

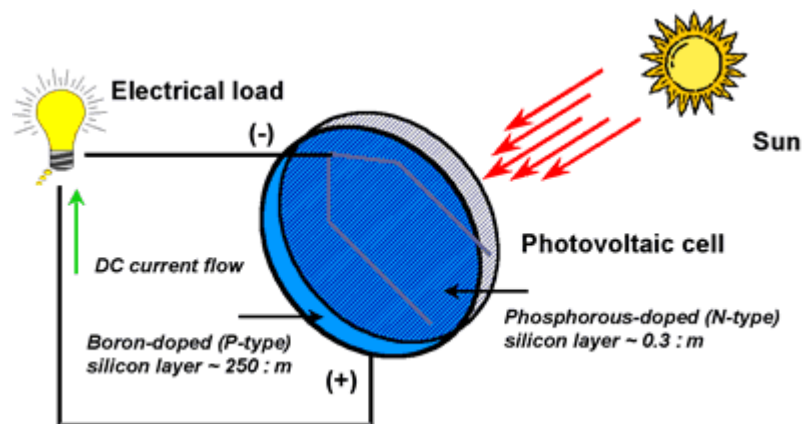
ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΑΝΑΘΕΣΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΚΑΠΛΑΝΗΣ

ΣΥΝΤΑΚΤΕΣ ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ ΑΓΓΕΛΟΥΔΙΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	
1.1 Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ.....	6
1.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	6
1.3 ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ.....	7
1.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ.....	8
1.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	9
1.6 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ.....	12
1.7 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	22
1.8 Η ΜΠΑΤΑΡΙΑ.....	25
1.9 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ	
2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΡV ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	
3.1 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	93
3.2 Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	95
3.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	96
3.4 Η ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	98
3.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΝΕΛ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ.....	99
3.6 ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	102

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, [φαινόμενο του θερμοκηπίου](#).

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.

ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΑΠΕ

Αιολική Ενέργεια: η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή / και σε ηλεκτρική ενέργεια.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια: Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (μέχρι 10 MW ισχύος) αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια.

Βιομάζα: είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.

Ηλιακή Ενέργεια, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα: αφορούν αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.

Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.

Γεωθερμική Ενέργεια: η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

Υδρογόνο: Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

- ⊕ Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- ⊕ Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- ⊕ Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- ⊕ Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- ⊕ Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

1. ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά (PV) ή ηλιακοί συλλέκτες όπως ονομάζονται, είναι συσκευές ημιαγωγών που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε συνεχές ρεύμα. Πολλές φωτοβολταϊκές κυψέλες (όπως ονομάζονται) τοποθετούνται σε συστοιχίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη φόρτιση μπαταριών, τη λειτουργία κινητήρων και γενικότερα την ηλεκτροδότηση συσκευών. Με τον κατάλληλο εξοπλισμό μετατροπής, τα συστήματα PV μπορούν να παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα για τις συμβατικές ηλεκτρικές συσκευές, και να λειτουργούν παράλληλα με το δίκτυο της ΔΕΗ.

1.1 Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

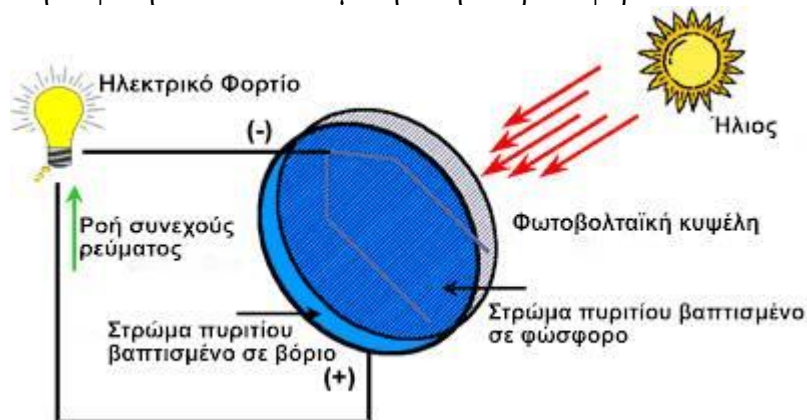
Αν και οι ηλιακές κυψέλες είναι διαθέσιμες από τα μέσα της δεκαετίας του '50, η επιστημονική έρευνα για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο άρχισε το 1839, όταν ο Γάλλος επιστήμονας, Henri Becquerel ανακάλυψε ότι ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να παραχθεί από τη λάμψη ενός φωτός επάνω σε ορισμένες χημικές ουσίες.

Η επίδραση παρατηρήθηκε αρχικά σε ένα στερεό υλικό (σε αυτήν την περίπτωση το σελήνιο) το 1877. Αυτό το υλικό χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια στα φωτόμετρα, τα οποία απαιτούσαν πολύ μικρά ποσά ενέργειας.

Μια βαθύτερη κατανόηση των φυσικών αρχών που συνδέονται με το φαινόμενο δόθηκε από τον Einstein το 1905 και τον Schottky το 1930. Αυτές οι ερμηνείες ήταν απαραίτητες για να μπορέσουν να γίνουν ποιο αποδοτικές οι ηλιακές κυψέλες. Μια τέτοια κυψέλη πυριτίου που μετέτρεπε το 6% της ηλιακής ενέργειας που έπεφτε επάνω της, σε ηλεκτρική ενέργεια αναπτύχθηκε από τους Chapin, Pearson και Fueller το 1954, και χρησιμοποιήθηκε σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως οι διαστημικοί δορυφόροι, από το 1958.

1.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

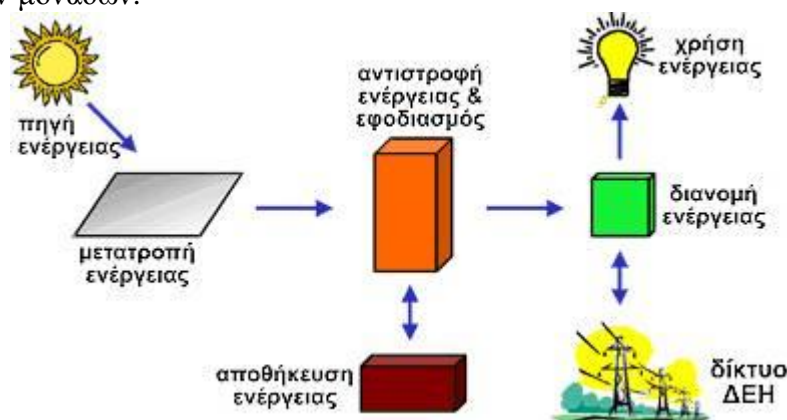
Μια τυπική φωτοβολταϊκή κυψέλη πυριτίου αποτελείται από ένα λεπτότατο στρώμα πυριτίου βαπτισμένο σε φώσφορο (τύπος N) πάνω σε ένα πιο παχύ στρώμα πυριτίου, βαπτισμένο σε βόριο (τύπος P). Κοντά στην κορυφή της κυψέλης όπου αυτά τα δύο υλικά εφάπτονται, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στην επιφάνεια της κυψέλης, αυτό το ηλεκτρικό πεδίο παρέχει ορμή και κατεύθυνση σε ηλεκτρόνια που διεγείρονται από το φως, με αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος όταν η κυψέλη είναι συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό φορτίο.



Σχήμα (1.1). Φωτοβολταϊκή κυψέλη

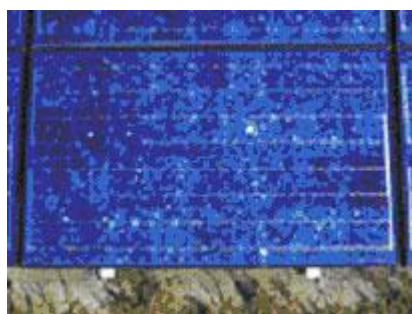
Ασχέτως μεγέθους, μια τυπική φωτοβολταϊκή κυψέλη παράγει περίπου 0,5-0,6 βολτ συνεχούς ρεύματος σε συνθήκες μηδενικού φορτίου και ανοικτού κυκλώματος. Η ποσότητα ρεύματος που παράγει η κυψέλη εξαρτάται από την αποτελεσματικότητάς της και το μέγεθός της και είναι ανάλογη με την ένταση του ηλιακού φωτός που τη χτυπάει. Για παράδειγμα, κάτω από έντονο ηλιακό φως, μια τυπική PV κυψέλη με επιφάνεια 160 τετρ. εκατοστά παράγει περίπου 2 Watt μέγιστη ισχύ.

Με απλά λόγια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι παρόμοια με οποιαδήποτε άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας, απλά ο εξοπλισμός διαφέρει. Ωστόσο, οι αρχές λειτουργίας και διασύνδεσης με άλλα ηλεκτρικά συστήματα παραμένουν οι ίδιες. Παρόλο που μια μονάδα PV παράγει ρεύμα όταν εκτίθεται σε ηλιακό φως, μια σειρά από άλλα στοιχεία είναι απαραίτητα ώστε να γίνουν σωστά ο έλεγχος, η μετατροπή, η διανομή και η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα. Αναλόγως με τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, τα απαραίτητα συστατικά του μπορεί να περιέχουν μετατροπείς DC-AC (συνεχούς/εναλλασσόμενου), συστοιχία μπαταριών, ρυθμιστές συστήματος και μπαταρίας, βοηθητικές πηγές ενέργειας κ.ο.κ. Επιπλέον μπορεί να είναι απαραίτητες μονάδες για την ασφάλεια του συστήματος όπως ειδική καλωδίωση, προστασία από υπερβολική τάση και άλλος εξοπλισμός επεξεργασίας ρεύματος. Το σχήμα 2 δείχνει ένα βασικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και τη σχέση των ξεχωριστών μονάδων.



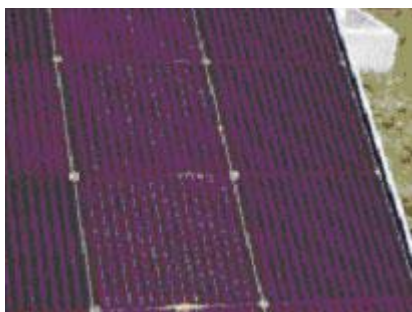
Σχήμα (1.2) Τα κυριότερα μέρη ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος

1.3 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ



Μονοκρυσταλικά (m-Si)

Οι μονοκρυσταλλικές κυψέλες κατασκευάζονται τεμαχίζοντας έναν ενιαίο κρύσταλλο, (πάχος κυψέλης 1/3 έως 1/2 του χιλιοστού), από ένα μεγάλο πλίνθωμα ενιαίου κρυστάλλου που έχει επεξεργαστεί σε θερμοκρασίες περίπου 1400°C, κάτι που είναι μια πολύ ακριβή διαδικασία. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν και την μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή μετατρέπουν μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Η απόδοση τους κυμαίνεται γύρω στο 18%-23%, δηλαδή αν η ηλιακή ακτινοβολία είναι 700 Wh/μ² την ημέρα τότε αυτά θα παράγουν για την συγκεκριμένη μέρα 120 Wh/μ² με 160 Wh/μ².



Πολυκρυσταλικά (p-Si)

Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες γίνονται με μια διαδικασία χύτευσης στην οποία το λειωμένο βιομηχανικό πυρίτιο χύνεται σε μια φόρμα όπου και μορφοποιείται. Κατόπιν τεμαχίζεται στις γκοφρέτες. Δεδομένου ότι οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες γίνονται από χύτευση είναι σημαντικά φτηνότερη η παραγωγή τους, αλλά όχι τόσο αποδοτικές όσο και οι μονοκρυσταλλικές. Αυτή η χαμηλότερη

αποδοτικότητα, που κυμαίνεται μεταξύ 13% και 15%, οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.



Άμορφου πυριτίου (a-Si)

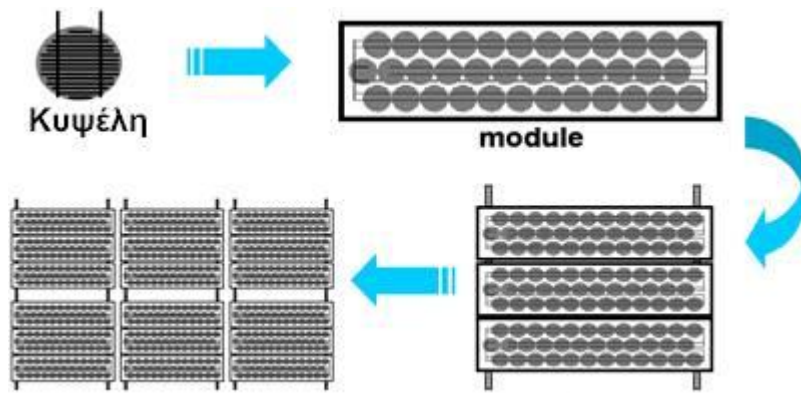
Το άμορφο πυρίτιο, μια από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης (thin film technology), γίνεται με την εναπόθεση του πυριτίου επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού από ένα αντιδραστικό αέριο όπως το σιλάνιο (SiH_4). Δεν έχει κρυσταλλική δομή, και το πάχος του (2-3 μm) είναι ιδιαίτερα μικρότερο από το κρυσταλλικής μορφής πυρίτιο (200-500 μm). Από κατασκευαστική άποψη είναι το απλούστερο και

επομένως το πιο φθινό, αλλά η απόδοσή του είναι συγκριτικά μικρότερη. Παρόλα αυτά, είναι ικανοποιητική ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης ηλιοφάνειας. Τα ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου έχουν μια κοκκινωπή-καφέ απόχρωση, σχεδόν μαύρη, και επιφάνεια αποτελούμενη από στενές, μεγάλου μήκους λωρίδες. Η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 4% και 11%, ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.

Ασχέτως μεγέθους, μια τυπική φωτοβολταϊκή κυψέλη παράγει περίπου 0,5-0,6 βολτ συνεχούς ρεύματος σε συνθήκες μηδενικού φορτίου και ανοικτού κυκλώματος. Η ποσότητα ρεύματος που παράγει η κυψέλη εξαρτάται από την αποτελεσματικότητάς της και το μέγεθός της και είναι ανάλογη με την ένταση του ηλιακού φωτός που τη χτυπάει. Για παράδειγμα, κάτω από έντονο ηλιακό φως, μια τυπική PV κυψέλη με επιφάνεια 160 τετρ. εκατοστά παράγει περίπου 2 Watt μέγιστη ισχύ.

1.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευάζονται από φωτοβολταϊκά κύτταρα (που δεν παράγονται απαραίτητα από τον κατασκευαστή του Φ/Β πλαισίου) τα οποία συνδέονται εν σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την εφαρμογή που τα προορίζει ο κατασκευαστής τους. Καλύπτονται από το μπροστινό μέρος με γυαλί ή πλαστικό τύπου Tedlar ενώ το πίσω μέρος στεγανώνετε συνήθως με ένα πολυμερές υλικό, το EVA (Αιθυλένιο, βινύλιο και άλας οξικού οξέος). Οι κατασκευές αυτές πλαισιώνονται από προφίλ αλουμινίου για περιμετρική στεγανοποίηση και ευκολία στην τοποθέτηση. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει στα πολυ-κρυσταλλικά και μονο-κρυσταλλικά Φ/Β πλαίσια. Στα πλαίσια άμορφου πυριτίου το υλικό της σιλικόνης εναποτίθεται κατά τη διάρκεια παραγωγής του επάνω στο γυαλί μειώνοντας αισθητά το κόστος κατασκευής του πλαισίου. Η στεγάνωση του πλαισίου γίνεται επίσης με τη



Σχήμα (1.3). Φωτοβολταϊκές κυψέλες, modules, panels και συστοιχίες

χρήση EVA, όμως επειδή το υλικό που εναποτίθεται είναι πολύ πιο λεπτό (0.5μm αντί 350μm) από τα κρυσταλλικά κύτταρα δεν είναι απαραίτητο το αλουμινένιο πλαίσιο καθώς επιτυγχάνεται επαρκής στεγανότητα με την κάλυψη του EVA.

Να σημειωθεί ότι η αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ιδιαίτερα των κρυσταλλικών τύπων, δεν είναι η ίδια με τα κύτταρα που χρησιμοποιούνε καθώς σημαντικό μέρος της επιφάνειας του πλαισίου μένει ανεκμετάλλετο λόγω του σχήματος των κύτταρων και του χώρου που χρειάζεται για τη συνδεσμολογία μεταξύ τους. Στα πλαίσια άμορφου πυριτίου όμως επειδή η εναπόθεση του υλικού καλύπτει όλη την επιφάνεια του γυαλιού, αυτό το μειονέκτημα ελαχιστοποιείται.

Τέλος, πολλά Φ/Β πλαίσια σχηματίζουν τις Φ/Β συστοιχίες. Στις συστοιχίες ο εγκαταστάτης μπορεί να ενώσει τα πλαίσια σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα την τάση και την ένταση του ρεύματος που επιθυμεί για το σύστημα του.

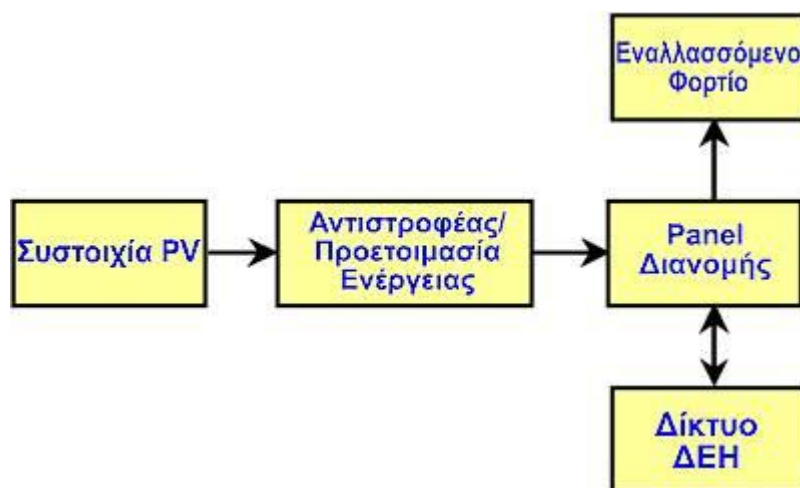
1.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα γενικά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις τους, τη διαμόρφωση των συστατικών τους μονάδων και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται σε άλλες πηγές ενέργειας και ηλεκτρικά φορτία. Οι δύο βασικές κατηγορίες είναι τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ρεύματος της ΔΕΗ και τα ανεξάρτητα συστήματα. Τα συστήματα PV μπορούν να παρέχουν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, να λειτουργούν διασυνδεδεμένα ή ανεξάρτητα από το δίκτυο παροχής ρεύματος της ΔΕΗ και να συνδέονται με άλλες ενεργειακές πηγές και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν παράλληλα και διασυνδεδεμένα με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Το βασικό συστατικό ενός τέτοιου συστήματος είναι ο μετατροπέας. Η μονάδα αυτή μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται από το σύστημα σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) με προδιαγραφές ίδιες με αυτές του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ. Το φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με το δίκτυο με ένα ειδικό

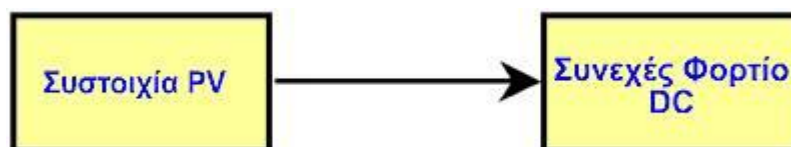
τρόπο, και παρέχει ενέργεια για την τροφοδότηση των ηλεκτρικών φορτίων, μειώνοντας ή μηδενίζοντας έτσι την ενέργεια που χρειάζεται να αντλούμε από το δίκτυο της ΔΕΗ. Τη νύχτα και σε περιόδους που τα ηλεκτρικά φορτία είναι μεγαλύτερα από την ισχύ που παράγει το σύστημα, αντλείται ισχύς από το δίκτυο της ΔΕΗ



Σχήμα (1.4) Διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ.

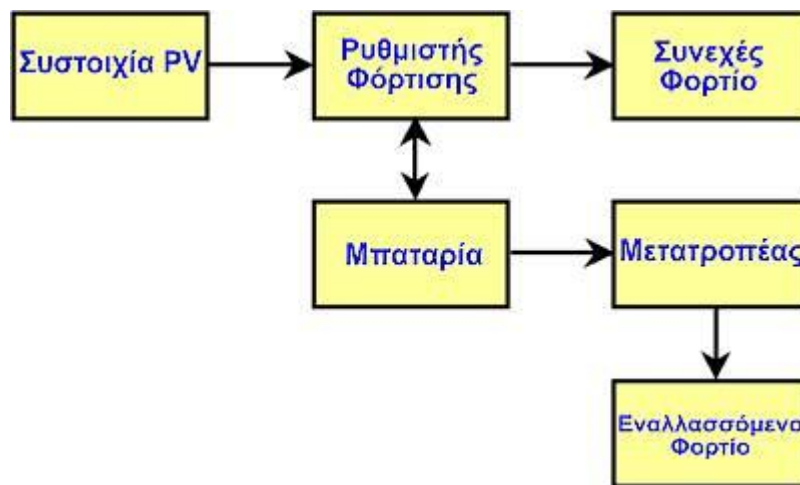
Ανεξάρτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα ανεξάρτητα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν ανεξάρτητα από το δίκτυο παροχής ρεύματος της ΔΕΗ και είναι γενικά κατασκευασμένα ώστε να τροφοδοτούν φορτία συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτοί οι τύποι συστημάτων μπορεί να τροφοδοτούνται μόνο από μια συστοιχία φωτοβολταϊκών ή μπορεί να χρησιμοποιούν τον άνεμο ή ηλεκτρογεννήτριες σαν βοηθητική πηγή ενέργειας, οπότε και ονομάζονται Υβριδικά Φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο πιο απλός τύπος ανεξάρτητου συστήματος είναι τα συστήματα άμεσης ζεύξης, όπου το συνεχές ρεύμα της εξόδου του φωτοβολταϊκού οδηγείται απευθείας σε ένα φορτίο συνεχούς ρεύματος (σχήμα 5). Επειδή δεν υπάρχει αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα αυτά, το φορτίο λειτουργεί μόνο κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, κάνοντας το σύστημα αυτό ιδανικό για εφαρμογές όπως ανεμιστήρες εξαερισμού, αντλίες νερού, και μικρούς κυκλοφορητές για ηλιακούς θερμοσίφωνες. Το ακριβές ταίριασμα της ωμικής αντίστασης του ηλεκτρικού φορτίου με την μέγιστη ισχύ εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι ένα κρίσιμο βήμα στο σχεδιασμό συστημάτων άμεσης ζεύξης με ικανοποιητική απόδοση.



Σχήμα (1.5). Διάγραμμα συνεχούς ζεύξης.

Σε πολλά ανεξάρτητα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούνται μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας. Το σχήμα 6 δείχνει ένα διάγραμμα ενός τυπικού ανεξάρτητου συστήματος με μπαταρίες, το οποίο τροφοδοτεί φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Το σχήμα 7 δείχνει πως μπορεί να σχεδιαστεί ένα τυπικό υβριδικό σύστημα.



Σχήμα (1.6). Ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό σύστημα με αποθήκευση σε μπαταρία η οποία τροφοδοτεί καταναλωτές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η χρήση των φωτοβολταϊκών τις περισσότερες φορές απαιτεί την ύπαρξη και άλλων στοιχείων στο ηλεκτρολογικό σύστημα για να λειτουργήσει σωστά. Αυτό συμβαίνει γιατί το φωτοβολταϊκό στοιχείο παράγει συνεχές ρεύμα (DC) και επειδή η ηλιακή ενέργεια δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Έτσι χρειαζόμαστε κάποια ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία να επεξεργάζονται το ηλεκτρικό ρεύμα με τρόπο που να μπορούμε να έχουμε τη πλέον αποδοτική χρήση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αυτά τα ηλεκτρονικά συστήματα είναι οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC Inverters) και οι ρυθμιστές τάσης ή φορτιστές (chargers) που χρησιμοποιούνται για την σωστή χρήση των συσσωρευτών στα αυτόνομα συστήματα.

Για ένα σύστημα λοιπόν διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ χρειαζόμαστε :

- 1) τα φωτοβολταϊκά στοιχεία
- 2) τον μετατροπέα τάσης (inverter) με MPPT
- 3) μια μονάδα ελέγχου και ενδείξεων (συνήθως έχει κάποια οθόνη που δείχνει την κατάσταση του συστήματος)
- 4) το «διπλό» ρολόι της ΔΕΗ που όταν τα φωτοβολταϊκά δεν καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις, συμπληρώνει ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ, και όταν υπάρχει περίσσια παραγόμενου ρεύματος από τα Φ/Β στοιχεία το προσφέρει στο δίκτυο της ΔΕΗ, «γυρνώντας» το ρολόι προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Ένα αυτόνομο σύστημα αποτελείται από:

- 1) τα φωτοβολταϊκά στοιχεία
- 2) τον ρυθμιστή τάσης □ φορτιστή συσσωρευτών
- 3) τον μετατροπέα τάσης (inverter) σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)

4) μια μονάδα ελέγχου και ενδείξεων (συνήθως έχει κάποια οθόνη που δείχνει την κατάσταση του συστήματος)

5) γεννήτρια

6) τους συσσωρευτές

Να σημειωθεί ότι ο φορτιστής, ο μετατροπέας ισχύος, η μονάδα ελέγχου και ενδείξεων μπορούν να ενσωματωθούν σε μια μόνο συσκευή για εξοικονόμηση χώρου και απλούστευση του συστήματος.

1.6 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΤΑΣΗΣ

Ο μετατροπέας ισχύος DC/AC συνδέεται, στο κύκλωμα της PV-γεννήτριας στην περίπτωση που απαιτούνται φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος.

Διάφοροι τύποι μετατροπέων DC/AC έχουν αναπτυχθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου.

Η επιλογή του μετατροπέα DC/AC εξαρτάται:

α. Από την αποδεκτή ή επιθυμητή κυματομορφή στην έξοδό του που είναι η είσοδος στο φορτίο και

β. Από την απόδοση του μετατροπέα.

Ένας ακόμη παράγοντας για την επιλογή ενός μετατροπέα εξαρτάται από το αν βρίσκεται ως αυτοδύναμο στοιχείο στο PV-συγκρότημα ή αποτελεί μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος συνδεδεμένου με το δίκτυο.

Πίνακας 1.7 Χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μετατροπέων DC/AC..

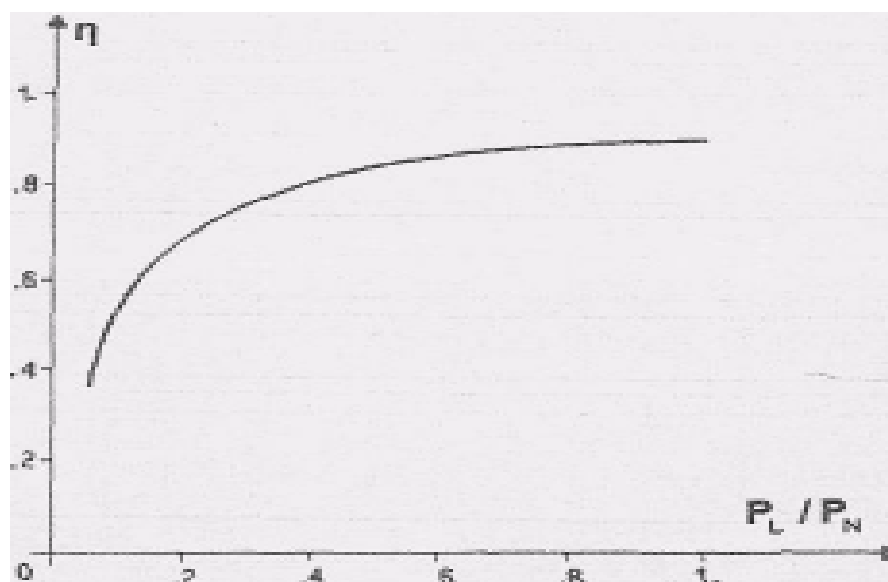
Παραμετροί DC/AC	Τετραγωνικός παλμός	Διαμορφωμένος ημιτονοειδής παλμός	DC/AC με διαμόρφωση πλάτους	Καθαρός ημιτονοειδής παλμός
Ισχύς Εξόδου σε Watts	Μέχρι 1,000,000	300-2,500	Μέχρι 20,000	Μέχρι 2,000
Αντοχή σε Απότομη Ανοδος της Χωρητικότητας	Μέχρι 20χ	Μέχρι 4χ	Μέχρι 2.5χ	Μέχρι 4χ
Τυπική Απόδοση	70-98%	70-85%	>90%	Μέχρι 80%
Παραμόρφωση Αρμονικών	Μέχρι 40%	=5%	<5%	<1%

Η λειτουργική συμπεριφορά του μετατροπέα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική ισχύ στην έξοδό του, την αντοχή του σε απότομη αύξηση της ισχύος εισόδου, την απόδοση του και την παραμόρφωση των αρμονικών (ηλεκτρονική παραμόρφωση).

Πίνακας 1.8

Πίνακας 1.8 Ειδικά χαρακτηριστικά μετατροπέα DC/AC κατασκευασμένου στην Ελλάδα.	
Τάση Συσσωρευτή	24VDC
Περιοχή Τάσης Συσσωρευτή	(22 -29) V DC
Συνεχής Ισχύς Εξόδου	750 Watt συνεχές
Ρεύμα Εισόδου	3A
Τάση Εξόδου	230V RMS \pm 3% 50 \div 60Hz
Κυματομορφή	Ημιτονική
Φορτιστής	20A PV
Ισχύς Ηρεμίας (8ΐ3ηά- σν)	0,4 W
Ισχύς Εκκίνησης	300W 5sec
Βαθμός Απόδοσης	65% στα 50 W 80% στα 100 W 85% στα 150 W 90% στα 300 έως 750 W
Βάρος	20 Kg
Διαστάσεις	(27x43x18)cm

Η μεγίστη απόδοση του αναστροφέα DC/AC επιτυγχάνεται πλησίον της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Για τούτο είναι εύλογο να εξετάζεται η καμπύλη απόδοσης ενός αντιστροφέα AC/DC συναρτήσει της ισχύος στην έξοδο του, σχήμα 1.9

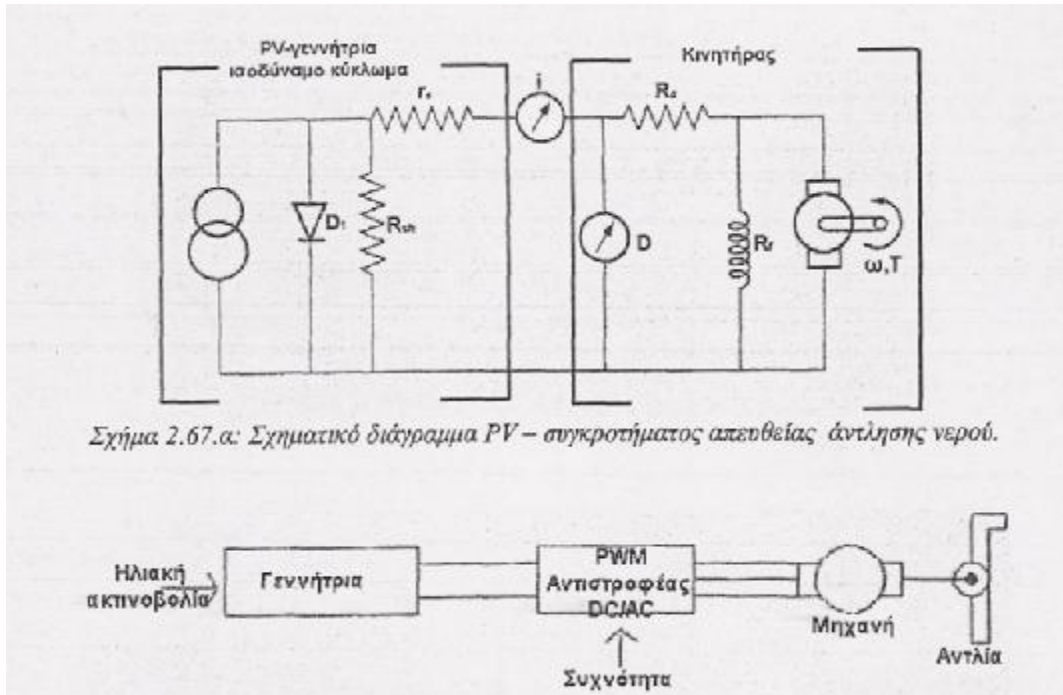


Σχήμα 1.9 Απόδοση μετατροπέα DC/AC ως συνάρτηση του λόγου της ισχύος εξόδου P_L προς την ονομαστική τον ισχύ, P_N

Μερικά φορτία (μη Ωμικά) απαιτούν ισχυρά ρεύματα εκκίνησης π.χ, κινητήρες αντλιών. Άλλα φορτία είτε θα θερμαίνονται, είτε θα παράγουν θόρυβο, εάν η παραμόρφωση των αρμονικών στην έξοδο του DC/AC υπερβαίνει ένα επίπεδο.

Ο μετατροπέας DC/AC με έξοδο τετραγωνικό παλμό δεν είναι ακριβός, ενώ συγχρόνως έχει υψηλή απόδοση. Δεν είναι όμως ο τύπος μετατροπέα που θα

χρησιμοποιηθεί σε ένα PV-συγκρότημα άντλησης ύδατος που δείχνει το σχήμα 1.10 α,β.

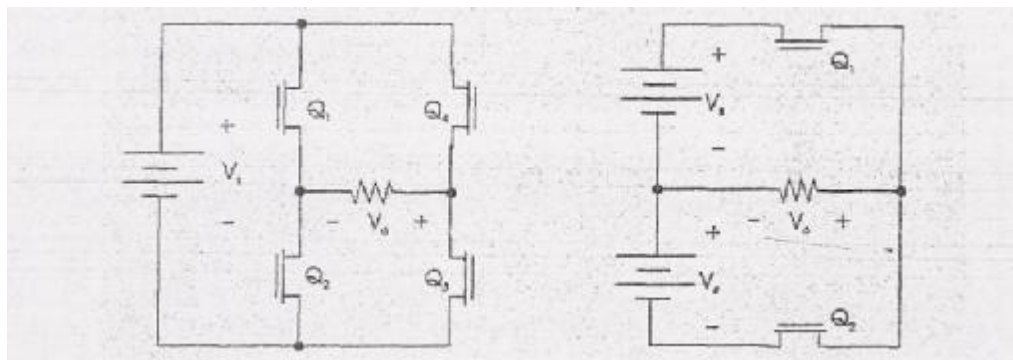


Σχήμα 2.67.α: Σχηματικό διάγραμμα PV – συγκροτήματος απευθείας άντλησης νερού.

Σχήμα 1.10 Σχηματικό διάγραμμα PV- συγκροτήματος απευθείας άντλησης νερού.

Αντίθετα, ο αναστροφέας με διαμορφωτή πλάτους παλμού (PWM), είναι πιο ακριβός, αλλά έχει και ελάχιστη ηλεκτρονική παραμόρφωση. Έχει την καλύτερη αντοχή σε απότομη αύξηση ισχύος στην είσοδο του, αλλά προκαλεί κάποια παραμόρφωση. Τέλος, ο μετατροπέας με ημιτονοειδή έξοδο έχει την ελάχιστη παραμόρφωση αλλά χαμηλή απόδοση. Όλα αυτά δίνονται στον Πίνακα 1.7.

• Το σχήμα 1.11 δείχνει δυο τύπους αναστροφέα DC/AC με έξοδο τετραγωνικό παλμό.



α

β

Σχήμα 1.11 Μετατροπή μιας συνεχούς, πηγής DC σε πηγή τετραγωνικών παλμών.

α. Ηλεκτρονική διάταξη μετατροπέα DC/AC. Η πηγή DC πχ PV-γεννήτρια δίδει τάση V_1 Ο DC/AC χρησιμοποιεί ασταθείς πολυδονητές και αποδίδει στην έξοδο του τετραγωνικό παλμό

β. Ηλεκτρονική διάταξη μετατροπέα DC/AC Το ένα σημείο αναφοράς είναι το μέσον της PV-συστοιχίας. Τα ηλεκτρονικά συστήματα ημιαγωγών που χρησιμεύουν ως διακόπτες (ON/OFF) διεγείρονται εξωτερικά. Κατά συνέπεια ο τύπος αυτός DC/AC είναι ιδανικός για σύνδεση με το δίκτυο.

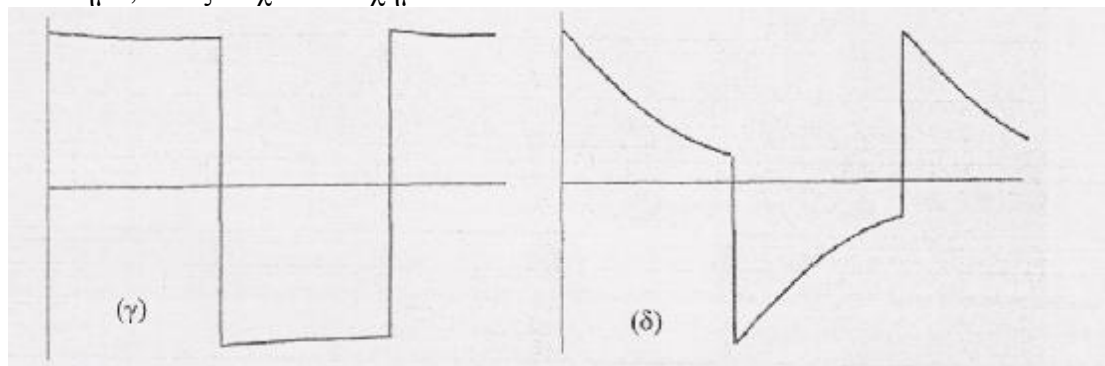
- Η βασική αρχή για τη λειτουργία του DC/AC (τετραγωνικού παλμού) είναι να έχουμε συνεχώς ρεύμα από την PV-γεννήτρια και να διατηρούμε μηδέν Volts, στα άκρα των διακοπών όταν διέρχεται δι'αυτών ρεύμα, ενώ όταν έχουν πολωθεί, δηλ. υπάρχει τάση στα άκρα τους, το ρεύμα να μηδενίζεται.
- Η βασική αρχή για τη λειτουργία του DC/AC (τετραγωνικού παλμού) είναι να έχουμε συνεχώς ρεύμα από την PV-γεννήτρια και να διατηρούμε μηδέν Volts, στα άκρα των διακοπών όταν διέρχεται δι'αυτών ρεύμα, ενώ όταν έχουν πολωθεί, δηλ. υπάρχει τάση στα άκρα τους, το ρεύμα να μηδενίζεται.

Τούτο επιτυγχάνεται με διπολικά transistors ισχύος, MOSSET ή SCR (SiliconControlled Rectifiers).

Όταν το DC μετατραπεί σε AC είναι επιθυμητό το πλάτος του να φθάσει σε τιμή που να ισοδυναμεί με 120 Volts rms ημιτονοειδούς κυματομορφής.

Ωστόσο, σε τετραγωνικούς παλμούς η τιμή rms είναι ίση με το πλάτος. Επομένως, εάν ένα PV-πλαίσιο δίνει πλάτος 12Volts DC τότε για να γίνει ημιτονοειδές με 120 Volts DC rms, απαιτεί μετασχηματιστή με λόγο περιστροφών στα πηνία του 10:1.

Ο σχεδιασμός του μετασχηματιστή είναι ευαίσθητος. Δεν αρκεί μόνο να ικανοποιείται ο λόγος 10:1 στις περιτυλίξεις, αλλά και ο αριθμός των περιτυλίξεων είναι σημαντική παράμετρος, καθώς η σταθερά χρόνου εξαρτάται από το μέγεθος της μαγνητικής επαγωγής του μετασχηματιστή βλ. σχήμα 1.11γ. Αντίθετα μικρό περιτύλιγμα δεν επιτρέπει να συγκρατηθεί ο τετραγωνικός παλμός επί αρκετό διάστημα, όπως δείχνει το σχήμα 1.11δ.



Σχήματα 1.11γ και δ: Κυματομορφή εξόδου για μετατροπέα τετραγωνικού παλμού με επαρκείς (γ) και μη επαρκείς στροφές μετασχηματισμού (δ).

- Οι αναστροφείς DC/AC είναι τυποποιημένα ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών. Είναι πολύ σημαντικά και ευαίσθητα μέρη ενός PV-συγκροτήματος και από την σωστή λειτουργία τους ενισχύεται το αξιόπιστο του PV-συστήματος.

