

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ
& ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Αριθ. Πρωτοκ. 84
Ημερομηνία 23-6-98.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕ ΘΕΜΑ

«Μελέτη της κίνησης της υγρασίας σε πειραματικό αγρό του
αγροκτήματος Βελεστίνου»

του φοιτητή

Χρήστου Β. Κακαρίκα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Μαρία Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 1998



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 16/Δ
Ημερ. Εισ.: 01-08-2003
Δωρεά:
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΓΦΖΠ
1998
ΚΑΚ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070082

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια του προπτυχιακού κύκλου σπουδών στο τμήμα Γεωπονίας, φυτικής και ζωικής παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Σκοπός της εργασίας είναι η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στον αγρό, με υγρασιόμετρο Trase system 6050 X 1, η οποία είναι απαραίτητο στοιχείο για τις αρδεύσεις και χρησιμεύει στον υπολογισμό του ύψους βροχής που χρειάζεται να δώσουμε ή να προσθέσουμε σε κάθε άρδευση.

Το υγρασιόμετρο Trase system 6050 X 1 είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για να μετρήσει επί τόπου στον αγρό την εδαφική υγρασία.

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με το υγρασιόμετρο Trase system 6050 X 1 έγιναν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας από όπου και ελήφθησαν δείγματα για εδαφικές αναλύσεις. Στη συνέχεια έγινε γεωστατιστική επεξεργασία των μετρήσεων με τη βοήθεια ενός γεωστατιστικού προγράμματος, με σκοπό να μελετηθεί η ισοτροπία της εν λόγω μεταβλητής.

Η εργασία έχει την παρακάτω διάθρωση:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο έδαφος, στο πορώδες του εδάφους και στο νερό των εδαφικών πόρων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της εδαφικής υγρασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το όργανο και η μέθοδος προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας με το υγρασιόμετρο Trase system 6050 X 1. Αναφέρεται επίσης το πειραματικό μέρος της διατριβής και γίνεται η παρουσίαση των μετρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθεται η γεωστατιστική ανάλυση και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη γεωστατιστική ανάλυση.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου κατ'αρχήν στην καθηγήτριά μου, Κα. Μ. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας, τη συνεχή επιστημονική αλλά και ηθική συμπαράσταση της και για τις πολύτιμες ώρες που διέθεσε για την άρτια διεκπεραίωση του πειραματικού και του υπολογιστικού μέρους της διατριβής.

Ακόμη θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Καλφούντζο, Γεωπόνο - Ερευνητή, του Ινστιτούτου Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας (Ι.Χ.Τ.Ε.Λ.), για τη βοήθεια του στον χειρισμό του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή

1.1.	Γενικά	1
1.2.	Το πορώδες του εδάφους	3
1.3.	Το νερό των εδαφικών πόρων	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας

2.1.	Γενικά	8
2.2.	Εργαστηριακός υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας	12
2.3.	Υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας στο χωράφι	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Μέθοδος προσδιορισμού της υγρασίας με το TDR

3.1.	Το όργανο Trase System - Μοντέλο 6050 X 1	17
3.2.	Περιγραφή του οργάνου Trase System	19
3.3.	Πειραματικές μετρήσεις με το Trase System	24
3.3.1.	Ανάλυση του εδάφους	24
3.3.2.	Μετρήσεις	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Γεωστατιστική ανάλυση

4.1.	Θεωρία γεωστατιστικής	28
4.1.1.	Γενικά	28
4.1.2.	Μοντέλα θεωρητικών ημιβαριογραμμάτων	31
4.2.	Μέθοδος γεωστατιστικής επεξεργασίας - Αποτελέσματα	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συμπεράσματα.....76

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο του κύκλου της ζωής. Σε δυναμικά αναπτυσσόμενες καλλιέργειες, το νερό είναι 4 με 8 φορές παραπάνω από το βάρος των στερεών συστατικών των φυτών. Ακόμη, για την παραγωγή μιας μονάδας ξερής φυτικής ουσίας χρειάζεται να περάσουν μέσα από τα φυτά πολλές εκατοντάδες μονάδες νερού που χάνονται στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της διαπνοής.

Τα φυτά παίρνουν το νερό από το έδαφος. Με την έννοια αυτή, το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια αποθήκη που δέχεται νερό με τη μορφή βροχής ή αρδεύσεως το οποίο στη συνέχεια διαθέτει στα φυτά. Για να είναι το εδαφικό νερό χρήσιμο στις καλλιέργειες πρέπει να κρατιέται ανάμεσα σε ορισμένα όρια. Αν υπάρχει υπέρβαση των ορίων αυτών, το νερό γίνεται επιζήμιο και πρέπει να απομακρύνεται με στράγγιση. Αντίθετα, αν το εδαφικό νερό πέσει κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια, οι καλλιέργειες δεν μπορούν να αναπτυχθούν κανονικά οπότε νερό πρέπει να προστεθεί με άρδευση. Για τη σωστή άρδευση και στράγγιση είναι απαραίτητη η σε βάθος γνώση των νόμων που διέπουν την κίνηση, ανακατανομή και συγκράτηση του νερού στο έδαφος.

Το νερό χάνεται από τα χωράφια με τις διαδικασίες της διαπνοής και εξατμίσεως. Εξατμηση και διαπνοή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, τη διαθεσιμότητα ενέργειας και την κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα στην περιοχή του φυλλώματος των καλλιεργειών. Πηγή

ενέργειας για τα φυτά είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία. Κάθε διαδικασία ποσοτικής εκτίμησης της εξάτμισης, διαπνοής και υγρασίας και των διακυμάνσεών τους με το χρόνο είναι φυσικό να προϋποθέτει τη σε βάθος γνώση των παραγόντων αυτών.

Η γνώση του ωφέλιμου νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στο έδαφος αποτελεί βασική υποδομή για το καθορισμό του αριθμού των αρδεύσεων που χρειάζεται μια καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της βλαστικής της περιόδου, της ποσότητας του νερού που πρέπει να εφαρμόζεται με κάθε άρδευση και της διάρκειας κάθε αρδεύσεως (Παπαζαφειρίου, 1984).

Το έδαφος, με την γεωργική του έννοια, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύνθετο σύστημα που ταυτόχρονα είναι μια αποθήκη θρεπτικών στοιχείων, ένα περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται και δρα πλήθος μικροοργανισμών, ένα μέσο στηρίξεως των φυτών, ένα μέσο διακίνησης του νερού προς όλες τις κατευθύνσεις και μια αποθήκη νερού από την οποία τα φυτά αντλούν την απαραίτητη για την ανάπτυξή τους υγρασία.

Μεγάλης σημασίας είναι τα συστατικά του εδάφους διαστάσεων μικρότερων των 2 μm . Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως άργιλος. Η άργιλος μαζί με την οργανική ουσία του εδάφους καθορίζουν σε μεγάλη έκταση τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών.

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται το σύστημα κατάταξης των μηχανικών κλασμάτων.

Πίνακας 1.1. Κατηγορίες μηχανικών κλασμάτων

Κατηγορία μηχανικών κλασμάτων		Σχετική διάμετρος (mm)
Βράχοι		>600
Λίθοι	σκελετικά	600-200
Πέτρες	υλικά	200-75
Χαλίκια		75-2
Αμμος		2-0,02 (2000-20 μm)
Ιλύς	λεπτή γη	0,02-0,002 (20-2 μm)
Άργιλος		<0,002 (<2 μm)

Η μηχανική σύσταση του εδάφους αναφέρεται στις σχετικές αναλογίες των συστατικών (άμμου, ιλύος, αργίλου) ενός εδάφους. Με βάση τη μηχανική σύσταση διακρίνονται 12 κλάσεις εδαφών. Οι 12 αυτές κλάσεις εδαφών καταλαμβάνουν ορισμένη θέση και χώρο σε ένα ισοσκελές τρίγωνο το οποίο ονομάζεται τρίγωνο μηχανικής σύστασης των εδαφών.

Τα εδάφη κατατάσσονται σε τρεις βασικές ομάδες τα αμμώδη ή ελαφρά εδάφη, τα πηλώδη ή μέσης σύστασης και τα αργιλώδη ή βαριά. Στις τρεις αυτές ομάδες περιλαμβάνονται οι παρακάτω κλάσεις :

α) αμμώδες έδαφος : αμμώδες, αμμοπηλώδες,

β) πηλώδες έδαφος : πηλοαμμώδες, αμμοαργιλοπηλώδες, πηλώδες, ιλυοπηλώδες, ιλυοαργιλοπηλώδες, ιλυώδες,

γ) αργιλώδες έδαφος: αργιλοπηλώδες, ιλυοαργιλώδες, αργιλοαμμώδες, αργιλώδες.

1.2. Το πορώδες του εδάφους

Τα μηχανικά κλάσματα του εδάφους συνενώνονται μεταξύ τους με ορισμένα συστατικά και με αυτό το τρόπο δημιουργούνται στοιχειώδεις δομικές μονάδες. Οι στοιχειώδεις δομικές μονάδες οικοδομούν μεγαλύτερες δομικές μονάδες, τα συσσωματώματα τα οποία βρίσκονται στη φύση με τη μορφή σβώλων. Ο τύπος, το μέγεθος και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το μέγεθος, το είδος και τη διανομή των πόρων του εδάφους. Βέβαια η κατανομή των εδαφικών πόρων το μέγεθος των εδαφικών πόρων δεν επηρεάζει μόνο τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους αλλά και τις χημικές ιδιότητες διότι όλες οι χημικές αντιδράσεις στο έδαφος επηρεάζονται από την ποσότητα του νερού που συγκρατεί το έδαφος καθώς και από τη ποσότητα του αέρα των εδαφικών πόρων. Ο καλός αερισμός του

εδάφους επηρεάζει την αναπνοή του ριζικού συστήματος των φυτών και τη δραστηριότητα των αερόβιων μικροοργανισμών του εδάφους.

Το μέγεθος των μονάδων δομής έχει μεγάλη σημασία για την υποδοχή των σπόρων κατά τη σπορά και την κανονική έκπτυξη των ριζών και του υπέργειου τμήματος των φυτών. Είναι κατανοητό ότι μεγάλου μεγέθους μονάδες δομής δημιουργούν πόρους μεγάλους τόσο που το νεαρό ριζίδιο κατά την εκβλάστηση του σπόρου εκτίθεται στον αέρα και σε περιοχές χωρίς νερό με αποτέλεσμα να μην αντεπεξέρχεται στις δυσμενείς συνθήκες του εδάφους. Το μέγεθος των συσσωματωμάτων μετά από τα 5-10 cm βάθους του επιφανειακού εδάφους επηρεάζει τη δομή και το είδος των πόρων του εδάφους. Συσσωματώματα σταθερά στη διαβροχή αλλά και στις κρούσεις των σταγόνων της βροχής επιτρέπουν την άμεση διήθηση του νερού στο εσωτερικό του εδάφους. Η διάβρωση των εδαφών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η δράση των νερών της βροχής και το μέγεθος των συσσωματωμάτων.

Πορώδες ενός εδάφους καλούμε το επί τοις εκατό (%) ποσοστό του όγκου του εδάφους που βρίσκεται σε φυσική κατάσταση και καταλαμβάνεται από πόρους που σχηματίζονται μεταξύ των στερεών συστατικών του εδάφους.

Οι πόροι του εδάφους καταλαμβάνονται από την αέρια και την υγρή φάση. Το πορώδες εξαρτάται από τη διάταξη των εδαφικών συσσωματωμάτων. Το νερό της βροχής και της άρδευσης καταλαμβάνει τους εδαφικούς πόρους και με τη διήθηση μεταφέρεται στους βαθύτερους ορίζοντες της εδαφικής κατατομής. Η ποσοστιαία κατ'όγκο αναλογία της υγρής φάσης του εδάφους εξαρτάται από τους εδαφικούς πόρους και ιδιαίτερα από τους μικρούς πόρους (τριχοειδείς πόρους) του εδάφους. Σε αυτούς τους πόρους το νερό συγκρατείται ισχυρά και δεν απομακρύνεται με τη βαρύτητα προς τους βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες, όπως συμβαίνει με τους μεγαλύτερους πόρους διαμέσου των οποίων το νερό μετακινείται, «στραγγίζει», στους βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες.

1.3. Το νερό των εδαφικών πόρων

Οι εδαφικοί πόροι σχηματίζουν ένα πολύπλοκο δίκτυο από διασυνδεδεμένους αγωγούς κάθε σχήματος, διαμέτρου, μεγέθους. Αν σε ένα αρχικά ξηρό έδαφος προστεθεί νερό, αυτό σχηματίζει αρχικά λεπτές στρώσεις σε επαφή με τα τοιχώματα των πόρων που συγκρατούνται κυρίως με δυνάμεις **συνοχής** και **συνάφειας**, μετατοπίζει αέρα από τους πόρους και, αν η ποσότητα του νερού είναι αρκετή, γεμίζει εντελώς τους πόρους αυτούς. Αν όλοι οι πόροι του εδάφους, μικροί και μεγάλοι, γεμίσουν με νερό λέμε ότι το έδαφος έφτασε στον κορεσμό. Έτσι, ο κορεσμός αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να αποθηκεύσει ένα έδαφος.

Αν ένα κορεσμένο με νερό έδαφος αφηθεί να στραγγίσει, μια ποσότητα νερού που βρίσκεται στους μεγάλους πόρους κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας σχετικά εύκολα προς τα κάτω. Το νερό αυτό λέγεται **νερό της βαρύτητας** ή **ελεύθερο νερό**, μετά δε την απομάκρυνσή του τη θέση του ξαναπαίρνει ο αέρας. Το νερό που παραμένει στο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου λέγεται **τριχοειδές νερό**, που και αυτό κινείται προς κάθε κατεύθυνση ανάλογα με τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις αλλά με πολύ μικρότερη ταχύτητα από ότι το ελεύθερο νερό. Αν νερό συνεχίσει να απομακρύνεται, φτάνει κάποια στιγμή που αυτό που απομένει συγκρατείται πολύ ισχυρά από τα μόρια του εδάφους, ιδιαίτερα από τα κολλοειδή του, και σε σημαντική αναλογία δεν είναι πια σε υγρή κατάσταση, μετακινούμενο με τη μορφή υδρατμών. Το νερό αυτό λέγεται **υγροσκοπικό**. Από τις τρεις αυτές μορφές του εδαφικού νερού μόνο το ελεύθερο και το τριχοειδές ενδιαφέρουν την άρδευση και τη στράγγιση. Οι δυνάμεις που συγκρατούν το νερό στο έδαφος εκφράζονται γενικά με τους ισοδύναμους όρους αρνητική πίεση ή μύζηση ή τάση, είναι ανάλογες προς την περιεχόμενη υγρασία και,

όπως ήδη αναφέρθηκε, σχετίζονται με τα φαινόμενα της συνάφειας και της συνοχής. Οι δυνάμεις συνάφειας αντιπροσωπεύουν κατά κάποιο τρόπο την έλξη που ασκούν τα εδαφομόρια με την επιφάνειά τους πάνω στο νερό. Οι δυνάμεις συνοχής αντιπροσωπεύουν την έλξη που ασκούν τα μόρια του νερού το ένα στο άλλο. Κάτω από την επίδρασή τους το νερό γεμίζει τους μικρούς εδαφικούς πόρους και σχηματίζει στρώσεις σε επαφή με τα τοιχώματα των μεγάλων πόρων. Καθώς το πάχος των στρώσεων μεγαλώνει, τα μόρια του νερού που είναι προς το εσωτερικό των πόρων συγκρατούνται λιγότερο ισχυρά και μπορεί να μετακινηθούν υπό την επίδραση της βαρύτητας ή την έλξη που ασκούν άλλες γειτονικές, με μικρότερο πάχος, στρώσεις. Έτσι, πολύ μικρό έργο χρειάζεται να καταβληθεί για την απομάκρυνση νερού από ένα έδαφος που η υγρασία του βρίσκεται κοντά στον κορεσμό. Όσο το νερό στο έδαφος λιγοστεύει τόσο μεγαλύτερο έργο χρειάζεται για την απομάκρυνση του.

Η αρνητική πίεση ή τάση της εδαφικής υγρασίας είναι το μέτρο που δείχνει πόσο ισχυρά συγκρατείται το νερό στο έδαφος και είναι αντιπροσωπευτική του μεγέθους της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας που πρέπει να καταβληθεί για την απομάκρυνσή του από τους εδαφικούς πόρους. Η δύναμη αυτή συνήθως εκφράζεται σε ατμόσφαιρες ή σε ισοδύναμο ύψος υδάτινης στήλης (μια τεχνητή ατμόσφαιρα ή bar ισοδυναμεί με 10 μέτρα στήλης νερού στη θερμοκρασία 21°C). Μια συγκεκριμένη τάση δεν αντιπροσωπεύει μονότιμα την ποσότητα του νερού που υπάρχει σε οποιοδήποτε έδαφος ούτε την ποσότητα του νερού που μπορεί να απομακρυνθεί από ένα έδαφος αν εφαρμοστεί μια δύναμη ίση και αντίθετη προς την τάση αυτή. Οι ποσότητες αυτές είναι συνάρτηση της υφής και της δομής του εδάφους.

Για να γίνει δυνατή η εκτίμηση της ποσότητας του νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος κάτω από διαφορετικές τάσεις, πρέπει να κατασκευαστούν οι καμπύλες υγρασίας-τάσεως ή χαρακτηριστικές καμπύλες. Ύπαρξη αλάτων στο εδαφικό νερό έχει σαν συνέπεια την αύξηση της δυνάμεως που πρέπει να ασκηθεί για την

απομάκρυνσή του. Αυτό οφείλεται στην όσμωση. Αν δυο διαλύματα με διαφορετική συγκέντρωση αλάτων χωριστούν με μια μεμβράνη διαπερατή στο νερό αλλά αδιαπέρατη στα άλατα που περιέχει, νερό θα κινηθεί από το διάλυμα με τη μικρότερη προς το διάλυμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Η δύναμη που προκαλεί την κίνηση του νερού μέσα από τη μεμβράνη λέγεται οσμωτική πίεση. Αν το εδαφικό νερό περιέχει σημαντική ποσότητα αλάτων, η δύναμη που πρέπει να ασκηθεί για την απομάκρυνσή του από το έδαφος, πρέπει να είναι ίση με το άθροισμα της τάσεως και της οσμωτικής πίεσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

2.1. Γενικά

Η εδαφική υγρασία μπορεί να υπολογιστεί με διάφορους τρόπους, άμεσα ή έμμεσα, στο εργαστήριο ή στο χωράφι. Πριν όμως περιγραφούν εκτενέστερα αυτές οι μέθοδοι καθώς και η καινούργια μέθοδος που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει μια αναφορά σε διάφορα χρήσιμα μεγέθη και τύπους τα οποία συνδέονται με την εδαφική υγρασία (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1994).

α) Η υδατοϊκανότητα του εδάφους : Σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί η υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Όταν αρχίσει η στράγγιση, η υγρασία του εδάφους ελαττώνεται και μαζί της και η τιμή της τριχοειδούς αγωγιμότητας. Σε κάποια στιγμή η τιμή αυτή γίνεται πολύ μικρή με συνέπεια η κίνηση του νερού στο έδαφος να περιοριστεί τόσο που πρακτικά να θεωρηθεί ανύπαρκτη, έστω και αν η υφιστάμενη υδραυλική κλίση είναι πολύ μεγάλη. Αυτό είναι το καθοριστικό όριο που ονομάζεται υδατοϊκανότητα. Άρα, σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί το όριο εκείνο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της τριχοειδούς αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή ώστε πρακτικά να έχει πάψει κάθε ουσιαστική κίνηση νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις. Ο προσδιορισμός της υδατοϊκανότητας στο

εργαστήριο, με βάση την αντίστοιχη τάση, γίνεται με τη συσκευή του δίσκου πίεσεως. Τα εδάφη, ανάλογα με τον τύπο τους παρουσιάζουν τις παρακάτω αντιστοιχίες μεταξύ υδατοϊκανότητας και τάσεως.

Τύπος εδάφους	Τάση στην υδατοϊκανότητα, cm
αμμώδες (χονδρόκοκκο)	60
αμμοπηλώδες	100
ιλοπηλώδες	300
αργιλώδες	600

β) Το σημείο μόνιμης μάρανσης : Ενώ η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω χρήσιμο όριο της χρήσιμης για τα φυτά υγρασίας, το αντίστοιχο κάτω όριο της είναι το σημείο μόνιμης μάρανσεως. Όταν η εδαφική υγρασία φτάσει στο σημείο αυτό, τα φυτά δεν μπορούν να πάρουν από το έδαφος όλο το νερό που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους και αρχίζουν να μαραίνονται. Το σημείο μόνιμης μάρανσης δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους, το είδος και τη κατάσταση των φυτών, τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Σαν αντιπροσωπευτική του σημείου μάρανσης όλων των εδαφών έχει γίνει δεκτή η τάση των 15 atm. Όταν η υγρασία του εδάφους φτάσει το σημείο μόνιμης μάρανσης η ανάπτυξη των φυτών σταματά. Αν η υγρασία ελαττωθεί περισσότερο θα προκληθεί μάρανση και θάνατος των φυτών. Το όριο αυτό της εδαφικής υγρασίας στο οποίο τα φυτά νεκρώνονται λέγεται έσχατο σημείο μάρανσης. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό μπορεί να φτάσει μέχρι τις 60 atm. Ο προσδιορισμός του σημείου μάρανσης στο εργαστήριο γίνεται με τη συσκευή της μεμβράνης πίεσεως.

