ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική εργασία

Ανάπτυξη αλγορίθμου για βέλτιστη τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων σε οποιοδήποτε αγροτεμάχιο

Μπαριάμπας Άντι

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (επιβλέπων)

Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος

Επ. Καθηγητής Κουτρούλης Ευτύχιος

Χανιά 2011

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης τον Καθηγητή κ. Σταυρακάκη Γεώργιο και τον Επ. Καθηγητή Ευτύχιο Κουτρούλη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

# Περίληψη

Στον Ελλαδικό χώρο τα αγροτεμάχια έχουν τυχαία σχήματα , αυτό δυσκολεύει την τοποθέτηση των φωτοβολταικών πλαισίων σε παράλληλες σειρές που δεν σκιάζουν η μια την άλλη. Ένα επιπλέον πρόβλημα προκύπτει όταν το έδαφος έχει κλίση.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος και μια αυτόνομη γραφική εφαρμογή για την βέλτιστη τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με σκοπό την καλύτερη εκμετάλλευση της υπάρχουσας γης, λαμβάνοντας υπόψιν τη σκίαση των Φ/Β , την κλίση του εδάφους αλλά και άλλους παράγοντες όπως το περιθώριο το οποίο πρέπει να υπάρχει από τα όρια αγροτεμαχίου.

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Συστήματα φωτοβολταικών διατάξεων

Το ενεργειακό πρόβλημα έχει γίνει εδώ και αρκετά χρόνια αντιληπτό από την ανθρωπότητα. Από την πρώτη εποχή της βιομηχανικής επανάστασης δύο αιώνες πριν και έπειτα ο άνθρωπος καταναλώνει ακατάπαυτα φυσικούς πόρους (ορυκτούς κυρίως) για την παραγωγή ενέργειας και μάλιστα με τρόπο ανεξέλεγκτο. Το αποτέλεσμα αυτής της «εξέλιξης» συσσωρευτικά δημιούργησε μια σειρά σημαντικών προβλημάτων με ποικίλες επιπτώσεις στον τομέα του περιβάλλοντος αλλά και της παγκόσμιας οικονομίας.

Στην κατηγορία των φυσικών ορυκτών πόρων ανήκουν πηγές όπως το πετρέλαιο, ο λιγνίτης, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, οι οποίες χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών για την παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας. Ειδικότερα η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζεται σχεδόν στην ολότητα της στην καύση των ορυκτών πόρων. Η ζήτηση επομένως και η κατανάλωση τους είναι ήδη τεράστια, αλλά και αυξάνεται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου και την παράλληλη αύξηση των αναγκών.

Το αυτονόητο αποτέλεσμα της πορείας αυτής είναι σε πρώτο επίπεδο η σταδιακή μείωση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων που υπάρχουν ανά την υφήλιο και πιο μακροπρόθεσμα η παντελής έλλειψη κάποιων πόρων από τον πλανήτη. Πρόσφατες έρευνες επάνω στην αυξανόμενη αυτή πορεία χρήσης, δείχνουν γενικότερα ότι οι υπάρχοντες πόροι δεν επαρκούν για να καλύψουν στο μέλλον τις αυξανόμενες ανάγκες, γεγονός που εξηγεί παράλληλα και την άνοδο των τιμών τους. Ο Διεθνής οργανισμός ενέργειας εκτιμά αναλυτικότερα ότι η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση θα αυξηθεί κατά 60% έως το 2030 και ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση, της οποίας το 80% της παραγωγής ενέργειας καλύπτεται από ορυκτούς πόρους, θα δει τις εισαγωγές της ενέργειας να αυξάνονται από 50% που είναι σήμερα, σε 70%. Παράλληλα ο ανταγωνισμός για την διασφάλιση πόρων ενέργειας οδηγεί συχνά μέχρι και σε πολιτικές εντάσεις, απειλώντας ακόμη και την ειρήνη σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη.

Η μοναδική λύση που υπάρχει είναι η εξοικονόμηση και στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μια από αυτές είναι η ηλιακή ενέργεια, η οποία είναι καθαρή και ανεξάντλητη. Η αξιοποίηση της μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση των φωτοβολταϊκών τα οποία μετατρέπουν κατευθείαν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Η Ελλάδα είναι από τις πιο πλούσιες χώρες της Ευρώπης σε ηλιοφάνεια, αλλά κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, σε αντίθεση με άλλες χώρες όπως η Ισπανία, η οποία θεωρείτε πρωτοπόρα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο , κυρίως με ηλιοθερμικά εργοστάσια όπως τα Andasol 1,2 και 3.

1.2 Προσεγγίσεις

- Στην παρούσα εργασία θεωρείτε ότι ο γεωγραφικός τόπος είναι η Ελλάδα, αν και η γραφική εφαρμογή που αναπτύχτηκε μπορεί να λειτουργήσει σωστά για όλες τις περιοχές ανατολικά του Γκρίνουιτς και βόρεια του ισημερινού.

- Στην παρούσα εργασία η κλίση των Φ/Β διατάξεων επιλέγεται ίση με τη βέλτιστη, για τη μέγιστη απόδοσή τους κατά τη διάρκεια του έτους (δηλαδή ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής), αν και δίνεται η επιλογή στην γραφική εφαρμογή να επιλεχτεί διαφορετική κλίση , ενώ επιλέγεται και ένα μοντέλο υπολογισμού των αποστάσεών τους, ώστε οι συνολικές ενεργειακές απώλειες από τη μεταξύ τους σκίαση να είναι περίπου 2%.

- Στην παρούσα εργασία θεωρείτε ότι το έδαφος είναι επίπεδο, χωρίς λακκούβες/εξογκώματα και δεν υπάρχουν σκιάσεις από εξωτερικούς παράγοντες, όπως δέντρα.

- Στην παρούσα εργασία κατά την μετατροπή από τις γεωγραφικές συντεταγμένες σε παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή (UTM) ή στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) και το ανάποδο, υπάρχει σφάλμα μετατροπής το οποίο είναι αναπόφευκτο λόγω του διαφορετικού τρόπου προβολής της γήινης επιφάνειας.

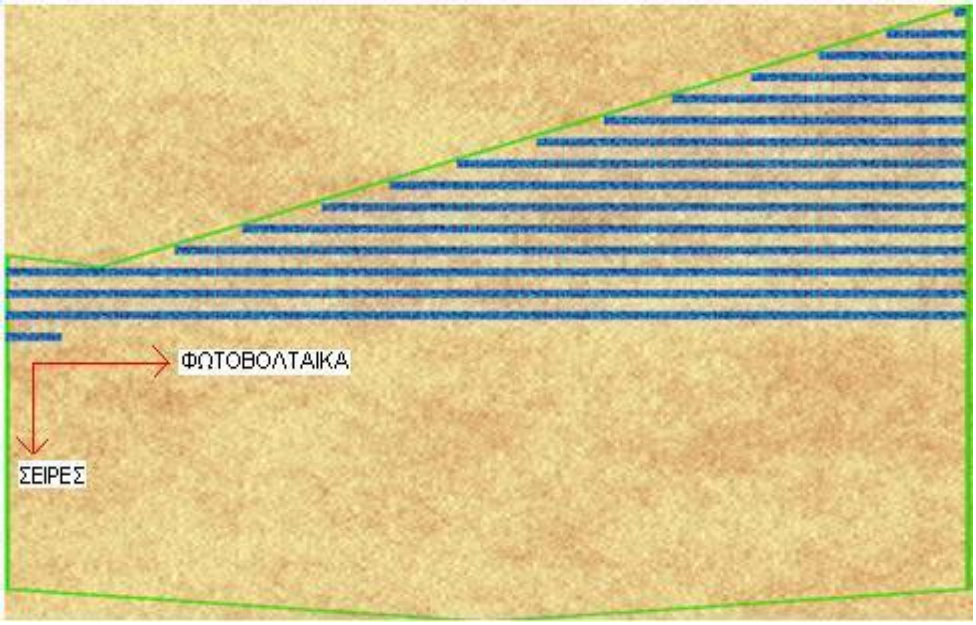
- Στην παρούσα εργασία τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε παράλληλες σειράς, σε κάθε σειρά τα Φ/Β δεν έχουν απόσταση μεταξύ τους.

1.3 Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία

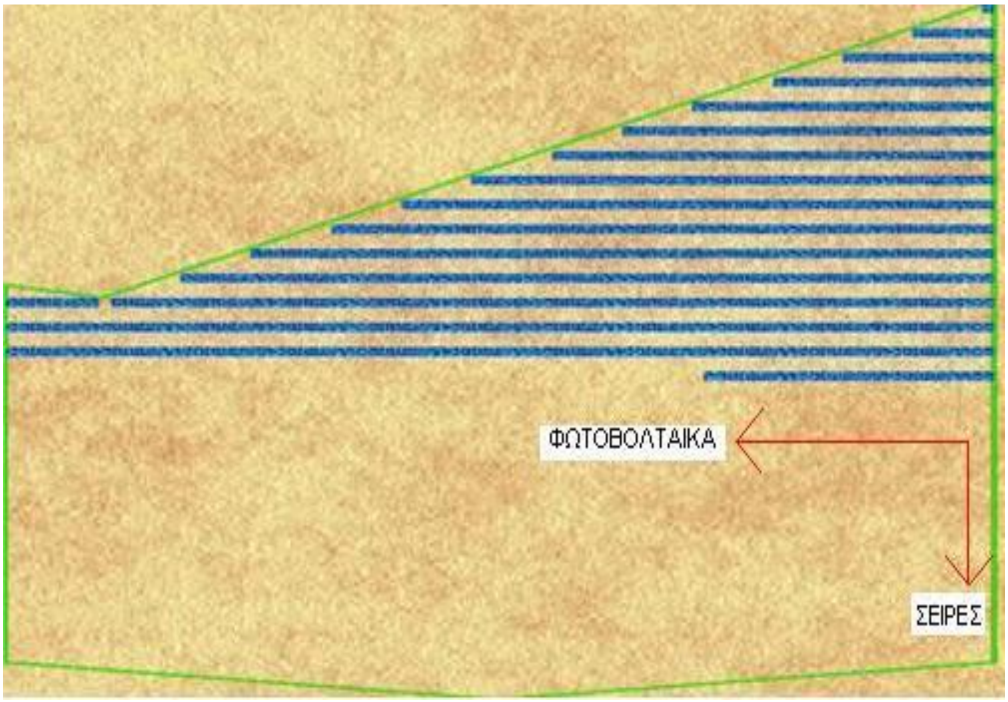
Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκε μια γραφική εφαρμογή και ένας αλγόριθμος για την τοποθέτηση φωτοβολταικών σε αγροτεμάχιο τυχαίου σχήματος. Το πρόγραμμα επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει πραγματικές συντεταγμένες για τον ορισμό του αγροτεμαχίου και τοποθετεί τα Φ/Β πλαίσια σε παράλληλες σειρές, με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους. Ανάλογα το σχήμα του αγροτεμάχιου ένας από τους τέσσερις θα δώσει τον μέγιστο αριθμό Φ/Β που μπορεί να τοποθετηθούν.

Θεωρώντας πως ο βοράς είναι στο πάνω μέρος την εικόνας, οι τέσσερις τρόποι είναι οι εξής:

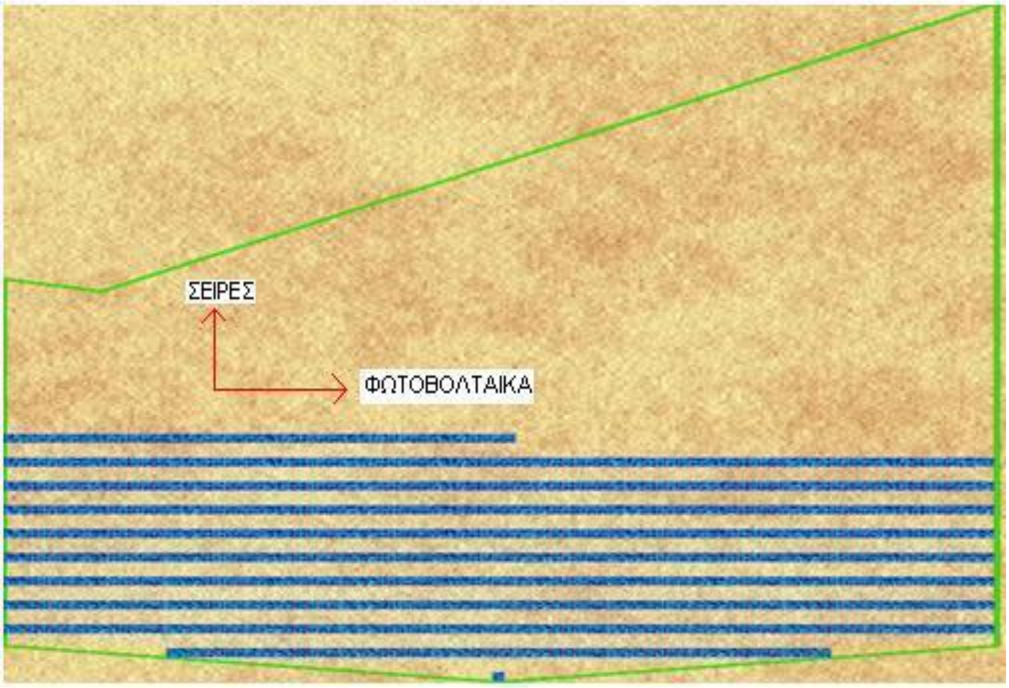
- Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Βορά προς Νότο και των Φ/Β από την δύση προς την ανατολή (**Σχήμα 1.1**).
- Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Βορά προς Νότο και των Φ/Β από την ανατολή προς την δύση (**Σχήμα 1.2**).
- Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Νότο προς Βορά και των Φ/Β από την δύση προς την ανατολή (**Σχήμα 1.3**).
- Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Νότο προς Βορά και των Φ/Β από την ανατολή προς την δύση (**Σχήμα 1.4**).



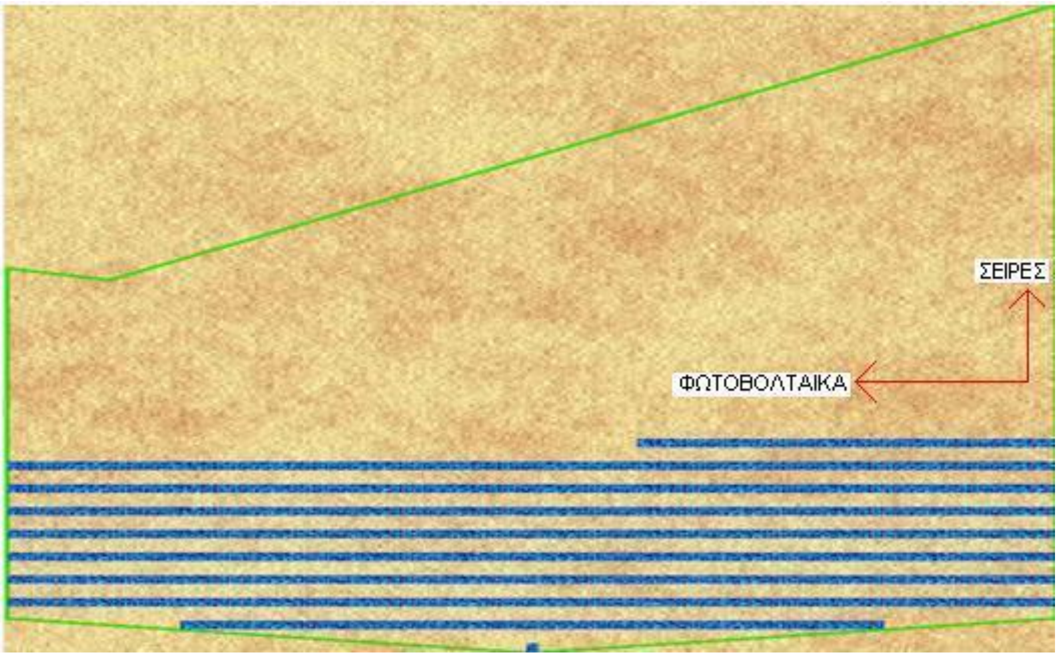
Σχήμα 1.1: Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Βορά προς Νότο και των Φ/Β από την δύση προς την ανατολή



Σχήμα 1.2: Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Βορά προς Νότο και των Φ/Β από την ανατολή προς την δύση



Σχήμα 1.3: Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Νότο προς Βορά και των Φ/Β από την δύση προς την ανατολή



Σχήμα 1.4: Τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Νότο προς Βορά και των Φ/Β από την ανατολή προς την δύση

Συνολικά η γραφική εφαρμογή που αναπτύχθηκε υποστηρίζει τα παρακάτω:

- Εισαγωγή των συντεταγμένων του αγροτεμαχίου σε τρία διαφορετικά συστήματα:
  1) Γεωγραφικές συντεταγμένες
  2) Παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή (UTM)
  3) Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87)
- Μετατροπή από το ένα σύστημα στο άλλο.
- Τοποθέτηση με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους των Φ/Β, εμφάνιση του συνολικού αριθμού τους και των γεωγραφικών συντεταγμένων του κάθε Φ/Β ξεχωριστά.
- Τοποθέτηση των σειρών των Φ/Β με απόσταση μεταξύ τους ώστε να μην σκιάζονται.
- Επιλογή κλίσης τοποθέτησης των Φ/Β και κλίσης εδάφους και προσαρμογή της απόστασης των σειρών ώστε να αποφεύγεται η σκίαση.
- Ορισμού περιθωρίου από τα όρια του αγροτεμαχίου.
- Εμφάνιση του αγροτεμαχίου με τη χρήση του GOOGLE EARTH.
- Υπολογισμός εμβαδού ολόκληρου αγροτεμαχίου ή μόνο της επιφάνειας που ορίζεται εάν λάβουμε υπόψιν και το περιθώριο.
- Επιλογή διαστάσεων Φ/Β.
- Εμφάνιση απόστασης σειρών Φ/Β.
- Αποθήκευση της εικόνας του αγροτεμαχίου μαζί με τα τοποθετημένα Φ/Β.

1.4 Η δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία δομείται ως εξής :

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια εισαγωγή στα ελληνικά προβολικά συστήματα, πιο συγκεκριμένα δίνονται κάποιες πληροφορίες για τις γεωγραφικές συντεταγμένες, για την παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή και για το γεωδαιτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα , το οποίο είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ή ΕΓΣΑ87 και παρουσίαση, με πιο τρόπο χρησιμοποιήθηκαν οι παραπάνω γνώσεις στη γραφική εφαρμογή.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίον ορίζεται ένα αγροτεμάχιο τυχαίου σχήματος, πώς υπολογίζεται το εμβαδό του, πώς ορίζεται το περιθώριο από τα όρια του αγροτεμάχιου, και με ποιον τρόπο χρησιμοποιήθηκε η παραπάνω γνώση, μαζί με κάποιες παραδοχές, για υλοποιηθεί σωστά στη γραφική εφαρμογή το σχήμα του αγροτεμαχίου και ο υπολογισμός του εμβαδού του.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται ο τρόπος που προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία στη γη , με ποιους τύπους υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να έχουν οι σειρές των φωτοβολταικών για να μην σκιάζονται, ποια είναι η επίδραση της κλήσης του εδάφους στην σκίαση των φωτοβολταικών και πώς υλοποιήθηκαν όλα αυτά στην εφαρμογή.

Στο κεφάλαιο 5 χρησιμοποιείται η εφαρμογή που αναπτύχθηκε και παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα.

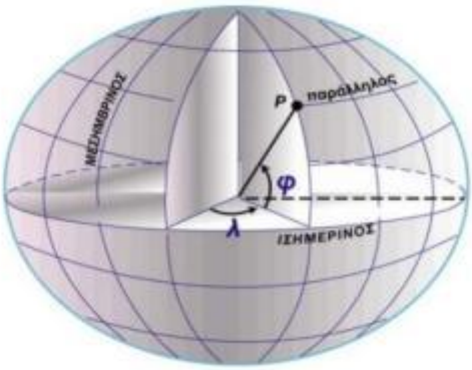
Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η δομή της γραφικής εφαρμογής που αναπτύχθηκε στα πλαίσια την παρούσας εργασίας με περισσότερες λεπτομέρειες. Πιο συγκεκριμένα περιγράφεται η δόμηση του πηγαίου κώδικα και αναλύονται τα κυριότερα κομμάτια του κώδικα.

Στο κεφάλαιο 7 σχολιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής που αναπτύχθηκε και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις.

2. ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Εισαγωγή

Ο όρος **Φυσική Γήινη Επιφάνεια** χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επιφάνεια του γήινου πλανήτη. Το σχήμα της επιφάνειας αυτής έχει κατά ιστορικούς καιρούς περιγραφεί γεωμετρικά ως επίπεδο , σφαίρα, σφαιροειδές και ελλειψοειδές. Η πιο σύγχρονη θεώρηση για το σχήμα της γης χρησιμοποιεί την έννοια του γεωειδούς, το οποίο είναι μια σύνθετη επιφάνεια που περιγράφεται μόνον με αναλυτικούς/μαθηματικούς τύπους. Στην πράξη, για την αποφυγή πολύπλοκων πράξεων (και των σφαλμάτων που απορρέουν από αυτές) το πλέον συχνά χρησιμοποιούμενο σχήμα είναι το ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Ένα σημείο πάνω στο ελλειψοειδές μπορεί να ορισθεί από τις γεωγραφικές συντεταγμένες, γνωστές ως γεωγραφικό μήκος(**λ**) και γεωγραφικό πλάτος (**φ**), τα οποία είναι γωνιακά μεγέθη και αναφέρονται στο νοητό κέντρο του ελλειψοειδούς.



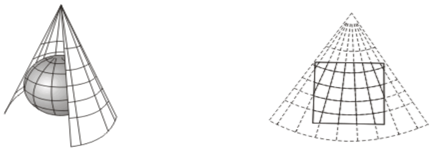
Σχήμα 2.1: Γεωγραφικό μήκος(**λ**) και γεωγραφικό πλάτος (**φ**)

Προβολικό σύστημα ονομάζεται ένα σύστημα που επιτρέπει την απεικόνιση του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο. Οποιαδήποτε λύση και αν δοθεί, καταλήγει στην παραμόρφωση των σχημάτων στο ελλειψοειδές, αφού αυτό είναι μια μη αναπτυκτή επιφάνεια.

Αναλόγως του είδους της επιφάνειας που χρησιμοποιείται, μια προβολή μπορεί να χαρακτηρισθεί ως :

•Αζιμουθιακή
•Κωνική
•Κυλινδρική

Σχήμα 2.2: Αζιμουθιακή προβολή



Σχήμα 2.3: Κωνική προβολή

Σχήμα 2.4: Κυλινδρική προβολή

2.2 Γεωγραφικές συντεταγμένες

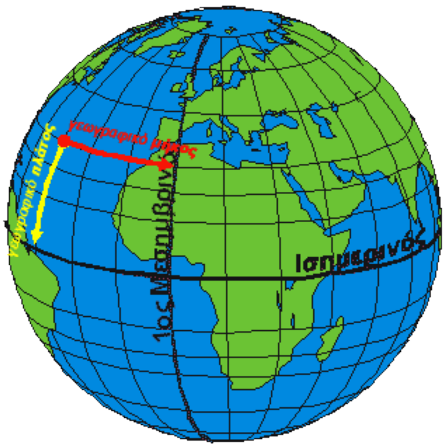
Γεωγραφικές συντεταγμένες είναι δύο μεγέθη με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων (εκτός των πόλων) στην επιφάνεια της γης. Ως βάση των γεωγραφικών συντεταγμένων λαμβάνεται ο ισημερινός και ο πρώτος μεσημβρινός. Οι γραμμές που είναι παράλληλες προς τον ισημερινό λέγονται παράλληλοι κύκλοι. Από τον ισημερινό χαράσσονται 90 παράλληλοι κύκλοι προς το βόρειο πόλο και άλλοι 90 προς το νότιο πόλο της γης. Οι γραμμές που ενώνουν τους δύο πόλους λέγονται μεσημβρινοί. Ξεκινώντας από τον αρχικό μεσημβρινό (που περνά από το αστεροσκοπείο του Γκρήνουιτς στη Μεγάλη Βρετανία) χαράσσονται σε ίση απόσταση 180 ημικύκλια προς τα ανατολικά και 180 ημικύκλια προς τα δυτικά. Τις γεωγραφικές συντεταγμένες αποτελούν το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος.

2.2.1 Γεωγραφικό πλάτος

Γεωγραφικό πλάτος (*latitude*) (***φ***) ενός σημείου που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης είναι η γωνία που σχηματίζει η κατακόρυφος του τόπου με το επίπεδο του ισημερινού (**Σχήμα 2.5**). Το γεωγραφικό πλάτος χαρακτηρίζεται Βόρειο Β (North N) ή Νότιο Ν (South S) ανάλογα σε ποιό ημισφαίριο βρίσκεται το σημείο. Σημεία του ίδιου ημισφαιρίου έχουν *ομώνυμα* πλάτη σε αντίθεση με σημείο διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν *ετερώνυμα* πλάτη. Το γεωγραφικό πλάτος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών, πρώτα και δεύτερα από **0° - 90° Β** ή **0° - 90° Ν** (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον ισημερινός του οποίου το γεωγραφικό πλάτος είναι **0°**).

2.2.2 Γεωγραφικό μήκος

Γεωγραφικό μήκος (*longitude*) (**λ**) ενός σημείου στην επιφάνεια της γης είναι η στερεή γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του μεσημβρινού που διέρχεται από το εν λόγω σημείο με το επίπεδο του πρώτου μεσημβρινού (**Σχήμα 2.5**). Το γεωγραφικό μήκος χαρακτηρίζεται Ανατολικό Α (East E) ή Δυτικό Δ (West W) ανάλογα σε ποιό ημισφαίριο βρίσκεται το σημείο. Σημεία του ίδιου ημισφαιρίου έχουν ομώνυμα μήκη σε αντίθεση με τόπους διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν ετερώνυμα μήκη. Το γεωγραφικό μήκος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών, πρώτα και δεύτερα από **0° - 180° Α** ή **0° - 180° Δ** (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον **πρώτο μεσημβρινό** με γεωγραφικό μήκος 0°).

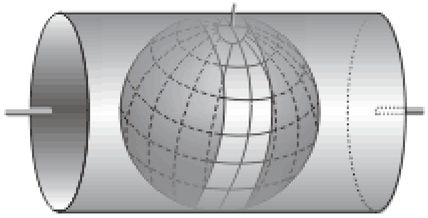


2.5:Γεωγραφικό πλάτος και μήκος

2.3 Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή

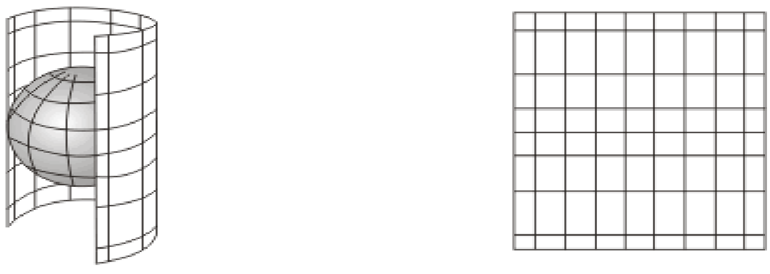
Η παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή ή Universal Transverse Mercator (**UTM**) ανήκει στην κατηγορία των κυλινδρικών προβολών διότι τα σημεία της σφαιρικής επιφάνειας της γης, προβάλλονται πάνω στην κυρτή επιφάνεια ενός κυλίνδρου.

Στο **UTM ,** ο κύλινδρος εφάπτεται του σφαιροειδούς κατά ένα μεσημβρινό και ο άξονάς του είναι επί του ισημερινού επίπεδου (**Σχήμα 2.6**). Επάνω στο μεσημβρινό επαφής, η παραμόρφωση είναι μηδέν, δηλαδή τα μήκη στο χάρτη είναι ίσα με τα αντίστοιχα στο έδαφος.

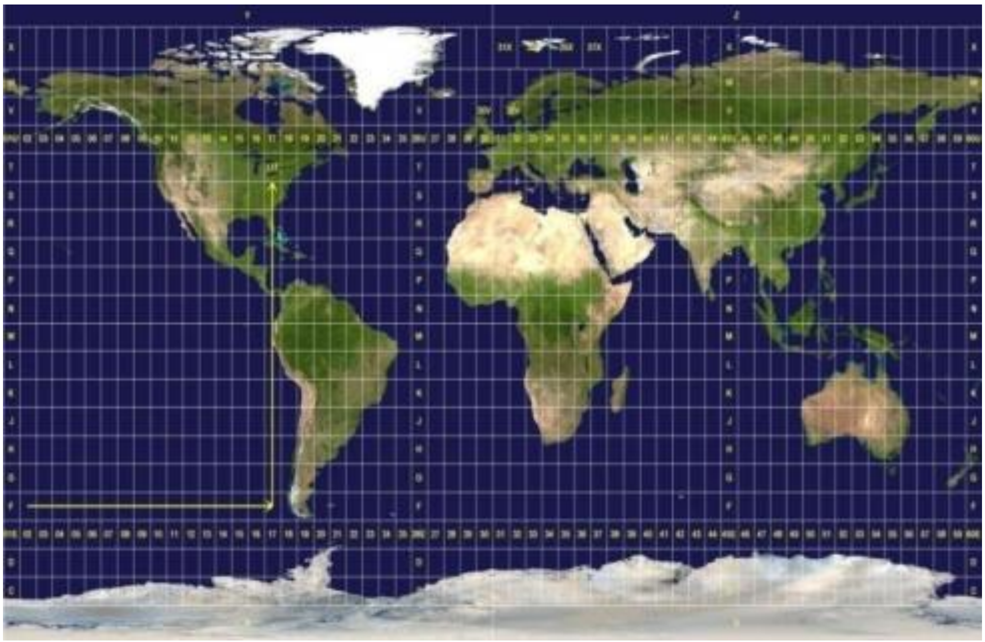


Σχήμα 2.6:Κυλινδική προβολή του UTM

Την επιφάνεια του κυλίνδρου όταν την κόψουμε κατά μια γενέτειρά του , αναπτύσσεται σε επίπεδο (**Σχήμα 2.7**). Όλη η υδρόγειος χωρίζεται σε 60 ζώνες εύρους 6^{o} προκειμένου να περιοριστούν οι παραμορφώσεις σε ανεκτό όριο (**Σχήμα 2.8**). Οι ζώνες 34 και 35 χωρίζονται από τον μεσημβρινό των 24^{o}.



Σχήμα 2.7: Επιφάνεια κυλίνδρου



Σχήμα 2.8: Ζώνες στο UTM

Η ακρίβεια των μηκών που μετράμε στο χάρτη είναι της τάξεως του 1/2500. Η UTM χρησιμοποιείτε για χαρτογράφηση από 80^{o} Ν. πλάτος μέχρι 84^{o} Β. Πλάτος.

