόπος λειτουργίας του ακτινομέτρου βασίζεται στο σχηματισμό γέφυρας Wheatstone από δυο λεπτές ταινίες πλατίνας που έχουν μαυριστεί ηλεκτρολυτικά. Η μια ταινία προστατεύεται από την ηλιακή ακτινοβολία και η άλλη εκτίθεται σ' αυτή. Η ακτινοβολία προκαλεί στη δεύτερη ταινία άνοδο της θερμοκρασίας της και αύξηση της ηλεκτρικής της αντίστασης. Για να μετρηθεί η ενέργεια ακτινοβολίας που δέχεται το ακτινόμετρο, διοχετεύεται ρεύμα μέσα από την ταινία που δεν δέχεται ακτινοβολία και θεωρείται σαν ταινία αναφοράς, ώσπου εκείνη να δείξει την ίδια απόκλιση, όπως η ταινία που ακτινοβολείται. Η ένταση αυτού του βοηθητικού ρεύματος μετράται από ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο. Η καταγραφή του ακτινομέτρου αποτελεί το ακτινόγραμμα που δείχνει την ένταση της ακτινοβολίας σε συνάρτηση με την ώρα της ημέρας, δηλαδή δεδομένα μετρήσεων που αντιστοιχούν στις διάφορες θέσεις του ήλιου. Καταγράφεται πάντα η ίδια επιφάνεια της γης. Οι συντεταγμένες των καμπύλων που αντιστοιχούν σε κάθε μέτρηση, καθορίζουν το ποσό της ηλιακής ενέργειας, που απορροφάται από τη γήινη ατμόσφαιρα. Στα πιο σύγχρονα όργανα μέτρησης αυτού του είδους χρησιμοποιούνται, αντί των φύλλων πλατίνας, λεπτά στρώματα ημιαγωγών, μίγματα οξειδίων του νιοβίου, του μαγγανίου και του κοβαλτίου ή υπεραγωγοί, όπως το νιτρικό νιόβιο.

### 1.5.5 Καταγραφικό Campbell-Stokes

Προσδιορίζει τις ώρες ηλιοφάνειας χρησιμοποιώντας θερμογραφική αποτύπωση της άμεσης δέσμης. Λόγω της απλότητάς του αποτελεί το πλέον διαδεδομένο όργανο για την καταγραφή των ωρών της ηλιοφάνειας και μέχρι σήμερα έχουν προκύψει ελάχιστες σχεδιαστικές τροποποιήσεις. ([1],[11])



Καταγραφικό Campbell-Stokes

## 1.6 ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ

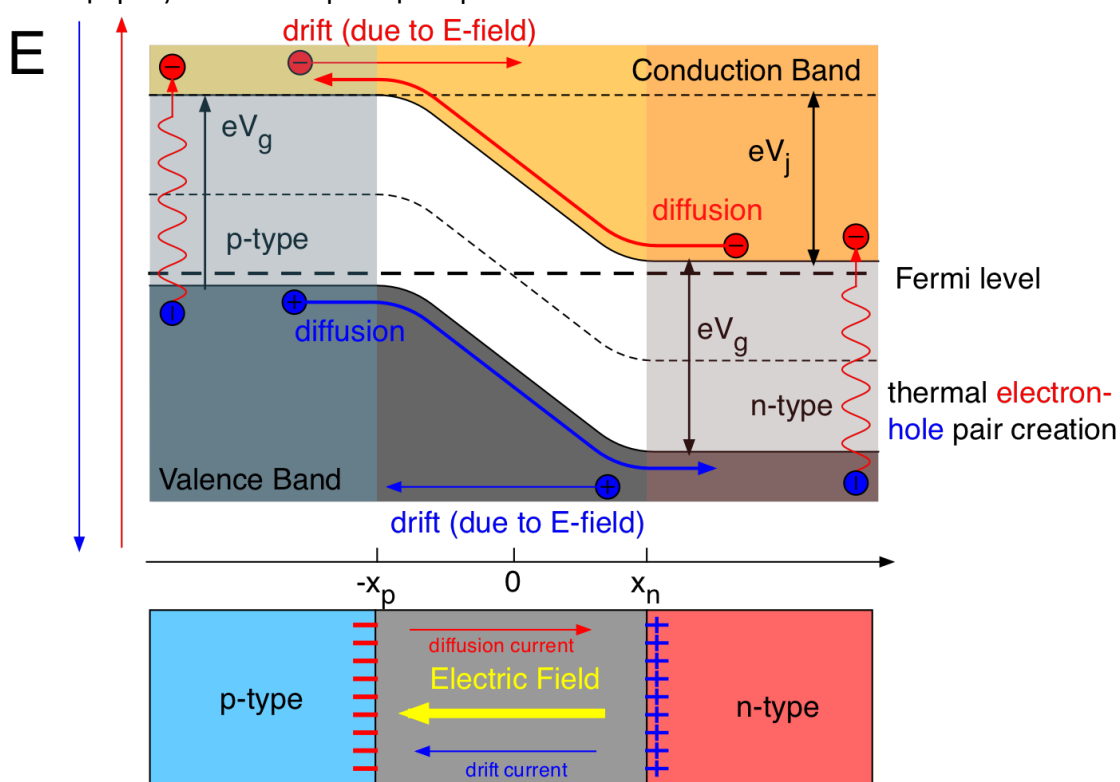
Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια τριών κυρίως διαδικασιών: της *θερμοηλεκτρικής*, της *θερμιονικής* και της *φωτοβολταϊκής μετατροπής*. Οι διαδικασίες αυτές χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της άμεσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς τη μεσολάβηση ενδιάμεσων σταδίων και θερμοδυναμικών κύκλων ή κινούμενων μερών.

- Η πρώτη βασίζεται στο *θερμοηλεκτρικό φαινόμενο* και συγκεκριμένα στη θέρμανση από την ηλιακή ακτινοβολία μιας μεταλλικής πλάκας που είναι συγκολλημένη σε δύο ηλεκτρόδια από διαφορετικά θερμοηλεκτρικά υλικά. Στα ψυχρά άκρα των ηλεκτροδίων αναπτύσσεται τάση, συνήθως λίγων δεκάτων του Volt, που εξαρτάται από το υλικό των ηλεκτροδίων και από τη διαφορά της θερμοκρασίας του, ως προς τη μεταλλική πλάκα. Η πιο χαμηλή θερμοκρασία που μπορεί να λειτουργήσει στην πράξη ένα τέτοιο σύστημα, είναι η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με έναν απλό ηλιακό συλλέκτη χωρίς πολλαπλασιασμό, όπου σαν υποπροϊόν μπορεί να παραχθεί από το συλλέκτη, ζεστό νερό θερμοκρασίας 50 - 60°C. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται απόδοση περίπου 1 %. Για τη λειτουργία αυτού του τελευταίου θερμοηλεκτρικού ζεύγους, το πιο κατάλληλο ζεύγος είναι το κράμα βισμούθιου - αντιμονίου και ο αντιμονιούχος ψευδάργυρος.
- Η δεύτερη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζεται στο *θερμιονικό φαινόμενο*, στη θέρμανση δηλαδή μιας μεταλλικής πλάκας υπό κενό, ώστε να εκπέμπονται ηλεκτρόνια από την επιφάνειά της. Έτσι μια μεταλλική πλάκα ή ηλεκτρόδιο που θερμαίνεται κοντά σε ένα άλλο ηλεκτρόδιο που ψύχεται, είναι δυνατό να αποτελέσουν μια θερμιονική γεννήτρια. Από το θερμαινόμενο ηλεκτρόδιο εκπέμπονται ηλεκτρόνια τα οποία οδηγούνται στο ψυχρότερο ηλεκτρόδιο. Έτσι το πρώτο γίνεται κάθοδος ενώ το δεύτερο άνοδος. Είναι δυνατό όταν συνδεθούν με εξωτερικό φορτίο να αποδοθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Για την υπερνίκηση του έργου εξόδου των ηλεκτρονίων απαιτείται η θέρμανση του μετάλλου σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Σε πλάκες από καθαρά μέταλλα η θερμοκρασία χρειάζεται να φτάσει τους 2.000 - 2.700°C και για την πραγματοποίησή της πρέπει να γίνει ισχυρή ενίσχυση της ηλιακής ακτινοβολίας, π.χ. με συγκεντρωτικούς φακούς περίπου χίλιες φορές. Αν στο κενό της διάταξης γίνει εισαγωγή ενός ευκολοϊονιζόμενου στοιχείου, π.χ. καισίου, η θερμοκρασία λειτουργίας της μπορεί να μειωθεί στους 1.200°C. Η θεωρητική απόδοση των θερμιονικών γεννητριών βρίσκεται γύρω στο 30 %. Στην πράξη έχουν επιτευχθεί αποδόσεις 6 έως 8 %. Οι δύο προηγούμενες διατάξεις λόγω του μικρού βαθμού απόδοσης κατά τη μετατροπή και του μεγάλου κόστους, καθώς και διάφορων άλλων τεχνικών δυσκολιών δε βρήκαν αξιόλογες εφαρμογές.
- Η τρίτη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια καθαρά *φωτονική μέθοδος*, αφού η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται κατευθείαν από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα ηλιακά στοιχεία (ηλιακές κυψέλες, ηλιακά κύτταρα) αποτελούνται από έναν ημιαγωγό, με προσαρμοσμένα ηλεκτρόδια στην εμπρός και πίσω όψη και προκύπτουν αν σε ορισμένους ημιαγωγούς προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα από άλλα όμοια στοιχεία, που έχουν όμως ένα περισσότερο ή ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο από τον ημιαγωγό. Κατασκευάζονται έτσι δύο τύποι ημιαγωγών. Ο τύπος N και ο τύπος P. Αν δύο λεπτά στρώματα από τους δύο τύπους τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο και εκτεθούν σε ακτινοβολία (π.χ. ηλιακή), τότε παρατηρείται ότι στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρωμάτων εμφανίζεται ροή ηλεκτρονίων. Φωτόνια που έχουν ενέργεια πάνω από ένα όριο είναι ικανά να δημιουργήσουν

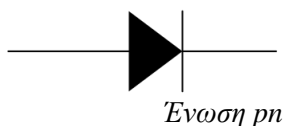
το φαινόμενο αυτό. Για το πυρίτιο το όριο αυτό είναι 1,1 ηλεκτρονιοβόλτ (eV) που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος 1.100 nm. Μεγαλύτερα μήκη κύματος προκαλούν απλά αύξηση της θερμοκρασίας. Η ένταση του ρεύματος που αναπτύσσεται εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφάνειας του στοιχείου και την περιεκτικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενεργά φωτόνια. [2]

### 1.7 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΦΒ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η δομή μιας φωτοβολταϊκής γεννήτριας έχει ως κύρια βάση το φ/β στοιχείο. Το φ/β στοιχείο αποτελείται από δύο συνδεδεμένες διόδους με διαφορετική πολικότητα  $p$  και  $n$ , οι οποίες κατά τη συνένωσή τους προκαλείται διάχυση των ηλεκτρονίων από τον φορέα με τα περισσότερα ηλεκτρόνια -δίοδος  $n$ - στον φορέα με τα λιγότερα, -δίοδος  $p$ - δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο στη ζώνη επαφής μια κατάσταση ισορροπίας, ενώ στις γύρω περιοχές μια νέα ενεργειακή κατάσταση (ενεργειακό διάκενο). Στην εμπρός και πίσω όψη του δίσκου του φ/β στοιχείου είναι συγκολλημένα ηλεκτρόδια, τα οποία είναι και οι φορείς των ελευθέρων ηλεκτρονίων.



Schematic of pn-junction



Το ηλεκτρόδιο της εμπρός όψης του ηλιακού στοιχείου αποτελείται από ένα αραιό μεταλλικό δικτυωτό πλέγμα σε σχήμα σχάρας, ώστε να αφήνει ελεύθερο το μεγαλύτερο μέρος μιας επιφάνειας επαφής  $p$ - $n$  για να δέχεται το φως. Επιπλέον, η κάλυψη της εμπρός επιφάνειας του με ένα αντανακλαστικό επίστρωμα βοηθά στη μείωση της ανάκλασης του φωτός.

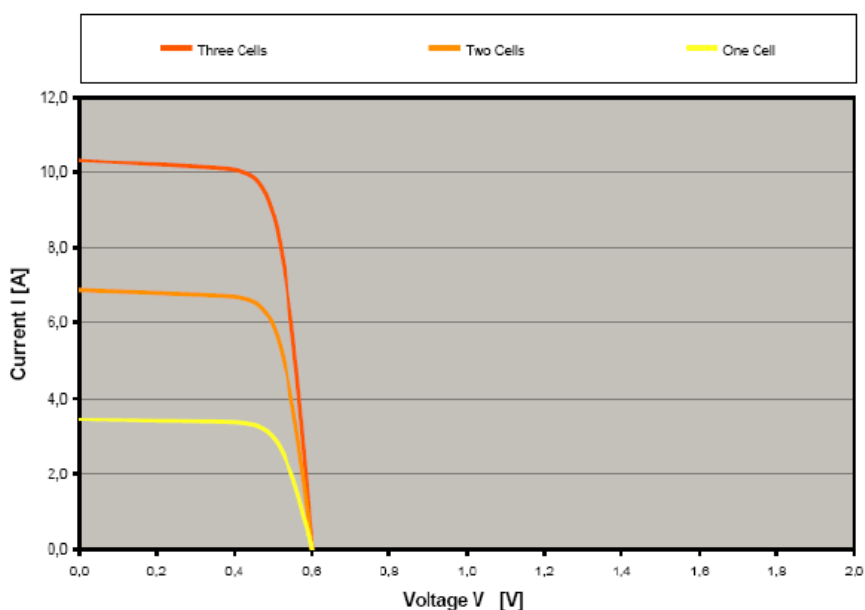
Η έκθεση του φ/β στοιχείου (ή κυψέλης) στο φως –ηλιακή ακτινοβολία– έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια της

παραπάνω διάταξης, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση μιας διόδου και ονομάζεται φ/β φαινόμενο. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται ονομάζεται φωτόρευμα  $I_{\varphi}$  και είναι ευθέως ανάλογο της πυκνότητας ισχύος  $E$  ( $W/m^2$ ) της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που προσπίπτει στο φ/β στοιχείο.

Η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φ/β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται μεταξύ 0,45~0,5V, ενώ η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι ανάλογη της επιφάνειας του στοιχείου (μεγάλη επιφάνεια συντελεί σε δέσμευση μεγαλύτερου μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα την παραγωγή και μεγαλύτερης έντασης ρεύματος – άρα και ισχύος).

Κατανοούμε λοιπόν ότι ως μεμονωμένα στοιχεία είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές ηλεκτρικής ενέργειας ή για φόρτιση συσσωρευτών. Έτσι τα φ/β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φ/β πλαισίων, συνδέονται ηλεκτρολογικά εν σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους – ανά 36 έως 50 – σ' ένα πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης. Η σύνδεση 36 στοιχείων στη σειρά δίνει περίπου 15~20V, που είναι κατάλληλη – αν αφαιρέσουμε διάφορες απώλειες – για την φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μολύβδου.

Γενικά τα ηλιακά κελιά μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα. Η παράλληλη σύνδεση κελιών αυξάνει την ένταση ρεύματος, ενώ η τάση στα άκρα του συνδυασμού παραμένει η ίδια με την τάση του κάθε κελιού. Έτσι η χαρακτηριστική ρεύματος - τάσης του συνδυασμού προκύπτει από την άθροιση των τιμών ρεύματος για την ίδια τιμή τάσης.

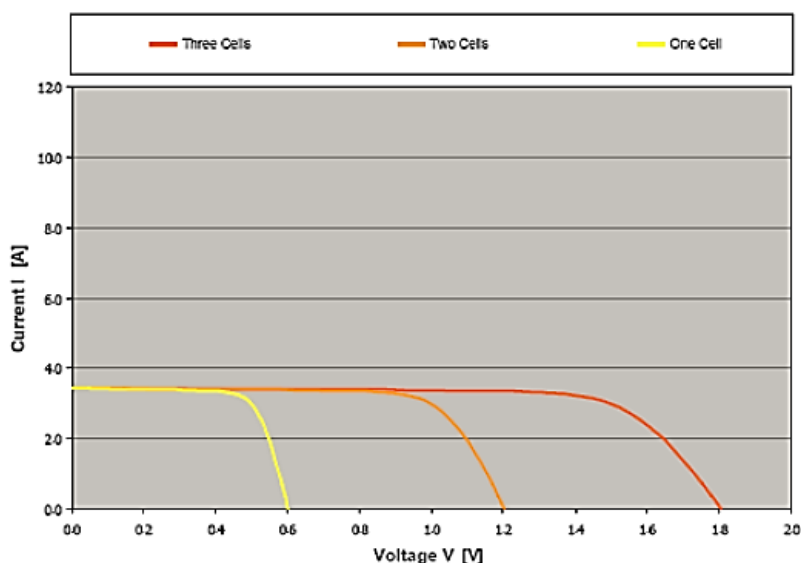


Χαρακτηριστική I-V για παράλληλη σύνδεση κελιών

Ωστόσο, η παράλληλη σύνδεση των κελιών δεν χρησιμοποιείται συνήθως καθώς η μεγαλύτερη ένταση ρεύματος απαιτεί και μεγαλύτερες διατομές αγωγών, ενώ και οι απώλειες αυξάνονται με τη μείωση της τάσης. Για τους παραπάνω λόγους, η σύνδεση των κελιών γίνεται συνήθως εν σειρά.

Στη σύνδεση κελιών σε σειρά υπάρχει η ίδια ροή ρεύματος ανά κελί ενώ η τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των κελιών. Αντίστοιχα, η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης

του συνδυασμού προκύπτει από το άθροισμα των τιμών τάσεων των καλίων για την ίδια τιμή έντασης ρεύματος, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

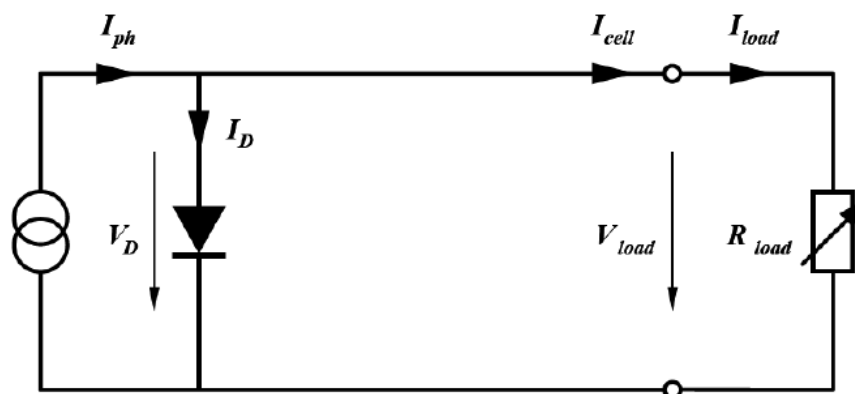


Χαρακτηριστική I-V κελιών συνδεδεμένων σε σειρά

Το φ/β πλαίσιο αποτελεί ουσιαστικά και τη θεμελιώδη δομική μονάδα των φ/β συστημάτων. Ο ηλεκτρικός συνδυασμός του εν σειρά ή παράλληλα - δημιουργώντας μεγάλα φ/β συστήματα - μας δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα ανάλογα με τη χρήση που επιθυμούμε. ([6],[8])

### 1.8 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ Φ/Β ΚΕΛΙΟΥ

Μια πρώτη εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός Φ/Β στοιχείου, προκύπτει με τη θεώρηση ότι αυτό αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μια δίοδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα που δίνεται παρακάτω.



Απλό μοντέλο ηλιακού κελιού

Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί μια ισορροπία όταν η τάση, που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα (το φωτόρευμα  $I_{ph}$  είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται όταν ένα Φ/Β στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία). Στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση :

$$I_{\varphi} = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV}{\gamma \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right]$$

από την οποία υπολογίζεται ότι η τιμή της τάσης ανοικτού κυκλώματος του στοιχείου  $V_{oc}$  θα είναι :

$$V_{oc} = \frac{\gamma \cdot k \cdot T}{e} \ln\left(\frac{I_{\varphi}}{I_o} - 1\right)$$

που δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος σε συνάρτηση με το φωτόρευμα, δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το Φ/Β στοιχείο. Από τις σχέσεις για το  $I_o$ , που αναφέρθηκαν νωρίτερα, μπορούμε να βρεθεί η εξάρτηση της  $V_{oc}$  από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο  $E_g$ , η ενδογενής συγκέντρωση των φορέων  $n_i$ , οι συγκεντρώσεις των προσμίξεων NA και ND, κλπ.

Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δυο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα  $I_{sc}$  (short circuit current) θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρευμα :

$$I_{sc} = I_{\varphi}$$

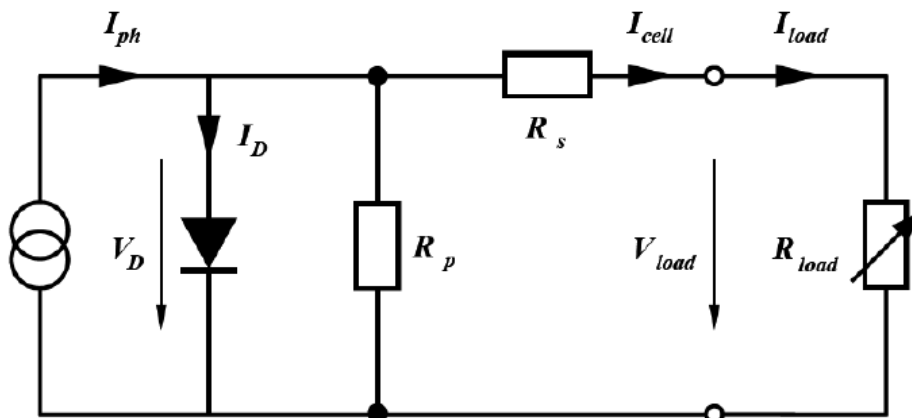
Όταν όμως το κύκλωμα του Φ/Β στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης  $R_L$  (load resistance), το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή  $I_L$ , που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης :

$$I_L = I_{\varphi} - I_o \left[ \exp\left(\frac{e \cdot I_L \cdot R_L}{\gamma \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right]$$

Προφανώς θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης (δηλαδή του φορτίου του κυκλώματος), για την οποία η ισχύς που παράγει το Φ/Β στοιχείο θα γίνεται μέγιστη. Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση  $V_m$ , που δίνεται από τη λύση της εξίσωσης :

$$\frac{I_{\varphi}}{I_o} + 1 = \left( 1 + \frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) \exp\left(\frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T}\right)$$

Ωστόσο, ένα ακριβέστερο μοντέλο ενός ηλιακού κελιού πρέπει να εμπεριέχει και τις ηλεκτρικές αντιστάσεις των υλικών, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Μοντέλο ηλιακού κελιού με αντιστάσεις

Το ίδιο σύμβολο  $R_s$  χρησιμοποιείται και για την αντίσταση φύλλου (sheet resistance), που



εκφράζει σε μονάδες Ohm/επιφάνεια, την αντίσταση ενός τετραγωνικού στρώματος ημιαγωγού, καθορισμένου πάχους. Επιπλέον, επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή, αφού εξαιτίας αναπόφευκτων κατασκευαστικών σφαλμάτων γίνονται διαρροές ρεύματος, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει και την παράλληλη αντίσταση  $R_{sh}$  (shunt resistance). Συνήθως στα Φ/Β στοιχεία του εμπορίου η  $R_s$  είναι μικρότερη από 5 Ω και η  $R_{sh}$  είναι μεγαλύτερη από 500 Ω. Πάντως επηρεάζουν αισθητά την τιμή της τάσης  $V_L$  και του ρεύματος  $I_L$  που διαρρέει το φορτίο του κυκλώματος  $R_L$ , με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση :

$$I_L \left( 1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) = I_\phi - I_o \left( \exp \left( \frac{e(V_L - I_L R_s)}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right) - \frac{V_L}{R_{sh}} \quad [6]$$

### 1.9 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ Φ/Β

Το κάθε Φ/Β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κλπ.) που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου ( $n_{\Pi}$ ), εκφράζει το λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β πλαίσιο ( $P_{\Pi}$ ), προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνειά του  $S$ . Προφανώς, την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας  $E$  που παράγει το Φ/Β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή:

$$n_{\Pi} = \frac{P_{\Pi}(W)}{H \left( \frac{W}{m^2} \right) \cdot S(m^2)} = \frac{E(kWh)}{\Pi \left( \frac{kWh}{m^2} \right) \cdot S(m^2)}$$

όπου  $\Pi$  είναι η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Η τιμή του  $n_{\Pi}$ , είναι φανερό ότι εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων ( $\eta$ ), αλλά και από το συντελεστή κάλυψης του πλαισίου ( $\sigma_{\kappa}$ ), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Υπολογίζεται ότι θα ισχύει η σχέση:

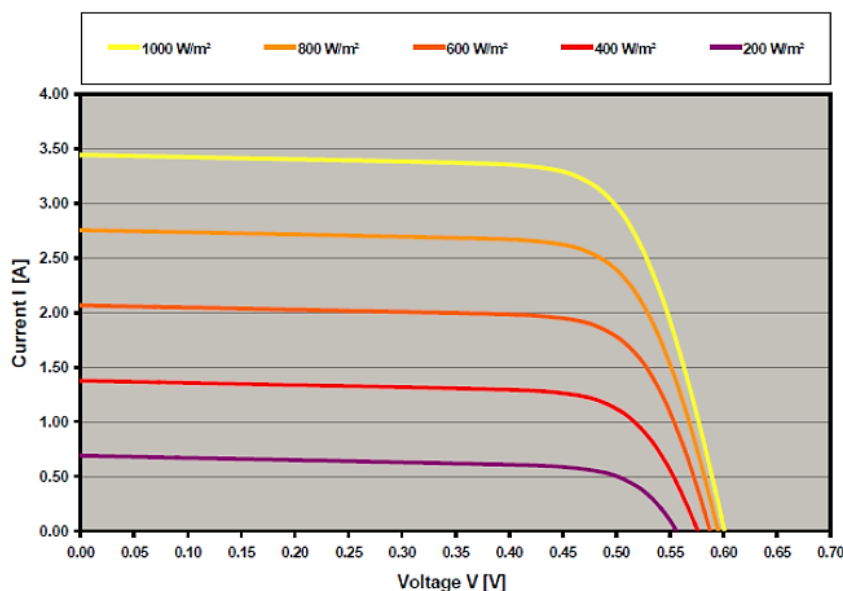
$$n_{\Pi} = \eta \cdot \sigma_{\kappa}$$

Η τιμή του  $\sigma_{\kappa}$  εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο Φ/Β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78 για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες συστοιχίες και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 (πρακτικά μέχρι 0,98), για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία.

Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια των φ/β συστημάτων εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, οι οποίοι είναι:

#### 1.9.1 Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και επίδραση σκίασης

Αυξανόμενη της ηλιακής έντασης έχουμε γραμμική αύξηση του παραγομένου φωτορεύματος και λογαριθμική αύξηση της τάσης της ανοικτοκυκλωμένης φ/β κυψέλης.

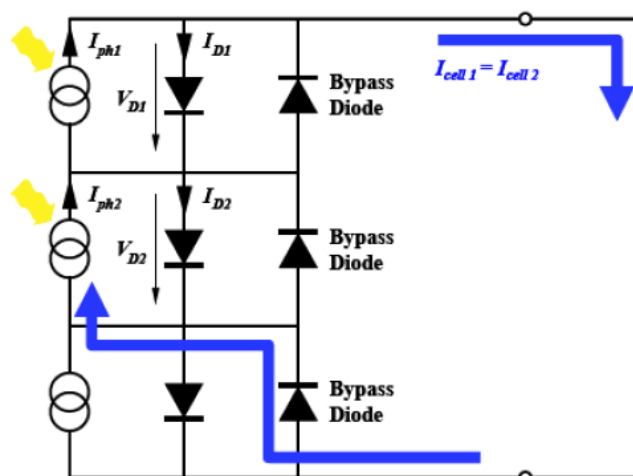


Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού κελιού

Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κτλ) ή από παροδικά (και μάλλον στοχαστικού χαρακτήρα) φαινόμενα (π.χ. σύννεφα).

Για παράδειγμα ας θεωρηθεί η περίπτωση των τριών ηλιακών κελιών συνδεδεμένων σε σειρά. Αν υποθεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας.

Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης (bypass diodes) συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι διόδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται σχηματικά παρακάτω:



Δίοδος ρεύματος διαμέσου της διόδου παράκαμψης σε περίπτωση πλήρους σκίασης

Ας θεωρηθεί τώρα η περίπτωση που ένα κελί είναι μερικώς σκιασμένο, π.χ. με μείωση της προσπίπτουσας έντασης ακτινοβολίας στο 20% σε σχέση με τα άλλα κελιά. Στην περίπτωση αυτή το συγκεκριμένο κελί θα παράγει περίπου το 20% του φωτορεύματος ενώ τα άλλα κελιά θα παράγουν το 100%. Λόγω της σύνδεσης σε σειρά, στο κύκλωμα θα ρέει μόνο το ρεύμα που θα παράγεται από το μερικώς σκιασμένο κελί. Αναφορικά με τα κελιά που δεν σκιάζονται το υπόλοιπο ρεύμα τους (δηλαδή το υπόλοιπο 80%) θα ρέει εσωτερικά σε αυτά, στις ενδογενείς διόδους τους. Επιπλέον στο μερικώς σκιασμένο κελί θα υφίσταται απώλεια ενέργειας καθώς η δίοδος του θα είναι ανάστροφα πολωμένη από την τάση που παράγεται στα άλλα κελιά.

Πρακτικά, η περίπτωση αυτή οδηγεί στη δημιουργία «θερμών σημείων» (hot spots) τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε γρηγορότερη γήρανση και ενδεχόμενα καταστροφή του πάνελ. Ωστόσο, με τη βοήθεια των διόδων παράκαμψης αποφεύγονται τα προβλήματα των θερμών σημείων. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά των ρευμάτων μεταξύ των κελιών που δεν σκιάζονται και του μερικώς σκιασμένο κελιού ρέει διαμέσου της διόδου παράκαμψης.

Ωστόσο, η χρήση μίας διόδου παράκαμψης ανά κελί είναι γενικά αρκετά δαπανηρή και στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιείται μία δίοδος ανά 10-1 κελιά. Για παράδειγμα για ένα πάνελ αποτελούμενο από 36 εν σειρά συνδεδεμένα κελιά, χρειάζονται 3 δίοδοι. Οι δίοδοι αυτοί περιλαμβάνονται συνήθως στο κιβώτιο σύνδεσης στο πίσω μέρος κάθε πάνελ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι δίοδοι παράκαμψης δεν προκαλούν απώλειες σε κανονικές συνθήκες όταν δεν διαρρέονται από ρεύμα. Επιπρόσθετα της προστασίας ενός ή περισσότερων κελιών που σκιάζονται, οι δίοδοι παράκαμψης επιτρέπουν τη ροή ρεύματος από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ σε μειωμένη βέβαια τάση και ισχύ.

### **1.9.2 Θερμοκρασία και ρύπανση της φ/β κυψέλης**

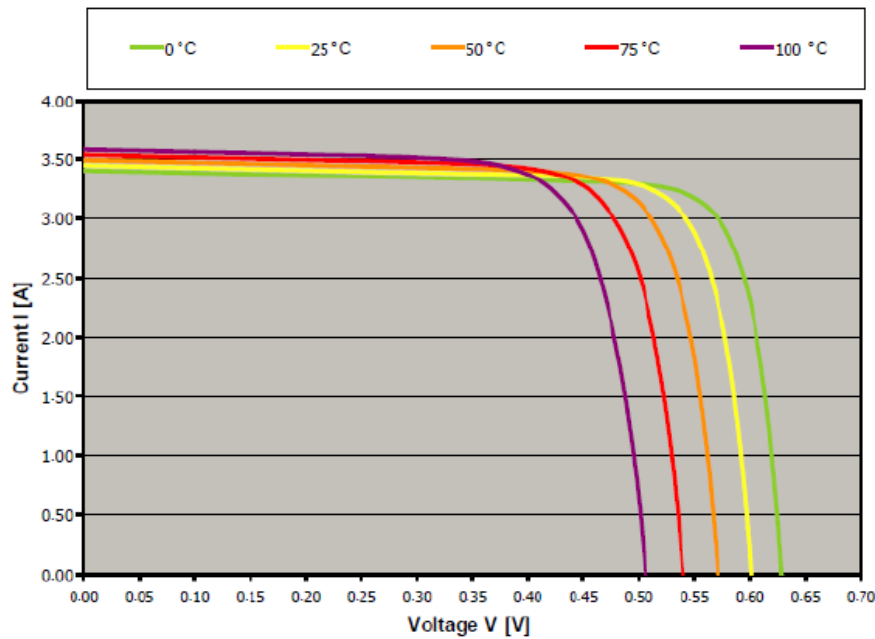
Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα Φ/Β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία, συνήθως 20 °C, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει σημαντικά από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου.

Έχει μετρηθεί ότι, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται κυρίως, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που εμφανίζονται, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 έως 30 °C, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β στοιχείου με μια συμβατική θερμοκρασία (π.χ. 30 °C) είναι  $\eta$ , η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία  $\theta$ , θα είναι:

$$\eta_{\theta} = \eta \cdot \sigma_{\theta}$$

Όπου  $\sigma_{\theta}$  είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική θερμοκρασία, ο  $\sigma_{\theta}$  είναι ίσος με τη μονάδα και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα Φ/Β ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.



Επίδραση θερμοκρασίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού κελιού

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα των Φ/Β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι εντονότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει επαρκώς. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, τα πλαίσια τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° (κατακόρυφα) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού ή τουλάχιστον 45° για να μη συγκρατείται η σκόνη.

Όταν η Φ/Β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάται ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς, η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας ( $\sigma_p$ ), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο Φ/Β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι εντελώς καθαρή. Η τιμή του  $\sigma_p$  είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του Φ/Β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Οπότε είναι απαραίτητο ως συντελεστής απόδοσης των Φ/Β πλαισίων λαμβάνεται το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης  $n_\pi$ , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία  $\sigma_\theta$  και για τη ρύπανση  $\sigma_p$ .

$$E = \Pi \cdot S \cdot n_\pi \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p$$



Καθαρισμός ηλιακών πλαισίων

### 1.9.3 Αντίσταση του κυκλώματος

Η ισχύς που παράγεται από το φ/β στοιχείο και αποδίδεται στην αντίσταση  $R_L$  (φορτίο καταναλωτή) είναι:  $P_L = V_L \cdot I_L = R_L \cdot I_L^2$

Η αποδιδόμενη ισχύς γίνεται προφανώς μέγιστη για μια ορισμένη τιμή της αντίστασης  $R_L=R_m$ , που αντιστοιχεί στο σημείο Σημείο Μέγιστης Ισχύος. Ειδικές διατάξεις που βρίσκονται συνήθως στις μονάδες επεξεργασίας ισχύος (inverter) μεταβάλλουν κατάλληλα την αντίσταση του συστήματος (ώστε το συνολικό σύστημα – φορτίο) να βρίσκεται πάντα σ' αυτό το σημείο.

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως ο συντελεστής ωμικών απωλειών στη γραμμή σύνδεσης του φ/β συστήματος με το δίκτυο, πρέπει να είναι της τάξης του 2%. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της σωστής επιλογής διατομής καλωδίου.

### 1.9.4 Συντελεστής γήρανσης του φ/β στοιχείου

Τα φ/β στοιχεία με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν σημάδια φθοράς, τα οποία οδηγούν σε ελάττωση της συνολικής τους ισχύος. Τα σύγχρονα φ/β πλαίσια έχουν ένα βαθμό μείωσης της απόδοσης τους της τάξης του 0,8% ετησίως (οι κατασκευαστές δηλώνουν ότι εξασφαλίζουν το 80% της αποδοτικότητάς τους μετά την παρέλευση 25ετίας).

### 1.9.5 Οπτικές ενεργειακές απώλειες

Οι οπτικές απώλειες οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι :

- Η διαφοροποίηση ανακλαστικότητας του φ/β πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε εργαστηριακές συνθήκες ελέγχου, με μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών ~3%
- Οι απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με μέση ετήσια απώλεια ~2%,
- Η καθαρότητα του πλαισίου με ~1,5% μέση ετήσια απώλεια. Ένας αντιπροσωπευτικός μέσος ετήσιος συντελεστής οπτικών απωλειών κυμαίνεται ανάλογα με την καθαρότητα της επιφάνειας του φ/β πλαισίου από 7%~10%.