γ) Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους : Ένα σώμα που έχει ξεραθεί σε κλίβανο, αποτελείται από στερεά σωματίδια και πόρους γεμάτους με

αέρα. Το ειδικό βάρος των στερεών σωματιδίων, που αναφέρεται σαν πραγματικό ειδικό βάρος του εδάφους, είναι σχετικά σταθερό για όλα τα ορυκτά εδάφη με διακύμανση από 2,6 μέχρι 2,7 gr/cm³. Το ειδικό βάρος του εδάφους μαζί με γεμάτους με αέρα πόρους αναφέρεται σαν φαινόμενο ειδικό βάρος και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υφή και τη δομή του.

Το ειδικό βάρος ενός σώματος μπορεί να βρεθεί με τη σχέση

$$SW = \frac{W}{V}$$

όπου SW είναι το ειδικό βάρος και W είναι το βάρος του σώματος που έχει όγκο V. Αν υποθέσουμε ότι ένα έδαφος δεν έχει καθόλου πόρους, το φαινόμενο ειδικό βάρος του υποθετικού αυτού εδάφους θα είναι ίσο με το πραγματικό

$$SWS = \frac{W_1}{V_1}$$

όπου SWS είναι το πραγματικό ειδικό βάρος και W₁ είναι το βάρος του εδάφους που έχει όγκο V₁. Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε ένα κανονικό έδαφος με πόρους που έχει επίσης όγκο V₁ και πορώδες, που εκφράζει την αναλογία του όγκου των πόρων προς τον όγκο του εδάφους, ίσο με n. Το ειδικό βάρος του εδάφους αυτού, που έχει τώρα πόρους, είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος (ASW) και μπορεί να βρεθεί με τη σχέση

$$ASW = (1-n) \frac{W_1}{V_1} = (1-n) SWS$$

Επειδή το πραγματικό ειδικό βάρος είναι, όπως αναφέρθηκε, σταθερό, η σχέση δείχνει ότι το φαινόμενο ειδικό βάρος μικραίνει όσο το πορώδες μεγαλώνει. Επειδή το πορώδες των ελαφρών εδαφών είναι συγκριτικά

μικρότερο από το πορώδες των συνεκτικών εδαφών, τα πρώτα έχουν μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος από τα δεύτερα.

δ) Διαθέσιμη και ωφέλιμη υγρασία : Το νερό που μπορεί να κρατήσει ένα έδαφος ανάμεσα στο σημείο μόνιμης μάρανσης και την υδατοϊκανότητα επικράτησε να λέγεται διαθέσιμη υγρασία. Γενικά η εδαφική υγρασία εκφρασμένη στο εκατό ξηρού βάρους μπορεί να βρεθεί με τη σχέση:

$$SM (\%D.W.) = 100 \frac{W_w}{W_s}$$

όπου SM (%D.W.) είναι η εδαφική υγρασία % ξηρού βάρους, W_w είναι το βάρος του νερού που περιέχει το έδαφος και W_s είναι το βάρος του ξηρού εδάφους. Η ίδια υγρασία εκφρασμένη σαν ποσοστό στα εκατό όγκου βρίσκεται με τη σχέση :

$$SM (\%V) = 100 \frac{V_w}{V_s}$$

όπου SM (%V) είναι η υγρασία % του όγκου, V_w είναι ο όγκος του εδαφικού νερού και V_s είναι ο όγκος του εδάφους μαζί με τους πόρους του. Τέλος, ο όγκος ενός οποιουδήποτε σώματος μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση :

$$V = \frac{W}{D}$$

όπου W είναι το βάρος του σώματος και D είναι η πυκνότητά του. Αν συνδυάσουμε τις σχέσεις βρίσκουμε ότι :

$$SM (\%V) = 100 \frac{V_w}{V_s} = 100 \left[\frac{W_w}{D_w} / \frac{W_s}{D_s} \right] = 100 \left[\frac{W_w}{W_s} \frac{D_s}{D_w} \right]$$

όπου D_s είναι η πυκνότητα του εδάφους με τους πόρους του, D_w είναι η πυκνότητα του νερού και οι άλλοι όροι έχουν ήδη οριστεί. Όμως κατά τη σχέση, η ποσότητα $100(W_w/W_s)$ είναι η υγρασία εκφρασμένη % ξερού βάρους και ο λόγος D_s/D_w είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους. Έτσι οδηγούμαστε στη σχέση :

$$SM (\%V) = \frac{SM(\%D.W.)}{ASW}$$

που σημαίνει ότι η υγρασία % όγκου είναι ίση με την υγρασία % ξερού βάρους επί το φαινομενικό βάρος του εδάφους.

Στην πρακτική των αρδεύσεων έχει επικρατήσει η εδαφική υγρασία να εκφράζεται σαν ισοδύναμο πάχος υδάτινου στρώματος. Οπότε, αν H το βάθος του εδάφους, το ισοδύναμο πάχος υδάτινου στρώματος h στο οποίο αντιστοιχεί η υγρασία που περιέχει μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση :

$$h = \frac{V_w}{V_s} H$$

ή

$$h = \frac{W_w}{W_s} \frac{D_s}{D_w} H = \frac{SM(\%D.W.)}{100} ASW \cdot H$$

2.2. Εργαστηριακός υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας

Ο άμεσος υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας γίνεται σε δείγματα εδάφους στο εργαστήριο. Ένα δείγμα εδάφους με την περιεχόμενη υγρασία ζυγίζεται και τοποθετείται σε κλίβανο για 24 ώρες, σε θερμοκρασία 105°C . Μετά την ξήρανσή του στο κλίβανο το δείγμα ξαναζυγίζεται. Η διαφορά βάρους των δυο ζυγίσεων αντιπροσωπεύει την εδαφική υγρασία, που υπολογίζεται σαν ποσοστό ξερού βάρους με τη σχέση :

$$SM (\% D.W.) = 100 \frac{Ww - Wd}{Wd}$$

όπου SM είναι η εδαφική υγρασία και Ww και Wd είναι αντίστοιχα το βάρος του υγρού και του ξηρού εδαφικού δείγματος.

Εκτός από τον τρόπο αυτό, η εδαφική υγρασία μπορεί να προσδιοριστεί στο εργαστήριο, σε εδαφικές στήλες, με τη συσκευή ακτινών-γ. Οι συσκευές αυτού του είδους πρωτοπεριγράφηκαν από τους Gardner (1961) και Gurr (1962), ενώ σήμερα αποτελούνται από μια πηγή ακτινών-γ και έναν ανιχνευτή, ο προσδιορισμός δε της υγρασίας γίνεται με μετακίνηση της συσκευής κατά μήκος της εδαφικής στήλης (Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μ., 1984,1991).

2.3. Υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας στο χωράφι

Ο προσδιορισμός της εδαφικής υγρασίας στο χωράφι μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Μια συσκευή είναι η συσκευή διαχύσεως νετρονίων που βασίζεται επίσης σε ακτινοβολία, και αποτελείται από μια πηγή παραγωγής βραδέων νετρονίων και ένα καταγραφέα του αριθμού που ανακλώνται προς τα πίσω από το έδαφος. Έχει παρατηρηθεί ότι ο αριθμός των νετρονίων που επιστρέφουν προς τη συσκευή μέσα σε ορισμένο χρόνο και η περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία βρίσκονται σε γραμμική σχέση.

Ο προσδιορισμός της υγρασίας στο χωράφι μπορεί να γίνει έμμεσα και με μέτρηση της τάσεως. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το τενσιόμετρο και η μέθοδος της ηλεκτρικής αντιστάσεως.

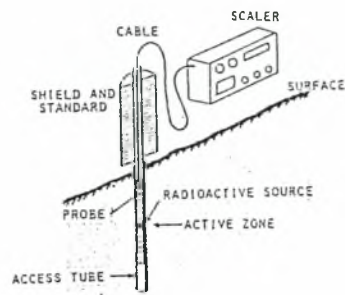
Το τενσιόμετρο βασίζεται στην αρχή ότι, όταν νερό κινείται έξω από το σωλήνα του προς το περιβάλλον έδαφος μέσω της κεραμικής καλύπτρας, μέσα στο σωλήνα δημιουργείται κενό. Η τάση αυτού του κενού καταγράφεται από ένα μανόμετρο που δείχνει συνήθως την πίεση σε εκατοστά της ατμόσφαιρας. Έτσι το τενσιόμετρο μπορεί να

καταγράφει κάθε μεταβολή της τάσεως της εδαφικής υγρασίας εφόσον αυτή δεν ξεπερνά τα 800mbar αν και πειράματα στο ύπαιθρο έδειξαν μόνο μέχρι 200mbar (Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μ., 1996) διότι από κει και πέρα στο όργανο μπαίνει αέρας και αλλοιώνει τις ενδείξεις.

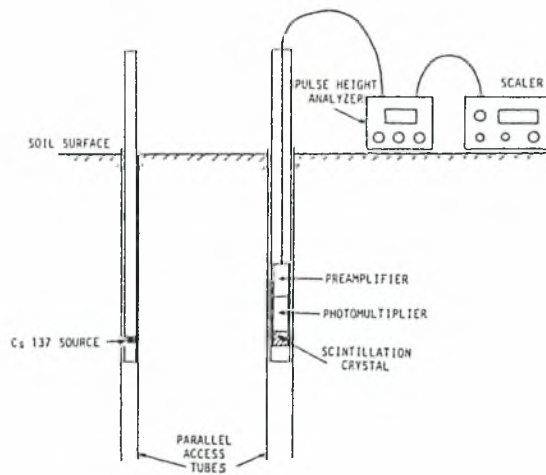
Η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης στηρίζεται στην αρχή ότι μια μεταβολή της εδαφικής υγρασίας προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεως του εδάφους, ή κάποιου άλλου πορώδους μέσου που είναι τοποθετημένο στο έδαφος και βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας με αυτό. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πλακίδια από πορώδες υλικό (γύψο ή διάφορες πλαστικές ύλες) στα οποία τοποθετούνται δύο ηλεκτρόδια σε σταθερή μεταξύ τους απόσταση. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με μια συσκευή που μετράει την ηλεκτρική αντίσταση. Όταν τα πλακίδια τοποθετηθούν στο έδαφος εξομοιώνονται μαζί του και αντιδρούν ανάλογα σε κάθε μεταβολή της εδαφικής υγρασίας. Τέτοια πλακίδια, σύμφωνα με τον Hillel, 1980, έχουν επινοηθεί από τους Coleman και Hendrix (1949), Croney et al. (1951), Taylor et al. (1961) κ.α. Για την εφαρμογή της μεθόδου χρειάζεται να βρεθεί πρώτα η σχέση που συνδέει την ηλεκτρική αντίσταση με την τάση του εδαφικού νερού. Ο Cannell (1958) έδωσε διαγράμματα της σχέσεως αυτής για διάφορους τύπους πλακιδίων (Hillel, 1980).

Ο Βουγιούκος χρησιμοποίησε ζευγάρι ηλεκτροδίων σε γύψινα πλακίδια. Ο ίδιος επίσης δημιούργησε μια μέθοδο ξήρανσης κατάλληλη για το χωράφι, κατά την οποία το δείγμα διαποτίζεται με αλκοόλη, ή οποία κατά την καύση της εξατμίζει και το νερό. Η συνολική υγρασία είναι η αναλογία του βάρους που χάνεται κατά την ξήρανση προς το ξηρό βάρος του δείγματος.

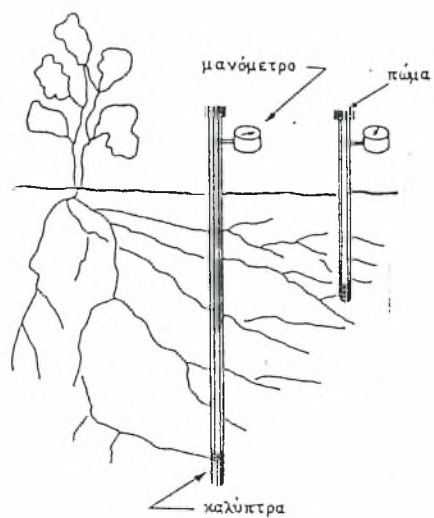
Οι Εικόνες 2.1, 2.2, 2.3 και 2.4 δείχνουν τις συσκευές που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της υγρασίας.



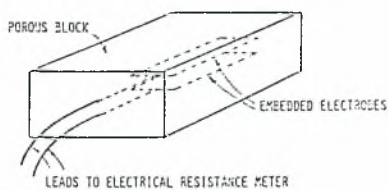
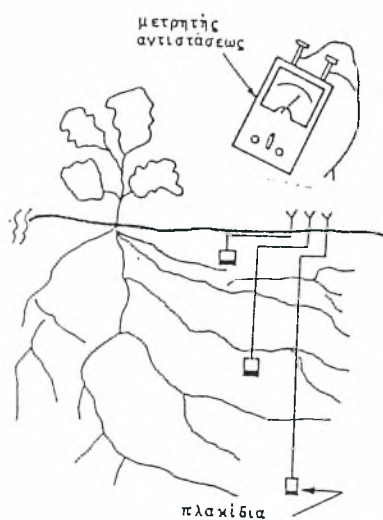
Εικόνα 2.1. Συσκευή διάχυσης νετρονίων



Εικόνα 2.2. Συσκευή ακτινών-γ



Εικόνα 2.3. Τενσιόμετρο



Εικόνα 2.4. Διάταξη ηλεκτρικής αντίστασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΟ TRASE SYSTEM

3.1. Το όργανο Trase System - Μοντέλο 6050 X 1

Στις αρχές της δεκαετίας του 80, η Soilmoisture Equipment Corp. απέκτησε ενδιαφέρον για μια τεχνολογία γνωστή ως TDR (από το Time Domain Reflectometry), για επί τόπου μέτρηση της κατ' όγκο εδαφικής υγρασίας. Αυτή η νεοεμφανιζόμενη τεχνολογία είχε πολλά θετικά στοιχεία που την έκαναν εμπορικά ενδιαφέρουσα. Ήταν μία μη πυρηνική (ακτινοβολία), γρήγορη και ανεξάρτητη του εδαφικού τύπου. Αυτή η μεθοδολογία μπορούσε να εφαρμοστεί σε όργανα με χρήση Η/Υ για αυτόματη ανάλυση, είναι εξαιρετικά γρήγορη συγκρινόμενη με μεθόδους προσδιορισμού της υγρασίας ξηρού βάρους. Ένας παλμός τάσης αποστέλλεται στους κυματοδηγούς που είναι εγκατεστημένοι ή εισχωρούν στο έδαφος. Ο παλμός τάσης διανύει τους κυματοδηγούς και αντανακλάται στις άκρες των κυματοδηγών. Ο όγκος του εδαφικού νερού προσδιορίζεται στη συνέχεια από το χρόνο καθυστέρησης, Δt , της επιστροφής του παλμού τάσης, συγκρινόμενο με τον θεωρητικό χρόνο καθυστέρησης σε ένα απόλυτο κενό.

Τελευταία αναπτύχθηκε μια εντελώς καινούργια έκδοση του οργάνου TDR το οποίο ονομάζεται TRASE - από Time Reflectometry Analysis of Signal Energy.

Η ταχύτητα με την οποία ο παλμός του ηλεκτρισμού περνά μέσα από μια παράλληλη γραμμή μεταβίβασης εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά (K) του υλικού που είναι σε επαφή και περικλείει τη γραμμή

μεταβίβασης. Όσο μεγαλύτερη η διηλεκτρική σταθερά τόσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα.

Ονομάζουμε διηλεκτρική σταθερά ή επαγωγική ικανότητα ενός μονωτικού υλικού το λόγο K της χωρητικότητας ενός πυκνωτού, οι οπλισμοί του οποίου χωρίζονται από το μονωτικό υλικό, προς τη χωρητικότητα πυκνωτού των ιδίων διαστάσεων, του οποίου οι οπλισμοί χωρίζονται από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Το έδαφος γενικά αποτελείται από αέρα, ανόργανα και οργανικά συστατικά και νερό. Η διηλεκτρική σταθερά K γι' αυτά τα υλικά είναι :

<i>Αέρας</i>	1
<i>Ανόργανα συστατικά</i>	2-4
<i>Νερό</i>	80

Εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς στη διηλεκτρική σταθερά του νερού από τα άλλα συστατικά του εδάφους, η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει ο παλμός του μικροκύματος του ηλεκτρισμού στην παράλληλη γραμμή μεταβίβασης τοποθετημένη μέσα στο έδαφος είναι κατά πολύ εξαρτημένη από το νερό που περιέχεται στο έδαφος.

Όταν ένας παλμός μικροκύματος περνά από μια γραμμή μεταβίβασης συμπεριφέρεται κατά κάποιο τρόπο σαν μια δέσμη φωτός. Ασυνέχειες στη γραμμή μεταβίβασης και το περικλειόμενο υλικό προκαλεί μερική από την ενέργεια του μικροκύματος να ανακλάται πίσω δια μέσου της γραμμής. Όταν ο παλμός φτάσει στο τέλος της γραμμής μεταβίβασης κανονικά όλη η υπολειπόμενη ενέργεια μέσα στον παλμό ανακλάται πίσω διαμέσου της γραμμής, παρόμοια όπως μια δέσμη φωτός περνάει μέσα από ένα σωλήνα και ανακλάται πίσω από έναν καθρέπτη που είναι στο τέλος του σωλήνα.

Αυτά τα χαρακτηριστικά κάνουν δυνατή, με αξιόπιστα ηλεκτρονικά μέσα τη μέτρηση του απαιτούμενου χρόνου για ένα παλμό μικροκύματος να περάσει από ένα γνωστό μήκος της γραμμής

μεταβίβασης αναφερόμενο σε ένα κυματοδηγό (Waveguide) τοποθετημένο στο έδαφος.

Η φαινομενική διηλεκτρική σταθερά (K_a) του εδάφους μπορεί να προσδιορισθεί από τον τύπο :

$$K_a = \left(\frac{tc}{L} \right)^2$$

όπου :

- L είναι το μήκος των κυματοδηγών σε εκατοστά
- t είναι ο χρόνος μεταφοράς σε nanoseconds και
- c είναι η ταχύτητα του φωτός σε cm/nsec

Ο χρόνος μεταφοράς ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας παλμός να ταξιδέψει προς μία κατεύθυνση από την αρχή του κυματοδηγού ως το τέλος αυτού.

Εάν το έδαφος είναι απόλυτα ξηρό, η K_a θα είναι από 2-4. Εάν 25% της χωρητικότητας του εδάφους είναι νερό, η K_a θα είναι περίπου 11-12. Για καλλιεργούμενα εδάφη η τιμή της K_a της φαινομενικής διηλεκτρικής σταθεράς, εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους και είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους.

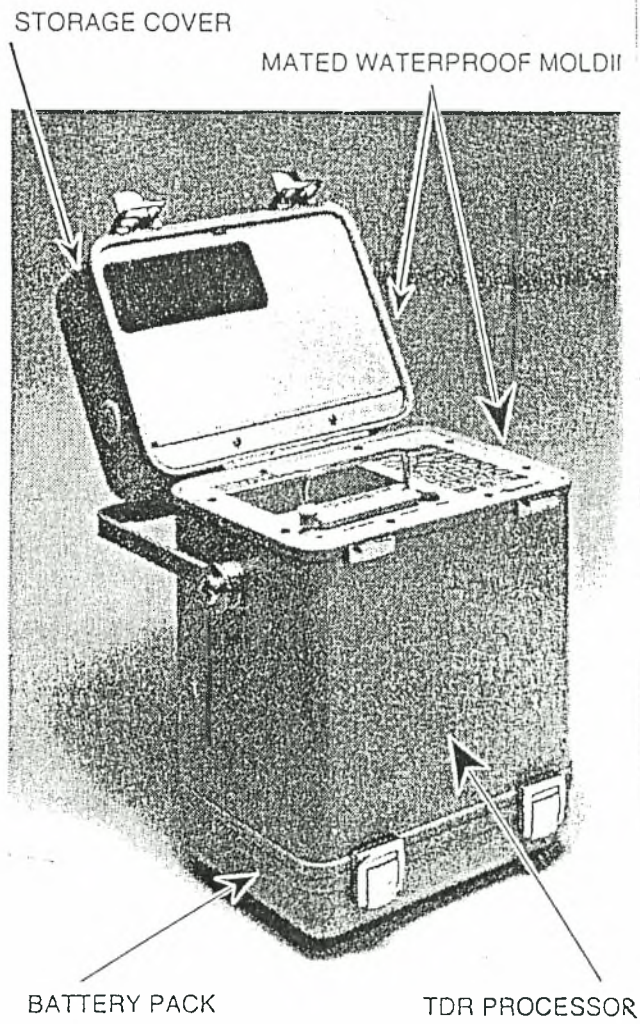
Η σχέση της τιμής της K_a με την επί τοις εκατό κατ' όγκο περιεκτικότητα σε νερό καθιερώθηκε μέσα από προσεκτικές μετρήσεις της K_a σε κελιά δοκιμών προετοιμασμένα με ακριβή γνώση της χωρητικότητας του νερού στο έδαφος. Αυτή η σχέση χρησιμοποιείται κατόπιν σε αυτόματα μετατρεπόμενες μετρήσεις αγρού της K_a της κατ' όγκο περιεκτικότητας σε νερό του εδάφους.

