

**Τ.Ε.Ι ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕ.ΜΥ.Π**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΡΟΤΡΟΥ**

**ΘΕΩΡΙΑ - ΟΡΓΑΝΑ - ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**

**ΦΟΙΤΗΤΕΣ : ΤΣΑΧΑΚΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ  
: ΣΟΜΠΟΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΜΠΙΣΔΟΥΝΗΣ Ι. ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2006**

## Πρόλογος

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας αυτής είναι να αποσαφηνισθούν όσο το δυνατόν οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα υνάροτρο κατά την άροση, χρησιμοποιώντας δυναμοκυψελίδες (strain gauge) για την μέτρηση τους. Στην αναζήτηση γνώσεων για το αντικείμενο αυτό οι πηγές στην Ελληνική βιβλιογραφία είναι περιορισμένη έτσι τα άρθρα είναι από πανεπιστήμια της Ευρώπης και Αμερικής. Το κίνητρο που μας ώθησε να ασχοληθούμε με την συγκεκριμένη πτυχιακή είναι να δώσουμε μία διαφορετική απάντηση στα ήδη πεπραγμένα μεγάλων επιστημόνων και μελετητών της γεωργικής μηχανολογίας.

Ένας μοχλός πίεσης είναι τα πολλά προβλήματα που αντιμετωπίζει η γεωργική παραγωγή στην Ελλάδα και η επιτακτική ανάγκη μείωσης του κόστους της καλλιέργειας σε όλη την αλυσίδα παραγωγής (κατεργασία εδάφους, σποράς, συγκομιδής, τυποποίησης με πιστοποιημένα και ελεγμένα προϊόντα). Μοναδική λύση στην γεωργική παραγωγή της Ελλάδας είναι η ολοκληρωμένη ανάπτυξη της καλλιέργειας σε όλα τα στάδια για την παραγωγή ποιοτικών αγαθών και με χαμηλότερο κόστος.

Βασική προϋπόθεση στην συρρίκνωση του κόστους είναι η επιλογή των κατάλληλων μηχανημάτων που συνιστώνται στην κάθε καλλιέργεια, έτσι αν δε γνωρίζουμε την πραγματική αντίσταση σε ένα άροτρο δεν μπορούμε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ενώ είναι σαφές ότι δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται μηχανήματα που δεν ικανοποιούν την συνισταμένη χαμηλό κόστος κτίσης, συντήρησης και την μέγιστη απόδοση στην εργασία σε λιγότερο χρόνο.

Στην σημερινή εποχή της παγκοσμιοποίησης και των διεθνών αγορών δεν μπορούμε να σταθούμε στα όσα έχουν κάνει οι άλλοι για την Ελληνική γεωργία αφού και εμείς από την μεριά μας είμαστε υπεύθυνοι για την πορεία του Έλληνα αγρότη. Έτσι δεν πρέπει να σταθούμε σε παλαιωμένες καταστάσεις και συνήθειες αλλά να δώσουμε την ισχύ και την καθοδήγηση με σκοπό την μακρόπνοη απόδοση κάθε επένδυσης χωρίς να επικεντρωνόμαστε σε καθαρά εμπορικές συναλλαγές με μοναδικό σκοπό το κέρδος.

## Εισαγωγή

Η μέθοδος που ακολουθούμε για την μέτρηση της αντίστασης του εδάφους κατά την άροση σε εδάφη ιδιοκτησίας του Τ.Ε.Ι ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ χρησιμοποιώντας δυναμοκυβελίδες, ακολουθεί την παρακάτω λογική σειρά και ανάλυση αφού έχουμε να εξετάσουμε έδαφος, άροτρο, ελκυστήρα και δυναμόμετρα.

Έτσι εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους: τύπος, μηχανική σύσταση, δομή, πορώδες, συνεκτικότητα, ρόγος, πλαστικότητα, οργανικές ουσίες του, εδαφικό νερό, συμπίεση και συμπύκνωση του εδάφους.

Στην συνέχεια αναλύεται η κατεργασία του εδάφους, ο σκοπός κατεργασίας, τρόποι δράσης των εργαλείων κατά την κατεργασία του εδάφους, κατεργασιμότητα - προσπελασιμότητα των εδαφών, εργαλεία κατεργασίας του εδάφους. Οι δυνάμεις που δρουν σε ένα καλλιεργητικό εργαλείο που κινείται με σταθερή ομοιόμορφη ταχύτητα είναι: α) το βάρος του εργαλείου

β) η συνολική αντίδραση του εδάφους

και γ) δύναμη έλξης του ελκυστήρα.

Ο *Clyde*,<sup>1</sup> κατατάσσει τις δυνάμεις που προκαλούνται από την αντίδραση του εδάφους σε δύο κατηγορίες, σε: α) κύριες ή ωφέλιμες

και β) δευτερεύουσες ή παρασιτικές.

Ως κύριες θεωρούνται εκείνες που αναπτύσσονται από την αντίσταση στην κοπή, θρυμματισμό και αναστροφή του εδάφους.

Δυνάμεις που δρουν στα υνάροτρα, σε οριζόντιο επίπεδο όταν προσδιορισθούν οι οριζόντιες συνιστώσες των κύριων και παρασιτικών δυνάμεων μπορεί να προσδιορισθεί το μέγεθος της δύναμης έλξης, κατά τη διεύθυνση της κίνησης, ικανής να αντιμετωπίσει τις δυνάμεις αυτές. Δυνάμεις που δρουν στα υνάροτρα, σε κατακόρυφο επίπεδο, η δύναμη  $R$  αναλύεται σε δύο συνιστώσες την  $L$ , κατά τη διεύθυνση της κίνησης και την  $V$  κατά την κατακόρυφο. Η οριζόντια προέρχεται από την αντίδραση στο κόψιμο του εδάφους και εξουδετερώνεται από τη δύναμη έλξης  $P_x$ . Η κατακόρυφη προέρχεται από το βάρος του αρότρου και από την αντίσταση που προβάλλει το έδαφος κατά την ανύψωση και την αναστροφή του. Αντίσταση έλξης που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση του αρότρου και εκ τούτου η δύναμη που απαιτείται από τον ελκυστήρα για να υπερνικήσει την αντίσταση αυτή (δύναμη έλξης,  $P_x$ ) και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τα χαρακτηριστικά του αρότρου καθώς και την ταχύτητα κίνησης.

Ρυθμίσεις των αρότρων όπως έχει γίνει φανερό από τα προηγούμενα, τα άροτρα κατασκευάζονται για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τύπους ελκυστήρων. Σε πολλά μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν σώματα μεταβάλλοντας το συνολικό πλάτος εργασίας. Το βάθος εργασίας ρυθμίζεται ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες και μέσα στα όρια της σχέσης "πλάτος προς βάθος".

Για να μπορέσει ως εκ τούτου ένα σύστημα ελκυστήρα - αρότρου να εκτελέσει την άροση με το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, αλλά και με μειωμένο κόστος θα πρέπει να ρυθμίζεται καταλλήλως, ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες.

Οι βασικές ρυθμίσεις του ελκυστήρα που πρέπει να γίνονται αφορούν τη ρύθμιση της θέσης των τροχών (πρόσθιων και οπίσθιων), τη ρύθμιση της πίεσης των ελαστικών και τη ρύθμιση των πρόσθετων βαρών. Η αντίσταση παράλληλη προς την επιφάνεια κινήσεως (σε κατακόρυφο επίπεδο) παρουσιάζεται κατά την έλξη μεταφορικών οχημάτων (πλατφόρμες), καθώς και τροχοφόρων γεωργικών μηχανημάτων (π. χ. σπαρτικές μηχανές σιτηρών, μηχανήματα συγκομιδής κ. λ. π.).

Κατακόρυφη αντίσταση δημιουργείται κατά την ανύψωση γεωργικών μηχανημάτων, στο σύστημα αναρτήσεως τριών σημείων που διαθέτει ο γεωργικός ελκυστήρας.

Αντίσταση υπό γωνία ως προς την κατακόρυφο άξονα είναι η αντίσταση που προβάλλεται στον γεωργικό ελκυστήρα κατά την έλξη, δεν είναι ούτε οριζόντια ούτε κατακόρυφη, αλλά είναι υπό γωνία ως προς την κατακόρυφο, όπως συμβαίνει κατά την έλξη των αρότρων.

Δυο ομάδες δυνάμεων συγκροτούν την αντίσταση του εδάφους κατά το όργωμα. Η μια πού αποτελεί τις ωφέλιμες και η άλλη τις παθητικές. Ωφέλιμες, σύμφωνα με την ορολογία της Γενικής Μηχανολογίας, είναι εκείνες πού η υπερνίκηση τους αποτελεί και τον αντικειμενικό σκοπό του έργου, πού εκτελείται, όπως στην περίπτωση μας είναι το κόψιμο, η μετατόπιση και η αναστροφή του εδάφους. Παθητικές είναι οι ανεπιθύμητες βέβαια δυνάμεις, άλλα αναπόφευκτες, όπως στην περίπτωση μας είναι οι τριβές της κατακόρυφης επιφάνειας του σώματος του αρότρου με το έδαφος. Η ανάλυση της δύναμη F στην περίπτωση του οργώματος είναι η συνισταμένη τριών δυνάμεων, που αναλύεται παρακάτω :

- α) Η αντίσταση στην κίνηση αυτού του ίδιου του ελκυστήρα (F1).
- β) Η αντίσταση από την κλίση του επιπέδου στο οποίο κινείται ο ελκυστήρας (F2).
- γ) Η αντίσταση του φορτίου αυτού του ίδιου του αρότρου (F3).

Η μονάδα της αντίστασης του εδάφους τη μετρούμε σε kp. Η παρεμβολή ανάμεσα στον ελκυστήρα και στο άροτρο ενός απλού δυναμομέτρου, μας δίνει το βάρος σε kg δηλ. την αναγκαία δύναμη για να κινηθεί το άροτρο. Σαν μονάδα αντίστασης έχουμε την αντίσταση σε κάθε τετραγωνική παλάμη εδαφικής λωρίδας. ( $\text{kp} / \text{dm}^2$ ) και λέγεται ειδική αντίσταση. Στο αγγλοσαξονικό σύστημα έχουμε:  $1 \text{ lb} / \text{p. s. i}$ . Οι δυο μονάδες, όπως είναι γνωστό συνδέονται με τη σχέση:  $1 \text{ kp} / \text{dm} = 0.14 \text{ lb} / \text{p. s. i}$   $1 \text{ lb} / \text{p. s. i} = 7.03 \text{ kp}$

Στην συνέχεια αναλύονται οι τύποι των δυναμομέτρων. Το δυναμόμετρο PRONY είναι απλό, οικονομικό και εύχρηστο αλλά δεν δίνει αρκετή ακρίβεια ιδιαίτερα σε μεγάλα φορτία. Στους σταθμούς δοκιμών ελκυστήρων χρησιμοποιούνται συνήθως είτε δυναμόμετρα υδραυλικά είτε ηλεκτρικά ή γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Και οι τρεις τύποι δίνουν πολύ μεγάλη ακρίβεια είναι όμως όργανα ακριβά και απαιτούν ειδικές εγκαταστάσεις και εξειδικευμένο προσωπικό για το χειρισμό τους. Τα υδραυλικά δυναμόμετρα στηρίζονται στην ίδια αρχή των δυναμομέτρων PRONY με τη διαφορά ότι η μηχανική τριβή αντικαθίσταται από υδραυλική. Τα ηλεκτρικά δυναμόμετρα αποτελούνται από ένα στάτορα και ένα ρότορα. Ο ρότορας αποτελείται από συμπαγή χαλύβδινη μάζα, που φέρει συνήθως οδόντωση και συνδέεται με την προς δοκιμή μηχανή ενώ ο στάτορας εδράζεται με τρόπο που να επιτρέπεται η περιστροφή γύρω από τον άξονα του. Υπάρχουν και στην κατηγορία αυτή πολλοί τύποι δυναμομέτρων όπως τα δυναμόμετρα με ελατήρια, τα υδραυλικά δυναμόμετρα έλξης και τα δυναμόμετρα με δυναμοκυψελίδες (strain gauge).

Οι μετρήσεις με της δυναμοκυψελίδες strain gauge λαμβάνονται βάση της μεταβολής του μήκους, διατομής της αντίστασης (strain gauge) και της αυξομείωσης της έντασης του ρεύματος. Έτσι ανάλογα με την ταλάντωση που δέχεται το υνάρτρο από την αντίσταση του εδάφους κατά την κίνηση του συστήματος ελκυστήρα- άροτρο. Το σήμα παραμόρφωσης ενισχύεται από τον ενισχυτή σήματος ενώ στην συνέχεια αποθηκεύεται στην κάρτα δεδομένων και στην συνέχεια σε μορφή γραφήματος στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Στην ανάλυση της μεθόδου που ακολουθείται η δοκιμή που θα πραγματοποιηθεί θα γίνει σε εδάφη της περιοχής του Μεσολογγίου και ειδικότερα σε : ακαλλιέργητα εδάφη και καλλιεργημένα εδάφη με προσδιορισμένη σχετική υγρασία εδάφους και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα όργανα μέτρησης που θα χρησιμοποιηθούν είναι το όργανο μέτρησης δυναμοκυψελίδα «strain gauge» ,μετατροπέας του αναλογικού



σήματος σε ψηφιακό, ενισχυτής για την ενίσχυση του σήματος που λαμβάνουν οι αισθητήρες, καταγραφικό για να λαμβάνουμε και να βλέπουμε της μετρήσεις, τα μέσα συγκόλλησης των αισθητήρων πίεσης. Αφού οριστούν τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν και βαθμονομηθούν ελέγχεται και προσδιορίζεται το ποσοστό σφάλματος, τα σημεία συγκόλλησης των αισθητήρων καθορίζεται ο χρόνος κάθε μέτρησης το βάθος, η ταχύτητα. Αφού οριστούν όλα τα παραπάνω αρχίζουν οι μετρήσεις και η καταγραφή των μετρήσεων, οι συγκρίσεις τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Κεφάλαιο 1 – φυσικά & μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους

1.1 Έδαφος.....	9
1.2 Μηχανική σύσταση.....	10
1.3 Δομή του εδάφους.....	12
1.4 Πορώδες του εδάφους.....	13
1.5 Συνεκτικότητα του εδάφους.....	14
1.6 Ρόγος του εδάφους.....	15
1.7 Πλαστικότητα του εδάφους.....	15
1.8 Οργανική ουσία του εδάφους.....	16
1.9 Έδαφος και νερό.....	17
1.10 Συμπύκνωση – συμπίκνωση του εδάφους.....	19
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 1.....	25

## Κεφάλαιο 2 – Σκοπός και τρόποι κατεργασίας του εδάφους

2 Κατεργασία του εδάφους.....	26
2.1 Σκοποί της κατεργασίας.....	26
2.1.1 Κατάλληλη σποροκλίση.....	27
2.1.2 Καταπολέμηση των ζιζανίων.....	27
2.1.3 Βελτίωση φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους.....	28
2.1.4 Κάλυψη λιπασμάτων.....	30
2.1.5 Κάλυψη φυτικών υπολειμμάτων.....	30
2.1.6 Καταπολέμηση εντομολογικών ασθενειών.....	31
2.1.7 Προστασία του εδάφους από τη διάβρωση.....	31
2.1.8 Ισοπέδωση εδαφών.....	31
2.1.9 Προετοιμασία εδάφους για άρδευση.....	31
2.2 Τρόποι δράσης των εργαλείων κατά την κατεργασία του εδάφους.....	32
2.2.1 Ριγμάτωση.....	32
2.2.2 Κοπή κατά τμήματα.....	32
2.2.3 Λιάτμιση.....	32

2.2.4 Κρούση.....	32
2.2.5 Συμπύεση.....	33
2.2.6 Τριβή.....	33
2.2.7 Έλαση.....	34
2.2.8 Κατανομή των συσσωματωμάτων.....	34
2.3 Κατεργασιμότητα – Προσπελασιμότητα των εδαφών.....	34
2.4 Εργαλεία κατεργασίας του εδάφους.....	36
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 2.....	37

### **Κεφάλαιο 3 – Δυνάμεις που αναπτύσσονται στο υνάροτρο**

3 Δυνάμεις που αναπτύσσονται στα υνάροτρα.....	38
3.1 Δυνάμεις που δρουν σε ένα καλλιεργητικό εργαλείο.....	38
3.2 Δυνάμεις που δρουν στα υνάροτρα , σε οριζόντιο επίπεδο.....	39
3.3 Δυνάμεις που δρουν στα υνάροτρα, σε κατακόρυφο επίπεδο.....	41
3.4 Αντίσταση έλξης.....	42
3.5 Ρυθμίσεις των αρότρων.....	46
3.6 Ρυθμίσεις του ελκυστήρα.....	46
3.7 Αντίσταση παράλληλη προς την επιφάνεια κινήσεως (σε κατακόρυφο επίπεδο).....	46
3.7.1 Κατακόρυφη αντίσταση.....	48
3.7.2 Αντίσταση υπό γωνία ως προς την κατακόρυφο.....	49
3.8 Η αντίσταση του εδάφους κατά το όργωμα-ωφέλιμες και παθητικές δυνάμεις.....	50
3.9 Ανάλυση της δύναμης.....	50
3.9.1 Ο χαρακτήρας του φορτίου.....	51
3.9.2 Παράγοντες που συνθέτουν το μέγεθος του φορτίου.....	51
3.9.3 Η μονάδα της αντίστασης.....	52
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 3.....	53

### **Κεφάλαιο 4 – Δυναμόμετρα και δυναμοκυψελίδες**

4.1 Δυναμόμετρα.....	54
4.1.1 Δοκιμές ελκυστήρων.....	59

4.1.2 Δοκιμές στην έλξη.....	59
4.1.3 Άλλες δοκιμές.....	60
4.2 Ανάλυση δυναμοκυβελίδων.....	62
4.2.1 Ανάλυση.....	62
4.2.2 Σχέδια αισθητήρων (διαμετρημάτων πίεσης).....	64
4.2.3 Συνδέσεις διαμετρημάτων αντίστασης.....	66
4.2.4 Μέτρηση των κυκλωμάτων.....	67
4.2.5 Η γέφυρα της σειράς.....	69
4.2.6 Παράλληλο κύκλωμα ΩΜ.....	69
4.2.7 Σταθερή πηγή κυκλώματος.....	70
4.2.8 Εφαρμογή και εγκατάσταση.....	71
4.2.9 Προστατευτικό κάλυμμα.....	71
4.2.10 Θωράκιση.....	71
4.2.11 Επιρροές από τα καλώδια μολύβδου.....	72
4.2.12 Θερμοκρασία και ο παράγοντας διαμετρημάτων (GF).....	73
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 4.....	74

## **Κεφάλαιο 5 – Μέθοδος που ακολουθείτε**

5.1 Ανάλυση της μεθόδου.....	75
5.1.1 Σκοπός και εφαρμογή.....	75
5.1.2 Γενικές συνθήκες.....	75
5.1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ελκυστήρα.....	75
5.1.4 Όργανα μέτρησης.....	75
5.2 Προετοιμασία πειράματος.....	76
5.2.1 Διάταξη των οργάνων στο άροτρο.....	78
5.3 Βαθμονόμηση και ρύθμιση των αισθητήρων.....	80
5.4 Θεωρία πειράματος.....	81
5.4.1 Θεωρητικός υπολογισμός αντίστασης εδάφους.....	83
5.5 Επίλογος.....	85

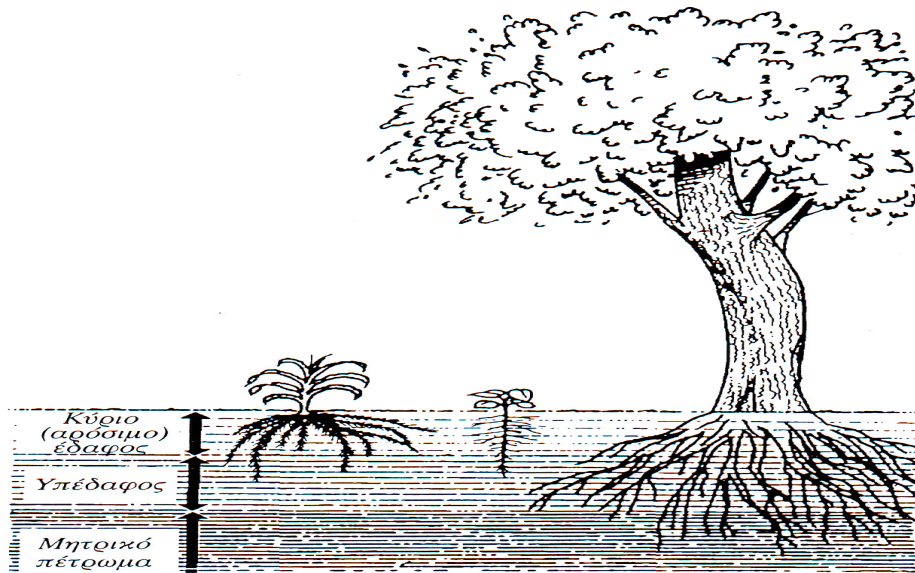
# 1. ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για την καλύτερη κατανόηση των θεμάτων της κατεργασίας του εδάφους και της σποράς θεωρείται χρήσιμη η υπενθύμιση διαφόρων βασικών, γνωστών από την εδαφολογία εννοιών, που σχετίζονται με τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν τις καλλιεργητικές ιδιότητες των εδαφών, τη δράση των μηχανημάτων, την απαιτούμενη ισχύ και το κόστος λειτουργίας τους, το φύτερωμα, την ανάπτυξη και τις αποδόσεις των φυτών.

## 1.1. 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. Είναι ετερογενές, τριφασικό και πορώδες σύστημα. Στη γεωργία ως έδαφος ορίζεται το ανώτατο αποσαθρωμένο στρώμα του στερεού φλοιού της γης όπου στηρίζονται και αναπτύσσονται τα φυτά.

Με την τρέχουσα ορολογία, το γεωργικό έδαφος διακρίνεται σε κύριο έδαφος και υπέδαφος (εικ.1.1). Το κύριο ή αρόσιμο είναι προσιτό στα γεωργικά εργαλεία, δέχεται τις περιποιήσεις (κατεργασία, λίπανση, άρδευση) και ανάλογα με τις συνθήκες έχει βάθος 15-45 cm. Είναι το πιο πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία τμήμα. Κατά το μεγαλύτερο μέρος τα φυτά διατρέφονται από το στρώμα αυτό. Από αυτό αρχίζουν οι ρίζες τους που εισχωρούν και στο υπέδαφος.



Εικ. 1.1. Σχηματική τομή εδάφους.

Το υπέδαφος εκτείνεται κάτω από το κύριο έδαφος. Είναι λιγότερο πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία και πιο ανοιχτόχρωμο λόγω της μικρότερης περιεκτικότητας σε οργανική ουσία· οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται επίσης και στο στρώμα αυτό αλλά σε μικρότερο αριθμό και όγκο.

Κάτωθεν του υπεδάφους βρίσκεται το μητρικό πέτρωμα όπου επίσης μπορεί να αναπτυχθεί μέρος του ριζικού συστήματος των φυτών.

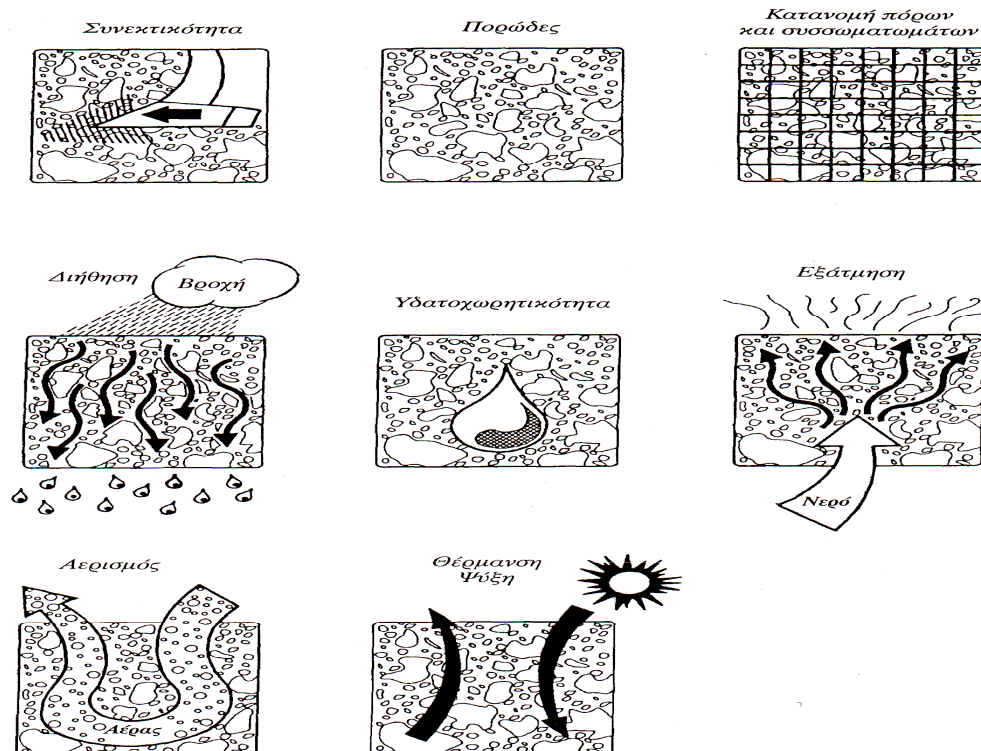
Οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την κατεργασία του αλλά και την ανάπτυξη των φυτών είναι η μηχανική σύσταση και η δομή του, το περιεχόμενο νερό και ο αέρας, η οργανική ουσία κ.ά. Η εικ. 1.2 δείχνει σχηματικά τα κυριότερα χαρακτηριστικά του εδάφους που επηρεάζουν τις καλλιεργητικές του ιδιότητες.

## 1.2. Μηχανική σύσταση

Τα προϊόντα της φυσικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων αποτελούνται από μηχανικά θραύσματα (κλάσματα) βράχων μεγαλύτερων των 600 mm έως και άργιλο διαστάσεων μικρότερων των 0,002 mm (2 μ). Παρά το γεγονός ότι μία έκταση γης μπορεί να αποτελείται από μηχανικά κλάσματα διαφόρων μεγεθών εντούτοις το καλλιεργήσιμο έδαφος περιέχει κατά το μεγαλύτερο ποσοστό κλάσματα διαστάσεων μικρότερων των 2 mm.

Τα μηχανικά κλάσματα διακρίνονται σε: α) σκελετικά υλικά με διαστάσεις μεγαλύτερες των 600 mm μέχρι και 2 mm και β) λεπτή γη με διαστάσεις μεταξύ 2 και 0,002 mm.

Τα συστατικά της λεπτής γης που χαρακτηρίζονται ως μηχανικά συστατικά του εδάφους διακρίνονται σε: α) άμμο (sand) με διαστάσεις σωματιδίων μεταξύ 2 και 0,02 mm, β) ιλύ (silt) με διαστάσεις μεταξύ 0,02 και 0,002 mm και γ) άργιλο (clay) με διαστάσεις μικρότερες των 0,002 mm. Η εκατοστιαία κατανομή των κλασμάτων άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος ονομάζεται μηχανική σύσταση του εδάφους ή κατανομή μεγέθους των εδαφικών τεμαχιδίων. Η μηχανική σύσταση προσδιορίζει τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους και επηρεάζει σοβαρότατα την παραγωγικότητα του.



Εικ. 1.2. Σχηματική παράσταση των κύριων φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους που επηρεάζουν τις καλλιεργητικές του ιδιότητες

Με βάση τη μηχανική τους σύσταση τα εδάφη διακρίνονται σε 12 κλάσεις (Τσατσαρέλης<sup>2</sup>) με διαφορετικό όνομα για την κάθε μία. Οι 12 αυτές κλάσεις καταλαμβάνουν ορισμένη θέση στο τρίγωνο μηχανικής σύστασης (εικ. 1.3). Κάθε πλευρά του τριγώνου αντιπροσωπεύει και ένα μηχανικό κλάσμα, φέρει δε υποδιαίρεσεις σε ποσοστά από 0-100% του κάθε κλάσματος.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προτείνει και χρησιμοποιεί απλοποιημένο σύστημα ταξινόμησης των εδαφών που περιλαμβάνει 5 μόνο τύπους: α) Πολύ λεπτόκοκκα. β) Λεπτόκοκκα. γ) Μετρίως λεπτόκοκκα. δ) Μέσης μηχανικής σύστασης και ε) Χονδρόκοκκο εδάφη.

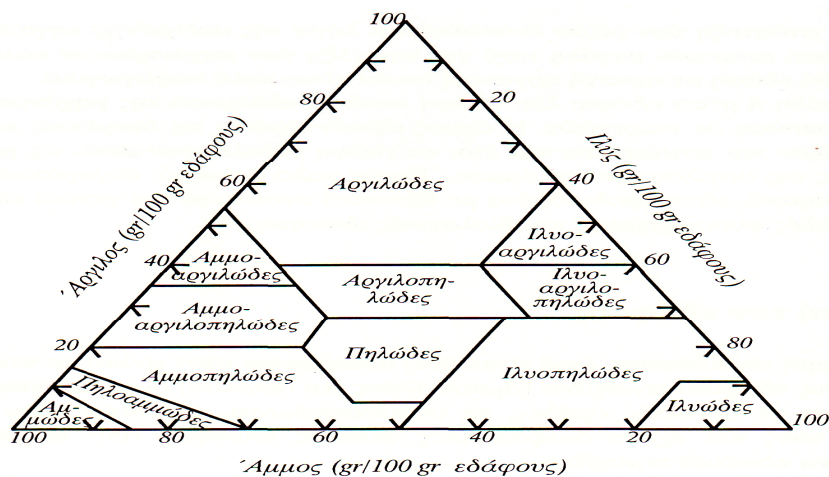
Όταν τα εδάφη εκτός της λεπτής γης περιέχουν πέτρες (διαμέτρου 200-75 mm) και χαλίκια (διαμέτρου 75-20 mm) σε ποσοστά 1-10% χαρακτηρίζονται ως ελαφρώς πετρώδη, 10-30% πετρώδη, 30-75% πολύ πετρώδη και >75% σκελετικά.

Μία άλλη κατάταξη που χρησιμοποιείται ευρύτατα τόσο μεταξύ των εδαφολόγων όσο και όλων των άλλων επιστημόνων και των γεωργών συμπύσσει τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν σε 3 μεγάλες" στα: α) Αμμώδη ή ελαφρός μηχανικής σύστασης, που περιλαμβάνει τα αμμώδη και πηλοαμμώδη. β) Πηλώδη ή μέσης μηχανικής σύστασης, που περιλαμβάνει τα αμμοπηλώδη, πηλώδη, ιλυώδη, αργιλοπηλώδη, άμμοαργιλοπηλώδη και ιλοαργιλοπηλώδη και γ) Αργιλώδη ή βαριάς μηχανικής σύστασης, που περιλαμβάνει τα άμμοαργιλώδη, ιλοαργιλώδη και αργιλώδη.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα:

Αμμώδη ή ελαφρά εδάφη: Είναι χαλαρά, δεν συμπιέζονται εύκολα.

Οι αριθμοί παραπέμπουν στις αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές οι οποίες παρατίθενται στο τέλος κάθε κεφαλαίου.



Εικ. 1.3. Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδαφών.

Ο αέρας και το νερό κινούνται ελεύθερα. Οι ρίζες των φυτών μπορούν να αυξάνονται χωρίς εμπόδια επειδή δεν συναντούν μεγάλη μηχανική αντίσταση. Έχουν μικρή ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων και μικρή ρυθμιστική ικανότητα. Ο όγκος τους είναι πρακτικά αμετάβλητος με τη μεταβολή της υγρασίας και δεν παρουσιάζουν φαινόμενα πλαστικότητας και συγκολλητικότητας. Μπορούν να κατεργαστούν εύκολα με καλλιεργητικά εργαλεία κάτω από πολύ μεγάλο εύρος

περιεχόμενης υγρασίας. Απαιτούν μικρή δύναμη έλξης, έχουν μικρή παραγωγικότητα αλλά όταν λιπαίνονται αρκετά και αρδεύονται γίνονται παραγωγικά.

Αργιλώδη ή βαριά εδάφη: Έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και προσρόφησης θρεπτικών στοιχείων, μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα και παρουσιάζουν έντονο το φαινόμενο της διόγκωσης-συρρίκνωσης κατά τη διαβροχή και ξήρανση. Το νερό και ο αέρας δυσκολεύονται να κινηθούν στη μάζα τους και συχνά παρατηρούνται φαινόμενα κακής στράγγισης και αερισμού. Με τη βροχή ή την άρδευση σχηματίζουν επίπαγο (κρούστα) προπαντός τα γυμνά εδάφη που ξηραίνονται στη συνέχεια. Λόγω της συνεκτικότητας τους η μηχανική κατεργασία τους μπορεί να γίνει μόνο όταν η υγρασία τους βρίσκεται σε καθορισμένα στενά όρια. Η ανάπτυξη των ριζών δυσκολεύεται λόγω της αυξημένης μηχανικής αντίστασης και απαιτούν μεγάλη ισχύ για την έλξη των μηχανημάτων κατεργασίας. Αργιλώδη εδάφη με αρκετή οργανική ουσία είναι πολύ παραγωγικά.

Πηλώδη ή μέσα εδάφη: Στα εδάφη αυτά τα κλάσματα της μηχανικής σύστασης βρίσκονται σε ισορροπία. Η άμμος εξουδετερώνει τις δυσμενείς επιδράσεις της αργίλου και αντίστροφα και έτσι τα εδάφη εκδηλώνουν μόνο τις επιθυμητές ιδιότητες της αργίλου και της άμμου. Έχουν καλό αερισμό, συγκρατούν το νερό ικανοποιητικά, είναι εφοδιασμένα με θρεπτικά συστατικά και γενικά είναι εύφορα με καλές φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες.

### **1.3. Δομή του εδάφους**

Η δομή του εδάφους (soil structure) αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο τα επιμέρους εδαφικά τεμαχίδια (άμμος, ιλύς και αργίλου) διατάσσονται και συνεννοούνται σε σύνθετες ομάδες, τα συσσωματώματα, τα οποία είναι διακριτά μεταξύ τους και έχουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες από τα μη συσσωματωμένα εδαφικά τεμαχίδια.

Από αγρονομική σκοπιά μεγάλη σπουδαιότητα δεν έχει μόνο η δομή όπως ορίστηκε αλλά και η κατανομή μεγέθους των πόρων που σχηματίζονται από τη συνένωση των τεμαχιδίων αλλά και μεταξύ των συσσωματωμάτων. Επίσης η σταθερότητα των συσσωματωμάτων κατά τη διαβροχή ή η δυνατότητα επανασχηματισμού τους κατά την ξήρανση καθώς και η μηχανική αντοχή των συσσωματωμάτων. Έτσι ως δομή αναφέρεται τόσο η συνένωση των στερεών τεμαχιδίων του εδάφους για τη δημιουργία συσσωματωμάτων όσο και η κατανομή του πορώδους διαστήματος μέσα αλλά και μεταξύ των συσσωματωμάτων.

Ο τύπος, το μέγεθος και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων εξαρτώνται από το είδος των διαφόρων συστατικών του εδάφους, όπως ποσοστό της αργίλου και είδος των ορυκτών που επικρατούν σ' αυτή· παρουσία και ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου, ποσοστό και είδος οργανικής ουσίας, οξείδια σιδήρου, αργιλίου και πυριτίου. Επίσης από τους μικροοργανισμούς του εδάφους και τη δραστηριότητα τους, την υγρασία, το είδος των καλλιεργούμενων φυτών, το είδος της αμειψισποράς και την κατεργασία.

Η δομή του εδάφους σχετίζεται άμεσα με την γονιμότητα του. Δεν μπορεί να θεωρηθεί γόνιμο και παραγωγικό, έδαφος με κακή δομή. Για το λόγο αυτό απαιτείται προσοχή ώστε οι καλλιεργητικές εργασίες να μην την επηρεάζουν μακροχρονίως κατά δυσμενή τρόπο.

Η επίδραση της μηχανικής κατεργασίας στη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων εξαρτάται κυρίως από την υγρασία, το είδος του εδάφους και την περιεχόμενη οργανική ουσία. Επηρεάζεται επίσης από το είδος του εργαλείου και το βάθος κατεργασίας.



Όταν η υγρασία του εδάφους είναι επιθυμητή και η κατεργασία δεν είναι έντονη, η συσσωμάτωση σε εδάφη μέσης ή βαρείας μηχανικής σύστασης ευνοείται. Όταν όμως το έδαφος είναι υγρό η κατεργασία αποβαίνει δυσμενής για τη δομή του. Κάτω από τέτοιες συνθήκες το έδαφος μετατρέπεται σε λασπώδη μάζα που όταν ξηραθεί γίνεται πολύ συμπαγής και κακώς αεριζόμενη. Η κατάσταση αυτή γίνεται ακόμη χειρότερη όσο αυξάνεται το βάρος των καλλιεργητικών εργαλείων. Η παρουσία στο έδαφος υψηλών σχετικά ποσοστών οργανικής ουσίας μειώνει τις δυσμενείς αυτές συνέπειες επειδή αυξάνει το εύρος της κατάλληλης υγρασίας στο οποίο το έδαφος μπορεί να δεχθεί μηχανική κατεργασία. Όταν η υγρασία είναι μικρότερη από την επιθυμητή οι δυσμενείς συνέπειες δεν είναι τόσο έντονες. Όταν όμως το έδαφος είναι πολύ ξηρό τότε με τη μηχανική κατεργασία κονιοποιείται, καταστρέφεται η δομή του και δεν είναι κατάλληλο για σπορά.

Να σημειωθεί ότι κατεργασία σε ακραίες υγρασιακές καταστάσεις εκτός της καταστροφής της δομής απαιτεί και μεγαλύτερη ελκτική δύναμη για τα μηχανήματα δηλαδή αυξάνει και το κόστος εκτέλεσης της εργασίας.

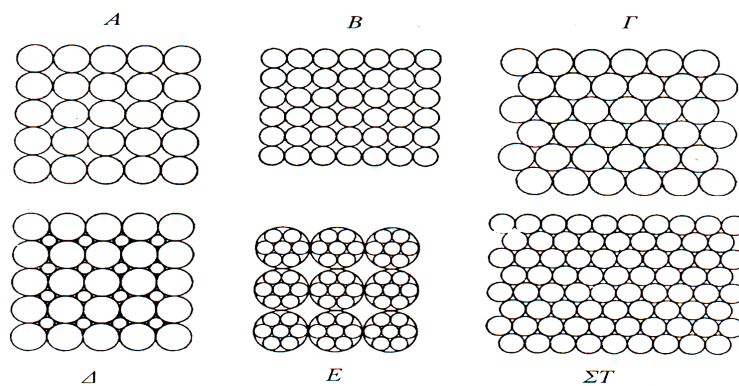
#### 1.4. Πορώδες του εδάφους

Το έδαφος είναι ένα σύστημα που συγκροτείται από τα στερεά συστατικά και τους διάκενους χώρους, τους πόρους. Οι πόροι που σχηματίζονται μεταξύ των στερεών σωματιδίων και εντός των συσσωματωμάτων είναι διαφόρων διαστάσεων και αποτελούν το πορώδες ή άλλως τον ολικό όγκο των πόρων του εδάφους. Το πορώδες εκφράζεται επί τοις εκατό του όγκου του εδάφους.