### 1.9.6 Δίοδος αντεπιστροφής

Η δίοδος αντεπιστροφής εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του φ/β πλαισίου, όταν αυτό δεν φωτίζεται κατά τις νυχτερινές ώρες. Είναι εγκατεστημένη στο πλαίσιο από τον κατασκευαστή σε όλα τα πλαίσια, ανεξαρτήτως εάν αυτά θα χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας στο δίκτυο ή θα την αποθηκεύσουν σε συσσωρευτές. Έτσι θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη ανεξάρτητα της μικρής τιμής της ~1%.

([6],[8])

### 1.10 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗ ΠΑΝΕΛΩΝ

Ο προσανατολισμός οποιουδήποτε φ/β συστήματος στην επιφάνεια της γης (με βάση την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία), έχει να κάνει ουσιαστικά με δύο βασικές γωνίες. Τη γωνία κλίσης  $\beta$  καθώς, και την αζιμούθια γωνία  $\gamma$ .

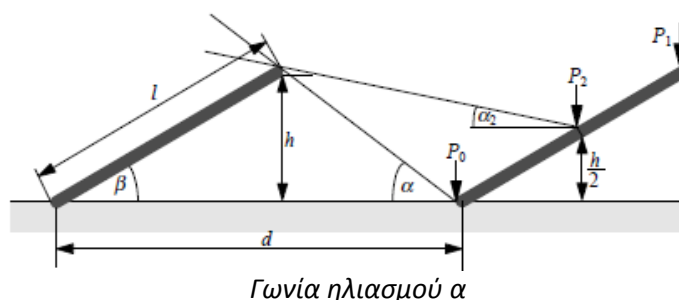
Η γωνία κλίσης  $\beta$  μας δείχνει την εκτροπή του φ/β πλαισίου από το οριζόντιο επίπεδο, που ουσιαστικά είναι η επιφάνεια της γης στη συγκεκριμένη θέση εγκατάστασης του φ/β συστήματος.

Η αζιμούθια γωνία  $\gamma$  είναι η γωνία παρέκκλισης από το νοητό επίπεδο που σχηματίζεται από την κατακόρυφη του φ/β συστήματος με τον Νότο.

Ένας εμπειρικός κανόνας για τον βέλτιστο προσανατολισμό και κλίση του συστήματος είναι:

Η μέγιστη ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια επιτυγχάνεται με κλίση του συλλέκτη περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος ( $\phi$ ) της θέσης εγκατάστασης (δηλαδή  $\beta \approx \phi$ ), ενώ για το βόρειο ημισφαίριο που βρίσκεται η χώρα μας ο προσανατολισμός του συστήματος πρέπει να είναι νότιος ( $\gamma = 0^\circ$ ).

Αναφορικά με τη σκίαση, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η εγκατάσταση να βρίσκεται σε χώρο στον οποίο απουσιάζουν εμπόδια. Επιπλέον, για την αποφυγή σκιάσεων μεταξύ των σειρών των φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους, ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης.



Πιο συγκεκριμένα όμως η γωνία ηλιασμού  $\alpha$  εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των πάνελων καθώς και την γωνία κλίσης  $\beta$  και προκύπτει βάσει του τύπου :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{f \cdot \sin\beta}{1 - f \cdot \cos\beta}\right) \text{ όπου } f = \frac{1}{d}$$

([5],[8])

### **1.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Βάσει της συνθήκης του Κιότο, ορίζεται η κάλυψη με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) του 40% τουλάχιστον της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ως το 2020. Σε σχέση με την συνδρομή των ΦΒ συστημάτων στην επίτευξη του στόχου αυτού είναι συνολικά 2.200 MWp ως το 2020.

Να σημειώσουμε εδώ ότι, από την κοινοτική νομοθεσία προβλέπεται η δυνατότητα αναθεώρησης των ενδεικτικών στόχων για κάθε τεχνολογία ανά διετία ή και νωρίτερα αν χρειαστεί, και επομένως μπορεί μελλοντικά να υπάρξουν διορθωτικές κινήσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

Οι επενδύσεις σε Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επιδοτούνται πλέον ως προς το αρχικό κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης και ως εκ τούτου ο δυνητικός επενδυτής θα πρέπει προτού εκκινήσει την διαδικασία αδειοδότησης να έχει διερευνήσει το κόστος της επένδυσης και την δυνατότητα χρηματοδότησης είτε από το τραπεζικό σύστημα είτε από μόνος του.

Στην παρούσα φάση διακρίνονται οι εξής κατηγορίες αδειοδότησης ανάλογα με την θέση εγκατάστασης και την ισχύ ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος.

- Συστήματα ως 10kWp σε στέγες κτιρίων
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Αγροτεμάχια

Για την επίτευξη του στόχου των συνολικά εγκατεστημένων φ/β συστημάτων στη χώρα μας μετά την ψήφιση του Ν. 3468/06 και τη δημοσίευση σχετικών υπουργικών αποφάσεων, έχουν αλλάξει οι διαδικασίες για την αδειοδότηση και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Καθοριστική παράμετρος για τις ακολουθούμενες διαδικασίες είναι η ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Με βάση τη μέχρι σήμερα ισχύουσα νομοθεσία, διακρίνουμε συνολικά τέσσερις κατηγορίες:

- Φ/Β  $\leq 20\text{kWp}$
- $20\text{kWp} \leq \Phi/\text{B} \leq 150\text{ kWp}$
- $150\text{ kWp} \leq \Phi/\text{B} \leq 2\text{MWp}$
- $2\text{MWp} \leq \Phi/\text{B}$

Η διαδικασία αδειοδότησης ενός ΦΒ πάρκου άνω των 150kWp στην Ελλάδα έχει ως εξής :

#### **1.11.1 Έκδοση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Αιτήσεις για χορήγηση Άδειας υποβάλλονται στη ΡΑΕ κάθε δύο μήνες από την πρώτη έως και τη δέκατη ημέρα του πρώτου μήνα κάθε διμήνου.

Ο επενδυτής υποβάλλει στη ΡΑΕ:

- Αίτηση για έκδοση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε)

Η ΡΑΕ μετά την αρχική θετική αξιολόγηση του έργου, προωθεί την ΠΠΕ στην αρμόδια αρχή για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Η υπεύθυνη αρχή συγκεντρώνει όλες τις απαραίτητες εγκρίσεις και γνωμοδοτήσεις από τις σχετικές με το θέμα αρχές και

αποστέλλει στη ΡΑΕ την απόφαση έγκρισης/απόρριψης της ΠΠΕ. Στη συνέχεια υποβάλλεται η γνωμοδότηση στον Υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και όταν γίνει η έγκριση και από εκεί, ο φάκελος αποστέλλεται στον Υπουργό Ανάπτυξης.

Η απόφαση για την χορήγηση της Άδειας παραγωγής εκδίδεται από τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής εντός 15 ημερών από την υποβολή της γνώμης της ΡΑΕ.

Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για 25 χρόνια και μπορεί να επεκταθεί για 25 χρόνια επιπλέον.

Στη συνέχεια, ο κάτοχος της Άδειας Παραγωγής υποβάλλει στον αρμόδιο Διαχειριστή (ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ), αίτημα για τη διατύπωση προσφοράς σύνδεσης του σταθμού, το οποίο περιλαμβάνει περιγραφή του τρόπου σύνδεσης του Σταθμού καθώς και του εκτιμώμενου χρονικού ορίζοντα της σύνδεσης.

Η Προσφορά Σύνδεσης ισχύει για δύο έτη και μπορεί να ανανεώνεται από τον αρμόδιο Διαχειριστή.

Το τοπικό Δασαρχείο εκδίδει απόφαση έγκρισης επέμβασης σε δημόσια έκταση, η οποία ενσωματώνεται στην Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ).

Μετά την έκδοση της άδεια Παραγωγής, την Διατύπωση των όρων σύνδεσης στο Σύστημα ή το Δίκτυο, ο επενδυτής υποβάλλει αίτηση για έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

Η αίτηση υποβάλλεται στην οικία Περιφέρεια / Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωροταξίας (ΔΙΠΕΧΩ). Η απόφαση ΕΠΟ εκδίδεται από τον Γ. Γραμματέα της οικίας Περιφέρειας.

Ύστερα, ο επενδυτής υποβάλλει αίτηση στον ΔΕΣΜΙΕ για την σύνδεση του έργου στο Σύστημα σύμφωνα με τους όρους που ο Διαχειριστής του Συστήματος αναφέρει στην προσφορά σύνδεσης.

Ο χρόνος αναμονής για την σύνδεση του έργου ορίζεται ως 45 εργάσιμες ημέρες από την υποβολή της αίτησης.

### **1.11.2 Άδεια εγκατάστασης**

Ο επενδυτής υποβάλλει αίτηση έκδοσης άδειας εγκατάστασης στην οικία Περιφέρεια. Μετά τη διαδικασία συλλογής των αναγκαίων γνωμοδοτήσεων και εγκρίσεων από τις αρμόδιες αρχές, ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας εκδίδει την Άδεια Εγκατάστασης του έργου.

Η άδεια εγκατάστασης ισχύει για 2 χρόνια με 2 χρόνια επιπλέον παράταση, με την προϋπόθεση ότι έχει ολοκληρωθεί το 50% του έργου.

Η σύμβαση υπογράφεται μεταξύ του επενδυτή και ΔΕΣΜΗΕ για το διασυνδεδεμένο Σύστημα ή τη ΔΕΗ για το μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο. Η σύμβαση έχει διάρκεια 20 έτη.



### **1.11.3 Άδεια λειτουργίας**

Μετά την ολοκλήρωση κατασκευής του έργου, τη Σύμβαση Σύνδεσης με το Σύστημα και την Σύμβαση Αγοραπωλησίας Ηλεκτρικής Ενέργειας, ο επενδυτής υποβάλει αίτηση για την έκδοση της Άδειας Λειτουργίας στην Διεύθυνση Προγραμματισμού και Ανάπτυξης της οικείας Περιφέρειας.

Ο Γενικός Γραμματέας της οικείας Περιφέρειας εκδίδει την Άδεια Λειτουργίας.

Η Άδεια Λειτουργίας ισχύει για 20 έτη, με παράταση 20 έτη επιπλέον. ([6],[8])

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΚΟΥ

Υπάρχουν δυο είδη φωτοβολταϊκών πάρκων : Τα *αυτόνομα* πάρκα και τα *συνδεδεμένα* στο δίκτυο.

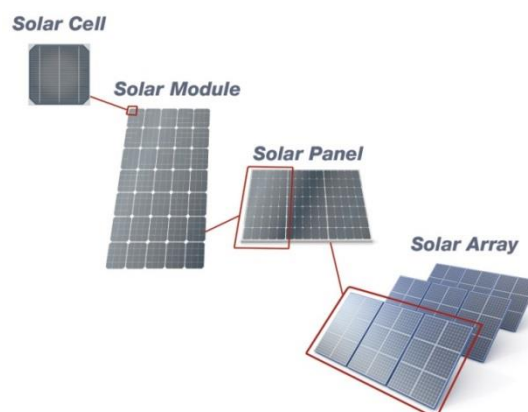
Τα αυτόνομα συστήματα είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξυπηρέτηση απομακρυσμένων περιοχών, όταν η διασύνδεση στο δίκτυο της ΔΕΗ αποτελεί δύσκολο και δαπανηρό εγχείρημα.

Τα συνδεδεμένα συστήματα από την άλλη, μπορεί να καλύπτουν μέρος των ενεργειακών αναγκών του ιδιοκτήτη και να πουλάνε το περίσσειμα στο δίκτυο. Ο τρόπος που θα γίνει η αγοραπωλησία της ενέργειας εξαρτάται κάθε φορά από τα θεσμικά πλαίσια που είναι σε ισχύ και από την σύμβαση που θα υπογραφεί, πριν το έργο τεθεί σε λειτουργία. Σε γενικές γραμμές, ο τρόπος σχεδίασης ενός ΦΒ πάρκου είναι ο ίδιος. Τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής :

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Βάσεις Στήριξης
- Αντιστροφείας
- Υποσταθμός Μέσης Τάσης
- Μέσα προστασίας
- Γείωση
- Αντικεραυνική προστασία
- Έλεγχος σημάτων
- Καλώδια

### 2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι συνδυασμός πολλών φωτοβολταϊκών κυψελών. Από μόνες τους οι κυψέλες (PV cells) έχουν χαμηλές τιμές τάσης και ισχύος και έτσι δεν μπορούν να ανταποκριθούν στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων, σε αντίθεση με την διάταξη του πλαισίου, η οποία αποτελεί μια υπολογίσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνώνυμο του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι το φωτοβολταϊκό πανέλο το οποίο μπορεί να αποτελείται από πολλά φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδεδεμένα μεταξύ τους.



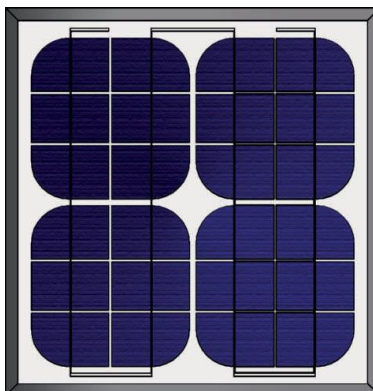
Διάθρωση φωτοβολταϊκής στοιχειοσειράς

Τα πλαίσια ταξινομούνται ανάλογα με την ισχύ (η οποία μετράται σε Watt peak, Wp), που αποδίδουν στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Η ισχύς αυτή αντιστοιχεί στην ισχύ που αποδίδει μια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου όταν πάνω της προσπίπτει ακτινοβολία έντασης  $1000W/m^2$  στους 25 βαθμούς Κελσίου ( $^{\circ}C$ ) και ταυτόχρονα το  $AM=1,5$ .

Αν λάβουμε υπόψιν το υλικό/τεχνολογία κατασκευής των πλαισίων, τότε προκύπτουν οι εξής κατηγορίες :

### 2.1.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία “Czochralski”. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μία επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το ένα στο άλλο. Αποτελούν όμως μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντίανακλαστική επίστρωση).



Μονοκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου

### 2.1.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

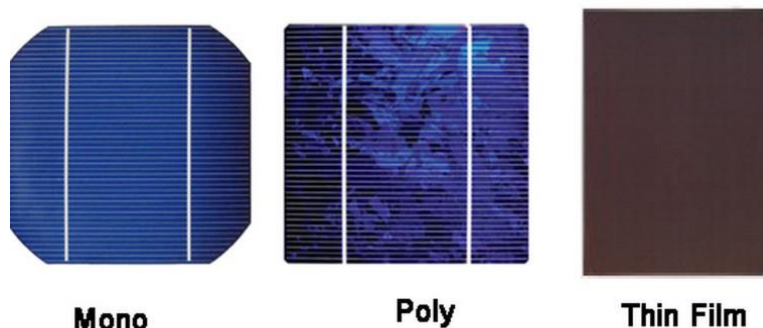
Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).

### 2.1.3 Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)

Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά με αρκετά χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά.

Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονα σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν:

- Κελιά άμορφου πυριτίου
- Κελιά καδμίου-τελλουρίου
- Κελιά χαλκού-ινδίου / Γαλλίου – Δισεληνιούχου



Ηλιακές κυψέλες

#### 2.1.4 Άλλοι τύποι κελιών

Εκτός των παραπάνω συναντά κανείς και τους παρακάτω τύπους κελιών σε μικρό βαθμό ή σε εργαστηριακό επίπεδο:

##### Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs)

Αποτελούν κελιά υψηλής απόδοσης (έως και 36%), ωστόσο ιδιαίτερα ακριβά.

##### Οργανικά/πολυμερή κελιά

Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Τα οργανικά κελιά λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγωγικές p-n επαφές, τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης-κλίμακας, χαμηλής-θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών είναι σήμερα της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών. ([6],[12],[18])

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων, συγκεντρώνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Τεχνολογία	Μονοκρυσταλλικά	Πολυκρυσταλλικά	Thin Film		
			a-Si	CdTe	CIS
Μέγιστη απόδοση σε STC	19%	15%	8,5%	11%	11%
Μέσος όρος απόδοσης σε STC	14%	13%	6%	8%	8%
Θερμοκρασιακός συντελεστής στην ονομαστική ισχύ	-0,3/-0,5	-0,3/-0,5	-0,2	-0,2	-0,2
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	7-8 m <sup>2</sup>	8-10 m <sup>2</sup>	10-20 m <sup>2</sup>		

## 2.2 ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Οι βασικοί τρόποι στήριξης των ΦΒ πανέλων είναι :

- Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο
- Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου ή τράκερς (trackers)

### 2.2.1 Σταθερές Βάσεις

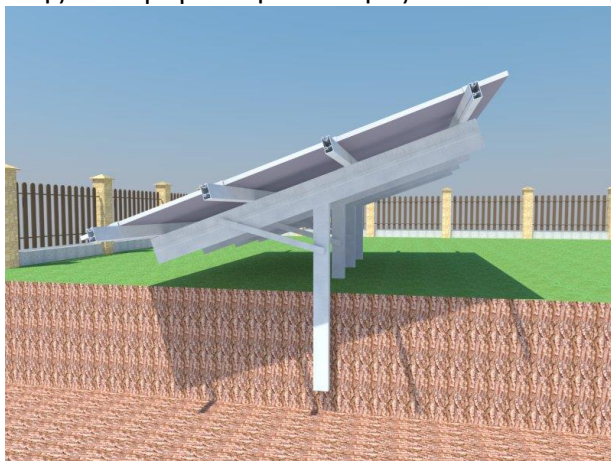
Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πανέλων. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πλαισίων κατά την διάρκεια του μεσημεριού. Για να ικανοποιείται αυτή η συνθήκη, η κλίση τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο θα πρέπει να συμπίπτει με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για την περιοχή της Αθήνας η τιμή αυτή ισούται με  $30^{\circ}$ .

Η θεμελίωση των σταθερών βάσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους επόμενους βασικούς τρόπους, αναλόγως του εδάφους, του μεγέθους και του κόστους της εγκατάστασης.

- Πασσαλόμπτυξη
- Βιδωτά θεμέλια
- Θεμελίωση με μπετόν
- Θεμελίωση με μεταλλικούς ορθοστάτες

#### 2.2.1.1 ΠΑΣΣΑΛΟΜΠΤΗΞΗ

Η μέθοδος της πασσαλόμπτυξης περιλαμβάνει την τοποθέτηση εδαφοπασσάλων σε μικρά βάθη, πάνω στους οποίους τοποθετείται η βάση. Μπορεί να γίνει είτε απευθείας ή με την χρήση σκυροδέματος. Η απευθείας πασσαλόμπτυξη χρησιμοποιείται κυρίως, όταν το μέγεθος εγκατάστασης είναι μεγάλο ή το έδαφος είναι ακατάλληλο για χρήση μπετόν.



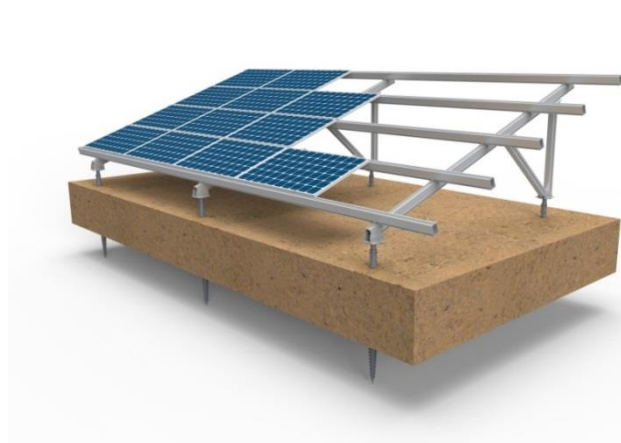
*Θεμελίωση πλαισίου με πάσσαλο*

Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο μικρός χρόνος εγκατάστασης, καθώς το μονοπάσσαλο σύστημα στήριξης (ένας πάσσαλος ανά τρίγωνο στήριξης) απαιτεί λιγότερο χρόνο για αλφάδιασμα των πασσάλων και λιγότερα εξαρτήματα, όπως είναι οι βίδες. Επιπλέον, πραγματοποιείται ελάχιστη παρέμβαση στο έδαφος και επομένως δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Το κόστος εγκατάστασης είναι σχετικά μικρό, αλλά απαιτεί αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη της περιοχής, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι εφικτή η μέθοδος, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στατικής επάρκειας των βάσεων. Τέλος, προσφέρει εύκολη πρόσβαση για συντήρηση.

Οι εδαφοπάσσαλοι κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ. Σε πολλές περιπτώσεις προστίθενται επιπλέον υλικά για μεγαλύτερη προστασία από διαβρώσεις στο έδαφος. Διατίθενται σε πολλά μεγέθη και σχήματα όπως είναι οι τραπεζοειδείς, IPE, C, RHS και οι sigma. Οι αντίστοιχες βάσεις μπορεί να διαθέτουν ένα ή δύο πασσάλους ανά τρίγωνο στήριξης.

### 2.2.1.2 ΒΙΔΩΤΑ ΘΕΜΕΛΙΑ

Ένας επιπρόσθετος τρόπος θεμελίωσης βάσεων, είναι με τη χρήση βιδωτών θεμελίων (εδαφοκοχλίες) όπως είναι οι γαιοβίδες και οι αγκυρόβιδες. Το υλικό κατασκευής τους είναι συνήθως χάλυβας γαλβανισμένος εν θερμώ. Τα θεμέλια αυτά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, αντέχουν σε αντίξοες καιρικές συνθήκες και μπορούν άμεσα να στηρίξουν φορτίο. Επιπλέον, είναι ανθεκτικά και στιβαρά χάρη στην συμπύκνωση του χώματος κατά την τοποθέτηση. Ειδικά οι βίδες κωνικής μορφής, συμβάλλουν στην συμπύκνωση του χώματος, προσφέροντας σταθερότητα και ασφάλεια. Επίσης, μπορούν να τοποθετηθούν υπό όλες τις καιρικές συνθήκες και χρησιμοποιούνται για όλα τα είδη εδάφους, ακόμη και για επικλινή και βραχώδη.



*Σταθερή βάση με βιδωτά θεμέλια*

Τα βιδωτά θεμέλια τοποθετούνται στο έδαφος με ειδικά μηχανήματα που ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος του θεμελίου και το είδος του εδάφους στο οποίο θα εγκατασταθούν. Τα θεμέλια οδηγούνται στο έδαφος με περιστροφική κεφαλή, χωρίς δονήσεις, ενώ ταυτόχρονα ασκείται πίεση προς τα κάτω. Μέσω της περιστροφής του βιδωτού θεμελίου, το έδαφος συμπιέζεται και συμπυκνώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ασκείται πλευρική πίεση, που δεν επιτρέπει τη μετακίνηση του θεμελίου προς τα πάνω ή προς τα κάτω, προς τα δεξιά ή αριστερά. Προκειμένου να τοποθετούνται με ακρίβεια και κάθετα τα θεμέλια, χρησιμοποιείται εξοπλισμός για προγεώτρηση του εδάφους, ιδιαίτερα σε βραχώδη εδάφη.



*Μηχανήματα τοποθέτησης βιδωτών θεμελίων*

Οι μέθοδοι της πασσαλόμπτυξης και βιδωτών θεμελίων που προαναφέρθηκαν, παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα συγκριτικά με την χρήση μπετού. Αρχικά, είναι φιλικές προς το περιβάλλον γιατί δεν χρησιμοποιείται μπετόν και έτσι το έδαφος δεν επισφραγίζεται και δεν αλλοιώνεται η εικόνα του τοπίου. Επιπλέον, καταργούνται τα έξοδα απομάκρυνσης και ανακύκλωσης του σκυροδέματος μετά από χρόνια. Τέλος, αποτελούν μια φθηνή και ταχεία ως προς την κατασκευή λύση, καθώς δεν υπάρχουν κόστη και χρόνος αναμονής για εκσκαφές, μπαζώματα, ισοπεδώσεις του εδάφους και σκυροδετήσεις.

### 2.2.1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΜΠΕΤΟΝ

Ένας ακόμη διαδεδομένος τρόπος θεμελίωσης των βάσεων, είναι η σκυροδέτηση. Για να επιτευχθεί αυτού του είδους η θεμελίωση, χρησιμοποιείται ένα ενιαίο δοκάρι από οπλισμένο σκυρόδεμα το οποίο τοποθετείται κατά μήκος όλης της σειράς των βάσεων. Ακόμη, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση πελμάτων από σκυρόδεμα τα οποία τοποθετούνται είτε επιφανειακά σε προκατασκευασμένα μπλοκ, είτε επί τόπου του έργου σε ήδη σκαμμένες οπές.



Σταθερή βάση με σκυροδέτηση

Η χρήση αυτής της μεθόδου προσφέρει ευελιξία, καθώς το μπετόν προσαρμόζεται σε όλα τα είδη εδάφους, παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα σε θλίψη και σε εφελκυσμό, δεν είναι εύφλεκτο, δεν διαβρώνεται εύκολα και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Επιπρόσθετα η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται όταν το έδαφος είναι μαλακό και επομένως η χρήση των προηγούμενων θεμελιώσεων είναι οικονομικά ασύμφορη.

Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών, όπως βίδες ή σύνδεσμοι Φ/Β πανέλων, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων, ηλεκτρόλυσης, όδευσης καλωδίων καθώς και για την στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση.

### 2.2.1.4 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΟΡΘΟΣΤΑΤΕΣ

Ένας ακόμη τρόπος θεμελίωσης σταθερών βάσεων, είναι με εκσκαφή οπής, τοποθέτηση μεταλλικού ορθοστάτη με πέλμα και επανεπίχωση με κατάλληλα συμπτυκνωμένα υλικά. Ο μεταλλικός ορθοστάτης μπορεί να τοποθετηθεί με κρουστικά γεωτρύπανα με άκαμπτη στήλη όπως είναι τα Wagon-Drill.

Μία βάση που θεμελιώνεται με αυτόν τον τρόπο, κατασκευάζεται από χάλυβα υψηλής αντοχής (όριο διαρροής  $750N/mm^2$ ) γαλβανισμένο εν θερμώ σε συνδυασμό με ψευδάργυρο για αντιδιαβρωτική προστασία. Περιλαμβάνει ένα ισχυρό τριγωνικό

πλαίσιο και τρία σημεία πάκτωσης ανά στατικό φορέα, για αντοχή σε αξονικές και εγκάρσιες φορτίσεις. Η βάση αντέχει σε φορτία χιονιού ως 0.80 kN/m και φορτία ανέμου 1.20 kN/m, δηλαδή 39m/s, ενώ το βάρος είναι ίσο με 0.11k/W.

### 2.2.2 Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή αλλιώς τράκερ (tracker), χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, της τάξης του 30%. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Συστήματα μονού άξονα (single axis): Πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πλαισίων στον άξονα Ανατολή-Δύση. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.
- Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): Πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Η κίνηση των τράκερ επιτυγχάνεται συνήθως με ηλεκτρο-μηχανικά ή ηλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής, αλλά περιοδική. Ωστόσο, είναι σκόπιμο η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα Φ/Β πάνελα λόγω της διαφοράς τιμής.

Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.



Trackers

Το σημαντικό μέγεθος των συγκεκριμένων κατασκευών καθιστά πολυπλοκότερη την έδρασή τους, με τον όγκο του οπλισμένου σκυροδέματος να φτάνει ακόμα και τα 20-



30 m<sup>3</sup>. Το ύψος τέτοιων έργων αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου, λόγω μεγαλύτερων αποστάσεων για αποφυγή των σκιάσεων, ενώ πρέπει να γίνει σοβαρή μελέτη όσον αφορά το θέμα των ανεμοπιέσεων. Η συνηθέστερη τεχνική για την προφύλαξη του συστήματος είναι η χρήση ανεμόμετρου. Όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα όριο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το σύστημα κίνησης λαμβάνει εντολή να θέτει την επιφάνεια των πάνελ σχεδόν παράλληλα με το έδαφος, για λόγους προστασίας. Η ταχύτητα αυτή εξαρτάται από την κατασκευαστή, αλλά μπορεί να είναι χαμηλή, αντιστοιχίζοντας σε άνεμο έντασης 5-6 Bf. ([6],[14])

### 2.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ / INVERTER

Με τον όρο αντιστροφέα εννοούμε τη διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/Β πανέλων σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V (ανά φάση) /50 Hz για την Ελλάδα. Οι αντιστροφείς αποτελούν πάντα ένα κομβικό σημείο σε μία Φ/Β εγκατάσταση, καθώς όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο. Κατά συνέπεια έχει ιδιαίτερη σημασία να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση.

Σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η σύνδεση του έργου, απαιτείται η κάλυψη ορισμένων προδιαγραφών και η ύπαρξη σχετικών πιστοποιητικών. Επιπλέον, κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται αυτές οι προδιαγραφές. Προκειμένου να τεθεί σε λειτουργία ένα πάρκο στην Ελλάδα θα πρέπει :

- Η τάση και η συχνότητα των αντιστροφέων να είναι εντός ορίων. Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και +/-0,5Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση ενεργοποίησης των παραπάνω προστασιών, ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.
- Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%. Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2.1)$$

όπου  $I_1$  είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα και  $I_h$  η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης  $h$  και συχνότητας  $50 \cdot h$  Hz.

- Σε περίπτωση που οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.
- Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126

Οι αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10-11kW
- Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7kW έως και 1MW

Τονίζεται ότι η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT).

Οι αντιστροφείς ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο χωρίζονται σε :

- Αντιστροφείς με μετασχηματιστή
- Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης μετασχηματιστή σε έναν αντιστροφέα είναι αυτός της απομόνωσης της DC πλευράς των πανέλων με την AC πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης του μετασχηματιστή, πέραν του αυξημένου κόστους ανά μονάδα ισχύος, είναι αυτό της εισαγωγής επιπλέον απωλειών που κυμαίνονται μεταξύ 2-4%. Επιπλέον, η έλλειψη γαλβανικής απομόνωσης στους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών.

Επιπλέον, ανάλογα της τεχνολογίας διασύνδεσης των Φ/Β πλαισίων που χρησιμοποιείται, οι αντιστροφείς χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
- Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
- Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
- Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (module integrated inverters)

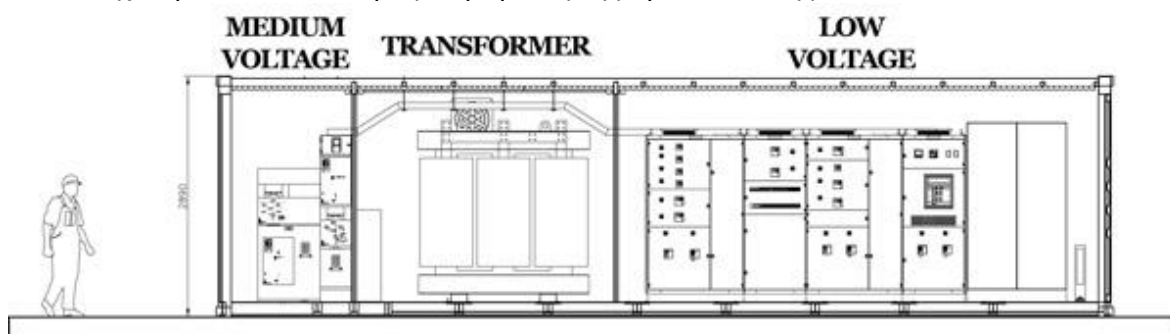
[6]

## 2.4 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Σε περίπτωση που η εγκατεστημένη ισχύς του Φ/Β πάρκου ξεπερνάει τα 100kWp, τότε είναι απαραίτητη η τοποθέτηση σταθμού/σταθμών Μέσης Τάσης (MT), προκειμένου να πραγματοποιηθεί η σύνδεση με το δίκτυο. Ο υποσταθμός μέσης τάσης ενός Φ/Β πάρκου αποτελείται από τα εξής τμήματα :

- Πίνακα Μέσης Τάσης
- Έναν ή περισσότερους Μ/Σ ισχύος
- Πίνακα Χαμηλής Τάσης

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να προβλέπεται χώρος για τη στέγαση του υποσταθμού, ο οποίος οφείλει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές. Σε πρώτη φάση, προτιμούμε η περιοχή εγκατάστασης να διαθέτει τρεις ανεξάρτητους χώρους στους οποίους θα τοποθετηθεί ο πίνακας Μέσης και Χαμηλής Τάσης καθώς και ο/οι μετασχηματιστής/ες. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, μπορούμε να εγκαταστήσουμε στον ίδιο χώρο τον πίνακα MT και τους Μ/Σ. Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης πρέπει να είναι σε ανεξάρτητο χώρο. Οι διαστάσεις των παραπάνω χώρων υπαγορεύονται από τα αντίστοιχα πρότυπα, αναλόγως το μέγεθος της εγκατάστασης.



Υποσταθμός Μέσης Τάσης

Πιο συγκεκριμένα, οι χώροι των μετασχηματιστών και του ηλεκτρικού πίνακα μέσης τάσης πρέπει να είναι κλειστοί και κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά με μεταλλικές πόρτες από χαλυβδοέλασμα, ελάχιστου πάχους 1mm, ενώ παράλληλα θα διαθέτουν περσίδες για αερισμό του χώρου. Η εσωτερική διάταξη πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ευχερής συντήρηση και λειτουργία με την κατακόρυφη απόσταση του υψηλότερου σημείου του μετασχηματιστή να απέχει τουλάχιστον 0,40m από την οροφή.

Ο αερισμός του χώρου μπορεί να είναι φυσικός ή τεχνητός. Σε περίπτωση φυσικού αερισμού απαιτούνται δύο ανοίγματα, ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο του αέρα. Το άνοιγμα εισόδου του αέρα ψύξης πρέπει να βρίσκεται οπωσδήποτε κάτω από το μέσο του ύψους του μετασχηματιστή και το άνοιγμα εξόδου όσο το δυνατό ψηλότερα. Το μέγεθος του ανοίγματος εξόδου καθορίζεται από σχετικό διάγραμμα σύμφωνα με το οποίο το άνοιγμα πρέπει να αυξηθεί κατά 10% όταν υπάρχουν γρίλιες και 50% όταν υπάρχουν γρίλιες και περσίδες. Το άνοιγμα εισόδου μπορεί να είναι το 90% του ανοίγματος εξόδου. Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής είναι ελαιόψυκτος, ο χώρος πρέπει να διαθέτει λεκάνη με επαρκή χωρητικότητα για την περισυλλογή του λαδιού σε περίπτωση διαρροής, χωρίς όμως να αφήνει το λάδι σε ελεύθερη επιφάνεια για την αποφυγή πυρκαγιάς. Αυτό συνήθως υλοποιείται με την τοποθέτηση σκύρων στο επάνω μέρος της λεκάνης. Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής είναι με ξηρή μόνωση η παραπάνω απαίτηση δεν ισχύει.

Κατά τη μελέτη ενός υποσταθμού θα πρέπει να γίνουν υπολογισμοί για τον προσδιορισμό:

- Μεγέθους και πλήθους των μετασχηματιστών ισχύος
- Μεγέθους και είδους του καλωδίου μέσης τάσης
- Μεγέθους και είδους των ζυγών στη μέση και χαμηλή τάση
- Μεγέθους και είδους των μέσων προστασίας στη μέση και χαμηλή τάση

Η ισχύς του ή των μετασχηματιστών ενός υποσταθμού υπολογίζεται με βάση τη μέγιστη ενεργό ισχύ του σταθμού η οποία καθορίζεται στη φάση της μελέτης. Η επιλογή ενός ή περισσότερων μετασχηματιστών καθορίζεται από το μέγεθος της ισχύος και τη χωροθέτηση του Φ/Β σταθμού και τις επιπτώσεις αυτής στις απώλειες του σταθμού, αλλά και για λόγους εφεδρείας. Για την επιλογή του μετασχηματιστή θα πρέπει να καθοριστεί επίσης η τάση βραχυκύκλωσής του, η ομάδα συνδεσμολογίας του και το είδος της μόνωσής του. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις προτιμάται τάση βραχυκύκλωσης 4-6% για να διατηρείται η πτώση τάσης χαμηλή. Οι επικρατέστερες ομάδες συνδεσμολογίας για μετασχηματιστές 20/0,4 kV είναι οι Dy και Yz. Σε ιδιωτικούς υποσταθμούς ο συνηθέστερος τύπος συνδεσμολογίας είναι ο Dy.

Το είδος της μόνωσης του μετασχηματιστή επηρεάζει σημαντικά το κόστος του. Οι συνηθέστεροι τύποι μόνωσης μετασχηματιστών είναι το λάδι και η ξηρά μόνωση. Οι ελαιόψυκτοι μετασχηματιστές είναι φθηνότεροι αλλά απαιτούν ειδική διαμόρφωση του χώρου για την παραλαβή του λαδιού. Επίσης απαιτούν αυστηρότερα μέσα πυροπροστασίας. Οι μετασχηματιστές με ξηρή μόνωση είναι ακριβότεροι, αλλά δεν απαιτούν ειδικές διαμορφώσεις στο χώρο που εγκαθίστανται και θεωρούνται ουσιαστικά άκαυστοι. Η ξηρά μόνωση είναι συνήθως από εποξικές ρητίνες.