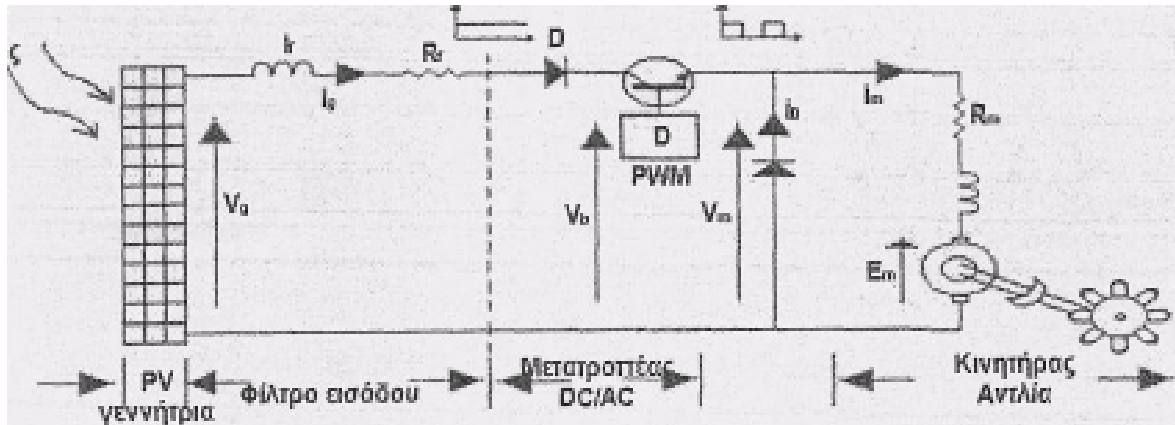
Δέχονται είσοδο DC απ' ευθείας από τη PV-συστοιχία ή από τους συσσωρευτές και αποδίδουν στην έξοδο AC απ' ευθείας στα φορτία ή στο δίκτυο, όπως δείχνει το σχήμα 1.11α και 1.11β.

- Η απόδοση του αναστροφέα DC/AC ποικίλη ανάλογα με το ρεύμα στο φορτίο. Είναι μεγίστη περίπου 95% όταν λειτουργεί περί την ονομαστική τιμή της ισχύος στην έξοδο του. Όταν όμως λειτουργεί υπό μερικό φορτίο, τότε η απόδοση πέφτει στα 75-80%.

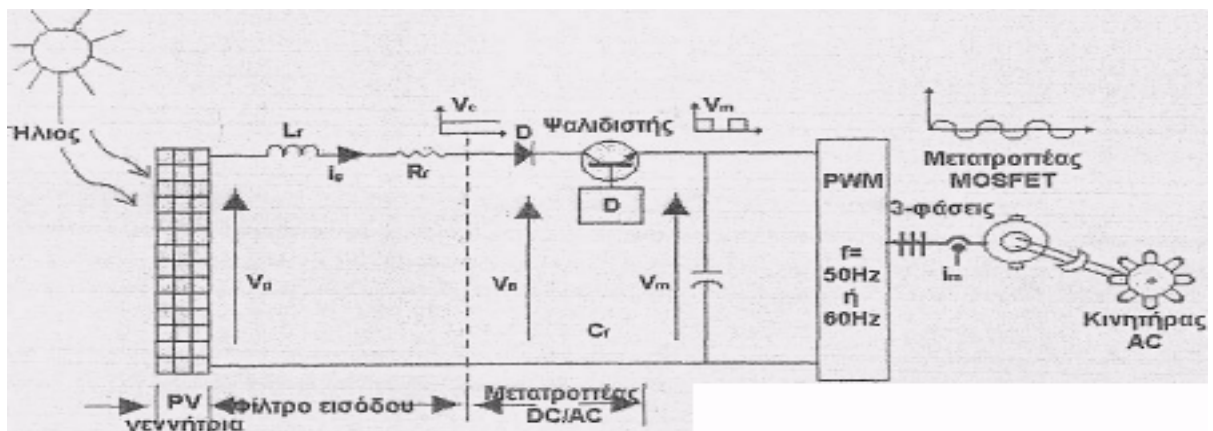
Οι αντιστροφείς DC/AC κατατάσσονται σε τρεις (3) κατηγορίες.

α. Αντιστροφείς με μεταβαλλόμενη συχνότητα που χρησιμοποιούνται για αυτόνομα συστήματα όπου το φορτίο ή μέρος του φορτίου αντιπροσωπεύει κινητήρας ή αντλία κλπ, σχήμα 1.12 α,β.

Κυρίως χρησιμοποιείται σε αντλητικά PV-συσκροτήματα.



Σχήμ 1.12(α): Διάταξη ενός αυτόνομου PV-συστήματος για άντληση νερού που χρησιμοποιεί μετατροπέα

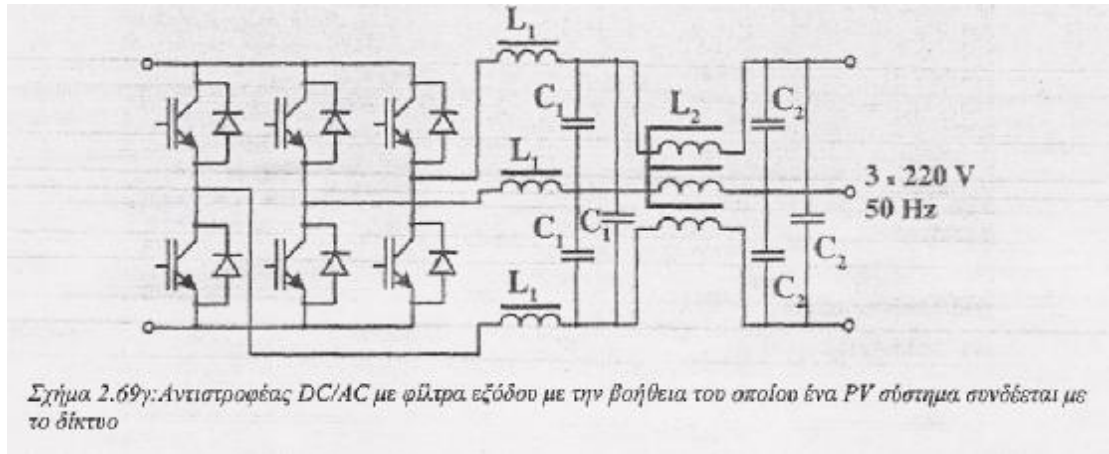


Ελεγκτής συχνότητας

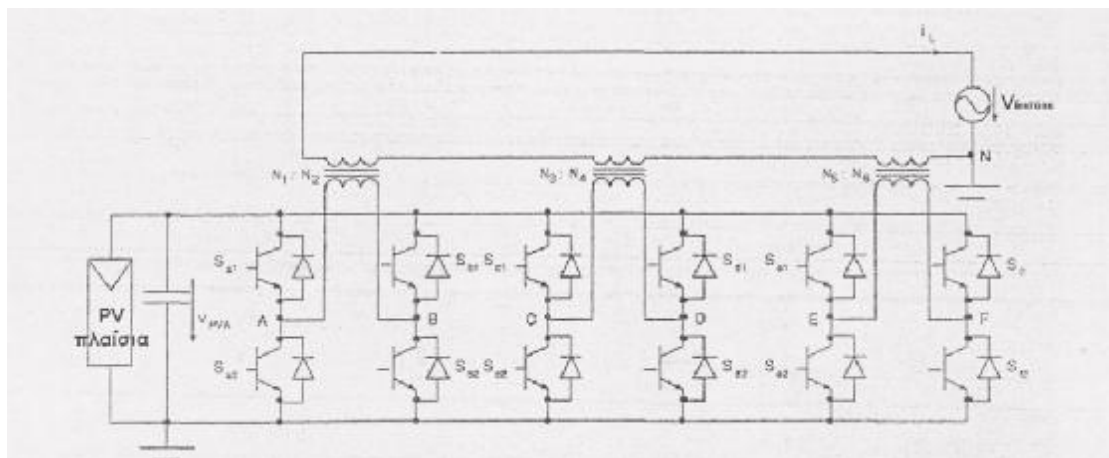
Σχήμα 1.12(β): Διάταξη ενός αυτόνομου PV-συστήματος που χρησιμοποιείται για άντληση νερού

β. Αυτορυθμιζόμενοι αναστροφείς ορισμένης συχνότητας.

Αυτοί έχουν το χαρακτηριστικό ότι μπορούν να συνδεθούν και με το δίκτυο αρκεί να συμπληρωθεί το σύστημα του αντιστροφέα με ένα σύστημα παραλλήλου ελέγχου, σχήμα 1.12 γ,δ.



Σχήμα 1.12 (γ) Αντιστροφέας DC/AC με φίλτρα εξόδου με την βοήθεια του οποίου ένα PV σύστημα συνδέεται με το δίκτυο.



γ. **Σύγχρονοι αντιστροφέες** (line-commutated) ορισμένης συχνότητας οι οποίοι υπό προϋποθέσεις μπορούν να συνδεθούν και με το δίκτυο. Ωστόσο, δεν είναι τόσο υψηλής και σύγχρονης τεχνολογίας, όσο οι αντιστροφέες της β κατηγορίας.

- Αντιστροφέας DC/AC με 4 thyristors, συνδεδεμένος με το Δίκτυο.
- Το σχήμα 1.13α δείχνει ένα κύκλωμα αντιστροφέα DC/AC με τέσσερα (4) thyristors και ένα πηνίο που συνδέει την PV-γεννήτρια με το δίκτυο. Ως γνωστόν, ένα thyristors άγει όταν εφαρμόζεται ένας βραχείας διάρκειας παλμός στην πύλη του που αντιστοιχεί στην βάση ενός transistor. Τότε άγει ρεύμα, όπως και η διάδος, μέχρις ότου το ρεύμα που διέρχεται δι' αυτού, για κάποιον λόγο, μηδενισθεί. Τότε σταματά να άγει. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 1.13α τα thyristors άγουν ρεύμα με διεύθυνση προς τα κάτω. Ας υποθέσουμε ότι η επαγωγή του πηνίου L, είναι μεγάλη έτσι ώστε το ρεύμα, i , που ρέει μέσω των PV-πλαϊσίων και του L, να είναι κατ' ουσίαν σταθερό. Το κύκλωμα περιλαμβάνει και ένα σύστημα ελέγχου/ανίχνευσης του σημείου στο οποίο μηδενίζεται η τάση V δικτύου οπότε και ανοίγει τα thyristors T2 και T3, με υστέρηση φάσης $(180-\alpha)$, όπου $|\alpha| < 90^\circ$. Όταν τα T2 και T3 άγουν, το i_0 είναι αρνητικό ανεξάρτητα από την πολικότητα της V δικτ. Τούτο διακρίνουμε στο σχήμα 1.13γ. Σε φάση $\omega t = 360^\circ$

- α, τα thyristors T₁ και T₂, αρχίζουν να άγουν. Η πολικότητα της V_{δικτ} είναι αρνητική την στιγμή εκείνη και οδηγεί το ρεύμα μέσω των βραχυκυκλωμένων T₄ και T₂, (ομοίως για τα T₁ και T₃), κατά τέτοια διεύθυνση ώστε τα T₂ (T₃) να βγουν εκτός. Στην επομένη ημιπερίοδο το i_ο, είναι θετικό. Επειδή το α είναι <90° και πιθανόν πλησίον των 0°, το i_ο είναι σχεδόν σε φάση με το V_ο. Έτσι η ισχύς μεταφέρεται στο Δίκτυο από την PV-γεννήτρια.

Σημείωση:

Όταν τα T₁ και T₄, άγουν, τότε V = V_{δικτ}, σχήμα 1.13δ, ενώ Όταν τα T₂ και T₃, άγουν, τότε V = - V_{δικτ}

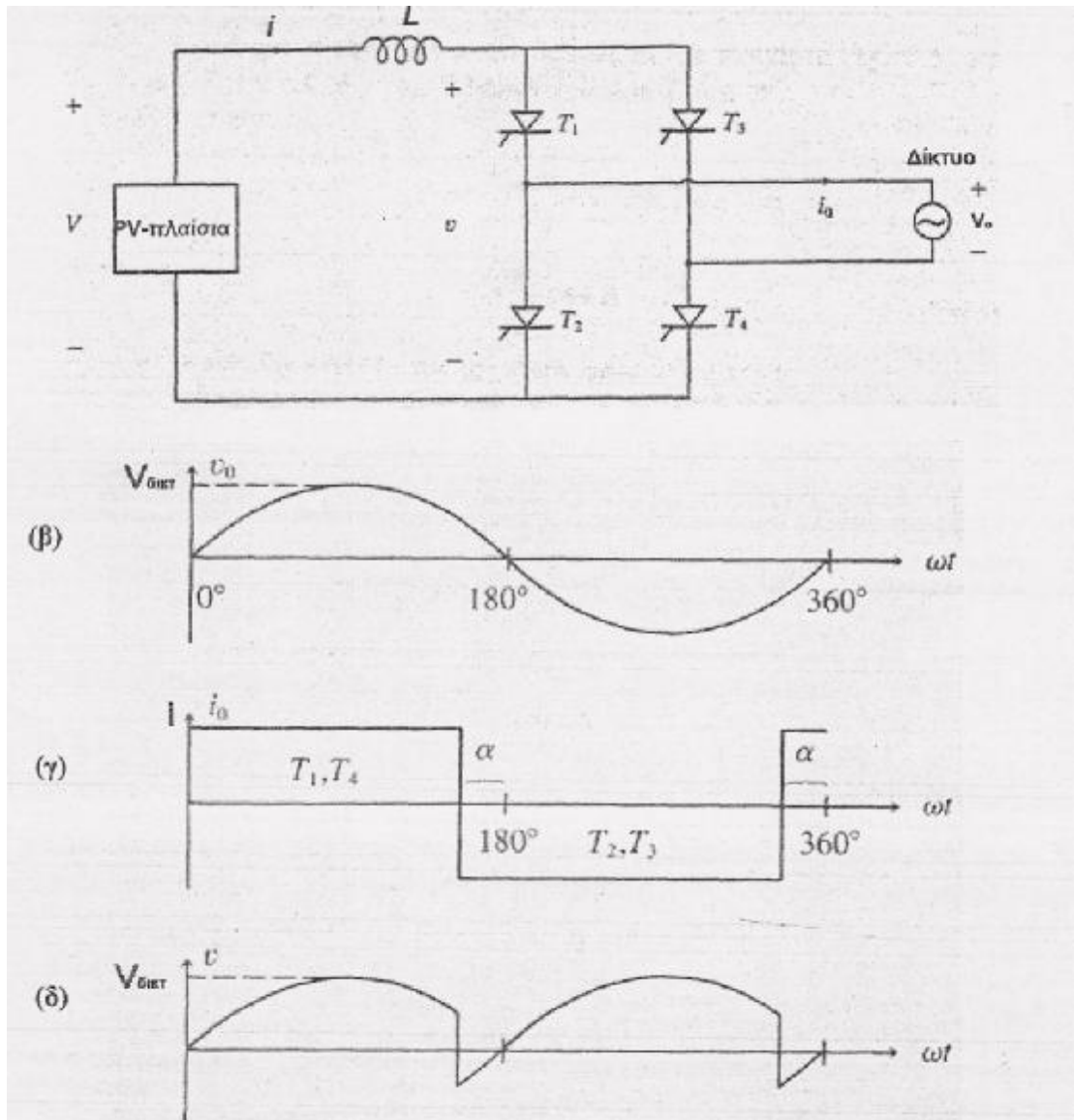
Η μέση τιμή της τάσεως U υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\bar{U} = \frac{1}{\pi} \int_{-\alpha}^{\pi-\alpha} V_o \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2V_o}{\pi} \cos \alpha$$

Τούτη η μέση τιμή της τάσης U είναι και η τάση της PV-γεννήτριας, καθώς δεν υπάρχει πτώση τάσης σ' ένα ιδανικό πηνίο, L, με σύνθετη αντίσταση, Z=0.

Η τιμή V που εξαρτάται από το V_ο και την υστέρηση α καθορίζουν και την τάση λειτουργίας V της PV-γεννήτριας.

(α)



Σχήμα 1.13α: Κύκλωμα αντιστροφής DC/AC με 4 thyristors, συνδεδεμένο με το δίκτυο.

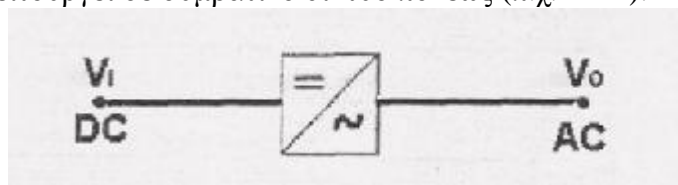
Ανακεφαλαίωση DC/AC εμπορίου

1. Στην αγορά υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία όλων των τύπων αντιστροφέων DC/AC που περιγράψαμε. Με βάση τα προηγούμενα καταλήγουμε ότι οι τύποι αυτοί τελικά χαρακτηρίζονται από:

- α. την μορφή της τάσεως εξόδου (AC),
- β. την τάση εισόδου (DC),
- γ. την ονομαστική ισχύ (W),
- δ. την μέθοδο λειτουργίας,
- ε. την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούν και
- στ. την απόδοσή τους.

2. Ο μετατροπέας DC/AC είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η είσοδος της οποίας συνδέεται και με το συσσωρευτή στα αυτόνομα συστήματα των ΑΠΕ. Μετατρέπει την τάση (DC) σε εναλλασσόμενη (AC) μονοφασική ή τριφασική κατάλληλης συχνότητας (π.χ. 50Hz), μορφής και τιμής (π.χ. 230V) στην έξοδό του, με σκοπό την

εξυπηρέτηση των καταναλωτών μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης η οποία έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί σε συμβατικό δίκτυο πόλεως (π.χ. ΔΕΗ).



Σχήμα. 1.14: Συμβολική παράσταση ενός μετατροπέα DC/AC μονοφασικού που είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση στα αυτόνομα συστήματα με ΑΠΕ.

3.Ο μετατροπέας DC/AC είναι μια ηλεκτρονική, συσκευή ισχύος, η οποία συνήθως μαζί με το ρυθμιστή φόρτισης των συσσωρευτών, τοποθετούνται σε προστατευμένο ξηρό χώρο και σχετικά μακριά από τη μπαταρία.

Ήδη διατίθενται DC/AC μετατροπείς σε μεγάλη ποικιλία σχετικά με την μορφή της AC τάσης εξόδου, την τάση εισόδου DC, την ονομαστική ισχύ P, τη μέθοδο λειτουργίας, την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούν και την αποδοτικότητα τους.

4.Στο σχ. 1.15 φαίνεται η τοπολογία μιας πολύ συνηθισμένης κατηγορίας μετατροπέων DC/AC που χρησιμοποιούν εκτός των άλλων ένα μετασχηματιστή ισχύος με μεσαία λήψη στο πρωτεύον τύλιγμα σε συνδεσμολογία που ονομάζεται Push-Pull.

Στη περίπτωση του μετατροπέα DC/AC με τη τοπολογία του σχ. 1.15 η μονάδα ελέγχου δέχεται πληροφορίες κυρίως για:

α) Την τάση DC του συσσωρευτή οπότε αν είναι έξω από τα ονομαστικά όρια επεμβαίνει κατάλληλα π.χ. για ονομαστική τάση 24V αν πληροφορηθεί για μια τάση BAT=20V, τότε διακόπτει τη λειτουργία του μετατροπέα ανοίγοντας και τους δύο ηλεκτρονικούς διακόπτες S1, S2, οι οποίοι είναι τεχνολογίας solid state, όπως τα transistor ισχύος και οι ανορθωτές SCRs.

β) Το ρεύμα του συσσωρευτή: Οπότε, αν πληροφορηθεί ότι το ρεύμα είναι μεγαλύτερο του κανονικού, τότε το περιορίζει κατάλληλα.

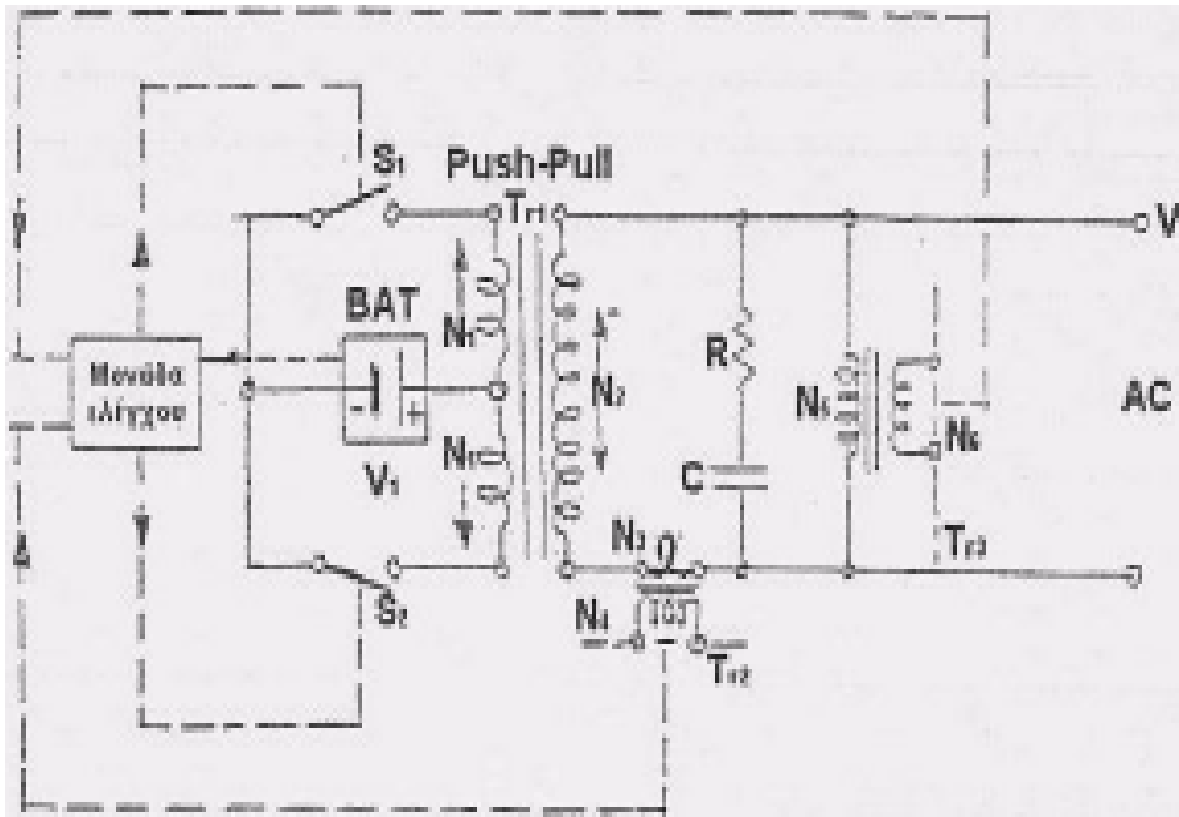
γ) Την τάση εξόδου AC μέσω του μετασχηματιστή τάσεως (N5, N6). Οπότε αν πληροφορηθεί ότι η τάση στο φορτίο π.χ. 230V έχει αλλάξει, τότε τη διορθώνει κατάλληλα μέσα σε κάποια όρια ανοχής.

δ) Το ρεύμα εξόδου AC μέσω του μετασχηματιστή εντάσεως (N3, N4), οπότε αν πληροφορηθεί ότι κάποιο φορτίο σχετικά αξιόλογης ισχύος (π.χ. 10W) έχει συνδεθεί στο κύκλωμα AC, τότε αποφασίζει να ξεκινήσει τη λειτουργία του μετατροπέα.

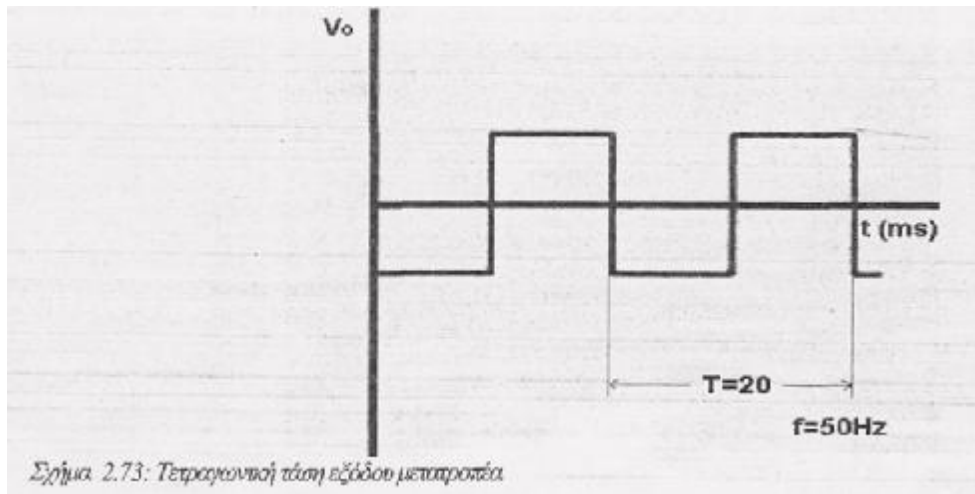
Λέγουμε τότε ότι κάνουμε ανίχνευση φορτίου (Load Sensing). Διαφορετικά ο μετατροπέας παραμένει στη κατάσταση ηρεμίας (standby) οπότε η κατανάλωση ισχύος στην κατάσταση αυτή από το συσσωρευτή θεωρείται αμελητέα π.χ. 0.5W.

ε) Τη θερμοκρασία των κρίσιμων εξαρτημάτων: οπότε αν πληροφορηθεί π.χ. ότι ο μετασχηματιστής (Push-Pull) έχει θερμοκρασία 90°C, τότε διακόπτει τη λειτουργία του μετατροπέα.

Σχήμα 1.15 Τυπολογία ενός συνηθισμένου μετατροπέα του εμπορίου τύπου Push-Pull

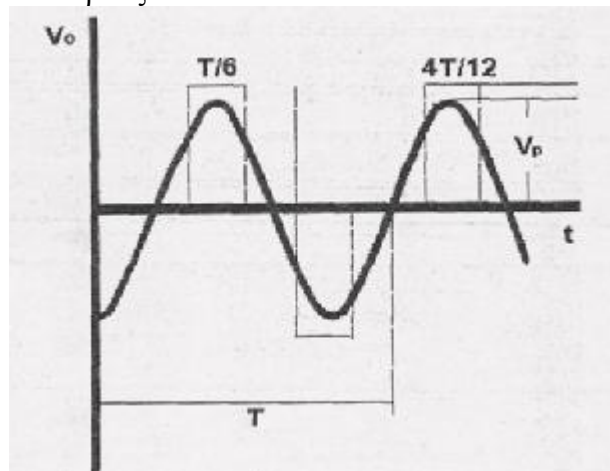


Οι φθηνοί εμπορικοί τύποι μετατροπέων δεν έχουν τη μονάδα ελέγχου του σχήματος 1.15, αλλά μόνο ένα ταλαντωτή, ο οποίος φροντίζει για την οδήγηση των διακοπτικών στοιχείων (S_1 , S_2) με μια συχνότητα περίπου 50 ή 60 Hz. Τούτο συνεπάγεται ότι η φορά του ρεύματος στα τυλίγματα του μετασχηματιστή ισχύος Tr_1 αλλάζει 100 ή 120 φορές το δευτερόλεπτο. Έτσι στην έξοδο του πηνίου N_2 εμφανίζεται μια εναλλασσόμενη τάση τετραγωνικής μορφής, σχήμα 1.16, η οποία είναι κατάλληλη μόνο για φορτία ονομαστικής τάσης 230V με έντονο Ωμικό χαρακτήρα. Οι μετατροπείς με τετραγωνική τάση εξόδου είναι οι λεγόμενοι (square wave inverters), είναι ακατάλληλοι για φορτία με έντονο επαγωγικό χαρακτήρα, όπως π.χ. είναι οι κινητήρες AC γιατί υπάρχει μια σημαντική αρμονική παραμόρφωση η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών, άρα την εμφάνιση ενός χαμηλού βαθμού απόδοσης του μετατροπέα.



Σχήμα 1.16 : Τετραγωνική τάση εξόδου μετατροπέα

Οι σχετικά ακριβότεροι εμπορικοί τύποι μετατροπέων περιέχουν τη μονάδα ελέγχου του σχήματος 1.15 και επιπλέον η μορφή της AC τάσης εξόδου δεν είναι τετραγωνική αλλά περίπου ημιτονική (quasi-sine wave) με μορφή που δείχνει το σχήμα 1.17. Η μορφή λέγεται τροποποιημένο ημίτονο (modified sine) με σταθερό βήμα διάρκειας $4T/12$, χωρίς τις άρτιες αρμονικές ή τις τριπλές τοιαύτες και με μια αρκετά χαμηλή αρμονική παραμόρφωση περίπου 7.5%, γεγονός που κάνει αυτού του είδους τους μετατροπέες αποδοτικότερους.



Σχήμα 1.17: Τάση εξόδου μετατροπέα ημιτονικής μορφής

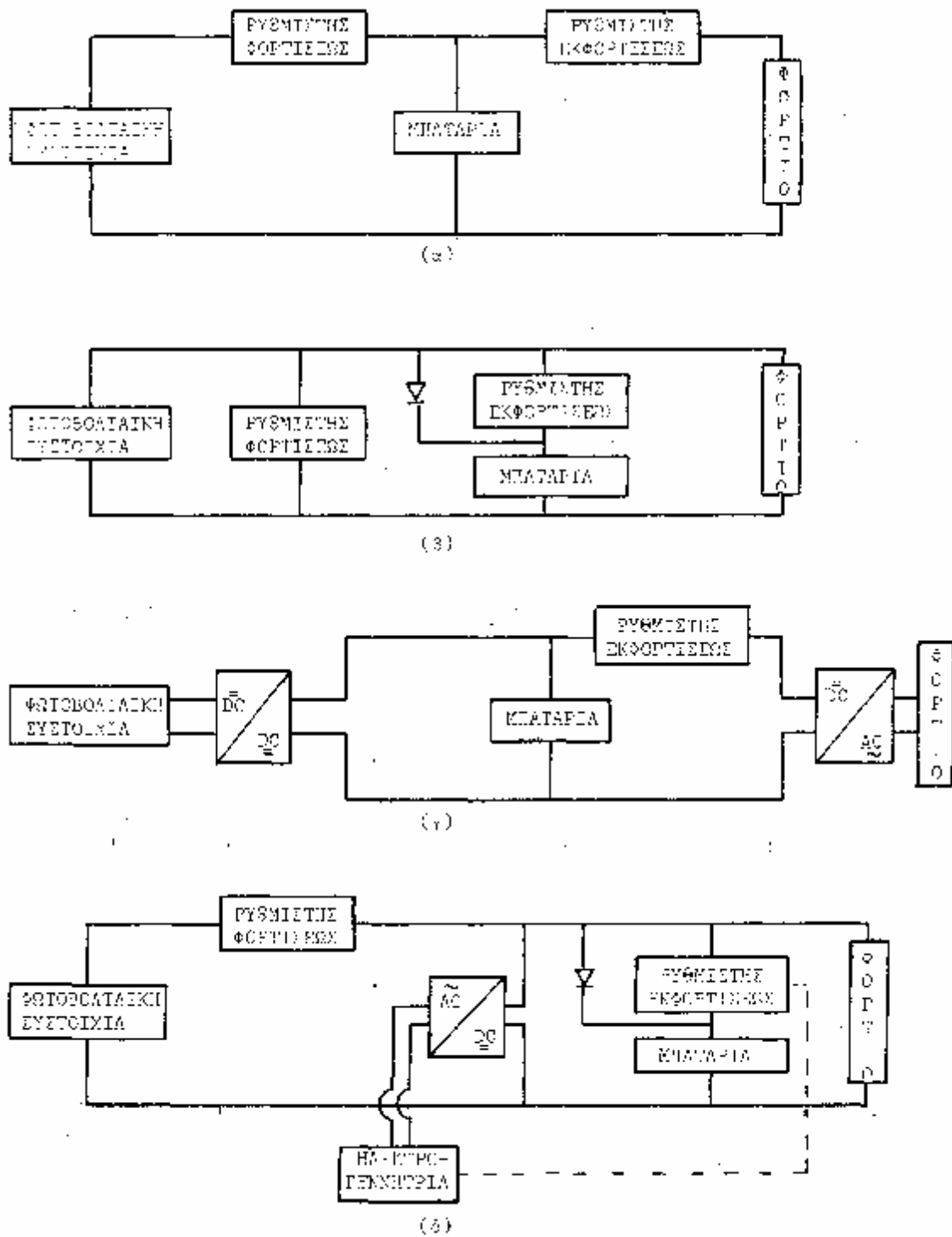
Οι ακριβοί εμπορικοί μετατροπέες περιέχουν την μονάδα ελέγχου του σχήματος 1.15 και επιπλέον η μορφή της AC τάσης εξόδου είναι καθαρό ημίτονο με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται υψηλοί βαθμοί απόδοσης που ξεπερνούν το 90%.

Οι καθαροί ημιτονικοί μετατροπέες είναι κατάλληλοι για όλα τα είδη φορτίων.

1.7 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Στην συνδεσμολογία του Σχ. 1.18-α, ο ρυθμιστής φορτίσεως (Charge regulator) είναι συνδεδεμένος εν σειρά μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και της μπαταρίας (series regulator). Ο ρόλος του ρυθμιστού αυτού είναι να προστατεύει την μπαταρία από υπερβολική φόρτιση: όταν ή τάση της μπαταρίας φθάσει στην μέγιστη επιτρεπομένη τιμή της, ο ρυθμιστής φορτίσεως αποσυνδέει τμήματα ή και όλη την

φωτοβολταϊκή συστοιχία με αποτέλεσμα να μειούται ή και να μηδενίζεται το ρεύμα φορτίσεως της μπαταρίας. "Όταν ή μπαταρία δεν είναι πλήρως φορτισμένη ο ρυθμιστής φορτίσεως επανασυνδέει σταδιακά την φωτοβολταϊκή συστοιχία στο σύστημα. Ο ρυθμιστής έκφορτίσεως αποσυνδέει το φορτίο άπύ το σύστημα όταν ή τάση (και επομένως ή στάθμη φορτίσεως) της μπαταρίας φθάσει στην ελαχίστη επιτρεπομένη τιμή της," (οποτε έτσι προστατεύεται ή μπαταρία από τις επιπτώσεις μίας υπερβολικής' έκφορτίσεως), "Όταν ή τάση της μπαταρίας επιστρέψει στα επιτρεπτά όρια Ο ρυθμιστής έκφορτίσεως επανασυνδέει το φορτίο. Κατά την κανονική λειτουργία του συστήματος του Σχ. 1.18-α, εξ αιτίας της απ' ευθείας συνδέσεως της μπαταρίας στους, η μπαταρία καθορίζει την τάση λειτουργίας της συστοιχίας.



Σχήμα 1.18. Τυπικές συνδεσμολογίες αυτονόμων φωτοβολταϊκών συστημάτων

Στην συνδεσμολογία του Σχ. 1.18-β ο ρυθμιστής φορτίσεως είναι παράλληλα συνδεδεμένος με την συστοιχία και την μπαταρία ,οπότε ή συστοιχία είναι μόνιμα απ' ευθείας συνδεδεμένη με το φορτίο. "Όταν ή τάση της μπαταρίας ανέλθει στην μέγιστη τιμή της, ο παραλλήλου τύπου ρυθμιστής φορτίσεως οδηγεί την φωτοβολταϊκή συστοιχία σε λειτουργία μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος με αποτέλεσμα να σταματά ή φόρτιση της μπαταρίας. "Όταν, αντιθέτως, ή τάση της μπαταρίας φθάσει στην ελαχίστη τιμή της, ο ρυθμιστής έκφορτίσεως αποσυνδέει το φορτίο ενώ ή μπαταρία εξακολουθεί να φορτίζεται από την συστοιχία μέσω της διόδου.

Συνήθως οι ρυθμιστές φορτίσεως του εν σειρά τύπου χρησιμοποιούν ως διακοπτικό στοιχείο ένα ηλεκτρομηχανικό ρελε, ενώ οι του παραλλήλου τύπου ένα ήμιαγωγικό διακόπτη ισχύος. Οι δύο τύποι του ρυθμιστού φορτίσεως είναι ισοδύναμοι ως προς τον βαθμό αποδόσεως και το κόστος και διαφέρουν ως προς την αξιοπιστία. Ο εν σειρά τύπος έχει μικρότερη αξιοπιστία λόγω της χρησιμοποιήσεως ενός ηλεκτρομηχανικού διακόπτη, του οποίου οι επαφές φθείρονται από το δημιουργούμενο τόξο.

Οι ρυθμιστές φορτίσεως χρησιμοποιούνται γενικά στα μικρά συστήματα. Σε συστήματα όπου ή ονομαστική ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας υπερβαίνει τα 20KW περίπου, προτιμάται ή εγκατάσταση ενός μετατροπέα DC/DC μεταξύ της συστοιχίας και της μπαταρίας (Σχ.1.18-γ). Ο μετατροπέας DC/DC, ανάλογα με την εφαρμογή επιβάλλει μία σταθερή τάση λειτουργίας στην φωτοβολταϊκή συστοιχία ή ανιχνεύει το σημείο μέγιστης ισχύος της' απο την άλλη πλευρά εξασφαλίζει την κατάλληλη τάση για την φόρτιση της μπαταρίας. Ο DC/DC μετατροπέας προστατεύει επίσης την μπαταρία από υπερβολική φόρτιση, δια της αποσυνδέσεως μέρους ή και όλης της συστοιχίας από το σύστημα όταν ή μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη.

Η συνδεσμολογία του Σχ. 1.18-δ παριστά ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί μία ηλεκτρογεννήτρια ως εφεδρική (back up) πηγή ενεργείας. "Όταν ή τάση της μπαταρίας πέσει στην ελαχίστη τιμή της, ένα σήμα ελέγχου από τον ρυθμιστή έκφορτίσεως θέτει σε λειτουργία την ηλεκτρογεννήτρια, ή οποία αναλαμβάνει την κάλυψη του φορτίου και την φόρτιση της μπαταρίας. Η ηλεκτρογεννήτρια αποσυνδέεται από το σύστημα όταν ή τάση της μπαταρίας ανέλθει σε μία προκαθορισμένη τιμή.

1.8 Η ΜΠΑΤΑΡΙΑ

Η τράπεζα των μπαταριών είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα οποιουδήποτε αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, λόγω των ικανοτήτων της να αποθηκεύει ενέργεια και να απομονώνει την φωτοβολταϊκή συστοιχία από το φορτίο. Η μπαταρία φορτίζεται κατά τις ώρες της υψηλής εντάσεως της ακτινοβολίας από την συστοιχία και έκφορτίζεται κατά την νύχτα και οποτεδήποτε ή παραγόμενη από την συστοιχία ενέργεια είναι μικρότερη από το φορτίο. Ο ρολος της μπαταρίας ως άπομονωτου (buffer) μεταξύ συστοιχίας και φορτίου, συνίσταται στην διατήρηση μιας σχετικά σταθερής τάσεως στο σύστημα (δεδομένου ότι ή συστοιχία δεν είναι σταθερή πηγή ρεύματος ή τάσεως) και στην κάλυψη των στιγμιαίων αιχμών ισχύος πού συμβαίνουν κατά την εκκίνηση των κινητήρων του φορτίου.

Η λειτουργία της μπαταρίας σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα χαρακτηρίζεται από δύο είδη κύκλων φορτίσεως και έκφορτίσεως: τον ημερήσιο και τον εποχιακό. Ο ημερήσιος κύκλος λειτουργίας της μπαταρίας, πού χονδρικά είναι

μία φόρτιση την ημέρα και μία έκφορτιση την νύχτα, χαρακτηρίζεται από το ημερήσιο βάθος έκφορτίσεως της, DODd. Γενικά, το βάθος έκφορτίσεως της μπαταρίας, DOD (Dept of Discharge) , και ή στάθμη φορτίσεως της, SOC (State of charger) , εκφράζονται ως ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας της μπαταρίας, Br , και συνδέονται με την προφανή σχέση:

$$DOD = 1 - SOC$$

"Ομοίως, ο εποχιακός κύκλος λειτουργίας της μπαταρίας κατά τον οποίο ή μπαταρία φορτίζεται τους θερινούς μήνες και έκφορτίζεται τους χειμερινούς, χαρακτηρίζεται από το εποχιακό βάθος έκφορτίσεως, DODs.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας της μπαταρίας των :

α) συστήματα των οποίων το φορτίο ακολουθεί την εποχιακή μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι δηλαδή μικρό τους χειμερινούς μήνες και μεγάλο τους θερινούς (π.χ. θερινές κατοικίες). Στις περιπτώσεις αυτές είναι επαρκής ή χρησιμοποίηση μίας μικρής μπαταρίας, ικανής να καλύπτει το φορτίο για μερικές ημέρες (τυπικά 2 έως 4 ημέρες), ή οποία να λειτουργεί με μεγάλο ημερήσιο βάθος έκφορτίσεως. Στις εφαρμογές αυτές πρέπει να εκλέγει μία μπαταρία ικανή να αντέχει ένα μεγάλο αριθμό κύκλων βαθιάς έκφορτίσεως.

