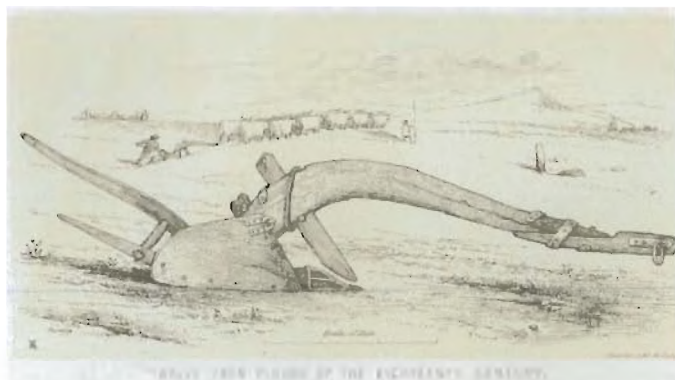


ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Α.Τ.Ε.Ι.) ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ: ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΡΟΤΡΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΦΡΑΓΚΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΜΠΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2006

ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ
ΑΝΩΝΥΜΟΙ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΙ
ΕΚΕΔΙΑΣΜΟΙ
ΑΡΧΟΤΡΟΥ

ΤΕΤΡΑΚΤΟΝΟΜΟΣ
ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΙΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΣ

Αφιερώνεται στις ψυχές
που σβήνουν στο σκοτάδι.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή εργασία αυτή, προορίζεται να χρησιμεύσει στους σπουδαστές της Γεωργικής Μηχανολογίας προσφέροντας βοήθεια στην κατανόηση της λειτουργίας του αρότρου και του μηχανολογικού σχεδιασμού του.

Είναι κατανοητό πως οι απαιτήσεις για την περιγραφή ενός αντικειμένου δεν καλύπτονται μόνο με τη μελέτη ενός βιβλίου. Πρέπει να συνδυάσουμε τη μελέτη και την παρακολούθηση των εξελίξεων, με συζητήσεις, εφαρμογές, επίλυση αποριών και γενικότερων ερωτημάτων.

Η σημασία του μηχανολογικού σχεδιασμού του αρότρου για το μηχανολόγο, το γεωπόνο, τον αγρότη και άλλους, είναι πολύ μεγάλη. Η γνώση του συγκεκριμένου αντικειμένου μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε τη συνείδηση για την εξοικονόμηση ενέργειας και την εργασία με μεγαλύτερες ταχύτητες, οι οποίες είναι αναγκαίες στη γεωργία όταν πρέπει να επέμβουμε την κατάλληλη στιγμή. Η γνώση των εφαρμοσμένων τεχνολογιών, από τη μέθοδο της αντιγραφής με καλούπι, τη μέθοδο κατασκευής δοκιμών έως και τη δημιουργία λογισμικού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, θα βοηθήσει στην κατανόηση των μεθόδων μηχανολογικού σχεδιασμού που παρουσιάζονται. Στην εργασία αυτή γίνεται αναφορά αποκλειστικά σε υνάροτρα. Συνήθως στον όρο «άροτρα» περιλαμβάνονται τα υνάροτρα.

Ευχαριστώ τους φίλους και τους συναδέλφους που ήταν δίπλα μου. Τον κύριο Χ. Χατζηαντωνίου, για την πολύτιμη βοήθειά του στο μεταφραστικό έργο. Όπως και Σ. Πασσά για την στήριξη του στον προγραμματισμό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Σχεδιασμός και μηχανική αρότρου	7
1.2. Κατεργασία εδάφους	21
1.3. Στοιχεία του αρότρου	32
1.4. Οι δυνάμεις που επιδρούν στο άροτρο:	40
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ	50
3. ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ.	58
3.1. Γραφική αναπαράσταση	58
3.2. Πρότυπο μοντέλο αρότρου	59
4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ	68
4.1. Υλικά και μέθοδοι	69
4.2. Αποτελέσματα και συζήτηση	75
5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΩΜΑΤΩΝ	85
6. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ.	95
6.1 Στόχοι	97
6.2 Διαστάσεις του κοπτόμενου εδάφους και της θέσης της κόψης του υνιού στο σώμα του αρότρου.	101
6.3 Προβολή σώματος αρότρου στο κατακόρυφο - εγκάρσιο επίπεδο.	102
6.4 Περίγραμμα της κάθετης-εγκάρσιας προβολής.	104
6.5 Περίγραμμα της κόψης του	106
6.6 Περίγραμμα του αναστρεπτήρα	107
6.7 Τομές του σώματος του αρότρου με κατακόρυφα - διαμήκη επίπεδα	111
6.8 Πέρασμα του σώματος με κατακόρυφα - εγκάρσια επίπεδα	112
7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	140
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	141

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Άροτρο γενικά λέγεται το γεωργικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την ανύψωση, την αναστροφή και το θρυμματισμό του εδάφους, με σκοπό την προετοιμασία του για την καλλιέργεια και είναι ένας από τους βασικότερους συντελεστές της γεωργικής παραγωγής. Η ορθή επιλογή, η χρήση και η εκμετάλλευσή του, είναι βασικός παράγοντας για την επιτυχία της παραγωγικής διαδικασίας. Ο σχεδιασμός του αρότρου είναι ένα ουσιαστικό πρόβλημα που απασχολεί τον άνθρωπο για αρκετά χρόνια και δεν έχει λυθεί ακόμα εξολοκλήρου.

Το έδαφος πρέπει να αερίζεται και να αφομοιώνει τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας, ώστε να γίνουν η πολύτιμη για τα φυτά οργανική ουσία (χούμος). Με την αναστροφή και το θρυμματισμό του εδάφους θάβονται τα ζιζάνια, δημιουργούνται πόροι αέρα και το έδαφος γίνεται πιο ελαφρύ, έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η φυτρωτική ικανότητα των φυτών. Κατά αυτόν τον τρόπο γίνεται κατάλληλο για την αφομοίωση των λιπασμάτων και της οργανικής ουσίας από το ριζικό σύστημα των φυτών. Επίσης είναι το κατάλληλο εργαλείο για τη δημιουργία αυλακιών για τη σπορά και φύτευση.

Ιστορία του αρότρου.

Η καλλιέργεια του εδάφους ίσως είναι η παλαιότερη βιομηχανία στον κόσμο. Οι ιστορικοί γενικά δέχονται ότι το πρώτο μέσο που χρησιμοποιήθηκε ήταν πιθανώς μια ακατέργαστη, αιχμηρή κυρτή ράβδος ή ένα κλαδί δέντρου που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο για να σκαλίσει την επιφάνεια του εδάφους. Κατά συνέπεια με ένα χειροκίνητο σκαλιστήρι ο χρήστης μπορούσε να σκάψει το έδαφος και να το διαμορφώσει κατάλληλα, ώστε να μπορεί να σπαρθεί καλαμπόκι. Η προσπάθεια του ανθρώπου για επιβίωση, από νωρίς συνδέθηκε άμεσα με την επιτυχία της σοδειάς του και επομένως καλλιέργησε περισσότερο έδαφος προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του καλαμποκιού ώστε να επιβιώσει καλύτερα. Έγινε σύντομα προφανές ότι όσο καλύτερη ήταν η κατεργασία του εδάφους τόσο καλύτερη ήταν η βλάστηση και η ποιότητα της σοδειάς.

Ο άνθρωπος προσπαθούσε συνεχώς να γίνει αποδοτικότερος και εκείνα τα χειροκίνητα σκαλιστήρια σύντομα εξελίχθηκαν σε απλά άροτρα, από τους πρώτους Αιγυπτίους πάνω από 4000 έτη πριν, οι οποίοι, όπως φαίνεται από την νεολιθική ήδη περίοδο κατείχαν τεράστιες φυτείες σταριού και κριθαριού. Η χρήση του αρότρου χαρακτηρίζει λαούς με ανώτερο πολιτισμό, πράγμα που αποδεικνύει το γεγονός ότι το

άροτρο ήταν εντελώς άγνωστο στην Αμερική την Ωκεανία και στο μεγαλύτερο μέρος της Αφρικής.



Εικ.1.1. Έλξη πρωτόγονου αρότρου από τον άνθρωπο

Τα πρωτόγονα άροτρα έλκονταν από βόδια, καμήλες, ακόμη και ελέφαντες, λέγεται επίσης ότι σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούσαν ακόμα και γυναίκες. Τα ζώα συνέβαλαν στην ευκολότερη και γρηγορότερη άροση του εδάφους, με συνέπεια την αύξηση της παραγωγής των τροφίμων.



Εικ.1.2. Τα πρωτόγονα άροτρα έλκονταν από βόδια.

Το πρωτόγονο άροτρο έκανε ανοιχτό ρηχό αυλάκι με ώθηση του εδάφους μακριά και προς τις δυο πλευρές, και όχι αναστροφή όπως ξέρουμε σήμερα.[14] Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι έκαναν ιδιαίτερες προόδους στον σχεδιασμό του αν και φαίνονται πρωτόγονες στα σημερινά πρότυπα. Επίσης, πέτυχαν την ανάπτυξη πολλών ποικιλιών φυτών στο πολύ ξηρό κλίμα τους, με την επινόηση σύνθετων συστημάτων άρδευσης. Όπως απεικονίζεται σε πολλά από τα μνημεία τους, η ανάπτυξη του αρότρου από χειροκίνητες ράβδους σε εργαλεία ελκόμενα από ζώα, τους έβαλε πολύ μπροστά σε σχέση με άλλους πολιτισμούς. Εντούτοις, οι Έλληνες δεν ήταν μακριά σε εξέλιξη. Αρχικά απέδιδαν την κατασκευή του αρότρου στον Ελευσίνιο Τριπτόλεμο έπειτα από

υπόδειξη της θεάς Δήμητρας και αργότερα βελτίωσαν τα αιγυπτιακά άροτρα εγκαθιστώντας ρόδες. Αυτά ήταν γνωστά ως κυρτά άροτρα επειδή η δοκός στήριξης είχε κλίση προς τα εμπρός ώστε να μεταφέρεται το φορτίο έλξης στα ζώα. Οι επιπρόσθετες ρόδες παρείχαν πολύ καλύτερο έλεγχο στο χειρισμό και την ικανότητα να διαπράττουν ελιγμούς. Για την δοκό του σώματος, γνωστή ως σταβάρι και ως βάση χρησιμοποιήθηκε βελανιδιά, για τη δοκό έλξης ή ζεύξης με τα ζώα, λεύκα και για τα υνιά σίδηρος. Εκείνη την περίοδο ο σίδηρος ήταν πολύτιμος, έτσι το μέταλλο των υνιών του αρότρου διαμορφώθηκε σε όπλα και χρησιμοποιήθηκε σε περιόδους πολέμου. Εντούτοις, οι Ρωμαίοι ήταν πολύ αποδοτικοί με υπέρτατες προόδους, αλλά τα άροτρά τους ήταν απλά και άτεχνα στο σχεδιασμό. Αν και είχαν γίνει τεράστιες προόδους από τα απλά σκαλιστήρια, μέχρι τα πρώτα αυτά άροτρα ώστε να παράγεται καλά οργωμένο έδαφος, κατά την πρώτη εφαρμογή το έδαφος θα έπρεπε να οργώνεται σταυρωτά στις δεξιές γωνίες ώστε να εξασφαλιστεί η καλή προετοιμασία του εδάφους σε ολόκληρη την επιφάνειά του για τη σπορά.

Εκείνη την εποχή, η συνηθέστερη μέθοδος σχεδιασμού του αρότρου ήταν η χρήση καλουπιών με τα οποία αντέγραφαν και τροποποιούσαν τα άροτρα. Η αντιγραφή ήταν άλλοτε πιστή και άλλοτε με προσθήκη ή αφαίρεση μερών στο άροτρο. Μετά από την ολοκλήρωση των αλλαγών που επιθυμούσαν, εμβάπτιζαν το άροτρο σε διάπυρο χυτοσίδηρο για την κατασκευή του καλουπιού.