Ο παράγοντας που καθορίζει το μέγεθος της διατομής του καλωδίου μέσης τάσης είναι η αντοχή του στο προσδοκώμενο σε εκείνο το σημείο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ο υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκύκλωσης είναι ιδιαίτερα επίπονος και είναι

συνάρτηση διαφόρων παραγόντων Οι απαιτούμενοι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο VDE 0102.



*Μετασχηματιστής ελέου Φ/Β πάρκου*

Ένας από τους συνήθεις τύπους καλωδίων μέσης τάσης που χρησιμοποιούνται σε υποσταθμούς είναι το N(A)2XSY με μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο και μανδύα από PVC.

Οι ζυγοί της μέσης και χαμηλής τάσης υπολογίζονται με βάση δύο παραμέτρους: τη θερμική αντοχή τους στο ρεύμα του φορτίου και τη μηχανική αντοχή τους στις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος. Οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα VDE 0103/1988, DIN 57103/1988 και IEC 865. [6]

## **2.5 ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

Ως μέσα προστασίας εννοούνται οι συσκευές εκείνες οι οποίες είναι σε θέση να διακόψουν έγκαιρα και με ασφάλεια μία μη ομαλή κατάσταση λειτουργίας όπως είναι η υπερφόρτιση, το βραχυκύκλωμα, η έλλειψη τάσης και η υπέρταση. Τα μέσα γενικής προστασίας που χρησιμοποιούνται είναι οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος.

Ο υπολογισμός των μέσων προστασίας γίνεται για να προσδιοριστεί η ονομαστική τιμή τους αλλά και η συμπεριφορά τους σε μεταβατικές καταστάσεις. Έτσι, στις ασφάλειες προσδιορίζεται η ονομαστική τους τιμή αλλά και η καμπύλη που προσδιορίζει το χρόνο διακοπής ως συνάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Στους αυτόματους διακόπτες ισχύος προσδιορίζεται η ονομαστική τιμή τους και οι χρόνοι απόκρισής τους σε υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα

Οι *ασφάλειες* είναι μηχανισμοί οι οποίοι διακόπτουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την ηλεκτρική εγκατάσταση ή σε επιμέρους κυκλώματά της όταν εμφανιστούν μεγάλες τιμές ρεύματος που οφείλονται σε βραχυκύκλωμα ή σε υπερφόρτωση.

Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας του οι ασφάλειες διακρίνονται σε :

- Αυτόματες ασφάλειες
- Ασφάλειες τήξης

Οι ασφάλειες (αυτόματες ή τήξης) τοποθετούνται πάντοτε μετά από τους διακόπτες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και δεν τοποθετούνται ποτέ σε αγωγούς γείωσης.

### 2.5.1 Αυτόματες ασφάλειες

Οι αυτόματες ασφάλειες φέρουν εσωτερικά μηχανισμό στιγμιαίας λειτουργίας που ενεργοποιείται όταν έχουμε βραχυκύκλωμα . Αποτελείται από πηνίο με πυρήνα σιδήρου που μετακινείται στιγμιαία και με σκανδαλισμό ανοίγει τις επαφές του διακόπτη της ασφάλειας. Επίσης φέρουν μηχανισμό διμεταλλικού ελάσματος για υπερφορτίσεις. Το διμεταλλικό έλασμα όταν υπερθερμανθεί λόγω ρεύματος μεγαλύτερου του ονομαστικού, για κάποιο χρονικό διάστημα, ενεργοποιεί τις επαφές του διακόπτη της ασφάλειας.

Οι αυτόματες ασφάλειες διακρίνονται σε:

- Μονοπολικές: Προστατεύουν και διακόπτουν πάντα τον αγωγό της φάσης, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος, για παροχή ισχύος όχι μεγαλύτερη από 1,5Kw.
- Διπολικές: Προστατεύουν και διακόπτουν τη φάση και τον ουδέτερο, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος για παροχή ισχύος μεγαλύτερη από 1,5 Kw (ηλεκτρικές κουζίνες, θερμοσίφωνες, πλυντήρια κλπ)
- Μονοπολικές + N: Προστατεύουν και διακόπτουν μόνο την φάση και διακόπτουν χωρίς να προστατεύουν τον ουδέτερο, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος.
- Τριπολικές: Προστατεύουν και διακόπτουν τρεις αγωγούς και αυτοί είναι οι τρεις φάσεις, ενός τριφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν, σε οικιακές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις.
- Τετραπολικές: Προστατεύουν και διακόπτουν τέσσερις αγωγούς και αυτοί είναι οι τρεις φάσεις και ο ουδέτερος, ενός τριφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν, σε οικιακές ή βιομηχανικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

Οι αυτόματες ασφάλειες κατασκευάζονται, από τις διάφορες εταιρείες, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς (IEC) και με ικανότητα διακοπής 3KA, 4,5KA, 6KA, 10KA. Σε μερικές περιπτώσεις, κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται αυτόματες ασφάλειες με ικανότητα διακοπής μέχρι και 25KA.



Αυτόματη ασφάλεια

Η επιλογή της διακοπτικής ικανότητας και ο χαρακτηρισμός τύπου «B», «C», «D» της αυτόματης ασφάλειας, γίνεται σε συνδυασμό με την ισχύ του κυκλώματος και το είδος της ηλεκτρικής κατανάλωσης που πρόκειται να προστατέψει.

Χαρακτηριστική Καμπύλη	“B”	“C”	“D”
Περιοχή ρευμάτων Βραχυκύκλωσης	$3 \div 5 I_N$	$5 \div 10 I_N$	$10 \div 20 I_N$

Ο χαρακτηριστικός τύπος “D” ασφαλειών έχει μεγαλύτερο χρόνο ενεργοποίησης από τον τύπο “C” και ο τύπος “C” από τον “B” για το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Έτσι για παράδειγμα σε μια εγκατάσταση που έχουμε γραμμές φωτισμού θα επιλέξουμε καμπύλη λειτουργίας C και αντοχή σε βραχυκύκλωμα από 3 έως 10kA ανάλογα με την ισχύ και το είδος της εγκατάστασης. Αντίθετα, σε περίπτωση καταναλώσεων με βαριές εκκινήσεις (κινητήρες) θα προτιμούσαμε καμπύλη λειτουργίας D και αντίστοιχα θα επιλέγαμε και την αντοχή σε βραχυκύκλωμα.

### 2.5.2 Ασφάλειες Τήξης

Οι ασφάλειες τήξης αποτελούν την πιο παλιά διάταξη προστασίας και σήμερα η χρήση τους έχει περιοριστεί στο ελάχιστο και τη θέση τους έχουν πάρει οι αυτόματες ασφάλειες. Τα χαρακτηριστικά τους γνωρίζονται είναι η ονομαστική τάση, το ονομαστικό ρεύμα και ο χρόνος ενεργοποίησης τους, όπου ανάλογα με αυτόν διακρίνονται σε:

- Ασφάλειες ταχείας τήξης και
- Ασφάλειες βραδείας τήξης

Σε αντίθεση με τις αυτόματες ασφάλειες, οι ασφάλειες τήξης εμφανίζονται μόνο σαν μονοπολικές και συνδέονται πάντοτε στη φάση του κυκλώματος που πρόκειται να προστατέψουν, ώστε από αυτές να περνάει όλο το ρεύμα του κυκλώματος.

Το ενεργό μέρος της ασφάλειας τήξης είναι ένα αγωγίμο εύτηκτο σύρμα ή ταινία που ονομάζεται «τηκτό» ή «νήμα». Αυτό έχει υπολογιστεί ώστε να αντέχει το ονομαστικό ρεύμα για το οποίο έχει κατασκευαστεί. Αν περάσει ρεύμα μεγαλύτερο τότε ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα, που προσδιορίζεται από τις καμπύλες χρόνου ενεργοποίησης-ρεύματος βραχυκύκλωσης ή υπερφόρτισης, λιώνει το νήμα και διακόπτεται το κύκλωμα τροφοδοσίας.

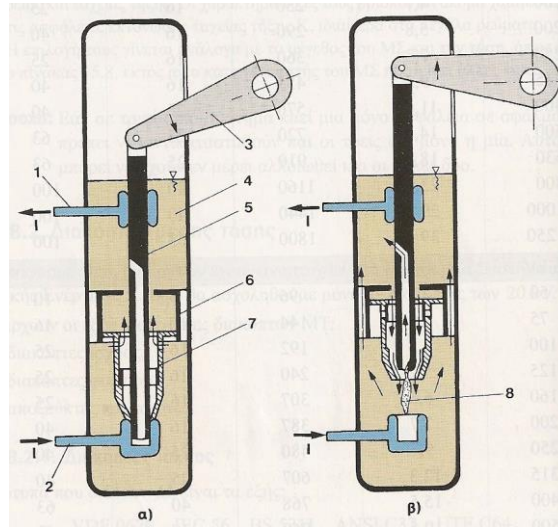
### 2.5.3 Αυτόματοι διακόπτες ισχύος

Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος (*circuit-breaker*) είναι μέσα προστασίας τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προστατεύσουν σε περίπτωση υπερφόρτισης, δηλαδή ρεύμα το οποίο είναι ακόμη και λίγο πάνω από το ονομαστικό ρεύμα, αλλά και σε βραχυκυκλώματα όπως οι ασφάλειες. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος έχουν επιπλέον τη δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών τιμών λειτουργίας τους. Αυτό είναι σημαντικό για το συντονισμό και τη ρύθμιση της λεγόμενης επιλογικής προστασίας.

Έτσι, υπάρχουν τα παρακάτω είδη Διακοπών Ισχύος εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου:

- Διακόπτης πτωχού ελαίου (oil – minimum)
- Διακόπτης αερίου SF6
- Διακόπτης Κενού ( vacuum)

Συνήθως χρησιμοποιούνται ΔΙ πτωχού ελαίου. Ο όρος «πτωχός» αναφέρεται στην ποσότητα του λαδιού που χρησιμοποιείται σήμερα σε σχέση με παλιότερους διακόπτες που χρησιμοποιούσαν τριπλάσιες ποσότητες. Στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. χρησιμοποιούνται συνήθως στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ και αναφέρονται ως Ελαιοδιακόπτες (Ε/Δ) αντί ΔΙ.



Διακόπτης πτωχού ελαίου  
α. Κλειστός β. Ανοιχτός

Ένας ΔΙ, σε περίπτωση σφάλματος, μπορεί να ανοίξει και να κλείσει με δύο τρόπους:

- Όταν διεγείρεται είτε από το θερμικό στοιχείο είτε από το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του διακόπτη. Η προστασία με αυτόν τον τρόπο λέγεται «πρωτογενής προστασία»
- Παίρνοντας εντολή από έναν ΗΝ υπερέντασης, οπότε έχουμε την «δευτερογενή προστασία».

Στην πρωτογενή προστασία το θερμικό στοιχείο είναι ένα έλασμα το οποίο θερμαίνεται σιγά-σιγά λόγω μιας μικρής αύξησης του ρεύματος, μαλακώνει και έτσι ανοίγει ο ΔΙ. Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο λειτουργεί όταν υπάρχει μια απότομη αύξηση του ρεύματος πολλαπλάσια του ονομαστικού του διακόπτη και ανοίγει ακαριαία τον διακόπτη.

Η δευτερογενής προστασία είναι ακριβότερη από την πρωτογενή. Όταν όμως ένας καταναλωτής χρησιμοποιήσει σαν μέσο προστασίας ΔΙ τότε ένας ΔΙ με δευτερογενή προστασία συνεργάζεται καλύτερα με τα μέσα της Δ.Ε.Η από ότι ένας με πρωτογενή προστασία.

Επειδή οι ΔΙ δεν έχουν ορατές επαφές πρέπει να τοποθετείται πάντα ένας αποζεύκτης, ο οποίος να μανδαλώνεται με τον ΔΙ. Και στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνονται χειρισμοί με τη σωστή σειρά όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Όταν συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα και ανοίξει ο ΔΙ πρέπει στην συνέχεια να ελέγχεται η κατάσταση του διακόπτη σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.



Διακόπτες Ισχύος

#### 2.5.4 Ηλεκτρονόμοι προστασίας

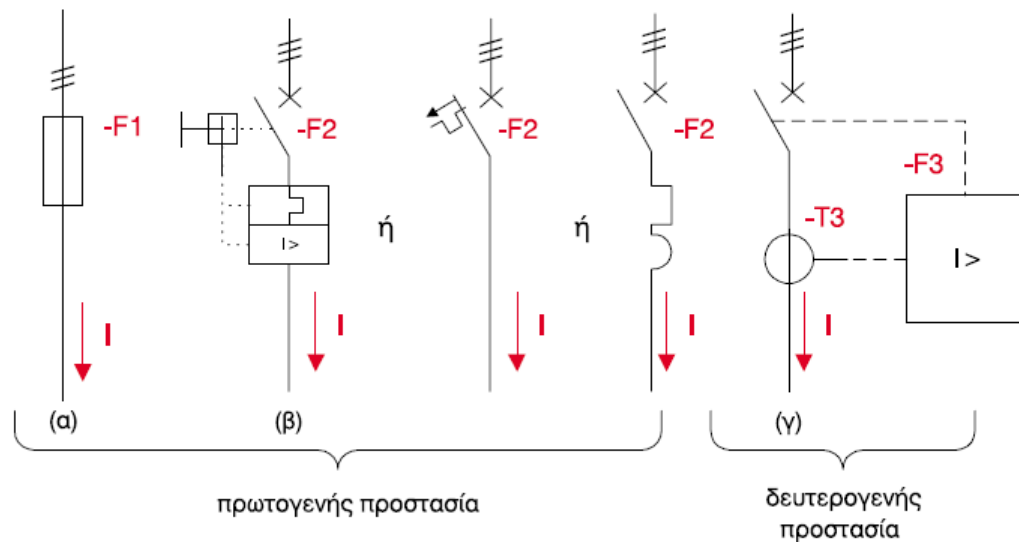
Οι ηλεκτρονόμοι προστασίας (H/N) είναι συσκευές που έχουν σκοπό τη συνεχή επιτήρηση ενός ηλεκτρικού μεγέθους (συνήθως ρεύμα) σε ένα τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Αν το μέγεθος ξεφύγει από τα όρια επιτήρησης, τότε αυτόματα δίνουν τις απαραίτητες εντολές (συνήθως εντολή ανοίγματος), με σκοπό την προστασία του εξοπλισμού.

Στη χαμηλή τάση έχουμε τα θερμικά και μαγνητικά στοιχεία που υπάρχουν στις αυτόματες ασφάλειες που χρησιμοποιούμε για να ασφαλίσουμε τις γραμμές των ηλεκτρικών πινάκων. Τα στοιχεία αυτά είναι πρακτικά ηλεκτρονόμοι προστασίας, διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα της γραμμής που πρέπει να επιτηρούν. Η προστασία αυτή ονομάζεται πρωτογενής προστασία (primary protection), διότι το ρεύμα που διέρχεται μέσα από τον ηλεκτρονόμο είναι το ίδιο το ρεύμα της γραμμής.

Υπάρχουν δεκάδες διαφορετικοί τύποι ηλεκτρονόμων προστασίας. Παρακάτω αναφέρουμε τους πιο συνηθισμένους που συναντάμε στα δίκτυα καταναλωτών μέσης τάσης.

- H/N υπερέντασης (Overcurrent relay)
- H/N έλλειψης τάσης (Undervoltage relay)
- H/N σφάλματος προς γη (Ground overcurrent relay)
- H/N διαφορικής προστασίας (Differential protection relay)





α. Τηκόμενη ασφάλεια β. Αυτόματη ασφάλεια  
 γ. Προστασία με διακόπτη ισχύος

Από τη δεκαετία του 1960 οι ηλεκτρονόμοι αυτοί άρχισαν να αντικαθίστανται με ηλεκτρονικούς. Αποτελούνταν από ηλεκτρονικά στοιχεία στερεάς κατάστασης, δηλαδή τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Με την πρόοδο των ψηφιακών ηλεκτρονικών οι ηλεκτρονικοί ηλεκτρονόμοι έγιναν πολύ έξυπνοι, δηλαδή συνδυάζουν πολλές λειτουργίες και πολλές ρυθμίσεις. Σήμερα οι ηλεκτρονόμοι είναι εξ' ολοκλήρου ψηφιακές συσκευές, οι οποίες περιέχουν τουλάχιστον ένα μικροεπεξεργαστή που αναλαμβάνει το σύνολο των συμβατικών λειτουργιών του ηλεκτρονόμου προστασίας. Παράλληλα ο μικρο-επεξεργαστής, μπορεί να επικοινωνεί με συστήματα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (SCADA), κάτι που είναι πολύ σημαντικό στα πολύπλοκα ηλεκτρικά δίκτυα που υπάρχουν σήμερα.

### 2.5.5 Επιλογή μέσου προστασίας

Η επιλογή του κατάλληλου μέσου προστασίας (ασφάλεια ή αυτόματος διακόπτης ισχύος) είναι μεταξύ άλλων και συνάρτηση του είδους της παροχής της ΔΕΗ. Ανάλογα με το είδος του δικτύου (εναέριο ή υπόγειο) από το οποίο θα τροφοδοτηθεί ο υποσταθμός, τη συνολική ισχύ του και τα τεχνικά στοιχεία της ηλεκτρικής προστασίας του, η ΔΕΗ έχει διαμορφώσει ορισμένες τυπικές παροχές. Οι παροχές διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Παροχές τύπου Α, όταν γίνονται από εναέριο δίκτυο της ΔΕΗ.
- Παροχές τύπου Β, όταν γίνονται από υπόγειο δίκτυο της ΔΕΗ.

Οι παροχές τύπου Α, διακρίνονται σε:

- Παροχές τύπου Α1, για ισχύεις μέχρι 630 kVA.
- Παροχές τύπου Α2, για ισχύεις μεγαλύτερες των 630 kVA.

Οι παροχές τύπου Β, διακρίνονται σε:

- Παροχές τύπου Β1, για ισχύεις μέχρι 1250 kVA
- Παροχές τύπου Β2, για ισχύεις μεγαλύτερες των 1250 kVA.

Ο τύπος της παροχής καθορίζει και τη μέθοδο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ και σε μεγάλο βαθμό τη μέθοδο προστασίας που πρέπει να εφαρμόσει ο καταναλωτής. Στην παροχή τύπου Α1, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι ασφάλεια 30Α βραδείας τήξης ενώ το γενικό μέσο προστασίας του παραγωγού μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 40 Α ταχείας τήξης ή αυτόματος διακόπτης ισχύος. Στη δεύτερη

περίπτωση αυτός πρέπει να είναι εφοδιασμένος με στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας για να υπάρχει ικανοποιητική επιλογική συνεργασία.

Στην παροχή τύπου A2, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι διακόπτης απομόνωσης. Αυτός είναι μία ειδική περίπτωση διακόπτη ο οποίος συνεργάζεται με το γενικό διακόπτη της γραμμής που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ. Το μέσο προστασίας από την πλευρά του παραγωγού μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 50 A ταχείας τήξης ή αυτόματος διακόπτης ισχύος.

Στην παροχή τύπου B1, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι ασφάλειες ταχείας τήξης. Ο καταναλωτής δε χρειάζεται να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη μέση τάση αφού η ΔΕΗ εξασφαλίζει την προστασία του μετασχηματιστή για σφάλματα στους ζυγούς της χαμηλής τάσης. Απαιτείται όμως να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη χαμηλή τάση το οποίο μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 400 A που αντιστοιχεί σε μετασχηματιστή μέχρι 250 kVA. Για μεγαλύτερες ισχύεις απαιτείται η εγκατάσταση αυτόματου διακόπτη ισχύος.

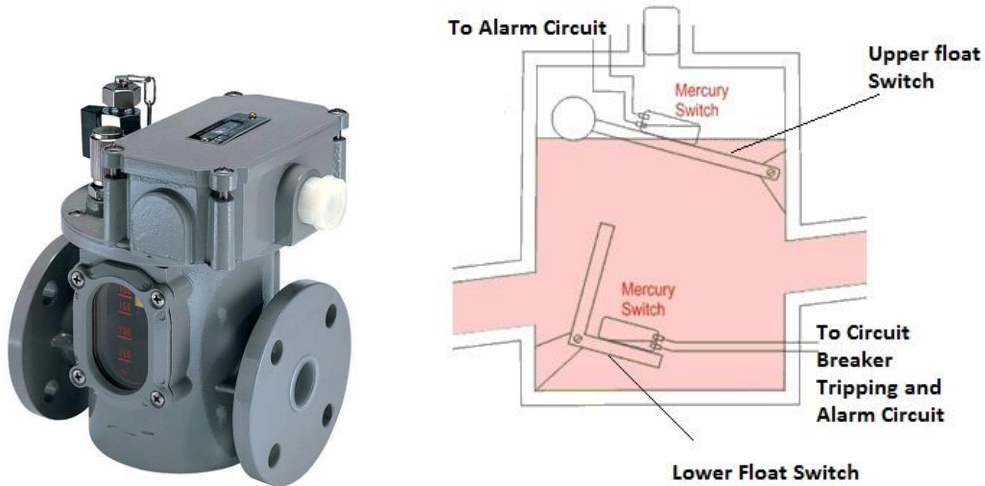
Στην παροχή τύπου B2, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι αυτόματος διακόπτης ισχύος. Και σε αυτήν την περίπτωση ο καταναλωτής δε χρειάζεται να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη μέση τάση επειδή το μέσο προστασίας της ΔΕΗ προστατεύει και το μετασχηματιστή του.

### **2.5.6 Προστασία Μετασχηματιστή**

Εκτός των παραπάνω γενικών μέτρων προστασίας, υπάρχουν για τους μετασχηματιστές και ειδικά μέσα προστασίας τα οποία εφαρμόζονται κατά περίπτωση. Τέτοια μέσα προστασίας είναι η *επιτήρηση της θερμοκρασίας*, ο *ηλεκτρονόμος Buchholz* και η *διαφορική προστασία*.

Οι απώλειες χαλκού και σιδήρου του Μ/Σ μετατρέπονται στο εσωτερικό του σε θερμότητα που έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού ( αν ο Μ/Σ είναι ελαιόψυκτος ) ή της χυτορητίνης ( αν ο Μ/Σ είναι ξηρού τύπου ). Μια από τις βασικές απαιτήσεις της σωστής προστασίας του Μ/Σ είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας ώστε να μην ξεπεράσει τα όρια που έχει ορίσει ο κατασκευαστής. Η *επιτήρηση της θερμοκρασίας* γίνεται συνήθως με ειδικές αντιστάσεις και σε περίπτωση υπέρβασής της πάνω από κάποιο όριο διακόπτεται η παροχή. Άνοδο της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει ένα βραχυκύκλωμα ή ακόμη και μία διαρκής υπερφόρτιση.

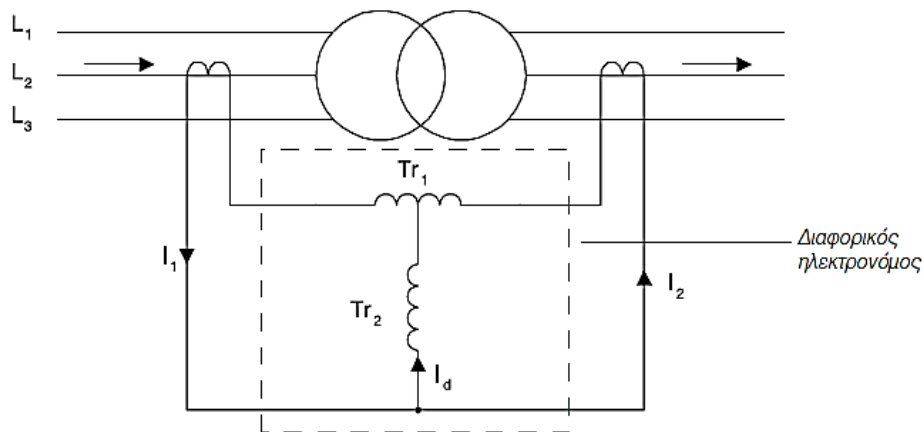
Ο *ηλεκτρονόμος Buchholz* λειτουργεί με την παρουσία αερίων καύσης λαδιού ή μόνωσης σε ένα χώρο του ή με την παρουσία αέρα σ' αυτόν. Τα αέρια καύσης προκαλούνται από βραχυκυκλώματα ή σφάλματα μόνωσης στο μετασχηματιστή ενώ ο αέρας οφείλεται σε διαρροή λαδιού. Για οικονομικούς λόγους εφαρμόζεται σε μετασχηματιστές ισχύος 800 kVA και πάνω ή αν ζητηθεί.



Ηλεκτρονόμος Buchholz

Η διαφορική προστασία είναι μία σχετικά πλήρης αλλά και ακριβής μέθοδος προστασίας. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ανιχνευτούν σφάλματα τριφασικά, διφασικά, μονοφασικά, μεταξύ των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή και σφάλματα μεταξύ σπειρών ενός τυλίγματος.

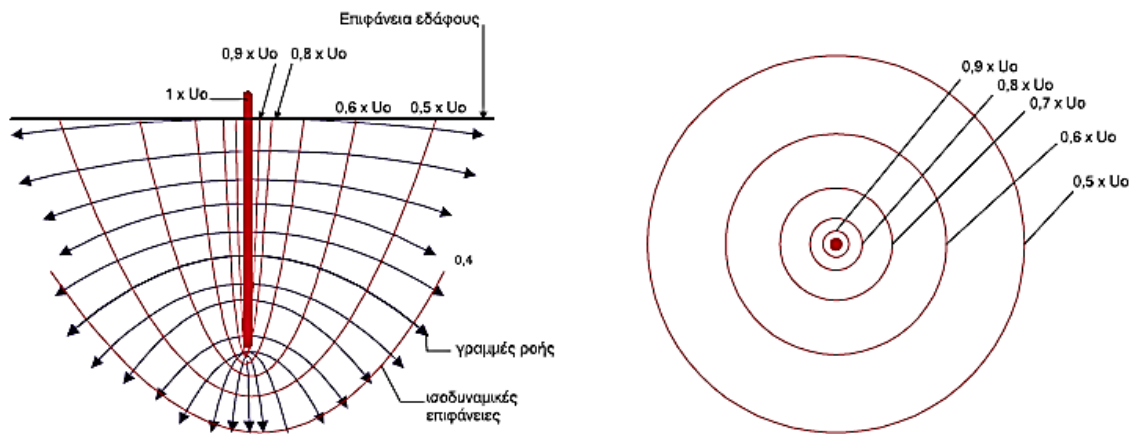
Στην διαφορική προστασία γίνεται σύγκριση των ανηγμένων ρευμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Τα δευτερεύοντα ρεύματα καταλήγουν στο διαφορικό Η/Ν ο οποίος κάθε φορά ελέγχει ότι τα εισερχόμενα ρεύματα είναι ίσα με τα εξερχόμενα. Αν η διαφορά των δύο ρευμάτων ξεπερνά ένα όριο, π.χ 100mA , τότε ο Η/Ν δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη ισχύος της Μέσης Τάσης. ([6],[13],[15],[16],[20])



Αρχή λειτουργία της διαφορική προστασίας

## 2.6 ΓΕΙΩΣΗ

Ως γείωση ορίζεται η αγώγιμη σύνδεση, σκόπιμη ή τυχαία, μέσω της οποίας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ή μια συσκευή συνδέεται με τη γη ή με ένα αγώγιμο σώμα, τέτοιας έκτασης που να θεωρείται γη.



Ηλεκτρικό πεδίο ηλεκτροδίου γείωσης

Για να καταλάβουμε τη λειτουργία της γείωσης θα πρέπει πρώτα να καταλάβουμε τον τρόπο που λειτουργεί ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο καρφωμένο κάθετα στη γη, σε βάθος μεγαλύτερο του 0,5 m. Στο πάνω μέρος του ηλεκτροδίου συνδέουμε με καλώδιο τα μεταλλικά μέρη των ηλεκτρικών συσκευών. Όσο η εγκατάσταση λειτουργεί κανονικά, το ηλεκτρόδιο έχει το δυναμικό της γης όπως και όλα τα αγωγικά μέρη που είναι συνδεδεμένα με αυτό. Το πρόβλημα εμφανίζεται σε περίπτωση σφάλματος όταν στο ηλεκτρόδιο εμφανίζεται μια τάση  $U_0$ , άπειρη ως προς γη. Η τάση  $U_0$  δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο απεικονίζεται μέσω των ισοδυναμικών γραμμών και των γραμμών ροής ρεύματος.

Η γείωση διακρίνεται σε *γείωση λειτουργίας* και *γείωση προστασίας*.

### 2.6.1 Γείωση προστασίας

Στο σύστημα της γείωσης προστασίας ΜΤ συνδέονται όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού που λειτουργούν με ονομαστική τάση μεγαλύτερη από 1kV, τα οποία δεν ανήκουν στο ενεργό κύκλωμα αλλά μπορούν να γίνουν ενεργά σε περίπτωση σφάλματος ή ακόμα και τόξου. Τέτοια είναι ο πίνακας μέσης τάσης, το δοχείο του Μ/Σ, οι θωρακίσεις των καλωδίων μέσης τάσης κ.ά. Στην περίπτωση της γείωσης προστασίας χαμηλής τάσης ισχύουν τα προαναφερθέντα με την διαφορά ότι η τάση των κυκλωμάτων είναι μικρότερη του 1kV.

### 2.6.2 Γείωση λειτουργίας

Είναι η γείωση ενός σημείου του ενεργού κυκλώματος ( γείωση του ουδέτερου κόμβου της χαμηλής τάσης του Μ/Σ 20/0,4 kV. Τα δίκτυα με γειωμένο ουδέτερο κόμβο ονομάζονται δίκτυα TN ( T=Terre, N=Neutral). Στην κατηγορία αυτή ανήκει όλο το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης της ΔΕΗ. Σε ειδικές περιπτώσεις όπως είναι οι αίθουσες των χειρουργείων συνιστάται δίκτυο με αγειώτο ουδέτερο κόμβο.

### 2.6.3 Θεμελιακή γείωση

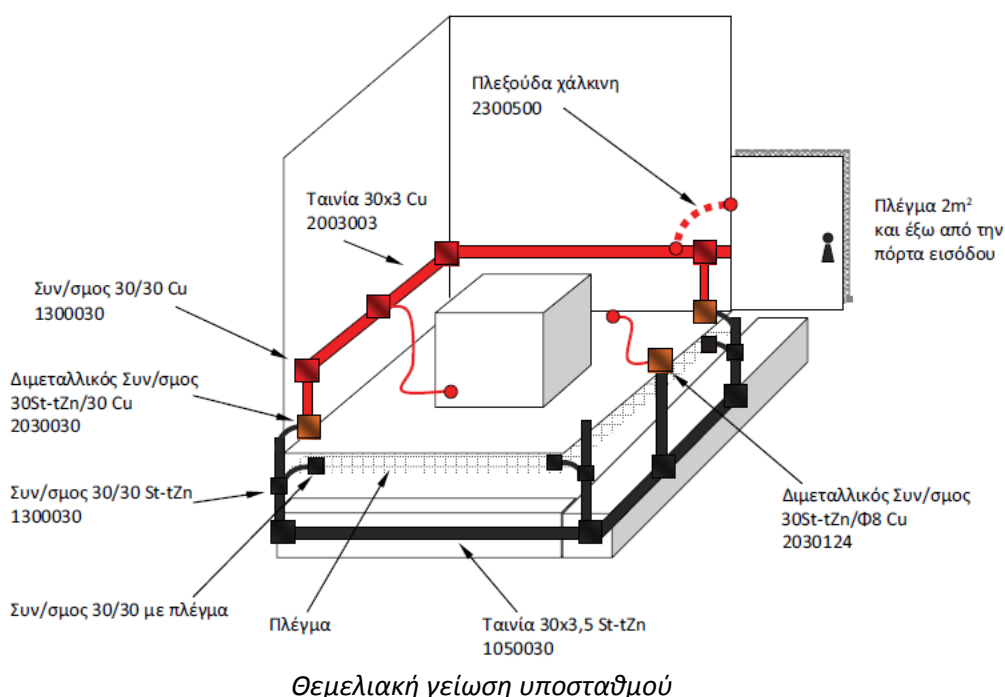
Η αντίσταση γείωσης του Υ/Σ του καταναλωτή πρέπει να είναι μικρής τιμής για να εξασφαλίζει το προσωπικό από επικίνδυνες τάσεις επαφής. Για το λόγο αυτό συνιστάται / επιβάλλεται η κατασκευή θεμελιακής γείωσης ( ΦΕΚ 1525/Β-15/31.12.73 ).

Σκοπός της κατασκευής της θεμελιακής γείωσης είναι η προστασία των ανθρώπων από ηλεκτροπληξία εξ επαφής. Ως γειωτής εγκαθίσταται ταινία χαλύβδινη θερμά

επιψευδαργυρωμένη (St/tZn) διαστάσεων 30x3,5 mm με πάχος επιψευδαργύρωσης 500gr/m<sup>2</sup> εντός των θεμελίων του κτιρίου (θεμελιακή γείωση) προκειμένου να επιτευχθούν:

- Χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης.
- Αντοχή στο χρόνο από πλευρά διάβρωσης του γειωτή.
- Ευκολία στη δημιουργία κύριων και συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων. Χαμηλό κόστος έναντι άλλων συμβατικών γειωτών.
- Μελλοντική χρήση του θεμελιακού γειωτή και ως γείωση αντικεραυνικής προστασίας. Στην περίπτωση αυτή (πρόβλεψη εγκατάστασης) απαιτείται ιδιαίτερη μελέτη, η οποία θα εντάσσει (προσαρμόζει) τη γείωση της αντικεραυνικής προστασίας με την θεμελιακή γείωση.

Στην περίπτωση του υποσταθμού, η θεμελιακή γείωση συνδέεται με πλέγμα 5 cm κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου για την βηματική τάση ως και την εσωτερική χάλκινη ταινία γείωσης.



#### 2.6.4 Τρίγωνο γείωσης

Όταν δεν είναι εφικτή η υλοποίηση θεμελιακής γείωσης τότε κατασκευάζονται τρίγωνα γείωσης. Σε αυτήν την περίπτωση είναι αρκετά πιο δύσκολο να επιτευχθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω και για το λόγο αυτό απαιτούνται συνήθως περισσότερα του ενός τριγώνου. Εάν δεν μπορεί να επιτευχθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω πρέπει να κατασκευαστούν χωριστές γειώσεις για τη μέση και χαμηλή τάση. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αντίσταση γείωσης για τη μέση τάση πρέπει να είναι μικρότερη των 40 Ω και για τη χαμηλή τάση μικρότερη των 10 Ω. Ειδικά σε παροχές τύπου Α απαιτείται επιπλέον η κατασκευή ισοδυναμικού πλέγματος στο χώρο του υποσταθμού για την αποφυγή τάσεων επαφής. Επιπλέον, οι δύο γειώσεις πρέπει να είναι πραγματικά ανεξάρτητες μεταξύ τους που σημαίνει ότι πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 20 μέτρα η μία από την άλλη που είναι πρακτικά δύσκολο. Για το λόγο αυτό πρέπει να επιδιώκεται πάντοτε η κατασκευή κοινής γείωσης με αντίσταση μικρότερη του 1 Ω. ([6],[19],[20])

Έδαφος	Ελώδες υγρό	Άργιλος, πηλός, αγρός	Υγρή άμμος	Υγρά χαλίκια	Βράχος	Ξηρή άμμος, χαλίκια	Σκυρόδεμα με αναλογία άμμος χαλίκι 5/1
$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	30-50	100	200	500	3000	1000	400

Ενδεικτικές μέσες τιμές ειδικής αντίστασης

Μορφή γείωσης	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος	Παρατηρήσεις
Ηλεκτρόδιο ράβδου μηγένο κατακόρυφα ή υπό κλίση	$R_A = \frac{\rho}{2\pi I_{EFF}} \ln \frac{4I_{EFF}}{d}$	$R_A = \frac{\rho}{I_{EFF}}$	$d = \sqrt{4A/\pi}$ $I_{EFF} \approx I$
Ηλεκτρόδιο από n-ράβδους στις κορυφές n-γώνου πλευράς α	$R_{An} = k \frac{1}{n} R_A$	-	$k = (1...1,5)$
Οριζόντιο ηλεκτρόδιο με αγωγό σε ευθύγραμμο όρυγμα βάθους 0,5÷1m	$R_A = \frac{\rho}{\pi I} \ln \frac{2I}{d}$	$R_A = \frac{2\rho}{I}$	$d = \sqrt{4A/\pi}$
Πλέγμα διαστάσεων $b \times l = A$ εντός ορύγματος βάθους 0,5÷1m με συνολικό μήκος αγωγού $l_g$	$R_A \approx \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l_g}$	$R_A \approx \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l_g}$	$D = \sqrt{4A/\pi}$
Οριζόντιο ηλεκτρόδιο με αγωγό περιμετρικά του κτιρίου σε βάθος 0,5÷1m που περικλείει εμβαδό A	-	$R_A = \frac{2\rho}{\pi D}$	$D = \sqrt{4A/\pi}$
Ηλεκτρόδιο γείωσης πλάκας εμβαδού A σε κατακόρυφη θέση εντός του εδάφους σε βάθος 0,5÷1m	-	$R_A = \frac{\rho}{4,5\alpha}$	$\alpha = \sqrt{A}$
Γειωτής ημισφαιρικής μορφής όγκου V με ηλεκτρόδιο οριζόντιων αγωγών	$R_A = \frac{\rho}{\pi D}$	-	$D = 1.57^3 \sqrt{V}$

Υπολογισμός αντίστασης γείωσης  $R_A$

## 2.7 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η ανάγκη εγκατάστασης Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) και η επιλογή της κατάλληλης Στάθμης Προστασίας για το σχεδιασμό του, γίνεται βάσει του Προτύπου ΕΛΟΤ 1412/1998, όπου λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους (χρήση της κατασκευής, διαστάσεις, γεωγραφική θέση κλπ). Η κατασκευή κατατάσσεται σε κάποια Στάθμη Προστασίας από την πιο αυστηρή I έως την πιο χαλαρή IV.