Πινάκας 1.1 : Χαρακτηριστικά του συστήματος UTM	
Όνομα προβολικού συστήματος :	Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή
Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Datum):	E.D.50 , με αφετηρία το Potsdam
Ελλειψοειδές αναφοράς:	Hayford
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a :	6378388.155 m
Επιπλάτυνση ελλειψοειδούς (1/f):	1/297
Συντελεστής κλίμακας Ko:	0.9996
Διαστάσεις ζωνών:	6^{o} σε γεωγραφικό μήκος
Αριθμός ζωνών κάλυψης του Ελλαδικού χώρου:	2 ($34^{η}$ και $35^{η}$ ζώνη , με κ.μ. λ=21^{o} και λ=27^{0} αντίστοιχα)

2.4 Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987

Το **Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς** ή **ΕΓΣΑ87** είναι ένα γεωδαιτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Το ΕΓΣΑ87 προδιαγράφει ένα τοπικό, μη γεωκεντρικό datum το οποίο είναι συνδεδεμένο με τις γεωγραφικές συντεταγμένες του γεωδαιτικού σταθμού του Διόνυσου ΒΔ των Αθηνών (Dionysos Satellite Observatory ή DSO , 38.0784, 23.932939).

Το κεντρικό βάθρο στη θέση αυτή έχει εξ ορισμού συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ87 38^0 4' 33.8000" N - 23^0 55' 51.0000"E, N = +7 m. Θεωρείται μια ενιαία ζώνη για όλη τη χωρά με κεντρικό μεσημβρινό λο=24^o και χρησιμοποιείται ενιαίος συντελεστής κλίμακας 0.9996. Οι παραμορφώσεις με αυτόν τον τρόπο μπορούν να φτάσουν μέχρι και 1:1000 στα άκρα της χώρας(δηλαδή 1 μετρό σε απόσταση 1χλμ.).

Για να αποφθεχθούν αρνητικές τιμές ο κεντρικός μεσημβρινός έχει ως τετμημένη 500.00m. Αρχή των τετμημένων θεωρείται ο ισημερινός (φ = 0^o).Το ΕΓΣΑ87 υλοποιείται με τις συντεταγμένες που έχουν δοθεί σε περίπου 26.000 τριγωνομετρικά σημεία του Εθνικού τριγωνομετρικού δικτύου 1ης και 2ης τάξης , τα όποια έχουν συνορθωθεί ως ενιαίο δίκτυο στην επιφάνεια του εν λόγω ελλειψοειδούς , με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ακρίβεια σε ολόκληρη την επιφάνεια της χώρας.

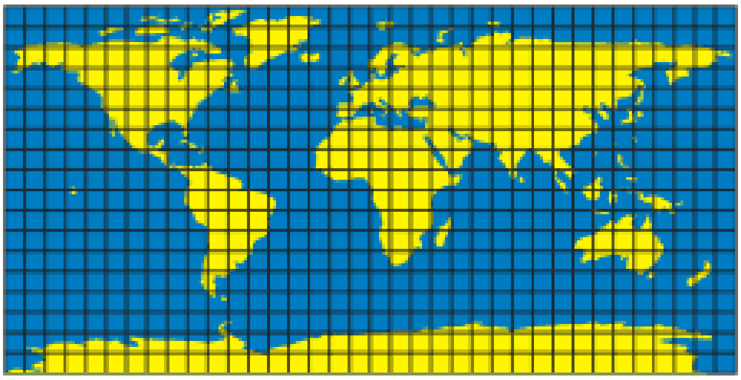
Το σύστημα χρησιμοποιείται για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου καθώς έχει υιοθετηθεί από τον ΟΚΧΕ, Γενικά, τείνει να γίνει το επίσημο προβολικό σύστημα για την Ελλάδα καθώς προσφέρει ενιαία αναφορά για το σύνολο της χώρας. Έχει ήδη υιοθετηθεί από τις περισσότερες δημοσιές υπηρεσίες και οργανισμούς καθώς και ιδιωτικές εταιρίες.

Πινάκας 1.2 : Χαρακτηριστικά του συστήματος ΕΓΣΑ87	
Όνομα προβολικού συστήματος :	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ή ΕΓΣΑ87
Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς	ΕΓΣΑ87 με αφετηρία το

(Datum):	μετατεθειμένο γεώκεντρο , βάθρο Διονύσου
Ελλειψοειδές αναφοράς:	GRS80
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a :	6378137.000m
Επιπλάτυνση ελλειψοειδούς (1/f):	1/298.257222101
Συντελεστής κλίμακας Ko:	0.9996

2.5 Ερατοσθενική κυλινδρική προβολή

Είναι η απλούστερη κυλινδρική προβολή. Ο κύλινδρος εφάπτεται στη σφαίρα κατά μήκος του ισημερινού. Ο ισημερινός και οι μεσημβρινοί διαιρούνται σε ίσα τμήματα και απεικονίζονται με ακρίβεια. Οι παράλληλοι απεικονίζονται ως παράλληλες προς τον ισημερινό γραμμές. Τα σημεία τομής των παράλληλων και μεσημβρινών σχηματίζουν τετράγωνα, που δίνουν στην προβολή τη μορφή ενός τετραγωνισμένου φύλλου χαρτιού.



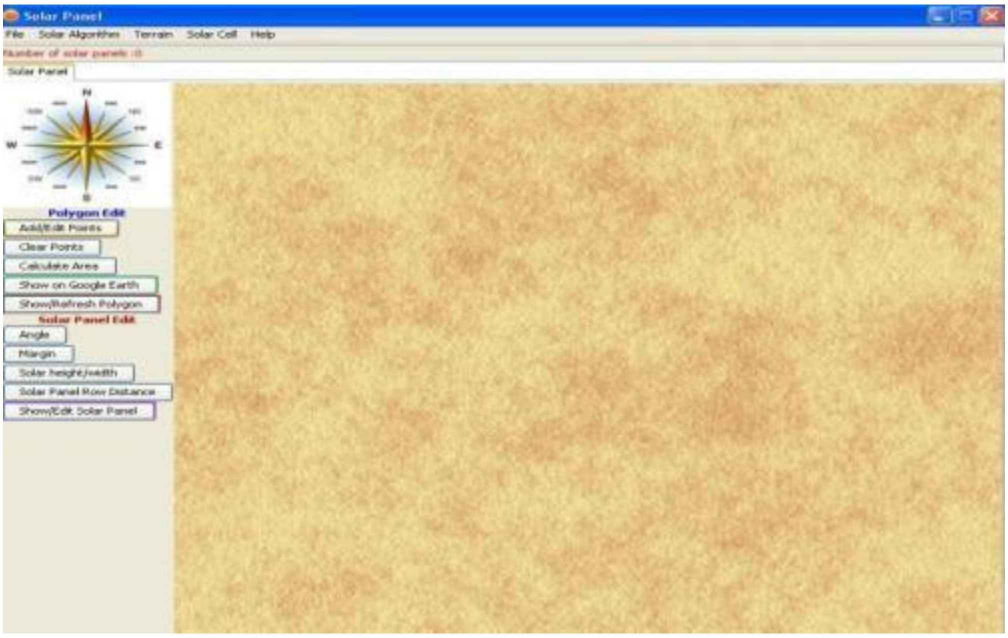
Σχήμα 2.9: Παγκόσμιος χάρτης σε ερατοσθενική κυλινδρική προβολή.

Στην προβολή αυτή απεικονίζονται σωστά η παραλληλότητα των παράλληλων κύκλων, η ισότητα των μεσημβρινών και η σε ορθή γωνία τομή των παράλληλων από τους μεσημβρινούς. Δεν είναι σωστή η απεικονιζόμενη παραλληλότητα των μεσημβρινών και η ισότητα των παράλληλων.

Χάρτες που κατασκευάζονται με βάση την προβολή αυτή, μόνον στην ισημερινή ζώνη είναι ίσης έκτασης. Στις περιοχές των πόλων εμφανίζονται σημαντικές παραμορφώσεις. Να φανταστεί κανείς ότι ο πόλος απεικονίζεται ως γραμμή ίση με την αντίστοιχη του ισημερινού. Δεν ενδείκνυται για την κατασκευή παγκόσμιων χαρτών. Χρησιμοποιείται όμως για χάρτες περιοχών που βρίσκονται κοντά στην ισημερινό και για χάρτες μεγάλης κλίμακας

2.6 Υλοποίηση της παραπάνω γνώσης στην εφαρμογή

Στη γραφική εφαρμογή η παραπάνω γνώση χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση του πολυγώνου που ορίζει το αγροτεμάχιο. Υποστηρίζονται και οι τρεις τρόποι αναπαράστασης (Γεωγραφικές συντεταγμένες,UTM, ΕΓΣΑ87) αλλά οι υπολογισμοί γίνονται μόνο με γεωγραφικές συντεταγμένες, οπότε το πρόγραμμα υποστηρίζει αυτόματη μετατροπή από το ένα σύστημα στο άλλο. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία εισαγωγής των σημείων του πολυγώνου. Έχοντας ανοίξει την εφαρμογή ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα Πατάμε το κουμπί Add/Edit Points (**Σχήμα 2.10**)



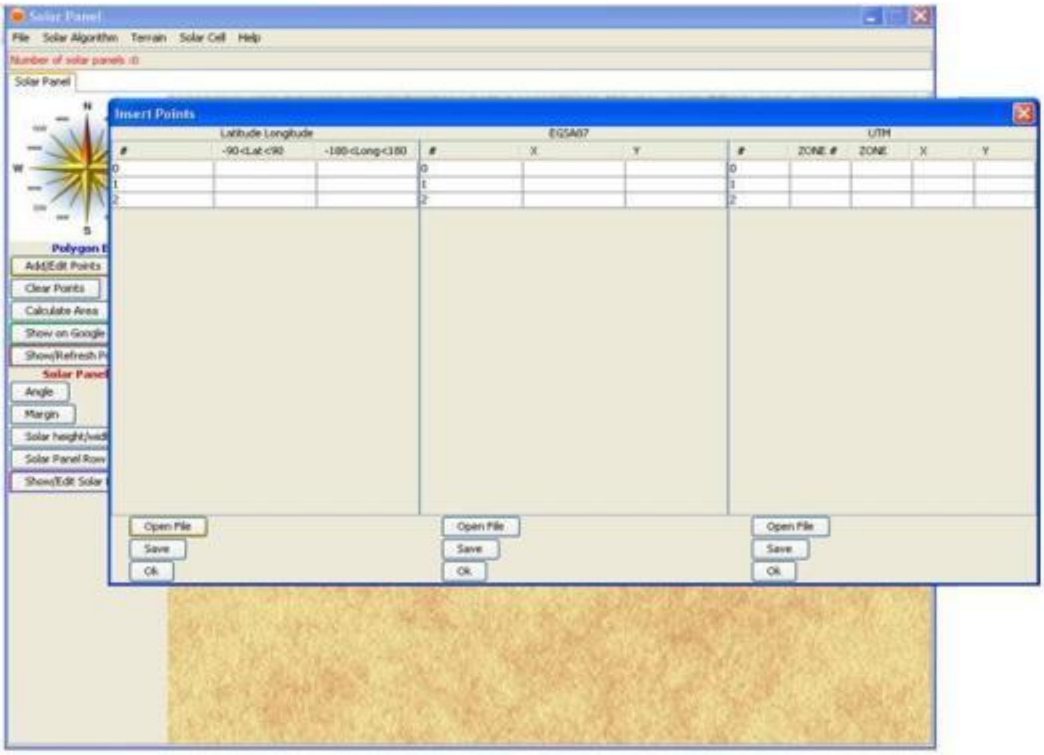
Σχήμα 2.10: Εισαγωγή σημείων με το κουμπί Add/Edit Points

Όταν μας ζητηθεί να δώσουμε αριθμό σημείων δίνουμε από τρία και πάνω, για να είναι δυνατόν η δημιουργία πολυγώνου (**Σχήμα 2.11**).Στην περίπτωση που δοθεί τιμή έκτος ορίων ή κάτι το οποίο δεν είναι αριθμός το πρόγραμμα βγάζει μήνυμα λάθους (**Σχήμα 2.12 2.12).** Εάν φορτώσουμε τα σημεία από αρχείο, το πρόγραμμα προσαρμόζει αυτόματα των αριθμό των γραμμών των τριών πινάκων (**Σχήμα 2.14 2.15 2.16**)

Σχήμα 2.11:Εισαγωγή αριθμού σημείων

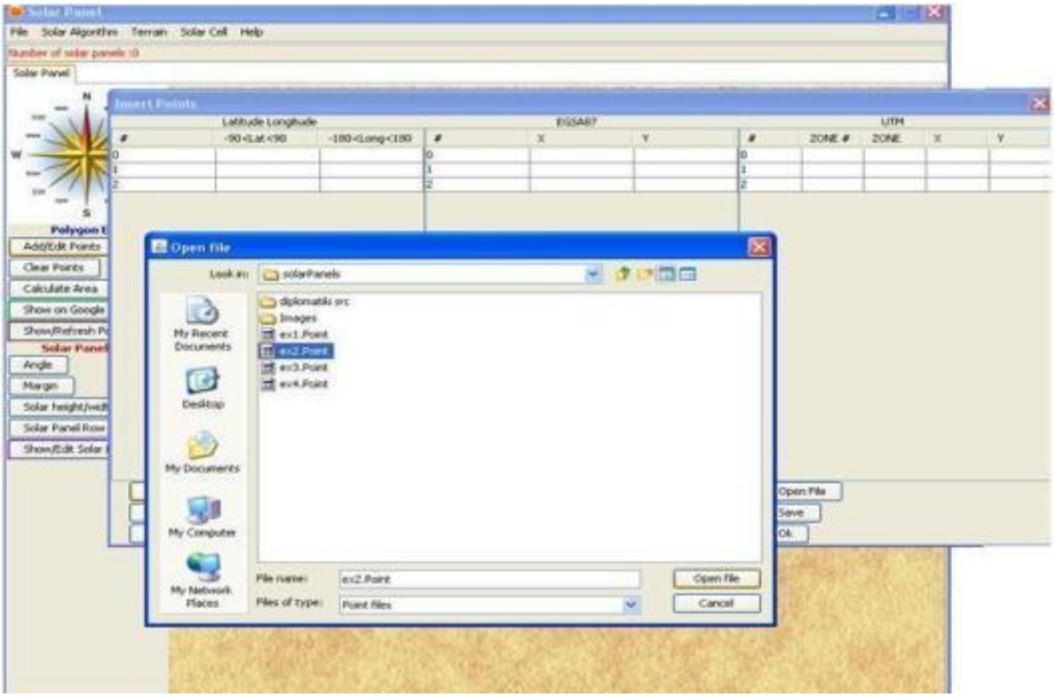
Σχήμα 2.12: Μήνυμα λάθους για εισαγωγή αριθμού σημείων εκτός ορίων

Σχήμα 2.13:Μήνυμα λάθους για εισαγωγή μη αριθμού

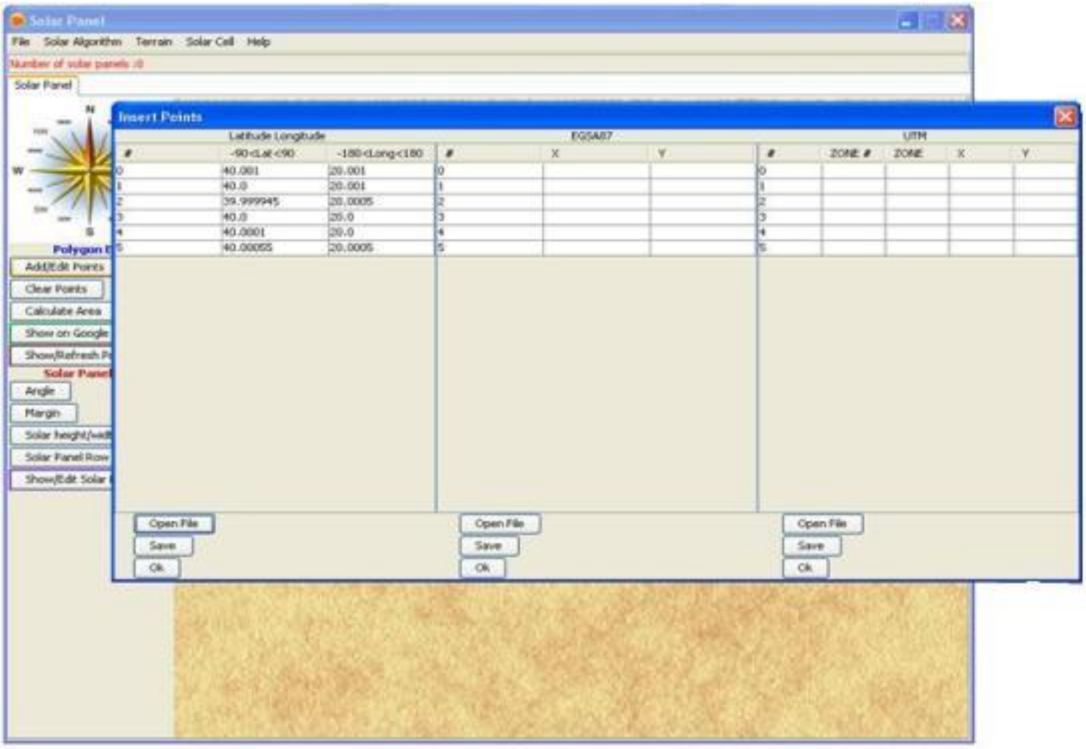


Σχήμα 2.14:Πίνακες σημείων

Το πρόγραμμα διαβάζει τα αρχεία με κατάληξη **.Point** , τα οποία είναι απλά αρχεία με κατάληξη **.txt** με αλλαγή της κατάληξης.



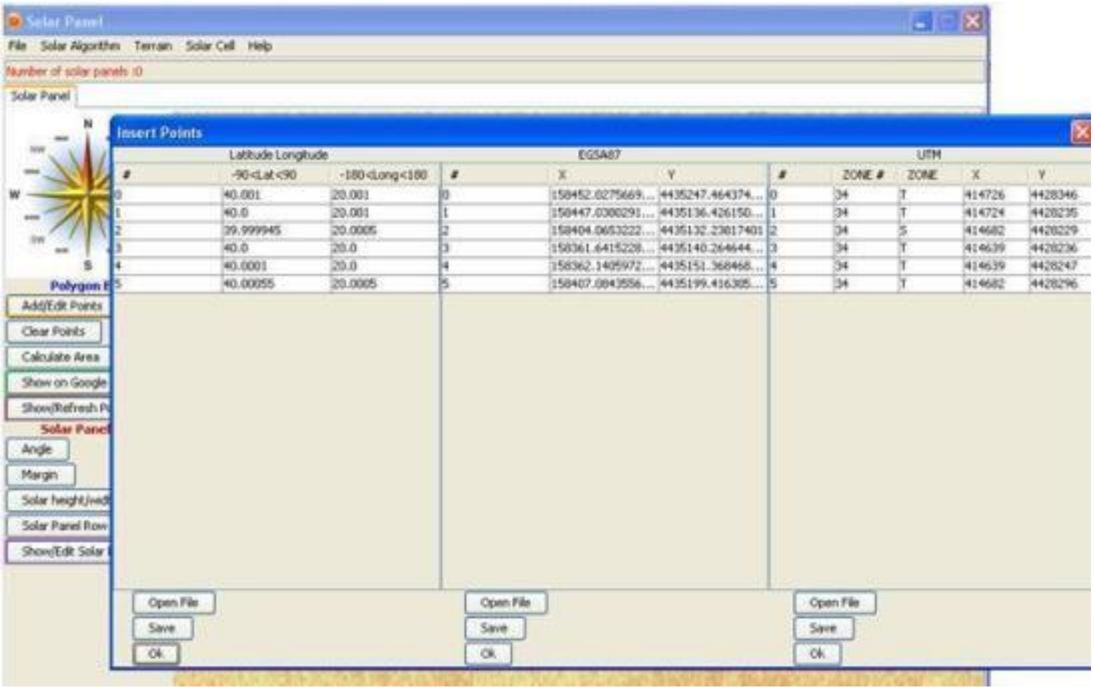
Σχήμα 2.15:Φόρτωση σημείων από αρχείο



Σχήμα 2.16:Σημεία πολυγώνου

Το πρόγραμμα υποστηρίζει αυτόματη μετατροπή από το ένα σύστημα στο άλλο το οποίο γίνεται όταν έχουμε συμπληρώσει ή φορτώσει τον έναν από τους τρεις πίνακες και στη συνέχεια πατάμε το κουμπί **OK** που βρίσκεται στο κάτω μέρος του (**Σχήμα 2.16**). Όταν τα σημεία είναι στο UTM ή ΕΓΣΑ87 σύστημα πρέπει να πατήσουμε το κουμπί **OK** διότι το πρόγραμμα λειτουργεί με γεωγραφικές συντεταγμένες. Εάν τα σημεία είναι σε γεωγραφικές συντεταγμένες δεν είναι υποχρεωτικό, εκτός εάν χρειάζεται να μετατρέψουμε και στα άλλα συστήματα για κάποιον άλλο σκοπό.

Το πρόγραμμα υποστηρίζει την αποθήκευση των σημείων πατώντας το κουμπί **Save** το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος του αντίστοιχου πίνακα. Το αρχείο που προκύπτει έχει κατάληξη **.Point** και μπορεί να ανοιχτεί με οποιοδήποτε πρόγραμμα που υποστηρίζει αρχεία με κατάληξη **.txt** .



Σχήμα 2.17:Αυτόματη μετατροπή από το ένα σύστημα στο άλλο

Όταν έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή των σημείων, σβήνουμε το παράθυρο με τους πίνακες πατώντας το κουμπί  το οποίο βρίσκεται στο πάνω δεξιά μέρος του παραθύρου.

3. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

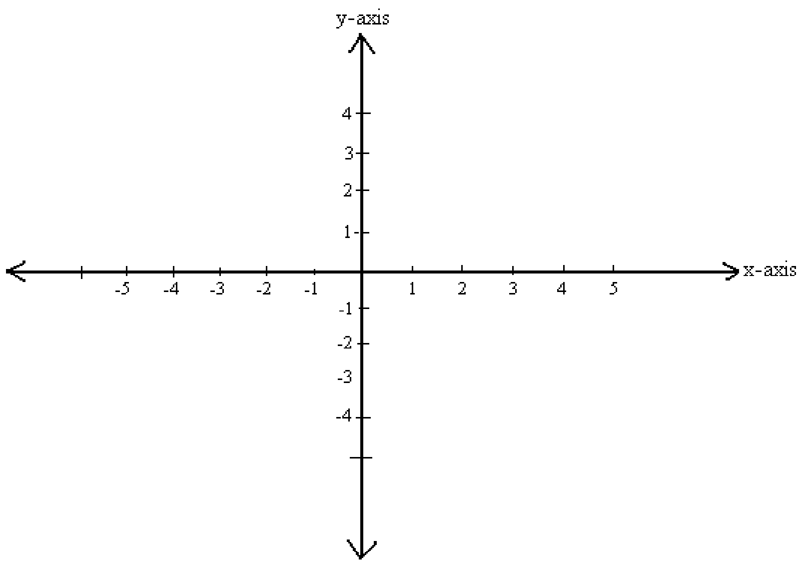
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια επιφάνεια στον n-διάστατο χώρο ορίζεται ως ο γεωμετρικός τόπος των σημείων στο χώρο που ικανοποιούν μία συνθήκη της μορφής $F(x, y, z, \ldots) = 0$. Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρει να ορίσουμε έναν δισδιάστατο χώρο, μας αρκεί να ικανοποιείτε μία συνθήκη της μορφής $F(x, y) = 0$, οπότε για να ορίσουμε οποιαδήποτε δισδιάστατη επιφάνεια, η οποία θα αντιστοιχεί σε ένα αγροτεμάχιο, αρκεί να έχουμε όλα τα σημεία που ορίζουν τον χώρο αυτό.

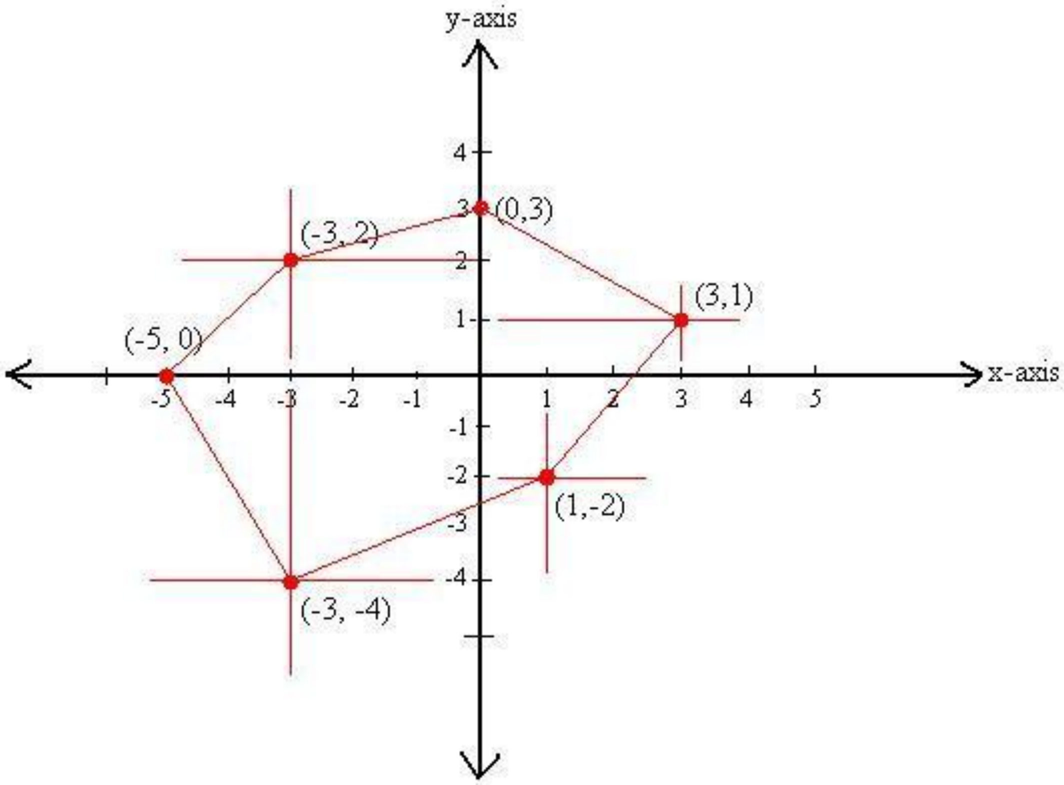
3.2 Καρτεσιανές συντεταγμένες στο επίπεδο

Το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων στο επίπεδο αποτελείται από δύο προσανατολισμένες ευθείες, κάθετες μεταξύ τους, οι οποίες καλούνται συμβατικά **άξονας τετμημένων** (οριζόντιος άξονας) και **άξονας τεταγμένων** (κατακόρυφος άξονας) και συμβολίζονται αντίστοιχα με *x* και *y*. Το σημείο όπου τέμνονται λέγεται αρχή του συστήματος συντεταγμένων (**Σχήμα 3.1**).

Ένα σημείο πάνω στο καρτεσιανό επίπεδο προσδιορίζεται μοναδικά από ένα ζεύγος αριθμών, την τετμημένη και την τεταγμένη. Η τετμημένη είναι η απόσταση του σημείου από τον άξονα y και η τεταγμένη είναι η απόσταση του σημείου από τον άξονα x. Η τετμημένη και η τεταγμένη αποτελούν τις ***συντεταγμένες*** του σημείου. Με αυτή τη σύμβαση, η αρχή των αξόνων ταυτίζεται με το σημείο (0,0). Εάν θέλουμε να ορίσουμε στο καρτεσιανό επίπεδο μια επιφάνεια αρκεί να ενώσουμε τα σημεία που ορίζουν την επιφάνεια (**Σχήμα 3.2**).



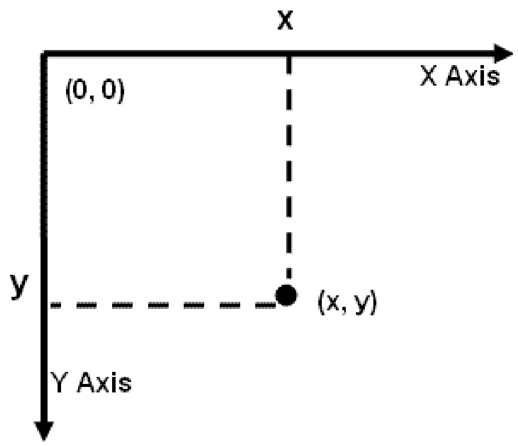
Σχήμα 3.1: Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων



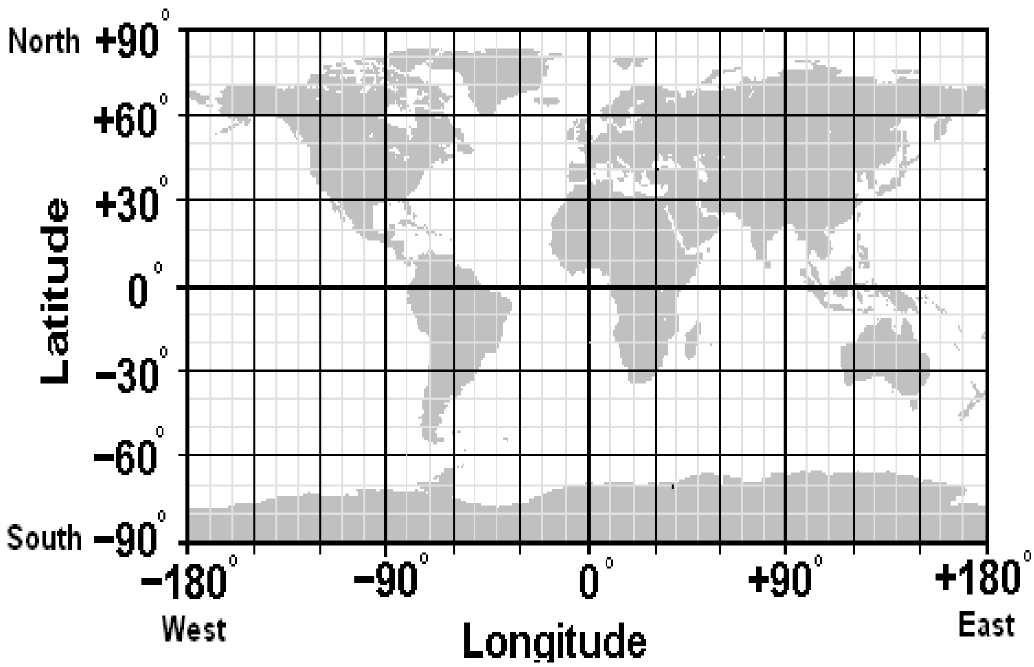
Σχήμα 3.2: Ορισμός επιφάνειας στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων

Η γλώσσα προγραμματισμού **JAVA**, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της γραφικής εφαρμογής υποστηρίζει ένα παρόμοιο σύστημα συντεταγμένων (**Σχήμα 3.3**), αλλά με κάποιες διαφορές οι οποίες είναι οι εξής:

- Δεν ορίζονται αρνητικές τιμές.
- Ο άξονας των y ξεκινάει από την αρχή των αξόνων (0,0) αλλά επεκτείνετε προς τα κάτω, σε αντίθεση με το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων που προς αυτή τη κατεύθυνση ορίζονται αρνητικοί αριθμοί.
- Ο άξονας των x ορίζεται μόνο για θετικούς αριθμούς και επεκτείνεται προς τα δεξιά.