Το μέγεθος της διαμέτρου των πόρων και η ποσοστιαία κατανομή των πόρων διαφορετικής διαμέτρου επηρεάζουν την κίνηση του νερού και του αέρα, από και προς την επιφάνεια και συντελούν έτσι στην ανάπτυξη και διατροφή των φυτών.

Οι πόροι ανάλογα με τη διάμετρο τους κατατάσσονται σε: α) Μεγάλους, με διάμετρο 0,05-0,01 mm που επιτρέπουν γρήγορη διείσδυση και διήθηση του νερού, β) Μέσους, με διάμετρο 0,01-0,002 mm που συγκρατούν το νερό αλλά τα φυτά μπορούν εύκολα να το προσλάβουν. Οι πόροι αυτοί πληρώνονται εύκολα με αέρα όταν απομακρύνεται το νερό και γ) Μικρούς, με διάμετρο μικρότερη των 0,002 mm που συγκρατούν ισχυρά το νερό και δεν το διαθέτουν στα φυτά. Πληρώνονται με αέρα μετά από παρατεταμένη ξηρασία.

Αν υποθεθεί ότι τα εδαφικά σωματίδια έχουν ιδανικά σφαιρικά σχήματα η διάταξη τους θα έδινε και πορώδες διαφορετικό (εικ. 1.4). Στις ιδανικές αυτές διατάξεις το πορώδες ποικίλει από ένα μέγιστο 47,64% (κυβική διάταξη Α,Β)



Εικ. 1.4. Διατάξεις ιδανικών σφαιρών.

ως ένα ελάχιστο 25,95% (πυραμιδική διάταξη Γ, ΣΤ), εφόσον οι σφαίρες είναι ισομεγέθεις. Όταν οι σφαίρες είναι διαφόρων μεγεθών και οι μικρότερες καταλαμβάνουν τα κενά των μεγάλων (Δ) ο όγκος των πόρων μειώνεται. Όταν υπάρχουν συσσωματώματα (Ε) ο κενός χώρος μπορεί να υπερβεί το 49% γιατί υπάρχουν κενά μεταξύ των σωματιδίων αλλά και μεταξύ των συσσωματωμάτων.

Η μηχανική σύσταση και η οργανική ουσία επηρεάζουν τον τύπο και το μέγεθος των συσσωματωμάτων και επομένως και το μέγεθος και τη διανομή των πόρων. Το πορώδες των αμμωδών εδαφών είναι συνήθως μικρότερο του 50%, όσο δε αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άργιλο αυξάνεται και το πορώδες. Στα πηλώδη και αργιλώδη εδάφη το πορώδες ανέρχεται σε 45-70% στα δε οργανικά σε 80-85%.

Το πορώδες του επιφανειακού εδάφους υφίσταται συνεχώς μεταβολές λόγω κατεργασίας και καλλιέργειας. Συνήθως επικρατούν οι μεγάλοι, γεμάτοι με αέρα πόροι. Στα βαθύτερα στρώματα, όπου η δομή έχει περισσότερο μόνιμο χαρακτήρα το πορώδες ελαττώνεται και επικρατούν οι μέσου και μικρού μεγέθους πόροι με αποτέλεσμα τη μείωση του αέρα που διακινείται και την αύξηση του νερού.

Σημασία για τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους δεν έχει μόνο το συνολικό ποσοστό των πόρων αλλά και η κατανομή των μεγάλων προς τους μικρούς. Άριστες συνθήκες μπορούν να θεωρηθούν όταν η σχέση των μεγάλων προς τους μικρούς είναι 1:1. Οι διάφορες καλλιεργητικές εργασίες μπορεί να επηρεάσουν ως ένα βαθμό τη σχέση αυτή. Έτσι σε ένα αμμώδες έδαφος με μεγάλη αναλογία μεγάλων πόρων, κυλινδρίσματα τείνουν να μειώσουν τους μεγάλους και να αυξήσουν τους μικρούς προσδίδοντας κλειστές διατάξεις στα σωματίδια (Γ, ΣΤ). Το σκάλισμα και το σβάρνισμα αντίθετα αυξάνουν σε βαριά εδάφη το ποσοστό των μεγάλων πόρων προσδίδοντας στα σωματίδια διατάξεις που προσεγγίζουν τις ανοιχτές Α και Β.

## **1.5. Συνεκτικότητα του εδάφους**

Η συνεκτικότητα των εδαφών αποτελεί εκδήλωση των δυνάμεων συνοχής και συνάφειας που αναπτύσσονται στο έδαφος. Αποτελεί ένα μέτρο της καλλιεργητικής κατάστασης των εδαφών και εκτιμάται με την αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στην πίεση, την έλξη και το διαχωρισμό.<sup>5</sup> Συνοχή είναι η ικανότητα ομοειδών σωμάτων να συγκολλώνται με τη βοήθεια της ελκτικής δύναμης τους. Αναπτύσσεται μεταξύ των στερεών συστατικών του εδάφους στα σημεία επαφής των.

Συνάφεια είναι η ικανότητα ανομοιοειδών σωμάτων να συγκολλώνται. Στο έδαφος τη συνάφεια των στερεών συστατικών του την προκαλεί το νερό που κάτω από ορισμένες συνθήκες (μικρή ποσότητα υπό μορφή λεπτής μεμβράνης) είναι δυνατό να χρησιμεύει ως συνδετικό μέσο μεταξύ των τεμαχιδίων.

Οι δυνάμεις συνοχής και συνάφειας επηρεάζονται από τη μηχανική σύσταση, τη δομή και την οργανική ουσία. Οι παράγοντες αυτοί βρίσκονται σε λειτουργική σχέση με την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.

Η συνοχή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο τα σωματίδια είναι μικρότερα γιατί τότε τα σημεία επαφής τους είναι περισσότερα. Συνεπώς η συνοχή αυξάνεται από τα αμμώδη προς τα αργιλώδη εδάφη. Η αντοχή στο διαχωρισμό των σωματιδίων έχει πολύ μεγάλη σημασία για τον προσδιορισμό της αντίστασης που προβάλλεται στην κίνηση των καλλιεργητικών εργαλείων κατά την κατεργασία. Για τον ίδιο λόγο έχει μεγάλη σημασία και η συνάφεια εδάφους και καλλιεργητικών εργαλείων. Στην περίπτωση αυτή η συνάφεια εξαρτάται όχι μόνο από τα χαρακτηριστικά του εδάφους αλλά και από τα υλικά και την κατάσταση της επιφάνειας των εργαλείων. Τα εργαλεία με λείες και καθαρές επιφάνειες έχουν μικρότερη συνάφεια με το έδαφος ενώ τα οξειδωμένα μεγαλύτερη.

## 1.6. Ρόγος του εδάφους

Η συνεκτικότητα του εδάφους επηρεάζεται, όπως αναφέρθηκε, από τη σύσταση, τη δομή, την οργανική ουσία και την περιεκτικότητα σε νερό. Σ' ένα ξηρό έδαφος οι δυνάμεις συνοχής παίζουν σημαντικότατο ρόλο στη διασύνδεση των συστατικών του εδάφους με αποτέλεσμα να προβάλλουν αυξημένη αντίσταση κατά την κίνηση των καλλιεργητικών εργαλείων. Κατεργασία του εδάφους στην κατάσταση αυτή έχει ως αποτέλεσμα δημιουργία βόλων μεγάλων διαστάσεων και υψηλής σκληρότητας, ιδιαίτερα αν η περιεκτικότητα της αργίλου είναι υψηλή (>30%).<sup>1</sup> Έτσι κατεργασία του εδάφους με τέτοιες συνθήκες υγρασίας εκτός της καταστροφής της δομής και της απαίτησης υψηλότερης ελκτικής ισχύος, απαιτεί πολλαπλή περαιτέρω κατεργασία ώστε να καταστεί κατάλληλο για σπορά.

Όταν η εδαφική υγρασία αυξηθεί, οι δυνάμεις συνοχής μειώνονται και παρεμβαίνουν πλέον οι δυνάμεις συνάφειας στη διατήρηση της σύνδεσης των συστατικών του εδάφους. Σε ένα σημείο εδαφικής υγρασίας οι δυνάμεις συνοχής φθάνουν στη μικρότερη τιμή ενώ οι δυνάμεις συνάφειας αρχίζουν να εμφανίζονται ως μέσο συγκράτησης των συστατικών μεταξύ τους. Στο σημείο αυτό τα έδαφη είναι μαλακά και εύθρυπτα (έχουν ψιχιώδη υφή) και αποκτούν την καλύτερη δομή τους. Το σημείο αυτό της συνεκτικότητας με αγρονομικό όρο ονομάζεται ρόγος του εδάφους (soil tilth). Είναι το σημείο στο οποίο πρέπει να επιδιώκεται η κατεργασία γιατί τα έδαφη απαιτούν τη μικρότερη ελκτική δύναμη, αναπτύσσουν την καλύτερη δομή, πορώδες και λοιπές ιδιότητες και απαιτούν τις ελάχιστες δευτερεύουσες καλλιεργητικές εργασίες για την προετοιμασία για σπορά.

Ποσότητα νερού στο έδαφος μεγαλύτερη της κανονικής ελαττώνει τη συνοχή των βαρέων εδαφών. Παρά το γεγονός όμως αυτό η κατεργασία απαιτεί μεγαλύτερες ελκτικές δυνάμεις λόγω προσκόλλησης του εδάφους στα εξαρτήματα των γεωργικών μηχανημάτων. Κατά την κατεργασία, ιδιαίτερα με υνάροτρο, σχηματίζονται μεγάλοι υγροί βόλοι (πλάνες) και καταστρέφεται η δομή του. Ο σχηματισμός των βόλων οφείλεται στο ότι μεταξύ της επιφάνειας του υνίου και του εδάφους παρεμβάλλεται λεπτή μεμβράνη νερού και αναπτύσσονται δυνάμεις συνάφειας. Λόγω των δυνάμεων αυτών οι βόλοι έχουν επιφάνεια λεία και στιλπνή. Για την περαιτέρω προετοιμασία των υγρών αυτών εδαφών απαιτείται αφενός αναμονή για ξήρανση ώστε να φθάσουν στην κατάλληλη υγρασία και αφετέρου πολλαπλή δευτερεύουσα κατεργασία.

## 1.7. Πλαστικότητα του εδάφους

Πλαστικότητα ονομάζεται η ιδιότητα που έχουν ορισμένα σώματα να μεταβάλλουν το σχήμα τους με την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και να το διατηρούν όταν πάψει η δράση των δυνάμεων αυτών.

Η πλαστικότητα των εδαφών οφείλεται στην ιδιότητα της αργίλου να προσλαμβάνει νερό, να διογκώνεται και να πλάθεται. Έτσι η πλαστικότητα του εδάφους καθορίζεται από την περιεκτικότητα του σε άργιλο και από την ορυκτολογική της σύσταση. Η πλαστικότητα είναι συνάρτηση της ολικής επιφάνειας του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε άργιλο τόσο μεγαλύτερη είναι και η πλαστικότητα γιατί μεγαλύτερη είναι η συνεκτικότητα, η συνοχή και η συνάφεια. Τα αμμώδη έδαφη ως εκ τούτου παρουσιάζουν μικρότερη πλαστικότητα από τα αργιλώδη.

Η πλαστικότητα του εδάφους όπως εξάλλου και η συνεκτικότητα επηρεάζεται από την περιεχόμενη υγρασία. Με βάση την περιεχόμενη υγρασία του εδάφους διακρίνονται κατά τον ATTERBERG τα κάτωθι όρια (εικ. 1.5).

Έδαφος								
Ξηρό "σκληρό"		Ύψυγρο "εύθρυπτο"		Υγρό "εύπλαστο"		Κορεσμένο "ρευστό"		Υπερκορεσμένο αιώρημα
	Όριο συρρίκνωσης		Κατώτ. όριο πλαστικότητας		Ανώτ. όριο πλαστικότητας		Όριο θρόμβωσης	

Εικ. 1.5. Όρια συνεκτικότητας Atterberg

1 Όριο θρόμβωσης: Η υγρασιακή κατάσταση κατά την οποία το αιώρημα ενός εδάφους μεταβάλλεται από ρευστό σε ημίρρευστο με αρκετά αυξημένη πυκνότητα.

2 Όριο ρευστότητας ή ανώτατο όριο πλαστικότητας: Η υγρασιακή κατάσταση κατά την οποία το έδαφος μεταβάλλεται από πυκνόρρευστο σε πολύ πλαστικό.

3. Όριο πλαστικότητας ή κατώτατο όριο πλαστικότητας: Η υγρασιακή κατάσταση κατά την οποία το έδαφος από εύπλαστο γίνεται ημιστερεό και εύθρυπτο.

4. Όριο συρρίκνωσης: Η υγρασιακή κατάσταση κατά την οποία το έδαφος αλλάζει από ημιστερεό σε στερεό χωρίς αλλαγή του όγκου καθώς προχωρεί η ξήρανση.

Η πλαστικότητα του εδάφους και τα όρια που αναφέρθηκαν έχουν πολλή μεγάλη σημασία στην πράξη. Από όσα αναφέρθηκαν άριστη δομή και μικρή συνεκτικότητα (ρόγος) προσεγγίζονται όταν τα εδάφη βρίσκονται σε κατάσταση υψυγρη δηλαδή πάνω από το κατώτατο όριο πλαστικότητας (προχωρώντας προς ξηρότερο έδαφος) και κάτω από το όριο συρρίκνωσης.

Τα όρια αυτά προσεγγίζονται με περιεχόμενη υγρασία που είναι διαφορετική για κάθε τύπο εδάφους αλλά και για τον αυτό τύπο επηρεάζονται από την ορυκτολογική σύσταση της αργίλου.

## 1.8. Οργανική ουσία του εδάφους

Στον όρο οργανική ουσία του εδάφους περιλαμβάνονται αποσυντεθειμένα και μη, ζωικά και φυτικά υπολείμματα ανεξαρτήτως βαθμού αποσύνθεσης. Με τον όρο χούμος εξειδικεύονται τα συστατικά σε εκείνα που προέρχονται από μετασχηματισμούς προϋπαρχόντων και ανασυνθέσεις νέων προϊόντων μεταβολισμού. Τα προϊόντα αυτά είναι εξαιρετικά ανθεκτικά.

Δεν υπάρχει εντούτοις συμφωνία των διαφόρων επιστημόνων ως προς τις έννοιες της οργανικής ουσίας και του χούμου. Υπάρχουν ερευνητές που προσδίδουν στον όρο χούμος ευρύτερη έννοια έτσι ώστε να περιλαμβάνει τόσο τις οργανικές ενώσεις όσο και τα υπολείμματα (μεταποιημένα προϊόντα) της αρχικής ουσίας.

Η οργανική ουσία του εδάφους, με την ευρύτερη έννοια, βρίσκεται σε κατάσταση συνεχούς μετατροπής, λόγω της επίδρασης διαφόρων παραγόντων, εδαφικών, κλιματικών και βιοτικών. Η ποσότητα της στο έδαφος καθορίζεται από τη συνθετική δράση των φυτών που τροφοδοτεί το έδαφος με τα νεκρά υπολείμματα των φυτών καθώς και από τους διάφορους μικροοργανισμούς. Καθορίζεται όμως και από

την αποσυνθετική δράση των μικροβίων. Υφίσταται έτσι μία διαρκής παραγωγή και αποσύνθεση οργανικής ουσίας που καταλήγει σε ένα επίπεδο ισορροπίας.

Παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την οργανική ουσία είναι: α) Η θερμοκρασία. Υψηλή σχετικώς θερμοκρασία ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, άρα και τον εμπλουτισμό των εδαφών με οργανική ουσία. Ταυτοχρόνως όμως ευνοεί εντονότερα την αποσυνθετική δράση των μικροοργανισμών ώστε η υψηλή θερμοκρασία να μειώνει τελικώς την οργανική ουσία, β) Η Υγρασία. Υψηλή υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, άρα και της οργανικής ουσίας ενώ περιορίζει τον αερισμό με αποτέλεσμα μειωμένη δραστηριότητα των μικροοργανισμών επομένως ευνοεί τη συγκέντρωση οργανικής ουσίας, γ) Ο αερισμός. Ο αερισμός επηρεάζει την παραγωγή (ανάπτυξη των φυτών) αλλά κυρίως την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας, δ) Η κατεργασία του εδάφους. Η κατεργασία ενσωματώνει την οργανική ουσία στο έδαφος και ως εκ τούτου συντελεί στην αύξηση. Ακαιρη όμως και εντατική προκαλεί εντονότερο αερισμό και έκθεση της οργανικής ουσίας στον ήλιο και τον αέρα με αποτέλεσμα τη μείωση της. Η οργανική ουσία του εδάφους επηρεάζει τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των εδαφών τόσο αμέσως όσο και εμμέσως. Εφοδιάζει το έδαφος με ανόργανα θρεπτικά για τα φυτά στοιχεία. Τα θρεπτικά αυτά στοιχεία χρησιμοποιούνται από τα φυτά αλλά και τους μικροοργανισμούς και έτσι επέρχεται μία επιβράδυνση στην τυχόν έκπλυση τους.

Χρησιμεύει ως αποθήκη νερού γιατί έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού που φθάνει στο εννεαπλάσιο του βάρους της, μεγαλύτερη οπωσδήποτε των κολλοειδών της αργίλου. Για το λόγο αυτό βελτιώνει την υδατοϊκανότητα των ελαφρών εδαφών.

Η οργανική ουσία βελτιώνει τις κακές ιδιότητες των αργιλωδών εδαφών μειώνοντας την πλαστικότητα της αργίλου και τη συνοχή των κολλοειδοδών συσσωματωμάτων, δημιουργώντας σταθερότερες μονάδες ανοικτής δομής. Αυξάνει έτσι το μεγαλοπορώδες των βαρέων εδαφών και βελτιώνει τις συνθήκες στράγγισης. Η οργανική ουσία του επιφανειακού εδάφους ευνοεί το φύτρωμα των σπόρων και τους προστατεύει από τη βροχή. Δυσκολεύει τη δημιουργία κρούστας και τέλος προστατεύει τα εδάφη από τη διάβρωση.

Η οργανική ουσία λόγω του σκούρου χρώματος που έχει, επηρεάζει τη θερμοκρασία του εδάφους. Έτσι τα εδάφη θερμαίνονται πιο γρήγορα την άνοιξη με αποτέλεσμα να επιτρέπουν πρωϊότερη σπορά και πρωϊότερο φύτρωμα.

Η οργανική ουσία των ελληνικών εδαφών κυμαίνεται από 0,5-2%, που χαρακτηρίζεται ως πολύ χαμηλή (0,5%) έως μέση (2%). Τα εδάφη της χώρας μας εκ τούτου έχουν ανάγκη είτε αύξησης είτε στην καλύτερη περίπτωση διατήρησης της οργανικής ουσίας. Τα φυτικά υπολείμματα των καλλιεργειών προσθέτουν κατ' έτος 100-500 kg/στρέμμα οργανικής ουσίας.

## **1.9. Έδαφος και νερό**

Το νερό που συγκρατείται στους πόρους του εδάφους καλείται εδαφικό νερό. Επειδή δεν είναι χημικά καθαρό αλλά διάλυμα στερεών και αερίων αναφέρεται συνήθως ως εδαφικό διάλυμα. Το εδαφικό αυτό διάλυμα είναι τελειώς απαραίτητο για τη ζωή και ανάπτυξη των φυτών αλλά και της μικροχλωρίδας και μικροπανίδας του εδάφους. Η κατεργασία, η εκμετάλλευση και η παραγωγικότητα του εδάφους εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του σε νερό.

Υγρασία του εδάφους ή εδαφική υγρασία ορίζεται η ποσότητα του εδαφικού νερού ανά μονάδα ποσότητας ξηρού εδάφους. Εκφράζεται είτε κατά βάρος (GR ανά GR

εδάφους) ή κατ' όγκο ( $\text{cm}^3$  ανά  $\text{cm}^3$  εδάφους). Συχνά εκφράζεται και ως ποσοστό επί τοις εκατό.

Η εδαφική υγρασία ποικίλει πολύ στα διάφορα σημεία του εδάφους. Αυτό οφείλεται στα χαρακτηριστικά του εδάφους, στα φυτά που αναπτύσσονται καθώς και στις προσθήκες με άρδευση ή με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους που επηρεάζουν την εδαφική υγρασία είναι η μηχανική σύσταση και η δομή. Τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν το πορώδες, τις διαστάσεις και την κατανομή των πόρων.

Τα χαρακτηριστικά της δομής και της μηχανικής σύστασης μπορεί να επηρεασθούν τόσο από την προσθήκη οργανικής ουσίας, όπως αναφέρθηκε, όσο και από τις καλλιεργητικές φροντίδες.

Η κατεργασία του εδάφους επηρεάζει τη δομή και το πορώδες επομένως τη δυνατότητα συγκράτησης της εδαφικής υγρασίας. Επηρεάζει τη δομή της επιφάνειας του εδάφους είτε καταστρέφοντας είτε ευνοώντας τη δημιουργία κρούστας. Η επιφανειακή αυτή κρούστα εμποδίζει τη διήθηση και εξάτμιση του νερού. Επηρεάζει επίσης τη δομή βαθύτερων στρωμάτων είτε καταστρέφοντας είτε και συμβάλλοντας στη δημιουργία σκληρής υπεδάφειας στρώσης (*hard pan*). Η υπεδάφεια αυτή στρώση εμποδίζει σημαντικά την κίνηση του νερού προς τα βαθύτερα ή προς τα ανώτερα στρώματα με αποτέλεσμα κακή διατροφή των φυτών.

Η εποχή της κατεργασίας, το είδος του μηχανήματος, το βάθος κατεργασίας σε συνάρτηση με τη μηχανική σύσταση, τη δομή και την οργανική ουσία μπορούν να συμβάλλουν είτε στη μείωση, είτε στην αύξηση είτε στη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας, ανάλογα με τους σκοπούς που επιδιώκονται.

Η εδαφική υγρασία μπορεί να κυμανθεί από μηδενικής τιμής (σε εδαφικό δείγμα που θερμαίνεται για 24 ώρες στους  $150\text{ }^\circ\text{C}$ ) μέχρι μιας μέγιστης τιμής που αντιστοιχεί στην κατάσταση εκείνη που όλο το πορώδες καταλαμβάνεται από νερό. Το έδαφος στην κατάσταση αυτή καλείται κορεσμένο με νερό.

Συχνά κυρίως για αγρονομικούς λόγους αναφέρονται ακόμη δύο στάδια εδαφικής υγρασίας, η υδατοχωρητικότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης.

Υδατοχωρητικότητα (ή υδατοϊκανότητα) είναι η ποσότητα του νερού το οποίο μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος, όταν η στράγγιση έχει πρακτικά σταματήσει. Σημείο ή ποσοστό μόνιμης μάρανσης είναι το ποσοστό της υγρασίας που υπάρχει στο έδαφος όταν τα φυτά μαραίνονται οριστικά, λόγω έλλειψης υγρασίας. Το νερό που μπορούν να εκμεταλλευθούν τα φυτά για να επιζήσουν και να αναπτυχθούν κυμαίνεται μεταξύ υδατοχωρητικότητας και σημείου μόνιμης μάρανσης. Το ποσοστό του νερού αυτού καλείται διαθέσιμο νερό για τα φυτά. Με όρους εδαφολογικούς η αρνητική πίεση (τάση ή μύζηση) που εκφράζει τη δύναμη συγκράτησης του νερού στο έδαφος, για την υδατοχωρητικότητα κυμαίνεται μεταξύ 0,05 και 0,33 bar ενώ για το σημείο μόνιμης μάρανσης είναι ίση με 15 bar.

Το εδαφικό νερό δεν βρίσκεται συγκεντρωμένο και απομονωμένο σε διάφορες θέσεις μέσα στους πόρους αλλά αποτελεί ένα συνεχόμενο δίκτυο. Ακόμη και όταν το νερό βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες το δίκτυο αυτό εξακολουθεί να υπάρχει επειδή κάθε εδαφικό τεμάχιο καλύπτεται από ένα λεπτό υμέναιο νερού. Στα σημεία επαφής δύο εδαφικών τεμαχιδίων προκαλείται συνένωση των υμεναίων του νερού. Τους πόρους του εδάφους όπου δεν υπάρχει εδαφικό νερό καταλαμβάνει αέρας. Στις περιοχές αυτές όπου συνενώνονται τα υμέναια του νερού δημιουργούνται καμπύλες διαχωριστικές επιφάνειες (μηνίσκοι) υγρού- αερίου. Οι δυνάμεις επομένως με τις οποίες συγκρατείται το νερό στο έδαφος οφείλονται στις διαχωριστικές επιφάνειες υγρού-στερεού και υγρού αερίου. Οι δύο αυτές κατηγορίες δυνάμεων δρουν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα από την ποσότητα του εδαφικού νερού. Έτσι από

εδαφολογική άποψη ο διαχωρισμός του νερού σε υδροστατικό, υγροσκοπικό και τριχοειδές δεν έχει καμία φυσική σημασία. Παρόλα αυτά όμως και σήμερα ακόμη εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται αυτοί οι όροι. Υδροστατικό νερό θεωρείται το νερό που απομακρύνεται εύκολα με τη βαρύτητα. Η σημασία του επομένως είναι μικρή για τα φυτά.

Τριχοειδές είναι το νερό που παραμένει μετά την απομάκρυνση του υδροστατικού και το οποίο μετακινείται με τις τριχοειδείς δυνάμεις προς τα σημεία όπου γίνεται η πρόσληψη από τις ρίζες. Είναι το νερό που χρησιμοποιούν τα φυτά.

Υγροσκοπικό είναι το νερό που συγκρατείται στερεώς από τα μόρια του εδάφους και δεν μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά.

Η ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει κάθε έδαφος για τις ανάγκες των φυτών επηρεάζεται, σύμφωνα με τα προηγούμενα, από το ολικό πορώδες και μέγεθος των πόρων και την ορυκτολογική σύσταση της αργίλου. Τα αργιλώδη εδάφη έχουν ολικό πορώδες μεγαλύτερο των πηλωδών και επόμενους μπορούν να συγκρατήσουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Εντούτοις στα αργιλώδη εδάφη η ποσότητα του νερού που μπορεί να απορροφήσουν τα φυτά είναι μικρότερη εκείνης των πηλωδών, λόγω του γεγονότος ότι το μικροπορώδες στα αργιλώδη είναι εξαιρετικά εκτεταμένο και οι δυνάμεις συγκράτησης του νερού είναι πολύ μεγάλες, μεγαλύτερες των δυνάμεων μύζησης των ριζών.

## 1.10. Συμπύεση - συμπίκνωση του εδάφους

Η μετακίνηση των γεωργικών μηχανημάτων προκαλεί πίεση στην επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα μείωση του όγκου του. Το αποτέλεσμα αυτό της συμπίεσης είναι γνωστό με τον όρο συμπίκνωση του εδάφους (soil compaction). Συνήθως οι όροι συμπίεση και συμπίκνωση συγχέονται και χρησιμοποιούνται για να εκφράζουν το ίδιο φαινόμενο. Συμπύκνωση επίσης προκαλούν και ενδογενείς παράγοντες, όπως είναι η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Το μέγεθος της όμως είναι σημαντικά μικρότερο εκείνης που προκαλείται από τα γεωργικά μηχανήματα. Συμπύκνωση επίσης προκαλείται όχι μόνο από την κίνηση στην επιφάνεια των εδαφών αλλά και από τη λειτουργία ορισμένων γεωργικών εργαλείων όπως το υνάροτρο, κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Η συμπίκνωση των εδαφών οφείλεται στη μείωση του όγκου των πόρων γιατί η στερεά φάση του εδάφους είναι πρακτικά ασυμπίεστη. Κατά κανόνα μειώνεται ο αριθμός και ο όγκος των πόρων μεγάλης διαμέτρου (μακροπόρων) επειδή είναι λιγότερο ισχυροί σε σχέση με τους πόρους μικρότερης διαμέτρου. Ισχυρές όμως τάσεις και επανειλημμένες διελεύσεις των μηχανημάτων προκαλούν μείωση επίσης του όγκου και των μικρότερης διαμέτρου πόρων.

Η συμπίκνωση του εδάφους προκαλεί μεταβολές της δομής του και των άλλων ιδιοτήτων όπως η ικανότητα συγκράτησης του νερού και η ευκολία κίνησης του καθώς και η ανανέωση του εδαφικού αέρα με αποτελέσματα δυσμενή για την ανάπτυξη των φυτών.

Η κατεργασία επαναφέρει, μέχρι του βάθους ενέργειας των εργαλείων, το έδαφος στην κανονική του δομή και πυκνότητα. Στα βαθύτερα όμως στρώματα η συμπίκνωση όχι μόνο παραμένει αλλά και αυξάνεται αθροιστικά με τις επαναλαμβανόμενες συμπίεσεις. Έτσι συχνά και όταν οι συνθήκες το ευνοούν σχηματίζεται αμέσως κάτω από το βάθος άρσης μία πυκνή, σκληρή και σχεδόν αδιαπέραστη στο νερό και στις ρίζες στρώση (*hard pan*). Η στρώση αυτή έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών και θα πρέπει να καταστρέφεται με ειδικές καλλιεργητικές επεμβάσεις.

Οι παράγοντες που επιδρούν στο μέγεθος της συμπίκνωσης του εδάφους είναι: α) τα χαρακτηριστικά του εδάφους, β) τα χαρακτηριστικά των γεωργικών μηχανημάτων, γ) ο αριθμός των διελεύσεων, δ) τα συστήματα κατεργασίας, ε) η ταχύτητα διέλευσης κ.ά. Από τα χαρακτηριστικά του εδάφους κυριότερα είναι το συνολικό πορώδες και η κατανομή των πόρων, η κατανομή των εδαφικών τεμαχιδίων, η δομική συγκρότηση, η σταθερότητα των συστημάτων, η αντοχή του εδάφους και η εδαφική υγρασία. Σημαντικά επίσης επηρεάζει και η οργανική ουσία, ιδιαίτερα τα φυτικά υπολείμματα της επιφάνειας του εδάφους.

Τα χαρακτηριστικά των μηχανημάτων που επηρεάζουν τη συμπίκνωση είναι το δυναμικό φορτίο των τροχών (στατικό βάρος και μεταφορά φορτίου) ο τύπος, το μέγεθος και η διαμόρφωση της επιφάνειας των ελαστικών και η πίεση των αεροθαλάμων η ροπή στρέψης των κινητηρίων αξόνων και ο βαθμός ολίσθησης των τροχών. Σημαντικά επίσης επηρεάζει και ο αριθμός διελεύσεων του μηχανήματος. Εδάφη με χαμηλή δομική συγκρότηση συνήθως εμφανίζουν μεγαλύτερη συμπίκνωση εκείνων με υψηλή δομική συγκρότηση. Στα πρώτα το μέγεθος της συμπίκνωσης εξαρτάται από το εύρος του μεγέθους των τεμαχιδίων. Αν τα τεμαχίδια είναι του αυτού μεγέθους η συμπίκνωση είναι δυσκολότερη. Αν τα τεμαχίδια παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ως προς το μέγεθος τους, η συμπίκνωση είναι μεγαλύτερη γιατί τα μικρότερα μπορούν να μετακινηθούν και να εισχωρήσουν στους πόρους των μεγαλύτερων.

Στα εδάφη με υψηλή δομική συγκρότηση η συμπίκνωση εξαρτάται από τις ιδιότητες των συστημάτων και όχι των τεμαχιδίων. Ο ρόλος της εδαφικής υγρασίας στη συμπίκνωση του εδάφους είναι πολύ σημαντικός. Γενικώς η συμπίκνωση αυξάνεται με αύξηση της υγρασίας μέχρι ενός ορίου (άριστη υγρασία για συμπίκνωση) και μετά ελαττώνεται. Η άριστη αυτή υγρασία συμπίκνωσης εξαρτάται πολύ από τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Στην κατάσταση αυτή θα πρέπει να αποφεύγεται η κυκλοφορία των μηχανημάτων και η κατεργασία.

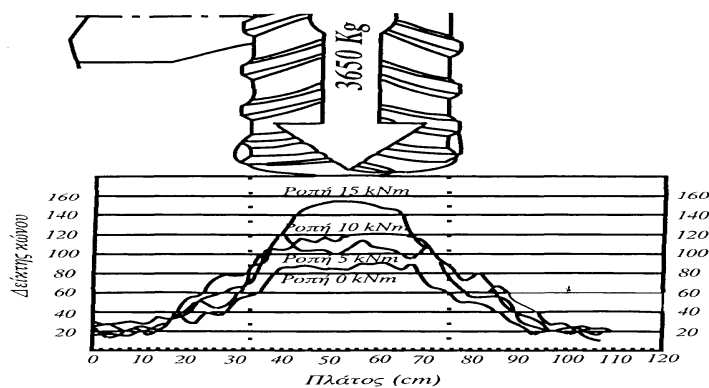
Η πίεση που ασκεί ο τροχός του μηχανήματος στο έδαφος (πίεση επαφής) συγκαταλέγεται μεταξύ των κυριότερων παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπίκνωση. Η πίεση επαφής εξαρτάται απόλυτα, όπως γίνεται κατανοητό, από το φορτίο των τροχών (δυναμικό φορτίο) και την επιφάνεια επαφής τροχού-εδάφους. Η επιφάνεια αυτή επαφής επηρεάζεται από το πλάτος και τη διάμετρο του τροχού, η οποία καθορίζει το μήκος επαφής. Επηρεάζεται όμως η επιφάνεια και από την πίεση των αεροθαλάμων και τα χρησιμοποιούμενα αντίβαρα. Τα αντίβαρα χρησιμοποιούνται για επαύξηση του βαθμού απόδοσης των ελκυστήρων στην έλξη (αποδιδόμενη ισχύς στην έλξη/ εισερχόμενη ισχύς στους κινητήριους άξονες) και του συντελεστή έλξης (δύναμη έλξης/ δυναμικό φορτίο κινητηρίων τροχών). Η μεταβολή των δύο αυτών χαρακτηριστικών (πίεση αεροθαλάμων, αντίβαρα) αποτελεί κοινή πρακτική των γεωργών.

Το ύψος των πελμάτων επηρεάζει σαφώς τη συμπίκνωση. Η επιλογή επομένως των κατάλληλων ελαστικών επιδρά θετικά στη συμπίκνωση. Οι μέγιστες τάσεις και η συμπίκνωση παρατηρούνται γενικώς στο μέσο επίπεδο των τροχών. Γενικώς, αν και το φαινόμενο είναι πολύ πολύπλοκο, με αύξηση της πίεσης επαφής αυξάνεται και το βάθος της συμπίκνωσης. Παρατηρείται όμως αύξηση της συμπίκνωσης με μεγαλύτερο βάρος του τροχού αν και η πίεση επαφής παραμένει σταθερή. Επίσης παρατηρείται μειωμένη συμπίκνωση όταν αυξάνεται η επιφάνεια επαφής των ελαστικών με αύξηση της διαμέτρου και όχι του πλάτους. Η αύξηση της διαμέτρου αυξάνει το μήκος επαφής. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερο αντί να χρησιμοποιούνται δίδυμοι τροχοί, να χρησιμοποιούνται τροχοί της αυτής διαμέτρου και στους δύο άξονες (ελκυστήρες με 4 ίσους κινητήριους τροχούς). Πολλές φορές



είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται πολυαξονικά μηχανήματα για την καλύτερη κατανομή του βάρους. Το βάθος της συμπύκνωσης επηρεάζεται επίσης και από τη βύθιση των τροχών. Μεγάλη βύθιση προκαλεί συμπύκνωση σε μεγαλύτερο βάθος.

Εκτός της πίεσης επαφής σημαντικό ρόλο παίζει στο μέγεθος της συμπύκνωσης και το μέγεθος της ροπής στρέψης των κινητηρίων τροχών. Γενικώς η μεγαλύτερη ροπή στρέψης προκαλεί συμπίεση σε μεγαλύτερο βάθος και πλάτος (εικ. 1.6).



Εικ. 1.6. Επίδραση τον βάρους και της ροπής στρέψης των τροχών στη συμπύκνωση του εδάφους.

Η ροπή στρέψης που αναπτύσσεται στον τροχό μετατρέπεται στο σημείο επαφής τροχού εδάφους σε ώθηση του εδάφους και κατ' ακολουθία σε δύναμη έλξης. Ανάλογα με το φορτίο που πρέπει να έλξει ο ελκυστήρας θα παρατηρηθεί και αντίστοιχη ολίσθηση του τροχού. Το μέγεθος της ολίσθησης εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως κατάσταση του εδάφους, μηχανική σύσταση, υγρασία, ελαστικά, βάρος τροχών κ.ά. Η εμφάνιση της ολίσθησης αυτής, πέραν των άλλων δυσμενών επιπτώσεων, όπως αυξημένη κατανάλωση καυσίμου, καταστροφή ελαστικών κ.ά. έχει σημαντική επίδραση στη συμπύκνωση του εδάφους. Με αύξηση της ολίσθησης προκαλείται μεγαλύτερη συμπύκνωση. Γενικώς ολίσθηση άνω του 15% θα πρέπει να αποφεύγεται. Εκτός της συμπύκνωσης η ολίσθηση προκαλεί γενικότερη παραμόρφωση των εδαφών. Επειδή η συμπεριφορά του εδάφους, είναι ιξώδοελαστική (viscoelastic) για να επιδράσει μία τάση και να εμφανισθεί παραμόρφωση απαιτείται κάποιος χρόνος. Έτσι παρατηρείται ότι το ίδιο μηχανήματα προκαλεί μεγαλύτερη και σε μεγαλύτερο βαθμό συμπίεση όταν κινείται αργά απ' ό,τι όταν κινείται γρήγορα. Η μεγάλη όμως ταχύτητα συνήθως απαιτεί πολύ μεγαλύτερες δυνάμεις έλξης και μεγαλύτερες ροπές με αποτέλεσμα και μεγαλύτερες ολισθήσεις. Η επιλογή επομένων της ταχύτητας μετακίνησης πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.

Εκτός όσων αναφέρθηκαν, σημαντική είναι και η συμβολή του αριθμού των διελεύσεων του γεωργικού μηχανήματος. Παρατηρείται γενικώς ότι η αύξηση του αριθμού των διελεύσεων προκαλεί σωρευτικά αποτελέσματα στην συμπύκνωση. Το έδαφος συμπυκνώνεται περισσότερο και σε μεγαλύτερο πλάτος και βάθος. Εντατικές έρευνες των τελευταίων ετών που αφορούν τη συμπύκνωση του εδάφους οδήγησαν στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων απλών ή πολυσύνθετων με τα οποία περιγράφεται και προβλέπεται η συμπεριφορά του εδάφους όταν υπόκειται σε συμπίεση. (Gayle, G.A<sup>3</sup>, C.W. Raczowski<sup>3</sup>, R.Mwazi<sup>3</sup>).

