

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΛΩΡΙΔΕΣ



Επιμέλεια εργασίας: Γεράσιμος Μάϊκ Δημήτρης Βασιλόπουλος



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 9186/1
Ημερ. Εισ.: 22-11-2010
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2010
ΒΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Τίτλος	Σελίδα
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
2. Ανάλυση Βιβλιογραφίας	3
2.1 Έδαφος	3
2.2 Κατεργασία	3
2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
2.3.1 Παραδοσιακή ή συμβατική κατεργασία	6
2.3.2 Συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους	8
2.4. Κατεργασία σε Λωρίδες	10
2.5. Λειτουργία Καλλιεργητών	12
3. Παράμετροι που καθορίζουν την απαιτούμενη έλξη και ποιότητα εργασίας των καλλιεργητών	16
3.1 Γενικά	16
3.2 Εκτίμηση της έλξης	19
3.2.1 Θεωρίες διάτμησης και αναμόχλευσης του εδάφους από τα εργαλεία κατεργασίας του εδάφους	19
3.2.2 Παράμετροι του εδάφους	27
3.3 Εκτίμηση της ποιότητας κατεργασίας	31
4. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	34
5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	34
5.1 Περιγραφή του μηχανήματος	34
5.2 Παράγοντες που μελετήθηκαν	35
5.3 Πειραματικός σχεδιασμός	36
5.4 Μετρήσεις- Όργανα μετρήσεων	38
5.4.1 Μετρήσεις των αναπτυσσόμενων δυνάμεων	38
5.4.2 Μέτρηση άλλων παραμέτρων της λειτουργίας ενός γεωργικού ελκυστήρα από την πειραματική διάταξη	39
5.4.3 Καταγραφή των μετρήσεων- Μετατροπή των δεδομένων	41
5.5 Υπολογισμοί – Έννοιες	41
5.6 Στατιστική Ανάλυση	44
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	45
6.1 Ανάλυση των παραγόντων	45
6.2 Ανάλυση της παραμέτρου (Αντίσταση στη διείδυση)	47
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη μέρες μας γίνεται επιτακτικότερη η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας με απώτερο στόχο τη μείωση της κατανάλωσης του πετρελαίου και τη προστασία του περιβάλλοντος. Με την επίτευξη του πρώτου στόχου επιτυγχάνεται μερικώς και ο δεύτερος καθώς μειωμένες καταναλώσεις προκαλούν μειωμένες εκπομπές ρύπων και κυρίως διοξειδίου του άνθρακα που είναι το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου.

Η καθημερινή υποβάθμιση του περιβάλλοντος είναι ολοένα και περισσότερο φανερή και οι αιτίες από γεωργική άποψη είναι διάφορες και ποικίλουν κατά τόπους. Μερικά προβλήματα όμως είναι κοινά για όλους και σχετίζονται με την υποβάθμιση του εδάφους μέσω της καταστροφής της δομής του, είτε από λανθασμένες επιλογές μηχανημάτων, είτε από άκαιρες επεμβάσεις, είτε από πληθώρα επεμβάσεων. Όλα τα παραπάνω μπορούν να οδηγήσουν σε συμπίεση το έδαφος, ενώ σε συνδυασμό με λανθασμένες καλλιεργητικές τεχνικές μπορούν να έχουν επίπτωση στη σοβαρή διάβρωση που έχουν υποστεί πολλές περιοχές τόσο της χώρας μας όσο και παγκοσμίως.

Η εκτεταμένη εκμηχάνιση της γεωργίας που έχει συντελεστεί τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει στην αύξηση των αποδόσεων αλλά και της παραγωγικότητας της εργασίας. Η μεγάλη όμως εισροή ξένων μηχανημάτων στη χώρα μας καθώς και η αντιγραφή ξένων μηχανημάτων ή η κατασκευή ντόπιων χωρίς προηγουμένως να έχουν δοκιμαστεί και να έχουν μελετηθεί τα χαρακτηριστικά της εργασίας που πραγματοποιούν κάτω από τις ελληνικές συνθήκες, οδηγούν πολλές φορές σε σπατάλη ενέργειας. Αυτό οφείλεται στον κακό σχεδιασμό, μη ενδεικνύομενες χρήσεις και μη ικανοποιητική εργασία για τις συνθήκες που προορίζονται οδηγώντας τελικώς σε όξυνση των προβλημάτων των εδαφών και σε περαιτέρω υποβάθμισή τους.

Για τους παραπάνω λόγους θα πρέπει κάθε νέο ή παλαιό μηχάνημα να δοκιμάζεται κάτω από διαφορετικές συνθήκες και να υποδεικνύεται η καλύτερη δυνατή κατασκευή του ώστε να ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας και για συγκεκριμένες καλλιέργειες. Όσο πιο ευρύ είναι αυτό το φάσμα τόσο πιο πετυχημένο θα είναι το μηχάνημα και το κόστος παραγωγής θα μειώνεται γιατί θα χρησιμοποιείται περισσότερο στην παραγωγική διαδικασία (σε περισσότερες συνθήκες και καλλιέργειες) χωρίς την ανάγκη ύπαρξης πρόσθετου εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των καλλιεργητικών φροντίδων.

Επίσης θα πρέπει οι δοκιμές που θα πραγματοποιούνται να μπορούν να αξιολογηθούν και να συγκριθούν με κάποιο πρότυπο ώστε τα αποτελέσματα να στηρίζονται σε αντικειμενικές μετρήσεις και όχι σε υποκειμενικές παρατηρήσεις.

2. Ανάλυση βιβλιογραφίας

2.1 Έδαφος

Έδαφος καλείται το χαλαρό επιφανειακό στρώμα του φλοιού της γης το οποίο σχηματίζεται από την αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων με την επίδραση διαφόρων φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων του περιβάλλοντος (Τσατσαρέλης 2000).

Από γεωργική άποψη το έδαφος είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την άσκηση της Γεωργίας γιατί είναι ένας μη ανανεώσιμος φυσικός πόρος ενώ χωρίς τη χρήση του ελάχιστα και σε μικρές ποσότητες είδη μπορούν να αναπτυχθούν. Ο ρόλος του εδάφους είναι να παρέχει στήριξη στα φυτά και να τα εφοδιάζει με νερό και θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξή τους. Επιπροσθέτως άλλες σημαντικές διεργασίες που συμβαίνουν στο έδαφος είναι η δράση των μικροοργανισμών και η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για το φύτευμα των σπόρων.

2.2 Κατεργασία

Κατεργασία του εδάφους είναι η χρήση διαφόρων μηχανημάτων που σκοπό έχουν να δημιουργήσουν τις κατάλληλες εκείνες συνθήκες που θα ευνοήσουν την σπορά, το φύτευμα και την ανάπτυξη των φυτών. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία του εδάφους ασκούν σ' αυτό διάφορες τάσεις οι οποίες προκαλούν είτε διάτμηση είτε συμπίεση είτε εφελκυσμό και παραμόρφωση, είτε συνδυασμό αυτών (Γέμτος 1994). Αποτέλεσμα της δράσης αυτών των τάσεων είναι η χαλάρωση της επιφανειακής εδαφικής στοιβάδας (Γέμτος 1994).

Οι στόχοι της κατεργασίας του εδάφους είναι οι εξής (Τσατσαρέλης 2000) :

- Ο ψιλοχωματισμός της επιφανειακής στοιβάδας του εδάφους ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες για την εγκατάσταση και το φύτευμα των μέσων πολλαπλασιασμού (προετοιμασία σποροκλίνης).

- Ο έλεγχος των ζιζανίων

- Η βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους όπως είναι το πορώδες, η υγρασία, η θερμοκρασία και η δομή του εδάφους.
- Η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων
- Η ενσωμάτωση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών ουσιών
- Η καταπολέμηση εντόμων που διαχειμάζουν στο έδαφος
- Η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση
- Η ισοπέδωση των εδαφών
- Η διαμόρφωση του εδάφους για άρδευση

Η χρήση των μηχανημάτων κατά την κατεργασία του εδάφους μπορεί να ομαδοποιηθεί σε δύο ξεχωριστά στάδια αλλά όχι και αναγκαστικά σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους. Το πρώτο στάδιο το οποίο ονομάζεται **«πρωτογενής» ή «κύρια κατεργασία»** περιλαμβάνει τη χρήση μηχανημάτων που αναμοχλεύουν το έδαφος σε μεγάλο σχετικά βάθος (15-40 cm) (Τσατσαρέλης 2000). Έχει σαν κύριο στόχο την βελτίωση της δομής του εδάφους με τη δημιουργία του κατάλληλου πορώδους για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται είναι κατά κύριο λόγο τα άροτρα και οι καλλιεργητές. Η επιφάνεια όμως που δημιουργείται μετά τη χρήση αυτών των μηχανημάτων είναι αρκετά τραχιά και χαλαρή με συνέπεια να μην μπορεί να τοποθετηθεί ο σπόρος για να έχουμε ικανοποιητικό φύτευμα και ανάπτυξη των φυτών. Γι' αυτό το λόγο ακολουθούν μια σειρά από άλλες επεμβάσεις που σκοπό έχουν να ισοπεδώσουν, να ψιλοχωματίσουν και να συμπιέσουν σε κατάλληλο βαθμό την ανώτερη επιφάνεια του εδάφους έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες που απαιτούνται για ικανοποιητικό φύτευμα, βλάστηση και ανάπτυξη των φυτών. Το δεύτερο αυτό στάδιο των επεμβάσεων ονομάζεται **«δευτερογενής κατεργασία» ή «προετοιμασία της σποροκλίνης»**. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το στάδιο είναι οι καλλιεργητές, ελαφρύτερης κατασκευής από αυτούς που χρησιμοποιούνται στην πρωτογενή κατεργασία, καθώς και διάφορες σβάρνες, κύλινδροι ή και συνδυασμοί αυτών ταυτόχρονα ή μεμονωμένα. Τα βάθη κατεργασίας αυτών των μηχανημάτων είναι μικρότερα και δεν ξεπερνούν τα 15 cm.

Με την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους επιδιώκεται η βελτίωση της δομής του εδάφους ώστε να ευνοηθεί η ανάπτυξη της ρίζας κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου (Hamblin 1987). Επίσης επιδιώκεται η διαχείριση των ζιζανίων και των φυτικών υπολειμμάτων και ο αερισμός του εδάφους (Hamblin 1987). Οι στόχοι της δευτερογενούς κατεργασίας περιλαμβάνουν εκτός από τον ψιλοχωματισμό της τραχιάς επιφάνειας του εδάφους που δημιουργείται μετά την πρωτογενή κατεργασία και την καταστροφή των ζιζανίων, την ενσωμάτωση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στο έδαφος, τη διαχείριση της εδαφικής υγρασίας και τη θέρμανση του εδάφους (Hamblin 1987).

Αν και η πρωτογενής κατεργασία είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί ακόμη και λίγες μέρες πριν από τη σπορά, εντούτοις, για ανοιξιάτικες καλλιέργειες είναι προτιμότερο να μεσολαβήσει ένα χρονικό διάστημα μερικών μηνών μεταξύ της πρωτογενούς και της δευτερογενούς κατεργασίας. Με αυτό τον τρόπο επιδιώκεται ο συνδυασμός των ωφελειών που προκύπτουν τόσο από τη μηχανική κατεργασία όσο και από την επίδραση των καιρικών φαινομένων. Οι κύκλοι διαβροχής – ξήρανσης και παγώματος – τήξης βοηθούν στο θρυμματισμό των μεγάλων βόλων που αφήνονται μετά τις πρωτογενείς επεμβάσεις διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό το έργο των μηχανημάτων της δευτερογενούς κατεργασίας (Hamblin 1987).

2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο όρος «*συστήματα κατεργασίας*» περιγράφει όλες τις κατεργασίες που πραγματοποιούνται με σκοπό την προετοιμασία του εδάφους (δημιουργία σποροκλίνης) για την εγκατάσταση μιας καλλιέργειας. Τα συστήματα κατεργασίας καθορίζονται από το είδος των χρησιμοποιούμενων μέσων (εργαλεία και μηχανήματα), από το βαθμό χρησιμοποίησής τους, το βάθος κατεργασίας και τη διαδοχή τους.

Ο καθορισμός των συστημάτων κατεργασίας δεν είναι απόλυτος και εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες της περιοχής (κλίμα, καλλιέργειες, καλλιεργητικές συνήθειες, έδαφος, κ.ά). Επίσης τα διάφορα συστήματα μπορούν να καθοριστούν με βάση διάφορα κριτήρια, όπως το βάθος κατεργασίας (επιφανειακή ή βαθιά) τον τρόπο κατεργασίας (αναστροφή ή μη) και διάφορα άλλα. Πολλές φορές ένα σύστημα μπορεί να αναφέρεται με διαφορετικούς όρους από διάφορους επιστήμονες ή αγρότες καθώς επίσης και ένας ορισμός να ανταποκρίνεται σε περισσότερα του ενός συστήματα. Για

να αποφευχθεί η σύγχυση ακολουθείται η ονοματολογία και η ταξινόμηση σύμφωνα με την τυποποίηση EP 291.2, (2002) της Αμερικάνικης εταιρίας Γεωργικών Μηχανημάτων (ASAE). Ένα από τα κυριότερα κριτήρια με βάση το οποίο ταξινομούνται τα συστήματα κατεργασίας και ακολουθεί τις σύγχρονες τάσεις είναι η εντατικότητα. Έτσι τα διάφορα συστήματα κατεργασίας ταξινομούνται με βάση την εντατικότητα σε (Τσατσαρέλης 2000):

- *Συστήματα Παραδοσιακής ή Συμβατικής κατεργασίας (Conventional tillage)*
- *Συστήματα Αειφορικής διαχείρισης του εδάφους (Conservation tillage)*

2.3.1 Παραδοσιακή ή Συμβατική κατεργασία (Conventional tillage)

Στα συστήματα αυτά, η πρωτογενής ή κύρια κατεργασία πραγματοποιείται κυρίως με άροτρο (υνάροτρο ή άλλου τύπου) συνήθως σε μεγάλο σχετικά βάθος με κοπή και αναστροφή του εδάφους.

Στη συνέχεια ακολουθεί δευτερογενής κατεργασία η οποία αναλόγως των συνθηκών μπορεί να πραγματοποιηθεί με καλλιεργητές, σβάρνες, περιστροφικά μηχανήματα, κυλίνδρους και συνδυασμούς δύο ή περισσότερων μηχανημάτων.

Τα πλεονεκτήματα της συμβατικής κατεργασίας είναι πολλά και γι' αυτό άλλωστε το σύστημα αυτό έχει επικρατήσει από γενέσεως της γεωργίας μέχρι σήμερα και είναι διαδεδομένο σε όλες τις περιοχές του κόσμου. Για το λόγο αυτό καλείται και παραδοσιακό. Τα πλεονεκτήματα μπορούν να συνοψιστούν γενικά στα εξής: Με την αναστροφή του εδάφους που προκαλείται από το άροτρο ελέγχονται πολλά ζιζάνια φυτρωμένα καθώς και σπόροι που οδηγούνται βαθιά και δεν δύναται να βλαστήσουν. Επίσης έχουμε έλεγχο ορισμένων εντομολογικών προσβολών, κυρίως αυτών που η διαχείμαση πραγματοποιείται στο έδαφος ή στα φυτικά υπολείμματα και ταυτόχρονα έλεγχο ορισμένων ασθενειών.

Επιπλέον με την ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων διευκολύνεται η εργασία των μηχανημάτων της δευτερογενούς κατεργασίας. Με τα φυτικά υπολείμματα ενσωματωμένα και με τις κατάλληλες εδαφικές συνθήκες διευκολύνεται η δράση των μικροοργανισμών οι οποίοι τα αποσυνθέτουν και παράγουν οργανική ουσία. Η επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι θετική όταν η επέμβαση

γίνει κάτω από συγκεκριμένο φάσμα συνθηκών για κάθε περιοχή. Έτσι με την άροση δημιουργείται ικανοποιητική χαλάρωση του εδάφους και η αύξηση του πορώδους διευκολύνει την κίνηση του νερού αυξάνοντας τη διήθηση και βελτιώνοντας τη στράγγιση. Το ριζικό σύστημα βρίσκει κατά κανόνα ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξή του γεγονός που επιφέρει αυξημένες αποδόσεις.

Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι όταν πραγματοποιείται νωρίς χρονικά (καλοκαιρινή ή φθινοπωρινή για ανοιξιότικες καλλιέργειες) άροση τα συσσωματώματα που δημιουργούνται αφήνονται στην επιφάνεια και υφίστανται τις ευεργετικές επιδράσεις των καιρικών συνθηκών με αποτέλεσμα τη μείωση των επεμβάσεων της δευτερογενούς κατεργασίας λόγω του επιμέρους θρυμματισμού που προκαλεί η εναλλαγή των καιρικών συνθηκών.

Παρά τα πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα και η συμβατική κατεργασία έχει και πολλά και σε μερικές περιπτώσεις πολύ πιο σοβαρά μειονεκτήματα. Είναι σύστημα εντατικής διαχείρισης του εδάφους (μεγάλο βάθος, πολλές επεμβάσεις) και έχει αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια και ισχύ με αποτέλεσμα το αυξημένο κόστος παραγωγής (Καβαλάρης 2004). Επίσης ο χρόνος προετοιμασίας του εδάφους γίνεται μεγαλύτερος, γεγονός που μπορεί να αποδειχθεί κρίσιμο σε δεδομένες συνθήκες. Σημαντικό μειονέκτημα που έρχεται να προστεθεί είναι η ενδεχόμενη καταστροφή της δομής του εδάφους από άκαιρες επεμβάσεις. Τέτοια προβλήματα είναι η συμπίεση και η δημιουργία σκληρού ορίζοντα (hardpan) όταν η κατεργασία με υνάροτρο γίνεται συνεχώς στο ίδιο βάθος και σε αυξημένη υγρασία του εδάφους (Τσατσαρέλης 2000). Ο έντονος αερισμός που προκαλείται από το αυξημένο πορώδες αυξάνει τη δράση των μικροοργανισμών οι οποίοι διασπούν την οργανική ουσία (Αγγελοπούλου 2004). Με την πάροδο των ετών το πρόβλημα επιδεινώνεται κυρίως εάν δεν υπάρχει επαρκής εφοδιασμός του εδάφους με φυτικά υπολείμματα. Σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα αποτελεί και η διάβρωση που υφίσταται το έδαφος από την εντατική χρήση των μηχανημάτων και κυρίως του αρότρου. Η αναστροφή που προκαλεί στο έδαφος ενσωματώνει τα φυτικά υπολείμματα και αφήνει για μεγάλο χρονικό διάστημα γυμνό και χαλαρό το έδαφος. Με την επίδραση του αέρα και της βροχής το έδαφος μπορεί να παρασυρθεί και σε επιφάνειες με κλίση μπορεί να απομακρυνθεί από τα υψηλότερα σημεία και οδηγηθεί στα χαμηλότερα. Αποτέλεσμα είναι να χάνεται γόνιμο έδαφος και εκτιμάται ότι το 1/3 της καλλιεργήσιμης γης παγκοσμίως έχει χαθεί κατά τα τελευταία 40 έτη (Pimentel et al. 1995).

Όλα τα παραπάνω μειονεκτήματα έχουν οδηγήσει ολοένα και περισσότερους να κρίνουν με αρνητικό τρόπο τη συμβατική κατεργασία και να υποδεικνύουν την άμεση αντικατάστασή της με συστήματα λιγότερο εντατικά με σκοπό πρωτίστως την προστασία των εδαφών από την περαιτέρω υποβάθμισή τους και απώτερο στόχο τη βελτίωσή τους.

2.3.2 Συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους

(Conservation tillage)

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν κάθε σύστημα όπου οι μέθοδοι κατεργασίας είναι λιγότερο εντατικές από τη συμβατική κατεργασία με την έννοια ότι καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια ενώ ταυτόχρονα το έδαφος μετά την κατεργασία παραμένει καλυμμένο με φυτικά υπολείμματα τουλάχιστον κατά 30%. Τα πλεονεκτήματα που αποκομίζονται από τη μείωση των επεμβάσεων για την εγκατάσταση της φυτείας και τη διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων είναι:

- Μείωση του κόστους παραγωγής μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και του περιορισμού της απαιτούμενης εργασίας.
- Εγκαιρότητα της επέμβασης
- Διατήρηση της ποιότητας και της παραγωγικότητας του εδάφους μέσω του περιορισμού της συμπίεσης και της διάβρωσης.
- Εξοικονόμηση εδαφικής υγρασίας.
- Διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους (Phillips and Young 1973).