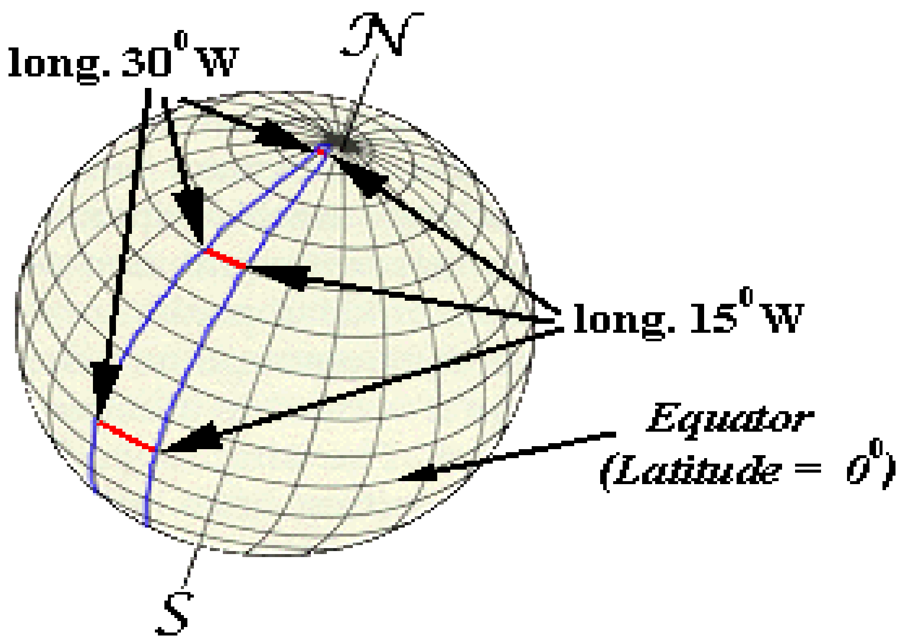
Σχήμα 3.3: Σύστημα συντεταγμένων στη γλώσσα προγραμματισμού **JAVA** για δισδιάστατα σχήματα, το κάθε σημείο ορίζει ένα εικονοστοιχείο στο παράθυρο του γραφικού προγράμματος.



Σχήμα 3.4: Προβολή της Γήινης επιφάνειας σε επίπεδο, με ερατοσθενική κυλινδρική προβολή και χρήση γεωγραφικών συντεταγμένων

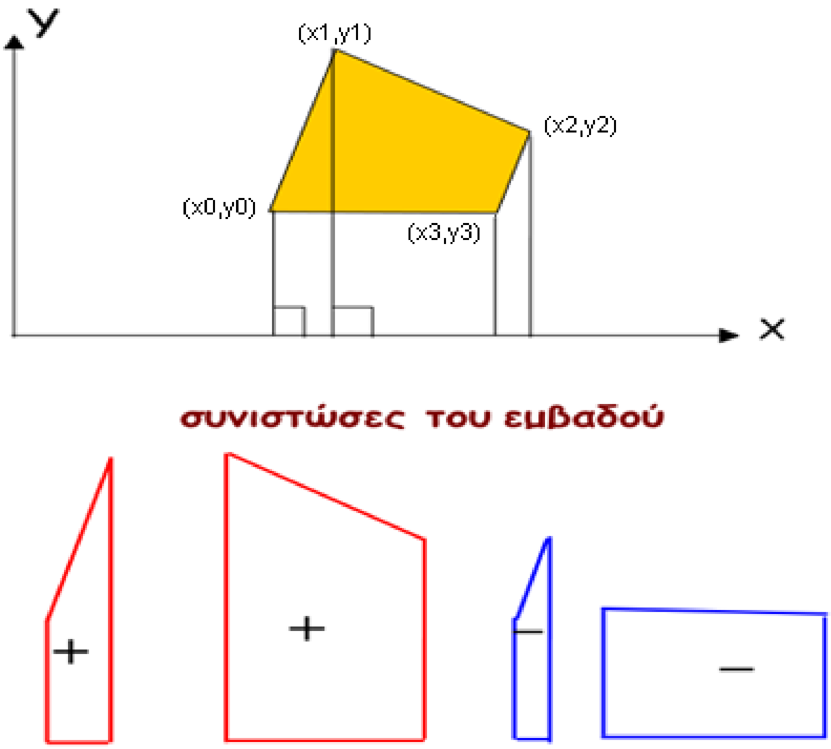
Έχοντας προβάλει τη Γήινη επιφάνεια σε επίπεδο με ερατοσθενική κυλινδρική προβολή, και χρησιμοποιώντας γεωγραφικές συντεταγμένες (**Σχήμα 3.4**), μπορούμε να ορίσουμε οποιοδήποτε αγροτεμάχιο στην επιφάνεια της γης. Σε αντίθεση όμως με το καρτεσιανό ή το σύστημα της **JAVA**, μια μονάδα στο άξονα των **x** σε μοίρες, (στην περίπτωσή μας το **γεωγραφικό μήκος**) και μια μονάδα στον άξονα των **y** σε μοίρες, (στην περίπτωσή μας το **γεωγραφικό πλάτος**), δεν έχουν την ίδια αντιστοίχιση σε μέτρα, το οποίο πρέπει να το λάβουμε υπόψιν για να μπορέσουμε υλοποιήσουμε το αγροτεμάχιο στην γραφική εφαρμογή. Το γεγονός αυτό είναι απόρροια του ορισμού τους, όπως περιγράφτηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπλέον ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος αλλάζει η αντιστοίχιση της μιας μοίρας σε μέτρα.

Για παράδειγμα μία μοίρα σε γεωγραφικό πλάτος 38 (στην Αθήνα) αντιστοιχεί σε περίπου 110997 μέτρα, ενώ μία μοίρα στο γεωγραφικό μήκος (στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος) αντιστοιχεί σε περίπου 87832 μέτρα. Ενώ μία μοίρα σε γεωγραφικό πλάτος 60 (στο Ελσίνκι) αντιστοιχεί σε περίπου 111412 μέτρα, ενώ μία μοίρα στο γεωγραφικό μήκος (στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος) αντιστοιχεί σε περίπου 55800 μέτρα. Παρατηρούμε ότι ενώ το γεωγραφικό πλάτος παραμένει σχεδόν το ίδιο, το γεωγραφικό μήκος, (το οποίο έχει την ίδια τιμή στον ισημερινό, με το γεωγραφικό πλάτος) φθίνει σταδιακά στο μηδέν καθώς οι μεσημβρινοί συγκλίνουν τους πόλους (**Σχήμα 3.5)**.



Σχήμα 3.5: Στο γεωγραφικό μήκος η αντιστοίχηση μιας μοίρας σε μέτρα φθίνει σταδιακά στο μηδέν καθώς πηγαίνουμε προς τους πόλους

3.3 Υπολογισμός εμβαδού



Σχήμα 3.6: Υπολογισμός εμβαδού πολυγώνου

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος-αλγόριθμος υπολογισμού του εμβαδού πολυγώνου περιγράφεται παρακάτω. Από τα άκρα κάθε πλευράς του πολυγώνου, φέρνουμε κατακόρυφες γραμμές και υπολογίζουμε το εμβαδόν του τραπεζίου, που ορίζεται από την πλευρά αυτή, τις δύο κατακόρυφες γραμμές και τον άξονα των x (**Σχήμα 3.6**). Καθώς προσθέτουμε τις περιοχές αυτές, οι περιοχές που βρίσκονται εκτός πολυγώνου σταδιακά αποκλείονται καθώς κάνουμε τον κύκλο του πολυγώνου, όταν φτάσουμε στην αρχή απομένει μόνο το εμβαδό του πολυγώνου.

Ο τύπος που υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία είναι ο παρακάτω:

$$A=\frac{1}{2}\left\{\begin{pmatrix} x_0 & x_1 \\ y_0 & y_1 \end{pmatrix}+\begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{pmatrix}+\ldots+\begin{pmatrix} x_{n-1} & x_0 \\ y_{n-1} & y_0 \end{pmatrix}\right\} \qquad (3.1)$$

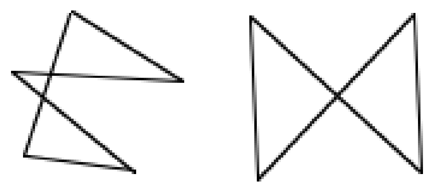
Κάνοντας λίγες πράξεις προκύπτει:

$$A=\frac{1}{2}(x_0y_1-x_1y_0+x_1y_2-x_2y_1+\ldots+x_{n-1}y_0-x_0y_{n-1}) \qquad (3.2)$$

Και τελικά σε ποιο απλή μορφή:

$$A = \frac{1}{2}\sum_{i=0}^{n-1}(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \tag{3.3}$$

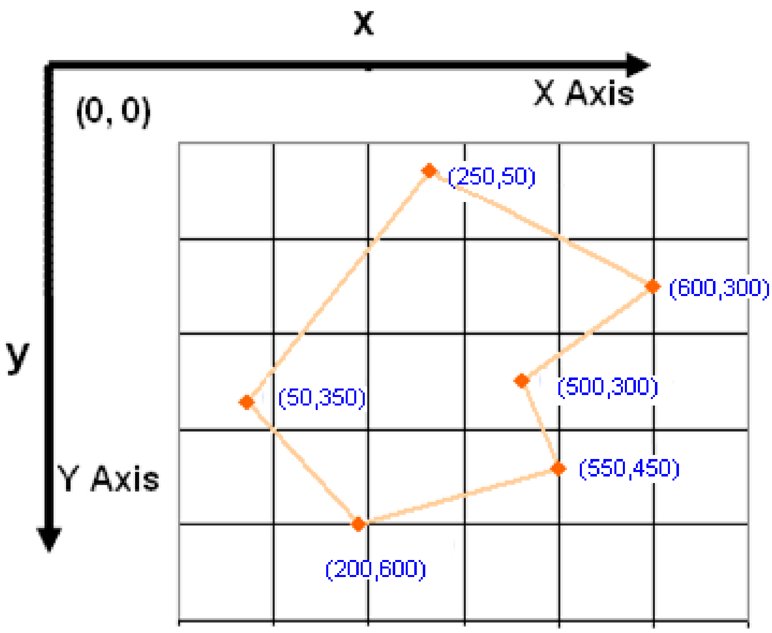
Αυτός ο αλγόριθμος δουλεύει σωστά για όλα τα πολύγωνα ακόμη και όταν τα πολύγωνα δεν είναι κυρτά ή εάν έχουν εσωτερικά κενά. Εξαιρούνται τα πολύγωνα των οποίων οι πλευρές τέμνονται (**Σχήμα 3.7**).



Σχήμα 3.7: Πολύγωνα με πλευρές που τέμνονται (x_0,y_0)

Για να υπολογιστεί σωστά το εμβαδό στην γραφική εφαρμογή θα πρέπει οι γεωγραφικές συντεταγμένες να μετατραπούν σε συντεταγμένες της **JAVA** για την σωστή αναπαράσταση του πολυγώνου **(Σχήμα 3.8**), και στη συνέχεια να ληφθεί υπόψιν το γεγονός ότι η αντιστοίχιση σε μέτρα του γεωγραφικού μήκους αλλάζει αναλόγως με το γεωγραφικό πλάτος, αυτό μπορεί να γίνει με τους εξής δύο τρόπους:

- Μετασχηματισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων σε ένα σύστημα συντεταγμένων, όπου μία μονάδα στον x και y άξονα έχουν την ίδια αξία.
- Διατήρηση της διαφοράς γεωγραφικού μήκους και πλάτους και πολλαπλασιασμός της τιμής που βρήκαμε για το εμβαδό με ένα κλάσμα όπου ο **αριθμητής** να περιέχει την αντιστοίχηση της μιας μοίρας του γεωγραφικού πλάτος σε μέτρα, και ο **παρανομαστής** την αντιστοίχηση της μιας μοίρας του γεωγραφικού μήκους σε μέτρα (**για το ίδιο πάντα γεωγραφικού πλάτος**).



Σχήμα 3.8: Αναπαράσταση πολυγώνου με συντεταγμένες της **JAVA**

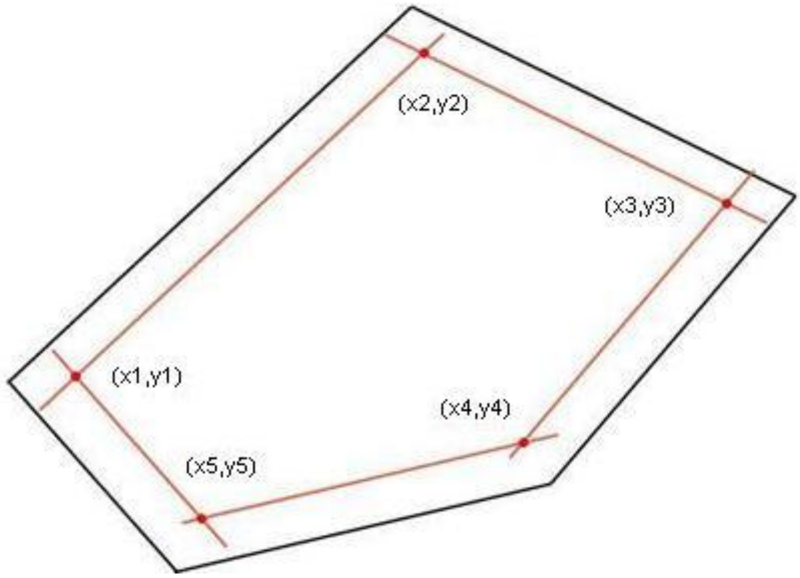
Στην παρούσα εφαρμογή υλοποιήθηκε το δεύτερο, αλλά θεωρήθηκε ότι η αντιστοίχηση της μιας μοίρας του γεωγραφικού πλάτος σε μέτρα δεν αλλάζει, στην πραγματικότητα μειώνεται ελαφρώς καθώς μετακινούμαστε προς τους πόλους λόγω του ότι η Γη δεν είναι μια τέλεια σφαίρα αλλά ελαφρώς πεπιεσμένη στους πόλους και πεπλατυσμένη στον ισημερινό, οπότε για να ληφθεί υπόψιν το γεγονός αυτό, το τελικό εμβαδό πολλαπλασιάζεται με έναν αριθμό ελαφρά μικρότερο της μονάδας.

Γίνανε συγκρίσεις με το **GOOGLE EARTH** για να επαληθευτεί η ορθότητα της παραπάνω μεθόδου στον υπολογισμό του εμβαδού, το μεγαλύτερο σφάλμα σε σχέση με το **GOOGLE EARTH** ήταν **0.04%** το είναι πολύ μικρό και αποδεκτό.

3.4 Περιθώριο αγροτεμαχίου

Από τα σύνορα του αγροτεμάχιου συνήθως αφήνεται ένα περιθώριο, είτε επειδή το ορίζει ο νόμος, είτε για άλλους πρακτικούς λόγους, όπως για ασφάλεια των Φ/Β πλαισίων από δολιοφθορά. Η εφαρμογή που αναπτύχτηκε υποστηρίζει την δυνατότητα αυτή.

Η πιο απλή λύση είναι να μετατοπιστούν παράλληλα οι γραμμές που ορίζουν το αγροτεμάχιο προς τα μέσα και τα σημεία στα οποία τέμνονται οι μετατοπισμένες γραμμές θα ορίσουν την καινούρια επιφάνεια στην οποία μπορούν να τοποθετηθούν τα Φ/Β πλαίσια (**Σχήμα 3.8**).



Σχήμα 3.8: Παράλληλη μετατόπιση ορίου αγροτεμαχίου και δημιουργία νέας επιφάνειας για τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων

Για να βρούμε τις παράλληλες αυτές γραμμές αρκεί να βρούμε τα δύο σημεία που ορίζουν την κάθε νέα γραμμή. Ο μαθηματικός μετασχηματισμός που μεταφέρει παράλληλα τις γραμμές είναι ο παρακάτω:

$$\begin{pmatrix} x_{new} \\ y_{new} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \tag{3.4}$$

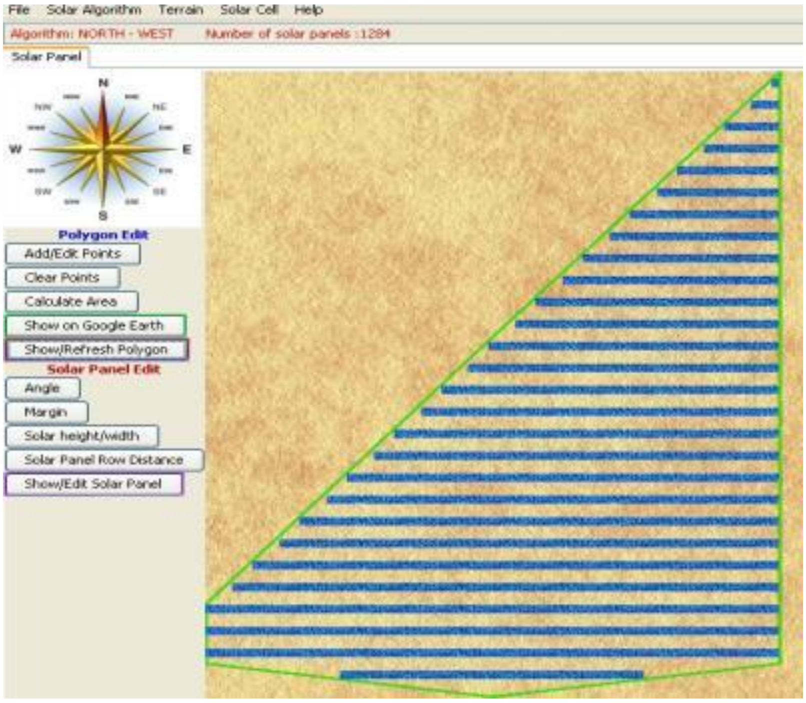
Ο τύπος που μας δίνει τα καινούρια σημεία, προέρχεται από την γραμμική άλγεβρα και λειτουργεί τόσο για διανύσματα όσο και για ευθείες που ορίζονται από δύο σημεία:

$$v = v_1 + a(v_2 - v_1) \tag{3.5}$$

Τα v, v_1, v_2 είναι διανύσματα και το α ο συντελεστής μετατόπισης και μπορεί να είναι είτε θετικός είτε αρνητικός αριθμός.

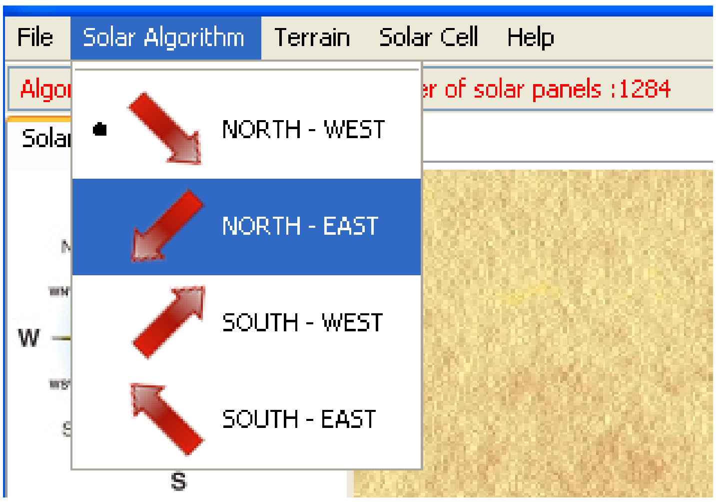
3.5 Υλοποίηση της παραπάνω γνώσης στην εφαρμογή

Έχοντας φορτώσει στο πρόγραμμα τα σημεία όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφαλαίο μπορούμε να σχεδιάσουμε το πολύγωνο που ορίζει το αγροτεμάχιο, πατώντας στο κουμπί Show/Refresh Polygon (**Σχήμα 3.9**).



Σχήμα 3.9: Σχεδιασμός αγροτεμάχιου και τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων

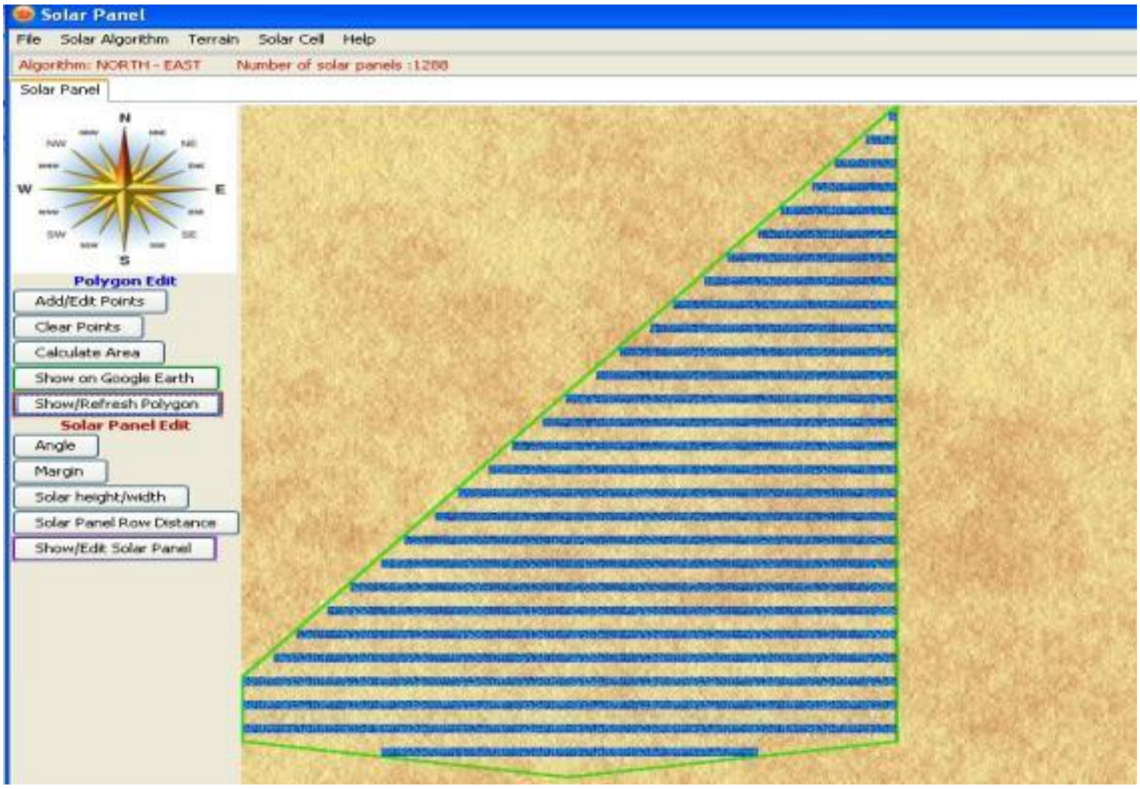
Παράλληλα με τη σχεδίαση του αγροτεμάχιου (πράσινες γραμμές) τοποθετούνται τα Φ/Β πλαίσια και το πρόγραμμα μας πληροφορεί ότι τοποθετήθηκαν 1284, εάν θέλουμε να δοκιμάσουμε άλλο τρόπο τοποθέτησης επιλέγουμε στο μενού Solar Algorithm άλλο τρόπο (**Σχήμα 3.10**). Επιπλέον μπορούμε να δούμε το αγροτεμάχιο στο GOOGLE EARTH πατώντας το κουμπί Show on Google Earth, το πρόγραμμα θα ανοίξει τον προεπιλεγμένο περιηγητή ιστοσελίδων και θα μας εμφανίσει με κόκκινο περίγραμμα το αγροτεμάχιο (**Σχήμα 3.11**).



Σχήμα 3.10: Επιλογή τρόπου τοποθέτησης Φ/Β

Σχήμα 3.11: Εμφάνιση αγροτεμαχίου στο Google Earth

Επιλέγοντας τον δεύτερο τρόπο τοποθέτησης παρατηρούμε ότι ο αριθμός των Φ/Β αυξήθηκε στα 1288 που είναι και το βέλτιστο σε αυτή την περίπτωση (**Σχήμα 3.12**).

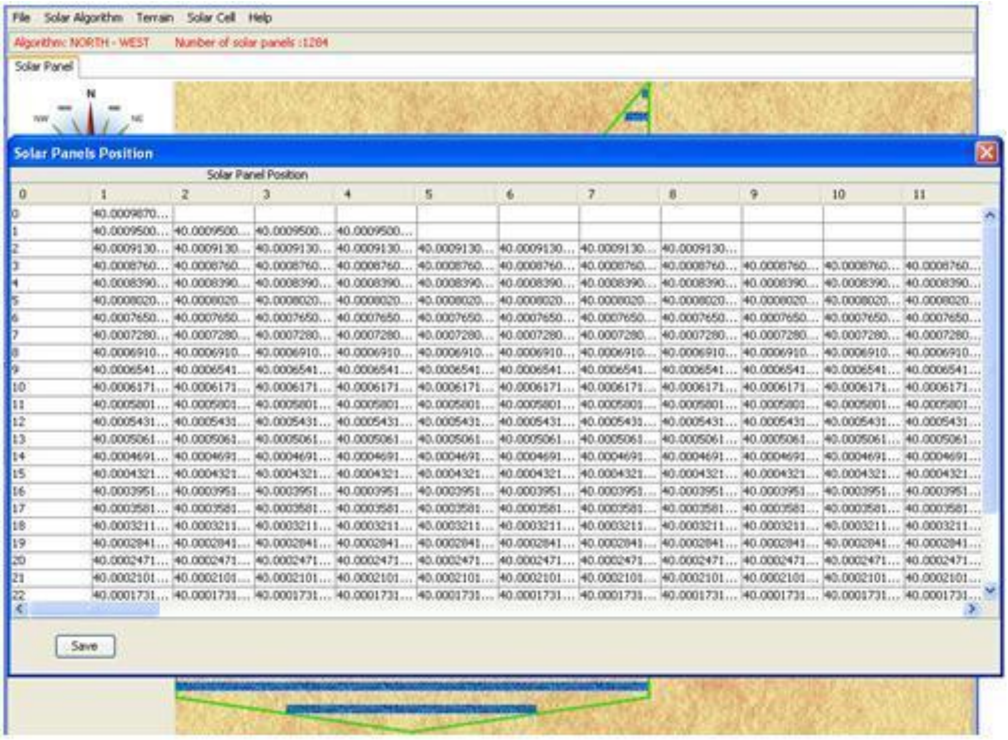


Σχήμα 3.12: Τοποθέτηση Φ/Β με τον δεύτερο τρόπο

Εάν μας χρειάζεται η εικόνα μπορούμε να την αποθηκεύσουμε, επιλέγοντας στο μενού File->Snapshoot (**Σχήμα 3.13**).

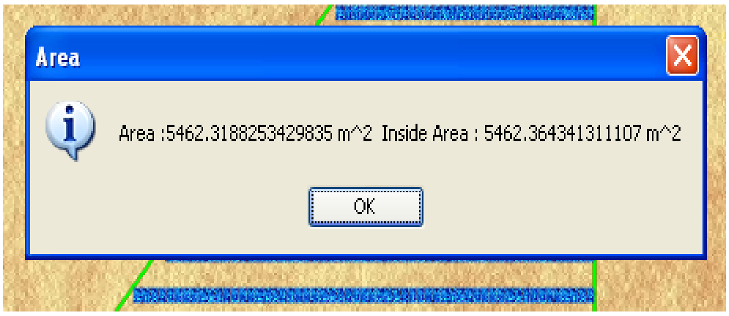
Σχήμα 3.13: Αποθήκευση εικόνας

Εάν θέλουμε να δούμε τις θέσεις των Φ/Β σε γεωγραφικές συντεταγμένες πατάμε το κουμπί Show/Edit Solar Panel, μπορούμε να σβήσουμε οποία Φ/Β δεν μας χρειάζονται και να αποθηκεύσουμε τις θέσεις των Φ/Β σε ένα .txt αρχείο (**Σχήμα 3.14**).



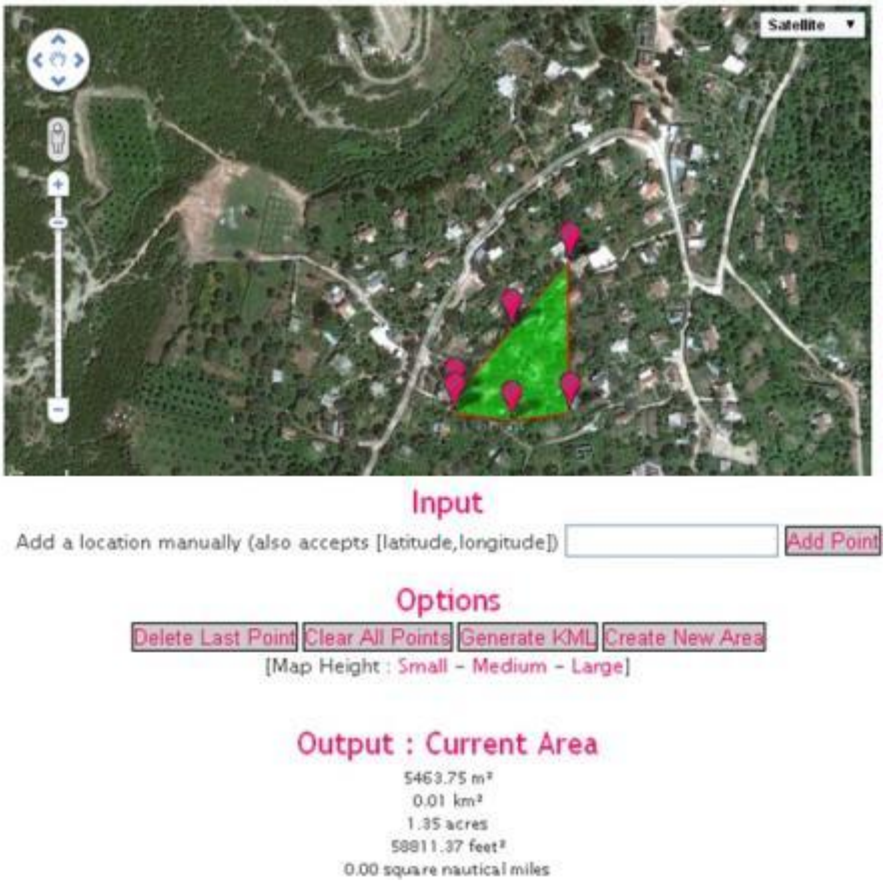
Σχήμα 3.14: Θέσεις Φ/Β σε γεωγραφικές συντεταγμένες

Εάν θέλουμε να βρούμε το εμβαδό του αγροτεμαχίου πατάμε στο κουμπί Calculate Area και το πρόγραμμα μας πληροφορεί για το εμβαδό σε τετραγωνικά μέτρα όλου του αγροτεμαχίου αλλά και το εμβαδό της έκτασης που ορίζεται έχοντας αφήσει ένα περιθώριο από τα όρια του αγροτεμαχίου, σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε ορίσει ακόμα περιθώριο, αυτό θα γίνει στο σε επόμενο βήμα.