Μετά από τους Ρωμαίους, οι πρώτοι βρετανοί με ένα νόμο τους απαιτούσαν από τον κάθε γεωργό να φτιάξει το δικό του άροτρο, και ότι κανένας δεν είχε δικαίωμα χρησιμοποίησής του αν δεν το κατασκεύαζαν εκείνοι. Η λέξη "plow" (άροτρο) εμφανίζεται να προέρχεται από το Σαξονικό "plou" και μερικά από τα αρχεία της ιστορίας δείχνουν ότι ακόμη και οι Σάξονες αγρότες έδεναν τα ζώα που τραβούσαν τα άροτρα από τα κέρατα ή ακόμα και από τις ουρές τους για να διαπεράσουν το έδαφος με το εργαλείο. Αυτή η βάρβαρη συνήθεια επέζησε ακόμη και μέχρι το 17^ο αιώνα σε μέρη της Ιρλανδίας.

Μια μικρή προσπάθεια αλλαγής του σχεδιασμού του αρότρου έγινε στα μέσα του 16^{ου} αιώνα με τους Ολλανδούς, που είναι ανάμεσα στους πρώτους στη βελτίωση της μορφής του. Αυτή η αλλαγή στη μορφή ανακαλύφθηκε σύντομα στη βόρεια Αγγλία και τη Σκωτία με τον Joseph Foljambe από το Rotherham να κατασκευάζει και να κατοχυρώνει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα άροτρο, που τότε περιγράφηκε ως, το τελειότερο μέσο που χρησιμοποιήθηκε.

Γνωστό ως ταλαντευόμενο άροτρο Rotherham [19], επειδή δεν χρησιμοποιήθηκε κανένας τροχός εδάφους για τον έλεγχο του βάθους, ήταν όπως τα προηγούμενα άροτρα, κατασκευασμένο από ξύλο. Η διαφορά ήταν ότι τα επιπρόσθετα εξαρτήματα και το υνί ήταν από σίδηρο και ο αναστρεπτήρας και το υνί είχαν καλυφθεί με μια σιδερένια πλάκα. Ο νέος αυτός σχεδιασμός θεωρείται από όλους όσους είδαν το άροτρο κατά τη διάρκεια εργασίας, ότι το έκανε αποδοτικότερο και ελαφρύτερο στην έλξη από οποιοδήποτε άλλο είδος εκείνης της περιόδου. Αυτός ο σχεδιασμός αποδείχθηκε πολύ δημοφιλής, για περισσότερο από 30 έτη και χρησιμοποιήθηκε εκτενώς σε ολόκληρη τη χώρα. Ήταν ίσως το πρώτο που παράχθηκε από εργοστάσιο και σε μεγάλη κλίμακα.

Ένας από τους πρωτοπόρους στην εξέλιξη της γεωργίας ήταν ο Jethro Tull (1674-1741), γεννήθηκε στο Basildon το 1674 [16]. Παρότι ήθελε να συνεχίσει τις σπουδές του, ασχολήθηκε με τη γεωργία λόγω οικονομικών προβλημάτων. Δημιούργησε μεθόδους άροσης που το εκδόθηκαν 1731. Παρά την αρχική αντίσταση στις επαναστατικές ιδέες του Tull, τελικά υιοθετήθηκαν από μεγάλο αριθμό γαιοκτημόνων, και αποτέλεσαν βάσεις για τη σύγχρονη γεωργία. Οι προσπάθειες όμως δεν σταμάτησαν εκεί.

Ο άνθρωπος συνεχίζει πειραματίζεται, για να κάνει το άροτρο αποδοτικότερο και το 1763 στο Berwickshire, ο John Small [44], εφαρμόζει πρώτος, μαθηματικούς υπολογισμούς και μια ολόκληρη επιστήμη για τη μορφή του αναστρεπτήρα. Πειραματίστηκε με τις ποικίλες καμπύλες - κυρτότητες του αναστρεπτήρα και δημιούργησε πολλά δοκιμαστικά σχέδια, κατασκευάζοντας τελικά ένα άροτρο εξολοκλήρου από χυτοσίδηρο που ανέστρεφε το έδαφος αποδοτικότερα, με το λιγότερο δυνατό φορτίο έλξης, τη λιγότερη καταπόνηση και την μικρότερη κόπωση στο ζευγολάτη. Με την πάροδο των ετών, το "Σκωτσέζικο" αυτό άροτρο, όπως ήταν γνωστό, ήταν η αρχή του αρότρου που όλοι ξέρουμε σήμερα. Την ίδια εποχή έγιναν προσπάθειες για την μαθηματική έκφραση του σχήματος του αναστρεπτήρα. Ένας από αυτούς που μελέτησαν το πρόβλημα ήταν και ο τρίτος πρόεδρος των Η.Π.Α. Thomas Jefferson [42] ο οποίος και κατασκεύασε, με μια γεωμετρική μέθοδο, το 1798 άροτρο με ελικοειδή αναστρεπτήρα. Το 1830 ο John Deere [41] κατασκευάζει ένα άροτρο εξολοκλήρου από χάλυβα.

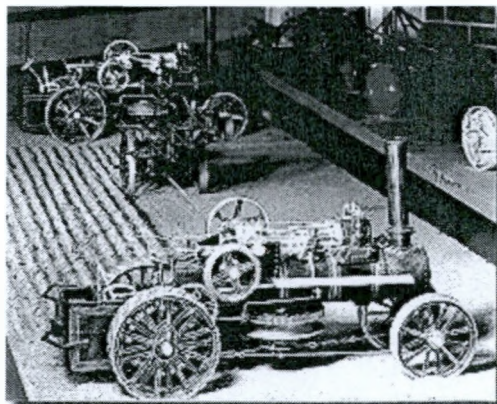
Όπως έκαναν και εκείνοι πρέπει να συνεχίσουμε και εμείς την προσπάθεια για βελτίωση. Η ανάπτυξη των αρότρων, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών έχει τεράστιες εξελίξεις. Τα άροτρα που έλκονταν από άλογα, πολύ σύντομα εκτοπίστηκαν

από μονάδες ατμού που ήταν αποδοτικότερες, με μεγάλα πολύβουνα ισορροπημένα άροτρα, που ήσυχα κυλούσαν πάνω-κάτω στους αγρούς μόνο με τον ήχο μιας ατμοσειρήνας που έδειχνε την αλλαγή της κατεύθυνσης του οργώματος.



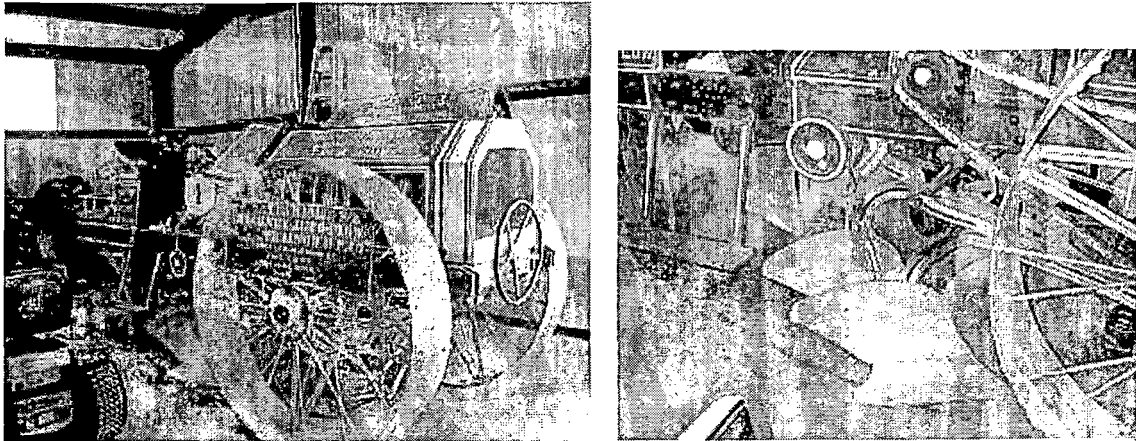
Εικ.1.3. Άροση με ατμοκίνητους γεωργικούς ελκυστήρες.

Το μεγάλο βάρος των ατμοκίνητων γεωργικών ελκυστήρων (15 - 20 τόνοι) αποτελούσε σοβαρό εμπόδιο για τη χρησιμοποίησή τους για την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους. Ο πιο εύχρηστος τροχοφόρος γεωργικός ελκυστήρας ανέλαβε στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα [14].



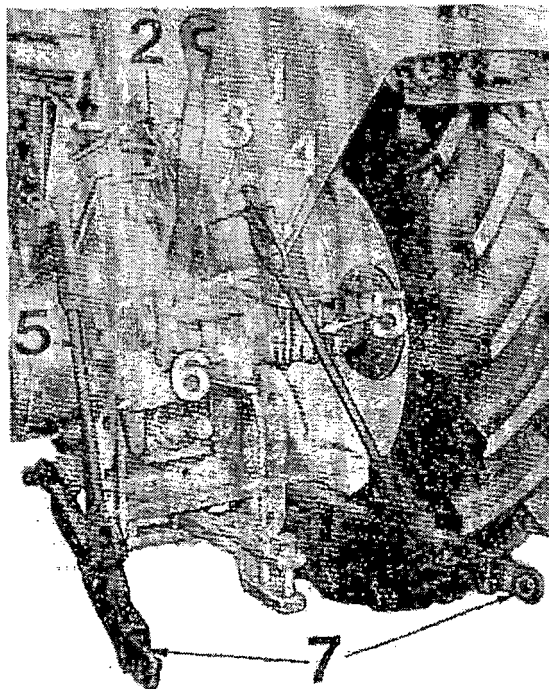
Εικ.1.4. Σύστημα αρότρων ελκόμενων από δύο ατμοκίνητους γεωργικούς ελκυστήρες, 1907.

Ο γεωργικός ελκυστήρας, που αρχικά ήταν ατμοκίνητος, ήταν η έναρξη στην εξέλιξη μέχρι τη μορφή που όλοι γνωρίζουμε σήμερα. Έγιναν πολλές προσπάθειες που δεν απέφεραν καρπούς για το αυτοκινούμενο άροτρο αρχικά από το γερμανό R.Stock το 1907 και έπειτα από τον Hackney το 1912 [43].



Εικ.1.5. Αυτοκινούμενο άροτρο από το Hackney το 1912.

Το σύστημα ανάρτησης τριών σημείων του Harry Ferguson εμφανίστηκε το 1920, άλλαξε ολοκληρωτικά τη σύνδεση των γεωργικών παρελκομένων και την απόδοση των μηχανών και τώρα πλέον έχει καθιερωθεί [1].



Εικ.1.6. Η εξάρτηση ανάρτησης του γεωργικού ελκυστήρα.

1) Άνω σημείο ζεύξης. 2) Χειρομοχλός ρυθμίσεως του μήκους του άνω σημείου. 3) Βραχίονας ανυψώσεως. 4) Χειρομοχλός ρυθμίσεως του μήκους της ράβδου ανυψώσεως. 5) Ράβδοι ανυψώσεως. 6) Μπλοκ ταλαντώσεων. 7) Κάτω σημεία ζεύξης.