Στα συστήματα που στοχεύουν την αειφορική διαχείριση του εδάφους μπορούν να συμπεριληφθούν τα εξής:

- **Ελάχιστη κατεργασία (minimum tillage).** Με τον όρο «ελάχιστη κατεργασία» αναφέρονται οι μέθοδοι διαχείρισης κατά τις οποίες πραγματοποιούνται οι ελάχιστες απαραίτητες επεμβάσεις για την προετοιμασία του εδάφους. Οι επεμβάσεις διατηρούνται στο ελάχιστο και σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας (σκαλίσματα κ.τ.λ).

- **Βέλτιστη κατεργασία (Optimum tillage).** Η «άριστη κατεργασία» αποτελεί την ιδεατή μορφή της ελάχιστης κατεργασίας. Στόχος είναι η επίτευξη του

μεγαλύτερου δυνατού οφέλους με τις ελάχιστες δυνατές επεμβάσεις, για μια ορισμένη καλλιέργεια και στις ορισμένες συνθήκες ενός εδάφους και μιας περιοχής.

- **Κατεργασία διατήρησης φυτικών υπολειμμάτων (Mulch tillage).**

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται όσα συστήματα εφαρμόζουν μεθόδους κατεργασίας οι οποίες αφήνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτικών υπολειμμάτων πάνω ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

- **Μειωμένη κατεργασία (reduced tillage).** Με τον όρο «μειωμένη κατεργασία» αναφέρονται τα συστήματα κατεργασίας του εδάφους τα οποία ως κύριο μέλημα έχουν τον περιορισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τη διενέργεια των καλλιεργητικών χειρισμών.

Με τον όρο «μειωμένη κατεργασία» αναφέρονται τα συστήματα κατεργασίας του εδάφους τα οποία ως κύριο μέλημα έχουν τον περιορισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τη διενέργεια των καλλιεργητικών χειρισμών.

- **Κατεργασία σε λωρίδες (Strip tillage).** Ως συστήματα κατεργασίας σε λωρίδες χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι που κατεργάζονται μέχρι το 30% της εδαφικής επιφάνειας. Η κατεργασία πραγματοποιείται σε λωρίδες πάνω στις οποίες στη συνέχεια σπέρνονται οι γραμμές της καλλιέργειας, ενώ ο χώρος μεταξύ των γραμμών παραμένει ακατέργαστος.

Ως συστήματα κατεργασίας σε λωρίδες χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι που κατεργάζονται μέχρι το 30% της εδαφικής επιφάνειας. Η κατεργασία πραγματοποιείται σε λωρίδες πάνω στις οποίες στη συνέχεια σπέρνονται οι γραμμές της καλλιέργειας, ενώ ο χώρος μεταξύ των γραμμών παραμένει ακατέργαστος.

- **Μηδενική κατεργασία ή ακαλλιέργεια (Zero tillage, No-tillage).** Τα συστήματα της μηδενικής κατεργασίας ή αλλιώς ακαλλιέργειας περιλαμβάνουν την τοποθέτηση του σπόρου σε μια πολύ στενή λωρίδα κατεργασμένου εδάφους, ουσιαστικά το αυλάκι στο οποίο τοποθετείται ο σπόρος ενώ όλη η υπόλοιπη επιφάνεια παραμένει ακατέργαστη. Η υπάρχουσα βλάστηση καταστρέφεται με χρήση ζιζανιοκτόνων, είτε λίγο πριν, είτε αμέσως μετά τη σπορά.

Τα συστήματα της μηδενικής κατεργασίας ή αλλιώς ακαλλιέργειας περιλαμβάνουν την τοποθέτηση του σπόρου σε μια πολύ στενή λωρίδα κατεργασμένου εδάφους, ουσιαστικά το αυλάκι στο οποίο τοποθετείται ο σπόρος ενώ όλη η υπόλοιπη επιφάνεια παραμένει ακατέργαστη. Η υπάρχουσα βλάστηση καταστρέφεται με χρήση ζιζανιοκτόνων, είτε λίγο πριν, είτε αμέσως μετά τη σπορά.

- **Κατεργασία σε αναχώματα (Ridge tillage).** Κατά την κατεργασία του εδάφους σχηματίζονται αναχώματα πάνω στα οποία σπέρνονται σε γραμμές τα φυτά της καλλιέργειας. Η πρακτική αυτή βοηθά στην πρόιμη θέρμανση των εδαφών σε ψυχρές περιοχές, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την προιμότερη σπορά. Τα αναχώματα διατηρούνται στην αρχική τους τοποθεσία και απλώς κάθε έτος, μετά τη συγκομιδή, ανασχηματίζονται με την χρήση κατάλληλων μηχανημάτων (αυλακωτήρες).

Κατά την κατεργασία του εδάφους σχηματίζονται αναχώματα πάνω στα οποία σπέρνονται σε γραμμές τα φυτά της καλλιέργειας. Η πρακτική αυτή βοηθά στην πρόιμη θέρμανση των εδαφών σε ψυχρές περιοχές, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την προιμότερη σπορά. Τα αναχώματα διατηρούνται στην αρχική τους τοποθεσία και απλώς κάθε έτος, μετά τη συγκομιδή, ανασχηματίζονται με την χρήση κατάλληλων μηχανημάτων (αυλακωτήρες).

Τα συστήματα αειφορίας παρόλα τα περιβαλλοντικά και οικονομικά τους οφέλη, δεν είναι εύκολα στην εφαρμογή τους από το γεωργό (García-Torres et al., 2004) για τους εξής λόγους:

- Απαιτείται εκπαίδευση των παραγωγών στις νέες μεθόδους και τεχνικές διαχείρισης των καλλιεργειών.
- Τα ζιζάνια έχουν αυξημένους πληθυσμούς κυρίως στο σύστημα της ακαλλιέργειας που δεν πραγματοποιείται καμία κατεργασία στο έδαφος. Η αντιμετώπιση τους γίνεται με χημικά μέσα τα οποία πρέπει να εφαρμόζονται σε αυξημένες δόσεις και στα κατάλληλα χρονικά διαστήματα ή με κατάλληλες αμειψισπορές.
- Απαιτούν επένδυση σε νέο μηχανολογικό εξοπλισμό ο οποίος έχει μεγάλο κόστος.

2.4. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΛΩΡΙΔΕΣ

Προχωρημένο σύστημα μειωμένης κατεργασίας του εδάφους αποτελεί το σύστημα κατεργασίας σε λωρίδες (strip tillage). Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι εργαλεία δευτερεύουσας κατεργασίας ή ειδικά. Ανάλογα με τα εδάφη, την υγρασία τους και τη θερμοκρασία, τα φυτικά υπολείμματα και την καλλιέργεια που θα εγκατασταθεί, η σπορά μπορεί να γίνει ταυτοχρόνως με την κατεργασία ή να καθυστερήσει για λίγο.

Στα συστήματα κατεργασίας σε λωρίδες διακρίνονται δύο βασικοί τύποι: α) Κατεργασία σε επίπεδο εδάφους (flat planting) και β) Κατεργασία σε σαμάρια (ridge planting).

Βασικές επιδιώξεις των συστημάτων αυτών είναι: Η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση με την περιορισμένη ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων. Η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για το φύτρωμα του σπόρου και την ανάπτυξη των φυτών. Η ολοκλήρωση της προετοιμασίας και της σποράς σε σύντομο χρονικό διάστημα και η μείωση του κόστους.

Τα χαρακτηριστικά του μηχανήματος ήταν να κατεργάζεται το έδαφος σε βάθος πάνω από 20 εκατοστά και να το ψιλοχωματίζει ώστε να είναι έτοιμο για την εγκατάσταση της φυτείας. Περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας ως προς τη

συμβατική κατεργασία του εδάφους ενώ δίνει καλύτερη εγκατάσταση της φυτείας αλλά και παραγωγή.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί μηχανήματα για κατεργασία του εδάφους σε λωρίδες, που χαρακτηρίζεται ως το σύστημα που κατεργάζεται το έδαφος σε λωρίδες, περιορισμένων διαστάσεων, σε έκταση λιγότερο από το 30% της επιφάνειας του εδάφους. Η κατεργασία σε λωρίδες εμφανίζει πολλά από τα πλεονεκτήματα της ακαλλιέργειας χωρίς τις δυσκολίες εγκατάστασης των φυτειών και της αρχικής ανάπτυξης που συμβάλλουν στη μείωση της χρήσης τους.

Οι σχεδιαστικές ιδιότητες του μηχανήματος ήταν:

- Να μπορεί να αναμοχλεύει το έδαφος σε βάθος τουλάχιστον 0,25 μέτρα.
- Να ψιλοχωματίζει το έδαφος σε μια στενή λωρίδα μικρότερη των 0,30 μέτρων.
- Να αφήνει το ενδιάμεσο έδαφος άθικτο.
- Αν κρίνεται απαραίτητο, να μπορεί να προσαρμοστεί πτυχωτός δίσκος για την κοπή των φυτικών υπολειμμάτων μπροστά από τα υνιά που κάνουν την αναμόχλευση.
- Να έχει τη δυνατότητα ανάρτησης σπαρτικών μονάδων σε σειρά.

Με την προϋπόθεση ότι η αναμόχλευση πρέπει κατ' αρχήν να γίνει την περίοδο σποράς, όπου το έδαφος είναι σχετικά υγρό, θα πρέπει να εξασφαλιστεί η λειτουργία του εργαλείου πάνω από το κρίσιμο βάθος ώστε να διασφαλίζεται η αναμόχλευσή του και όχι η συμπίεση σε βάθος.

Η κατεργασία σε λωρίδες μπορεί να δώσει σημαντικά πλεονεκτήματα και κυρίως να ενισχύσει μέτρα προστασίας από τη διάβρωση στις επικλινείς εκτάσεις. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι;

- Η μέθοδος της κατεργασίας σε λωρίδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υποκατάσταση της χρήσης του αρότρου με ικανοποιητικές αποδόσεις.
- Η μέθοδος αυτή μειώνει την κατανάλωση ενέργειας για την κατεργασία του εδάφους, ενώ μπορεί να πετύχει την εγκατάσταση της φυτείας με ένα πέρασμα γεωργικού ελκυστήρα στο χωράφι.
- Λειτουργεί ικανοποιητικά με καλά αποτελέσματα στην καλλιέργεια (φύτρωμα, ανάπτυξη και παραγωγή)
- Η χρήση βαθέων και αβαθών υνιών εξασφαλίζει την επιθυμητή χαλάρωση του εδάφους ακόμα και σε υγρές συνθήκες του εδάφους.

Τα συστήματα κατεργασίας σε λωρίδες βρίσκουν μεγαλύτερη εφαρμογή στις ΗΠΑ και τον Καναδά ενώ στην Ευρώπη πρωτιμώνται συστήματα κατεργασίας όλης της επιφάνειας. Τα τελευταία χρόνια σε κάποια συστήματα ακαλλιέργειας χρησιμοποιούνται μηχανήματα που εφαρμόζουν παραλλαγές των συστημάτων κατεργασίας σε λωρίδες. Στη χώρα μας τα συστήματα αυτά βρίσκουν περιορισμένη εφαρμογή

2.5 Λειτουργία των καλλιεργητών

Ο καλλιεργητής είναι ένα μηχάνημα που εντάσσεται στην κατηγορία των εργαλείων κατεργασίας του εδάφους με ελάσματα ή δόντια των οποίων ο σκαπτικός μηχανισμός έχει τη μορφή ελάσματος (δοντιού) (Τσατσαρέλης 2000). Τα ελάσματα αυτά έχουν διάφορες μορφές, σχήματα και μεγέθη. Αποτελούνται συνήθως από δύο τμήματα, το πρώτο και μεγαλύτερο καλείται βάση ή στέλεχος και είναι άκαμπτο ή εύκαμπτο, ενώ το δεύτερο το λεγόμενο «υνάκι» έρχεται σε επαφή με το έδαφος και το αναμοχλεύει (Σχ. 1).

Η χρήση των εργαλείων με ελάσματα προκαλεί αναμόχλευση του εδάφους που οδηγεί στη βελτίωση του πορώδους. Το αποτέλεσμα κατά την πρωτογενή ή δευτερογενή κατεργασία εξαρτάται από τη διαμόρφωση, το σχήμα και το μέγεθος των ελασμάτων.

Ο καλλιεργητής ανάλογα για το σκοπό που προορίζεται έχει την κατάλληλη διαμόρφωση πλαισίου και φέρει τα ανάλογα εξαρτήματα για την κατεργασία του εδάφους. Η βασική κατεργασία που υφίσταται το έδαφος από τον καλλιεργητή είναι η αναμόχλευση (χαλάρωση και θρυμματισμός) χωρίς την αναστροφή του εδάφους. Δεν επιτυγχάνεται πλήρης ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων ενώ αυτή μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση των κατάλληλων τύπων υνιών.

Οι καλλιεργητές ανάλογα για το σκοπό που προορίζονται και για τον οποίο είναι κατασκευασμένοι μπορούν να διακριθούν σε:

- Υπεδαφοκαλλιεργητές (subsoilers)
- Καλλιεργητές «*βαρέως τύπου*» ή «*βαρείς καλλιεργητές*» (chisels)
- Καλλιεργητές «*μέσου τύπου*» ή «*μέσοι καλλιεργητές*»
- Καλλιεργητές «*ελαφρού τύπου*» ή «*ελαφροί καλλιεργητές*» (field cultivator) ή «*οδοντωτές σβάρνες με ελατηριωτά σώματα*».

Οι υπεδαφοκαλλιεργητές είναι και αυτοί εργαλεία με ελάσματα και χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση της συμπίκνωσης του εδάφους και την καταστροφή του αδιαπέραστου ορίζοντα που προκαλείται από την συνεχόμενη κατεργασία στο ίδιο βάθος. Έχουν ενισχυμένο πλαίσιο και στιβαρή κατασκευή, καθώς και όλα τα εξαρτήματά τους είναι και αυτά από ανθεκτικά υλικά. Έχουν τη δυνατότητα να κατεργάζονται το έδαφος σε μεγάλα βάθη μεταξύ 40 και 80cm ενώ μπορούν να φτάσουν και σε βάθος 100cm. Με την προσθήκη ειδικών εξαρτημάτων στα υνιά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη διευκόλυνση της αποστράγγισης των εδαφών δημιουργώντας ένα δίκτυο προσωρινών υπόγειων σωλήνων.

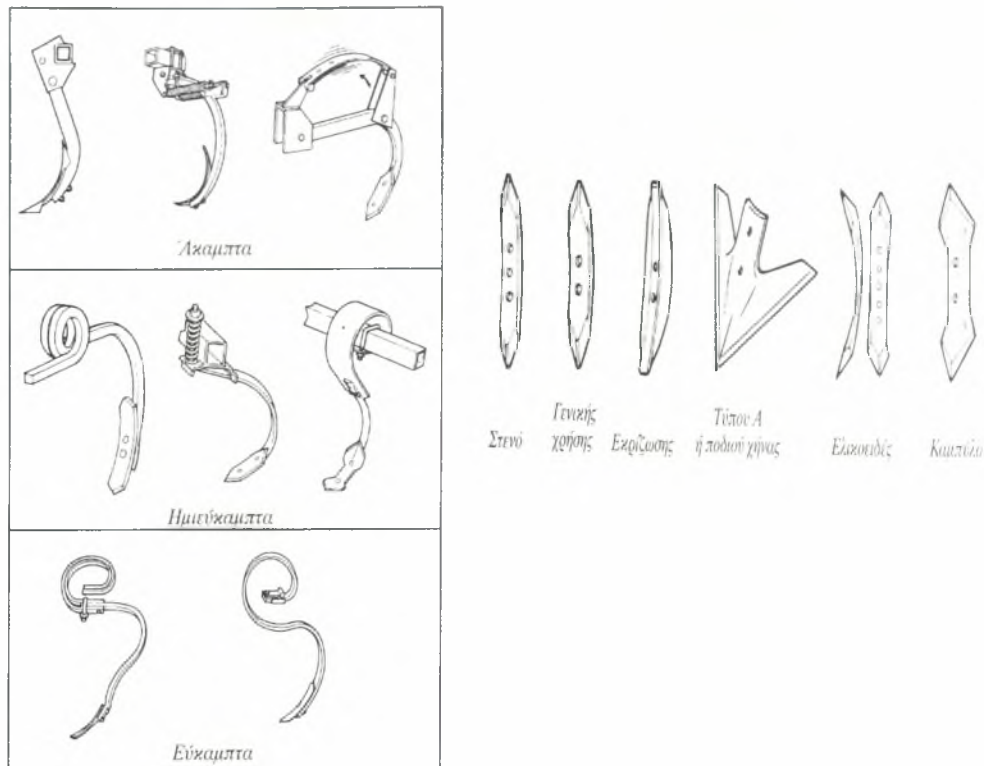
Οι βαρείς καλλιεργητές προορίζονται κυρίως για πρωτογενή κατεργασία του εδάφους σε βάθη εργασίας μεταξύ 20-35cm. Επειδή μπορούν να φτάσουν και σε μεγαλύτερα βάθη από του υναρότρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταστροφή του σκληρού ορίζοντα. Για να επιτύχουν μεγάλα βάθη έχουν αρκετό βάρος από 200 έως 500kg ανά μέτρο πλάτους κατεργασίας (Τσατσαρέλης 2000) και θα πρέπει να έχουν στιβαρή κατασκευή με ανθεκτικό πλαίσιο. Το πλαίσιο φέρει 2 έως 4 μεταλλικές ράβδους-εργαλειοδοκούς πάνω στους οποίους στερεώνονται τα σκαπτικά εξαρτήματα που θα πρέπει επίσης να είναι αρκετά ανθεκτικά ώστε να υπερνικούν τις αυξημένες αντιστάσεις του εδάφους και να μην καταστρέφονται. Αυτά τα εξαρτήματα είναι συνήθως ελάσματα άκαμπτα ή ημιεύκαμπτα (Σχ.1) και στη μία πλευρά, στο σημείο πρόσδεσης με το πλαίσιο μπορεί να φέρουν μηχανισμούς ασφαλείας (ελατήρια, κοχλίες διατμήσεως, κ.ά) ώστε να υποχωρούν χωρίς να καταστρέφονται όταν συναντήσουν κάποιο ισχυρό εμπόδιο στο έδαφος κατά την εργασία τους. Η άλλη πλευρά των στελεχών φέρει υποδοχή για την τοποθέτηση των υνιών (Σχ.1) τα οποία είναι ανθεκτικά, διαφόρων σχημάτων και μεγεθών αναλόγως την εργασία την οποία καλούνται να επιτελέσουν.

Οι μεγάλες αποστάσεις που τοποθετούνται τα στελέχη μεταξύ τους (25-60cm) και η τοποθέτησή τους σε διαδοχικές σειρές (στις εργαλειοδοκούς) καθώς και το μεγάλο σχετικά ελεύθερο ύψος του πλαισίου (60-85cm) επιτρέπουν τη διέλευση των φυτικών υπολειμμάτων μεταξύ των στελεχών με συνέπεια το μηχάνημα να μην «μπουκώνει».

Οι ελαφρείς καλλιεργητές ή οδοντωτές σβάρνες με ελατηριωτά σώματα προορίζονται μόνο για δευτερογενή κατεργασία. Είναι συνήθως ελαφριάς κατασκευής και εργάζονται σε μικρά βάθη (5-15cm). Λόγω του μικρού βάθους και του

γεγονότος ότι προορίζονται πολλές φορές για την τελική προετοιμασία του εδάφους πριν τη σπορά όπου το έδαφος πρέπει να είναι επίπεδο τα ελάσματα που χρησιμοποιούνται είναι μικρού πλάτους και πολλά σε αριθμό ώστε να κατεργάζονται όλη την επιφάνεια του εδάφους στο βάθος εργασίας τους. Τα ελάσματα επίσης που χρησιμοποιούνται είναι ως επί το πλείστον εύκαμπτα (Σχ.1) γιατί η ελαστικότητά τους προκαλεί επιπλέον θρυμματισμό των βόλων λόγω των ταλαντώσεων που προκαλούνται εξαιτίας του σχήματος και της ταχύτητας εργασίας. Τα υνιά που χρησιμοποιούνται είναι και αυτά ελαφριάς κατασκευής και πιο στενά. Το διάκενο μεταξύ των στελεχών (10-20cm) παρά την τοποθέτησή τους σε διαδοχικές σειρές καθώς και το ελεύθερο ύψος του πλαισίου (45-60cm) είναι μικρά, για αυτό και δεν μπορούν να εργαστούν ικανοποιητικά έστω και με την παρουσία λίγων φυτικών υπολειμμάτων.