Η συμπύκνωση του εδάφους προκαλεί μεταβολές των διαφόρων φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων όπως φαινομενική πυκνότητα, ολικό πορώδες, κατανομή

μεγέθους πόρων, αεροπορώδες, διηθητικότητα, αντοχή, αντίσταση στη διείδυση. Για να εκτιμηθεί ο βαθμός συμπίκνωσης αρκεί να μετρηθεί ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά αυτά. Οι προσδιορισμοί και οι μετρήσεις αυτές είτε γίνονται στο εργαστήριο με τη χρησιμοποίηση αδιατάρακτων δειγμάτων εδάφους είτε και στον αγρό.

Σήμερα χρησιμοποιείται περισσότερο για την εκτίμηση της συμπίκνωσης στον αγρό η μέθοδος του διεισδυσίμετρου (*penetrometer*). Το διεισδυσίμετρο αποτελείται από μία μεταλλική βέργα που καταλήγει σε ένα κωνικό άκρο ορισμένων διαστάσεων, όπως ορίζουν τα ASAE standards (Vanghan<sup>4</sup>, J.V. Perumpral<sup>4</sup>). Το κωνικό άκρο διεισδύει στο έδαφος στο επιθυμητό βάθος. Το πηλίκο της δύναμης διείδυσης δια του εμβαδού της βάσης του κώνου ονομάζεται αντίσταση στη διείδυση ή δείκτης κώνου (Ci = cone index).

Η διείδυση του οργάνου επιτυγχάνεται είτε με τη μυϊκή δύναμη του χειριστή είτε μηχανικά. Σε ειδική θέση υπάρχει βαθμολογημένη κλίμακα. Σ' ορισμένα σύγχρονα όργανα υπάρχει δυνατότητα καταγραφής των ενδείξεων έτσι ώστε ουσιαστικά να χαρτογραφείται το έδαφος.

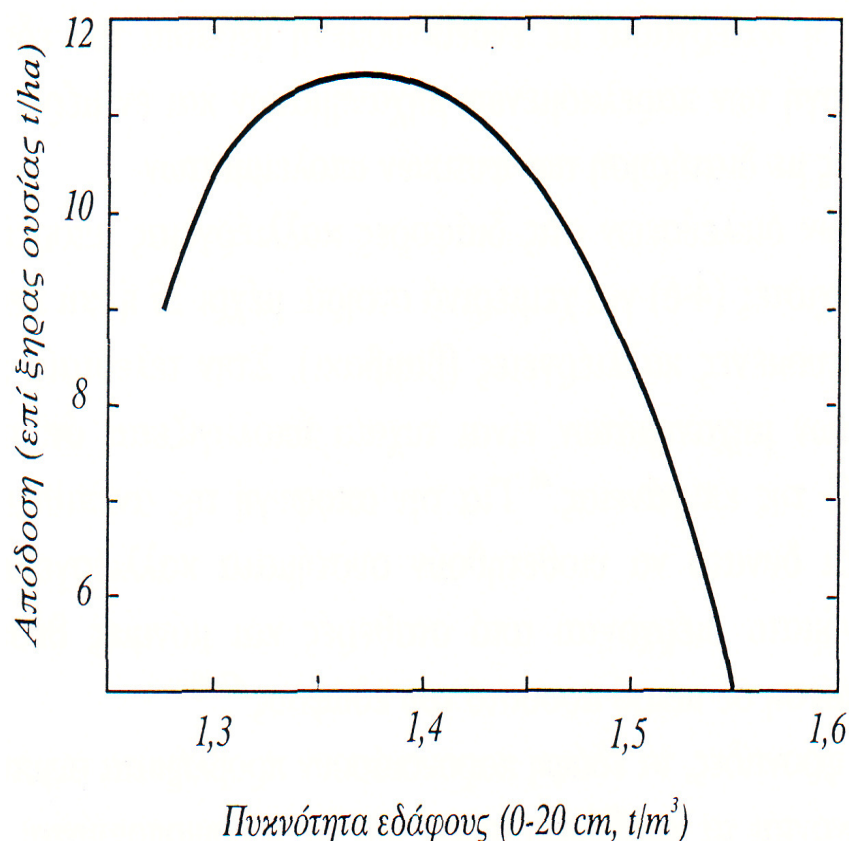
Η συμπίκνωση του εδάφους επιδρά αμέσως και εμμέσως στην ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Για το φύτεμα των σπόρων είναι γνωστό ότι θα πρέπει να υπάρχει άμεση επαφή με τη στερεά φάση ώστε να προσλάβουν νερό. Επομένως μία μικρή συμπίκνωση είναι απαραίτητη. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με ελαφρύ κυλίνδρισμα. Και η ανάπτυξη των ριζών επίσης υποβοηθείται από μία σχετική συμπίκνωση. Μεγάλες όμως συμπυκνώσεις δυσκολεύουν την ανάπτυξη των ριζών, την κυκλοφορία του αέρα και την κίνηση του νερού με αποτέλεσμα κακή ανάπτυξη των φυτών και μείωση της παραγωγής. Αν η συμπίκνωση παρουσιάζεται με μορφή σκληρού στρώματος (*hard pan*) τα αποτελέσματα στην ανάπτυξη και τις αποδόσεις είναι δυσμενέστερα.

Αποτελέσματα πολλών πρόσφατων ερευνητικών εργασιών (Vanghan<sup>4</sup>, J.V. Perumpral<sup>4</sup>) δείχνουν ότι η συμπίκνωση γενικώς προκαλεί μείωση του όγκου των ριζών (εικ.1.7) και μείωση των αποδόσεων ιδιαίτερα σε φυτά ευαίσθητα όπως πατάτες, καλαμπόκι, βαμβάκι κ.ά. Παρατηρείται μάλιστα ότι σε βαριά κακώς στραγγιζόμενα εδάφη η συμπίκνωση προκαλεί μεγάλες μειώσεις. Βαρύτεροι ελκυστήρες και μηχανήματα προκαλούν μεγαλύτερη συμπίκνωση και μεγαλύτερη μείωση των αποδόσεων.

Σ' άλλες εργασίες εμφανίζεται (Lowery<sup>5</sup>) ότι η συμπίκνωση δεν έχει επίδραση, σ' ορισμένες μάλιστα ότι έχει και θετική δράση. Η αντιφατικότητα αυτή των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Οι ερευνητές δεν χρησιμοποιούν όλοι τα αυτά μεγέθη τάσεων για τη συμπίκνωση. Η συμπίκνωση όπως είναι γνωστό επηρεάζεται και από τη μηχανική σύσταση και από την υγρασία του εδάφους. Τα χαρακτηριστικά αυτά δεν είναι κοινά στις ερευνητικές εργασίες. Τέλος τα καλλιεργούμενα είδη δεν έχουν όλα τις αυτές ανοχές ή απαιτήσεις, κυρίως λόγω του διαφορετικού τρόπου έκπτυξης των ριζών



Εικ.1.7. Ρίζες καλαμποκιού σε συμπυκνωμένο (αριστερά) και μη συμπυκνωμένο (δεξιά) έδαφος.



Εικ. 1.8. Επίδραση της συμπίκνωσης του εδάφους στην απόδοση καλαμποκιού για ενσίρωση.

Η εικ. 1.8 δείχνει την επίδραση της συμπίκνωσης στην απόδοση καλαμποκιού για ενσίρωση. Η μέγιστη παραγωγή σε πηλοαμμώδες έδαφος επιτυγχάνεται με πυκνότητα, στο βάθος 0-20 cm, γύρω στον 1,35 t/m<sup>3</sup>. Μικρότερη ή μεγαλύτερη μειώνει τις αποδόσεις. Μεγαλύτερη του 1,5 t/m<sup>3</sup> μειώνει υπερβολικά την απόδοση.

Από όσα αναφέρθηκαν γίνεται φανερό ότι θα πρέπει να λαμβάνεται κάθε μέριμνα ώστε να αποφεύγεται κατά το δυνατό η συμπίκνωση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί: α) Με την αποφυγή χρησιμοποίησης μηχανημάτων που αναπτύσσουν μεγάλες τάσεις επαφής των τροχών με το έδαφος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν απαιτούνται πολλαπλές διελεύσεις στον αγρό. Για 5-10 διελεύσεις ερευνητές συστήνουν, να μην ξεπερνά η πίεση επαφής τα 70 kpa (Lowery<sup>5</sup>).

β) Με τη χρησιμοποίηση ειδικών ελκυστήρων τύπου εργαλειοφόρων αυτοκινούμενων δοκών (gantry) ή ελκυστήρων με διέλευση από σταθερές προκαθορισμένες τροχιές (μη καλλιεργημένες).

γ) Με την αποφυγή κυκλοφορίας και εργασίας των μηχανημάτων σε αγρούς με υγρασία κοντά στην άριστη για τη συμπίκνωση.

δ) Με την αποφυγή χρήσης παρελκομένων μηχανημάτων που απαιτούν μεγάλες ροπές στρέψης των κινητηρίων αξόνων και προκαλούν και μεγάλη ολίσθηση. Συνιστάται η μέγιστη ολίσθηση να μην ξεπερνά το 15%. Η χρησιμοποίηση ενεργών (δυναμοδοτούμενων) μηχανημάτων συμβάλλει θετικά.

ε) Με την υιοθέτηση συστημάτων μειωμένης κατεργασίας που αφήνουν φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια του εδάφους και ανέπαφο το ριζικό σύστημα.

Από τα πιο πάνω μέτρα αυτά που μπορεί ευκολότερα να ρυθμίσει ο γεωργός είναι: Το βάρος των τροχών και η πίεση των αεροθαλάμων, ο αριθμός των διελεύσεων, η κατεργασία με ενδεικνυόμενη υγρασία του εδάφους και ταχύτητα, η επιλογή των παρελκόμενων μηχανημάτων και εν μέρει και συστήματα κατεργασίας με διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων.

Ο αριθμός των διελεύσεων στις διάφορες καλλιέργειες μπορεί να κυμαίνεται από τις ελάχιστες (4-6) για χειμερινά σιτηρά, μέχρι 25 ή και περισσότερες για εαρινές αρδευόμενες καλλιέργειες (βαμβάκι). Στην τελευταία περίπτωση, αν η διέλευση των μηχανημάτων είναι τυχαία υπολογίζεται ότι συμπιέζεται μέχρι και το 90% της επιφάνειας. Για την αποφυγή της ανεπιθύμητης αυτής κατάστασης είναι δυνατό να υιοθετηθούν συστήματα καλλιέργειας όπου τα γεωργικά μηχανήματα διέρχονται από σταθερές και μόνιμες θέσεις προκαλώντας έτσι συμπίεση σε μικρό ποσοστό του εδάφους.

Αν, παρά τις φροντίδες, τα εδάφη παρουσιάσουν προβλήματα συμπίεσης θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα και να χρησιμοποιούνται κατάλληλες τεχνικές για τη διόρθωση της. Συνήθεις πρακτικές, όπως αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια, είναι η κατεργασία σε βάθος μεγαλύτερο εκείνου που εμφανίζεται η συμπίεση. Η κατεργασία στις περιπτώσεις αυτές αναφέρεται και ως βαθιά ή υπεδάφεια άροση και ενεργείται είτε με ειδικά εργαλεία με δόντια, (εδαφοσχίστες και υπεδαφοκαλλιεργητές) είτε σπανίως και με κλασικά υνάροτρα.

Θα πρέπει όμως να τονισθεί ότι η ισχύς που απαιτείται για την κατεργασία του εδάφους σε βάθος μεγαλύτερο του συνήθους είναι μεγάλη. Απαιτούνται ως εκ τούτου μεγάλης ισχύος και βάρους ελκυστήρες για να θεραπεύσουν το πρόβλημα. Ταυτοχρόνως όμως συμβάλλουν και στη δημιουργία προβλήματος εκ νέου. Δεν πρέπει να διαφεύγει της προσοχής ότι κατά την κατεργασία με υνάροτρο οι τροχοί αυλακιάς των ελκυστήρων συμπιέζουν το έδαφος στο βάθος άροσης. Να τονισθεί επίσης ότι μία και μόνο κατεργασία σπανίως μπορεί να αποκαταστήσει τη δομή. Θα χρειασθούν και δευτερεύουσες, που αυξάνουν το κόστος και επιβαρύνουν το έδαφος. Οι προσπάθειες επομένως θα πρέπει να κατευθύνονται κυρίως στο να μη δημιουργούνται προβλήματα συμπίεσης παρά στο να θεραπεύονται.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1**

1. Clyde ( βλ. εισαγωγή)
2. Τσατσαρέλης ,Κ.Α. 1995. Αρχές μηχανικής κατεργασίας εδάφους.
3. Gayle, G.A., C.W. Raczowski, R. Mwazi. 1992. Tillage and wheel-traffic effects on soil properties and root growth. ASAE Paper 92-1556. St. Joseph, Mi.
4. D.H. Vanghan, J.V. Perumpral. 1998. Crop residue and root effects on soil compaction. Transactions of the ASAE. 41 (5): 1271-1275.
5. Lowery, B., R.T. Schuler. 1994. Duration and effects of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. Soil and Tillage Research. 29 (2,3): 205-210.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η κατεργασία του εδάφους αποσκοπεί στο χειρισμό του με διάφορα μέσα ώστε να καταστεί όσο το δυνατό περισσότερο κατάλληλο για τη σπορά, φύτευμα και ανάπτυξη των φυτών. Οι σκοποί αυτοί επιτυγχάνονται με το όργωμα, το σβάρνισμα και το κυλίνδρισμα ή με την πρωτεύουσα (κύρια κατεργασία) και τη δευτερεύουσα (συμπληρωματική), όπως συνηθίζεται να αποκαλούνται οι καλλιεργητικές εργασίες. Η επιτυχημένη σπορά και το φύτευμα συντελούν σημαντικότερα στην καλή παραγωγή.

Η κύρια κατεργασία του εδάφους (όργωμα) γίνεται πάντοτε πριν από τη σπορά ή τη φύτευση με αναμόχλευση του εδάφους σε βάθος από 15 έως 40 CM. Το βασικότερο εργαλείο που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι το κλασικό υνάρτρο.

Η δευτερεύουσα (σβάρνισμα, κυλίνδρισμα) γίνεται σε βάθος που δεν ξεπερνά συνήθως τα 15 cm. Ακολουθεί συνήθως το όργωμα και πραγματοποιείται πριν από τη σπορά αλλά μπορεί να γίνει και μετά τη σπορά ή και μετά το φύτευμα. Τα κυριότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι οι διάφορες σβάρνες και οι κύλινδροι.

Αν και τα μηχανήματα διακρίνονται σε κύριας και δευτερεύουσας κατεργασίας εντούτοις η διάκριση αυτή δεν είναι πάντοτε εντελώς επιτυχής. Το άροτρο είναι πάντα εργαλείο κύριας κατεργασίας. Οι διάφορες σβάρνες κυρίως δισκοσβάρνες, οι καλλιεργητές ή οι φρέζες μπορεί να χρησιμοποιηθούν τόσο για κύρια όσο και για δευτερεύουσα κατεργασία. Οι κύλινδροι χρησιμοποιούνται πάντα για δευτερεύουσα.

Η κατεργασία του εδάφους είναι πρακτική που εφαρμόζεται από αρχαιοτάτων χρόνων. Τα τελευταία χρόνια αποτέλεσε και εξακολουθεί ακόμη να αποτελεί αντικείμενο εντατικής έρευνας. Η έρευνα αυτή συντέλεσε στην κατά νόηση πολλών προβλημάτων, στην κατασκευή καλύτερων μηχανημάτων και στη βελτίωση της τεχνικής.

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στο αντικείμενο της κατεργασίας στρέφεται περισσότερο στη μείωση των επεμβάσεων, με σκοπό κυρίως τη διατήρηση της δομής και γονιμότητας του εδάφους, την προστασία του από τη διάβρωση (αιφορική χρήση των φυσικών πόρων) και τη μείωση του κόστους παραγωγής. Με βάση τα πορίσματα των νεότερων αυτών ερευνών αναπτύχθηκαν νέα μηχανήματα και νέες τεχνικές που προσαρμόζονται καλύτερα στις συνθήκες των αγρών και των καλλιεργειών και καταλείπουν στον παραγωγό υψηλότερο και σταθερότερο εισόδημα.

#### 2.1. ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κατεργασία του εδάφους επιδιώκει την αναδιοργάνωση της δομής του ώστε να δεχθεί μία νέα καλλιέργεια με τις καλύτερες αγρονομικές και οικονομικές συνθήκες.<sup>2</sup> Στους σκοπούς αυτούς περιλαμβάνεται η δημιουργία ικανοποιητικού πορώδους και εδαφικών συσσωματωμάτων ώστε να επιτυγχάνονται κατάλληλος αερισμός, θερμοκρασία και κυκλοφορία του εδαφικού νερού' να επιτυγχάνεται κανονική κατανομή των σπόρων στο έδαφος και σε βάθος που να τους προστατεύει από τη βροχή και τα πτηνά να έρχονται οι σπόροι σε επαφή με τα στερεά τεμαχίδια του εδάφους ώστε να αποκτούν την κατάλληλη για το φύτευμα υγρασία Όλα τα ανωτέρω συντελούν σε μια καλή παραγωγή. Ταυτοχρόνως όμως επιδιώκεται και η διατήρηση της δομής και γονιμότητας του εδάφους (αιφορία).

Για να προσεγγισθεί ο βασικός αυτός σκοπός της αειφορίας ο γεωργός με την κατεργασία επιδιώκει να επιτύχει αναλυτικότερα τα ακόλουθα:

### **2.1.1. Κατάλληλη σποροκλίση**

Κατάλληλης σποροκλίσης. Με τον όρο αυτό νοείται η κατάσταση εκείνη που επιτρέπει το έδαφος να δεχθεί το σπόρο στο κατάλληλο βάθος και με κατάλληλη διανομή, να τον προστατεύσει από τα πτηνά, τη βροχή και τον αέρα· να διευκολύνει την επαφή του με τα στερεά σωματίδια του εδάφους ώστε να προσροφίσει την ανάπτυξη των ριζών να επιτρέπει ακόμη την επιτυχή εγκατάσταση των φυτών που μεταφυτεύονται. υγρασία για να μπορέσει να φυτρώσει, επιτρέπει και να διευκολύνει την ανάπτυξη των ριζών. Να επιτρέπει ακόμη την επιτυχή εγκατάσταση των φυτών που μεταφυτεύονται. Εάν το έδαφος δεν καλλιεργηθεί για μακρό χρονικό διάστημα συμπυκνώνεται, το πορώδες μειώνεται, τα εδαφικά μόρια συγκολλώνται, με αποτέλεσμα ο σπόρος να μη βρίσκει κατάλληλες συνθήκες για το φύτευμα. Κατεργασία πριν από τη σπορά βελτιώνει τις συνθήκες αυτές και ευκολύνει και τα μηχανήματα σποράς.

Οι εργασίες πριν από τη σπορά πρέπει να είναι επιμελημένες, αναλόγως βέβαια και με τις απαιτήσεις των σπόρων (μέγεθος, φυτρωτική ικανότητα), ώστε να δημιουργηθούν οι καταλληλότερες συνθήκες φυτρώματος. Συνήθως οι εαρινές καλλιέργειες απαιτούν πιο επιμελημένη κατεργασία από τις φθινοπωρινές.

Η προετοιμασία πριν από τη σπορά για αιώνες ολόκληρους περιελάμβανε πάντοτε όργωμα με υνάροτρο ή άλλο τύπο αρότρου (κύρια κατεργασία) και στη συνέχεια δευτερεύουσα ή συμπληρωματική, με τις διάφορες σβάρνες και τους κυλίνδρους. Το όργωμα γίνεται σε εποχή που οι εδαφικές συνθήκες το επιτρέπουν και όχι οπωσδήποτε λίγο πριν τη σπορά. Οι λοιπές εργασίες γίνονται συνήθως λίγο πριν τη σπορά.

Τα τελευταία όμως χρόνια η προετοιμασία για τη σπορά είναι δυνατό να μην περιλαμβάνει όργωμα με άροτρο και στην ακρότατη περίπτωση της ακαλλιέργειας (NO TILLAGE) ούτε και δευτερεύουσα κατεργασία, για λόγους διατήρησης της γονιμότητας και παραγωγικότητας του εδάφους, προστασίας από τη διάβρωση και μείωσης του κόστους. Το κάθε είδος όμως φυτού που θα καλλιεργηθεί έχει τις δικές του απαιτήσεις ως προς την προετοιμασία της σποροκλίσης. Υπάρχουν φυτά, όπως τα σιτηρά, που μπορούν να φυτρώσουν και να αναπτυχθούν και με συνθήκες ακαλλιέργειας ενώ άλλα, όπως το βαμβάκι και οι πατάτες, που απαιτούν καλύτερη προετοιμασία της.

### **2.1.2. Καταπολέμηση των ζιζανίων**

Ο δεύτερος και σοβαρός λόγος της κατεργασίας του εδάφους είναι η καταπολέμηση των ζιζανίων. Ζιζάνια, όπως είναι γνωστό, με την ευρύτερη έννοια είναι τα φυτά εκείνα που αναπτύσσονται εκεί όπου και όταν δεν είναι επιθυμητά.<sup>20</sup> Τα ζιζάνια, ιδιαίτερα τα αυτοφυή έχουν ευρεία προσαρμοστική και ιδίως μεγάλη ανταγωνιστική ικανότητα, ανταγωνιζόμενα τα καλλιεργούμενα είδη για τα θρεπτικά στοιχεία, το φως και τον αέρα, διαθέτουν πολύ αποτελεσματικούς μηχανισμούς πολλαπλασιασμού και διασποράς, επωφελούνται των περιποιήσεων των καλλιεργούμενων ειδών και πολλά είδη καταπολεμούνται πολύ δύσκολα.

Με την κατεργασία του εδάφους τα ζιζάνια αποκόπτονται και ενσωματώνονται στο έδαφος. Το ριζικό τμήμα, ανάλογα με την εποχή και τα εργαλεία που

χρησιμοποιούνται, μπορεί να εκτεθεί στις καιρικές συνθήκες και να ξηραθεί. Άλλοτε επιδιώκεται η εκρίζωση των ζιζανίων με τα κατάλληλα μηχανήματα.

Η καταπολέμηση των ζιζανίων εκτός του ότι προφυλάσσει τα φυτά από τον ανταγωνισμό συχνά συμβάλλει και στην καταπολέμηση εχθρών και ασθενειών των καλλιεργούμενων φυτών, γιατί τα ζιζάνια είναι δυνατό να γίνονται ξενιστές τους.

Η προσπάθεια του γεωργού να καταπολεμήσει τα ζιζάνια καθορίζει πολλές φορές το χρόνο, τη συχνότητα και το βαθμό της κατεργασίας του εδάφους. Τα τελευταία πάντως χρόνια με την εμφάνιση νέων και αποτελεσματικών ζιζανιοκτόνων η εντατική κατεργασία μειώνεται. Χρησιμοποίηση μηχανικών μέσων (κατεργασία) συνδυαζόμενη με λογική χρήση ζιζανιοκτόνων φαίνεται ότι μπορεί να αποτελέσει την αποτελεσματικότερη λύση στην καταπολέμηση των ζιζανίων αλλά και στη διατήρηση της παραγωγικότητας του εδάφους και στη μείωση του κόστους.

### 2.1.3. Βελτίωση φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους

Με την κατεργασία του εδάφους επιδιώκεται η βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους όπως:

α ) Πορώδες : Όταν το έδαφος παραμένει ακαλλιέργητο για μακρό χρονικό διάστημα, με την επίδραση της βροχής και της κυκλοφορίας των γεωργικών μηχανημάτων μειώνεται το υλικό με αποτέλεσμα κακό αερισμό, δυσχέρεια στη διακίνηση του νερού και δυσμενή επίδραση στη διάχυση της θερμότητας.

Η κατεργασία του εδάφους βελτιώνει το πορώδες αναδιατάσσοντας τα συσσωματώματα. Η βελτίωση όμως αυτή επιτυγχάνεται μόνο όταν οι επεμβάσεις επιχειρούνται τη χρονική περίοδο που το έδαφος βρίσκεται στο ρόγο του (ύφυγρο με ψιχιάδη υφή) Επεμβάσεις άκαιρες, εντατικές ή με ακατάλληλα μηχανήματα συνήθως έχουν αντίθετο από το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Επεμβάσεις όταν το έδαφος είναι πολύ ξηρό δημιουργούν μεγάλους βάλους και υπερβολικό πορώδες, όπου επικρατούν οι πόροι μεγάλων διαστάσεων. Επακόλουθες δευτερεύουσες εντατικές επεμβάσεις θρυμματίζουν το έδαφος πολύ και δημιουργούν υπερβολικό μικροπορώδες. Η κατάσταση αυτή δεν είναι επιθυμητή γιατί δεν δημιουργούνται συνθήκες ιδανικές για τον αερισμό.

Ιδιαίτερες φροντίδες πρέπει να λαμβάνονται στις περιπτώσεις συμπύκνωσης του εδάφους. Όταν μάλιστα η συμπύκνωση εμφανίζεται με τη μορφή σκληρής, αδιαπέρατης ζώνης στο βάθος της κατεργασίας (*HARD PAN*) ο μοναδικός τρόπος διόρθωσης της είναι η κατεργασία του εδάφους σε βάθος 10-15 cm κάτω από το βάθος της ζώνης αυτής.

Διόρθωση επίσης απαιτείται και στις περιπτώσεις σχηματισμού επιφανειακής κρούστας που δυσκολεύει το φύτεμα των σπόρων, τον αερισμό και την κίνηση του νερού. Ορισμένες φορές το πορώδες του εδάφους λόγω μη επιτυχημένης προηγούμενης κατεργασίας είναι υπερβολικό (έδαφος πολύ χαλαρό). Η κατάσταση αυτή δυσκολεύει το φύτεμα των σπόρων και την ανάπτυξη των ριζών. Δευτερεύουσες καλλιεργητικές εργασίες με κύλινδρο μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την κατάσταση

β) Υγρασία : Η κατεργασία του εδάφους συμβάλλει αποφαστικά στη βελτίωση της υγρασιακής κατάστασης του Συντελεί είτε στην αύξηση της υγρασίας είτε στη μείωση της.

Όταν το έδαφος είναι υγρό, η κατεργασία μπορεί να συντελέσει στη μείωση της υγρασίας γιατί φέρει στην επιφάνεια έδαφος με υψηλότερη υγρασία. Η έκθεση του εδάφους αυτού στον ήλιο και τον αέρα επιδρά στη μείωση της υγρασίας και συμβάλλει στην προετοιμασία για σπορά. Σ'αυτήν όμως την περίπτωση οι επεμβάσεις θα πρέπει να γίνονται πολύ προσεκτικά. Κατεργασία με υπερβολική υγρασία



συμβάλλει αποφασιστικά στη συμπύκνωση και την καταστροφή, της δομής του εδάφους. Η κατεργασία όμως του εδάφους δρα αποτελεσματικότερα προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης της υγρασία

Η εξοικονόμηση της υγρασίας επιτυγχάνεται με την καταστροφή των ζιζανίων. Επιτυγχάνεται επίσης με το θρυμματισμό της επιφάνειας του εδάφους. Ο θρυμματισμός αυτός δημιουργεί μεγαλοπορώδες και διακόπτει την κίνηση του νερού από τα βαθύτερα στρώματα προς την επιφάνεια (εξάτμιση).

Αποθήκευση νερού επιτυγχάνεται με τα φθινοπωρινά οργώματα. Τα οργώματα αυτά δεν θρυμματίζουν πολύ το έδαφος και αφήνουν την επιφάνεια ανώμαλη. Οι ανωμαλίες αυτές λειτουργούν ως παγίδες του νερού της βροχής το οποίο απορροφάται σταδιακά από το έδαφος.

Όλα τα ανωτέρω μπορεί να επιτυγχάνονται όταν οι κατεργασίες γίνονται με τα κατάλληλα εργαλεία και την κατάλληλη στιγμή. Ακαιρες επεμβάσεις και με εργαλεία ακατάλληλα έχουν συνήθως τα αντίθετα αποτελέσματα. Κατεργασία Του εδάφους με συνθήκες ξηρασίας έχει ως αποτέλεσμα διευκόλυνση της εξάτμισης λόγω της αναμόχλευσης και του αερισμού του. Οι καταστάσεις αυτές είναι συνήθεις την άνοιξη. Αν η κατεργασία είναι απαραίτητη θα πρέπει να ακολουθείται από δευτερεύουσα με σβάρνες ώστε να περιορίζεται η εξάτμιση.

γ ) Θερμοκρασία : Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται κυρίως από την υγρασία και το πορώδες του και από τη θερμοκρασία του αέρα. Η υγρασία του εδάφους λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού συντελεί στην αργή θέρμανση του εδάφους. Αντιθέτως ο αέρας του εδάφους θερμαίνεται πιο γρήγορα, συντελώντας στη γρηγορότερη θέρμανση του εδάφους.

Η κατεργασία επομένως που επηρεάζει την υγρασία αλλά και το ποσοστό των πόρων που καταλαμβάνονται με αέρα επιδρά στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του εδάφους.

δ) Δομή – Ρόγος : Η αναμόχλευση του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα αναδιάταξη των συσσωματωμάτων και του πορώδους. Οι παράγοντες αυτοί είναι καθοριστικοί για τη δομή του εδάφους. Η κατεργασία επίσης επηρεάζει σημαντικώς και την εδαφική υγρασία. Ως εκ τούτου και με βάση και όσα αναφέρθηκαν ήδη, η κατεργασία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τόσο τη δομή όσο και το ρόγο του εδάφους. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ό,τι και σε άλλα σημεία, ότι δηλαδή μπορεί να συμβάλλει είτε στο να δημιουργήσει κατάλληλη δομή και ρόγο είτε και να προκαλέσει την καταστροφή τους.

Η εποχή της κατεργασίας, το βάθος, η εντατικότητα, το είδος των εργαλείων, το μέγεθος και βάρος των ελκυστήρων, η επιφάνεια επαφής των ελαστικών σε συνδυασμό με τη μηχανική σύσταση του εδάφους, την ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, την περιεχόμενη οργανική ουσία και την υγρασία είναι παράγοντες καθοριστικοί για τη δομή και μπορούν να συμβάλλουν είτε προς τη μία είτε προς την άλλη κατεύθυνση.

ε ) Κατανομή συσσωματωμάτων : Με την κατεργασία του εδάφους είναι δυνατό να επιτευχθεί μία κατανομή των συσσωματωμάτων διαφόρων μεγεθών κατά το βάθος της κατεργασίας.

Βασική επιδίωξη είναι να επιτευχθεί συγκέντρωση συσσωματωμάτων μικρής διαμέτρου στο βάθος της σποράς ώστε οι σπόροι να έλθουν σε επαφή με τα στερεά σωματίδια και να αποκτήσουν την απαιτούμενη υγρασία. Πάνω από το βάθος σποράς επιδιώκεται να βρίσκονται σωματίδια μεγαλύτερων διαστάσεων και πορώδες μεγαλύτερο ώστε να εξασφαλίζεται καλός αερισμός, καλή θερμοκρασία και είσοδος νερού. Κάτω από το βάθος σποράς επιδιώκεται μία ισορροπία των μικρών και μεγάλων βόλων και ικανοποιητικό πορώδες.

Αυτή η κατανομή των τεμαχιδίων του εδάφους σε βάθος επιτυγχάνεται με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με τα καλλιεργητικά εργαλεία. Έτσι με τα υνάροτρα επιτυγχάνεται μία ισορροπία στην κατανομή των τεμαχιδίων διαφορετικού μεγέθους στο βάθος άροσης. Εντούτοις ο τύπος του αναστρεπτήρα, η ταχύτητα και άλλα χαρακτηριστικά μπορεί να διαφοροποιήσουν την κατάσταση αυτή. Τα εργαλεία με δόντια ή οι φρέζες κατανέμουν με διαφορετικό τρόπο τα συσσωματώματα. Τα λεπτότερα βρίσκονται κοντά στο βάθος κατεργασίας. Οι κύλινδροι επίσης επιδρούν διαφορετικά και μάλιστα μεταξύ των κυλίνδρων υπάρχει διαφορετική δράση. Ορισμένοι δημιουργούν λεπτόκοκκα σωματίδια στην επιφάνεια, άλλοι στο βάθος σποράς.

#### **2.1.4. Κάλυψη λιπασμάτων**

Η εφαρμογή των χημικών λιπασμάτων γίνεται συνήθως επιφανειακά για λόγους ταχύτητας εφαρμογής και μείωσης του κόστους, με λιπασματοδιανομείς με πεοιστρεφόμενο δίσκο.

Για να αποφευχθεί η επιφανειακή απορροή τους αλλά και για να χρησιμοποιηθούν καλύτερα από τα φυτά, τα λιπάσματα αυτά ενσωματώνονται στο έδαφος με τα διάφορα καλλιεργητικά εργαλεία. Το ίδιο συμβαίνει και με την κόπρη σε ημίρρευση ή στερεά μορφή καθώς και με τα άλλα βελτιωτικά που ενδεχομένως διασκορπίζονται στην επιφάνεια.

#### **2.1.5. Κάλυψη φυτικών υπολειμμάτων**

Τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας συνήθως ενσωματώνονται στο έδαφος, με τα διάφορα καλλιεργητικά εργαλεία. Η ενσωμάτωση αυτή διευκολύνει τη σπορά, ιδιαίτερα με τις κλασικές σπαρτικές μηχανές. Η κάλυψη των υπολειμμάτων μπορεί να είναι πλήρης, όπως συμβαίνει στα παραδοσιακά συστήματα κατεργασίας ή μερική, όπως συμβαίνει στα συστήματα χωρίς αναστροφή του εδάφους. Στο σύστημα της ακαλλιέργειας (no tillage) ουδεμία εργασία ενσωμάτωσης γίνεται. Το βάθος στο οποίο θα ενσωματωθούν τα φυτικά υπολείμματα θα εξαρτηθεί από τις απαιτήσεις του σπόρου της νέας καλλιέργειας. Αν ο σπόρος απαιτεί καλή σποροκλίση η ενσωμάτωση γίνεται σε βαθύτερα στρώματα. Αν αντίθετα ο σπόρος φυτρώνει εύκολα, η ενσωμάτωση γίνεται στα επιφανειακά. Από αγρονομική άποψη είναι προτιμότερο η ενσωμάτωση να γίνεται σε βάθος περίπου 10 cm έτσι ώστε να διευκολύνεται, λόγω του εντονότερου αερισμού, η διάσπαση και η μετατροπή τους σε χούμο.

Το βάθος όμως ενσωμάτωσης πολλές φορές καθορίζεται και από την ποσότητα και το είδος των υπολειμμάτων. Έτσι ογκώδη και ξυλώδη φυτικά υπολείμματα (βάμβακος, αραβοσίτου, καπνού κ.ά.) απαιτούν βάθος ενσωμάτωσης μεγάλο, ώστε να διευκολύνεται η σπορά. Το ίδιο συχνά συμβαίνει και με την καλαμιά και το άχυρο λόγω των μεγάλων ποσοτήτων ( 500 kg/ στρέμμα). Πολλές φορές μάλιστα το βάθος κατεργασίας καθορίζεται από τις ανάγκες κάλυψης των φυτικών υπολειμμάτων.

Τα εργαλεία που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι τα κλασικά υνάροτρα. Η ενσωμάτωση των υπολειμμάτων με τα άροτρα γίνεται σε όλο το βάθος κατεργασίας. Είναι δυνατό όμως με χρησιμοποίηση προϋνίου να ενσωματωθούν σε μεγαλύτερο βάθος. Για ενσωμάτωση τους στα επιφανειακά στρώματα χρησιμοποιούνται εργαλεία με δίσκους (δισκοσβάρνες) ή με δόντια. Καλή και ομοιόμορφη ενσωμάτωση επιτυγχάνεται επίσης με μηχανικές σκαπάνες .

Η εργασία της ενσωμάτωσης διευκολύνεται αν προηγηθεί κοπή των στελεχών με στελεχοκόπτη, ενώ του άχυρου που αφήνεται σε γραμμές (σάλμα) από τις θεριζοαλωνιστικές μηχανές με διασκόρπιση του σε όλη την επιφάνεια.

### **2.1.6. Καταπολέμηση εντομολογικών ασθενειών**

Ορισμένα έντομα διαχειμάζουν στο έδαφος με την μορφή προνύμφης ή νύμφης. Η κατεργασία και η αναστροφή του εδάφους τις εκθέτει στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες και έτσι μειώνεται ο πληθυσμός τους. Η ενσωμάτωση επίσης στο έδαφος προσβεβλημένων φυτών καταστρέφει τις εστίες αναμόλυνσης από τις διάφορες ασθένειες. Τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσουν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί στα νέα φυτά είναι πολλές φορές σημαντικά και επηρεάζονται και από τις κλιματικές συνθήκες.

### **2.1.7. Προστασία του εδάφους από τη διάβρωση**

Το πρόβλημα της διάβρωσης των γεωργικών εδαφών ήταν πάντα πολύ σημαντικό. Τα τελευταία όμως χρόνια έχει καταστεί εντονότερο λόγω της εντατικής κατεργασίας του εδάφους με συστήματα και εργαλεία που τη διευκολύνουν. Η κατάσταση αυτή διευκολύνεται επίσης από την τοπογραφία του εδάφους και από τις κλιματικές συνθήκες. Ήδη πολλές περιοχές έχουν καταστεί άγονες ή ημιέρημες.

Η κατεργασία του εδάφους μπορεί να δράσει είτε προστατεύοντας είτε και διευκολύνοντας τη διάβρωση. Σε εδάφη επικλινή με έντονες βροχοπτώσεις και ισχυρούς ανέμους, κατεργασία με αναστροφή (όργωμα) κατά την κλίση και με έντονο θρυμματισμό μπορεί να αποδειχθεί καταστροφική. Τουναντίον κατεργασία με εργαλεία με δόντια που αφήνουν στην επιφάνεια του εδάφους τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας δρα προστατευτικά. Το έδαφος δεν παρασύρεται με τη βροχή γιατί η κρούση των σταγόνων της βροχής μειώνεται σημαντικά. Ταυτόχρονα υποβοηθείται και η διήθηση του νερού.

### **2.1.8. Ισοπέδωση εδαφών**

Το έδαφος κατά την προετοιμασία για σπορά πρέπει να αφήνεται ισοπεδωμένο, όσο είναι δυνατό, ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία των μηχανημάτων. Ιδιαίτερες απαιτήσεις έχουν οι σπαρτικές μηχανές για να διευκολύνονται στην τοποθέτηση των σπόρων σε σταθερές αποστάσεις και σε σταθερό βάθος της ίδιας απαιτήσεις έχουν και οι μηχανές συγκομιδής για διευκολύνουν την εργασία τους και να μειώνουν της απώλειες.