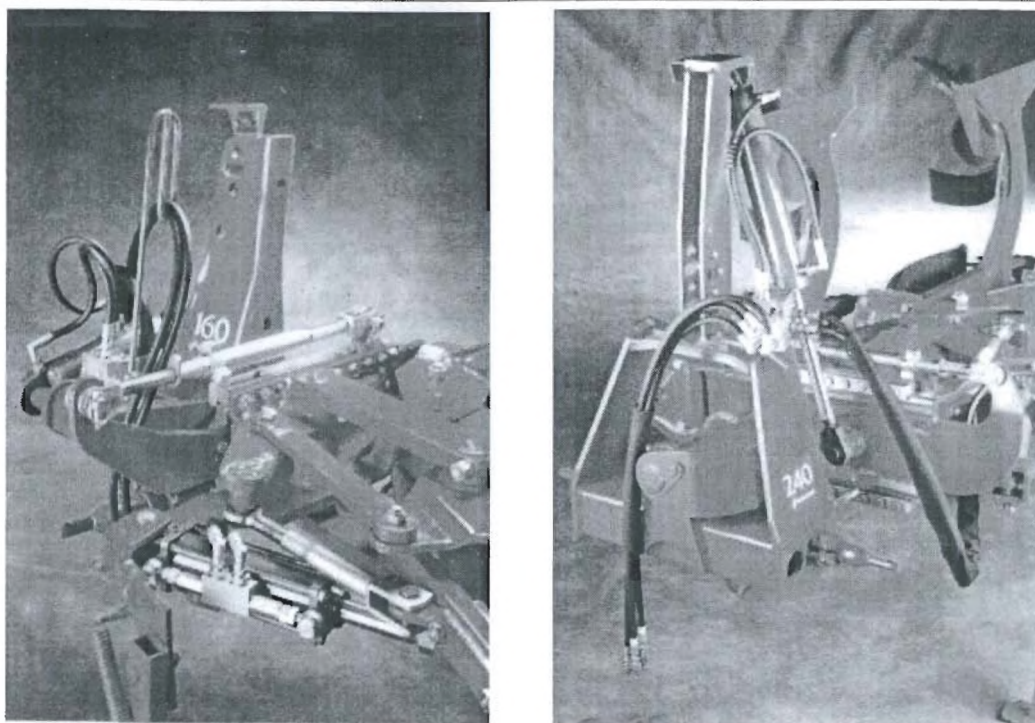
Για τελευταία τριάντα έτη

Για τους περισσότερους από μας τα τελευταία 30 έτη είναι άμεσα συσχετισμένα με το σχεδιασμό, επειδή παρατηρούμε μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα πολλές αλλαγές στο σχεδιασμό του αρότρου. Έγιναν πολλές έρευνες και εργασίες που αφορούσαν τη βελτίωση του αναστρεπτήρα και του υνιού, τη μείωση του βάρους, την αύξηση της αντοχής, τη μείωση της αντίστασης που προβάλλει το έδαφος στην κίνηση, την αύξηση του βαθμού απόδοσης στον αγρό, τις ευκολίες συντήρησης και επισκευών και άλλα, με σκοπό τη μείωση του κόστους και τη βελτίωση της ποιότητας του οργώματος. Παραδείγματος χάριν, το αναστρεφόμενο άροτρο αυτή τη στιγμή υπερیشύει λόγω της απλότητας και της δυνατότητάς του να παραγάγει αγρούς σε επίπεδα αλλά και λόγω της εξοικονόμησης χρόνου άρα και χρήματος. Ένα ουσιαστικό μέρος της σύγχρονης πρακτικής καλλιέργειας, με τον πλουσιότερο εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε ποτέ είναι τα ψεκαστικά μηχανήματα, οι θεριζοαλωνιστικές, οι θεριστικές μηχανές ζαχαρότευτλων αλλά μερικά δεν θα απέδιδαν σε ικανοποιητικό βαθμό αν δεν χρησιμοποιούνταν τα αναστρεφόμενα άροτρα. Μελετώντας λίγο καλύτερα, μπορούμε να επιλέξουμε μερικές σημαντικές αλλαγές στο σχεδιασμό, που είναι απαραίτητες για να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες και οι πιέσεις κατά την καλλιέργεια[29].

1.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΡΟΤΡΟΥ

Υδραυλικό σύστημα

Χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των σημερινών αρότρων είναι ότι φέρουν υδραυλικά συστήματα ανάρτησης για τη διευκόλυνση της ζεύξης και τη ρύθμιση του πλάτους της 1^{ης} αυλακιάς [2]. Επίσης φέρουν υδραυλικές βαλβίδες αντεπιστροφής για την αλλαγή διεύθυνσης της κίνησης των κυλίνδρων, αυτόματη περιστροφή και ασφάλιση στην οριζόντια θέση στα αναστρεφόμενα.



Εικ.1.7. Υδραυλικό σύστημα α) ζεύξης και ρύθμισης του πλάτους της πρώτης αυλακιάς, β) περιστροφής και οριζοντίωσης αναστρεφόμενου.

Τα παλαιά μοχλικά μηχανικά συστήματα δεν θα ήταν σε θέση να πραγματοποιήσουν ελιγμούς με τα σημερινά άροτρα, δεδομένου ότι είναι πολύ μεγαλύτερα και βαρύτερα και συχνά χωρίς καλά υπολογισμένο κέντρο βάρους. Η υδραυλική ανάρτηση υποστηρίζεται επίσης με περαιτέρω ρύθμιση για την ευθυγράμμιση του πλαισίου. Αυτό επιτρέπει στο πλαίσιο του αρότρου να ταλαντευτεί παράλληλα με το γεωργικό ελκυστήρα για να αποφευχθούν χτυπήματα του οπίσθιου τροχού ή των σωμάτων του αρότρου στο έδαφος. Επίσης βελτιώνει τη σταθερότητα και μειώνει τις υψηλές δυνάμεις που ασκούνται τόσο στο άροτρο όσο και στο γεωργικό ελκυστήρα.

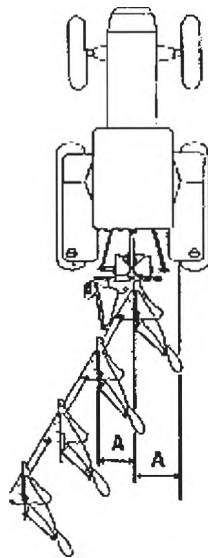
Τροχοί.

Τριάντα χρόνια πριν, εάν είχατε ένα γεωργικό ελκυστήρα 75hp στο αγρόκτημα θεωρούνταν μεγάλο και στις περισσότερες περιπτώσεις είχε την κίνηση μόνο στους δύο τροχούς. Συνηθίζαμε να δουλεύουμε με άροτρα με ρύθμιση τροχών από κέντρο σε κέντρο 142 - 152cm (56 ή 60in), όχι περισσότερο. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των σύγχρονων γεωργικών ελκυστήρων είναι η κίνηση και στους τέσσερις τροχούς (4WD), ο εξοπλισμός με φαρδύτερα ελαστικά και με εσωτερική ρύθμιση των ελαστικών στα 1800mm για να μεταδώσουν τις υψηλές ιπποδυνάμεις στο έδαφος. Τα πιο πρόσφατα σχέδια αναστρεπτήρων που έχουν προσαρμοσμένες προεκτάσεις για μεγαλύτερο

πλάτος αυλακιάς, δυστυχώς δεν απέφεραν καρπούς στην προσπάθεια αντιμετώπισης του φορτίου με φαρδιά ελαστικά και δεν απέδιδαν καλά σε όλα τα εδάφη. Εάν απαιτούνται αυλάκια φαρδύτερα στο κάτω μέρος, τότε αυξήσεις στο «πέταγμα» του αναστρεπτήρα είναι απαραίτητες, επειδή το έδαφος πρέπει να φεύγει από τον αναστρεπτήρα με μεγαλύτερη ταχύτητα, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη μορφή του αναστρεπτήρα. Αλλά, αυτό έχει το σημαντικότερο μειονέκτημα του αρκετά αυξανόμενου φορτίου με τη φτωχή απόδοση του αναστρεπτήρα στα κολλώδη εδάφη.

Ρύθμιση πλάτους πρώτης αυλακιάς.

Οι ρυθμίσεις των τροχών του γεωργικού ελκυστήρα καθορίζουν το πλάτος της πρώτης αυλακιάς του αρότρου και ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους. Επομένως, τα άροτρα πρέπει να έχουν κάποιο τρόπο ρύθμισης του πλάτους της πρώτης αυλακιάς ώστε να εξασφαλιστεί ότι το άροτρο είναι συμβατό στις ρυθμίσεις των τροχών του γεωργικού ελκυστήρα. Στις ημέρες των συμβατικών αρότρων, το πλάτος της πρώτης αυλακιάς ρυθμιζόνταν με την περιστροφή ενός σταυρωτού άξονα για να επιτραπεί στο άροτρο να οδηγηθεί είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα, καθιστώντας κατά συνέπεια την πρώτη αυλακιά φαρδύτερη ή στενότερη.



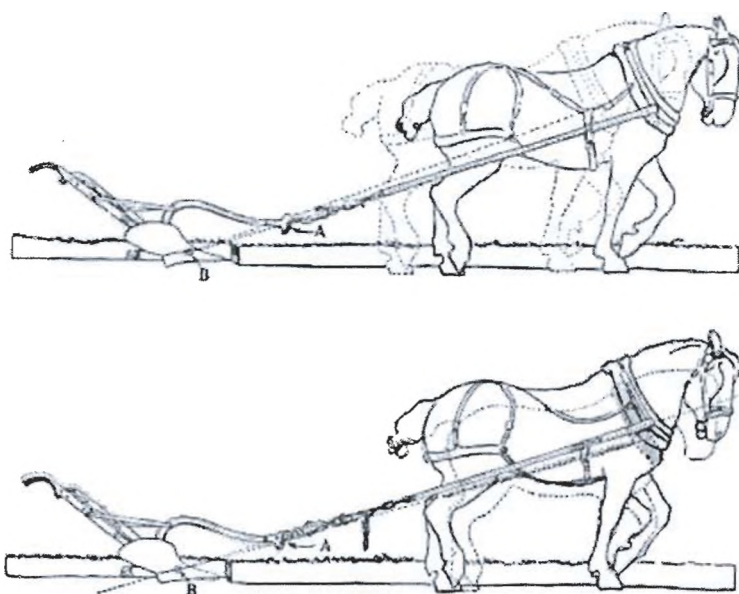
Εικ.1.8. Ρύθμιση πλάτους πρώτης αυλακιάς.

Ακόμα και σήμερα μερικές κατασκευές χρησιμοποιούν παρόμοια συστήματα οδήγησης με στροφή του πλαισίου του αρότρου, πράγμα που είναι εντελώς λάθος, δεδομένου ότι μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο άροτρο ή ακόμα και το γεωργικό ελκυστήρα, λόγω μιας αύξησης ή μείωσης της πίεσης του εδάφους στην ευθυντηρία. Ο σωστός τρόπος είναι να κινηθεί ολόκληρο κυριολεκτικά το άροτρο λοξά σε γωνία 90° με την κατεύθυνση της κίνησης ώστε να αλλάξει η ρύθμιση του πλάτους της πρώτης

αυλακιάς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός απλού συστήματος φωτογραφικών διαφανειών και ραγών, το οποίο παρέχει το αποτέλεσμα που απαιτείται με πολύ μικρή αλλαγή στην αντίσταση που ασκείται στην ευθυντηρία. Επιτρέπει επίσης, με την προσαρμογή ενός υδραυλικού κυλίνδρου, την εύκολη εν κινήσει ρύθμιση κατά την εργασία σε λοφώδεις περιοχές.

Πλάτος αυλακιάς

Με την πάροδο των χρόνων, το πλάτος της αυλακιάς έχει αυξηθεί από πολύ μικρό 15cm. σε 51cm. σήμερα. Κατά τη δεκαετία του 1930, τα άροτρα που έλκονταν από άλογα και τα πρώτα άροτρα γεωργικών ελκυστήρων εργάζονταν σε αυλάκια με πλάτος από 15 έως 23cm. α) λόγω της περιορισμένης δύναμης έλξης, β) και λόγω του ότι τα άλογα χρησιμοποιούνταν ακόμα εκτενώς στο έδαφος. Το μέσο πλάτος του ποδιού ενός αλόγου είναι γύρω στις 43cm. επομένως, αφού το έδαφος κατεργαζόταν και στη συνέχεια σπέρνονταν, συχνά με το χέρι, ο σπόρος κατά τη σπορά θα κυλούσε και θα έμπαινε στην διαμορφωμένη σε "V" αυλακιά.