Στην περίπτωση ανάγκης εγκατάστασης ΣΑΠ προβαίνουμε στον σχεδιασμό της Αντικεραυνικής Προστασίας σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3 : 2006 και στην υλοποίησή της με υλικά που πρέπει να ικανοποιούν τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 50164 – 1 και EN 50164 – 2. Σύμφωνα με τα ανωτέρω πρότυπα, το ΣΑΠ περιλαμβάνει το εξωτερικό και το εσωτερικό σύστημα.

### 2.7.1 Εξωτερικό ΣΑΠ

Το Εξωτερικό ΣΑΠ αποτελείται από το Συλλεκτήριο Σύστημα, τους Αγωγούς Καθόδου και το Σύστημα Γείωσης.

### 2.7.1.1 ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το συλλεκτήριο σύστημα σκοπό έχει να συλλέξει το κεραυνικό ρεύμα και να το διοχετεύσει μέσω των αγωγών καθόδου στο σύστημα γείωσης με ασφάλεια. Μπορεί να σχεδιασθεί ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό σύμφωνα με τις παρακάτω μεθόδους:

- Γωνία προστασίας
- Κυλιόμενη σφαίρα
- Βρόχου

Το συλλεκτήριο σύστημα μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε συνδυασμό των ακόλουθων στοιχείων :

#### Ράβδων ή τεταμένων συρμάτων

Η τοποθέτησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν προστασία υπό μία γωνία η οποία εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά μεταξύ αυτών και της υπό προστασία επιφάνειας και της στάθμης προστασίας όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί. Υπάρχουν κατά DIN τυποποιημένα μεγέθη αυτών π.χ Ακίδα Franklin με κωδικό ΕΛΕΜΚΟ 64 21 100

#### Πλέγμα αγωγών

Πλέγμα, από αγωγούς συνήθως κυκλικής διατομής, οι οποίοι τοποθετούνται επί του δώματος ή επί της στέγης. Η διαστασιολόγηση του βρόχου εξαρτάται από την στάθμη προστασίας σύμφωνα με τον που ακολουθεί.

Στάθμη προστασίας	Ακτίνα κυλιόμενης σφαίρας R(m)	Ύψος κατασκευής h(m)				Διαστάσεις βρόχων (m)
		30	30	45	60	
I	20	250	*	*	*	5
II	30	350	250	*	*	10
III	45	450	350	250	*	15
IV	60	550	450	350	250	20

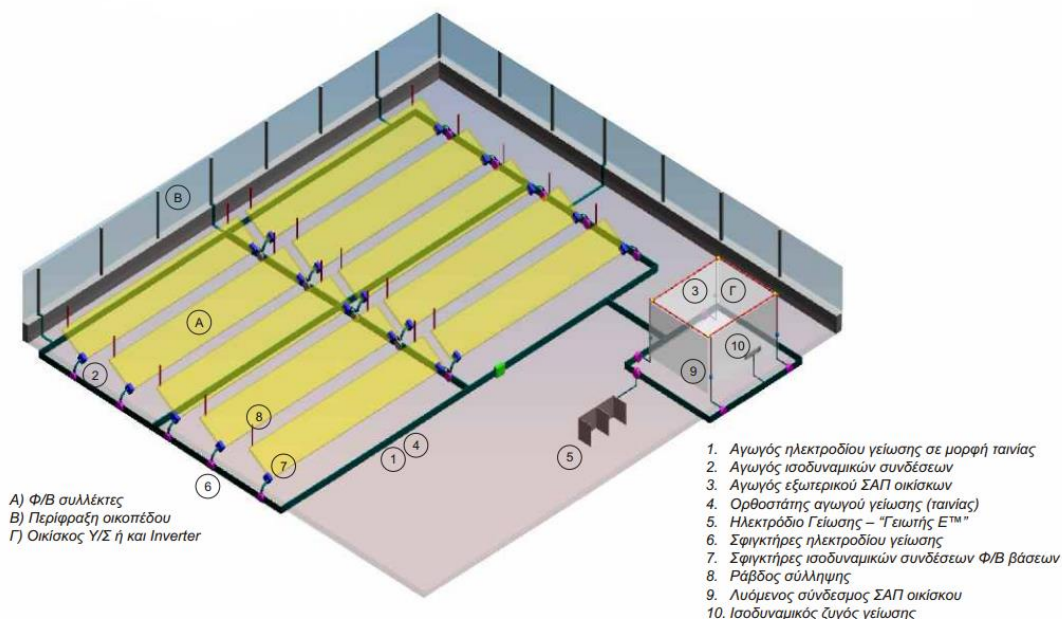
\* Σ' αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζεται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας και των βρόχων.

Ο αγωγός χαλκού θα μπορέσει να έχει εφαρμογή σε όλες τις εγκαταστάσεις αντικεραυνικής προστασίας, παρέχοντας μεγαλύτερη μακροζωία στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Η στήριξη των παραπάνω αγωγών γίνεται ανά 1m περίπου και οπωσδήποτε σε κάθε αλλαγή κατευθύνσεως του αγωγού, ένα προ της αλλαγής και ένα μετά, με κατάλληλα στηρίγματα κατασκευασμένα κατά DIN.

Η επιλογή του υλικού των στηριγμάτων πρέπει να είναι ίδιο με εκείνο του αγωγού προκειμένου να αποφεύγονται γαλβανικά φαινόμενα (*galvanic corrosion*), διότι σε σύντομο χρονικό διάστημα θα υπάρξει διάβρωση είτε στον αγωγό είτε στο στηρίγμα. Η ανωτέρω αρχή βρίσκει εφαρμογή και στα λοιπά υλικά της αντικεραυνικής προστασίας. Προσοχή θα πρέπει να δίδεται στην σωστή επιλογή των στηριγμάτων τα οποία τοποθετούνται στο δώμα. Θα πρέπει να αποφεύγονται όσα για την στήριξή τους απαιτείται το άνοιγμα οπής. Εάν παρ' όλα αυτά απαιτηθεί το άνοιγμα οπής θα πρέπει να

λαμβάνονται μέτρα αποκατάστασης της στεγανότητας εκεί όπου τοποθετήθηκε το στήριγμα.



ΣΑΠ Φ/Β πάρκου

Στην περίπτωση των μη αγώγιμων κατασκευών (καμινάδες, δώμα κ.λ.π) είτε τοποθετείται ακίδα επί της άνω επιφάνειας αυτών η οποία γεφυρώνεται με το κύριο συλλεκτήριο σύστημα, μέσω αγωγού ιδίων διαστάσεων και υλικού με τους αγωγούς του κύριου συλλεκτηρίου συστήματος, είτε δημιουργούνται βρόχοι οι οποίοι μέσω τουλάχιστον δύο αγωγών καθόδου συνδέονται με το κύριο συλλεκτήριο σύστημα επίσης.

Εάν δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση εξαρτημάτων του ίδιου υλικού, για την αποφυγή ηλεκτροχημικής διάβρωσης θα πρέπει να παρεμβάλλεται διμεταλλική επαφή Cupral ή αντίστοιχη μεταξύ διαφορετικών υλικών πχ χάλκινων και επιψευδαργυρωμένων.

### 2.7.1.2 ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΘΟΔΟΥ

Οι αγωγοί καθόδου σκοπό έχουν να οδηγήσουν το κεραυνικό ρεύμα από το συλλεκτήριο, με ασφάλεια στο σύστημα γείωσης. Τοποθετούνται είτε περιμετρικά στις εξωτερικές παράπλευρες επιφάνειες του κτιρίου, είτε εγκιβωτισμένοι στο σκυρόδεμα των υποστυλωμάτων της κατασκευής, σε μέση απόσταση που δίδεται στον πίνακα, ανάλογα με την κατάταξη της στάθμης προστασίας της κατασκευής.

ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΘΟΔΟΥ
I	10m
II	15m
III	20m
IV	25m



## 2.7.2 Εσωτερικό ΣΑΠ

Το Εσωτερικό ΣΑΠ σκοπό έχει την μείωση των τάσεων που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια κεραυνικού πλήγματος επί της κατασκευής ή πλησίον αυτής, στις ηλεκτρικά αγώγιμες εγκαταστάσεις της, σε αποδεκτά επίπεδα έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης επικίνδυνων σπινθήρων ή τάσεων επαφής. Η μείωση των τάσεων επιτυγχάνεται με Ισοδυναμικές Συνδέσεις και τους Απαγωγούς Κρουστικών Υπερτάσεων.

### 2.7.2.1 ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Ο σκοπός των ισοδυναμικών συνδέσεων είναι να μειώσουν τις διαφορές δυναμικού μεταξύ των μεταλλικών μερών και εγκαταστάσεων στο εσωτερικό του υπό προστασία χώρου και να μειώσουν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται κατά την άμεση ή έμμεση κεραυνοπληξία, εντός αυτού. Ο εσωτερικός χώρος του υπό προστασία χώρου πρέπει να διαιρεθεί σε Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ) προκειμένου να ορισθούν χώροι διαφορετικής επίδρασης κεραυνικής ηλεκτρομαγνητικής κρούσης σύμφωνα με το IEC 61312-1

Ορισμοί ζωνών	
ΖΑΠ ΟΑ	Ζώνη όπου τα στοιχεία της κατασκευής που ανήκουν στην ζώνη, υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα, και συνεπώς μπορεί να χρειαστεί να μεταφέρουν το πλήρες κεραυνικό ρεύμα. Σ' αυτή τη ζώνη το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο δεν είναι ασθενές.
ΖΑΠ ΟΒ	Ζώνη όπου τα στοιχεία της κατασκευής που ανήκουν στην ζώνη, δεν υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο επίσης δεν είναι ασθενές.
ΖΑΠ 1	Ζώνη όπου τα στοιχεία της κατασκευής που ανήκουν στην ζώνη, δεν υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα και όπου τα ρεύματα σε όλα τα αγώγιμα μέρη που περιλαμβάνονται σε αυτή τη ζώνη είναι πολύ μειωμένα σε σχέση με τα ρεύματα των ζωνών ΟΒ. Σε αυτή τη ζώνη, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να είναι ασθενές ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης

Εάν απαιτείται μία επιπλέον μείωση των επαγόμενων ρευμάτων και / ή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, πρέπει να δημιουργούνται συμπληρωματικές ζώνες. Στα όρια των ΖΑΠ τοποθετούνται Ισοδυναμικοί Ζυγοί (ΙΖ) πάνω στους οποίους γεφυρώνονται τα μεταλλικά μέρη και οι εγκαταστάσεις που διασχίζουν τα όρια των Ζωνών (μεταλλικές σωλήνες, καλωδιώσεις κ.λ.π) με τη χρήση κατάλληλων περιλαιμίων και συνδέσμων. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται είτε μέσω γυμνών αγωγών είτε μέσω καλωδίων και εάν είναι απαραίτητο μέσω απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων και υπερεντάσεων. Η διατομή των αγωγών των ισοδυναμικών συνδέσεων δίδονται από τον πίνακα 6 του ΕΛΟΤ 1197. Για την περίπτωση όπου οι παραπάνω αγωγοί διαρρέονται από μεγάλο μέρος του ρεύματος του κεραυνού ( $I_k \geq 25\% \times I_k$ ). Για την περίπτωση όπου οι παραπάνω αγωγοί διαρρέονται από μικρό μέρος του ρεύματος του κεραυνού ( $I_k < 25\% \times I_k$ ) οι απαιτούμενες διατομές δίδονται από τον πίνακα 7 του ΕΛΟΤ 1197.

		$I_k \geq 25\%$	$I_k < 25\%$
Στάθμη προστασίας	Υλικό	Διατομή (mm <sup>2</sup> )	Διατομή (mm <sup>2</sup> )
I έως και IV	Cu	16	6
	Al	25	10
	Fe	50	16

Στον ισοδυναμικό ζυγό μπορούν να απολήξουν διαφορετικές γειώσεις όπως Ηλεκτρολογική, "Καθαρή" κ.λ.π είτε απ' ευθείας είτε μέσω Απαγωγών Κρουστικών Υπερτάσεων και Σπινθηριστών στην περίπτωση που επιθυμούμε τον διαχωρισμό τους. Χρήση των τελευταίων γίνεται κατά την περίπτωση όπως η σύνδεση σωλήνων ή μεταλλικών αντικειμένων που βρίσκονται υπό καθοδική προστασία, ή σε ειδικές περιπτώσεις που δεν επιτρέπεται η άμεση ηλεκτρική σύνδεση γειώσεων που εξυπηρετούν διαφορετικές εγκαταστάσεις. ([16],[17])

## **2.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΑΤΩΝ**

Οι Φ/Β Σταθμοί είναι απομακρυσμένες εγκαταστάσεις, οι οποίες έχουν ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης. Η γεωγραφική τους θέση συνήθως δημιουργεί προβλήματα στην αδιάλειπτη επιτήρησή τους. Γι'αυτό ακριβώς τον λόγο εγκαθίστανται συστήματα τηλεμετρίας και παρακολούθησης με σκοπό την ευκολότερη και αποδοτικότερη διαχείριση και λειτουργία του.

Τα επιμέρους συστήματα προστασίας του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού μαζί με τα συστήματα τηλεμετρίας και ασφαλείας του πάρκου, καταλήγουν σε ένα κεντρικό μέσω ελέγχου που μπορεί να είναι PLC ή κάποιος επεξεργαστής CPU.

Τα είδη σημάτων που συναντάμε είναι δύο · τα αναλογικά και τα ψηφιακά σήματα.

Αναλογικά είναι τα σήματα που φτάνουν από :

- Μέσα προστασίας Μ/Σ
- Μέσα προστασίας ηλεκτρολογικού εξοπλισμού
- Μετρητές ισχύος
- Πυρανόμετρα
- Μετεωρολογικό σταθμό του πάρκου
- Εφεδρικές μπαταρίες (UPS)
- Κουμπί έκτακτης ανάγκης

Τα ψηφιακά σήματα από την άλλη προέρχονται από :

- Τους inverter
- Τις κάμερες
- Το σύστημα καταγραφής των καμερών (DVR)
- Router

Σε περίπτωση που παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα, ο χειριστής του πάρκου μπορεί να εντοπίσει το σφάλμα με την χρήση Η/Υ και να κρίνει από την θέση του γραφείου του αν είναι απαραίτητο να σταλεί προσωπικό στη θέση της βλάβης ή όχι.

Τα τρία βασικά καλώδια διασύνδεσης που χρησιμοποιούνται είναι τύπου Li2YCΥν, S/FTP καθώς και οπτικές ίνες. Η πρώτη κατηγορία εξυπηρετεί την μεταφορά αναλογικών σημάτων ενώ η δεύτερη προορίζεται για τα ψηφιακά. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται μόνο στο σύστημα των καμερών καθώς είναι πολύ πιο ακριβές.

## **2.9 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ**

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελων μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του

αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως  $4mm^2$  για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και ακόμη μικρότερη (της τάξης του  $1,5mm^2$ ) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματος τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ ή σφάλματα γης.

Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέτρο. Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως  $60^{\circ}C$  και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από  $-55^{\circ}C$  έως  $125^{\circ}C$ ). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β πάνελ με τους αντιστροφέες κυμαίνονται συνήθως από  $4-16mm^2$ . Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των Φ/Β πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο κάθε μελετητής να προβαίνει σε υπολογισμούς απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Είναι επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο.

Είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές DC καλωδίων της τάξης των  $25-70mm^2$ , σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αντιστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους DC καλωδίων των κλάδων. Η περίπτωση αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη κυρίως σε κεντρικούς αντιστροφέες (της τάξης ονομαστικής ισχύος των 100kW και άνω. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα κιτία τα οποία ομαδοποιούν πολλά ζεύγη καλωδίων κλάδων σε ένα ζεύγος. Στις περιπτώσεις αυτές τα κιτία αυτά είναι επίσης συνήθως εφοδιασμένα με απαγωγείς υπερτάσεων και DC διακόπτες φορτίου.

Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις διαθέτουν και διατάξεις επιτήρησης κλάδων (string monitoring) ώστε να δίνεται πληροφορία στον αντιστροφέα και το σύστημα εποπτείας για τη δυσλειτουργία ενός κλάδου. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη του για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων.

Επιπλέον, κατά τη φάση κατασκευής του έργου, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προσεκτική όδευση των καλωδίων κατά τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γειτνίαση των καλωδίων, η χρήση σωλήνων και η ανάγκη προστασίας από τα τρωκτικά.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κτλ) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Σε περίπτωση χαλαρής σύνδεσης είναι πιθανόν να εμφανιστεί τόξο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπλέον, η ύπαρξη υψηλής σχετικά DC τάσης επιβάλλει ώστε η σύνδεση των καλωδίων να πραγματοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό με τη δέουσα προσοχή.

Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των 5m $\Omega$  και μικρότερη). Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει παραδείγματα συνδέσμων καλωδίων:

Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσομένου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYY, NYM, NYCWY) εφαρμόζοντας τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους. [6]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΡΚΟΥ**

### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στην παρούσα μελέτη θα ασχοληθούμε με την εγκατάσταση συνδεδεμένου ΦΒ πάρκου στην Αγγλία. Η χώρα στην οποία πραγματοποιείται η υλοποίηση του έργου είναι πολύ σημαντική όχι μόνο λόγω τεχνικών ζητημάτων που ενδιαφέρουν τον μελετητή – γεωγραφικές συντεταγμένες, κλιματολογικές συνθήκες, πρόσβαση κλπ – αλλά διότι θα πρέπει να τηρηθούν κάθε φορά τα αντίστοιχα πρότυπα σχεδιασμού τα οποία δεν είναι ίδια ανά τον κόσμο.

Η διαδικασία μελέτης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης πάρκου συνήθως ακολουθεί τα εξής βήματα :

- Μελέτη αδειοδότησης ( Planning)
- Μελέτη τοπογραφικών σχεδίων
- Διαστασιολόγηση εξοπλισμού
- Χωροθέτηση
- Προσομοίωση μέσω PVSYST
- Ηλεκτρολογική μελέτη
- Μελέτη γειώσεων
- Μελέτη σημάτων
- Υδρολογική Μελέτη ( Flood Risk Assessment )

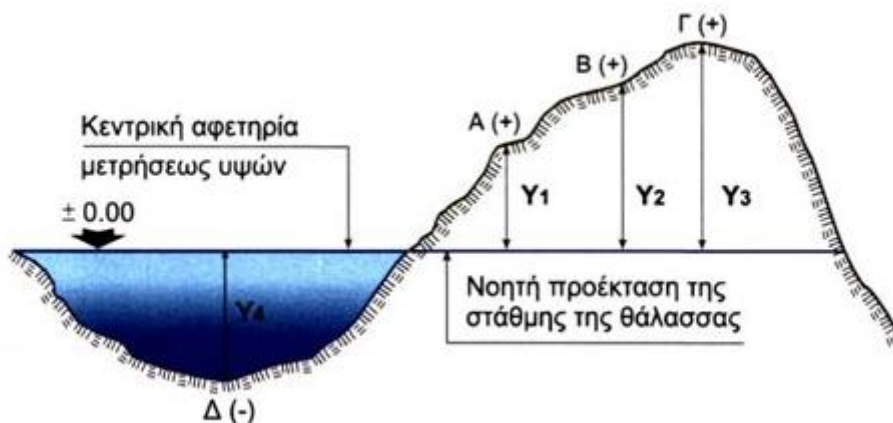
### **3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ ΠΑΡΚΟΥ**

Κατά την διαδικασία αξιολόγησης της αδειοδότησης του πάρκου, ο μελετητής καλείται να ελέγξει το περιεχόμενο και την εγκυρότητα όλων των εγγράφων που αφορούν την κατασκευή του. Σε πρώτη φάση πρέπει να γίνει έλεγχος της Άδειας Διασύνδεσης (Grid Connection ). Το έγγραφο αυτό αναγράφει τις ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες του πάρκου, τα όρια που το ορίζουν, την ισχύ που αδειοδοτείται να παράγει, την τάση διασύνδεσης με το δίκτυο, τον χρόνο ζωής του – συνήθως 20 με 25 χρόνια – καθώς και τα στοιχεία του ιδιοκτήτη στον οποίον ανήκει το έργο. Αξίζει να σημειωθεί πως για την Αγγλία η ισχύς διασύνδεσης αφορά το AC και όχι το DC κομμάτι του πάρκου, ενώ η τάση σύνδεσης γίνεται στα 11kV ή στα 33kV, ανάλογα βέβαια την ισχύ εξόδου. Επιπλέον στοιχεία που μπορεί να δίνονται είναι το είδος του εξοπλισμού που καλείται ο μελετητής να χρησιμοποιήσει καθώς και κάποια περιβαλλοντική μελέτη. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει επιλογή του πελάτη σχετικά με τον εξοπλισμό, αυτός τοποθετείται σύμφωνα με την κρίση του εγκαταστάτη μηχανικού, βάσει ορισμένων οικονομοτεχνικών προδιαγραφών. Η περιβαλλοντική μελέτη από την άλλη, σχετίζεται με την χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής καθώς και με τα αντίστοιχα πρότυπα που πρέπει να ακολουθηθούν, προκειμένου να μην υπάρξει καμία διαταραχή της ομαλής ανάπτυξης του βιότοπου λόγω της κατασκευής του πάρκου.

### **3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ**

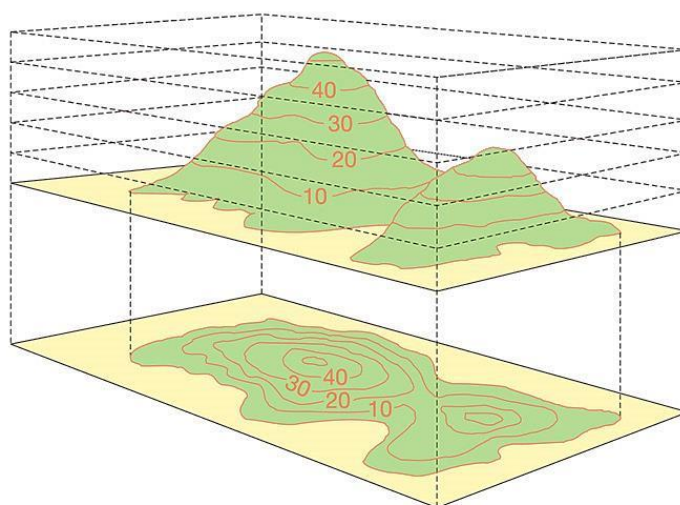
Πριν επεκταθούμε στην διαδικασία της μελέτης του τοπογραφικού σχεδίου, θα αναφερθούμε πρώτα στις βασικές του αρχές, με τις οποίες δεν είναι ιδιαίτερα εξοικειωμένος ο ηλεκτρολόγος μηχανικός.

Το τοπογραφικό σχέδιο, με το οποίο αναπαριστούμε τη μορφολογία του εδάφους, σχεδιάζεται με τη μέθοδο των ορθών προβολών. Αυτό σημαίνει ότι κάθε σημείο του εδάφους προβάλλεται στο οριζόντιο επίπεδο ως ένας αριθμός, ο οποίος αντιστοιχεί στο υψόμετρο που αυτό απέχει από την επιφάνεια της θάλασσας ή από κάποιο οριζόντιο επίπεδο που θεωρούμε ως επίπεδο αναφοράς.



Μέθοδος ορθών προβολών

Στη συνέχεια, ακολουθεί η απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους με τη βοήθεια των ισοϋψών καμπυλών. Η ισοϋψής καμπύλη είναι μια γραμμή του εδάφους της οποίας όλα τα σημεία έχουν το ίδιο υψόμετρο, ισαπέχουν δηλαδή από τη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας η οποία ορίζεται ως αφετηρία μετρήσεως των υψών. Θεωρούμε λοιπόν ότι το έδαφος κόβεται από οριζόντια επίπεδα που είναι παράλληλα στο προβολικό επίπεδο (επίπεδο θάλασσας) και τα οποία ισαπέχουν μεταξύ τους. Καταυτόν τον τρόπο έχουμε την πρώτη αποτύπωση του εδάφους. Στη συνέχεια ο τοπογράφος μηχανικός με την βοήθεια συσκευής GPS αποτυπώνει την ακριβή θέση και το ύψος διάφορων άλλων στοιχείων όπως είναι η βλάστηση, η ύπαρξη πυλώνων της ΔΕΗ, σωληνώσεων, υπέργειων ή υπόγειων κατασκευών κ.ο.κ.



Αποτύπωση ισοϋψών καμπυλών

Αφότου ο μελετητής έχει στη διάθεσή του την τοπογραφική αποτύπωση, προχωράει στον υπολογισμό της κλίσης του εδάφους. Οι κλίσεις που τον ενδιαφέρουν κυρίως είναι αυτές που έχουν προσανατολισμό Βορρά – Νότου, αφού αυτή είναι η διεύθυνση που

γίνεται η τοποθέτηση των πανέλων. Σε ελάχιστες περιπτώσεις μπορεί να έχουμε και κάποια αζιμούθια γωνία.

Ως κλίση ορίζουμε την εφαπτομένη της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ οριζοντίου επιπέδου και του ύψους του σημείου που μας ενδιαφέρει. Για να υπολογίσουμε τις κλίσεις του εδάφους πράττουμε ως εξής :

Χωρίζουμε την περιοχή μελέτης σε νοητές υποπεριοχές, ανάλογα με το ανάγλυφο που διαθέτει η κάθε μια. Στην εκάστοτε υποπεριοχή φέρουμε κάθετες ευθείες με προσανατολισμό Βορρά-Νότο, η αρχή και το πέρας των οποίων καταλήγει σε κάποια ισούψη καμπύλη. Οι ευθείες αυτές αντιστοιχούν στην οριζόντια απόσταση μεταξύ των ισούψων. Ο λόγος της διαφοράς μεταξύ ισούψους αρχής και πέρατος προς την οριζόντια απόστασή τους, αντιστοιχεί στην κλίση εδάφους. Δεχόμαστε ως θετική κλίση την περίπτωση όπου ο Βορράς είναι ψηλότερα από τον Νότο.

$$\text{Κλίση εδάφους (soil)} = \frac{\text{Διαφορά μεταξύ ισούψων}}{\text{Κάθετη απόσταση}} = \tan\phi$$

### 3.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Στη συγκεκριμένη φάση θα πρέπει ο μελετητής του έργου να έχει αποφανθεί σχετικά με τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιήσει, σε περίπτωση φυσικά που αυτός δεν έχει προαποφασιστεί από τον ίδιο τον πελάτη.

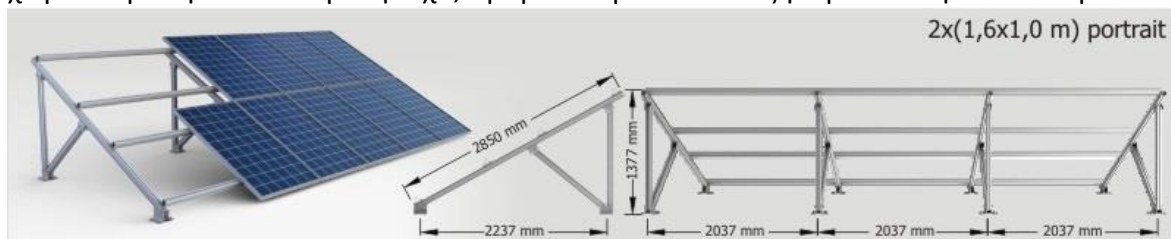
Έχοντας δεδομένο τον τύπο των πανέλων που θα τοποθετηθούν, θα πρέπει να αποφασίσει :

- Τι διάταξη θα έχουν
- Πόσα πανέλα θα τοποθετηθούν σε κάθε stringbox
- Πόσες και ποιες θα είναι οι κλίσεις εδάφους του πάρκου
- Υπολογισμός βήματος χωροθέτησης (pitch)

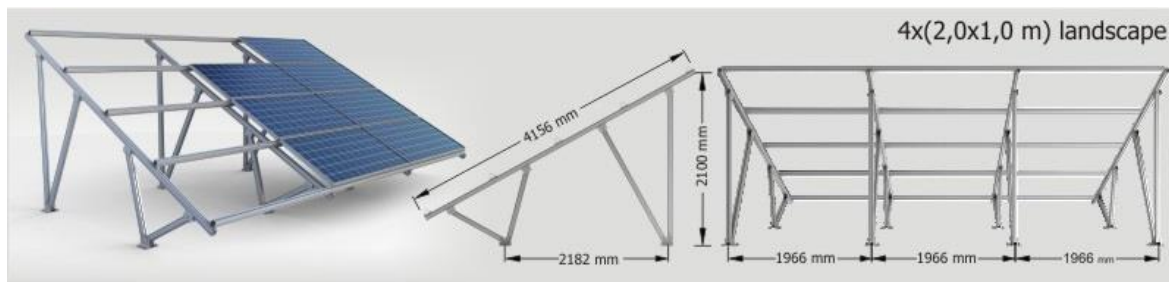
#### 3.4.1 Διάταξη Πανέλων

Ο γενικός τύπος της διάταξης των πανέλων είναι N landscape ή N portrait. Ο ακέραιος αριθμός N αναφέρεται στον αριθμό των γραμμών των πανέλων που σχηματίζονται σε οριζόντια διάταξη, ενώ ο χαρακτηρισμός landscape/portrait υποδεικνύει το αν η μεγάλη διάσταση του πανέλου βρίσκεται παράλληλα ή κάθετα ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Οι βασικές διατάξεις που χρησιμοποιούμε στην εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών είναι 2 portrait, 3 portrait και 4 landscape. Στην περίπτωση μας η διάταξη 2 portrait είναι η πιο συμφέρουσα από οικονομικής απόψεως, οπότε είναι η πρώτη εναλλακτική που υλοποιούμε στην διαδικασία της χωροθέτησης. Σε περίπτωση που δεν μπορούμε να χωρέσουμε την απαιτούμενη ισχύ, προβαίνουμε σε διάταξη 3 portrait ή 4 landscape.



Διάταξη 2 portrait



Διάταξη 4 landscape

Ο μελετητής θα πρέπει επίσης να αποφασίσει για την γωνία κλίσης του πάνελου – tilt – καθώς και για την γωνία ηλιασμού – shading angle – . Οι δύο αυτές γωνίες εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για την περιοχή της Αγγλίας χρησιμοποιούμε συνήθως γωνία κλίσης  $20^\circ$  και γωνία ηλιασμού που κυμαίνεται μεταξύ  $20^\circ$  και  $25^\circ$ . Όσο μεγαλύτερη γωνία ηλιασμού έχουμε, τόσο μεγαλύτερη και η απόδοση του πάρκου.

### 3.4.2 Διάταξη stringbox

Το stringbox ή αλλιώς ορμαθός είναι μια μεταλλική, μηχανολογική διάταξη πάνω στην οποία τοποθετείται ένας αριθμός πανέλων, και στη συνέχεια όλα μαζί θεμελιώνονται στο έδαφος. Στις παραπάνω εικόνες απεικονίζεται μια τέτοια διάταξη.

Τα πάνελα που είναι τοποθετημένα πάνω σε ένα stringbox συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, με αποτέλεσμα να δίνουν μια θετική και μια αρνητική έξοδο. Το ρεύμα εξόδου του stringbox ισούται με το άθροισμα των επιμέρους πανέλων. Ο παράγοντας που καθορίζει από πόσα στοιχεία θα αποτελείται η προαναφερθείσα διάταξη, είναι το ρεύμα και η τάση εισόδου που δέχεται ο μετατροπέας/inverter. Για τους συγκεκριμένους υπολογισμούς προτρέχουμε συνήθως σε κάποιο λογισμικό που προορίζεται για αυτό τον σκοπό. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήσαμε το Sunny Design της SMA.

Το Sunny Design είναι ένα πρόγραμμα το οποίο δέχεται ως είσοδο όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης και προσομοιώνει τα αποτελέσματα εξόδου. Το σημαντικότερο στοιχείο που πρέπει να προσέξουμε στη συγκεκριμένη φάση είναι ο θερμοκρασιακός παράγοντας. Πρέπει δηλαδή να διαθέτουμε ακριβή δεδομένα όσον αφορά τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, ιδίως όσον αφορά τις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες που μπορεί να σημειωθούν, αφού επηρεάζουν άμεσα την λειτουργία της ΦΒ διάταξης. Για μεγαλύτερη εγκυρότητα των αποτελεσμάτων μπορούμε να εισάγουμε οι ίδιοι τα δεδομένα αυτά στο πρόγραμμα, χρησιμοποιώντας πιο εξειδικευμένες πηγές όπως είναι το meteonorm.

### 3.4.3 Κλίσεις Εδάφους

Αφότου ο εγκαταστάτης μηχανικός έχει μελετήσει τα τοπογραφικά σχέδια και τις ιδιομορφίες του εδάφους, θα πρέπει να αποφανθεί για το πως θα γίνει ο διαχωρισμός του πάρκου σε υποπεριοχές ανάλογες της κλίσης που παρουσιάζεται. Υπενθυμίζουμε ότι η κλίση είναι αυτή που καθορίζει το βήμα (pitch), βάσει του οποίου θα γίνει η τοποθέτηση μεταξύ των σειρών των ΦΒ στοιχείων. Όσο λιγότερες εναλλαγές υπάρχουν στο βήμα που ακολουθείται, τόσο πιο ομαλό το τελικό αποτέλεσμα καθώς θα έχει συνεχείς και διακριτούς διαδρόμους, κάνοντας την μετακίνηση και την παρακολούθηση της εγκατάστασης ακόμα πιο εύκολη.



### 3.4.4 Υπολογισμός βήματος (pitch)

Αφότου έχουν καθοριστεί τα παραπάνω στοιχεία, ο μελετητής περνάει τα δεδομένα του σε ένα βοηθητικό φύλλο του excel προκειμένου να υπολογίσει ποια θα είναι τα βήματα (pitch) βάσει των οποίων θα γίνει η χωροθέτηση. Το φύλλο έχει ως εξής :

panel L	L	a(deg)	pitch	soil(%)	soil(deg)	H	D	D/H	ε(deg)	
<b>4 landscape</b>										
0,992	4,04	20	8,15	-3%	-1,718358	1,6262614	4,3536418	2,6770861	20,482695	
0,992	4,04	20	7,9	-3%	-1,718358	1,6187614	4,1036418	2,5350505	21,52772	
0,992	4,04	20	8,3	-3%	-1,718358	1,6307614	4,5036418	2,7616804	19,905239	
0,992	4,04	20	8,1	-3%	-1,718358	1,6247614	4,3036418	2,6487839	20,683113	
<b>2 portrait</b>										
1,65	3,31	20	7,5	-3,0%	-1,718358	1,3570867	4,3896174	3,2345888	17,179428	
1,65	3,31	20	7,3	-2,0%	-1,145763	1,2780867	4,1896174	3,2780386	16,964876	
1,65	3,31	25	8,4	-3,0%	-1,718358	1,6508664	5,4001212	3,271083	16,998872	

**Στήλη Α :** Στην πρώτη στήλη αναγράφεται το μήκος του πανέλου σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής στο datasheet. Όταν έχουμε διάταξη landscape παίρνουμε ως μήκος τη μικρή διάταξη του πανέλου σε αντίθεση με την περίπτωση που έχουμε διάταξη portrait.