### **2.1.9. Προετοιμασία εδάφους για άρδευση**

Εκτός των ανωτέρω με την κατεργασία γίνεται προετοιμασία του εδάφους για την άρδευση των καλλιεργειών, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται συστήματα κατάκλισης.

Η προετοιμασία του εδάφους εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως : μηχανική σύσταση του εδάφους, υγρασία, τοπογραφία, κλιματικές συνθήκες, απαιτήσεις των σπόρων και της καλλιέργειας, πληθυσμός ζιζανίων, εχθροί και ασθένειες και τέλος το είδος και το μέγεθος των ελκυστήρων και των εργαλείων καθώς και οι συνήθειες των παραγωγών.

## **2.2. ΤΡΟΠΟΙ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ**

Ο κυριότερος λόγος της κατεργασίας, όπως αναφέρθηκε είναι η βελτίωση της δομής που ουσιαστικά σημαίνει αναδιάταξη των συσσωματωμάτων και του πορώδους. Αυτή η αναδιάταξη συνοδεύεται πάντα και από θρυμματισμό του εδάφους δηλαδή μείωση του μεγέθους των βόλων.

Κάθε εργαλείο κατεργάζεται το έδαφος ενεργώντας με πολλούς απλούς μηχανικούς τρόπους δράσης των οποίων το αποτέλεσμα για ένα έδαφος με συγκεκριμένη μηχανική σύνθεση εξαρτάται κυρίως από την περιεχόμενη υγρασία.

Κατά την κατεργασία παρατηρούνται οι ακόλουθες απλές μηχανικές δράσεις που επιτρέπουν τη βελτίωση της δομής και του θρυμματισμού του εδάφους<sup>2</sup> (εικ. 2.1):

### **2.2.1 Ριγμάτωση**

Η ριγμάτωση (σχίσιμο) του εδάφους παρατηρείται μπροστά από τα εργαλεία και υπό γωνία ως προς τον σκαπτικό μηχανισμό. Θεωρητικώς οι ρωγμές παρατηρούνται σε κανονικές αποστάσεις ενώ η γωνία που σχηματίζουν με το εργαλείο είναι σε στενή συσχέτιση με την δομή και τη θέση του εργαλείου στο έδαφος.

Ο τύπος αυτός της ριγμάτωσης μπορεί να παρατηρηθεί μπροστά από υνάροτρα και εργαλεία με δόντια σε εδάφη με μέση υγρασία και αποτελεί τον κύριο τρόπο θρυμματισμού του εδάφους. Οι ρωγμές συνήθως παρατηρούνται σε προϋπάρχουσες ανωμαλίες (παλαιότερες αυλακιές, βόλοι κ.ά.).

### **2.2.2. Κοπή κατά τμήματα**

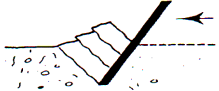


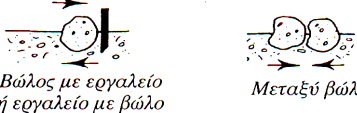

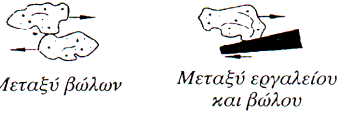

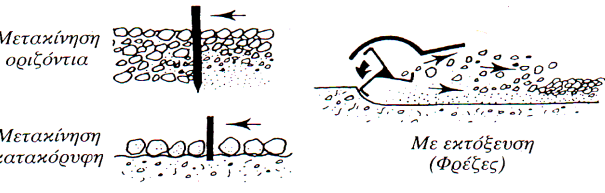
Ορισμένα από τα εργαλεία αποκόπτουν το έδαφος κατά, τμήματα καθώς προχωρούν. Τα υνάροτρα, τα εργαλεία με δίσκους και τα περιστροφικά άροτρα (φρέζες) είναι παραδείγματα αυτού του τρόπου δράσης.

### **2.2.3. Διάτμηση**

Τμήματα ή βόλοι εδάφους μπορούν να διατμηθούν όταν βρεθούν μεταξύ κινούμενων τμημάτων των εργαλείων. Παράδειγμα δράσης αποτελούν τα δόντια περιστροφικής σβάρνας. Ο τρόπος αυτός είναι πολύ αποτελεσματικός για θρυμματισμό των μεγάλων βόλων εάν οι υγρασία του εδάφους δεν είναι πολύ υψηλή.

### **2.2.4. Κρούση**

Η κρούση τεμαχιδίων του εδάφους μεταξύ τους αλλά και με εξαρτήματα των εργαλείων έχει ως αποτέλεσμα το θρυμματισμό τους. Εργαλεία δυναμοδοτούμενα από το ΡΤΟ καθώς και με δόντια ευνοούν, τη δράση αυτή, Η κρούση των τεμαχιδίων σε ειδικά εξαρτήματα των εργαλείων (π.χ. παραπέτα στις φρέζες) συμβάλλει αποφασιστικά στο βαθμό θρυμματισμού.

<p><b>Ριγμάτωση</b> (Υνάροτρα-εργαλεία με δόντια)</p>	
<p><b>Κοπή κατά τμήματα</b> (Υνάροτρα-εργαλεία με δίσκους-φρέζες)</p>	 <p>Κατά την οριζόντιο      Κατά την κατακόρυφο      Εργαλεία περιστρεφόμενα</p>
<p><b>Διάτμηση</b> (Σβάρνες περιστροφικές)</p>	
<p><b>Κρούση</b> (Εργαλεία περιστρεφόμενα από ΡΤΟ-φρέζες εργαλεία με δόντια)</p>	 <p>Βώλος με εργαλείο ή εργαλείο με βώλο      Μεταξύ βώλων</p>
<p><b>Συμπίεση (σύνθλιψη)</b> (Κύλινδροι-τροχοί ελκυστήρων)</p>	
<p><b>Τριβή</b> (Όλα τα εργαλεία)</p>	 <p>Μεταξύ βώλων      Μεταξύ εργαλείου και βώλου</p>
<p><b>Έλαση</b> (Υνάροτρα)</p>	
<p><b>Κατανομή (διαλογή) ουσωματομάτων</b> (Υνάροτρα-σβάρνες-φρέζες καλλιεργητές-εργαλεία με δόντια)</p>	 <p>Μετακίνηση οριζόντια      Μετακίνηση κατακόρυφο      Με εκτόξευση (Φρέζες)</p>

Εικ..2.1 τρόποι δράσης των εργαλείων κατά την κατεργασία του εδάφους.

### 2.2.5. Συμπίεση

Η συμπίεση με τους κύλινδρους είναι ένα μέσο για το θρυμματισμό του εδάφους σε μεγάλο βαθμό. Η επίδραση είναι πύο αποτελεσματική όταν η βάση πάνω στην οποία στηρίζονται οι βώλοι είναι αρκετά ανθεκτική. Το ίδιο φαινόμενο προκαλούν και οι τροχοί των ελκυστήρων.

### 2.2.6. Τριβή

Η τριβή των εδαφικών τεμαχιδίων μεταξύ τους αλλά και μεταξύ τεμαχιδίων και εργαλείων οδηγεί σε μείωση του μεγέθους των και τη δημιουργία λεπτής γης. Το φαινόμενο παρατηρείται με όλα τα εργαλεία όταν η υγρασία του

### **2.2.7. Έλαση**

Η έλαση (ελασματοποίηση) προκαλείται όταν υγρό έδαφος συμπιέζεται σε τμήματα των εργαλείων, προκαλείται συνοχή των τεμαχιδίων και αφήνεται υπό μορφή ελασμάτων (πλάνες) με λείες επιφάνειες. Το φαινόμενο παρατηρείται σε όργωμα με υνάρωτρο σε βαριά πλαστικά εδάφη (με υψηλή υγρασία). Πολλά εργαλεία κατά την κατεργασία προκαλούν κατανομή (διαλογή) των βόλων του εδάφους κατά μέγεθος. Η διαλογή μπορεί να παρατηρηθεί κατά την οριζόντιο ή κατά την κατακόρυφο.

### **2.2.8. Κατανομή των συσσωματωμάτων**

Κατά την κατεργασία με εργαλεία με δόντια παρατηρείται μετακίνηση βόλων μεγάλης διαμέτρου στην επιφάνεια και διαχωρισμός από τη λεπτή γη που καταλαμβάνει βαθύτερα στρώματα. Κατά την κατεργασία με σβάρνες ή καλλιεργητές, με δόντια κατακόρυφα ή με κλίση, τα λεπτά τεμαχίδια κατευθύνονται προς το βάθος της αυλακιάς που διανοίγεται, ενώ τα μεγαλύτερης διαμέτρου οδηγούνται προς την επιφάνεια. Τέλος η εκτόξευση των τεμαχιδίων του εδάφους και η κρούση τους σε εξαρτήματα των περιστροφικών αρότρων (παραπέτο) οδηγεί τα τεμαχίδια, μικρά και μεγάλα, προς τα πίσω και προς την επιφάνεια. Τα μεγαλύτερα όμως και βαρύτερα έχουν την τάση να εκτινάσσονται μακρύτερα και όταν πέφτουν να καλύπτουν τα λεπτότερα. Πρέπει να τονισθεί ότι γενικώς όλες τις δράσεις τις επηρεάζει σοβαρώς και η ταχύτητα μετακίνησης των εργαλείων. Η μεγάλη ταχύτητα προκαλεί πάντα εντονότερο θρυμματισμό.

## **2.3. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ - ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ**

Βασικός σκοπός της κατεργασίας του εδάφους είναι η προετοιμασία του ώστε να δεχθεί την νέα καλλιέργεια κάτω από τις καλύτερες αγρονομικές συνθήκες. Από τα προηγούμενα έχει καταφανεί ότι ο χρόνος διενέργειας και η ποιότητα της κατεργασίας εξαρτώνται κυρίως από: 1) Το έδαφος (δομή, μηχανική σύσταση, υγρασία, κατάσταση της επιφάνειας, λοιπές φυσικές ιδιότητες). 2) Τα εργαλεία και 3) Την καλλιέργεια που πρόκειται να εγκατασταθεί.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στην έννοια της κατεργασιμότητας (practicability, workability) του εδάφους. Η κατεργασιμότητα χαρακτηρίζει την κατάσταση εκείνη του εδάφους που επιτρέπει τη διέλευση και την εργασία των μηχανημάτων με συνθήκες που να διασφαλίζουν την αναβάθμιση ή τουλάχιστον τη μη υποβάθμιση της κατάστασης του. Σε ένα δεδομένο έδαφος η κατεργασιμότητα του επηρεάζεται απολύτως από την περιεχόμενη υγρασία. Στα διάφορα εδάφη επηρεάζεται κυρίως από τη μηχανική σύσταση και την υγρασία.

Επεμβάσεις σε εδάφη που δεν είναι σε ικανοποιητική κατάσταση από άποψη υγρασίας οδηγούν σε υποβάθμιση της δομής τους, απαιτούν μεγαλύτερες φροντίδες δευτερεύουσας κατεργασίας και αυξάνουν το κόστος και το χρόνο της προετοιμασίας. Οι επιπτώσεις γίνονται πιο δυσμενείς στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται εργαλεία βαριά ή σύνθετα με απαιτήσεις υψηλές για την έλξη τους. Δυστυχώς δεν υπάρχει ασφαλής μέθοδος που να προσδιορίζει την κατεργασιμότητα εκτός της εμπειρίας του γεωργού, της παρατήρησης και της γνώσης των χωραφιών. Ο πίνακας 2.1 παρέχει ένα γενικό οδηγό για τις διάφορες εργασίες που επιτρέπεται να πραγματοποιούνται κάτω

από δεδομένες συνθήκες υγρασίας Ο πίνακας 2.2 δείχνει τη συμπεριφορά των βόλων εδαφών με διαφορετική υγρασία.

Πίνακας 2.1. Οδηγός εργασιών κατεργασίας για εδάφη με διαφορετική υγρασία.

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΕΔΑΦΟΣ			
	Ξηρό	Ύψυγρο (ρόγος)	Ημιπλαστικό	Πλαστικό
Διόρθωση συμπύκνωσης	Δυνατή-δύσκολη	Συνιστάται	Επικίνδυνη	Καταστροφική
Όργωμα	Δυνατή-δύσκολη	Συνιστάται	Συνιστάται	Καταστροφική
Επανάληψη οργώματος	Δυνατή-δύσκολη	Συνιστάται	Επικίνδυνη	Καταστροφική
Δευτερεύουσα κατεργασία	Δυνατή -δύσκολη	Συνιστάται	Επικίνδυνη	Καταστροφική
Προετοιμασία για σπορά	Δυνατή-δύσκολη	Συνιστάται	Επικίνδυνη	Καταστροφική
Σπορά	Συνιστάται	Συνιστάται	Επικίνδυνη	Καταστροφική

Πίνακας 2.2. Συμπεριφορά βόλων εδάφους για διάφορα εδάφη και εδαφική υγρασία.

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	ΒΩΛΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ			
	Ξηρό	Ύψυγρο (ρόγος)	Ημιπλαστικό	Πλαστικό
Ελαφρύ	Δεν σπάει	Θρυμματίζεται	Σαπωνώδης	Γίνεται υγρός
Μέσο	Δεν σπάει	Θρυμματίζεται χωρίς να κολλάει	Θρυμματίζεται και κολλάει	Μορφοποιείται
Βαρύ	Δεν σπάει	Θρυμματίζεται και κολλάει λίγο	Αλλάζει μορφή, θρυμματίζεται δύσκολα	Μορφοποιείται

Συναφής με την κατεργασιμότητα είναι και η έννοια της προσπελασιμότητας (trafficability) που χαρακτηρίζει τη δυνατότητα του εδάφους να επιτρέπει τη διέλευση των μηχανημάτων χωρίς να υποβαθμίζεται η δομή του. Η προσπελασιμότητα αλλά και η κατεργασιμότητα εν πολλοίς επηρεάζονται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, την εδαφική υγρασία, την πυκνότητα, την κλίση, τα κλιματικά στοιχεία, την κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και τη στράγγιση. Επηρεάζεται επίσης από το βάρος των μηχανημάτων το μέγεθος και τον τύπο των ελαστικών, την ολίσθηση, τον τύπο των μέσων προώθησης (ερπυστριοφόροι, τροχοφόροι ελκυστήρες) και γενικώς από το τύπο των μηχανημάτων. Τα συστήματα κατεργασίας (μειωμένα - ελάχιστη) επηρεάζουν επίσης σημαντικά.

Πρακτικές όπως κυκλοφορία των μηχανημάτων σε προκαθορισμένες σταθερές ζώνες ή κυκλοφορία σε ζώνες (αυλακίες) όπου έχουν απορριφθεί πέτρες ή βόλοι κατά τη δημιουργία σαμαριών σε καλλιέργειες πατάτας βελτιώνουν την προσπελασιμότητα.

Σε πολλές χώρες έχουν αναπτυχθεί μοντέλα με τις πιθανές διαθέσιμες ημέρες που προβλέπουν την κατεργασιμότητα και προσπελασιμότητα των εδαφών για ποικίλες εργασίες και με διαφορετικά επίπεδα πιθανοτήτων. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται επίσης και για την επιλογή του κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού της γεωργικής εκμετάλλευσης.

## **2.4. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ**

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία του εδάφους κατατάσσονται ανάλογα με την εργασία σε άροτρα, σβάρνες και κυλίνδρους. Σε κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές υπάγονται πολλά εργαλεία, πολλές φορές εντελώς διαφορετικά μεταξύ τους.

Συνηθίζεται επίσης τα εργαλεία να ταξινομούνται ανάλογα με την κατασκευή και τη δράση τους σε: άροτρα, εργαλεία με δίσκους, εργαλεία με δόντια ή ελάσματα, εργαλεία δυναμοδοτούμενα (ενεργοποιούμενα από το ΡΤΟ του ελκυστήρα ) και κυλίνδρους.

Μια άλλη κατάταξη τα διαχωρίζει σε εργαλεία κύριας και δευτερεύουσας κατεργασίας. Στα πρώτα υπάγονται τα παντός τύπου άροτρα. Στα δεύτερα οι σβάρνες και οι κύλινδροι. Μερικές φορές, κάποιες σβάρνες ιδιαίτερα δισκοσβάρνες βαρέως τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κύρια κατεργασία.

Ανάλογα με το έδαφος, την προηγούμενη καλλιέργεια, την καλλιέργεια που θα εγκατασταθεί, την υγρασία του εδάφους την εποχή της κατεργασίας και ακόμη τις συνθήκες του γεωργού και το μηχανικό εξοπλισμό του θα χρησιμοποιηθεί το ένα ή το άλλο εργαλείο με βασικές πάντα επιδιώξεις αυτές που αναφέρθηκαν ήδη.

Το κάθε εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση μιας αυτοτελούς, συγκεκριμένης, εργασίας. Για την ολοκλήρωση της κατεργασίας ακολουθούν επόμενα εργαλεία είτε αμέσως μετά το πέρας του προηγούμενου είτε σε χρόνο μεταγενέστερο. Τα τελευταία όμως χρόνια υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού περισσότερων εργαλείων (σύνθετα ή συνδυαζόμενα μηχανήματα) ώστε με μία διέλευση να εκτελούνται ταυτόχρονα διαδοχικές εργασίες π.χ. όργωμα και δευτερεύουσα κατεργασία ή σβάρνισμα, κυλίνδρισμα και σπορά κ.ά. Η κύρια επιδίωξη του συνδυασμού των μηχανημάτων αφορά κυρίως τη μείωση του κόστους, του χρόνου και της συμπύκνωσης του εδάφους.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟ

1. Τσατσαρέλης ,Κ.Α. 1995. Αρχές μηχανικής κατεργασίας εδάφους.
2. Twomlow, S.J., R.J. Parkinson, J. Reid. 1994. Temporal changes in soil physical condition:after deep loosening of silty clay loam in SW England. Soil and Tillage Research. 31(1) 37-47.
3. Tessier, C.B., B. Lachance, C. Lague, Y. Chen, L. Chi, D. Bachand. 1997. Soil compactionreduction with a modified one-way disk. Soil and Tillage Research. 42(1,2): 63-11.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΥΝΑΡΟΤΡΑ

Κατά την κίνηση του αρότρου, όπως και κάθε άλλου καλλιεργητικού εργαλείου, αναπτύσσονται δυνάμεις που επηρεάζουν την απαιτούμενη ισχύ για την έλξη του εργαλείου. Για αρκετά από τα καλλιεργητικά εργαλεία, τουλάχιστον τα απλούστερα, έχουν αναπτυχθεί αναλυτικές μέθοδοι προσδιορισμού των δυνάμεων αυτών, με αποτελέσματα που συγκλίνουν αρκετά με τα πειραματικά δεδομένα.

Το άροτρο δυστυχώς έχει ασύμμετρο σχήμα με σύνθετο αναστρεπτήρα και υνί, με αποτέλεσμα οι αναλυτικές λύσεις που προτάθηκαν κατά καιρούς δίνουν αποτελέσματα που αποκλίνουν σημαντικά από τα πειραματικά δεδομένα. Μία από τις πιο πρόσφατες έρευνες των *O'Calaghan and Mccoy*<sup>1</sup> επεδίωξε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή να αναλύσει τις δυνάμεις και τις επιταχύνσεις που αναπτύσσονται στο έδαφος, στο υνί και τον αναστρεπτήρα, με αποτελέσματα που συγκλίνουν σημαντικά με τα πειραματικά. Εντούτοις χρησιμοποιούνται ακόμη πειραματικές μετρήσεις, στα ειδικά εργαστήρια και στον αγρό, για να εκφραστούν οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κίνηση του υναρότρου.

Η ανάλυση των δυνάμεων έχει απασχολήσει τους διάφορους ερευνητές από το 1920, και ιδιαίτερα τον *A.w.clyde*<sup>2</sup>, που προσπάθησαν να καθορίσουν τις δυνάμεις και να υπολογίσουν το μέγεθος τους. Η ανάλυση των δυνάμεων που αναπτύσσονται στο άροτρο εκτός από το θεωρητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και άμεσο ενδιαφέρον εφαρμογής. Με την ανάλυση αντιμετωπίζονται καλύτερα τα προβλήματα που έχουν σχέση με το σχήμα του υνίου και του αναστρεπτήρα και καθορίζεται η καταλληλότερη θέση του αρότρου ως προς τον ελκυστήρα και το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή αντίσταση του εδάφους.

Η ανάλυση που ακολουθεί στηρίζεται κατά βάση στην ανάλυση των *BAINER ET AL.*<sup>3</sup> και *Srivastava*<sup>3</sup> που στηρίχθηκαν κυρίως στις εργασίες των πρωτοπόρων *Clyde*<sup>2</sup>, *Nichols* και *Reed*.

#### 3.1. Δυνάμεις που δρουν σε ένα καλλιεργητικό εργαλείο

Σε ένα καλλιεργητικό εργαλείο που κινείται με σταθερή ταχύτητα οι δυνάμεις που ενεργούν είναι: α) το βάρος του εργαλείου  
β) η συνολική αντίδραση του εδάφους  
γ) δύναμη έλξης του ελκυστήρα .

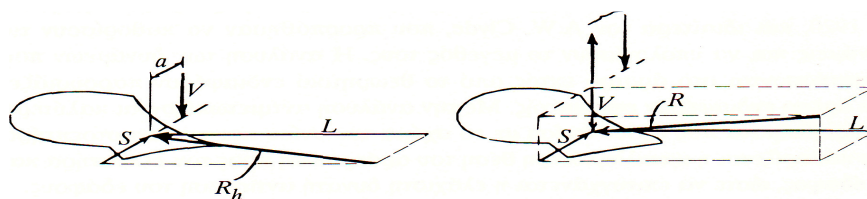
Ο *Clyde*,<sup>2</sup> κατατάσσει τις δυνάμεις που προκαλούνται από την αντίδραση του εδάφους σε δύο κατηγορίες, σε:

α) κύριες ή ωφέλιμες  
και β) δευτερεύουσες ή παρασιτικές. Ως κύριες θεωρούνται εκείνες που αναπτύσσονται από την αντίσταση στην κοπή, θρυμματισμό και αναστροφή του εδάφους. Οι παρασιτικές ή δευτερεύουσες οφείλονται στην τριβή και την αντίσταση κύλισης των εξαρτημάτων σταθεροποίησης του εργαλείου, όπως της ευθυντηρίας και του οπίσθιου τροχού αυλακιάς (όταν υπάρχει). Οι *O' calaghan and Mc coy*<sup>1</sup> προσθέτουν στις παρασιτικές δυνάμεις και την τριβή του εδάφους του πυθμένα της αυλακιάς με τα εξαρτήματα του εργαλείου. Σε ένα συγκεκριμένο καλλιεργητικό εργαλείο οι κύριες ή ωφέλιμες δυνάμεις δεν μπορούν να επηρεασθούν από τον χειριστή ενώ οι παρασιτικές επηρεάζονται, με τις κατάλληλες ρυθμίσεις της θέσης του εργαλείου.

Όταν το καλλιεργητικό εργαλείο δεν είναι συμμετρικό παρουσιάζονται ροπές περιστροφής που οφείλονται στις κύριες δυνάμεις. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να παρασταθούν οι δυνάμεις που ενεργούν σε ένα καλλιεργητικό εργαλείο. Η εικ. 3.1 παριστά σύμφωνα με τον *Clyde*<sup>2</sup>, τις δυνάμεις με δύο τρόπους:

α) Με δύο δυνάμεις που ενεργούν σε διαφορετικό επίπεδο, την κατακόρυφη  $V$  και την οριζόντια  $R$ . Η  $R$  ( $R_H$ ) αναλύεται σε δύο κάθετες συνιστώσες, την  $L$  κατά την διεύθυνση της κίνησης και την  $S$  κάθετα προς τη διεύθυνση,

β) Με μία δύναμη  $R$  και ένα ζεύγος δυνάμεων  $V_a$  που ενεργεί σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση της κίνησης. Όταν δεν υπάρχει δύναμη περιστροφής στο καλλιεργητικό εργαλείο οι δυνάμεις διέρχονται από το ίδιο σημείο και η ροπή μηδενίζεται ( $\alpha=0$ ).



Εικ. 3.1. Δύο τρόποι έκφρασης της συνολικής αντίστασης των εδάφους σε ένα καλλιεργητικό εργαλείο κατά τον *A. W. Clyde*.

### 3.2. Δυνάμεις που δρουν στα υνάροτρα, σε οριζόντιο επίπεδο

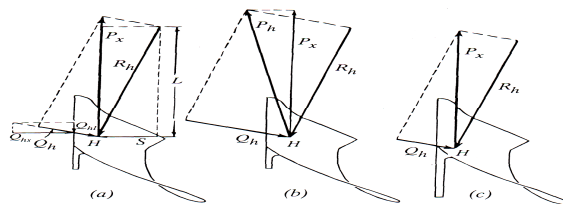
Η εικ. 3.2 δείχνει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται σε ένα άροτρο, σε οριζόντιο επίπεδο, σύμφωνα με τον *Clyde*<sup>2</sup>:

α) Η  $R_H$  παριστά την οριζόντια συνιστώσα της συνολικής αντίδρασης (εικ. 3.1) των κύριων ή ωφέλιμων δυνάμεων.

β) Η  $Q_H$  την οριζόντια συνιστώσα των δευτερευουσών ή παρασιτικών δυνάμεων.

γ)  $P_X$  την οριζόντια συνιστώσα της δύναμης έλξης του ελκυστήρα κατά τη διεύθυνση της κίνησης.

Η  $R_H$  αναλύεται στη δύναμη  $L$  κατά τη διεύθυνση της κίνησης και στην  $S$  κάθετα προς τη διεύθυνση της κίνησης. Ο λόγος  $S/L$ , κυμαίνεται γενικώς από 0,35-0,45 για αμμώδη εδάφη, 0,25-0,45 για αμμοπηλώδη και 0,2-0,3 για αργιλοπηλώδη, όταν δεν χρησιμοποιείται δίσκος ή προόνιο. Σε ειδικό άροτρο με αναστροφή χωρίς πλάγια μετατόπιση του εδάφους η  $S$  βρέθηκε ίση με 7,5-25%, της συνολικής αντίστασης ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Από τις σχέσεις αυτές μπορεί να προσδιορισθεί η θέση της  $R_H$ . Η οριζόντια συνιστώσα  $Q_H$  της συνισταμένης  $Q$  των παρασιτικών αντιστάσεων αποτελείται από μία δύναμη που προέρχεται από την αντίδραση του τοιχώματος της αυλακιάς (τριβής) στην ευθυντηρία ( $Q_{HS}$ ), που είναι ίση και αντίθετη προς την  $S$ , καθώς και από μία δύναμη τριβής του εδάφους και της ευθυντηρίας και είναι αντίθετη προς τη διεύθυνση της κίνησης ( $Q_{SL}$ ).



Εικ. 3.2. Δυνάμεις που αναπτύσσονται σε οριζόντιο επίπεδο σε ένα άροτρο κατά τον *Clyde*. a ) Έλξη παράλληλη προς την ευθυντηρία, b ) Έλξη με κλίση και c ) Άροτρο με μεγάλο μήκος ευθυντηρία.

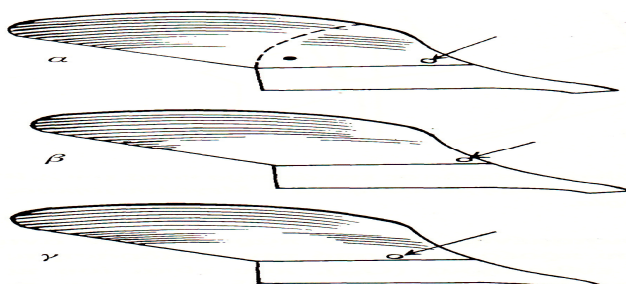
Για τον υπολογισμό των παρασιτικών δυνάμεων ως συντελεστής τριβής εδάφους αρότρου συνήθως λαμβάνεται η τιμή 0,3. Οι Bernacki et al<sup>3</sup> δίνουν τιμές από 0,3 έως 0,5. Με βάση τις τιμές αυτές προσδιορίζεται η θέση και προσανατολισμός της δύναμης Q.

Όταν προσδιορισθούν οι οριζόντιες συνιστώσες των κύριων ( $R_H$ ) και παρασιτικών δυνάμεων ( $Q_H$ ) μπορεί να προσδιορισθεί το μέγεθος της δύναμης έλξης ( $P_X$ ), κατά τη διεύθυνση της κίνησης, ικανής να αντιμετωπίσει τις δυνάμεις αυτές. Το σημείο στο οποίο συγκλίνουν (ή διέρχονται) οι τρεις αυτές δυνάμεις καλείται κέντρο αντίστασης του σώματος του αρότρου. Μολονότι δεν είναι δυνατό να καθορισθεί με ακρίβεια, το κέντρο αντίστασης γενικώς τοποθετείται στο μέσο του μήκους της ευθυντηρίας και περίπου στο ένα τρίτο του πλάτους κοπής, μετρούμενου από την ευθυντηρία, όπως φαίνεται και στην εικ. 3.3.

Όπως φαίνεται στην εικ. 3.2c όταν αυξάνεται το μήκος της ευθυντηρίας το κέντρο αντίστασης μετακινείται προς τα πίσω και προς το μέρος της ευθυντηρίας, επειδή ο φορέας της  $R_H$  δεν μεταβάλλεται. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση του κέντρου αντίστασης είναι η μηχανική σύσταση του εδάφους. Γενικώς όσο το έδαφος είναι βαρύτερο και η αντίσταση μεγαλύτερη, το κέντρο αντίστασης μετατοπίζεται προς τα πίσω (εικ. 3.3). Όταν υπάρχει οπίσθιος τροχός αυλακιάς, το κέντρο αντίστασης μετατοπίζεται επίσης προς τα πίσω και προς την ευθυντηρία.

Σε ένα πολύυνο άροτρο η θέση του κέντρου αντίστασης προσδιορίζεται από τις θέσεις των κέντρων αντίστασης των δύο ακραίων σωμάτων. Σε ένα τρίυνο άροτρο το κέντρο θα βρίσκεται στο κέντρο αντίστασης του μεσαίου σώματος ενώ σε ένα δίυνο περίπου στα 2/5 του πλάτους κοπής, από την ευθυντηρία του αριστερού (τελευταίου) σώματος. Η θέση, σύμφωνα με τα προηγούμενα, μπορεί να κυμαίνεται και να τοποθετείται μέχρι και στο 1/3 του πλάτους κοπής (από την ευθυντηρία του αριστερού σώματος).

Η εικ. 3.2 b δείχνει τη μεταβολή του μεγέθους των δυνάμεων όταν η έλξη γίνεται υπό γωνία ως προς την αυλακιά. Στην περίπτωση αυτή το άροτρο (η ευθυντηρία) πιέζει περισσότερο το τοίχωμα της αυλακιάς, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται μεγαλύτερες αντιδράσεις και τριβές και η  $Q_H$  να αυξάνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της αντίστασης έλξης. Από την εικόνα αυτή φαίνεται πόσο σοβαρά μπορεί να επηρεάσει ο χειριστής την αντίσταση έλξης με τις κατάλληλες ρυθμίσεις των αρότρων.



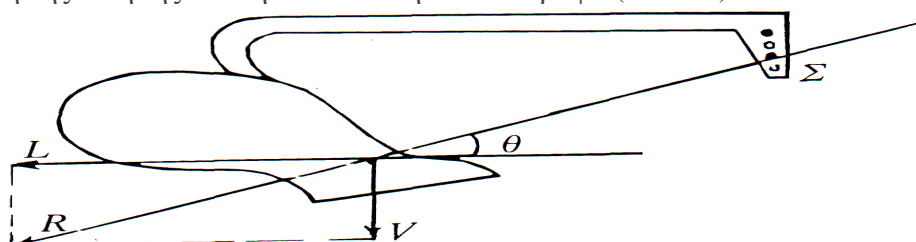
Εικ. 3.3. Θέση του κέντρου αντίστασης σε άροτρο γενικής χρήσης α. μέσο, β. ελαφρύ, γ. βαρύ έδαφος.

Επειδή κατά τη διάρκεια της εργασίας η θέση του κέντρου αντίστασης δεν παραμένει σταθερή οι Bernacki et al<sup>3</sup> θεωρούν ότι θα ήταν πρακτικότερο να θεωρείται ως υποθετικό κέντρο αντίστασης κάποιο σταθερό σημείο π.χ.η μύτη του υνίου και να αναλύεται η αντίσταση του εδάφους από τρεις κάθετες συνιστώσες. Οι τιμές των συνιστωσών δυνάμεων δεν μεταβάλλονται με τη μεταβολή του σημείου εφαρμογής, πράγμα όμως που δεν συμβαίνει όταν πρόκειται για ροπές και ζεύγη δυνάμεων.

Οι συνιστώσες  $P_x$  και  $R_h$  αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση του βάθους ενώ η συνιστώσα  $Q_h$  λιγότερο, εξαρτώμενη κυρίως από το σχήμα του υνίου και του αναστρεπτήρα και από τις χαρακτηριστικές γωνίες του αρότρου. Από τις συνιστώσες αυτές η  $R_h$  είναι αυτή που ενδιαφέρει κυρίως γιατί εξουδετερώνεται από την δύναμη έλξης. Κάτω από συνήθεις καταστάσεις αγρού η  $R_h$  μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της εργασίας σε τιμές  $\pm 100\%$  της μέσης τιμής. Σε πετρώδη όμως εδάφη οι μεταβολές είναι πολύ σημαντικές. Οι τιμές της  $R_h$  εξαρτώνται απόλυτα, όπως αναφέρθηκε, από τη μηχανική σύσταση και τη γενική κατάσταση του εδάφους (συμπύκνωση, κατεργασία κλπ).

### 3.3. Δυνάμεις που δρουν στα υνάροτρα, σε κατακόρυφο επίπεδο

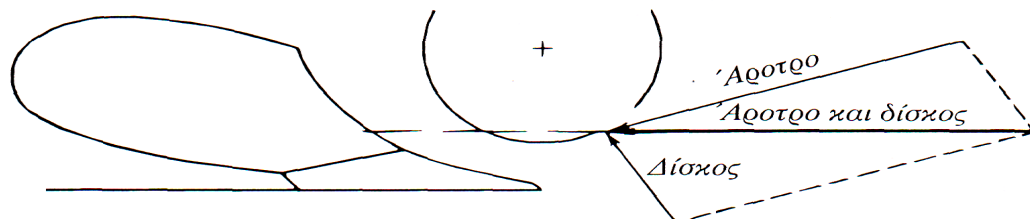
Σε κατακόρυφο επίπεδο η δύναμη  $R$  αναλύεται σε δύο συνιστώσες την  $L$  κατά τη διεύθυνση της κίνησης και την  $V$  κατά την κατακόρυφο (εικ. 3.4).



Εικ. 3.4. Δυνάμεις που αναπτύσσονται σε άροτρο σε κατακόρυφο επίπεδο.,

Η οριζόντια  $L$  προέρχεται από την αντίδραση στο κόψιμο του εδάφους και εξουδετερώνεται από τη δύναμη έλξης. Η κατακόρυφη  $V$  προέρχεται από τα βάρους του αρότρου και από την αντίσταση που προβάλλει το έδαφος κατά την ανύψωση και την αναστροφή του. Η δύναμη  $V$  τείνει να βυθίσει το άροτρο σε μεγαλύτερο βάθος και εξουδετερώνεται είτε από τους τροχούς σταθεροποίησης του βάθους είτε από το υδραυλικό σύστημα του ελκυστήρα. Όσο τα εδάφη γίνονται βαρύτερα τόσο και η σχέση  $V/L$  μεγαλώνει, δηλαδή το έδαφος αντιδρά περισσότερο και το άροτρο τείνει να βυθισθεί περισσότερο. Οπότε :  $(R=V/L)$ .

Όταν το άροτρο φέρει δίσκο, η συνισταμένη των αντιστάσεων σώματος και δίσκου διαφέρει από τα άροτρα χωρίς δίσκο και ως προς το μέγεθος και ως προς τη διεύθυνση. Αυτό οφείλεται στην αντίδραση που αναπτύσσει το έδαφος στη διείδυση του δίσκου (αντίσταση με φορά προς την επιφάνεια). Η εικ. 3.5 δείχνει κατά τον clyde τη συνισταμένη αντίσταση του εδάφους σε άροτρο με δίσκο.



Εικ. 3.5. Συνισταμένη των αντιστάσεων του εδάφους σε άροτρο με δίσκο κατά τον Clyde

Όσο το έδαφος γίνεται πιο βαρύ τόσο δυσκολεύεται η διείδυση του δίσκου και η κοπή του εδάφους, με αποτέλεσμα η συνολική αντίσταση του εδάφους στο σώμα του αρότρου και στο δίσκο να παίρνει κατευθύνσεις είτε προς το έδαφος (βύθιση) είτε και

προς την επιφάνεια. Στις περιπτώσεις των πολύ συνεκτικών εδαφών ο δίσκος θα πρέπει ή να αφαιρείται τελειώς ή να ρυθμίζεται να κόβει πολύ επιφανειακά. Σε αντίθεση τα προϋνία δεν παρουσιάζουν προβλήματα διείδυσης.

### 3.4. Αντίσταση έλξης

Η αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση του αρότρου και εκ τούτου η δύναμη που απαιτείται από τον ελκυστήρα για να υπερνικήσει την αντίσταση αυτή (δύναμη έλξης,  $P_x$ ) εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τα χαρακτηριστικά του αρότρου καθώς και την ταχύτητα μετακίνησης.

Αντί της συνολικής αντίστασης που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση του αρότρου συνηθίζεται να χρησιμοποιείται η ειδική αντίσταση, που εκφράζει την συνολική αντίσταση του αρότρου διαιρεμένη με το μέτωπο κοπής του αρότρου. Μέτωπο κοπής είναι η επιφάνεια που κόβει το κάθε σώμα ή το άροτρο και υπολογίζεται από το βάθος επί το πλάτος άροσης : ( $MK=a*b$ ), εκφράζεται σε  $N/cm^2$  ή  $kg/cm^2$ .

Η ειδική αντίσταση μεταβάλλεται ευρέως κάτω από διαφορετικές συνθήκες επηρεαζόμενη κυρίως από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, την υγρασία του, την κατάσταση από άπονης συμπύκνωσης και την ύπαρξη μη φυτικών υπολειμμάτων καθώς και το είδος τους. Επηρεάζεται επίσης από τα χαρακτηριστικά του αρότρου όπως το μέγεθος και ο τύπος του αναστρεπτήρα οι χαρακτηριστικές γωνίες του σώματος, το βάθος και το πλάτος κοπής την ταχύτητα μετακίνησης καθώς και των τρόπο ανάρτησης και τις ρυθμίσεις της θέσης του αρότρου.