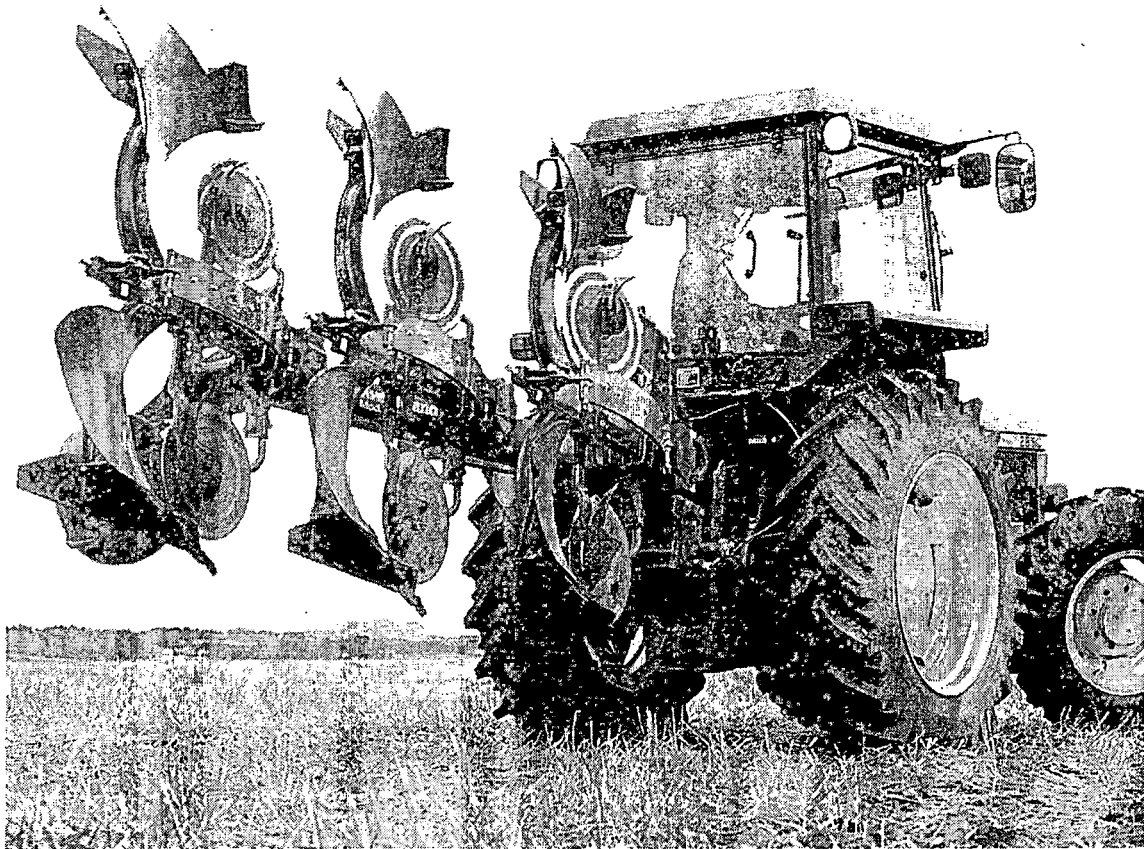


Εικ.1.9. Το μέσο πλάτος του ποδιού ενός αλόγου είναι γύρω στις 18cm.

Μετά από την άροση σβαρνίζονταν σταυρωτά καλύπτοντας τους σπόρους με έδαφος. Αφού βλάσταιναν, οι σπόροι, τα φυτά ήταν χωρισμένα σε σειρές των 18cm., ακριβώς όσο χρειαζόνταν για να πατήσει το πόδι αλόγων κατά το πέρασμα μέσω της καθιερωμένης φυτείας για τη συγκομιδή

Σχεδιασμός πλαισίων

Τα πρώτα αναστρεφόμενα άροτρα κατασκευάστηκαν από ορθογωνικής διατομής συμπαγείς χαλύβδινες μπάρες κοχλιωμένες μεταξύ τους για να διαμορφώσουν πλαίσια σχήματος "A" στα οποία προσαρμόζονταν τα μεμονωμένα σώματα. Η χρησιμοποίηση αυτού του συστήματος σε σημερινά μεγάλα πολύυνα άροτρα θα προκαλούσε σημαντικό πρόβλημα, εξαιτίας της παραμόρφωσης, της φτωχής ευθυγράμμισης των σωμάτων και του επιπρόσθετου βάρους. Τα σύγχρονα πλαίσια παράγονται με μονοκόμματο πλαίσιο, που υπόκεινται θερμική κατεργασία για να αποκτήσει αντοχή και για να ελαχιστοποιηθεί το βάρος.



Εικ.1.10. Αναστρεφόμενο άροτρο.

Οι κατασκευές, χωρίς περίπλοκο εξοπλισμό με θερμικές επεξεργασίες, φτιάχνονται με συγκολλήσεις, που είναι βαριές και επιπλέον βάζουν μεγάλες δυνάμεις στο οπίσθιο τμήμα του γεωργικού ελκυστήρα. Το πλαίσιο ενός αρότρου πρέπει να έχει αντοχή στις μεγάλες στρεπτικές δυνάμεις, ειδικά όταν το άροτρο βρίσκεται στη θέση μεταφοράς και επομένως πρέπει να είναι εύκαμπτο ώστε να απορροφά τις πιέσεις και τα φορτία, όμως να είναι και αρκετά άκαμπτο ώστε να διατηρεί με ακρίβεια την ευθύγραμμη πορεία της αυλακιάς.

Ρύθμιση πλάτους αυλακιάς

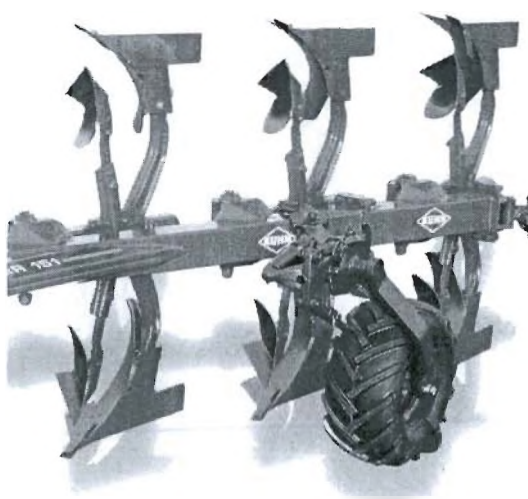
Τα περισσότερα από τα πρώτα αναστρεφόμενα άροτρα είχαν πλάτος αυλακιάς 30 ή 36cm. Για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα, η παραγωγικότητα και η προσαρμοστικότητα των αρότρων, οι αυλακίες έπρεπε να γίνουν πιο πλατιές και να επιδέχονται ρυθμίσεις. Αυτό όχι μόνο βοήθησε στην προσαρμογή του αρότρου στην ποικιλομορφία των εδαφικών συνθηκών, αλλά και παράλληλα μείωσε τα επίπεδα εμπορικού στοκ και κατασκευών. Στα τέλη της δεκαετίας του '70, τα πλαίσια των αρότρων έμπαιναν με σφήνες, τρύπες και παράλληλους συνδέσμους ώστε να επιτραπεί η εύκολη αλλαγή του πλάτους της αυλακιάς. Όπως και σήμερα, η παραγωγή ήταν βασικός παράγοντας και τα 41cm. άροτρα άρχισαν να εμφανίζονται στην Ευρώπη. Πολλές φορές οι παλαιότεροι από εμάς έλεγαν πως δεν θα οργώσουμε ποτέ με πλάτος μεγαλύτερο από 36cm. όμως, αποδείχτηκε πως έκαναν λάθος, επειδή τώρα τα άροτρα είναι διαθέσιμα σε πλάτη πάνω από 51cm. Αυτό δεν ήταν δυνατό χωρίς την ανάπτυξη μιας νέων μορφών αναστρεπτήρα που επιτρέπουν πιο πλατιές αυλακίες και μεγαλύτερες ταχύτητες εργασίας. Με ένα νέο σχεδιασμό του αναστρεπτήρα, το σύστημα μεταβαλλόμενου-πλάτους έγινε σύντομα δημοφιλές, με ευρεσιτεχνία, λόγω της μεγάλης αποδοτικότητας παραγωγής του (περισσότερα στρέμματα ανά ημέρα).



Εικ.1.11. Μεταβαλλόμενο πλάτος εργασίας.

Τροχός ελέγχου του βάθους κατεργασίας.

Στα φερόμενα άροτρα όταν το σύστημα της υδραυλικής ανάρτησης είναι διπλής ενέργειας η σταθεροποίηση του βάθους γίνεται με το υδραυλικό σύστημα. Συνήθως όμως χρησιμοποιείται η ρύθμιση αντίστασης (draft control) οπότε το βάθος δεν παραμένει εντελώς σταθερό, ιδιαίτερα όταν το έδαφος δεν έχει ομοιογενή μηχανική σύσταση. Το ίδιο επίσης συμβαίνει και όταν η επιφάνεια του παρουσιάζει ανωμαλίες. Όταν είναι επιθυμητό σταθερό βάθος, η ρύθμιση είναι συνήθως συνθέτη ή ακόμη και ελεύθερη. Στην περίπτωση αυτή τη σταθεροποίηση του βάθους άροσης αναλαμβάνει ένας τροχός επιφανείας, όπως συμβαίνει και σε φερόμενα άροτρα με υδραυλικά συστήματα απλής ενέργειας.



Εικ.1.12. Τροχός ελέγχου του βάθους κατεργασίας ρυθμιζόμενος υδραυλικά με ανάρτηση.

Σε ημιφερόμενα άροτρα ο τροχός είναι πάντα απαραίτητος για τη ρύθμιση του βάθους κατεργασίας. Πολλές φορές υπάρχουν δύο εκ των οποίων ο ένας κινείται στην αυλακιά και ο άλλος στο ακαλλιέργητο έδαφος. Συνήθως, η ρύθμιση του εμπρόσθιου τμήματος του αρότρου γίνεται μέσω του υδραυλικού συστήματος του ελκυστήρα και του οπίσθιου με τροχό ελέγχου του βάθους κατεργασίας με υδραυλικό κύλινδρο. Σε παλαιότερους τύπους αρότρου η ρύθμιση ήταν μηχανική.

Καθαρισμός αρότρου

Ένας από τους σημαντικότερους τρόπους που λειτουργεί η ολίσθηση του εδάφους πάνω στο σώμα του αρότρου είναι ο καθαρισμός του εργαλείου. Καθαρισμός είναι η μετακίνηση του εδάφους πάνω στην επιφάνεια του εργαλείου χωρίς να κολλήσει, και αρκετά γρήγορα ώστε να αποφευχθούν συσσωματώματα του εδάφους. Ο πρώτος που ασχολήθηκε με τον «αυτοκαθαρισμό» του αρότρου ήταν ο σιδεράς John Deere [41] από το Vermont το 1847. Εφεύρε μια λάμα που καθαρίζονταν χωρίς την επέμβαση του ανθρώπου και συνέδεσε το υνί και τον αναστρεπτήρα ώστε να αποτελούν ένα σώμα. Ήταν ένα πρωταρχικό στάδιο στη βιομηχανία των γεωργικών μηχανημάτων.



Εικ.1.13. Αρότρο του Jhon Deere.

Με τη μελέτη της μηχανικής του καθαρισμού κατά μήκος απλών επιφανειών συμπεράναν ότι η δυνατότητα καθαρισμού μιας επιφάνειας επηρεάζεται από το συντελεστή τριβής εδάφους-μετάλλου, το συντελεστή τριβής του εδάφους δηλαδή την τριβή μεταξύ των κόκκων του εδάφους, τη γωνία της προσέγγισης του εργαλείου, την συνοχή του εδάφους, και την συνάφεια - προσκόλληση του εδάφους.