Μια ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ των βαρέων και ελαφρών καλλιεργητών είναι οι μέσοι καλλιεργητές. Το πλαίσιο είναι σχετικά ανθεκτικής κατασκευής αλλά τα υλικά που το αποτελούν είναι μικρότερων διαστάσεων (διατομή, πάχος) από αυτά του βαρέως τύπου. Τα ελάσματα είναι και αυτά μικρότερων διατομών, συνήθως ημιεύκαμπτα και σε μερικές κατασκευές άκαμπτα (Σχ.1), ενώ τα υνιά που χρησιμοποιούνται είναι παραπλήσιων τύπων με του βαρύ καλλιεργητή με μικρότερα όμως πλάτη. Το βάθος κατεργασίας κάτω όμως από ευνοϊκές συνθήκες (χαλαρό έδαφος, δευτερογενής κατεργασία) μπορεί να φτάσει και τα βάθη αρόσεως. Τα συνήθη όμως βάθη είναι 10-20cm. η απόσταση μεταξύ των στελεχών κυμαίνεται από 20 έως 25 cm και τοποθετούνται σε δύο ή τρεις σειρές (εργαλειοδοκοί). Το ελεύθερο ύψος του πλαισίου που βρίσκεται στα 60 έως 75 cm σε συνδυασμό με τις αυξημένες αποστάσεις των στελεχών στην ίδια σειρά, η οποία είναι διπλάσια ή τριπλάσια (ανάλογα με τον αριθμό των σειρών) από την απόσταση των στελεχών (20-25cm) τα οποία είναι τοποθετημένα, βοηθούν στον περιορισμό των εμπλοκών (μπουκώματα) από τα φυτικά υπολείμματα.



Σχήμα 1:Στελέχη και υνιά που χρησιμοποιούνται στους καλλιεργητές (Τσατσαρέλης 2000)

Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του τύπου καλλιεργητή είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους κυρίως για καλλιέργειες που δεν αναπτύσσουν βαθύ ριζικό σύστημα, όσο και για δευτερογενή κατεργασία (Γέμτος 2002). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα κυρίως για τα χειμερινά αγρωστώδη είναι ότι με ένα μόνο πέρασμα μπορούμε να δημιουργήσουμε τις κατάλληλες συνθήκες για σπορά. Η διαδικασία αυτή εντάσσεται στα συστήματα που σκοπό έχουν την αειφορική διαχείριση του εδάφους. Το οικονομικό αποτέλεσμα είναι άμεσο από τη μείωση του κόστους παραγωγής ενώ οι αποδόσεις δεν υπολείπονται αυτών με τη συμβατική κατεργασία του εδάφους. Για την Ελλάδα, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι παραγωγοί στην περιοχή της Θεσσαλίας οι οποίοι για να περιορίσουν το κόστος, όταν πρόκειται να σπείρουν σιτάρι έπειτα από βαμβάκι, σπέρνουν στην επιφάνεια του εδάφους αφού πρώτα κατεργαστούν το έδαφος με έναν καλλιεργητή ο οποίος πραγματοποιεί μια επιφανειακή αναμόχλευση αφήνοντας τα βαμβακοστελέχη όρθια. Σε άλλες περιπτώσεις πάλι πραγματοποιούν απ' ευθείας σπορά στα υπολείμματα της βαμβακοκαλλιέργειας (Gemtos et al., 1998). Άλλες μελέτες (Hamlett et al., 1983) έδειξαν ότι η μειωμένη κατεργασία σε σχέση με την

παραδοσιακή είχε ως αποτέλεσμα το τετραπλασιασμό περίπου του καθαρού κέρδους του παραγωγού.

Το μηχάνημα χρησιμοποιείται στα περισσότερα συστήματα κατεργασίας είναι δεδομένη ενώ σε μερικά από αυτά είναι το κύριο μηχάνημα κατεργασίας.

Στη συμβατική κατεργασία χρησιμοποιείται αναλόγως του είδους των καλλιεργειών και των καλλιεργητικών πρακτικών για τις ελληνικές συνθήκες. Στις εαρινές καλλιέργειες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αρχική δευτερογενή κατεργασία ώστε να θρυμματίζει τους μεγάλους σβώλους που έχουν δημιουργηθεί από την άροση και να καταστρέψει ζιζάνια που πιθανόν να έχουν αναπτυχθεί. Ταυτόχρονα ισοπεδώνει την επιφάνεια του εδάφους και την συμπιέζει ελαφρώς ώστε να μπορούν να εργαστούν ικανοποιητικά τα υπόλοιπα μηχανήματα προετοιμασίας της σποροκλίνης με μικρό βάθος κατεργασίας, γιατί χρειάζονται πιο επίπεδο έδαφος και ελεύθερο από ζιζάνια. Στις χειμερινές καλλιέργειες μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά την άροση και πριν τη σπορά για την τελική προετοιμασία της σποροκλίνης μιας και οι συγκεκριμένες καλλιέργειες δεν χρειάζονται έντονα ψιλοχωματισμένο έδαφος για τη σπορά.

Στα περισσότερα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους και για πληθώρα καλλιεργειών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο συγκεκριμένος τύπος καλλιεργητή, εκτός εκείνων των συστημάτων όπου δεν χρησιμοποιούνται καθόλου μηχανήματα για την κατεργασία του εδάφους (No-tillage) ή χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα κατεργασίας (strip & ridge tillage). Ο μέσος καλλιεργητής έχει μικρότερες απαιτήσεις σε έλξη από ότι το άροτρο και μεγαλύτερο πλάτος κατεργασίας με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη απόδοση ενώ δεν ενσωματώνει πλήρως τα υπολείμματα. Τα χαρακτηριστικά αυτά το καθιστούν ένα από τα μηχανήματα αντικατάστασης του αρότρου στα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους.

3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΛΞΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΩΝ

3.1 Γενικά

Η περιγραφή των μηχανημάτων και των οργάνων που χρησιμοποιούνται στις έρευνες είναι σημαντική ώστε να είναι κατανοητά και συγκρίσιμα διαφορετικά πειραματικά αποτελέσματα. Η πλήρης περιγραφή μας επιτρέπει να αναπαράγουμε τις πειραματικές συνθήκες για την χρησιμοποίησή τους σε άλλες έρευνες.

Κατά καιρούς έχουν γίνει διάφορες έρευνες και έχουν δείξει ότι διαφορετικοί τύποι μηχανημάτων κατεργασίας έχουν διαφορετική επίδραση στο έδαφος και στις καλλιέργειες (Καβαλάρης 2004). Το πρόβλημα των ερευνών αυτών είναι ότι δεν περιγράφουν πλήρως τις συνθήκες πειραματισμού, ενώ η περιγραφή των μηχανημάτων και οργάνων που χρησιμοποιούνται είναι ελλιπή (Marques da Silva and Soares 2000).

Η κατεργασία με καλλιεργητή αποτελεί ένα άλλο εναλλακτικό σύστημα επιφανειακής κατεργασίας. Οι καλλιεργητές συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με δισκοσβάρνα ή άλλα εργαλεία. Η κατεργασία με καλλιεργητή αφήνει στην επιφάνεια περισσότερα φυτικά υπολείμματα απ' ό,τι η κατεργασία με δισκοσβάρνα (70-80%). Αποτελεί μία πολύ αποτελεσματική για τον έλεγχο ζιζανίων κατεργασία γιατί αποκόπτει το υπέργειο τμήμα από τη ρίζα και τα αφήνει εκτεθειμένα στην επιφάνεια του εδάφους όπου και ξηραίνονται. Η μικρή παρενόχληση (αναστροφή) του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα επίσης καλύτερη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας.

Η κατεργασία με καλλιεργητή όπως και η αντίστοιχη με δισκοσβάρνα περιορίζει πολύ το χρόνο της προετοιμασίας, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν εργαλεία μεγάλου πλάτους με σχετικώς μεγάλη ταχύτητα και με μικρή απαίτηση ισχύος. Συνήθως αφήνει στην επιφάνεια βώλους, αν το έδαφος δεν είναι στο ρόγο του, γεγονός που απαιτεί καλύτερη προετοιμασία σποροκλίνης.

Τα δυνητικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι: Αφήνει στην επιφάνεια αρκετά φυτικά υπολείμματα ώστε να προστατεύεται το έδαφος από τη διάβρωση. Επιτρέπει καλή προσρόφηση νερού από το έδαφος. Οι εργασίες γίνονται πολύ γρήγορα. Δεν απαιτεί μεγάλης ισχύος ελκυστήρες. Καταστρέφει αποτελεσματικά τα ζιζάνια.

Τα αντίστοιχα μειονεκτήματα είναι: Δεν αποδίδει ικανοποιητικά όταν υπάρχουν ογκώδη φυτικά υπολείμματα. Δεν προσαρμόζεται ικανοποιητικά σε υγρά εδάφη. Δεν ενσωματώνονται οι σπόροι των ζιζανίων. Απαιτεί πρόσθετη εργασία για ενσωμάτωση φυτοφαρμάκων.



Σχήμα 2: Κατεργασία με καλλιεργητή

Οι ελλείψεις της πλήρους περιγραφής των καλλιεργητών καθιστούν αδύνατη τη σύγκριση διαφορετικών πειραμάτων μέσα στο χώρο και στο χρόνο. Για να μπορέσει να είναι εφικτή μια τέτοια σύγκριση θα πρέπει να υπάρχει ένα πρότυπο για την περιγραφή των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στην πειραματική διαδικασία. Σύμφωνα με τους Marques da Silva and Soares (2000) για την περιγραφή του καλλιεργητή θα πρέπει τουλάχιστον να αναφέρονται:

- Ο αριθμός των σειρών των σωμάτων και η απόσταση μεταξύ τους,
- Ο αριθμός των στελεχών και η απόσταση μεταξύ τους,
- Ο τύπος των στελεχών, άκαμπτα ή εύκαμπτα στελέχη.
- Το πλάτος κατεργασίας, του μηχανήματος.
- Ο τύπος των υνιών,
- Το πλαίσιο,
- Η ταχύτητα της εργασίας και
- Το βάθος κατεργασίας.

3.2 Εκτίμηση της έλξης

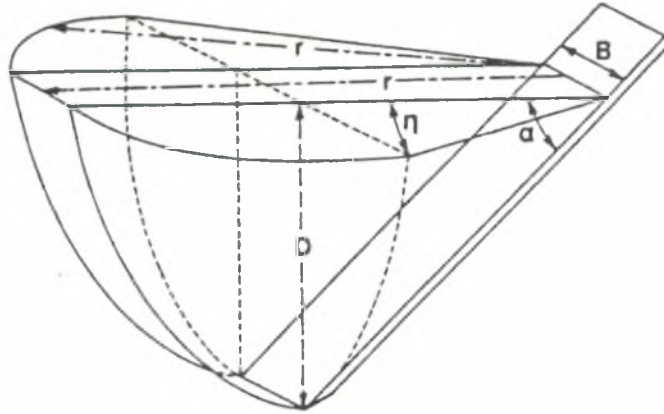
Για να εκτιμηθεί η ποιότητα κατασκευής ενός καλλιεργητή από ενεργειακή άποψη θα πρέπει να μετρηθούν οι δυνάμεις που είναι απαραίτητες για την έλξη του συγκεκριμένου μηχανήματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Μερικές από τις παραμέτρους που επηρεάζουν το μέγεθος των ελκτικών δυνάμεων για τις ίδιες εδαφικές συνθήκες είναι: το πλάτος και το σχήμα του υνιού, το βάθος και η ταχύτητα κατεργασίας, καθώς και η γωνία κλίσης των υνιών (Perumpal et al., 1983). Εκτός των παραμέτρων του μηχανήματος έντονη επίδραση έχουν και οι εδαφικές συνθήκες όπως ο τύπος εδάφους, η προϊστορία, η υγρασία και άλλες φυσικές ιδιότητές του.

Πέρα από την επίδραση των προηγούμενων παραμέτρων στις αναπτυσσόμενες ελκτικές δυνάμεις σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας εργασίας είναι η επίδραση στην ποιότητα της πραγματοποιούμενης εργασίας. Το μέγεθος των συσσωματωμάτων (σβόλων), η ομοιομορφία της κατεργασμένης επιφάνειας και η ομοιομορφία του βάθους κατεργασίας είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που μπορούν να μετρηθούν για να εκτιμηθεί η ποιότητα της παραγόμενης εργασίας του μηχανήματος και να προταθεί για χρήση σε συγκεκριμένες καλλιέργειες και για συγκεκριμένες καλλιεργητικές φροντίδες (πρωτογενή ή δευτερογενή κατεργασία).

3.2.1 Θεωρίες διάτμησης και αναμόχλευσης του εδάφους από τα εργαλεία κατεργασίας του εδάφους

Το έδαφος είναι ένα ιδιαίτερα ανομοιογενές και ανισότροπο υλικό και για αυτό η μελέτη της δυναμικής του συμπεριφοράς κατά την κατεργασία παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Σε μια προσπάθεια αρχικής προσέγγισης και ερμηνείας του φαινομένου, ο Mckyes (1989) αναφέρει ότι οι Hettiarachi and Reece (1967) ανέπτυξαν τη «*θεωρία της θραύσης δύο διαστάσεων*» υποθέτοντας μια απλοποιημένη μορφή ενός εργαλείου κατεργασίας το οποίο στην ουσία ήταν μια ορθογώνια πλάκα μεγάλου πλάτους (αναλογία πλάτους/βάθους $> 10/1$) που προσομοιάζε την λεπίδα ενός ισοπεδωτή γαιών, έτσι ώστε οι κύριες δυνάμεις να αναπτύσσονται μπροστά από το μέτωπο κίνησης της επιφάνειας ενώ οι δυνάμεις που αναπτύσσονται δεξιά και αριστερά της επιφάνειας να θεωρούνται αμελητέες. Οι καλλιεργητές όμως είναι μηχανήματα που φέρουν ελάσματα με μικρό πλάτος (με μεγάλο λόγο «*ύψους/πλάτος ελάσματος*») (Koolen and Kuipers 1983) και η διάτμηση του εδάφους δεν συμβαίνει μόνο μπροστά από το εργαλείο κατεργασίας αλλά

επεκτείνεται δεξιά και αριστερά (τρισδιάστατη διάτμηση) σχηματίζοντας δύο ελλειπτικές επιφάνειες με σχήμα μισοφέγγαρου (Godwin και Spoor 1977) Σχ.3.



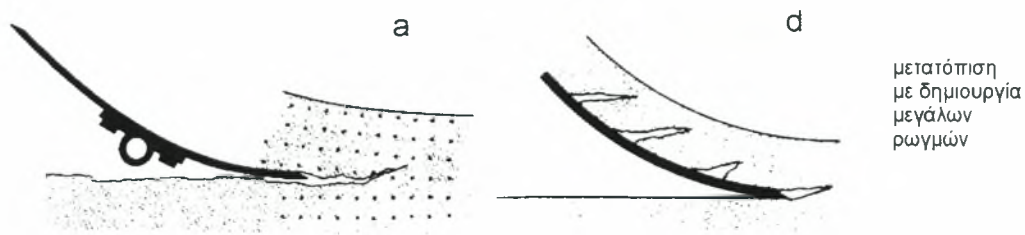
Σχήμα 3: Διάτμηση τριών διαστάσεων μπροστά από εργαλεία μικρού πλάτους.

Κατά την κίνηση ενός στενού ελάσματος μέσα στο έδαφος, μπορούν να διακριθούν τρεις μορφές μετατόπισης του εδάφους (Koolen and Kuipers 1983):

- Η παραμορφωτική μετατόπιση
- Η μετατόπιση κατά την οποία δημιουργούνται ρωγμές
- Η μετατόπιση κατά την οποία σχηματίζονται επιφάνειες διάσπασης.

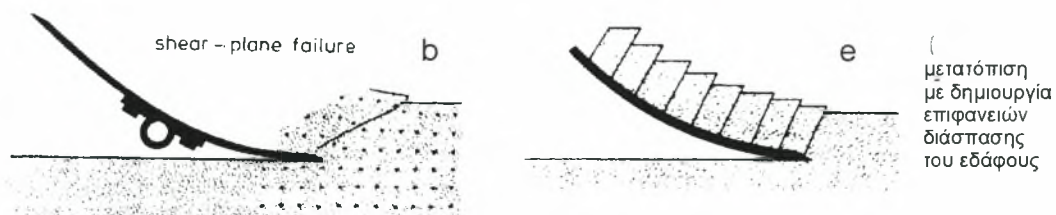
Στην περίπτωση της παραμορφωτικής μετατόπισης, το έδαφος συμπιέζεται ή εναποτίθεται στην επιφάνεια, μπροστά από το έλασμα ή εκατέρωθεν αυτού, δεξιά και αριστερά από τη διεύθυνση της κίνησης, σχηματίζοντας μια αυλακιά και δεν ακολουθεί το σχήμα της επιφάνειας του ελάσματος, όπως συμβαίνει με τα πλατιά ελάσματα. Το πλάτος της αυλακιάς είναι στενό και τα τοιχώματά της είναι σταθερά και συμπαγή. Η μορφή αυτή της μετατόπισης παρατηρείται όταν χρησιμοποιούνται πολύ λεπτά ελάσματα καθώς και όταν αυτά κινούνται με μεγάλη ταχύτητα (π.χ εργαλεία διάνοιξης αυλακιάς). Το φαινόμενο επίσης παρατηρείται και όταν η κατεργασία του εδάφους γίνεται σε υψηλά επίπεδα υγρασίας.

Στην δεύτερη περίπτωση η αιχμή του ελάσματος διασπά το έδαφος σχηματίζοντας μια ρωγή η οποία εκτείνεται σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη διεύθυνση και παρατηρείται όταν τα ελάσματα έχουν μεγάλη κλίση προς τα εμπρός. Η μετατόπιση του εδάφους είναι όμοια με αυτή που παρατηρείται με τα πλατιά ελάσματα (Σχ.4).



Σχήμα 4: Μετατόπιση του εδάφους με τη δημιουργία ρωγμών όταν η κατεργασία γίνεται με πλατιά ελάσματα. (Koolen and Kuipers 1983)

Τέλος, στη διατμηματική μορφή μετατόπισης προκαλείται χαλάρωση της εδαφικής επιφάνειας, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των πλατιών ελασμάτων (Σχ.5). Η μορφή αυτή της μετατόπισης είναι αυτή που ενδιαφέρει να συμβαίνει κατά την κατεργασία του εδάφους, διότι με τις διατμηματικές επιφάνειες που δημιουργούνται το έδαφος χαλαρώνει και βελτιώνεται το πορώδες. Παρατηρείται όταν τα ελάσματα είναι κατακόρυφα ή έχουν ελαφρά κλίση προς τα εμπρός.

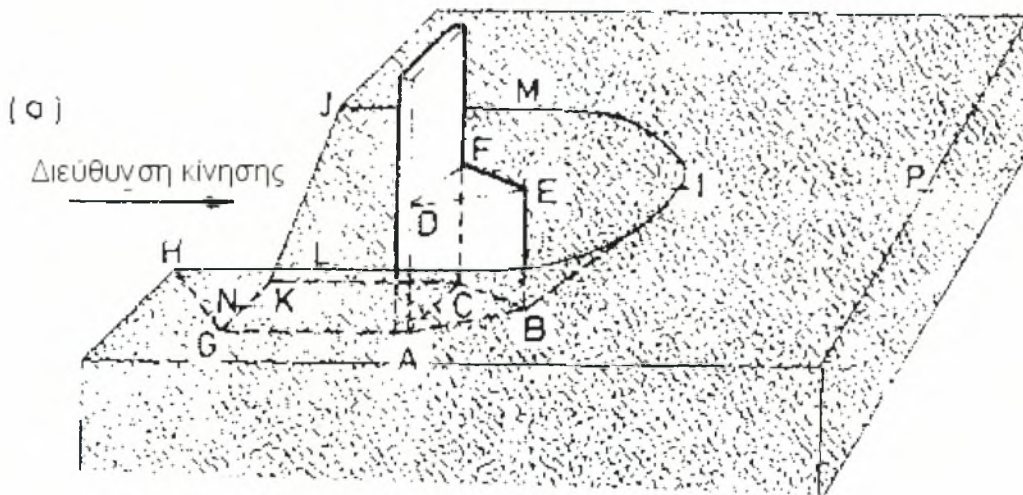


Σχήμα 5: Μετατόπιση του εδάφους με τη δημιουργία επιφανειών διάσπασης όταν η κατεργασία γίνεται με πλατιά ελάσματα. (Koolen and Kuipers 1983).