3.2. Περιγραφή του οργάνου Trase System

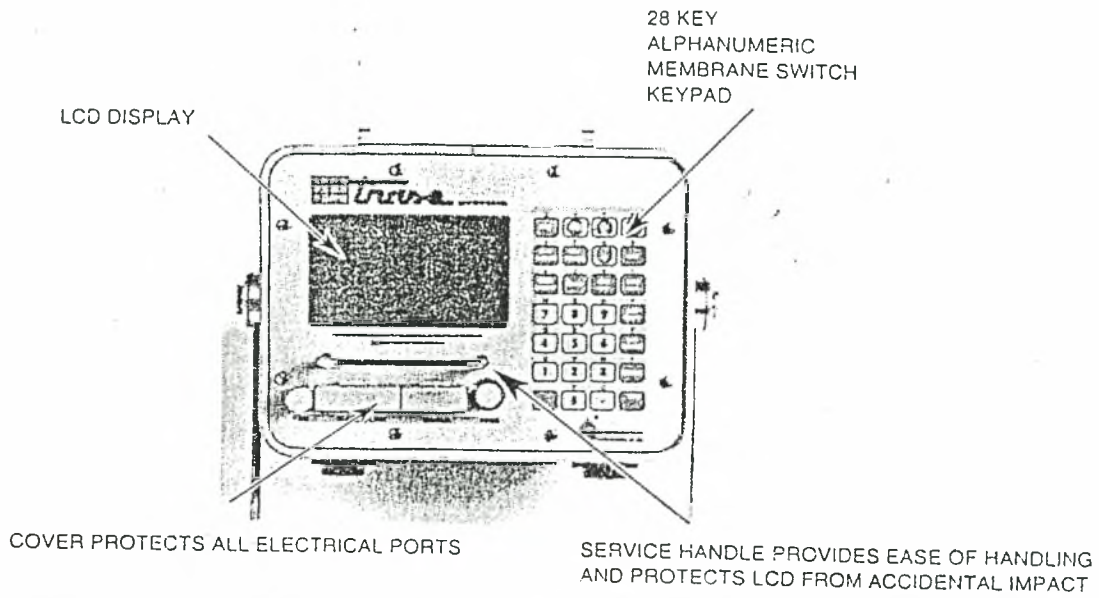
Οι γενικές προδιαγραφές του οργάνου είναι οι παρακάτω :

- Εύρος μέτρησης : 0-100% κατ'όγκο περιεχόμενη υγρασία
- Ακρίβεια μέτρησης : $\pm 2\%$ μέγιστη κλίμακα ή καλύτερα με τα standards του Waveguide σύνδεσμου
- Θερμοκρασία λειτουργίας : 0-45°C
- Εφοδιασμός ισχύος : Εφοδιασμένο με 2 ea, σφραγισμένες ηλεκτρολυτικές μπαταρίες. Ολική ικανότητα 7amp hr. Χρόνος επαναφόρτισης 12 hrs. Εισαγωγή βοηθητικής ισχύος 18-24V AC ή DC, 2amp, για επαναφόρτιση μπαταρίας ή ανεξάρτητη λειτουργία. Είσοδος εξωτερικής μπαταρίας 12V για ανεξάρτητη λειτουργία.
- Θύρες σύνδεσης : BNC θύρα - για σύνδεση Waveguide
RS-232 θύρες σε σειρά - για μεταφορά δεδομένων
Multiplex Port - 8 pin DIN
- Μνήμη : Standard 256 Kb Memory με ικανότητα αποθήκευσης τουλάχιστον 190 γραφημάτων / 5700 αναγνώσεις
Optional 512 Kb Memory Board αυξάνει την αποθήκευση τουλάχιστον σε 680 γραφήματα / 20600 αναγνώσεις
Automatic data
Autologging διαβάζοντας Interval εύρος από ένα την ημέρα σ'ένα λεπτό
- Ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά : Μέτρηση παλμού ανυψώνει το χρόνο λιγότερο από 200 picoseconds
- Συμπεριλαμβανόμενα αντικείμενα του Trase system :
1 Waveguide Connector
1 Set of 15cm long Waveguides
1 Buriable Waveguide
Battery Changer

Στη συνέχεια παραθέτονται κατατοπιστικές εικόνες που παρουσιάζουν τα επί μέρους συστήματα από τα οποία αποτελείται το Trase system :



Εικόνα 3.1. Το όργανο Trase System 6050 X 1



Εικόνα 3.2. Το TDR Processor Control Panel

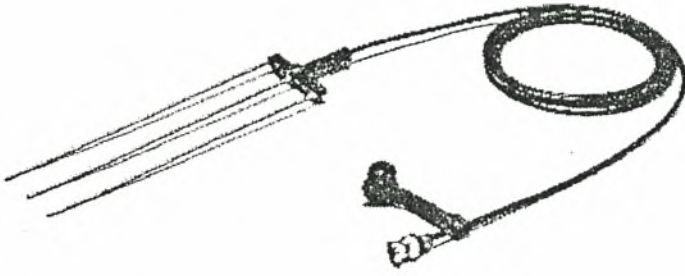
```

MEASURE SCREEN

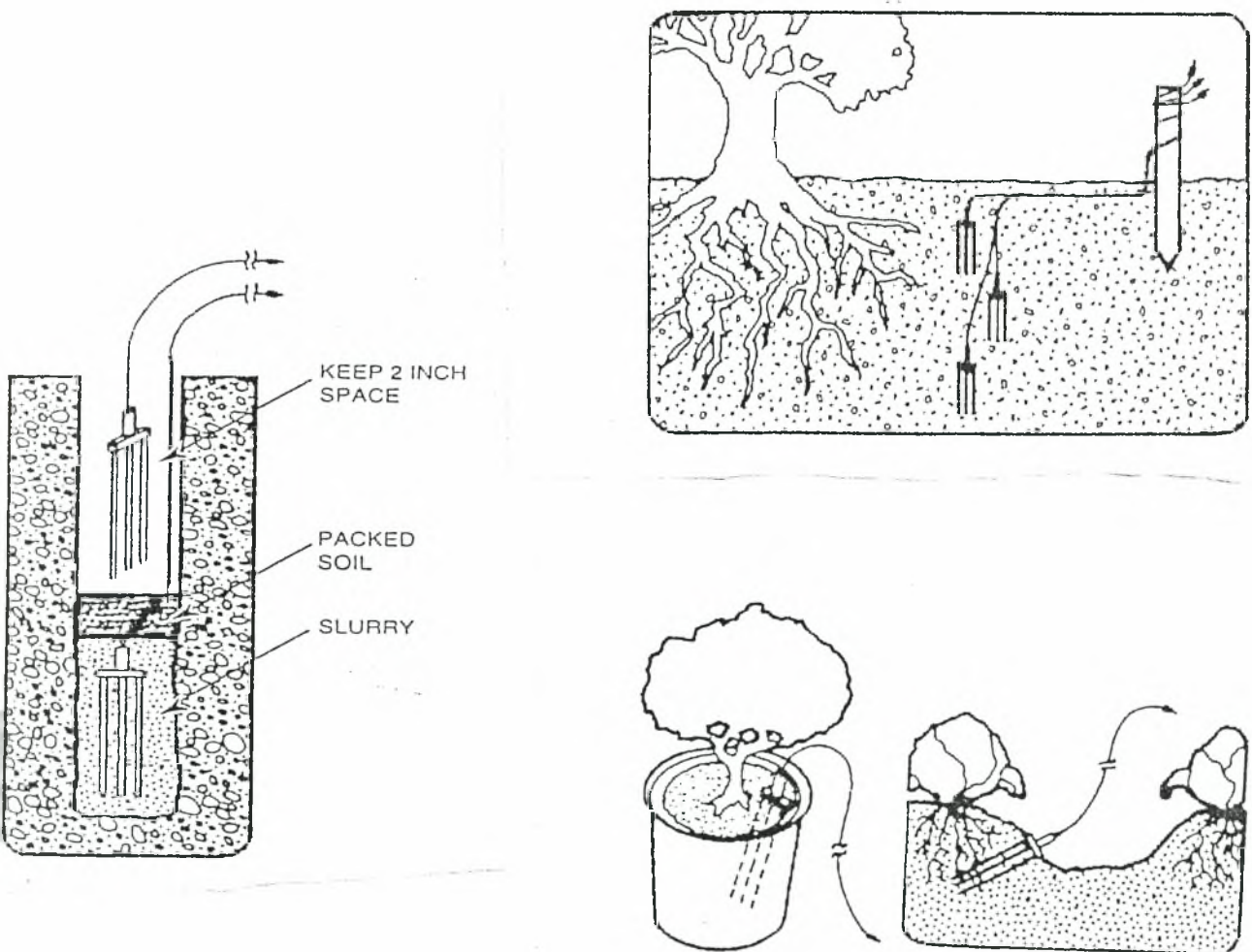
Moisture: 27.0%
Ka: 14.1
Waveguide length: 15.0 cm
Waveguide type: [Connector]Buriable
Moisture table: [Standard]Custom
MUX channel: 0 MUX not connected
-----Storage-----
Next reading No: XXX Tag:□□□□□□□□
Storage: 1 2 3[4]
Storage remaining: XXXXX readings, or,
                  XXX graphs
ALPHA SHIFT XX-XXX-XX XX:XX:XX XXXXXXXXXXXX

```

Εικόνα 3.3. Η απεικόνιση μιας μέτρησης στην οθόνη



Εικόνα 3.4. Ο ενταφιασμένος κυματοδηγός



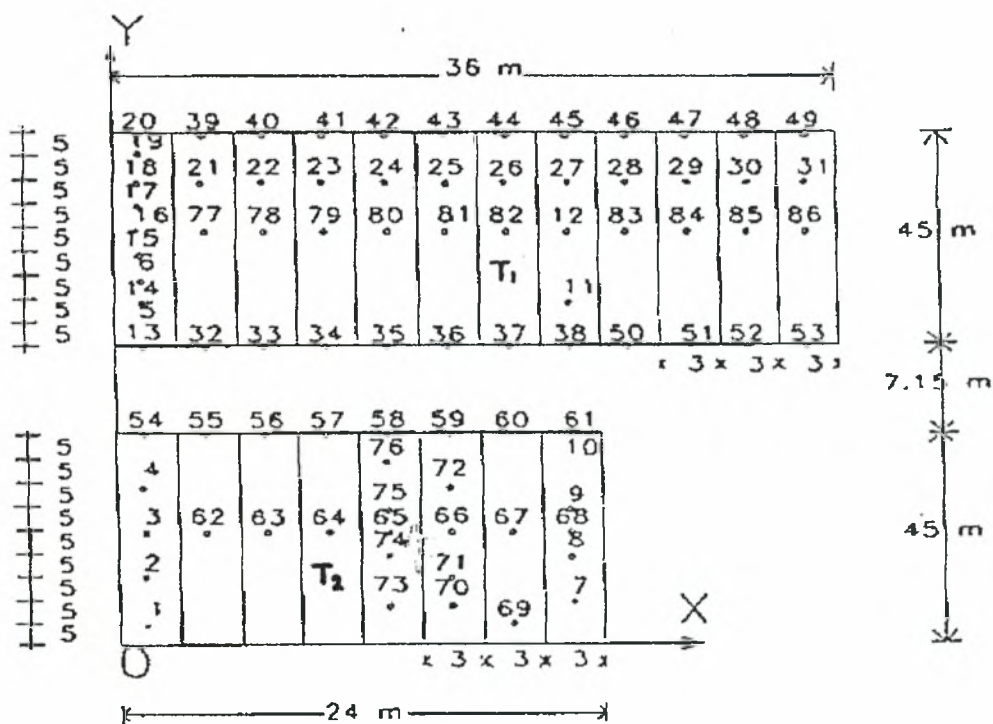
Εικόνα 3.5. Μετρήσεις στο χωράφι

3.3. Πειραματικές μετρήσεις με το Trase system

3.3.1. Ανάλυση του εδάφους

Για το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε αγρός στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Στο τμήμα αυτό του εδάφους μετρήθηκε επί τόπου η εδαφική υγρασία με το Trase system και πάρθηκαν δείγματα για την ανάλυση του εδάφους και τον προσδιορισμό ορισμένων φυσικών του χαρακτηριστικών. Συνολικά έγιναν 85 επί τόπου μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας σε βάθος 20 εκ. και πάρθηκαν δύο δείγματα για εδαφική ανάλυση στο εργαστήριο.

Η μελετηθείσα περιοχή καθώς και οι θέσεις T_1 και T_2 των μετρήσεων της μηχανικής ανάλυσης και των δειγματοληψιών φαίνονται στο σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1. Μελετηθείσα περιοχή

Η μηχανική ανάλυση του εδάφους έγινε στο Ινστιτούτο χαρτογράφησης και ταξινόμησης εδαφών Λάρισας. Τα δείγματα ελήφθησαν πριν από την έναρξη των μετρήσεων στις θέσεις T₁ και T₂ όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1 από βάθη 0 - 15 και 15 - 30 cm για να προσδιοριστούν τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά του αγρού. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 και δείχνουν ότι το έδαφος είναι βαρύ προς το αργιλλοπηλώδες.

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Θέση	Βάθος (cm)	CaCO ₃ (%)	Άμμος (%)	Ίλος (%)	Άργιλος (%)	Χαρακτηρισμός	EC*103 (mmhos/cm)	Ph H ₂ O 1:1
T ₁	0-15	7.04	21	46	33	CL	<3	7.8
T ₁	15-30	10.05	29	36	35	CL	<3	7.9
T ₂	0-15	9.24	19	42	39	SiCL	<3	7.8
T ₂	15-30	10.34	24	35	41	C	<3	7.9

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά του πειραματικού αγρού.

Ο χαρακτηρισμός του εδάφους φαίνεται στον Πίνακα 3.1.

Όπου: CL : Αργιλώδης πηλός
SiCL : Ίλυοαργιλλώδες
C : Άργιλος

3.3.2. Μετρήσεις

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν τις μετρήσεις που έγιναν με το Trase system στις τομές που αναφέρονται στην παράγραφο 3.3.1.

Ο Πίνακας 3.2 περιέχει της μετρήσεις που έγιναν πριν την άρδευση ενώ ο Πίνακας 3.3 αυτές που πάρθηκαν μετά την άρδευση.

Πίνακας 3.2. Μετρήσεις υγρασίας πριν από άρδευση

HR% = υγρασία%, Κα = διηλεκτρική σταθερά

A/A	HR (%)	Κα	A/A	HR (%)	Κα	A/A	HR (%)	Κα
1	28,7	16,2	31	19,2	9,6	61	27,7	15,3
2	27,3	14,9	32	17,6	8,9	62	17,5	8,9
3	27,5	15,1	33	24,4	12,4	63	24,9	12,7
4	27,7	15,3	34	18,7	9,4	64	27,6	15,2
5	19	9,5	35	13,7	7,3	65	28,5	16
6	28,3	15,8	36	16,4	8,4	66	29,7	17,1
7	23,8	12,1	37	18,9	9,5	67	18,1	9,1
8	21,5	10,8	38	24,8	12,6	68	23,5	11,9
9	21,7	10,9	39	14,6	7,6	69	32,6	19,4
10	19,1	9,6	40	27,7	15,3	70	18,7	9,4
11	19,1	9,6	41	24,9	12,7	71	25,5	13,3
12	21,9	11	42	22,2	11,2	72	26,4	14,1
13	19,5	9,7	43	28,9	16,3	73	29,5	16,9
14	23,7	12,1	44	21,1	10,6	74	28,9	16,3
15	21,4	10,8	45	28,2	15,7	75	25,3	13,1
16	23,9	12,2	46	13,2	7,1	76	11,3	6,4
17	17,3	8,8	47	30,1	17,4	77	29,6	17
18	9,5	5,8	48	23,3	11,8	78	31	18,2
19	23,8	11,7	49	27,9	15,4	79	30,5	17,8
20	24,9	12,7	50	6,2	4,3	80	27,3	14,9
21	28,5	16	51	26,5	14,1	81	14,1	7,5
22	21,7	10,9	52	28,1	15,7	82	20,1	10,0
23	19,4	19,7	53	26,6	14,2	83	30,0	171,4
24	18,1	9,2	54	28	15,6	84	21,3	10,7
25	23,2	11,8	55	21,8	11,0	85	30,3	17,6
26	20,1	10	56	18,9	9,5			
27	22,6	11,5	57	27,9	15,4			
28	23,9	12,2	58	22,1	11,2			
29	18,3	9,2	59	28,9	16,4			
30	18,5	9,5	60	30,22	17,5			

Πίνακας 3.3. Μετρήσεις υγρασίας μετά την άρδευση

HR% = υγρασία%, Κα = διηλεκτρική σταθερά

A/A	HR (%)	Κα	A/A	HR (%)	Κα	A/A	HR (%)	Κα
1	37,4	23,4	31	32	18,9	61	29,8	7,2
2	27,4	15,0	32	32,2	19,1	62	35,1	21,3
3	31,8	18,7	33	29,6	17,0	63	28,8	16,3
4	32,4	19,2	34	33,0	19,7	64	37,9	23,9
5	25,3	13,0	35	33,9	20,3	65	35,1	21,3
6	31,2	18,3	36	31,5	18,5	66	36	22,1
7	29,1	17,0	37	28,9	16,3	67	28,3	15,8
8	31,9	18,8	38	28,9	16,4	68	26,2	13,9
9	29,5	17,0	39	29,5	17,0	69	33,2	19,8
10	27,0	14,6	40	37,5	23,5	70	30,8	18
11	32,0	18,9	41	30,6	17,8	71	34,5	26,8
12	29	16,5	42	33,7	20,2	72	32,5	19,3
13	30	17,4	43	34,3	20,5	73	31,2	18,3
14	32,4	19,2	44	35,3	21,4	74	35	21,2
15	26,9	14,5	45	31,2	18,3	75	30,2	17,4
16	30,3	17,6	46	34,8	21,1	76	34,4	20,3
17	31,7	18,7	47	31,9	18,8	77	37,7	23,7
18	10,9	6	48	31,5	18,5	78	39,3	25,5
19	32	18,9	49	30,3	17,6	79	36,1	22,2
20	29,1	16,6	50	29,0	16,5	80	35,7	21,9
21	31,0	18,2	51	31,9	18,7	81	26,9	14,5
22	33,5	20,1	52	31,6	18,6	82	30,8	18,0
23	35,8	21,2	53	33,3	19,9	83	36,4	22,5
24	29	16,5	54	36,5	22,6	84	27,8	15,4
25	34,9	21,1	55	28,2	15,7	85	28,5	16
26	32,0	18,9	56	35	21,2			
27	32,0	18,9	57	37,8	23,8			
28	34,4	20,7	58	37,5	23,5			
29	30,4	17,7	59	33,1	19,8			
30	37,9	24	60	33,1	19,8			

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1. ΘΕΩΡΙΑ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

4.1.1. Γενικά

Η Γεωστατιστική μπορεί να εφαρμοστεί στη μελέτη κάποιου φαινομένου, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως περιφερειακό φαινόμενο. Η μεταβλητή η οποία χαρακτηρίζει το φαινόμενο ονομάζεται περιφερειακή μεταβλητή και αποτελεί αριθμητική συνάρτηση χώρου που μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο με συνεχή τρόπο, χωρίς όμως να μπορεί να αποδοθεί η μεταβλητότητα αυτή με συνηθισμένη, συγκεκριμένη αναλυτική μαθηματική συνάρτηση (Clark, 1979, Τζιμόπουλος, 1997).

Έστω S μια περιοχή στην οποία έχει μετρηθεί ένα σύνολο τιμών μιας ιδιότητας $Z(x_i)$, $i=1, 2, \dots, n$, όπου x_i υποδηλώνει τη θέση που μπορεί να είναι σε μονοδιάστατο χώρο, διδιάστατο ή μπορεί να δηλώνει χρόνο. Κάθε τιμή $z(x_k)$ μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα απλό ενδεχόμενο της τυχαίας μεταβλητής $z(x_k)$ στη συγκεκριμένη θέση x_k . Όταν η τυχαία μεταβλητή $z(x_k)$ διατρέχει το πεδίο ορισμού της S δηλαδή x_i που ανήκει στο S τότε μιλάμε για περιφερειακή μεταβλητή και το σύνολο $\{z(x_i), \forall x_i \text{ που ανήκει στο } S\}$ αποτελεί τυχαία συνάρτηση.

Μέχρι τα τέλη του 1960 η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων, γινόταν με την υπόθεση ότι οι μετρήσεις ήταν στατιστικά ανεξάρτητες ή ότι η κατανομή των μετρήσεων στο χώρο ήταν τυχαία. Έτσι μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ανάλυσης της διασποράς και να προσδιοριστούν παράμετροι όπως ο συντελεστής μεταβλητότητας κ.α. πάντα στο πλαίσιο της κλασσικής Στατιστικής. Αυτή η υπόθεση όμως δεν μπορεί να

εξασφαλισθεί χωρίς προηγούμενα να ερευνηθεί η πιθανή τοπική συσχέτιση των μετρήσεων.

Για την εκτίμηση και άλλων τιμών της παραμέτρου μεταξύ των ήδη πειραματικά προσδιορισθέντων τιμών (παρεμβολή) γίνεται αναγκαία η χρήση Διαγράμματος Ημιδιασποράς (Δ.Η.).

Το Διάγραμμα Ημιδιασποράς δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma(x_i, h) = \gamma(o, h) = \gamma(h) = 1/2 \cdot E \{ (z(x_i + h) - z(x_i))^2 \}$$

και μπορεί να προσδιοριστεί από τις μετρήσεις με εξίσωση:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ z(x_i + h) - z(x_i) \}^2$$

όπου E εκφράζει τον τελεστή της μέσης τιμής και N(h) τον αριθμό των ζευγαριών των πειραματικών μετρήσεων $(z(x_i), z(x_i + h))$, που απέχουν μεταξύ τους απόσταση h.