Η επίδραση του πλάτους κοπής φαίνεται ότι είναι μάλλον περιορισμένη, σε αντίθεση με το βάθος κατά τον **Goryachkin**<sup>4</sup>. Η ελάχιστη ειδική αντίσταση παρατηρείται σε τιμές πλάτους προς βάθος γύρω στο 2, ( $E_l E.A=b/a$ ). Και σε εργαλεία με δόντια ή (ελάσματα) η ίδια σχέση δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Σχέση πάντως πλάτους προς βάθος ίση με 3 ( $b/a = 3$ ) μεγιστοποιεί την ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων με άροτρα ελικοειδούς αναστρεπτήρα και σταθεροποιεί και το βάθος άροσης. Για ένα άροτρο 14 ιντσών ( $\approx 35$  cm) η ελάχιστη ειδική αντίσταση παρατηρείται με βάθος άροσης 5-7 ιντσών ( $\approx 13-18$  cm). Αποτελέσματα πολλών πειραμάτων έδειξαν ότι η αντίσταση του εδάφους στην κίνηση του δίσκου του αρότρου φθάνει το 10-17% της συνολικής αντίστασης σώματος-δίσκου. Συγκριτικά πειράματα σε πηλώδη εδάφη έδειξαν ότι όταν υπάρχει οπίσθιος πλάγιος τροχός αυλακιάς η αντίσταση μειώνεται κατά 5-7% (**Goryachkin**<sup>4</sup>).

Η ειδική αντίσταση επηρεάζεται σημαντικούς από τη μηχανική σύσταση. Σε εδάφη αμμώδη η ειδική αντίσταση κυμαίνεται από 1,4-2  $N/cm^2$  ενώ σε βαριά αργιλώδη από 10-14  $N/cm^2$ . Πηλοαμμώδη παρουσιάζουν αντίσταση μεταξύ 2-5  $N/cm^2$  ενώ αργιλοπηλώδη ή βαριά πηλώδη 4-8  $N/cm^2$ .

Πειράματα σε αμμοπηλώδες έδαφος με καλές καλλιεργητικές συνθήκες και ταχύτητα μετακίνησης 4 km/h έδειξαν ότι η αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση του αρότρου κατανέμεται ως εξής: 50% για το κόψιμο, 30% για την ανύψωση, θρυμματισμό και αναστροφή του εδάφους και 20% για την υπερνίκηση της αντίστασης των τροχών. Ένας άλλος ερευνητής ο Bernacki<sup>5</sup> αναφέρει ότι άνω του 40% της αντίστασης που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση του σώματος του αρότρου οφείλεται στις τριβές του εδάφους στο υνί και τον αναστρεπτήρα. Η αντίσταση μάλιστα αυτή επηρεάζεται σοβαρώς από τη ταχύτητα μετακίνησης του αρότρου.

**Η σχέση που συνδέει την αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση του αρότρου με την ταχύτητα μετακίνησης, εκφράζεται με το βασικό τύπο που**

ανέπτυξε ο Ρώσος Ακαδημαϊκός V.L. Goryachkin<sup>4</sup> το 1898. Ο γενικός τύπος του Goryachkin για συρόμενα άροτρα είναι:

$$(1) \quad P_x = Fg + K_0ab + eabu^2 \quad \text{kg}$$

οπού:

$P_x$  = συνολική αντίσταση (kg)

$F$  = 0,3-0,5 συντελεστής αντίστασης κύλισης των τροχών του αρότρου

$g$  = βάρος του αρότρου (kg)

$K_0$  = συντελεστής στατικής αντίστασης (kg/cm<sup>2</sup>)

$a$  = βάθος (cm)

$b$  = πλάτος (cm)

$e$  = συντελεστής δυναμικής αντίστασης (kg.s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.cm<sup>2</sup>)

$u$  = ταχύτητα (m/s)

Ο όρος  $f * g$  καθορίζει την αντίσταση λόγω του βάρους του αρότρου και των τριβών των τροχών με το έδαφος αλλά και στους άξονες του. Ο Goryachkin θεμελίωσε τη σχέση του στην εξίσωση:

$$P_x = d(um)/dt = m du/dt + u dm/dt \quad (2)$$

Στην εξίσωση αυτή ο όρος  $m(du/dt)$  καθορίζει τη δύναμη που είναι αναγκαία για να δώσει στη μάζα του εδάφους ( $M$ ) επιτάχυνση ( $du/dt$ ). Ο όρος  $u(dm/dt)$  καθορίζει τη δύναμη που είναι αναγκαία να δώσει σταθερή ταχύτητα ( $u$ ) στη μεταβαλλόμενη, μάζα ( $m$ ) που περνά από τον αναστρεπτήρα.

Ο πρώτος όρος παραστάθηκε ως αντίσταση με τη σχέση:

$$m du/dt = Fg + k_0ba \quad (3)$$

Στο δεύτερο η σχέση  $du/dt$  παριστά τη μάζα που διέρχεται από τον αναστρεπτήρα στη μονάδα του χρόνου, ή

$$dm/dt = \gamma/g * abu \quad (4)$$

όπου

$\gamma$  = πυκνότητα

$g$  = επιτάχυνση βαρύτητας

Ο Goryachkin δέχθηκε ότι η ταχύτητα  $u_1$  της μάζας του εδάφους είναι ανάλογη της ταχύτητας μετακίνησης του αρότρου  $u$  οπότε:

$$u * dm/dt = eabu^2 \quad (5)$$

$U_1 = e_1 U$  και τελικά

Η αντίσταση του εδάφους στην κίνηση του σώματος του αρότρου (χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τριβές των τροχών), ή για το σύνολο του αρότρου όταν δεν υπάρχουν τροχοί εκφράζεται από τη σχέση:

$$K = K_0 + eU^2 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (6)$$

Ο συντελεστής αντίστασης  $K_0$  αντιστοιχεί στην ειδική αντίσταση του σώματος με ταχύτητα άροσης  $v=0$  καλείται δε, όπως αναφέρθηκε ήδη, ειδική αντίσταση του εδάφους. Οι Bernavki et al.<sup>5</sup> δίνουν τιμές ειδικής αντίστασης για τα διάφορα είδη εδαφών ως εξής: ελαφρά 2-3 N/οπι<sup>2</sup>, μέσα 3-5 N/CM<sup>2</sup>, βαριά 5-7 N/CM<sup>2</sup> και πολύ βαριά, άνω των 7 N/CM<sup>2</sup>.

Ο Hendrick<sup>6</sup> δίνει τις πιο κάτω τιμές ειδικής αντίστασης των εδαφών (N/cm<sup>2</sup>), που αποδέχθηκαν και τα ASAE Stancards, (s η ταχύτητα μετακίνησης σε km/h).

Έδαφος ιλυοαργιλώδες:	7,0+0,049	s <sup>2</sup>	=K <sub>0</sub>
Έδαφος αργιλοπηλώδες:	6,0+0,053	s <sup>2</sup>	=K <sub>0</sub>
Έδαφος πηλώδες:	3,0+0,020	s <sup>2</sup>	=K <sub>0</sub>
Έδαφος αμμοίλυδες:	3,0+0,032	s <sup>2</sup>	=K <sub>0</sub>
Έδαφος αμμοπηλώδες:	2,8+0,013	s <sup>2</sup>	=K <sub>0</sub>
Έδαφος αμμώδες:	2,0+0,013	s <sup>2</sup>	=K <sub>0</sub>

Νεότερες έρευνες έδειξαν ότι η αντίσταση επηρεάζεται σημαντικώς από την ταχύτητα και το βάθος ακολουθώντας πολυωνυμική σχέση δεύτερου βαθμού ως προς το βάθος και την ταχύτητα.

Άλλες έρευνες έδειξαν ότι η αντίσταση του εδάφους είναι συνάρτηση της ταχύτητας και του τετραγώνου της, για ταχύτητες μεταξύ 0,25 και 2 m/s.

Η ταχύτητα με την οποία διενεργούνται τα οργώματα κυμαίνεται μεταξύ 4 και 10 km/h. Ως μέση θεωρείται η ταχύτητα των 7 km/h. Η αύξηση της ταχύτητας προκαλεί καλύτερο θρυμματισμό, όπως αναφέρθηκε σε άλλα σημεία, με σημαντική όμως επιβάρυνση στην προβαλλόμενη αντίσταση. Παρόλα αυτά ορισμένες φορές θεωρείται σκόπιμη η αύξηση του θρυμματισμού ιδιαίτερα όταν το έδαφος προετοιμάζεται την άνοιξη για σπορά. Στις περιπτώσεις πάντως αυτές θα πρέπει να επιλεγούν ειδικά άροτρα ταχύτητας και θρυμματισμού.

Όταν είναι γνωστή η ειδική αντίσταση, μπορεί εύκολα να υπολογισθεί η συνολική αντίσταση που προβάλλεται στο άροτρο. Σε συνάρτηση με την ταχύτητα μετακίνησης του ελκυστήρα υπολογίζεται η απαιτούμενη ισχύς για την έλξη του αρότρου.

Για παράδειγμα αν οργώνεται έδαφος πηλώδες με ειδική αντίσταση  $K_0$  3,0 + 0,020 s<sup>2</sup>, με ταχύτητα  $U = 7$  km/h σε βάθος  $a = 25$  cm και πλάτος  $b = 40$  cm τότε:

α) η ειδική αντίσταση είναι:  $K_0 = 3,0 + 0,020 \cdot 7^2 = 3,98$  N/cm<sup>2</sup>.

β) Το συνολικό μέτωπο κοπής είναι  $M.K = a \cdot b = 40 \cdot 25 = 1000$  cm<sup>2</sup> τότε

γ) η συνολική αντίσταση θα είναι :

$$\Sigma.A = K_0 \cdot M.K = 3,98 \text{ (N/cm}^2\text{)} \cdot 1000 \text{ cm}^2 = 3.980 \text{ N.}$$

Οπότε η ισχύς έλξης θα είναι  $P = F \cdot U$ . Όπου η  $F = \Sigma.A$  τότε

$$P = (3980 \cdot 7000 / 3600) / 1000 = 7,74 \text{ KW. (σημ. μετατροπή μονάδων)}$$

Αν το άροτρο είναι τρίννο θα απαιτηθεί  $3 \cdot 7,74 = 23,22$  KW ισχύς για την έλξη. Η ισχύς που υπολογίσθηκε είναι αυτή που απαιτείται για να υπερνικηθούν οι αντιστάσεις του εδάφους που προβάλλονται κατά την κίνηση του αρότρου.

Υπάρχουν όμως και άλλες απώλειες ισχύος που τις εκφράζει ο βαθμός απόδοσης ισχύος στην έλξη. Ο Βαθμός απόδοσης ισχύος στην έλξη ισούται με την αποδιδόμενη ισχύς στην έλξη προς εισερχόμενη ισχύς στους κινητήριους άξονες. ( $BAI_{ελ} = P_{ελ} / P_{κα}$ )

Κατά τον Τσατσαρέλη<sup>7</sup> η ισχύς των 23,22 kw θα πρέπει κατά μέσο όρο να αποτελεί το 60%-70% περίπου της ισχύος PTO του ελκυστήρα. Επομένως για να έλξει το άροτρο αυτό ο ελκυστήρας θα πρέπει να έχει ισχύ PTO περίπου 33-39 kw (« 45-53 ίππων). Με φόρτιση στο 80% της μέγιστης ισχύος, ο ελκυστήρας θα πρέπει να έχει ισχύ 41-49 kw (« 55-66 ίππων) ή ισχύ κινητήρα 46-55 kw (« 62-75 ίππων).



Η ειδική αντίσταση του εδάφους επηρεάζεται και από την εδαφική υγρασία. Ένα ξηρό έδαφος, όπως είναι γνωστό, απαιτεί λόγω των δυνάμεων συνοχής και συνάφειας υψηλή ισχύ για την άροση. Ταυτοχρόνως προκαλεί και γρήγορη φθορά στα καλλιεργητικά εργαλεία. Μία αύξηση της υγρασίας από 9,1 σε 11,7% σε αμμοπηλώδες έδαφος μείωσε την αντίσταση από 15 έως 35%.<sup>22</sup> Μια βροχή περίπου 30cm σε ξηρό βαρύ έδαφος μείωσε την αντίσταση κατά 40%. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ειδική αντίσταση είναι η συμπίκνωση του εδάφους.

Σε έδαφος αμμοπηλώδες βρέθηκε ότι μεταβολή από 1,68 σε 1,83 t/m<sup>3</sup> του φαινόμενου ειδικού βάρους αυξάνει την αντίσταση κατά 15-35%. Οι Koolen and H. Kuipers<sup>8</sup> προτείνουν μία γενική σχέση του τύπου  $k/ab = k_1 - k_2 \cdot m + k_3^2$  για να εκφράσουν την σχέση μεταξύ της ειδικής αντίστασης και της υγρασίας του εδάφους όπου  $k$  = ειδική αντίσταση,  $a$  = βάθος,  $b$  = πλάτος,  $m$  = υγρασία % κατά βάρος και  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  οι συντελεστές. Η σχέση εκφράζει παραβολή με ένα ελάχιστο. Η υγρασία στην κατάσταση αυτή είναι η άριστη για την κατεργασία. Οι συντελεστές  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , προσδιορίζονται από πειράματα. Στην πράξη όμως δεν επιβεβαιώνεται πάντα η ισχύς της σχέσης. Ορισμένες φορές παρατηρείται μέγιστο στη σχέση, ενώ άλλες φορές συνεχής πτώση της ειδικής αντίστασης με αύξηση της υγρασίας. Οι έρευνες στο θέμα αυτό συνεχίζονται.

Όσον αφορά το σχήμα του αναστρεπτήρα βρέθηκε ότι γενικώς οι αναστρεπτήρες που προκαλούν μεγαλύτερο θρυμματισμό, τείνουν να παρουσιάσουν μεγαλύτερη ειδική αντίσταση σε σχέση με εκείνους που δεν προκαλούν τόσο μεγάλο. Συγκριτικά πειράματα αρότρων με ελικοειδείς και κυλινδρικούς αναστρεπτήρες έδειξαν ότι στους ελικοειδείς παρουσιάστηκε μειωμένη αντίσταση του εδάφους κατά 12% και μείωση της κατανάλωσης καυσίμων κατά 6%. Άλλα συγκριτικά πειράματα αρότρων με βραχείς και μακρείς αναστρεπτήρες έδειξαν ότι με τους μακρείς παρατηρείται μειωμένη αντίσταση κατά 15% καθώς και καλύτερη ποιότητα εργασίας.<sup>73</sup> Τα πρόσθετα εξαρτήματα ωσαύτως προκαλούν αύξηση της ειδικής αντίστασης. Ο Clyde<sup>2</sup> βρήκε ότι περίπου το 15% της αντίστασης οφείλεται στο δίσκο.

Ο Clyde<sup>2</sup> για μείωση της αντίστασης του εδάφους κατέληξε σε ενδιαφέρουσες προτάσεις οι οποίες όμως σπανίως έφθασαν σε στάδιο εφαρμογής. Πρότεινε την κάλυψη της μεταλλικής επιφάνειας του αρότρου με λεπτά στρώματα από teflon. Το teflon παρουσιάζει μικρό συντελεστή τριβής. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά γιατί το έδαφος γλιστρά στην επιφάνεια του αρότρου. Η ελάττωση της αντίστασης κυμάνθηκε από 6-38%. Το βασικό μειονέκτημα της πρακτικής αυτής ήταν η γρήγορη καταστροφή του υλικού από τις πείρες, ρίζες κλπ. καθώς και το υψηλό κόστος.

Άλλες προσπάθειες στρέφονται στη διοχέτευση συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος τάσης 40-250 V και μικρής έντασης (0,5-1,2 A). Η διοχέτευση αυτή του ρεύματος ελευθερώνει νερό που κινείται στην επιφάνεια του αρότρου και λειτουργεί ως λιπαντικό. Η μείωση της αντίστασης έφθασε σε 5-13% σε μια έρευνα μέχρι και 11-39% σε άλλη.

Αντί της διοχέτευσης ρεύματος είναι δυνατό να εγχέεται κατευθείαν νερό από ειδικές οπές στον αναστρεπτήρα, όπως αναφέρθηκε ήδη. Η πρακτική αυτή έχει βρει ήδη εφαρμογή.

Άλλες προσπάθειες στρέφονται προς την κατεύθυνση της εφαρμογής δονήσεων στα καλλιεργητικά εργαλεία. Οι δονήσεις προκαλούν μείωση της συνεκτικότητας του εδάφους και μείωση της συνολικής αντίστασης. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν μείωση κατά 71-93% σε πειράματα στο εργαστήριο με συχνότητα δόνησης 20-50 Hz και εύρος  $\pm 1-2,5$  mm.

Για τη μείωση της αντίστασης δοκιμάστηκαν ακόμη και τύποι αναστρεπτήρων με ανώμαλη επιφάνεια με σκοπό να συγκεντρώνεται περισσότερη υγρασία στα σημεία

επαφής εδάφους-αρότρου και να λειτουργεί ως λιπαντικό. Συχνά παρατηρείται ικανοποιητική μείωση της τριβής, υστερούν όμως τα άροτρα σε ποιότητα εργασίας.

Η έρευνα στον τομέα της μείωσης της απαιτούμενης ισχύος για την έλξη των αρότρων είναι συνεχής και τα τελευταία χρόνια εντοπίζεται τόσο στον καλύτερο σχεδιασμό των εξαρτημάτων, στα καλύτερα υλικά, τις καλύτερες ρυθμίσεις και τη γενικότερη διαχείριση ελκυστήρα-αρότρου όσο και στα θέματα που αναφέρθηκαν.

### **3.5. Ρυθμίσεις των αρότρων**

Όπως έχει γίνει φανερό από τα προηγούμενα, τα άροτρα κατασκευάζονται για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τύπους ελκυστήρων. Σε πολλά μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν σώματα μεταβάλλοντας το συνολικό πλάτος εργασίας. Το βάθος εργασίας ρυθμίζεται ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες και μέσα στα όρια της σχέσης "πλάτος προς βάθος". Για να μπορέσει ως εκ τούτου ένα σύστημα ελκυστήρα - αρότρου να εκτελέσει την άροση με το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, δηλαδή με καλή ποιότητα αλλά και με μειωμένο κόστος θα πρέπει να ρυθμίζεται καταλλήλως, ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες. Οι ρυθμίσεις αφορούν τόσο τον ελκυστήρα όσο και κυρίως το άροτρο. Οι ρυθμίσεις του αρότρου αφορούν τη θέση του σε σχέση με τον ελκυστήρα αλλά και με το καλλιεργημένο έδαφος. Οι ρυθμίσεις της θέσης του αρότρου διακρίνονται σε ρυθμίσεις σε κατακόρυφο και σε οριζόντιο επίπεδο.

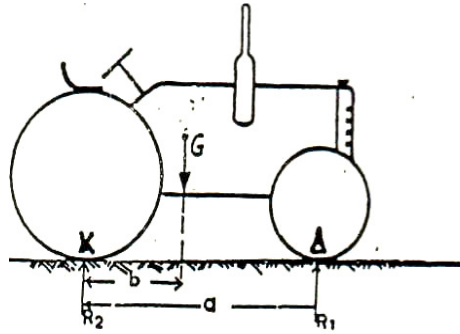
### **3.6. Ρυθμίσεις του ελκυστήρα**

Οι βασικές ρυθμίσεις που πρέπει να γίνονται στον ελκυστήρα αφορούν τη ρύθμιση της θέσης των τροχών (πρόσθιων και οπίσθιων), τη ρύθμιση της πίεσης των ελαστικών και τη ρύθμιση των πρόσθετων βαρών (αντίβαρων).

**Η ρύθμιση της θέσης των τροχών θα βοηθήσει ώστε οι τροχοί να παίρνουν τη σωστή θέση στην αυλακιά. Οι ρυθμίσεις της πίεσης και η προσθήκη των κατάλληλων αντίβαρων θα βοηθήσει ώστε ο ελκυστήρας να αποκτήσει καλή πρόσφυση με το έδαφος και να αναπτύσσει καλή ελκτική δύναμη, με ολίσθηση που να μην ξεπερνά το όριο του 15%. Με το όριο αυτό επιτυγχάνεται ένας υψηλός βαθμός απόδοσης του ελκυστήρα στην έλξη, δηλαδή οικονομική χρησιμοποίηση του ελκυστήρα.**

### **3.7. Αντίσταση παράλληλη προς την επιφάνεια κινήσεως (σε κατακόρυφο επίπεδο)**

Η περίπτωση αυτή παρουσιάζεται κατά την έλξη μεταφορικών οχημάτων (πλατφόρμες), καθώς και τροχοφόρων γεωργικών μηχανημάτων (π. χ. σπαρτικές μηχανές σιτηρών, μηχανήματα συγκομιδής κ. λ. π.) που δέχονται οί πρόσθιοι και οπίσθιοι τροχοί ενός ακίνητου γεωργικού ελκυστήρα από τις σχέσεις:



Σχ. 3.6 Κατανομή των φορτίων και ανάπτυξη αντιστάσεων στους τροχούς ενός ακίνητου γ. ε

Με τις ροπές ως προς τα σημεία Κ και Δ, υπολογίζεται κατ' αρχήν το βάρος

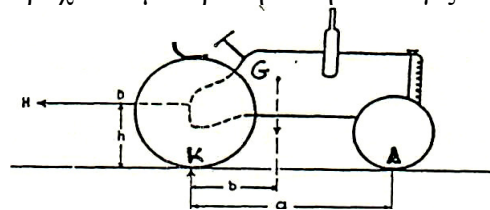
$$\Sigma M_K = 0 \Rightarrow R_1 \cdot \alpha - G \cdot b = 0 \Rightarrow R_1 = G \cdot b \quad (1)$$

με τις οποίες βρίσκεται το  $K_1$  και  $K_2$ , εφ' όσον είναι γνωστό το συνολικό βάρος του γεωργικού ελκυστήρα, η απόσταση μεταξύ των αξόνων των τροχών ίσους με  $\alpha$

$$\Sigma M_\Delta = 0 \Rightarrow G \cdot (\alpha - b) - R_2 \cdot \alpha \Rightarrow R_2 = G \cdot (\alpha - b) / \alpha \quad (2)$$

που είναι η οριζόντια απόσταση του κέντρου βάρους του ελκυστήρα από τον άξονα των οπίσθιων τροχών.

Κατά την κίνηση του γεωργικού ελκυστήρα εάν  $H$  είναι η προβαλλόμενη αντίσταση, και η το ύψος του σημείου προσδέσεως  $h$ , τότε μεταβάλλεται το βάρος που δέχονται οι πρόσθιοι τροχοί. Η μεταβολή αυτή υπολογίζεται από τις σχέσεις:



Σχ. 3.7 Μεταβολή των φορτίων στους τροχούς με αντίσταση παράλληλη προς την επιφάνεια κινήσεως.

Εφ' όσον τα ( $G$  και  $b$  παραμένουν σταθερά από τη σχέση ( 3) προκύπτει ότι η αντίσταση

$$\Sigma M_K = 0 \Rightarrow R_1 \cdot \alpha - G \cdot b + H \cdot h = 0 \Rightarrow R_1 = [G \cdot b - H \cdot h] / \alpha \quad (3)$$

$$\Sigma M_\Delta = 0 \Rightarrow G \cdot (\alpha - b) - H \cdot h - R_2 \cdot \alpha = 0 \Rightarrow R_2 = [G(\alpha - b) + H \cdot h] / \alpha \quad (4)$$

Όταν η  $R_1$  στον εμπρόσθιο άξονα ελαττώνεται τότε αυξάνει η αντίσταση έλξεως  $H$  και το ύψος συνδέσεως των γεωργικών μηχανημάτων  $h$ .

Αν σε ένα γεωργικό ελκυστήρα με

$G=1500$  [Kg] ή  $G=14715$  [N],  $b=0,65$  [m],  $\alpha=1,80$  [m],  $H=800$  [Kg] ή  $H=7848$  [N] και  $h=40$  [m]

τότε από την σχέση (3) είναι:

$$R_1 = [G \cdot b - H \cdot h] / \alpha = (14715 \cdot 0,65 - 7848 \cdot 0,40) / 1,80 = 3569,75$$
 [N]

Το βάρος των πρόσθιων τροχών, όταν ο γ. ε. είναι ακίνητος, από την σχέση (2) είναι:

$$R_1 = G \cdot b / \alpha = 14715 \cdot 0,65 / 1,80 = 5313,75 \text{ [N]}$$

Ενώ κατά την άσκηση της ελκτικής δύναμης ελαττώνονται κατά 5313,75 - 3569,75 = 1744 [N]. Η μεταβολή του βάρους των οπίσθιων τροχών του (Σχ. 2. 2) υπολογίζεται από την σχέση (2. 4) και είναι:

$$R_2 = [G(a-b) + R \cdot h] / \alpha = 14715 \text{ [N]} \cdot (1,80 - 0,60) \text{ [m]} + 7848 \text{ [N]} \cdot 0,4 \text{ [m]} / 1,80 \text{ [m]} \\ \Rightarrow R_2 = 11145,25 \text{ [N]}$$

Το βάρος των οπίσθιων τροχών, όταν ο γ. ε. είναι ακίνητος, από την σχέση (2) είναι:

$$R_2 = 14715 \text{ [N]} (1,80 - 0,65 \text{ [m]} / 1,80 \Rightarrow 9401,25 \text{ [N]}$$

Η αντίσταση  $R_2$  στους οπίσθιους τροχούς αυξάνεται με την αύξηση των  $H$  και  $h$  εφόσον τα  $G$ ,  $b$  και  $\alpha$  είναι σταθερά.

Κατά την κίνηση δηλαδή του γ. ελκυστήρα, προκαλείται μία επαύξηση του βάρους που δέχονται οι οπίσθιοι κινητήριοι τροχοί (το σημείο  $K$ ) κατά 11145,25 - 9401,25 = 1744 [N] ίση με το βάρος που αφαιρείται από τους πρόσθιους τροχούς.

Ο παράγων των παραπάνω εξισώσεων  $H \cdot h / \alpha$  ονομάζεται **παράγων μεταφοράς** βάρους και πρέπει να λαμβάνεται πάντα σοβαρά υπόψη, όταν ο γ. ε. κινείται. (Μηχανική οχημάτων ανωμάτων εδαφών. Θ.Γιαλαμάς<sup>9</sup>)

### 3.7.1. Κατακόρυφη αντίσταση

Η αντίσταση αυτού του είδους δημιουργείται κατά την ανύψωση γεωργικών μηχανημάτων, στο σύστημα αναρτήσεως που διαθέτει ο γεωργικός ελκυστήρας. Μολονότι η ανύψωση αυτή προκαλείται από τα τρία σημεία στηρίξεως, θα μελετηθεί κατ' αρχή η περίπτωση της ανυψώσεως με ένα σημείο.

Στην περίπτωση αυτή (Σχ. 3.8) εάν  $G_m$  το βάρος που ανυψώνεται και  $\theta$  η οριζόντια απόσταση μεταξύ των σημείων  $O$  και  $K$ , η ροπή ως προς το σημείο  $K$  θα είναι:

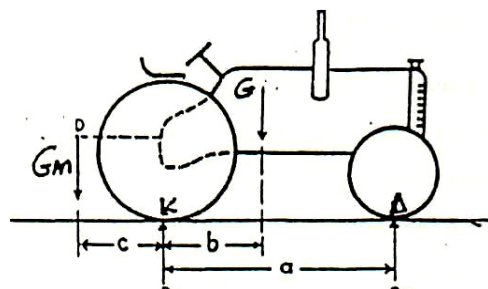
$$\Sigma M_K = 0 \Rightarrow R_1 \cdot \alpha + G_m \cdot C - G \cdot b = 0 \Rightarrow R_1 = (G \cdot b - G_m \cdot C) / \alpha \quad (5)$$

οπού και πάλι η αντίσταση  $R_1$  του εμπρόσθιου άξονα των διεθυντηρίων τροχών ελαττώνεται με την αύξηση του  $G_m$  και του  $C$ . Εάν ένα γεωργικό μηχανήμα βάρους

$G_m = 220 \text{ [Kg]}$  ή ( $G_m = 2158,2 \text{ [N]}$ ) που συνδέεται σε απόσταση  $C$  από τον κατακόρυφο άξονα συμμετρίας του οπίσθιου κινητήριου τροχού, είναι  $C = 0,75 \text{ [M]}$  και ανυψώνεται κατακόρυφα τότε από την σχέση (5) είναι για τον ίδιο γ. ελκυστήρα:

$$R_1 = (14715 \cdot 0,65 - 2158,2 \cdot 0,75) / 1,80 = 4414,5 \text{ (N)}$$

Δηλαδή θα υπάρξει μείωση του φορτίου των πρόσθιων τροχών κατά 533,75 [N] - 4414,5 [N] = 899,25 [N].



Σχ. 3.8. Μεταβολή των φορτίων (αντιστάσεων) στους τροχούς με κατακόρυφη ανύψωση φορτίου

Η μεταβολή του βάρους των οπίσθιων τροχών υπολογίζεται από τη σχέση (5) με τη βοήθεια του Σχ. 3.8.

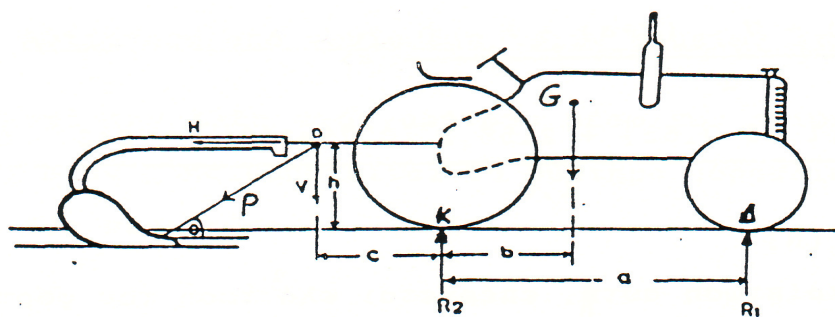
$$\Sigma M\Delta = 0 \Rightarrow G(a-b) + Gm(a+c) - R_2 \cdot a = 0 \Rightarrow \quad (6)$$

$$14715(1,80-0,65) + 2158,2(1,80+0,75)/1,80 \Rightarrow R_2 = 12458,7[\text{N}]$$

οπότε το βάρος των οπίσθιων τροχών του κινητήριου άξονα, στην περίπτωση αυτή θα αυξηθεί κατά  $12458,7 - 9401,25 = 3057,45[\text{N}]$

### 3.7.2. Αντίσταση υπό γωνία ως προς την κατακόρυφο

Στις πιο πολλές περιπτώσεις, η αντίσταση που προβάλλεται στον γεωργικό ελκυστήρα κατά την έλξη, δεν είναι ούτε οριζόντια ούτε κατακόρυφη, αλλά είναι υπό γωνία ως προς την κατακόρυφο, όπως συμβαίνει κατά την έλξη των αρότρων κατά την διάρκεια της άρωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9. Στην περίπτωση αυτή



Σχ. 3.9. Μεταβολή των φορτίων στους τροχούς με φερόμενο άροτρο

η αντίσταση P αναλύεται σε δύο δυνάμεις, την H (οριζόντια) και την V (κατακόρυφο).

Οπότε  $v = P \eta \mu \theta$  και  $H = P \sigma \nu \theta$ , όπου  $v = 2158 [\text{N}]$  και  $H = 7848[\text{N}]$  όπως στις παραπάνω περιπτώσεις όπου για  $\theta = 30^\circ$ ,  $\eta \mu 30^\circ = 0,5$ ,  $\sigma \nu 30^\circ = 0,866$  στην περίπτωση αυτή η αντίσταση στον εμπρόσθιο άξονα  $K_1$  δίνεται απ' τη σχέση (7) και είναι:

$$R_1 = Gb - P \eta \mu \theta \cdot C - P \sigma \nu \theta \cdot H/a \Rightarrow 0 = > R_1 \cdot a + v \cdot c + H \cdot h - G \cdot b = 0 \Rightarrow (7)$$

$$R_1 = 14715 \cdot 0,65 - 2158,2 \cdot 0,75 - 7848 \cdot 0,40/1,80 \Rightarrow R_1 = 2670,5[\text{N}]$$

Εάν οι τιμές H, h, V και C παραμένουν οι ίδιες όπως παραπάνω, για το βάρος των οπίσθιων κινητήριων τροχών.

Θα έχουμε απ' τη σχέση :

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow G(\alpha-b) + V(C+\alpha) + H \cdot h - E2 \cdot \alpha = 0 \quad (8)$$

### 3.8. Η αντίσταση του εδάφους κατά το όργωμα ωφέλιμες και παθητικές δυνάμεις

Το έδαφος κατά το όργωμα παρουσιάζει μια αντίσταση που οφείλεται στο κόψιμο, στη μετατόπιση και στην αναστροφή του. Ακόμα στην αντίσταση του εδάφους πρέπει να προστεθεί και η αντίσταση του αρότρου-οχήματος στη μετακίνηση, την αντίσταση που έχουμε και όταν μετακινείται το άροτρο χωρίς να οργώνει. Οι δυνάμεις, που αντιδρούν στην κίνηση του αρότρου στο όργωμα, υπερνικούνται με την ελκτική δύναμη του ελκυστήρα.

Δυο ομάδες δυνάμεων συγκροτούν την αντίσταση του εδάφους κατά το όργωμα. Η μια που αποτελεί τις **ωφέλιμες και η άλλη τις παθητικές**. Ωφέλιμες, σύμφωνα με την ορολογία της Γενικής Μηχανολογίας, είναι εκείνες που η υπερνίκηση τους αποτελεί και τον αντικειμενικό σκοπό του έργου, που εκτελείται, όπως στην περίπτωση μας είναι το κόψιμο, η μετατόπιση και η αναστροφή του εδάφους. Παθητικές είναι οι ανεπιθύμητες βέβαια δυνάμεις, άλλα αναπόφευκτες, όπως στην περίπτωση μας είναι οι τριβές της κατακόρυφης επιφάνειας του σώματος αρότρου με το έδαφος και οι τριβές του άροτρου σαν οχήματος. Από ειδική έρευνα στο θέμα αυτό στις ΗΠΑ έχουμε τα πιο κάτω αριθμητικά δεδομένα, που θα μπορούσαν και για τον τόπο μας, να έχουν την αξία αριθμών πρώτης προσέγγισης. Για το κόψιμο του εδάφους η αντίσταση είναι το 48% του συνόλου, για την ανύψωση και αναστροφή το 32%.

Τα υπόλοιπα 20% είναι παθητικές δυνάμεις. Τα ποσοστά αυτά ανταποκρίνονται στην πράξη εφόσον εργαζόμαστε με άροτρο που βρίσκεται σε καλή κατάσταση, καλά συντηρημένο και ρυθμισμένο και ότι κινείται με ταχύτητα 3-4 χμ /ω. Έρευνες πάνω στο ίδιο θέμα στη ΕΣΣΔ έδωσαν για τις ωφέλιμες δυνάμεις 83% (για 5νο άροτρο, με σώματα των 35 εκ. και βάθος καλλιέργειας 21-22 εκ. ) και 94% (για το ίδιο άροτρο σε βάθος 28 εκ. ). Σημειώνεται επίσης ότι για το κόψιμο του εδάφους αναλώθηκε το 50% της απαιτούμενης ενέργεια R. Θα μπορούσαμε να προσθέσουμε και το θρυμματισμό, αλλά επειδή ο θρυμματισμός του εδάφους, που γίνεται κατά το όργωμα είναι το αποτέλεσμα της ανύψωσης και της αναστροφής του εδάφους δεν το αναφέρουμε. Πρέπει να σημειώσουμε ακόμη ότι το έδαφος θρυμματίζεται και με τη δράση άλλων δυνάμεων, όπως είναι το νερό (κυρίως το χειμώνα), πράγμα που μόνο έμμεσα οφείλεται στο όργωμα.

Το σύνολο των δυνάμεων (ωφέλιμων και παθητικών) συνιστούν το φορτίο που έχει ν' αντιμετωπίσει ο ελκυστήρας κατά το όργωμα. Το μηχανικό έργο του ελκυστήρα, όπως ξέρομε απ' τη μηχανική συνίσταται απ' τη δύναμη και την απόσταση που μετακινείται το σημείο εφαρμογής της δύναμης αυτής, σύμφωνα με τη θεμελιώδη εξίσωση:

$$W = F \cdot S \cdot \sin\theta \quad (1)$$

όπου θ ή γωνία που σχηματίζεται απ' τη διεύθυνση το άροτρου που έλκεται και τη διεύθυνση του ελκυστήρα. ( Γεωργικός ελκυστήρας<sup>10</sup>, ΤΕΙ Μεσολογγίου)

### 3.9. Ανάλυση της δύναμης

Η δύναμη F της εξίσωσης που αναφέραμε στην περίπτωση του οργώματος είναι η συνισταμένη τριών δυνάμεων, που αναλύεται παρακάτω .

I. Η αντίσταση στην κίνηση αυτού του ίδιου του ελκυστήρα (F1).

II. Η αντίσταση από την κλίση του επιπέδου στο οποίο κινείται ο ελκυστήρας (F2).

III. Η αντίσταση του φορτίου αυτού του ίδιου του αρότρου (F3)

Με την ανάλυση που κάναμε ο τύπος 1 παίρνει τη μορφή

$$W = (F1 + F2 + F3) * S * \text{συν}\theta \quad (2)$$

I. Η αντίσταση στην κίνηση (F1) του ελκυστήρα εξαρτάται από τους πιο κάτω βασικούς παράγοντες:

1. Την εσωτερική τριβή των μηχανισμών του ελκυστήρα, δηλ. του κινητήρα, της μετάδοσης, των μηχανισμών οδήγησης και πέδησης, και των μηχανισμών, που τυχόν δουλεύουν κατά το όργωμα (όπως είναι το υδραυλικό σύστημα).

2. Την ελαστικότητα του επισώτρου.

3. Τη Βύθιση του τροχού ή της ερπύστριας μέσα στο έδαφος.

4. Το βάρος του ελκυστήρα.

II. Η αντίσταση που προέρχεται απ' την κλίση (F2), φυσικό είναι να υπάρχει μόνο σε επικλινή εδάφη. Στον ανήφορο έχει θετική τιμή και στον κατήφορο αρνητική.

III. Η αντίσταση που προκαλείται από το φορτίο του αρότρου (F3), εξαρτάται από τους πιο κάτω τρεις παράγοντες που συγκροτούν αυτό που λέμε αντίσταση του εδάφους κατά το όργωμα.

1. Τον τύπο του εδάφους και την κατάσταση του κατά την ώρα του οργώματος (εδώ τον πρωτεύοντα ρόλο παίζει η υγρασία).
2. Το είδος και την κατάσταση του μέσου που γίνεται η εργασία, όπως και τον τρόπο, που γίνεται η ζεύξη του αρότρου.
3. Συνθήκες που εκτελείται το όργωμα.