β) συστήματα των οποίων το φορτίο είναι σταθερό στην διάρκεια του έτους και έχει μικρές ενεργειακές απαιτήσεις (π.χ. ασύρματη, τηλεπικοινωνία, φάροι). Στις εφαρμογές αυτές ή μπαταρία είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με το φορτίο, με αποτέλεσμα ή λειτουργία της μπαταρίας να χαρακτηρίζεται από μικρό ημερήσιο βάθος έκφορτίσεως και μία ετήσια βαθιά έκφορτιση. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται μία μπαταρία με μικρό ρυθμό αυτόεκφορτίσεως, ενώ ή αντοχή της σε πολλούς κύκλους λειτουργίας έχει δευτερεύουσα σημασία. ,

γ) συστήματα πού έχουν μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις καθόλου το έτος (π.χ. οικισμοί) . Στα συστήματα αυτά δεν είναι οικονομική ή εγκατάσταση μιας πολύ μεγάλης μπαταρίας, ενώ μία μικρή μπαταρία συνεπάγεται μειωμένη αξιοπιστία καλύψεως του χειμερινού φορτίου. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτούνται μπαταρίες πού να συμβιβάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων τύπων.

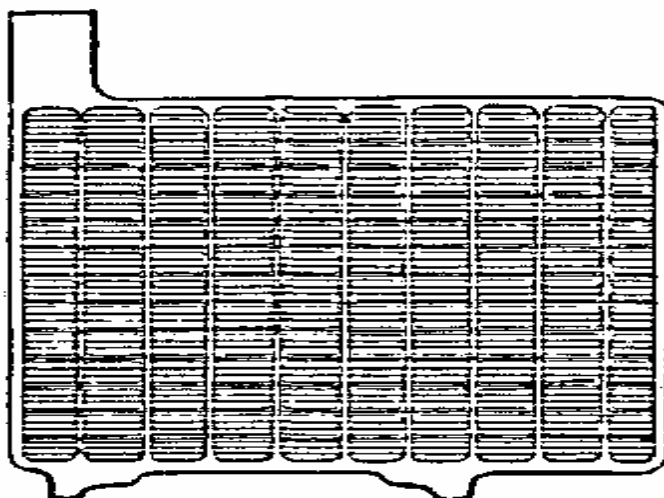
Στα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν χρησιμοποιούνται μπαταρίες μολύβδου και νικελίου-καδμίου. Η προτίμηση αυτή οφείλεται στο ότι οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου μπορούν μεν να δεχθούν υπερφόρτιση, να παραμείνουν μεγάλο χρονικό διάστημα ήμιφορτισμένες, να αντέχουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, και να είναι ανθεκτικότερες στην μεταφορά, αλλά έχουν υψηλότερο κόστος, μικρότερο βαθμό αποδόσεως, δεν δέχονται μικρά ρεύματα φορτίσεως και δεν αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας (40°C).

Κατασκευαστικά, οι μπαταρίες μολύβδου αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια εμβαπτισμένα" σε διάλυμα θειικού οξέος (H₂SO₄). Κάθε ηλεκτρόδιο αποτελείται από την ενεργό ύλη (διοξείδιο του μολύβδου στο θετικό και πορώδης μόλυβδος στο αρνητικό όταν ή μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη) και τον σκελετό επί του οποίου στηρίζεται. Το υλικό πού χρησιμοποιείται για την κατασκευή του σκελετού είναι ο μόλυβδος ή καθαρός ή υπό μορφή κράματος. Οι μπαταρίες με σκελετούς από καθαρό μόλυβδο δεν είναι κατάλληλες για φωτοβολταϊκά συστήματα γιατί έχουν περιορισμένη αντοχή σε κύκλους βαθιάς έκφορτίσεως λόγω του ότι ο καθαρός μόλυβδος είναι εκ φύσεως μαλακός. Για την αύξηση της ακαμψίας και της αντοχής

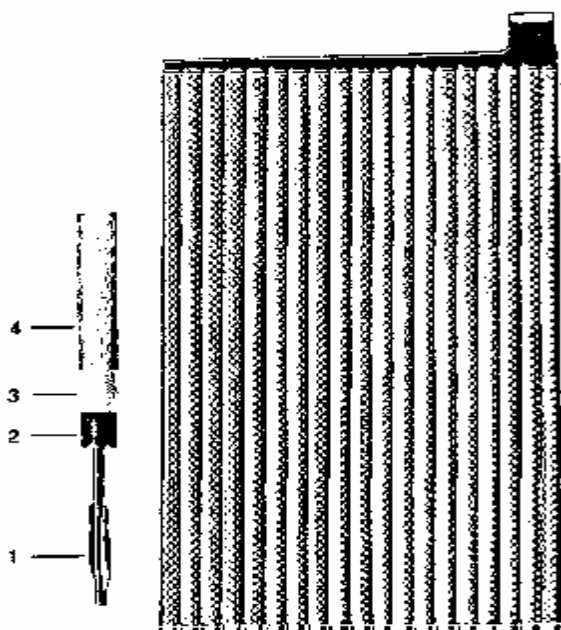
των σκελετών χρησιμοποιούνται κράματα του μολύβδου συνήθως με αντιμόνιο (Sb) ή ασβέστιο (Ca).

Η ύπαρξη αντιμονίου στο μέταλλο του σκελετού βοηθάει την συγκράτηση της ενεργού ύλης επί του ηλεκτροδίου σε καλή κατάσταση που συνεπάγεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας (σε κύκλους). Από την άλλη πλευρά όμως το αντιμόνιο δρα σαν ήπιο δηλητήριο στην μπαταρία αυξάνοντας τον ρυθμό αυτοεκφορτίσεως της και την κατανάλωση ύδατος. Οι περισσότερες μπαταρίες της αγοράς που προτείνονται για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν κράματα μικρής περιεκτικότητας σε αντιμόνιο ($\leq 2\%$). Κατάλληλες επίσης για φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι μπαταρίες των οποίων ο σκελετός είναι κράμα ασβεστίου με περιεκτικότητα 1-2%. . Οι δύο ανωτέρω τύποι των μπαταριών έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά, με τις αντιμονίου να υπερτερούν στην διάρκεια ζωής και της ασβεστίου στον ρυθμό αυτοεκφορτίσεως και την κατανάλωση ύδατος. Υπό την προϋπόθεση ότι οι κύκλοι βαθιάς έκφορτίσεως περιορίζονται στο ελάχιστο, οι μπαταρίες ασβεστίου είναι πολύ ικανοποιητικές για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Όταν όμως υπάρχει αμφιβολία για το βάθος και την συχνότητα έκφορτίσεως της μπαταρίας, γεγονός συνηθισμένο σε πολλές εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί μία μπαταρία αντιμονίου.

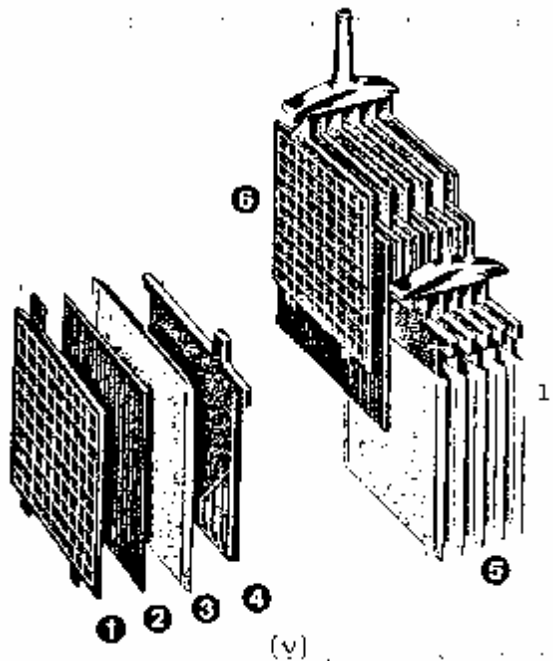
Ο σκελετός του αρνητικού ηλεκτροδίου έχει πάντοτε την μορφή επιπέδου πλέγματος (flat grid), ενώ ο σκελετός του θετικού ηλεκτροδίου μπορεί να έχει την μορφή επιπέδου πλέγματος ή σωλήνων (tubular plate) ή ράβδων (rod plate) όπως φαίνεται στο Σχ. 1.19. Οι μπαταρίες επιπέδου πλέγματος έχουν μικρότερη εσωτερική αντίσταση και επομένως παρέχουν μεγαλύτερη ισχύ, αλλά ζουν λιγότερο λόγω της τάσεως να αποκολλάται ή ενεργός ύλη όταν υπόκεινται σε κύκλους βαθιάς έκφορτίσεως. Οι μπαταρίες σωληνοειδούς πλακός έχουν τα αντίθετα χαρακτηριστικά, δηλαδή, μεγαλύτερη εσωτερική αντίσταση αλλά και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αυτό οφείλεται στο ότι η ενεργής ύλη συγκρατείται σταθερά επί του σκελετού (Σχ. 1.19-β), ή Οποία επιπλέον δρα σαν παγίδα για τύ αντιμόνιο, με αποτέλεσμα οι μπαταρίες σωληνοειδούς πλακός να διατηρούν τα πλεονεκτήματα από την χρήση του αντιμονίου και να ελαχιστοποιούν τα μειονεκτήματα. Τέλος, οι μπαταρίες ραβδωτής πλακός, οι οποίες διαφέρουν από τις επιπέδου πλέγματος μόνο κατά το ότι ο σκελετός δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τον ηλεκτρολύτη, έχουν απόδοση ενδιάμεση μεταξύ των επιπέδου πλέγματος και σωληνοειδούς πλακός.



(α)



1. Σκελετός
2. Ενεργός ύλη
3. Υαλοϊνώδης σωλήνας
4. Πορώδης πλαστική μεμβράνη



1. Αρνητική πλάκα πλέγματος 2. Πορώδης διαχωριστής 3. θήκη διαχωριστού 4. θετική πλάκα ράβδων 5. θετικό ηλεκτρόδιο 6. Αρνητικό ηλεκτρόδιο

Σχήμα 1.19. Οι χρησιμοποιούμενες μορφές σκελετών και ηλεκτροδίων α)θετικό η αρνητικό ηλεκτρόδιο επιπέδου πλέγματος β) θετικό ηλεκτρόδιο σωληνοειδούς πλακός γ) θετικό ηλεκτρόδιο ραβδωτού σκελετού και αρνητικό τύπου πλέγματος.

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας μπορεί να εκφρασθεί σε Ah ή σε Wh. Οι κατασκευαστές τείνουν να εκφράζουν την χωρητικότητα σε Ah, πού είναι μέτρο του ρεύματος (A) πού μπορεί να δώσει η μπαταρία όταν εκφορτισει σε κάποιο καθορισμένο χρόνο και χρησιμεύει κυρίως για την σύγκριση των μπαταριών μεταξύ τους. Κατά τον υπολογισμό της λειτουργίας της μπαταρίας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι χρησιμότερο να γνωρίζουμε την χωρητικότητα της σε Wh, πού δηλώνει την ποσότητα της ενεργείας πού μπορεί να αποθήκευση, και υπολογίζεται ως το γινόμενο της χωρητικότητας σε Ah επί την μέση τάση εκφορτίσεως (περίπου στο SOC=0,6). Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας πού είναι διαθέσιμη για την κάλυψη κάποιου φορτίου ονομάζεται ενεργώς χωρητικότητα (effective capacity) και είναι συνάρτηση της τιμής και της μορφής του ρεύματος εκφορτίσεως και της θερμοκρασίας λειτουργίας. Η ονομαστική τιμή της ενεργού χωρητικότητας, Be , μετράται με μία πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας σε 10h στους 25°C. Η ονομαστική χωρητικότητα, Br , υπολογίζεται τότε από την σχέση:

$$Br = Be / DODs$$

Ο βαθμός αποδόσεως της μπαταρίας, η_B , μπορεί να εκφρασθεί όπως και η χωρητικότητα με δύο τρόπους: ως ενεργειακός $\eta_B(Ah)$ και φορτίου $\eta_B(Ah)$. Η απόδοση $\eta_B(Ah)$ είναι, χρήσιμη για συγκρίσεις μεταξύ των μπαταριών και είναι της τάξεως του 90-95% διότι εξαρτάται μόνο από τον ρυθμό αυτοεκφορτίσεως. Ο ενεργειακός βαθμός αποδόσεως $\eta_B(Wh)$ είναι χρήσιμος όταν εξετάζουμε την λειτουργία της μπαταρίας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και είναι πάντοτε μικρότερος του $\eta_B(Ah)$, τυπικά μεταξύ 80% και 85%. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ενεργειακός βαθμός αποδόσεως έχει ως όρο την τάση έκφορτίσεως που είναι πάντοτε μικρότερη από την τάση φορτίσεως (κατά 15% στον μέσο όρο) και εξαρτάται από τον ρυθμό έκφορτίσεως και την στάθμη φορτίσεως. Μεγάλος ρυθμός έκφορτίσεως και μικρή στάθμη φορτίσεως συνεπάγονται μικρή τάση έκφορτίσεως και επομένως μικρότερες τιμές για τον ενεργειακό βαθμό αποδόσεως. Το $\eta_B(Wh)$ είναι τέλος συνάρτηση της θερμοκρασίας λειτουργίας της μπαταρίας και της ηλικίας της.

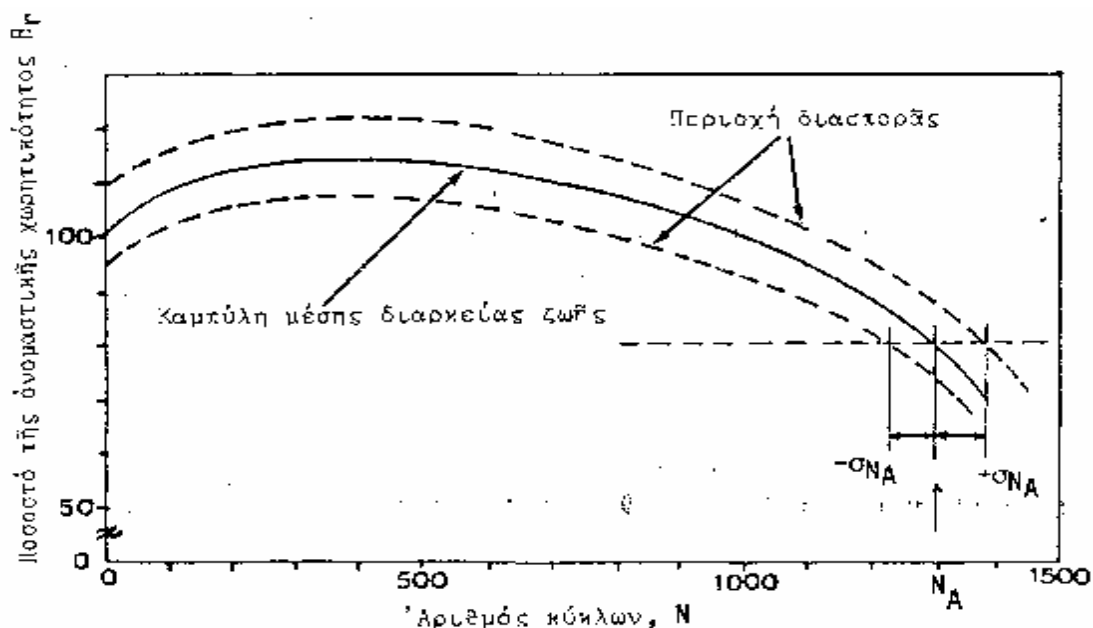
Η αυτοεκφορτίση μίας μπαταρίας Ορίζεται ως η απώλεια της χωρητικότητας σε δεδομένο χρόνο εν κενό και οφείλεται σε παρασιτικές αντιδράσεις. Συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας ανά μήνα στους 25 C και, εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του κράματος των σκελετών των ηλεκτροδίων. Για να χρησιμοποιηθεί μία μπαταρία σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι αναγκαίο να έχει μικρό ρυθμό αυτοεκφορτίσεως. Οι μπαταρίες αντιμονίου (μικρής περιεκτικότητας) και ασβεστίου ικανοποιούν αυτή την απαίτηση δεδομένου ότι ο ρυθμός αυτοεκφορτίσεως των είναι της τάξεως του 2-4% της Βr. Ο ρυθμός αυτοεκφορτίσεως αυξάνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες και επίσης με την πάροδο του χρόνου (ιδιαίτερα στις μπαταρίες αντιμονίου).

Η τάση κάθε στοιχείου της μπαταρίας έχει ονομαστική τιμή 2V. Η πραγματική τάση ενός στοιχείου όμως μεταβάλλεται και εξαρτάται από την στάθμη φορτίσεως του και από το εάν ευρίσκεται σε κατάσταση φορτίσεως ή έκφορτίσεως. Η τάση ανοικτού κυκλώματος στους ακροδέκτες ενός πλήρως φορτισμένου στοιχείου στους 25C είναι 2,14V. Το μικρό ρεύμα φορτίσεως που απαιτείται για την κάλυψη των απωλειών λόγω αυτοεκφορτίσεως τροφοδοτείται εάν η τάση φορτίσεως ανά στοιχείο υπερβαίνει τα 2,3V. Αυτή είναι η ελαχίστη τιμή της τάσεως ανά στοιχείο υπό την οποία μία έκφορτισμένη μπαταρία είναι δυνατό να επαναφορτισθεί πλήρως, αν και θα απαιτηθεί αρκετός χρόνος (τυπικά μερικές ημέρες). Για να επιταχυνθεί ή φόρτιση της μπαταρίας στο διάστημα μίας ημέρας, η τάση στην έξοδο του ρυθμιστού φορτίσεως ανά στοιχείο πρέπει να είναι της τάξεως των 2,6 έως 2,7V. Όταν η τάση ανά στοιχείο φθάσει τα 2,35 έως 2,40V, η μπαταρία είναι πλέον πλήρως φορτισμένη και αρχίζει ή έκλυση αερίων. Στις μπαταρίες σωληνοειδούς πλακός ή σποραδική έκλυση αερίων είναι επιθυμητή γιατί επιτυγχάνεται ή ομογενοποίηση του ηλεκτρολύτου. Οι τιμές της τάσεως φορτίσεως που ανεφέρθησαν ισχύουν για τους 25°C. Εάν ή θερμοκρασία της μπαταρίας είναι χαμηλότερη ή τάση φορτίσεως πρέπει να αυξηθεί κατά περίπου 5mV ανά βαθμό Κελσίου και στοιχείο ή να μειωθεί κατά το ίδιο ποσό εάν ή θερμοκρασία της μπαταρίας υπερβαίνει τους 25°C.

Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας εξαρτάται από τον τύπο της και τις συνθήκες λειτουργίας της σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Στα φυλλάδια προδιαγραφών των κατασκευαστών αναφέρεται μία μέση τιμή της διάρκειας ζωής της μπαταρίας N_A , εκπεφρασμένη σε κύκλους φορτίσεως- έκφορτίσεως, ή οποία έχει προκύψει από μία εργαστηριακή δοκιμασία της αντοχής της σύμφωνα με κάποια πρότυπα. Για παράδειγμα, ή μέτρηση της αντοχής μιας μπαταρίας σε κύκλους κατά τα πρότυπα DIN ακολουθεί την έξης διαδικασία:

Αρχικά ή μπαταρία υπόκειται σε μία σειρά πενήντα (50) ημερησίων κύκλων φορτίσεως και έκφορτίσεως, κατά τους οποίους φορτίζεται για 21 ώρες μέχρι την

τάση των 2,4V ανά στοιχείο και εκφορτίζεται για 3 ώρες μέχρι να φθάσει σε βάθος εκφορτίσεως $DOD_{0,75} = 75\%$ της ονομαστικής της χωρητικότητας, B_r . Στο τέλος των 50 κύκλων γίνεται μία εξισωτική φορτιση της, μπαταρίας και μετρείται ή εναπομείνασα χωρητικότης της. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ή εναπομείνασα χωρητικότης ευρέθη μικροτερη του 80% της ονομαστικής της τιμής B_r . Τότε θεωρείται ότι ή μπαταρία έφθασε στο τέλος της ζωής της και ή διάρκεια ζωής της μπαταρίας, N_A , ισούται, με τον αριθμό των κύκλων που άντεξε. Όλη ή ανωτέρω διαδικασία γίνεται στους $T_0 = 25\text{ C}$. Στο Σχ.1.20 παρίσταται ή καμπύλη της διάρκειας ζωής μίας μπαταρίας ραβδωτής πλακός, που προέκυψε από την εφαρμογή της ανωτέρω διαδικασίας σε ένα δείγμα μπαταριών του ίδιου τύπου κάποιου κατασκευαστού. Στο σχήμα αυτό εκτός από την καμπύλη της μέσης διάρκειας ζωής φαίνεται και ή σταθερά απόκλιση της, σ_{NA} , που είναι της τάξεως του 8% της μέσης τιμής N_A . Τυπικές τιμές της μέσης διάρκειας ζωής των μπαταριών κατά τις εργαστηριακές δοκιμές, N_A , είναι για τις μπαταρίες επιπέδου πλέγματος από 400 έως 800 κύκλοι, για τις σωληνοειδούς πλακός από 1000 έως 1500 κύκλοι ανάλογα



Σχήμα 1.20. Παράδειγμα της καμπύλης διάρκειας ζωής ενός τύπου μπαταριών ραβδωτής πλακός, μετρηθείσας με τα πρότυπα DIN

με την περιεκτικότητα σε αντιμόνιο και για τις ραβδωτής πλακός 1200 κύκλοι.

Όπως είναι ευνόητο, οι συνθήκες λειτουργίας μίας; μπαταρίας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ουδέποτε συμπίπτουν με τις αναφερθείσες κατά τις εργαστηριακές δοκιμές. Για την ορθή, κατά το δυνατό, εκτίμηση της πραγματικής διάρκειας ζωής της μπαταρίας πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ή επίδραση στην διάρκεια ζωής παραγόντων χαρακτηριστικων των φωτοβολταϊκών συστημάτων όπως είναι η απαιτούμενη αξιοπιστία ή λειτουργία σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος άνω των 25 C ή μεταβλητότητα του ρεύματος εκφορτισεως της μπαταρίας, ή έλλειψη πλήρους φορτίσεως της ορισμένες εποχές του έτους και κυρίως το ημερήσιο βάθος εκφορτισεως.

1.9 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν μια πληθώρα εφαρμογών και έχουν την δυνατότητα να καλύψουν αρκετές ανάγκες της καθημερινής μας ζωής.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- * εξοικονόμηση ενέργειας σε μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα
- * συστήματα καθοδικής προστασίας
- * ηλεκτρικούς φράκτες
- * αυτόνομα συστήματα φωτισμού
- * συστήματα τηλεπικοινωνιών και μακρινού ελέγχου
- * άντληση και κατεργασία ύδατος
- * καταναλωτικά προϊόντα όπως ρολόγια, παιχνίδια και υπολογιστές
- * συστήματα ενέργειας έκτακτης ανάγκης
- * ψυγεία αποθήκευσης εμβολίων και αίματος για τις απομακρυσμένες περιοχές
- * παροχές ηλεκτρικού ρεύματος στους δορυφόρους και τα διαστημικά οχήματα
- * φορητές παροχές ηλεκτρικού ρεύματος για τη στρατοπέδευση και την αλιεία

Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια (BIPV)

Τα ενσωματωμένα σε κτίρια φωτοβολταϊκά στοιχεία (Building Integrated Photovoltaic - BIPV) είναι η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στα κτήρια με αντικατάσταση των συμβατικών οικοδομικών υλικών όπως των υαλοπινάκων, των κεραμιδιών της σκεπής, της μεταλλικής ή μαρμάρινης πρόσοψης σε ένα κτήριο. Τα BIPV συστήματα μπορούν είτε να συνδεθούν στο υπάρχον δίκτυο είτε να δημιουργήσουν ένα αυτόνομο σύστημα που να τροφοδοτεί κάποια φορτία, όπως τα UPS.

Ένα από τα οφέλη των συνδεδεμένων με το δίκτυο BIPV, είναι ότι η μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας συμπίπτει χρονικά με τις μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτηρίου. Αν υπολογιστεί και το κέρδος, οικονομικό και περιβαλλοντικό, από την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας λόγω μεταφοράς της, αφού η ενέργεια παράγεται εκεί που καταναλώνεται, το σύστημα παρέχει ιδιαίτερη μείωση ενεργειακού κόστους.

Για την βέλτιστη και ποιο οικονομική εφαρμογή των BIPV σε ένα κτίριο είναι καλό να εμπλακούν οι αρχιτέκτονες, οι μηχανικοί και όλοι οι αρμόδιοι του έργου από τα πρώτα στάδια σχεδιασμού του για να γίνει σωστή διαρρύθμιση και τοποθέτηση του συστήματος.

Αυτόνομα συστήματα

Συστήματα καθοδικής προστασίας

Η καθοδική προστασία είναι μια μέθοδος προστασίας των μετάλλων από τη διάβρωση. Χρησιμοποιείτε στις γέφυρες, τις σωληνώσεις, τα κτήρια, τις δεξαμενές, τα φρεάτια και τις γραμμές σιδηροδρόμων. Η καθοδική προστασία επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μιας μικρής αρνητικής τάσης στην μεταλλική επιφάνεια. Το θετικό ακροφύσιο του συστήματος συνδέεται με μια άνοδο που είναι γενικά ένα κομμάτι μετάλλου το οποίο «συγκεντρώνει» τη διάβρωση αντί της μεταλλικής κατασκευής. Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται συχνά σε μακρινές τοποθεσίες για να παρέχουν αυτήν την τάση.

Ηλεκτρικοί φράκτες

Οι ηλεκτρικοί φράκτες χρησιμοποιούνται για να αποτρέψουν τα ζωντανά των κτηνοτροφιών να διαφύγουν ή να αποτρέψουν οποιονδήποτε επιτήδειο (άνθρωπο ή ζώο π.χ. λύκος) επιθυμεί να κάνει κακό, να εισέλθει στο αγρόκτημα. Αυτοί οι φράκτες έχουν συνήθως ένα ή δύο ενεργά καλώδια που διατηρούνται σε περίπου 500 βολτ συνεχούς ρεύματος (VDC). Το αποτέλεσμα είναι ένας επίπονος, αλλά αβλαβής κλονισμός σε οποιόν τους αγγίζει. Αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, ένα φορτιστή και συσσωρευτές.

Αυτόνομα συστήματα φωτισμού

Συχνά απαιτείται φωτισμός σε μακρινές περιοχές όπου το κόστος της μεταφοράς ενέργειας είναι πάρα πολύ υψηλό. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν το φωτισμό ασφάλειας, τις φάρους, την οδική και σιδηροδρομική σηματοδότηση, λειτουργία απομακρυσμένων σταθμών λεωφορείων, σημείων έκτακτου ανάγκης και φωτισμό αγροτικών κατοικημένων περιοχών. Τα ηλιακά κύτταρα ταιριάζουν σε τέτοιες εφαρμογές, αν και μια μπαταρία αποθήκευσης απαιτείται πάντα σε τέτοια συστήματα. Αυτά τα συστήματα είναι πολύ δημοφιλή στις απομακρυσμένες περιοχές, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες και αυτό είναι μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές των μικρών φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Συστήματα τηλεπικοινωνιών και μακρινού ελέγχου

Η τηλεπικοινωνία είναι σημαντική για την βελτίωση της ποιότητας ζωής σε απομακρυσμένες περιοχές. Εντούτοις το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας να λειτουργήσουν αυτά τα συστήματα και το υψηλό κόστος συντήρησης των συμβατικών συστημάτων έχουν περιορίσει τη χρήση τους. Τα φωτοβολταϊκά δημιουργούν μια οικονομικώς αποδοτική λύση για τους αναμεταδότες τηλεπικοινωνιακών σημάτων. Χιλιάδες τέτοια συστήματα έχουν εγκατασταθεί σε όλο τον κόσμο και έχουν μια άριστη φήμη για την αξιοπιστία και το σχετικά χαμηλότερο κόστος για τη λειτουργία και συντήρησή τους. Οι παρόμοιες αρχές ισχύουν για τα ηλιακά τροφοδοτημένα ραδιόφωνα και τα τηλεοπτικά σύνολα, τα τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης και τα συστήματα ελέγχου. Τα συστήματα μακρινού ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των καιρικών στοιχείων ή άλλων περιβαλλοντικών πληροφοριών και να τα μεταδώσουν αυτόματα στην βάση.

Συστήματα κατεργασίας νερού

Στις απομακρυσμένες περιοχές η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται συχνά για να απολυμάνει ή να καθαρίσει το πόσιμο νερό. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν ένα ισχυρό υπεριώδες φως που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σκοτώσει βακτηρίδια στο πόσιμο νερό. Αυτό μπορεί να συνδυαστεί με ένα ηλιακό τροφοδοτημένο σύστημα άντλησης ύδατος. Τέλος, η αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού μπορεί να επιτευχθεί μέσω τροφοδοτημένων από Φ/Β συστημάτων αντίστροφης όσμωσης. Αυτές είναι εφαρμογές που θα μπορούσαν να γίνουν πραγματικότητα σε πολλά από τα νησιά μας.

Ηλιακά τροφοδοτημένη άντληση νερού

Στις απομακρυσμένες περιοχές η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται συχνά για να απολυμάνει ή να καθαρίσει το πόσιμο νερό. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν ένα ισχυρό υπεριώδες φως που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σκοτώσει βακτηρίδια στο πόσιμο νερό. Αυτό μπορεί να

συνδυαστεί με ένα ηλιακά τροφοδοτημένο σύστημα άντλησης ύδατος. Τέλος, η αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού μπορεί να επιτευχθεί μέσω τροφοδοτημένων από Φ/Β συστημάτων αντίστροφης όσμωσης. Αυτές είναι εφαρμογές που θα μπορούσαν να γίνουν πραγματικότητα σε πολλά από τα νησιά μας.

2. ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

Το πρώτο μέλημα κατά τον σχεδιασμό του φορτίου ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η ορθή εκλογή των συσκευών που το απαρτίζουν. Το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση του αναμενόμενου μέσου μηνιαίου προφίλ του φορτίου, η μορφή του οποίου έχει μεγάλη επίδραση στην λειτουργία του συστήματος. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να γίνει η εκτίμηση του φορτίου με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.

Ο υπολογισμός του μηνιαίου προφίλ του φορτίου είναι δυνατός όταν γνωρίζουμε την ονομαστική ισχύ κάθε συσκευής και τον αναμενόμενο κύκλο λειτουργίας της. Υπάρχουν φορτία, όπως είναι για παράδειγμα το φορτίο ενός αναμεταδοτού τηλεπικοινωνιών, των οποίων είναι γνωστό το προφίλ με ακρίβεια. Σε άλλες περιπτώσεις όμως όπως (π.χ οικιακό φορτίο) δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί ο αναμενόμενος κύκλος λειτουργίας κάθε συσκευής, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια αβεβαιότητα προς το μέγεθος και την μορφή του φορτίου, το οποίο θα αντιμετωπίσει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Ειδικά στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων που τροφοδοτούν απομακρυσμένα σπίτια ή οικισμούς, η με την πάροδο του χρόνου υπερβολική αύξηση του φορτίου είναι συνηθισμένο γεγονός για τον υπολογισμό της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, το προφίλ του φορτίου πρέπει να δίνεται συνάρτηση του ηλιακού χρόνου.

2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ PV-ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.

Στο ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα Πατρών και συγκεκριμένα στο εργαστήριο των ήπιων μορφών ενέργειας δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα το οποίο επιλέγοντας κάποια φορτία υπολογίζει ποσά φωτοβολταϊκά χρειαζόμαστε αλλά και το οικονομοτεχνικό κόστος της όλης εγκατάστασης σε ένα κτήριο. Διαστασιολόγηση του PV-συστήματος με βάση την ενεργειακή μέθοδο και την μέθοδο των Ah.

Οι ιδιοκτήτες ενός συγκροτήματος τριών σπιτιών στην Αθήνα αποφάσισαν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες με τεχνολογίες από τις Α.Π.Ε. Για το ζεστό νερό και την θέρμανση χώρου η λύση που υιοθετήθηκε ήταν συστήματα ηλιακών συλλεκτών, ενώ όλες οι άλλες ηλεκτρικές συσκευές/καταναλωτές θα τροφοδοτούνται από ένα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο PV-σύστημα που θα εγκαθίστατο στην οροφή ή στον περιβάλλοντα χώρο.

Τα φορτία του συγκροτήματος είναι τα εξής:
Από διάφορες καταναλώσεις ηλεκτρικών συσκευών των κτηρίων που αντιστοιχούν σε μέσω ημερήσιο φορτίο **AC 12,565.9Wh** και **DC 158 Wh**. Σε ετήσιο φορτίο **AC 4,586.537 Wh** και **DC 57,774.3 Wh**.

Ενεργειακή Μέθοδος Διαστασιολόγησης

Βήμα 1ο .

Υπολογισμός των φορτίων που θα καλύπτει το PV-σύστημα.

Βήμα 2ο .

Εύρεση και υπολογισμός των δεδομένων της περιοχής

Βήμα 3ο.

Υπολογισμός της ημερήσιας κατανομής των φορτίων

Βήμα 4ο.

Γενική τοπολογία PV-συστήματος

Βήμα 5ο.

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Βήμα 6ο.

Χρόνος αυτοδυναμίας του συστήματος

Βήμα 7ο.

Διόρθωση των τιμών των φορτίων λόγω απωλειών

Βήμα 8ο.

Αρχική εκτίμηση της ισχύος αιχμής της PV-γεννήτριας:

$$P_m = E_L / (PSH)_m$$

Βήμα 9ο.

Διαθέσιμα και επιλογή PV-πλαισίων

Βήμα 10ο.

Διόρθωση λόγω θερμοκρασίας λειτουργίας, T_c των PV-πλαισίων.

Βήμα 11ο

Υπολογισμός της διορθωμένης τιμής των PV-πλαισίων

Υπολογίσαμε στο πρόγραμμα για το μήνα Ιανουάριο, Μάρτιο και Ιούλιο ανάλογα με την κάλυψη και την κλίση του συλλέκτη των αριθμό των φωτοβολταϊκών, μπαταριών και το οικονομοτεχνικό κόστος της εγκατάστασης.

Κάλυψη εννοούμε το ποσοστό συμμετοχής των φωτοβολταϊκών στοιχείων στην εγκατάσταση.

Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήσαμε το φωτοβολταϊκο στοιχείο με ισχύς 100W, μπαταρία με ονομαστική τάση 2V και ονομαστική χωρητικότητα 650h, ρυθμιστή φόρτισης c-40 με μέγιστο ρεύμα φόρτισης 40A και μετατροπέα Prosine 3.0(3000W).

Τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 2.1 τεχνικά χαρακτηριστικά ενός PV

κατασκευαστής	Siemens solar
Τύπος φωτοβολταϊκου	Sp 100
ισχύς	100W
Αριθμός κυψελίδων	36
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως	6,5A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	21,6V
Τάση στο MPP	17V
Ρεύμα στο MPP	5,9A

Πίνακας 2.2 τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταρίας

Τύπος συσσωρευτή	POWERBLOC S 650
Ονομαστική τάση	2V
Κύκλοι ζωής σε 75% εκφορτιση	1350
Κύκλοι ζωής σε 50% εκφορτιση	2400
Κύκλοι ζωής σε 10% εκφορτιση	6500
Ονομαστική χωρητικότητα	650Ah
Απόδοση συσσωρευτής	80%
Χρόνια ικανοποιητικής λειτουργία	10

Πίνακας 2.3 τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης

Τύπος ρυθμιστή φόρτισης	c-40
Τάση συστήματος	12/24/48 V
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης	40 A
Απόδοση ρυθμιστή φόρτισης	90 %

Πίνακας 2.4 τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα τάσης

Τύπος μετατροπέα DC/AC	PROSINE 3.0
Τάση συστήματος	24 V
Ισχύς εισόδου	3000 W
Μέση απόδοση μετατροπέα	88 %

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε τον αριθμό των φωτοβολταϊκών, μπαταριών και το οικονομοτεχνικό κόστος της εγκατάστασης ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης(%) και την κλίση(σε μοίρες) του συλλέκτη για τους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο και Ιούλιο.