Σχήμα 3.15:Υπολογισμός εμβαδού του αγροτεμαχίου σε τετραγωνικά μέτρα

Ελέγχοντας για το ίδιο αγροτεμάχιο το εμβαδό μέσω του Google Earth παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι αμελητέα (**Σχήμα 3.16**).

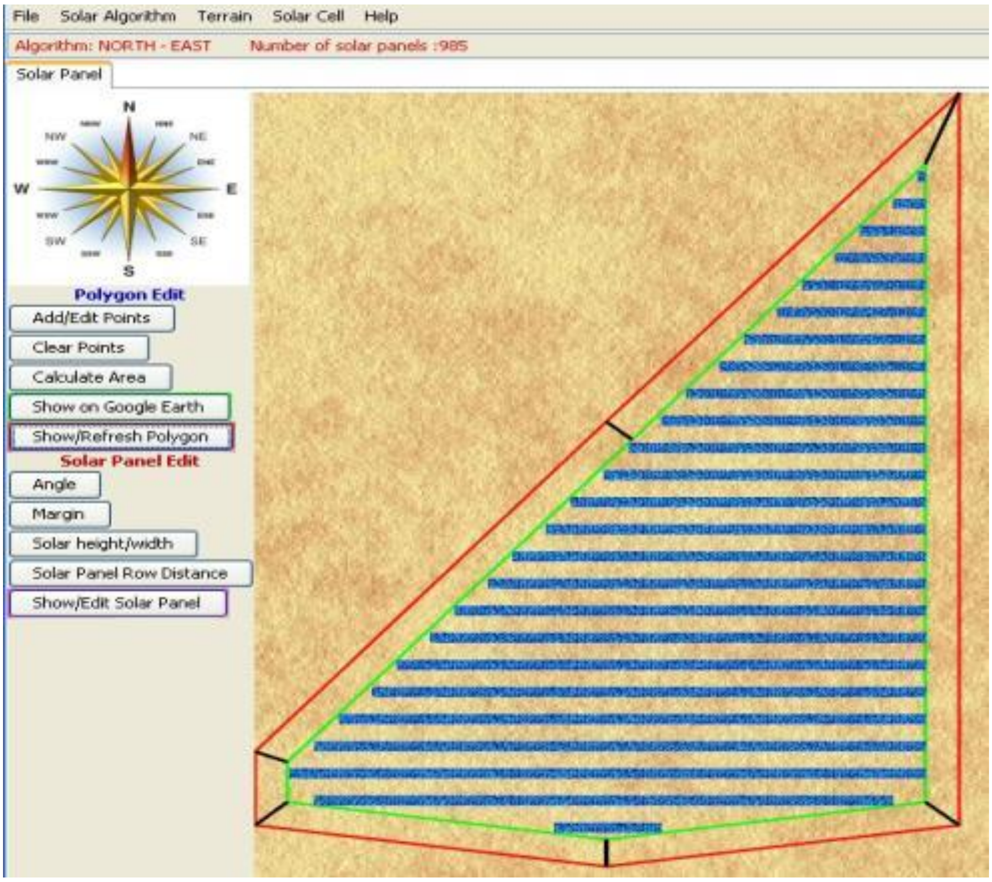


Σχήμα 3.16: Υπολογισμός εμβαδού μέσω Google Earth

Για να ορίσουμε το περιθώριο που θέλουμε να έχει το αγροτεμάχιο πατάμε στο κουμπί Margin και θέτουμε το περιθώριο σε μετρά (**Σχήμα 3.17**).

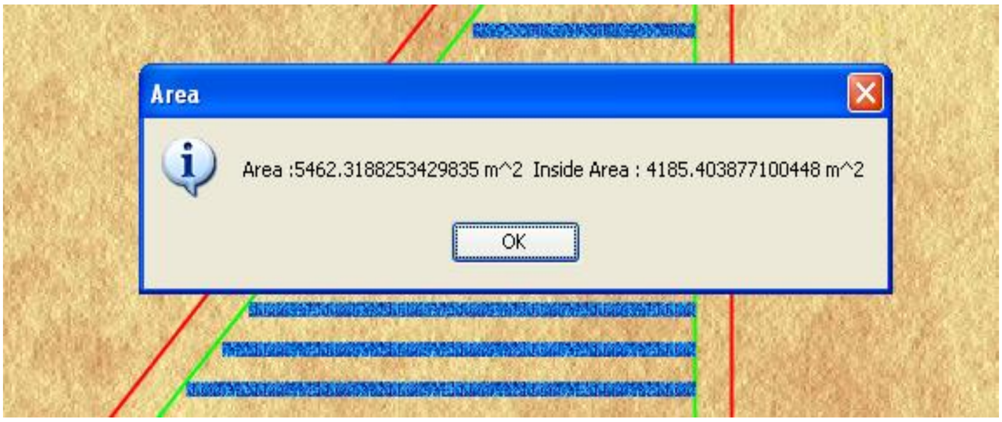
Σχήμα 3.17: Ορισμός περιθωρίου

Στη συνέχεια πατάμε το κουμπί Show/Refresh Polygon και βλέπουμε με κόκκινες γραμμές το αγροτεμάχιο και με πράσινες την επιφάνεια με το περιθώριο, παρατηρούμε ότι ο αριθμός των Φ/Β έχει μειωθεί στα 985 (**Σχήμα 3.18**).



Σχήμα 3.18: Αγροτεμάχιο με περιθώριο

Εάν πατήσαμε ξανά στο κουμπί Calculate Area θα δούμε το εμβαδό και των δύο επιφανίων (**Σχήμα 3.19**)



Σχήμα 3.19: Εμβαδό των δύο επιφανειών

4. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΚΙΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

4.1 Εισαγωγή

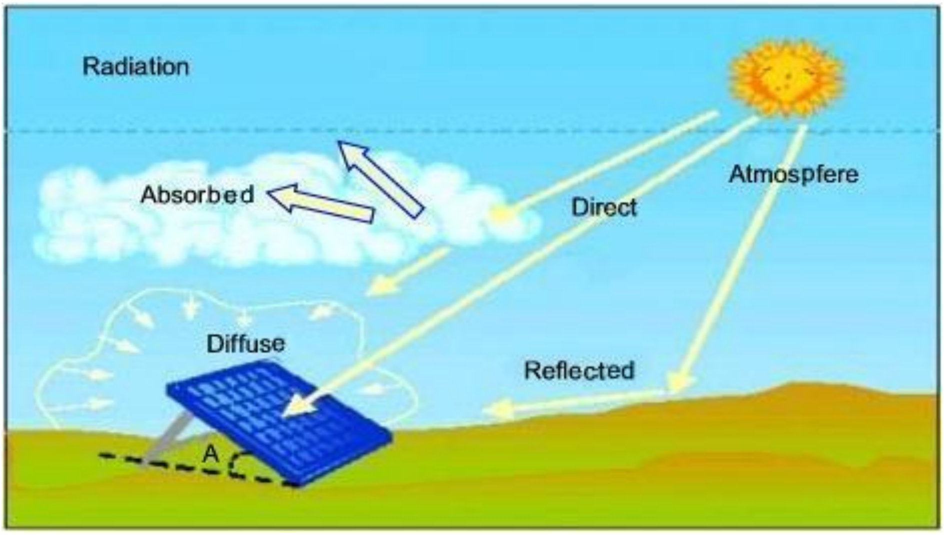
Η τροχιά της γης, κατά την κίνηση της γύρω από τον ήλιο, είναι έλλειψη, με τον ήλιο στη μία των εστιών της, με μήκος μεγάλου ημιάξονα, α = 149,6x106 km και εκκεντρότητα e = 0,01673. Η απόσταση γης-ηλίου μεταβάλλεται περιοδικά, κατά την διάρκεια του έτους, μεταξύ της μεγίστης τιμής της (περί την 1^{η} Ιουλίου), που ονομάζεται αφήλιο και της ελαχίστης (περί την 1^{η} Ιανουαρίου), που ονομάζεται περιήλιο. Λόγω της τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο , η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην γη αλλάζει κατά τη διάρκεια του έτους. Αν μελετήσει κανείς το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας φαίνεται ότι εκτείνεται σε όλα τα μήκη κύματος. Από το σύνολο μηκών κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας μόνο το 75% μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει ηλεκτρικό ρεύμα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτό το ποσοστό περιλαμβάνει μικρά μήκη κύματος (μεγάλες συχνότητες) δηλαδή μεγάλες ενέργειες φωτονίων.

4.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Κατά τη διέλευση των ηλιακών ακτινών, από τη γήινη ατμόσφαιρα, η ένταση τους ελαττώνεται, καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμόσφαιρα και στα πολύ μικρής διαμέτρου d, σωματίδια (d≤λ, σκέδαση Rayleigh), αφετέρου, στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της, δηλαδή, τους υδρατμούς, τη σκόνη και τον καπνό (Σκέδαση Mie ή Tyndall).

Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας, απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν, η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος, στα ανώτερα στρώματα της κύριας μάζας της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε η ένταση των ακτινών αυτών, στην επιφάνεια της γης, να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αρκετά περιορισμένη. Ομοίως απορροφούν οι υδρατμοί, το CO2, τα οξείδια του αζώτου κ.α., σε άλλες περιοχές του φάσματος.

Τέλος, μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης. Συνεπώς, σε κάθε τόπο της επιφάνειας της γης. φτάνουν δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός: η απευθείας, ή άμεση Β (Beam) και η σκεδαζόμενη στα μόρια του αέρα, η οποία ονομάζεται , D (Diffuse) (**Σχήμα 4.1**). Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο (πάνω από το φυσικό ορίζοντα) και σε πρώτη εκτίμηση, μπορεί να θεωρηθεί ισότροπη. Γενικά, λοιπόν, η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη ή ένα αισθητήρα, αποτελείται από την απευθείας, τη διάχυτη και τη διάχυτα «ανακλώμενη» από το έδαφος. Η συνολική αυτή ακτινοβολία αναφέρεται ως ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο ή οριζόντιο συλλέκτη και συμβολίζεται με G (Global Irradiation).



Σχήμα 4.1:Ηλιακή ακτινοβολία

Η διάχυτα ανακλώμενη εξαρτάται από τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψης του (γρασίδι ή χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών, ενώ η ολική, απευθείας και διάχυτη, εξαρτώνται, σε γενικές γραμμές, από τους επόμενους παράγοντες:

α) τη σύσταση - κατάσταση της ατμόσφαιρας, τη δεδομένη χρονική στιγμή (υγρασία και γενικά, τα αιωρήματα της ατμόσφαιρας)

β) την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους

γ) τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στη συλλεκτική επιφάνεια (ύψος του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας). Στην περίπτωση που αναφερόμαστε στην ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας (χωρίς την επίδραση της ατμόσφαιρας στη διέλευση του φωτός), χρησιμοποιούνται τα σύμβολα G και B, για την ολική και απευθείας ακτινοβολία, αντίστοιχα.

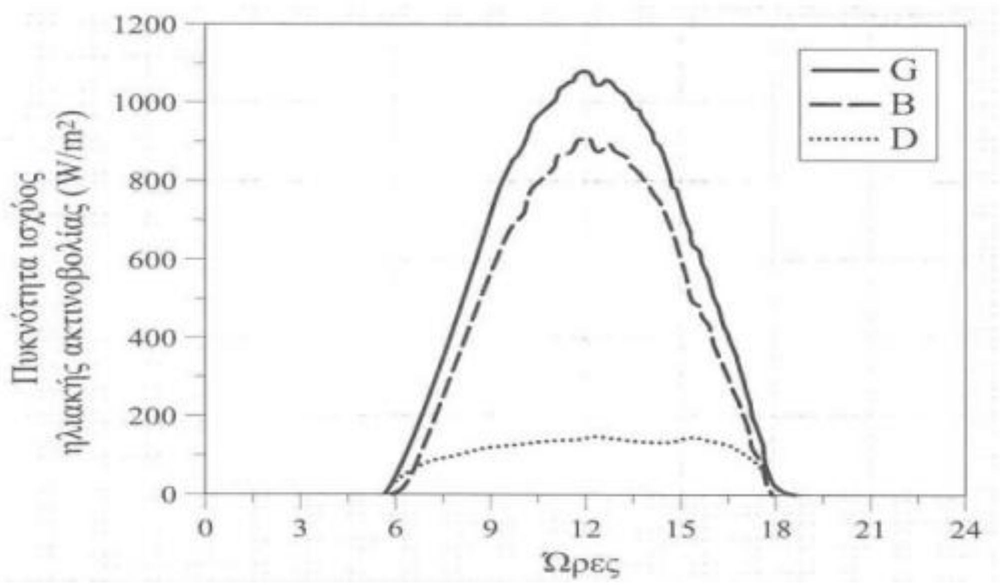
Η απευθείας ακτινοβολία μπορεί να διακριθεί από τη διάχυτη, με βάση το οπτικό αποτέλεσμα της διέλευσης τους από συγκεντρωτικό φακό ή την ανάκλαση τους σε κοίλο κάτοπτρο. Η πρώτη συγκλίνει και σχηματίζει το είδωλο του ήλιου και μάλιστα, εξαιτίας της μεγάλης απόστασης του απ' το οπτικό όργανο, το είδωλο του σχηματίζεται, πρακτικά, πάνω στην εστία του οπτικού οργάνου. Αντίθετα η διάχυτη ακτινοβολία, προερχόμενη από όλο τον ουρανό, δεν εστιάζεται και συνεπώς δεν δίδει είδωλο.

Μεταξύ της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας, G, που προσπίπτει σε συλλεκτική επιφάνεια ή που μετρείται με αισθητήρα (π.χ. πυρανόμετρο), της κάθετης απ' ευθείας ακτινοβολίας, B, και της διάχυτης D, ισχύει η επόμενη σχέση:

$$G = B + D = B\eta\sigma\upsilon\nu z + D \qquad (4.1)$$

όπου z, η ζενίθ γωνία του ήλιου (z = 90-EL, EL το ύψος του ήλιου)

Κατά την ανατολή του ήλιου, η ζενίθ γωνία είναι z=90° και άρα η ολική οριζόντια πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας G, καθορίζεται, κυρίας, από τη διάχυτη συνιστώσα, D. Καθώς το ύψος του ήλιου αυξάνει, μέσα σε μια αίθρια ημέρα, η απευθείας κάθετη ακτινοβολία, αυξάνει μέχρι το ηλιακό μεσημέρι, μετά το οποίο ελαττώνεται, κατά συμμετρικό τρόπο (**Σχήμα 4.2**). .



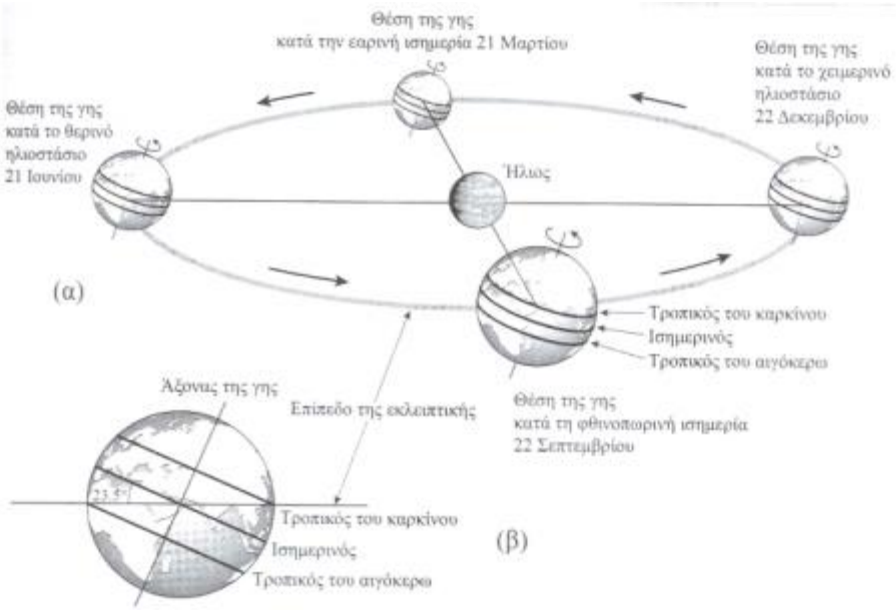
Σχήμα 4.2: Ημερήσια μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ολικής, της απευθείας και της οριζόντια διάχυτης ακτινοβολίας, κατά μία αίθρια μέρα

4.3 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

Η κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε δύο κύριες συνιστώσες:

- Περιφορά γύρω απ' τον ήλιο, σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μια εκ των δύο εστιών.
- Περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της.

Παρακάτω δείχνεται η σύνθετη κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο. Κατά την περιφορά της διαγράφει ελλειπτική τροχιά, η οποία ονομάζεται εκλειπτική. Μπορείτε επίσης να παρατηρήσετε την περιστροφή της γης γύρω απ' τον άξονα της, σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις της γης κατά τη διάρκεια του έτους. Ο άξονας της γης μετατοπίζεται, περίπου παράλληλα προς τον εαυτό του, σχηματίζοντας σχεδόν σταθερή γωνία με την εκλειπτική (**Σχήμα 4.3**). Το επίπεδο του ισημερινού της γης, που είναι κάθετο στον άξονα της γης, σχηματίζει με το επίπεδο της εκλειπτικής γωνία, ίση με 23,45°

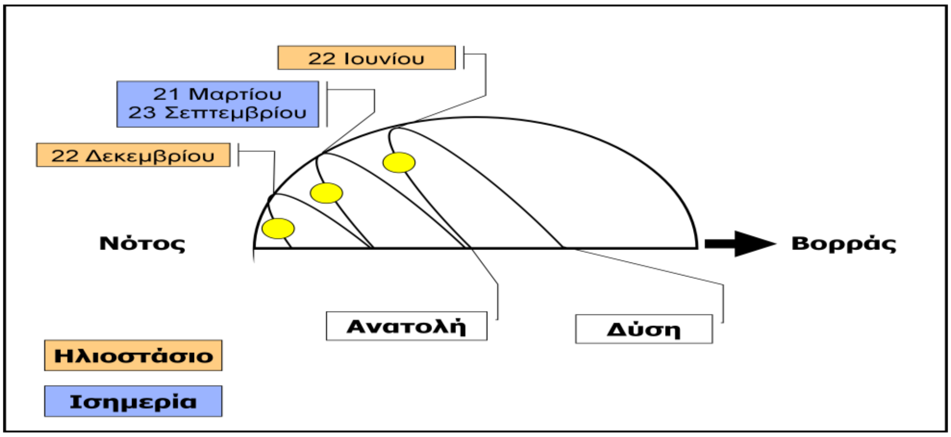


Σχήμα 4.3:Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

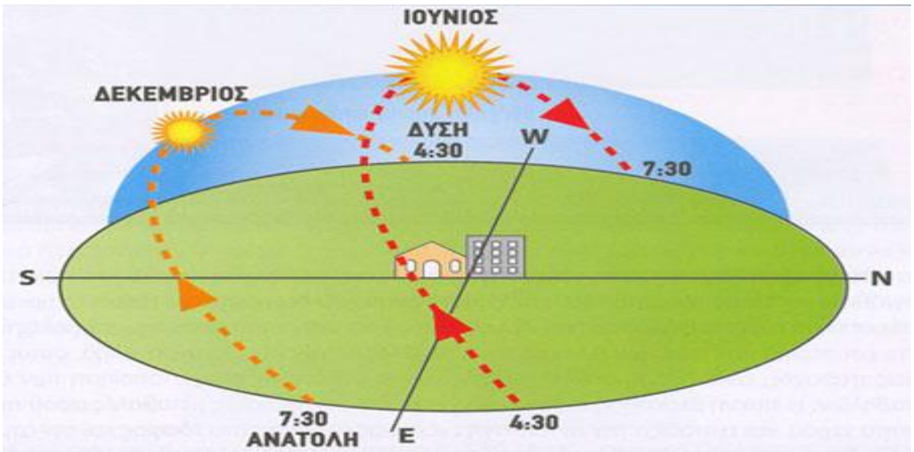
Φυσικά, την ίδια γωνία σχηματίζει και κάθε άλλος παράλληλος της γης (παράλληλος προς τον ισημερινό), με την εκλειπτική. Έτσι, καθώς η γη αλλάζει θέση στην ετήσια τροχιά της περί τον ήλιο, αλλάζει το ύψος μεσουράνησης του ήλιου σε κάθε τόπο στην επιφάνεια της. Για τόπο στο βόρειο ημισφαίριο, η θέση μεσουράνησης παίρνει την μικρότερη τιμή της το χειμώνα (22 Δεκεμβρίου) και τη μέγιστη το καλοκαίρι (21 Ιουνίου). Το αντίθετο ισχύει για τόπους του νοτίου ημισφαιρίου. Στις 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου, η ημέρα έχει ίση διάρκεια με τη νύκτα (Ισημερίες). Ένας προσφιλής τρόπος για να περιγράψουμε την κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο, είναι να δούμε το φαινόμενο αυτό από τη θέση του τοπικού παρατηρητή. Αυτός ο παρατηρητής περιγράφει τα προηγούμενα, ως κίνηση του ήλιου γύρω απ' τη γη, που τη θεωρεί ακίνητη. Γι' αυτόν, όλα τα αστέρια και οι πλανήτες φαίνονται να είναι τοποθετημένα σε μια τεράστια σφαίρα, την ουράνια σφαίρα, η οποία φαίνεται να περιστρέφεται γύρω απ' τη γη με φορά αντίθετη της περιστροφής της γης.

4.4 Η διαδρομή του ηλίου στον γήινο ουρανό

Εάν δούμε την κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο από τη θέση του τοπικού παρατηρητή, όλα τα αστέρια και οι πλανήτες φαίνεται να περιστρέφεται γύρω απ' τη γη με φορά αντίθετη της περιστροφής της γης. Τα *ημερήσια τόξα* που «γράφει» ο Ήλιος πάνω στην ουράνια σφαίρα κατά την ημερήσια φαινομενική του κίνηση εξαρτώνται από την εποχή του έτους. Τα μακρύτερα ημερήσια τόξα είναι πάντοτε το καλοκαίρι, ενώ τα βραχύτερα τον χειμώνα. Τα δύο ακραία τόξα παρατηρούνται στα δύο ηλιοστάσια της χρονιάς (**Σχήμα 4.4 4.5**).



Σχήμα 4.4:Τα *ημερήσια τόξα* που «γράφει» ο Ήλιος πάνω στην ουράνια σφαίρα

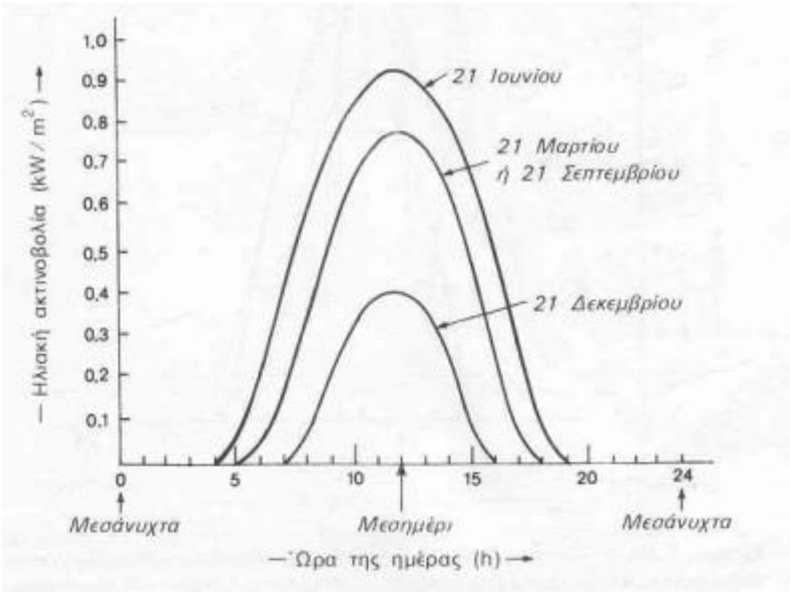


Σχήμα 4.5:Τα *ημερήσια τόξα* που «γράφει» ο Ήλιος στα δύο ηλιοστάσια της χρονιάς

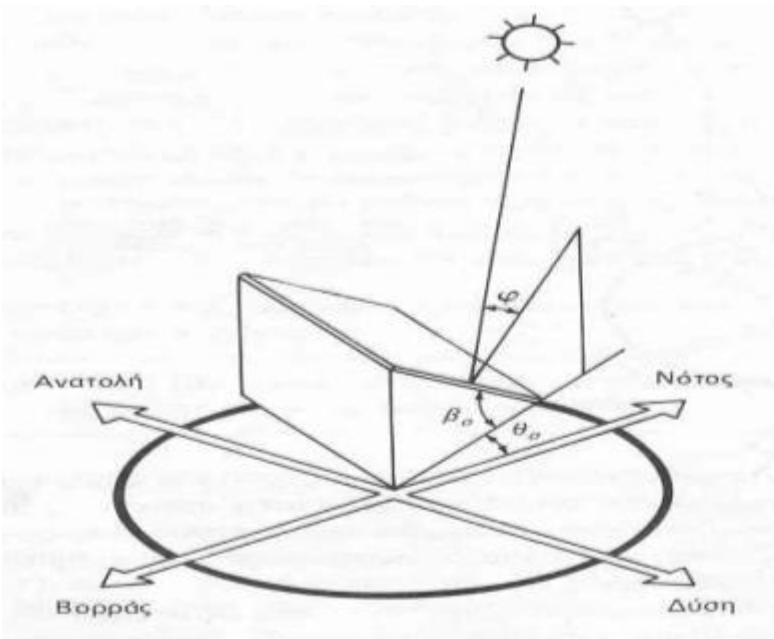
Η φαινομενική αυτή κίνηση του ηλίου η οποία εξαρτώνται από την εποχή του έτους, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά την τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων ώστε να έχουμε την ελάχιστη δυνατή σκίαση και την μέγιστη δυνατή απόδοση.

4.5 Προσανατολισμός του συλλέκτη και βέλτιστη κλίση

Η ενέργεια ανά m2 που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας κατά την ημέρα εκείνη (**Σχήμα 4.6**). Σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας από ένα συλλέκτη παίζει ο προσανατολισμός του ως προς τον ηλιακό νότο, ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου.



Σχήμα 4.6:Ημερήσια διακύμανση της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για τρεις διαφορετικές ημερομηνίες του έτους



Σχήμα 4.7: Η κλίση β_σ και η αζιμούθια γωνία ενός επίπεδου συλλέκτη.

Τα δύο μεγέθη που περιγράφουν τον προσανατολισμό και την κλίση του συλλέκτη είναι η αζιμούθια γωνία $θ_σ$ και η γωνία κλίσης $β_σ$ (**Σχήμα 4.7**).

Η κλίση του συλλέκτη ($β_σ$) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και του οριζοντίου επιπέδου και μπορεί να πάρει τιμές από 0^o μέχρι 180^o. Για γωνίες $β_σ > 90^o$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς το έδαφος.

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη, $θ_σ$, είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό Βορρά - Νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι +180°. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με τη γωνία +180°) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς τον Βορρά, η γωνία -90° προς την Ανατολή, η γωνία 0° προς τον Νότο και η γωνία + 90° προς τη Δύση.

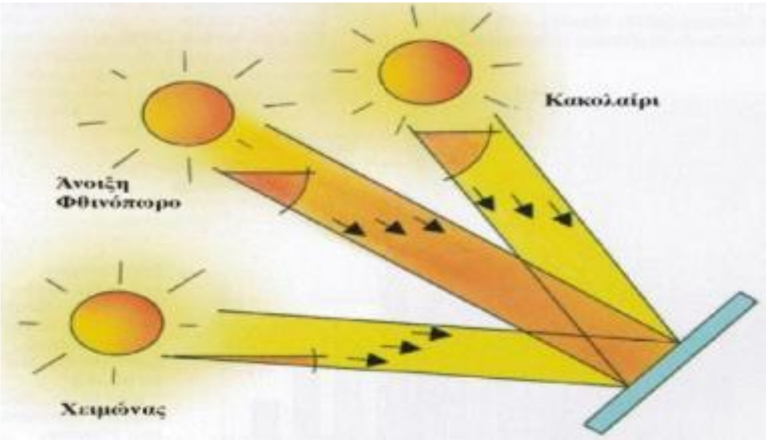
Η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε έναν επίπεδο συλλέκτη πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης, φ, είναι 0°. Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο Ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η καλύτερη αλλά και η πιο δαπανηρή λύση είναι η στροφή του συλλέκτη, ώστε αυτός να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή τον ήλιο, με μηχανισμούς οι οποίοι οδηγούνται από κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις με βάση τις εξισώσεις κίνησης του ήλιου στην ουράνια σφαίρα (**Σχήμα 4.8**).

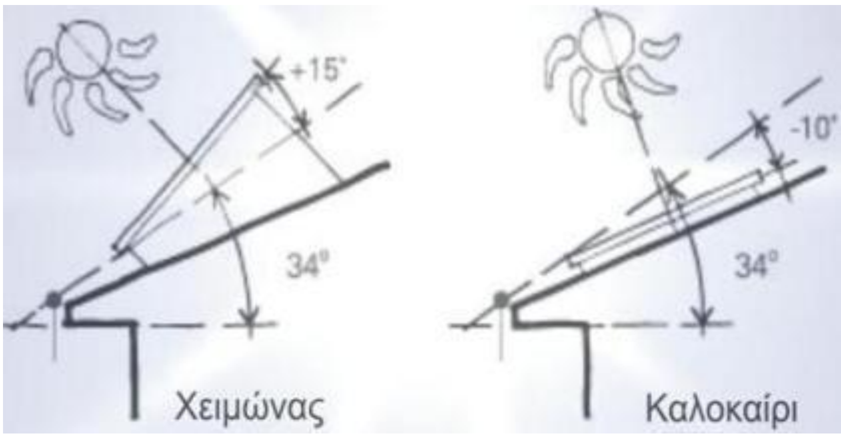
Η πιο οικονομική λύση είναι η επιλογή μιας σταθερής κλίσης που να μειώνει όσο το δυνατό περισσότερο τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια ενός έτους. Η κλίση αυτή, για σταθερή κλίση σε όλη τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (**Σχήμα 4.9**).

Αν, όμως, επιλέγονται παραπάνω από μία κλίσεις ανά έτος τότε η βέλτιστη κλίση επιλέγεται διαφορετικά για κάθε εποχή. Το καλοκαίρι η κλίση επιλέγεται 10^o με 15^o μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και τον χειμώνα 10^o με 15^o μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (**Σχήμα 4.10**). Για το βόρειο ημισφαίριο ο βέλτιστος προσανατολισμός των Φ/Β στοιχείων είναι προς το Νότο, δηλαδή η αζιμούθια γωνία λαμβάνεται ίση με 0^o, ενώ για το νότιο ημισφαίριο ο βέλτιστος προσανατολισμός των Φ/Β στοιχείων είναι προς το Βορρά, δηλαδή η αζιμούθια γωνία λαμβάνεται ίση με 180^o.