Ο καθαρισμός θα εμφανιστεί εφόσον η αντίσταση τριβής στην επιφάνεια επαφής εδάφους-εργαλείου είναι μικρότερη από την αντίσταση σε μια παράλληλη επιφάνεια επαφής εδάφους-εδάφους [8]. Όταν ο καθαρισμός είναι επαρκής, το έδαφος ρέει πάνω από το εργαλείο κατά μήκος μιας πορείας που καθορίζεται από τη μορφή του εργαλείου. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει καθαρισμός, το έδαφος ρέει πάνω από μια στρώση εδάφους που επικάθεται στην επιφάνεια του εργαλείου, με συνέπεια την αύξηση του φορτίου και τη μείωση της απόδοσης.

Στην πράξη, η γωνία τριβής εδάφους-μετάλλου είναι συνήθως μικρότερη από τη γωνία αντίστασης της κοπής του εδάφους. Επομένως, μια αύξηση στην πίεση πάνω στον αναστρεπτήρα θα αυξήσει την αντίσταση κοπής του εδάφους περισσότερο από την αντίσταση τριβής εδάφους-μετάλλου και έτσι θα βελτιώσει τον καθαρισμό. Ο μη καθαρισμός είναι πιθανό να εμφανιστεί σε χαμηλά σημεία ή σε άλλες ανωμαλίες της επιφάνειας, στα τμήματα με τραχιά επιφάνεια, και σε άλλα τμήματα με χαμηλή πίεση. Το αυξανόμενο ποσοστό κυρτότητας του αναστρεπτήρα από το εμπρόσθιο προς στο οπίσθιο τμήμα κατά μήκος της πορείας του εδάφους τείνει να εξισώσει τις δυνάμεις επαφής εδάφους-μετάλλου και να βελτιώσει τον καθαρισμό με την αποφυγή τμημάτων με χαμηλή πίεση.

Οι δυνάμεις συνοχής λόγω ενός λεπτού φιλμ υγρασίας που υπάρχει έχουν χαρακτηριστική επιρροή στην τριβή. Η χρησιμοποίηση ενός υλικού που δεν επηρεάζεται από την υγρασία, μπορεί να μειώσει την προσκόλληση. Αναστρεπτήρες με επικάλυψη από ασβεστοκονίαμα καθαρίζονταν καλύτερα σε κολλώδη εδάφη σε σύγκριση με χάλυβα, σίδηρο, γυαλί, ορείχαλκο, ή αλουμίνιο. Αναφέρεται επίσης ότι σε περιπτώσεις στις οποίες η θερμοκρασία βελτίωσε τον καθαρισμό με τη μείωση της προσκόλλησης. Οι ξύλινες γρίλιες που εμποτίζονται με παραφίνη ή λινέλαιο (λάδι από λινάρι) καθαρίζονται καλύτερα από αναστρεπτήρα με χαλύβδινες γρίλιες σε αργιλώδη εδάφη, πιθανώς λόγω της λιγότερης προσκόλλησης. Ένας αναστρεπτήρας με γρίλιες καθαρίζει καλύτερα από συμπαγές αναστρεπτήρα επειδή η μικρότερη επιφάνεια επαφής οδηγεί σε μείωση των δυνάμεων συνοχής και αύξηση της πίεσης του εδάφους.

Το Τεφλόν (polytetrafluoroethylene) είναι ένα αδιάβροχο πλαστικό που χρησιμοποιήθηκε σε ορισμένες περιοχές με μαλακά εδάφη (μη βραχώδη) για τον εύκολο καθαρισμό σε άροτρα τύπου ώθησης. Τα φύλλα του υλικού κοχλιώνονται μερικά πάνω στον αναστρεπτήρα και αντικαθίστανται όταν φθείρονται. Η υπερβολική φθορά από τη χρήση είναι ο κύριος παράγοντας που περιορίζει τη χρήση πλαστικών καλυμμάτων, χαμηλής αντοχής σε τριβή, σε εργαλεία οργώματος. Η διάρκεια ζωής των καλυμμάτων από τεφλόν στα μαλακά εδάφη (μη βραχώδη) είναι προφανώς αποδεκτή, αλλά οι δοκιμές USDA έδειξαν μικρή διάρκεια ζωής, για λίγα τετραγωνικά χιλιόμετρα ανά σώμα 36cm (14 in). για φύλλα τεφλόν πάχους 0.5cm (0,2 in.) σε ένα αρκετά τραχύ αργιλώδες έδαφος. Το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας είχε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό φθοράς από χρήση σε σχέση με το τεφλόν αλλά είναι αρκετά οικονομικό.

Μια άλλη προσέγγιση στη μείωση της τριβής εδάφους-μετάλλου και τη βελτίωση του καθαρισμού είναι η εφαρμογή ρεύματος αέρα πάνω στην επιφάνεια επαφής του εδάφους για να παραχθεί ένα στρώμα αέρα που χωρίζει τις δύο επιφάνειες που κινούνται, η μια σχετικά με την άλλη. Ο αέρας από έναν συμπιεστή που παίρνει κίνηση από το γεωργικό ελκυστήρα μπαίνει σε ένα θάλαμο συμπίεσης στο πίσω μέρος του αναστρεπτήρα και μέσω ενός δικτύου των μικρών οπών περνά στο μέτωπο του αναστρεπτήρα. Η αποτελεσματικότητα αυτού του σχεδίου επηρεάζεται από τη διαπερατότητα του χώματος στη ροή του αέρα, δεδομένου ότι απαιτείται αντίσταση ροής, για να ενισχυθεί η πίεση του αέρα μεταξύ εδάφους και αναστρεπτήρα. Οι εργαστηριακές δοκιμές έχουν δείξει ότι η χρήση της αρχής λίπανσης αέρα μπορεί ουσιαστικά να μειώσει το φορτίο στα εργαλεία οργώματος σε μερικούς τύπους εδάφους και να βελτιώσει τον καθαρισμό, αλλά για τη δημιουργία στρώματος αέρα απαιτείται ιπποδύναμη τουλάχιστον πέντε ίππων για να εξοικονομήσουμε φορτίο ενός ίππου.

Η χρησιμοποίηση μιας κινούμενης επιφάνειας για να μεταφέρει το έδαφος είναι ένας άλλος τρόπος τη μείωση της τριβής. Δοκιμές στις οποίες ο συμπαγής αναστρεπτήρας αντικαταστάθηκε από ατελείωτες ζώνες και από μια σειρά ξύλινων κυλίνδρων δεν απέδωσαν. Τα κινούμενα μέρη σε τέτοιου είδους διατάξεις είναι δαπανηρά και εισάγουν προβλήματα στο σχεδιασμό και τη συντήρηση.

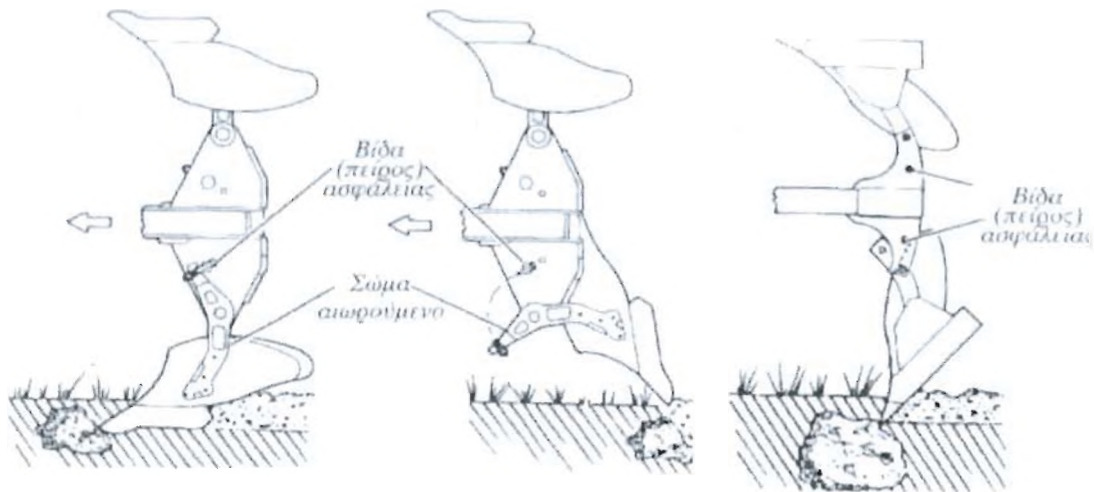
Προστασία αρότρου.

Η ευρεία αποδοχή των αναρτόμενων και ημιαναρτόμενων αρότρων εισάγει την ανάγκη ιδιαίτερης προστασίας υπερφόρτωσης των βάσεων του αρότρου με διατάξεις που λέγονται μηχανισμοί ασφαλείας. Η τάση αύξησης της ταχύτητας κίνησης κάνει εντονότερη αυτή την ανάγκη. Οι μηχανισμοί ασφαλείας είναι ποικίλοι, μπορούν όμως να διαχωριστούν σε μηχανισμούς: α) με πείρο β) με κασάνια γ) αυτόματης επαναφοράς [3].

α. Μηχανισμοί με πείρο

Στις διατάξεις αυτές το σώμα στερεώνεται στη βάση (σταβάρι) με έναν πείρο (ή βίδα) ορισμένης αντοχής. Μόλις το σώμα αντιμετωπίσει ένα εμπόδιο ο πείρος κόβεται

και το σώμα αιωρείται προς τα πίσω (εικ.1.14) γύρω από ένα άξονα περιστροφής. Αυτός ο άξονας είναι μια δεύτερη βίδα.

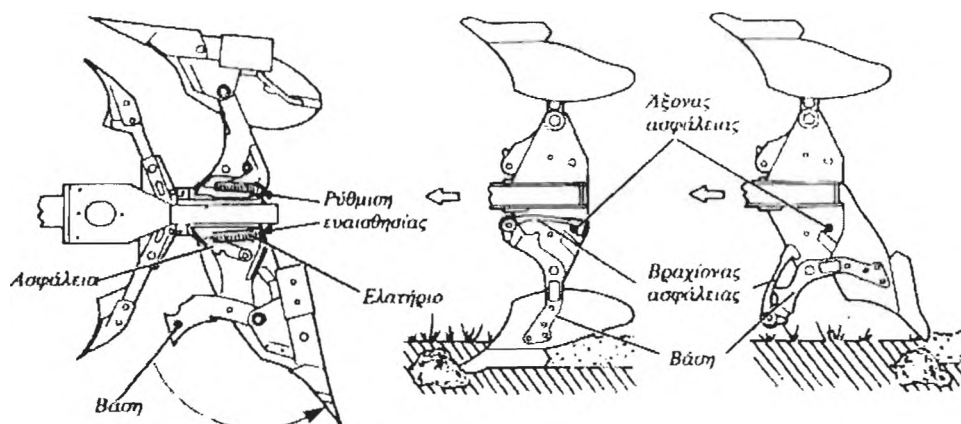


Εικ.1.14. Μηχανισμός ασφάλειας με βίδα ή πείρο.

Για να λειτουργήσει πάλι ανασηκώνεται το άροτρο και ο χειριστής επαναφέρει το σώμα στη θέση του και τοποθετεί νέο πείρο. Ο μηχανισμός είναι απλός και φθηνός. Λόγω όμως της δυσκολίας επαναφοράς χρησιμοποιείται σε αγρούς με ελάχιστα απροσπέλαστα εμπόδια.

β. Μηχανισμοί με κασάνια

Οι μηχανισμοί αυτοί, ποικίλοι στην κατασκευή, είναι μηχανικοί. Όταν το σώμα συναντήσει ένα εμπόδιο ελευθερώνεται από το μηχανισμό της κασάνιας και υποχωρεί προς τα πίσω. Για να επανέλθει στη θέση του ανασηκώνεται λίγο το άροτρο και ο ελκυστήρας κινείται προς τα πίσω ώστε το σώμα να ασφαλισθεί πάλι με το μηχανισμό. Η εικ.1.15 δείχνει δύο τύπους τέτοιων μηχανισμών. Στα αριστερά φαίνεται πως η ευαισθησία του μηχανισμού ρυθμίζεται μέσω ελατηρίων.



Εικ.1.15. Μηχανισμοί με κασάνια. Ρύθμιση της ευαισθησίας (αριστερά).