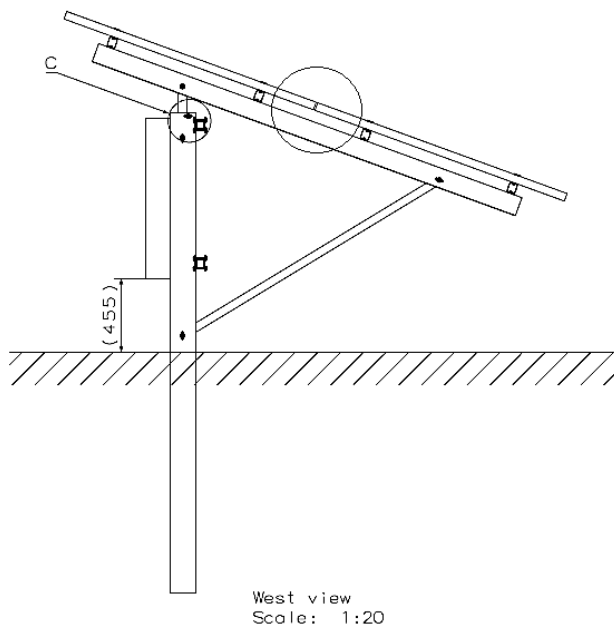
**Στήλη Β :** Στην δεύτερη στήλη αναγράφεται το συνολικό πλάτος της διάταξης που προκύπτει, μετά την τοποθέτηση των πανέλων στο stringbox.

Στην περίπτωση του 4 landscape έχουμε :

$$L = 4 \cdot \text{panel length} + 3 \cdot 0,024$$

Στην περίπτωση του 2 portrait έχουμε :

$$L = 2 \cdot \text{panel length} + 0,01$$



Διάκενο μεταξύ πανέλων

Οι παράγοντες 0,024m και 0,01m είναι το διάκενο που αφήνουμε μεταξύ των πανέλων στην διάταξη του stringbox για λόγους συστολής και διαστολής του μετάλλου.

**Στήλη C :** Σε αυτή τη στήλη βάζουμε την γωνία κλίσης του πανέλου (tilt) ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

**Στήλη D :** Η συγκεκριμένη στήλη αντιστοιχεί στο βήμα μεταξύ των στοιχειοσειρών και είναι η παράμετρος η οποία μεταβάλλουμε προκειμένου να ικανοποιήσουμε όλες τις άλλες συνθήκες.

**Στήλη E :** Στη στήλη αυτή συμπληρώνουμε την κλίση του εδάφους σε επί τοις εκατό (%). Όταν ο Νότος είναι ψηλότερα από τον Βορρά, βάζουμε πρόσημο μείον για το Βόριο ημισφαίριο.

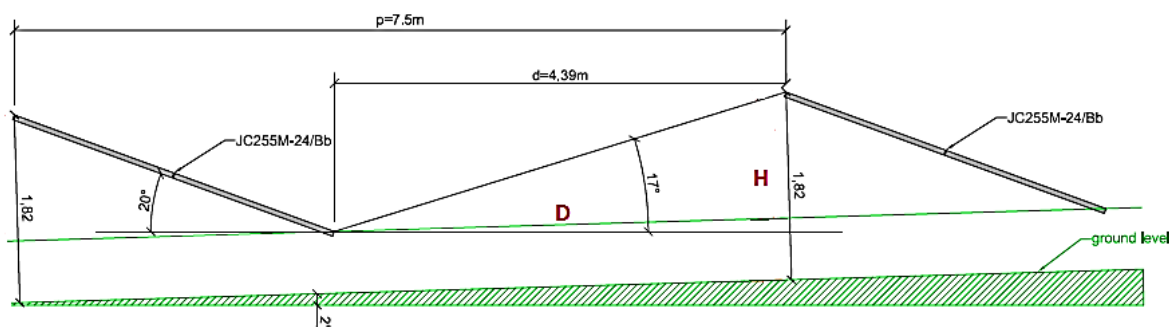
**Στήλη G, H :** Στις δυο αυτές στήλες υπολογίζονται οι κάθετες πλευρές του ορθογωνίου τριγώνου που σχηματίζεται μεταξύ της γωνίας ηλιασμού και δυο στοιχειοσειρών.

$$D = Pitch - L \cdot \cos(\text{tilt}) \geq 3m$$

$$H = L \cdot \sin(\text{tilt}) - \text{soil} \cdot \text{Pitch}$$

$$\text{shading angle} = \arctan(H/D)$$

Ο διάδρομος μεταξύ των στοιχειοσειρών πρέπει να είναι τουλάχιστον 3m για να μπορεί να γίνει η τοποθέτηση των πανέλων.



Εγκάρσια τομή στοιχειοσειράς

### 3.5 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ

Εφόσον έχουν προηγηθεί όλα τα προηγούμενα στάδια, η διαδικασία της χωροθέτησης είναι σχετικά απλή. Έχοντας στην διάθεσή μας τις βασικές πληροφορίες που είναι τα όρια του γηπέδου, οι κλίσεις και οι ιδιομορφίες του εδάφους καθώς και η βλάστηση της περιοχής, προβαίνουμε στην τοποθέτηση των πανέλων σύμφωνα με τα βήματα (pitch) που έχουμε ήδη υπολογίσει. Η χωροθέτηση γίνεται με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος AUTOCAD.

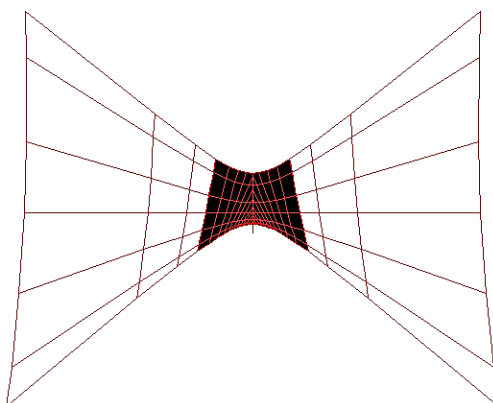
Κατά την διαδικασία της χωροθέτησης πρέπει να λάβουμε υπόψιν κάποιες παραμέτρους, οι οποίες είναι :

- Το μέγιστο επιτρεπτό μήκος μιας στοιχειοσειράς δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 120m έτσι ώστε η πτώση τάσης να διατηρείται σε ανεκτά όρια.
- Κατά την διαδικασία της χωροθέτησης πρέπει να λάβουμε υπόψη τους χώρους που θα τοποθετηθούν οι πλατείες του πάρκου. Φροντίζουμε η πλατεία να είναι κεντροβαρική τοποθετημένη στην περιοχή που εξυπηρετεί, με σκοπό την εξοικονόμηση καλωδίου. Σε περίπτωση ωστόσο που έχει εγκριθεί ειδική άδεια από την πολεοδομία για την τοποθέτηση των πλατειών σε συγκεκριμένα σημεία, οφείλουμε να συμμορφωθούμε με τους περιορισμούς που μας δίνονται. Εκτός από τους inverter , πάνω στην πλατεία γίνεται η εγκατάσταση των Μ/Σ και του οικίσκου των πεδίων. Στην φάση της χωροθέτησης δεν μας ενδιαφέρουν πολλές λεπτομέρειες όσον αφορά των εξοπλισμό. Το μόνο που πρέπει να φροντίσουμε να είναι σωστό είναι οι διαστάσεις τους στην κάτοψη του οικοπέδου.

- Μεταξύ των στοιχειοσειρών σχεδιάζουμε διαδρόμους κατά μήκος των οποίων τρέχουν τα καλώδια και τα combiner boxes. Όταν ένας διάδρομος οδηγεί σε πλατεία, τότε φροντίζουμε το πλάτος του να είναι γύρω στα 5m τουλάχιστον. Στη μέση του διαδρόμου διέρχεται ένας τρίμετρος δρόμος, ο οποίος εξυπηρετεί στην διέλευση των οχημάτων. Δεξιά και αριστερά του υπάρχει χώρος ενός μέτρου στον οποίο γίνεται η τοποθέτηση των CB και των καλωδίων. Όταν ένας διάδρομος δεν οδηγεί σε πλατεία, τότε αφήνουμε συνήθως απόσταση 3 μέτρων.
- Αποφεύγουμε την χωροθέτηση σε περιοχές με μεγάλη κλίση εδάφους, έντονο ανάγλυφο, ύπαρξη πετρωμάτων, ύπαρξη υδάτινων πόρων κ.ο.κ.

Αφού γεμίσουμε την περιοχή που μας διατίθεται με πανέλα, ελέγχουμε για τυχόν σκιάσεις από την υπάρχουσα βλάστηση. Πρέπει να αναφέρουμε στο σημείο αυτό πως στην Αγγλία απαγορεύεται αυστηρά η κοπή οποιασδήποτε βλάστησης, πράγμα που σημαίνει πως περιοχές που σκιάζονται απλά πρέπει να αποφευχθούν.

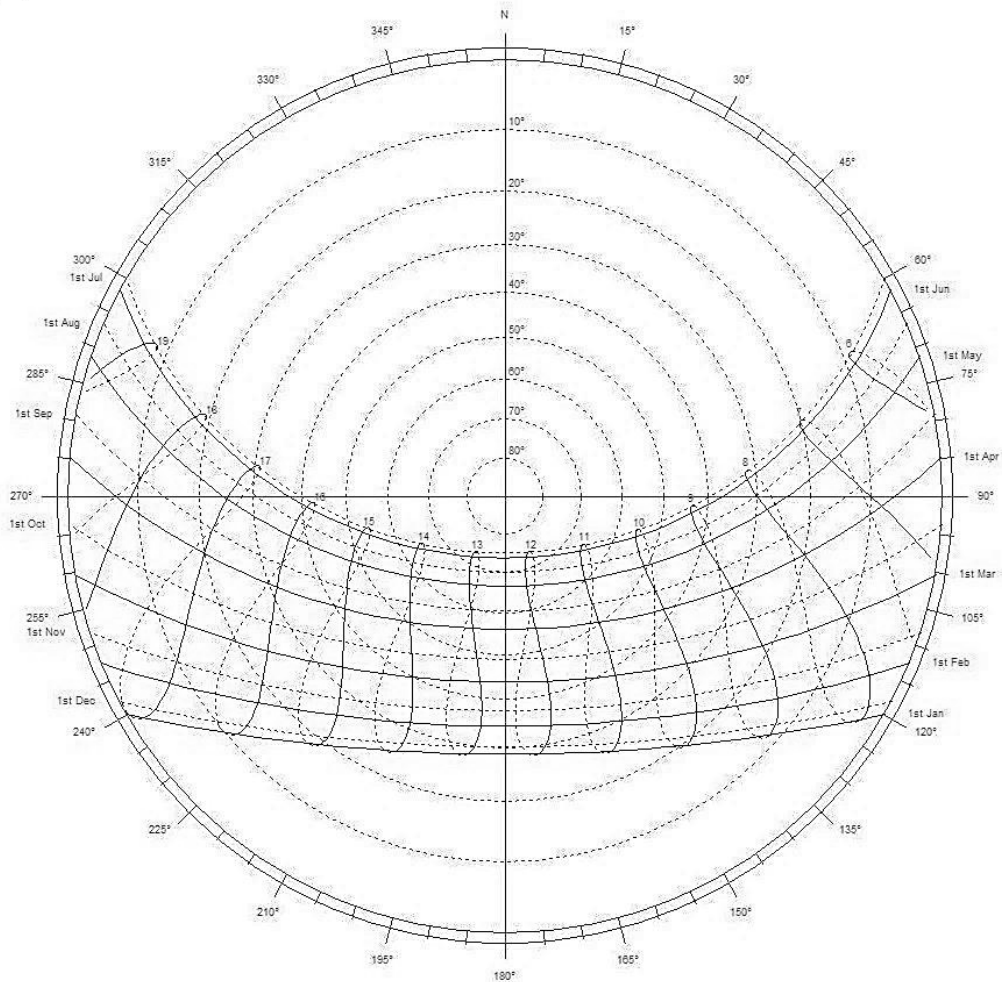
Ο έλεγχος των σκιάσεων γίνεται με την βοήθεια του ηλιακού διαγράμματος. Το ηλιακό διάγραμμα είναι χάρτες του ουράνιου θόλου που απεικονίζουν τη τροχιά του Ήλιου όπως φαίνεται από τα σημεία συγκεκριμένου γεωγραφικού πλάτους σε επιλεγμένες ημέρες.



*Βοηθητικό block σκιάσεων*

Το υπόβαθρο ενός διαγράμματος περιλαμβάνει το αζιμούθιο, δηλαδή την απόκλιση της θέσης του ήλιου από το βορά σε μοίρες (B 0, A 90, N 180, Δ 270) και το ύψος του επίσης σε μοίρες (0 οριζόντια, 90 κατακόρυφα). Για κάθε μήνα (από Ιανουάριο έως Ιούνιο με συνεχή γραμμή και από Ιούλιο έως Δεκέμβριο με διακεκομμένη) χαράσσεται η τροχιά του ήλιου από την ανατολή μέχρι τη δύση. Η τροχιά συναντά τις αντίστοιχες ευθείες με βήμα μίας ώρας του 24ώρου και η τομή τους μας δίνει την θέση του ήλιου (αζιμούθιο και ύψος) για κάθε μήνα και ώρα.

Η εύρεση της τροχιάς και της θέσης του ήλιου είναι απαραίτητο εργαλείο για μελέτες φυσικού φωτισμού, σκίασης και εντοπισμού των εμποδίων ηλιασμού από διπλανά κτήρια.



Στερεογραφικό ηλιακό διάγραμμα

### 3.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ PVSYSΤ

Μετά την ολοκλήρωση της χωροθέτησης του πάρκου, το επόμενο βήμα είναι η προσομοίωσή του με την βοήθεια του προγράμματος PVSYSΤ. Σε πρώτη φάση δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να διαλέξει το είδος της εγκατάστασης που σκοπεύει να πραγματοποιήσει. Στην περίπτωση μας επιλέγουμε την περίπτωση Grid-Connection η οποία αντιστοιχεί σε σύνδεση στο δίκτυο.

Στη συνέχεια προσδιορίζουμε παραμέτρους που σχετίζονται με τον προσανατολισμό και τις κλίσεις των πανέλων, το είδος και την ποσότητα του εξοπλισμού, τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής καθώς και στοιχεία που αφορούν τις σκιάσεις. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι η απόδοση του πάρκου (Performance Ratio), η παραγόμενη ισχύς και οι επιμέρους απώλειες λόγω καλωδιώσεων, σκιάσεων, υπερφόρτισης κ.ο.κ. Έχοντας τα δεδομένα αυτά ο μελετητής μπορεί να μεταβάλει διάφορους παράγοντες με σκοπό την βελτιστοποίηση του συστήματος.



Μενού εκκίνησης PVSYS

### 3.7 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η ηλεκτρολογική μελέτη, για να είναι έγκυρη, πρέπει να τηρεί ορισμένα πρότυπα. Τα πρότυπα που ακολουθούνται στην περίπτωση μας είναι ο ELOT και το IEC.

#### 3.7.1 Υπολογισμός θερμοκρασίας λειτουργίας αγωγών

Η αντίσταση των αγωγών του κυκλώματος εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας τους, η οποία με τη σειρά της συνυπολογίζεται στην πτώση τάσης και στις απώλειες ισχύος. Η εύρεσή της είναι δύσκολη υπόθεση καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες ( είδος εγκατάστασης, θερμική αντίσταση περιβάλλοντος, αντίσταση καλωδίου κ.ο.κ ). Μια πολύ καλή προσέγγιση ωστόσο αποτελεί ο παρακάτω τύπος :

$$\Delta\theta = \Delta\theta_N \left(\frac{I}{I_N}\right)^2 \quad (3.1)$$

$\Delta\theta$  : Η αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού σε συνθήκες λειτουργίας

$\Delta\theta_N$  : Η αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού σε πρότυπες συνθήκες λειτουργίας

$I$  : Το ρεύμα του αγωγού σε συνθήκες λειτουργίας ( RMS τιμή για AC λειτουργία )

$I_N$  : Το ρεύμα του αγωγού σε πρότυπες συνθήκες λειτουργίας ( RMS τιμή για AC λειτουργία )

Έτσι, η εκάστοτε θερμοκρασία του αγωγού υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\theta = \theta_{amb} + \Delta\theta \quad (3.2)$$

$\theta$  : Η θερμοκρασία του αγωγού σε συνθήκες λειτουργίας

$\theta_{amb}$  : Η θερμοκρασία περιβάλλοντος

$\Delta\theta$  : Η αύξηση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο

### 3.7.2 Υπολογισμός αντιστάσεων

Η αντίσταση ενός αγωγού είναι άμεσα συνδεδεμένη με την θερμοκρασία. Έχοντας υπολογίσει λοιπόν την θερμοκρασία λειτουργίας του αγωγού, είναι εύκολο να βρούμε την αντίστασή του ως εξής :

$$R = R_o[1 + a_T(\theta - \theta_o)] \quad (3.3)$$

$R$  : Αντίσταση αγωγού σε συνθήκες λειτουργίας, υπολογισμένο σε  $\Omega/m$

$R_o$  : Αντίσταση αγωγού σε θερμοκρασία  $\theta_o$ , υπολογισμένο σε  $\Omega/m$

$\theta$  : Η θερμοκρασία του αγωγού σε συνθήκες λειτουργίας

$\theta_o$  : Πρότυπη θερμοκρασία λειτουργίας βάσει του κατασκευαστή ( συνήθως  $20^\circ C$  )

$a_T$  : Θερμικός συντελεστής αντίστασης αγωγού σε  $K^{-1}$  ( για το αλουμίνιο  $0,0042K^{-1}$ , για τον χαλκό  $0,00392K^{-1}$  )

### 3.7.3 Πτώση τάσης

#### DC Πλευρά

Η πτώση τάσης δίνεται από τον τύπο :

$$\Delta U = 2L \left( \frac{l}{m} \right) R \quad (3.4)$$

$\Delta U$  : Η πτώση τάσης σε Volt

$L$  : Το μήκος της μονοφασικής γραμμής σε m

$I$  : Το απορροφούμενο ρεύμα σε A

$m$  : Ο αριθμός των παράλληλων αγωγών ανά πόλο

#### Μονοφασικό κύκλωμα AC

$$\Delta U = 2L \left( \frac{l}{m} \right) (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \quad (3.5)$$

$\Delta U$  : Η RMS τιμή της φασικής πτώσης τάσης σε Volt

$L$  : Το μήκος της μονοφασικής γραμμής σε m

$R$  : Η ωμική αντίσταση σε συνθήκες λειτουργίας σε  $\Omega/m$

$X$  : Η επαγωγική αντίσταση του καλωδίου σε συνθήκες λειτουργίας σε  $\Omega/m$

$\varphi$  : Φασική γωνία μεταξύ ρεύματος και τάσης σε rad

#### Τριφασικό κύκλωμα AC

$$\Delta U = \sqrt{3}L \left( \frac{l}{m} \right) (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \quad (3.6)$$

Οι μεταβλητές είναι όμοιες με αυτές που έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω.

### 3.7.4 Απώλειες ισχύος

Οι ωμικές απώλειες ισχύος ενός ηλεκτρικού κυκλώματος (DC ή AC) δίνονται από τον παρακάτω τύπο :

$$W_L = nLI^2 \left( \frac{R}{m} \right) \quad (3.7)$$

$W_L$  : Απώλειες ισχύος σε W

$n$  : Αριθμός των καλωδίων ,  $n=2$  για μονοφασικά ή DC κυκλώματα και  $n=3$  για συμμετρικά, τριφασικά AC κυκλώματα

$L$  : Το μήκος της μονοφασικής γραμμής σε m

$I$  : Το ρεύμα ανά καλώδιο σε A ( RMS τιμή για AC κυκλώματα )

$R$  : Η ωμική αντίσταση σε συνθήκες λειτουργίας, όπως υπολογίστηκε από τον τύπο (3.3), σε  $\Omega$

$m$  : Ο αριθμός των παράλληλων αγωγών ανά πόλο ( για DC κυκλώματα ) , ή ανά φάση ( για AC κυκλώματα )

### 3.7.5 Υπολογισμός ρεύματος λειτουργίας

Το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας που δίνεται από τους κατασκευαστές, είναι έγκυρο μόνο υπό ορισμένες συνθήκες, ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης. Προκειμένου να προσαρμόσουμε τους υπολογισμούς μας στον εκάστοτε τύπο εγκατάστασης, λαμβάνουμε υπόψιν ορισμένες μεταβλητές, οι οποίες εάν δεν δίνονται από τον κατασκευαστή, βασίζονται στο πρότυπο IEC Standard 60364-5-52.

Τρόπος Εγκατάστασης		
Υπόγεια	Υπέργεια	
f1	f1	Θερμοκρασιακός συντελεστής
f2	f2	Συντελεστής ομαδοποίησης
f3	-	Θερμοκρασιακός συντελεστής εδάφους
f4	-	Συντελεστής υπόγειων σωλήνων (1 ή 0,85)

Όλοι οι παραπάνω συντελεστές ισχύουν τόσο για DC όσο και για AC κυκλώματα. Για υπέργεια όδευση καλωδίου :

$$I_{max} = I_N \cdot f_1 \cdot f_2 \quad (3.8)$$

Για υπόγεια όδευση καλωδίου :

$$I_{max} = I_N \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \quad (3.9)$$

$I_{max}$  : Το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα για συγκεκριμένο τύπο εγκατάστασης σε A

$I_N$  : Το ονομαστικό ρεύμα δοσμένο από τους κατασκευαστές ή από διεθνή πρότυπα σε A

$f_i$  :  $i=1, \dots, 4$  οι συντελεστές διόρθωσης

Πρέπει να σημειωθεί ότι για την διαστασιολόγηση των DC καλωδίων , σύμφωνα με τα πρότυπα της IEC, το ρεύμα που αντιστοιχεί στο  $I_{max}$  δεν είναι το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα κατά το MPP, αλλά είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης ενισχυμένο κατά έναν συντελεστή ασφαλείας 25%.

### 3.7.6 Υπολογισμός AC βραχυκυκλωμάτων

#### 3Φ Βραχυκύκλωμα στον Ζυγό MT του Βασικού Υποσταθμού

Η μέγιστη ισχύς ενός τριφασικού συμμετρικού σφάλματος στο δίκτυο διανομής του δικτύου , υπό ονομαστική πολική τάση, καθορίζεται από την εκάστοτε ΔΕΗ. Προκειμένου να είμαστε στην ασφαλή πλευρά, αμελούμε την σύνθετη αντίσταση των καλωδίων MT του πάρκου.

Στους υπολογισμούς πρέπει να συμπεριληφθεί και η ισχύς που παράγει το ίδιο το πάρκο. Έτσι έχουμε τελικά :

$$I_{sc} = \frac{(S_{PPC} + S_{PV}) \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot U_P \cdot 10^3} \quad (3.10)$$

$I_{sc}$  : Ρεύμα βραχυκύκλωσης σε A

$S_{PPC}$  : Ισχύς βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής σε MVA

$S_{PV}$  : Ισχύς ΦΒ πάρκου σε MVA

$U_P$  : Πολική τάση σε kV

### 3Φ Βραχυκύκλωμα στον Ζυγό ΜΤ Υποσταθμού του Πάρκου

Σε μια τριφασική εγκατάσταση, το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  σε κάθε σημείο δίνεται από τον τύπο :

$$I_{sc} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot Z_T} \quad (3.11)$$

$U_p$  : Πολική τάση σε kV

$Z_T$  : Συνολική ανά φάση αντίσταση Thevenin μέχρι το σημείο σφάλματος, σε  $\Omega$

### 3Φ Βραχυκύκλωμα στα Δευτερεύοντα Τυλίγματα ΜΣ Παραγωγής

Σε μια τριφασική εγκατάσταση, το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  για κάθε σημείο, δίνεται από τον τύπο :

$$I_{sc} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot Z_T} \quad (3.12)$$

$U_p$  : Πολική τάση στα δευτερεύοντα τυλίγματα του ΜΣ, σε V

$Z_T$  : Συνολική ανά φάση αντίσταση Thevenin μέχρι το σημείο σφάλματος, σε  $\Omega$ , ανηγμένη στα δευτερεύοντα τυλίγματα του ΜΣ.

### Κατώτατα Όρια του Ρεύματος Βραχυκύκλωσης

Όταν μια συσκευή προορίζεται για την προστασία από τυχόν βραχυκυκλώματα , τότε είναι απαραίτητο να μπορεί να αντιλαμβάνεται ακόμα και τις κατώτατες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης που μπορεί να σημειωθούν. Οι ελάχιστες αυτές τιμές καταγράφονται σε περίπτωση που οι δύο εκ των τριών απολήξεις των φάσεων ενός τριφασικού κυκλώματος έρθουν σε επαφή ή όταν φάση και ουδέτερος μιας μονοφασικής γραμμής βραχυκυκλωθούν στα άκρα τους. Όπως και να χει, η τάση στο σημείο προστασίας κατά την διάρκεια του βραχυκυκλώματος είναι 80% της ονομαστικής του τιμής. Έτσι το μήκος του καλωδίου από το σημείο προστασίας και ύστερα δεν πρέπει να ξεπερνά ένα μέγιστο μήκος, που δίνεται από τον τύπο :

$$L_{max} = \frac{0,8 \cdot U \cdot S_{ph}}{2 \cdot \rho \cdot I_m} \quad (3.13)$$

$L_{max}$  : Το μέγιστο μήκος της μονοφασικής γραμμής του κυκλώματος σε m

$U$  : Η πολική τάση 3Φ κυκλώματος ή η φάση ως προς τον ουδέτερο αγωγό σε μονοφασικό κύκλωμα σε V

$S_{ph}$  : Διατομή αγωγού σε  $mm^2$

$\rho$  : Ειδική αντίσταση αγωγού σε  $\Omega \cdot mm^2/m$

$I_m$  :

### Καλώδια

Η ελάχιστη διατομή καλωδίου που απαιτείται προκειμένου να μπορεί να ανταπεξέλθει σε ένα τριφασικό βραχυκύκλωμα δίνεται από τον τύπο :

$$A = \frac{I_{sc} \cdot \sqrt{t}}{k} \quad (3.14)$$

$A$  : Διατομή καλωδίου σε  $mm^2$

$t$  : Διάρκεια σφάλματος σε sec

$I_{sc}$  : RMS τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε A



$k$  : Συντελεστής εξαρτώμενος από το υλικό, την μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του αγωγού, τον τύπο του καλωδίου και τη μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία του αγωγού κατά την διάρκεια του σφάλματος

Ο παραπάνω τύπος ισχύει για διάρκεια σφάλματος έως 5s. Εάν οι χρόνοι διακοπής είναι πολύ μικροί (<0,1s) τότε το γινόμενο  $k^2 \cdot S^2$  που προκύπτει από την εξίσωση πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την τιμή  $I^2 \cdot t$  που δίνεται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Μόνωση Καλωδίου						
	PVC <300mm <sup>2</sup>	PVC <300mm <sup>2</sup>	EPR XLPE	Καουτσούκ	Ορυκτό	
					PVC	Γυμνό καλώδιο
Αρχική θερμοκρασία	70	70	90	60	70	105
Τελική θερμοκρασία	160	140	250	200	160	250
Χαλκός	115	103	143	141	115	135
Αλουμίνιο	76	68	94	93	-	-

Σε περίπτωση που ένα βραχυκύκλωμα πραγματοποιηθεί στην DC πλευρά της εγκατάστασης, τότε το ρεύμα του θα είναι ανάλογο του πλήθους των πανέλων που συνδέονται στον συγκεκριμένο μετατροπέα.

### 3.8 ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΙΩΣΕΩΝ

Η μελέτη γείωσης πραγματοποιείται συνήθως από εξωτερικό συνεργάτη ο οποίος έχει στην διάθεσή του εξειδικευμένο λογισμικό για αυτό το σκοπό. Σε γενικές γραμμές, προκειμένου να προβούμε στην μελέτη γείωσης του πάρκου θα πρέπει να γνωρίζουμε σε ποια τάση θα συνδεθεί και ποια είναι η αντίσταση εδάφους όπου γίνεται η εγκατάσταση. Το σύστημα γείωσης περιλαμβάνει έναν περιμετρικό αγωγό γείωσης και μερικές ράβδους γείωσης εγκατεστημένες γύρω από την περιοχή των υποσταθμών και των inverter μαζί με έναν γυμνό αγωγό γείωσης κάτω από τα καλώδια Μέσης τάσης συνδέοντας έτσι όλο τον εξοπλισμό. Ο ουδέτερος αγωγός των μετασχηματιστών συνδέονται κατευθείαν στο ηλεκτρόδιο γείωσης της υψηλής τάσης το οποίο θα οδηγήσει στον σχηματισμό ενός ενιαίου συστήματος γείωσης μαζί με τα μεταλλικά στηρίγματα των πανέλων τα οποία λειτουργούν ως ηλεκτρόδια γείωσης.

### 3.9 ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΜΑΤΩΝ

Η μελέτη σημάτων αφορά την σχεδίαση των αναλογικών και ψηφιακών σημάτων και των αντίστοιχων καλωδίων τους στις μονάδες συλλογής και επεξεργασίας τους με σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας του πάρκου. Αυτό που χρειάζεται να γνωρίζουμε είναι ο αριθμός των υποσταθμών καθώς είναι ανάλογος των μονάδων επεξεργασίας των σημάτων (sense box), ο αριθμός των καμερών που θα φτάνει σε κάθε υποσταθμό καθώς και ο αριθμός των πυρανομέτρων που πρέπει να τοποθετηθούν συνολικά. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, για πάρκο ισχύος κάτω των 5MW πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον δυο πυρανόμετρα και ένας μετεωρολογικός σταθμός.

### **3.10 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

Η υδρολογική μελέτη (Flood Risk Assessment ) πραγματοποιείται από πολιτικό μηχανικό και σκοπό έχει την αποφυγή εγκατάστασης υποσταθμών και δρόμων από σημεία που πλημμυρίζουν λόγω υδατοπτώσεων, έντονων κλίσεων εδάφους κ.λ.π. Η πρώτη εκτίμηση της περιοχής γίνεται με την βοήθεια των τοπογραφικών σχεδίων και των αρχείων .kmz , στα οποία αποτυπώνεται η ροή των υδάτων και των χαντακίων. Σε δεύτερη φάση μπορεί να χρειαστεί να πραγματοποιηθούν έργα (λεκάνες υδρορροής-swales) που να αποσκοπούν στην προστασία των εγκαταστάσεων από τυχόν πλημμύρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η παρουσίαση της διαδικασίας εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β Πάρκου. Η αναφορά στο πάρκο θα γίνεται με την ονομασία 'Solar PV Plant' .



Όψη πάρκου από Google Earth

Το Solar PV Plant βρίσκεται στην Αγγλία, 50 km περίπου νότια του Liverpool. Η σύνδεση με την ΔΕΗ, η οποία για το Ηνωμένο Βασίλειο αντιστοιχεί στην ονομασία DNO, θα γίνει στα 11kV, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη DC ισχύς του πάρκου ισούται με 5MW. Η υπερφόρτιση των μετατροπών μπορεί να φτάσει έως και 30%.

### 4.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο προτεινόμενος εξοπλισμός του έργου είναι πανέλα Renesola JC255M και inverter SMA. Έχοντας στη διάθεσή μας τα επίσημα datasheets, προβαίνουμε στον υπολογισμό των πανέλων που αναλογούν σε κάθε στοιχειοσειρά ( string ) καθώς και στον αριθμό των inverter που θα χρησιμοποιηθούν συνολικά. Οι υπολογισμοί των οριακών τάσεων και ρευμάτων, καθώς και οι ονομαστικές τιμές λειτουργίας γίνονται με την βοήθεια του προγράμματος Sunny Design , το οποίο είναι σε θέση να συνυπολογίζει όλους τους θερμοκρασιακούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες της περιοχής , με αποτέλεσμα να έχουμε στη διάθεσή μας ρεαλιστικές τιμές .

Κάνοντας χρήση του metenorm καθώς και επίσημων μετεωρολογικών δεδομένων, βρίσκουμε ότι η ελάχιστη καταγεγραμμένη θερμοκρασία της περιοχής ανέρχεται στους -16°C ενώ η μέγιστη ισούται με 35°C. Τα στοιχεία αυτά διασταυρώνονται με τα δεδομένα του Sunny Design για ασφαλή αποτελέσματα.

Εν συντομία, ο βασικός αλγόριθμος που ακολουθεί το Sunny Design έχει ως εξής : Αρχικά υπολογίζουμε την ελάχιστη AC ισχύ που πρέπει να ικανοποιούν οι inverter και στη συνέχεια επιλέγουμε τον κατάλληλο συνδυασμό μετατροπών.

Ελάχιστη AC ισχύς inverter :  $\frac{5000kW}{1,3} = 3846kW$

Κατάλληλος συνδυασμός μετατροπέων :

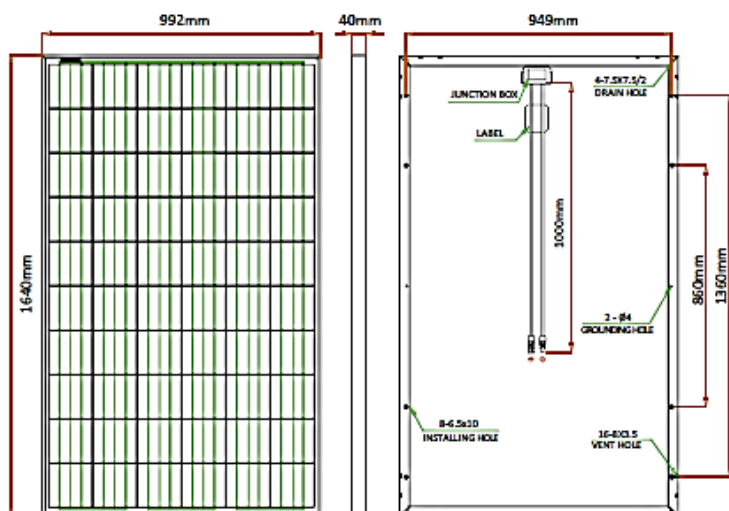
$$(2 \times 760 \text{ kW}) + 800 \text{ kW} + (2 \times 850 \text{ kW}) = 4020 \text{ kW} \rightarrow \frac{5000 \text{ kW}}{4020 \text{ kW}} = 1,24 < 1,3$$

# ReneSola

## Virtus® II Module

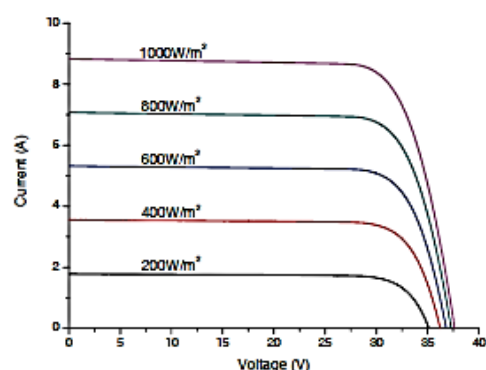
250W, 255W, 260W

### Dimensions



Drawing Only for Reference

### I-V Curves



### Varied Irradiation Efficiencies

Irradiance	200W/m <sup>2</sup>	400W/m <sup>2</sup>	600W/m <sup>2</sup>	800W/m <sup>2</sup>	1000W/m <sup>2</sup>
Efficiency	15.8%	16.2%	16.2%	16.1%	16.0%

### Electrical Characteristics STC

	JC250M-24/Bb	JC255M-24/Bb	JC260M-24/Bb
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	250 W	255 W	260 W
Power Tolerance	0 ~ +5W	0 ~ +5W	0 ~ +5W
Module Efficiency	15.4%	15.7%	16.0%
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	8.31 A	8.39 A	8.53 A
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	30.1 V	30.4 V	30.5 V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	8.83 A	8.86 A	8.95 A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	37.4 V	37.5 V	37.6 V

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C)

### Datasheet Πανέλου

Το αμέσως επόμενο βήμα, είναι ο υπολογισμός των πανέλων που αντιστοιχούν σε κάθε στοιχειοσειρά. Σύμφωνα με το datasheet, ο θερμοκρασιακός συντελεστής διόρθωσης του πανέλου ισούται με -0,30% /°C για το  $V_{oc}$  και με 0,04% /°C για το  $I_{sc}$ .

Εάν τοποθετήσουμε 24 πανέλα / string, τότε η μέγιστη τάση της στοιχειοσειράς που μπορεί να εμφανιστεί για ελάχιστη θερμοκρασία -16°C και ηλιοφάνεια 1000 W/m<sup>2</sup> ισούται με :

$\{[(16+25) \cdot 0,3\%] + 1\} \cdot 37,5 \cdot 24 = 1010,7V > 1000V$  που είναι η μέγιστη επιτρεπτή τάση του συστήματος.