Πίνακας 2.5 αριθμός PV για το μήνα Ιανουάριο

ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	6	11	17	22	27	33	38	44	49	55
10°	6	11	16	21	26	32	37	42	47	53
20°	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
30°	5	10	15	19	24	29	34	38	43	48
35°	5	10	14	19	24	29	33	38	43	48
40°	5	10	14	19	24	28	33	38	43	47
45°	5	10	14	19	24	28	33	38	43	47
50°	5	10	14	19	24	29	33	38	43	48
60°	5	10	15	20	25	29	34	39	44	49
70°	6	11	16	21	26	31	36	41	46	52
80°	6	11	17	22	28	33	39	44	50	55
90°	6	12	18	24	31	37	43	49	55	61
ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	60	66	71	77	83	88	94	100	105	111
10°	58	63	69	74	80	85	90	96	101	107
20°	55	60	65	70	75	80	85	90	96	101
30°	53	58	63	67	72	77	82	87	92	97
35°	52	57	62	67	72	77	82	86	91	96
40°	52	57	62	67	71	76	81	86	91	96
45°	52	57	62	67	71	76	81	86	91	96
50°	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97
60°	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99
70°	57	62	67	72	78	83	88	94	99	105
80°	61	67	72	78	84	90	95	101	107	113
90°	68	74	80	86	93	99	106	112	118	125

Πίνακας 2.6 αριθμός PV για τον μήνα Μάρτιο

ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	3	6	8	11	13	16	18	21	23	26
10°	3	5	8	10	13	15	18	20	23	26
20°	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25
30°	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25
35°	3	5	8	10	13	15	18	21	23	26
40°	3	6	8	11	13	16	18	21	23	26
45°	3	6	8	11	13	16	19	21	24	27
50°	3	6	8	11	14	16	19	22	25	27
60°	3	6	9	12	15	18	21	23	26	29
70°	4	7	10	13	16	19	23	26	29	32
80°	4	8	11	15	18	22	26	29	33	37
90°	5	9	13	17	22	26	30	35	39	43
ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	28	31	34	36	39	41	44	47	49	52
10°	28	31	33	36	38	41	43	46	48	51
20°	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50
30°	28	30	33	35	38	40	43	45	48	51
35°	28	31	33	36	38	41	43	46	49	51
40°	29	31	34	36	39	42	44	47	49	52
45	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53
50	30	33	35	38	41	44	46	49	52	55
60°	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59
70°	35	39	42	45	48	52	55	58	62	65
80°	40	44	48	51	55	59	63	66	70	74
90°	48	52	56	61	65	70	74	78	83	87

Πίνακας 2.7 αριθμός PV για το μήνα Ιούλιο

ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16
10°	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16
20°	2	4	5	7	9	10	12	14	15	17
30°	2	4	6	8	9	11	13	15	17	18
35°	2	4	6	8	10	12	14	15	17	19
40°	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
45°	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
50°	3	5	7	9	12	14	16	18	21	23
60°	3	6	8	11	14	16	19	21	24	27
70°	4	7	10	13	16	20	23	26	29	33
80°	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41
90°	6	11	16	21	27	32	37	43	48	53
ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	18	19	21	22	24	25	27	29	30	32
10°	18	19	21	23	24	26	27	29	31	32
20°	19	20	22	24	25	27	29	31	32	34
30°	20	22	24	26	27	29	31	33	35	37
35°	21	23	25	27	29	31	32	34	36	38
40°	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
45	24	26	28	30	32	34	36	38	41	43
50	25	27	30	32	34	37	39	41	43	46
60°	29	32	35	37	40	43	45	48	51	54
70°	36	39	42	46	49	52	55	59	62	65
80°	45	50	54	58	62	66	71	75	79	83
90°	59	64	70	75	80	86	91	97	103	108

Πίνακας 2.8 αριθμός μπαταριών για το μήνα Ιανουάριο

ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
10°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
20°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
30°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
35°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
40°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
45°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
50°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
60°	12	24	36	48	60	72	84	120	144	180
70°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
80°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
90°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	216	252	300	348	396	444	504	564	636	708
10°	216	252	300	348	396	444	504	564	636	708
20°	216	252	300	348	396	444	504	564	636	696
30°	216	252	300	336	396	444	504	564	636	696
35°	216	252	300	336	396	444	504	564	636	696
40°	216	252	300	336	396	444	504	564	624	696
45°	216	252	300	336	396	444	504	564	624	696
50°	216	252	300	336	396	444	504	564	636	696
60°	216	252	300	348	396	444	504	564	636	696
70°	312	372	444	516	588	672	756	852	948	1056
80°	312	384	444	516	588	672	756	852	948	1056
90°	324	384	444	516	588	672	768	852	960	1068

Πίνακας 2.9 αριθμός μπαταριών για το μήνα Μάρτιο

ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
10°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
20°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
30°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
35°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
40°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
45°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
50°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
60°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
70°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
80°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
90°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
10°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
20°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
30°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
35°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
40°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
45°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
50°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
60°	216	252	288	336	384	444	504	564	624	684
70°	312	372	444	504	588	660	744	840	936	1044
80°	312	372	444	504	588	660	756	840	936	1044
90°	312	372	444	516	588	672	756	856	948	1044

Πίνακας 2.10 αριθμός μπαταριών για το μήνα Ιούλιο

ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	168
10°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	168
20°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	168
30°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
35°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
40°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
45°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
50°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
60°	12	24	36	48	60	72	84	108	144	180
70°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
80°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
90°	24	36	60	72	96	108	132	168	216	264
ΜΟΙΡΕΣ/ΚΑΛΥΨΗ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	204	252	288	336	384	432	492	552	612	684
10°	204	252	288	336	384	432	492	552	612	684
20°	204	252	288	336	384	444	492	552	612	684
30°	204	252	288	336	384	444	492	552	612	684
35°	204	252	288	336	384	444	492	552	612	684
40°	204	252	288	336	384	444	492	552	612	684
45°	204	252	288	336	384	444	492	552	624	684
50°	204	252	288	336	384	444	492	552	624	684
60°	216	252	288	336	384	444	492	552	624	684
70°	312	372	444	504	588	660	744	840	936	1044
80°	312	372	444	516	588	672	756	840	948	1056
90°	312	372	444	516	588	672	756	852	948	1056

Πίνακας 2.11 κόστος εγκατάστασης για το μήνα Ιανουάριο

ΚΑΛΥΨΗ/ΜΟΙΡΕΣ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	64256	66295	68935	70956	73183	75612	77605	82396	85494	90267
10°	64256	66295	68935	70345	72358	74972	76994	81176	84250	89025
20°	63646	65684	67714	69735	71747	73751	75746	79930	83007	87173
30°	63605	65646	67678	69091	71105	73111	75108	78684	81763	85931
35°	63605	65646	67068	69091	71105	73111	74498	78684	81763	85931
40°	63605	65646	67068	69091	71105	72501	74498	78684	81763	85321
45°	63605	65646	67068	69091	71105	72501	74498	78684	81763	85321
50°	63605	65646	67068	69091	71105	73111	74498	78684	81763	85931
60°	65355	65684	67716	69735	71747	73141	75136	79320	82396	86563
70°	65355	67393	70521	72543	75653	77657	80751	84935	90232	96105
80°	65355	67393	71132	73187	76906	78907	82609	86816	92696	97957
90°	65355	68042	71778	74442	78769	81408	85106	89919	95794	101682
ΚΑΛΥΨΗ/ΜΟΙΡΕΣ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	94421	99177	104427	110262	116089	121298	128213	135111	142490	150471
10°	93181	97329	103192	108419	114248	119458	125759	132662	140047	148029
20°	91331	95481	100721	105952	111175	116390	122695	128992	136989	143269
30°	90092	94244	99486	103010	109334	114551	120858	127156	134545	140827
35°	89481	93633	98875	103010	109334	114551	120858	126546	133935	140217
40°	89481	93633	98875	103010	108724	113940	120247	126542	133934	140217
45°	89481	93633	98875	103010	108724	113940	120247	126546	133934	140217
50°	89481	93633	98875	103010	109334	114551	120858	127156	134545	140827
60°	90721	94871	100111	105342	110565	115780	122085	128381	135768	142048
70°	101360	107721	115139	122567	130594	139103	147603	157807	167387	178668
80°	103820	111888	118220	126253	134288	143340	151894	162088	172276	183550
90°	109247	116211	123147	131185	139812	148926	158632	168822	180096	190874

Πίνακας 2.12 κόστος εγκατάστασης για το μήνα Μάρτιο

ΚΑΛΥΨΗ/ΜΟΙΡΕΣ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	62384	63165	63332	64105	64263	65027	65176	67030	69369	72313
10°	62384	62555	63332	63494	64263	64417	65176	66420	69369	72313
20°	62384	62555	63332	63494	64263	64417	65176	66420	69369	71702
30°	62384	62555	63332	63494	64263	64417	65176	66420	69369	71702
35°	62384	62555	63332	63494	64263	64417	65176	67030	69369	72313
40°	62384	63165	63332	64105	64263	65027	65176	67030	69369	72313
45°	62384	63165	63332	64105	64263	65027	63956	67030	69979	72923
50°	62384	63165	63332	64105	64873	65027	63956	67641	70613	72944
60°	62384	63165	63942	64715	65515	66277	67035	68277	71223	74186
70°	64093	64874	66750	67557	69421	70183	72677	75626	79669	83728
80°	64093	65523	67396	68811	70674	72074	74536	77508	82156	86822
90°	64704	66133	68653	70065	73147	74545	77032	81220	85865	90526
ΚΑΛΥΨΗ/ΜΟΙΡΕΣ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	74642	77578	80510	83925	87947	92452	96472	101577	107167	112264
10°	74642	77578	79899	83925	87336	92452	95855	100963	106554	111654
20°	74642	76968	79899	83315	87336	91842	95855	100352	106554	111043
30°	74642	76968	79899	83315	87336	91842	95855	100352	106554	111654
35°	74642	77578	79899	83925	87336	92452	95855	100963	107165	111654
40°	75253	77578	80510	83925	87947	93071	96472	101577	107169	112264
45°	75253	78205	80524	84548	88568	93071	97082	102188	107777	112874
50°	75882	78816	81135	85158	89178	94292	97699	102802	109000	114095
60°	77122	80053	82980	87002	91030	96140	101245	106346	111443	116536
70°	87760	93497	99733	104849	112158	118983	126281	134674	143675	153156
80°	90850	96599	103424	108549	116462	123280	132281	139573	148564	158649
90°	95789	101532	108365	115788	122607	131126	139026	148379	157607	166583

Πίνακας 2.13 κόστος εγκατάστασης για το μήνα Ιούλιο

ΚΑΛΥΨΗ/ΜΟΙΡΕΣ	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
5°	61732	64052	61427	61592	61144	61272	60818	62067	63778	65022
10°	61732	64052	61427	61592	61144	61272	61428	62067	64389	65022
20°	61732	64052	61462	61592	61754	61301	61454	62677	64411	65632
30°	61732	64052	62072	62236	61754	61912	62065	62702	65632	67362
35°	61732	64052	62072	62236	62364	62522	62675	62702	65654	67972
40°	61732	64052	62072	62236	62395	62522	62675	63923	66265	68603
45°	62343	64662	62683	62847	63006	63161	63312	64558	66875	69213
50°	62343	64662	62683	62847	63616	63771	63923	65168	68119	70455
60°	62382	65312	63328	64100	64868	65021	65780	67024	69973	72917
70°	64091	67020	66781	67551	66943	70816	72670	75618	79683	84330
80°	64701	68241	68647	70025	70057	73925	76385	79964	84634	89274
90°	65351	69501	70513	72532	73780	78283	81374	86166	91437	96700
ΚΑΛΥΨΗ/ΜΟΙΡΕΣ	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5°	67360	70166	72498	75314	78725	81535	86050	90556	94454	100057
10°	67360	70166	72498	75924	78725	82146	86050	90556	95065	100057
20°	67970	70792	73122	76534	79346	83863	87251	91781	95677	101278
30°	68599	72030	74343	77767	80578	85092	88497	93006	97510	103109
35°	69210	72640	74968	78378	81798	86312	89114	93620	98120	103719
40°	69838	73250	75578	79000	82418	86931	90341	94841	99343	104940
45°	71059	74487	76813	80233	83649	88160	91561	96066	102275	106771
50°	71688	75114	78048	81466	84880	89999	93398	97900	103497	108602
60°	75265	78199	81128	84542	88562	93677	97079	102185	108386	113485
70°	88363	93506	99725	105452	112772	118977	126277	135285	143673	153156
80°	93929	100285	107121	113936	120757	128669	137177	145075	155162	164142
90°	102584	108927	116971	124397	131814	140932	149438	159637	169828	180499

Κατόπιν με βάση τα παραπάνω στοιχεία που μας δίνουν οι πίνακες αριθμός φωτοβολταϊκών, μπαταριών και οικονομοτεχνικό κόστος συναρτήσει της κλίσης του συλλέκτη σε μοίρες εμφανίζονται τα παρακάτω διαγράμματα. Στον κάθετο άξονα έχουμε τον αριθμό των φωτοβολταϊκών, μπαταριών και οικονομοτεχνικό κόστος και στον οριζόντιο την κάλυψη σε ποσοστό από το δίκτυο της ΔΕΗ για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνετε το ποσοστό της κάλυψης από το δίκτυο τόσο αυξάνετε και ο αριθμός των φωτοβολταϊκών. Το ίδιο ισχύει για μπαταρίες και για το οικονομοτεχνικό κόστος. Επίσης παρατηρούμε και σε ποια κλίση έχουμε των λιγότερο αριθμό των παραπάνω σε σχέση με την καλύτερη απόδοση του συστήματος. Στα διαγράμματα που έχουμε και τους τρεις μήνες με σταθερή την κλίση βλέπουμε το μήνα Ιανουάριο να ζητά παραπάνω φωτοβολταϊκά και αυξημένο οικονομοτεχνικό κόστος. Στο θέμα των μπαταριών έχουμε την ίδια διακύμανση και για τους τρεις μήνες. Σε όλη την πορεία των διαγραμμάτων ο Ιούλιος είναι ο μήνας με την καλύτερη απόδοση του συστήματος. καθώς επίσης και σε μικρά ποσοστά της κάλυψης από το δίκτυο μπορεί να αποδώσει περισσότερο σε σχέση με τους δυο άλλους μήνες. Σε αυτό οφείλονται και οι καιρικές συνθήκες. Όπως αρκετή ηλιοφάνεια, λιγότερη συννεφιά, αύξηση της θερμοκρασίας. Το οικονομοτεχνικό κόστος εξαρτάται από την αύξηση των μπαταριών και των φωτοβολταϊκών κατά κύριο λόγο. Αλλά και από το ποσοστό της κάλυψης από το δίκτυο της ΔΕΗ.

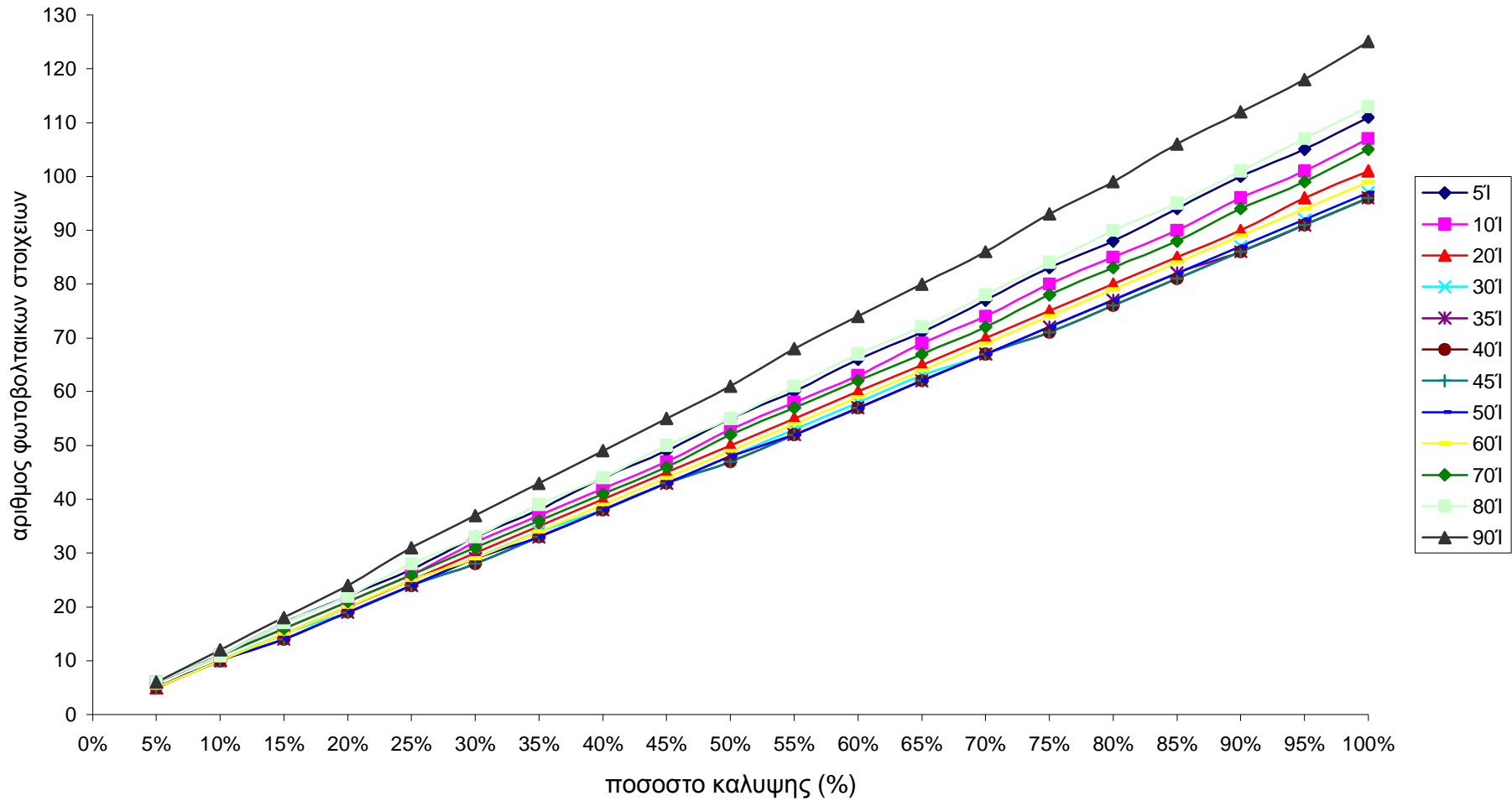
Οι πιο ιδανικές κλίσεις του συλλέκτη για το μήνα Ιανουάριο σε σχέση πάντα με τα φωτοβολταϊκά, μπαταρίες και κόστος είναι 5° , 50° , 60° . Για το μήνα Μάρτιο 20° , 30° , 35° , 40° . Για το μήνα Ιούλιο 5° , 10° , 20° , 30° , 40° .

Ο μήνας Μάρτιος είναι ένας μέσος μήνας από άποψη απόδοσης έρχεται δεύτερος από το μήνα Ιούλιο σε απόδοση. Δεν χρειαζόμαστε μεγάλη από κάλυψη από το δίκτυο. Οι καιρικές συνθήκες ευνοούν την εγκατάσταση. Θωρείτε ένας μέτριος μήνας για την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

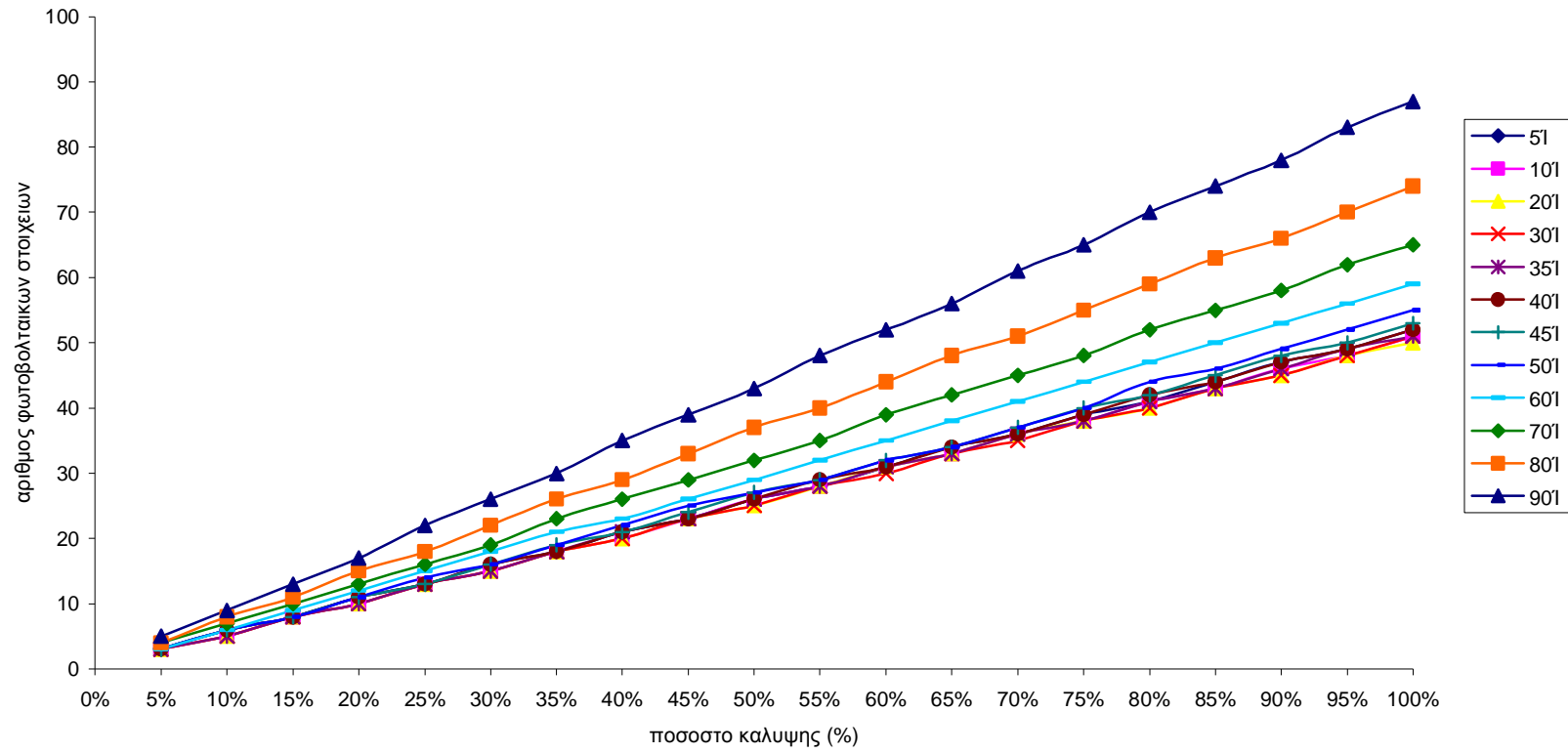
Ο Ιανουάριος είναι ο μήνας που εξαρτάται περισσότερο από το δίκτυο της ΔΕΗ. Λόγο καιρικών συνθηκών όπως αρκετή συννεφιά πράγμα που αυξάνει των αριθμό των μπαταριών και συνεπώς το κόστος της εγκατάστασης.

Παρακάτω εμφανίζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα των τριών μηνών για κάθε μήνα ξεχωριστά. Αριθμός φωτοβολταϊκών, μπαταριών και οικονομοτεχνικό κόστος συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης αλλά και για κάθε κλίση ξεχωριστά.

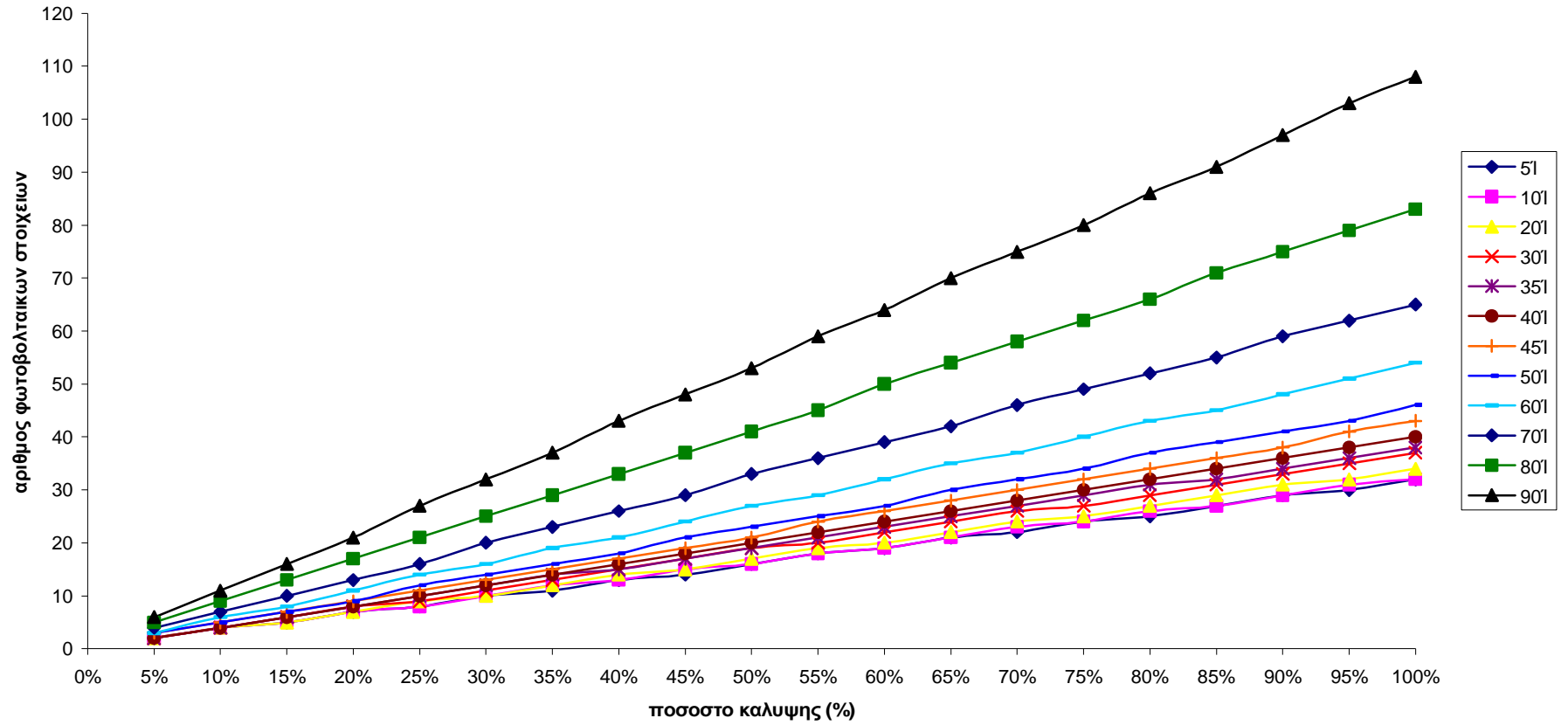
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΛΥΨΗΣ αριθμων PV και ποσοστου καλυψης για το μηνα ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ



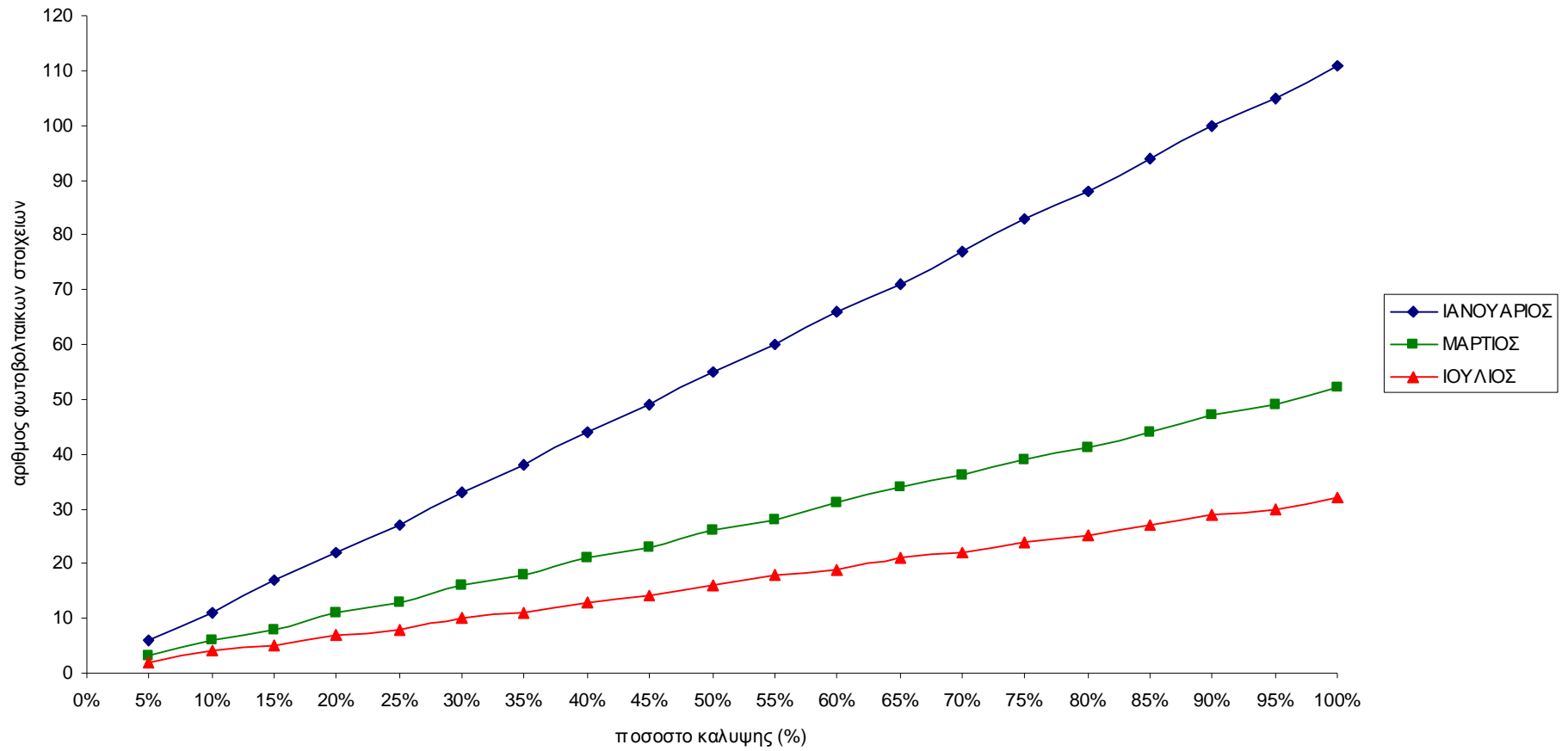
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΛΥΨΗΣ αριθμού PV και ποσοστό καλυψης (%) για το μήνα ΜΑΡΤΙΟ



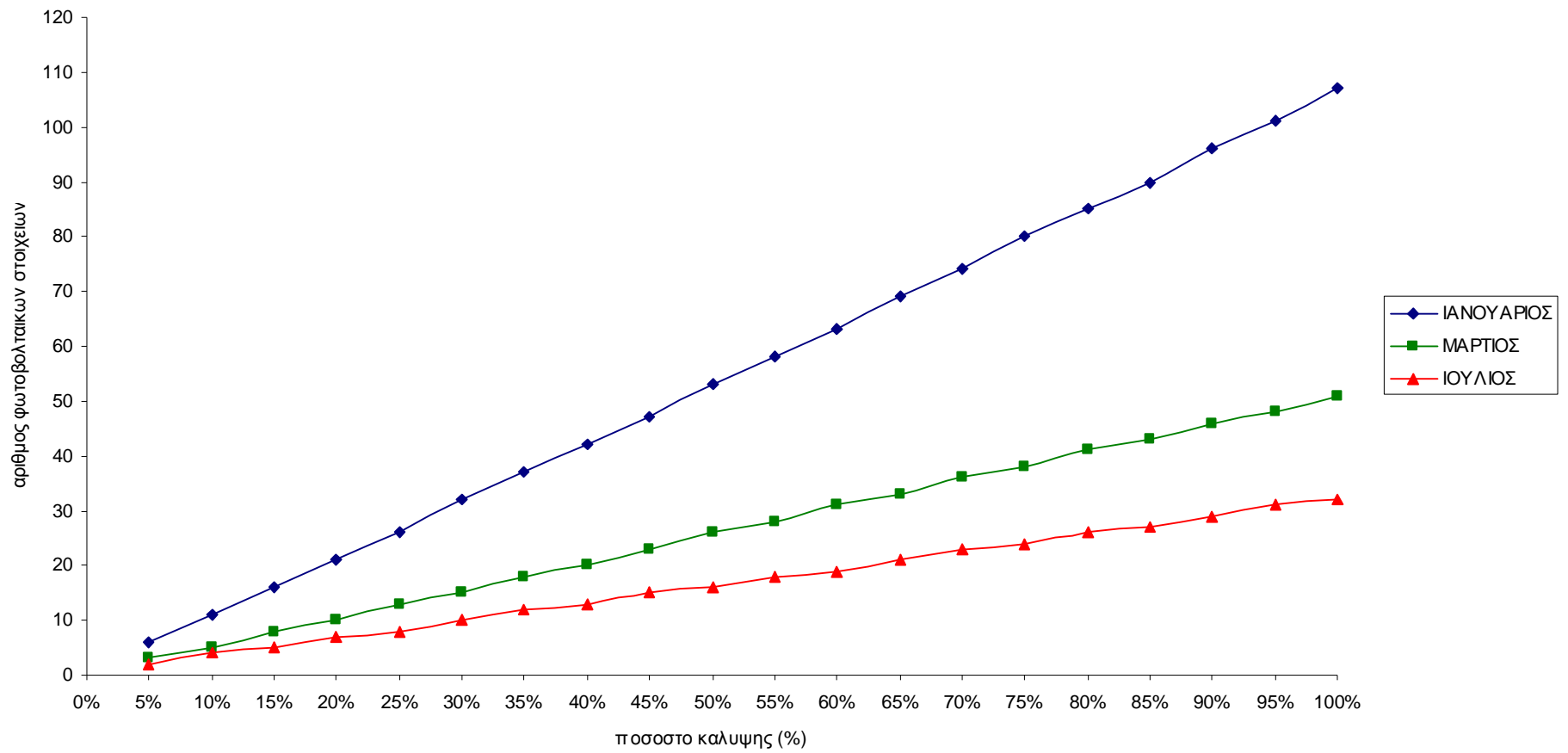
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΛΥΨΗΣ αριθμων φωτοβολταικων και ποσοστο καλυψης για το μηνα ΙΟΥΛΙΟ



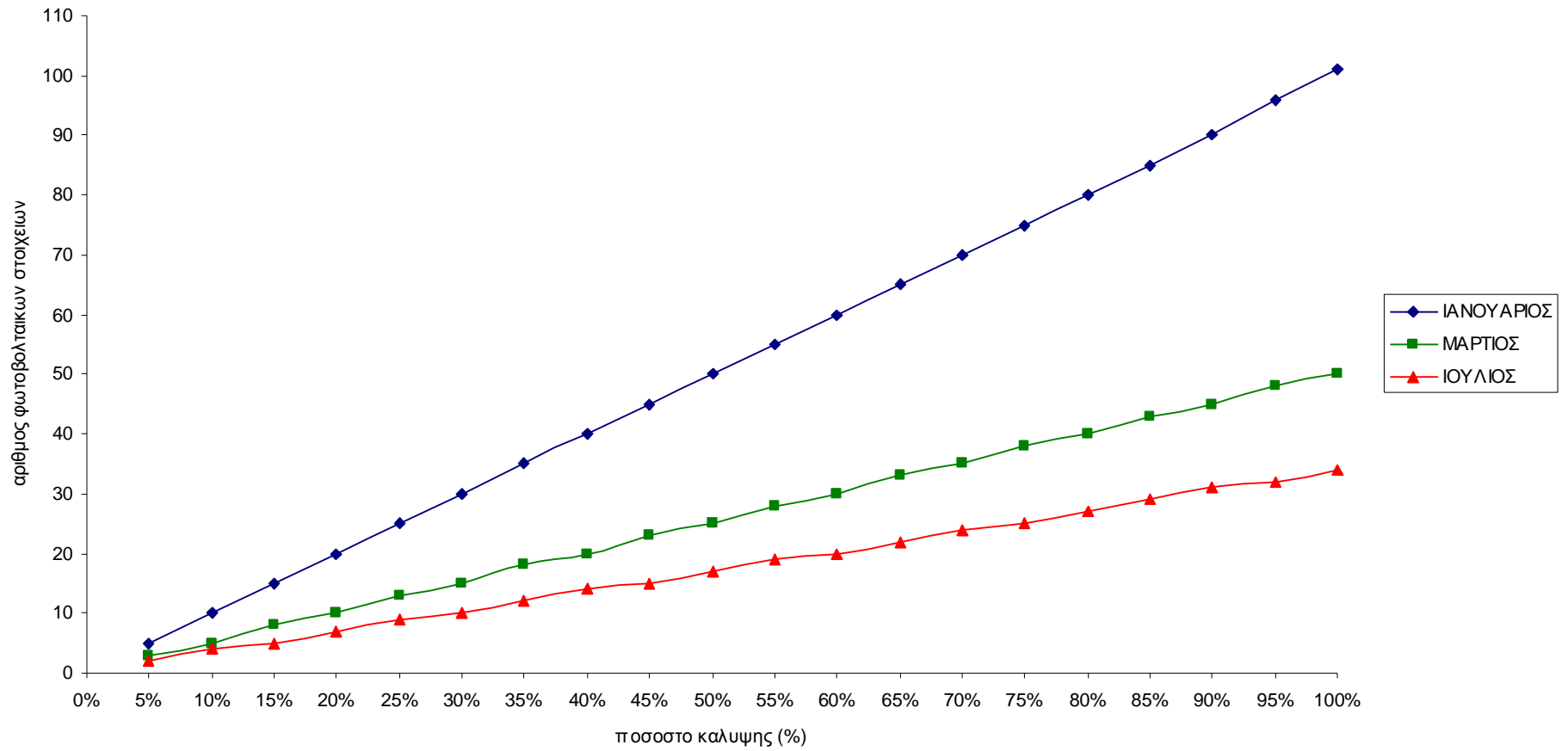
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 5°



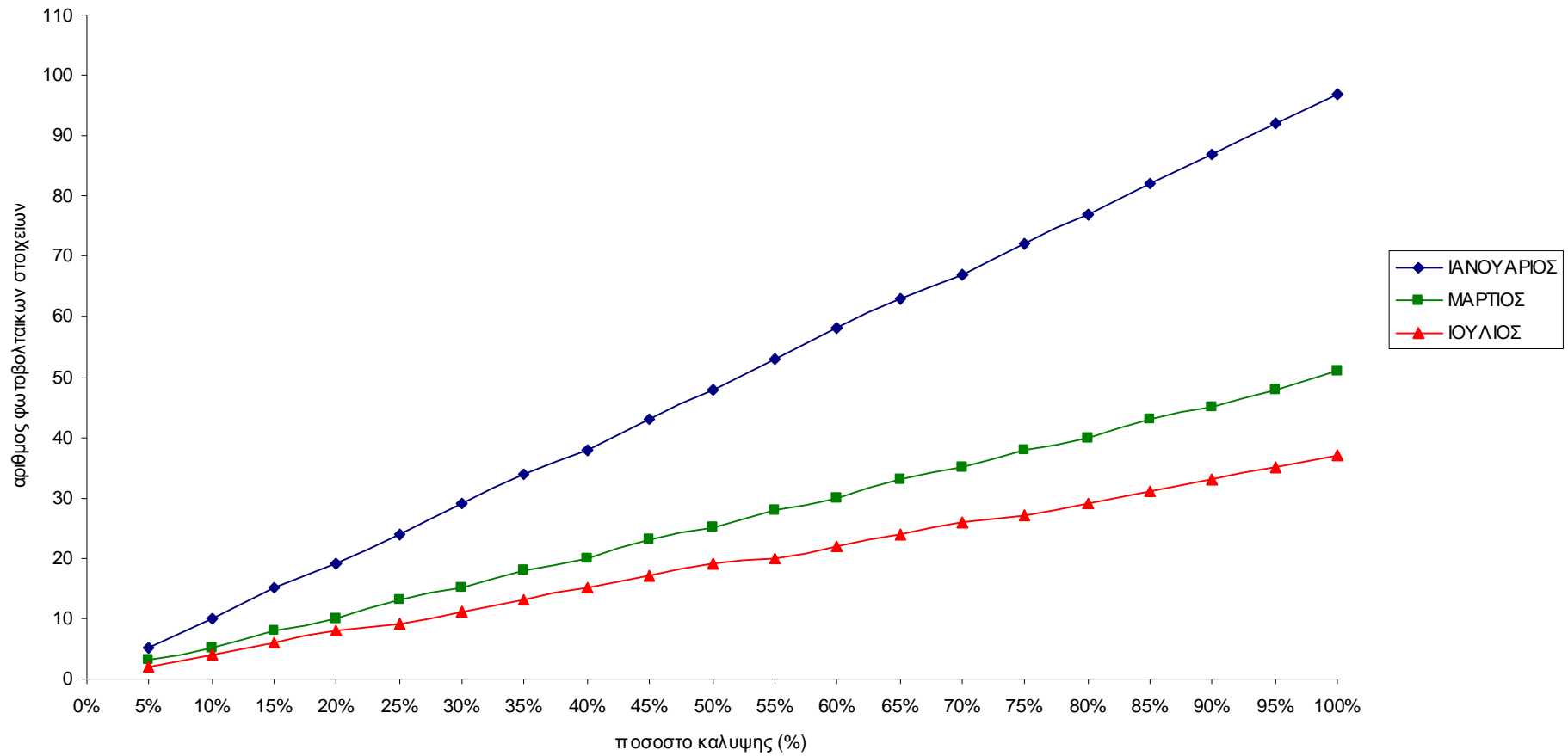
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 10⁰



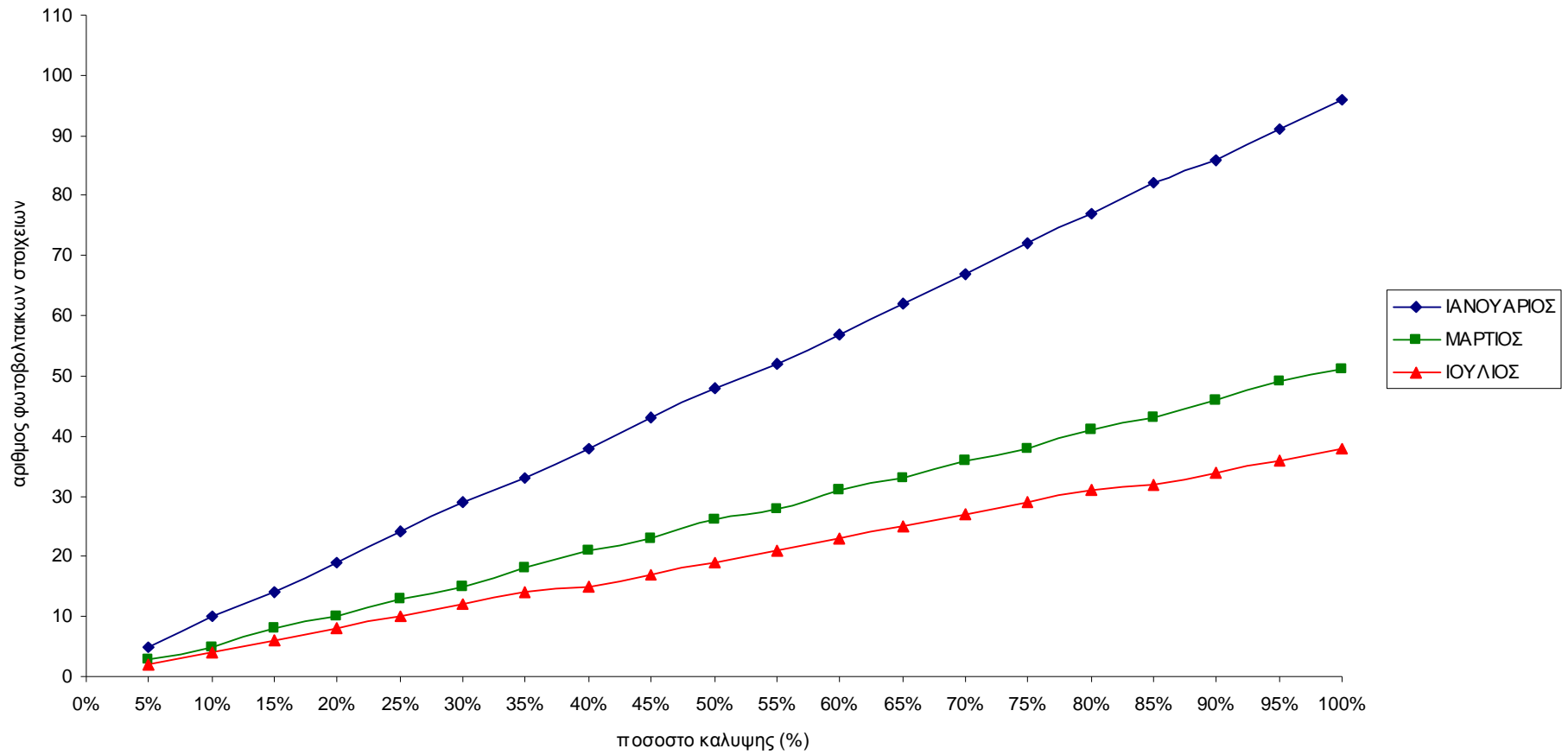
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 20°