Η αιχμή του ελάσματος τείνει να μετακινήσει το έδαφος προς τα πάνω αναπτύσσοντας ένα σταδιακά αυξανόμενο πεδίο διατμηματικών τάσεων. Μόλις η διατμηματική τάση που ασκεί το εργαλείο γίνει ίση με την αντοχή του εδάφους, δημιουργείται μια επιφάνεια διάτμησης η οποία εκτείνεται μέχρι την εδαφική επιφάνεια. Το κομμάτι του εδάφους που αποκόπτεται μετακινείται προς τα πάνω κατά μήκος της επιφάνειας του εργαλείου. Στιγμαία, αμέσως μετά τη δημιουργία της διατμηματικής επιφάνειας, η αντοχή του εδάφους πέφτει ενώ καθώς η αιχμή του εργαλείου συνεχίζει να κινείται οριζόντια, αναπτύσσεται ένα νέο πεδίο διατμηματικών τάσεων και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η διατμηματική μετατόπιση του εδάφους σε μια ορισμένη χρονική στιγμή κατά την κατεργασία του εδάφους με ένα στενό κατακόρυφο έλασμα. Μπροστά ακριβώς από το έλασμα υπάρχει μια συμπαγής μάζα χώματος η οποία έχει τη μορφή σφήνας. Κατά τη διάρκεια της κίνησης του

ελάσματος, η σφήνα του εδάφους κινείται σταδιακά προς τα πάνω και το ανώτερο τμήμα της εναποτίθεται σε κανονικά διαστήματα δεξιά και αριστερά στην επιφάνεια του εδάφους. Η σφήνα αναπληρώνεται με χώμα το οποίο προστίθεται στην κατώτερη επιφάνεια αυτής. Το χαλαρό έδαφος, μπροστά και πλάι από το έλασμα κινείται προς τα εμπρός, προς τα πάνω και προς το πλάι και αφού περάσει το έλασμα, μέρος αυτού επιστρέφει στην αυλακιά που αυτό δημιούργησε. Ακριβώς πίσω από το έλασμα, έχει ένα αυλάκι, το οποίο μερικώς ξαναγεμίζει με χώμα, με συνέπεια, να σχηματίζεται ένα ίχνος από τα σημεία που πέρασε το έλασμα. Ένα άλλο τμήμα εδάφους, έχει μετακινηθεί και κείτεται στην επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 6 : Διατμηματική μετατόπιση του εδάφους κατά την κατεργασία με ένα στενό έλασμα (Koolen and Kuipers 1983)

Σε μη συνεκτικά εδάφη η αντίσταση στην κίνηση του ελάσματος εξαρτάται κυρίως από τη μάζα του μετακινούμενου εδάφους και συνεπώς, η ελκτική δύναμη που απαιτείται για την κίνηση του ελάσματος αυξάνει σχεδόν γραμμικά με το βάθος της κατεργασίας. Σε συνεκτικά εδάφη ωστόσο, η αντίσταση έλξης είναι σχεδόν ανάλογη του τετραγώνου του βάθους κατεργασίας (Perumpal et al. 1983). Γιατί;

Η αντίσταση στην έλξη είναι επίσης ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας με την οποία το έλασμα κινείται στο έδαφος (Koolen and Kuipers 1983). Η επίδραση της ταχύτητας στην έλξη δεν έχει την ίδια επίπτωση σε όλο το φάσμα των ταχυτήτων. Υπάρχει ένα όριο ταχύτητας που ονομάζεται κριτική ή κρίσιμη ταχύτητα ($critical\ speed = \sqrt{5g(w+0.6d)}$), όπου (w) το πλάτος του υνιού και (d) το βάθος κατεργασίας, κάτω από το οποίο οι δυνάμεις αδράνειας του εδάφους που αναμοχλεύεται είναι αμελητέες και δεν έχουν σημαντική επίπτωση στην αύξηση της ελκτικής δύναμης (Wheeler and Godwin 1996).

Η γεωμετρία του εργαλείου κατεργασίας επηρεάζει τόσο το μέγεθος της απαιτούμενης ελκτικής δύναμης όσο και το μέγεθος των συσσωματωμάτων που παράγονται. Η αύξηση του πλάτους των υνιών αυξάνει γραμμικά την ελκτική δύναμη (Perumpral et al. 1983). Γενικά, τα στενότερα εργαλεία δημιουργούν περισσότερες διατμηματικές επιφάνειες στο έδαφος από ότι τα εργαλεία μεγαλύτερου πλάτους με συνέπεια να παράγονται μικρότερα συσσωματώματα ενώ απαιτούν μικρότερη δύναμη έλξης. Ο McKeyes (1989) αναφέρει ότι ο Gill και McCreery το 1960 πραγματοποίησαν δοκιμές με εργαλεία διαφορετικού πλάτους, που κατεργάζονταν το έδαφος σε ένα βάθος 17 cm διαπιστώνοντας ότι αν και το μεγαλύτερο πλάτους εργαλείο απαιτούσε 3,5 φορές μεγαλύτερη ελκτική δύναμη από το στενότερο, ο όγκος του εδάφους που κατεργαζόταν, ήταν 8 φορές μεγαλύτερος με συνέπεια να αποδεικνύεται αποτελεσματικότερο στην κατεργασία μεγαλύτερου όγκου εδάφους.

Κατά τους Perumpral et al. (1983), η αύξηση της γωνίας (εμπρόσθια κατά την διεύθυνση κίνησης) που σχηματίζει το εργαλείο κοπής (υνί) με την επιφάνεια του εδάφους επιφέρει και αύξηση στην έλξη. Σε μεγάλες γωνίες κοντά στην κατακόρυφη θέση δεν υπάρχει υψηλή συσχέτιση στη γραμμική σχέση. Σε κάθε περίπτωση όμως σε μικρές γωνίες η ελκτική δύναμη είναι κατά κανόνα μικρότερη από τις μεγάλες γωνίες.

Οι Barnacki et al. (1972) για να εκτιμήσουν την αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση ενός καλλιεργητή πρότειναν την ακόλουθη σχέση:

$$K_x = a \times (B_k/n) \times P_k \quad \text{σε (N)}$$

K_x = αντίσταση ανά στέλεχος (N)

a = βάθος εργασίας (cm)

B_k = πλάτος κατεργασίας του καλλιεργητή (cm)

n = αριθμός των στελεχών

P_k = ειδική αντίσταση του εδάφους (N/cm²)

Για βάθος 15cm η ειδική αντίσταση δίνεται για διάφορα εδάφη ως εξής:

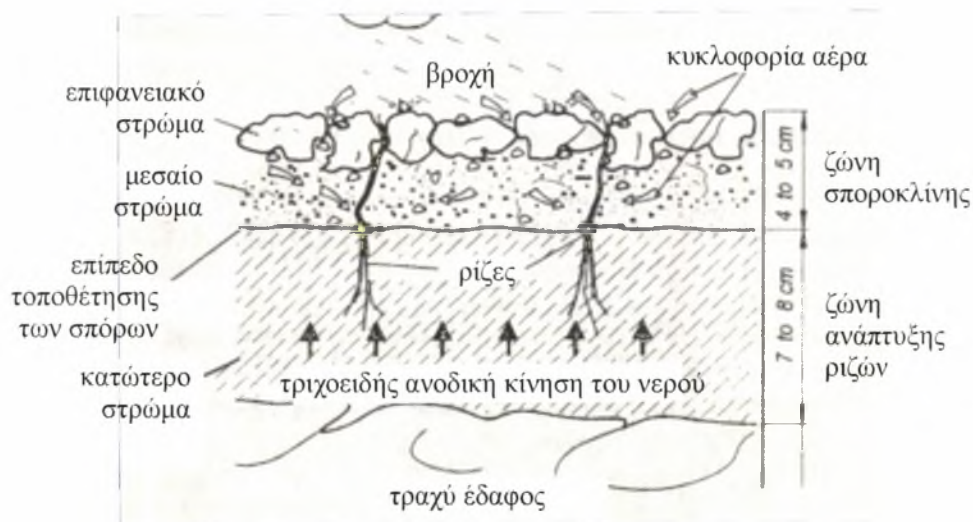
Ελαφρύ έδαφος: 1,2N/cm²

Μέσο έδαφος: 1,5N/cm²

Βαρύ έδαφος: 2,0 N/cm²

Πολύ βαρύ έδαφος: 2,5 N/cm²

Η δημιουργία μιας ομοιόμορφα ψιλοχωματισμένης και και μικρού βάθους σποροκλίνης είναι πρωταρχικής σημασίας για την αποτελεσματική εγκατάσταση της καλλιέργειας. Σύμφωνα με τους Weise and Bourarach, (1999) κατά την προετοιμασία της σποροκλίνης, θα πρέπει να επιδιώκεται η δημιουργία μιας στρωματοποιημένης επιφάνειας εδάφους (Σχήμα 7). Στο βάθος όπου θα τοποθετηθούν οι σπόροι το έδαφος πρέπει να είναι ψιλοχωματισμένο ώστε να έχει καλή επαφή με το σπόρο. Πάνω από αυτό το βάθος θα πρέπει να υπάρχει ένα λεπτό στρώμα από μικρά εδαφικά συσσωματώματα τα οποία θα προστατεύουν τους σπόρους, θα διατηρούν την εδαφική υγρασία, θα επιτρέπουν τον αερισμό και ταυτόχρονα θα αποτρέπουν τη δημιουργία κρούστας από έντονη βροχόπτωση ή άρδευση με μεγάλες σταγόνες. Τέλος, κάτω από το βάθος σποράς, το πορώδες δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο και το έδαφος να συνίσταται από εδαφικά συσσωματώματα τόσο μικρού, όσο και μεγάλου μεγέθους.



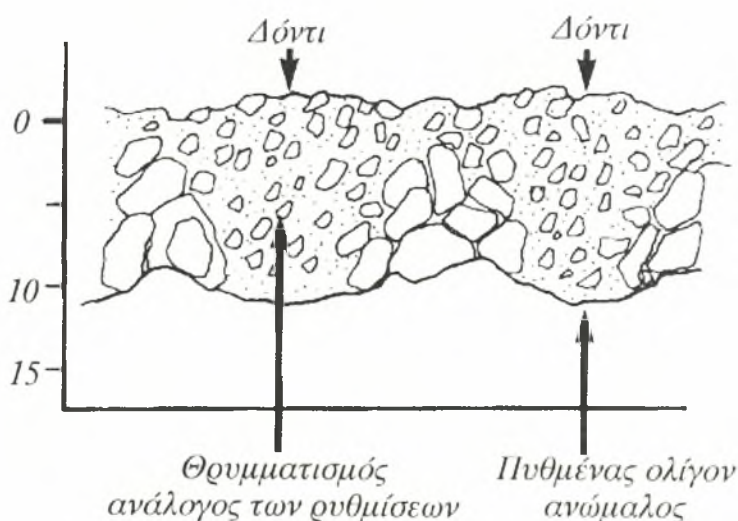
Σχήμα 7: Στρωματοποιημένη σποροκλίνη (προσαρμογή από Weise and Bourarach).

Από την άλλη πλευρά όμως τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν την τάση να δημιουργούν ένα σκληρό επιφανειακό στρώμα (ταράτσωμα – κρούστα) με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται το φύτευμα και σε μερικές περιπτώσεις να υπάρχει και ολοκληρωτική αποτυχία. Η επιτυχία στο φύτευμα εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως η καλλιέργεια (είδος/μέγεθος του σπόρου), η εποχή σποράς (θερμοκρασία, υγρασία), ο τύπος του εδάφους και πολλούς άλλους.

Για την καλλιέργεια των χειμερινών σιτηρών μεγαλύτερο βάρος έχει πέρα από την ποσότητα και την ποιότητα του σπόρου (βλαστικότητα), η υγρασία του εδάφους. Σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας έχουμε καθυστέρηση ή και αναστολή του

φυτρώματος, με αποτέλεσμα την απώλεια σπόρων από διάφορους εχθρούς ή και την ξήρανση των νεαρών φυτών λόγω έλλειψης νερού. Η δημιουργία κρούστας δεν φαίνεται να δημιουργεί σημαντικό πρόβλημα στην καλλιέργεια των χειμερινών σιτηρών γιατί την εποχή της σποράς υπάρχει συνήθως αρκετή υγρασία που αποτρέπει τη δημιουργία αδιαπέραστου στρώματος και ταυτόχρονα η ύπαρξη πολλών σπόρων ανά μονάδα επιφάνειας που έχουν τη δύναμη να ανασηκώσουν το έδαφος. Για το καλύτερο όμως φύτρωμα (γρήγορο και ομοιόμορφο) ακόμη και σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας πρέπει ο σπόρος να καλύπτεται καλά και να εισέρχεται σε επαφή με το χώμα σε όσο το δυνατό περισσότερο.

Τα εύκαμπτα και ημι-εύκαμπτα ελάσματα των καλλιεργητών καθώς κινούνται μέσα στο έδαφος εξαναγκάζονται σε ταλάντωση με συνέπεια να γίνεται πιο αποτελεσματικός ο θρυμματισμός των βόλων. Για να επιφέρουν ωστόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα θα πρέπει το έδαφος να βρίσκεται σε μια μάλλον εύθρυπτη κατάσταση με υγρασία η οποία να κυμαίνεται μεταξύ του ορίου συρρίκνωσης και του κατώτερου ορίου πλαστικότητας (Τσατσαρέλης 2000). Εξαιτίας της κλίσης των υνιών προς τα μπροστά ανασύρουν τους μεγαλύτερους βόλους και άλλα υλικά όπως πέτρες και ρίζες στην επιφάνεια, αφήνοντας στο κατώτερο τμήμα το ψιλοχωματισμένο έδαφος (Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Κατακόρυφα προφίλ εδάφους κατεργασμένου με καλλιεργητή (Τσατσαρέλης 2000).

Ο McKeyes (1989) αναφέρει ότι οι Gill και McCreery το 1960 στις δοκιμές που πραγματοποίησαν με εργαλεία διαφορετικού πλάτους, που κατεργάζονταν το έδαφος σε ένα βάθος 17 cm διαπίστωσαν ότι η μεσοσταθμική κατά βάρος διάμετρος

ή μέση ζυγισμένη διάμετρος (MWD) των παραγόμενων συσσωματωμάτων ήταν ανάλογη του πλάτους του εργαλείου. Στενά εργαλεία πλάτους 2,5 cm δημιουργούν συσσωματώματα με μεσοσταθμική κατά βάρος διάμετρο 3,7 cm ενώ μεγαλύτερο πλάτους εργαλεία, (>20 cm), είχαν δημιουργήσει συσσωματώματα με μεσοσταθμική κατά βάρος διάμετρο 21,9 cm.

Ο McKyes (1989) αναφέρει ακόμη ότι σε ένα άλλο πείραμα οι McKyes and Desir το 1984 δοκίμασαν εργαλεία με διαφορετικό πλάτος και κλίση για την κατεργασία ενός αργιλώδους και ενός πηλώδους εδάφους σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας, διαπιστώνοντας ότι η ποιότητα της εργασίας μετρούμενη ως η χαλάρωση της εδαφικής επιφάνειας (μείωση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας) και στους δύο τύπους εδάφους επηρεαζόταν από:

- **Την γωνία κλίσης του εργαλείου:** Αύξηση της γωνίας από τις 20⁰ στις 35⁰ συνέβαλε στη δημιουργία μιας χαλαρότερης επιφάνειας.
- **Το πλάτος της λεπίδας:** Μείωση του πλάτους από τις 1,33 φορές στις 0,25 φορές του βάθους εργασίας επέφερε μείωση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας (βελτίωση της ποιότητας της εργασίας).
- **Την εδαφική υγρασία:** Μείωση της υγρασίας από 44% στο 40% για το αργιλώδες έδαφος και από 30% στο 22% για το πηλώδες είχε ως αποτέλεσμα την βελτίωση της χαλάρωσης του εδάφους.

Όσο πιο πυκνά είναι τοποθετημένα τα υνιά τόσο πιο ομαλός θα είναι και ο πυθμένας στο βάθος κατεργασίας. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε μικρά βάθη κατεργασίας γιατί σε αυτά τα βάθη θα πρέπει να αναμοχλεύεται κατά το δυνατό όλη η επιφάνεια δημιουργώντας ομοιόμορφο θρυμματισμό στο έδαφος και ταυτόχρονα να καταστρέφονται όλα τα ζιζάνια που υπάρχουν εγκατεστημένα. Οι Godwin et al. (1984) μελέτησαν το φαινόμενο της αλληλεπίδρασης των υνιών που κατεργάζονται το έδαφος στο ίδιο βάθος και βρήκαν ότι η συνολική έλξη μειώνεται σημαντικά μειώνοντας την απόσταση από τα άκρα των υνιών, ενώ το εύρος της επιφάνειας της διάτμησης που υφίσταται το έδαφος από την κατεργασία με πολλά υνιά εξαρτάται από τη σχετική τους θέση. Συγκεκριμένα η ελάχιστη ειδική αντίσταση δηλαδή ο λόγος της συνολικής οριζόντιας δύναμης έλξης προς επιφάνεια που ένα εργαλείο κατεργάζεται το έδαφος, πετυχαίνεται με την τοποθέτηση των υνιών

σε σχετικές αποστάσεις από τα άκρα τους $1,4 \pm 0,25$ φορές το βάθος κατεργασίας (+ το πλάτος του υνιού). Ταυτόχρονα η ομοιομορφία του πυθμένα στο βάθος κατεργασίας γίνεται μέγιστη. Αυτό οφείλεται στην αλληλεπίδραση διπλανών υνιών που εάν εργαζόταν μόνα τους θα αναμόχλευαν μια επιφάνεια αναστραμμένου τριγώνου με τη βάση του στην επιφάνεια του εδάφους και πλάτος λιγότερο από το διπλάσιο του βάθους κατεργασίας (Σχήμα 6). Με την αλληλεπίδραση όμως αναμοχλεύεται περισσότερο έδαφος στην περιοχή του πυθμένα ενδιάμεσα των υνιών κάνοντάς τον έτσι ομαλότερο (Σχήμα 9).



Σχήμα 9: Αναμόχλευση του εδάφους από δύο υνιά που έχουν αλληλεπίδραση όταν κατεργάζονται το έδαφος στο ίδιο βάθος.

3.2.2 Παράμετροι του εδάφους

Αυτό που συμβαίνει κατά την μηχανική κατεργασία του εδάφους είναι ότι ασκούνται σε αυτό τάσεις οι οποίες προκαλούν διάτμηση, συμπίεση, εφελκυσμό, παραμόρφωση ή απλώς αναμόχλευση του εδάφους. Από τις δράσεις αυτές, εκείνες που οδηγούν στην χαλάρωση της εδαφικής στοιβάδας είναι οι εφελκυστικές και διατμηματικές τάσεις οι οποίες προκαλούν την αποκοπή και την ολίσθηση ενός τμήματος εδάφους πάνω σε ένα άλλο αλλά και οι συμπιεστικές τάσεις όταν υπερβούν ένα όριο προκαλούν και πάλι διάτμηση του εδάφους. Ο τύπος της αντίδρασης του εδάφους βέβαια, εξαρτάται κατ' αρχάς από την περιεχόμενη υγρασία. Σημαντικό

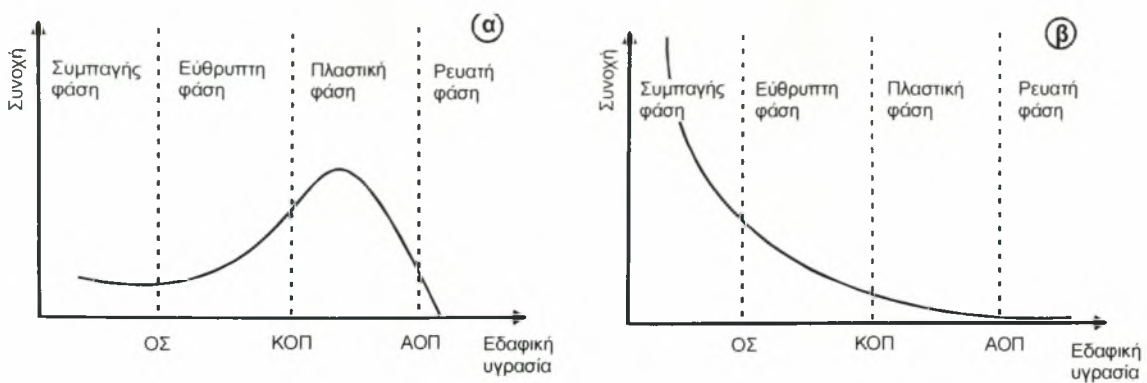
ρόλο ωστόσο παίζουν και άλλες παράμετροι όπως είναι η μηχανική σύσταση και η δομή του εδάφους.

Η μηχανική σύσταση παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην συμπεριφορά του εδάφους κατά την κατεργασία. Τα αμμώδη και χαλαρά εδάφη είναι γενικά εύκολα στην κατεργασία για ένα μεγάλο εύρος υγρασίας. Τα εδάφη όμως αυτά είναι φτωχά από άποψη γονιμότητας και για αυτό οι αποδόσεις των καλλιεργειών είναι περιορισμένες.

Τα μέσης σύστασης εδάφη, ιλυώδη, αμμοπηλώδη και αργιλοπηλώδη θεωρούνται τα πιο γόνιμα και ιδανικά για την εγκατάσταση των καλλιεργειών. Η μηχανική κατεργασία των εδαφών αυτών παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς όσο αφορά τα επίπεδα υγρασίας που μπορεί να πραγματοποιηθεί, πλην όμως, το εύρος αυτών των επιπέδων είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι στα αργιλώδη εδάφη.