Άρα πηγαίνουμε στην αμέσως επόμενη εναλλακτική που έχει ως εξής :

$\{[(16+25) \cdot 0,3\%] + 1\} \cdot 37,5 \cdot 23 = 968V < 1000V$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ονομαστική τάση εξόδου του κάθε stringbox καθώς και το μέγιστο πλήθος αυτών που μπορούν να συνδεθούν παράλληλα προκειμένου οι τιμές να είναι εντός ορίων λειτουργίας του μετατροπέα.

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής διόρθωσης του πανέλου για STC συνθήκες λειτουργίας ισούται με  $-0,35\% / ^\circ\text{C}$  για το  $V_{mpp}$  και  $0,045\% / ^\circ\text{C}$  για το  $I_{mpp}$  ενώ η θερμοκρασία λειτουργίας των πανέλων είναι  $50^\circ\text{C}$ . Άρα για 23 πανέλα ανά string θα έχουμε :  
 $[1-(25*0,35\%)]*30,4*23 = 638\text{ V} \rightarrow 583\text{ V} < 638\text{ V} < 850\text{ V}$  για τον 800 CP XT

Η τάση λειτουργίας του string είναι εντός ορίων της τάσης εισόδου και για τους τρεις inverter.

Το μέγιστο ρεύμα εισόδου και για τους τρεις μετατροπείς ισούται με  $1400\text{ A}$ . Ο μέγιστος αριθμός στοιχειοσειρών που μπορούν να συνδεθούν παράλληλα με τον εκάστοτε inverter προκύπτει ως εξής :

$$1400\text{ A} = N * [1-(25*0,045\%)]*8,39\text{ A} = 8,29*N \rightarrow N = 168\text{ string}$$

Technical Data	Sunny Central 720CP XT	Sunny Central 760CP XT
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$ )	808 kW	853 kW
Min. input voltage / max. input voltage	450 V / 1000 V	475 V / 1000 V
$V_{MPP\_min}$ at $I_{MPP} < I_{DCmax}$	480 V	505 V
MPP voltage range (@ $25^\circ\text{C}$ / @ $50^\circ\text{C}$ at 50 Hz) <sup>1,2</sup>	577 - 850 V / 525 - 850 V	609 - 850 V / 554 - 850 V
MPP voltage range (@ $25^\circ\text{C}$ / @ $50^\circ\text{C}$ at 60 Hz) <sup>1,2</sup>	577 - 850 V / 525 - 850 V	609 - 850 V / 554 - 850 V
Rated input voltage	577 V	609 V
Max. input current	1400 A	1400 A
Number of independent MPP inputs	1	1
Number of DC inputs	9 / 32 (Optiprotect)	9 / 32 (Optiprotect)
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ $25^\circ\text{C}$ ) / nominal AC power (@ $50^\circ\text{C}$ )	792 kVA / 720 kVA	836 kVA / 760 kVA
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	324 V / 292 - 372 V	342 V / 308 - 393 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / 47 ... 63 Hz	50 Hz, 60 Hz / 47 ... 63 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 324 V	50 Hz / 342 V
Max. output current / max. total harmonic distortion	1411 A / 0,03	1411 A / 0,03
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.9 leading ... 0.9 lagging	
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
<b>Efficiency<sup>3</sup></b>		
Max. efficiency / European efficiency / CEC efficiency	98,6 % / 98,4 % / 98,5 %	98,6 % / 98,4 % / 98,5 %
<b>Protective devices</b>		
Input-side disconnection device	Motor-driven load-break switch / circuit breaker (Optiprotect)	
Output-side disconnection device	AC circuit breaker	AC circuit breaker
DC overvoltage protection	Type I surge arrester	Type I surge arrester
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III	Lightning Protection Level III
Stand-alone grid detection active / passive	● / -	● / -
Grid monitoring	●	●
Ground fault monitoring / remote-controlled ground fault monitoring	○ / ○	○ / ○
Insulation monitoring	○	○
Surge arrester for auxiliary power supply	●	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III

Technical Data	Sunny Central 800CP XT	Sunny Central 850CP XT
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ $\cos \phi = 1$ )	898 kW	954 kW
Min. input voltage / max. input voltage	500 V / 1,000 V	536 V / 1,000 V
$U_{MPP_{min}}$ at $I_{MPP} < I_{DCmax}$	530 V	568 V
MPP voltage range (@ 25 °C / @ 50 °C at 50 Hz) <sup>1,2</sup>	641 to 850 V / 583 to 850 V	681 to 850 V / 625 to 850 V
MPP voltage range (@ 25 °C / @ 50 °C at 60 Hz) <sup>1,2</sup>	641 to 850 V / 583 to 850 V	681 to 850 V / 625 to 850 V
Rated input voltage	641 V	681 V
Max. input current	1,400 A	1,400 A
Number of independent MPP inputs	1	1
Number of DC inputs	9 / 32 (Optiprotect)	9 / 32 (Optiprotect)
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ 25 °C) / nominal AC power (@ 50 °C)	880 kVA / 800 kVA	935 kVA / 850 kVA
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	360 V / 324 to 414 V	386 V / 348 to 443 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / 47 to 63 Hz	50 Hz, 60 Hz / 47 to 63 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 360 V	50 Hz / 386 V
Max. output current / max. total harmonic distortion	1,411 A / 0.03	1,411 A / 0.03
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.9 leading to 0.9 lagging	
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
<b>Efficiency<sup>3</sup></b>		
Max. efficiency / European efficiency / CEC efficiency	98.6% / 98.4% / 98.5%	98.6% / 98.4% / 98.5%
<b>Protective devices</b>		
Input-side disconnection device	Motor-driven load-break switch / circuit breaker (Optiprotect)	
Output-side disconnection device	AC circuit breaker	AC circuit breaker

### Datasheet Inverter

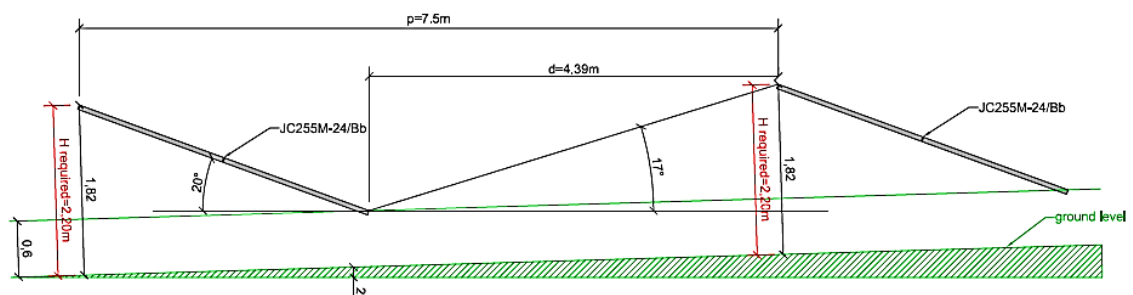
#### 4.3 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ

Μετά την διαστασιολόγηση του εξοπλισμού, προβαίνουμε στην χωροθέτηση του πάρκου. Για την διαδικασία αυτή πρέπει να είναι ξεκάθαρα τα όρια του γηπέδου, οι κλίσεις του εδάφους καθώς και τυχόν ιδιόμορφες περιοχές που μπορεί να χρειάζεται να αποφευχθούν.

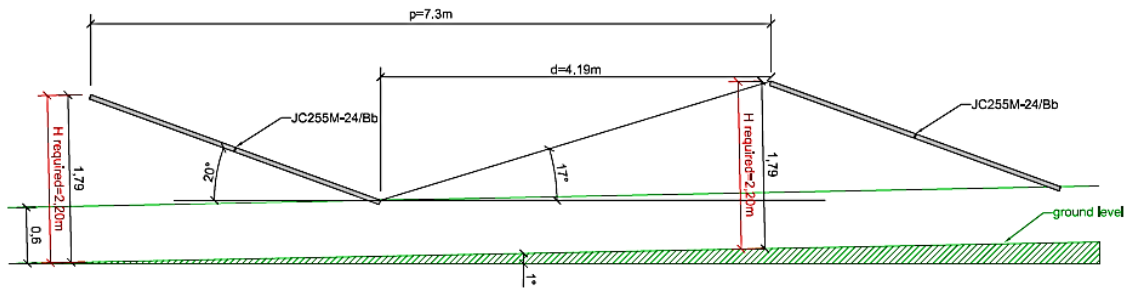
Με την βοήθεια των τοπογραφικών σχεδίων, παρατηρούμε ότι το πάρκο παρουσιάζει δυο αρνητικές [κλίσεις](#) εδάφους της τάξης του -2% και -3%. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο υπολογισμού του βήματος που έχει ήδη αναφερθεί, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας :

2 portrait									
panel L	L	a(deg)	pitch	soil(%)	soil(deg)	H	D	D/H	ε(deg)
1,64	3,29	20	7,5	-3,0%	-1,718358	1,3502463	4,4084113	3,2648942	17,029231
1,64	3,29	20	7,3	-2,0%	-1,145763	1,2712463	4,2084113	3,3104611	16,808135

Side view of mounting structure  
2 x JC255M-24/Bb Portrait  
Soil Inclination -3%  
Scale 1:50



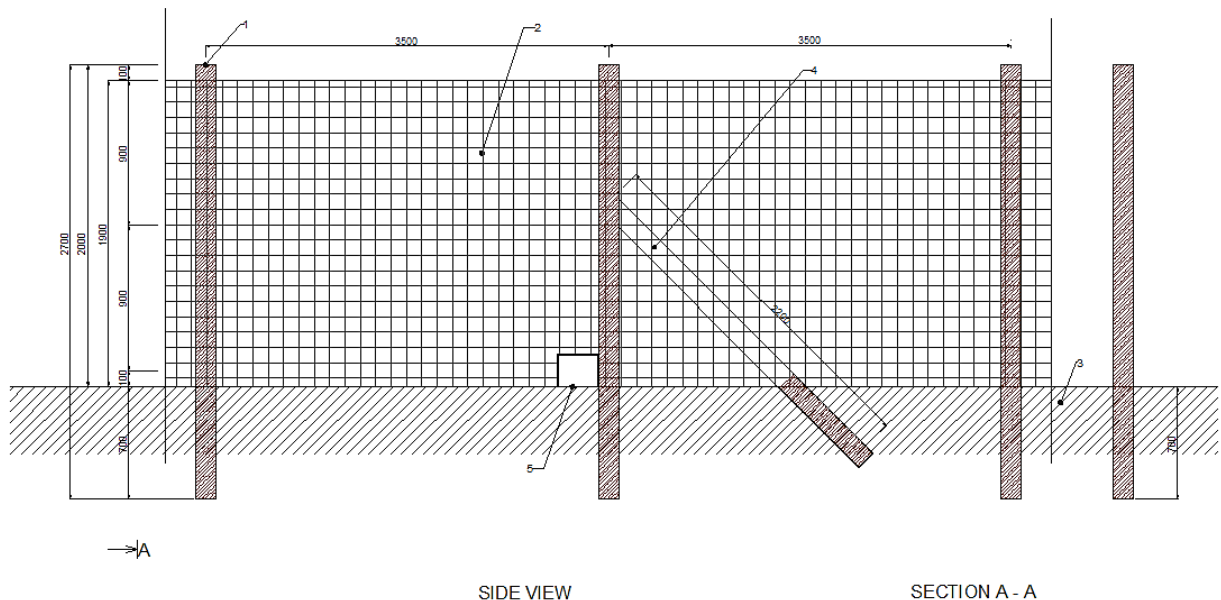
Side view of mounting structure  
 2 x JC255M-24/Bb Portrait  
 Soil Inclination -2%  
 Scale 1:50



### Τομές στοιχειοσειρών εγκατάστασης

Περιμετρικά του γηπέδου τοποθετούμε προστατευτικό φράχτη, ενώ σε απόσταση 5 m από αυτόν, ξεκινάει η εδραίωση των πανέλων. Το πάρκο διατρέχεται από δυο σωλήνες υγραερίου (gas pipes), εκατέρωθεν των οποίων αφήνουμε δουλεία 3m για λόγους ασφαλείας και συντήρησης. Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως βάσει περιβαλλοντικής μελέτης, απαγορεύεται η χωροθέτηση πανέλων γύρω από τις λιμνούλες σε ακτίνα 10m , με σκοπό της προστασία της πανίδας που αναπτύσσεται γύρω τους.

Αφότου ολοκληρωθεί η πρώτη πρόχειρη [χωροθέτηση](#), θα πρέπει να εξετάσουμε εάν [σκιάζονται](#) τυχόν περιοχές λόγω υπάρχουσας βλάστησης και να αφαιρεθούν οι αντίστοιχες στοιχειοσειρές. Στη συνέχεια γίνεται ο σχεδιασμός των δρόμων και των πλατειών του πάρκου.



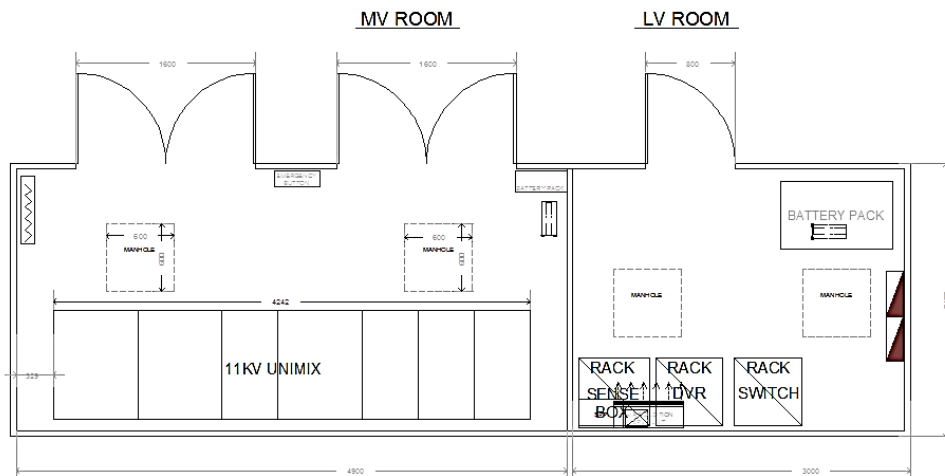
SIDE VIEW

SECTION A - A

### Περίφραξη πάρκου

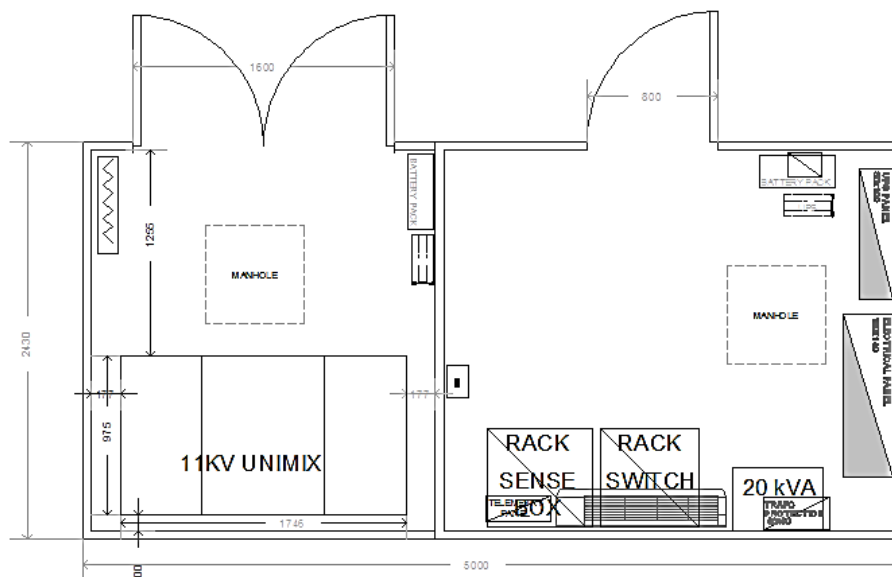
Ο αριθμός των πλατειών στην συγκεκριμένη περίπτωση θα είναι τρία. Στο βόριο τμήμα του πάρκου θα τοποθετηθεί μια [πλατεία](#) με έναν inverter 800CP XT, έναν Μ/Σ 900KVA , έναν βοηθητικό Μ/Σ 50kVA για τις ιδιοκαταναλώσεις καθώς και ο υποσταθμός ζεύξης.

Ο υποσταθμός ζεύξης στην προκειμένη περίπτωση αποτελείται από το δωμάτιο Μέσης Τάσης και από το δωμάτιο Χαμηλής Τάσης. Στον χώρο χαμηλής τάσης υπάρχουν οι πίνακες μέσης και χαμηλής τάσης, ένα κλιματιστικό για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του χώρου, σύστημα μπαταριών για αυτονομία του πάρκου σε περίπτωση black out, ένας οπτικός καταναμητής ( rack switch) πάνω στον οποίον καταλήγουν όλες οι οπτικές ίνες από τις κάμερες του πάρκου, ένα καταγραφικό των καμερών ( rack DVR) καθώς και ο κεντρικός επεξεργαστής CPU ( rack sense box ) στον οποίον καταλήγουν όλα τα σήματα ελέγχου του πάρκου. Το αναλυτικό διάγραμμα των σημάτων ( security schematics) παρατίθεται παρακάτω.



Υποσταθμός ζεύξης

Στον χώρο της μέσης τάσης από την άλλη, υπάρχει σύστημα μπαταριών, τα πεδία ζεύξης με την Μέση Τάση του δικτύου καθώς και ένα θερμαντικό σώμα κατά της υγρασίας για αποφυγή φαινομένων κορώνας. Το συνολικό μήκος του οικίσκου είναι 8m ενώ το εξωτερικό του χρώμα επιβάλλεται να είναι πράσινο για περιβαλλοντικούς λόγους.



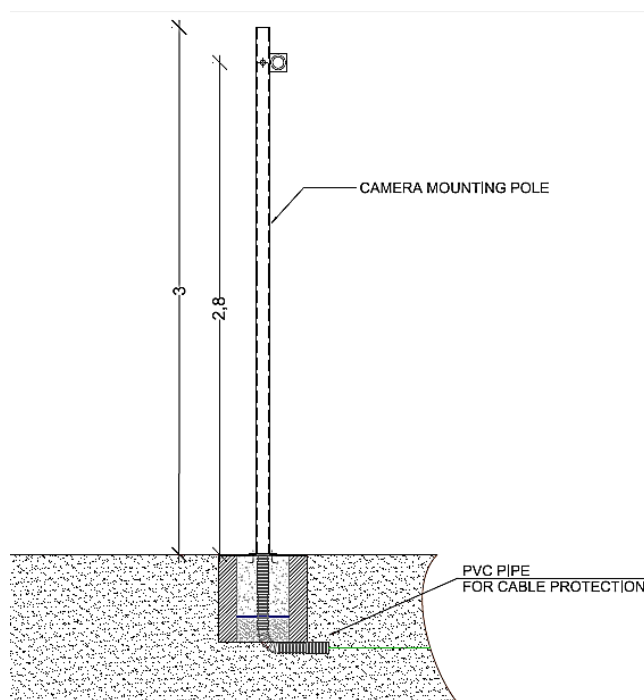
Υποσταθμός παραγωγής



Ο υποσταθμός παραγωγής είναι παρεμφερής με τον ζεύξης με την βασική διαφορά να εντοπίζεται στα πεδία Μέσης Τάσης.

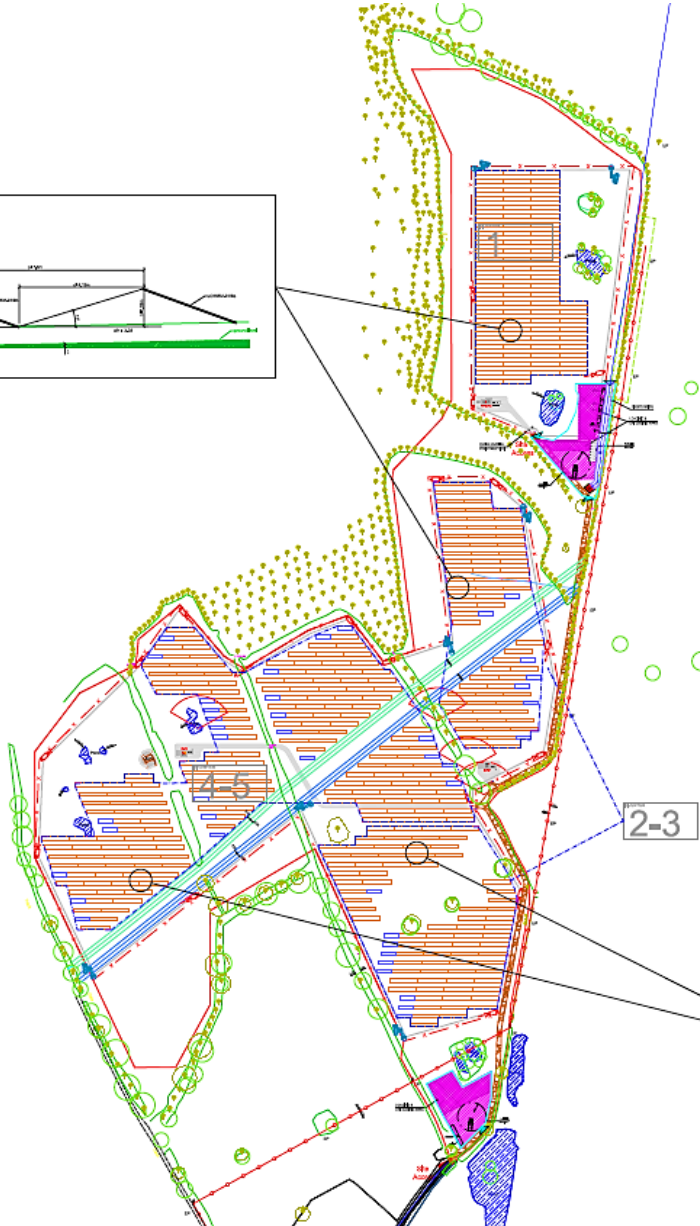
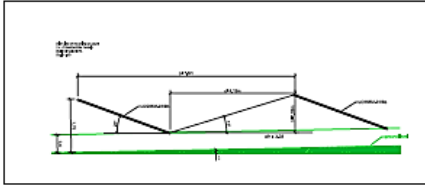
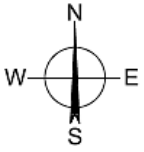
Στο νότιο τμήμα από την άλλη, θα έχουμε δυο πλατείες των δυο inverter, ενός Μ/Σ και ενός υποσταθμού παραγωγής. Η λεπτομερής περιγραφή των πλατειών, από ηλεκτρολογικής απόψεως, απεικονίζεται στο μονογραμμικό σχέδιο Μέσης Τάσης.

Αφότου έχουμε καταλήξει στην τελική χωροθέτηση τηρώντας όλους τους περιορισμούς, τοποθετούμε τον εξοπλισμό παρακολούθησης του πάρκου (CCTV) ο οποίος αποσκοπεί στην φύλαξή του από εξωγενείς παράγοντες. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών καμερών ορίζεται στα 100 m. Η τοποθέτησή τους γίνεται πάνω σε ξύλινους στύλους ύψους 2 m εσωτερικά της περιφράξης του πάρκου.



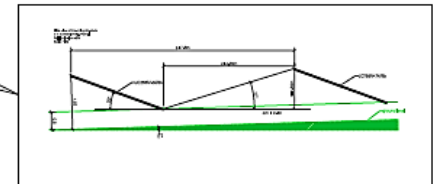
*Σύστημα στήριξης καμερών*

Στη συνέχεια προβαίνουμε στην ομαδοποίηση των inverter. Θυμίζουμε ότι βάσει της διαστασιολόγησης του έργου αντιστοιχούν 168 strings ανά inverter. Για λόγους εξοικονόμησης υλικού, μπορούμε να αποκλίνουμε από το νούμερο αυτό σε ανεκτά όρια. Εφόσον ολοκληρωθεί η χωροθέτηση και η ομαδοποίηση των πανέλων ανά μετατροπέα, προβαίνουμε στην φάση της προσομοίωσης μέσω PVSyst.

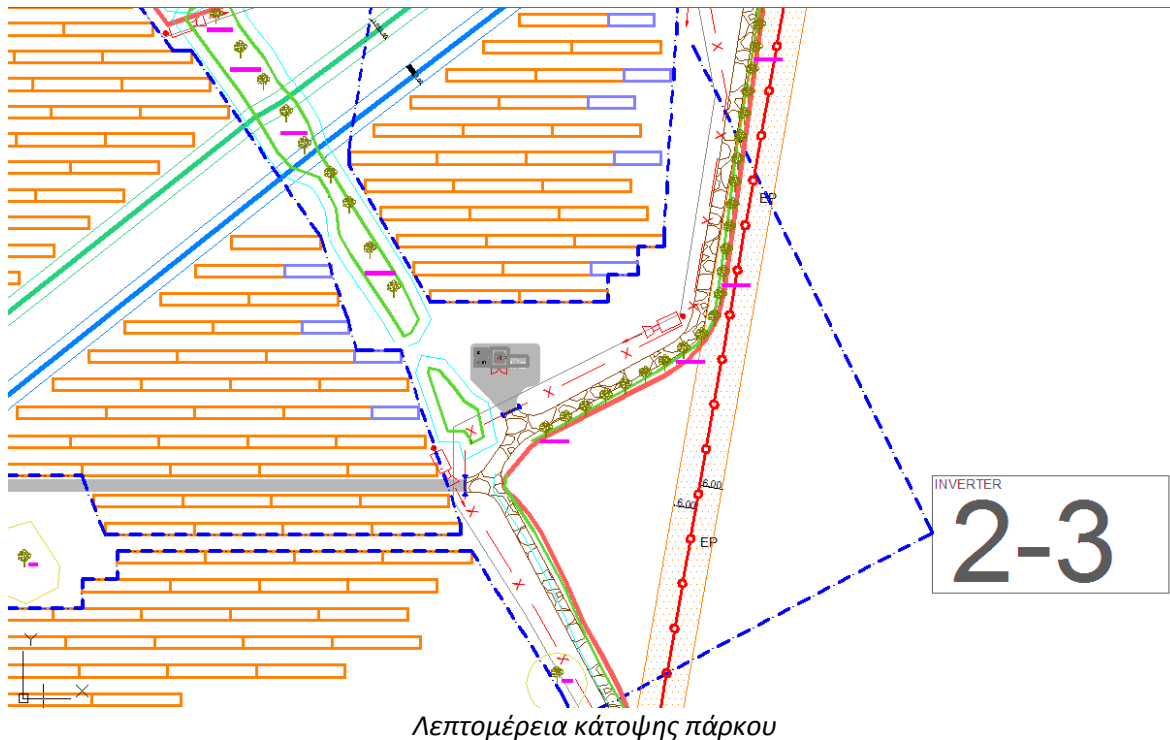


ANNOTATION	
	Planning Approved Site Boundary
	Construction Limits (3m)
	Security Fence
	High Pressure Gas Main (3m Clearance)
	Medium Pressure Gas Main (3m Clearance)
	Overhead Power Line (8m Clearance)
	Compound area
	Hedge Fence
	Solar box 2 strings (2x25x750 PV panels)
	Solar box 1 string (1x25x750 PV panels)
	Internal road
	Access road
	Inverter
	Open Top Transformer House
	Production Substation
	CBM & Production Substation
	DNV substation
	Access gate
	HR camera on wooden pole - Security System

TABLE OF QUANTITIES				
Structure	Type	Number	Number of PV panels	PV panels
SC 1800P-6	2	178		17790
SC 660P-6	2	378	00	0348
SC 660P-0	1	100		1000
<b>TOTAL PANELS (PV)</b>				<b>4269260</b>



Κάτοψη γηπέδου



#### 4.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ [PVSYSY](#)

Σε πρώτη φάση, για να έχουμε μεγαλύτερη εγκυρότητα αποτελεσμάτων, εισάγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής από το Meteoporm. Στη συνέχεια εισάγουμε όλα τα δεδομένα που απορρέουν από την χωροθέτηση που πραγματοποιήσαμε. Πρέπει να γνωρίζουμε εάν το πάρκο είναι Feed in Tariff ή 1.3 ROC. Στην πρώτη περίπτωση ο μετρητής της ΔΕΗ ( για την Αγγλία έχουμε τον DNO) τοποθετείται στην έξοδο των inverter ενώ στην δεύτερη περίπτωση στο σημείο σύνδεσης με την ΜΤ πράγμα που σημαίνει πως έχουμε μεγαλύτερες απώλειες. Το ‘Solar PV Plant’ είναι 1.3 ROC.

Τα σημαντικότερα δεδομένα που εξάγονται από το PVSyst είναι το PR καθώς βάσει αυτού υπογράφονται τα συμφωνητικά μεταξύ πελάτη και EPC. Μετά την ολοκλήρωση του έργου, διεξάγονται μετρήσεις έτσι ώστε να διαπιστωθούν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του. Σε περίπτωση που υπάρχει ασυμφωνία, ο δεύτερος υποχρεούται να πληρώσει κάποιες κυρώσεις οι οποίες είναι προκαθορισμένες . Σημαντικό στοιχείο είναι επίσης οι απώλειες λόγω σκιάσκεων (near shadings) καθώς και οι απώλειες των inverter. Σε περίπτωση που οι τιμές αυτές ξεπερνούν κάποια όρια, θα πρέπει να γίνει επανασχεδίαση. Παρακάτω παρατήθεται το PVSyst του ‘Solar PV Plant’.

### Grid-Connected System: Simulation parameters

**Project :** **TRENCH**

**Geographical Site** **WEM** **Country** **United Kingdom**

**Situation** Latitude 52.8°N Longitude 2.7°W  
 Time defined as Legal Time Time zone UT Altitude 82 m  
 Albedo 0.20

**Meteo data:** **WEM** Synthetic - WEM METEONORM 7

**Simulation variant :** **New simulation variant**

Simulation date 02/12/14 16h03

**Simulation parameters**

**Collector Plane Orientation** Tilt 20° Azimuth 0°

**Models used** Transposition Perez Diffuse Erbs, Meteonorm

**Horizon** Free Horizon

**Near Shadings** According to strings Electrical effect 90 %

**PV Arrays Characteristics (3 kinds of array defined)**

<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>JC255M-24NEW/Bb</b>
		Manufacturer	Renesola
<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>			
Total number of PV modules	In series	23 modules	In parallel 166 strings
Array global power	Nb. modules	3818	Unit Nom. Power 255 Wp
Array operating characteristics (50°C)	Nominal (STC)	<b>974 kWp</b>	At operating cond. 878 kWp (50°C)
	U mpp	638 V	I mpp 1377 A
<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>			
Total number of PV modules	In series	23 modules	In parallel 376 strings
Array global power	Nb. modules	8648	Unit Nom. Power 255 Wp
Array operating characteristics (50°C)	Nominal (STC)	<b>2205 kWp</b>	At operating cond. 1986 kWp (50°C)
	U mpp	637 V	I mpp 3119 A
<b>Sub-array "Sub-array #3"</b>			
Total number of PV modules	In series	23 modules	In parallel 310 strings
Array global power	Nb. modules	7130	Unit Nom. Power 255 Wp
Array operating characteristics (50°C)	Nominal (STC)	<b>1818 kWp</b>	At operating cond. 1637 kWp (50°C)
	U mpp	637 V	I mpp 2571 A
<b>Total</b> Arrays global power	Nominal (STC)	<b>4997 kWp</b>	Total 19596 modules
	Module area	<b>31880 m<sup>2</sup></b>	

**Sub-array "Sub-array #1" : Inverter** Model **Sunny Central 800CP XT**

Manufacturer SMA

Characteristics Operating Voltage 535-850 V Unit Nom. Power 800 kW AC

**Sub-array "Sub-array #2" : Inverter** Model **Sunny Central 850CP XT**

Manufacturer SMA

Characteristics Operating Voltage 570-850 V Unit Nom. Power 850 kW AC

Inverter pack Nb. of inverters 2 units Total Power 1700 kW AC

**Sub-array "Sub-array #3" : Inverter** Model **Sunny Central 760CP BIOSAR**

Manufacturer SMA

Characteristics Operating Voltage 554-820 V Unit Nom. Power 760 kW AC

Inverter pack Nb. of inverters 2 units Total Power 1520 kW AC

**PV Array loss factors**

### Grid-Connected System: Simulation parameters (continued)

Array Soiling Losses		Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const) 29.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1	7.7 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#2	3.4 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#3	4.1 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Global		Loss Fraction 1.5 % at STC
Series Diode Loss	Voltage Drop 0.7 V	Loss Fraction	0.1 % at STC
Module Quality Loss		Loss Fraction	0.0 %
Module Mismatch Losses		Loss Fraction	0.6 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = $1 - b_0 (1/\cos i - 1)$	b <sub>0</sub> Param.	0.05

#### System loss factors

AC loss, transfo to injection	Grid Voltage	11 kV	
	Wires	1965 m 3x300 mm <sup>2</sup>	Loss Fraction 0.5 % at STC
External transformer	Iron loss (24H connexion)	4915 W	Loss Fraction 0.1 % at STC
	Resistive/Inductive losses	0.3 mOhm	Loss Fraction 1.0 % at STC
Unavailability of the system	2.2 days, 3 periods		Time fraction 0.6 %

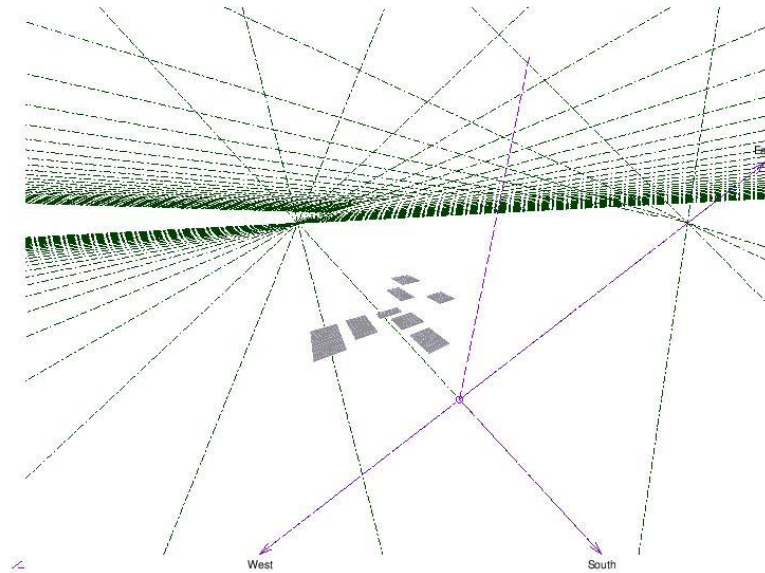
**User's needs :** Unlimited load (grid)

### Grid-Connected System: Near shading definition

**Project :** TRENCH  
**Simulation variant :** New simulation variant

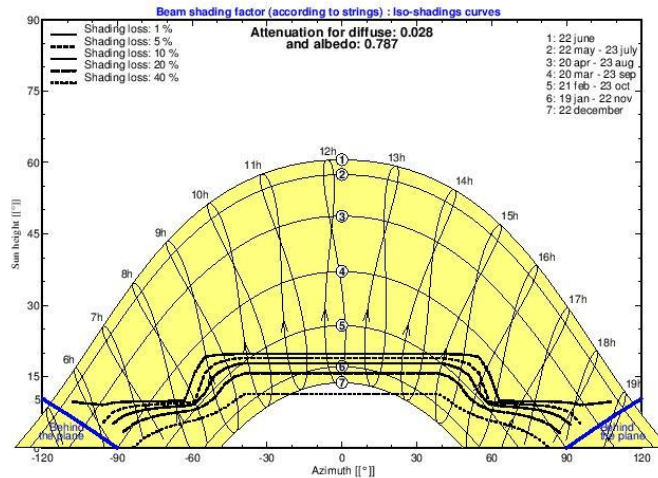
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>
<b>Near Shadings</b>	According to strings	Electrical effect 90 %
PV Field Orientation	tilt 20°	azimuth 0°
PV modules	Model JC255M-24NEW/Bb	Pnom 255 Wp
PV Array	Nb. of modules 19596	Pnom total <b>4997 kWp</b>
Inverter	Model Sunny Central 800CP XT	Pnom 800 kW ac
Inverter	Model Sunny Central 850CP XT	Pnom 850 kW ac
Inverter	Model Sunny Central 760CP BIOSAR	Pnom 760 kW ac
Inverter pack	Nb. of units 5.0	Pnom total <b>4020 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)	