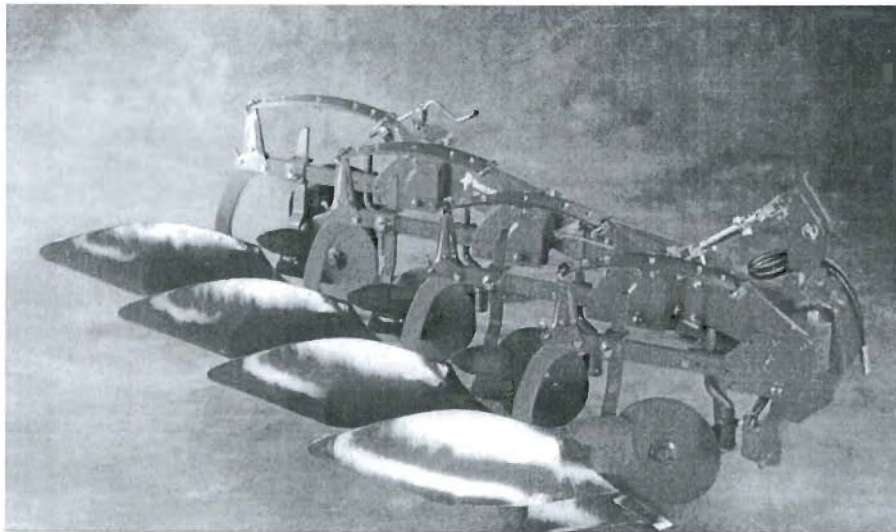
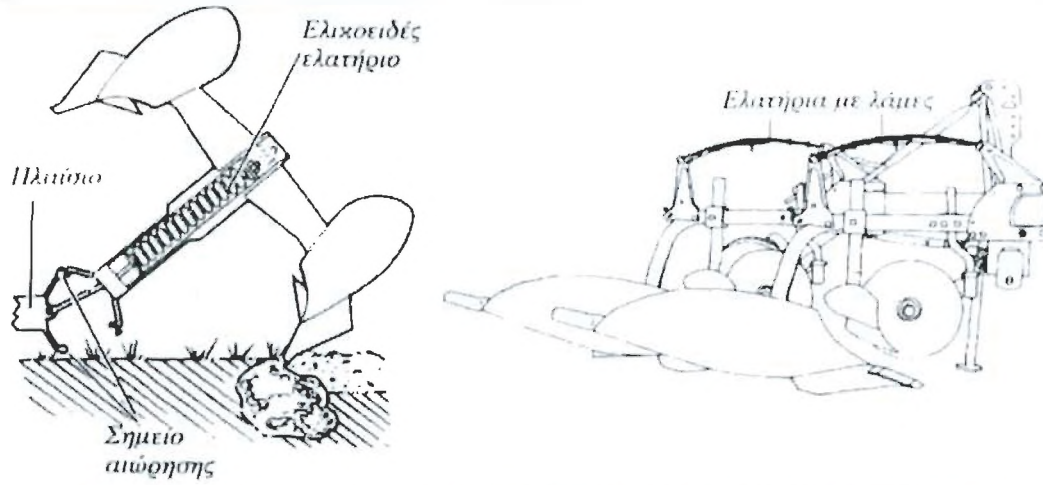
γ. Μηχανισμοί αυτόματης επαναφοράς

Οι μηχανισμοί αυτοί επιτρέπουν την υποχώρηση του σώματος μόλις συναντήσει κάποιο εμπόδιο και την αυτόματη επαναφορά στην θέση του μόλις το εμπόδιο ξεπεραστεί, χωρίς να διακοπεί η εργασία ή να κινηθεί ο ελκυστήρας προς τα πίσω. Λόγω αυτής της ευκολίας χρησιμοποιούνται συνήθως σε εδάφη με πολλές πέτρες, ρίζες ή άλλα απροσπέλαστα εμπόδια.

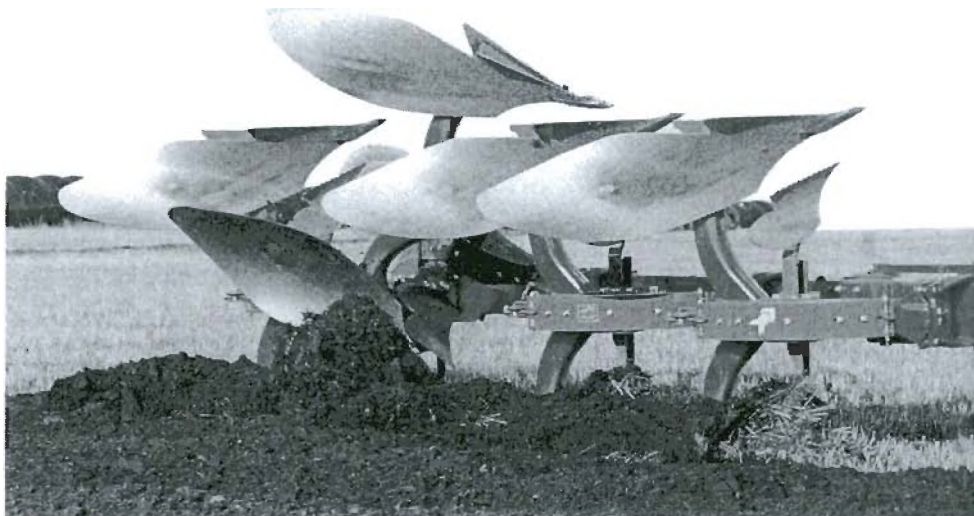
Στην κατηγορία αυτή γνωστή και με το όνομα "ασφάλεια non - stop" υπάρχουν οι μηχανισμοί:

α. Αυτόματης μηχανικής επαναφοράς

Στις διατάξεις αυτές υπάρχουν ελατηριωτοί μηχανισμοί διαφόρων μορφών με ελατήρια (σπειροειδή, ελικοειδή, με λάμες κ.ά.) τα οποία συνήθως τοποθετούνται στο πλαίσιο του αρότρου. Μόλις το σώμα συναντήσει ένα απροσπέλαστο εμπόδιο, το ελατήριο συσπειρώνεται ή εκτείνεται, ανάλογα με την κατασκευή και ελευθερώνει τα σώματα τα οποία συγκρατούνται από έναν άξονα ή πείρο γύρω από τον οποίο και περιστρέφονται. Μόλις το εμπόδιο ξεπεραστεί το σώμα επανέρχεται στη θέση του, με τη βοήθεια του ελατηρίου και ασφαρίζεται (εικ.1.16). Η ευαισθησία του μηχανισμού μπορεί να ρυθμισθεί με ειδικές διατάξεις που επενεργούν στην τάση του ελατηρίου.



Εικ.1.16. Μηχανισμοί ασφάλειας αυτόματης μηχανικής επαναφοράς.

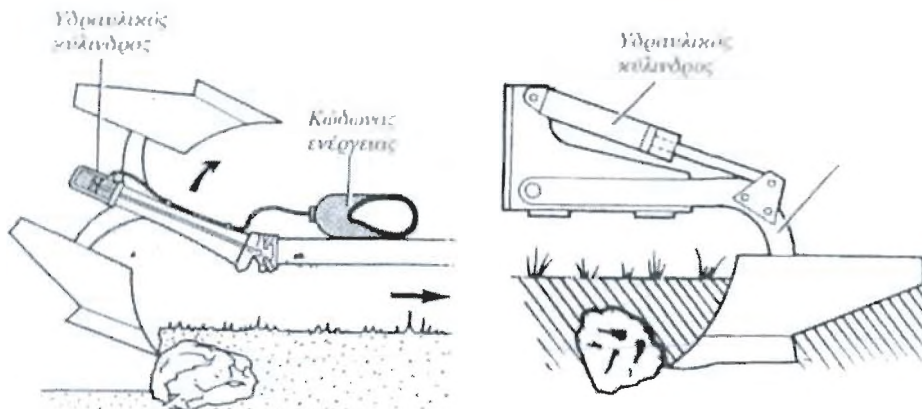


Εικ.1.17. Αναστρεφόμενο άροτρο με μηχανισμό ασφάλειας αυτόματης μηχανικής επαναφοράς με λάμες.

Όλοι οι μηχανισμοί ασφαλείας πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένοι ώστε να εξασφαλίζεται ότι η τριβή δεν θα αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της αντίστασης απελευθέρωσης του σώματος. Μερικά άροτρα με ελατηριωτό μηχανισμό ασφαλείας έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν προστασία από τα τραντάγματα πριν από την δράση του μηχανισμού, έτσι ώστε να μην προκαλούν απελευθέρωση του μηχανισμού όλες οι υπερφορτίσεις.

β. Αυτόματης υδραυλικής επαναφοράς

Στις διατάξεις αυτές, που χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια, υπάρχει υδραυλικός κύλινδρος σε κάθε σώμα, εμφανής ή ενσωματωμένος στο πλαίσιο ή στο σώμα του αρότρου και ένας κώδωνας συσσώρευσης ενέργειας. Ο κώδωνας μπορεί να είναι ένας για όλο το άροτρο ή ένας για κάθε σώμα (εικ.1.18). Η ενεργοποίηση του συστήματος γίνεται με το υδραυλικό σύστημα του ελκυστήρα.



Εικ.1.18. Μηχανισμοί ασφαλείας αυτόματης υδραυλικής επαναφοράς. Κύλινδρος ενσωματωμένος (αριστερά), εμφανής (δεξιά).

Η ρύθμιση της πίεσης (ευαισθησία του μηχανισμού) επιτυγχάνεται με πολλούς τρόπους και ελέγχεται συνήθως με ένα μανόμετρο. Η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει στα άροτρα με τέτοιους μηχανισμούς πολλές ρυθμίσεις ανάλογα με τις συνθήκες εργασίας. Όταν το σώμα συναντήσει εμπόδιο ο υδραυλικός κύλινδρος υποχωρεί, το λάδι οδηγείται προς τον κώδωνα και το σώμα οπισθοχωρεί, όπως και στα συστήματα αυτόματης μηχανικής επαναφοράς. Μόλις ξεπεραστεί το εμπόδιο, μέσω του κώδωνα επανέρχεται λάδι στον υδραυλικό κύλινδρο και το σώμα επιστρέφει στην αρχική του θέση.

Υδραυλικά συστήματα επαναφοράς έχουν τις βάσεις περιστροφής ακριβώς πάνω από το σημείο του υνιού, έτσι το σώμα δεν πηγαίνει βαθύτερα ούτε ανασηκώνει το υπόλοιπο του αρότρου όταν προκύψει υπερφόρτιση.

Αναγκαίος πλέον είναι ο εξοπλισμός με τα παραπάνω συστήματα ασφαλείας και προστασίας του αρότρου, επειδή χρησιμοποιούμε πολύ υψηλότερες ιπποδυνάμεις στους γεωργικούς ελκυστήρες με μεγαλύτερες ταχύτητες εργασίας. Δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το γεγονός ότι τα σύγχρονα άροτρα είναι μεγαλύτερα και βαρύτερα και "δεν αναπηδούν" πάνω από τα φυσικά εμπόδια όπως στο παρελθόν. Οι σύγχρονοι χάλυβες παίζουν επίσης έναν σημαντικό ρόλο, επειδή έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην φθορά και μπορούν να δουλέψουν κάτω από πολύ πιο σκληρές συνθήκες και με μεγαλύτερες ταχύτητες χωρίς αστοχία του εργαλείου - θραύση. Τα παλιά βαμμένα υνιά από χυτοσίδηρο είναι στοιχεία του παρελθόντος και έφυγαν για πάντα.