Ο όρος $2\gamma^*(h)$ καλείται βαριόγραμμα και είναι η μεταβλητότητα των διαφορών των πειραματικών μετρήσεων ανάμεσα σε N(h) αριθμό πειραματικών ζευγαριών.

Το Δ.Η. εξαρτάται τόσο από το μέτρο διανύσματος h όσο και από τη διεύθυνση του h. Στην περίπτωση που δεν εξαρτάται από τη διεύθυνση, τότε οι μετρήσεις δείχνουν ότι το πεδίο ορισμού είναι ισότροπο ως προς το μετρούμενο μέγεθος, διαφορετικά είναι ανισότροπο και ως εκ τούτου οι διαφορετικές κατευθύνσεις θα πρέπει να λαμβάνονται ξεχωριστά υπόψη προκειμένου να εκτιμήσει κανένας ενδιάμεσες τιμές στις διάφορες κατευθύνσεις.

Είναι λογικό οι διαφορές $\{ z(x_i + h) - z(x_i) \}$ να τείνουν προς το μηδέν μια και πολύ κοντινές μεταξύ τους μετρήσεις αναμένεται να είναι ίδιες, όπως επίσης είναι λογικό οι μετρήσεις να γίνονται όλο και περισσότερο ασυσχέτιστες μεταξύ τους όσο μεγαλώνει το h, έτσι ώστε το Δ.Η. να τείνει στην οριακή τιμή του ημίσεως της διασποράς όταν το h τείνει στο άπειρο.

Αυτήν την τιμή την ονομάζουμε κατώφλι (sill) του ημιβαριογράμματος και συμβολίζεται με C_1 . Μολαταύτα και στις δύο περιπτώσεις είναι δυνατόν να υπάρχουν αποκλίσεις. Στην πρώτη περίπτωση, όπου αντί να έχουμε $\gamma^*(0)=0$ έχουμε $\gamma^*(0)=C_0$, δηλ. μια σταθερή τιμή που λέγεται nugget - όρος (λευκός θόρυβος) που οφείλεται σε τοπικές διαταραχές του φαινομένου σε μικροκλίμακες μελέτης ή μπορεί να αποδίδεται ή μπορεί να αποδίδεται σε σφάλμα μετρήσεων. Όταν δύο μεταβλητές $z(x)$ και $z(x+h)$ δεν συσχετίζονται για οποιαδήποτε μη μηδενική απόσταση h τότε έχουμε τον λεγόμενο «λευκό θόρυβο». Σημαίνει ότι η κατανομή της μεταβλητής είναι τελείως τυχαία. Όταν δεν παρατηρείται οριακή τιμή για μεγάλα h , τότε αυτό αποδίδεται στην παρουσία κάποιας τάσης μεταξύ των μετρήσεων που αποτρέπει την τυχαιοποίησή τους όταν αυτές απέχουν αρκετά μεταξύ τους. Το εύρος, η περιοχή επιρροής του ημιβαριογράμματος είναι μια απόσταση πέραν της οποίας η τιμή του ημιβαριογράμματος παραμένει σταθερή και δείχνει ότι οι τιμές του δείγματος πέρα της απόστασης αυτής παραμένουν ασυσχέτιστες. Τα παραπάνω: κατώφλι (sill) C_1 , το C_0 (nugget) και το εύρος a αποτελούν τα χαρακτηριστικά του ημιβαριογράμματος.

Ο συντελεστής συσχέτισης R είναι ένα μέτρο προσαρμογής της καμπύλης παλινδρόμησης στις τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος. Παράλληλα μας δείχνει το βαθμό συσχέτισης των τιμών του πειραματικού ημιβαριογράμματος $\gamma(h)$, με τις τιμές της απόστασης h . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή συσχέτισης (κατά απόλυτη τιμή), τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός της συσχέτισης (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., κ.α., 1996).

Για να εκτιμήσουμε τις τιμές της υπό μελέτη ιδιότητας ή μεγέθους (π.χ. υγρασία εδάφους) σε θέσεις που δεν έχουν συμπεριληφθεί στη δειγματοληψία, πρέπει υποχρεωτικά να δεχθούμε τον περιορισμό ότι Π.Μ. που εκφράζεται από τη συνάρτηση $z(x_i)$ είναι στάσιμη αν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των τυχαίων μεταβλητών $z(x_i+h)$ είναι τα ίδια δηλαδή σταθερά για κάθε h .

Για την Γεωστατιστική χρειαζόμαστε μέχρι και 2^{ns} τάξης στασιμότητα. Αυτό μαθηματικά εκφράζεται ως εξής:

- 1) Υπάρχει πάντοτε η μέση τιμή και δεν εξαρτάται από τη θέση

$$E\{z(x_1)\} = m \quad \forall x_1 \text{ που ανήκει στο } S$$

2) Για κάθε ζευγάρι τυχαίων μεταβλητών $\{z(x+h) - z(x)\}$ υπάρχει η συμμεταβλητότητα που είναι συνάρτηση μόνο της μεταξύ τους απόστασης h και δεν εξαρτάται από τις θέσεις τις ίδιες.

$$\text{Cov}\{z(x_1), z(x_1+h)\} = C(h) \quad \forall x_1 \text{ που ανήκει στο } S$$

Η στασιμότητα της συμμεταβλητότητας συνεπάγεται τη στασιμότητα της διασποράς και κατά συνέπεια εξασφαλίζει την ύπαρξη του διαγράμματος.

4.1.2. Μοντέλα θεωρητικών ημιβαριογραμμάτων

Τα συνήθη μοντέλα ημιβαριογραμμάτων που μπορούν να προσαρμοστούν στα πειραματικά δεδομένα είναι:

• Το σφαιρικό μοντέλο του Matheron, περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \cdot (3h/2\alpha - h^3/2\alpha^3) & , \quad h \leq \alpha \\ C & , \quad h > \alpha \end{cases}$$

όπου, α η ακτίνα επιρροής (μετά την απόσταση αυτή οι μετρήσεις είναι ασυσχέτιστες).

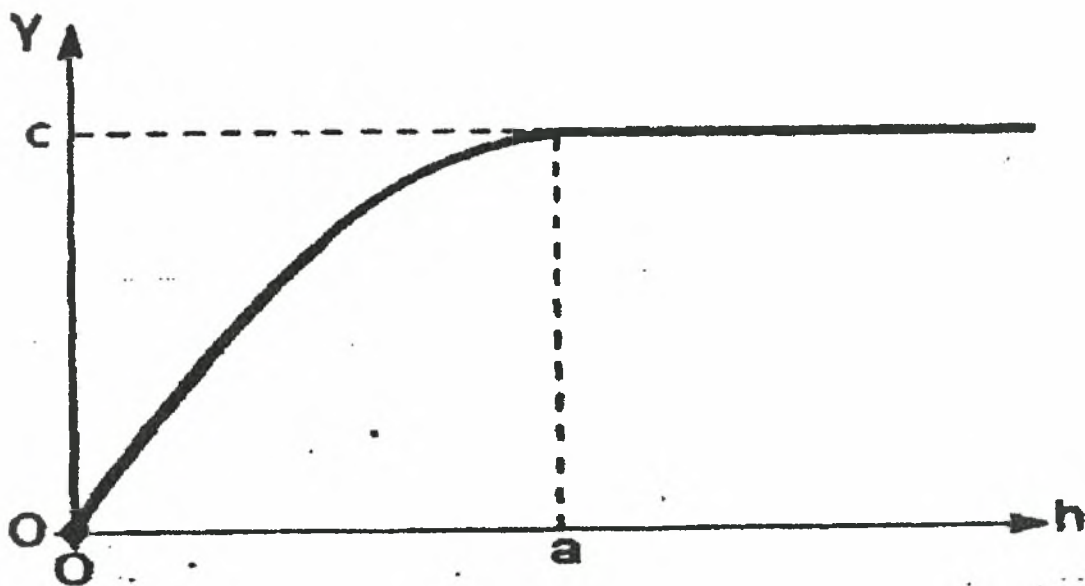
C η οριακή τιμή της ημιδιασποράς (sill).

Το σφαιρικό μοντέλο φαίνεται στο διάγραμμα 4.1.

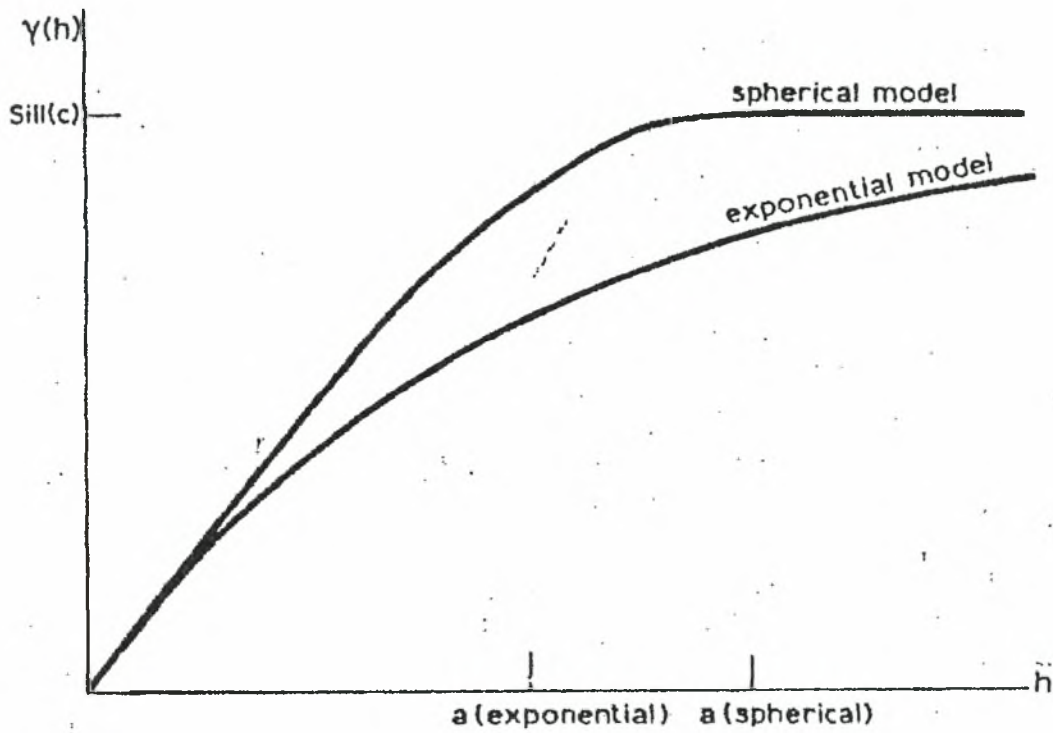
• Το εκθετικό μοντέλο

$$\gamma(h) = C \cdot [1 - e^{-h/\alpha}]$$

Η καμπύλη του εκθετικού μοντέλου έχει μικρότερη κλίση από το σφαιρικό μοντέλο και δεν παίρνει ποτέ την τιμή C . Όπως φαίνεται στα διαγράμματα 4.2.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 .1. Σφαιρικό μοντέλο ημιβαριογράμματος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2. Εκθετικό μοντέλο ημιβαριογράμματος.

Μοντέλα που δεν έχουν sill είναι τα εξής:

• Το γραμμικό μοντέλο

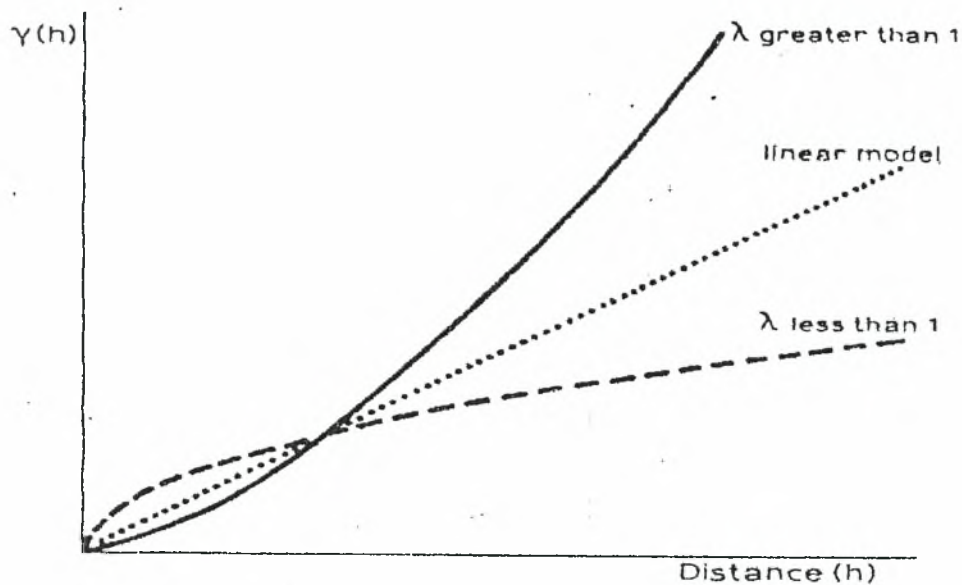
$$\gamma(h) = \rho * h$$

όπου ρ η κλίση της γραμμής.

• Το γενικευμένο γραμμικό μοντέλο

$$\gamma(h) = \rho * h^\alpha \quad , \quad 0 \leq \alpha < 2$$

Το γραμμικό και το γενικευμένο γραμμικό φαίνονται στο διάγραμμα 4.3.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.3. Γραμμικό και γενικευμένο γραμμικό μοντέλο ημιβαριογράμματος : (-----), (_____) γενικευμένα γραμμικά
(.....) γραμμικό

•Το μοντέλο Wiisian

$$\gamma(h) = 3 * \alpha * \ln(h)$$

Σε αυτό το μοντέλο το διάγραμμα ημιδιασποράς είναι γραμμικό αν σχεδιαστεί ως προς τον λογάριθμο της απόστασης.

Επίσης, στην πειραματική καμπύλη του ημιβαριογράμματος μπορεί να προσαρμοστεί ένας συνδυασμός των παραπάνω μοντέλων.

4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η γεωστατιστική επεξεργασία έγινε με πρόγραμμα Γεωστατικής στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τμήματος Γεωπονίας φυτικής και ζωικής παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Με τη βοήθεια του παραπάνω προγράμματος υπολογίσαμε τις τιμές των πειραματικών ημιβαριογραμάτων (γ) σε σχέση με την απόσταση h . Με το υποπρόγραμμα `datao 2` ορίσαμε τον αριθμό των τιμών της μεταβλητής. Επιπλέον, εισαγάγαμε τις τιμές της μεταβλητής (υγρασία εδάφους) και τις συντεταγμένες των θέσεων που έγιναν οι μετρήσεις. Για την εύρεση των συντεταγμένων κάθε θέσης ορίσαμε δύο κάθετους άξονες αναφοράς x (οριζόντιος) και y (κατακόρυφος). Οι άξονες ορίστηκαν στα όρια του πειραματικού αγρού. Στο υποπρόγραμμα `datao1` ορίσαμε την γωνιακή ανοχή $\Delta\phi=60^\circ$, το βήμα ανοχής $\Delta h=3m$ και το όνομα της μεταβλητής που εξετάζουμε, υγρασία εδάφους. Ακόμη ορίζαμε κάθε φορά την διεύθυνση (γωνία) σάρωσης, ως προς την οποία θα μελετήσουμε την μεταβλητή. Στο υποπρόγραμμα `datao1` ορίσαμε, η γεωστατιστική επεξεργασία να γίνει με αυτούσιες τις τιμές της υγρασίας εδάφους. Στη συνέχεια επαναλάβαμε την γεωστατιστική επεξεργασία με τους λογαρίθμους των τιμών της υγρασίας εδάφους.

Με το υποπρόγραμμα `variogr.exe` επεξεργαστήκαμε τα δεδομένα. Με το υποπρόγραμμα `output` κάναμε εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Πήραμε για κάθε διεύθυνση σάρωσης τις τιμές του πειραματικού ημιβαριογραμματος σε σχέση με την απόσταση.

Τα αποτελέσματα για κάθε διεύθυνση σάρωσης για τις μετρήσεις που έγιναν πριν την άρδευση, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

- Με διεύθυνση σάρωσης 90° φαίνονται στον πίνακα 4.1.
 - α) Χρησιμοποιώντας τις πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.
- Με διεύθυνση σάρωσης $67,5^\circ$ φαίνονται στον πίνακα 4.2.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.
- Με διεύθυνση σάρωσης 45° φαίνονται στον πίνακα 4.3.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.
- Με διεύθυνση σάρωσης $22,5^\circ$ φαίνονται στον πίνακα 4.4.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.



β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.

- Με διεύθυνση σάρωσης 0° φαίνονται στον πίνακα 4.5.

α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.

β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	2,06E-03
2	6	4,34E-03
3	9	2,75E-03
4	12	2,72E-03
5	15	2,46E-03
6	18	2,97E-03
7	21	3,19E-03
8	24	2,96E-03
9	27	3,54E-03
10	30	2,60E-03
11	33	2,95E-03
12	36	2,30E-03
13	39	2,51E-03
14	42	3,05E-03
15	45	3,55E-03
16	48	3,41E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	2,49E-03
18	54	2,77E-03
19	57	2,27E-03
20	60	2,85E-03
21	63	2,71E-03
22	66	2,62E-03
23	69	1,96E-03
24	72	2,64E-03
25	75	2,01E-03
26	78	3,15E-03
27	81	2,45E-03
28	84	2,67E-03
29	87	2,11E-03
30	90	2,23E-03
31	93	3,24E-03
32	96	2,11E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.α Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 90° (από τις πραγματικές τιμές υγρασίας).

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	2,10E-02
2	6	1,57E-03
3	9	5,50E-03
4	12	7,46E-04
5	15	4,85E-03
6	18	1,77E-03
7	21	2,24E-03
8	24	2,91E-03
9	27	2,22E-03
10	30	1,68E-03
11	33	4,41E-03
12	36	4,54E-03
13	39	2,94E-03
14	42	9,90E-03
15	45	2,71E-03
16	48	3,32E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	3,13E-03
18	54	3,83E-03
19	57	2,26E-03
20	60	8,94E-03
21	63	8,68E-03
22	66	3,77E-03
23	69	6,76E-03
24	72	5,17E-03
25	75	1,41E-03
26	78	8,96E-03
27	81	7,36E-03
28	84	1,25E-02
29	87	1,10E-03
30	90	2,60E-03
31	93	3,75E-03
32	96	3,67E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.β Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 90° (από τους λογαρίθμους τιμών της υγρασίας).

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	1,77E-03
2	6	3,76E-03
3	9	3,21E-03
4	12	2,49E-03
5	15	2,66E-03
6	18	2,54E-03
7	21	2,67E-03
8	24	2,98E-03
9	27	3,69E-03
10	30	2,59E-03
11	33	2,47E-03
12	36	2,47E-03
13	39	2,54E-03
14	42	3,47E-03
15	45	3,08E-03
16	48	2,92E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	2,39E-03
18	54	2,61E-03
19	57	2,14E-03
20	60	2,54E-03
21	63	1,68E-03
22	66	2,68E-03
23	69	2,09E-03
24	72	2,55E-03
25	75	2,11E-03
26	78	2,69E-03
27	81	2,49E-03
28	84	2,97E-03
29	87	2,27E-03
30	90	2,23E-03
31	93	3,24E-03
32	96	2,11E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.α Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης $67,5^\circ$ (από τις πραγματικές τιμές υγρασίας).

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	1,07E-02
2	6	2,01E-02
3	9	1,71E-02
4	12	1,48E-02
5	15	1,24E-02
6	18	1,43E-02
7	21	1,40E-02
8	24	1,29E-02
9	27	1,88E-02
10	30	1,61E-02
11	33	1,45E-02
12	36	1,17E-02
13	39	9,95E-03
14	42	2,26E-02
15	45	1,67E-02
16	48	1,17E-02

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	1,17E-02
18	54	1,02E-02
19	57	8,30E-03
20	60	1,13E-02
21	63	5,71E-03
22	66	1,09E-02
23	69	7,90E-03
24	72	1,07E-02
25	75	8,10E-03
26	78	1,03E-02
27	81	1,24E-02
28	84	1,35E-02
29	87	8,86E-03
30	90	8,92E-03
31	93	1,38E-02
32	96	7,03E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.β Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 67,5° (από τους λογαρίθμους τιμών της υγρασίας).

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	1,24E-03
2	6	3,68E-03
3	9	3,43E-03
4	12	2,08E-03
5	15	3,01E-03
6	18	2,68E-03
7	21	3,22E-03
8	24	2,92E-03
9	27	3,85E-03
10	30	2,76E-03
11	33	2,44E-03
12	36	2,09E-03
13	39	2,65E-03
14	42	3,86E-03
15	45	2,00E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
16	48	2,67E-03
17	51	3,55E-03
18	54	2,53E-03
19	57	2,54E-03
20	60	2,14E-03
21	63	2,00E-03
22	66	4,75E-03
23	69	2,09E-03
24	72	3,40E-03
25	75	2,25E-03
26	78	1,40E-03
27	81	2,53E-03
28	84	5,47E-03
29	87	5,19E-04
30	96	2,11E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.α Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 45° (από τις πραγματικές τιμές υγρασίας).