**Perspective of the PV-field and surrounding shading scene**



**Iso-shadings diagram**

TRENCH



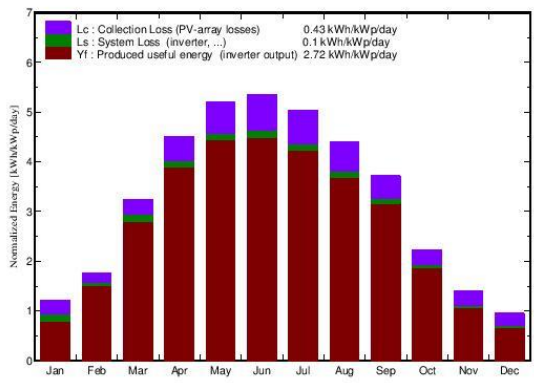
### Grid-Connected System: Main results

**Project :** TRENCH  
**Simulation variant :** New simulation variant

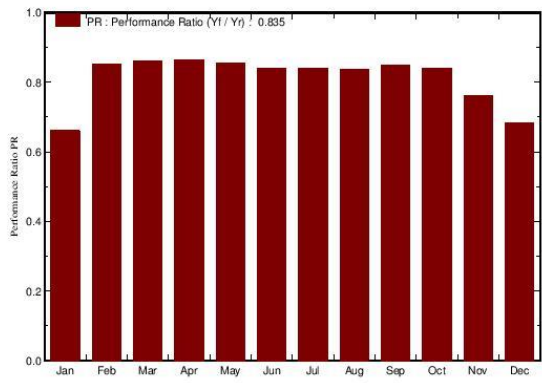
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
<b>Near Shadings</b>	According to strings	Electrical effect	90 %
PV Field Orientation	tilt	azimuth	0°
PV modules	Model	Pnom	255 Wp
PV Array	Nb. of modules	Pnom total	<b>4997 kWp</b>
Inverter	Model	Pnom	800 kW ac
Inverter	Model	Pnom	850 kW ac
Inverter	Model	Pnom	760 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	Pnom total	<b>4020 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

<b>Main simulation results</b>	<b>Produced Energy</b>	<b>4967 MWh/year</b>	Specific prod.	994 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	83.5 %		

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 4997 kWp**



**Performance Ratio PR**



**New simulation variant  
Balances and main results**

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	%	%
<b>January</b>	23.0	5.10	37.6	31.8	144.5	124.5	12.04	10.37
<b>February</b>	37.0	4.80	49.6	45.6	219.5	211.0	13.87	13.34
<b>March</b>	79.0	6.30	100.6	94.3	456.4	433.3	14.24	13.52
<b>April</b>	119.0	8.50	135.4	127.6	602.7	583.9	13.97	13.53
<b>May</b>	152.0	11.70	161.2	151.4	709.7	688.2	13.81	13.39
<b>June</b>	158.0	14.70	160.8	151.0	695.1	674.3	13.56	13.15
<b>July</b>	151.0	15.90	156.1	146.4	675.4	655.2	13.57	13.17
<b>August</b>	124.0	15.90	136.3	128.0	589.0	570.8	13.56	13.14
<b>September</b>	92.0	13.80	111.8	105.1	490.0	474.7	13.75	13.32
<b>October</b>	52.0	10.70	69.0	64.2	300.9	290.1	13.68	13.19
<b>November</b>	27.0	7.30	41.9	36.6	166.9	159.4	12.48	11.92
<b>December</b>	18.0	4.80	29.8	24.3	108.5	101.9	11.41	10.71
<b>Year</b>	1032.0	9.99	1190.1	1106.4	5158.4	4967.4	13.60	13.09

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation      EArray Effective energy at the output of the array  
T Amb Ambient temperature      E\_Grid Energy injected into grid  
GlobInc Global incident in coll. plane      EffArrR Effic. Eout array / rough area  
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings      EffSysR Effic. Eout system / rough area

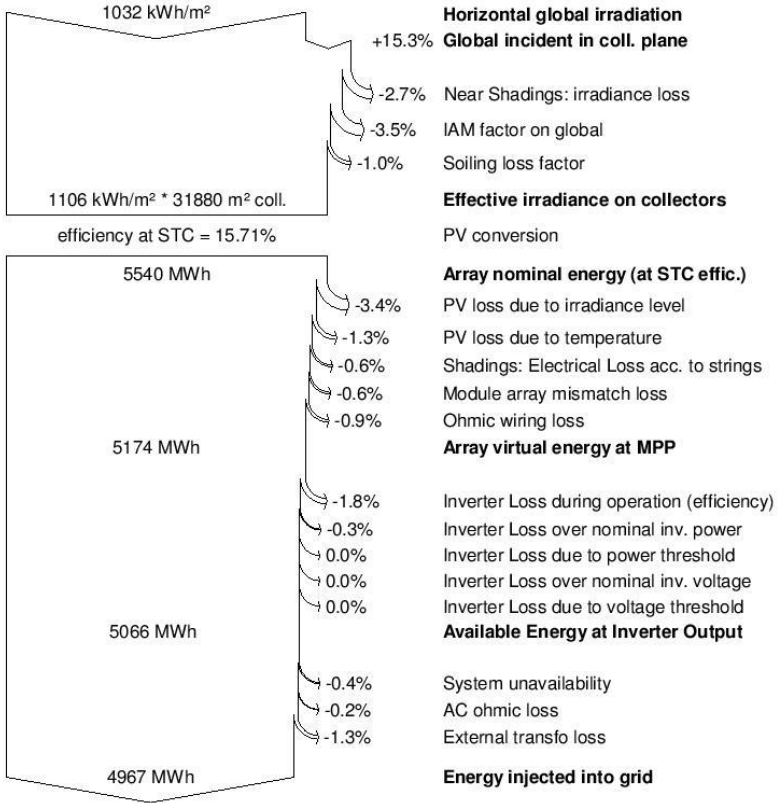
PVsystem Licensed to: AKTOR S.A. (GREECE)

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** TRENCH  
**Simulation variant :** New simulation variant

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
<b>Near Shadings</b>	According to strings	Electrical effect	90 %
PV Field Orientation	tilt 20°	azimuth	0°
PV modules	Model JC255M-24NEW/Bb	Pnom	255 Wp
PV Array	Nb. of modules 19596	Pnom total	<b>4997 kWp</b>
Inverter	Model Sunny Central 800CP XT	Pnom	800 kW ac
Inverter	Model Sunny Central 850CP XT	Pnom	850 kW ac
Inverter	Model Sunny Central 760CP BIOSAR	Pnom	760 kW ac
Inverter pack	Nb. of units 5.0	Pnom total	<b>4020 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Loss diagram over the whole year**



PVsyst Licensed to AKTOR S.A. (GREECE)



## 4.5 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 4.5.1 DC Μονογραμμικό Σχέδιο

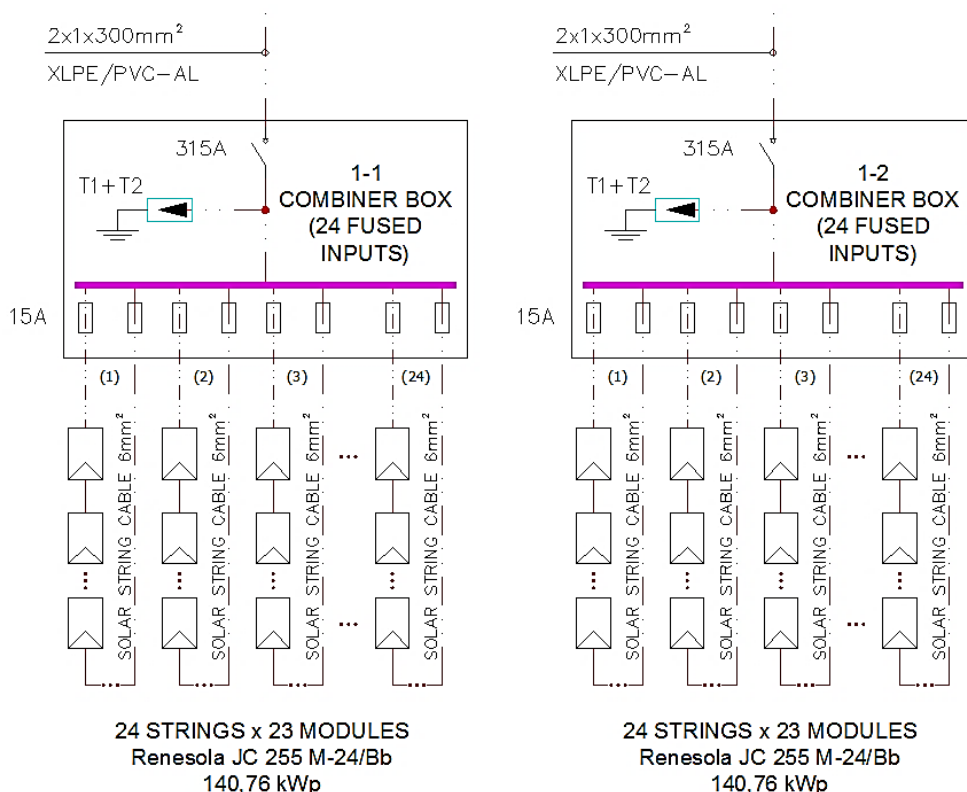
Η ηλεκτρολογική μελέτη έρχεται να περιγράψει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των καλωδίων και των μέσων προστασίας που θα τοποθετηθούν στις εκάστοτε περιοχές του πάρκου.

Ξεκινώντας την μελέτη από την βασική μονάδα παραγωγής που είναι οι στοιχειοσειρές, μετράμε, με την βοήθεια του AutoCAD, τις αποστάσεις των καλωδίων από τα stringbox έως τα combiner boxes που καταλήγουν. Με την βοήθεια του τύπου (3.4) υπολογίζουμε την πτώση τάσης, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 2% της ονομαστικής τιμής. Το καλώδιο που χρησιμοποιείται για την σύνδεση αυτή είναι τύπου Solar String 6 mm<sup>2</sup>. Σε περίπτωση που το  $\Delta U > 2\%$  μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε καλώδιο μεγαλύτερης διατομής (10 mm<sup>2</sup>). Μια τέτοια λύση ωστόσο είναι οικονομικά ασύμφορη οπότε προβαίνουμε σε διαφορετική ομαδοποίηση των μετατροπέων ή σε αλλαγή της χωροθέτησης, αν αυτό είναι εφικτό.

Η κάθε είσοδος του CB διαθέτει τηκόμενη ασφάλεια των 15 A ενώ όλος ο πίνακας DC είναι εφοδιασμένος με διακόπτη φορτίου των 315 A και αντικεραυνική προστασία. Οι τιμές αυτές προκύπτουν ως εξής :

Τηκόμενη ασφάλεια :  $I_{sc} * 1,25 = 8,86 * 1,25A = 11,08A \rightarrow$  Ασφάλεια των 15 A

Διακόπτης φορτίου :  $N * I_{sc} * 1,25 = 24 * 8,86 * 1,25A = 265,8 A \rightarrow$  Διακόπτης 315 A



Λεπτομέρεια combiner box

Αναλυτικά, η πτώση τάσης καθώς και οι απώλειες ισχύος μεταξύ των στοιχειοσειρών και των C.B για τον πρώτο μετατροπέα, αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Strings to combiner boxes						
Inverter	CB	String	Μήκος καλωδίου ( m )	Πώση τάσης		Απώλειες ισχύος (kW)
				V	%	
1	1.1	1.1.1	64	4,13	0,59	0,034
		1.1.2	66	4,26	0,61	0,035
		1.1.3	76	4,91	0,70	0,041
		1.1.4	78	5,04	0,72	0,042
		1.1.5	88	5,69	0,81	0,047
		1.1.6	90	5,81	0,83	0,048
		1.1.7	108	6,98	1,00	0,058
		1.1.8	110	7,11	1,02	0,059
		1.1.9	92	5,94	0,85	0,049
		1.1.10	94	6,07	0,87	0,051
		1.1.11	68	4,39	0,63	0,037
		1.1.12	70	4,52	0,65	0,038
		1.1.13	44	2,84	0,41	0,024
		1.1.14	46	2,97	0,43	0,025
		1.1.15	24	1,55	0,22	0,013
		1.1.16	26	1,68	0,24	0,014
		1.1.17	101	6,52	0,93	0,054
		1.1.18	89	5,75	0,82	0,048
		1.1.19	91	5,88	0,84	0,049
		1.1.20	75	4,85	0,69	0,040
		1.1.21	77	4,97	0,71	0,041
		1.1.22	51	3,29	0,47	0,027
		1.1.23	53	3,42	0,49	0,028
		1.1.24	85	5,49	0,79	0,046
1	1.2	1.2.1	96	6,20	0,89	0,052
		1.2.2	98	6,33	0,91	0,053
		1.2.3	72	4,65	0,67	0,039
		1.2.4	74	4,78	0,68	0,040
		1.2.5	48	3,10	0,44	0,026
		1.2.6	50	3,23	0,46	0,027
		1.2.7	78	5,04	0,72	0,042
		1.2.8	80	5,17	0,74	0,043
		1.2.9	54	3,49	0,50	0,029
		1.2.10	56	3,62	0,52	0,030
		1.2.11	30	1,94	0,28	0,016
		1.2.12	32	2,07	0,30	0,017
		1.2.13	81	5,23	0,75	0,044
		1.2.14	83	5,36	0,77	0,045
		1.2.15	57	3,68	0,53	0,031
		1.2.16	59	3,81	0,55	0,032
		1.2.17	33	2,13	0,30	0,018
		1.2.18	35	2,26	0,32	0,019
		1.2.19	12	0,78	0,11	0,006
		1.2.20	97	6,27	0,90	0,052
		1.2.21	99	6,40	0,91	0,053
		1.2.22	73	4,72	0,67	0,039
		1.2.23	75	4,85	0,69	0,040
		1.2.24	92	5,94	0,85	0,049

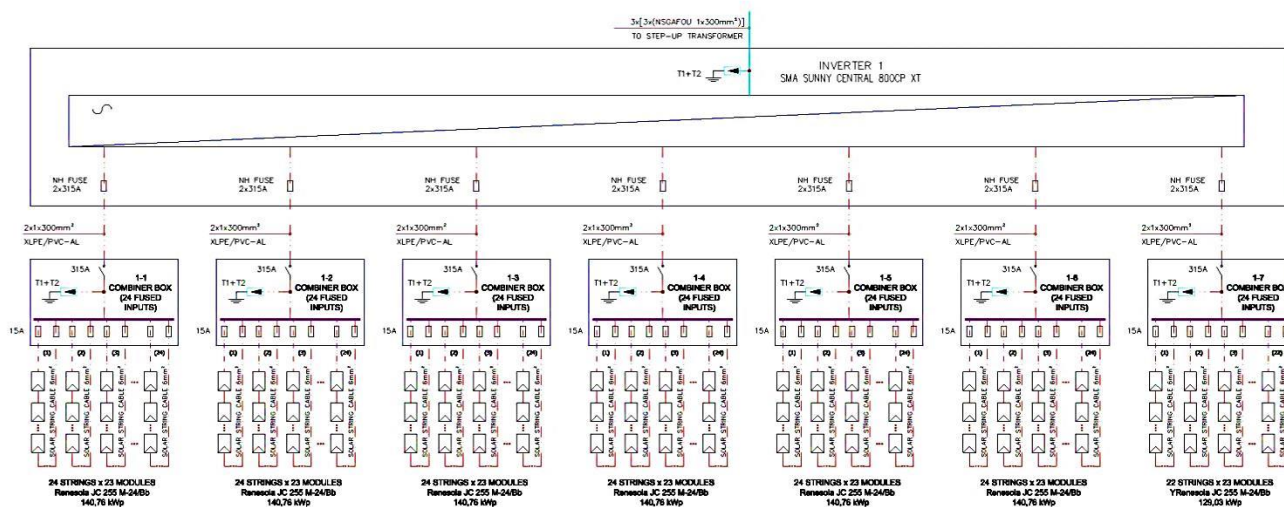
1	1.3	1.3.1	63	4,07	0,58	0,034
		1.3.2	65	4,20	0,60	0,035
		1.3.3	44	2,84	0,41	0,024
		1.3.4	89	5,75	0,82	0,048
		1.3.5	91	5,88	0,84	0,049
		1.3.6	65	4,20	0,60	0,035
		1.3.7	67	4,33	0,62	0,036
		1.3.8	41	2,65	0,38	0,022
		1.3.9	43	2,78	0,40	0,023
		1.3.10	25	1,62	0,23	0,013
		1.3.11	81	5,23	0,75	0,044
		1.3.12	83	5,36	0,77	0,045
		1.3.13	59	3,81	0,55	0,032
		1.3.14	61	3,94	0,56	0,033
		1.3.15	35	2,26	0,32	0,019
		1.3.16	37	2,39	0,34	0,020
		1.3.17	12	0,78	0,11	0,006
		1.3.18	102	6,59	0,94	0,055
		1.3.19	104	6,72	0,96	0,056
		1.3.20	78	5,04	0,72	0,042
		1.3.21	80	5,17	0,74	0,043
		1.3.22	54	3,49	0,50	0,029
		1.3.23	56	3,62	0,52	0,030
		1.3.24	75	4,85	0,96	0,040
1	1.4	1.4.1	96	6,20	0,89	0,052
		1.4.2	98	6,33	0,91	0,053
		1.4.3	72	4,65	0,67	0,039
		1.4.4	74	4,78	0,68	0,040
		1.4.5	48	3,10	0,44	0,026
		1.4.6	50	3,23	0,46	0,027
		1.4.7	25	1,62	0,23	0,013
		1.4.8	92	5,94	0,85	0,049
		1.4.9	94	6,07	0,87	0,051
		1.4.10	68	4,39	0,63	0,037
		1.4.11	70	4,52	0,65	0,038
		1.4.12	64	4,13	0,59	0,034
		1.4.13	66	4,26	0,61	0,035
		1.4.14	24	1,55	0,22	0,013
		1.4.15	26	1,68	0,24	0,014
		1.4.16	114	7,36	1,05	0,061
		1.4.17	116	7,49	1,07	0,062
		1.4.18	90	5,81	0,83	0,048
		1.4.19	92	5,94	0,85	0,049
		1.4.20	66	4,26	0,61	0,035
		1.4.21	68	4,39	0,63	0,037
		1.4.22	42	2,71	0,39	0,023
		1.4.23	44	2,84	0,41	0,024
		1.4.24	62	4,01	0,57	0,033
1	1.5	1.5.1	97	6,27	0,90	0,052
		1.5.2	99	6,40	0,91	0,053
		1.5.3	73	4,72	0,67	0,039
		1.5.4	75	4,85	0,69	0,040

		1.5.5	49	3,17	0,45	0,026
		1.5.6	51	3,29	0,47	0,027
		1.5.7	25	1,62	0,23	0,013
		1.5.8	27	1,74	0,25	0,015
		1.5.9	93	6,01	0,86	0,050
		1.5.10	95	6,14	0,88	0,051
		1.5.11	69	4,46	0,64	0,037
		1.5.12	71	4,59	0,66	0,038
		1.5.13	45	2,91	0,42	0,024
		1.5.14	47	3,04	0,43	0,025
		1.5.15	24	1,55	0,22	0,013
		1.5.16	26	1,68	0,24	0,014
		1.5.17	116	7,49	1,07	0,062
		1.5.18	118	7,62	1,09	0,063
		1.5.19	92	5,94	0,85	0,049
		1.5.20	94	6,07	0,87	0,051
		1.5.21	68	4,39	0,63	0,037
		1.5.22	70	4,52	0,65	0,038
		1.5.23	44	2,84	0,41	0,024
		1.5.24	46	2,97	0,43	0,025
		1.6.1	59	3,81	0,55	0,032
		1.6.2	61	3,94	0,56	0,033
		1.6.3	35	2,26	0,32	0,019
		1.6.4	37	2,39	0,34	0,020
		1.6.5	37	2,39	0,34	0,020
		1.6.6	39	2,52	0,36	0,021
		1.6.7	61	3,94	0,56	0,033
		1.6.8	63	4,07	0,58	0,034
		1.6.9	58	3,75	0,54	0,031
		1.6.10	60	3,88	0,55	0,032
		1.6.11	34	2,20	0,31	0,018
		1.6.12	36	2,33	0,33	0,019
		1.6.13	12	0,78	0,11	0,006
		1.6.14	74	4,78	0,68	0,040
		1.6.15	76	4,91	0,70	0,041
		1.6.16	50	3,23	0,46	0,027
		1.6.17	52	3,36	0,48	0,028
		1.6.18	27	1,74	0,25	0,015
		1.6.19	89	5,75	0,82	0,048
		1.6.20	67	4,33	0,62	0,036
		1.6.21	69	4,46	0,64	0,037
		1.6.22	76	4,91	0,70	0,041
		1.6.23	78	5,04	0,72	0,042
		1.6.24	86	5,56	0,79	0,046
		1.7.1	114	7,36	1,05	0,061
		1.7.2	116	7,49	1,07	0,062
		1.7.3	90	5,81	0,83	0,048
		1.7.4	92	5,94	0,85	0,049
		1.7.5	66	4,26	0,61	0,035
		1.7.6	68	4,39	0,63	0,037
		1.7.7	42	2,71	0,39	0,023
		1.7.8	44	2,84	0,41	0,024

	1.7.9	92	5,94	0,85	0,049
	1.7.10	94	6,07	0,87	0,051
	1.7.11	68	4,39	0,63	0,037
	1.7.12	70	4,52	0,65	0,038
	1.7.13	44	2,84	0,41	0,024
	1.7.14	46	2,97	0,43	0,025
	1.7.15	20	1,29	0,18	0,011
	1.7.16	22	1,42	0,20	0,012
	1.7.17	37	2,39	0,34	0,020
	1.7.18	39	2,52	0,36	0,021
	1.7.19	52	3,36	0,48	0,028
	1.7.20	54	3,49	0,50	0,029
	1.7.21	76	4,91	0,70	0,041
	1.7.22	78	5,04	0,72	0,042

Απώλειες Ρευμάτων DC από τα Πανέλα έως τα Combiner Boxes							
Inverter	Συνολικό μήκος καλωδίου 6mm <sup>2</sup> (m)	Μέγιστο ΔV		Μέση τιμή ΔV		Ολικές απώλειες ισχύος	
		(V)	%	(V)	%	(kW)	%
1	17.932	7,62	1,09	4,23	0,61	5,85	0,12
2	16.801	9,17	1,31	4,43	0,63	5,42	0,11
3	17.813	9,17	1,31	4,27	0,61	5,79	0,12
4	20.722	9,04	1,29	4,30	0,62	6,73	0,13
5	21.860	9,56	1,37	4,50	0,64	7,04	0,14

Το επόμενο στάδιο της διασύνδεσης πραγματοποιείται μεταξύ των CB και του μετατροπέα. Οι έξοδοι των πινάκων DC οδηγούνται με καλώδιο XLPE/PVC-AL διατομής 2x1x300 mm<sup>2</sup> στον inverter. Η κάθε είσοδος του μετατροπέα διαθέτει τηκόμνη ασφάλεια των 315 A τόσο στον θετικό όσο και στον αρνητικό πόλο ενώ υπάρχει παράλληλα και αντικεραυντική προστασία.



DC Μονογραμμικό σχέδιο inverter 1

Απώλειες Ρευμάτων DC από Combiner Boxes έως τους inverter

INVERTER SMA Sunny Central	C.B	STRINGS PER INPUT	Μήκος Καλωδίου (m)	Πώση τάσης	
				( V )	%
INVERTER 1 800 CP XT	1-1	24	220	9,91	1,43
	1-2	24	170	7,66	1,10
	1-3	24	140	6,30	0,91
	1-4	24	110	4,95	0,71
	1-5	24	65	2,93	0,42
	1-6	24	40	1,80	0,26
	1-7	22	80	3,60	0,52
INVERTER 2 760 CP XT	2-1	22	100	4,50	0,65
	2-2	22	65	2,93	0,42
	2-3	22	35	1,58	0,23
	2-4	20	45	2,03	0,29
	2-5	20	75	3,38	0,49
	2-6	20	105	4,73	0,68
	2-7	21	155	6,98	1,00
INVERTER 3 760 CP XT	3-1	24	130	5,85	0,84
	3-2	24	105	4,73	0,68
	3-3	19	75	3,38	0,49
	3-4	24	55	2,48	0,36
	3-5	24	40	1,80	0,26
	3-6	24	35	1,58	0,23
	3-7	24	55	2,48	0,36
INVERTER 4 850 CP XT	4-1	21	80	3,60	0,52
	4-2	23	85	3,83	0,55
	4-3	24	55	2,48	0,36
	4-4	24	60	2,70	0,39
	4-5	24	25	1,13	0,16
	4-6	24	60	2,70	0,39
	4-7	24	85	3,83	0,55
	4-8	24	125	5,63	0,81
INVERTER 5 850 CP XT	5-1	24	190	8,56	1,23
	5-2	24	85	3,83	0,55
	5-3	24	160	7,21	1,04
	5-4	24	140	6,30	0,91
	5-5	24	150	6,76	0,97
	5-6	24	170	7,66	1,10
	5-7	24	235	10,58	1,52
	5-8	20	305	13,74	1,97

Από τον εκάστοτε inverter , τα καλώδια οδηγούνται στους Μ/Σ με τριπολικό καλώδιο NSGAFOU  $300\text{ mm}^2$  για να καταλήξουν μέσω καλωδίου AL/EPR  $3\text{x}1\text{x}240\text{ mm}^2$  στο

σημείο σύνδεσης με τον DNO. Η πτώση τάσης στο AC κομμάτι μπορεί να είναι έως 4% της ονομαστικής τιμής.

Απώλειες Ρευμάτων από τον inverter έως τους Μ/Σ						
Inverter	Συνολικό μήκος καλωδίου (m)	Θερμοκρασία λειτουργίας καλωδίου (°C)	Αντίσταση καλωδίου (Ω/m)	Μέση τιμή ΔV		Ολικές απώλειες ισχύος (kW)
				(V)	%	
1	15	67,61	0,000078	0,95	0,28	2,328
2	15	67,61	0,000078	0,95	0,28	2,328
3	15	67,61	0,000078	0,95	0,28	2,328
4	15	67,61	0,000078	0,95	0,28	2,328
5	15	67,61	0,000078	0,95	0,28	2,328

Απώλειες Ρευμάτων από τους Μ/Σ έως τον DNO									
Υποσταθμός	Ρεύμα (A)	Συνολικό μήκος καλωδίου (m)	Είδος καλωδίου AL/EPR	Μέγιστο ρεύμα λειτουργίας (A)	Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Αντίσταση καλωδίου (Ω/m)	Μέση τιμή ΔV		Ολικές απώλειες ισχύος (kW)
							(V)	%	
2-3 → 4-5	110,80	330	3x1x185	370	37,75	0,000139	8,82	0,08	0,978
1 → 2-3	209,95	370	3x1x185	370	57,82	0,000150	20,16	0,183	4,232
DNO → 1	265,43	125	3x1x240	458	58,37	0,000150	8,52	0,078	2,238

#### 4.5.2 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης

Ο υπολογισμός των βασικών ασφαλειών των μετατροπέων και των DC πινάκων είναι εύκολη υπόθεση αφού το μόνο που χρειάζεται είναι να προσαυξήσουμε το ήδη γνωστό ρεύμα βραχυκύκλωσης των πανέλων με έναν συντελεστή πρσαύξης της τάξης του 25%. Στη συνέχεια ωστόσο πρέπει να γίνουν αναλυτικοί υπολογισμοί των ρευμάτων βραχυκύκλωσης στο AC τμήμα του πάρκου στο οποίο συγκαταλέγονται οι Μ/Σ καθώς και τα πεδία σύνδεσης με τον DNO.

##### 4.5.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

###### Σύνθετη αντίσταση ΣΗΕ

Γνωρίζοντας ότι η μέγιστη φαινόμενη ισχύς βραχυκύκλωσης του συστήματος ισούται με  $S_K = 250 \text{ MVA}$  ενώ το πάρκο συνδέεται στα 11 kV, μπορούμε να υπολογίσουμε την επαγωγική αντίσταση του συστήματος μέσω της σχέσης:  $X_S = 1,1U_N^2/S_K$   
Θεωρώντας επίσης ότι ισχύει  $R_S = 0,1X_S$ , προκύπτει ότι:

$$\rightarrow R_S = 0,0532 \Omega, \quad X_S = 0,532 \Omega$$

Το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας μιας εισερχόμενης γραμμής του μετασηματιστή ισούται με:  $I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} = 99,72 \text{ A}$

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με:  $I_K = \frac{S_K}{\sqrt{3}U_N} = 13,12 \text{ kA}$

### Σύνθετη αντίσταση μεταξύ ΣΗΕ και Μ/Σ

Η απαραίτητη διατομή καλωδίου που μπορεί να αντέξει τυχόν συμμετρικό τριφασικό βραχυκύκλωμα ισούται με:

$$\begin{cases} A = I_K \sqrt{t} / c \\ t = 1, \quad c = 81 \text{ για καλώδιο XLPE} \end{cases} \rightarrow A = 162 \text{ mm}^2$$

A: Διατομή του καλωδίου σε  $\text{mm}^2$

t : Διάρκεια βραχυκυκλώματος

c : Ονομαστική πυκνότητα ρεύματος υπολογισμένη για μέγιστη θερμοκρασία αγωγού

Επιλέγουμε καλώδιο διατομής  $185 \text{ mm}^2$  το μήκος του οποίου ισούται με  $L_1 = 100 \text{ m}$

Η σύνθετη αντίσταση του καλωδίου θα ισούται με :

$$\begin{cases} R_L = l/k * S \\ k = \frac{35 \text{ m}}{\Omega \text{ mm}^2} \text{ για θερμοκρασία περιβάλλοντος } 20^\circ\text{C} \rightarrow R_{L1} = 15,44 \text{ m}\Omega, X_{L1} = 35 \text{ m}\Omega \\ X_L = x_L * l \text{ για } x_L = 3,5 * 10^{-4} \text{ m}/\Omega \text{ m} \end{cases}$$

### Σύνθετη αντίσταση καλωδίων μεταξύ ζυγών ΜΤ και Μ/Σ

Γνωρίζοντας ότι η διατομή του καλωδίου ισούται με  $185 \text{ mm}^2$  ενώ το μήκος του καλωδίου είναι  $L_2 = 20 \text{ m}$ , προκύπτει, όπως περιγράφηκε παραπάνω :

$$R_{L2} = 3,09 \text{ m}\Omega, \quad X_{L2} = 64,75 \text{ m}\Omega$$

### Σύνθετη αντίσταση Μ/Σ παραγωγής

Τα δοθέντα στοιχεία για τον Μ/Σ παραγωγής είναι :

Φαινόμενη ισχύς :  $S_N = 1900 \text{ kVA}$

Ονομαστική τιμή ΜΤ :  $U_{T\pi} = 11 \text{ kV}$

Ονομαστική τιμή ΧΤ :  $U_{T\Delta} = 0,386 \text{ kV}$

Τάση βραχυκύκλωσης :  $U_k = 6 \%$

Απώλειες βραχυκυκλώματος :  $P_k = 21,5 \text{ kW}$

Ωμική αντίσταση Μ/Σ :  $U_r = P_k/S_N 100\% = 1,13\%$

Επαγωγική αντίδραση Μ/Σ :  $U_r = P_k/S_N 100\% = 5,89\%$

$$R_T = \frac{1,13 U_{T\Delta}^2}{S_N} = 0,89 \text{ m}\Omega, \quad X_T = \frac{5,89 U_{T\Delta}^2}{S_N} = 4,62 \text{ m}\Omega$$

### Σύνθετη αντίσταση μεταξύ Μ/Σ παραγωγής και ζυγών ΧΤ

Γνωρίζοντας ότι η διατομή του καλωδίου ισούται με  $3 \times 300 \text{ mm}^2$  ενώ το μήκος του καλωδίου είναι  $L_3 = 15 \text{ m}$ , προκύπτει,  $R_{L3} = 0,48 \text{ m}\Omega$ ,  $X_{L3} = 1,75 \text{ m}\Omega$

### Σύνθετη αντίσταση Μ/Σ ιδιοκαταναλώσεων

Τα δοθέντα στοιχεία για τον Μ/Σ ιδιοκαταναλώσεων είναι :

Φαινόμενη ισχύς :  $S_N = 50 \text{ kVA}$

Ονομαστική τιμή ΜΤ :  $U_{T\pi} = 11 \text{ kV}$

Ονομαστική τιμή ΧΤ :  $U_{T\Delta} = 0,4 \text{ kV}$

Τάση βραχυκύκλωσης :  $U_k = 4 \%$

Απώλειες βραχυκυκλώματος :  $P_k = 1,5 \text{ kW}$

Ωμική αντίσταση Μ/Σ :  $U_r = P_k/S_N 100\% = 3\%$

Επαγωγική αντίδραση Μ/Σ :  $U_r = P_k/S_N 100\% = 2,65\%$



$$R_T = \frac{3U_{T\Delta}^2}{S_N} = 96 \text{ m}\Omega, \quad X_T = \frac{2,65U_{T\Delta}^2}{S_N} = 84,66 \text{ m}\Omega$$

Σύνθετη αντίσταση καλωδίων μεταξύ Μ/Σ ιδιοκαταναλώσεων και ζυγού ΧΤ

Γνωρίζοντας ότι η διατομή του καλωδίου ισούται με  $1 \times 16 \text{ mm}^2$  ενώ το μήκος του καλωδίου είναι  $L_4 = 20 \text{ m}$ , προκύπτει :

$$\left\{ \begin{array}{l} R_L = l/k * S \\ k = \frac{56 \text{ m}}{\Omega \text{ mm}^2} \text{ για θερμοκρασία περιβάλλοντος } 20^\circ\text{C} \rightarrow R_{L4} = 22,32 \text{ m}\Omega, X_{L1} = 7 \text{ m}\Omega \\ X_L = x_L * l \text{ για } x_L = 3,5 * 10^{-4} \text{ m}/\Omega \text{ m} \end{array} \right.$$

#### 4.5.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Βραχυκύκλωμα Κ1 στον ζυγό ΜΤ 11kV του υποσταθμού

$$R_\Sigma = R_S + R_{L1} = 56,329 \text{ m}\Omega, \quad X_\Sigma = X_S + X_{L1} = 567,4 \text{ m}\Omega$$

$$Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2} = 570,19 \text{ m}\Omega$$

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι :  $I_{K1} = \frac{U_{T\Delta}}{\sqrt{3}Z_\Sigma} = 33,41 \text{ kA}$

Βραχυκύκλωμα Κ2 στον ζυγό ΧΤ 0,386kV του υποσταθμού

$$R_\Sigma = (R_S + R_{L1} + R_{L2}) \left( \frac{U_{T\Delta}}{U_{T\pi}} \right)^2 + R_T + R_{L3} = 1,37 \text{ m}\Omega$$

$$X_\Sigma = (X_S + X_{L1} + X_{L2}) \left( \frac{U_{T\Delta}}{U_{T\pi}} \right)^2 + X_T + X_{L3} = 6,45 \text{ m}\Omega$$

$$Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2} = 6,60 \text{ m}\Omega$$

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι :  $I_{K2} = \frac{U_{T\Delta}}{\sqrt{3}Z_\Sigma} = 33,76 \text{ kA}$

Βραχυκύκλωμα Κ3 στον ζυγό ΧΤ 0,4 kV

$$R_\Sigma = (R_S + R_{L1} + R_{L2}) \left( \frac{U_{T\Delta}}{U_{T\pi}} \right)^2 + R_T + R_{L3} + R_{Taux} + R_{L4} = 119,69 \text{ m}\Omega$$

$$X_\Sigma = (X_S + X_{L1} + X_{L2}) \left( \frac{U_{T\Delta}}{U_{T\pi}} \right)^2 + X_T + X_{L3} + X_{Taux} + X_{L4} = 98,12 \text{ m}\Omega$$

$$Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2} = 154,77 \text{ m}\Omega$$

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι :  $I_{K3} = \frac{U_{T\Delta}}{\sqrt{3}Z_\Sigma} = 1,49 \text{ kA}$

Ελάχιστη διατομή καλωδίου εξόδου

Ρεύμα βραχυκύκλωσης :  $I_{K3} = 1,49 \text{ kA}$

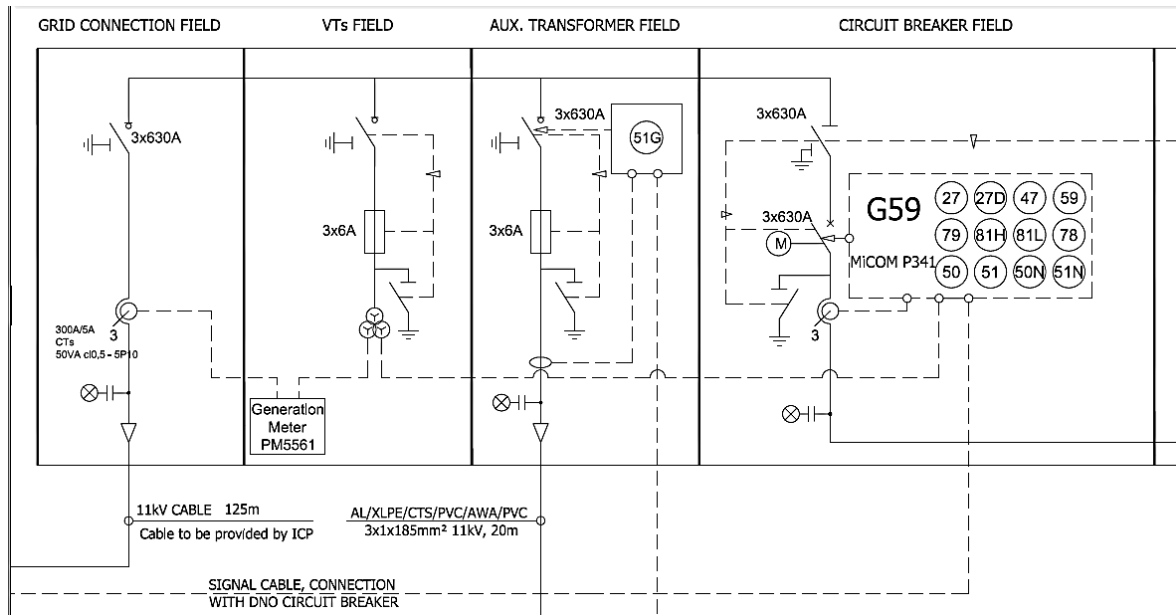
Ελάχιστος χρόνος λειτουργίας διακόπτη :  $t_f = 1 \text{ s}$

$$S_{min} = I_{K3} \sqrt{\frac{t_f}{c}} = 12,97 \text{ mm}^2 \rightarrow 16 \text{ mm}^2$$

Όπου  $c=115$  για καλώδια χαλκού XLPE

### 4.5.3 MV Μονογραμμικό Σχέδιο

Το MV μονογραμμικό σχέδιο απεικονίζει λεπτομερώς την συνδεσμολογία των πεδίων μέσης και χαμηλής τάσης με τις μονάδες παραγωγής του πάρκου. Όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα, το ονομασία 'Solar PV Plant' αποτελείται από δυο υποσταθμούς παραγωγής και έναν υποσταθμό ζεύξης.