### 3.9.1 Ο χαρακτήρας του φορτίου

Απ' τον προσδιορισμό που κάναμε των παραγόντων που συγκροτούν τη δύναμη F, βγαίνει, το συμπέρασμα ότι ενώ η F1 αποτελεί αντικείμενο εξέτασης απ' τη γενική μηχανολογία, ή F2 απ' τη μηχανική, η F3 εξετάζεται απ' τη γεωργική μηχανολογία. Η αντίσταση του εδάφους, αποτελεί ουσιαστικό κεφάλαιο του προβλήματος της καλλιέργειας της γης που είναι κατά βάση πρόβλημα φυσικής και βιολογικής τεχνολογίας, όπου έχουμε ν' αντιμετωπίσουμε εδαφολογικούς (μηχανικούς και βιολογικούς) παράγοντες.

Ύστερα απ' όλα αυτά ή ανάλυση της δύναμης F περιορίζεται σε μια από τις συνιστώσες της και συγκεκριμένα της F3, και το έργο του ελκυστήρα, σε ό τι άφορα το φορτίο του αρότρου εκφράζεται απ' τον τύπο:  $W = F3 * S * \text{συν}\theta$  (3).

### 3.9.2. Παράγοντες που συνθέτουν το μέγεθος του φορτίου

Αν ακολουθήσουμε την ταξινόμηση που αναφέραμε, δηλ. τον τύπο και τις συνθήκες του εδάφους, το είδος και την κατάσταση το αρότρου και τις συνθήκες εκτέλεσης του οργώματος θα έχουμε τους πιο κάτω επί μέρους παράγοντες:

**α. Οι σχετικοί με το έδαφος είναι:**

1. Το μέγεθος των τεμαχίων που συγκροτούν το έδαφος, η διανομή τους και η κολλοειδής κατάσταση τους.
2. Η χημική σύνθεση τους μαζί και η επίδραση της οργανικής ουσίας.
3. Η υγρασία.
4. Η κατάσταση του εδάφους από άποψη συμπίεσης.
5. Η δομή του εδάφους, όπου περιλαμβάνεται και η κρούστα.
6. Η ύπαρξη φυτών ή υπολειμμάτων φυτών, τόσο αυτών που καλλιεργούμε όσο και των αυτοφυών.

**β. Οι σχετικοί με το άροτρο είναι:**

1. Η κατάσταση της κοίλης επιφάνειας του σώματος του αρότρου και το μέγεθος της.
2. Η αιχμηρότητα του υνιού και των άλλων κοπτικών μέσων (δίσκων, μαχαιριού).
3. Το μέγεθος της τριβής του άροτρου και των πλάγιων τάσεων του.
- 4.

**γ. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις συνθήκες εργασίας είναι:**

1. Το πλάτος και το Βάθος του οργώματος.
2. ταχύτητα πού κινείται το άροτρο κατά την εργασία του.

**3.9.3Η μονάδα της αντίστασης.**

Την αντίσταση του εδάφους τη μετρούμε σε **kp**. Η παρεμβολή ανάμεσα στον ελκυστήρα και στο άροτρο ενός απλού δυναμο μέτρου, μας δίνει το βάρος σε **kg** δηλ. Την αναγκαία δύναμη για να κινηθεί το άροτρο. Σαν μονάδα αντίστασης έχουμε την αντίσταση σε κάθε τετραγωνική παλάμη εδαφικής λωρίδας. (**kp /dm<sup>2</sup>** ) και λέγεται ειδική αντίσταση. Στο αγγλοσαξονικό σύστημα έχουμε:

1b /p. s. i. Οι δυο μονάδες, όπως είναι γνωστό συνδέονται με τη σχέση:

$$1 \text{ kp /dm} = 0.14 \text{ ib / p. s. i} \quad 1 \text{ ib /p. s. i} = 7.03 \text{ kp}$$



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΤΡΙΤΟΥ**

1. O'Callaghan, J.R., J.G. McCoy. 1965. The handling of soil by mouldboard plough. J. Agric. Engng. Res. 10: 23-35
2. Clyde, A.W. 1934. Mechanics of plow and tractor hitches. Agr. Eng. 15: 388-390.  
Clyde. Measurement of forces on soil tillage tools. Agr. Eng. 17: 5-9.
3. Bainer. 1955. Principles of farm machinery. J. Wiley and Sons N.Y.  
Srivastava, A.k 1993. Engineering principles of agricultural machines. ASAE Textbook No6 St. Joseph, Mi.
4. Goryachkin, V.P. 1927. 'Teorya pluga'. (Theory of the plow). Moskva.
5. Bernacki, H., J. Haman, Cz. Kanaforjski. 1972. Agricultural machines. Theory and Construction. Vol. I. Warsaw.
6. Hendrick
7. Τσατσαρέλης 1997 ' γεωργικοί ελκυστήρες'. Θεσ/νίκη.
8. Koolen, A.J, H. Kuiperw. 1983. Agricultural mechanics. Springer. Verlag. Berlin
9. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΩΜΑΛΩΝ ΕΔΑΦΩΝ Θ. Γιαλαμάς ΛΑΡΙΣΑ 1993
10. "Ο γεωργικός ελκυστήρας" Τ.Ε.Ι .ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

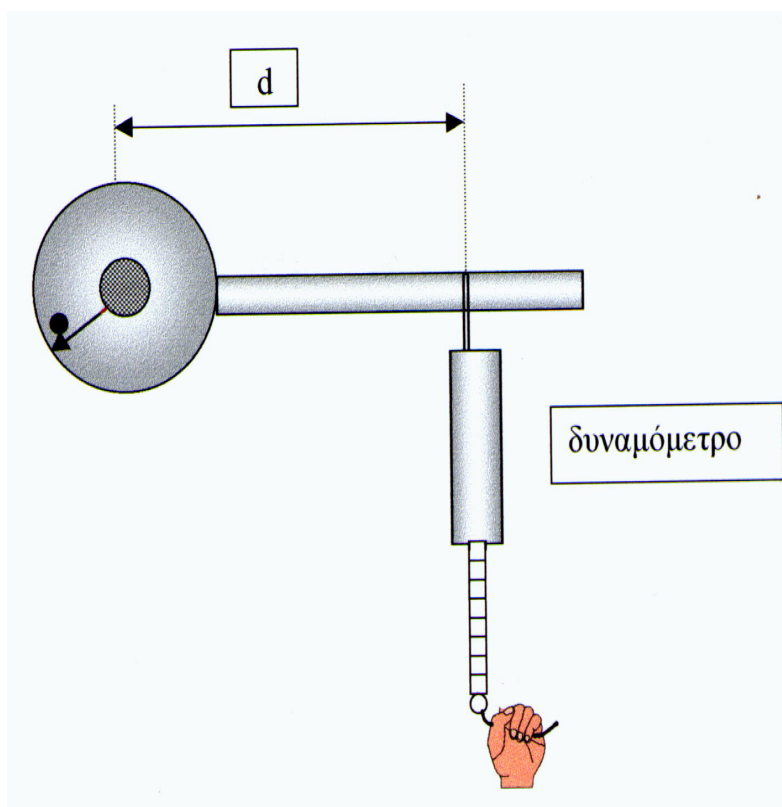
## 4.Κεφάλαιο

### 4.1. Δυναμόμετρα

Τα δυναμόμετρα, όπως είναι γνωστό από τη Φυσική μετρούν τις δυνάμεις που αναπτύσσονται. Αν είναι γνωστή η ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα ή η ταχύτητα μετακίνησης του ελκυστήρα, υπολογίζεται η ισχύς από τους γνωστούς τύπους που έχουν αναφερθεί.

Για τη μέτρηση της ισχύος στο ΡΤΟ χρησιμοποιούνται πολλοί τύποι δυναμόμετρων. Το πιο απλό είναι το δυναμόμετρο μηχανικής τριβής ή πέδη Prony. Στην απλούστερη κατασκευή του αποτελείται από δύο ξύλινες σιαγόνες που περικλείουν το σφόνδυλο της μηχανής (ή την τροχαλία του ελκυστήρα) και μπορούν να σφίγγονται κατά βούληση γύρω από το σφόνδυλο (εικ. 1). Κατά την περιστροφή του σφονδύλου όλη η πέδη λόγω της σύσφιξης τείνει να περιστραφεί, εμποδίζεται όμως στην κίνηση αυτή από ένα μοχλό το άκρο του οποίου πιέζει, με την κίνηση της περιστροφής, ένα ζυγό και δίνει μία ένδειξη. Όσο μεγαλύτερη η δύναμη περιστροφής τόσο και η ένδειξη στο ζυγό γίνεται μεγαλύτερη. Έστω το μήκος  $r$  του βραχίονα του ζυγού.

Εάν εφαρμοσθεί μία δύναμη  $F$  στο άκρο του βραχίονα και επιτραπεί στο βραχίονα να περιστραφεί κατά μία περιστροφή όπως δείχνει η διακεκομμένη γραμμή



εικόνα 1α : μηχανικό δυναμόμετρο

(εικ. 1α) το έργο που θα παραχθεί είναι  $W = 2\pi Fr$ . Υποθέτουμε ότι ο βραχίονας δεν επιτρέπεται να περιστραφεί και ότι ο σφόνδυλος περιστρέφεται κατά μία περιστροφή στο εσωτερικό της πέδης. Το παραγόμενο έργο στην περίπτωση αυτή αναλύεται για την υπερνίκηση των τριβών μεταξύ σιαγόνων και σφονδύλου, επομένως είναι πάλι ίσο

με  $2\pi Fr$ . Εάν ο σφόνδυλος περιστρέφεται με  $N$  στροφές ανά λεπτό το έργο που θα παραχθεί θα είναι  $2\pi N F r$ .

$$P = 2\pi N r F / 60 \cdot 100 = 2\pi N T / 60000 = T N / 9550 \text{ (KW)}$$

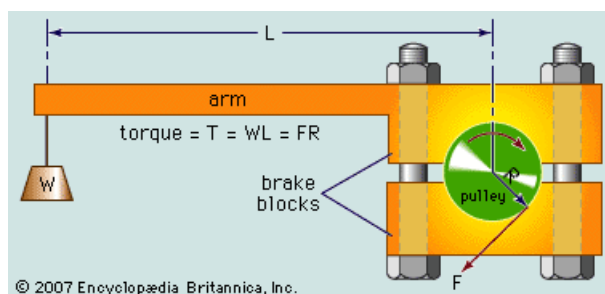
Όπου  $r$  σε μέτρα,  $F$  σε  $N =$  στροφές / MIN,  $T = FR$ . Ο σταθερός αριθμός  $2\pi R/60 \cdot 000$  αποτελεί τη σταθερά του οργάνου. Συνήθως για τη διευκόλυνση των υπολογισμών η σταθερά είναι στρογγυλεμένος αριθμός. Από τη σταθερά καθορίζεται και το μήκος του βραχίονα  $r$ .

Εάν η  $F$  εκφρασθεί σε  $KG$  και το  $r$  σε  $M$  (τεχνικό σύστημα) η ισχύς θα εκφράζεται σε  $PS$  και θα είναι:

$$P = 2\pi r F N / 4500 \text{ (Ps)} \text{ όπου } 2\pi / 4500 \text{ είναι η σταθερά του οργάνου ίση με } 1/1000$$

Το δυναμόμετρο PRONY είναι απλό, οικονομικό και εύχρηστο αλλά δεν δίνει αρκετή ακρίβεια ιδιαίτερα σε μεγάλα φορτία. Στους σταθμούς δοκιμών ελκυστήρων χρησιμοποιούνται συνήθως είτε δυναμόμετρα υδραυλικά είτε ηλεκτρικά τύπου δινορρευμάτων ή γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Και οι τρεις τύποι δίνουν πολύ μεγάλη ακρίβεια είναι όμως όργανα ακριβά και απαιτούν ειδικές εγκαταστάσεις και εξειδικευμένο προσωπικό για το χειρισμό τους.

Τα υδραυλικά δυναμόμετρα στηρίζονται στην ίδια αρχή των δυναμόμετρων PRONY με τη διαφορά ότι η μηχανική τριβή αντικαθίσταται από υδραυλική. Το εργαζόμενο υγρό (συνήθως νερό) περιστρέφεται εντός του σώματος του δυναμόμετρου και εξαιτίας των τριβών εξέρχεται με μεγαλύτερη θερμοκρασία. Το εξωτερικό περίβλημα, που είναι ελεύθερο να περιστραφεί γύρω από τον άξονα του, εμποδίζεται στην περιστροφή του αυτή από βραχίονα αντίστοιχο της πέδης Prony (εικ.1β). Η σχέση που δίνει την ισχύ των μηχανών είναι η αυτή με του μηχανικού δυναμόμετρου.



εικόνα : 1β (δυναμόμετρο με βραχίονα)

Τα ηλεκτρικά δυναμόμετρα αποτελούνται από ένα στάτορα και ένα ρότορα. Ο ρότορας αποτελείται από συμπαγή χαλύβδινη μάζα, που φέρει συνήθως οδόντωση και συνδέεται με την προς δοκιμή μηχανή ενώ ο στάτορας εδράζεται με τρόπο που να επιτρέπεται περιστροφή γύρω από τον άξονα του. Η περιστροφή αυτή εμποδίζεται από βραχίονα ανάλογο του PRONY. Λόγω της περιστροφής του ρότορα στο μαγνητικό πεδίο του στάτορα δημιουργούνται τόσο στον ίδιο όσο και στην εσωτερική επιφάνεια του στάτορα ρεύματα εξ επαγωγής, τα καλούμενα δινορρευμάτα. Εξ αιτίας των ρευμάτων αυτών αφ' ενός φορτίζεται ο κινητήρας και αφ' ετέρου δημιουργείται τάση περιστροφής του στάτορα. Η περιστροφή αυτή δίνει ένδειξη στο ζυγό του δυναμόμετρου. Η μεταβολή της φόρτισης επιτυγχάνεται με μεταβολή της έντασης του ρεύματος διέγερσης του στάτορα. Στα δυναμόμετρα αυτού του τύπου η απορροφούμενη ενέργεια

μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε θερμότητα, οπότε είναι απαραίτητο σύστημα ψύξης είτε με ρεύμα αέρος είτε με νερό.

Τα ηλεκτρικά δυναμόμετρα τύπου γεννήτριας συνεχούς ρεύματος αποτελούνται από μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος και μία συστοιχία ηλεκτρικών αντιστάσεων οι οποίες φορτίζουν τη γεννήτρια με μετατροπή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα.

Η γεννήτρια περιλαμβάνει όπως και στον προηγούμενο τύπο τον στάτορα και τον ρότορα. Κατά την περιστροφή του ρότορα εντός του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του στάτορα δημιουργείται στο τύλιγμα ρεύμα εξ' επαγωγής που τροφοδοτεί τη συστοιχία των αντιστάσεων. Λόγω της αλληλεπίδρασης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων του στάτορα και ρότορα φορτίζεται ο κινητήρας και προκαλείται τάση περιστροφής του στάτορα. Η επιθυμητή φόρτιση του κινητήρα επιτυγχάνεται με μεταβολή της αντίστασης τόσο στο τύλιγμα του στάτορα όσο και του ρότορα.

Υπάρχουν βέβαια για την μετρηση της ισχύος του PTO διάφορα δυναμόμετρα όπως βλέπουμε και στις ακόλουθες εικόνες (2α , 2β , 2γ). Για τη μέτρηση της ισχύος των ελκυστήρων στη δοκό έλξης, χρησιμοποιούνται ειδικά δυναμόμετρα έλξης (εικ 5) . Στην πραγματικότητα μετρούν την οριζόντια συνιστώσα της ελκτικής δύναμης η οποία σε συνδυασμό με την ταχύτητα μετακίνησης δίνουν την ισχύ του ελκυστήρα σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$P = F U / 1000 \quad (\text{KW}) \quad \text{όπου } \eta \text{ } F \text{ εκφράζεται σε Newton}$$

$$\text{και } U \text{ εκφράζεται σε m/s} \quad \text{ή} \quad P = F U / 4500 \quad (\text{Ps})$$



εικόνα 2 α : μέτρηση της δύναμης ισχύος PTO



εικόνα 2 β : μέτρηση της δύναμης ισχύος PTO.



εικόνα 2 γ : μέτρηση της δύναμης ισχύος PTO

Υπάρχουν και στην κατηγορία αυτή πολλοί τύποι δυναμόμετρων όπως τα δυναμόμετρα με ελατήρια (εικ. 3), τα υδραυλικά δυναμόμετρα έλξης και τα ηλεδυναμόμετρα με ταινίες μήκυνσης strain gauges) (εικ. 4). Τα τελευταία δίνουν και τη μεγαλύτερη ακρίβεια, απαιτούν όμως εξοικείωση και μεγάλη προσοχή .

Στις επίσημες δοκιμές των ελκυστήρων είναι απαραίτητο ο προς δοκιμή ελκυστήρας να φορτίζεται εν κινήσει ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη συμπεριφορά του. Συνήθως ο ελκυστήρας δοκιμάζεται σε τεχνητό διάδρομο.



εικόνα 3 :δυναμόμετρο με ελατήριο

Για τη φόρτιση του ελκυστήρα, στην απλούστερη περίπτωση έλκεται ένα όχημα (άλλος ελκυστήρας ή άλλο βαρύ αυτοκινούμενο μηχάνημα) που με πέδηση φορτίζει τον προς δοκιμή ελκυστήρα. Μεταξύ του ελκυστήρα και του ελκομένου μηχανήματος υπάρχει υδραυλικό συνήθως δυναμόμετρο. Ο τρόπος αυτός φόρτισης χρησιμοποιείται για μικρά συνήθως φορτία και για δοκιμές που δεν διαρκούν πολλές ώρες γιατί το σύστημα πέδησης του ελκομένου οχήματος υπερθερμαίνεται.



Για αποτελεσματικότερη φόρτιση του ελκυστήρα συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικές μονάδες φόρτισης που φέρονται είτε σε άλλο ελκόμενο ελκυστήρα είτε σε ειδικό φορείο. Συνήθης μονάδα φόρτισης είναι μία αντλία που ενεργοποιείται από τους τροχούς του ελκόμενου ελκυστήρα και αποστέλλει λάδι σε αγωγούς στους

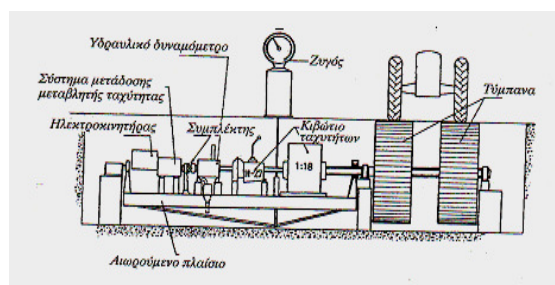


εικόνα 4 : δυναμόμετρο με ταινία μήκυνσης

οποίους υπάρχουν ρυθμιστικές βαλβίδες που ελέγχουν την πίεση. Με μεταβολή της πίεσης του λαδιού μεταβάλλεται και το φορτίο του υπό δοκιμή ελκυστήρα.

Μία άλλη μονάδα φόρτισης περιλαμβάνει ηλεκτρικό δυναμόμετρο τύπου γεννήτριας συνεχούς ρεύματος. Η γεννήτρια παίρνει κίνηση από τον ελκόμενο ελκυστήρα και παράγει ρεύμα που καταναλώνουν αντιστάσεις. Ο έλεγχος του φορτίου γίνεται με μεταβολή της έντασης του ρεύματος διέγερσης και με μεταβολή της αντίστασης στο κύκλωμα του ρότορα. Στους περισσότερους πάντως σταθμούς δοκιμών ως μονάδα φορτίσεις ο ελκόμενος ελκυστήρας στον οποίο έχουν γίνει τροποποιήσεις στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων. Ο ελκόμενος ελκυστήρας εμπλέκει, χωρίς να λειτουργεί η μηχανή του, μία βαθμίδα του κιβωτίου ταχυτήτων και έτσι ο κινητήρας του περιστρέφεται λόγω της εμπλοκής του κιβωτίου ταχυτήτων. Με ειδική βαλβίδα ρυθμίζεται η εξαγωγή των καυσαερίων που έχει ως αποτέλεσμα τον έλεγχο του φορτίου. Ο ελκόμενος ελκυστήρας λειτουργεί έτσι ως αεροσυμπιεστής.

Οι δοκιμές των ελκυστήρων σε τεχνητό διάδρομο περιορίζονται πολλές φορές λόγω του καιρού. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί αυτό είναι η χρησιμοποίηση ειδικού δυναμόμετρου που φορτίζει τον ελκυστήρα εν στάση. Η εικ. 5. δείχνει ένα δυναμόμετρο



εικόνα .5: δυναμόμετρο για την φόρτιση του ελκυστήρα

του τύπου αυτού. Τα τύμπανα του δυναμόμετρου είναι καλυμμένα με υλικό ανάλογο των τεχνητών διαδρόμων. Έτσι τα αποτελέσματα με τις δύο μεθόδους δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές

Κατά τη δοκιμή ο ελκυστήρας συγκρατείται ακίνητος από τη δοκό έλξης μέσω ισχυρός δοκού που προσδένεται σε ακίνητο σημείο. Όταν οι τροχοί περιστρέφονται, περιστρέφουν και τα τύμπανα και η μεταφερόμενη ροπή δίνει ένδειξη στο ζυγό του οργάνου. Το φορτίο μεταβάλλεται με την επέμβαση του υδραυλικού δυναμόμετρου. Δυναμόμετρα του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται από το Εθνικό Ινστιτούτο Δοκιμών Γεωργικών Μηχανημάτων της Σουηδίας.

Πολλές φορές είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της απορροφούμενης ισχύος από μηχανήμα που λαμβάνει περιστροφική κίνηση από το PTO του ελκυστήρα. Στις περιπτώσεις αυτές τα δυναμόμετρα μετρούν τη ροπή στρέψης που μεταβιβάζεται στο μηχανήμα π. χ. σε μία φρέζα, μαχαίρι κοπής χόρτου κ. ά. Για τη μέτρηση της ροπής κατασκευάζονται ειδικά ηλεκτρικά δυναμόμετρα με δυναμοκυβελίδες που δίνουν κατευθείαν τη ροπή στρέψης. Από τη σχέση:

$$P = TN / 9550 \text{ (KW)} \quad \text{ή} \quad P = TN / 726,2 \text{ (Ps)}$$

όπου στην πρώτη περίπτωση T σε Nm και στη δεύτερη σε KGM και N σε στροφές/γρμ) είναι δυνατός ο υπολογισμός της ισχύος. Αντί των ταινιών μήκυνσης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν επίσης δυναμόμετρα με κρυστάλλους πιεζοηλεκτρικούς (quartz).

#### **4.1.1. Δοκιμές ελκυστήρων**

Οι κύριες δοκιμές των ελκυστήρων αφορούν δοκιμές στον άξονα μετάδοσης της κίνησης (PTO) και δοκιμές στην έλξη. Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι δοκιμές σύμφωνα με τον κώδικα OECD. Οι άλλοι κώδικες παρουσιάζουν μικρές διαφορές.

#### **4.1.2. Δοκιμές στην έλξη**

Για τις δοκιμές των τροχοφόρων ελκυστήρων στην έλξη χρησιμοποιούνται τεχνητοί διάδρομοι σε οριζόντιο επίπεδο καλυμμένοι με ασφαλτοτάπητα ή σκυρόδεμα. Για τη φόρτιση των ελκυστήρων χρησιμοποιούνται οι μονάδες φόρτισης που αναφέρθηκαν.

Κατά τις δοκιμές στην έλξη μετρούνται εκτός από τη δύναμη έλξης: το μήκος διαδρομής και ο χρόνος που διέρρευσε, η κατανάλωση του καυσίμου, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και η ταχύτητα περιστροφής του στροφάλου. Από τις μετρήσεις υπολογίζονται η ολίσθηση και η ειδική κατανάλωση.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών των ελκυστήρων σε τεχνητούς διαδρόμους έχουν μόνο ενδεικτικό χαρακτήρα και δεν πρέπει να αναμένεται ότι η συμπεριφορά τους στο χωράφι θα είναι όμοια με εκείνη του τεχνητού διαδρόμου. Η χρησιμοποίηση όμως των τεχνητών διαδρόμων είναι αναγκαία γιατί οι δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες δεν θα έδιναν συγκρίσιμα αποτελέσματα δεδομένου ότι οι συνθήκες αυτές ούτε μπορούν να περιγραφούν με ακρίβεια ούτε είναι σταθερές.

Οι δοκιμές περιλαμβάνουν:

Δοκιμές μέγιστης ισχύος στην έλξη χωρίς πρόσθετα βάρη στους τροχούς. Στις δοκιμές αυτές δοκιμάζονται όλες οι ταχύτητες με τον περιορισμό η μέγιστη ολίσθηση να μην ξεπερνά το 15% και η ταχύτητα προώθησης τα 15 km /h.

Δοκιμές μέγιστης ισχύος με πρόσθετα βάρη στους τροχούς (αντίβαρα). Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται επειδή το βάρος των κινητηρίων τροχών επηρεάζει τη δυνατότητα του ελκυστήρα για καλύτερη έλξη.

Δοκιμές στο 75% του φορτίου μέγιστης έλξης της δοκιμής 2. Η ισχύς που αποδίδει ο ελκυστήρας με φορτίο 75% του φορτίου της μέγιστης έλξης θεωρείται συμβατικά ως μέση ισχύς στην έλξη.

Δοκιμές ισχύος στην έλξη με ολίσθηση 15%. Δοκιμή που διαρκεί 5 ώρες. Δοκιμάζεται η ταχύτητα που έδωσε έλξη με ολίσθηση 15% στη δοκιμή μέγιστης ισχύος με αντίβαρα (δοκιμή 2).

Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται με μορφή πινάκων συνηθέστερα αλλά και διαγραμμάτων.

#### 4.1.3. Άλλες δοκιμές

Εκτός από τις δοκιμές που αναφέρθηκαν γίνονται ακόμη και ορισμένες άλλες που αφορούν:

Το υδραυλικό σύστημα, προκειμένου να προσδιορισθεί η ισχύς που χρειάζεται για την ανύψωση των εργαλείων και την ανυψωτική ικανότητα του (εικ. 6).

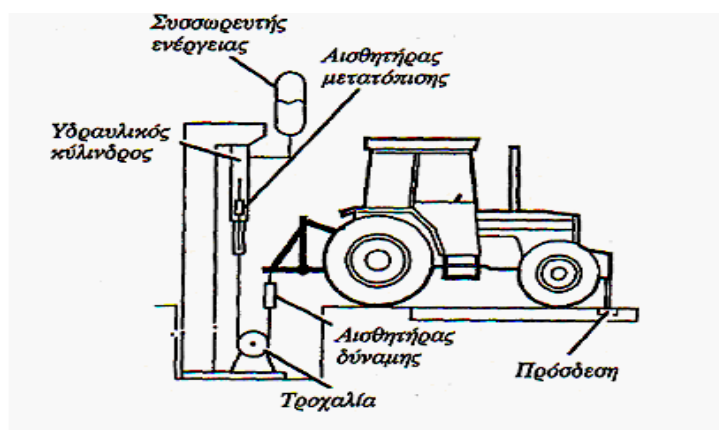
Την άνεση του οδηγού. Προσδιορίζεται συνήθως ο θόρυβος που φθάνει στον οδηγό και σπανιότερα το επίπεδο των δονήσεων που φθάνει στο σώμα του οδηγού.

Την ασφάλεια του θαλάμου προστασίας. Προσδιορίζεται η αντοχή του θαλάμου προστασίας με δοκιμές συνήθως κρούσης.

Την αποτελεσματικότητα των συστημάτων πέδησης.

Προσδιορίζονται επίσης οι ακτίνες ελάχιστης περιστροφής, και το κέντρο βάρους του ελκυστήρα.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι οι ελκυστήρες υποβάλλονται σε σοβαρές και λεπτομερειακές δοκιμές με αξιόπιστα αποτελέσματα. Ο υποψήφιος αγοραστής θα πρέπει να μπορεί να κατανοεί τα αποτελέσματα των δοκιμών.



εικ.6 . σχηματικό διάγραμμα δοκιμών για τον προσδιορισμό της ανυψωτικής ισχύος του υδραυλικού συστήματος



Εικ 7. Πίνακας. Δοκιμή έλξης του ελκυστήρα Deutz Fahr365 4 DX.

ΔΟΚΙΜΗ ΕΛΞΗΣ

	Ταχύτητα πρόωσης	Ισχύς	Δύναμη έλξης	Στροφές κινητήρα	Ολίσθηση τροχών
	Km/h	kw	KN	RPM	%
<b>3. 1. Μέγιστη ισχύς (χωρίς πρόσθετα βάρη) Ύψος δοκοί έλξης πάνω από το έδαφος 460 mm</b>					
Iί + 20 %	2, 95	29, 2	35, 62	2414	15, 1
Iί + 20 %	2, 95	29, 2	35, 62	2414	15, 1
2I. N	3, 65	35, 8	35, 32	2383	15, 0
2I. + 20%	4, 77	39, 5	29, 79	2350	8, 2
3I, N	5, 85	39, 8	24, 51	2352	5, 5
3I. + 20%	7, 26	40, 8	20, 21	2350	4, 1
1HN	7, 88	41, 2	18, 82	23, 48	3, 6
1H + 20%	9, 75	41, 4	15, 30	2350	2, 7
4iN	10, 11	40, 1	14, 28	2348	2, 5
<b>3. 2. Μέγιστη ισχύς (με πρόσθετα βάρη) Ύψος δοκού έλξης πάνω από το έδαφος 440 mm</b>					
1I. N	2, 38	32, 7	49, 42	2401	15, 0
Iί + 20 %	3, 10	38, 8	45, 02	2352	8, 1
2I. N	4, 01	39, 9	35, 78	2352	4, 8
2I. + 20%	4, 98	40, 9	29, 58	2350	3, 5
3I. N	5, 98	40, 1	24, 16	2352	2, 7
3ί + 20 %	7, 36	40, 1	24, 16	2352	2, 2
1HN	7, 95	40, 8	18, 47	2350	2, 0
1H + 20%	9, 80	40, 5	14, 86	2350	1, 6
4iN	10, 15	39, 6	14, 03	2350	1, 5
<b>3.3.1. Δοκιμή 5 ωρών Στο 75% της έλξης στη μέγιστη ισχύ στην ταχύτητα 1HN</b>					
1HN	8,	31, 5	13, 85	2414	1, 5
<b>3.3.2. Δοκιμή 5 ωρών Σε έλξη που αντιστοιχεί σε ολίσθηση 15% στη δοκιμή 3. 2.</b>					
1I. N	2, 43	33, 4	49, 42	2401	

## 4.2. Ανάλυση δυναμοκυψελίδων (strain gauge)

### 4.2.1 Ανάλυση

Όταν εφαρμόζονται εξωτερικές δυνάμεις σε ένα σταθερό αντικείμενο, έχουμε το αποτέλεσμα της πίεσης και της τάσης. Η **πίεση** ορίζεται ως οι εσωτερικές δυνάμεις αντίδρασης του αντικειμένου, και η τάση ορίζεται ως η εμφάνιση μετατόπισης και παραμόρφωσης. Σε μια ομοιόμορφη διανομή των εσωτερικών δυνάμεων αντίστασης, μπορεί να υπολογιστεί η **πίεση** με τη διαίρεση της δύναμης (F) που εφαρμόζεται στην επιφάνεια (A) και δίδεται από την παρακάτω σχέση:

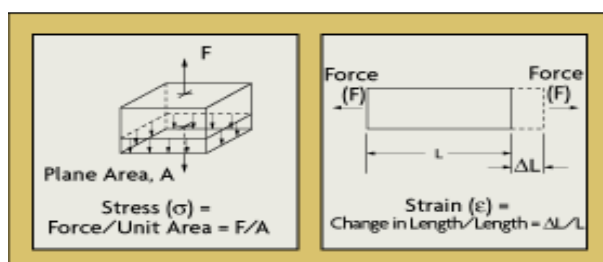
$$\text{stress}(\sigma) = F/A$$

Η **τάση** ορίζεται με την εφαρμογή ενός φορτίου ως το ποσό παραμόρφωσης ανά μονάδα επιφάνειας ενός αντικειμένου. Η **τάση** υπολογίζεται με τη διαίρεση της συνολικής παραμόρφωσης της αρχικής διατομής από το αρχικό μήκος (L):

$$\text{strain}(\epsilon) = (\Delta L)/L$$

Οι χαρακτηριστικές τιμές για την πίεση στις δυναμοκυψελίδες είναι λιγότερο από 0,005 n/in και εκφράζονται συχνά σαν μονάδες μικρο πίεσης:

$$\text{micro-strain} = \text{strain} * 10^6$$



Σχήμα 8: ορισμός πίεσης και τάσης

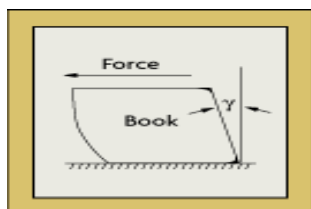
Η πίεση μπορεί να είναι συμπιεστική ή εκτονωτική και μετριέται χαρακτηριστικά από τα διαμετρήματα πίεσης - δυναμοκυψελίδες (strain gauge). Ο Λόρδος Kelvin ανέφερε πρώτος το 1856 ότι οι μεταλλικοί αγωγοί που υποβάλλονται σε μηχανική πίεση παρουσιάζουν μια αλλαγή στην ηλεκτρική τους αντίσταση. Το φαινόμενο αυτό τέθηκε αρχικά στην πρακτική χρήση στη δεκαετία του '30.

Η Πίεση (Κάμψης) ορίζεται ως το αποτέλεσμα μιας γραμμικής δύναμης (F) που ασκείται κάθετα στο επίπεδο. Όλες οι δυναμοκυψελίδες (strain gauge) πίεσης σχεδιάζονται για να μετατρέψουν τη μηχανική κίνηση σε ηλεκτρονικό σήμα. Μια αλλαγή στην αγωγιμότητα, την αυτεπαγωγή, την αντίσταση είναι ανάλογη προς την πίεση που δέχεται ο αισθητήρας. Παράδειγμα σε ένα καλώδιο η ένταση μειώνεται όταν αυξάνεται η διατομή του. Αυτό αλλάζει την αντίστασή (R) του καλωδίου αναλογικά προς την ευαισθησία της πίεσης (S). Δηλαδή όταν δεχτεί μια πίεση, η ευαισθησία (παράγοντας) πίεσης, η οποία καλείται επίσης «gage factor» (GF), δίδεται από τον τύπο.

$$GF = (\Delta R/R)/(\Delta L/L) = (\Delta R/R)/\text{strain}$$

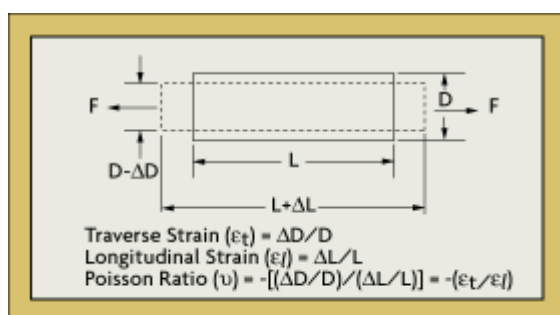
Το ιδανικό διαμέτρημα πίεσης (strain gauge) θα επηρεαζόταν μόνο από την αντίσταση που οφείλεται στις παραμορφώσεις της επιφάνειας με την οποία ο αισθητήρας είναι συνδεδεμένος. Εντούτοις, στις πραγματικές εφαρμογές, η θερμοκρασία, οι υλικές ιδιότητες, η κόλλα που συνδέει το διαμέτρημα με την επιφάνεια, και η σταθερότητα του μετάλλου διαμορφώνουν την ανιχνευόμενη αντίσταση. Επειδή τα περισσότερα υλικά δεν έχουν τις ίδιες ιδιότητες σε όλες τις συνθήκες, η γνώση μόνο της αξονικής πίεσης είναι ανεπαρκής για μια πλήρη ανάλυση. Επομένως οι **πίεσεις στρέψης** και **κάμψης**, η πίεση Poisson καθώς και οι **πίεσεις διάτμησης** πρέπει επίσης να μετρηθούν.

Κάθε μέτρηση απαιτεί μια διαφορετική ρύθμιση στα διαμετρήματα πίεσης. Η **πίεση διάτμησης** εξετάζει τη γωνιακή διαστρέβλωση ενός αντικειμένου κάτω από την πίεση. Φανταστείτε ότι μια οριζόντια δύναμη ενεργεί στην κορυφαία σωστή γωνία ενός παχιού βιβλίου σε έναν πίνακα, που αναγκάζει το βιβλίο να γίνει κάπως τραπεζοειδές (σχήμα 9). Η **πίεση διάτμησης** μπορεί σε αυτήν την περίπτωση να εκφραστεί ως γωνιακή αλλαγή στα ακτίνια μεταξύ του κάθετου άξονα Y και της νέας θέσης. Η **πίεση διάτμησης** είναι η εφαπτομένη αυτής της γωνίας.



Σχήμα 9: πίεση διάτμησης

Η **πίεση Poisson** εκφράζει και την εκλέπτυνση (διατέμνουσα) και την επιμήκυνση που εμφανίζεται σε έναν τεντωμένο φραγμό (σχήμα 10). Η πίεση Poisson ορίζεται ως η αρνητική αναλογία της πίεσης στην εγκάρσια κατεύθυνση (που προκαλείται από τη συστολή της διαμέτρου του φραγμού) και στην πίεση στη διαμήκη κατεύθυνση. Δεδομένου ότι το μήκος αυξάνεται και η διάμετρος του φραγμού μειώνεται, η ηλεκτρική αντίσταση του καλωδίου αυξάνεται επίσης.

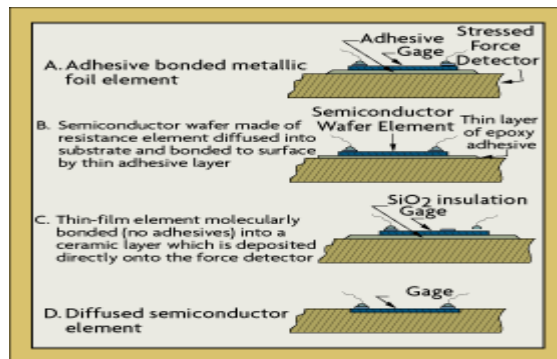


Σχήμα 10: Πίεση Poisson

Η **πίεση κάμψης** (torsional), υπολογίζεται με τον καθορισμό της σχέσης μεταξύ της δύναμης και του ποσού κάμψης που προκύπτει από αυτήν. Αν και δεν είναι συνήθως τόσο ανιχνεύσιμη όσο οι άλλοι τύποι πιέσεων, οι πιέσεις κάμψης μετριοούνται όταν η πίεση που παράγεται με την εφαρμογή δύναμης είναι υπολογίσιμη. Η πίεση (torsional) υπολογίζεται με τη διαίρεση της πίεσης κάμψης από το συντελεστή της ελαστικότητας.