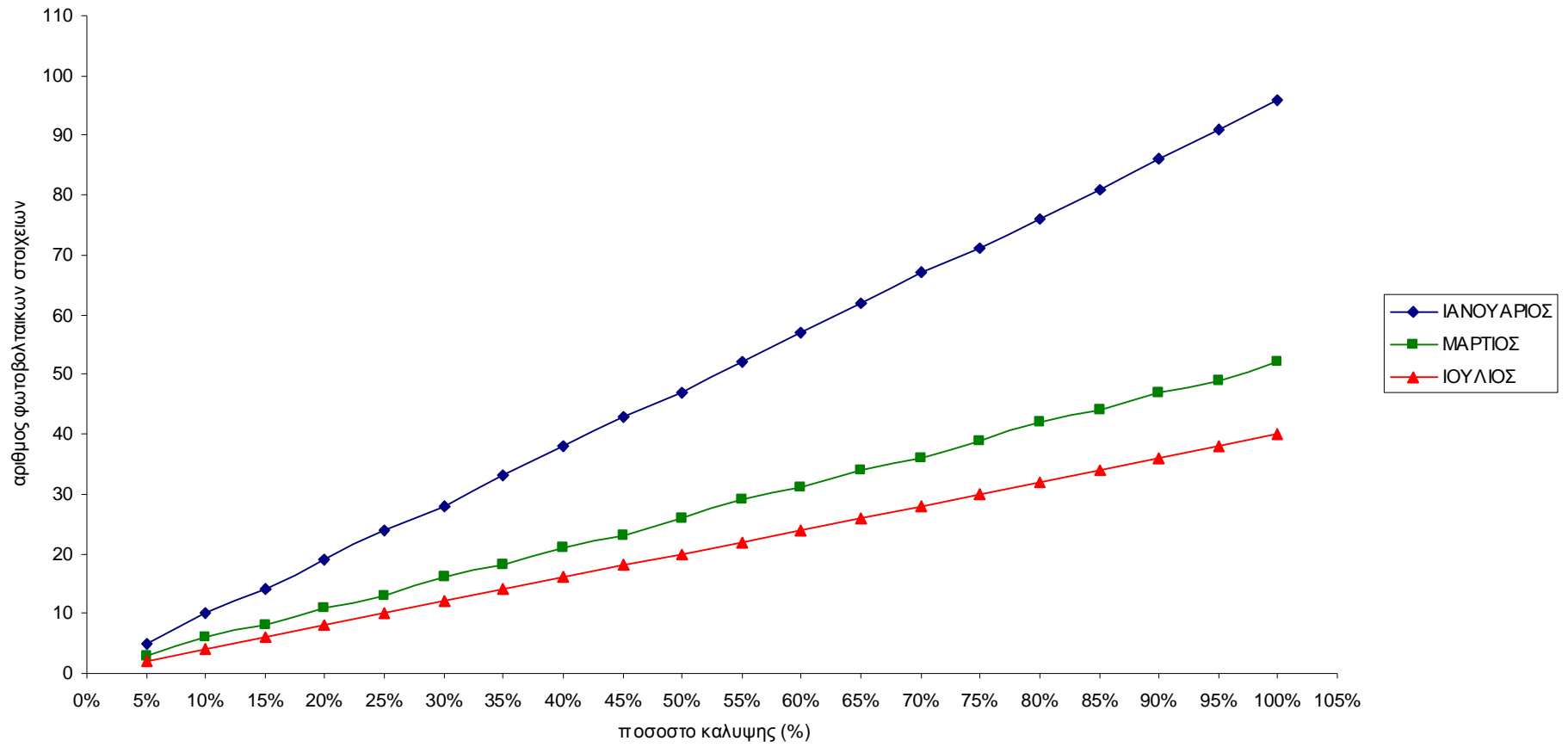
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 30°



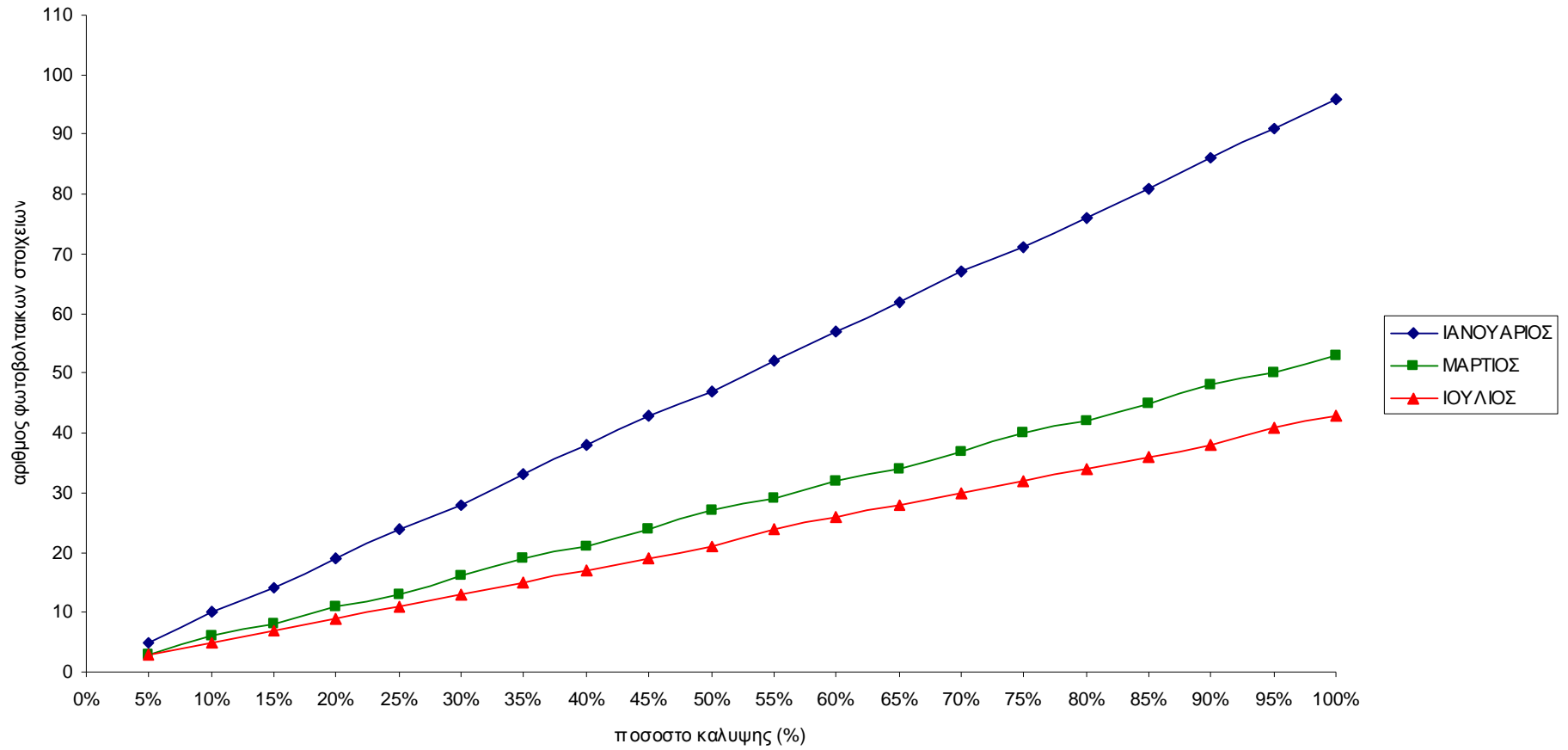
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ 35°



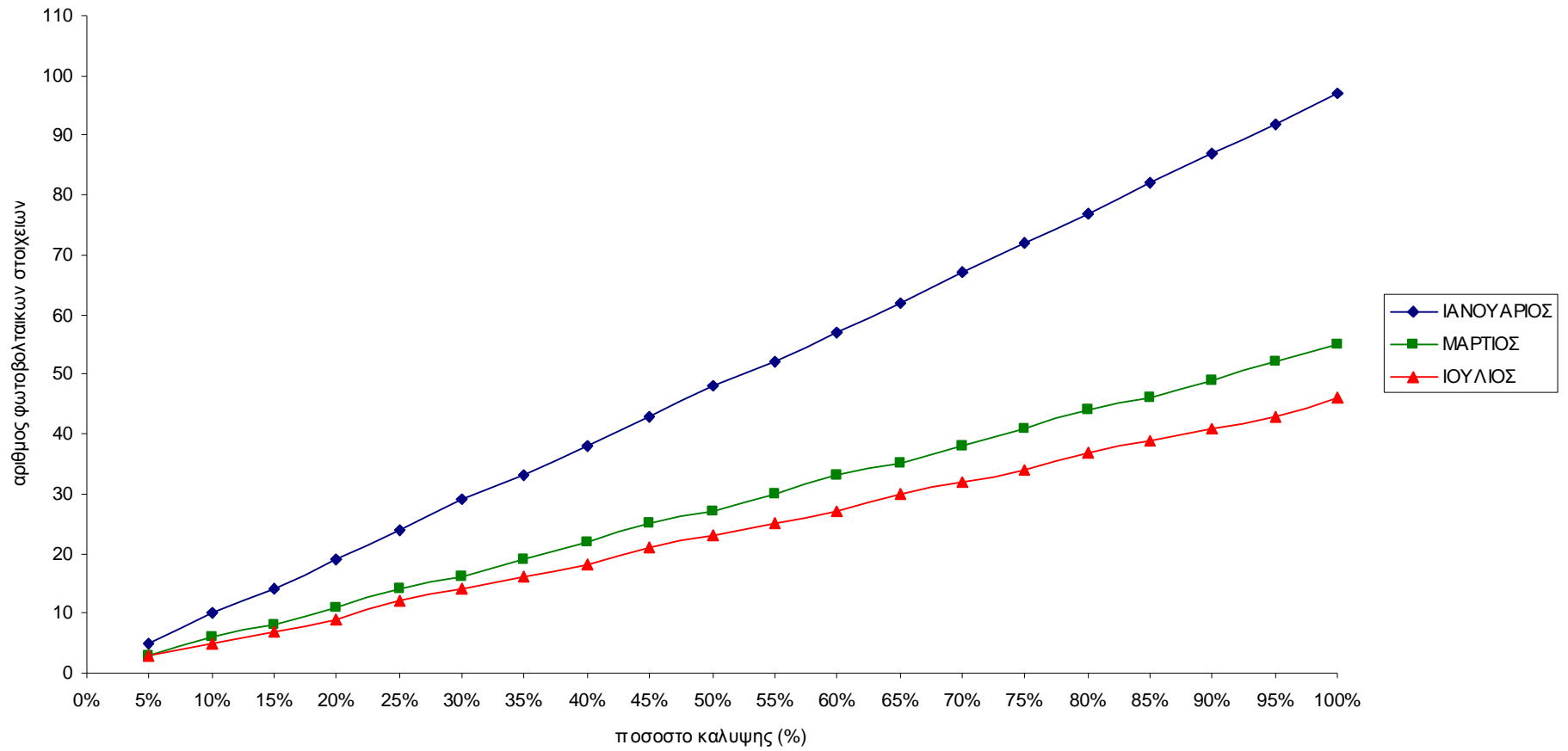
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 40°



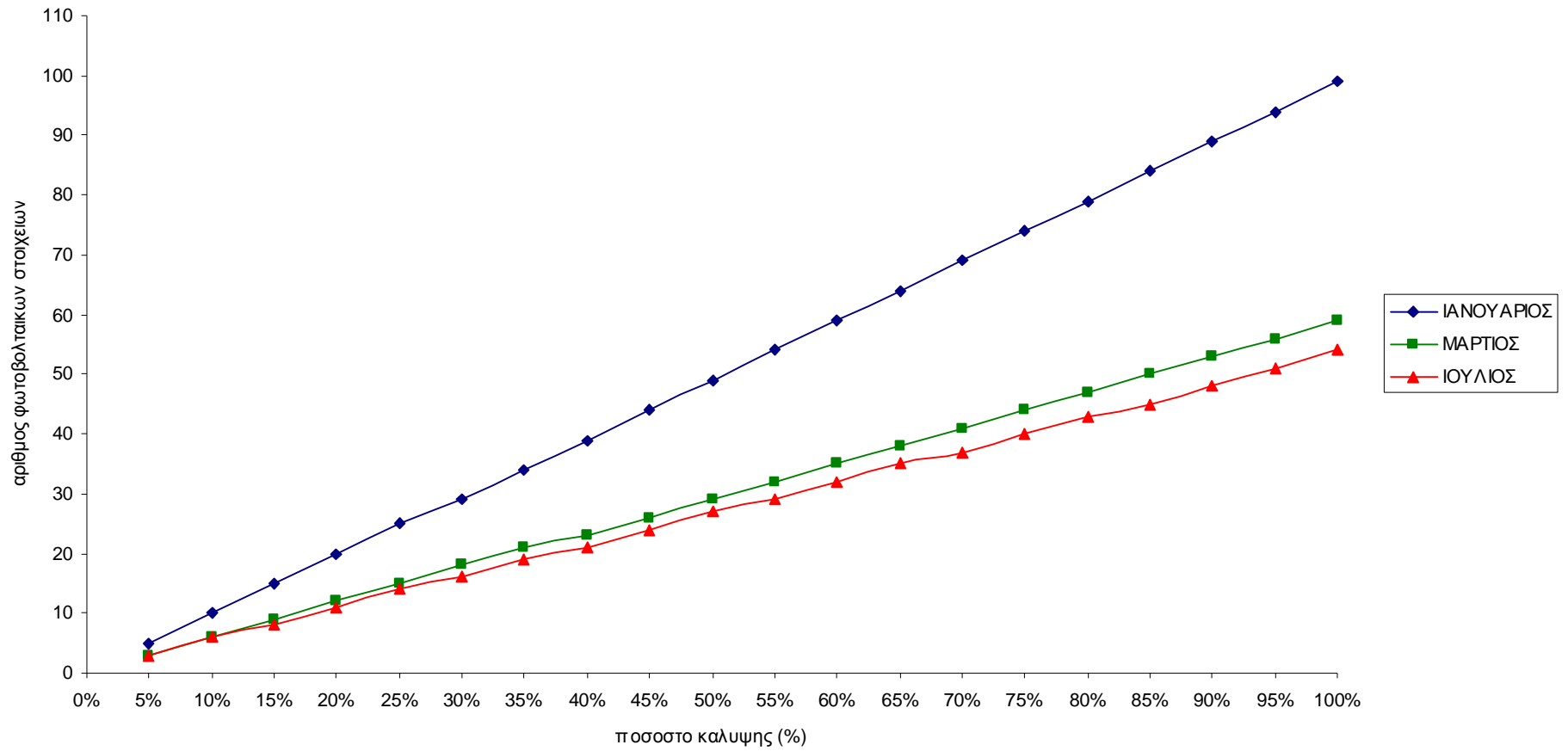
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 45°



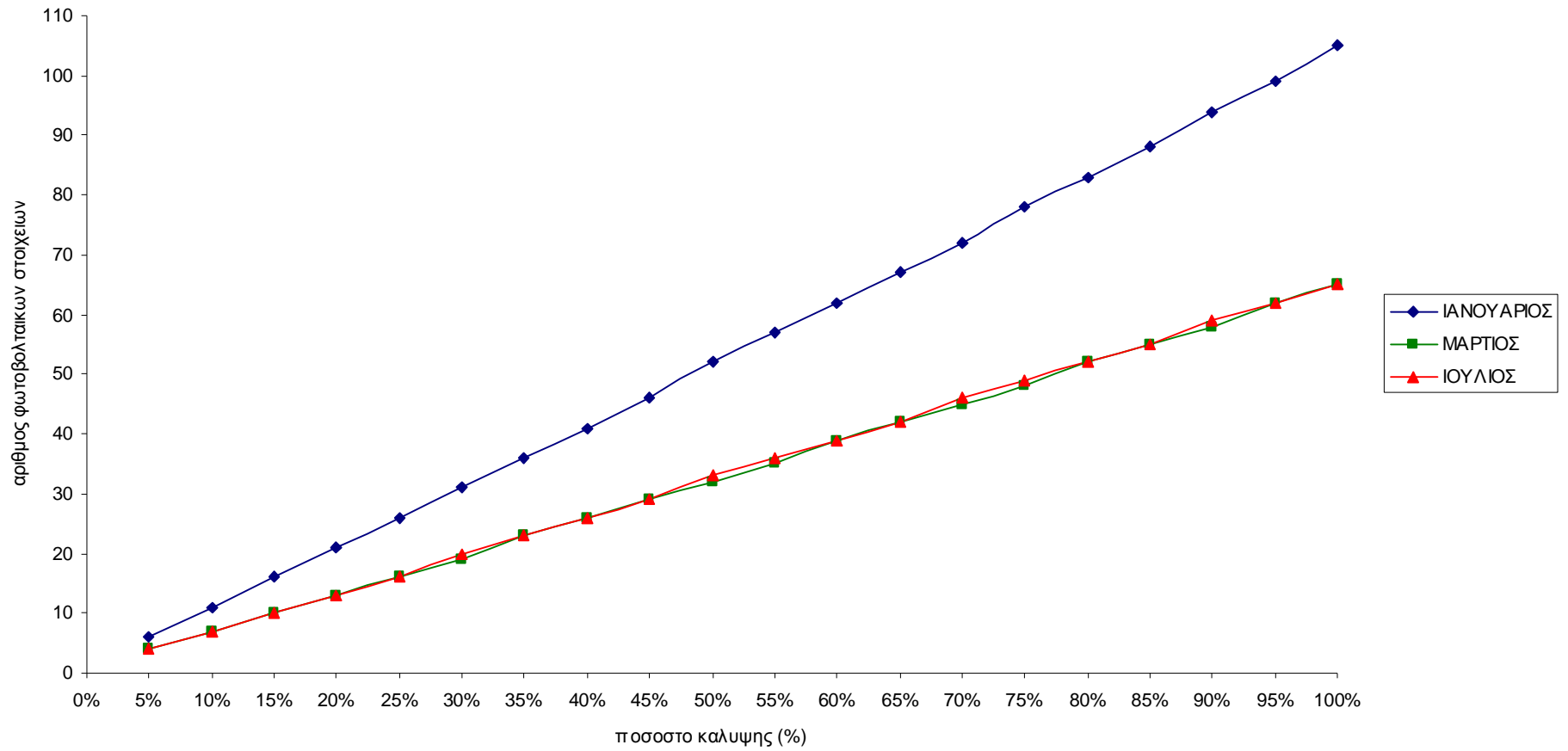
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 50°



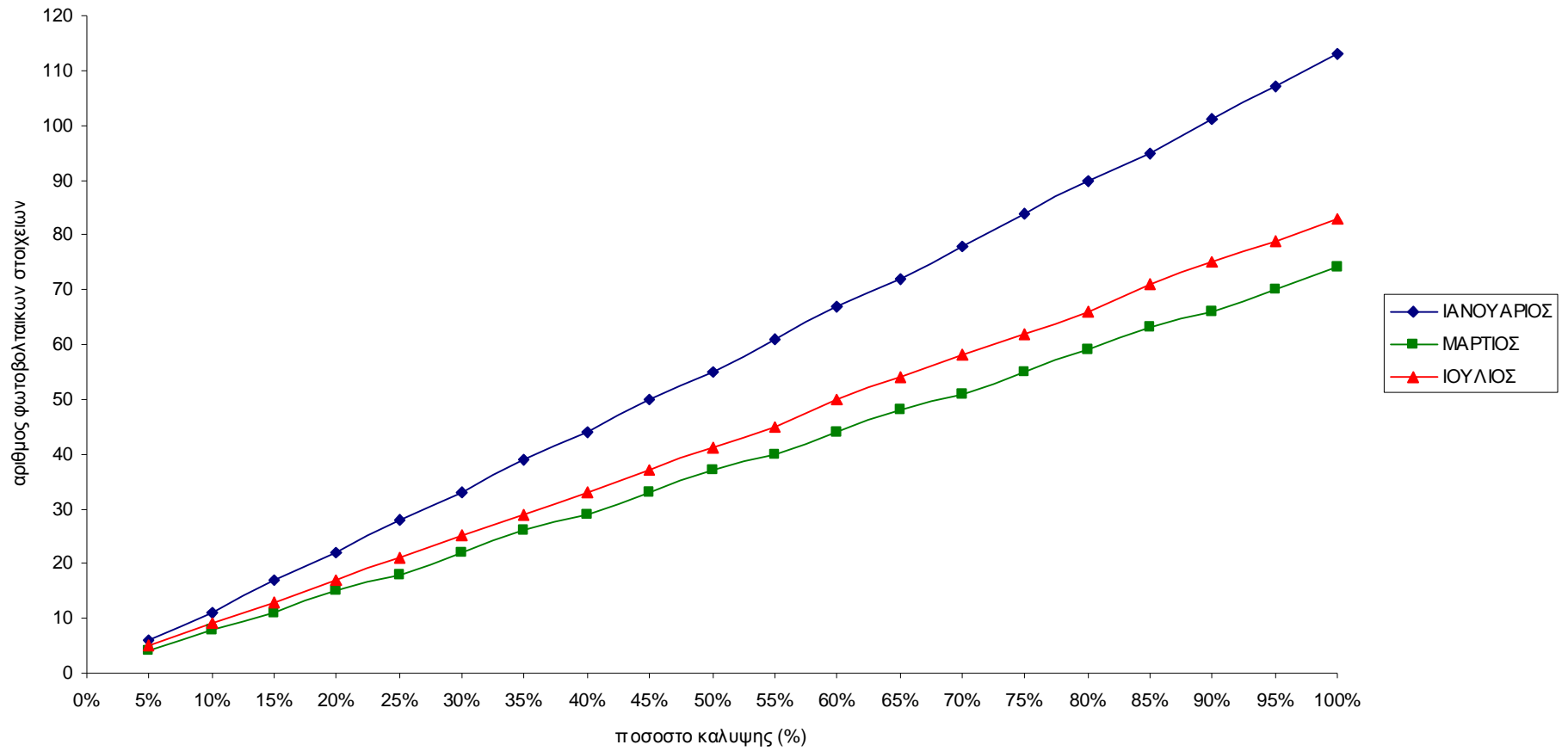
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ 60°



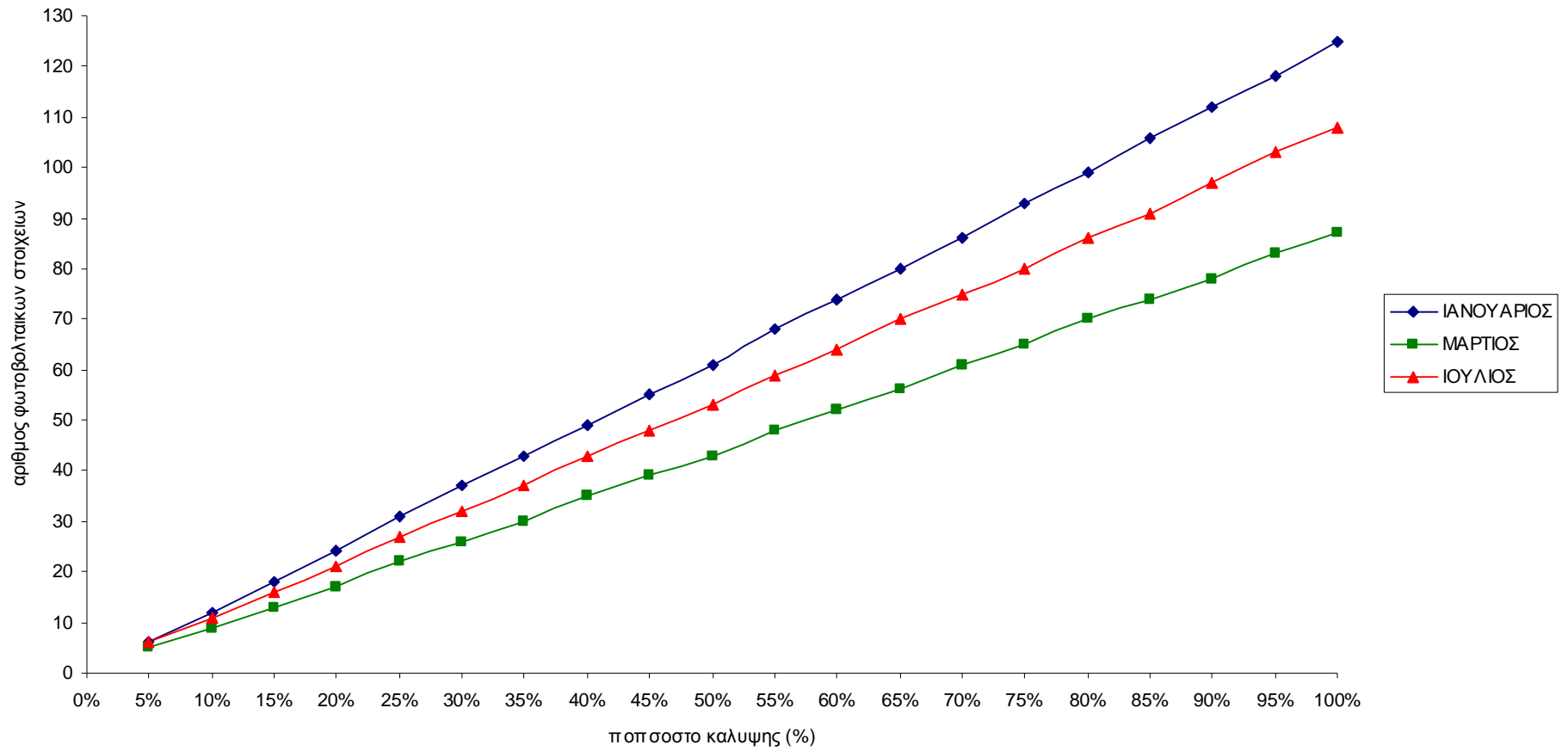
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 70°



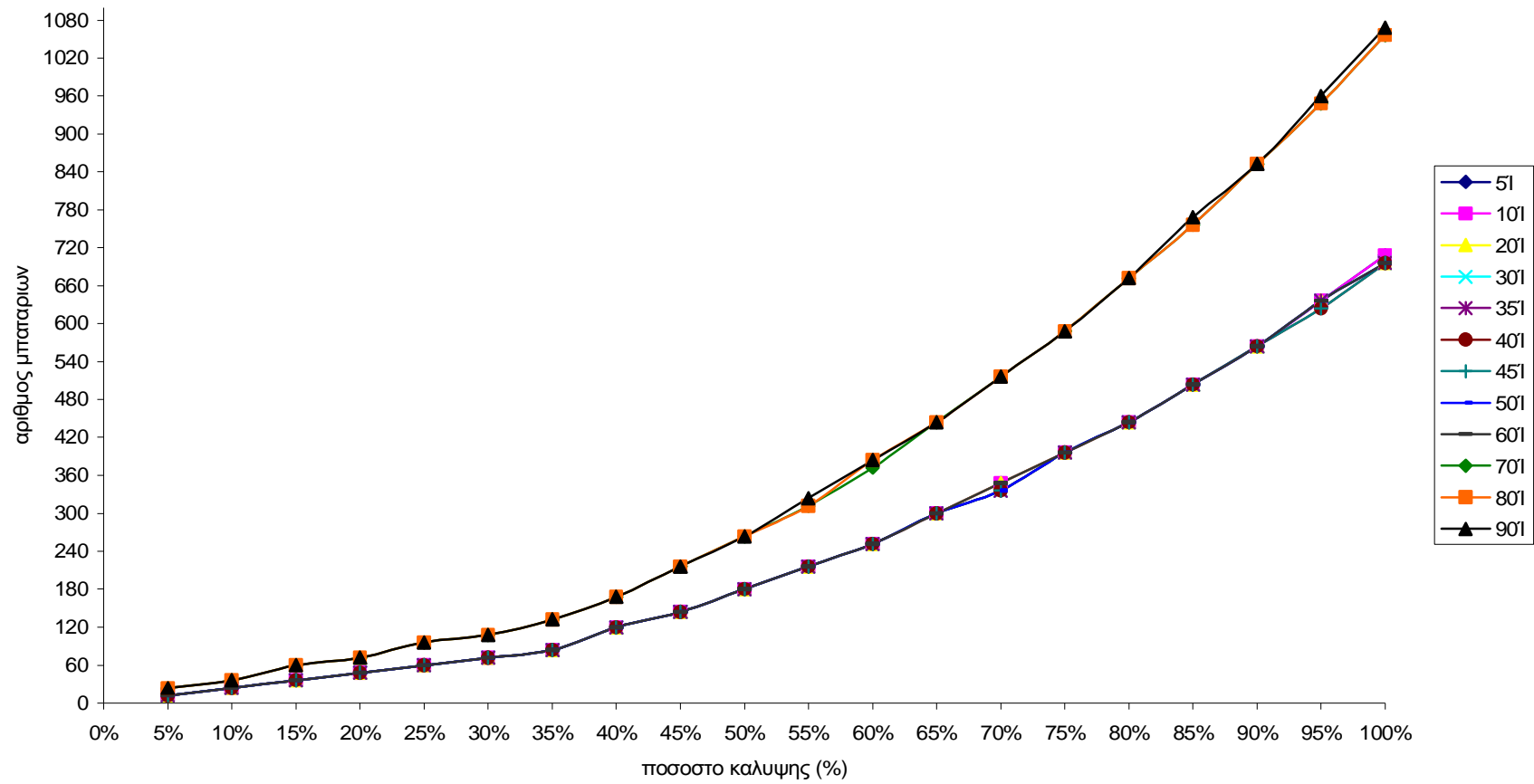
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 80°



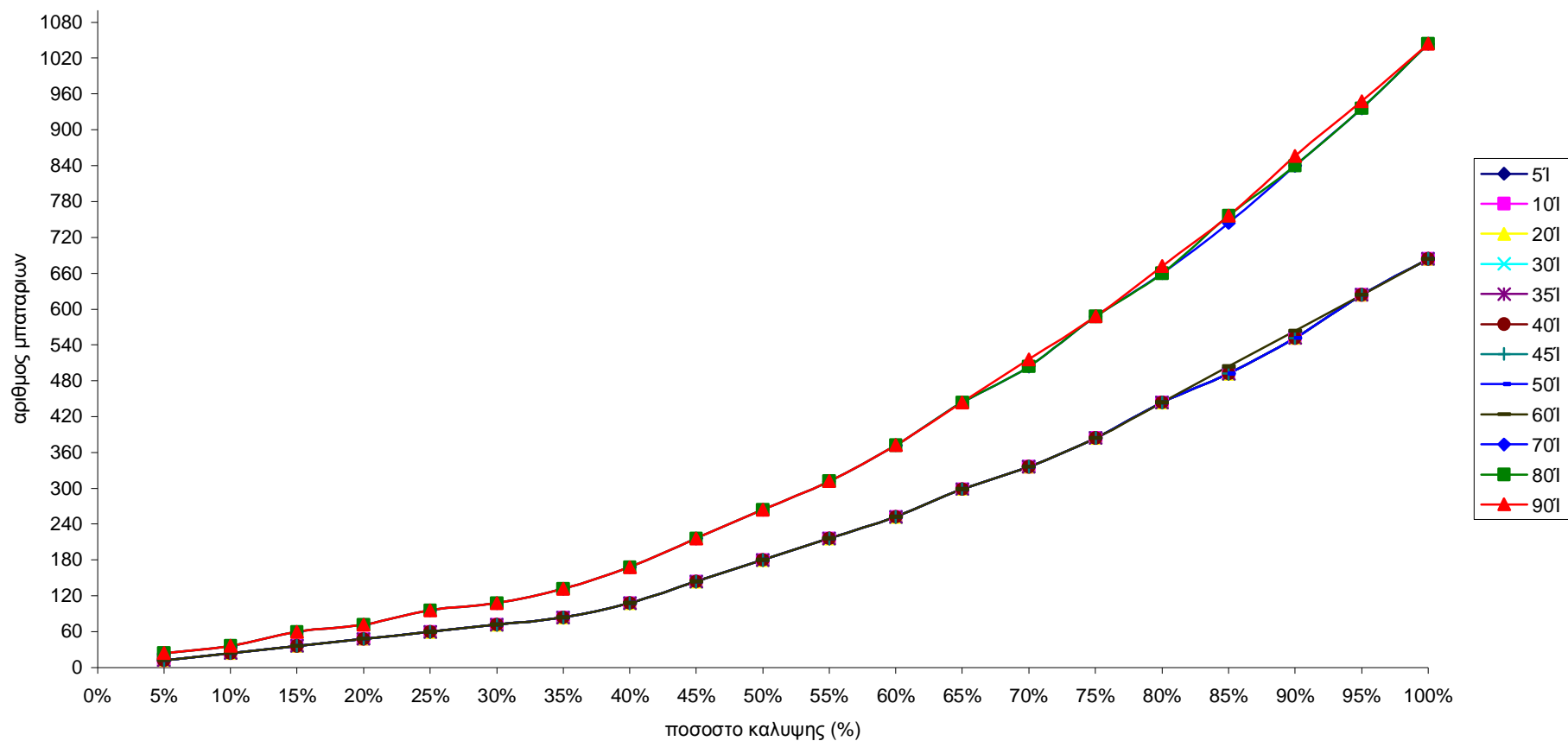
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 90°



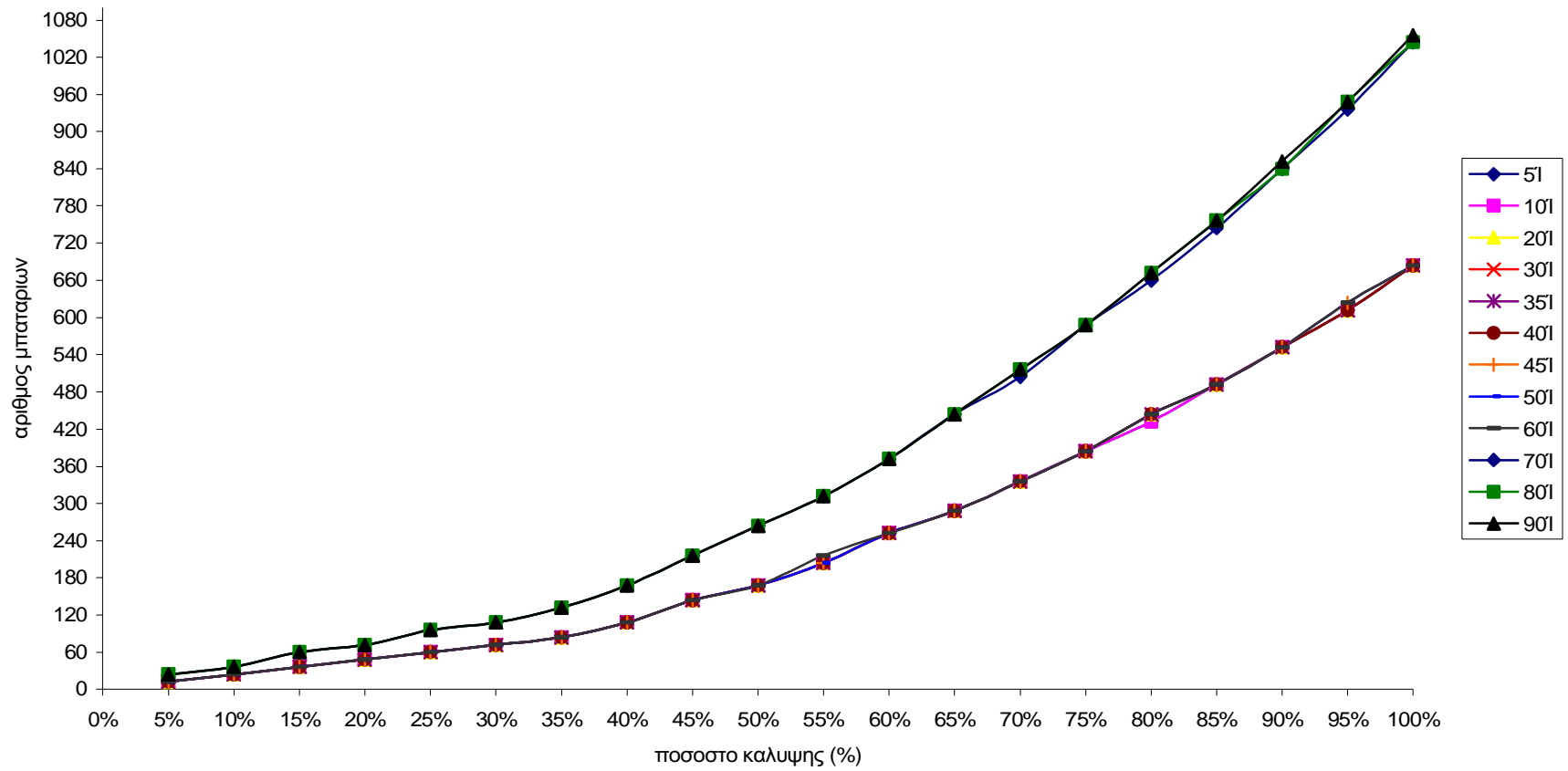
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ μπαταριων και ποσοστου καλυψης(%) για το μηνα ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ



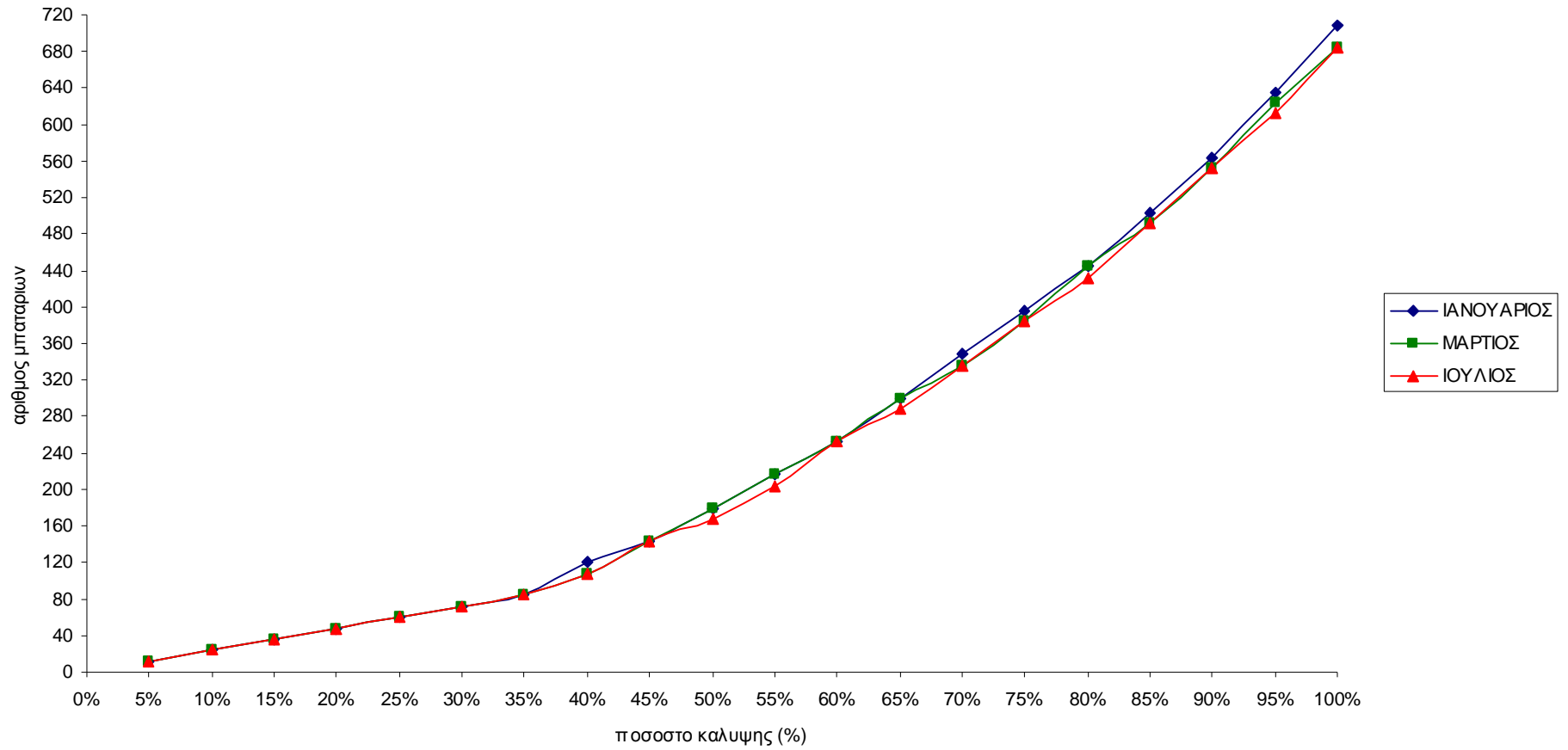
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ μπαταριων και ποσοστο καλυψης για το μηνι ΜΑΡΤΙΟ