Σχήμα 4.8:Φ/Β πλαίσιο διπλού άξονα κίνησης



Σχήμα 4.9: Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης



Σχήμα 4.10: Φ/Β πλαίσιο μονού άξονα κίνησης

Συνοπτικά:

- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο $θ_σ$) για το βόρειο ημισφαίριο, είναι νότιος ($θ_σ$=0), απόκλιση κατά 20^o-30^o από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια (**Σχήμα 4.11**).
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο $θ_σ$) για το νότιο ημισφαίριο, είναι βόρειος ($θ_σ$=180), απόκλιση κατά 20^o-30^o από βορά έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.

Για σταθερή κλίση:

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης ($β_σ$) πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Για δυο κλίσεις :

- Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης ($β_σ$) πρέπει να είναι περίπου 10^o-15^o μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου .
- Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης $β_σ$ πρέπει να είναι περίπου 10^o-15^o μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση

Σχήμα 4.11: Απώλειες στην παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τον προσανατολισμό του φωτοβολταϊκού συστήματος

4.6 Σκίαση των φωτοβολταικών πλαισίων

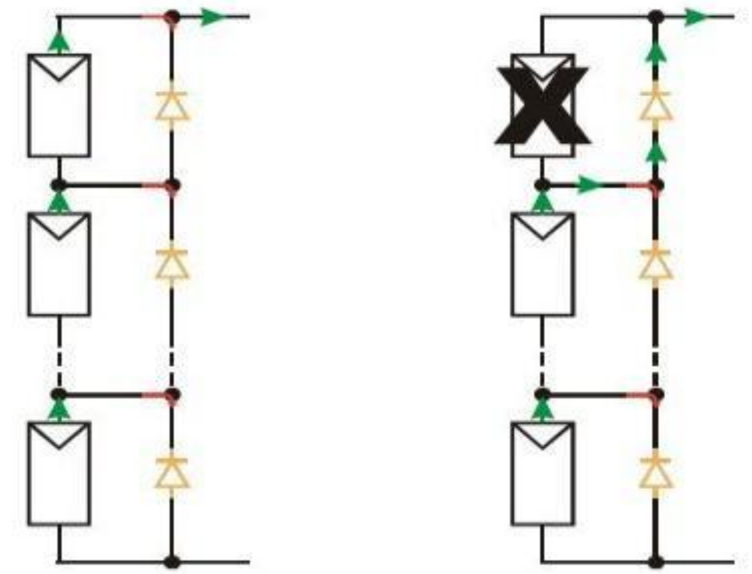
Ένας παράγοντας επίδρασης της DC ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση κλπ, είτε σε περιπτώσεις με περιορισμένη έκταση εγκατάστασης όπως για παράδειγμα στις στέγες κτηρίων όπου προκαλείται σκίαση από τη μία σειρά στην επόμενη. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση, οι επιπτώσεις της σκίασης μπορεί να είναι σημαντικές και για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία ίδιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη ενός και μόνο φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Ένα σκιασμένο κύτταρο, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η απλή δίοδος p-n, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τα υπόλοιπα υγιή κύτταρα μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα ηλιακά στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της.

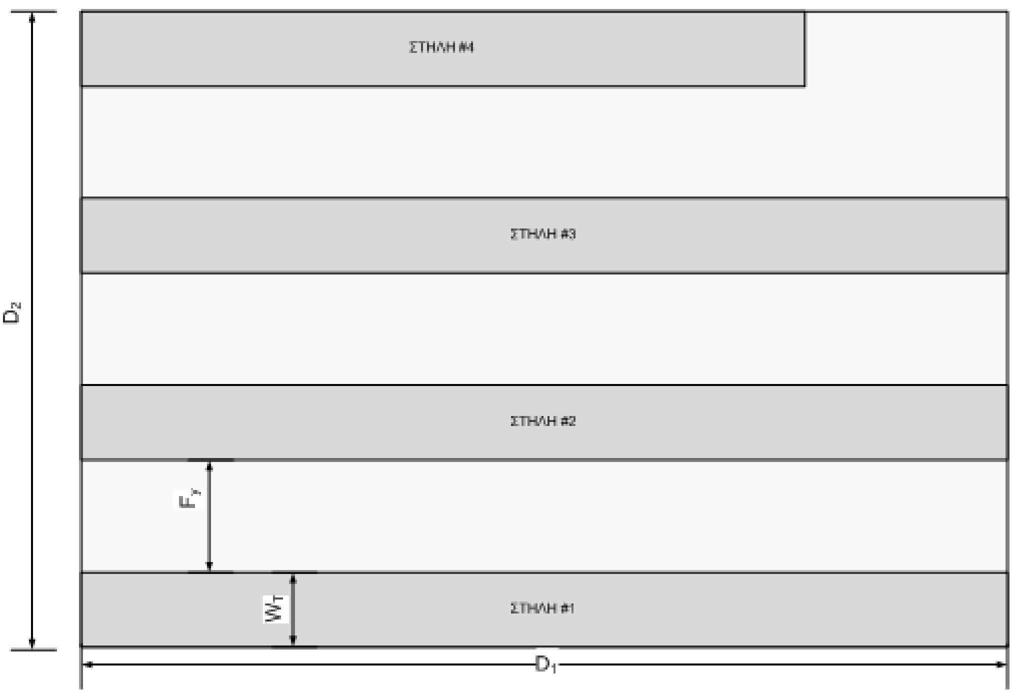
Στην πράξη, για τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, το σκιασμένο κύτταρο λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός ενός στοιχείου σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμμένου στοιχείου. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως φαινόμενο Hot Spot (κατάσταση “θερμής κηλίδας”).

Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (δίοδοι παράκαμψης) (**Σχήμα 4.12**), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυττάρων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο φωτοβολταϊκό στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί.

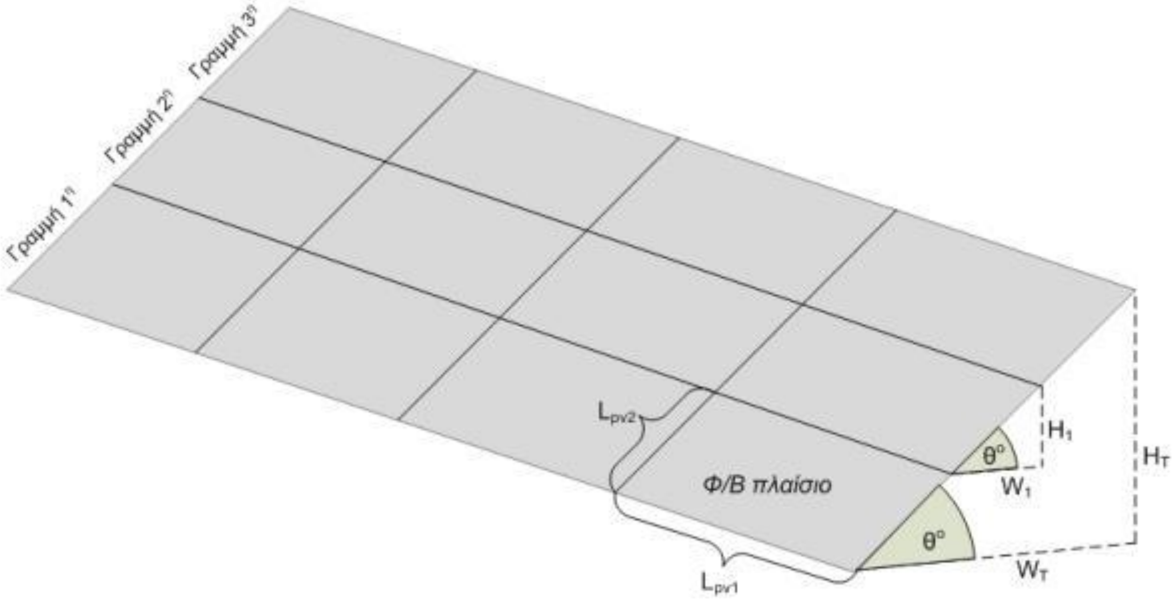
Για αποφυγή της σκίασης, τα πλαίσια εντός της διαθέσιμης έκτασης, τοποθετούνται σε στήλες (**Σχήμα 4.13**), με δυνατότητα πολλαπλών γραμμών Φ/Β πλαισίων σε καθεμιά (**Σχήμα 4.14**), με τέτοιο τρόπο ώστε σε γειτονικές στήλες να μην υπάρχει ποτέ το φαινόμενο της σκίασης.



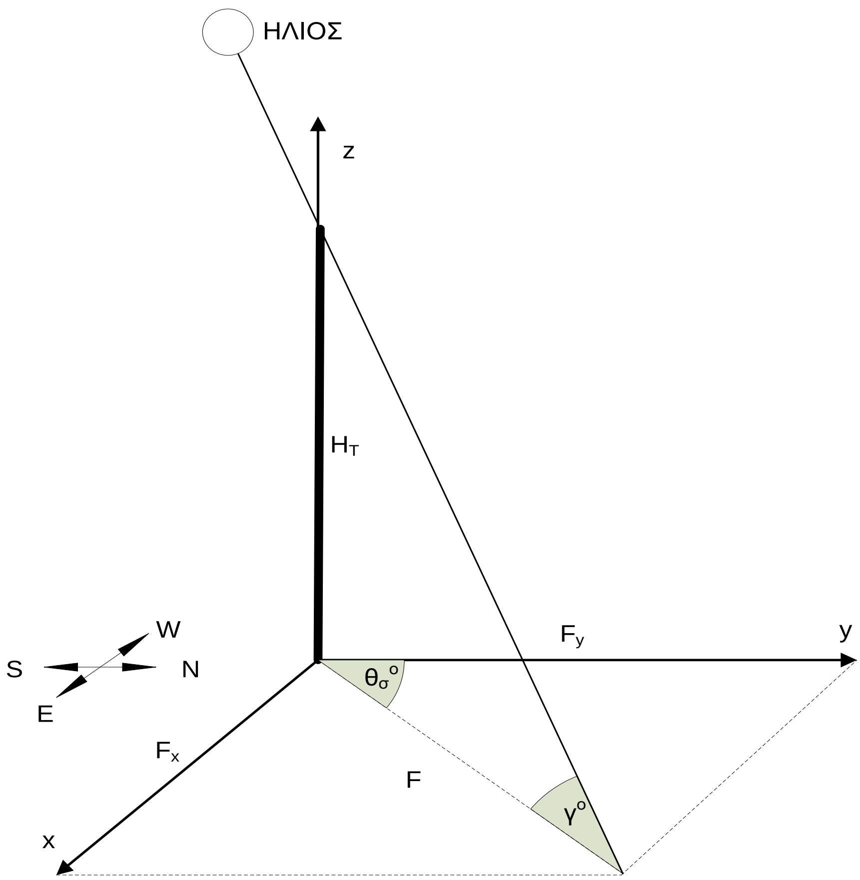
Σχήμα 4.12: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο με διόδους παράκαμψης παράλληλα σε τμήματα των κυττάρων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά



Σχήμα 4.13: Διάταξη των Φ/Β πλαισίων σε στήλες



Σχήμα 4.14: Διάταξη των Φ/Β πλαισίων σε πολλαπλές γραμμές, σε μια στήλη.



Σχήμα 4.15: Σκιά φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Στο **Σχήμα 4.15** απεικονίζετε η σκιά που δημιουργεί ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, σε μία σειρά Φ/Β πλαισίων με κάθετο ύψος στηλών ίσο με H_T . Με $θ_σ$ συμβολίζεται η αζιμούθια γωνία (solar azimuth angle) που ορίζεται ως:

$$\cos\theta_\sigma = \frac{\sin\varphi \cdot \sin\delta \cdot \cos\omega - \cos\varphi \cdot \sin\delta}{\cos\gamma} \quad (4.2)$$

Με γ συμβολίζεται η γωνία ηλιακού ύψους (altitude) για την οποία ισχύει η σχέση:

$$\sin\gamma = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega \quad (4.3)$$

όπου:

d_n είναι η μέρα του χρόνου (1,2,...365),

φ είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου $(^\circ)$ και

δ είναι η γωνία ηλιακής απόκλισης (solar declination), δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο ισημερινό επίπεδο και την ευθεία γραμμή που ενώνει τη Γη με τον Ήλιο. Η τιμή του δ $(^\circ)$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta(^\circ) = 23.45\sin\left(\frac{360}{365}(d_n + 284)\right) \quad (4.4)$$

ω_s είναι η γωνία ανατολής του Ήλιου (sunrise angle) και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_s = -\arccos(-\tan\delta \cdot \tan\varphi) \quad (4.5)$$

ενώ παράλληλα ισχύει ότι:

$$\cos\omega_s = -\tan\delta \cdot \tan\varphi \quad (4.6)$$

Στο **Σχήμα 4.15** με F είναι σημειωμένο το μήκος της σκίασης, δηλαδή η απόσταση του σημείου της προβολής στο έδαφος του ανατολικού άκρου της βόρειας πλευράς της στήλης από το σημείο μέχρι το οποίο υπάρχει η σκίαση. Το F αναλύεται στις συνιστώσες F_x και F_y. Για το μήκος F ισχύει η σχέση:

$$F = \frac{H_T}{\tan\gamma} \quad (4.7)$$

Στο σύστημα που εξετάζεται, θεωρούμε ότι τα Φ/Β πλαίσια είναι προσανατολισμένα προς το Νότο και διατεταγμένα σε στήλες, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.13**, οπότε μας ενδιαφέρει μόνο η συνιστώσα F_y η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$F_y = \frac{\cos\theta_\sigma}{\tan\gamma} \mathbf{H}_T \tag{4.8}$$

Από αυτή τη σχέση και αναλύοντας λίγο παραπάνω στις αξιώσεις που διαθέτουμε προκύπτουν τα παρακάτω:

$$\tan\gamma = \frac{\sin\gamma}{\cos\gamma} \tag{4.9}$$

Από την Εξ. (4.2) προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$t = \cos^{-1}\frac{\Gamma\mathrm{E}}{\mathrm{BE}} \tag{4.10}$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (4.8) και (4.9) προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$F_y = H_T \cdot \frac{\cos\theta_\sigma \cdot \cos\gamma}{\sin\gamma} \tag{4.11}$$

Συνδυάζοντας τα παραπάνω καταλήγουμε στην παρακάτω τελική εξίσωση:

$$F_y = H_T \cdot \frac{\sin\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega - \cos\varphi \cdot \sin\delta}{\sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega} \tag{4.12}$$

Για να μην υπάρχει σκίαση για καμία ώρα του έτους ώστε να μην υπάρχουν ενεργειακές απώλειες, στον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας γίνεται αναζήτηση της μέγιστης τιμής που λαμβάνει το F_y για όλες τις ώρες του έτους και για το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου της μελέτης. Η μέγιστη αυτή τιμή που λαμβάνει το F_y επιλέγεται ως η απόσταση μεταξύ των στηλών Φ/Β πλαισίων συνολικού ύψους H_T όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 4.14**.

4.7 Επίδραση της κλίσης του εδάφους στη σκίαση των Φ/Β πλαισίων

Στην περίπτωση τοποθέτησης της συστοιχίας σε κεκλιμένη επιφάνεια η σχέση για την απόσταση διαδοχικών σειρών, πάνω στο κεκλιμένο έδαφος, μπορεί να προκύψει από τη γεωμετρία των συστοιχιών σε οριζόντιο επίπεδο, εάν λάβουμε υπόψιν επιπλέον, την **ελάττωση ή αύξηση** της απόστασης των σειρών των φωτοβολταικών, ανάλογα με τη φορά της κλίση του εδάφους, με σκοπό να αποφεύγεται η σκίαση.

Έστω το τρίγωνο ΑΒΓ (**Σχήμα 4.16**)

- η ευθεία ΑΒ συμβολίζει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- το ΒΓ είναι το ύψος του φωτοβολταϊκού
- το ΑΓ είναι η προβολή του ΒΓ στο έδαφος
- το φ είναι η κλίση του φωτοβολταϊκού η οποία θεωρείται γνωστή

Το ΑΓ υπολογίζεται ως εξής:

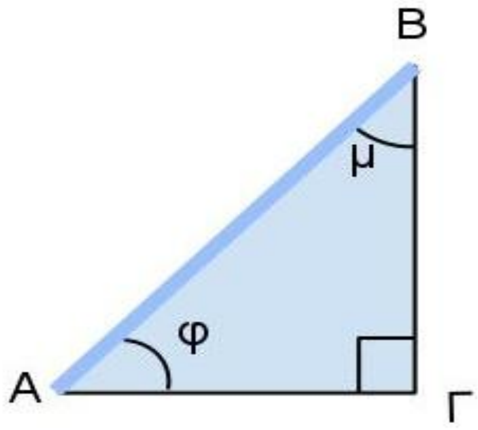
$$\mathrm{A\Gamma} = \mathrm{AB} * \cos\varphi \tag{4.13}$$

Η γωνία μ υπολογίζεται ως εξής:

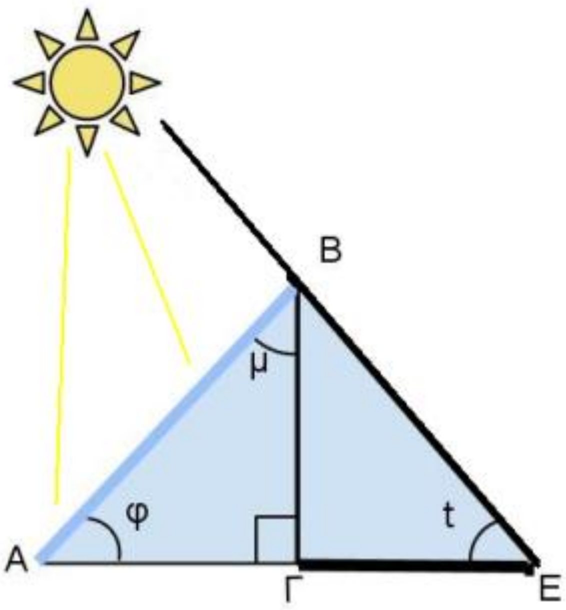
$$\mu = 180 - 90 - \varphi \tag{4.14}$$

Το ύψος ΒΓ υπολογίζεται ως εξής:

$$\mathrm{B\Gamma} = \mathrm{AB} * \cos\mu \tag{4.15}$$



Σχήμα 4.16: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και το ύψος του



Σχήμα 4.17: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και η σκιά του

Στο **Σχήμα 4.17** βλέπουμε το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και τη σκιά του, παρακάτω υπολογίζετε η ευθεία ΒΕ και η γωνιά t τα οποία χρειάζονται στη συνέχεια:

Το ΓΕ αντιστοιχεί στην ελάχιστη απόσταση μεταξύ των σειρών των φωτοβολταικών ώστε να μην σκιάζονται , το όποιο υπολογίζεται από την εξίσωση (4.12) και θεωρείται γνωστό.

Το ΒΓ υπολογίστηκε στην εξίσωση (4.15).

Το ΒΕ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας πυθαγόρειο θεώρημα στο τρίγωνο ΓΒΕ ως εξής:

$$\mathrm{BE} = \sqrt{\mathrm{B\Gamma}^2 + \Gamma\mathrm{E}^2} \tag{4.16}$$

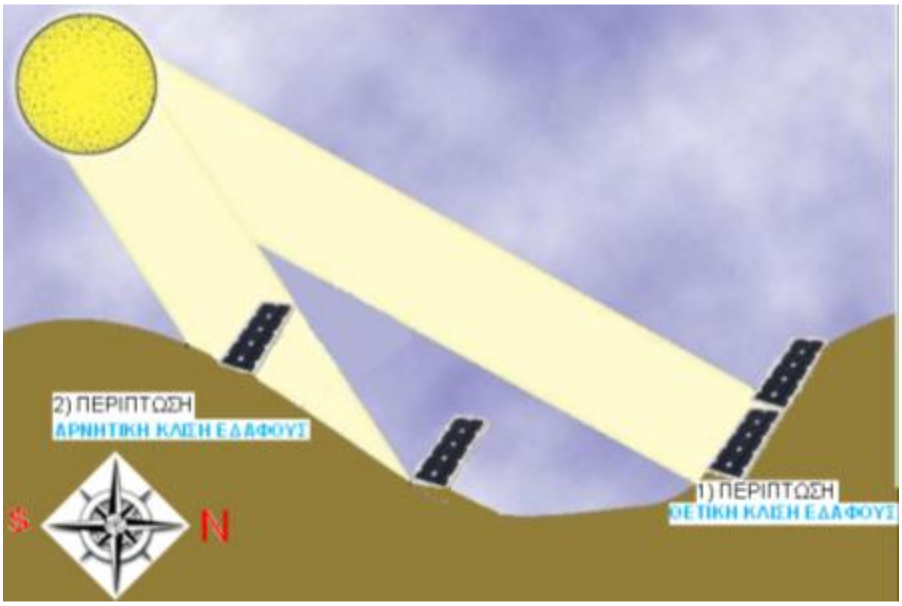
Ισχύει ότι $\cos t = \dfrac{\Gamma\mathrm{E}}{\mathrm{BE}}$ οπότε:

$$t = \cos^{-1}\frac{\Gamma\mathrm{E}}{\mathrm{BE}} \tag{4.17}$$

Παρακάτω εξετάζετε η περίπτωση την θετικής και αρνητικής κλίσης εδάφους.

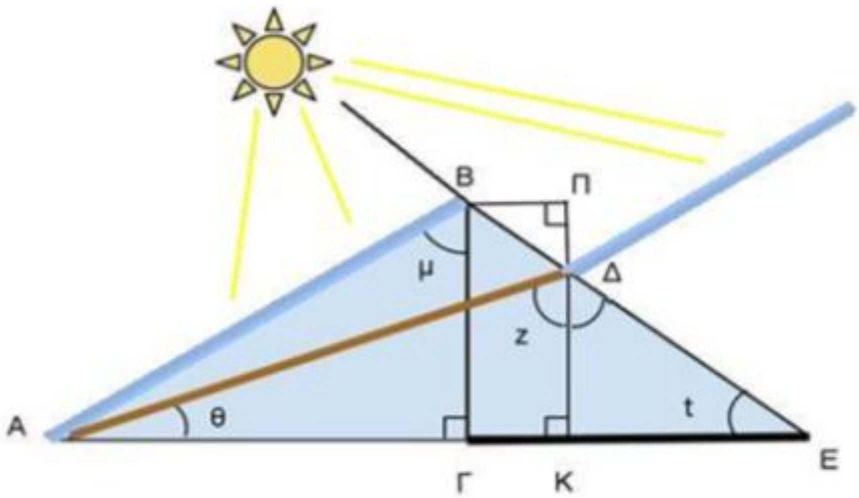
4.7.1 Θετική κλίση εδάφους

Θετική κλίση για το βόρειο ημισφαίριο θεωρείτε όταν το έδαφος έχει κλίση προς τον νότο, αντίστοιχα για το νότιο ημισφαίριο.



Σχήμα 4.18:Τοποθέτιση φωτοβολταικών με θετική και αρνητική κλίση εδάφους

Παρατηρώντας το **Σχήμα 4.18** προκύπτει το συμπέρασμα πως για θετική κλίση εδάφους τα Φ/Β πλαίσια έρχονται πιο κοντά το ένα με το άλλο. Από το **Σχήμα 4.10** θεωρώντας ότι η ευθεία ΑΔ είναι το κεκλιμένο έδαφος με γνωστή κλίση θ, η δεύτερη σειρά Φ/Β πλαισίων θα πλησιάσει την πρώτη σειρά όσο είναι το μήκος της ευθείας ΚΕ και θα τοποθετηθεί στο σημείο Δ. Η ευθεία ΚΕ υπολογίζεται παρακάτω.



Σχήμα 4.19:Τοποθέτιση φωτοβολταικών με θετική και αρνητική κλίση εδάφους

Για την ευθεία ΑΕ ισχύει:

$$\mathrm{AE} = \mathrm{A\Gamma} + \mathrm{\Gamma E} \quad (4.18)$$

Για την γωνία z ισχύει:

$$z = 180 - \theta - \tau \quad (4.19)$$

Από τον νόμο τον ημιτόνων έχουμε:

$$\frac{\mathrm{AE}}{\sin z} = \frac{\Delta \mathrm{E}}{\sin\theta} \quad (4.20)$$

Από την παραπάνω εξίσωση καταλήγουμε:

$$\Delta\mathrm{E} = \frac{\mathrm{AE}}{\sin z} * \sin\theta \quad (4.21)$$

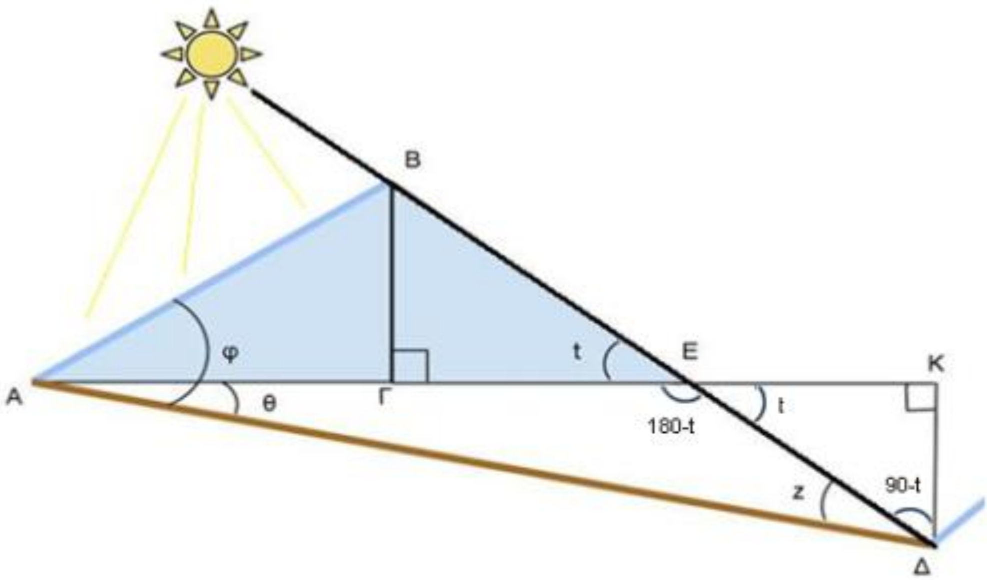
Η ευθεία ΚΕ υπολογίζεται ως εξής:

$$\mathrm{KE} = \cos t * \Delta\mathrm{E} \quad (4.22)$$

Στην πράξη μας ενδιαφέρει η ευθεία ΒΠ η οποία είναι ίση με την ΓΚ οπότε τελικά καταλήγουμε στην εξίσωση:

$$\mathrm{B\Pi} = \mathrm{\Gamma K} = \mathrm{\Gamma E} - \mathrm{KE} \quad (4.23)$$

4.7.2 Αρνητική κλίση εδάφους



Σχήμα 4.20:Αρνητική κλίση εδάφους

Όταν έχουμε αρνητική κλίση εδάφους όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.20**, θα πρέπει οι σειρές των φωτοβολταικών να έχουν σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, επιπλέον απόσταση όσο είναι η ευθεία ΕΚ, η οποία υπολογίζεται παρακάτω.

Δουλεύοντας στο τρίγωνο ΑΕΔ και χρησιμοποιώντας τον νόμο τον ημιτόνων υπολογίζουμε την ευθεία ΑΔ ως εξής:

$$\frac{\mathrm{AE}}{\sin z} = \frac{\mathrm{A\Delta}}{\sin(180-t)} \qquad (4.24)$$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει:

$$\mathrm{A\Delta} = \frac{\mathrm{AE}}{\sin z} * \sin(180-t) \qquad (4.25)$$

Η γωνία z υπολογίζεται ως εξής:

$$z = t - \theta \qquad (4.26)$$

Από τον νόμο των συνημίτονων μπορούμε να υπολογίσουμε την ευθεία ΕΔ ως εξής:

$$\mathrm{E\Delta} = \sqrt{\mathrm{AE}^2 + \mathrm{A\Delta}^2 - 2 * \mathrm{AE} * \mathrm{A\Delta} * \cos\theta} \qquad (4.27)$$

Τελικά χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι τα τρίγωνα ΒΕΓ και ΕΚΔ είναι όμοια υπολογίζουμε την ευθεία ΕΚ ως εξής:

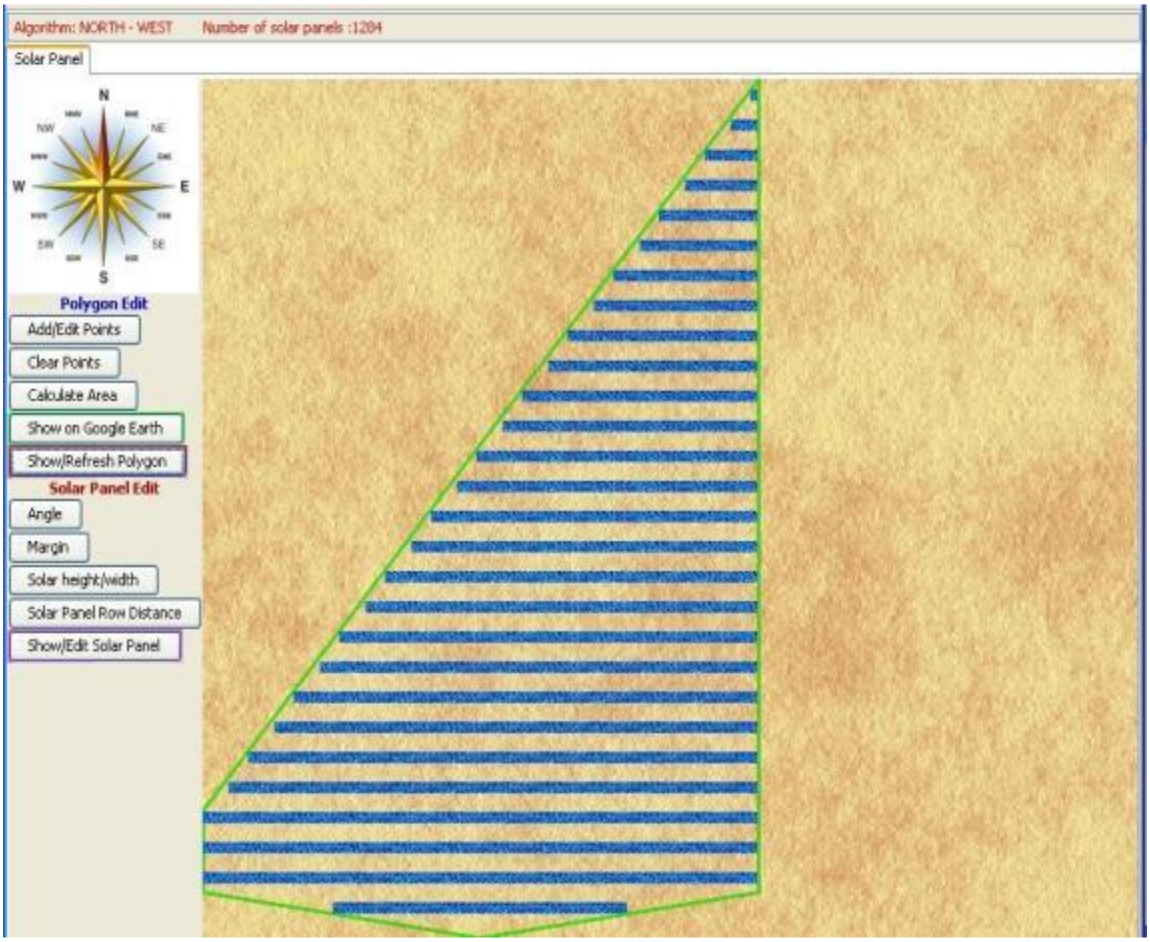
$$\frac{\mathrm{BE}}{\mathrm{E\Delta}} = \frac{\Gamma\mathrm{E}}{\mathrm{EK}} \qquad (4.28)$$

Από την παραπάνω εξίσωση έχουμε:

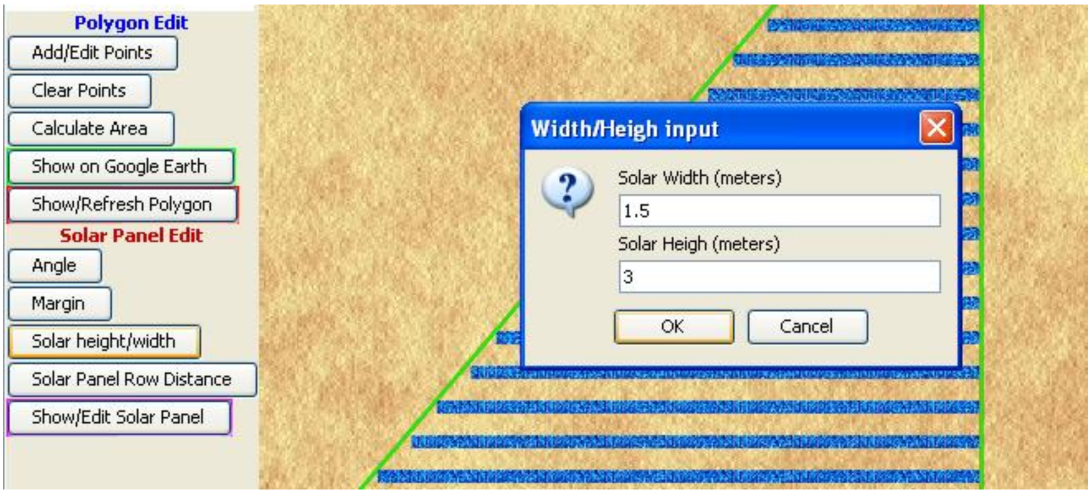
$$\mathrm{EK} = \frac{\Gamma\mathrm{E} * \mathrm{E\Delta}}{\mathrm{BE}} \qquad (4.29)$$

4.10 Υλοποίηση της παραπάνω γνώσης στην εφαρμογή

Στη γραφική εφαρμογή η παραπάνω γνώση χρησιμοποιήθηκε για να διατηρούν οι σειρές των Φ/Β πλαισίων την σωστή απόσταση μεταξύ τους αποφεύγοντας τη σκίαση. Θεωρείται ότι στην εφαρμογή έχουν φορτωθεί τα σημεία και έχουν τοποθετηθεί τα φωτοβολταϊκά όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.