Τέλος, τα αργιλώδη εδάφη χαρακτηρίζονται και ως βαριάς σύστασης εδάφη, είναι συνήθως γόνιμα και είναι αυτά που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες δυσκολίες κατά την μηχανική κατεργασία. Όταν τα εδάφη αυτά είναι στεγνά, τείνουν να γίνουν πολύ συνεκτικά με αποτέλεσμα η κατεργασία τους να είναι σχεδόν αδύνατη. Αλλά και υγρό όταν είναι ένα αργιλώδες έδαφος είναι δύσκολο να υποστεί κατεργασία διότι παρουσιάζει έντονα πλαστικές ιδιότητες αποτρέποντας τη δημιουργία διατμηματικών επιφανειών. Επιπλέον, εξαιτίας των μεγάλων δυνάμεων συνοχής και συνάφειας, απαιτούνται μεγάλες δυνάμεις για την έλξη των εργαλείων κατεργασίας. Τα όρια της εδαφικής υγρασίας που δύναται να κατεργαστεί είναι πολύ περιορισμένα.

Εκτός από τη μηχανική σύσταση και την υγρασία, σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά του εδάφους στην κατεργασία έχει η δομή του η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την προϊστορία του εδάφους. Με τον όρο «**προϊστορία**» περιγράφονται όλες οι προηγούμενες μεταχειρίσεις και τάσεις που έχει δεχτεί το έδαφος. Ένα εντελώς χαλαρό έδαφος που δεν έχει υποστεί τάσεις συμπίεσης, σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας, παρουσιάζει μικρή συνεκτικότητα. Καθώς η υγρασία αυξάνει, το νερό αρχίζει να περιβάλλει τα εδαφικά τεμαχίδια, μεταξύ των οποίων αρχίζουν να αναπτύσσονται ηλεκτροστατικές δυνάμεις με συνέπεια το έδαφος να αρχίζει να αποκτά συνοχή (Σχήμα 10 α). Σε ακόμη μεγαλύτερα όμως επίπεδα υγρασίας οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των εδαφικών τεμαχιδίων αρχίζουν και πάλι να εξασθενούν με συνέπεια το έδαφος να εισέρχεται αρχικά στην πλαστική και τελικά στην ρευστή του φάση. Ένα συμπίεσμένο έδαφος είναι ένα έδαφος που στο προηγούμενο διάστημα της ζωής του έχει υποστεί ισχυρά φορτία με υψηλή υγρασία.



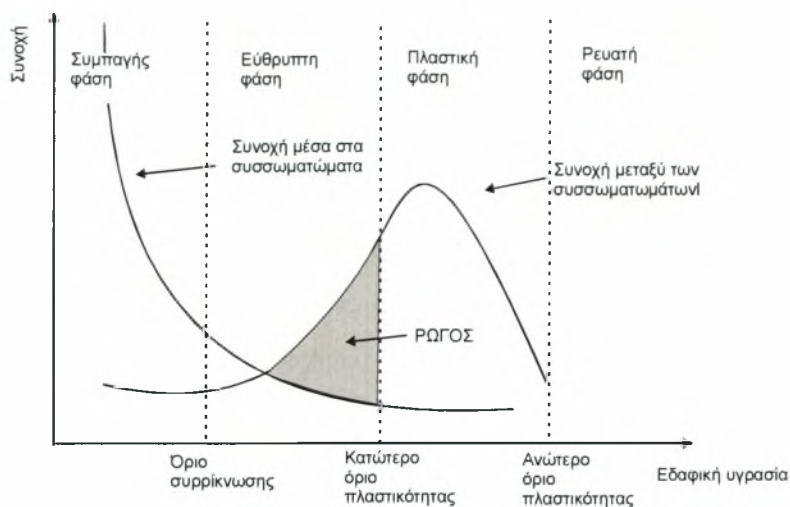
Σχήμα 10: Μεταβολή της συνοχής σε συνάρτηση με την εδαφική υγρασία για δύο εδάφη με διαφορετική προϊστορία: α) ένα χαλαρό ασυμπιεστο έδαφος και β) ένα συμπιεσμένο έδαφος. ΟΣ= Όριο συρρικνώσεως, ΚΟΠ= Κατώτερο όριο πλαστικότητας, ΑΟΠ= Ανώτερο όριο πλαστικότητας.

Όταν το έδαφος αυτό ξεραθεί, εμφανίζει μια πολύ υψηλή συνεκτικότητα. Καθώς όμως αυξάνει η υγρασία, η συνοχή του μειώνεται για να μηδενιστεί όταν το έδαφος εισέλθει στην ρευστή φάση (σχήμα 10 β).

Σε ένα κοινό τύπο εδάφους, τα βασικά ανόργανα συστατικά, της άμμου της ιλύος και της αργίλου δεν βρίσκονται μεμονωμένα αλλά σχηματίζουν διακριτικά συσσωματώματα. Η αντίδραση του εδάφους αυτού στην μηχανική κατεργασία αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο προηγούμενων ακραίων περιπτώσεων. Τα συσσωματώματα συμπεριφέρονται σαν τμήματα συμπιεσμένου εδάφους, ενώ η μεταξύ τους συμπεριφορά, η συμπεριφορά του εδάφους ως συνόλου δηλαδή αντιπροσωπεύεται από τη συμπεριφορά ενός χαλαρού εδάφους. Καθώς η υγρασία αυξάνει, η συνοχή των συσσωματωμάτων μειώνεται, ενώ η συνοχή της συνολικής μάζας του εδάφους, η οποία αποτελείται από μια συναρμολόγηση από συσσωματώματα ακολουθεί τη μορφή της καμπύλης του Σχήματος 11 (Payne 1988). Στην καμπύλη αυτή διαπιστώνεται ότι καθώς αυξάνει η εδαφική υγρασία, η συνεκτικότητα του συνολικού εδάφους αυξάνει επίσης μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο υγρασίας κατόπιν του οποίου μειώνεται και πάλι. Παράλληλα όμως, η σταθερότητα των μεμονωμένων συσσωματωμάτων μειώνεται συνεχώς με την αύξηση της υγρασίας. Υπάρχει επομένως ένα μικρό κρίσιμο εύρος εδαφικής υγρασίας, το οποίο βρίσκεται κοντά στο κατώτερο όριο πλαστικότητας του εδάφους, όπου τα εδαφικά συσσωματώματα δίχως να έχουν εισέλθει ακόμη στην πλαστική φάση, είναι λιγότερο σταθερά από ότι είναι η συνολική μάζα του εδάφους και μπορούν εύκολα με τη μηχανική κατεργασία να θρυμματιστούν. Σε αυτό το επίπεδο υγρασίας το έδαφος βρίσκεται στο «**ρόγο**» του δηλαδή σε μια εύθρυπτη κατάσταση όπου η μηχανική κατεργασία μπορεί να αποδώσει τα βέλτιστα οφέλη καθώς οι επιφάνειες διατμήσεως

που δημιουργούνται είναι μέγιστες. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση του εδαφικού πορώδους ενώ παράλληλα τα συσσωματώματα που παράγονται είναι σταθερά και κυρίως, δεν συμπίεζονται διότι δεν βρίσκονται στην πλαστική τους φάση. Επιπλέον, η ενέργεια που απαιτείται για την κατεργασία του εδάφους στην περίπτωση αυτή είναι ελάχιστη. Εφαρμογή κατεργασίας πάνω από αυτό το επίπεδο προκαλεί συμπίεση και συνένωση των συσσωματωμάτων ενώ κάτω από αυτό το επίπεδο οι προσυμπιεμένοι βώλοι εδάφους παραμένουν ανέπαφοι και απλώς αναμοχλεύονται. Εντατική κατεργασία ενός πολύ ξηρού εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικό θρυμματισμό και καταστροφή των συσσωματωμάτων και απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, κατεργασία ενός πολύ υγρού εδάφους απαιτεί επίσης υψηλή κατανάλωση ενέργειας και είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει συμπίεση των συσσωματωμάτων τα οποία όταν στεγνώσουν θα μεταμορφωθούν σε υπερβολικά συμπαγείς βώλους (Hamblin 1987).

Το κατώτερο όριο πλαστικότητας ενός εδάφους είναι στενά συσχετισμένο με την κατεργασιμότητα (workability) αυτού (Larney et al. 1988). Όσο μικρότερο είναι το κατώτερο όριο πλαστικότητας, τόσο στενεύουν τα περιθώρια της εδαφικής υγρασίας όπου το έδαφος βρίσκεται στο ρόγο του. Όταν το έδαφος δεν βρίσκεται σε εύθρυπτη κατάσταση (ρόγο) τότε είναι μεγαλύτερος ο απαιτούμενος αριθμός και στο επεμβάσεων για τον ψιλοχωματισμό της επιφάνειας και την προετοιμασία της σποροκλίνης. Με την προσθήκη οργανικής ουσίας σε ένα έδαφος, το κατώτερο όριο πλαστικότητας μεγαλώνει, και συνεπώς αυξάνει το εύρος της υγρασίας όπου το έδαφος βρίσκεται στο ρόγο του με συνέπεια τη μεγαλύτερη χρονική ευχέρεια για την πραγματοποίηση των καλλιεργητικών επεμβάσεων.



Σχήμα 11: Μεταβολή της συνεκτικότητας του εδάφους με την εδαφική υγρασία.

3.3 Εκτίμηση της ποιότητας κατεργασίας (αντίσταση στη διείδυση)

Μετά την πρωτογενή κατεργασία, η επιφάνεια του εδάφους συνήθως αφήνεται για κάποιο χρονικό διάστημα να υποστεί τις επιδράσεις των κλιματολογικών παραγόντων. Στο διάστημα αυτό οι μεγάλοι σβώλοι υφίστανται την επίδραση εσωτερικών δυνάμεων οι οποίες οφείλονται στους κύκλους διαβροχής – ξήρανσης και παγώματος – τήξης με αποτέλεσμα να χαλαρώνουν σημαντικά και να γίνονται πιο εύθρυπτοι.

Η κατεργασία του εδάφους έχει ως βασική συνέπεια τη μεταβολή της δομής του και ο βασικός σκοπός της είναι η καλύτερη δυνατή προετοιμασία της σποροκλίνης. Για την περιγραφή της δομής του εδάφους χρησιμοποιούνται μια σειρά από μεθοδολογίες που σκοπό έχουν να περιγράψουν τα ιδιαίτερα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη φυσική κατάσταση του εδάφους. Οι παράμετροι αφορούν την περιγραφή των ενδογενών χαρακτηριστικών του εδάφους όπως είναι η μηχανική σύσταση και η πυκνότητα των εδαφικών τεμαχιδίων και την περιγραφή χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως είναι η ξηρή φαινομενική πυκνότητα, το ολικό πορώδες, η κατανομή μεγέθους και η συνέχεια των πόρων, η κατανομή μεγέθους των εδαφικών συσσωματωμάτων, η μηχανική σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων, οι πλαστικές ιδιότητες του εδάφους, ο δείκτης γραμμικής συρρίκνωσης, η υδραυλική αγωγιμότητα κ.ά. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια έχουν

αναπτυχθεί μια σειρά από δοκιμές, μηχανικής φύσεως, και επιτυγχάνεται μια έμμεση προσέγγιση της φυσικής κατάστασης του εδάφους. Έτσι για να εκτιμήσουμε τη συμπίεση του εδάφους και την ποιότητα της εργασίας μας χρησιμοποιούμε ένα πολύ ευκολόχρηστο εργαλείο, το διεισδυσιόμετρο. Το όργανο αυτό μετράει στην ουσία την αντίσταση στη διείσδυση όπου εκφράζεται σε kPa (Σχήμα 12). Η πλειονότητα των φυτών αναπτύσσουν το ριζικό τους σύστημα στο εύρος 0,7 έως 2,5 MPa (Pfeffer, 1893). Έχει μελετηθεί ότι το ιδανικό όμως εύρος για την ανάπτυξη των ριζών αλλά και το ρυθμό ανάπτυξης των ριζών, βρίσκεται ανάμεσα στο 0,8 και 1,2 MPa (Taylor et al. 1966).

Τα πλεονεκτήματα του διεισδυσιόμετρου αναφέρονται στο ότι:

- Προσφέρει μια κοινή μέθοδο για εκτίμηση της γενικής μηχανικής σύστασης του εδάφους.
- Βοηθά τους ερευνητές που μελετούν ποικίλους τύπους εδαφών και τους εφοδιάζει ένα εργαλείο για να συγκρίνουν τις μηχανικές ιδιότητες των αυτών εδαφών.
- Τέλος προσφέρει ένα κοινό μέτρο που ο ερευνητής έχει την δυνατότητα να χαρακτηρίσει τις εδαφικές ιδιότητες και να καταλήγει σε συμπεράσματα που αφορούν επιδόσεις και προβλέψεις.



Σχήμα 12: Διεισδυσιόμετρο.

Η αντίσταση του εδάφους στη διείδυση εκφράζει την αντίσταση που προβάλλει η στερεά φάση του εδάφους στη διείδυση ενός μεταλλικού κώνου (Burke et al., 1986). Μετράται στον αγρό με τη χρήση ενός κωνικού διεισδυσιομέτρου (ASAE Standards S313.2, 1993). Αποτελεί μια εύκολη και ταχεία μέθοδο εκτίμησης της συμπίεσης του εδάφους ενώ μεταβάλλεται σημαντικά με την εδαφική υγρασία. Επιπλέον, εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση, τη δομική σταθερότητα και την προϊστορία του εδάφους. Ο κώνος έχει εμβαδό βάσης 130 mm^2 (διάμετρος 12,83 mm) και γωνία κορυφής 30° . Για τις μετρήσεις του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρονικό όργανο που κατέγραφε αυτόματα την αντίσταση σε διαστήματα του 1 εκ. και σε συνολικό βάθος μέχρι 50 εκ. Ο κώνος πιεζόταν στο έδαφος με ένα ρυθμό περίπου 30 mm/s (ASAE S313.2, 2002).

4. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να μελετηθεί η λειτουργία ενός μηχανήματος πάνω στο οποίο έχουν αναρτηθεί δύο σώματα που έχουν απόσταση μεταξύ τους ένα μέτρο. Χρησιμοποιείται για κατεργασία εδάφους σε λωρίδες (strip-tillage) και να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός του ως προς τις γωνίες και το πλάτος των υνιών.

Απώτερος σκοπός είναι η βελτιστοποίηση της εργασίας του μηχανήματος με την επιλογή της κατάλληλης γωνίας σε συνδυασμό με το πλάτος των υνιών, η οποία θα μειώνει την κατανάλωση της ενέργειας ενώ ταυτόχρονα θα εξασφαλίζει ικανοποιητική κατεργασία του εδάφους με τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για εγκατάσταση της φυτείας.

5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Περιγραφή του μηχανήματος

Η μελέτη των παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με μετρήσεις σε μηχάνημα που βασίστηκε σε ένα πλαίσιο “βαρέως τύπου” καλλιεργητή με δύο σταθερά σώματα (υνιά) τύπου υπεδαφοκαλλιεργητή σε μικρότερο μέγεθος. Το πλαίσιο διέθετε ειδική βάση για μεταφορά της περιστροφικής κίνησης από το δυναμοδότη του γ.ε στη φρέζα που ακολουθούσε. Επίσης στο πλαίσιο πίσω από τη φρέζα μπορούν να προσαρμοστούν σπαρτικές μονάδες και με αυτόν τον τρόπο να επιτυγχάνεται η εγκατάσταση της φυτείας με ένα πέρασμα στο χωράφι. Έτσι κατορθώνεται η μείωση της εργασίας και της συμπίεσης του εδάφους. Το μηχάνημα κάλυπτε δύο σειρές και τα σώματα ήταν τοποθετημένα σε ένα μέτρο απόσταση μεταξύ τους, με δυνατότητα αλλαγής αυτή της απόστασης καθώς επίσης και του βάθους κατεργασίας. Στο κάτω μέρος των σωμάτων ήταν τοποθετημένα τα υνιά με τέτοιο τρόπο ώστε να αλλάζει η γωνία κοπής του εδάφους όπως επίσης το πλάτος και ο τύπος του υνιού. Η σταθερότητα του βάθους κατεργασίας επιτυγχανόταν με δύο τροχούς εδάφους οι οποίοι ήταν προσαρμοσμένοι στο πλαίσιο και είχαν δυνατότητα ρύθμισης επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο τον έλεγχο του βάθους κατεργασίας και τη διατήρηση της οριζοντίωσης του πλαισίου με το έδαφος. Επίσης για να μην επηρεάζονται οι τροχοί από τις ανωμαλίες του εδάφους τοποθετήθηκαν σε τέτοιο

σημείο ώστε να ακολουθούν το ίχνος των τροχών του γεωργικού ελκυστήρα, ο οποίος λόγω του βάρους του δημιουργούσε μια σχετικά επίπεδη και σταθερή επιφάνεια πάνω στην οποία κινούνταν οι τροχοί ελέγχου του βάθους. Η παραπάνω διαμόρφωση είχε ως αποτέλεσμα τα δύο υνιά του μηχανήματος να κατεργάζονται το έδαφος στο ίδιο βάθος (Σχήμα 13 & 14).



Σχήμα 13: Πλαίσιο με δύο σταθερά σώματα και τροχούς εδάφους αναρτημένο στο υδραυλικό σύστημα του γεωργικού ελκυστήρα.



Σχήμα 14: Το μηχάνημα του πειράματος κατά την διάρκεια εργασίας στον αγρό.

5.2 Παράγοντες που μελετήθηκαν

Οι παράγοντες που μελετήθηκαν ήταν δύο (2).

1. **Γωνία κοπής του εδάφους.** Τα δύο υνιά του πειράματός μας ήταν τροποποιημένα κατάλληλα κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μεταβάλλεται η γωνία κοπής του εδάφους όποτε ήταν επιθυμητό. Συγκεκριμένα στο πείραμα πάρθηκαν μετρήσεις σε τρεις διαφορετικές γωνίες, 20°, 30° και 40° αντίστοιχα.
2. **Πλάτος – τύπος των υνιών.** Χρησιμοποιήθηκαν για την έκβαση του πειράματος δύο διαφορετικού τύπου υνιά ένα κυλινδρικό διαμέτρου 3 εκ. και ένα ορθογωνίου πλάτους 5 εκ.

Επίσης μετρήθηκε και η **αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση**, για να εκτιμηθεί η ποιότητα της εργασίας στον αγρό δηλαδή εκτίμηση της αναμόχλευσης και χαλάρωσης του εδάφους. Ελήφθησαν μετρήσεις διείσδυσης από υνί σε υνί ανά 20 εκ.

5.3 Πειραματικό Σχεδιασμός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγρό του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το χειμώνα του 2006. Ο τύπος του εδάφους ως προς τη μηχανική του σύσταση ήταν αργιλοπηλώδες CL. Αναλυτικά η σύσταση του εδάφους φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Άργιλλος	37%
Ίλύς	38%
Άμμος	25%

Το πείραμα ήταν παραγοντικό με πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με υποτεμάχια λωρίδες. Ο πρώτος παράγοντας (υνί) έχει τρία επίπεδα, ο δεύτερος παράγοντας (πλάτος – τύπος) έχει δύο επίπεδα. Έγιναν τέσσερεις επαναλήψεις, οπότε έχουμε τελικώς $3 \times 2 \times 4 = 24$ πειραματικά τεμάχια. Το πειραματικό σχέδιο φαίνεται στο Σχήμα 15.

Διάδρομος 12 m							
PLOT	1	2	3	4	5	6	12 m
Τύπος Υνιού T ₁ (3 cm)	α			α			
Γωνία (Θ)	Θ ₂₀	Θ ₄₀	Θ ₃₀	Θ ₂₀	Θ ₄₀	Θ ₃₀	
Γωνία (Θ)	Θ ₂₀	Θ ₄₀	Θ ₃₀	Θ ₂₀	Θ ₄₀	Θ ₃₀	12 m
Τύπος Υνιού T ₂ (5 cm)	λ			λ			
PLOT	12	11	10	9	8	7	
Διάδρομος 12 m							
PLOT	13	14	15	16	17	18	12 m
Τύπος Υνιού T ₁ (3 cm)	α			α			
Γωνία (Θ)	Θ ₃₀	Θ ₄₀	Θ ₂₀	Θ ₃₀	Θ ₂₀	Θ ₄₀	
Γωνία (Θ)	Θ ₃₀	Θ ₄₀	Θ ₂₀	Θ ₃₀	Θ ₂₀	Θ ₄₀	12 m
Τύπος Υνιού T ₂ (5 cm)	λ			λ			
PLOT	24	23	22	21	20	19	
Διάδρομος 12 m							
PLOT 2,5 x 12 m							

R1 – R2 – R3 – R4: Αριθμός επανάληψης
PLOT : Αριθμός πειραματικού τεμαχίου
T: Τύπος υνιών. (T ₁ κυλινδρικό με διάμετρο 3εκ. και T ₂ ορθογωνικής διατομής 5εκ.)
Θ: Γωνία κοπής του υνιού σε σχέση με το έδαφος. (Θ ₂₀ αντιστοιχεί για γωνία 20°, Θ ₃₀ αντιστοιχεί για γωνία 30° και Θ ₄₀ αντιστοιχεί για γωνία 40°).