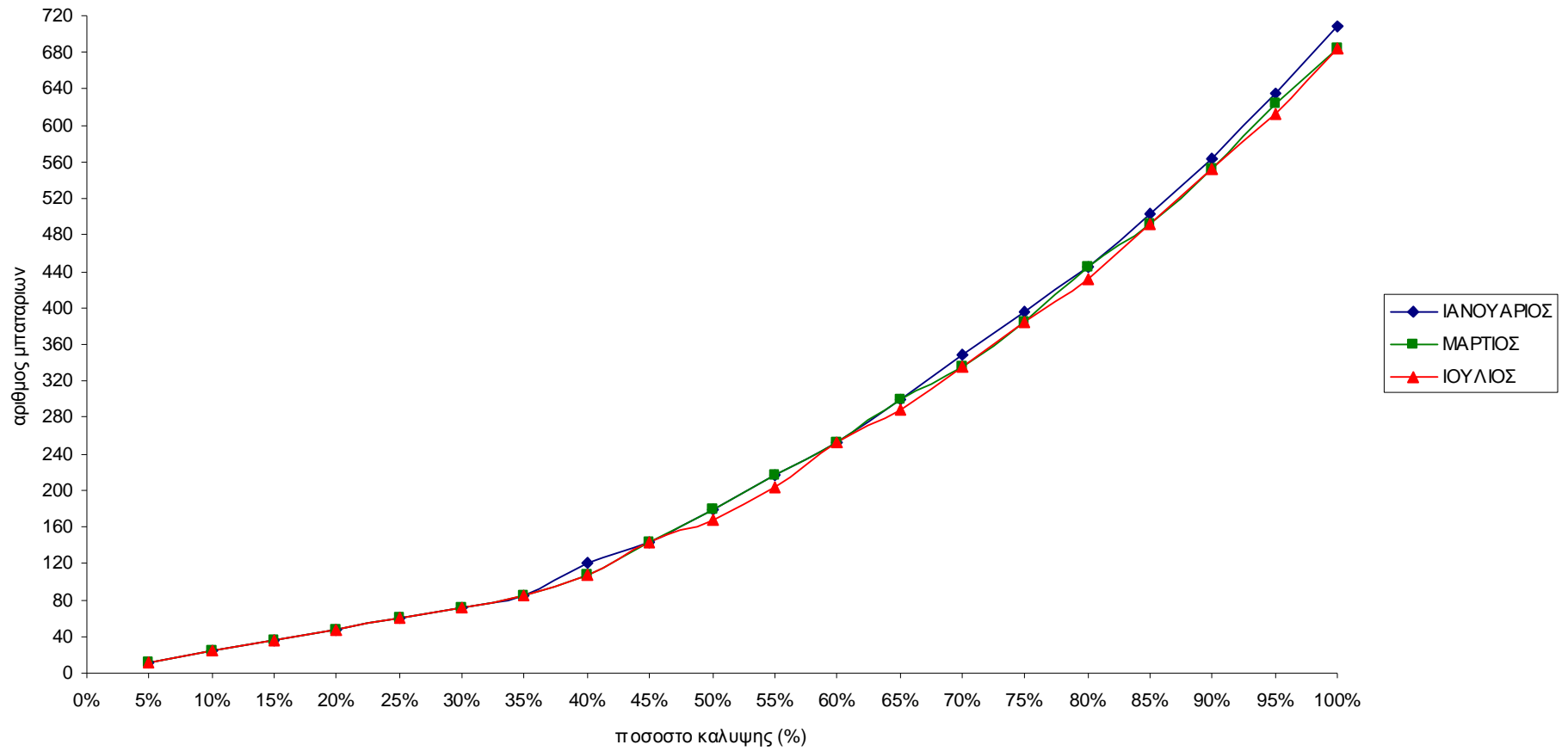
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ μπαταριων και ποσοστου καλυψης για το μηνια ΙΟΥΛΙΟ



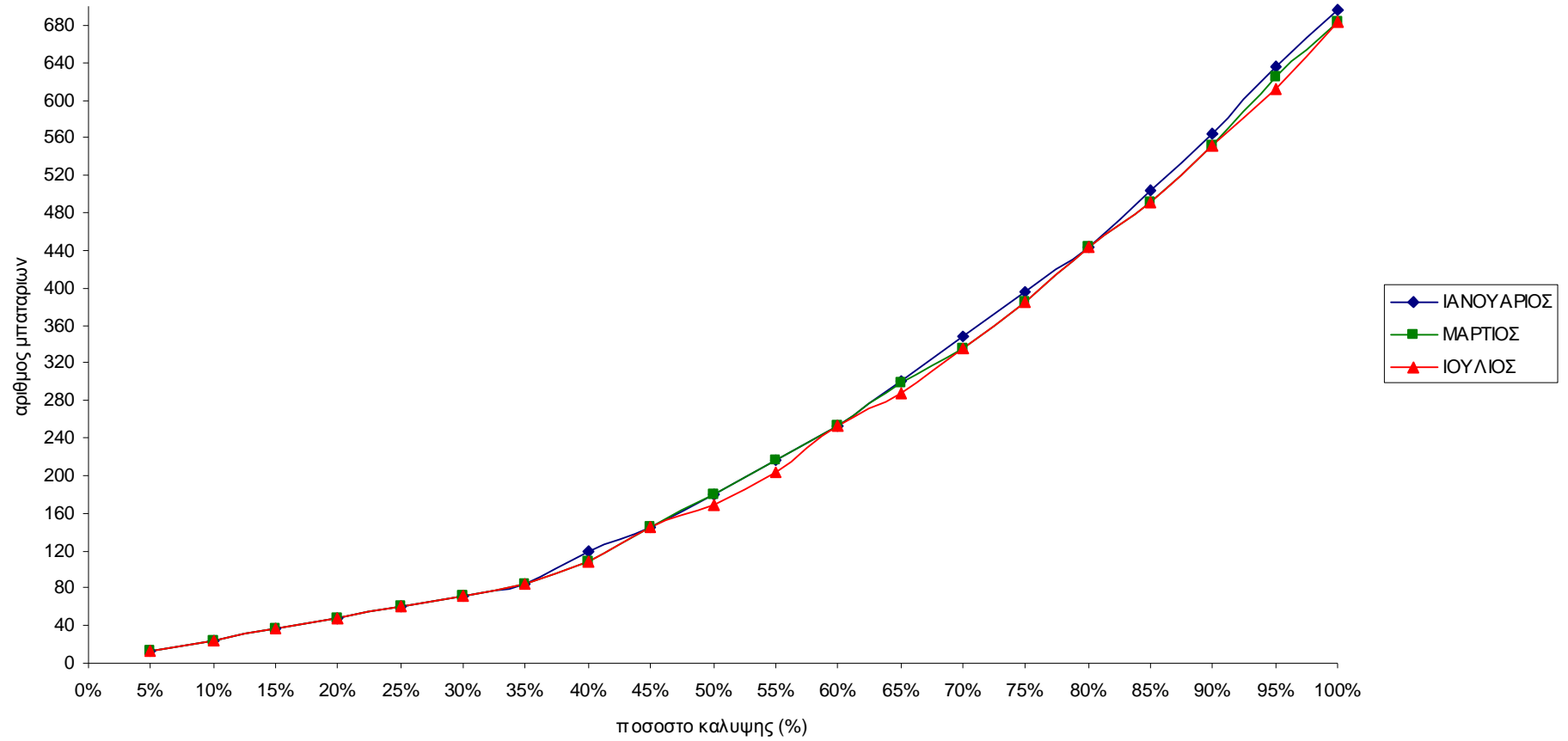
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 5°



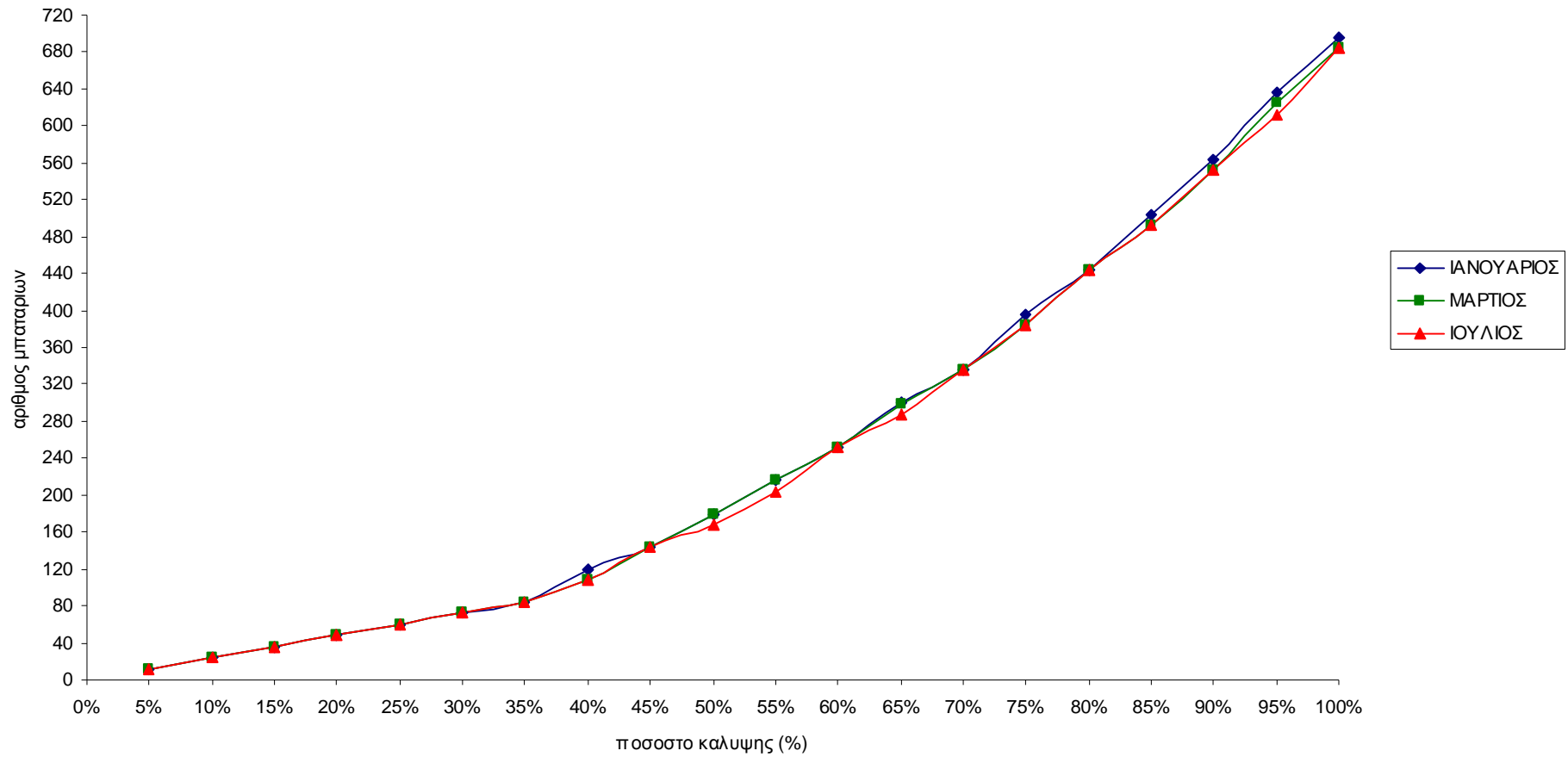
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 10°



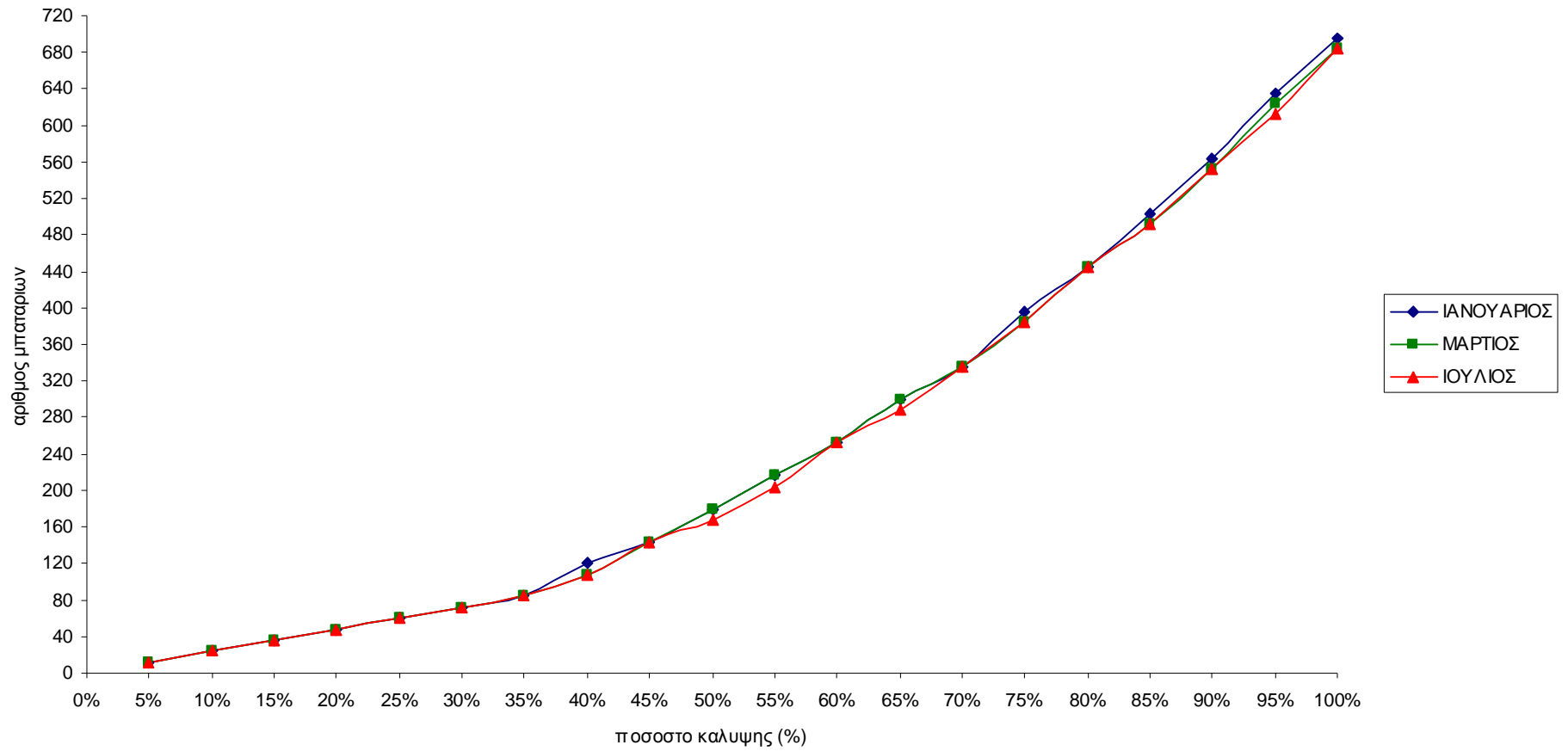
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 20°



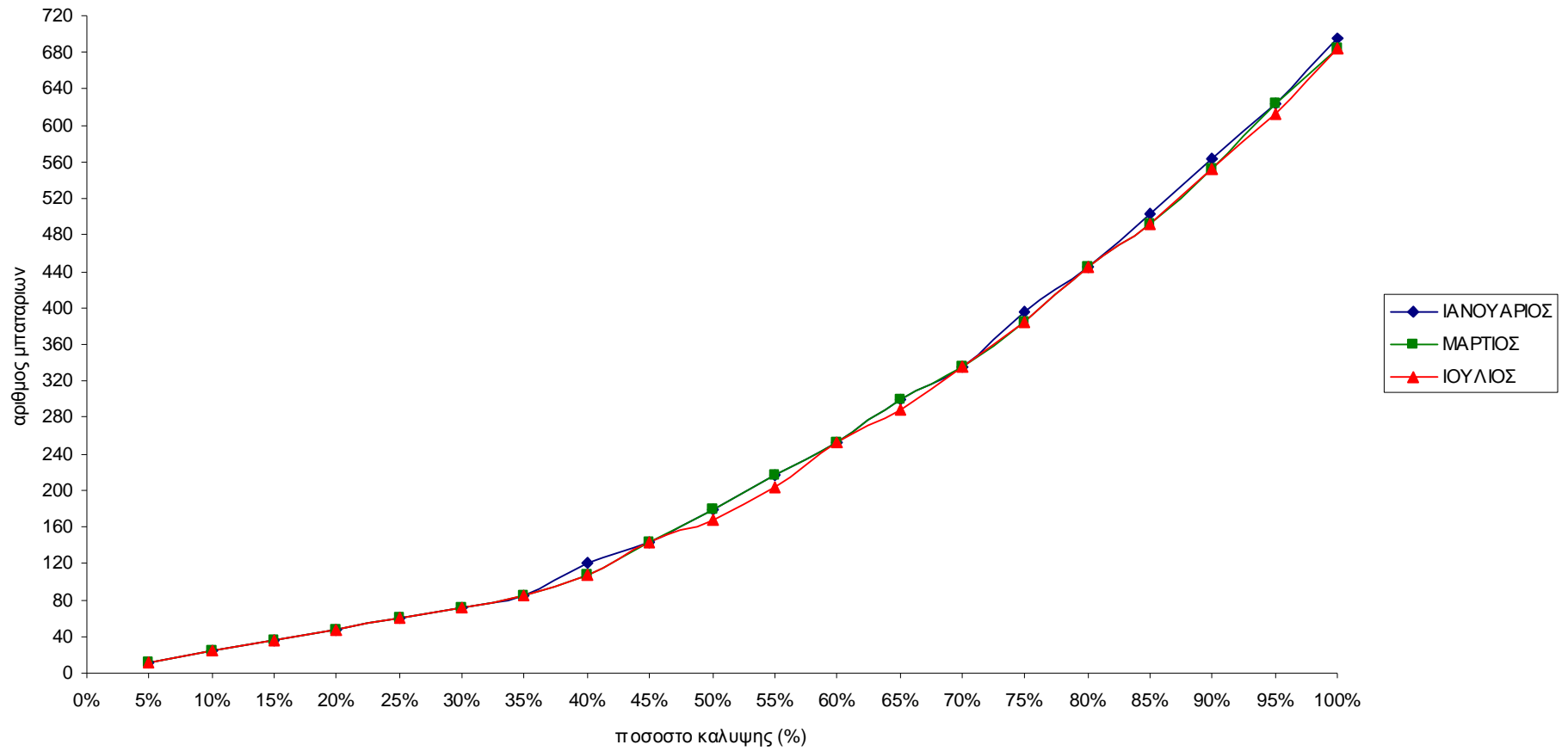
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 30°



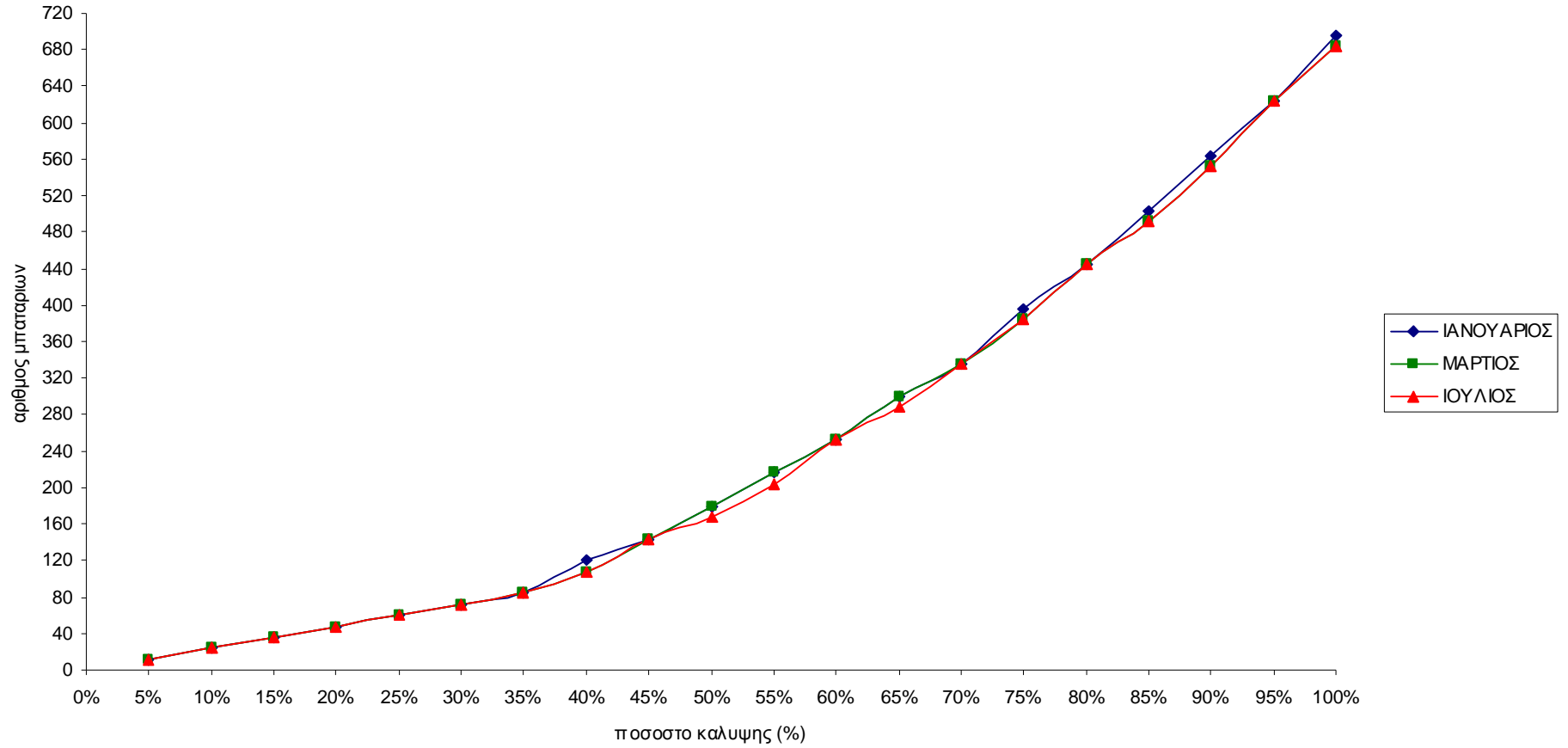
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 35°



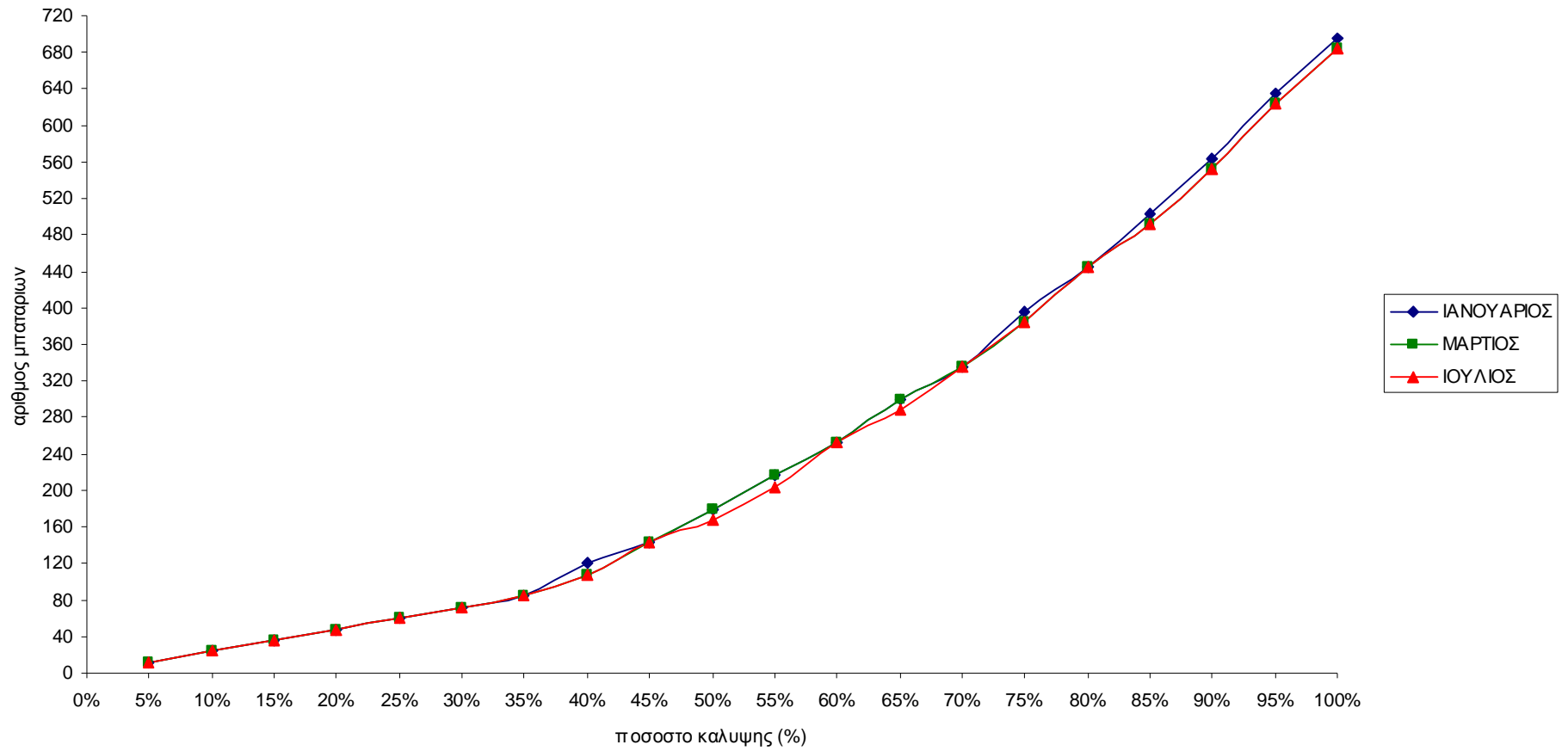
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 40°



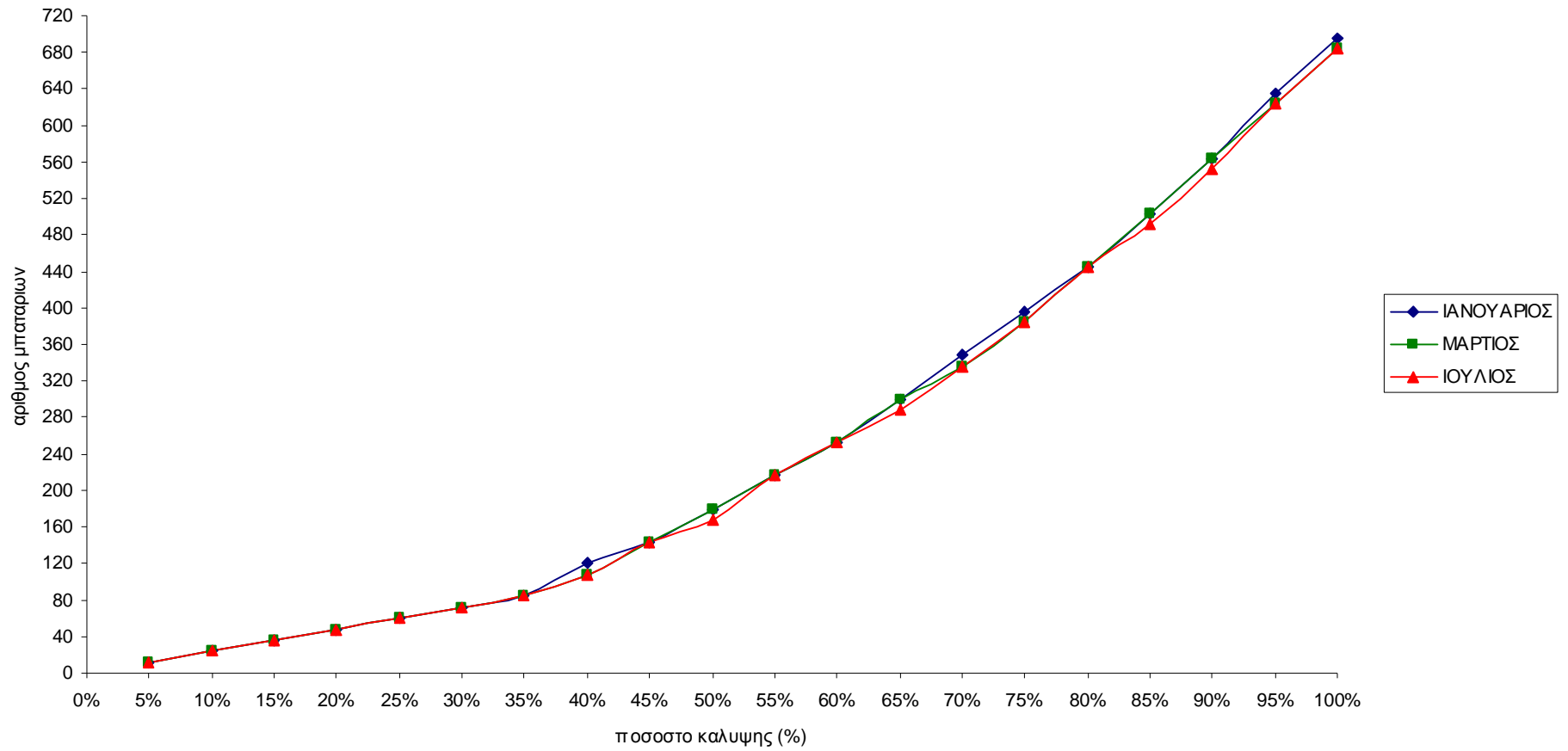
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 45°



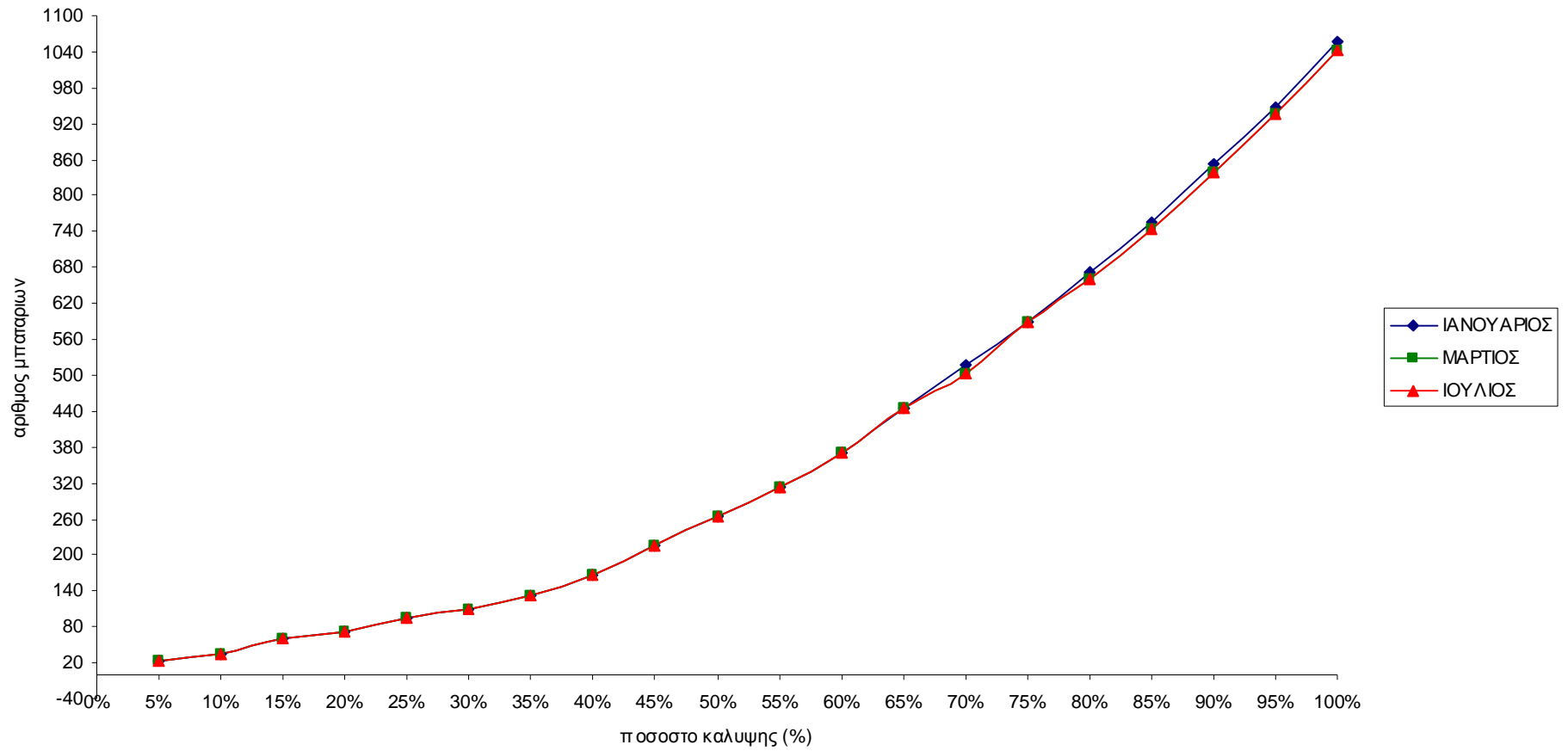
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 50°



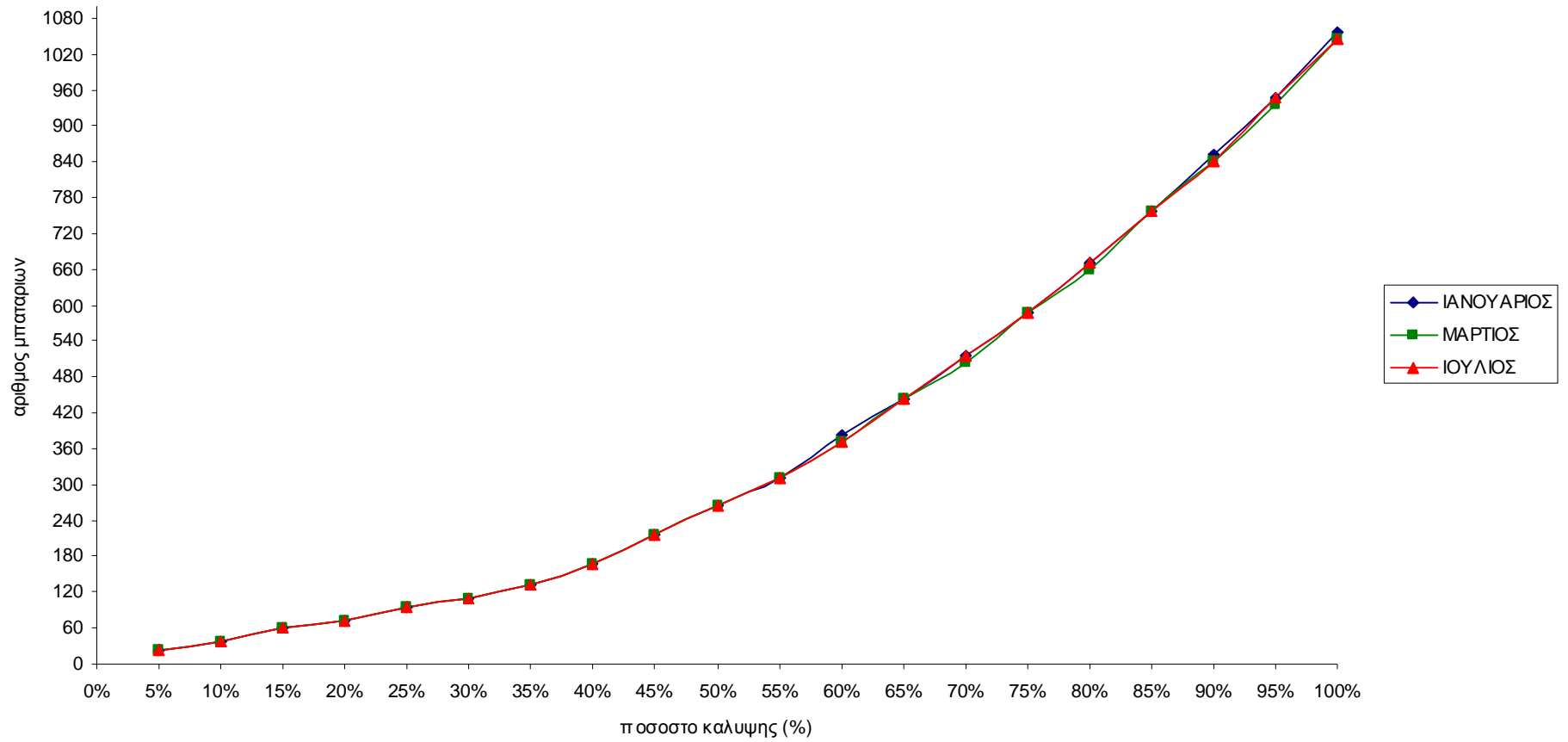
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 60°



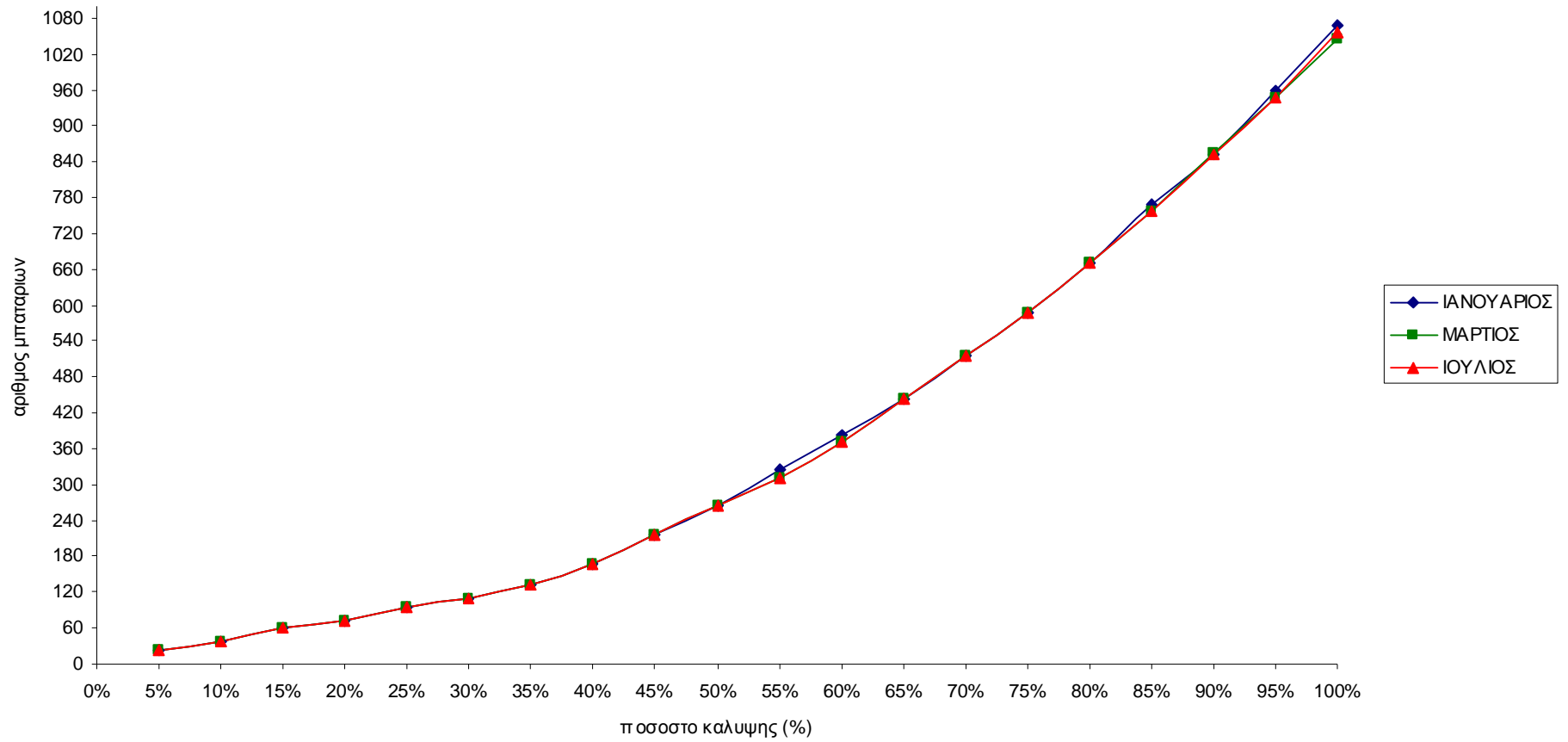
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 70°