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	5,38E-03
2	6	2,18E-02
3	9	1,88E-02
4	12	1,16E-02
5	15	1,62E-02
6	18	1,54E-02
7	21	1,78E-02
8	24	1,18E-02
9	27	2,18E-02
10	30	1,63E-02
11	33	1,43E-02
12	36	1,09E-02
13	39	1,05E-02
14	42	2,54E-02
15	45	7,87E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
16	48	1,08E-02
17	51	2,31E-02
18	54	9,95E-03
19	57	9,67E-03
20	60	7,49E-03
21	63	6,73E-03
22	66	2,15E-02
23	69	7,90E-03
24	72	1,17E-02
25	75	9,21E-03
26	78	4,95E-03
27	81	8,79E-03
28	84	2,65E-02
29	87	1,50E-03
30	96	7,03E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.β Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 45° (από τους λογαρίθμους τιμών της υγρασίας).

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	2,07E-03
2	3	3,28E-03
3	6	2,58E-03
4	9	3,77E-03
5	12	2,40E-03
6	15	2,85E-03
7	18	2,81E-03
8	21	2,70E-03
9	24	3,31E-03
10	27	2,96E-03
11	30	2,87E-03
12	33	2,90E-03
13	36	2,76E-03
14	39	2,84E-03
15	42	5,36E-04
16	45	1,05E-03
17	48	3,47E-04

(α)

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	7,06E-03
2	3	1,79E-02
3	6	1,41E-02
4	9	2,14E-02
5	12	1,21E-02
6	15	1,67E-02
7	18	1,56E-02
8	21	1,47E-02
9	24	1,53E-02
10	27	1,66E-02
11	30	1,33E-02
12	33	1,53E-02
13	36	1,53E-02
14	39	1,31E-02
15	42	1,44E-03
16	45	3,59E-03
17	48	9,24E-04

(β)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.α,β Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 22,5°.

Μετρήσεις πριν από άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	2,07E-03
2	3	3,28E-03
3	6	2,64E-03
4	9	3,29E-03
5	12	2,43E-03
6	15	2,64E-03
7	18	3,07E-03
8	21	2,58E-03
9	24	3,79E-03
10	27	3,00E-03
11	30	3,50E-03
12	33	2,85E-03
13	36	7,23E-03

(α)

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	7,06E-03
2	3	1,79E-02
3	6	1,51E-02
4	9	1,67E-02
5	12	1,10E-02
6	15	1,45E-02
7	18	1,75E-02
8	21	1,46E-02
9	24	2,22E-02
10	27	1,44E-02
11	30	1,86E-02
12	33	1,59E-02
13	36	3,87E-02

(β)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5.α,β Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 0°.

Τα αποτελέσματα για κάθε διεύθυνση σάρωσης για τις μετρήσεις που έγιναν μετά την άρδευση, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

- Με διεύθυνση σάρωσης 90° φαίνονται στον πίνακα 4.6.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.
- Με διεύθυνση σάρωσης $67,5^\circ$ φαίνονται στον πίνακα 4.7.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.
- Με διεύθυνση σάρωσης 45° φαίνονται στον πίνακα 4.8.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.
- Με διεύθυνση σάρωσης $22,5^\circ$ φαίνονται στον πίνακα 4.9.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.
- Με διεύθυνση σάρωσης 0° φαίνονται στον πίνακα 4.10.
 - α) Χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές της μεταβλητής.
 - β) Χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής.

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	4,63E-03
2	6	8,90E-04
3	9	1,59E-03
4	12	3,54E-04
5	15	1,48E-03
6	18	9,56E-04
7	21	1,20E-03
8	24	1,16E-03
9	27	1,20E-03
10	30	9,20E-04
11	33	1,41E-03
12	36	1,47E-03
13	39	1,18E-03
14	42	2,66E-03
15	45	1,03E-03
16	48	1,41E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	1,21E-03
18	54	1,39E-03
19	57	1,21E-03
20	60	2,31E-03
21	63	2,15E-03
22	66	1,42E-03
23	69	1,99E-03
24	72	1,74E-03
25	75	7,39E-04
26	78	2,22E-03
27	81	2,17E-03
28	84	3,21E-03
29	87	6,00E-04
30	90	1,35E-03
31	93	1,84E-03
32	96	1,85E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6.α. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 90° (από τις πραγματικές τιμές υγρασίας).

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	2,10E-02
2	6	1,57E-03
3	9	5,50E-03
4	12	7,46E-04
5	15	4,85E-03
6	18	1,77E-03
7	21	2,24E-03
8	24	2,91E-03
9	27	2,22E-03
10	30	1,68E-03
11	33	4,41E-03
12	36	4,54E-03
13	39	2,94E-03
14	42	9,90E-03
15	45	2,71E-03
16	48	3,32E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	3,13E-03
18	54	3,83E-03
19	57	2,26E-03
20	60	8,94E-03
21	63	8,68E-03
22	66	3,77E-03
23	69	6,76E-03
24	72	5,17E-03
25	75	1,41E-03
26	78	8,96E-03
27	81	7,36E-03
28	84	1,25E-02
29	87	1,10E-03
30	90	2,60E-03
31	93	3,75E-03
32	96	3,67E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6.β. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 90° (από τους λογαρίθμους τιμών της υγρασίας).

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	2,95E-03
2	6	9,31E-04
3	9	1,92E-03
4	12	1,86E-03
5	15	1,17E-03
6	18	9,90E-04
7	21	9,37E-04
8	24	1,12E-03
9	27	1,09E-03
10	30	1,01E-03
11	33	1,15E-03
12	36	8,67E-04
13	39	1,16E-03
14	42	1,37E-03
15	45	8,17E-04
16	48	1,11E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	1,11E-03
18	54	1,11E-03
19	57	1,20E-03
20	60	1,70E-03
21	63	5,39E-04
22	66	1,14E-03
23	69	1,28E-03
24	72	1,38E-03
25	75	7,73E-04
26	78	1,01E-03
27	81	2,66E-03
28	84	1,11E-03
29	87	6,18E-04
30	90	1,35E-03
31	93	2,08E-03
32	96	1,85E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7.α. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 67,5° (από τις πραγματικές τιμές υγρασίας).

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	1,31E-02
2	6	1,66E-03
3	9	6,50E-03
4	12	5,88E-03
5	15	3,57E-03
6	18	1,85E-03
7	21	1,75E-03
8	24	2,85E-03
9	27	2,02E-03
10	30	1,84E-03
11	33	3,08E-03
12	36	1,56E-03
13	39	2,16E-03
14	42	4,52E-03
15	45	1,52E-03
16	48	2,09E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
17	51	2,67E-03
18	54	2,03E-03
19	57	2,24E-03
20	60	6,43E-03
21	63	9,56E-04
22	66	2,23E-03
23	69	2,48E-03
24	72	3,60E-03
25	75	1,46E-03
26	78	1,96E-03
27	81	9,32E-03
28	84	2,16E-03
29	87	1,14E-03
30	90	2,60E-03
31	93	4,26E-03
32	96	3,67E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7.β. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 67,5°(από τους λογαρίθμους τιμών της υγρασίας).

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	3,23E-04
2	6	1,01E-03
3	9	1,88E-03
4	12	1,85E-03
5	15	1,39E-03
6	18	1,82E-03
7	21	1,21E-03
8	24	1,27E-03
9	27	1,50E-03
10	30	1,57E-03
11	33	1,26E-03
12	36	8,98E-04
13	39	9,43E-04
14	42	7,49E-04
15	45	7,96E-04

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
16	48	1,02E-03
17	51	1,28E-03
18	54	1,17E-03
19	57	1,07E-03
20	60	7,55E-04
21	63	6,61E-04
22	66	1,01E-04
23	69	1,28E-03
24	72	2,08E-03
25	75	6,70E-04
26	78	1,33E-03
27	81	2,57E-03
28	84	1,11E-03
29	87	3,27E-04
30	96	1,85E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8.α. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 45° (από τις πραγματικές τιμές υγρασίας).

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	3	6,14E-04
2	6	1,82E-03
3	9	5,76E-03
4	12	5,07E-03
5	15	3,82E-03
6	18	5,30E-03
7	21	3,14E-03
8	24	3,63E-03
9	27	3,76E-03
10	30	3,78E-03
11	33	3,57E-03
12	36	1,62E-03
13	39	1,72E-03
14	42	1,41E-03
15	45	1,45E-03

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
16	48	1,91E-03
17	51	2,34E-03
18	54	2,12E-03
19	57	1,94E-03
20	60	1,39E-03
21	63	1,20E-03
22	66	1,69E-04
23	69	2,48E-03
24	72	3,91E-03
25	75	1,14E-03
26	78	2,66E-03
27	81	5,02E-03
28	84	2,19E-03
29	87	7,19E-04
30	96	3,67E-03

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8.β. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 45°(από τους λογαρίθμους τιμών της υγρασίας).

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	1,24E-03
2	3	8,87E-04
3	6	1,06E-03
4	9	1,08E-03
5	12	1,47E-03
6	15	1,52E-03
7	18	1,81E-03
8	21	1,00E-03
9	24	1,36E-03
10	27	1,63E-03
11	30	1,60E-03
12	33	1,51E-03
13	36	1,15E-03
14	39	6,82E-04
15	42	8,61E-04
16	45	6,21E-04
17	48	7,36E-04

(α)

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	2,26E-03
2	3	1,59E-03
3	6	1,94E-03
4	9	1,95E-03
5	12	3,57E-03
6	15	3,89E-03
7	18	5,37E-03
8	21	2,94E-03
9	24	3,91E-03
10	27	4,83E-03
11	30	5,11E-03
12	33	4,97E-03
13	36	2,07E-03
14	39	1,32E-03
15	42	1,44E-03
16	45	1,23E-03
17	48	1,49E-03

(β)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9.α,β. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 22,5°.

Μετρήσεις μετά την άρδευση

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	1,24E-03
2	3	8,87E-04
3	6	1,04E-03
4	9	1,59E-03
5	12	1,42E-03
6	15	1,59E-03
7	18	1,69E-03
8	21	1,38E-03
9	24	2,42E-03
10	27	2,47E-03
11	30	4,12E-03
12	33	3,17E-03
13	36	4,01E-03

(α)

A/A	h(m)	$\gamma(h)$
1	0	2,26E-03
2	3	1,59E-03
3	6	1,89E-03
4	9	4,25E-03
5	12	3,74E-03
6	15	4,22E-03
7	18	5,40E-03
8	21	4,79E-03
9	24	8,58E-03
10	27	9,21E-03
11	30	1,55E-02
12	33	1,53E-02
13	36	2,21E-02

(β)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10.α,β. Τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος για διεύθυνση σάρωσης 0°.

Στα πειραματικά ημιβαριογράμματα εξετάστηκε μέσω των προγραμμάτων εάν προσαρμόζεται κάποιο από τα θεωρητικά ημιβαριογράμματα τα οποία έχουν ήδη αναπτυχθεί. Βρέθηκε ότι κανένα από αυτά δεν προσεγγίζει τα πειραματικά. Ως εκ τούτου καταλήγουμε ότι πρόκειται για nugget φαινόμενο (λευκό θόρυβο) δηλαδή ότι η κατανομή της μεταβλητής είναι τυχαία. Για περισσότερη έρευνα τα αποτελέσματα από την γεωστατιστική ανάλυση μεταφέρθηκαν στο στατιστικό πρόγραμμα excel και έγινε η γραφική παράσταση της απόστασης h και της τιμής του ημιβαριογράμματος γ . Στην προσπάθεια μας να βρούμε κάποια καμπύλη προσαρμογής συσχέτισης ($R \geq 0,9$), βρέθηκαν δυο τέτοιες καμπύλες για τις γραφικές παραστάσεις της απόστασης h και της τιμής του ημιβαριογράμματος γ . Η πρώτη είναι αυτή με διεύθυνση σάρωσης 0° , χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής που μετρήθηκαν μετά την άρδευση. Η δεύτερη είναι αυτή με διεύθυνση σάρωσης 0° χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής που πάρθηκαν επίσης μετά την άρδευση. Για τις υπόλοιπες γραφικές παραστάσεις δεν βρέθηκε καμία τέτοια καμπύλη προσαρμογής με συντελεστή συσχέτισης $R \geq 0.9$. Οι συντελεστές συσχέτισης R για κάθε διεύθυνση σάρωσης και για κάθε τύπο καμπύλης πριν και μετά την άρδευση, φαίνονται στους πίνακες :

1. Πίνακας 4.11., {πριν την άρδευση, πραγματικές τιμές μεταβλητής}

2. Πίνακας 4.12., {πριν την άρδευση, λογάριθμοι των τιμών της μεταβλητής}

3. Πίνακας 4.13., {μετά την άρδευση, πραγματικές τιμές μεταβλητής}

4. Πίνακας 4.14., {μετά την άρδευση, λογάριθμοι των τιμών της μεταβλητής}

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11. Τιμές συντελεστή συσχέτισης R
 {πριν την άρδευση, πραγματικές τιμές της μεταβλητής}

ΓΩΝΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ					
ΜΟΡΦΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	0°	22.5°	45°	67.5°	90°
ΓΡΑΜΜΙΚΗ	0,567	0,682	0,095	0,285	0,357
ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ	-	0,531	0,01	0,206	0,274
ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ	0,696	0,832	0,166	0,286	0,363
ΔΥΝΑΜΗ	-	0,498	0,063	0,164	0,248
ΕΚΘΕΤΙΚΗ	0,602	0,664	0,204	0,263	0,355

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12. Τιμές συντελεστή συσχέτισης R
 {πριν την άρδευση, λογάριθμοι των τιμών της μεταβλητής}

ΓΩΝΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ					
ΜΟΡΦΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	0°	22.5°	45°	67.5°	90°
ΓΡΑΜΜΙΚΗ	0,606	0,551	0,324	0,553	0,579
ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ	-	-	0,215	0,474	0,497
ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ	0,673	0,831	0,345	0,554	0,538
ΔΥΝΑΜΗ	-	-	0,257	0,484	0,495
ΕΚΘΕΤΙΚΗ	0,636	0,588	0,415	0,567	0,589

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13. Τιμές συντελεστή συσχέτισης R
 {μετά την άρδευση, πραγματικές τιμές της μεταβλητής}

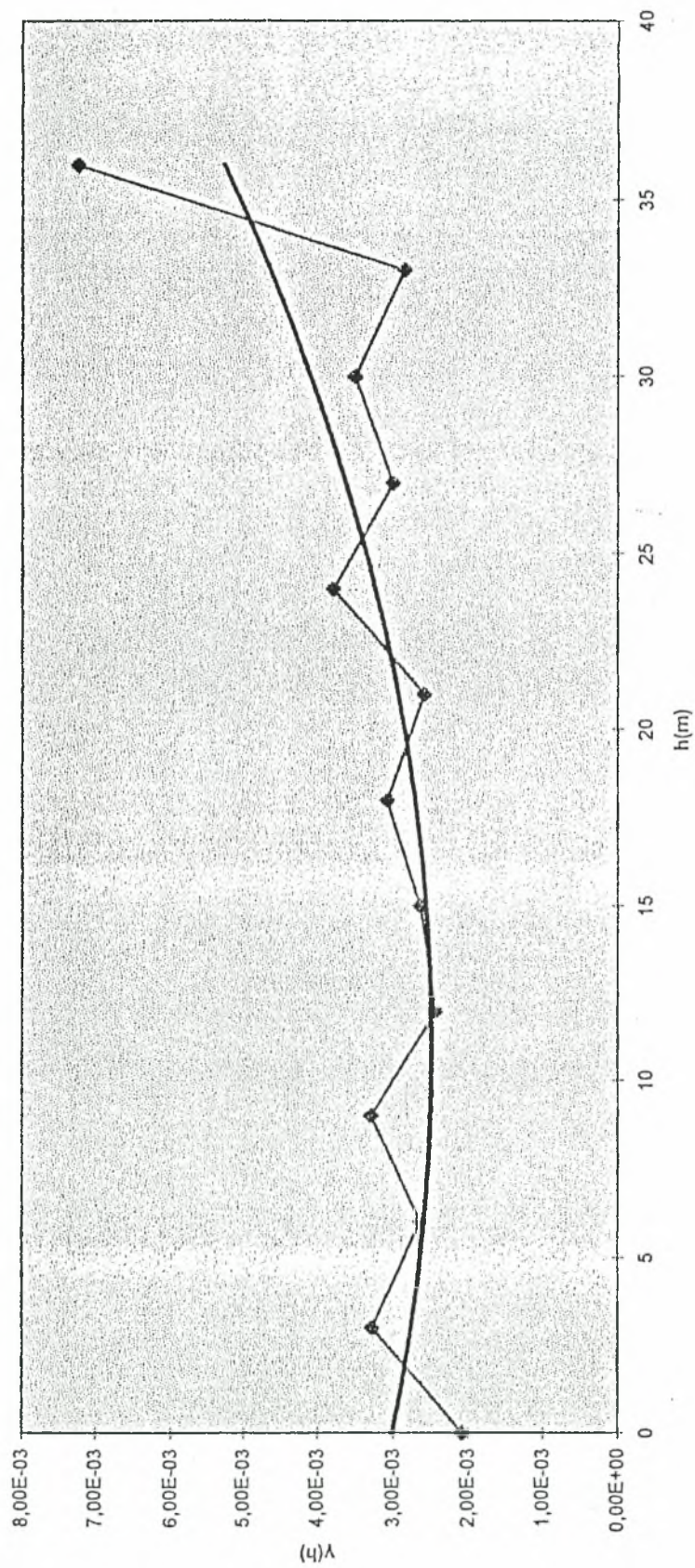
ΓΩΝΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ					
ΜΟΡΦΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ					
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	0°	22.5°	45°	67.5°	90°
ΓΡΑΜΜΙΚΗ	0,883	0,346	0,039	0,032	0,1
ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ	-	-	0,01	0,263	0,099
ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ	0,931	0,758	0,213	0,505	0,228
ΔΥΝΑΜΗ	-	-	0,032	0,229	0,086
ΕΚΘΕΤΙΚΗ	0,916	0,415	0,116	0,039	0,213

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.14. Τιμές συντελεστή συσχέτισης R
 {μετά την άρδευση, λογάριθμοι των τιμών της μεταβλητής}

ΓΩΝΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ					
ΜΟΡΦΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ					
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	0°	22.5°	45°	67.5°	90°
ΓΡΑΜΜΙΚΗ	0,901	0,135	0,289	0,199	0,01
ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ	-	-	0,229	0,418	0,191
ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ	0,978	0,767	0,378	0,462	0,166
ΔΥΝΑΜΗ	-	-	0,14	0,326	0,042
ΕΚΘΕΤΙΚΗ	0,966	0,234	0,236	0,158	0,146

Τα αποτελέσματα για κάθε διεύθυνση σάρωσης φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Σε κάθε διάγραμμα αναγράφεται η μορφή της εξίσωσης καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης.