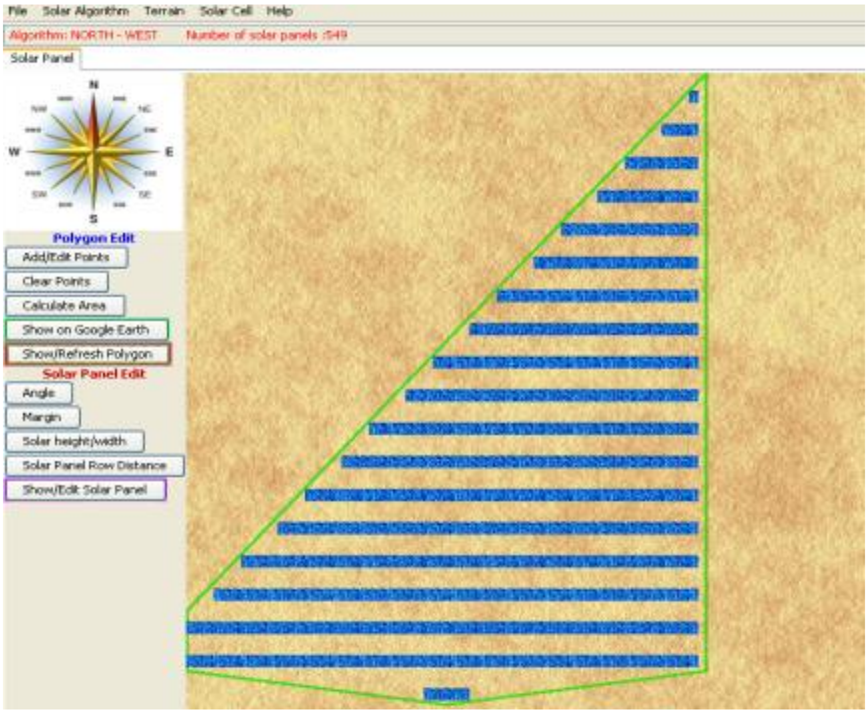
Σχήμα 4.21: Αλλαγή μεγέθους Φ/Β πλαισίων



Σχήμα 4.22:Αρνητική κλίση εδάφους

Για να ορίσουμε το μήκος και το πλάτος των Φ/Β πλαισίων πατάμε το κουμπί Solar height/width (**Σχήμα 4.21**) και αλλάζουμε τις τιμές με δεκαδικούς αριθμούς, σε μέτρα (**Σχήμα 4.22**). Στη συνέχεια πατάμε το κουμπί

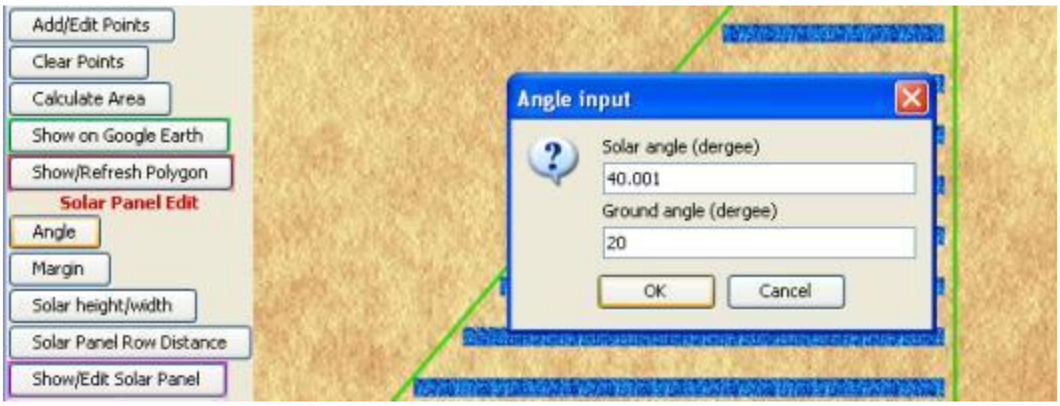
Show/Refresh Polygon για να επανατοποθετηθούν Φ/Β πλαίσια με το νέο μήκος και πλάτος (**Σχήμα 4.23**).



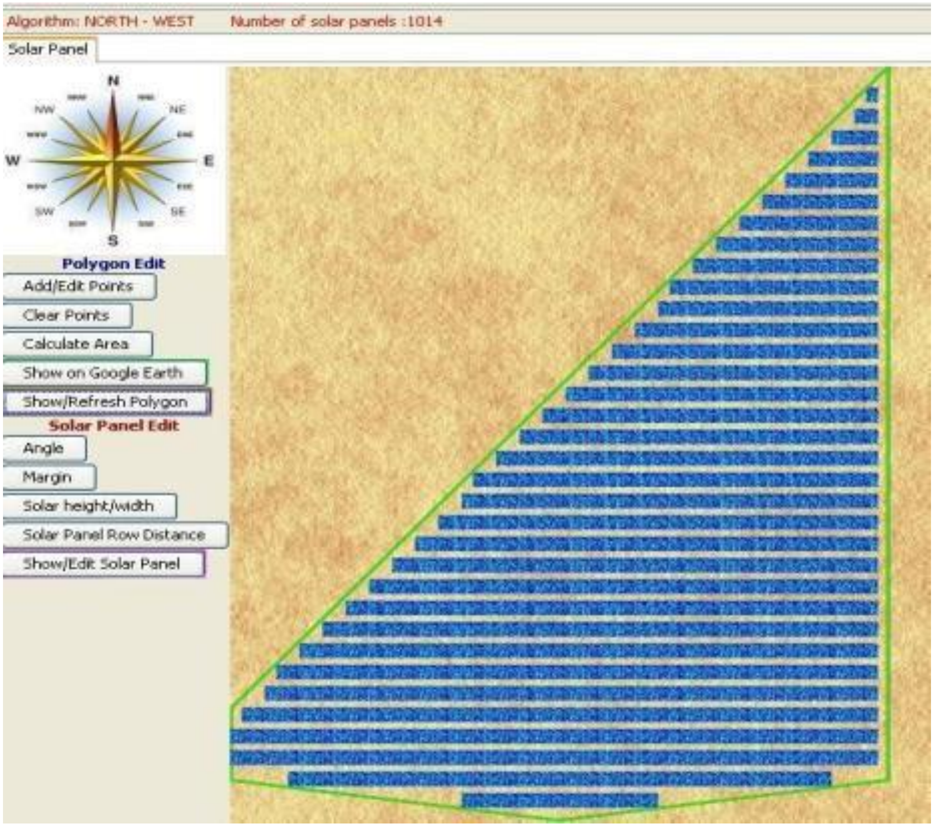
Σχήμα 4.23: Φ/Β πλαίσια με το νέο μήκος και πλάτος

Παρατηρούμαι ότι άλλαξαν οι διαστάσεις, όπως και ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων. Για να αλλάξουμε την κλίση που έχουμε τοποθετήσει τα Φ/Β πλαίσια ή την κλίση του εδάφους πατάμε τα κουμπί Angle και εισάγουμε τις τιμές που θέλουμε σε μοίρες (**Σχήμα 4.24**) και πατάμε ξανά το κουμπί Show/Refresh Polygon για ληφθούν υπόψιν οι νέες τιμές.

Έστω ότι σαν κλίση εδάφους βάζουμε +20 μοίρες, παρατηρούμε ότι η απόσταση των σειρών μίκρυνε και τοποθετήθηκαν περισσότερα Φ/Β (**Σχήμα 4.25**), το οποίο ήταν και αναμενόμενο σύμφωνα με την θεωρητική ανάλυση που έγινε στις προηγούμενους παραγράφους.



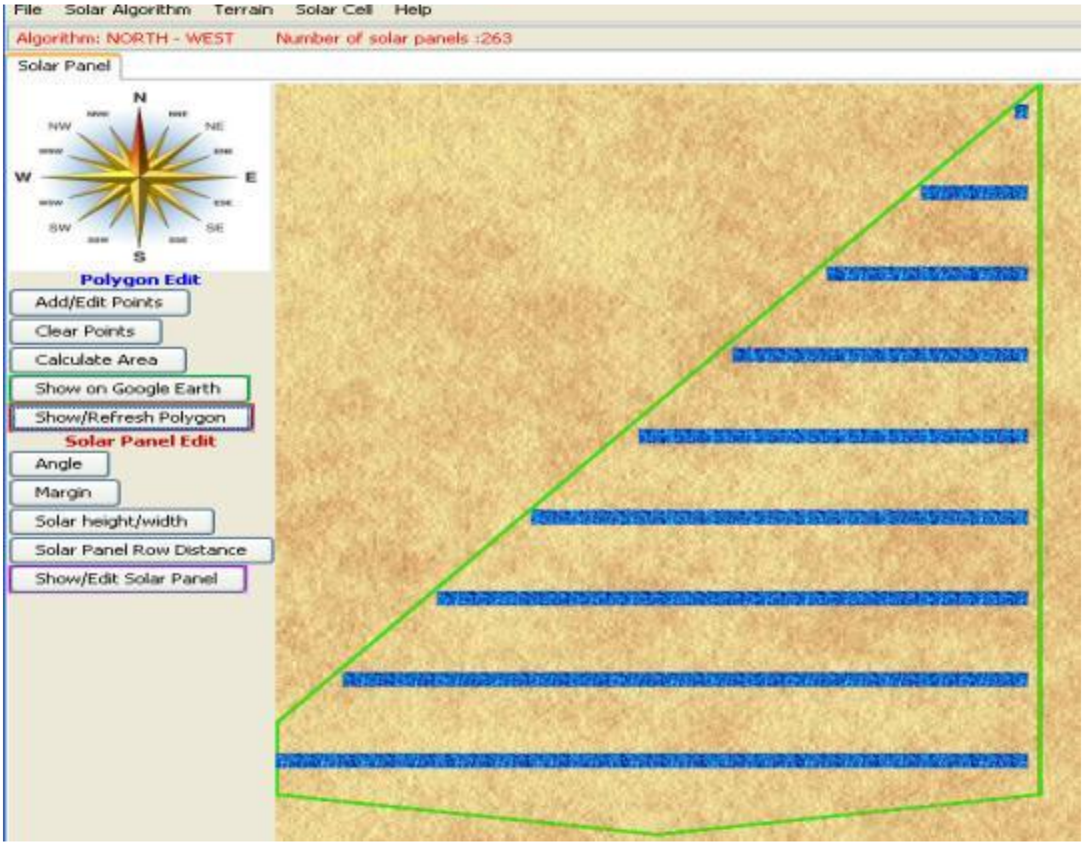
Σχήμα 4.24: Αλλαγή κλίσης Φ/Β και εδάφους



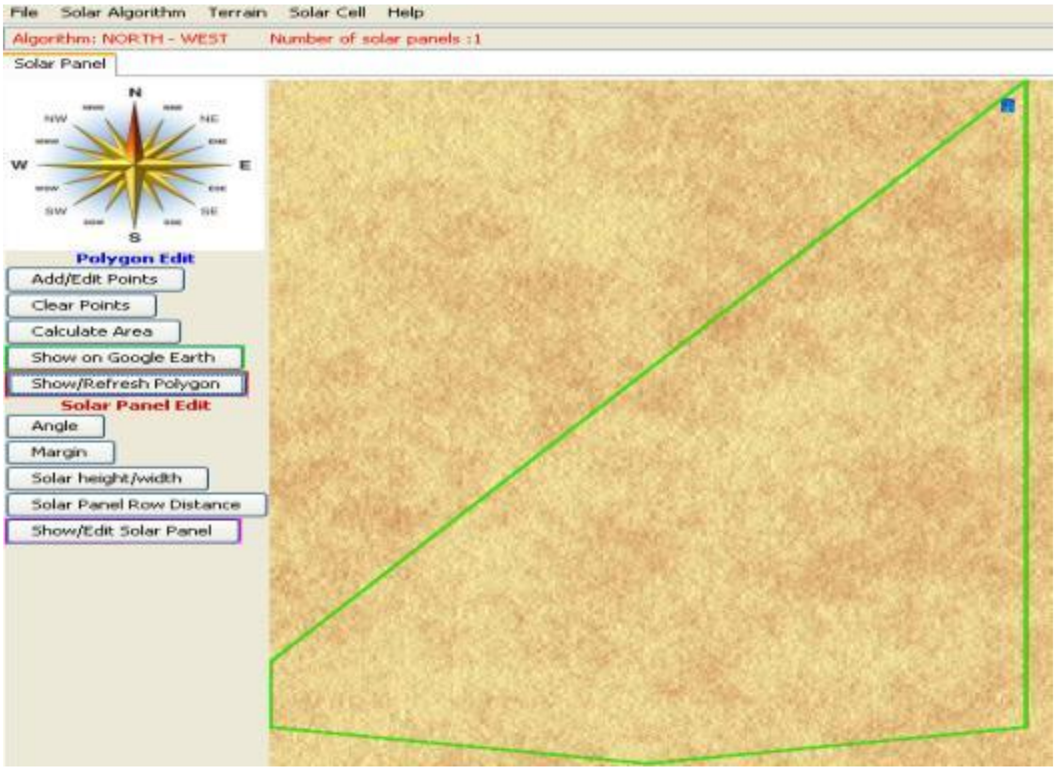
Σχήμα 4.25 : Φ/Β πλαίσια με νέα τιμή κλίσης για το έδαφος +20 μοίρες

Αλλάζοντας την κλίση του εδάφους σε -10 μοίρες, παρατηρούμε ότι οι σειρές αραίωσαν αρκετά για να μην σκιάζονται (**Σχήμα 4.26**). Αλλάζοντας για άλλη μια φορά την κλίση του εδάφους σε -20 μοίρες παρατηρούμε ότι μόνο ένα Φ/Β έχει τοποθετηθεί (**Σχήμα 4.27**), το οποίο μπορεί να εξηγηθεί εάν παρατηρήσουμε τη **εξίσωση 4.26**, η οποία μας λέει ότι όσο ποιο μεγάλη γίνεται η κλίση του εδάφους, η γωνία z τείνει να γίνει 0, το οποίο πρακτικά μας λέει ότι η ευθεία ΒΔ και η ευθεία ΑΔ (**Σχήμα 4.20**) τείνουν να γίνουν παράλληλες που σημαίνει ότι η σκιά της πρώτης σειράς Φ/Β σκιάζει όλες τις υπόλοιπες.

Στην ακραία αυτή περίπτωση, στην πράξη είτε σηκώνονται όλες τις υπόλοιπες σειρές ώστε να μην σκιάζονται, κάτι που σημαίνει αυξημένο κόστος υλικών, είτε το αγροτεμάχιο αυτό κρίνεται ακατάλληλο για τοποθέτηση Φ/Β.



Σχήμα 4.26 : Φ/Β πλαίσια με νέα τιμή κλίσης για το έδαφος -10 μοίρες



Σχήμα 4.27 : Φ/Β πλαίσια με νέα τιμή κλίσης για το έδαφος -20 μοίρες

5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

5.1 Παράδειγμα 1_o

Για το πρώτο παράδειγμα έχουμε τα εξής δεδομένα:

- Γεωγραφικό πλάτος: Περίπου 35.5 (Στέρνες, Ακρωτήρι Χανίων)
- Γεωγραφικό μήκος: Περίπου 24.144
- Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου:

Πινάκας 5.1: Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου

Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
35.5007076553236	24.144942462444305
35.500738225840216	24.144312143325806
35.50109633673981	24.1442933678627
35.501065766359474	24.144990742206573

- Εμβαδό επιφάνειας τοποθέτησης: 2395,465 m^2
- Διαστάσεις συλλεκτών: Πλάτος 1 μέτρο , μήκος 2 μέτρα
- Κλίση συλλεκτών: 35.5^o
- Κλίση εδάφους: Περίπου 5.74^o , θετική
- Περιθώριο: 0 μετρά

Σχήμα 5.1 : Εμφάνιση αγροτεμαχίου στον χάρτη

Με τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τον τρίτο τρόπο τοποθέτησης (τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Νότο προς Βορά και των Φ/Β από την δύση προς την ανατολή) η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 774 (**Σχήμα 5.2**).

Σχήμα 5.2 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 5.74^{o}, θετική

Εάν η κλίση του εδάφους ήταν 0^o τότε ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων θα ήταν 631 (**Σχήμα 5.3**). Παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι 143 Φ/Β πλαίσια λιγότερα, σε αυτή την περίπτωση η κλήση του εδάφους λειτουργεί υπερ.

Σχήμα 5.3 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με υποθετική τιμή κλίσης για το έδαφος 0^o

5.2 Παράδειγμα 2_o

Για το δεύτερο παράδειγμα έχουμε τα εξής δεδομένα:

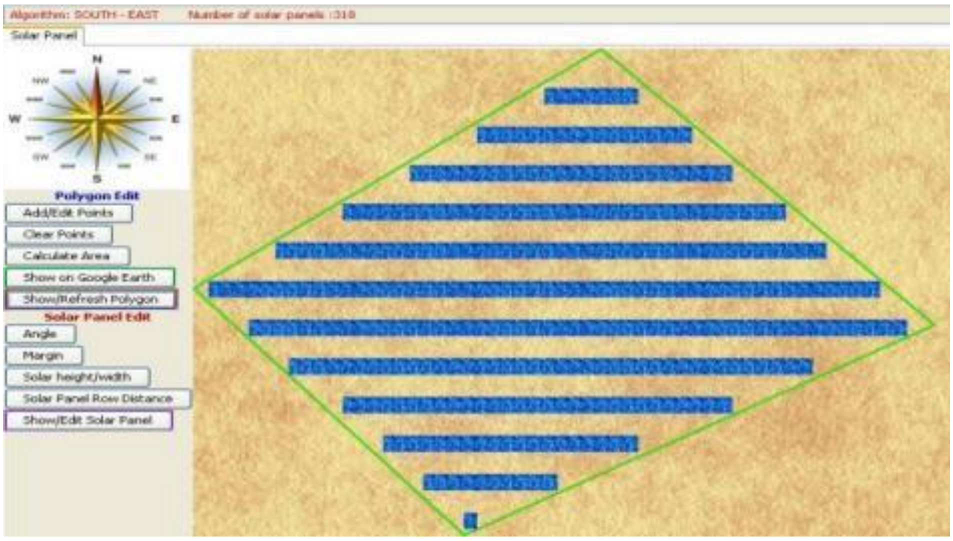
- Γεωγραφικό πλάτος: Περίπου 35.82 (Σταυρός, Ακρωτήρι Χανίων)
- Γεωγραφικό μήκος: Περίπου 24.07
- Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου:

Πινάκας 5.2: Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου	
Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
35.58229891737164	24.07440349459648
35.58211349913771	24.074017256498337
35.58233163819189	24.0737946331501
35.582543232506694	24.074129909276962

- Εμβαδό επιφάνειας τοποθέτησης: 1332,905 m^2
- Διαστάσεις συλλεκτών: Πλάτος 1 μέτρο , μήκος 2 μέτρα
- Κλίση συλλεκτών: 35.582^o
- Κλίση εδάφους: Περίπου 1.4^o , αρνητική
- Περιθώριο: 0 μετρά

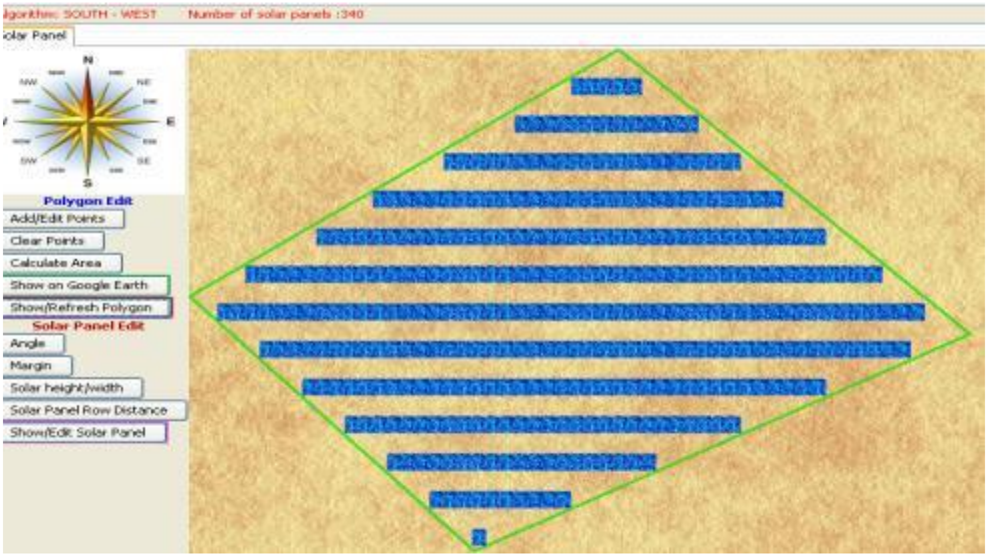
Σχήμα 5.4 : Εμφάνιση αγροτεμαχίου στον χάρτη

Με τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τον τέταρτο τρόπο τοποθέτησης (τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Νότο προς Βορά και των Φ/Β από την ανατολή προς την δύση) η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 318 (**Σχήμα 5.5**).



Σχήμα 5.5 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 1.4^o, αρνητική

Εάν η κλίση του εδάφους ήταν 0^o και χρησιμοποιώντας τον τρίτο τρόπο τοποθέτησης τότε ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων θα ήταν 340 (**Σχήμα 5.6**). Παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι 22 Φ/Β πλαίσια περισσότερα, αν και η κλίση είναι μόλις 1.4^o μοίρες, σε αυτή την περίπτωση η κλήση του εδάφους λειτουργεί κατά.



Σχήμα 5.6 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με υποθετική τιμή κλίσης για το έδαφος 0^o

5.3 Παράδειγμα 3_o

Για το τρίτο παράδειγμα έχουμε τα εξής δεδομένα:

- Γεωγραφικό πλάτος: Περίπου 36.79 (Μολάοι, Λακωνία)
- Γεωγραφικό μήκος: Περίπου 22.86
- Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου:

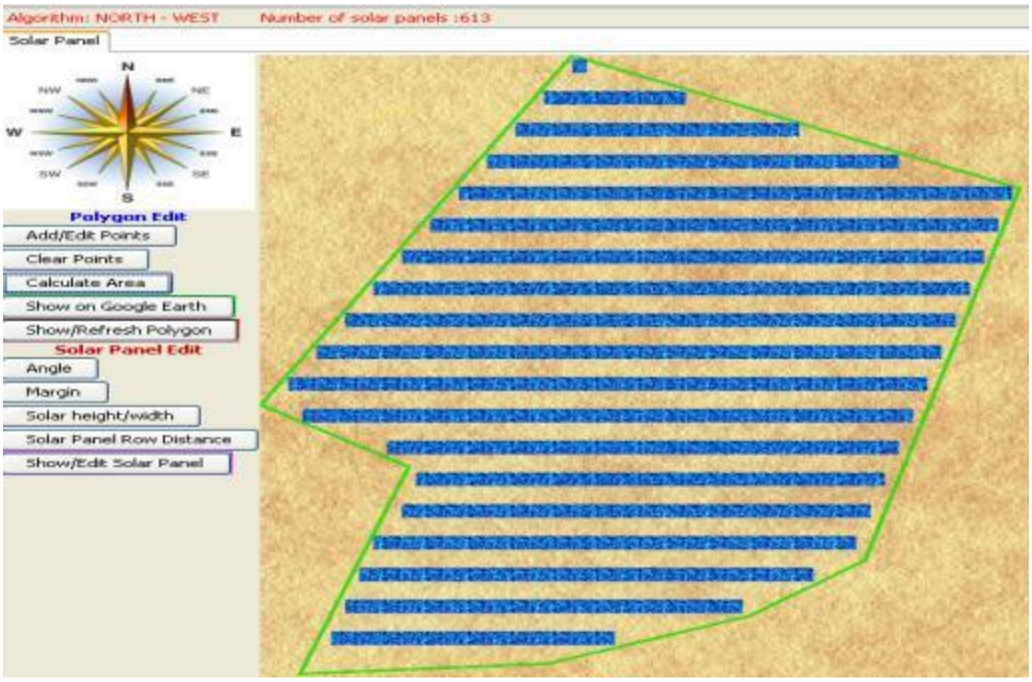
Πινάκας 5.3: Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου	
Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
36.798053333950264	22.86231055855751
36.79799534377408	22.862219363451004
36.79794594470051	22.862061113119125
36.79793520576726	22.861865311861038
36.79815213192706	22.861951142549515

36.79821656532153	22.86183312535286
36.798583834635	22.86207988858223
36.79844422954789	22.862433940172195

- Εμβαδό επιφάνειας τοποθέτησης: 2434.2m^2 (2231.2118m^2 επιφάνεια μέσα από το περιθώριο)
- Διαστάσεις συλλεκτών: Πλάτος 1 μέτρο , μήκος 2 μέτρα
- Κλίση συλλεκτών: 36.79
- Κλίση εδάφους: 0^o
- Περιθώριο: 1 μετρό

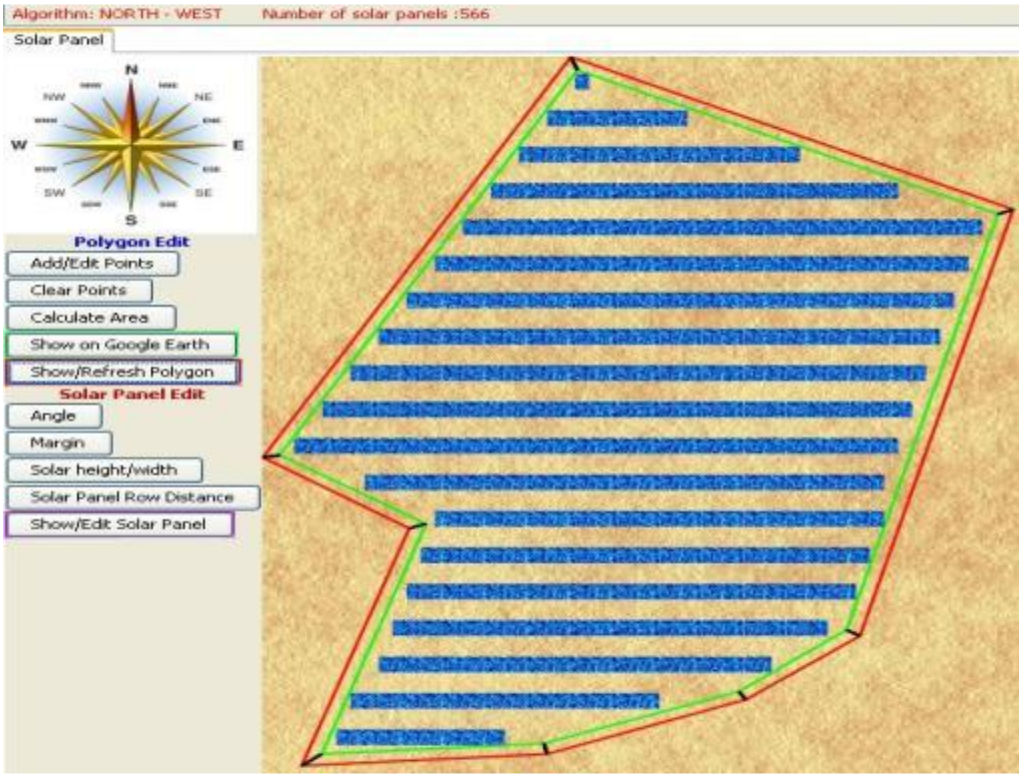
Σχήμα 5.7 : Εμφάνιση αγροτεμαχίου στον χάρτη

Με τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τον πρώτο τρόπο τοποθέτησης (τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Βορά προς Νότο και των Φ/Β από την δύση προς την ανατολή) χωρίς να λάβουμε υπόψιν το περιθώριο, η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 613 (**Σχήμα 5.8**).