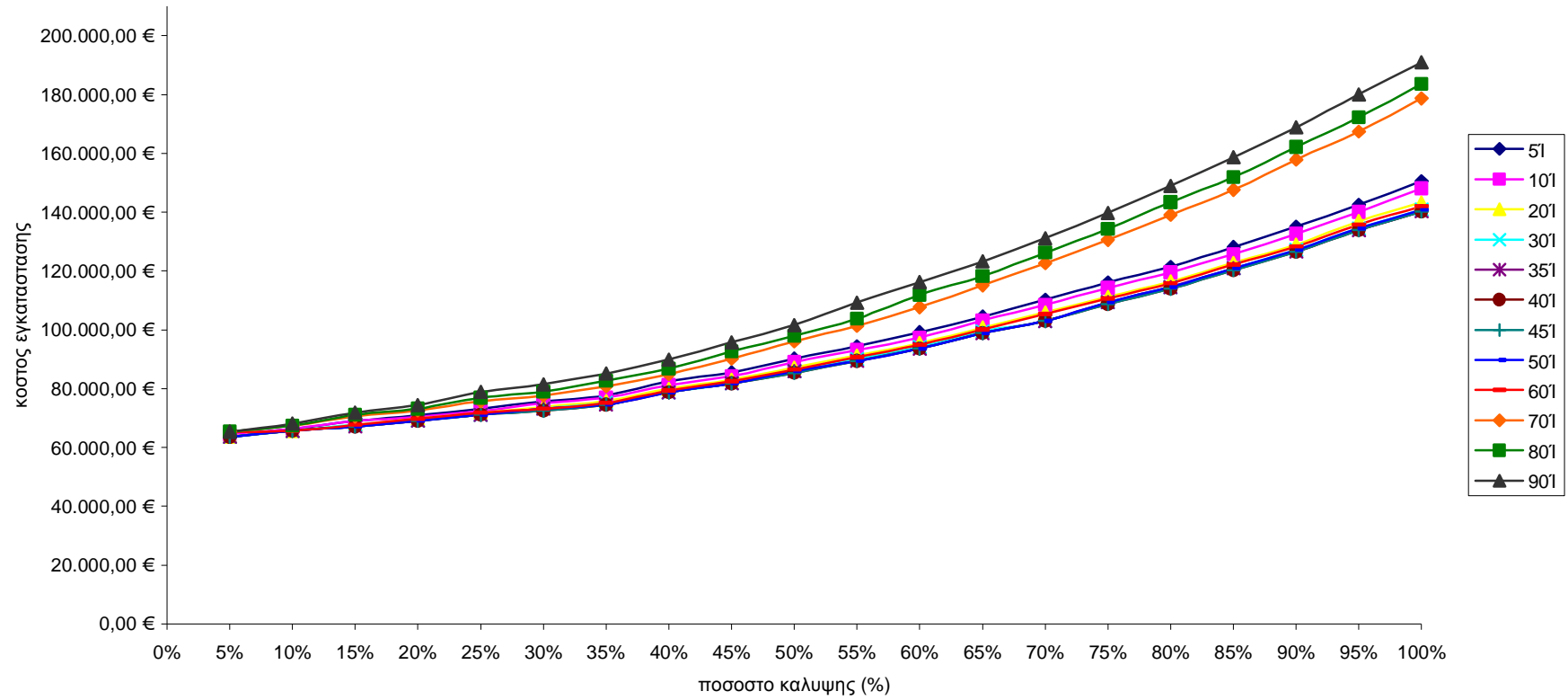
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 80°



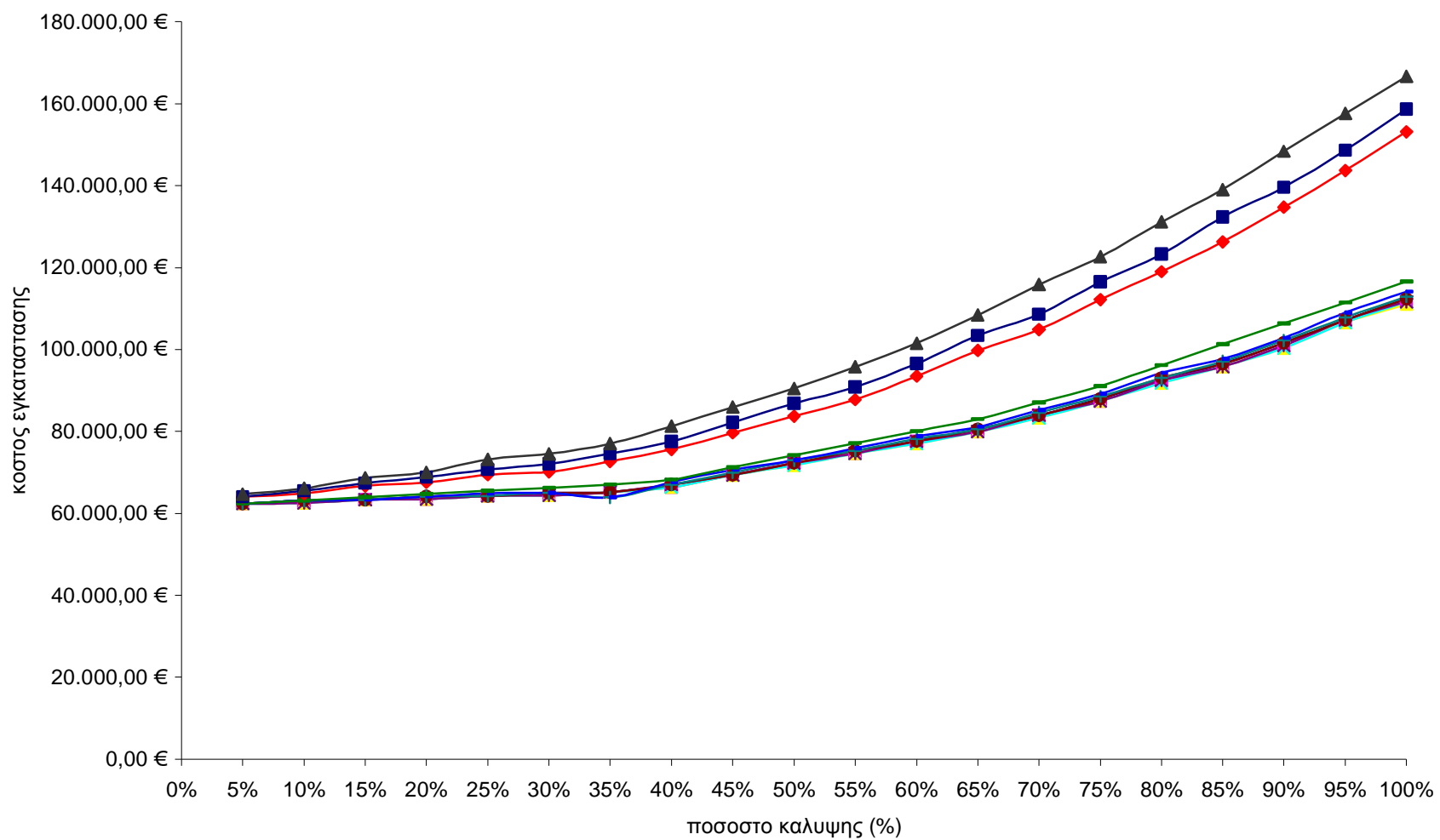
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 90°



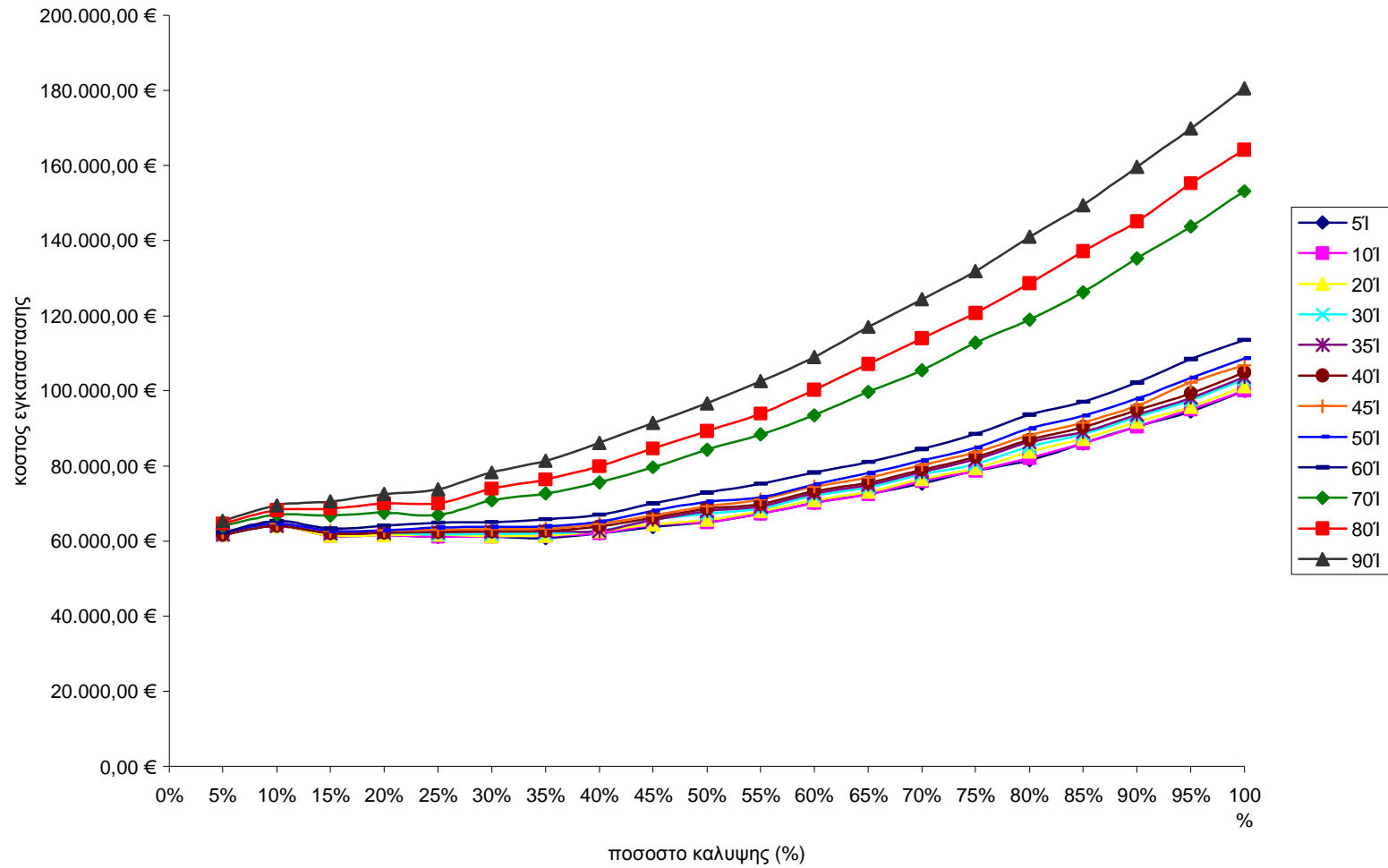
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ κοστους εγκαταστασης και ποσοστου καλυψης για το μηνια ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ



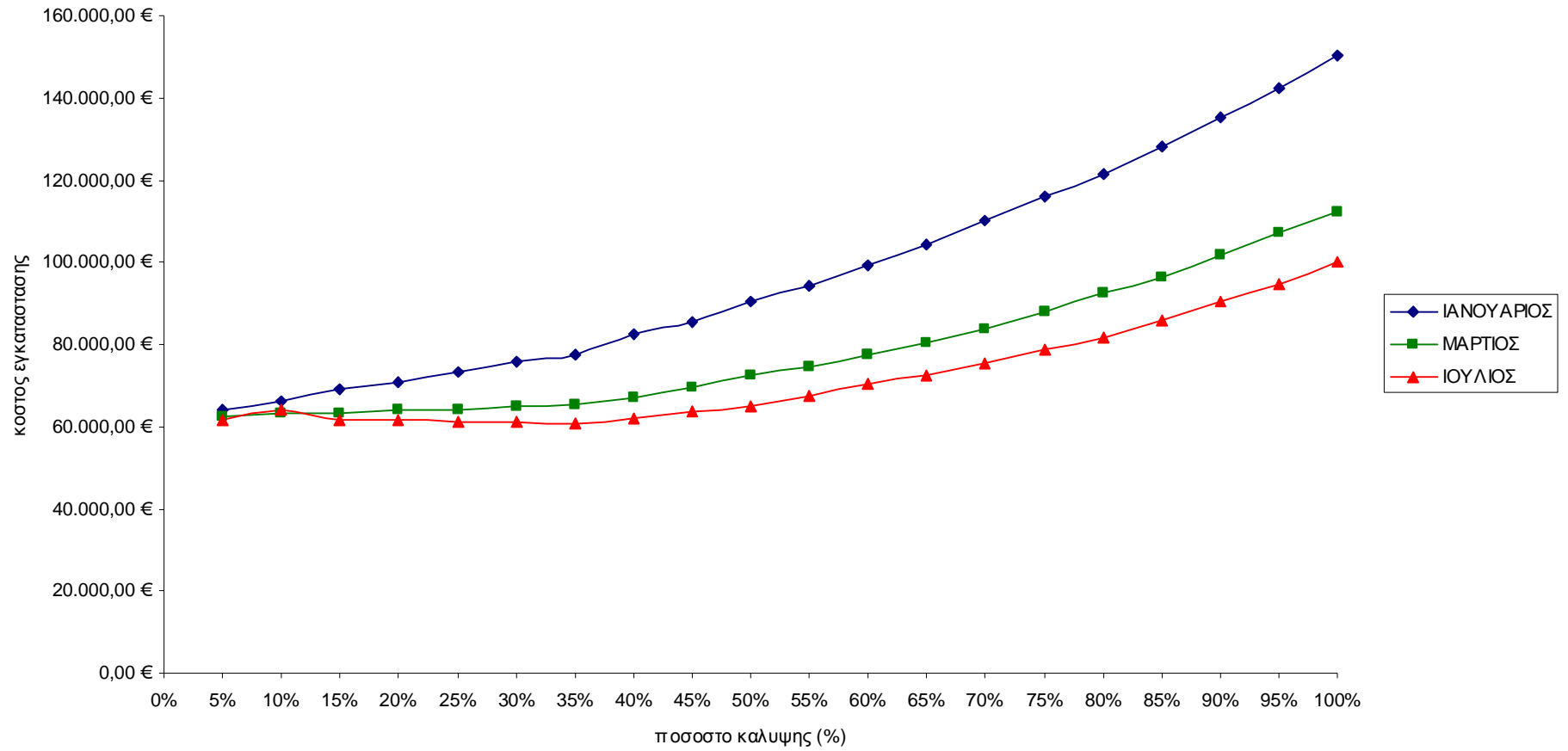
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ κοστους εγκαταστασης και ποσοστου καλυψης για το μηνια ΜΑΡΤΙΟ



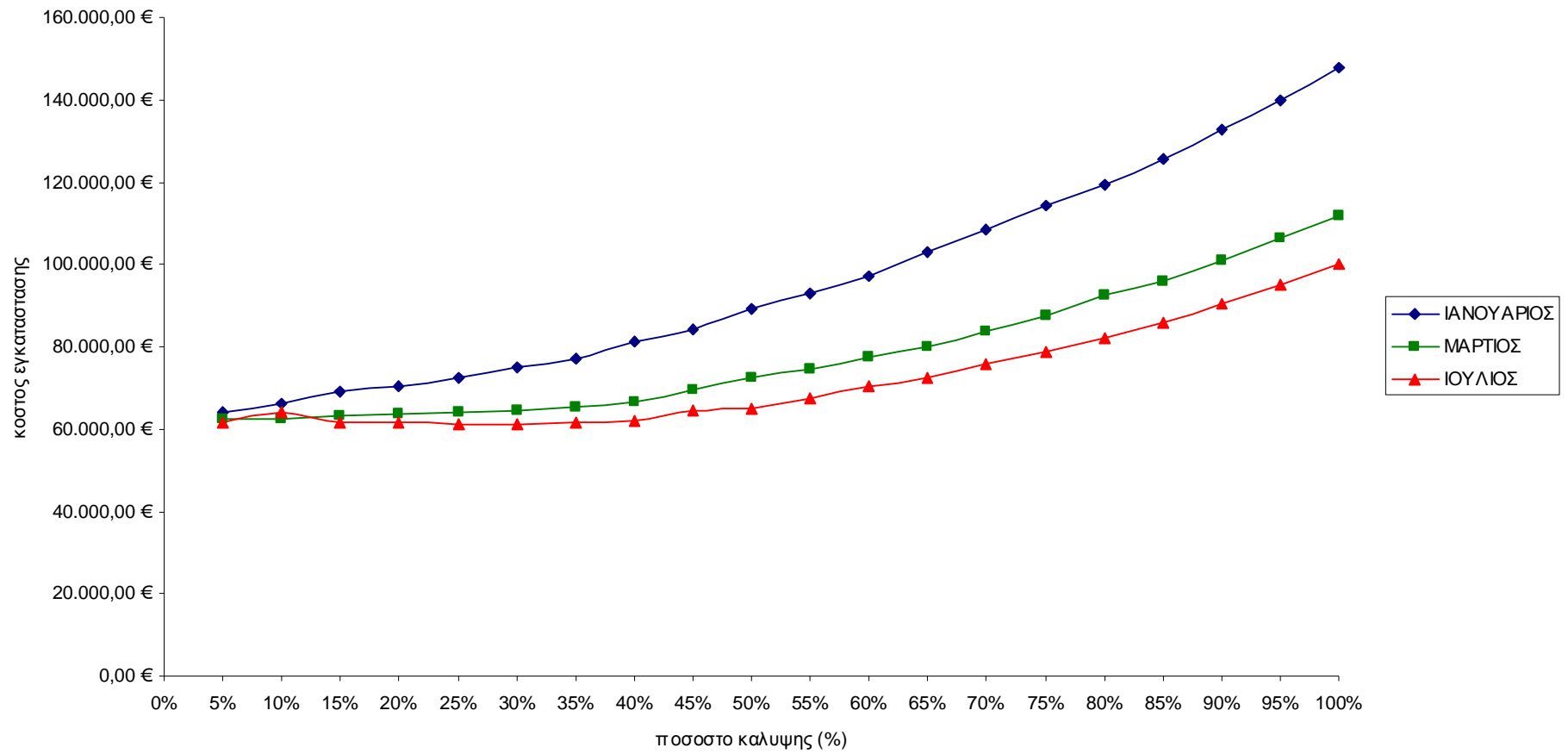
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ κόστους εγκατάστασης και ποσοστού καλυψης για το μήνα ΙΟΥΛΙΟ



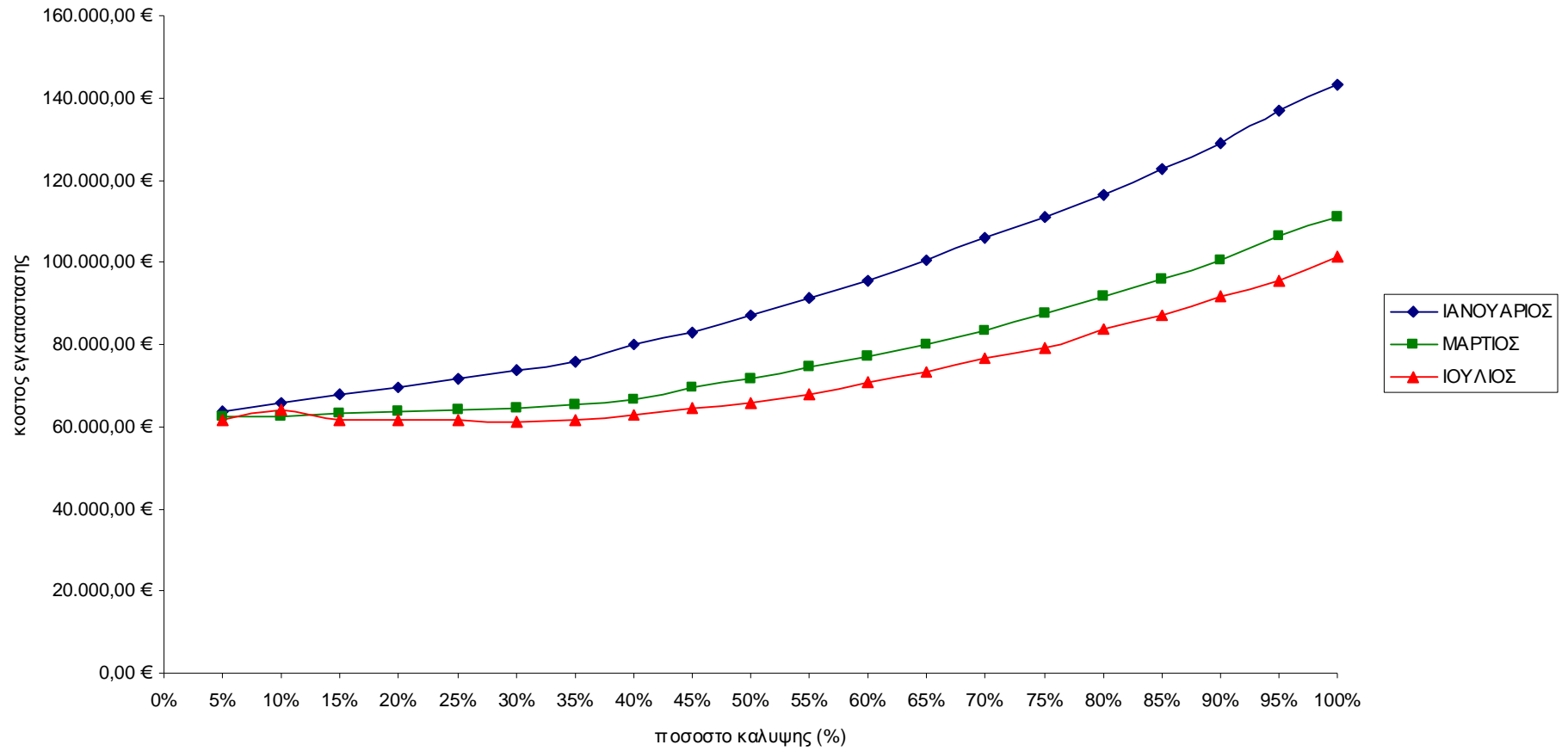
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 5°



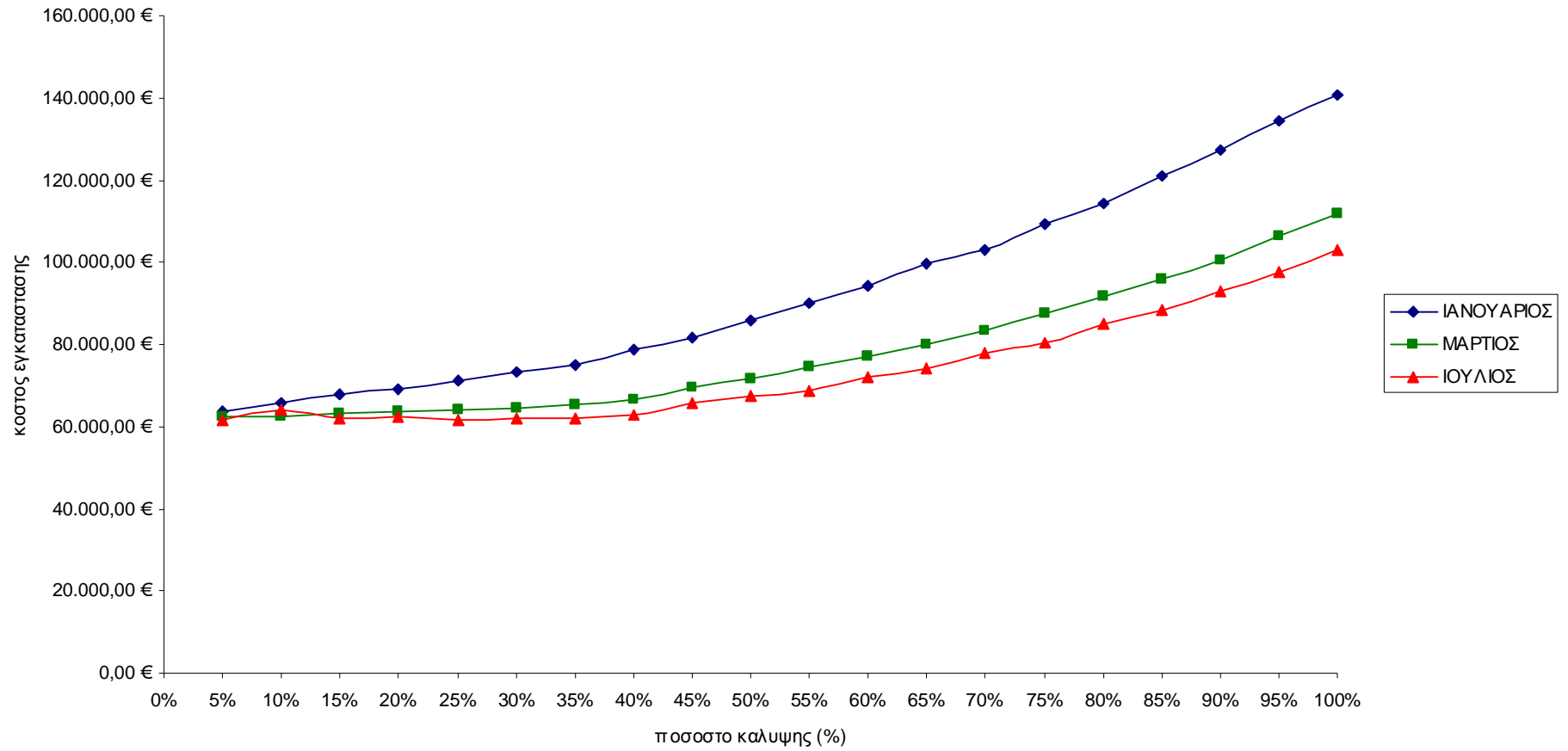
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 10°



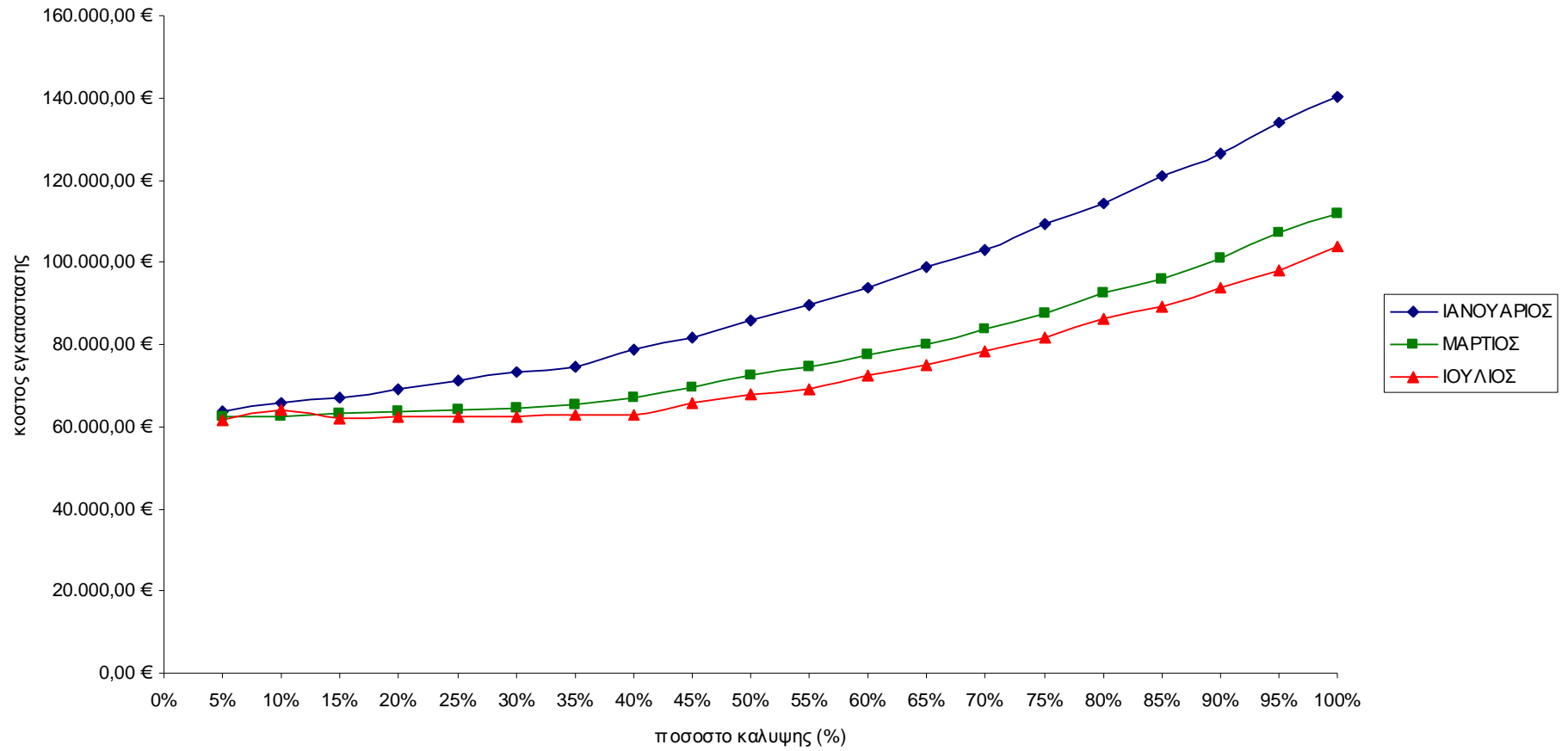
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 20°



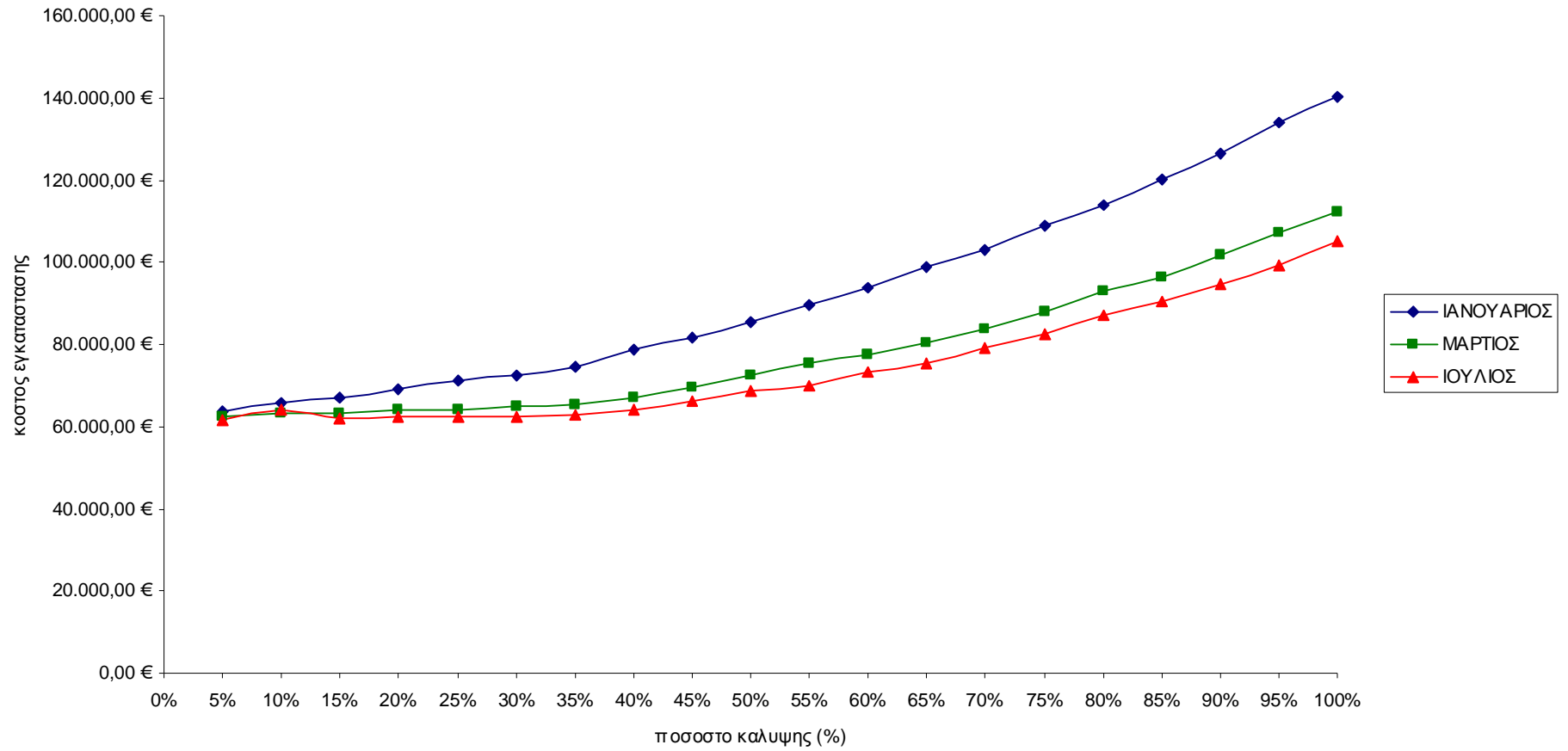
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 30°



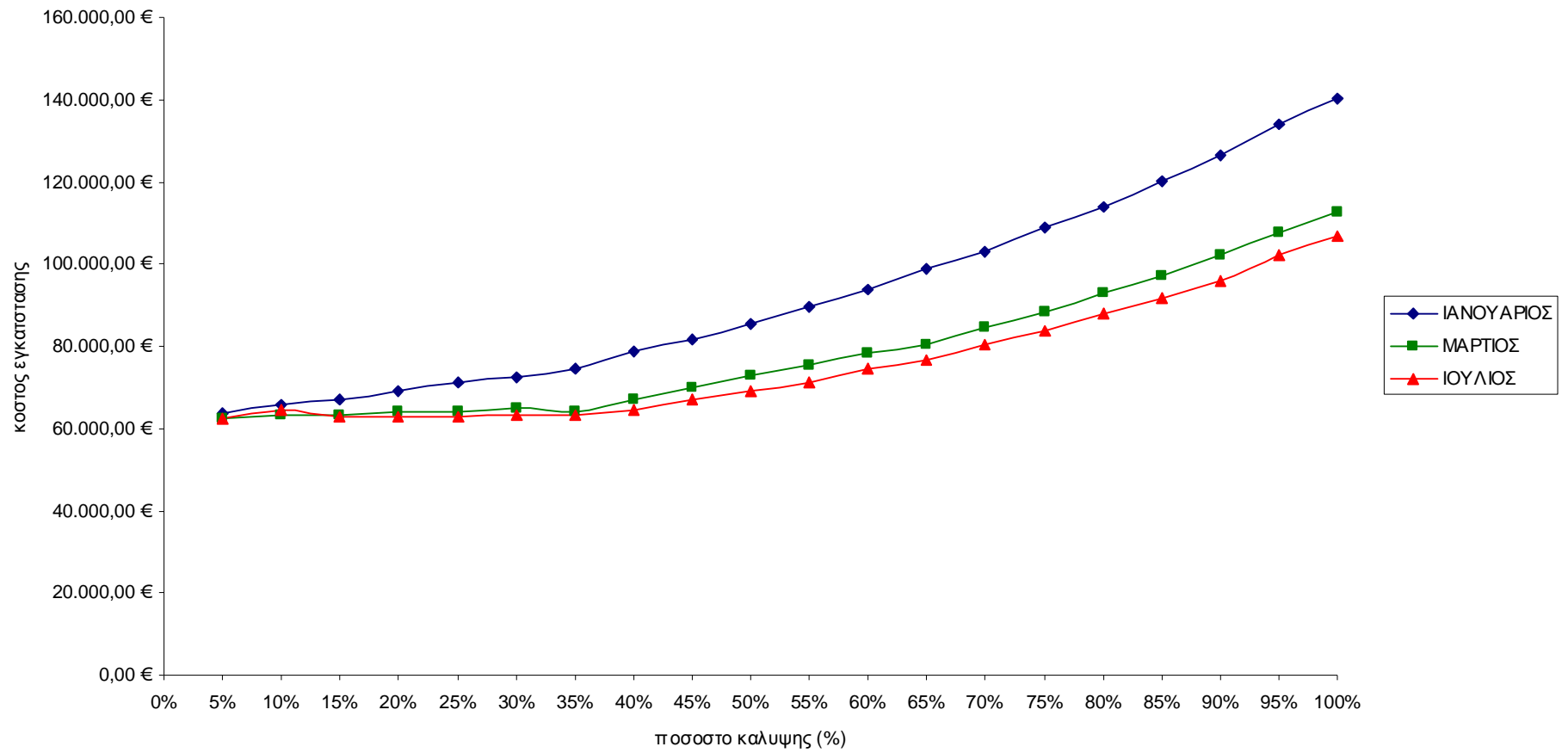
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 35°



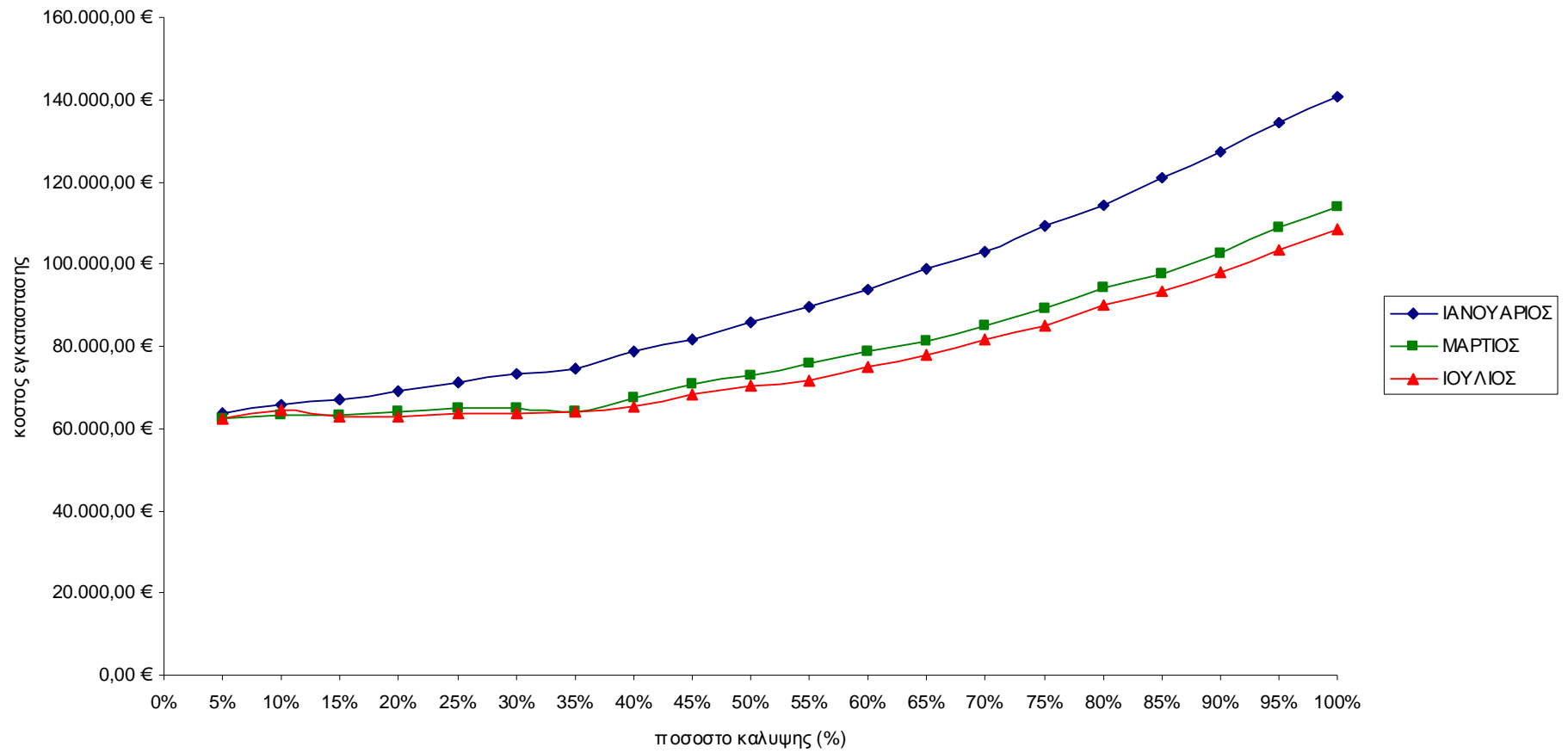
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 40°