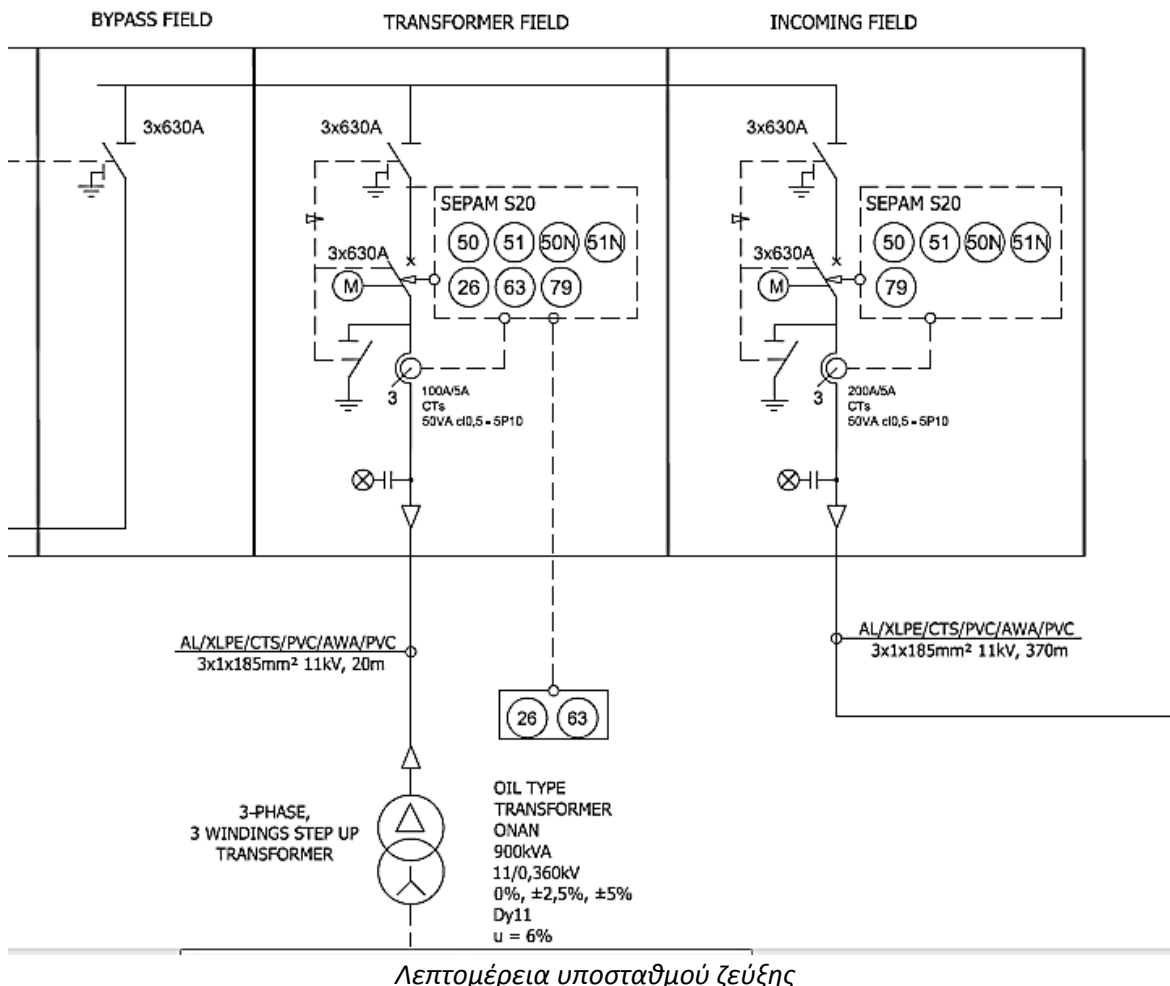


Λεπτομέρεια υποσταθμού ζεύξης

#### Υποσταθμός Ζεύξης

Ο υποσταθμός ζεύξης αποτελείται από έξι ξεχωριστούς θαλάμους. Στον πρώτο θάλαμο τοποθετείται ο κεντρικός διακόπτης φορτίου του πάρκου ( Grid connection ). Εξωτερικά του θαλάμου υπάρχει ενδεικτική λυχνία η οποία υποδεικνύει την λειτουργία η μη του συστήματος. Ο αμέσως επόμενος θάλαμος αντιστοιχεί στο σύστημα μέτρησης της παραγόμενης ισχύος του πάρκου βάσει της οποίας πραγματοποιείται και η κοστολόγηση από την ΔΕΗ (VTs field ). Στη συνέχεια ακολουθεί ο θάλαμος του Μ/Σ των ιδιοκαταναλώσεων ( Auxiliary Trasnformer field ) σκοπός του οποίου είναι η εξυπηρέτηση των ιδιοκαταναλώσεων του πάρκου ( εξωτερικός φωτισμός, σύστημα παρακολούθησης καμερών, σύστημα συναγερμού, ιδιοκαταναλώσεις μετατροπέων, κλιματισμός, ανεμιστήρες ). Αμέσως μετά έχουμε τον Αυτόματο Διακόπτη Ισχύος (ΑΔΙ) ο οποίος κάνει επανάζευξη σε περίπτωση σφάλματος τάσης μόνος και όχι ρεύματος. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να πάει κάποιος χειριστής να ελέξει την φύση της βλάβης και στη συνέχεια, χειροκίνητα, να θέσει το πάρκο και πάλι σε ισχύ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο ηλεκτρονόμος προστασίας που τοποθετήσαμε είναι τύπου Micon P341 - G59 Protection. Ο τέταρτος θάλαμος αποτελείται από το σύστημα ανύψωσης ζυγού το οποίο το μόνο που κάνει είναι να σηκώνει την μπάρα γειώσεων από κάτω πάνω, για να γίνει στη συνέχεια η σύνδεση με τον θάλαμο του Μ/Σ παραγωγής ( Transformer field ). Ο θάλαμος του Μ/Σ παραγωγής διαθέτει ηλεκτρονόμου τύπου SEPAM S20 ο οποίος προστατεύει από τυχόν υπερεντάσεις, σφάλματα προς γη καθώς ενώ παράλληλα

διαθέτει θερμοστάτη και έλεγχο της πίεσης λαδιού του ΜΣ (bucholtz). Ο τελευταίος θάλαμος αντιστοιχεί στην σύνδεση του υποσταθμού ζεύξης με τον αμέως επόμενο υποσταθμό παραγωγής. Ονομάζεται Incoming field και διαθέτει ηλεκτρονόμο προστασίας με αυτόνομο διακόπτη φορτίου. Οι προστασίες πατατήθενται αναλυτικά μέσω του υπομνήματος.



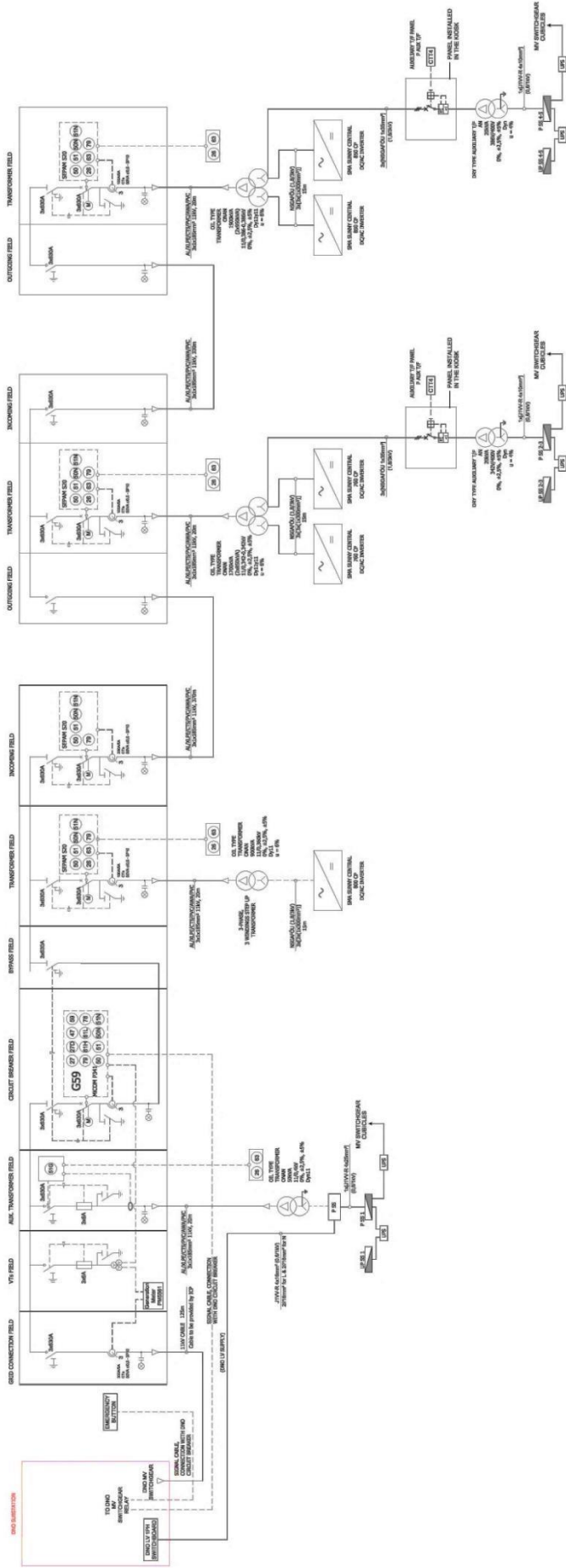
### Υποσταθμός παραγωγής

Ο υποσταθμός παραγωγής διαθέτει είτε δύο είτε τρεις θαλάμους ανάλογα με το εάν είναι τερματικός ή όχι. Οι βασικοί του θάλαμοι είναι το πεδίο εισόδου, το πεδίο εξόδου και του πεδίο του Μ/Σ παραγωγής. Οι θάλαμοι αυτοί είναι ακριβώς το ίδιο με αυτούς του υποσταθμού ζεύξης.

















**CLIENT 8: PRODUCTION SUBSTATION 1**  
**MV CUBICLES, 11kV, 630A, 18KA-3sec**

**PRODUCTION SUBSTATION 2**  
**MV CUBICLES, 11kV, 630A, 18KA-3sec**

**PRODUCTION SUBSTATION 3**  
**CUBICLES, 11kV, 630A, 18KA-3sec**



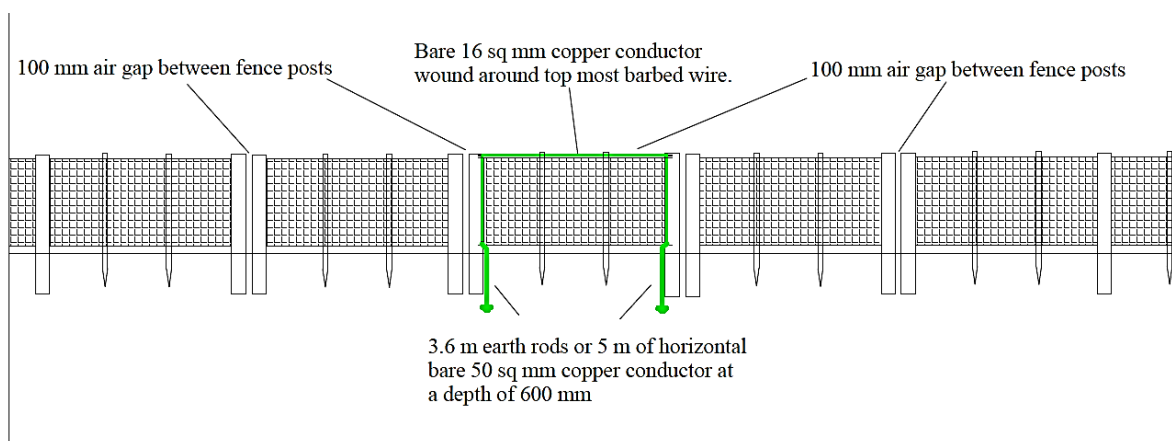
MV Μονογραμμικό σχέδιο πάρκου

	MV Fuses	ANSI PROTECTION CODES	
	Load-break switch	50/27	OVERVOLTAGE / UNDERVOLTAGE
	Switch Disconnector	51N/51L	OVERFREQUENCY / UNDERFREQUENCY
	Earthing switch	51R	RATE OF CHANGE OF FREQUENCY (ROCF)
	Surge arrester	50	INSTANTANEOUS OVERCURRENT
	Power energy measurement system	51	TIME OVERCURRENT
	MV, motorised circuit-breaker	50N	INSTANTANEOUS EARTH FAULT
	MV circuit-breaker	51N/51G	EARTH FAULT
	Current transformer	59/59N	OVERVOLTAGE / RESIDUAL OVERVOLTAGE
	Voltage transformer	27/27N	UNDERVOLTAGE / POSITIVE SEQUENCE UNDERVOLTAGE
	Capacitor type voltage dividers with voltage presence indicator on 3 phase	78	RECLOSER
	Mechanical key lock system	68	2nd HARMONIC RESTRAINT (INRUSH DETECTION)
	M.V. CABLE TERMINALS	78	VECTOR SHFT
	3-Winding Power Transformer	47	VOLTAGE SYMMETRY / NEGATIVE SEQUENCE OVERVOLTAGE
	3-Winding Power Transformer	26/63	THERMAL DEVICE (THERMOSTAT) / OIL PRESSURE RELAY (OILCHOLZ)
	LV Circuit Breaker		

#### Υπόμνημα

#### 4.5.4 Σύστημα γειώσεων και αντικεραυνική προστασία

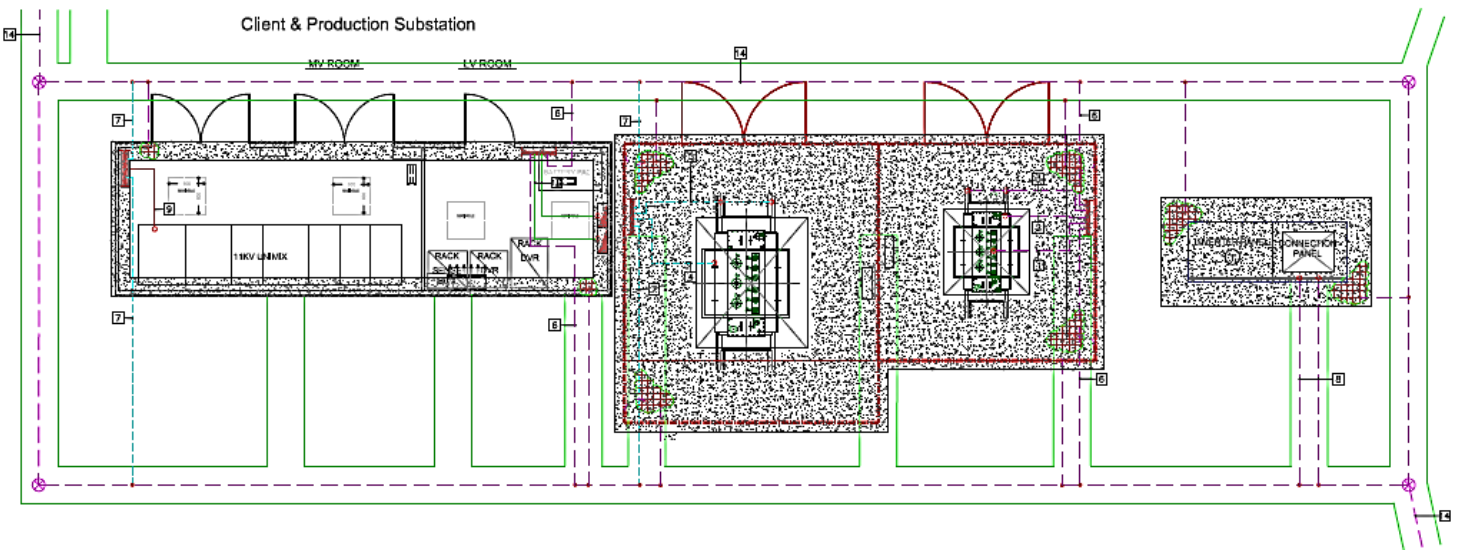
Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η θεμελιακή γείωση του πάρκου, τρέχουμε κατά μήκος του και σε βάθος 0,6m από την επιφάνεια της γης, γυμνό καλώδιο χαλκού 50 mm<sup>2</sup>, το οποίο συνδέεται με όλες τις στοιχειοσειρές των πανέλων. Περιμετρικά των υποσταθμών παραγωγής και ζεύξης, τρέχει το ίδιο καλώδιο το οποίο στις τέσσερις άκρες καταλήγει σε ράβδους γείωσης μήκους 3m και διαμέτρους 12,5 mm. Το πάτωμα του οικίσκου στις περιοχές που είναι εγκατεστημένοι οι Μ/Σ και οι μετατροπείς, είναι κατασκευασμένο από πλέγμα χαλκού διατομής επίσης 50 mm<sup>2</sup> πάνω στο οποίο υπάρχει μανδύας μολύβδου για μεγαλύτερη προστασία. Οι μπάρες γείωσης που υπάρχουν μέσα στους οικίσκους, συνδέονται και αυτές μέσω ταινίας γείωσης Cu 50x6mm στο ευρύτερο σύστημα γείωσης του πάρκου. Οι ισοδυναμικές γειώσεις επιτυγχάνονται με καλώδιο χαλκού 25 mm<sup>2</sup> ενώ τέλος γειώνουμε όλα τα μεταλλικά μέρη του φράχτη με την βοήθεια χάλκινων καλωδίων διατομής 16 mm<sup>2</sup>. Ο λεπτομερής σχεδιασμός των γειώσεων φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



#### Γείωση φράχτη



Σύστημα γείωσης πάρκου



Γειώσεις υποσταθμού ζεύξης

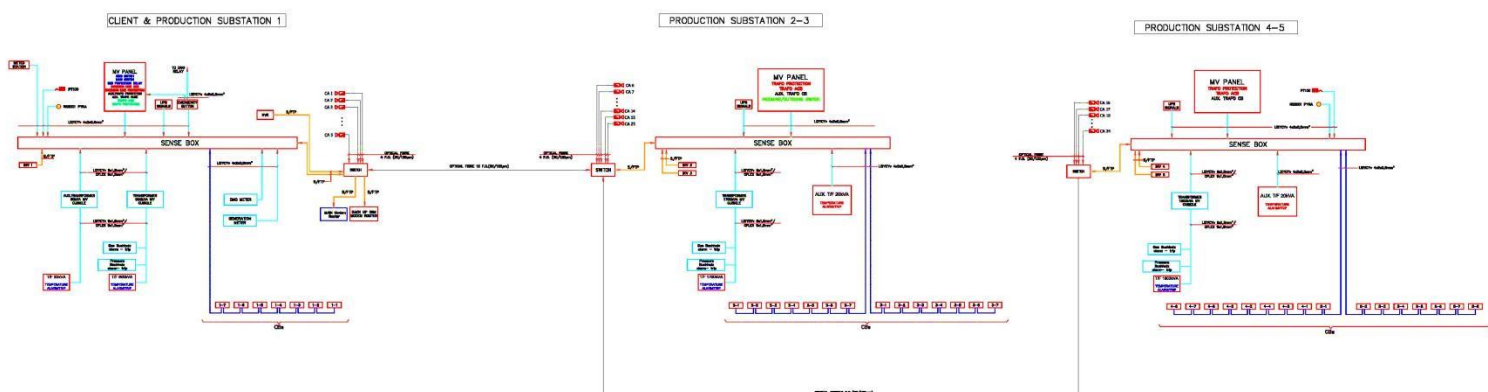
EARTHING LEGEND	
	EARTH ELECTRODE, 0.6m DEEP, BARE COPPER STRANDED CONDUCTOR, CROSS SECTION OF 50mm <sup>2</sup> , STRAND DIAMETER OF 8mm
	EARTHING CONDUCTOR, 50x6mm, COPPER TAPE
	EQUIPOTENTIAL CONDUCTOR (COPPER CABLE)
	EQUIPOTENTIAL CONDUCTOR (BARE COPPER ROUND CONDUCTOR)
	MAIN EQUIPOTENTIAL BUSBAR
	PREFABRICATED FLEXIBLE EQUIPOTENTIAL COPPER CONDUCTOR 25mm <sup>2</sup>
	GRAPHITE MOULD, REBAR $\phi$ 12/ COPPER CONDUCTOR 50mm <sup>2</sup>
	COPPER-CLAD STEEL ROD, 3m LONG, 12,5mm DIAMETER

Υπόμνημα

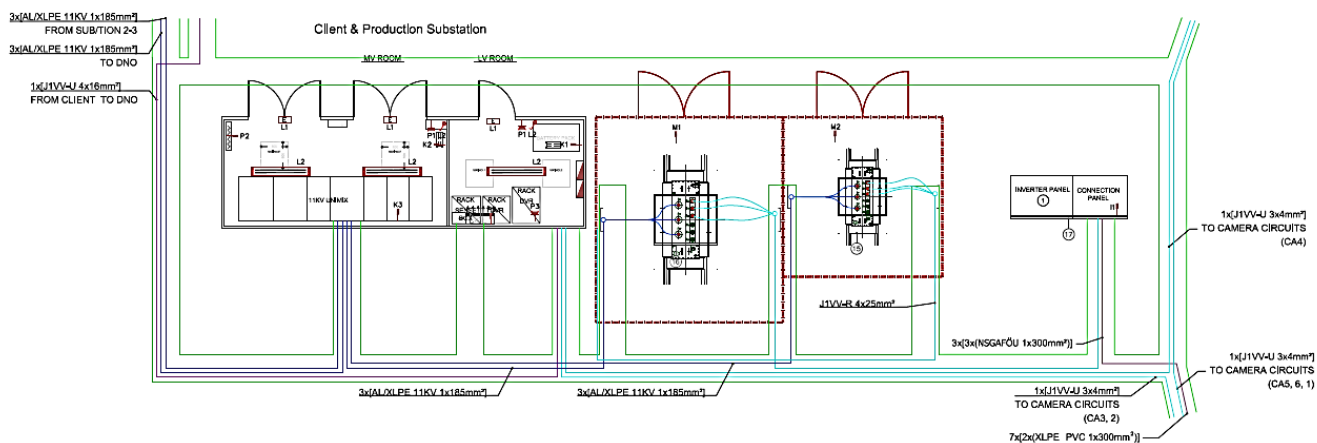
Ως αντικεραυνική προστασία θα χρησιμοποιηθούν ακίδες αλουμινίου ή γαλβανισμένου χάλυβα Φ16 ύψους τουλάχιστον 70εκ πάνω από το ύψος των panel, σε απόσταση 0,5 m πίσω από τα panels στηριγμένες στο έδαφος και οι οποίες θα αποτελούν οι ίδιες αγωγούς καθόδου. Η στήριξή τους στο έδαφος θα γίνει πάνω σε τσιμεντένια βάση ενώ μπορούν να στηρίζονται στις βάσεις των panel με την βοήθεια μονωτικής τραβέρσας. Τέλος αντί για το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα αγωγών καθόδου μπορεί να εγκατασταθεί Αλεξικέραυνο εκπομπής πρώιμου οχετού.

#### 4.6 ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΗΜΑΤΩΝ

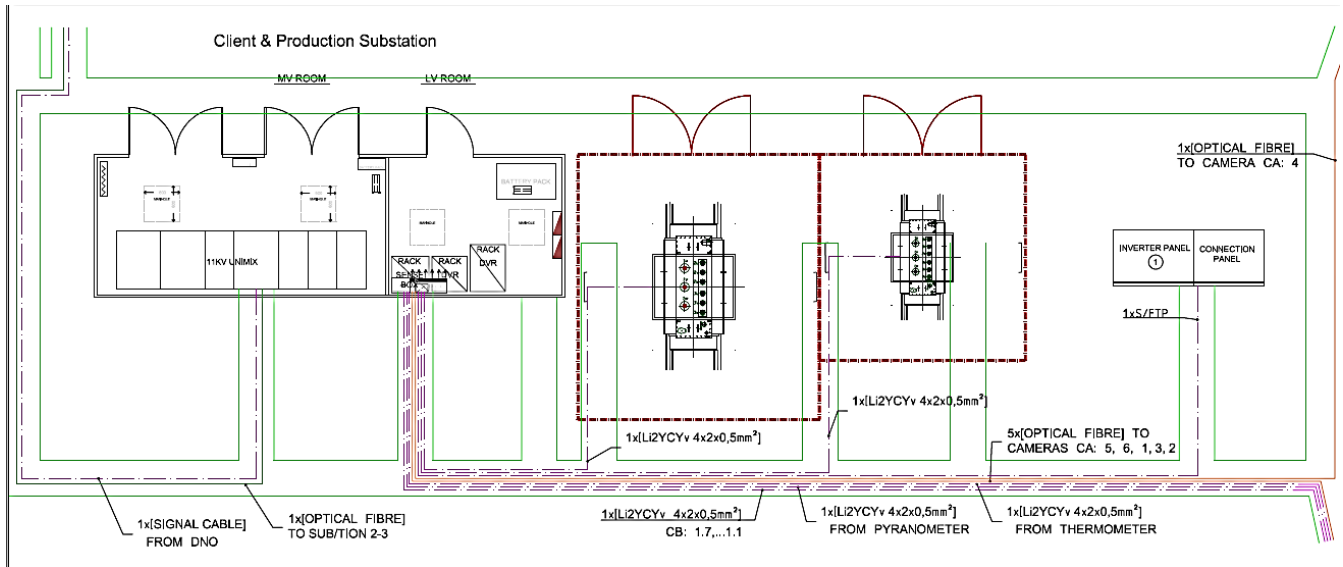
Στο σχεδιάγραμμα σημάτων (Security Schematics System) απεικονίζονται τα σήματα των μέσων προστασίας του πάρκου τα οποία καταλήγουν στις CPUs των υποσταθμών. Η απεικόνισή τους έχει προηγηθεί στην φάση του MV μονογραμμικού σχεδίου, ωστόσο στα σχέδια που παρατήθεντε παρακάτω η εικόνα ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα από χωροθετικής απόψεως.



Security system schematics

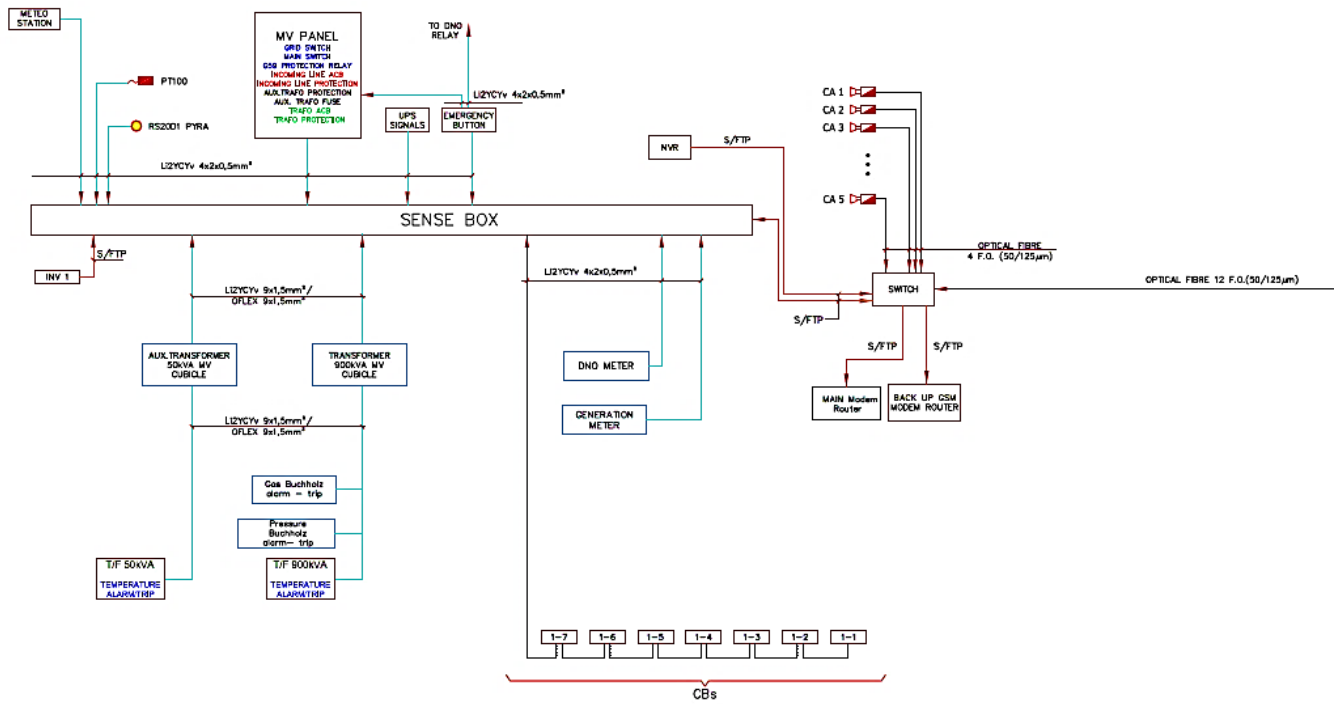


Καλωδίωση MT υποσταθμού ζεύξης



### Καλωδίωση XT υποσταθμού ζεύξης

#### CLIENT & PRODUCTION SUBSTATION 1



### Λεπτομέρεια σημάτων υποσταθμού ζεύξης



#### 4.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως θα διαπιστώσατε, η διαδικασία μελέτης ενός Φ/Β πάρκου είναι αρκετά δύσκολη και χρονοβόρα. Προκειμένου να φέρουμε το έργο εις πέρας, απαιτείται η συνεργασία και ο συντονισμός μιας αρκετά μεγάλης και εξειδικευμένης ομάδας μηχανικών, οι οποίοι αγγίζουν διαφορετικά και ανεξάρτητα γνωστικά αντικείμενα. Η περιπλοκότητα του έργου αυξάνεται αναλόγως της ισχύος, όχι μόνο από τεχνικής απόψεως, αλλά και από οικονομικής, αφού τα ποσά στα οποία αναφερόμαστε αγγίζουν την κλίμακα του εκατομμυρίου ευρώ. Για να μπορέσουμε λοιπόν να διαχειριστούμε όλο αυτόν τον όγκο, προβαίνουμε σε καλή οργάνωση και σχεδιασμό που ξεκινάει από απλά και βασικά βήματα και εξελίσσεται σε κάτι όλο και πιο σύνθετο και λεπτομερές. Τα βήματα αυτά δεν είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο γ'αυτό απαιτείται κοινή χρήση και πρόσβαση της πληροφορίας και της φάσης του έργου κάθε στιγμή από όλους τους μελετητές. Μερικές φορές η τυποποίηση της διαδικασίας είναι απαραίτητη προκειμένου να μπορέσουμε να διαχειριστούμε τα στενά χρονικά περιθώρια που μας δίνονται για την εκτέλεσή της.

Σε πρώτη φάση είδαμε πώς η μεταβολή της κλίσης του πάνελου και της γωνίας ηλιασμού, μπορεί να αλλάξει ριζικά την απόδοση του πάρκου αλλά και το κόστος του, αφού κάθε φορά απαιτείται διαφορετικός εξοπλισμός, διαφορετικά μήκη καλωδίων και διαφορετική δέσμευση χώρου.

Στη συνέχεια, μέσω της διαστασιολόγησης του εξοπλισμού έγινε αντιληπτή ή πληθώρα των παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν προκειμένου να εξασφαλίσουμε την καλή λειτουργία του πάρκου όσο το δυνατόν πιο οικονομικά.

Η ηλεκτρολογική μελέτη έρχεται να ολοκληρώσει την μελέτη, καθορίζοντας επακριβώς τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την λειτουργία του κάθε στοιχείου που υπάρχει στο πάρκο. Είναι πολύ σημαντική καθώς οποιαδήποτε αστοχία μπορεί να κοστίσει όχι μόνο την απώλεια του πάρκου αλλά και ανθρώπινων ζωών.

Μετά την υλοποίηση και την διασύνδεση του πάρκου, θα πρέπει να είμαστε σε θέση να λογοδοτήσουμε για τυχόν αστοχίες και δυσλειτουργίες καθ'ολη τη διάρκεια ζωής του, η οποία είναι ούτε λίγο ούτε πολύ, 20 χρόνια.

## Βιβλιογραφία

1. Κ.Θ.Δέρβος , «Εισαγωγή στα ημιαγωγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις», Αθήνα 2011
2. Χριστοφής .Ι. Κορωναίος , «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Αθήνα Μάρτιος 2012
3. Κ.Π.Ιακωβίδης , «Εισαγωγή στη Φυσική Μετεωρολογία» , Αθήνα 2009
4. Θάνος.Ν.Στασινόπουλος , «Ηλιακή Γεωμετρία», Αθήνα Δεκέμβριος 2001
5. Volker Quaschnig and Rolf Hanitsch, « INCREASED ENERGY YIELD OF 50% AT FLAT ROOF AND FIELD INSTALLATIONS WITH OPTIMIZED MODULE STRUCTURES » , Vienna 1998
6. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, «Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων», Θεσσαλονίκη Απρίλιος 2011
7. Τ.Ο.ΤΕΕ , «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων», Αθήνα Ιανουάριος 2011
8. Ι.Τζουβαδάκης & Σ.Τσορός , «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (Φ/Β)», Φεβρουάριος 2010
9. Χ. Χαλδούπης, «Εισαγωγικά Στοιχεία Ατμοσφαιρικής Φυσικής», Ηράκλειο 2000
10. Μ.Δανέζης - Σ. Θεοδοσίου, «Η οδύσσεια των ημερολογίων», Αθήνα 1995
11. Kuehn, Ramsey & Threlkeld, «Thermal Environmental Engineering» 3rd edition, Upper Saddle River, New Jersey
12. Antonio Luque & Steven Hegedus , «Handbook of Photovoltaic Science and Engineering»
13. Δ.Καβαλιέρος, «Μηχανισμοί ελέγχου, διακοπής και προστασίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων»
14. Ε.Κακάνα, Διπλωματική εργασία «Ασφαλής Σχεδίαση Συστήματος Γείωσης Φωτοβολταϊκού Πάρκου», Θεσσαλονίκη 2012
15. Μ.Π.Παπαδόπουλος, «Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα 1997
16. <http://www.lmco.gr>
17. Lighting Protection Guide, [www.dehn.de](http://www.dehn.de)
18. <http://www.ostriasolar.gr/index.php/2011-03-04-23-39-51>
19. <http://www.pittas.gr>
20. [http://users.sch.gr/nchatzigeo/Biblia/Biomhx\\_egkatas\\_vpost.pdf](http://users.sch.gr/nchatzigeo/Biblia/Biomhx_egkatas_vpost.pdf)
21. Ε.Γράψας, Α.Δασκαλάκης, Ι.Καρβέλης & Θ.Σκίπης , «Τεχνικό Σχέδιο»
22. <https://ggeorgala.wordpress.com>
23. Siemens Electrical Engineering Handbook
24. ABB Switchgear Manual, 10th Revised Edition, 2004
25. Cahier technique no. 158, Calculation of short-circuit currents, Schneider Electric
26. Schneider Electric, Electrical installation guide 2010