#### 4.2.2 Σχέδια αισθητήρων (διαμετρημάτων πίεσης).

Η παραμόρφωση ενός αντικειμένου μπορεί να μετρηθεί με τα μηχανικά, οπτικά, ακουστικά, πνευματικά, και ηλεκτρικά μέσα. Τα πιο πρόωρα διαμετρήματα πίεσης (strain gauge) ήταν μηχανικές συσκευές που μετρούσαν την πίεση με τη μέτρηση της αλλαγής στο μήκος και τη σύγκριση της με το αρχικό μήκος του αντικειμένου. Παραδείγματος χάριν, ο μετρητής επιμήκυνσης (extensiometer) χρησιμοποιεί μια σειρά μοχλών για να ενισχύσει την πίεση σε μια αναγνώσιμη αξία. Γενικά, οι μηχανικές συσκευές είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν γιατί είναι ογκώδεις και δεν παρέχουν μετρήσεις σε χαμηλές τιμές.



σχεδιο11: Σχέδια διαμετρημάτων πίεσης

Οι οπτικοί αισθητήρες είναι ευαίσθητοι έχουν ακριβείς μετρήσεις, αλλά δεν είναι λεπτοί και δεν χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούν τις παρεμβολές που παράγονται από τα οπτικά πεδία όταν εφαρμόζεται πίεση. Οι οπτικοί αισθητήρες λειτουργούν καλύτερα υπό εργαστηριακούς όρους. Το ευρύτατα χρησιμοποιημένο χαρακτηριστικό που διαφοροποιείται αναλογικά προς την πίεση είναι η ηλεκτρική αντίσταση. Αν και αυτά τα διαμετρήματα πίεσης έχουν κατασκευαστεί βασισμένα στην ικανότητα τους να μετρούν την αυτεπαγωγή, η ευαισθησία αυτών των συσκευών στην δόνηση, οι απαιτήσεις στην τοποθέτηση τους, και η πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων τους έχουν περιορίσει την ζήτηση τους.

Το φωτοηλεκτρικό διαμέτρημα χρησιμοποιεί μικρή ενέργεια, δύο λεπτές συρμάτινες συνδέσεις, και έναν ανιχνευτή φωτοκυττάρων για να παράγει ένα ηλεκτρικό ρεύμα που είναι ανάλογο προς την πίεση. Το μήκος των διαμετρημάτων αυτών των συσκευών μπορεί να είναι τόσο μικρό όπως 1/16 της ίντσας, αλλά είναι δαπανηροί και λεπτοί. Το πρώτο συνδεδεμένο, μεταλλικό διαμέτρημα πίεσης τύπου καλωδίου αναπτύχθηκε το 1938.

Το μεταλλικό διαμέτρημα πίεσης τύπου φύλλου αλουμινίου αποτελείται από ένα πλέγμα της ίνας καλωδίων (ένας αντιστάτης) περίπου 0,001 in (0,025 χιλ.) του πάχους, που συνδέεται άμεσα με την τεντωμένη επιφάνεια με ένα λεπτό στρώμα εποξικής ρητίνης (σχήμα 11-B). Όταν ένα φορτίο εφαρμόζεται στην επιφάνεια, η προκύπτουσα αλλαγή στο μήκος επιφάνειας διαβιβάζεται στον αντιστάτη και η αντιστοιχη πίεση μετριέται από την παρατήρηση της ηλεκτρικής αντίστασης του καλωδίου (φύλλων αλουμινίου), το οποίο διαφοροποιείται γραμμικά με την πίεση. Τα φύλλα αλουμινίου και ο συγκολλητικός φορέας σύνδεσης πρέπει να λειτουργήσει μαζί στη διαβίβαση της πίεσης, ενώ η κόλλα πρέπει επίσης να χρησιμεύσει ως ένας ηλεκτρικός μονωτής μεταξύ του πλέγματος φύλλων αλουμινίου και της επιφάνειας. Κατά την επιλογή ενός διαμετρηματος πίεσης, πρέπει να εξεταστούν όχι μόνο τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα στην πίεση, αλλά και η σταθερότητα και η ευαισθησία του στην

θερμοκρασία. Δυστυχώς, τα πύο επιθυμητά υλικά διαμετρημάτων πίεσης είναι επίσης ευαίσθητα στις διάφορες θερμοκρασίες και τείνουν να αλλάξουν την αντίσταση τους καθώς χρησιμοποιούνται συχνά. Για δοκιμές σύντομης διάρκειας, αυτό μπορεί να μην είναι μια σοβαρή ανησυχία, αλλά για τη συνεχή βιομηχανική μέτρηση, οι αποκλίσεις στις μετρήσεις θα είναι πολύ μεγάλες λόγω των συνεχών μεταβαλλόμενων θερμοκρασιών.

Το υλικό των καλωδίων (πλέγμα) των διαμετρημάτων πίεσης έχει χαρακτηριστικά όπως η ευαισθησία (**παράγοντας GF**), η αντίσταση, ο συντελεστής θερμοκρασίας των διαμετρημάτων, ο θερμικός συντελεστής της ειδικής αντίστασης, και αντοχής του υλικού. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το κράμα χαλκού-νικελίου (Constantan), το κράμα νικελίου - χρωμίου (Nichrome), τα κράματα λευκόχρυσου (συνήθως βολφράμιο), τα κράματα νικελίου-σιδήρου, τα φύλλα αλουμινίου και τα υλικά των ημιαγωγών. Τα δημοφιλέστερα κράματα που χρησιμοποιούνται για τα διαμετρήματα πίεσης είναι τα κράματα χαλκού-νικελίου και τα κράματα νικελίου-χρωμίου. Στα μέσα της δεκαετίας του '50, οι επιστήμονες στα εργαστήρια κουδουνιών ανακάλυψαν τα «piezoresistive» χαρακτηριστικά του γερμανίου και του πυριτίου. Αν και τα υλικά παρουσίαζαν ουσιαστικό πρόβλημα μη γραμμικότητας και ευαισθησίας στη θερμοκρασία, τα strain gauge είχαν γραμμικότητα περισσότερο από πενήντα φορές, και ευαισθησία περισσότερο από 100 φορές, από αυτά του μεταλλικού καλωδίου ή των διαμετρημάτων πίεσης φύλλων αλουμινίου.

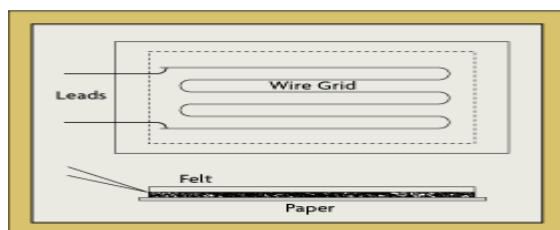
Οι γκοφρέτες πυριτίου είναι επίσης ελαστικότερες από τις μεταλλικές. Γιατί όταν τεντωθούν, επιστρέφουν ευκολότερα στις αρχικές μορφές τους. Περίπου το 1970, τα πρώτα διαμετρήματα πίεσης ημιαγωγών (πυρίτιο) αναπτύχθηκαν στην αυτοκινητοβιομηχανία. Σε αντιδιαστολή με άλλους τύπους διαμετρημάτων πίεσης, τα διαμετρήματα πίεσης ημιαγωγών εξαρτώνται από τα «piezoresistive» αποτελέσματα του πυριτίου ή του γερμανίου και μετρούν την αλλαγή στην αντίσταση σε αντιδιαστολή με την πίεση. Το συνδεδεμένο διαμέτρημα πίεσης ημιαγωγού είναι μια γκοφρέτα - με το ηλεκτρικό του στοιχείο αντίστασης - που διασκορπίζεται σε ένα υπόστρωμα του πυριτίου. Στο στοιχείο συνήθως δεν παρέχεται υποστήριξη, και η σύνδεση του με την τεντωμένη επιφάνεια απαιτεί μεγάλη προσοχή δεδομένου ότι μόνο ένα λεπτό στρώμα εποξικής ρυτίνης χρησιμοποιείται για να το συνδέσει (σχήμα 11-B). Το μέγεθος είναι πολύ μικρότερο και το κόστος πολύ χαμηλότερο απ'ό,τι για έναν μεταλλικό αισθητήρα φύλλων αλουμινίου. Τα ίδια υλικά που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τα διαμετρήματα φύλλων αλουμινίου χρησιμοποιούνται επίσης για να συνδέσουν τα διαμετρήματα ημιαγωγών. Ενώ η ευαισθησία των αισθητήριων γκοφρετών (ημιαγωγών) στις μεγαλύτερες αντιστάσεις έχει καθορισμένα πλεονεκτήματα, η μεγάλη ευαισθησία τους στις αλλαγές θερμοκρασίας και τάσης δημιουργεί μειονεκτήματα σε σύγκριση με τους μεταλλικούς αισθητήρες φύλλων αλουμινίου. Ένα άλλο μειονέκτημα των διαμετρημάτων πίεσης με ημιαγωγό είναι ότι η σχέση **αντίστασης - πίεσης** είναι μη γραμμική, και διαφοροποιείται 10-20% από μια γραμμική (straight-line) εξίσωση. **Με το κατάλληλο λογισμικό ενός υπολογιστή, αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να καλυφθούν μέσω των αποκλίσεων.**

Μια περαιτέρω βελτίωση είναι το λεπτό διαμέτρημα πίεσης που εξαλείφει την ανάγκη για τη συγκολλητική σύνδεση (σχήμα 11-C). Το διαμέτρημα χρησιμοποιείται αφού πρώτα τοποθετηθεί μια ηλεκτρική μόνωση (χαρακτηριστικά ένας κεραμικός) επάνω στην επιφάνεια μέταλλου, και έπειτα τοποθετείτε επάνω σε αυτό το στρώμα μόνωσης. Χρησιμοποιούνται οι σύννητες τεχνικές απόθεσης ή επιμετάλλωσης για να συνδεθούν τα υλικά μοριακά. Επειδή το λεπτό διαμέτρημα συνδέεται μοριακά με το δείγμα, η εγκατάσταση είναι σταθερότερη και οι τιμές αντίστασης δοκιμάζουν τη

λιγότερη απόκλιση. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ο ανιχνευτής δύναμης μπορεί να είναι ένα μεταλλικό διάφραγμα τοποθετημένο σε ένα στρώμα κεραμικής μόνωσης.

Τα διασκορπισμένα μόρια του διαμετρήματος πίεσης ημιαγωγών αντιπροσωπεύουν μια περαιτέρω βελτίωση στην τεχνολογία διαμετρημάτων πίεσης επειδή εξαλείφουν την ανάγκη για χρησιμοποίηση μονωτικών υλικών όπως οι εποξικές ρητίνες ή κεραμικά ( $\text{SiO}_2$ ). Με την εξάλειψη των συνδέσμων, αποφεύγονται τα λάθη λόγω του ερπυσμού και της υστέρησης. Το διαμέτρημα πίεσης ημιαγωγών χρησιμοποιεί τις τεχνικές φωτολιθογραφίας και διάχυσης του βορίου για να συνδέσει τα στοιχεία αντίστασης μοριακά. Οι ηλεκτρικοί μολυβδοί είναι άμεσα συνδεδεμένοι όπως στο σχέδιο 11- D. Το συνδεδεμένο μοριακά διαμέτρημα πίεσης περιορίζει τις εφαρμογές με μέτρια θερμοκρασία και απαιτεί προστασία από αυτή. Αυτά (strain gauge) χρησιμοποιούνται συχνά σαν αισθητήρια στοιχεία στους μετατροπείς πίεσης. Είναι μικρά, ανέξοδα, ακριβή, δέχονται επαναλαμβανόμενες πιέσεις, και παράγουν ένα ισχυρό σήμα. Οι περιορισμοί τους περιλαμβάνουν την ευαισθησία στις αλλαγές της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας, οι οποίες μπορούν να αντισταθμιστούν με μετρήσεις που γίνονται στα εργαστήρια (σταθερή θερμοκρασία).

**Εν περιλήψει, το ιδανικό διαμέτρημα πίεσης είναι μικρό στο μέγεθος και τη μάζα, έχει χαμηλό κόστος, κολλάτε εύκολα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην πίεση αλλά δεν επηρεάζεται από τις αλλαγές της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας.**

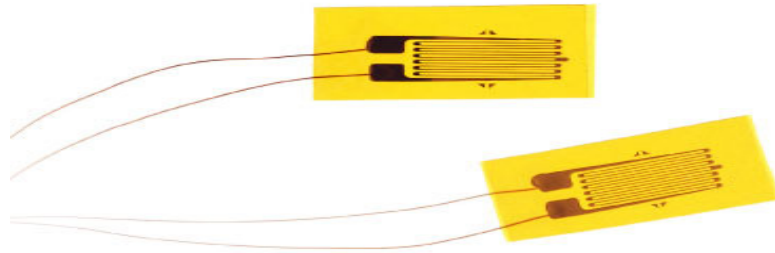


*Σχήμα 12: Συνδεδεμένη αντίσταση  
Κατασκευή διαμετρημάτων πίεσης*

#### **4.2.3. Συνδέσεις διαμετρημάτων αντίστασης**

Το συνδεδεμένο διαμέτρημα πίεσης ημιαγωγών περιγράφηκε στα σχήματα 11- B και 12. Αυτές οι συσκευές είναι δημοφιλής και λειτουργούν με τη μέθοδο της πίεσης. Τα διαμετρήματα αυτά αποτελούνται από ένα πλέγμα πολύ λεπτού μεταλλικού σύρματος, φύλλου αλουμινίου, ή υλικού ημιαγωγών που συνδέεται με την τεντωμένη μήτρα επιφανείας που αποτελείτε από ένα λεπτό μονωμένο στρώμα εποξικού (σχήμα 12). Όταν η μήτρα μεταφοράς τεντώνεται, η πίεση διαβιβάζεται στο υλικό του πλέγματος μέσω της κόλλας. Οι συνέχεις αλλαγές στην ηλεκτρική αντίσταση του πλέγματος μετριούνται ως ένδειξη της πίεσης. Η μορφή του πλέγματος έχει ως σκοπό να παρέχει τη μέγιστη αντίσταση του διαμετρήματος περιορίζοντας και το μήκος και το πλάτος του στο ελάχιστο.

Τα συνδεδεμένα διαμετρήματα πίεσης με αντίσταση είναι ευρέως γνωστά. Είναι σχετικά ανέξοδα, και μπορούν να επιτύχουν ακριβής μετρήσεις από  $\pm 0,10\%$ , είναι διαθέσιμα σε μικρό μήκος και χαμηλή μάζα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και επηρεάζονται από τις αλλαγές θερμοκρασίας. Τα συνδεδεμένα διαμετρήματα πίεσης αντίστασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν και τη στατική και δυναμική πίεση.



Εικ. 13 Χαρακτηριστικά διαμετρήματα πίεσης μέταλλο-φύλλων αλουμινίου.

Στη σύνδεση των διαμετρημάτων πίεσης με μια τεντωμένη επιφάνεια, είναι σημαντικό ότι το διαμέτρημα δέχεται την ίδια πίεση με το αντικείμενο. Με ένα συγκολλητικό υλικό που παρεμβάλλεται μεταξύ των αισθητήρων και της τεντωμένης επιφάνειας, η εγκατάσταση είναι επιρρεπής στον ερπυσμό λόγω της υποβάθμισης του δεσμού, των επιρροών της θερμοκρασίας, και της υστέρησης που προκαλείται από τη θερμοελαστική πίεση.

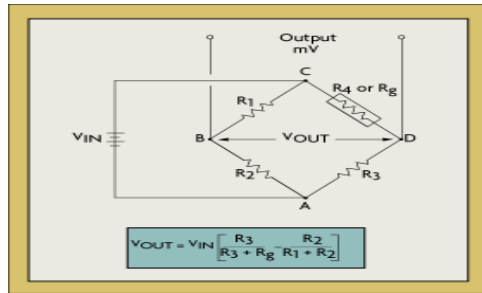
Επειδή πολλές κόλλες και εποξικές ρητίνες είναι επιρρεπής σε ερπυσμό, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν οι ρητίνες που σχεδιάζονται συγκεκριμένα για τα διαμετρήματα πίεσης. Το συνδεδεμένο διαμέτρημα πίεσης (αντίστασης) είναι κατάλληλο για μια ευρεία ποικιλία περιβαλλοντικών συνθηκών. Μπορεί να μετρήσει την πίεση στους στροβίλους αεριοθούμενων μηχανών που λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και στις κρυογόνες ρευστές εφαρμογές σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο  $-452^{\circ}\text{F}$  ( $-269^{\circ}\text{C}$ ). Έχει μικρή μάζα και μέγεθος, υψηλή ευαισθησία, και είναι κατάλληλο για τις στατικές και δυναμικές εφαρμογές. Τα στοιχεία φύλλων αλουμινίου (σχήμα 13) είναι διαθέσιμα με τις αντιστάσεις μονάδων από 120 έως 5.000  $\Omega\text{M}$ . Τα μήκη διαμετρημάτων από 0,008 in - 4 in. είναι εμπορικά διαθέσιμα.

Οι τρεις αρχικές εκτιμήσεις στην επιλογή των «strain gauge» είναι: α) η λειτουργία τους στην θερμοκρασία, β) η φύση της πίεσης που ανιχνεύεται, γ) οι απαιτήσεις του σε σταθερότητα. Επιπλέον, δ) επιλέγοντας το σωστό υλικό σύνδεσης, το κράμα του πλέγματος, η κόλλα, και το προστατευτικό επίστρωμα θα εγγυηθούν την επιτυχία της εφαρμογής.

#### 4.2.4 Μέτρηση των κυκλωμάτων

Προκειμένου να μετρηθεί η πίεση, το συνδεδεμένο διαμέτρημα πίεσης αντίστασης, πρέπει να συνδεθεί με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που να είναι σε θέση να δέχεται τις μικρές αλλαγές στην αντίσταση που αντιστοιχεί στην πίεση. Οι μετατροπείς (transducers) των διαμετρημάτων πίεσης χρησιμοποιούν συνήθως τέσσερα στοιχεία που συνδέονται ηλεκτρικά για να διαμορφώσουν ένα κύκλωμα γεφυρών Wheatstone (σχήμα 14). Μια γέφυρα Wheatstone είναι ένα διαιρεμένο κύκλωμα γεφυρών που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της στατικής ή δυναμικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η τάση παραγωγής της γέφυρας Wheatstone εκφράζεται σε millivolts ανά εισαγωγή volt. Το κύκλωμα Wheatstone είναι επίσης κατασκευασμένο για να αντέχει στην θερμοκρασία.





Σχήμα 14: Σχηματική αναπαράσταση κυκλωμάτων γεφυρών Wheatstone

Στο σχήμα 14, εάν οι R1, R2, R3, και R4 είναι ίσες, και μια τάση, V<sub>IN</sub>, εφαρμοστεί μεταξύ των σημείων A και C, τότε η παραγωγή (V<sub>out</sub>) μεταξύ των σημείων B και D δεν θα παρουσιάσει καμία πιθανή διαφορά. Εντούτοις, εάν η R4 αλλάξει σε κάποια τιμή που δεν είναι ίση με τις R1, R2, και R3, η γέφυρα δεν θα είναι ισορροπημένη και μια τάση θα εμφανιστεί στους ακροδέκτες (πόλους) παραγωγής. Σε μια αποκαλούμενη διαμόρφωση G-γεφυρών, ο μεταβλητός αισθητήρας πίεσης θα έχει την αντίσταση R<sub>g</sub>, ενώ τα άλλα αισθητήρια θα είναι σταθερής τιμής αντιστάτες. Ο αισθητήρας, εντούτοις, μπορεί να καταλάβει ένα, δύο, ή τέσσερα αισθητήρια της γέφυρας, ανάλογα με την εφαρμογή. Η συνολική πίεση, ή η τάση παραγωγής του κυκλώματος (V<sub>OUT</sub>) είναι ισοδύναμη με τη διαφορά μεταξύ της πτώσης τάσης από R1 και R4, ή R<sub>g</sub>. Αυτό μπορεί επίσης να γραφτεί όπως:

$$V_{OUT} = V_{CD} - V_{CB}$$

Για περισσότερες πληροφορίες, δείτε το σχήμα 14. Η γέφυρα θεωρείται ισορροπημένη όταν  $R1/R2 = Rg/R1 \cdot R3$  και, επομένως, V<sub>OUT</sub> μηδέν. Οποιαδήποτε μικρή αλλαγή στην τιμή της αντίστασης του πλέγματος θα θέσει τη γέφυρα εκτός ισορροπίας, καθιστώντας την κατάλληλη για την ανίχνευση της πίεσης. Όταν η γέφυρα κατασκευαστεί έτσι ώστε η R<sub>g</sub> να είναι το μόνο ενεργό διαμέτρημα πίεσης, μια μικρή αλλαγή της R<sub>g</sub> θα οδηγήσει σε μια τάση παραγωγής της γέφυρας. Εάν ο παράγοντας διαμετρημάτων είναι GF, η μέτρηση πίεσης θα συσχετίζεται με την αλλαγή της R<sub>g</sub> ως εξής:

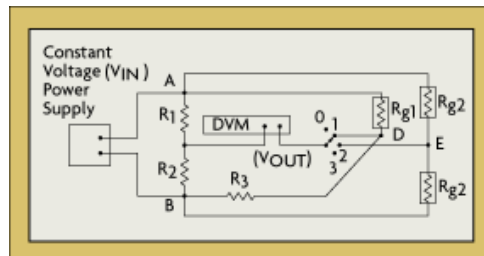
$$\text{strain} = (\Delta R_g / R_g) / GF$$

Ο αριθμός των ενεργών διαμετρημάτων πίεσης που πρέπει να συνδεθούν με τη γέφυρα εξαρτάται από την εφαρμογή. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να είναι χρήσιμο να συνδεθούν τα διαμετρήματα που είναι στις αντίθετες πλευρές μιας ακτίνας, μια στη συμπίεση και άλλη στην ένταση. Σε αυτήν την ρύθμιση, κάποια μπορεί αποτελεσματικά να διπλασιάσει την παραγωγή των γεφυρών για την ίδια πίεση. Στις εγκαταστάσεις όπου όλα τα αισθητήρια συνδέονται με τα διαμετρήματα πίεσης, η αντοχή στη θερμοκρασία είναι αυτόματη, δεδομένου ότι η αλλαγή αντίστασης λόγω των αλλαγών θερμοκρασίας θα είναι η ίδια για όλα τα αισθητήρια της γέφυρας.

Σε μια γέφυρα Wheatstone τεσσάρων στοιχείων (αντιστάσεων), συνήθως δύο διαμετρήματα συνδέονται με καλώδιο στη συμπίεση (compression) και δύο στην ένταση (tension). Παραδείγματος χάριν, εάν οι R1 και R3 είναι στην ένταση (θετική) και R2 και R4 είναι στη συμπίεση (αρνητική), κατόπιν η παραγωγή θα είναι ανάλογη προς το ποσό όλων των πιέσεων που μετριοούνται χωριστά. Για τα διαμετρήματα που βρίσκονται στα παρακείμενα «πόδια», η γέφυρα γίνεται «θιγμένη» αναλογικά προς τη διαφορά στην πίεση. Για τα διαμετρήματα στα αντίθετα πόδια, η γέφυρα ισορροπεί



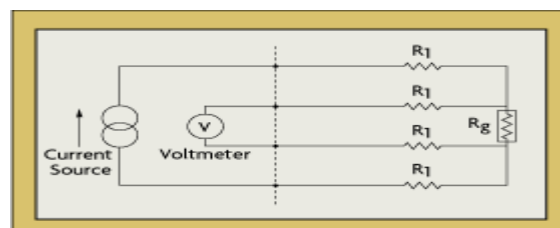
αναλογικά προς το ποσό των πιέσεων. Είτε η πίεση κάμψης, η αξονική πίεση, η πίεση διάτμησης, είτε η πίεση στρέψης μπορούν να μετρηθούν. Η ρύθμιση των διαμετρημάτων πίεσης θα καθορίσει τη σχέση μεταξύ της παραγωγής και του τύπου της πίεσης που θα μετρηθεί. Όπως φαίνεται στο σχήμα 14, εάν μια θετική πίεση εμφανιστεί στα διαμετρήματα R2 και R3, και μια αρνητική πίεση εμφανιστεί από τα διαμετρήματα R1 και R4, η συνολική παραγωγή, VOUT, θα είναι τέσσερις φορές η αντίσταση ενός ενιαίου διαμετρήματος.



Σχήμα 15: Σχηματική αναπαράσταση κυκλωμάτων γεφυρών σε σειρά

#### 4.2.5 Η γέφυρα σειράς

Η γέφυρα σειράς φαίνεται στο σχήμα 15. Είναι μια πολλαπλάσια ρύθμιση καναλιών που χρησιμεύει να αντισταθμίζει τις αλλαγές στις αντιστάσεις και να μετατρέπει τους βραχίονες σε γέφυρα. Εδώ, οι τέσσερις θέσεις καναλιών χρησιμοποιούνται για να μεταστρέψουν το ψηφιακό βολτόμετρο (DVM) μεταξύ της G-γέφυρας (ένα ενεργό διαμέτρημα) και των διαμορφώσεων X-γεφυρών (δύο ενεργά διαμετρήματα). Η συσκευή μέτρησης DVM μοιράζεται πάντα την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και μιας εσωτερικής γέφυρας-X. Αυτή η ρύθμιση είναι η δημοφιλέστερη για τις μετρήσεις πίεσης στις περιστρεφόμενες μηχανές, όπου μπορεί να μειώσει τον αριθμό των δαχτυλιδιών ολίσθησης που απαιτούνται.



Σχήμα 16: Τετρασύρματη σχηματική αναπαράσταση κυκλωμάτων ΩΜ

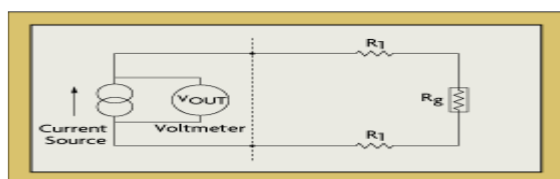
#### 4.2.6 Παράλληλο κύκλωμα ΩΜ

Αν και η γέφυρες Wheatstone είναι από τις δημοφιλέστερες μεθόδους της μέτρησης ηλεκτρικής αντίστασης, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι. Το κύριο πλεονέκτημα ενός κυκλώματος ΩΜ τεσσάρων αντιστάσεων είναι ότι τα καλώδια μολύβδου δεν έχουν επιπτώσεις στη μέτρηση επειδή η τάση ανιχνεύεται άμεσα πέρα από το στοιχείο διαμετρημάτων πίεσης. Οι τιμές, μιας εγκατάστασης κυκλωμάτων ΩΜ τεσσάρων αντιστάσεων, μπορούν να μετρηθούν με ένα βολτόμετρο, μια πηγή, και τέσσερις αντιστάτες μολύβδου, R1, συνδεδεμένες σε σειρά με έναν αντιστάτη διαμετρημάτων, Rg (σχήμα 16). Το βολτόμετρο συνδέεται με τους ακροδέκτες των αντιστάσεων (ΩΜ) του DVM, και η πηγή ηλεκτρικού ρεύματος συνδέεται με τους ακροδέκτες του DVM.

Για να μετρηθεί η τιμή της πίεσης, παρέχεται μια χαμηλή ηλεκτρική ροή (χαρακτηριστικά ένα milliampere) στο κύκλωμα. Ενώ το βολτόμετρο μετρά την πτώση τάσης πέρα από την  $R_g$ , η απόλυτη τιμή της αντίστασης υπολογίζεται από τις μετρήσεις στις τιμές του ρεύματος και της τάσης. Η μέτρηση γίνεται συνήθως μετρώντας πρώτα την τιμή της αντίστασης των διαμετρημάτων σε φυσικές συνθήκες και έπειτα κάνει μια δεύτερη μέτρηση με την εφαρμοσμένη πίεση. Η διαφορά στις αντιστάσεις διαμετρημάτων που μετράμε διαιρείται με την χωρίς πίεση (unstrained) αντίσταση και δίνει μια κλασματική τιμή της πίεσης. Αυτή η τιμή χρησιμοποιείται με τον παράγοντα (GF) διαμετρημάτων για να υπολογιστεί η πίεση.

Το παράλληλο κύκλωμα  $\Omega M$  είναι επίσης κατάλληλο για την αυτόματη αποζημίωση offset τάσης. Αρχικά η τάση μετριέται όταν δεν υπάρχει καμία τρέχουσα ροή. Αυτή η μετρημένη τιμή αφαιρείται έπειτα από την ανάγνωση της τάσης όταν ρέει το ρεύμα. Έπειτα, η προκύπτουσα διαφορά τάσης χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η αντίσταση των διαμετρημάτων. Λόγω της ευαισθησίας τους, τα διαμετρήματα πίεσης τεσσάρων αντιστάσεων (strain gauge) χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά για να μετρήσουν τις δυναμικές πιέσεις χαμηλής συχνότητας. Κατά την μέτρηση των πιέσεων υψηλότερης συχνότητας, η παραγωγή των γεφυρών πρέπει να ενισχυθεί. Στο ίδιο κύκλωμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ένας ημιαγωγός διαμετρημάτων πίεσης και ένα υψηλής ταχύτητας ψηφιακό βολτόμετρο.

Εάν η ευαισθησία της DVM είναι 100 micro volts, η ηλεκτρική πηγή είναι 0,44 milli ampers, η αντίσταση του διαμετρήματος πίεσης είναι 350  $\Omega M$  και ο παράγοντας των διαμετρημάτων (gage factor) είναι 100, τότε το αποτέλεσμα της μέτρησης θα είναι 6 micro strains.



Σχήμα 17: Σχηματική αναπαράσταση κυκλώματος με σταθερή πηγή

#### 4.2.7 Σταθερή πηγή κυκλώματος

Η αντίσταση μπορεί να μετρηθεί με τη διέγερση της γέφυρας είτε με μια σταθερή τάση είτε με μια σταθερή ηλεκτρική πηγή. Επειδή  $R = V/I$ , εάν είτε η  $V$ , είτε η  $I$  παραμείνει σταθερή η άλλη θα μεταβληθεί προς την αντίσταση. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Ενώ δεν υπάρχει κανένα θεωρητικό πλεονέκτημα στη χρησιμοποίηση μιας σταθερής ηλεκτρικής πηγής (σχήμα 17) σε σύγκριση με μια σταθερή τάση, σε μερικές περιπτώσεις η παραγωγή των γεφυρών θα είναι πιο γραμμική σε ένα σταθερό τρέχον σύστημα. Επίσης, εάν χρησιμοποιείται μια σταθερή ηλεκτρική πηγή, εξαλείφει την ανάγκη να παρουσιαστεί (to sense) η τάση στη γέφυρα επομένως, μόνο δύο καλώδια πρέπει να συνδεθούν με την αντίσταση των διαμετρημάτων πίεσης.

Το σταθερό ηλεκτρικό κύκλωμα είναι αποτελεσματικότερο όταν μετριέται η δυναμική πίεση. Αυτό γίνεται επειδή, εάν μια δυναμική δύναμη προκαλέσει μια αλλαγή στην αντίσταση του διαμετρήματος πίεσης ( $R_g$ ), κάποιος θα μετρούσε την χρονική διαφορά της παραγωγής ( $V_{OUT}$ ), ενώ τα βραδέως μεταβαλλόμενα αποτελέσματα, όπως οι αλλαγές στην αντίσταση μολύβδου, λόγω των αλλαγών θερμοκρασίας θα απορρίπτονταν. Χρησιμοποιώντας αυτήν την διάταξη, οι επιρροές της θερμοκρασίας γίνονται σχεδόν αμελητέες.

#### 4.2.8 Εφαρμογή & εγκατάσταση

Η παραγωγή ενός κυκλώματος διαμετρημάτων πίεσης έχει πολύ χαμηλού επιπέδου σήμα τάσης και απαιτεί μια ευαισθησία 100 microvolts ή και παραπάνω. Το χαμηλό επίπεδο του σήματος το καθιστά ιδιαίτερα ευαίσθητο στον ανεπιθύμητο θόρυβο από άλλες ηλεκτρικές συσκευές. Η χωρητική σύζευξη που προκαλείται με την χρησιμοποίηση των καλωδίων μολύβδου πολύ κοντά στα καλώδια εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος, έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν σφάλματα στην μέτρηση της πίεσης.

Σφάλματα στις μετρήσεις μπορούν να παρουσιαστούν : από τις μαγνητικές τάσεις που προκαλούνται όταν περνούν τα καλώδια μολύβδου μέσω των μεταβλητών μαγνητικών πεδίων, των (ανεπιθύμητων) συνδέσεων των καλωδίων μολύβδου, της  $\epsilon$  μόνωσης, και των επιρροών που δημιουργούνται από τη σύνδεση των ανόμοιων θερμοηλεκτρικών μετάλλων. **Τα σφάλματα τέτοιων παρεμβάσεων μπορεί να οδηγήσουν στη σημαντική υποβάθμιση των σημάτων.**

#### 4.2.9 Προστατευτικό κάλυμμα

Τα περισσότερα ηλεκτρικά προβλήματα παρεμβολής και θορύβου μπορούν να λυθούν με την θωράκιση και τη επικάλυψη. Μια κάλυψη γύρω από τα καλώδια μέτρησης με μολύβδο θα παρεμποδίσει τις παρεμβάσεις και μπορεί επίσης να μειώσει οποιαδήποτε σφάλματα που προκαλούνται από την ελαττωματική μόνωση.

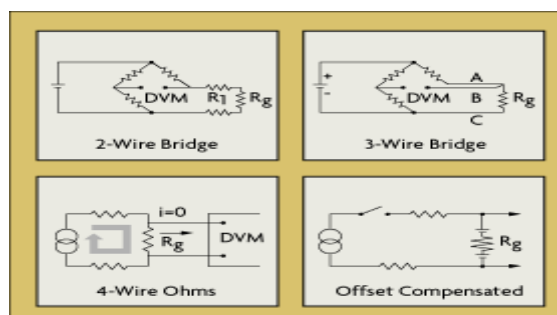
Η θωράκιση προστατεύει επίσης τις μετρήσεις από τη χωρητική σύζευξη (capacitive coupling). Εάν οι μολύβδοι μέτρησης χρησιμοποιούνται κοντά σε πηγές ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής όπως οι μετασχηματιστές, η περιέλιξις των μολύβδων θα ελαχιστοποιήσει την υποβάθμιση των σημάτων λόγω της μαγνητικής επαγωγής. Με το «κουλούριασμα» (πλέξιμο) του καλωδίου, το προσκληθέν ρεύμα αντιστρέφεται και οι περιοχές που διαρρέει ακυρώνονται. Για τις εφαρμογές βιομηχανικής διαδικασίας, τα στριμμένα και προστατευμένα καλώδια μολύβδου χρησιμοποιούνται σχεδόν χωρίς εξαίρεση.

#### 4.2.10 Θωράκιση

Η θωράκιση των οργάνων είναι εξίσου σημαντική με την προστασία των καλωδίων. Η θωράκιση είναι ένα κιβώτιο μετάλλων σε φύλλα που περιβάλλει τα αναλογικά στοιχεία κυκλώματος και λειτουργεί σαν ασπίδα. Εάν τα συνεχή ρεύματα περνούν από την αντίσταση των διαμετρημάτων πίεσης ή των καλωδίων μολύβδου του, τα κυκλώματα γεφυρών Wheatstone δεν μπορούν να τα διακρίνουν από τη ροή που παράγεται από την ηλεκτρική πηγή. Η θωράκιση εγγυάται ότι οι ακροδέκτες των ηλεκτρικών οργάνων είναι στην ίδια δυναμική, η οποία με αυτόν τον τρόπο αποτρέπει τις ξένες ηλεκτρικές ροές.

Η σύνδεση ενός μολύβδου μεταξύ του δείγματος δοκιμής και του αρνητικού ακροδέκτη της πηγής ηλεκτρικού ρεύματος παρέχει μια πρόσθετη κατεύθυνση ροής γύρω από το μετρώντας κύκλωμα. Χρησιμοποιώντας μια κατεύθυνση ροής από την θωράκιση μολύβδου στην κατεύθυνση ενός λάθος-παραγόμενου ρεύματος, όλα τα σχετικά στοιχεία (δηλ. παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, διαμέτρημα πίεσης, όλα τα άλλα όργανα μέτρησης) θα είναι στην ίδια δυνατότητα με το δείγμα δοκιμής. Με τη χρησιμοποίηση των στριμμένων και προστατευμένων καλωδίων μολύβδου και την

ενσωμάτωση του DVMS μέσα στη θωράκιση, το συνηθισμένο από το θόρυβο σφάλμα μπορεί ουσιαστικά να εξαλειφτεί.



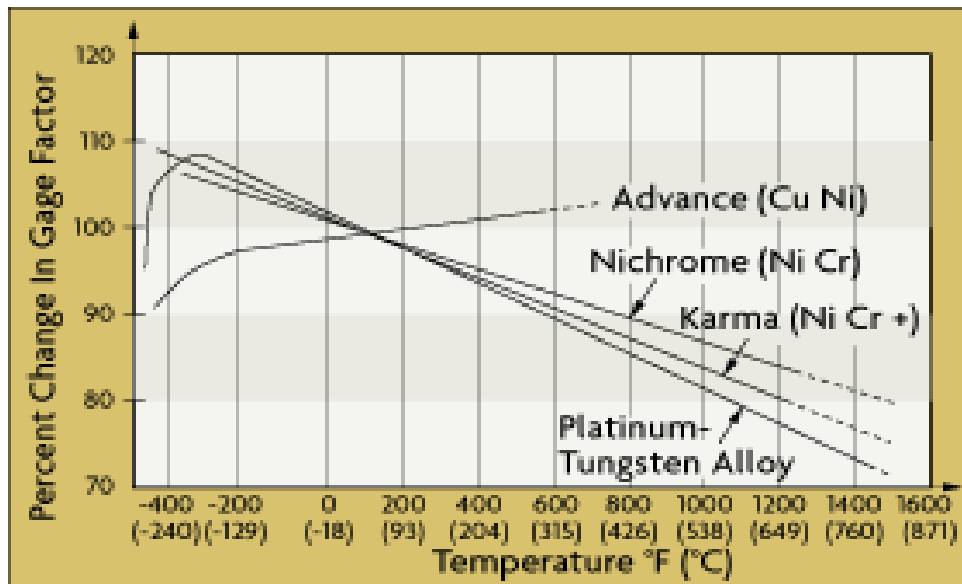
Σχήμα 18: Εναλλακτικές διατάξεις καλωδίων μολύβδου

#### 4.2.11 Επιρροές από τα καλώδια μολύβδου

Τα διαμετρήματα πίεσης (strain gauge) τοποθετούνται μερικές φορές σε μια απόσταση από τα όργανα μέτρησης. Αυτό αυξάνει τη δυνατότητα των σφαλμάτων μέτρησης λόγω των αλλαγών θερμοκρασίας, της απευαισθητοποίησης του μολύβδου, και των αλλαγών της αντίστασης των καλωδίων μολύβδου. Σε μια εγκατάσταση δυο καλωδίων (σχήμα 18α), οι δύο μολύβδοι είναι σε σειρά με το στοιχείο διαμετρημάτων πίεσης, και οποιαδήποτε αλλαγή στην αντίσταση καλωδίων - μολύβδου ( $R_1$ ) θα είναι όμοια με τις αλλαγές στην αντίσταση του διαμετρήματος πίεσης ( $R_g$ ).