Σχήμα 15: Πειραματικό σχέδιο.

5.4 Μετρήσεις – Όργανα μετρήσεων

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την εξαγωγή των συμπερασμάτων ήταν οι παρακάτω και χρησιμοποιήθηκε ο αντίστοιχος εξοπλισμός του εργαστηρίου.

1. **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ** (Papathanasiou et al., 2002)
2. **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ**

5.4.1 Μετρήσεις Των Αναπτυσσόμενων Δυνάμεων

- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Τα αισθητήρια δύναμης που χρησιμοποιήθηκαν είναι δυναμοκυβέλες του εμπόριου. Χρησιμοποιήθηκαν έξι δυναμοκυβέλες οι οποίες είχαν τέτοια διάταξη μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και του παρελκόμενου ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση των δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής εργασίας και στις τρεις κατευθύνσεις. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο μεταλλικοί φορείς σχήματος **Π** (Σχ.16). Ο ένας φορέας προσαρμόστηκε στο σύστημα ανάρτησης παρελκομένων στα τρία σημεία του υδραυλικού συστήματος του γεωργικού ελκυστήρα ενώ ο δεύτερος φορέας φέρει κατάλληλες υποδοχές για την ανάρτηση των παρελκομένων. Οι διαστάσεις των μεταλλικών φορέων είναι τέτοιες ώστε οι δυνάμεις να μεταφέρονται χωρίς σημαντικές παραμορφώσεις. Οι δύο φορείς συνδέονται μεταξύ τους αρθρωτά με τις έξι δυναμοκυβέλες. Οι σφαιρικοί σύνδεσμοι εξασφαλίζουν μέτρηση δυνάμεων μόνο κατά τη διεύθυνση του άξονα της δυναμοκυβέλης. Με την τριγωνική αυτή διάταξη οι τρεις δυναμοκυβέλες (δύο κάτω και μία πάνω) μετρούν την οριζόντια δύναμη παράλληλη της κατεύθυνσης κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα. Οι δύο κατακόρυφες μετρούν τις κατακόρυφες δυνάμεις ενώ η τελευταία τις οριζόντιες δυνάμεις που είναι κάθετες στην κατεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα (πλάγιες δυνάμεις). Η δυνατότητα ρύθμισης του μήκους των δυναμοκυβελών εξασφαλίζει την επιθυμητή παραλληλότητα των φορέων (**Π**) ενώ η οριζοντίωσή τους γίνονταν με τις ρυθμίσεις των βραχιώνων του συστήματος ανάρτησης του γ.ε.. Οι χρησιμοποιούμενες δυναμοκυβέλες διαθέτουν αισθητήρια παραμόρφωσης για τη μέτρηση της δύναμης. Η ευαισθησία τους για πλήρη φόρτιση μέχρι δύο τόνους είναι 2 mV/V τροφοδοσίας. Η τάση της τροφοδοσίας μπορεί να είναι από 0.5 V έως 12 V.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται τροφοδοτικό τάσης 5 V και επομένως η έξοδος σε πλήρες φορτίο (2 τόνοι) είναι 10 mV. Η μονάδα επεξεργασίας του σήματος (MB-01) έχει τη δυνατότητα ενίσχυσής του κατά 100 φορές. Η τάση που προκύπτει μετά την ενίσχυση τροφοδοτείται απ' ευθείας στην κάρτα μετατροπής (DAS 20) του αναλογικού σε ψηφιακό (δυναμικό) σήμα με την οποία είναι εφοδιασμένος ο 486 συμβατός IBM με σκληρό δίσκο 100 MB φορητός μικροϋπολογιστής της πειραματικής εγκατάστασης. Η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να φτάσει τις 100.000 δείγματα το δευτερόλεπτο (100 kHz). Τα στοιχεία οδηγούνται απ' ευθείας στη μνήμη του Η/Υ (DMA) και αποθηκεύονται στον σκληρό δίσκο. Η ισχυροδότηση των οργάνων έγινε με ένα τροφοδοτικό και σταθεροποιητή τάσης ισχύος 300 W (UPS) που δίνει μία μικρή αυτονομία στο σύστημα για τις εργασίες αγρού και για αυτό το λόγο συνδέθηκε με το συσσωρευτή του γεωργικού ελκυστήρα παράλληλα ώστε να εξασφαλίζεται απεριόριστη αυτονομία.



Σχήμα 16 : Μεταλλικοί φορείς (Π) που φέρουν τις δυναμοκυψέλες και προσαρμόζονται μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και του παρελκόμενου γεωργικού μηχανήματος.

5.4.2 Μέτρηση Άλλων Παραμέτρων Της Λειτουργίας Ενός Γεωργικού Ελκυστήρα Από Την Πειραματική Διάταξη

Η μέτρηση των δυνάμεων που αναπτύσσονται σε ένα γεωργικό ελκυστήρα είναι ουσιαστικής σημασίας για την εκτίμηση του παραγόμενου έργου και της καταναλισκόμενης ενέργειας αλλά δε μπορεί να αξιολογήσει πλήρως τη λειτουργία ενός γεωργικού ελκυστήρα.

- ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Η εκτίμηση της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την εκτέλεση μιας εργασίας μέσω των δυνάμεων που αναπτύσσονται στο γεωργικό ελκυστήρα είναι θεωρητική και βασιζόμενη στην υπόθεση πως η χρήση του γεωργικού ελκυστήρα δεν παρουσιάζει απώλειες. Στην πραγματικότητα όμως ένας γεωργικός ελκυστήρας δεν αποδίδει όλο το ποσό ενέργειας που καταναλώνει. Η μέτρηση της κατανάλωσης σε καύσιμο δίνει μια πληρέστερη εικόνα για την ενέργεια που καταναλώνεται για την πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης εργασίας.

Για τη μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου από το γεωργικό ελκυστήρα χρησιμοποιείται ειδικό όργανο το οποίο έχει τη δυνατότητα να μετρά τη στιγμιαία ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται από τον κινητήρα (μετρά τη διαφορά μεταξύ του εισερχόμενου καυσίμου στον κινητήρα και του επιστρεφόμενου στο δοχείο καυσίμου) και να μετρά τη μορφή των παλμών. Οι παλμοί μεταφέρονται στην κάρτα μέτρησης παλμών και ο αριθμός τους αποτελεί μια ακριβή καταγραφή των ποσοτήτων καυσίμου που καταναλώνονται.

- ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Η ταχύτητα κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα και επομένως η ταχύτητα πραγματοποίησης μιας καλλιεργητικής εργασίας είναι μέγεθος καθοριστικό για την ενέργεια που απαιτείται καθώς και για τα αποτελέσματα αυτής στο έδαφος. Η μέτρηση της ταχύτητας κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα γίνεται με RADAR ταχύτητας το οποίο βρίσκεται προσαρμοσμένο στο κάτω μέρος του γεωργικού ελκυστήρα και έχει τη δυνατότητα μέσω της ταχύτητας του εκπεμπόμενου επιστροφής σήματος (διαφορά φάσματος – φαινόμενο Dopler) να εκτιμά την ταχύτητα με τη μορφή σήματος παλμών. Οι παραγόμενοι παλμοί οδηγούνται στην ειδική κάρτα μέτρησης παλμών (counter) και αποθηκεύονται στο φορητό μικροϋπολογιστή της πειραματικής διάταξης.

5.4.3 Καταγραφή Των Μετρήσεων – Μετατροπή Των Δεδομένων

Τα σήματα των αισθητήρων που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των διαφόρων δοκιμών οδηγούνται στις ειδικές κάρτες μετατροπής τους (μία ADC και μία Counter) και στη συνέχεια καταγράφονται στη μνήμη του φορητού υπολογιστή που συνοδεύει την πειραματική διάταξη. Η λήξη και καταγραφή των μετρήσεων γίνεται με ειδικό πρόγραμμα ελέγχου των καρτών του υπολογιστή που έχει δημιουργηθεί και ανταποκρίνεται πλήρως στις ανάγκες του συγκεκριμένου σκοπού. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα μπορεί να λαμβάνει και να καταγράφει τα σήματα από τους αισθητήρες μέτρησης των δυνάμεων με συχνότητα λήψης που μπορεί να επιλεγεί και είναι δυνατόν να προσεγγίσει τα 100 kHz. Ταυτοχρόνως έχει τη δυνατότητα να καταγράφει και να αποθηκεύει και τα σήματα παλμών με χαμηλότερες συχνότητες λήψης (ικανοποιητική για το συγκεκριμένο σκοπό). Ο χρόνος που γίνεται η καταγραφή και η αποθήκευση των μετρήσεων μπορεί επίσης να επιλεγεί ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε μέτρησης.

Τα δεδομένα αποθηκεύονται στη μνήμη του φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη μορφή αρχείων σε γλώσσα μηχανής ώστε να γίνεται γρήγορα και να μην δημιουργούνται προβλήματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η μετατροπή των αρχείων αυτών σε μορφή που μπορεί να διαβαστεί γίνεται στη συνέχεια μετά το τέλος των μετρήσεων με ειδικά προγράμματα που επίσης έχουν αναπτυχθεί ώστε να είναι εύκολη η λήψη και η επεξεργασία των μετρήσεων.

5.5 Υπολογισμοί – Έννοιες

Από την επεξεργασία των δεδομένων των μετρήσεων βρέθηκε η συνολική ελκτική δύναμη F (άθροισμα των τριών οριζόντιων δυναμοκυψελών) που ήταν απαραίτητη για την έλξη του μηχανήματος σε κάθε διαμόρφωσή του καθώς και η κατανάλωση καυσίμου για τη συγκεκριμένη διαμόρφωση. Τα δεδομένα από τις δυναμοκυψέλες που μετρούν τις δυνάμεις στις άλλες δύο κατευθύνσεις (κατακόρυφες και πλάγιες) στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν.

Από τις τιμές αυτές υπολογίζονται και άλλες μεταβλητές που θα είναι χρήσιμες για την κατανόηση των αποτελεσμάτων όπως:

- **F: Ελκτική δύναμη**

F: Συνολική ελκτική δύναμη (άθροισμα οριζόντιων δυναμοκυψελών) σε kN

Για να μπορέσουν να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα των ελκτικών δυνάμεων θα έπρεπε να υπάρχει μια μεταβλητή η οποία θα ήταν ανεξάρτητη από τον αριθμό των υνιών. Έτσι τα αποτελέσματα θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε μηχάνημα του ίδιου τύπου με διαφορετικό αριθμό υνιών. Η αναγωγή της συνολικής ελκτικής δύναμης που μετρήθηκε από τις οριζόντιες δυναμοκυψέλες σε αναπτυσσόμενη ελκτική δύναμη ήταν μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα.

- **Rs: Ειδική Αντίσταση**

$$R_s = F/A \quad \text{σε kN/m}^2 \quad (1)$$

$$A = n \times H/100 \times d/100 \quad \text{σε m}^2 \quad (2)$$

A: Επιφάνεια κατεργασίας σε m²

d : Βάθος κατεργασίας σε cm

n: Αριθμός των σωμάτων (=2)

H: Απόσταση μεταξύ των σωμάτων, (=100cm)

n×H = Πλάτος κατεργασίας (=200 cm)

Οπότε, αντικαθιστώντας από τη σχέση (2) τα σύμβολα έχουμε:

$$A = 2 \times 100/100 \times 25/100 \Rightarrow A = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα } R_s = F/0,5 \quad (3)$$

Η ειδική αντίσταση είναι η αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στο γεωργικό μηχάνημα κατά την κατεργασία ανά μονάδα κατακόρυφης επιφάνειας που αναμοχλεύεται.

- **P : Ισχύς (στην έλξη)**

$$P = F \cdot v \quad \text{σε kW} \quad (4)$$

F: Συνολική ελκτική δύναμη σε kN

V: Ταχύτητα σε m/s

Η μεταβλητή της ισχύος και η ειδική αντίσταση μας βοηθούν να εκτιμήσουμε το μέγεθος της απαιτούμενης ισχύος και ελκτικής δύναμης που είναι απαραίτητο να έχει ένας γεωργικός ελκυστήρας έτσι ώστε να μπορεί να κατεργαστεί ένα έδαφος με το συγκεκριμένο τύπο μηχανήματος κάτω από διαφορετικές διαμορφώσεις. Αυτή η εκτίμηση για την επιλογή του μεγέθους του γεωργικού ελκυστήρα απορρέει από τη σωστή διαχείριση των εκμεταλλεύσεων με τις γνωστές θετικές συνέπειες για το οικονομικό αποτέλεσμα.

- **E: Ενέργεια (κατανάλωση) ανά επιφάνεια**

$$E = P \times t \quad \text{σε kWh} \quad (5)$$

E: η καταναλισκόμενη ενέργεια (ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας)

t : Χρόνος για κατεργασία μιας μονάδας επιφάνειας (στρ.) σε h

$$t=1/(V \times 3,6 \times S)$$

S: Πλάτος κατεργασίας (=2) σε m

και

$$E = F \times V \times t = (F \times V) / (V \times 3,6 \times S) \Rightarrow$$

$$E = F / 7,2 \quad \text{σε kWh/στρ (6)}$$

Η ενέργεια (1 kWh) είναι η ποσότητα της πραγματοποιούμενης εργασίας με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένης ισχύος (1 kWh) για δεδομένο χρονικό διάστημα (1 ώρα). Μείωση της ενέργειας έχει συνήθως ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου και γενικά μείωση του κόστους πραγματοποίησης μιας καλλιεργητικής εργασίας. Για να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας θα πρέπει είτε να μειωθεί η απαιτούμενη ελκτική ισχύς είτε να μειωθεί ο χρόνος που είναι απαραίτητος για την κατεργασία μιας συγκεκριμένης επιφάνειας. Το πρώτο μπορεί να επιτευχθεί είτε με μείωση των ελκτικών δυνάμεων είτε με αύξηση της ταχύτητας. Μείωση των ελκτικών δυνάμεων μπορούμε να επιτύχουμε με βελτιωμένο σχεδιασμό του μηχανήματος και επιλογή των κατάλληλων υνιών τοποθετημένα στην κατάλληλη γωνία. Με την αύξηση της ταχύτητας ταυτόχρονα μειώνεται και ο χρόνος εκτέλεσης της εργασίας, ενώ με τη μείωση του χρόνου μπορούμε να την επιτύχουμε και με την αύξηση του πλάτους κατεργασίας. Η αύξηση της ταχύτητας ή αύξηση του πλάτους κατεργασίας οδηγούν συνήθως σε αύξηση των ελκτικών δυνάμεων. Εάν θα υπάρξει μείωση ή αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας εξαρτάται από το βαθμό που επιδρούν η αλλαγή της ταχύτητας και του πλάτους κατεργασίας στην κατανάλωση της ενέργειας και στην ελκτική δύναμη.

Η ενέργεια είναι ανάλογη της ελκτικής δύναμης ανά υνί και αντιστρόφως ανάλογη με το πλάτος κατεργασίας.

$$E = F / S \times 3,6$$

Από την παραπάνω σχέση διαπιστώνεται ότι η κατανάλωση της ενέργειας είναι ανάλογη με την ελκτική δύναμη και έμμεσα με τους παράγοντες που επηρεάζουν αυτή τη μεταβλητή.

Από τις σχέσεις 3, 6 και για το ίδιο βάθος κατεργασίας (25 εκ.) προκύπτει ότι η ειδική αντίσταση (Rs) ισούται με:

$$Rs = F/0,5 = E \times 7,2 / 0,5 = E \times 14,4 \quad (7)$$

Από την 7 προκύπτει ότι η ειδική αντίσταση είναι ανάλογη της ενέργειας γεγονός που οφείλεται στη **μη** διαφοροποίηση του βάθους που θα είχε ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της επιφάνειας που θα κατεργαζόταν το μηχάνημα. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που θα ισχύουν για την κατανάλωση της ενέργειας θα ισχύουν κατά αναλογία και για την ειδική αντίσταση.

- **C_s: Ειδική κατανάλωση καυσίμου για την κατεργασία (ανά στρέμμα)**

$$C_s = C_m / E \quad \text{σε (gr/kWh) (9)}$$

C_m: Μέση κατανάλωση καυσίμου ανά στρέμμα

$$C_m = \frac{C_i}{V \times 3,6 \times S} \quad \text{σε kg/στρ}$$

C_i = στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου μετρούμενη από το όργανο σε ml/s η οποία μετατράπηκε με βάση το ειδικό βάρος του πετρελαίου (0,8 g/ml) σε g/s

Η μέση κατανάλωση του καυσίμου είναι η μεταβλητή που μας ενδιαφέρει από οικονομική άποψη μιας και είναι το άμεσο αποτέλεσμα που καλείται να καλύψει ο παραγωγός. Η μέση κατανάλωση καυσίμου είναι ανάλογη της στιγμιαίας κατανάλωσης και αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας και του πλάτους κατεργασίας. Με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης ή την αύξηση του πλάτους κατεργασίας πετυχαίνουμε μείωση του χρόνου κατεργασίας και κατά συνέπεια θα έπρεπε να υπάρχει μειωμένη μέση κατανάλωση καυσίμου (C_m) για την πραγματοποίηση της κατεργασίας. Η αύξηση όμως της ταχύτητας ή η αύξηση του πλάτους κατεργασίας αυξάνει συνήθως την ελκτική δύναμη η οποία οδηγεί σε αύξηση της στιγμιαίας κατανάλωσης. Μεταβολή λοιπόν της ταχύτητας ή του πλάτους κατεργασίας δεν οδηγεί πάντοτε στην ίδια μεταβολή και στη μέση κατανάλωση καυσίμου.

5.6 Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική ανάλυση των στοιχείων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο MSTAT C. Η διαμόρφωση των πινάκων και γραφημάτων έγινε με τη βοήθεια του Excel και του Word.

Οι μεταβλητές για τις οποίες έγινε στατιστική ανάλυση ήταν η απαιτούμενη ελκτική δύναμη F, η απαιτούμενη ισχύς P, η καταναλισκόμενη ενέργεια E_n για την πραγματοποίηση της κατεργασίας, η μέση κατανάλωση του καυσίμου C_m και η αντίσταση στη διείδυση.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Ανάλυση των παραγόντων

Σε μια πρώτη εκτίμηση παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων των παραμέτρων που μας ενδιαφέρουν για το συγκεκριμένο πείραμα, αυτοί είναι η ελκτική δύναμη (F), η ισχύς (P), η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας (E) και η ειδική κατανάλωση καυσίμου (Cs), για κάθε τύπο υνιού T1 – T2 και για κάθε γωνιά υνιού του πειράματος Θ1 – Θ2 – Θ3.

Πίνακας 1: Τιμές όλων των παραμέτρων που μετρήθηκαν.

Επανάληψη	Γωνία	Υνί	Ελκτική (kN)	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/sec)	Ειδική Αντίσταση (kN/m ²)	Ισχύς (F*V) (kN*m/sec) (kW)	Χρόνος κατεργασίας 1 στρέμματος(h/στρ.)	Ενέργεια (Ισχύς επί το χρόνο) (kWh/στρ.)	Μέση Κατανάλωση (gr/sec)	Ειδική κατανάλωση για κατεργασία (gr/h.kWh)	Ταχύτητα (Km/h)	Κατακόρυφη Δύναμη (kN)
1	Θ1	T1	18,59	0,25	1,11	37,2	20,7	0,12	2,58	3,	1,16	4,01	3,77
1	Θ1	T2	11,68	0,25	1,1	23,4	12,8	0,13	1,62	2,45	1,51	3,95	2,48
2	Θ1	T1	13,51	0,25	1,	27,	13,5	0,14	1,88	2,08	1,11	3,61	3,05
2	Θ1	T2	13,75	0,25	1,06	27,5	14,6	0,13	1,91	2,02	1,06	3,82	3,01
3	Θ1	T1	16,15	0,25	1,07	32,3	17,3	0,13	2,24	2,75	1,23	3,85	3,66
3	Θ1	T2	9,44	0,25	1,06	18,9	10,	0,13	1,31	2,69	2,05	3,82	1,94
4	Θ1	T1	14,29	0,25	1,04	28,6	14,8	0,13	1,98	3,24	1,63	3,73	2,9
4	Θ1	T2	10,68	0,25	1,05	21,4	11,2	0,13	1,48	2,26	1,53	3,77	2,
1	Θ2	T1	21,17	0,25	1,03	42,3	21,9	0,13	2,94	2,57	0,87	3,72	4,51
1	Θ2	T2	15,03	0,25	1,04	30,1	15,6	0,13	2,09	3,36	1,61	3,75	2,93
2	Θ2	T1	13,5	0,25	1,09	27,	14,7	0,13	1,88	3,	1,6	3,93	2,8
2	Θ2	T2	12,68	0,25	1,02	25,4	13,	0,14	1,76	1,59	0,9	3,68	2,66
3	Θ2	T1	15,43	0,25	1,08	30,9	16,6	0,13	2,14	2,32	1,08	3,88	3,3
3	Θ2	T2	12,9	0,25	1,09	25,8	14,	0,13	1,79	2,51	1,4	3,91	2,39
4	Θ2	T1	15,66	0,25	1,04	31,3	16,4	0,13	2,17	3,42	1,57	3,76	3,71
4	Θ2	T2	12,08	0,25	1,07	24,2	12,9	0,13	1,68	2,87	1,71	3,85	2,8
1	Θ3	T1	19,41	0,25	1,02	38,8	19,7	0,14	2,7	3,12	1,16	3,66	4,17
1	Θ3	T2	12,08	0,25	1,11	24,2	13,4	0,13	1,68	2,57	1,53	4,	2,91
2	Θ3	T1	20,06	0,25	1,01	40,1	20,3	0,14	2,79	3,	1,08	3,64	4,17
2	Θ3	T2	14,26	0,25	1,02	28,5	14,6	0,14	1,98	2,38	1,2	3,69	3,06
3	Θ3	T1	15,34	0,25	1,04	30,7	15,9	0,13	2,13	2,32	1,09	3,73	3,47
3	Θ3	T2	12,75	0,25	1,05	25,5	13,4	0,13	1,77	2,81	1,59	3,77	2,76
4	Θ3	T1	15,1	0,25	1,05	30,2	15,9	0,13	2,1	2,87	1,37	3,79	3,43
4	Θ3	T2	12,02	0,25	1,07	24,	12,9	0,13	1,67	2,87	1,72	3,86	2,67

Πίνακας 2. Τιμές των μέσων όρων των παραμέτρων του πειράματος.