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 0 μοίρες
Χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής πριν την άρδευση

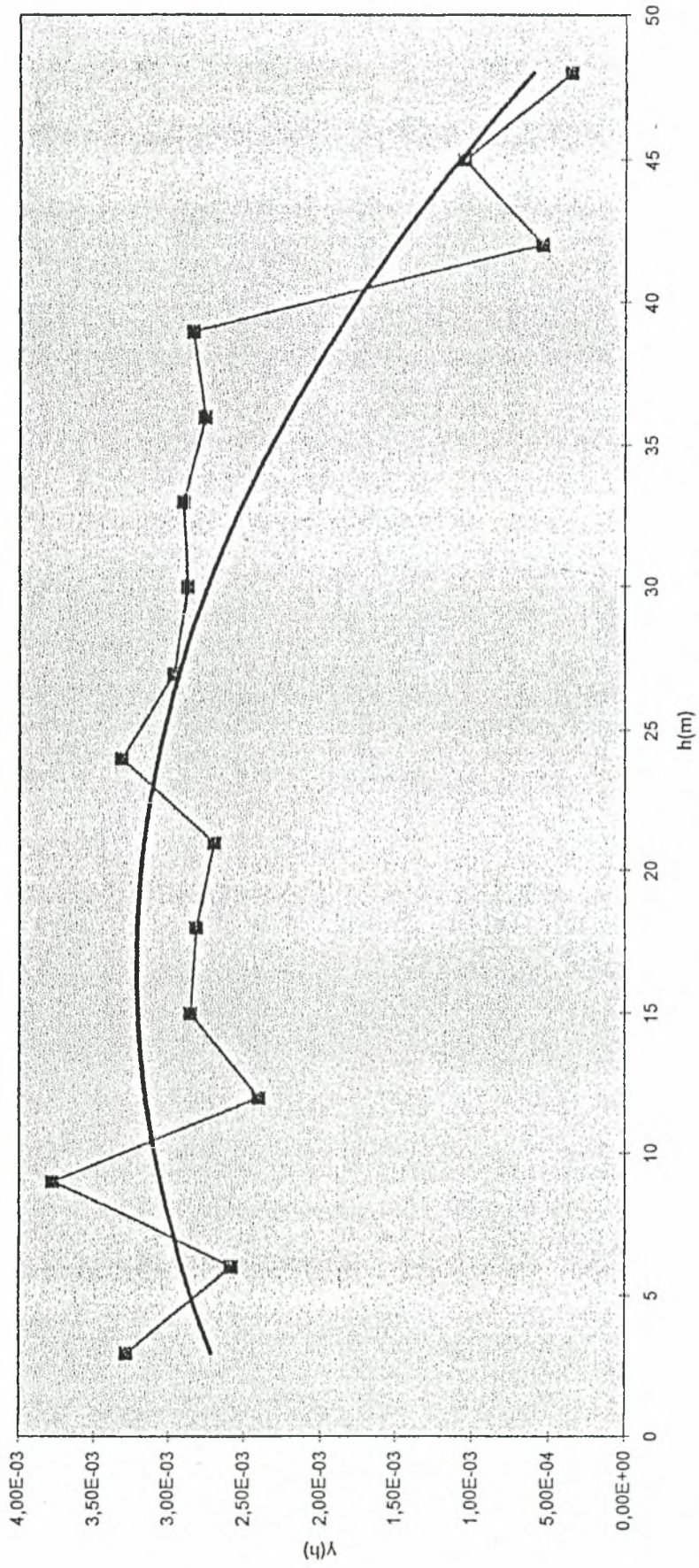


$$y = 4E-06x^2 - 1E-04x + 0,003$$

$$R = 0,696$$

Πολυωνομικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 22,5 μοίρες
 Χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής πριν την άρδευση

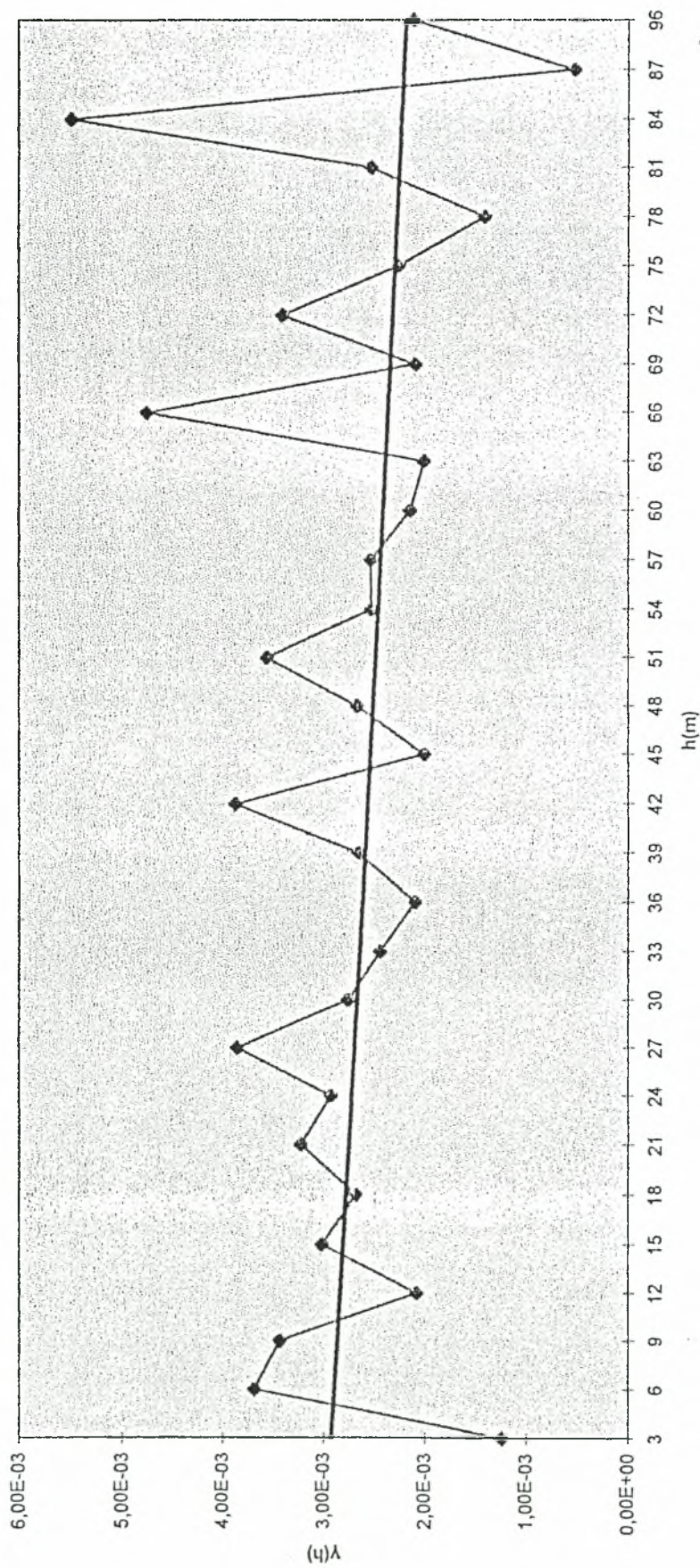


$$y = -3E-06x^2 + 9E-05x + 0,0025$$

$$R = 0,832$$

Πολυωνομικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 45 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής πριν την άρδευση

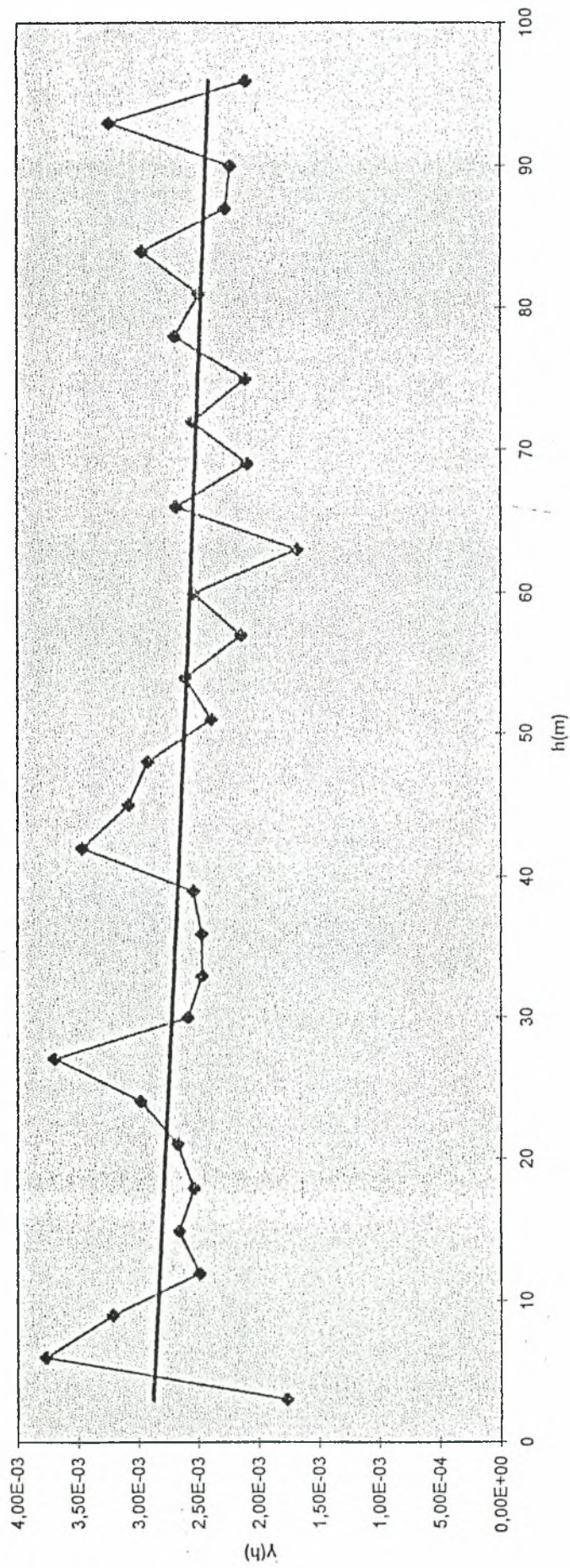


$$\gamma = 0,003e^{-0,0101x}$$

$$R = 0,204$$

Εκθετικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 67,5 μοίρες
χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής πριν την άρδευση

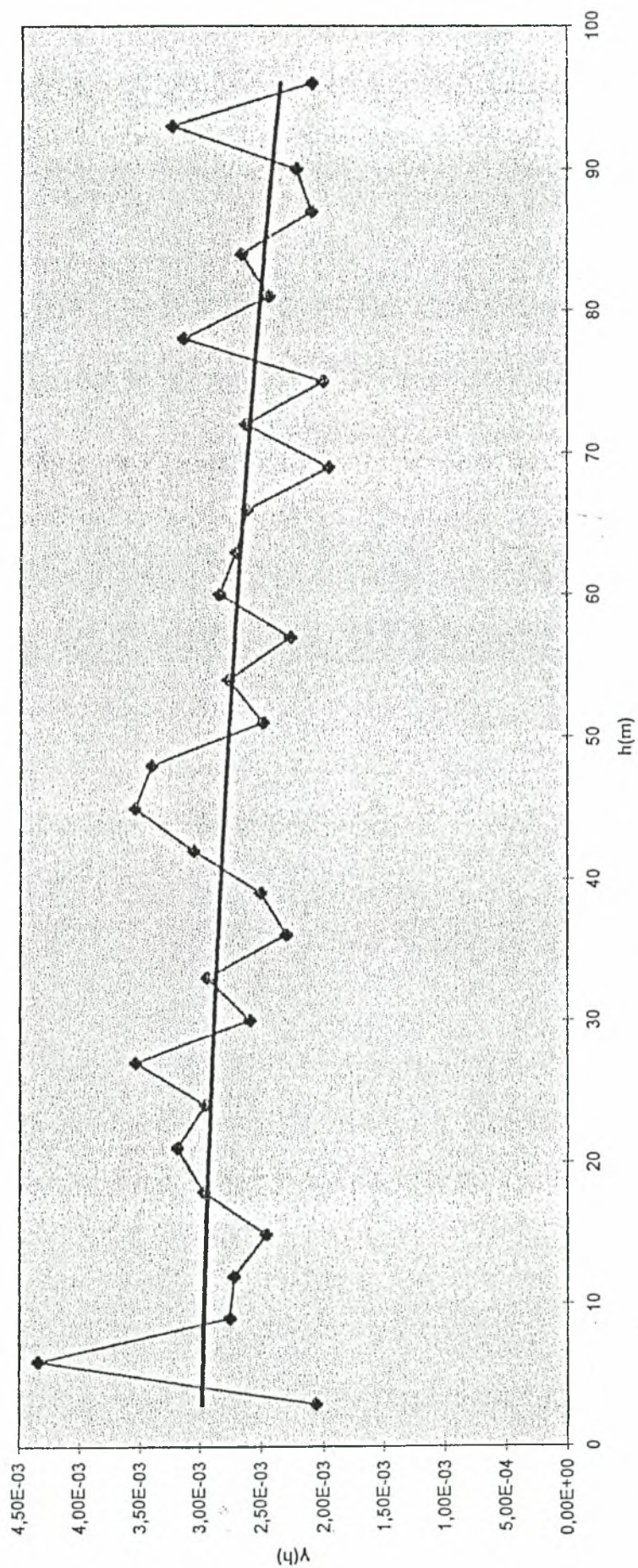


$$y = 1E-08x^2 - 6E-06x + 0,0029$$

$$R = 0,286$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 90 μοίρες
 χρησιμοποίησες τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής πριν την άρδευση

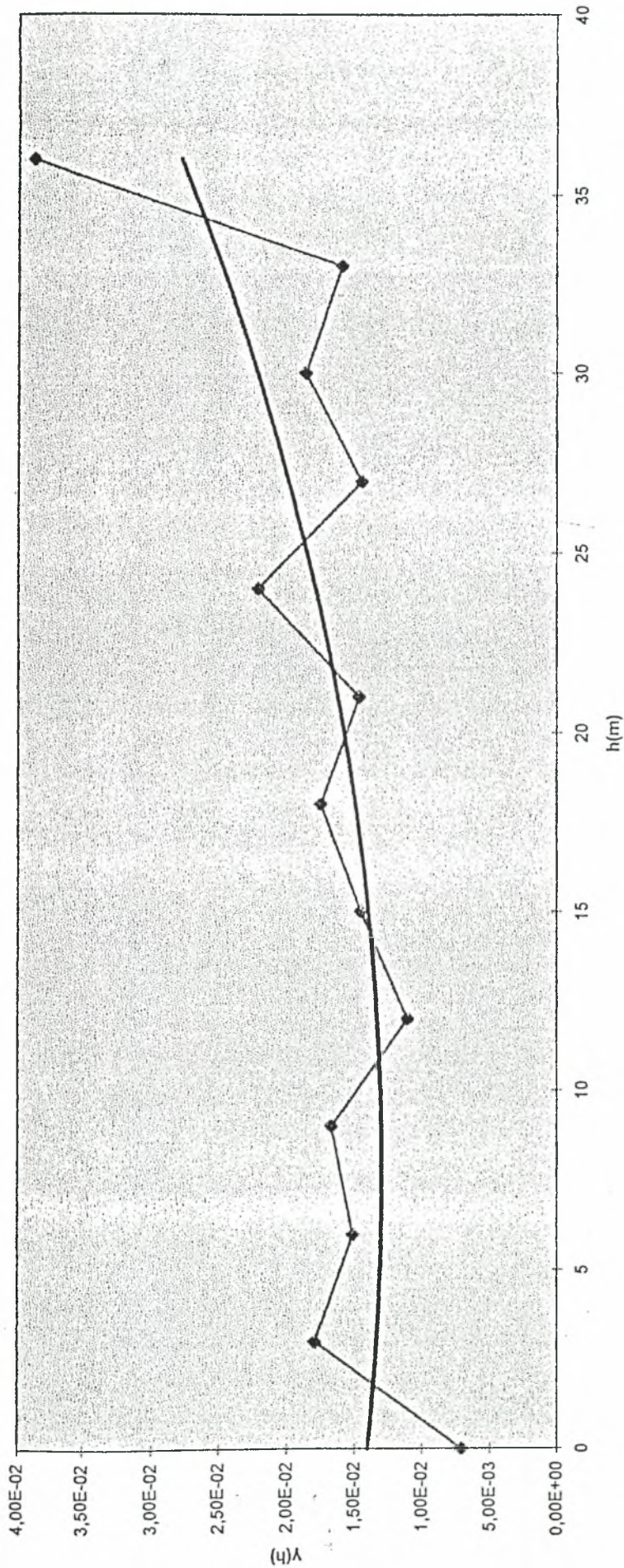


$$y = -5E-08x^2 - 2E-06x + 0,003$$

$$R = 0,363$$

Πολυωνομικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 0 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τους λογαριθμους των τιμών της μεταβλητής πριν την άρδευση

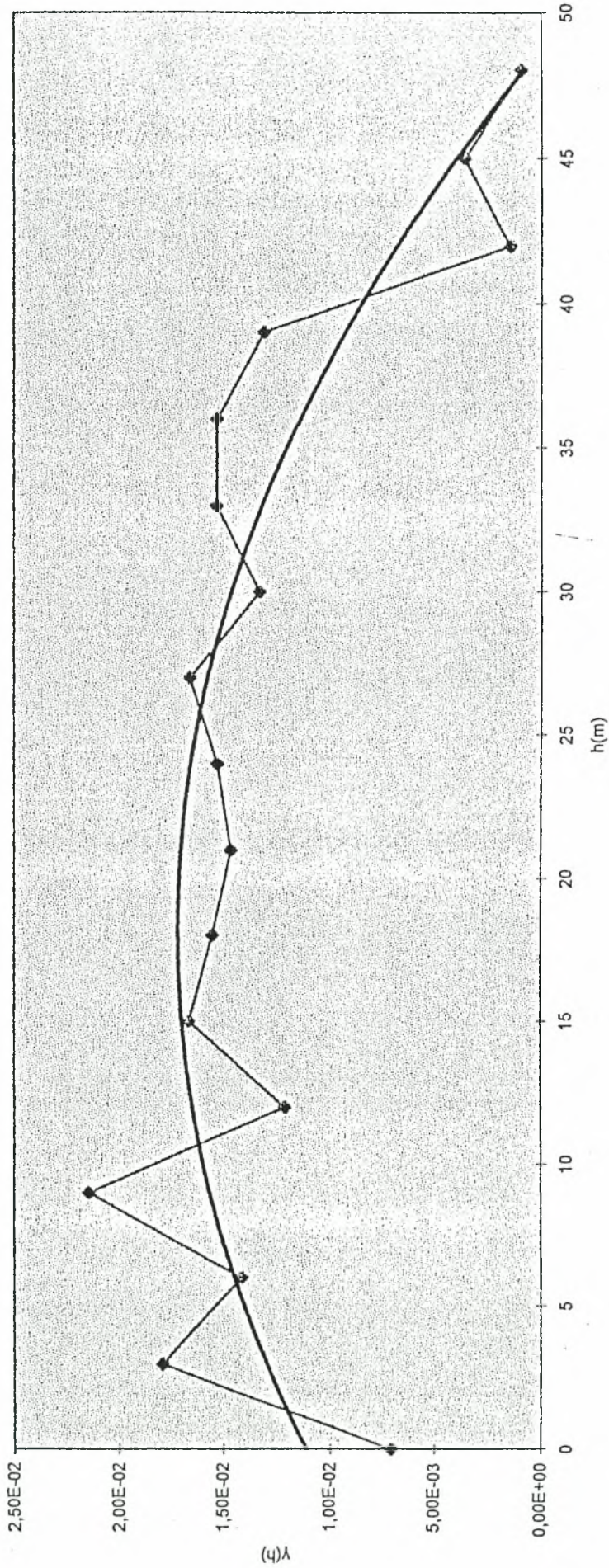


$$y = 2E-05x^2 - 0,0003x + 0,014$$

$$R = 0,673$$

Πολυωνομικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 22,5 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τους λογαριθμικούς των τιμών της μεταβλητής πριν την άρδευση

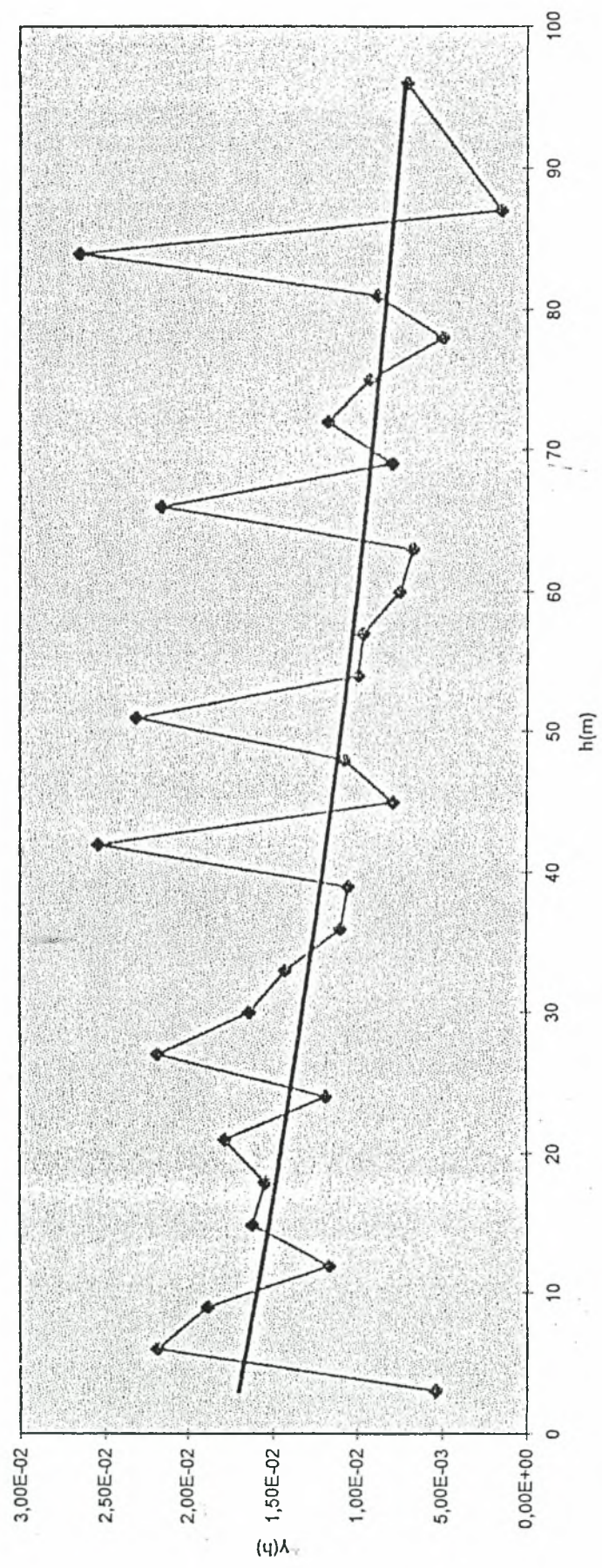


$$y = -2E-05x^2 + 0,0007x + 0,0111$$

$$R = 0,831$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 45 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής πριν την άρδευση