Για να διορθωθούν οι επιδράσεις των καλωδίων μολύβδου, ένας πρόσθετος, τρίτος μολύβδος μπορεί να εισαχθεί στον κορυφαίο βραχίονα της γέφυρας, όπως φαίνεται στο σχήμα (18β). Σε αυτήν την διαμόρφωση, το καλώδιο C ενεργεί ως αισθητήρας μολύβδου χωρίς την ηλεκτρική ροή σε αυτό, και τα καλώδια A και B είναι στα αντίθετα πόδια της γέφυρας. Αυτό είναι η ελάχιστη αποδεκτή μέθοδος των διαμετρημάτων πίεσης σε μια γέφυρα, για να ακυρώσει τουλάχιστον μέρος της επίδρασης των σφαλμάτων των επεκταμένων καλωδίων. Θεωρητικά, εάν τα καλώδια μολύβδου στον αισθητήρα έχουν την ίδια ονομαστική αντίσταση, τον ίδιο συντελεστή θερμοκρασίας, και διατηρείται στην ίδια θερμοκρασία, λαμβάνεται η πλήρης αποζημίωση. Στην πραγματικότητα, τα καλώδια κατασκευάζονται με μια ανοχή περίπου 10%, και η τριών καλωδίων εγκατάσταση δεν εξαλείφει πλήρως τα σφάλματα στην διάταξη δύο συρμάτων, αλλά τα μειώνει έως ένα μέγεθος. Εάν επιδιώκεται η περαιτέρω βελτίωση, πρέπει να εξεταστούν οι τετρασύρματες και offset-αντισταθμισμένες εγκαταστάσεις (σχήματα 18C και 18D).

Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις δύο καλωδίων, το λάθος που δημιουργείται από την αντίσταση καλωδίων μολύβδου είναι μια συνάρτηση της αναλογίας  $R_1/R_g$  αντιστάσεων. Το σφάλμα καλωδίων μολύβδου δεν είναι συνήθως σημαντικό εάν η αντίσταση καλωδίων μολύβδου ( $R_1$ ) είναι μικρή σε σύγκριση με την αντίσταση των διαμετρημάτων ( $R_g$ ), αλλά εάν η αντίσταση καλωδίων μολύβδου υπερβαίνει 0,1% της ονομαστικής αντίστασης των διαμετρημάτων, αυτή η πηγή λάθους γίνεται σημαντική. Επομένως, στις βιομηχανικές εφαρμογές, τα μήκη των καλωδίων μολύβδου πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ή να εξαλειφθούν με τον εντοπισμό (σταθεροποιώντας) της συσκευής αποστολής σημάτων του αισθητήρα.



Σχήμα 19: Συνάρτηση GF- θερμοκρασίας

#### 4.2.12 Θερμοκρασία και ο παράγοντας διαμετρημάτων (GF)

Τα υλικά που δέχονται την πίεση, όπως ο χαλκός, αλλάζουν την εσωτερική δομή τους στις υψηλές θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία μπορεί να αλλάξει όχι μόνο τις ιδιότητες ενός στοιχείου διαμετρημάτων πίεσης, αλλά και μπορεί να αλλάξει τις ιδιότητες του βασικού υλικού με το οποίο το διαμέτρημα πίεσης είναι συνδεδεμένο. Οι διαφορές στους συντελεστές διαστολής μεταξύ του διαμετρήματος και των βασικών υλικών μπορούν να προκαλέσουν διασταλτικές αλλαγές στα στοιχεία των αισθητήρων.

Η διαστολή ή η συστολή του στοιχείου διαμετρήματος πίεσης ή και του βασικού υλικού, δημιουργεί σφάλματα που είναι δύσκολο να διορθωθούν. Παραδείγματος χάριν, μια αλλαγή στην ειδική αντίσταση ή στο συντελεστή θερμοκρασίας της αντίστασης των στοιχείων, αλλάζει τις μηδενικές αναφορές στην προσπάθεια βαθμολόγησης του διαμετρήματος πίεσης.

Ο παράγοντας διαμετρημάτων (GF) είναι η ευαισθησία πίεσης του αισθητήρα. Ο κατασκευαστής πρέπει πάντα να παρέχει τα στοιχεία όσον αφορά την ευαισθησία θερμοκρασίας του παράγοντα διαμετρημάτων. Το (σχήμα. 19) παρουσιάζει την παραλλαγή στους παράγοντες διαμετρημάτων των διάφορων υλικών διαμετρημάτων πίεσης (**strain gauge**) ως λειτουργία στις διάφορες θερμοκρασίες. Τα κράματα χαλκού-νικελίου που τα πλεονεκτήματα που έχουν στους παράγοντες διαμετρημάτων, που είναι σχετικά ευαίσθητοι στην λειτουργία σε διάφορες θερμοκρασίες, κάνουν τα υλικά αυτά την δημοφιλέστερη επιλογή στην κατασκευή διαμετρημάτων πίεσης.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΤΕΤΑΡΤΟΥ**

- 1. [WWW.NATIONAL INSTRUMENTS.COM](http://WWW.NATIONAL INSTRUMENTS.COM)**
- 2. [WWW.SMDSSENSORS.COM](http://WWW.SMDSSENSORS.COM)**
- 3. ‘ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ’, ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**
- 4. [www.omega.com](http://www.omega.com)**

## **5.1.ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

### **5.1.1. Σκοπός και εφαρμογή**

Σκοπός της πτυχιακή εργασίας αυτής είναι να υπολογίσει τις αντιστάσεις που εφαρμόζονται σε ένα φερόμενο άροτρο με τρία υνιά κατά το όργωμα, σε εδάφη της περιοχής του Μεσολογγίου. Την διερεύνηση και καθορισμό των δυνάμεων που δέχεται το υνάροτρο κατά το όργωμα σε συγκεκριμένο βάθος .Επιπρόσθετα πρέπει να καθορίσουμε την ταχύτητα , την ολίσθηση του ελκυστήρα και το πλάτος κοπής του υνιού. Σημαντικό ρόλο στις μετρήσεις θα έχει η σχετική υγρασία , η σύσταση του εδάφους , η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, καθώς και οι απώλειες από τα σφάλματα των οργάνων μέτρησης.

### **5.1.2.Γενικές συνθήκες**

• **Μήνας μετρήσεων: Φεβρουάριος**

**Η δοκιμή πραγματοποιείται στα εδάφη της περιοχής του Μεσολογγίου και ειδικότερα σε:**

- Ακαλλιέργητα εδάφη
- Σε καλλιεργημένα εδάφη
- Η σχετική υγρασία του εδάφους:
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος :

### **5.1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ελκυστήρα**

- Ελκυστήρας τύπου NEW HOLLAND
- Ισχύ ελκυστήρα 70 HP
- Ταχύτητα κίνησης 7 km / h

**Τεχνικά χαρακτηριστικά του Αρότρου**

- Πλάτος υνιού 40 cm
- Αριθμός υνιών 3
- Βάθος οργώματος 30 cm

### **5.1.4. όργανα μέτρησης**

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν είναι :

- Όργανο μέτρησης δυναμοκυψελίδα «**strain gauge**»
- Μετατροπέας του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
- Ενισχυτής για την ενίσχυση του σήματος που λαμβάνουν οι αισθητήρες
- Καταγραφικό για να λαμβάνουμε και να βλέπουμε της μετρήσεις
- Μέσα συγκόλλησης των αισθητήρων πίεσης

## Χαρακτηριστικά των οργάνων

### Δυναμοκουβελίδα

#### Απόδοση

- Επαναληπτικότητα <math><0,02\% \text{ FSO}</math>
- Θερμοκρασία λειτουργίας – 40 °C έως 125°C
- Πίεση λειτουργίας 160 - 200 psi 0,4%<math><0,3\%</math> (0,15 % BFSL)
- Ηλεκτρισμός
- Ονομαστική τάση εξόδου 2.0 mV

#### Εισαγωγή

- Ελάχιστη 10 Vdc
- Μέγιστη 20 Vdc

#### Αντίσταση γεφυρών

- Εισόδου 10,000 Ω ± 3%
- Εξόδου 10,000 Ω ± 3%

#### Αντίσταση μονωτικού υλικού

- I >1000 MΩ @50 Vdc
- II 500 Vac για 1 λεπτό

#### Ενισχυτής σήματος SCXI - 1520

- Κανάλια εισόδου 8
- Ενίσχυση 0.2Ω-120Ω, 1mV-5V
- Πηγή τάσης διέγερσης 0,0 – 10 V σε 0,635 V
- Ρεύμα διέγερσης 29 mA για όλη την τάση διέγερσης
- Ολοκλήρωση γεφυρών ναι
- Ημιαγωγοί offset ναι
- Μετατροπέας του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό a / d (Wheatstone)
- Καταγραφικό απλό για να βλέπουμε της μετρήσεις να μπορούμε να των τοποθετήσουμε στον ελκυστήρα
- Κάρτα δεδομένων για την αποθήκευση των δεδομένων των μετρήσεων

## 5.2 Προετοιμασία πειράματος – τοποθέτηση οργάνων

Προκειμένου να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα από έναν μετρητή πίεσης, είναι σημαντικό να προετοιμάσω λεπτομερώς το μετρητή και την



επιφάνεια του υνιού με το οποίο ο μετρητής πρόκειται να συνδεθεί, πριν από χρησιμοποίηση οποιουδήποτε συγκολλητικού μέσου.

### **1. Προετοιμασία επιφάνειας υνιού**

Πρέπει να καθαριστεί μια περιοχή μεγαλύτερη από την επιφάνεια του μετρητή πίεσης (strain gauge), από όλο χρώμα και τη σκουριά. Δηλαδή να λειανθεί με ένα σμυριδόπανο και τελικώς να φύγουν οι ξένες ουσίες δημιουργώντας μια καθαρή επιφάνεια.

Η περιοχή πρέπει να καθαριστεί από τις ανεπιθύμητες ουσίες με ένα διαλυτικό το οποίο θα τις απομακρύνει τελείως. Στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε ένα λεπτό ύφασμα με το οποίο παίρνουμε το διαλυτικό, καθαρίζουμε την επιφάνεια και τέλος την σκουπίζουμε με ένα καθαρό κομμάτι ύφασμα. Δίνουμε μεγάλη προσοχή έτσι ώστε στη περιοχή που ετοιμάστηκε να μην πέσουν ξένες ουσίες και να μην την αγγίξουμε με τα δάχτυλα μας. Ο τελικός καθαρισμός πρέπει να πραγματοποιηθεί αμέσως πριν από την εγκατάσταση του μετρητή.

### **2. Προετοιμασία του μετρητή πίεσης (strain gauge).**

Κολλάμε την κολλητική ταινία κατά μήκος της πλευράς του μετρητή πίεσης προσέχοντας να είναι καθαρή. Κρατώντας και τις δύο άκρες της ταινίας, την τοποθετούμε στην επιθυμητή θέση για να κολλήσει το τέλος της ταινίας επί της επιφανείας του μετρητή. Κολλάμε βέβαια την ταινία στην αντίθετη από αυτή των αισθητηρίων πλευρά.

### **3. Εγκατάσταση των μετρητών πίεσης.**

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δυο είδη βασικών υλικών συγκόλλησης στα strain gauge : α) κιανοακρύλιο & β) εποξική ρυτίνη (ταχείας δράσης).

Κατά τη χρησιμοποίηση των εποξικών κολλών τοποθετούμε κόλλα στο πίσω μέρος της ταινίας του μετρητή και τον ωθούμε ήπια στη θέση που έχουμε ορίσει, σκουπίζοντας την υπερβολική κόλλα από τις δυο άκρες (της ταινίας) του μετρητή, αφήνοντας μια λεπτή ταινία της κόλλας μεταξύ του μετρητή και του υνιού. Κολλάμε ολόκληρο το μήκος της ταινίας για να κρατηθεί ο μετρητής στη θέση του. Προσέχουμε ιδιαίτερα έτσι ώστε να βάλουμε την κατάλληλη ποσότητα κόλλας και να μην αφήσουμε καμιά αεροφουσαλίδα κάτω από τον αισθητήρα. Στη συνέχεια σκεπάζουμε τον μετρητή με σελοφάν ή πολυαιθυλένιο, και εφαρμόζουμε ένα ελαφρύ βάρος ή ένα σφιγκτήρα έως ότου στερεοποιηθεί η κόλλα. Αφαιρούμε την ταινία πολύ αργά και προσεκτικά τραβώντας την πίσω και απομακρύνουμε προσεκτικά σαν να ήταν ετικέτα. Σαν αποτέλεσμα ο αισθητήρας κολλάτε στο μέταλλο του υνιού. Προσέχουμε και δεν τραβάμε ποτέ προς τα πάνω.

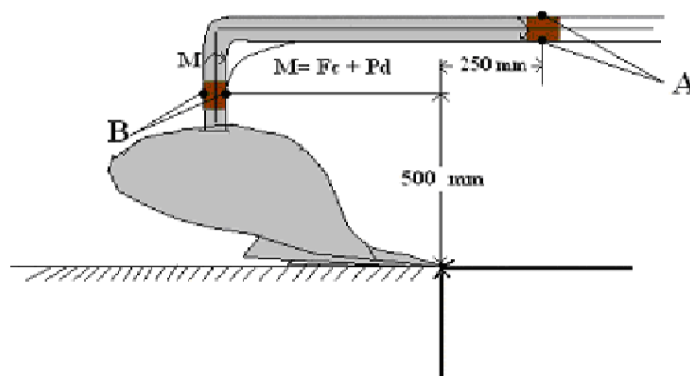
Εάν χρησιμοποιήσουμε κιανοακρυλική κόλλα την ρίχνουμε μεταξύ της ταινίας του μετρητή και του δείγματος. Την τοποθετούμε στο σημείο ένωσης του μετρητή και του δείγματος. Για να στερεοποιηθούν, με το ένα δάχτυλο, πιέζουμε τον μετρητή σαν να τον σκουπίζουμε έτσι ώστε η κόλλα να απλωθεί σε όλη την ταινία του μετρητή και να στερεοποιηθεί. Εφαρμόζουμε πίεση με το δάχτυλο σε όλο το μήκος του μετρητή για περίπου ένα λεπτό. Το αφήνουμε για περίπου τρία λεπτά και μετά αφαιρούμε την ταινία.

### **4. Καλωδίωση**

Οι μετρητές πίεσης συνδέονται με 30mm καλώδιο για να επιτρέψουν στο μετρητή να συγκολληθεί. Τα καλώδια μολύβδου είναι εύθραυστα και πρέπει να αντιμετωπιστούν με την προσοχή.

Τα αισθητήρια όργανα που επιλέχτηκαν ήταν (strain gauge) δυναμοκυβελίδες που λαμβάνουν την παραμόρφωση πίεσης των μετάλλων, ανάλυση ιδιοτήτων και τρόπου εφαρμογής γίνεται στο (ΚΕΦ 4) ενώ για να πάρουμε αισθητή μεταβολή της πίεσης χρησιμοποιούμε έναν ενισχυτή με 8 κανάλια εισαγωγής σήματος από τους

μετρητές πίεσης ενώ της ενδείξεις των μετρήσεων της βλέπουμε μέσω ενός καταγραφικού η αποθήκευση και αρχειοθέτηση των στοιχείων γίνεται σε Η/Υ.



**Σχήμα 1** σκαρίφημα για την θέση των δυναμοκυψελίδων σε κάθε νύ ενώ παρουσιάζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στην κορυφή του ινυού  $P$ ,  $F$  και της ροπής  $M$  που εδράζει στο κάθε νύ κατά το όργανο της λαμβάνουμε δια μέσω των strain gauge στα σημεία  $B$  κατά ( *M.J O'Dogherty* . 9 Αυγούστου 1995).

#### ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Η δοκιμή, η επιλογή και τρόπος τοποθέτησης των μετρητών πίεσης και τον υπόλοιπων υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε βασίστηκε στους :

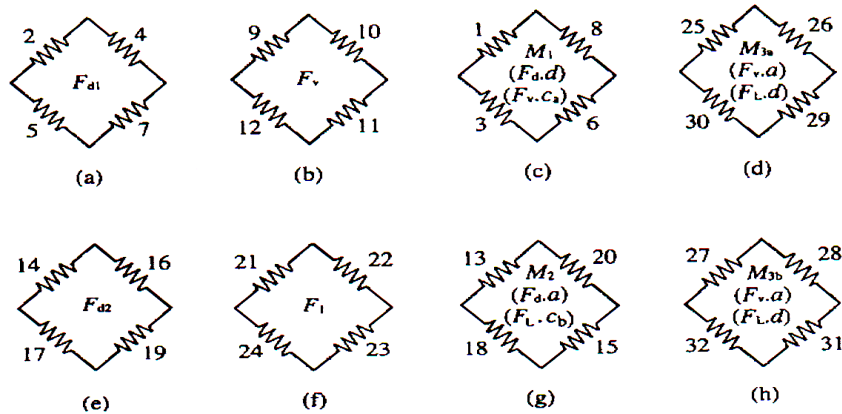
- M.J O'Dogherty,
- U.I Adamhcuk, M.T. Morgan, H Sommali
- ΤΣΑΤΣΑΡΕΛΗΣ, «αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς»
- NATIONAL INSTRUMENTS από ίντερνετ για τα «strain gauge»
- WWW.SMDSENSORS.COM

Θα χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω υλικά : 4 μετρητές πίεσης «strain gauge» (UEA-06-125 UV -160 - 200 psi) ένας ενισχυτής του σήματος πίεσης που λαμβάνουν οι αισθητήρες , τύπου 8 καναλιών SCXI – 1520 με γέφυρες Whetstone , κάρτα απόκτησης δεδομένων για την ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων DAO CARD - 1200 και την καταγραφή δεδομένων ASCII.

#### 5.2.1. Διάταξη των οργάνων στο άροτρο

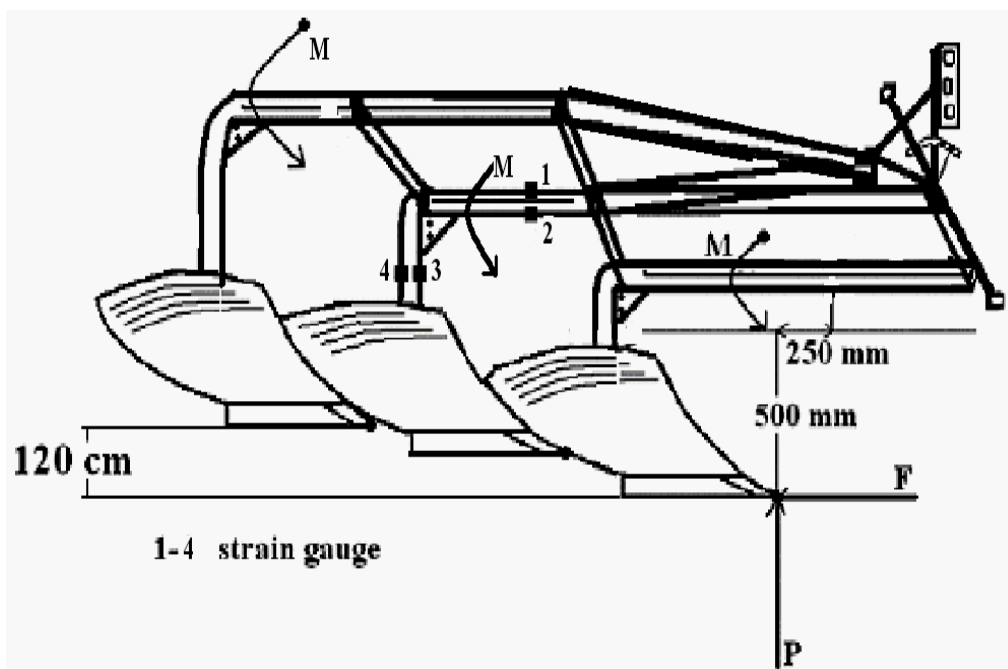
Τοποθετούμε στο μεσαίο νύ στο σημείο A του **σχήματος 1** δύο strain gauge σε μία απόσταση 250 mm από την κορυφή του νυιού στο σταβάρι. Κατά κύριο λόγο έχουν τοποθετηθεί για να λάβουμε την ροπή που εφαρμόζεται αφού, ενώ δέχεται την πίεση που παρουσιάζεται από την κάθετη δύναμη  $P$  και την  $F$  εξουδετερώνεται από την δύναμη έλξης .Στο σημείο B η απόσταση από την κορυφή του νυιού και τον πυθμένα της αυλακιάς είναι 500 mm .Οι δύο μετρητές συγκολλούνται στην βάση του σώματος με μεγάλη προσοχή , στο ίδιο ύψος και η μια απέναντι στην άλλη ώστε να λάβουμε την μεγαλύτερη παραμόρφωση από την επίδραση της πίεσης που ασκείται από της δυνάμεις  $P$  ,  $F$ . Η συγκόλληση γίνεται αφού έχουμε πρώτα καθαρίσει από τις ξένες ουσίες και ξύσει το υλικό χρωματισμού του σταβαριού ώστε να εφάπτονται πολύ καλά στα σημεία αυτά . Στην συνέχεια αφού έχουμε εγκαταστήσει τους μετρητές πίεσης που είναι κατασκευασμένα από ωμικές αντιστάσεις (μέσης κατηγορίας)  $\Omega$  καθορίζουμε τον κάθε μετρητή με έναν αριθμό και επιλέγουμε τον σκοπό μέτρησης

για την κάθε δυναμοκιβελίδα για της εισόδους του ενισχυτή. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε τον κ.Codwin να αριθμεί τους μετρητές της πίεσης ( Σχ.2 ).



Σχ.2 . Κατά Ο' CODWIN ET. AL. (25 Οκτωβρίου 1992).

(ορίζει 2,4,5 και 7 να μας δίνουν την δύναμη  $F$ . Την κάθετη δύναμη  $P$  από τους μετρητές 9,10,11, και 12. ΟΙ μετρητές που θα λαμβάνουν την ροπή  $M$  ορίζει 1,3,6,8 λόγω της δύναμης  $F * b$ , το  $b$  είναι το πλάτος κοπής). Έτσι εμείς βασισμένη στον CODWIN αριθμήσαμε από το 1 – 4 τους μετρητές strain gauge .



Σχ.3 . Τοποθέτηση μετρητών πίεσης ( strain gauge ) .

Για την  $F$  τους ( 1 , 2 ) ώστε να δέχονται την συστολή της βάσης του σώματος από την παραπάνω δύναμη που ασκείται παράλληλα προς τον άξονα της κορυφής του υνιού . Για την δύναμη  $P$  τους μετρητές ( 3 , 4 ) ώστε να δέχεται την κάθετη δύναμη που ασκείται από το έδαφος προς το άροτρο. Οι μετρητές ( 1 , 2 ) μας παρουσιάζουν τα ζεύγη την δύναμη ροπής σε κάθε υνί ξεχωριστά .

### 5.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ο Godwin et al δίνει σχηματικά (σχ. 4 ) ένα παράδειγμα με το οποίο ένα σύστημα οργάνων χρησιμοποιείται στην βαθμονόμηση των δυναμομέτρων. Ο τρόπος βαθμονόμησης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις δυναμοκυψελίδες της εργασίας μας.

Το δυναμόμετρο βαθμονομείται με την αμπάρωση ( by bolting ) της κυκλικής φλάντζας (circular flange) που είναι προσκολλημένη στον σωλήνα ροπής (torque tube) , η οποία βρίσκεται σε ράγες στο πάτωμα. (σχ 4. ) , ( F , D , P ) .

Το δυναμόμετρο φορτίζεται με την εφαρμογή των δυνάμεων (κάθετη & πλευρικές) στους τρεις υδραυλικούς κριούς (rams) , ( σχ 4. Η ) που ενεργούν μέσω των συνδέσεων ενός αμπαρωμένου βραχίονα στην δεύτερη κυκλική φλάντζα του δυναμόμετρου ( D ) .

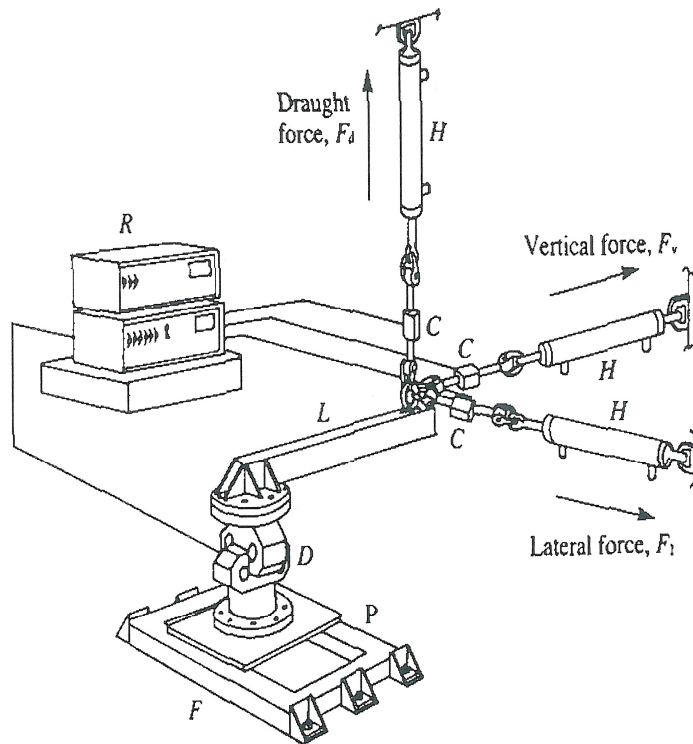
Οι βραχίονες ( load arms ) οι οποίοι είναι συμμετρική σε όλο το διαμήκη επίπεδο του συστήματος δέχονται το φορτίο (σχ 4. L ) στον κεντρικό άξονα του δυναμόμετρου. Αυτοί οι βραχίονες μπορούν να δεχτούν αντιστάσεις από 0,8 – 0,9 και 1m από τον άξονα του δυναμόμετρου όπως έχει αποδειχθεί από αλλά πειράματα του Godwin.

Τα μεγέθη των εφαρμοσμένων δυνάμεων μετριοούνται από τρία ήδη βαθμονομημένα load cells (σχ 4. C ) όπως βλέπουμε στο σχήμα . Η κατάλληλη δύναμη κυμαίνεται από 0.5 – 18 KN στα load cells.

Η βαθμονόμηση γίνεται και με μεγάλες τιμές της δύναμης και με μικρές έτσι ώστε να καθοριστούν επακριβώς οι « επιδράσεις υστέρησης » ( hysteresis effects ) .

Οι μετρήσεις που γίνονται καθορίζονται και στις δυο ορθογώνιες κατευθύνσεις.

Τέλος οι γέφυρες των δυναμομέτρων και τα load cells είναι συνδεδεμένα με τους ενισχυτές οι οποίοι συνδέονται με τη σειρά τους στα καταγραφικά έτσι ώστε οι τάσεις να μας δώσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων. (R.J Godwin , *A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements*. J.agric .Engng Res. (1993) 55 , 189 – 205 )



Σχ 4 . Διάγραμμα το οποίο δείχνει τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείτε από τον Godwin για την βαθμονόμηση του δυναμόμετρου.

*H*: Υδραυλικοί κριοί (rams), *C* : load cells πίεσης, *L* : βραχίονες ( load arms )

*D*: δυναμόμετρο, *P* : πιάτο ( mounting plate ), *F* :πλαίσιο σε ράγες ( framework bolted to floor rails ), *R* : παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στα strain gauge, καταγραφικό, ενισχυτές .

*Draught force* : ελκτική κατακόρυφη δύναμη , *Vertical force* : κάθετη δύναμη , *Lateral force* : πλευρική δύναμη .

## 5.4. ΘΕΩΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Λαμβάνοντας υπόψιν τους M.J O'Dogherty, U.B.I Adamhcuk M.T , Morgan Bainer και Srivastava το βιβλίο του Κωνσταντίνου. Α Τσατσαρέλη (ΑΡΧΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΠΟΡΑΣ), X Sumali

Η ευαισθησία του δυναμομέτρου για την δύναμη  $P$  ,  $F$  και την ροπή  $M$  υπολογίζεται από την σχέση :

$$\Delta V = K E V \quad (1)$$

Διαμόρφωση γέφυρας Wheastone από την σχέση :

$$E = 10^6 * [ -4V_r / GF(1+ 2V_r)]*(1+ R_l / R_G) \quad (2)$$

$$V_r = V_{in} - V_{ou} / V_{ex} \quad (3)$$

## ΟΠΟΥ

E : πίεση γέφυρας  
F : Ονομαστική αντίσταση ( N )  
RI: Αντίσταση μολύβδου ( Ω )  
Vou: τάση εξόδου στον μετρητή ( V )  
Vin : τάση εισόδου στον μετρητή ( V )  
Vex: Τάση διέγερσης ( V )  
Vr: Αναλογία τάσης , G : παράγοντας μετρητών πίεσεις  
Χρησιμοποιώντας την σχέση ( 3,4) η πίεση είναι :

$$E = 1,21 * V_{in} \quad (4)$$

### Γνωρίζουμε:

Τον συντελεστή ελαστικότητας του χάλυβα  $E = 207000 \text{ N mm}^2$   
Τον συντελεστή ελαστικότητας του ελατού χάλυβα  $E = 800 \text{ MN /m}^2$   
Την ροπή κάμψης σε mm.  
Την ροπή αδρανείας σε mm  
Την απόσταση υνιού από το τους μετρητές πίεσης :  $X = h / 2$   
Η ροπή κάμψης επιβάλλετε να είναι μικρότερη από τον συντελεστή της ελαστικότητας ετσι ώστε να μην δημιουργούν παραμορφώσεις  
Η μετρούμενη πίεση :

$$e = 10^6 \text{ mh} / EI \text{ σε } (\mu\text{m} / \text{m}) \quad (5)$$

Ενώ η πιέσεις μπορούν να βρεθούν από της σχέσης :

$$E_{90} = 3M [(1-2/\pi)*K+2/\pi-0,5] / Ebt^2 *(k^2 +4k/\pi) +0,5 \quad (6)$$

Η γωνία εκτροπής των δυναμοκυψελίδων από την επίδραση της M με την σχέση των **LOWEN - COOK** :

$$\Psi = Mr [ 6\pi (2K + \pi/2) - 24 (2K+\pi/2)(2+\pi K)+ 3\pi(2 +\pi K)^2 ] / Ebt^2 (K^2+4K/\pi + 0,5) \quad (7)$$

Για έλξη με κλίση γωνίας  $\Phi = 90^0$  και η αναλογία  $r / t$

$$E_{90} = 1.7 Fr / Ebt^2 \quad (8)$$

Η εφαπτόμενη δύναμη P είναι η σταθερά στην εξίσωση της πίεσης στην γωνία  $\Phi = 90^0$  και την μέγιστη ροπή κάμψης σχετικά με το πάχος της δυναμοκυψελίδας είναι :

$$E_{\Phi} = 1.8* Pr / Ebt^2 \quad (9)$$

### 5.4.1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η σχέση που συνδέει την αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση του αρότρου με την ταχύτητα κίνησης εκφράζεται από τον V.L CORVACHKIN το 1898 από την σχέση :

$$P_x = FG + K_0 a \cdot b + eabu_1^2 \quad (10)$$

$$P_x = d(u_1 m) / dt = m du_1 / dt + dm / dt \quad (11)$$

ο όρος  $m du/dt$  καθορίζει την δύναμη που είναι αναγκαία για να δώσει στην μάζα του εδάφους  $m$  επιτάχυνση  $du/dt$  και καθορίζει την δύναμη που είναι αναγκαία για να δώσει σταθερή ταχύτητα ( $v$ ) στην μεταβαλλόμενη μάζα ( $m$ ) που περνά από τον αναστρεπτόρα ο πρώτος όρος παραστάθηκε ως αντίσταση με την σχέση :

$$m \cdot du_1 / dt = f_G + K_0 b \cdot a \quad (12)$$

**f**: συντελεστής 0,3 – 0,5 στην αντίσταση κύλισης των τροχών του αρότρου στην περίπτωση την δικιά μας το  $f = 0$  αφού είναι αναρτόμενο άροτρο

**G**: Βάρος αρότρου, (kg)

**K<sub>0</sub>**: Συντελεστής στατικής αντίστασης,,,,,, (kg / cm<sup>2</sup>)

**a**: βάθος οργώματος 30 cm

**b**: πλάτος 40 cm

**e**: συντελεστής δυναμικής αντίστασης (kg\*s / m<sup>2</sup>\*cm<sup>2</sup>)

**u**: ταχύτητα m / s

Ο δεύτερος όρος ( $dm/dt$ ) της σχέσης (11) παριστά την μάζα που διέρχεται από τον αναστρεπτόρα στην μονάδα του χρόνου :

$$dm / dt = \gamma / g a \cdot b \cdot u_1 \quad (13)$$

$\gamma$ : πυκνότητα

**g**: επιτάχυνση βαρύτητας 9,81 m / s<sup>2</sup>

Ενώ ο ίδιος εκτίμησε ότι η ταχύτητα  $u_1$  της μάζας εδάφους είναι ανάλογη της ταχύτητας μετακίνησης του αρότρου οπότε  $u$  :

$$U \quad dm / dt = eabu^2 \quad (14)$$

Η αντίσταση του φερόμενου αρότρου στην κίνηση εκφράζεται από την σχέση :

$$K = K_0 + Eu^2 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (15)$$

**K<sub>0</sub>**: Ειδική αντίσταση του αρότρου με ταχύτητα άρωσης  $u = 0$  έτσι καλείτε ειδική αντίσταση του εδάφους. Ο Hendrick έδωσε τις τιμές της ειδικής αντίστασης των εδαφών N/cm<sup>2</sup> που της αποδέχτηκαν τα SAE standards

Έδαφος ιλυαργιλώδες	$7,0 + 0,049 * s^2$
Έδαφος αργιλοπηλώδες	$6,0 + 0,053 * s^2$
Έδαφος πηλώδες	$3,0 + 0,020 * s^2$
Έδαφος αμοιλυώδες	$3,0 + 0,032 * s^2$
Έδαφος αμμοπηλώδες	$2,8 + 0,013 * s^2$
Έδαφος αμμώδες	$2,0 + 0,013 * s^2$

**Το s είναι η ταχύτητα μετακίνησης σε km /h**

Από νεώτερες μελέτες προκύπτει ότι η αντίσταση επηρεάζεται σημαντικά από την ταχύτητα και το βάθος οργώματος ακολουθώντας την πολυωνμική σχέση του δευτέρου βαθμού ως προς το βάθος και την ταχύτητα. Η ταχύτητα για της δικές μας μετρήσεις καθορίστηκε η μέση ταχύτητα οργώματος 7 km/h. Όταν έχουμε την ειδική αντίσταση του εδάφους π.χ για πηλώδες έδαφος με ειδική αντίσταση  $3,0 + 0,020 * s^2$  με πλάτος άρωσης κάθε υνιού 40 cm και βάθος 30 cm. Οπότε :

**A)** βρίσκουμε την ειδική αντίσταση του εδάφους :  $3,0 + 0,020 * 7^2 = 3,98 \text{ N /cm}^2$

**B)** Η συνολική αντίσταση θα είναι :  $3,98 \text{ N /cm}^2 * 30 \text{ cm} * 40 \text{ cm} = 4776 \text{ N}$

**Γ)** Η ισχύς έλξης θα είναι :  $(4776 \text{ N} * 7000 / 3600) / 1000 = 9,29 \text{ kw}$

Επειδή εμείς οργώνουμε με τρίνο άροτρο έχουμε συνολική αντίσταση :

$3,98 \text{ N /cm}^2 * 30 \text{ cm} * 120 \text{ cm} = 14328 \text{ N}$

Η ισχύς έλξης σε τρίνο είναι :  $9,29 * 3 = 27,87 \text{ kw}$

**Η συνολική αντίσταση σε κάθε υνί με βάση των O hendrick έχουμε :**

Έδαφος ιλυαργιλώδες	11281,2	N
Έδαφος αργιλοπηλώδες	10316,4	N
Έδαφος πηλώδες	3164,4	N
Έδαφος αμοιλυώδες	5481,6	N
Έδαφος αμμοπηλώδες	4124,4	N
Έδαφος αμμώδες	4124,4	N



## 5.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή επιθυμεί να δώσει επιστημονικές πληροφορίες σε τεχνολόγους γεωπόνους που θα θελήσουν να συμβουλευθούν ενδιαφερόμενους αγρότες για την επιλογή του κατάλληλου γεωργικού εξοπλισμού με σκοπό την καλύτερη παραγωγή σε χαμηλό κόστος .

Ο τεχνολόγος γεωπόνος θα πρέπει να έχει πλήρη γνώση της μηχανικής σύστασης του εδάφους ( κεφ 1 & 2 ) , τις δυνάμεις που ασκούνται στο γεωργικό μηχάνημα και κυρίως στο άροτρο. Επιπλέον πρέπει να γνωρίζει και την επιτρεπόμενη ποσότητα δύναμης για κάθε τύπο εδάφους και ειδικότερα για τα εδάφη της περιοχής Μεσολογίου .

Ένας τρόπος μέτρησης όπως προαναφέραμε είναι τα δυναμόμετρα και ειδικότερα τα strain gauge ( δυναμοκυψελίδες , κεφ 4 ). Η χρήση strain gauge μπορεί να βοηθήσει τον τεχνολόγο γεωπόνο να μετρήσει επακριβώς την δύναμη που ασκείται στο άροτρο από την αντίσταση του εδάφους . Η μέτρηση της δύναμης και η χρησιμοποίηση των οργάνων αυτών επιβάλλεται να γίνεται μόνο από ειδικούς.

Στην μέτρηση τις δύναμης πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψιν τις ρυθμίσεις του αρότρου – ελκυστήρα και τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Επιπρόσθετα πρέπει να ακολουθηθεί όλη η διαδικασία τοποθέτησης και συγκόλλησης των strain gauge. Ο τεχνολόγος γεωπόνος πρέπει να γνωρίζει επακριβώς την μέθοδο αυτή , γιατί τυχόν σφάλματα θα έχουν επιπτώσεις στις μετρήσεις.

Η εργασία αυτή περιέχει όλη την μεθοδολογία που ακολουθείτε για την διάταξη των οργάνων στο άροτρο και την τοποθέτησή τους. Ο ενδιαφερόμενος που θα την ακολουθήσει θα πρέπει να προετοιμάσει κατάλληλα την επιφάνεια του υνιού να κολλήσει με προσοχή το strain gauge και να εγκαταστήσει την καλωδίωση που θα του δώσει τις μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να έχουν μεγάλη διαφορά από του θεωρητικούς υπολογισμούς.

Ο θεωρητικός υπολογισμός της αντίστασης του εδάφους για τα εδάφη της περιοχής Μεσολογίου ( κατά Ο ‘ Hendrick ) κυμαίνεται από 11281,2 N – 10316,4N ( ίλυαργιλώδες – αργιλωπιλώδες ) . Για να μπορεί να υπάρξει μια σύγκλιση μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών μετρήσεων θα πρέπει να ακολουθηθούν αυστηρά οι κανόνες τοποθέτησης και μέτρησης.