Σχήμα 5.8 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 0^o

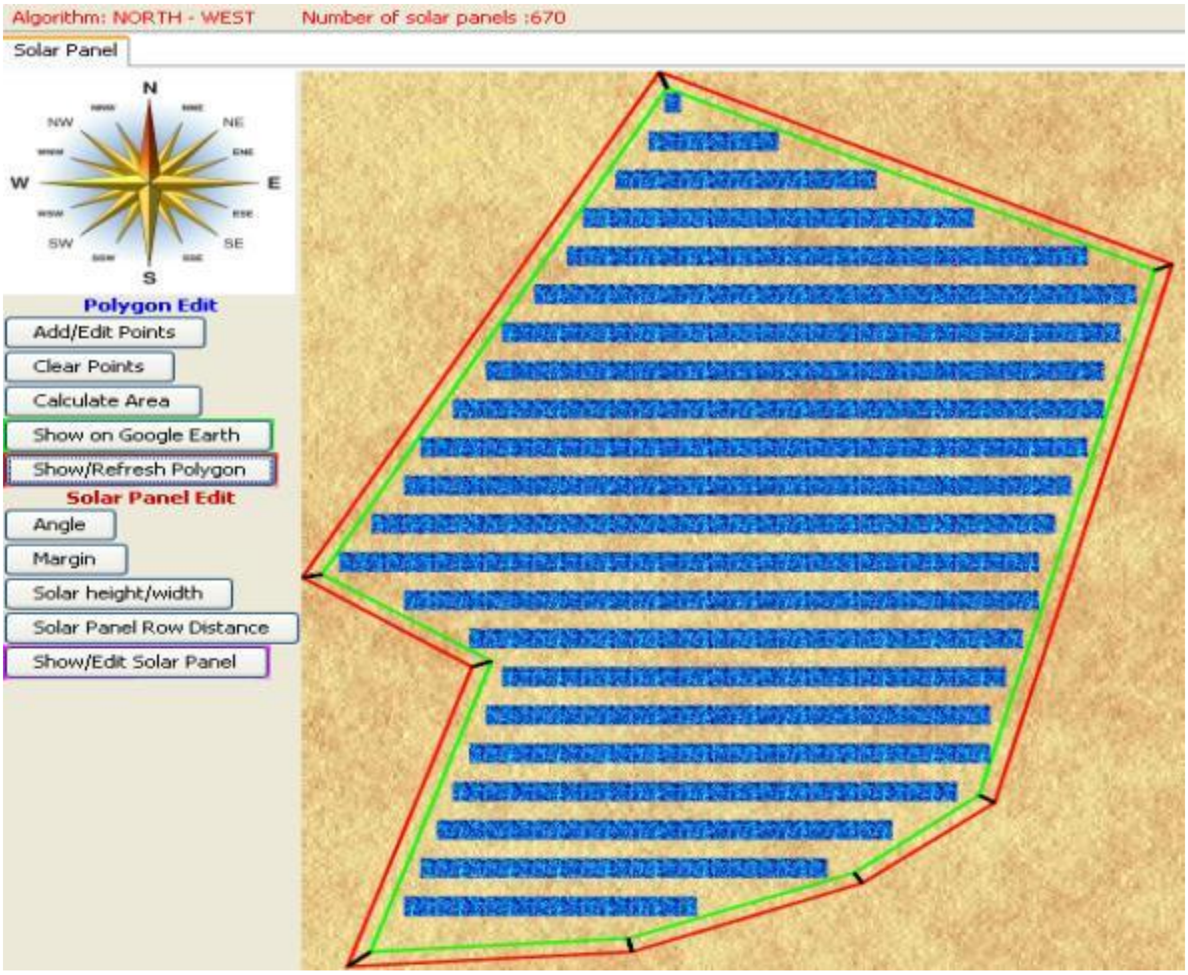
Εάν λάβουμε υπόψιν και το περιθώριο από τα όρια του αγροτεμαχίου, κατά ένα μέτρο, τότε ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 566 (**Σχήμα 5.9**).



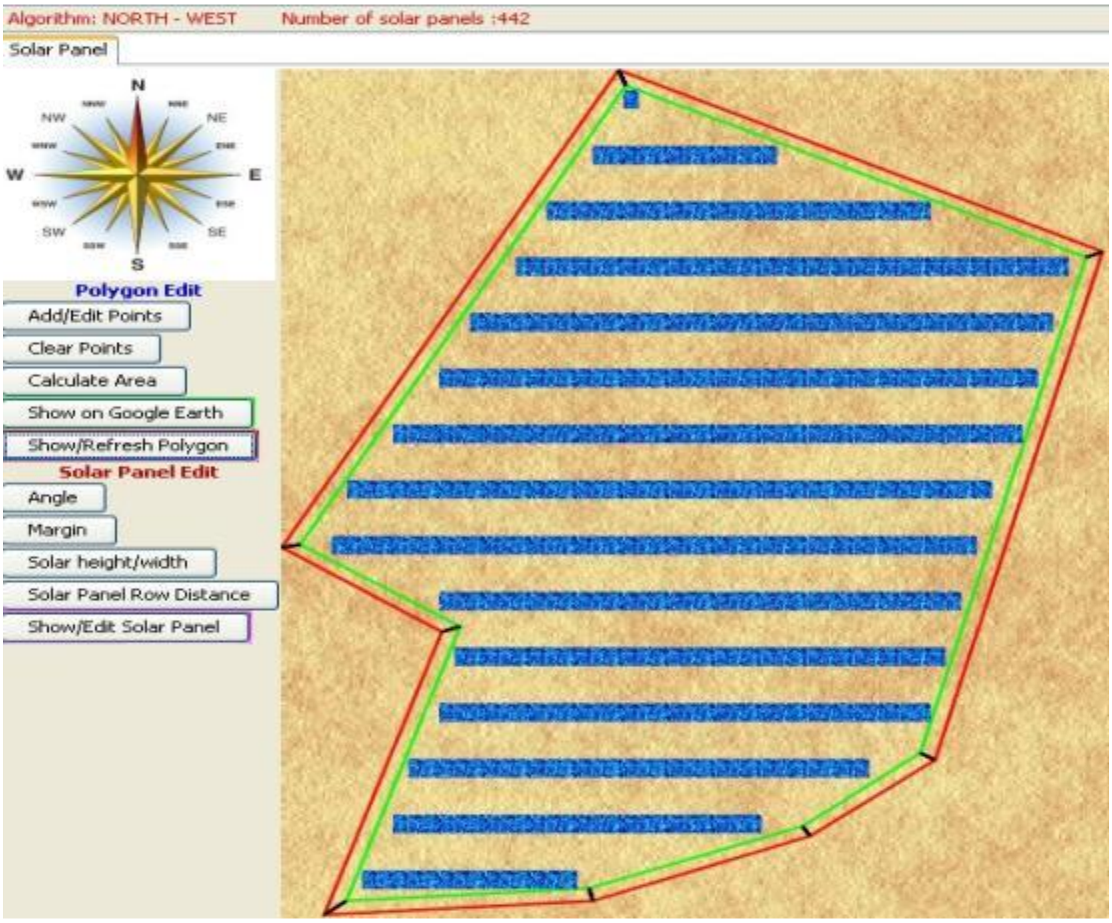
Σχήμα 5.9 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 0^o και περιθώριο ένα μέτρο

Εάν το έδαφος είχε κλίση 5^{o} **θετική** τότε χρησιμοποιώντας τον πρώτο τρόπο τοποθέτησης η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 670 (**Σχήμα 5.10**).

Εάν το έδαφος είχε κλίση 5^{o} **αρνητική** τότε χρησιμοποιώντας τον πρώτο τρόπο τοποθέτησης η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 442 (**Σχήμα 5.11**).



Σχήμα 5.10 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 5^{o} θετική και περιθώριο ένα μέτρο



Σχήμα 5.11 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 5^{o} αρνητική και περιθώριο ένα μέτρο

5.4 Παράδειγμα 4$_{o}$

Για το τέταρτο παράδειγμα έχουμε τα εξής δεδομένα:

- Γεωγραφικό πλάτος: Περίπου 36.08 (Λίνδος, Ρόδος)
- Γεωγραφικό μήκος: Περίπου 28.08
- Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου:

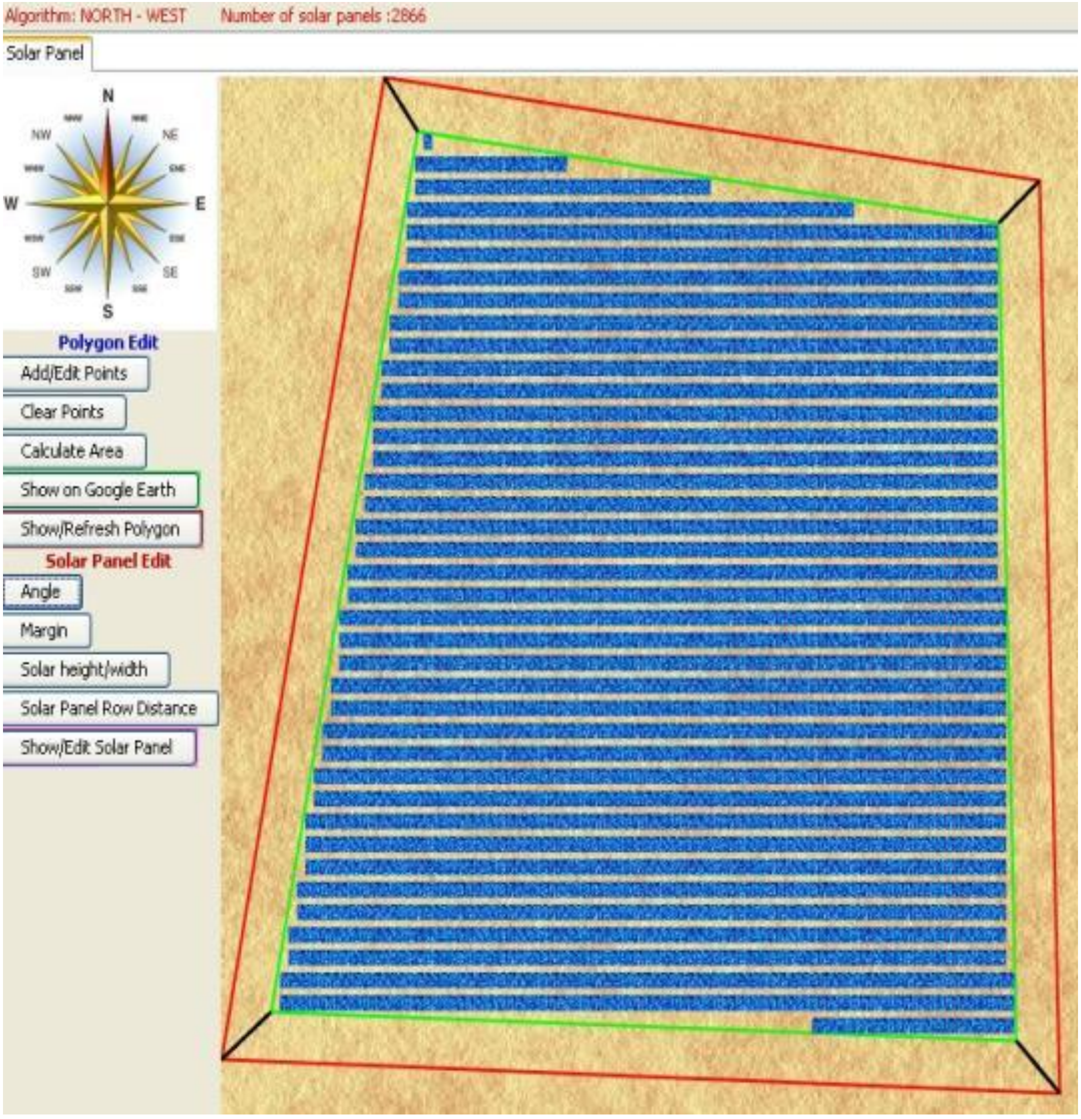
Πινάκας 5.4: Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου	
Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
36.08202516477501	28.08105781674385
36.08205551247718	28.079952746629715
36.08295726742499	28.080167323350906

36.082861889986916	28.081030994653702

- Εμβαδό επιφάνειας τοποθέτησης: 8601.2m^2 (6839.4324m^2 επιφάνεια μέσα από το περιθώριο)
- Διαστάσεις συλλεκτών: Πλάτος 1 μέτρο , μήκος 2 μέτρα
- Κλίση συλλεκτών: 36.08^o
- Κλίση εδάφους: Περίπου 15,5^o , θετική
- Περιθώριο: 5 μετρά

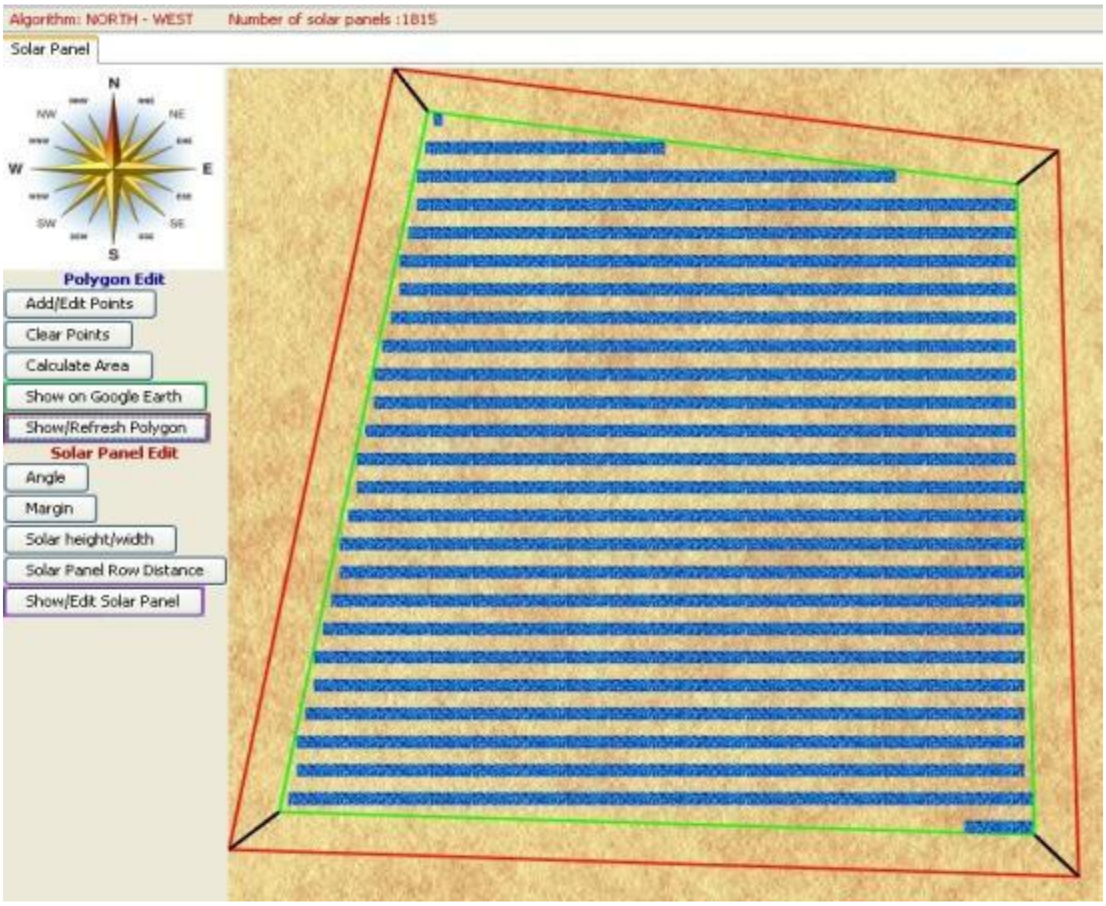
Σχήμα 5.12 : Εμφάνιση αγροτεμαχίου στον χάρτη

Με τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τον πρώτο τρόπο τοποθέτησης η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 2866 (**Σχήμα 5.13**).



Σχήμα 5.13 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 15.5^o, θετική

Εάν η κλίση του εδάφους ήταν 0^o και χρησιμοποιώντας τον πρώτο τρόπο τοποθέτησης τότε ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων θα ήταν 1815 (**Σχήμα 5.14**). Παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι 1051 Φ/Β πλαίσια λιγότερα, σε αυτή την περίπτωση η κλήση του εδάφους λειτουργεί υπερ.



Σχήμα 5.14: Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με υποθετική τιμή κλίσης για το έδαφος 0^o

5.5 Παράδειγμα 5_o

Για το πέμπτο παράδειγμα έχουμε τα εξής δεδομένα:

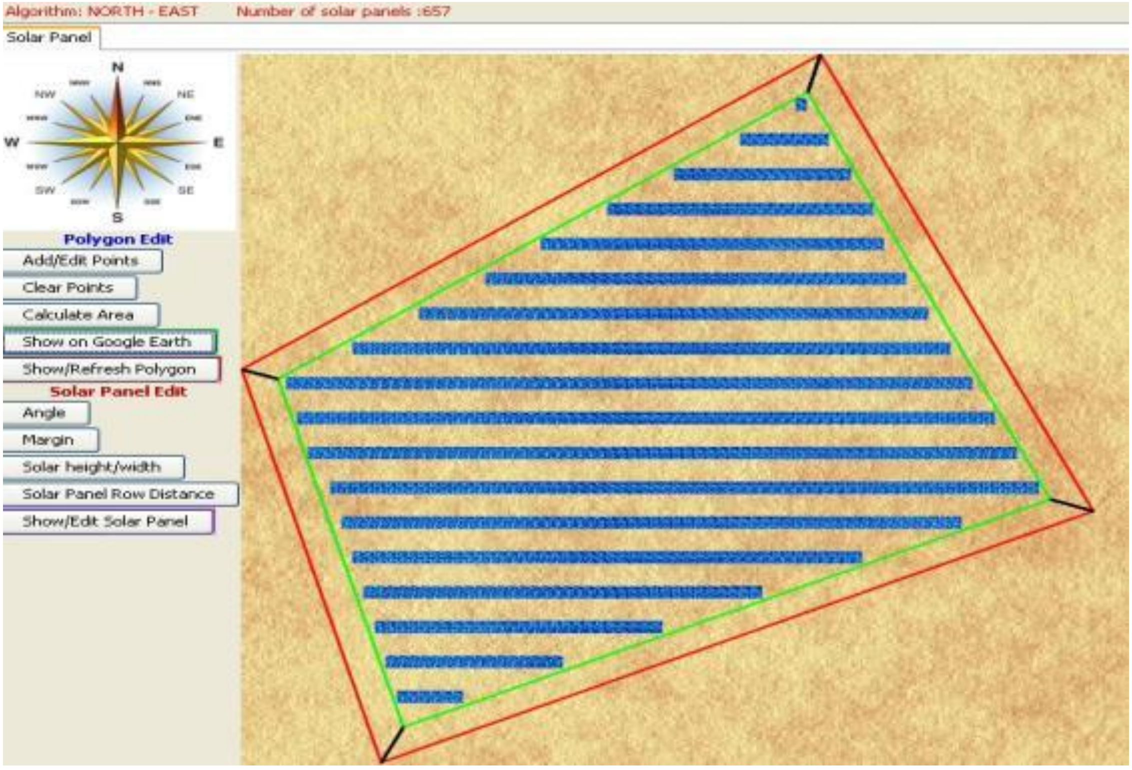
- Γεωγραφικό πλάτος: Περίπου 40.65 (Αλεξανδρούπολη)
- Γεωγραφικό μήκος: Περίπου 25.85
- Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου:

Πινάκας 5.5: Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου	
Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
40.854945174706536	25.85469827055931
40.85521905367873	25.855462700128555
40.85572014783025	25.855170339345932
40.855375265622456	25.854548066854477

- Εμβαδό επιφάνειας τοποθέτησης: $3653.884 m^2$ ($2953.163 m^2$ επιφάνεια μέσα από το περιθώριο)
- Διαστάσεις συλλεκτών: Πλάτος 1 μέτρο , μήκος 2 μέτρα
- Κλίση συλλεκτών: 40.8557^o
- Κλίση εδάφους: 0^o
- Περιθώριο: 3 μετρά

Σχήμα 5.15 : Εμφάνιση αγροτεμαχίου στον χάρτη

Με τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τον δεύτερο τρόπο τοποθέτησης (τοποθέτηση των παράλληλων σειρών με κατεύθυνση από Βορά προς Νότο και των Φ/Β από την ανατολή προς την δύση) η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 657 (**Σχήμα 5.16**).



Σχήμα 5.16 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 0^{o} και περιθώριο 3 μετρά

5.6 Παράδειγμα 6_{o}

Για το έκτο παράδειγμα έχουμε τα εξής δεδομένα:

- Γεωγραφικό πλάτος: Περίπου 43.5 (Σπλιτ , ΚΡΟΑΤΙΑ)
- Γεωγραφικό μήκος: Περίπου 16.53
- Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου:

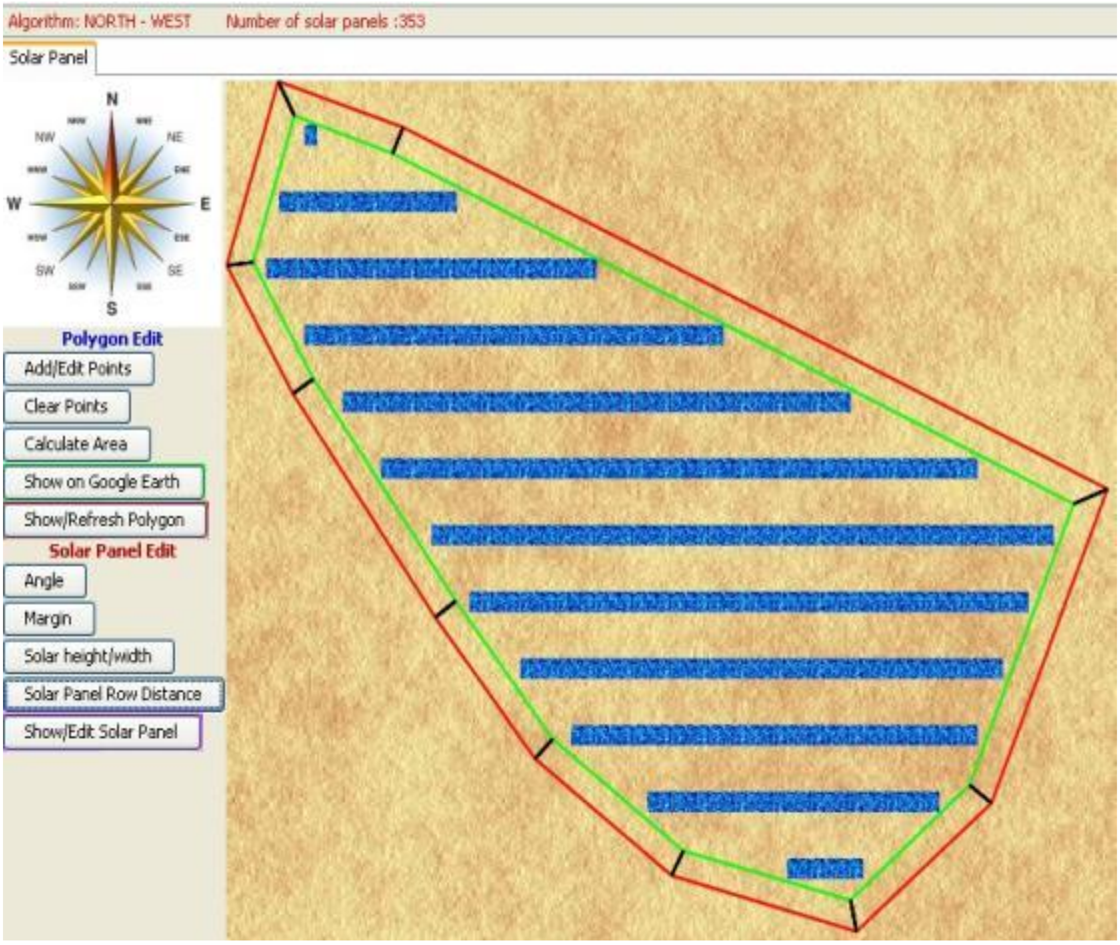
Πινάκας 5.6: Συντεταγμένες σημείων αγροτεμαχίου	
Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
43.50950951107036	16.534021943807602
43.509591213582034	16.53415337204933
43.5097896335071	16.534266024827957
43.5100191773125	16.533579379320145
43.51004835654725	16.533458679914474

43.50993163952359	16.53340771794319
43.509849937472744	16.53347209095955
43.50970793126402	16.533611565828323
43.50961844772801	16.53370812535286
43.50954452644604	16.533842235803604

- Εμβαδό επιφάνειας τοποθέτησης: 2178.65m^2 (1806.8m^2 επιφάνεια μέσα από το περιθώριο)
- Διαστάσεις συλλεκτών: Πλάτος 1 μέτρο , μήκος 2 μέτρα
- Κλίση συλλεκτών: 43.51^o
- Κλίση εδάφους: 0^o
- Περιθώριο: 2 μετρά

Σχήμα 5.17 : Εμφάνιση αγροτεμαχίου στον χάρτη

Με τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τον πρώτο τρόπο τοποθέτησης η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων είναι 353 (**Σχήμα 5.18**).



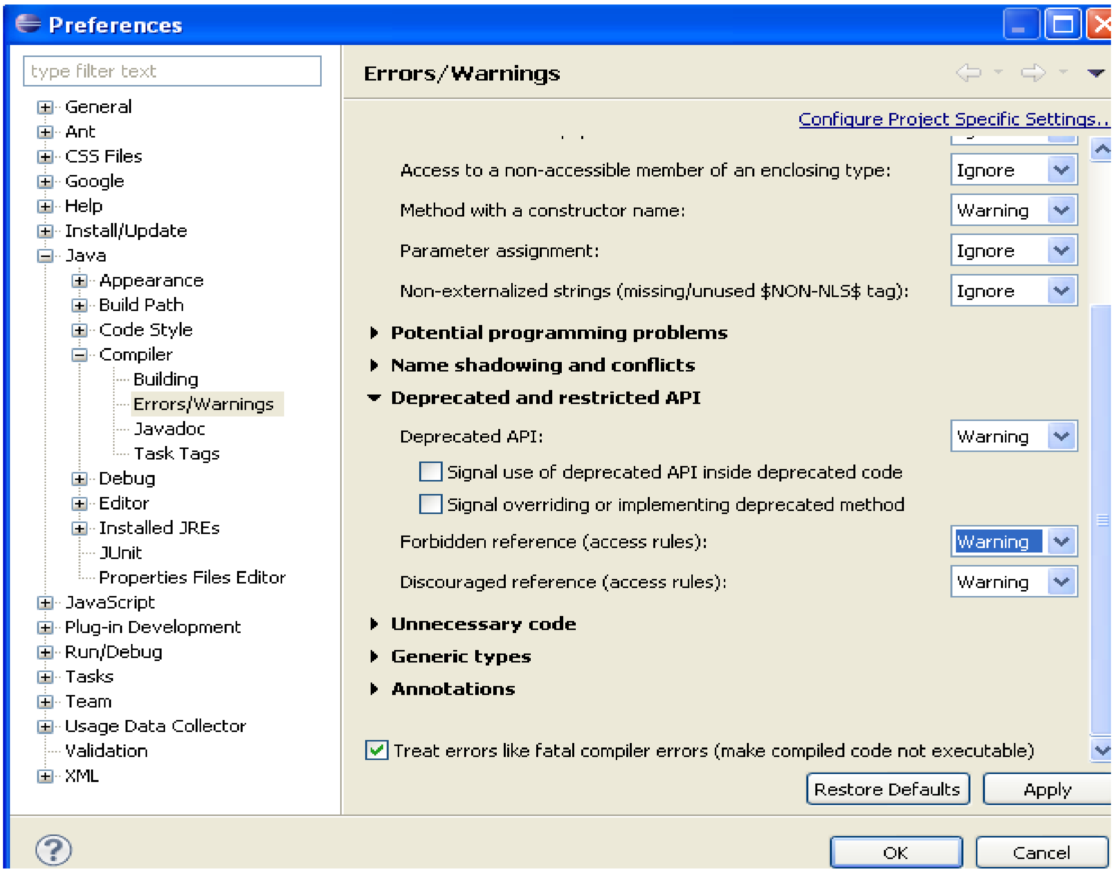
Σχήμα 5.18 : Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με τιμή κλίσης για το έδαφος 0^o και περιθώριο 2 μετρά

6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΩΔΙΚΑ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η δομή του πηγαίου κώδικα της εφαρμογής, ολόκληρη η εφαρμογή έχει γραφτεί στη γλώσσα προγραμματισμού JAVA και έχει οργανωθεί σε όσες περισσότερες κλάσεις ήταν δυνατόν, με σκοπό το πιο εύκολο γράψιμο και αποσφαλμάτωση του κώδικα.

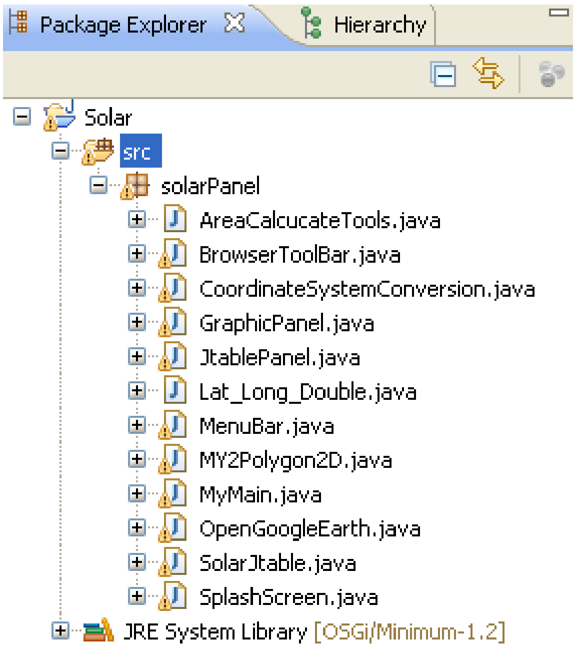
Η εγράφη του κώδικα έγινε με τη χρήση του περιβάλλοντος ανάπτυξης **Eclipse**, τα βήματα περιγράφονται στη συνέχεια. Πριν δημιουργηθεί νέα εργασία στο **eclipse** θα πρέπει να αλλάξει μια ρύθμιση, διαφορετικά ο πηγαίος κώδικας θα βγάζει λάθη, αυτό γίνεται πηγαίνοντας στο μενού **Windows-> Preferences-> Java-> Compiler-> Error/Warnings** , αλλάζουμε την τιμή της επιλογής **Forbidden reference (access rules)** σε Warning (**Σχήμα 6.1**).



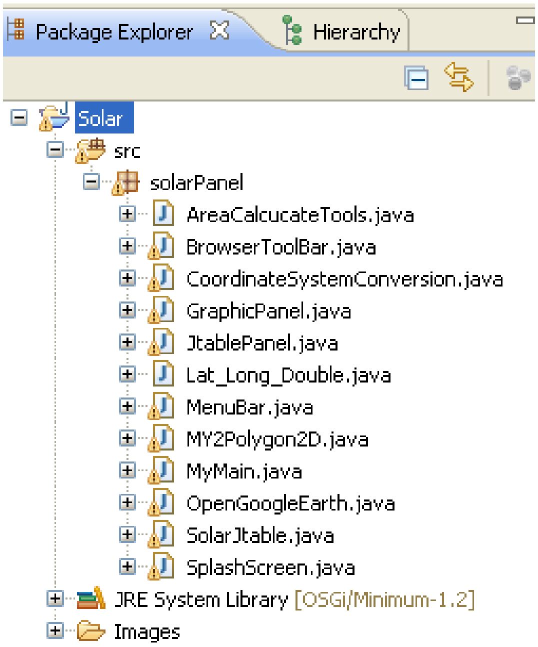
Σχήμα 6.1 : Ρύθμιση στο **eclipse**

Για να δημιουργήσουμε νέα εργασία πάμε στο μενού File-> New-> Java Project και δίνουμε ένα όνομα. Στη συνεχεία βρίσκουμε τον φάκελο solarPanels\diplomatiki src\src\solarPanel ο όποιος περιέχει τον πηγαίο κώδικα και τον σύρουμε όλων στην νέα εργασία που έχουμε δημιουργήσει, στον φάκελο **src** (**Σχήμα 6.2**).