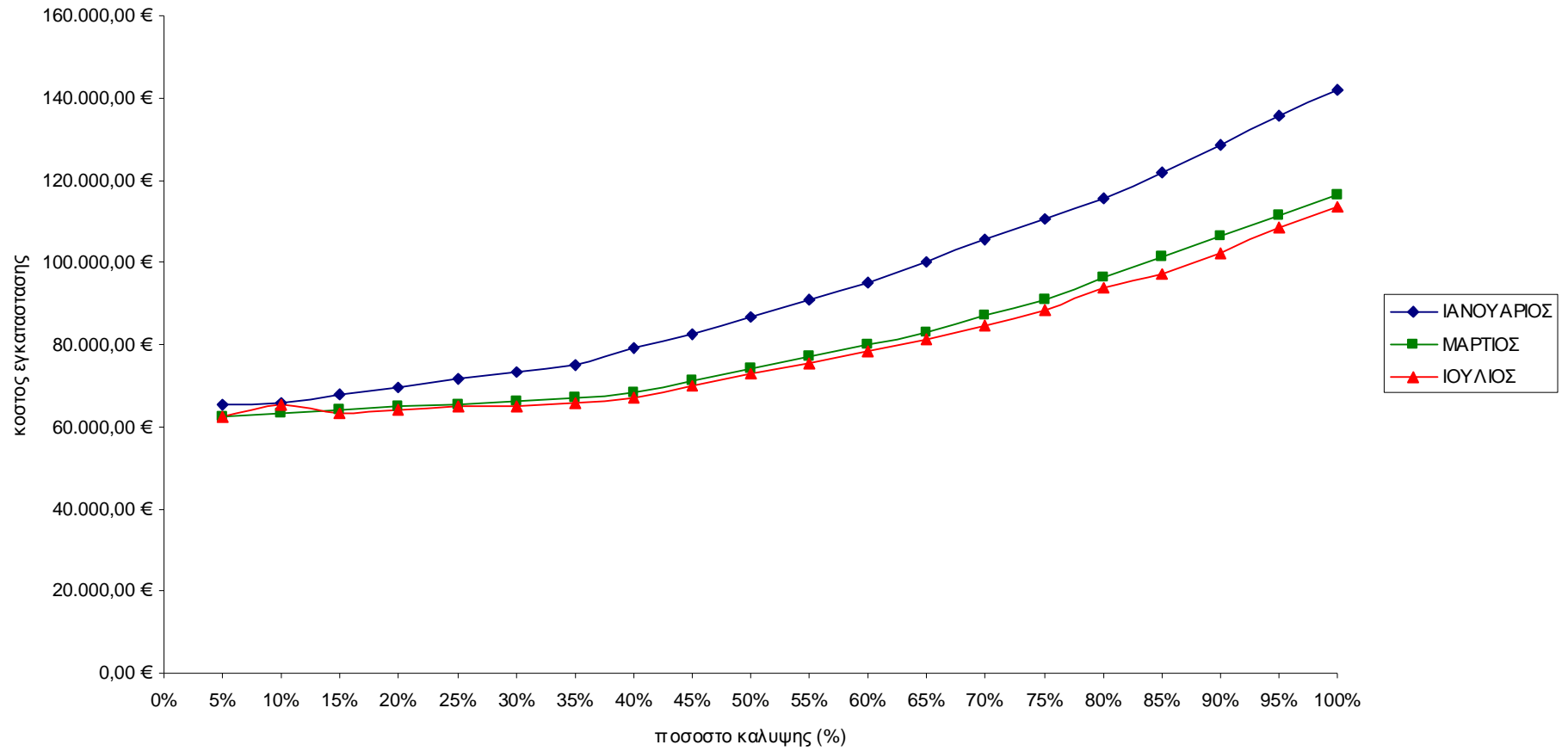
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 45°



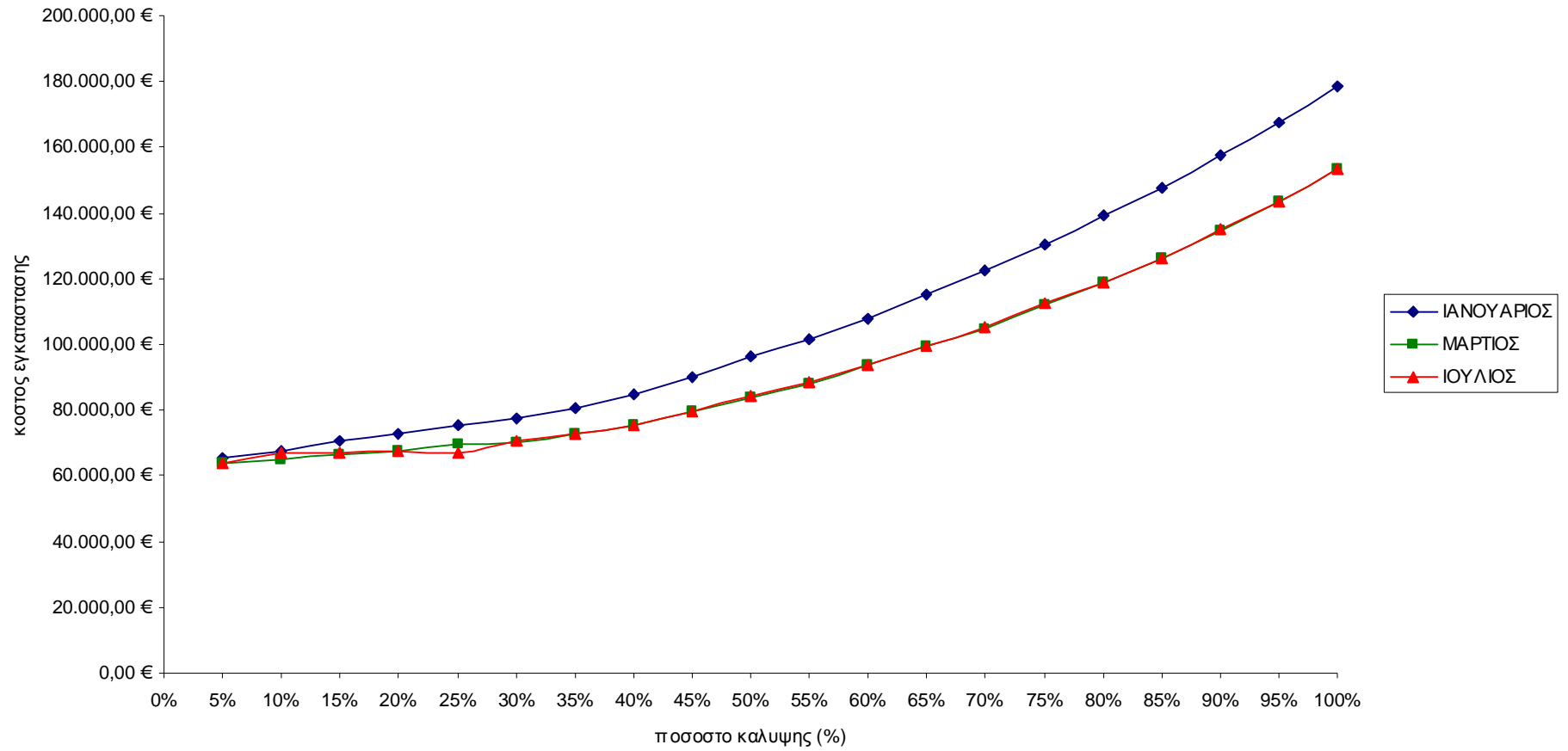
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 50°



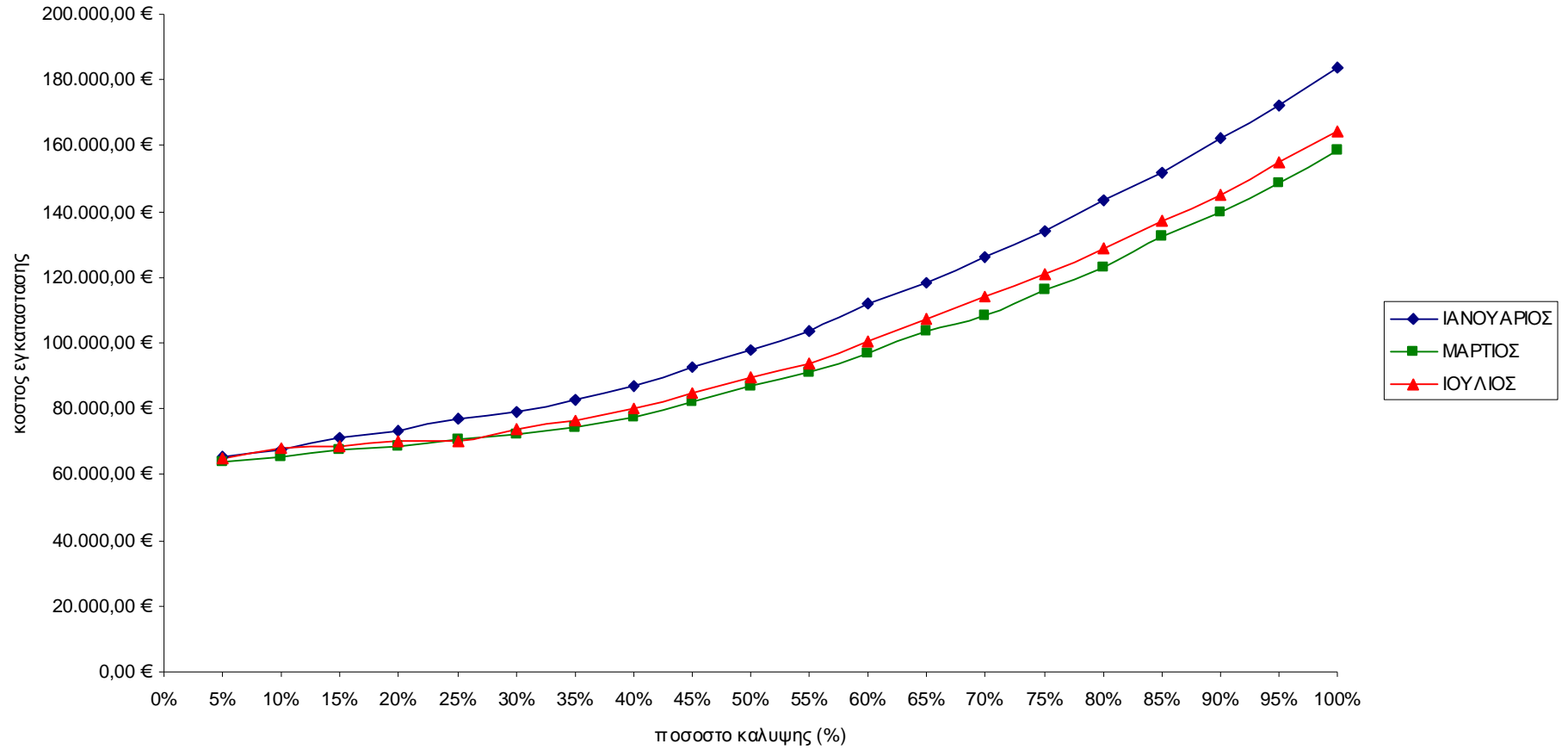
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 60°



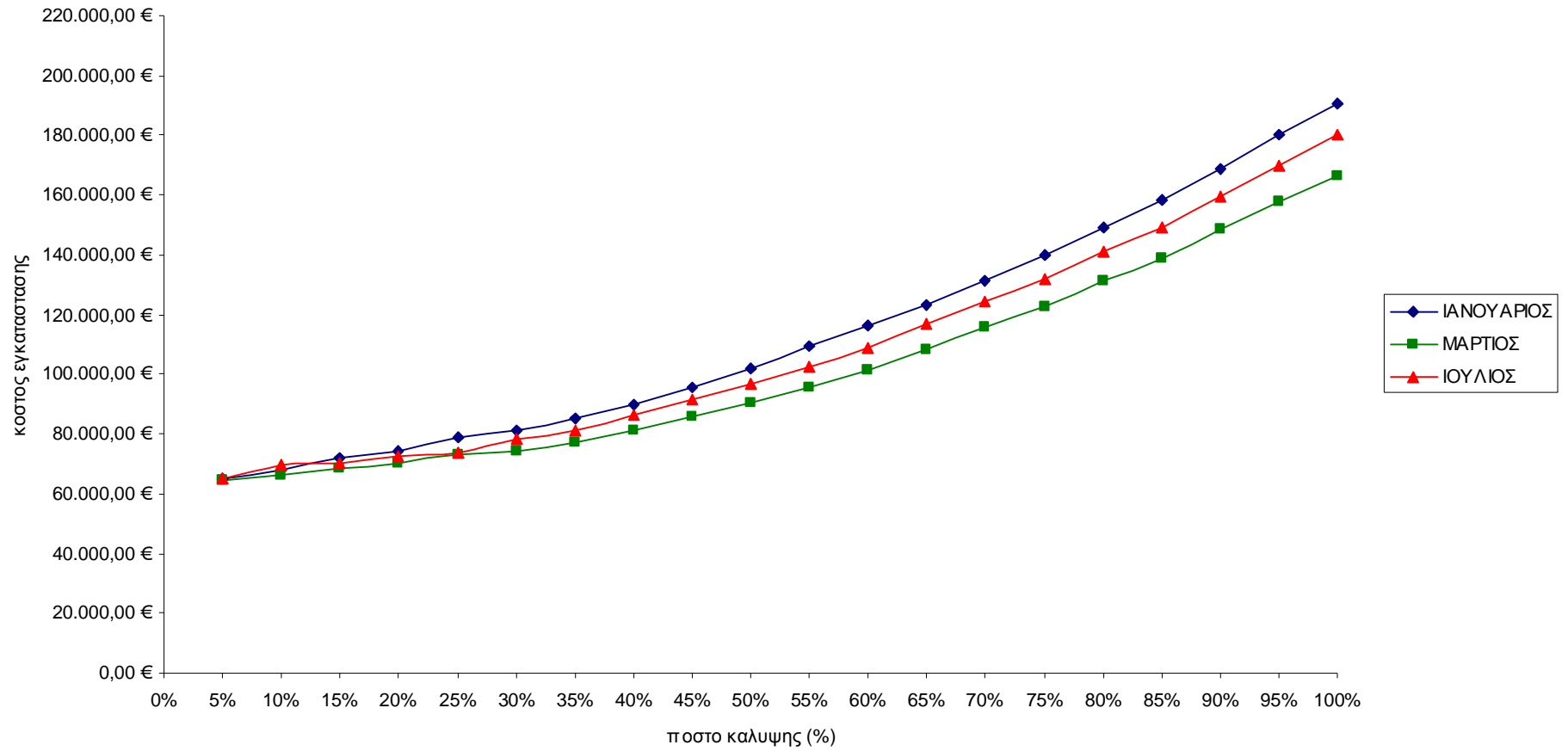
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 70°



ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 80°



ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ 90°

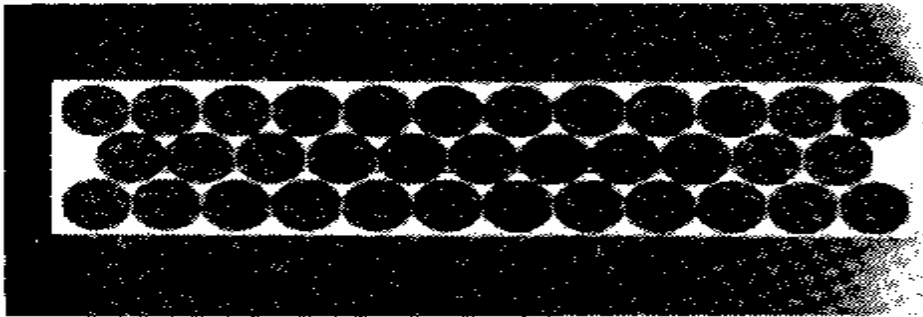


3. Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

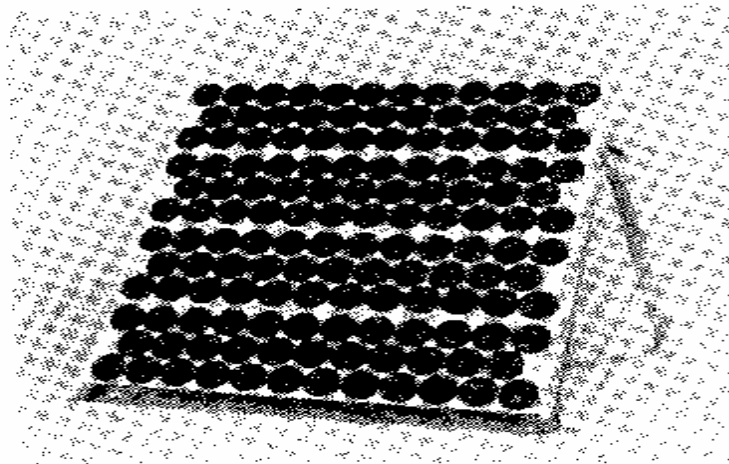
3.1 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το βασικό και χαρακτηριστικό συστατικό κάθε φωτοβολταϊκής (φ/β, για συντομογραφία) εγκατάστασης είναι η φ/β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φ/β ηλιακά στοιχεία. Και εδώ, όπως είδαμε ότι συμβαίνει γενικότερα στη φ/β ορολογία, χρησιμοποιούνται και άλλες ονομασίες, όπως ηλιακή μπαταρία, ηλιακή ηλεκτρογεννήτρια κλπ.

Η τάση όμως και η ισχύς των φ/β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, γνωρίζουμε ότι η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φ/β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις μέχρι 0,5V περίπου και ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μέχρι μόλις 0,4W περίπου. Γι αυτό, τα φ/β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φ/β γεννητριών τοποθετούνται, ανά 10 ως 50 περίπου, σε ενιαίο πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά, σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης. Π.χ. η σύνδεση 35 στοιχείων στη σειρά δίνει τάση περίπου 15-20V, που είναι κατάλληλη, αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες, για τη φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μολύβδου. Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα σε μορφή σάντουιτς. Δηλαδή, τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το φ/β πλαίσιο (module), που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φ/β γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος των φ/β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν.



(α)



(β)

Σχήμα 3.1. (α) Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο του εμπορίου, αποτελούμενο από 35 ηλιακά στοιχεία σε σύνδεση στη σειρά. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά σε συμβατική ακτινοβολία $1000\text{W}/\text{m}^2$ και θερμοκρασία 20°C είναι: Ισχύς : αιχμής $P_a = 40\text{W}$ με τάση $V_m = 17,3\text{V}$ και ένταση ρεύματος $I_m = 2,31\text{A}$. Επίσης, ανοιχτοκυκλωμένη τάση $V_{oc} = 21\text{V}$ και βραχυκυκλωμένη ένταση κύματος $I_{sc} = 2,6\text{A}$. Στη θερμοκρασία 20°C , ο συντελεστής απόδοσης του πλαισίου είναι $\eta_p = 10,76\%$. Έχει διαστάσεις $122\text{cm} \times 30,5\text{cm}$, εμβαδόν επιφάνειας $S = 0,37\text{m}^2$ περίπου, και βάρος $5,7\text{kg}$

β Τέσσερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που είναι ενωμένα σε κοινή συσκευασία «α» σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος αιχμής 160W και διαστάσεων $122\text{cm} \times 122\text{cm}$.

Υλικά και εργασίες	Κόστος ανά μονάδα επιφάνειας του φ/ β πλαισίου
Ηλιακά στοιχεία	12 ΕΥΡΩ/m ²
Εμπρός φύλλο από γυαλί	3 ΕΥΡΩ/m ²
Πλαστικό συγκολλητικό φύλλο του γυαλιού	2,60 ΕΥΡΩ/m ²
Πλάτη και περιμετρική ταινία από αλουμίνιο	6 ΕΥΡΩ/m ²
Στεγανωτική ταινία από ελαστικό σιλικόνης	2,80 ΕΥΡΩ/m ²
Ηλεκτρικές συνδέσεις και προστατευτική δίοδος	1,50 ΕΥΡΩ/m ²
Εργατικά συναρμολόγησης, ελέγχου και συσκευασίας	15 ΕΥΡΩ/m ²
Σύνολο	43 ΕΥΡΩ/m ²

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 παράδειγμα της διαμόρφωσης του κόστους των συνηθισμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων του εμπορίου

Τα φ/β πλαίσια του εμπορίου δεν έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ισχύεις. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από περίπου 4v μέχρι 22 V, και ένταση ρεύματος από περίπου 0,5A μέχρι 2,5 A. Πριν βγουν στο εμπόριο τα φ/β πλαίσια υποβάλλονται συνήθως σε μια σειρά από αυστηρές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου με θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και σε δοκιμασία διμερής συνεχούς παραμονής σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 95% και θερμοκρασίας 95° C, για να ελεγχθεί η στεγανότητα τους.

3.2 Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

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

$$\eta_{\pi} = \frac{P_{\pi} (W)}{H (W / m^2) \times S (m^2)} = \frac{E (kWh)}{\Gamma (kWh / m^2) \times S (m^2)} \quad (6.1)$$

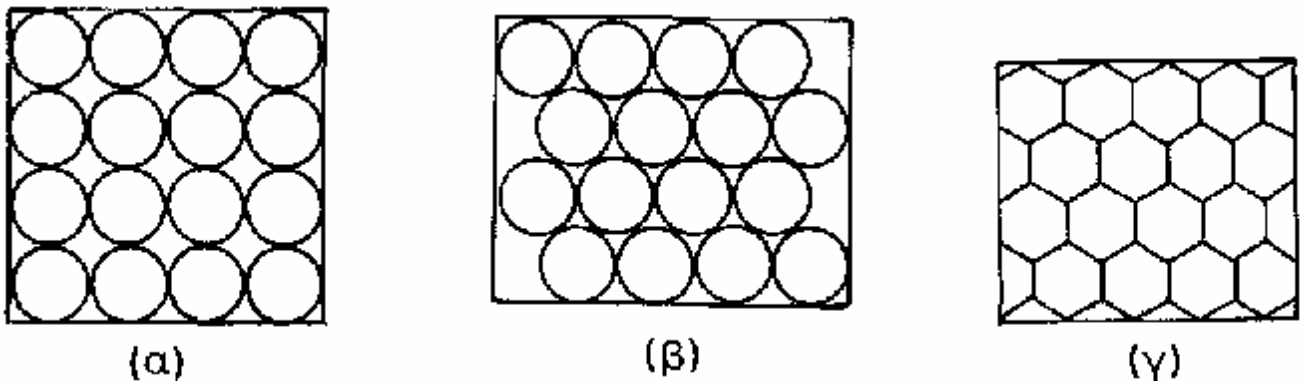
όπου Γ είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του φ/β πλαισίου.

Η τιμή του η_{π} , είναι φανερό ότι εξαρτάται όχι μόνον από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων (η), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου (σ_{κ}), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Βρίσκουμε εύκολα ότι θα ισχύει η σχέση:

$$\eta_{\pi} = \eta \times \sigma_{\kappa}$$

(Ε

Η τιμή του σ_{κ} εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της Τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φ/β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78, για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες στοιχι-



Σχήμα 3.3. Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεσης των ηλιακών στοιχείων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης είναι περίπου 0,78 για την περίπτωση (α), 0,88 για την περίπτωση (β), και 0,98 για τα εξαγωνικά στοιχεία της περίπτωσης (γ).

μένες σειρές, και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 (πρακτικά μέχρι 0,98), για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία (Σχήμα 6.2).

3.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η απόδοση των φ/β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα φ/β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία, συνήθως 20° C, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι αφενός, και κυρίως, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 ως 30° C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο, στους υπολογισμούς μας, παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30° C.

Είδαμε επίσης ότι για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής σ_{θ} , με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο εφαρμόζουμε και για τα φ/β πλαίσια.

Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των φ/β πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο $\eta_{\pi} \times \sigma_{\theta}$.

Στο ίδιο κεφάλαιο αναφέρθηκε ότι στη συμβατική θερμοκρασία ο σ_{θ} είναι ίσος με τη μονάδα, και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Π.χ. στην Αθήνα, τον μήνα Ιούλιο, που έχουμε μέση θερμοκρασία του αέρα, στις φωτεινές ώρες της ημέρας, σχεδόν 30°C, η μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων του φ/β πλαισίου θα είναι περίπου 60°C και επομένως η τιμή του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης του φ/β πλαισίου θα είναι περίπου:

$$\sigma_{\theta} = 1,00 - (60-20) \times 0,005 = 0,8$$

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των φ/β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να τη ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φ/β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° (κάθετοι) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον 45° για να μην συγκρατείται η σκόνη.

Όταν η φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φ/β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας (σ_{ρ}), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φ/β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνεια του είναι εντελώς καθαρή. Η τιμή του σ_{ρ} είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του φ/β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Έτσι, όποτε είναι απαραίτητο, ως συντελεστή απόδοσης των φ/β πλαισίων για τους υπολογισμούς μας, παίρνουμε το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης η_{π} , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία σ_{θ} και για τη ρύπανση σ_{ρ} .

Δηλαδή, η σχέση (3.1) παίρνει τη γενικότερη μορφή:

$$E = \Pi \times S \times \eta_{\pi} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho} \quad (6.3)$$

Για παράδειγμα ας πάρουμε ένα φ/β πλαίσιο του εμπορίου, όπως του σχήματος 3.1, με επιφάνεια διαστάσεων $S = 121,9\text{cm} \times 30,5\text{cm} = 0,37 \text{ m}^2$, με ενδεικτικό συντελεστή απόδοσης $\eta_{\pi} = 10,76\%$, τοποθετημένο στην Αθήνα με κλίση 20°, και ας υποθέσουμε ότι η ρύπανση της επιφάνειάς του είναι ασήμαντη, δηλαδή $\sigma_{\rho} = 1,00$. Η μέση ηλεκτρική ενέργεια E που θα παράγει το φ/β πλαίσιο σε μια ημέρα π.χ. του Ιουλίου, που αντιστοιχεί μέση ηλιακή ακτινοβολία $\Pi = 6,70 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{d}$ και μέση θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος 30° C, θα είναι, σύμφωνα με τα παραπάνω:

$$E = \Gamma \times S \times \eta_{\pi} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}$$

$$= 6,70 \times 0,37 + \frac{10,76}{100} \times 0,80 \times 1,00 = 0,20 \text{ kWh/d}$$

3.4 Η ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Συχνά, δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων κλπ.), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής (P_a), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το φ/β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 ηλίου, δηλαδή 1KW/m^2 .

Οι μονάδες ισχύος, που εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός φ/β πλαισίου, μιας ολόκληρης φ/β εγκατάστασης ή και ενός ηλιακού στοιχείου, ονομάζονται συχνά βατ αιχμής (W_p) και κιλοβάτ αιχμής (KW_p). Δηλαδή, χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος και συμβολισμός (άλλωστε ουσιαστικά είναι το ίδιο πράγμα), όπως για το μέτρο της επιφάνειας των φ/β στοιχείων που γνωρίσαμε προηγουμένως.

Από τη σχέση (3.1) είναι φανερό ότι:

$$P_a(KW_p) = 1(KW/m^2) \times S(m^2) \times \eta_{\pi} \quad 3.4$$

και, επομένως, βρίσκουμε εύκολα ότι σωστά ο κατασκευαστής του φ/β πλαισίου του παραδείγματος μας το χαρακτηρίζει με ισχύ αιχμής $40W_p$, κάνοντας και ένα ανεκτό στρογγύλεμα προς τα πάνω, για προφανείς εμπορικούς λόγους.

Στην περίπτωση, λοιπόν, που γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής P_a , για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του φ/β πλαισίου, αντί για την παραπάνω σχέση (3.3) χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη σχέση:

$$E(kWh/d) = \Gamma(kWh/m^2 \cdot d) \times \frac{P_a(KW_p)}{1(kW/m^2)} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho} \quad (6)$$

Πάντως, ανακεφαλαιώνοντας, μπορούμε να πούμε ότι για να έχουμε την πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς ενός φ/β πλαισίου, χρειάζονται οι τιμές των παρακάτω 9 τεχνικών χαρακτηριστικών του, όπως περίπου είχαμε δει και για τα ηλιακά στοιχεία:

1. Ισχύς αιχμής (P_a). σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
2. Ανοικτοκυκλωμένη τάση (V_{oc}), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
3. Βραχυκυκλωμένη ένταση ρεύματος (I_{sc}), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
4. Τάση (V_m), στις συνθήκες της μέγιστης απόδοσης, σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.

5. Ένταση ρεύματος (I_m), στις συνθήκες της μέγιστης απόδοσης, σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
6. Συντελεστής πλήρωσης (FF), που ορίζεται ως ο λόγος του γινομένου $V_m \times I_m$ προς το γινόμενο $V_{oc} \times I_{sc}$.
7. Συντελεστής απόδοσης (η_π) σε συμβατική θερμοκρασία και συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης (σ_θ).
8. Συντελεστής κάλυψης (σ_k).
9. Διηλεκτρική αντοχή, δηλαδή η ελάχιστη τάση που προκαλεί ηλεκτρική διάσπαση ανάμεσα στα ηλιακά στοιχεία και στο μεταλλικό περίβλημα του φ/β πλαισίου.

3.5 ΦΩΤΟΒΟΛΙΑ Γ ΚΑ ΠΑΝΕΛ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

Συνώνυμο σχεδόν με το φ/β πλαίσιο είναι το φ/β πάνελ. Όπως και το πλαίσιο, έχει επίσης συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση στη φ/β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πάνελ μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο), που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους*. Ο αριθμός των πλαισίων ενός πάνελου είναι τόσος, ώστε οι διαστάσεις και το βάρος του να μην είναι εμπόδιο για τη μεταφορά και την τοποθέτηση του στη φ/β εγκατάσταση. Π.χ. το πάνελ του σχήματος 3.1 αποτελείται από 4 φ/β πλαίσια και έχει συνολικές διαστάσεις 122 cm x 122 cm και συνολικό βάρος περίπου 23 Kg. Δηλαδή μπορεί να μεταφερθεί εύκολα από έναν τεχνίτη,.

Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φ/β συστήματος, είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φ/β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και στα πάνελ ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια και πάνελ, να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Έτσι, αν ένα φ/β στοιχείο σκιαστεί (π.χ. από ένα περαστικό πουλί ή από τις ακαθαρσίες που μπορεί να αφήσει) ή αν πάθει βλάβη (π.χ. μια διακοπή στους ηλεκτρικούς αγωγούς) δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα, όπως θα συνέβαινε αν όλα τα φ/β στοιχεία ήταν σε σύνδεση στη σειρά.

Η φ/β γεννήτρια μιας μικρής φ/β εγκατάστασης μπορεί να αποτελείται από 1 μόνο πλαίσιο ή πάνελ. Σε μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων φ/β πλαισίων (ή πάνελ), τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης, π.χ. ξύλινα ή μεταλλικά ικρίωματα, και ονομάζονται φ/β συστοιχίες. Η σύνδεση των φ/β πλαισίων, στη σειρά ή παράλληλα, γίνεται με τρόπο που η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Είναι φανερό ότι η διαφορετική συνδεσμολογία των πλαισίων μιας φ/β γεννήτριας δεν μεταβάλλει την ισχύ της, αφού η όποια αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνεπάγεται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος που παράγει.

Στις μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις, π.χ. συνολικής ισχύος αιχμής πάνω από 20KWp, πολλές φ/β συστοιχίες σχηματίζουν ένα υποσυγκρότημα συστοιχιών και το σύνολο των υποσυγκροτημάτων αποτελεί το συγκρότημα συστοιχιών ή το φ/β πάρκο του φ/β σταθμού. Εδώ, ειδικότερα, θα ασχοληθούμε με τις συνηθισμένες φ/β εγκαταστάσεις που αποτελούνται από σταθερούς επίπεδους συλλέκτες και δέχονται φυσικό ηλιακό φως, δηλαδή χωρίς τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 3.3).

Βλέπουμε ότι κάθε φ/β εγκατάσταση έχει σπονδυλωτή συγκρότηση από φ/β πλαίσια, πάνελ ή συστοιχίες, που το πλήθος τους (και η συνολι-



Σχήμα 3.4. Παράδειγμα τοποθέτησης μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας στη στέγη ενός σπιτιού με κλίση 32° και προσανατολισμό προς τον Νότο. Αποτελείται από 56 φωτοβολταϊκά πλαίσια κατανεμημένα σε 8 πάνελ των 7 πλαισίων, με συνολική ισχύ αιχμής $2,24\text{kW}/\rho$. Το καλοκαίρι, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση της φωτογραφίας έχει μηνιαία ηλεκτρική παραγωγή περίπου $260\text{kWh}/\rho$, που συνήθως επαρκεί για την κατανάλωση μιας μέσης οικογένειας

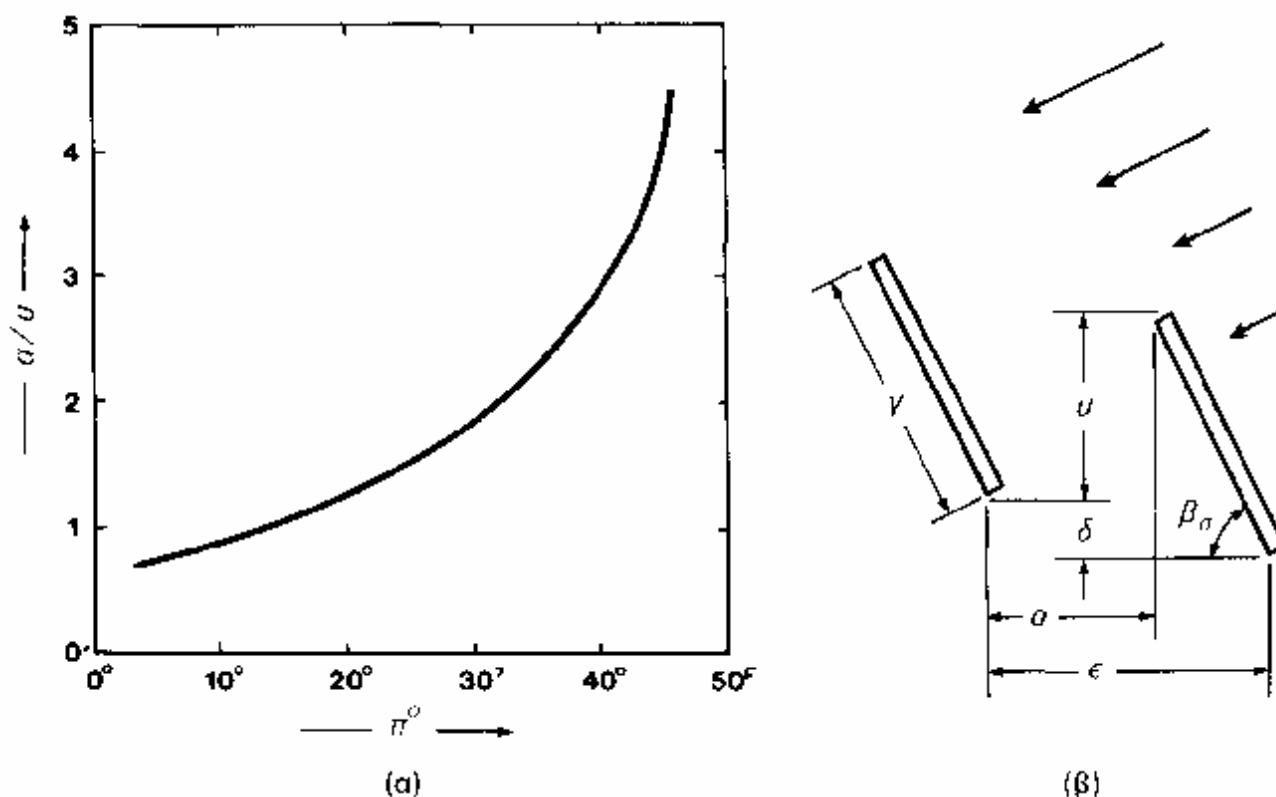
κή επιφάνεια τους) καθορίζεται από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που επιδιώκεται να παραχθεί. Η δομή αυτή επιτρέπει την εύκολη επέκταση των φ/β εγκαταστάσεων, με την προσθήκη νέων συλλεκτών, για την αντιμετώπιση των αναγκών που θα προέλθουν από ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Η τοποθέτηση των φ/β πλαισίων και των φ/β πανέλ, μόνων τους ή σε συστοιχίες, γίνεται σε στέγες κτιρίων, σε στύλους και ικριώματα, σε γήπεδα και πλαγιές λόφων ή σε άλλους ελεύθερους χώρους, με τρόπο που να μη σκιάζονται από τα γύρω δέντρα, κτίρια, βουνά κλπ. Κάθε φ/β πλαίσιο πρέπει να έχει ανοικτό οριζόντα. Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος π° , η προϋπόθεση του ανοικτού οριζόντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους (β_e) των γειτονικών συστοιχειών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων, ικανοποιεί μέσα σε μια αζιμούθια γωνία από -60° μέχρι $+60^\circ$ προς το Νότο, τη σχέση:

$$\beta_e \leq 48^\circ - \pi^\circ \quad (6.6)$$

Π.χ. στην Αθήνα, που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38° , η γωνία του ύψους των διαφόρων εμποδίων δεν πρέπει να ξεπερνά τις 10° .

Ειδικότερα, το διάγραμμα του σχήματος 6.4 μας βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των ηλιακών συλλεκτών στις φ/β συστοιχίες, ώστε η μία σειρά να μη σκιάζει αισθητά την επόμενη. Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό



Σχήμα 3.5. α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης a ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των ηλιακών συλλεκτών μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας, προς την επικάλυψη του ύψους του u , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου π° , ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, β) Η έννοια των μηκών a , γ , δ και ϵ , και της γωνίας της κλίσης β_σ , για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες.

πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές (a) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη (u). Αν γ είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος του συλλέκτη, δηλαδή του φ/β πλαισίου ή του πανέλου), β_σ είναι η κλίση του, και δ είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών, τότε το u δίνεται προφανώς από τη σχέση:

$$U = \gamma \eta \mu \beta_\sigma - \delta$$

Στη συνέχεια, βρίσκουμε με τη βοήθεια του διαγράμματος την αντίστοιχη τιμή του α , και από τη σχέση:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \text{ συν}\beta_{\sigma} \quad 3.8$$

υπολογίζουμε το ε , δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών.

3.6 ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Πέρα από τις διάφορες διορθώσεις, που αναφέραμε παραπάνω ότι παίρνουμε συνήθως υπόψη στον υπολογισμό της επιφάνειας των φ/β συλλεκτών (θερμοκρασίας, ρυπαρότητας), πρέπει επίσης να προνοήσουμε για τις μικρές ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φ/β πλαίσια στις φ/β συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του φ/β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κλπ.). Πρόσθετες, και μάλιστα σημαντικότερες, απώλειες μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος, και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών.

Εξάλλου, όπως είδαμε, η τιμή του συντελεστή απόδοσης των φ/β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αφορά στις συνθήκες τάσης- έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά τη λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φ/β συλλεκτών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση, και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης π.χ. περίπου του 20% ως 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο. Τέλος, λόγω της φθοράς στα φ/β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1% ως 2% για κάθε έτος.