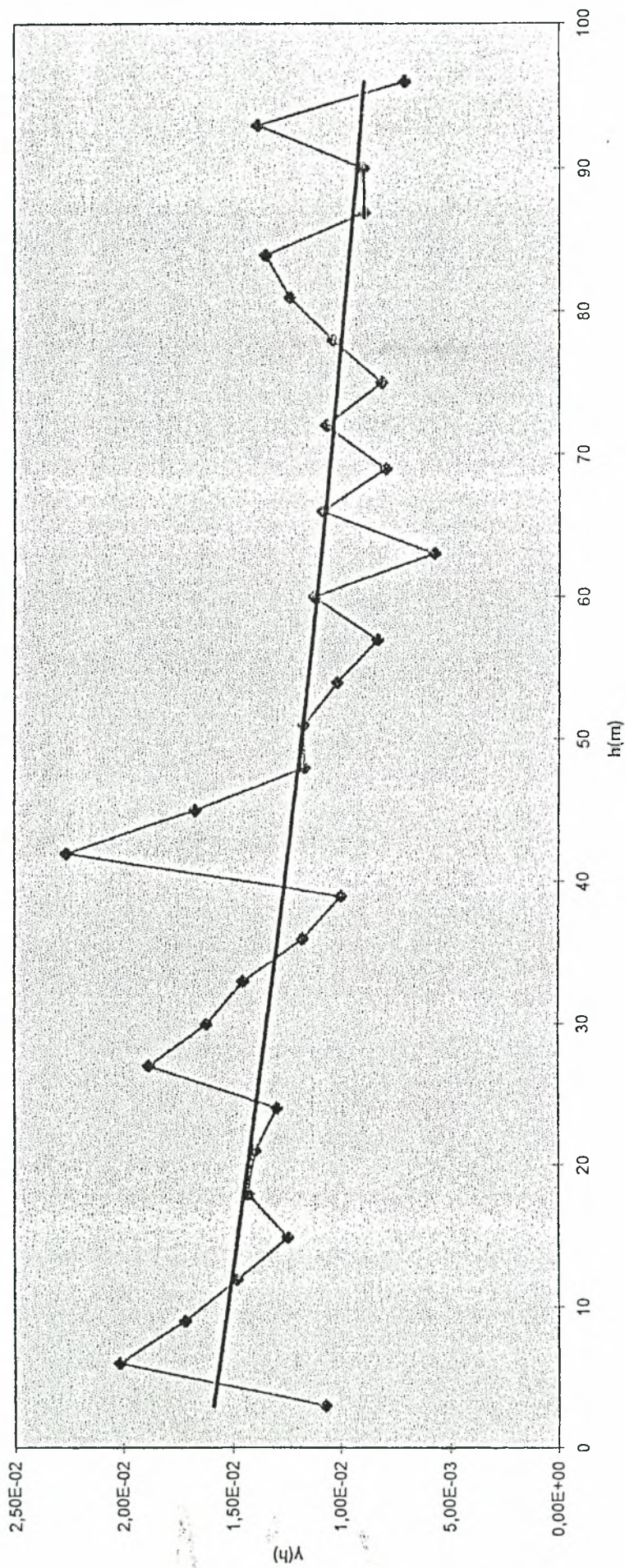


$$y = 0,0175e^{-0,0093x}$$

$$R = 0,415$$

Εκθετικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 67,5 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής πριν την άρδευση

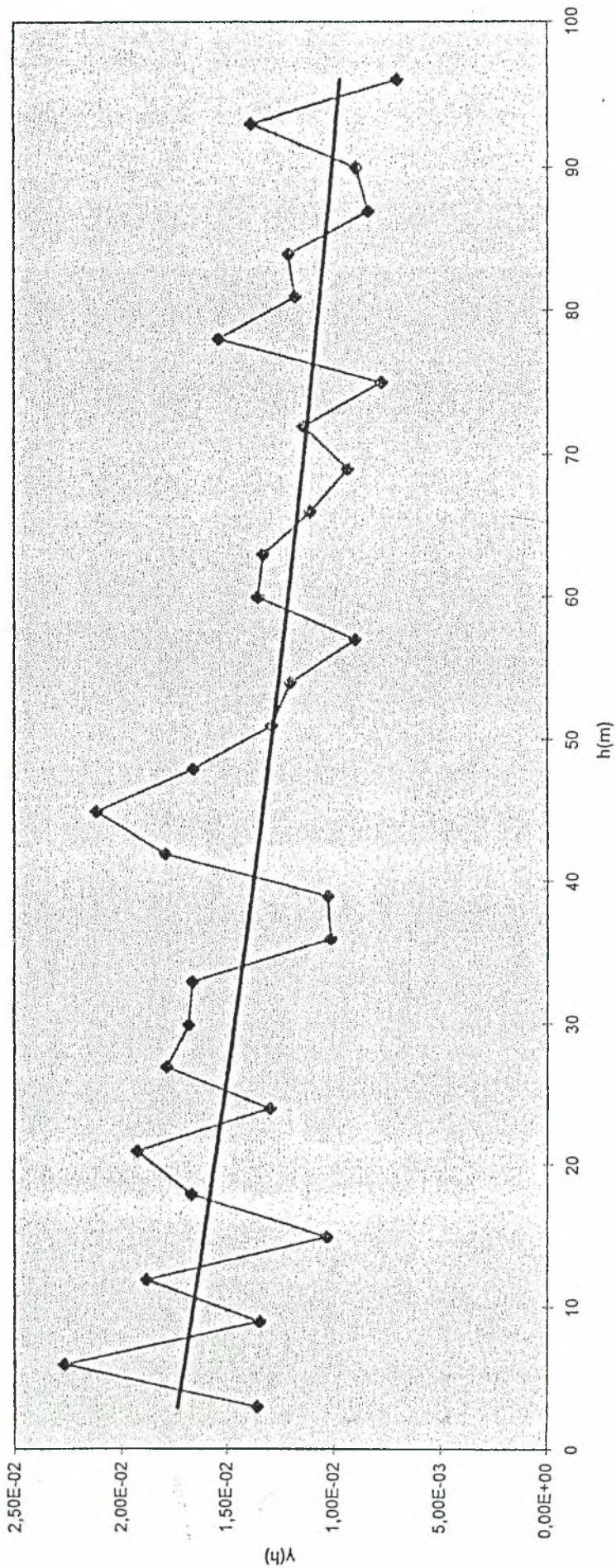


$$\gamma = 0,0162e^{-0,0062x}$$

$$R = 0,567$$

Εκθετικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 90 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τους λογαριθμικούς των τιμών της μεταβλητής πριν την άρδευση

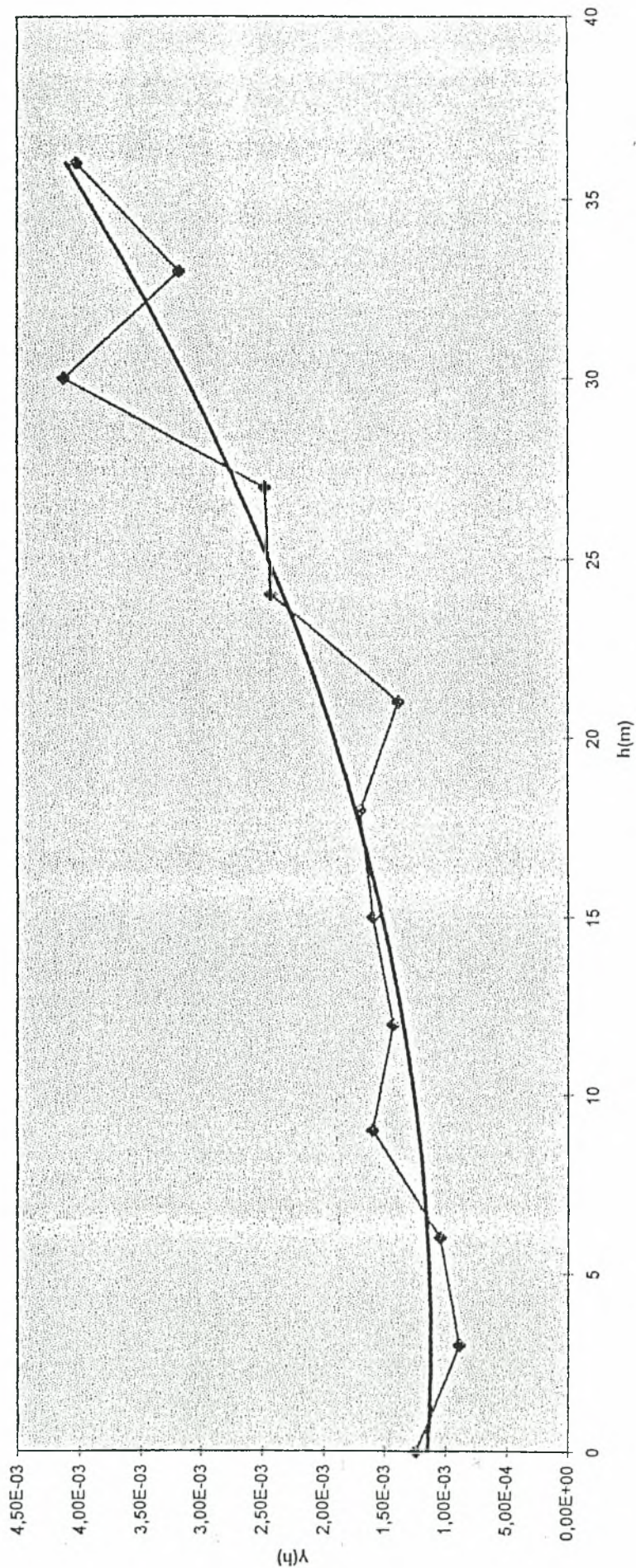


$$y = 0,0177e^{-0,0063x}$$

$$R = 0,589$$

Εκθετικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 0 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής μετά την άρδευση

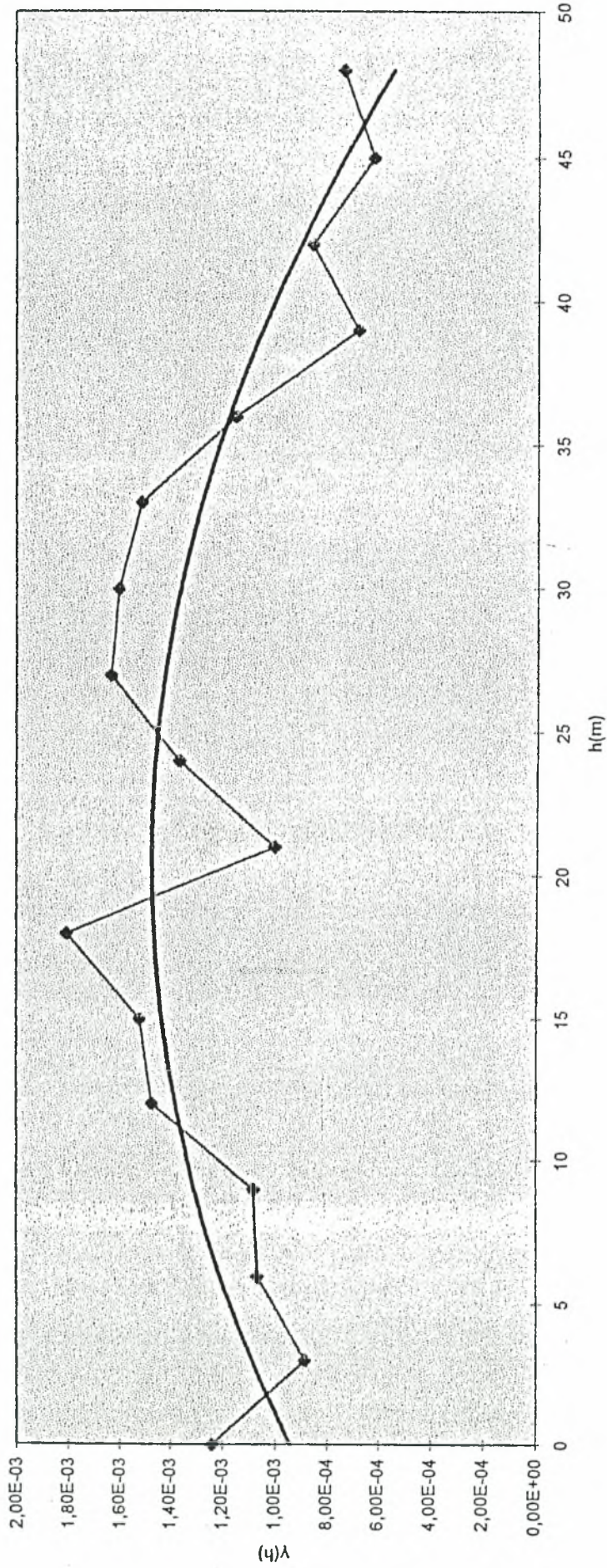


$$y = 3E-06x^2 - 2E-05x + 0,0011$$

$$R = 0,931$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 22,5 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής μετά την άρδευση

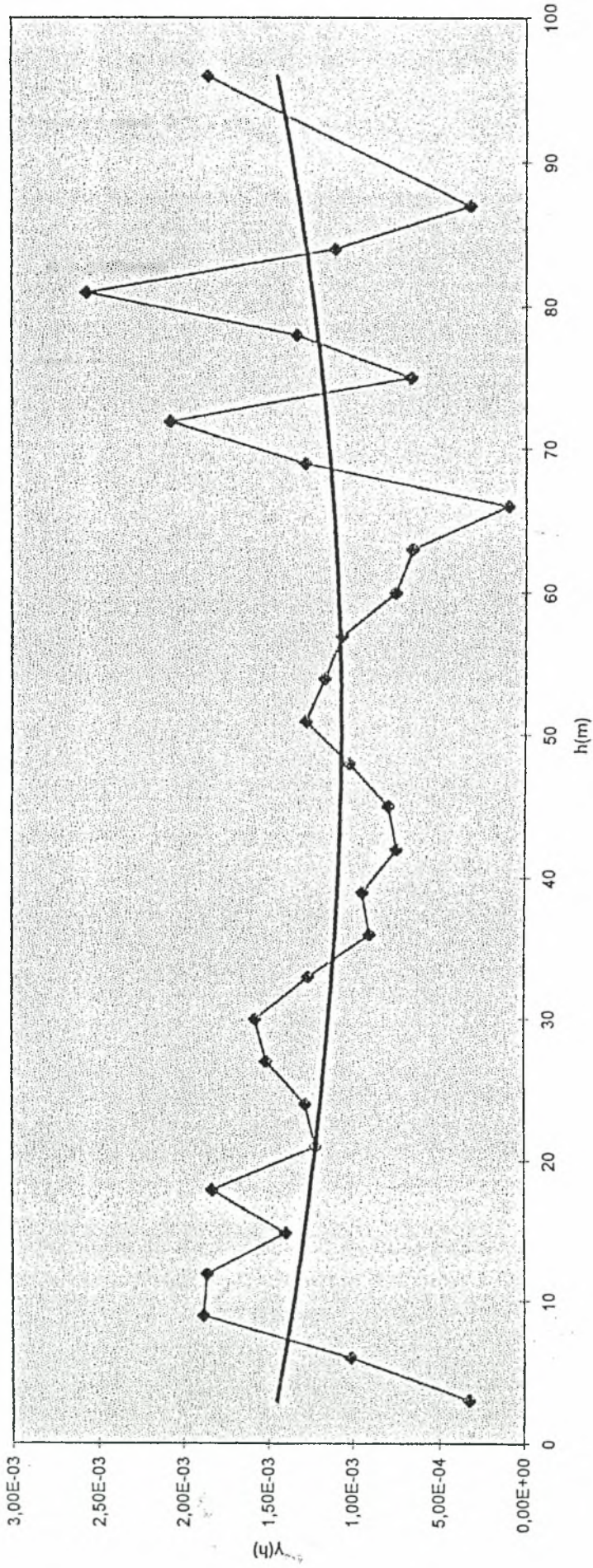


$$y = -1E-06x^2 + 5E-05x + 0,0009$$

$$R = 0,758$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 45 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής μετά την άρδευση

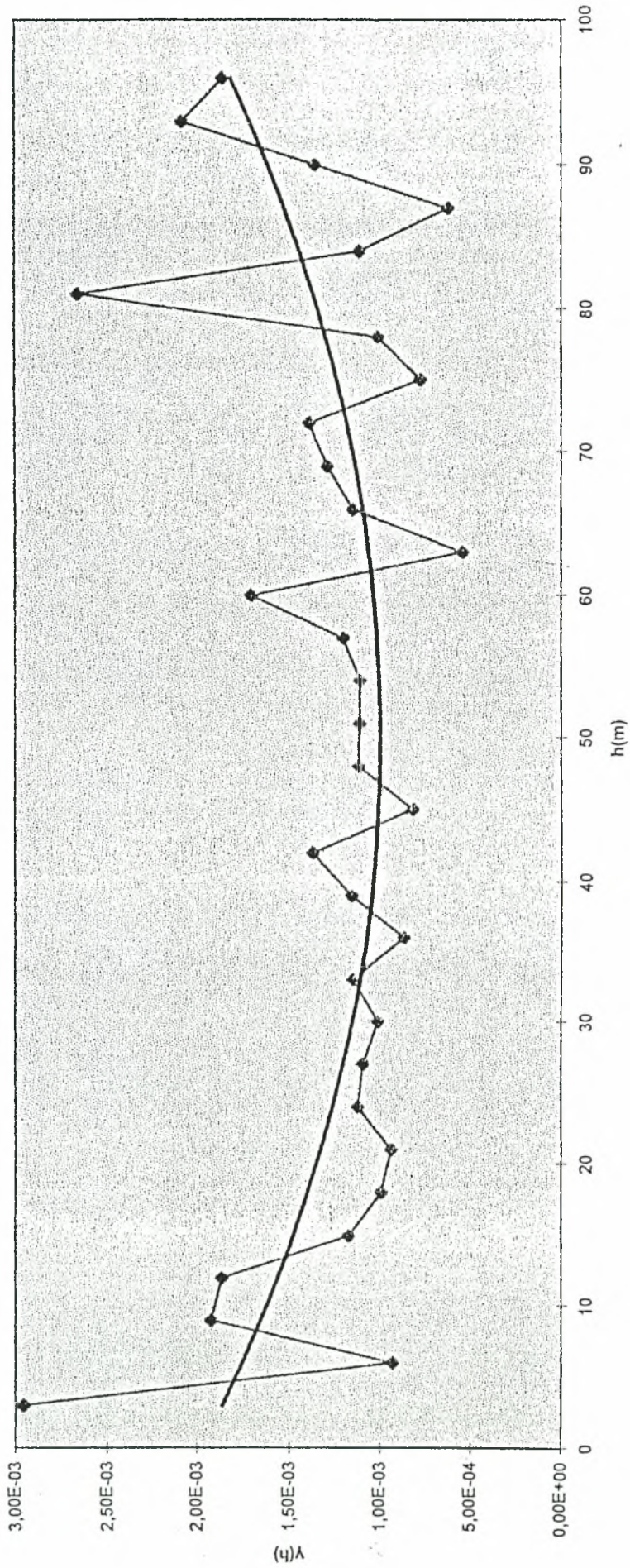


$$y = 2E-07x^2 - 2E-05x + 0,0015$$

$$R = 0,213$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 67,5 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής μετά την άρδευση

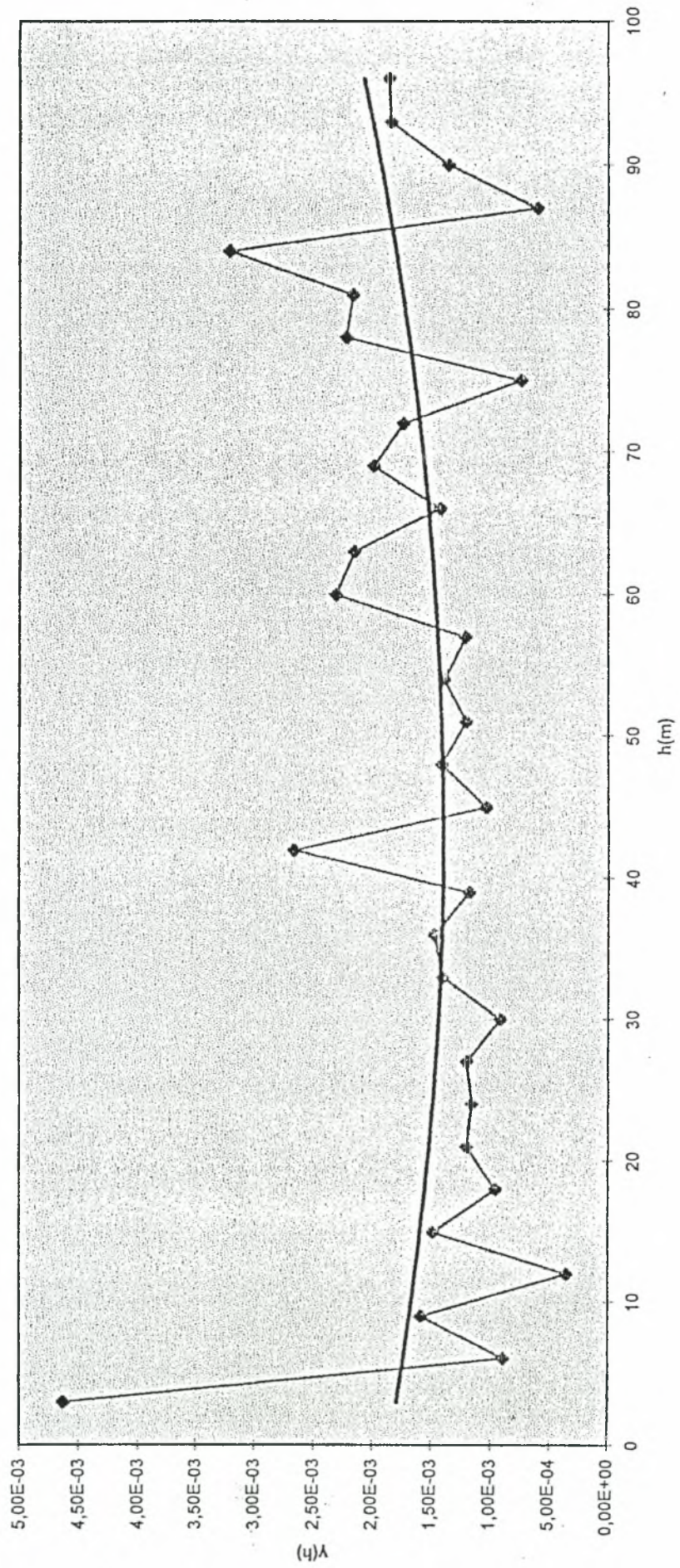


$$y = 4E-07x^2 - 4E-05x + 0,002$$

$$R = 0,505$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 90 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τις αυτούσιες τιμές της μεταβλητής μετά την άρδευση