Τέλος σύρουμε τον φάκελο Images που περιέχει τις εικόνες που χρησιμοποιεί η εφαρμογή στην εργασία, στον φάκελο **Solar** (**Σχήμα 6.3**).

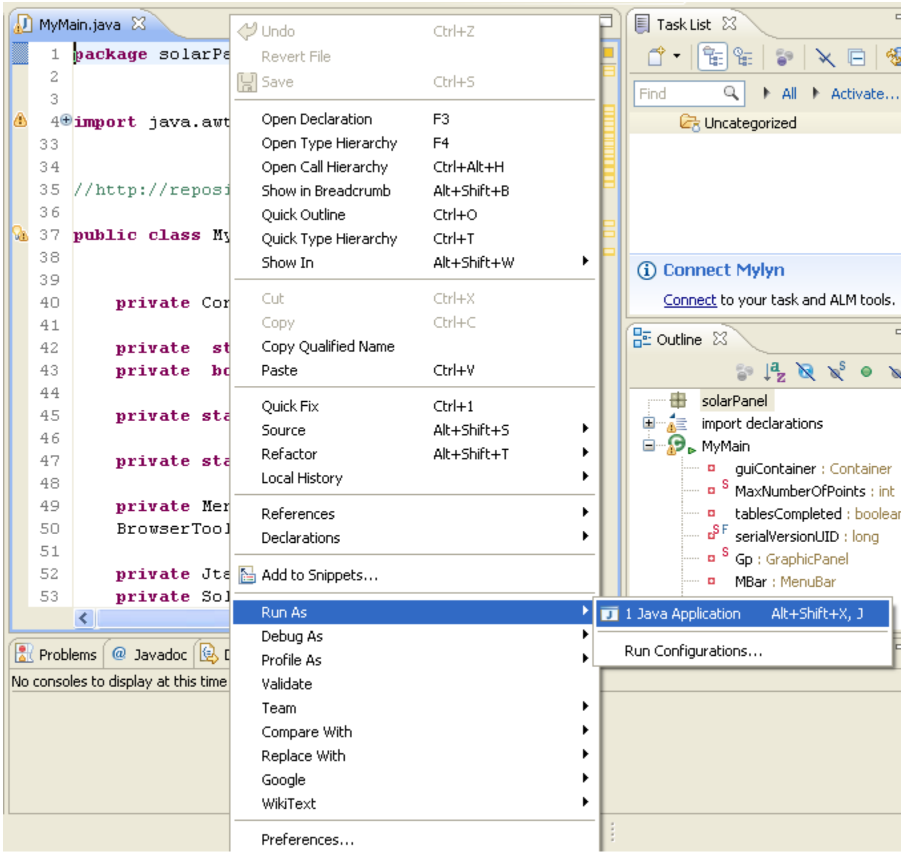


Σχήμα 6.2 : Φόρτωση πηγαίου κώδικα στην εργασία



Σχήμα 6.3 : Φόρτωση εικόνων στην εργασία

Εάν θέλουμε να τρέξουμε την εφαρμογή ανοίγουμε την κλάση Mymain, πατάμε δεξί κλικ πάνω της και στην συνέχεια Run as-> Java Application (**Σχήμα 6.4**).



Σχήμα 6.4 : Εκτέλεση εφαρμογής

6.2 Περιγραφή κλάσεων του πηγαίου κώδικα

Η εργασία αποτελείται από τις παρακάτω κλάσεις:

- AreaCalcucateTools.java
- BrowserToolBar.java
- CoordinateSystemConversion.java
- GraphicPanel.java
- JtablePanel.java
- Lat_Long_Double.java
- MenuBar.java
- MY2Polygon2D.java
- MyMain.java
- OpenGoogleEarth.java
- SolarJtable.java
- SplashScreen.java

Παρακάτω περιγράφεται η γενική λειτουργία της κάθε μία κλάση ξεχωριστά καθώς και η κυριότερες συναρτήσεις της.

6.2.1 AreaCalcucateTools.java

Στην κλάση αυτή υπάρχουν συναρτήσεις για τον υπολογισμό:

- Του εμβαδού του αγροτεμαχίου .
- Της Απόστασης που πρέπει να έχουν οι σειρές των Φ/Β για να μην σκιάζονται.
- Του μήκους μιας μοίρας του γεωγραφικού πλάτους και μήκους σε μέτρα.

Επιπλέον περιέχει κάποιες βοηθητικές συναρτήσεις για την μετατροπή πραγματικών τιμών, όπως οι διαστάσεις του Φ/Β, σε πίξελ για την σωστή αναπαράσταση στην γραφική εφαρμογή. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες συναρτήσεις:

- `private double[] degreeLengthLatitudeLongitude(double lat1)`

  Επιστρέφει την τιμή της μιας μοίρας γεωγραφικού πλάτους και μήκους σε μέτρα.

- `public double SignedPolygonArea(Lat_Long_Double[] polygon)`

  Επιστρέφει το εμβαδό του αγροτεμαχίου σε τετραγωνικά μέτρα.

- `public double marginToPixel(Lat_Long_Double[] polygon,double fixedMaxX,double fixedMaxY,double meters)`

  Επιστρέφει την αντιστοίχηση από μέτρα σε πίξελ του περιθωρίου.

- `public double solarWidthToPixel(Lat_Long_Double[]polygon, double fixedMaxX,double fixedMaxY,double solarWidth)`

  Επιστρέφει την αντιστοίχηση από μέτρα σε πίξελ του πλάτους του Φ/Β.

- `public doublesolarHeightToPixel(Lat_Long_Double[]polygon,`

double fixedMaxX,**double** fixedMaxY,**double** degreeLat,**double** solarHeight)

Επιστρέφει την αντιστοίχηση από μέτρα σε πίξελ του μήκους του Φ/Β.

- **public double**[] convertXtoPixels(**double** fixedMaxX,**double** minX,**double** maxX,**double** degree)

  Επιστρέφει την αντιστοίχηση σε πίξελ του γεωγραφικού μήκους.

- **public double**[] convertYtoPixels(**double** fixedMaxY,**double** minY,**double** maxY,**double** degree)

  Επιστρέφει την αντιστοίχηση σε πίξελ του γεωγραφικού πλάτους.

- **public** Lat_Long_Double[]convertDergeeToPixels (Lat_Long_Double[] polygon,**double** fixedMaxX,**double** fixedMaxY)

  Επιστρέφει την αντιστοίχηση σε πίξελ του γεωγραφικού πλάτους και μήκους.

- **public** Lat_Long_Double[]convertPixelsToDergee (Lat_Long_Double[] polygon,**double** fixedMaxY)

  Επιστρέφει την αντιστοίχηση από πίξελ, σε γεωγραφικό πλάτος και μήκος.

- **public double** solarPanelDistance(**double**solarPanelHeigth, **double** latitude,**double** solarAngle,**double** groundSlope)

  Υπολογίζει και επιστρέφει την απόσταση των σειρών των Φ/Β σε μέτρα , λαμβάνοντας υπόψιν τυχόν κλίση του εδάφους.

6.2.2 BrowserToolBar.java

Η κλάση αυτή χρησιμοποιείτε για να τοποθετήσει και να αρχικοποιήσει την γραμμή εργαλείων στην γραφική εφαρμογή, που σε αυτή την περίπτωση περιέχει μια συμβολοσειρά η οποία μας πληροφορεί για τον αλγόριθμο τοποθετήσεως των Φ/Β και των αριθμό τους.

Περιέχει την παρακάτω συνάρτηση :

- `public void setTextLabels(boolean labelsAreEnabled)`
  Αρχικοποίηση της συμβολοσειράς στην γραμμή εργαλείων.

6.2.3 CoordinateSystemConversion.java

Η κλάση αυτή χρησιμοποιείτε για την μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων σε παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή (UTM) ή στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) και το ανάποδο.

Οι κυριότερες συναρτήσεις που περιέχει είναι οι παρακάτω :

- `public double[] LatLon2EGSA87(double f,double l)`
  Μετατροπή από γεωγραφικές συντεταγμένες στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) .

- `public double [] EGSA872LatLon (double x,double y)`
  Μετατροπή από το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) σε γεωγραφικές συντεταγμένες.

- `private void validate(double latitude, double longitude)`
  Ελέγχει εάν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος είναι εντός ορίων.

- `public double degreeToRadian(double degree)`
  Μετατροπή μοιρών σε ακτίνια.

- `public double radianToDegree(double radian)`
  Μετατροπή ακτινίων σε μοίρες.

- `protected void setVariables(double latitude, double longitude)`
  Αρχικοποίηση μεταβλητών.

- `protected String getLongZone(double longitude)`
  Επιστρέφει την ζώνη στην επιφάνεια της γης με βάση τις συντεταγμένες χρησιμοποιήστε στο UTM .

Επίσης περιέχει τις βοηθητικές εσωτερικές κλάσης:

- `private class LatLon2MGRUTM extends LatLon2UTM`
- `private class MGRUTM2LatLon extends UTM2LatLon`
- `private class UTM2LatLon`
- `private class Digraphs`
- `private class LatZones`

6.2.4 GraphicPanel.java

Η κλάση αυτή μαζί με την κλάση MyMain.java είναι οι πιο σημαντικές. Είναι υπεύθυνη για τον γραφικό σχεδιασμό του αγροτεμαχίου και των Φ/Β, καθώς επίσης και για τον υπολογισμό και την σχεδίαση του περιθωρίου του αγροτεμαχίου. Στην κλάση αυτή υλοποιείτε ο αλγόριθμος για την τοποθέτηση των Φ/Β και για την λήψη του στιγμιότυπου της εικόνας του πάνελ.

Οι κυριότερες συναρτήσεις είναι οι παρακάτω:

- `public void clear()`
  Αρχικοποιεί το πάνελ και τα σημεία του αγροτεμαχίου και των Φ/Β.

- `public void setPoints(Lat_Long_Double lld)`
  Αρχικοποιεί τα σημεία του πάνελ με πίξελ, τα οποία ορίζουν το αγροτεμάχιο και με βάση αυτά τα σημεία γίνεται η τοποθέτηση των Φ/Β.

- `public GraphicPanel () throws ImageFormatException, IOException`
  Αρχικοποιεί το πάνελ και είναι υπεύθυνη για την φόρτωση της εικόνας που φαίνεται στο βάθος.

- `public double[] intersection(double x1,double y1,double x2,double y2,double x3, double y3, double x4,double y4)`
  Ελέγχει εάν ένα πολύγωνο επικαλύπτει ένα άλλο.

- `private MY2Polygon2D scale( double offsetPixels)`
  Είναι υπεύθυνη για τον υπολογισμό του περιθωρίου του αγροτεμάχιου

- `public void paint(Graphics g)`
  Είναι υπεύθυνη για των σχεδιασμό του αγροτεμαχίου με ή χωρίς περιθώριο, καθώς επίσης και για τον υπολογισμό της θέσης και την σχεδίαση των Φ/Β.

- `public void setSnapshootPath(String snapshootPath)`
  Ορίζει την θέση στον δίσκο που θα αποθυκευτεί η εικόνα του στιγμιότυπου.

- `public void setSnapshoot()`
  Όποτε καλείται γίνεται λήψη του στιγμιότυπου της εικόνας του πάνελ

6.2.5 JtablePanel.java

Η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για την εισαγωγή, αλλά και φόρτωση/σώσιμο στον/από τον δίσκο των συντεταγμένων του αγροτεμαχίου. Επίσης καλεί τις κατάλληλες συναρτήσεις για την μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων σε παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή (UTM) ή στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) και το ανάποδο.

Οι κυριότερες συναρτήσεις είναι οι παρακάτω:

- `public void initializeTables(int numberOfPoints)`
  Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την αρχικοποίηση των πινάκων των σημείων.

- `public double[][] getLatitude_Longitude_Table_Data()`
  Η συνάρτηση αυτή μας επιστρέφει όλα τα δεδομένα που περιέχει ο πίνακας στον οποίο αποθηκεύονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες.

- `public double[][] getEGSA87_Table_Data()`
  Η συνάρτηση αυτή μας επιστρέφει όλα τα δεδομένα που περιέχει ο πίνακας στον οποίο αποθηκεύονται οι συντεταγμένες στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς.

- `public String[][] getUTM_Table_Data()`
  Η συνάρτηση αυτή μας επιστρέφει όλα τα δεδομένα που περιέχει ο πίνακας στον οποίο αποθηκεύονται οι συντεταγμένες σε παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή.

- `public Object GetData(JTable table, int row_index, int col_index)`
  Η συνάρτηση αυτή μας επιστρέφει από ένα συγκεκριμένο πίνακα μια μοναδική τιμή του, η οποία ορίζεται από την θέση της στήλης και της γραμμής.

- `public void setData(JTable table, int row_index, int col_index,Object value)`
  Η συνάρτηση αυτή θέτει σε ένα συγκεκριμένο πίνακα μια τιμή, η οποία ορίζεται από την θέση της στήλης και της γραμμής.

- `private void CoordinateConversion(int first_table,int numofPoints)`
  Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την μετατροπή και συμπλήρωση των συντεταγμένων από τον έναν πίνακα στους άλλους δυο στην κατάλληλη μορφή.

- `public void actionPerformed(ActionEvent e)`
  Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την <<ακρόαση>> των γεγονότων από το πάτημα των κουμπιών και έναρξη των κατάλληλων συναρτήσεων ή διεργασιών.

6.2.6 Lat_Long_Double.java

Η κλάση αυτή χρησιμοποιείτε σαν ένας νέος πολύπλοκος τύπος δεδομένων για την διευκόλυνση κατά το κάλεσμα συναρτήσεων από άλλες κλάσεις, οι οποίες συναρτήσεις χρειάζονται πολλαπλά ορίσματα. Η κλάση περιέχει συναρτήσεις οι οποίες απλά αρχικοποιούν μεταβλητές ή θέτουν νέες τιμές ή απλά επιστρέφουν τιμές.

6.2.7 MenuBar.java

Η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για την δημιουργία και εμφάνιση του μενού και των υπομενού της γραφικής εφαρμογής.

Η κυριότερη συνάρτηση είναι η παρακάτω:

- `public JMenuBar createMenuBar()`

  Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την δημιουργία του κυρίου μενού του προγράμματος.

6.2.8 MY2Polygon2D.java

Η κλάση αυτή χρησιμοποιείτε σαν ένας νέος πολύπλοκος τύπος δεδομένων και ορίζει τα σημεία ενός πολυγώνου και ορισμένων επιπλέον πληροφοριών. Χρησιμοποιείτε για την αναπαράσταση του αγροτεμαχίου αλλά και των παραλληλογράμμων που ορίζουν τα Φ/Β.

Οι κυριότερες συναρτήσεις είναι οι παρακάτω:

- `public void reset()`

  Η συνάρτηση αυτή αρχικοποιεί το πολύγωνο που ορίζει η κλάση αυτή.

- `public void invalidate()`

  Η συνάρτηση αυτή αρχικοποιεί μόνο τα όρια του πολυγώνου.

- `public double getMaxX()`

  Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το μέγιστο x από όλα τα σημεία που ορίζουν το πολύγωνο αυτό.

- `public double getMaxY()`

  Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το μέγιστο y από όλα τα σημεία που ορίζουν το πολύγωνο αυτό.

- `public double getMinX()`

  Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το ελάχιστο x από όλα τα σημεία που ορίζουν το πολύγωνο αυτό.

- `public double getMinY()`

  Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το ελάχιστο y από όλα τα σημεία που ορίζουν το πολύγωνο αυτό.

- `public double SignedPolygonArea()`

  Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το εμβαδό του πολυγώνου.

- `public double[] PolygonCenterOfMass()`

  Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το κέντρο μάζας του πολυγώνου.

- `void calculateBounds(double xpoints[], double ypoints[], int npoints)`

  Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τα όρια του πολυγώνου, πιο συγκεκριμένα το μέγιστο/ελάχιστο x και y του πολυγώνου

- `void updateBounds(double x, double y)`

  Η συνάρτηση αυτή ορίζει καινούρια όρια για το πολυγώνου.

- `public void addPoint(double x, double y)`

  Η συνάρτηση αυτή εισάγει ένα νέο σημείο για το πολύγωνο.

- `public void addPoint(Point2D p2d)`

  Η συνάρτηση αυτή εισάγει ένα νέο σημείο για το πολύγωνο.

- `public Rectangle getBounds()`

  Η συνάρτηση αυτή μας επιστρέφει τα όρια του πολυγώνου με την μορφή τετραγώνου.

- `public boolean contains(Point p)`

  Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν το πολύγωνο περιέχει στο εσωτερικό του το σημείο που ορίζει το όρισμα της συνάρτησης.

- **public boolean** contains(**int** x, **int** y)

  Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν το πολύγωνο περιέχει στο εσωτερικό του το σημείο που ορίζει το όρισμα της συνάρτησης.

- **public** Rectangle2D getBounds2D()

  Η συνάρτηση αυτή μας επιστρέφει τα όρια του πολυγώνου με την μορφή τετραγώνου.

- **public boolean** contains(**double** x, **double** y)

  Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν το πολύγωνο περιέχει στο εσωτερικό του το σημείο που ορίζει το όρισμα της συνάρτησης.

- **public boolean** intersects(**double** x, **double** y, **double** w, **double** h)

  Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν το πολύγωνο επικαλύπτετε από το παραλληλόγραμμο που ορίζουν τα ορίσματα της συνάρτησης.

- **public boolean** intersects(Rectangle2D r)

  Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν το πολύγωνο επικαλύπτετε από το παραλληλόγραμμο που ορίζει το όρισμα της συνάρτησης.

- **public boolean** contains(**double** x, **double** y, **double** w, **double** h)

  Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν το πολύγωνο περιέχει στο εσωτερικό του το παραλληλόγραμμο που ορίζουν τα ορίσματα της συνάρτησης.

- **public boolean** contains(Rectangle2D r)

  Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν το πολύγωνο περιέχει στο εσωτερικό του το παραλληλόγραμμο που ορίζει το όρισμα της συνάρτησης.

6.2.9 MyMain.java

Η κλάση αυτή είναι η πιο **<u>σημαντική</u>** κλάση του προγράμματος καθώς από αυτήν ξεκινάει η εφαρμογή. Επιπλέον όλες σχεδόν οι άλλες κλάσεις εδώ αρχικοποιούνται, και καλούνται οι συναρτήσεις που περιέχουν. Η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για το <<κτίσιμο>> του γραφικού περιβάλλοντος και για την εμφάνιση των διαφόρων αποτελεσμάτων, καθώς επίσης και για την <<ακρόαση>> των διαφόρων συμβάντων και το κάλεσμα των κατάλληλων συναρτήσεων.

Οι κυριότερες συναρτήσεις είναι οι παρακάτω:

- `private JPanel PointTab()`

  <u>Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την αρχικοποίηση των κλάσεων και των στοιχείων (όπως τα κουμπιά) που χρησιμοποιούνται για το γραφικό κτίσιμο της εμφάνισης της εφαρμογής.</u>

- `private void refreshShow()`

  <u>Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για το φρεσκάρισμα του πάνελ που σχεδιάζεται το αγροτεμάχιο και τα Φ/Β.</u>

- `public void actionPerformed(ActionEvent e)`

  <u>Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την ακρόαση των συμβάντων, όπως το πάτημα ενός κουμπιού, και το κάλεσμα των κατάλληλων συναρτήσεων που ικανοποιούν τα συμβάντα αυτά.</u>

- `private void setLookAandFeel()`

  <u>Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την σωστή εμφάνιση του γραφικού παραθύρου έτσι ώστε το στυλ να ταιριάζει με το στυλ του λειτουργικού συστήματος, σε περίπτωση αποτυχίας φορτώνεται το προεπιλεγμένο στυλ της JAVA το οποίο υποστηρίζεται από όλα τα λειτουργικά συστήματα.</u>

- `protected void processWindowEvent(WindowEvent e)`

  Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για το παράθυρο επιβεβαίωσης κατά το κλείσιμο της εφαρμογής.

- `public static void main(String[] args) throws Exception`

  Η συνάρτηση αυτή είναι η κυριότερη από όλες τις άλλες διότι αυτή καλείτε πρώτη για την εκτέλεση της εφαρμογής, επιπλέον στην συνάρτηση αυτή ορίζεται το μέγεθος του κυρίου παραθύρου καθώς επίσης και η αρχική του θέση κατά την εκτέλεση.

6.2.10 OpenGoogleEarth.java

Η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση του αγροτεμαχίου με τη χρήση του **GOOGLE EARTH** έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η εύρεση της θέσης του αγροτεμαχίου στην επιφάνεια της γης.

Η κλάση περιέχει μόνο μια συνάρτηση:

- `public OpenGoogleEarth(Lat_Long_Double[] points)`

  Η συνάρτηση αυτή δημιουργεί ένα αρχείο με όνομα OpenGoogleEarth.html, με δεδομένα τις γεωγραφικές συντεταγμένες του αγροτεμαχίου, και στη συνέχεια το τρέχει με την βοήθεια του προκαθορισμένου περιηγητή για την εμφάνιση του αγροτεμαχίου. Στην περίπτωση που η αυτόματη εκτέλεση του αρχείου αποτύχει, μπορούμε να το τρέξουμε και χειροκίνητα.

6.2.11 SolarJtable.java

Η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση αλλά και για την επεξεργασία και σώσιμο των γεωγραφικών συντεταγμένων των Φ/Β.

Οι κυριότερες συναρτήσεις είναι οι παρακάτω:

- `public void initializeTable(Lat_Long_Double rec[])`

  Η συνάρτηση αυτή αρχικοποιεί των πίνακα με τις θέσεις των Φ/Β, σαν δεδομένα χρησιμοποιεί πίνακα ο οποίον υπολογίζεται από την κλάση **MyMain**.

- `public void actionPerformed(ActionEvent arg0)`

  Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την ακρόαση των συμβάντων, όπως το πάτημα του κουμπιού για το σώσιμο των σημείων των Φ/Β.

6.2.12 SplashScreen.java

Η κλάση αυτή είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση για ελάχιστο χρονικό διάστημα μιας εικόνας λίγο πριν ανοίξει η εφαρμογή.

Οι κυριότερες συναρτήσεις είναι οι παρακάτω:

- `public void open(int nMilliseconds)`
- Η συνάρτηση αυτή ορίζει τον χρόνο που θα ανοίξει η αρχική εικόνα και παράλληλα θα καθυστερήσει η κύρια εφαρμογή.
- `public void paint(Graphics graphics)`
- Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση της εικόνας.

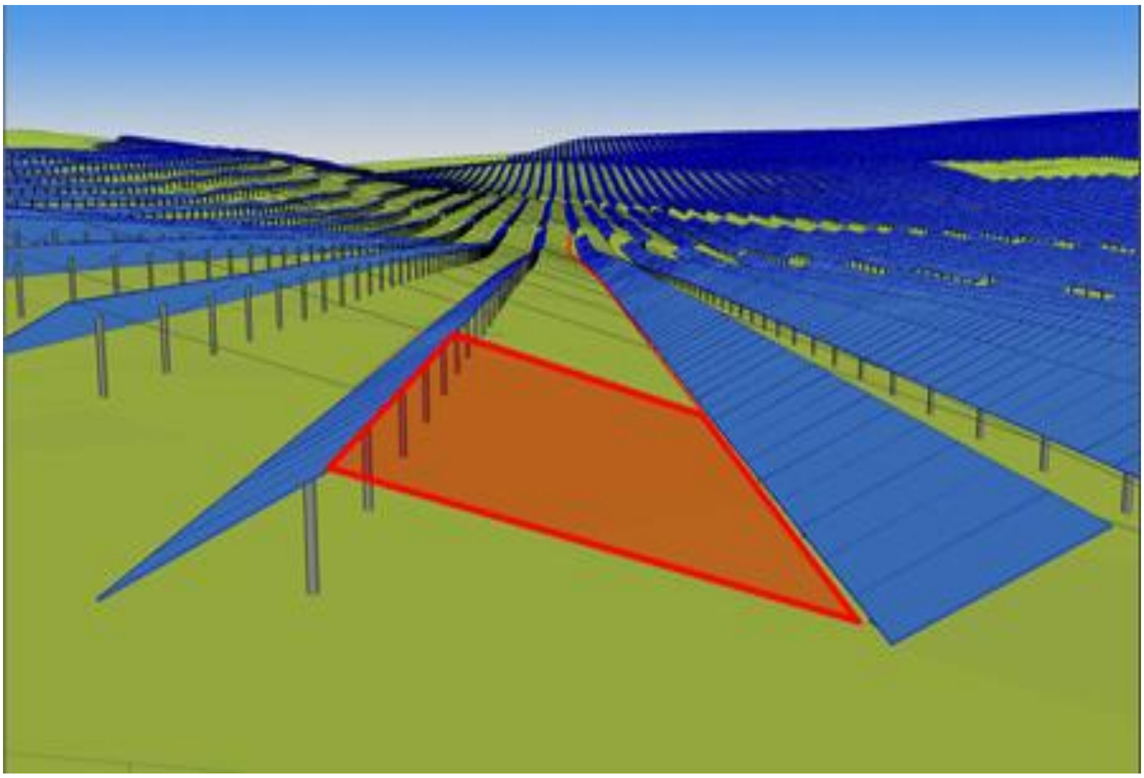
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Λόγω της διαφαινόμενης ενεργειακής κρίση από την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, η ανθρωπότητα έχει στραφεί προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή ενέργεια. Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος και μια αυτόνομη γραφική εφαρμογή για την βέλτιστη τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων με σκοπό την καλύτερη εκμετάλλευση της υπάρχουσας γης.

Χρησιμοποιώντας την εφαρμογή, στα παραδείγματα του πέμπτου κεφαλαίου προκύπτει ότι αναλόγως τον τρόπο τοποθέτησης των Φ/Β πλαισίων στο ίδιο αγροτεμάχιο είναι δυνατόν να αυξηθεί ο αριθμός των Φ/Β, με αντίστοιχη αύξηση της παραγωγής ενέργειας.

Επίσης παρατηρούμε ότι ακόμη και μικρή κλίση στο έδαφος έχει αρκετή διαφορά στο αριθμό των Φ/Β που τελικά τοποθετούνται, με ακραία περίπτωση όταν το έδαφος έχει αρνητική κλίση, αρκετά μεγάλη έτσι ώστε η πρώτη σειρά σκιάζει όλες τις υπόλοιπες, οπότε το αγροτεμάχιο κρίνεται ακατάλληλο για τοποθέτηση Φ/Β.

Σαν μελλοντική επέκταση θα μπορούσε να γίνει βελτιστοποίηση του κώδικα, πιθανόν με χρήση δυναμικού προγραμματισμού, καθώς επίσης να ληφθεί υπόψιν η σκίαση όχι μόνο την μια σειράς στην άλλη, αλλά και σκίαση από άλλα εμπόδια όπως είναι τα δέντρα ή τυχόν κτίρια σε κοντινή απόσταση. Μια καλύτερη λύση θα ήταν να υπάρξει τρισδιάστατη αναπαράσταση του αγροτεμαχίου, των Φ/Β και του γύρω περιβάλλοντος, της διαδρομή του ηλίου στον γήινο ουρανό, όπως επίσης και της σκιά που ρίχνουν πίσω τους τα αντικείμενα για να είναι πιο ξεκάθαρο, εάν, και πια περίοδο του χρόνου κάποιο αντικείμενο σκιάζει τα Φ/Β.



Σχήμα 7.1: Προτεινόμενη τρισδιάστατη απεικόνιση για μελλοντική επέκταση

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2η Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2006.

[2] Σταμάτιος Κοιλάκος, ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ ΣΚΙΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ – ΚΩΔΙΚΑΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ , Διπλωματική εργασία , ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ , 2010.

[3] Άρης Κορνελάκης, Βελτιστοποίηση σχεδιασμού και αξιολόγηση συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ενέργειας σε ηλεκτρικά δίκτυα**,** Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008.

[4] Αθανάσιος Γ. Κουτσάκης , Γεώργιος Ε. Ζακάκις, Ανάπτυξη Διάταξης Πειραματικής Μελέτης Των Απωλειών Σκίασης Λόγω Της Διαδοχικής Διάταξης ΦΒ Συστοιχιών, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ,2011.

[5] Δήμητρα Αποστολοπούλου**,** Αναλυτικό Μοντέλο Ενεργειακής Απόδοσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Ενσωμάτωση με Εμπειρικών Δεδομένων, Διπλωματική εργασία , ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,2009.

[6] Γιάννης Καντάρης, Ανάπτυξη συστήματος sun-tracking για μεγιστοποίηση της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά στοιχεία, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2005

[7] Χ. Μπιλλήρης, Εισαγωγή στη Γεωδαισία, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ,Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, 2007**.**

[8] Κώστας Κατσάμπαλος, Αλεξάνδρα Κουσουλάκου, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις για το μάθημα <<Τοπογραφία και Θεματική Χαρτογραφία>>, Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2005.

[9] A.H Robinson, J.L. Morrison, P.C. Muehrcke, A. Jon Kimerling, &

S.C. Guptill, Elements of Cartography, John Wiley & Sons, Inc,

New York, 1995.

[10] Melita Kennedy and Steve Kopp , Understanding map projections: GIS by ESRI, Redlands, California: ESRI Press, 2000.

[11] Θ.Σ.Παπαθεοδώρου ,Σημειώσεις Γραμμικής Άλγεβρας , Πανεπιστήμιο Πατρών, 2005.

[12] Robert Sedgewick , Αλγόριθμοι σε JAVA, τρίτη αμερικάνικη έκδοση, Princeton University 2004.

[13] http://el.wikipedia.org/wiki/Γεωγραφικές_συντεταγμένες

[14] http://el.wikipedia.org/wiki/Ελληνικό_Γεωδαιτικό_Σύστημα_Αναφοράς_1987

[15] http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Transverse_Mercator_coordinate_system

[16] http://en.wikipedia.org/wiki/Geographical_distance

[17] http://en.wikipedia.org/wiki/Polygon#Area_and_centroid

[18] http://en.wikipedia.org/wiki/Shoelace_algorithm

[19] http://en.wikipedia.org/wiki/Law_of_sines

[20] http://en.wikipedia.org/wiki/Law_of_cosines

[21] http://en.wikipedia.org/wiki/Sunrise_equation

[22] http://en.wikipedia.org/wiki/Declination

[23] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_azimuth_angle

[24] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_elevation_angle

[25] http://www.reocities.com/Athens/Acropolis/2442/egsa_87.html

[26] http://users.auth.gr/labrinos/www.eled.auth.gr/geography/provoles.htm

[27] http://www.geo.auth.gr/322/chapter043.html