Αυτός είναι ένας πολύ σύντομος απολογισμός του παρελθόντος μας και όλοι ξέρουμε ότι η ζωή δεν μπορεί να μείνει ακίνητη. Η ανάπτυξη θα συνεχίζεται πάντα στην αιωνιότητα, με τον άνθρωπο να προσπαθεί να βρει την καλύτερη λύση στην παραγωγή τροφίμων για την επιβίωσή του. Σύγχρονα πλαστικά ή παρεμφερή, μαζί με ηλεκτρονικές διατάξεις και μηχανισμούς αυτοματισμών με σκεπτόμενη λειτουργία θα είναι το μέλλον μας. Αυτό που είναι επαναστατικό σήμερα θα προσπεραστεί αναπόφευκτα από την επιστήμη αύριο. Όμως οι κριτικοί μπορούν να πουν, ότι μπορούμε να είμαστε σίγουροι, πως το άροτρο πρόκειται να παραμείνει.

1.2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στα παραδοσιακά συστήματα πρωτογενούς κατεργασίας εδάφους, η άροση (όργωμα) αποτελεί τη σπουδαιότερη καλλιεργητική εργασία. Κατά την εργασία αυτή το έδαφος κόβεται σε λωρίδες και αναστρέφεται με τρόπο ώστε τα φυτικά υπολείμματα, τα ζιζάνια, η κόπρος, τα λιπάσματα και άλλα, που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους να καλυφθούν. Συγχρόνως έδαφος από τα βαθύτερα στρώματα ανέρχεται στην επιφάνεια και υφίσταται την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και των καλλιεργητικών εργασιών που ακολουθούν. Ταυτόχρονα με την αναστροφή, το έδαφος θρυμματίζεται έτσι ώστε να αποτελεί την απαρχή της προετοιμασίας για τη σπορά.

Η ποιότητα της κατεργασίας του εδάφους εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, από την κατάσταση της επιφάνειας, από τα χρησιμοποιούμενα μηχανήματα

και από την ταχύτητα εκτέλεσης. Η ποιότητα αυτή επιδρά άμεσα, τόσο στις δευτερεύουσες ή βοηθητικές εργασίες όσο συχνά και στις αποδόσεις των καλλιεργειών.



Εικ.1.19. Πρωτογενής κατεργασία εδάφους.

Η εκτέλεση της άροσης απαιτεί σημαντικό χρόνο αλλά και την γενικότερη κινητοποίηση των αγροτών. Ταυτοχρόνως απαιτεί και ένα κόστος όχι ευκαταφρόνητο.

Σκοποί άροσης

Η άροση, αποσκοπεί στη:

1. Δημιουργία κατάλληλων φυσικών συνθηκών και στην προετοιμασία της σποροκλίνης για την τοποθέτηση του σπόρου και το φύτρωμα. Στις συνθήκες αυτές περιλαμβάνεται η αναδιάταξη της δομής για καλύτερο αερισμό, διείσδυση του νερού, μείωση της αντίστασης στην διείσδυση των ριζών, κατάλληλος θρυμματισμός για να έλθουν οι σπόροι σε επαφή με το έδαφος κλπ.

2. Βελτίωση του αρόσιμου εδάφους και κυρίως βελτίωση της συμπύκνωσης είτε αυτή είναι γενικευμένη είτε περιορίζεται σε μία αδιαπέραστη ζώνη, στο βάθος περίπου της κατεργασίας.

3. Καταπολέμηση των ζιζανίων.

4. Ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας.

5. Ενσωμάτωση των λιπασμάτων, κόπρου, ζιζανιοκτόνων και των άλλων βελτιωτικών του εδάφους.

6. Καταπολέμηση εχθρών και ασθενειών που διαβιούν στο έδαφος καθώς και των ξενιστών τους.

Εποχή αρόσεων

Τα οργώματα μπορούν να εκτελεσθούν όλο το χρόνο, εφόσον βέβαια η υγρασιακή κατάσταση το επιτρέπει. Η εποχή εξαρτάται επίσης και από το φυτό που θα καλλιεργηθεί. Γενικώς εκτελούνται το φθινόπωρο και την άνοιξη, που είναι το συνηθέστερο, αλλά ακόμη το θέρος και σπανιότερα και το χειμώνα. Ο Ησίοδος (Έργα και ημέραι στ. 383-84) συνιστά: «... Πληιάδων Άτλαγενέων έπιτελλομενάων άρχεσθ' άμήτου, αρότοιο δέ δυσσομενάων ...» (... Αρχίστε το θέρος όταν ανατέλλουν οι πλειάδες (πούλια) οι κόρες του Άτλαντα και το όργωμα όταν βασιλεύουν... (με την ανατολή του ηλίου, περί τα μέσα Νοεμβρίου ...). Στη συνέχεια μάλιστα (στ. 391) συνιστά: «... γυμνον σπείρειν, γυμνον δε βοωτείν, γυμνον δ' άμάειν ...» (... γυμνός σπέρνε, γυμνός όργωνε, γυμνός θέριζε ...) [Το γυμνός έχει την ειδικότερη σημασία να εργάζεται με αίθριο καιρό, όχι με κακοκαιρία].

Η φθινοπωρινή άροση είναι η πιο σημαντική και βασική καλλιεργητική εργασία και εκτελείται είτε για καλλιέργεια φθινοπωρινών φυτών (σιτηρά, κλπ) είτε και εαρινών (καλαμπόκι, βαμβάκι κλπ).

Για τις φθινοπωρινές σπορές οι αρόσεις πρέπει να έχουν συμπληρωθεί πριν αρχίσουν οι πολλές βροχές, ενώ για τις εαρινές μπορεί να αρχίζουν το φθινόπωρο και πολλές φορές, αν δεν ευνοήσει ο καιρός, μπορεί να τελειώσουν την άνοιξη.

Τα φθινοπωρινά οργώματα πρέπει να μη θρυμματίζουν πολύ το έδαφος και να αφήνουν την επιφάνεια του κάπως ανώμαλη. Η κατάσταση αυτή βοηθά αφενός τη διείσδυση του νερού στο έδαφος και αφετέρου μειώνει τη διάβρωση. Επιπλέον οι ανωμαλίες προστατεύουν τα νεαρά φυτά από τους παγερούς ανέμους του χειμώνα.

Η επίδραση των καιρικών συνθηκών του χειμώνα (παγωνιές, βροχή, χιόνι, άνεμος) έχουν ως αποτέλεσμα εξομάλυνση των ανωμαλιών της φθινοπωρινής άροσης. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνονται και οι δευτερεύουσες εργασίες προετοιμασίας για τις εαρινές καλλιέργειες.

Οι χειμωνιάτικες αρόσεις που προετοιμάζουν το έδαφος για τις εαρινές καλλιέργειες εκτελούνται συνήθως όταν δεν ήταν δυνατό να εκτελεστούν το φθινόπωρο. Η άροση μπορεί να γίνει με υγρασία λίγο μεγαλύτερη από την κανονική, όχι όμως αρκετά υψηλή, για να μην καταστραφεί η δομή του εδάφους και να μην προκληθεί σημαντική συμπίεση από τους τροχούς. Σε βαριά χωράφια μπορεί να γίνει και όταν το έδαφος είναι παγωμένο ώστε να αναπτύσσεται καλή ελκτική δύναμη, με μικρή ολίσθηση των τροχών των ελκυστήρων και να μη συμπιέζεται το έδαφος.

Το βάθος των φθινοπωρινών και των χειμωνιάτικων αρόσεων μπορεί να είναι οποιοδήποτε, ανάλογα και με τους σκοπούς που επιδιώκονται. Συνήθως καθορίζεται από την ανάγκη για καλή ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας.

Οι εαρινές αρόσεις ουσιαστικά πρέπει να αποτελούν συμπλήρωμα των φθινοπωρινών. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ελαφρές και επιδιώκουν καταστροφή των ζιζανίων, διόρθωση λαθών των φθινοπωρινών και προετοιμασία κατάλληλης σποροκλίνης. Οι εαρινές αρόσεις πρέπει να αφήνουν την επιφάνεια αρκετά επίπεδη και το έδαφος πολύ θρυμματισμένο ώστε να διευκολύνεται η σπορά. Τα άροτρα που χρησιμοποιούνται την άνοιξη έχουν διαφορετικό αναστρεπτήρα από αυτά που χρησιμοποιούνται το φθινόπωρο, ώστε να επιτυγχάνεται ο κατάλληλος θρυμματισμός.

Σε σπάνιες περιπτώσεις είναι δυνατό να γίνει την άνοιξη κύρια άροση, όταν για διάφορους λόγους δεν εκτελέστηκε το φθινόπωρο ή το χειμώνα. Στις περιπτώσεις αυτές είναι βαθύτερη, ώστε να ενσωματωθούν τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας και ταυτόχρονα να προετοιμασθεί και το έδαφος για την επερχόμενη σπορά. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι προτιμότερο να προηγείται, σε χρόνο που επιτρέπουν οι εδαφικές συνθήκες, κοπή των στελεχών της προηγούμενης καλλιέργειας με στελεχοκόπτη (ή δισκοσβάρνα), ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ενσωμάτωση και διευκόλυνση των περαιτέρω εργασιών.

Βαθύτερη άροση κατά την άνοιξη συμβάλλει στην ρύθμιση της υγρασίας του εδάφους, επειδή εκτίθεται μεγάλη μάζα χώματος στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το πρόβλημα συνήθως την εποχή αυτή είναι μάλλον η μικρή περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία. Η βαθύτερη άροση συμβάλλει στη γρήγορη ξήρανση του εδάφους. Για να μη ξηραθεί όμως πολύ, καλό είναι να ακολουθούν σε σύντομο διάστημα δευτερεύουσες

εργασίες θρυμματισμού (σβάρνισμα) και στη συνέχεια η σπορά. Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της άροσης και των περαιτέρω εργασιών είναι να επιχειρείται όταν το έδαφος είναι στο ρόγο του.

Οι θερινές αρόσεις εκτελούνται συνήθως όταν επιδιώκεται η καταστροφή δυσεξόντων ζιζανίων όπως αγριάδα, κύπερη, βέλιουρας και άλλα, ή ακόμη και καταστροφή ζιζανίων, που αν αφεθούν, θα αποκτήσουν μεγάλη μάζα και ξυλώδη στελέχη που θα δυσκολεύσουν τη φθινοπωρινή άροση. Ορισμένες φορές εκτελούνται και για την προετοιμασία του χωραφιού για επίσπορη καλλιέργεια (π.χ. καλαμπόκι μετά από σιτάρι και άλλα.).

Οι θερινές αρόσεις κρίνεται σκόπιμο να εκτελούνται αμέσως μετά από τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας. Επειδή τότε το έδαφος έχει ακόμη κάποια υγρασία που επιτρέπει ικανοποιητική ποιότητα και παρουσιάζει σχετικά μικρή ειδική αντίσταση κοπής, γεγονός που μεταφράζεται σε χαμηλότερο κόστος.

Αν η άροση γίνεται για την καταπολέμηση ζιζανίων θα πρέπει να γίνεται σε ικανοποιητικό βάθος (25-35cm) ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης αναστροφή του εδάφους με συνέπεια τα βλαστικά τμήματα να ενσωματώνονται ενώ το ρίζωμα να παραμένει στην επιφάνεια. Έτσι με την επίδραση του ήλιου επιτυγχάνεται σημαντική καταπολέμηση των ζιζανίων. Όταν κρίνεται αναγκαίο η θερινή άροση μπορεί να επαναληφθεί κατά τον Ιούλιο ή Αύγουστο.

Οι θερινές αρόσεις όμως, εκτελούνται αμέσως μετά από τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας, έτσι ώστε να επιτρέψουν τη γρηγορότερη ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων και τη συντομότερη έναρξη της αποσύνθεσης τους. Αυτό διευκολύνει και τις μετέπειτα καλλιεργητικές διεργασίες, είτε η σπορά γίνει το φθινόπωρο είτε την άνοιξη.