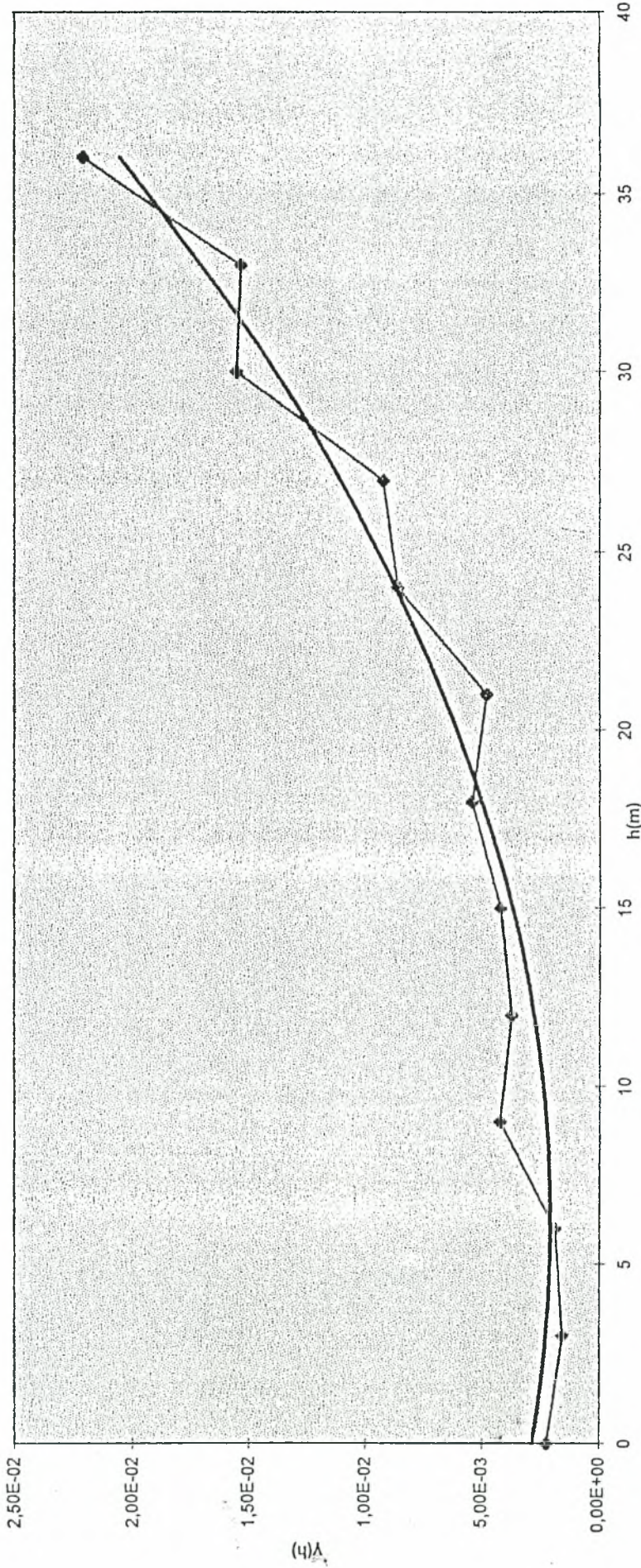


$$y = 2E-07x^2 - 2E-05x + 0,0019$$

$$R = 0,228$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

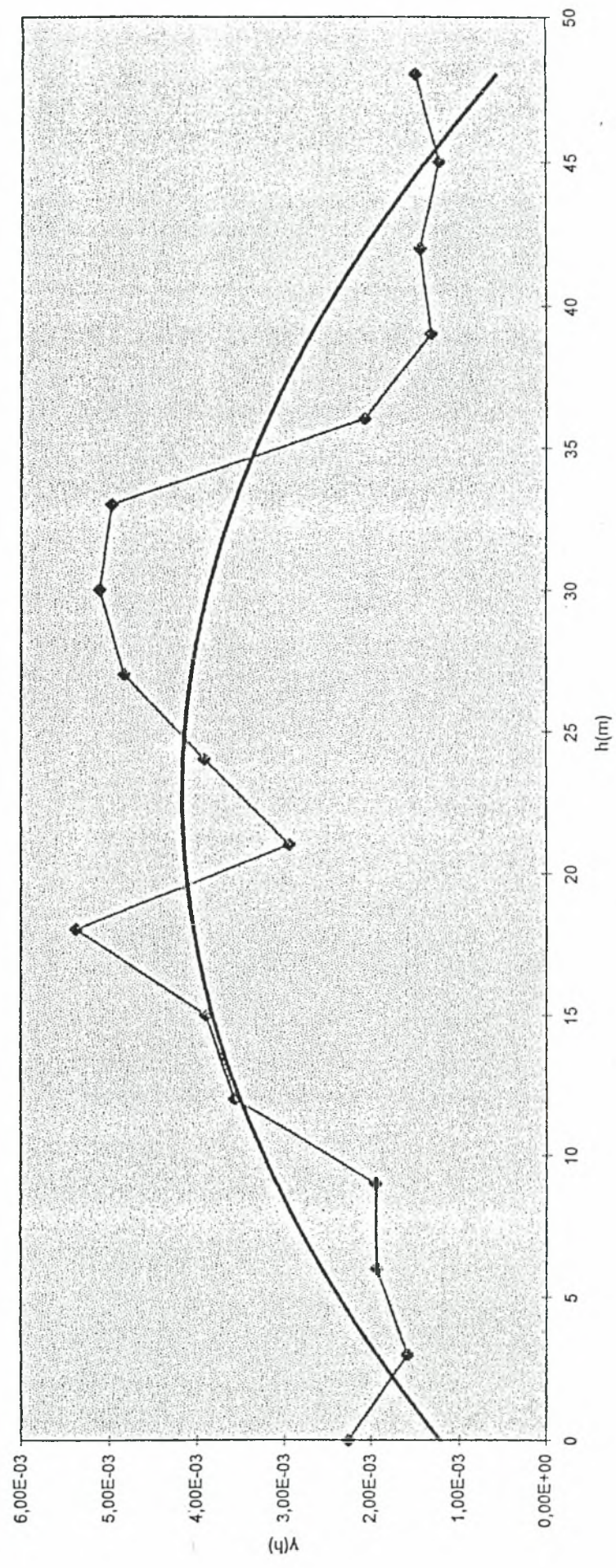
Βαρίογραμμα με διεύθυνση σάρωσης 0 μοίρες
χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής μετά την άρδευση



$$y = 2E-05x^2 - 0,0003x + 0,0029$$
$$R = 0,978$$

Πολυωνομικό μοντέλο

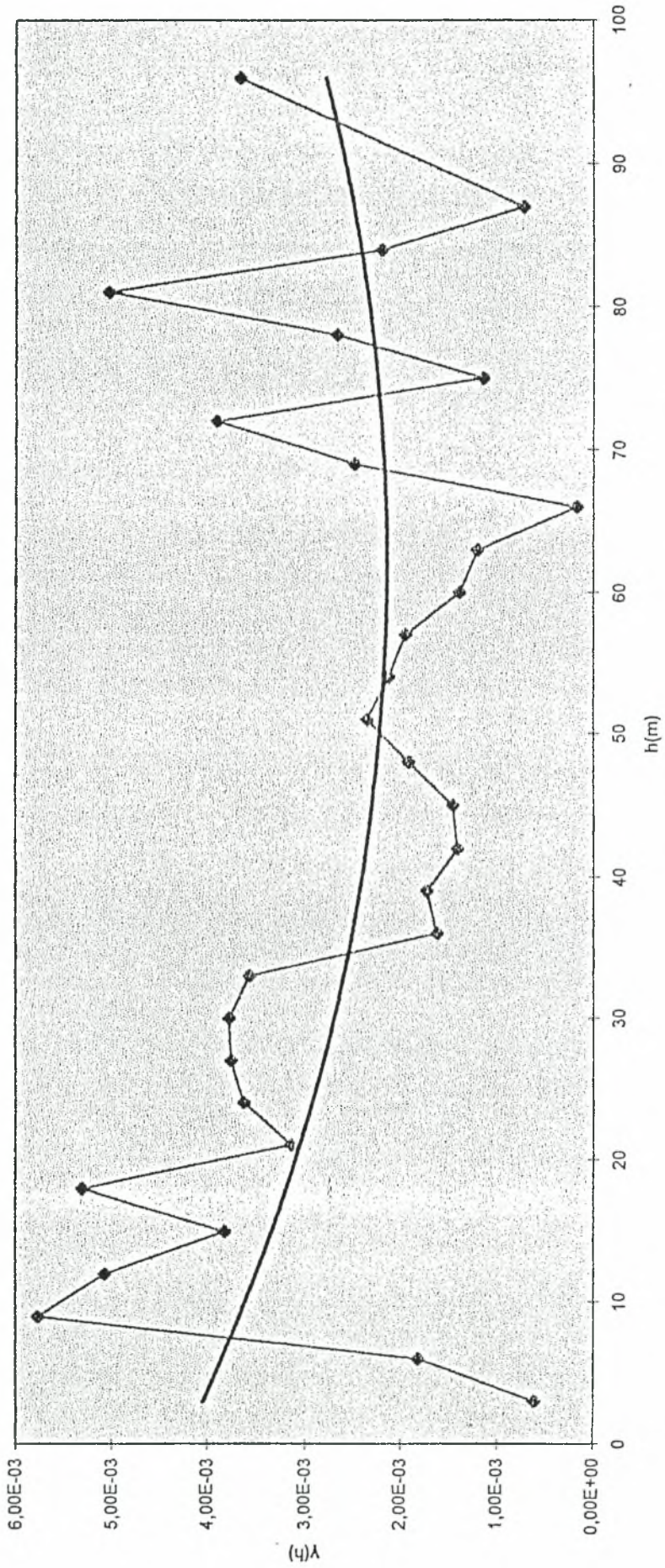
Βαριόγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 22,5 μοίρες
χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής μετά την άρδευση



$$y = -6E-06x^2 + 0,0003x + 0,0012$$
$$R = 0,767$$

Πολυωνομικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 45 μοίρες
 χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής μετά την άρδευση

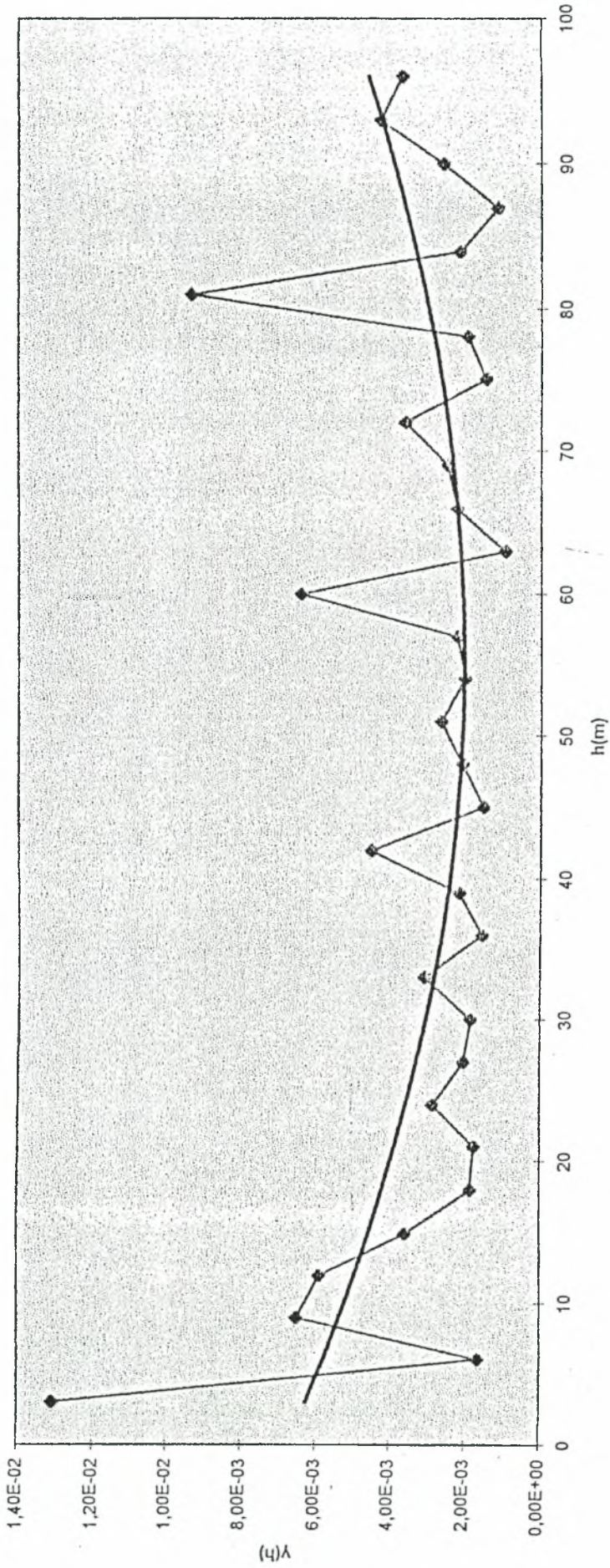


$$y = 6E-07x^2 - 7E-05x + 0,0042$$

$$R = 0,378$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 67,5 μοίρες
Χρησιμοποίησης τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής μετά την άρδευση

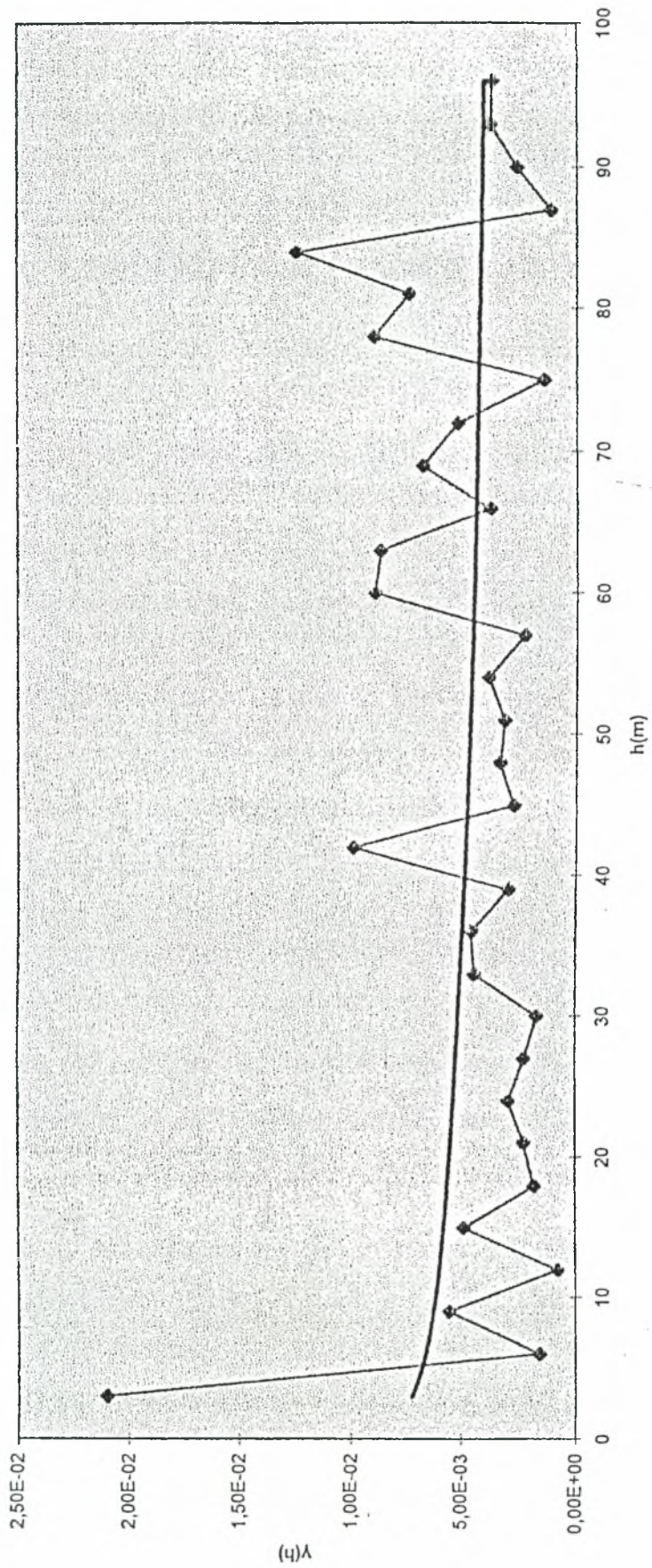


$$y = 2E-06x^2 - 0,0002x + 0,0068$$

$$R = 0,462$$

Πολυωνομικό μοντέλο

Βαρίγραμμα με διεύθυνση σάρωσης 90 μοίρες
 χρησιμοποίηστας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής μετά την άρδευση



$$y = -0,0009\ln(x) + 0,0082$$

$$R = 0,191$$

Λογαριθμικό μοντέλο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έγιναν πειραματικές μετρήσεις της υγρασίας σε αγρό με βαμβάκι στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Σκοπός ήταν η χρήση του συστήματος Trase με τη μέθοδο TDR της οποίας η αρχή στηρίζεται στη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους και τη μετατροπή της σε υγρασία κατ'όγκο. Συνολικά έγιναν 85 επί τόπου μετρήσεις σε βάθος 20 εκατοστών πριν από άρδευση και 85 μετά από άρδευση στο ίδιο βάθος.

Όπως ήταν αναμενόμενο οι τιμές μετά την άρδευση ήταν μεγαλύτερες. Από τη μηχανική ανάλυση του εδάφους προέκυψε ότι πρόκειται για αγρό με έδαφος βαρύ (αργιλλοπηλώδες προς αργιλώδες). Από τη χρήση του συστήματος Trase προέκυψε ότι η λήψη των μετρήσεων είναι ταχεία και ακριβής. Η ακρίβεια αποδείχθηκε με μετρήσεις που πάρθηκαν σε δείγματα εδάφους γνωστής περιεχόμενης υγρασίας.

Το δεύτερο στάδιο της διατριβής περιελάμβανε τη γεωστατιστική ανάλυση των μετρήσεων μέχρι την φάση των πειραματικών ημιβαριογραμμάτων. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν τα πειραματικά βαριογράμματα σε διάφορες γωνίες σάρωσης. Τα βαριογράμματα αυτά, εξετάστηκε εάν προσεγγίζονται από τα θεωρητικά βαριογράμματα. Βρέθηκε ότι δεν γίνεται κάποια προσαρμογή με αποτέλεσμα να έχουμε nugget φαινόμενο (λευκό θόρυβο) που σημαίνει ότι η κατανομή της υγρασίας είναι τυχαία.

Περαιτέρω έρευνα για να βρεθεί κάποια καμπύλη η οποία να προσεγγίζει τα πειραματικά ημιβαριογράμματα στις διάφορες γωνίες

σάρωσης έγινε μέσω του Excel. Βρέθηκαν δύο καμπύλες οι οποίες προσεγγίζουν 1) τα πειραματικά της διεύθυνσης σάρωσης 0° για μετρήσεις που έγιναν μετά την άρδευση χρησιμοποιώντας τους λογαρίθμους των τιμών της μεταβλητής και 2) τα πειραματικά της διεύθυνσης σάρωσης 0° που έγιναν μετά την άρδευση όταν χρησιμοποιήθηκαν οι πραγματικές τιμές της υγρασίας. Στις περιπτώσεις αυτές βρέθηκε ότι οι καμπύλες πολυωνυμικής μορφής προσεγγίζουν με συντελεστή συσχέτισης 93% την πρώτη περίπτωση και 97% τη δεύτερη περίπτωση των ημιβαριογραμμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Clark Isobel: «Practical Geostatistics», Elsevier Applied Science Publishers, London, New York, 1979.
2. Hillel, D.: «Fundamentals of Soil Physics», 1980.
3. Παπαζαφειρίου, Ζ.: «Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων» Θεσσαλονίκη, 1984.
4. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ.- Τζιμόπουλος Χ.-Γιαννόπουλος Σ.: « Συγκριτική στατιστική επεξεργασία της υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμού στην ύπαιθρο. (2ο Πανελλήνιο συνέδριο:Εγγειοβελτιωτικά έργα, διαχείριση υδάτινων πόρων, εκμηχάνιση Γεωργίας.) Πρακτικά Τόμος Β'», 24-27 Απριλίου 1996.
5. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ.: «Σημειώσεις αρδεύσεων» Βόλος 1994.
6. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ.: «Προβλήματα αρδεύσεων σε αγροτικό περιβάλλον». Συνέδριο : «Ολοκληρωμένες πληροφορίες γης, θεμέλιο για ανάπτυξη», Θεσσαλονίκη, 1984.
7. Sakellariou - Makrantonaki, M.: «Groundwater movement into layered soils, Advances in Water Technology» (p. 207-216), Balkema, Rotterdam, 1991.
8. Τζιμόπουλος, Χ.: «Εφαρμογή της θεωρίας των περιφερειακών μεταβλητών στην υπόγεια υδραυλική», Α.Π.Θ., Παράρτημα της Επιστ. Επετ. Πολυτεχνικής Σχολής, Τμήμα Πολ. Μηχανικών, Τιμητικός Τόμος ΙΓ', (σελ. 1211-1230), Θεσσαλονίκη, 1997.
9. Ψωινός, Δ. «Εφαρμοσμένη στατιστική». Θεσσαλονίκη, 1992.