Παράγοντες	Επίπεδα	(F) - Ελκτική δύναμη (kN)	(P) - Ισχύς (kW)	(En) - Ενέργεια (kWh /στρ.)	(C _s)-Ειδική κατανάλωση καυσίμου (gr/kWh)
Τύπος Υνιών	T ₁ (στρογγυλό με πλάτος 3 cm)	16,52	17,31	2,294	1,245
	T ₂ (ορθογώνιο με πλάτος 5 cm)	12,45	13,20	1,729	1,484
<i>Τυπικό σφάλμα</i>		<i>0,70</i>	<i>0,70</i>	<i>0,097</i>	<i>0,123</i>
<i>F test</i>		<i>*</i>	<i>*</i>	<i>*</i>	<i>n.s</i>
Γωνία Υνιών	Θ ₁ =20 °	13,51	14,38	1,877	3,822
	Θ ₂ =30 °	14,81	15,64	2,056	3,809
	Θ ₃ =40 °	15,13	15,77	2,101	3,769
<i>Τυπικό σφάλμα</i>		<i>0,68</i>	<i>0,62</i>	<i>0,094</i>	<i>0,045</i>
<i>F test</i>		<i>n.s</i>	<i>n.s</i>	<i>n.s</i>	<i>n.s</i>
M.O		<i>14,482</i>	<i>15,259</i>	<i>2,011</i>	<i>1,365</i>
C.V %		<i>10,72</i>	<i>11,58</i>	<i>10,71</i>	<i>16,58</i>

Σημείωση:

n.s : μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές

*** : Στατιστικώς Σημαντικές Διαφορές με βεβαιότητα 99,9%

** : Στατιστικώς Σημαντικές Διαφορές με βεβαιότητα 99%

* : Στατιστικώς Σημαντικές Διαφορές με βεβαιότητα 95%

Από το Πίνακα 2 μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι μέσοι όροι των παραμέτρων που μελετήθηκαν, ελκτική δύναμη, ισχύς και ενέργεια για κάθε τύπο των υνιών που μελετήθηκαν, (T1: στρογγυλό με πλάτος 3 εκ. και T2: ορθογώνιο με πλάτος 5εκ.) έχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με βεβαιότητα 95%. Το παραπάνω σημαίνει ότι ο τύπος των υνιών επηρεάζει την ελκτική δύναμη, την ισχύ και φυσικά και την ενέργεια όταν το μηχάνημα εργάζεται στον αγρό, και υπάρχει μια πιθανότητα 5% να μην ισχύει αυτή η υπόθεση.

Είναι δεδομένο ότι αύξηση του πλάτους του υνιού οδηγεί σε αύξηση της ελκτικής δύναμης και η σχέση αυτή είναι γραμμική (Perumpral et al. 1983). Το στρογγυλό υνί T1 παρόλο αυτά κατανάλωσε στατιστικώς σημαντικά περισσότερη ελκτική δύναμη από ότι το πλατύτερο T2. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο σχήμα του T1 υνιού και να όχι τόσο στο πλάτος του.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στις μεταβλητές της ισχύος και φυσικά και της ενέργειας. Το T1 υνί κατανάλωσε στατιστικώς σημαντικά περισσότερη ισχύ

και ενέργεια από ότι το T2 υνί και το φαινόμενο αυτό ίσως να οφείλεται στην ιδιαιτερότητα του σχήματος του T1 υνιού.

Όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου, από το Πίνακα 2 διαπιστώνεται ότι ο τύπος του υνιού δεν επηρεάζει την κατανάλωσή καυσίμου κατά τη διάρκεια εργασίας του μηχανήματος. Ο μέσος όρος της ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου για κάθε τύπο υνιού δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

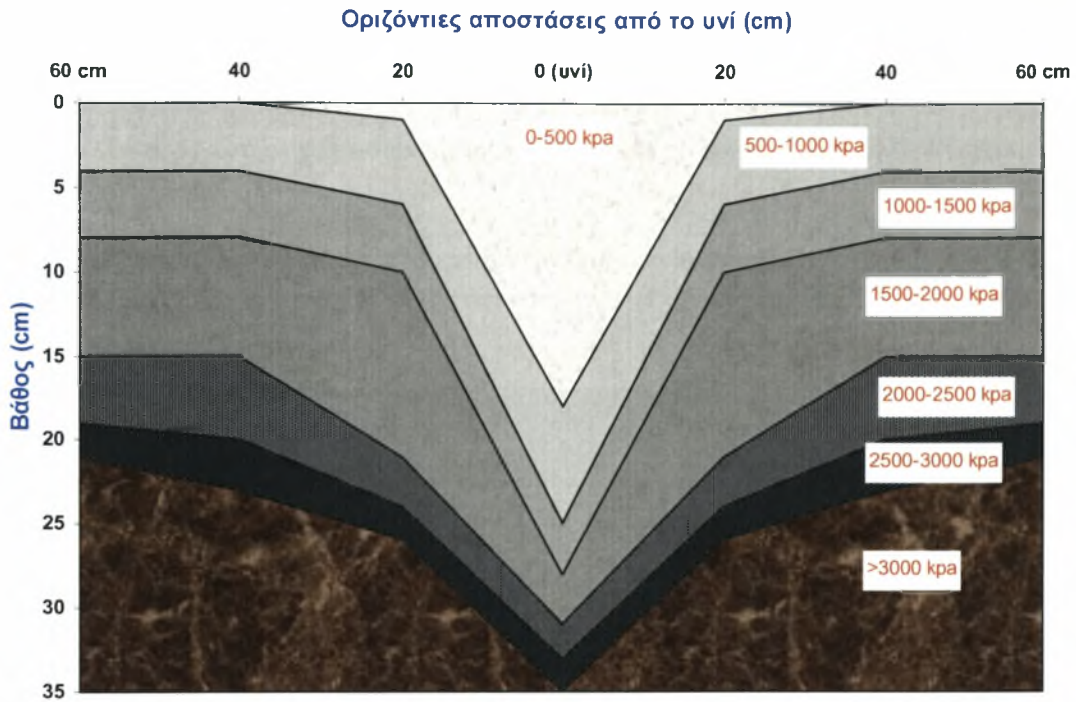
Η κατανάλωση του καυσίμου επηρεάζεται από τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση κλπ) καθώς και από την πυκνότητα και τη θερμογόνο ισχύ του καυσίμου.

Τέλος από το Πίνακα 2 παρατηρείται ότι για κάθε γωνία υνιών του πειράματος, ($\Theta 1: 20^\circ$, $\Theta 2: 30^\circ$, $\Theta 3: 40^\circ$), η ελκτική δύναμη, η ισχύς, η ενέργεια και η ειδική κατανάλωση καυσίμου δεν παρουσιάζουν οι μέσοι όροι τους στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Δηλαδή οι τρεις διαφορετικές γωνίες των υνιών του πειράματος δεν επηρεάζουν τις παραπάνω παραμέτρους στην διεξαγωγή της εργασίας με το μηχανήμα του πειράματος στον αγρό.

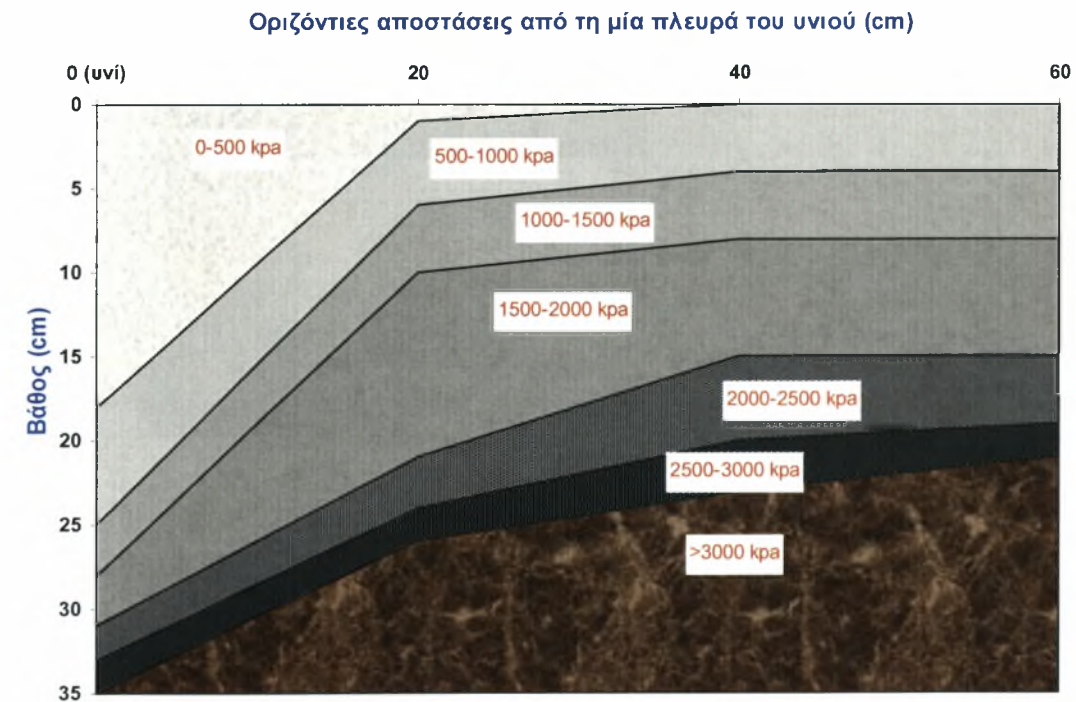
6.2 Ανάλυση της παραμέτρου (Αντίσταση στη Διείσδυση)

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, για τον υπολογισμό της παραμέτρου αντίσταση στη διείσδυση, ο μέσος όρος από τις μετρήσεις υπολογίστηκε δεξιά από το ένα υνί και αριστερά από το άλλο. Δηλαδή πάρθηκαν μετρήσεις διείσδυσης ουσιαστικά από υνί σε υνί ανά 20 εκ.

Συγκεντρώνοντας τα στοιχεία των μετρήσεων, ταξινομήθηκαν κατά τέτοιον τρόπο ώστε συγκροτώντας επιμέρους ομάδες, με σκοπό να απλουστεύσουμε τις τιμές, που καλούνται κλάσεις. Οι κλάσεις είναι στην πράξη ζώνες εδάφους, όπου σε κάθε ζώνη υπάρχει η ίδια αντίσταση στη διείσδυση. Οι ζώνες εδάφους (κλάσεις) εκφράζονται σε kPa. Στο πείραμα δημιουργήθηκαν επτά ζώνες, **E1: 0-500 kPa**, **E2: 500-1000 kPa**, **E3: 1000-1500 kPa**, **E4: 1500-2000 kPa**, **E5: 2000-2500 kPa**, **E6: 2500-3000 kPa**, **E7: >3000 kPa**. Επίσης ονομάζεται η απόσταση στα 20 εκ. από το υνί **A1: 0-20 cm**, η απόσταση από 20 – 40 εκ. από το υνί **A2: 20-40 cm** και η απόσταση από 40 – 60 εκ. από το υνί **A3: 40-60 cm**. Με αυτόν τον τρόπο, σύμφωνα με τις μετρήσεις της διεισδύσεως, προκύπτει ένα σχήμα όπως φαίνεται παρακάτω



Σχήμα 17α: Προφίλ εδάφους σε σχέση με τη διείσδυση. Οι διαφορετικές κλάσεις χρωματίζονται αναλόγως (kPa).



Σχήμα 17β: Προφίλ εδάφους σε σχέση με τη διείσδυση. Οι διαφορετικές κλάσεις χρωματίζονται αναλόγως (kPa).

Το σχήμα 17 είναι ενδεικτικό των μετρήσεων που πάρθηκαν, για το T1 τύπο υνιού και γωνία υνιού $\Theta 1$, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3, που φαίνεται παρακάτω. Συνολικά, για κάθε πειραματικό τεμάχιο, σχηματίστηκαν 24 ανάλογα προφίλ εδάφους που αντιπροσωπεύουν τις εκάστοτε μετρήσεις για την αντίσταση στη διείδυση.

Πίνακας 3α: Μετρήσεις διείδυσεως για γωνία υνιού $\Theta 1$ και τύπο υνιού T1.

Επανάληψη Γωνία Υνί		1						
		20						
Βάθος κάθε ζώνης (cm)		Αποστάσεις από το υνί (cm)						
		60	40	20	0 (υνί)	20	40	60
Κλάσεις	0-500 kpa	0	0	1	18	1	0	0
	500-1000 kpa	4	4	5	7	5	4	4
	1000-1500 kpa	4	4	4	3	4	4	4
	1500-2000 kpa	7	7	11	3	11	7	7
	2000-2500 kpa	4	5	3	2	3	5	4
	2500-3000 kpa	2	3	2	2	2	3	2
	>3000 kpa	14	12	9	0	9	12	14
Συνολικό Βάθος (cm)		35	35	35	35	35	35	35

Πίνακας 3β: Υπολογισμός των εμβαδών για γωνία υνιού $\Theta 1$ και τύπο υνιού

T1

		Οριζόντιες Ζώνες		
		A1	A2	A3
Εμβαδά (cm ²)		0-20	20-40	40-60
Κατακόρυφες Ζώνες	E1	190	10	0
	E2	120	90	80
	E3	70	80	80
	E4	140	180	140
	E5	50	80	90
	E6	40	50	50
	E7	90	210	260
Άθροισμα		700	700	700

Μελετώντας το Σχήμα 17β και τον πίνακα 3β, οι κλάσεις E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 σχηματίζουν κάθε μία ορισμένο εμβαδό. Αν μελετηθούν οι κλάσεις όσον αφορά την απόστασή τους από το υνί, τότε σχηματίζονται επιμέρους εμβαδά ζωνών εδάφους όπως φαίνεται στο Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Ζώνες εδάφους με την ίδια αντίσταση στη διείσδυση για αποστάσεις από το υνί.

	Κλάσεις (Κρα)	Ζώνες	Οριζόντια απόσταση από το Υνί (cm)		
			0-20	20-40	40-60
			A1	A2	A3
Κατακόρυφες Ζώνες με την ίδια αντίσταση στη Διείσδυση	0-500	E1	A1/E1	A2/E1	A3/E1
	500-1000	E2	A1/E2	A2/E2	A3/E2
	1000-1500	E3	A1/E3	A2/E3	A3/E3
	1500-2000	E4	A1/E4	A2/E4	A3/E4
	2000-2500	E5	A1/E5	A2/E5	A3/E5
	2500-3000	E6	A1/E6	A2/E6	A3/E6
	>3000	E7	A1/E7	A2/E7	A3/E7

Οργανώνοντας τα δεδομένα των μετρήσεων της αντίστασης στη διείσδυση σε ένα αρχείο του στατιστικού πακέτου MSTAT C, προκύπτει ότι δύο μόνο από τις παραπάνω ζώνες εδάφους του πίνακα 4, παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, Πίνακας 5.

Πίνακας 5: Ζώνες εδάφους που παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές

Παράγοντες	Επίπεδα	Εμβαδά (cm ²)	
		A2/E2	A3/E4
Τύπος Υνιών	T₁ (στρογγυλό με πλάτος 3 cm)	95	147,50
	T₂ (ορθογώνιο με πλάτος 5 cm)	85,83	130,83
<i>Τυπικό σφάλμα</i>		<i>14,64</i>	<i>2,89</i>
<i>F test</i>		<i>n.s</i>	<i>*</i>
Γωνία Υνιών	Θ₁ =20 °	85 AB	127,5
	Θ₂ =30 °	106,25 A	153,75
	Θ₃ =40 °	80 B	136,25
<i>Τυπικό σφάλμα</i>		<i>3,89</i>	<i>20,21</i>
E.Σ.Α 05		<i>23,65</i>	<i>n.s</i>
M.O		90,417	139,167
C.V %		23,79	43,19

Σημείωση:

n.s : μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές

*** : Στατιστικώς Σημαντικές Διαφορές με βεβαιότητα 99,9%

** : Στατιστικώς Σημαντικές Διαφορές με βεβαιότητα 99%

* : Στατιστικώς Σημαντικές Διαφορές με βεβαιότητα 95%

E.Σ.Δ 05 : Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά με βεβαιότητα 95%

A , B: Διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν Σ.Σ.Δ

Σ.Σ.Δ : (Στατιστικώς Σημαντικές Διαφορές)

Όπως διακρίνεται από το σχήμα 20 η ζώνη εδάφους A2/E2 εμφανίζει στην ανάλυσή της στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς τις γωνίες των υνιών του πειράματος. Δηλαδή οι γωνίες των υνιών που επιτελέστηκε το συγκεκριμένο πείραμα, ($\Theta_1=20^\circ$, $\Theta_2=30^\circ$, $\Theta_3=40^\circ$), επηρεάζουν την αντίσταση στη διείσδυση του εδάφους για τη συγκεκριμένη ζώνη εδάφους.

Όσον αφορά τη ζώνη εδάφους A3/E4, φαίνεται στο σχήμα 20 να εμφανίζει στην ανάλυσή της στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς τον τύπο των υνιών του πειράματος. Αυτό σημαίνει ότι οι τύποι των υνιών που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση του πειράματος, (T1: στρόγγυλο με πλάτος 3 εκ. και T2: ορθογώνιο με πλάτος 5εκ.), επηρεάζουν την αντίσταση στη διείσδυση του εδάφους για τη συγκεκριμένη ζώνη εδάφους.

Πρακτικά, αν και υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις αναφερόμενες ζώνες εδάφους πρέπει να θεωρηθούν αμελητέες. Το ότι έχουν διαφορές αυτό να οφείλεται στο γεγονός που πιθανόν το διεισδυσιόμετρο να ήρθε σε επαφή με πέτρες που υπήρχαν στον αγρό κατά τη διαδικασία της εφαρμογής του. Οι πέτρες του αγρού, όταν εφαρμόζεται το διεισδυσιόμετρο, διαφοροποιούν αρκετά τις μετρήσεις και είναι ένα φαινόμενο που δεν είναι εφικτό να αποτραπεί και να το αποφύγουμε εκ των προτέρων.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι δυνατόν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα που μπορούν να επεκταθούν πέρα από τις συνθήκες πειραματισμού.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορεί να λεχθεί ότι:

- Η μέτρηση της κατανάλωσης του καυσίμου εκφρασμένη σε ειδική κατανάλωση καυσίμου ανά στρέμμα, δεν επηρεάζεται από τους παράγοντες που μελετήσαμε.

- Οι δύο διαφορετικοί τύποι υνιών που δοκιμάστηκαν, ουσιαστικά επιτέλεσαν ανάλογη κατεργασία εδάφους με παραπλήσια ποιότητα κατεργασίας εδάφους. Το πλατύτερο όμως υνί , το T2, είναι ενεργειακά αποδοτικότερο από ότι το T1, στρογγυλό υνί, πιθανότατα λόγω σχήματος, και προτιμότερο αν πρόκειται για εργασία στον αγρό.
- Οι διαφορετικές γωνίες κατεργασίας δεν επηρεάζουν ούτε την ποιότητα της εργασίας στον αγρό, ούτε επιδρούν ενεργειακά κατά οποιοδήποτε τρόπο.
- Οι δύο ζώνες εδάφους που έχουμε διαφορές δεν επιδρούν ουσιαστικά στην ποιότητα τις εργασίας μας εκ των πραγμάτων, και θεωρούνται μη σημαντικές.

Βιβλιογραφία

ASAE (2002) Standards: American Society of Agricultural Engineers 35th Edition (ASAE S313.2) 1988.

Garcia-Torres L., Martinez-Vilela A., Holgado-Cabrera A. and Gonzales-Sanchez Emilio (2004). **Conservation Agriculture, environmental and economic benefits**. *European Conservation Agriculture Federation (ECAAF), Brussels, Belgium. www.ecaf.org & Spanish Association for Conservation Agriculture/Living Soils (AEAC/SV), Cordoba, Spain, www.aeac-sv.org*

Bernacki, H., Haman J. and Kanaforjski Cz., 1972. Agricultural machines. Theory and Construction. *Vol. I. Warsaw.*

Brown, A.D., Dexter, A.R., Charmen, W.C.T., and Spoor, G. (1996). **Effect of soil macroporosity and aggregate size on seed-soil contact**. *Soil and Tillage Research. 38. pp.203-216.*

CIGR handbook

Gemtos, T.A., Cavalaris, C., Demis, VI, Pateras, D. and Tsidari. Chr. (2002). **Effect of changing tillage practices after four years of continuous reduced tillage**. *ASAE Annual International Meeting / CIGR World Congress. July 2002, Chicago Paper No 021135.*

Godwin R. J., Spoor G. and Soomro M.S. 1984. **The Effect of Tine Arrangement on Soil Forces and Disturbance**. *J. agric. Engng. Res. 30, 47-56*

Godwin R.J and Spoor G. 1977. **Soil Failure with Narrow Tines**. *J. agric. Engng. Res. 22, 213-228*

Hamblin, A. (1987). **The effect of tillage on soil physical conditions**. *In: P.E. Cornish and J.E. Pratley (Editors), Tillage: New Directions in Australian Agriculture, Chap. 6, pp. 128-63. Inkata Press, Melbourne.*

Hamlett C.A., T.S Colvin, A. Musselman 1983. **Economic potentiak**

conservation tillage in Iowa. *Transactions of the ASAE* 26p. 719-722, 727

Kemper W.D. and Chepil W.S. 1965. **Size Distribution of Aggregates.** *Methods of Soil ANALYSIS Part1* 39, 499-509.

Koolen, A.J. and Kuipers, H. (1983). **Agricultural soil mechanics.** Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo.

Marcues da Silva J.R. and Soares J.M.C.N 2000. **Description standards of primary tillage implements.** *Soil & Tillage Research* 57, 173-176.

McKyes, E. (1978). **The Calculation of Draft Forces and Soil Failure Boundaries of Narrow Cutting Blades.** *Transactions of the ASAE*, 20-24.

McKyes, E. (1989). **Agricultural engineering soil mechanics.** Elsevier Science Publishers

Papathanassiou I., Ch. Kavalaris Ch. Karamoutis T.A.Gemtos "Design, Construction and Testing of an Instrumented Tractor to Measure Forces on Agricultural Implements and Energy Consumption during field work". 1st conference of Hellenic Association of ICT in Agriculture, Food and Environment Athens 6-7 June 2002 Proceedings pp. 144-153

Payne, D. and Gregory, P.J. (1988). **The temperature of the soil.** In: Alan Wild (Editor). *Russell's soil conditions & plant growth.* 11th edn. Longman Group UK Limited 1988.

Perumpral J.V, Grisso R.D, Desai C.S 1983. **A soil-Tool Model Based on Limit Equilibrium Analysis.** *Transactions of the ASAE*, 991-995.

Phillips S.H. and Young H.M.Jr. (1973). **No tillage farming.** Reisman Associates. Millwaukee, Wiskonsin.

Pimentel D., C. Harvey, P Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, R. Blair. (1995). **Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits.** *Science*, 267, pp 1117-1123.

Principles of Farm Machinery

Wheeler P.N. and Godwin R.J 1996. **Soil Dynamics of Single and Multiple Tines at Speeds up to 20 km/h.** *J. agric. Engng. Res.* 63, 243-250

Αγγελοπούλου (2004) Μεταπτυχιακό

Γέμτος, (1994). **Σημειώσεις γεωργικής μηχανολογίας.** *Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος.*

Καβαλάρης Χ. (2004). **Εφαρμογή μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους σε συστήματα αμιψεισποράς ζαχαροτεύτλων, βαμβακιού και καλαμποκιού.** *Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Taylor, H.M, and Garner, H.R (1960). **Plant Roots The Hidden Half.** Second edition, revised and expanded. Edited by Yoav Waisel, Amram Eshel, Uzi Kafkafi (453-469).

Τσατσαρέλης, Κ.Α. (1995). **Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων.** *Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη.*

Τσατσαρέλης, Κ.Α. (2000). **Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους.** *Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.*

Weise, G. and Bourarach, E.H. (1999). **Tillage machinery.** In B.A. Stout (Editor), *CIGR Handbook of Agricultural Engineering.* Vol III. ASAE St Joseph MI. pp 184-217.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τμήαο	Επανάληψη	Γωνία	Υψή	Εκκική (kN)	Βάθος (m)	Ταχύτητα (m/sec)	Ειδική Αντίσταση (kN/m ²)	Ισχύς (F*v) (kN*m/sec) (kW)	Χρόνος καταρπάσας 1 σπέρματος/h/σπ.	Ενέργεια (Ισχύς επί το χρόνο) (kWh/σπ.)	Μέση Κατανάλωση (gr/sec)	Ειδική Κατανάλωση (gr/kWh)	sec	Ταχύτητα (km/h)	0	1	2	3	4	Κατακόρυφη Δύναμη (kN)
3α	1	Θ1	T1	18,59	0,25	1,11	37,2	20,7	0,12	2,58	3,	1,16	8	4,01	-	15,27	15,18	2,	1,77	3,77
4α	1	Θ3	T1	19,41	0,25	1,02	38,8	19,7	0,14	2,7	3,12	1,16		3,66	11,86	17,78	15,26	2,53	1,65	4,17
8α	1	Θ2	T1	21,17	0,25	1,03	42,3	21,9	0,13	2,94	2,57	0,87		3,72	13,26	16,93	17,68	1,86	2,65	4,51
9α	2	Θ1	T1	13,51	0,25	1,	27,	13,5	0,14	1,88	2,08	1,11		3,61	14,33	12,2	10,88	1,38	1,66	3,05
11α	2	Θ3	T1	20,06	0,25	1,01	40,1	20,3	0,14	2,79	3,	1,08		3,64	-9,26	17,88	15,98	1,33	2,84	4,17
15α	2	Θ2	T1	13,5	0,25	1,09	27,	14,7	0,13	1,88	3,	1,6		3,93	13,09	12,34	10,83	1,44	1,35	2,8
20α	3	Θ2	T1	15,43	0,25	1,08	30,9	16,6	0,13	2,14	2,32	1,08		3,88	-9,79	12,95	13,13	1,65	1,66	3,3
21α	3	Θ3	T1	15,34	0,25	1,04	30,7	15,9	0,13	2,13	2,32	1,09		3,73	-9,46	13,96	12,76	1,58	1,89	3,47
24α	3	Θ1	T1	16,15	0,25	1,07	32,3	17,3	0,13	2,24	2,75	1,23		3,85	10,78	14,43	12,26	1,17	2,49	3,66
28α	4	Θ2	T1	15,66	0,25	1,04	31,3	16,4	0,13	2,17	3,42	1,57		3,76	-9,61	13,51	12,79	1,28	2,43	3,71
29α	4	Θ1	T1	14,29	0,25	1,04	28,6	14,8	0,13	1,98	3,24	1,63		3,73	10,99	11,64	11,64	1,38	1,53	2,9
32α	4	Θ3	T1	15,1	0,25	1,05	30,2	15,9	0,13	2,1	2,87	1,37		3,79	-9,47	12,39	13,58	0,74	2,69	3,43
3L	1	Θ1	T2	11,68	0,25	1,1	23,4	12,8	0,13	1,62	2,45	1,51		3,95	11,92	10,17	9,46	1,81	0,67	2,48
4L	1	Θ3	T2	12,08	0,25	1,11	24,2	13,4	0,13	1,68	2,57	1,53		4,	-7,35	10,21	11,19	1,03	1,89	2,91
8L	1	Θ2	T2	15,03	0,25	1,04	30,1	15,6	0,13	2,09	3,36	1,61		3,75	-8,66	11,4	13,18	1,07	1,86	2,93
9L	2	Θ1	T2	13,75	0,25	1,06	27,5	14,6	0,13	1,91	2,02	1,06		3,82	-9,81	11,91	10,49	1,42	1,58	3,01
11L	2	Θ3	T2	14,26	0,25	1,02	28,5	14,6	0,14	1,98	2,38	1,2		3,69	-9,14	13,18	11,65	1,17	1,89	3,06
15L	2	Θ2	T2	12,68	0,25	1,02	25,4	13,	0,14	1,76	1,59	0,9		3,68	11,26	11,19	10,19	0,82	1,84	2,66
20L	3	Θ2	T2	12,9	0,25	1,09	25,8	14,	0,13	1,79	2,51	1,4		3,91	-9,04	11,82	9,81	1,69	0,7	2,39
21L	3	Θ3	T2	12,75	0,25	1,05	25,5	13,4	0,13	1,77	2,81	1,59		3,77	-7,6	10,86	11,19	1,11	1,65	2,76
24L	3	Θ1	T2	9,44	0,25	1,06	18,9	10,	0,13	1,31	2,69	2,05		3,82	-9,86	8,62	7,93	1,12	0,81	1,94
28L	4	Θ2	T2	12,08	0,25	1,07	24,2	12,9	0,13	1,68	2,87	1,71		3,85	-7,33	11,91	9,23	0,83	1,97	2,8
29L	4	Θ1	T2	10,68	0,25	1,05	21,4	11,2	0,13	1,48	2,26	1,53		3,77	-8,66	8,71	9,45	0,46	1,53	2,

32L 4 03 T2 12,02 0,25 1,07 24, 12,9 0,13 1,67 2,87 1,72 3,86 -9,6 12,17 8,93 2,3 0,37 2,67

MAKIS_06

Function : PRLIST
 Data case no. 1 to 47

List Of Variables

```
-----
Var Type      Name / Description
 1 NUMERIC temaxio
 2 NUMERIC replication
 3 NUMERIC Angle
 4 NUMERIC Tine
 5 NUMERIC Draft-Force(kN)
 6 NUMERIC Resistivity(kN/m2)
 7 NUMERIC Power(kW)
 8 NUMERIC Energy(kWh/str.)
 9 NUMERIC Sp.Consumtion(gr/kWh)
10 NUMERIC Speed
11 NUMERIC Vertical-Force(kN)
```

CASE NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3	1	1	1	18.59	37.19	20.73	2.582	1.160	4.013	3.766
2	4	1	3	1	19.41	38.82	19.73	2.696	1.156	3.660	4.173
3	8	1	2	1	21.17	42.34	21.86	2.940	0.873	3.718	4.508
4	9	2	1	1	13.51	27.03	13.54	1.877	1.107	3.607	3.046
5	11	2	3	1	20.06	40.11	20.29	2.786	1.075	3.643	4.169
6	15	2	2	1	13.50	27.00	14.74	1.875	1.597	3.929	2.796
7	20	3	2	1	15.43	30.86	16.63	2.143	1.084	3.881	3.303
8	21	3	3	1	15.34	30.67	15.89	2.130	1.091	3.731	3.467
9	24	3	1	1	16.15	32.29	17.29	2.243	1.227	3.854	3.661
10	28	4	2	1	15.66	31.32	16.36	2.175	1.574	3.762	3.708
11	29	4	1	1	14.29	28.58	14.79	1.985	1.632	3.726	2.904
12	32	4	3	1	15.10	30.20	15.91	2.097	1.370	3.793	3.431
13	3	1	1	2	11.68	23.36	12.82	1.622	1.507	3.951	2.480
14	4	1	3	2	12.08	24.16	13.42	1.678	1.530	4.000	2.913
15	8	1	2	2	15.03	30.05	15.65	2.087	1.611	3.749	2.929
16	9	2	1	2	13.75	27.50	14.60	1.910	1.056	3.823	3.010
17	11	2	3	2	14.26	28.53	14.61	1.981	1.203	3.687	3.063
18	15	2	2	2	12.68	25.36	12.95	1.761	0.903	3.678	2.659
19	20	3	2	2	12.90	25.80	14.00	1.792	1.399	3.907	2.392
20	21	3	3	2	12.75	25.49	13.37	1.770	1.588	3.775	2.762
21	24	3	1	2	9.44	18.88	10.03	1.311	2.051	3.823	1.937
22	28	4	2	2	12.08	24.17	12.91	1.678	1.712	3.846	2.800
23	29	4	1	2	10.68	21.35	11.20	1.483	1.525	3.775	1.996
24	32	4	3	2	12.02	24.05	12.90	1.670	1.720	3.863	2.667
25	1				16.33	32.65	17.37	2.267	1.306	3.849	3.461
26	2				14.63	29.26	15.12	2.032	1.157	3.728	3.124
27	3				13.67	27.33	14.53	1.898	1.407	3.829	2.920
28	4				13.31	26.61	14.01	1.848	1.589	3.794	2.918
29					0.98	1.97	0.99	0.137	0.174	0.024	0.202
30											
31				1	16.52	33.03	17.31	2.294	1.245	3.776	3.578
32				2	12.45	24.89	13.20	1.729	1.484	3.823	2.634
33					0.70	1.39	0.70	0.097	0.123	0.017	0.143
34											
35				1	13.51	27.02	14.38	1.877	1.408	3.822	2.850
36				2	14.81	29.61	15.64	2.056	1.344	3.809	3.137
37				3	15.13	30.25	15.77	2.101	1.342	3.769	3.331
38					0.68	1.36	0.62	0.094	0.065	0.045	0.149
39											
40				1	15.64	31.27	16.59	2.172	1.281	3.800	3.344
41				2	16.44	32.88	17.40	2.283	1.282	3.822	3.579
42				3	17.48	34.95	17.95	2.427	1.173	3.707	3.810

43	1	2	11.39	22.77	12.16	1.582	1.535	3.843	2.356
44	2	2	13.17	26.34	13.88	1.829	1.406	3.795	2.695
45	3	2	12.78	25.56	13.57	1.775	1.510	3.831	2.851
46			0.78	1.55	0.88	0.108	0.113	0.057	0.167
47									

MAKIS_06 **Function: FACTOR**

Experiment Model Number 31: wo Factor Randomized Complete Block Design using Strip Plots

Data case no. 1 to 24.

Factorial ANOVA for the factors:

- Replication (Var 2: replication) with values from 1 to 4
- Horizontal Factor A (Var 4: Tine) with values from 1 to 2
- Vertical Factor B (Var 3: Angle) with values from 1 to 3

Variable 5: Draft-Force(kN)

Grand Mean = 14.482 Grand Sum = 347.560 Total Count = 24

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E

K Value	Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob
1	Replication	3	32.827	10.942	1.8822	0.3082
2	Horizontal Factor A	1	99.471	99.471	17.1099	0.0256
-3	Error (a)	3	17.441	5.814		
4	Vertical Factor B	2	11.713	5.857	1.5934	0.2786
-5	Error (b)	6	22.054	3.676		
6	AB	2	2.145	1.072	0.4453	
-7	Error (c)	6	14.451	2.408		
Total		23	200.101			

Coefficient of Variation: 10.72%

s _y for means group 1:	0.9843	Number of Observations: 6
s _y for means group 2:	0.6960	Number of Observations: 12
s _y for means group 4:	0.6778	Number of Observations: 8
s _y for means group 6:	0.7760	Number of Observations: 4

Variable 6: Resistivity(kN/m2)

Grand Mean = 28.963 Grand Sum = 695.110 Total Count = 24

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E

K Value	Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob
1	Replication	3	131.363	43.788	1.8786	0.3088
2	Horizontal Factor A	1	397.802	397.802	17.0664	0.0257
-3	Error (a)	3	69.927	23.309		
4	Vertical Factor B	2	46.827	23.414	1.5936	0.2785
-5	Error (b)	6	88.153	14.692		
6	AB	2	8.549	4.274	0.4454	
-7	Error (c)	6	57.581	9.597		
Total		23	800.202			

Coefficient of Variation: 10.70%

s _y for means group 1:	1.9710	Number of Observations: 6
-----------------------------------	--------	---------------------------

s_y for means group 2: 1.3937 Number of Observations: 12
s_y for means group 4: 1.3552 Number of Observations: 8
s_y for means group 6: 1.5489 Number of Observations: 4

Variable 7: Power(kW)

Grand Mean = 15.259 Grand Sum = 366.220 Total Count = 24

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E

K Value	Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob
1	Replication	3	39.289	13.096	2.2268	0.2639
2	Horizontal Factor A	1	101.270	101.270	17.2194	0.0254
-3	Error (a)	3	17.644	5.881		
4	Vertical Factor B	2	9.446	4.723	1.5239	0.2916
-5	Error (b)	6	18.596	3.099		
6	AB	2	1.040	0.520	0.1667	
-7	Error (c)	6	18.728	3.121		
Total		23	206.013			

Coefficient of Variation: 11.58%

s_y for means group 1: 0.9900 Number of Observations: 6
s_y for means group 2: 0.7001 Number of Observations: 12
s_y for means group 4: 0.6224 Number of Observations: 8
s_y for means group 6: 0.8834 Number of Observations: 4

Variable 8: Energy(kWh/str.)

Grand Mean = 2.011 Grand Sum = 48.272 Total Count = 24

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E

K Value	Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob
1	Replication	3	0.633	0.211	1.8805	0.3085
2	Horizontal Factor A	1	1.919	1.919	17.0974	0.0257
-3	Error (a)	3	0.337	0.112		
4	Vertical Factor B	2	0.226	0.113	1.5922	0.2788
-5	Error (b)	6	0.425	0.071		
6	AB	2	0.041	0.021	0.4454	
-7	Error (c)	6	0.278	0.046		
Total		23	3.859			

Coefficient of Variation: 10.71%

s_y for means group 1: 0.1368 Number of Observations: 6
s_y for means group 2: 0.0967 Number of Observations: 12
s_y for means group 4: 0.0941 Number of Observations: 8
s_y for means group 6: 0.1077 Number of Observations: 4

Variable 9: Sp.Consumtion(gr/kWh)

Grand Mean = 1.365 Grand Sum = 32.751 Total Count = 24

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE						
K Value	Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob
1	Replication	3	0.592	0.197	1.0801	0.4755
2	Horizontal Factor A	1	0.341	0.341	1.8647	0.2655
-3	Error (a)	3	0.548	0.183		
4	Vertical Factor B	2	0.023	0.011	0.3401	
-5	Error (b)	6	0.201	0.033		
6	AB	2	0.046	0.023	0.4495	
-7	Error (c)	6	0.307	0.051		
Total		23	2.057			

Coefficient of Variation: 16.58%

s_y for means group 1: 0.1745 Number of Observations: 6
s_y for means group 2: 0.1234 Number of Observations: 12
s_y for means group 4: 0.0646 Number of Observations: 8
s_y for means group 6: 0.1132 Number of Observations: 4

Variable 10: Speed

Grand Mean = 3.800 Grand Sum = 91.194 Total Count = 24

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE						
K Value	Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob
1	Replication	3	0.050	0.017	5.0529	0.1082
2	Horizontal Factor A	1	0.013	0.013	3.9271	0.1418
-3	Error (a)	3	0.010	0.003		
4	Vertical Factor B	2	0.012	0.006	0.3713	
-5	Error (b)	6	0.097	0.016		
6	AB	2	0.023	0.012	0.8815	
-7	Error (c)	6	0.079	0.013		
Total		23	0.284			

Coefficient of Variation: 3.02%

s_y for means group 1: 0.0235 Number of Observations: 6
s_y for means group 2: 0.0167 Number of Observations: 12
s_y for means group 4: 0.0449 Number of Observations: 8
s_y for means group 6: 0.0573 Number of Observations: 4

Variable 11: Vertical-Force(kN)

Grand Mean = 3.106 Grand Sum = 74.540 Total Count = 24

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE						
K Value	Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob
1	Replication	3	1.180	0.393	1.6070	0.3531
2	Horizontal Factor A	1	5.343	5.343	21.8320	0.0185
-3	Error (a)	3	0.734	0.245		
4	Vertical Factor B	2	0.936	0.468	2.6241	0.1518
-5	Error (b)	6	1.070	0.178		
6	AB	2	0.012	0.006	0.0525	
-7	Error (c)	6	0.666	0.111		

Total	23	9.940
-------	----	-------

Coefficient of Variation: 10.73%

s _y for means group 1:	0.2020	Number of Observations: 6
s _y for means group 2:	0.1428	Number of Observations: 12
s _y for means group 4:	0.1493	Number of Observations: 8
s _y for means group 6:	0.1666	Number of Observations: 4



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000105601