Επειδή τα φυτικά υπολείμματα, κυρίως των σιτηρών είναι ογκώδη και το άχυρο αφήνεται μετά τη συγκομιδή με θεριζοαλωνιστικές μηχανές σε σειρές, συνιστάται εφόσον η άροση γίνεται με υνάροτρο, να χρησιμοποιείται πρώτα ένας στελεχοκόπτης για να κόψει την καλαμιά και να διασκορπίσει το άχυρο σε όλη την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό διευκολύνει την άροση αλλά αυξάνει το κόστος και απαιτεί περισσότερο χρόνο. Καλή είναι επίσης η άροση με τη χρήση δισκαρότρου, χωρίς προηγούμενο

χειρισμό των φυτικών υπολειμμάτων, γιατί δεν παρουσιάζει τα έντονα προβλήματα του υναρότρου (μπούκωμα) λόγω του άχυρου και της καλαμιάς.

Βάθος άροσης.

Το βάθος άροσης ποικίλει ανάλογα με το σκοπό που επιδιώκεται. Γενικά διακρίνεται σε: ελαφρά άροση σε βάθος μεταξύ 10 και 18cm, κανονική (ή μέση) σε βάθος μεταξύ 18 και 25 cm και βαθιά μεταξύ 25 και 35 cm. Σε βάθος μεγαλύτερο από 35-40 cm η άροση λέγεται υπεδάφεια. Η υπεδάφεια άροση σπάνια εκτελείται πλέον με υνάροτρα. Συνήθως χρησιμοποιούνται εργαλεία με δόντια (υπεδαφοκαλλιεργητές, εδαφοσχίστες). Τέλος υπάρχει και η επιφανειακή κατεργασία σε βάθος 5-10 cm, που συνήθως διεξάγεται με εργαλεία δευτερεύουσας κατεργασίας (καλλιεργητές, δισκοσβάρνες και άλλα) και σπανίως με άροτρα [4].

Παλαιότερα οι γεωργοί είχαν περιορισμένες ασχολίες, χρησιμοποιούσαν τα ζώα τα οποία ήθελαν να απασχολούν και επιπλέον έδιναν μεγάλη σημασία στην εμφάνιση των αγρών. Συνήθιζαν έτσι να καλλιεργούν συχνότερα και βαθύτερα και δημιούργησαν την παράδοση ότι η εργασία μένει στο χωράφι. Αποδείχθηκε όμως από πειράματα μακράς σειράς ετών ότι η ωφέλεια που προκύπτει από βαθιές αρόσεις δεν αντισταθμίζει την επιπλέον δαπάνη για την εκτέλεση τους. Πολλές φορές μάλιστα η παραγωγή είναι μικρότερη σε εδάφη που έγινε βαθιά άροση.

Εκτός του αυξημένου κόστους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο κίνδυνος ξήρανσης του εδάφους, η εντατική αποσύνθεση της οργανικής ουσίας και η μεταφορά στην επιφάνεια άγονου εδάφους.

Με κανονικές επομένως συνθήκες το βάθος άροσης θα πρέπει να κυμαίνεται στα 18-25 cm (κανονική άροση). Ειδικοί μάλιστα επιστήμονες υποστηρίζουν ότι θα πρέπει να κυμαίνεται από 15 έως 20cm (ελαφρύ).

Βαθιές ή υπεδάφειες αρόσεις δικαιολογούνται μόνο όταν: α) Πρέπει να γίνει κάλυψη ογκωδών φυτικών υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, β) Πρόκειται να καταπολεμηθούν βαθύρριζα ζιζάνια (σόργο, κύπερη, αγριάδα κ.ά.). γ) Πρόκειται να καταστραφεί σκληρό ή υπεδάφειο στρώμα (hard pan) και δ) Πρέπει να γίνει αναστροφή δύο συνεχών αλλουβιακών στρωμάτων εδάφους (σύγχρονης γεωλογικής περιόδου) από τα οποία το επιφανειακό είναι ακατάλληλο ενώ το αμέσως

κατώτερο γόνιμο και κατάλληλο για καλλιέργεια. Υπεδάφεια άροση στις ΗΠΑ το 1966 σε βάθη 40, 60 και 80 cm σε πολύ βαριά εδάφη με μικρή διηθητικότητα έδειξαν σημαντική βελτίωση της διηθητικότητας (40%) και αύξηση των αποδόσεων (20%) για πολύ μακρό χρονικό διάστημα (25 έτη) όταν στο επιφανειακό έδαφος γίνονταν ετήσια άροση βάθους 25 cm.

Εάν πρόκειται να γίνει καταστροφή του υπεδάφειου ορίζοντα (hard pan), το βάθος άροσης είναι λίγο μεγαλύτερο από το βάθος που έχει δημιουργηθεί. Η δημιουργία του στρώματος αυτού μπορεί να οφείλεται στις εργασίες κατεργασίας, συνήθως με υνάροτρο σε σταθερό βάθος και σε έδαφος με υψηλή υγρασία. Σχηματίζεται επίσης και με φυσικές διεργασίες λόγω της μετακίνησης σωματιδίων αργίλου που συγκεντρώνονται σε ορισμένο ορίζοντα του εδάφους και καταλαμβάνουν όλους τους πόρους. Μπορεί επίσης να σχηματισθεί από τη συγκέντρωση ενώσεων σιδήρου οπότε σχηματίζεται υπεδάφειος ορίζοντας σιδήρου. Η βαθιά άροση για το σπάσιμο του υπεδάφειου ορίζοντα επαναλαμβάνεται όταν σχηματίζεται πάλι, συνήθως κάθε 3-5 χρόνια. Για την εκτέλεση της χρησιμοποιούνται πλέον εδαφοσχίστες ή υπεδαφοκαλλιεργητές. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι σε βαριά εδάφη η χαλάρωση σε βάθος 40 cm έχει επίδραση μέχρι 3 χρόνια. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις (βαριά εδάφη, μεγάλη βροχόπτωση) αναφέρεται ότι σχηματίστηκε hard pan μετά από 2 χρόνια κατεργασίας με υνάροτρο.

Η ελαφριά, επιπόλαιη, άροση μπορεί να μην είναι αποτελεσματική γιατί είναι πιθανό να μην καταστραφούν τελείως τα ζιζάνια. Έτσι αυτά αναβλαστάνουν σε βραχύ χρόνο και επιβάλλεται δεύτερη άροση. Αυτό συνήθως συμβαίνει την άνοιξη. Η επανάληψη όμως των αρώσεων επηρεάζει τη δομή, αυξάνει το κόστος και προκαλεί καθυστέρηση της σποράς. Ελαφριά άροση (10-15 cm) επί σειρά ετών έδωσε σε πρόσφατα πειράματα ελαφρώς μειωμένες αποδόσεις σιτηρών (5-8%) σε σχέση με το κανονικό με μείωση όμως της κατανάλωσης καυσίμου.

Συχνότητα αρώσεων

Η συχνότητα ή ο αριθμός των αρώσεων που πρέπει να γίνουν πριν από τη σπορά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: το είδος της καλλιέργειας που θα ακολουθήσει, η σύσταση του εδάφους, η περιεκτικότητα σε υγρασία, τα ζιζάνια κ.ά.

Από πολυετή πειράματα προκύπτει ότι οι συχνές αρόσεις, όταν μάλιστα δεν υπάρχει λόγος εκτέλεσης τους, δεν επηρεάζουν την απόδοση και ορισμένες φορές την ελαττώνουν. Επιπλέον συνεπάγεται αύξηση του κόστους παραγωγής. Ως εκ τούτου πρέπει να γίνονται όταν χρειάζονται και εφόσον εξυπηρετούν τους βασικούς σκοπούς.

Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ειδικά προβλήματα, η φθινοπωρινή άροση είναι αρκετή. Την περαιτέρω προετοιμασία για φθινοπωρινή ή ανοιξιάτικη καλλιέργεια θα την αναλάβουν άλλα εργαλεία παθητικά ή ενεργά, το κόστος των οποίων είναι χαμηλότερο, χωρίς να υστερεί η ποιότητα εργασίας. Στις περιπτώσεις που υπάρχουν προβλήματα ζιζανίων και ενσωμάτωσης φυτικών υπολειμμάτων, δύο οργάματα θα μπορούσαν να θεωρηθούν ικανοποιητικά, το ένα μετά τη συγκομιδή και το άλλο πριν τη σπορά, σε εποχή που να παρέχει αρκετό χρόνο για την προετοιμασία της κατάλληλης σποροκλίνης.

Δεύτερη άροση, είναι συνήθως απαραίτητη στις περιπτώσεις εκείνες που η πρώτη δεν είναι επιτυχημένη και άφησε στο βάθος κατεργασίας μεγάλους βώλους που δεν είναι δυνατό να θρυμματισθούν με εργαλεία δευτερεύουσας κατεργασίας. Για το λόγο αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην εκτέλεση της πρώτης και βασικής άροσης ώστε να αποφεύγεται η ανάγκη επαναληπτικού.

Ενσωμάτωση υπολειμμάτων προηγούμενης καλλιέργειας.

Από τον τύπο του αναστρεπτήρα εξαρτάται ο θρυμματισμός και η αναστροφή του εδάφους. Γενικά επιδιώκουμε να έχουμε μικρό θρυμματισμό στις φθινοπωρινές αρόσεις και μεγάλο στις καλοκαιρινές. Μεγάλο θρυμματισμό έχουμε με τη χρήση ειδικού αρότρου και ιδίως με μεγάλο και καλά σχεδιασμένο αναστρεπτήρα και με αύξηση της ταχύτητας εργασίας η οποία όμως αυξάνει την αντίσταση του εδάφους. Αυτό έχει σαν συνέπεια την απαίτηση για μεγαλύτερη ισχύ του ελκυστήρα, συνεπώς μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων. Για ένα επιθυμητό βαθμό θρυμματισμού του εδάφους έχουμε δύο επιλογές ελκυστήρα - αρότρου: Χαμηλής ισχύος ελκυστήρας με ειδικό άροτρο για καλύτερο θρυμματισμό, ή ελκυστήρας μεγαλύτερης ισχύος και άροτρο γενικής χρήσης ώστε να έχουμε τον ίδιο θρυμματισμό με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Το υνάροτρο ανυψώνει και κονιορτοποιεί το έδαφος. Ενσωματώνει επίσης τα

υπολείμματα, την κοπριά ή το λίπασμα. Η άροση είναι το πρώτο βήμα στην δημιουργία καλής υποδομής για σπορά. Αν δεν γίνει σωστά, απαιτούνται επιπλέον εργασίες οργώματος την άνοιξη για να έρθουν στο ίδιο επίπεδο τα σαμάρια και τα μεγάλα αυλάκια που δημιουργούνται. Επιδιώκουμε ομοιογενή άροση που επιτυγχάνεται με την ορθή επιλογή αρότρου.

Τα περισσότερα υνάροτρα λειτουργούν καλύτερα μέσα σε ένα συγκεκριμένο φάσμα ταχυτήτων. Σε χαμηλές ταχύτητες, το άροτρο μπορεί να μην κονιορτοποιήσει αρκετά το έδαφος και να αφήσει συσσωματώματα και περισσότερα υπολείμματα στην επιφάνεια (ανομοιογενής άροση). Με αύξηση της ταχύτητας, το έδαφος θα διασπαστεί σε μικρότερους κόκκους και το άροτρο θα ενσωματώσει περισσότερα υπολείμματα. συνήθως για την άροση συμβατικών αγρών χρησιμοποιείται υνάροτρο.

Στις περιπτώσεις που έχουμε μεγάλους όγκους εδάφους για άροση, όπως με τα σιτηρά, η χρήση αρότρων μπορεί να βοηθήσει στην αφομοίωση των υπολειμμάτων. Η χρησιμοποίηση ενός αρότρου με υψηλό βαθμό καθαρισμού του αναστρεπτήρα (μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ σταβαριού και σώματος του αρότρου) συνιστάται επειδή έχει κατασκευαστεί με στόχο την κατεργασία μεγάλων όγκων εδάφους. Επίσης μπορεί να κατεργασθεί τα υπολείμματα, αμέσως μετά από τη συγκομιδή χωρίς να τεμαχιστούν πρώτα οι μίσχοι των φυτών. Αυτό συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και σωματικής κόπωσης του χειριστή.

Για την καλύτερη διαχείριση των υπολειμμάτων συνιστάται:

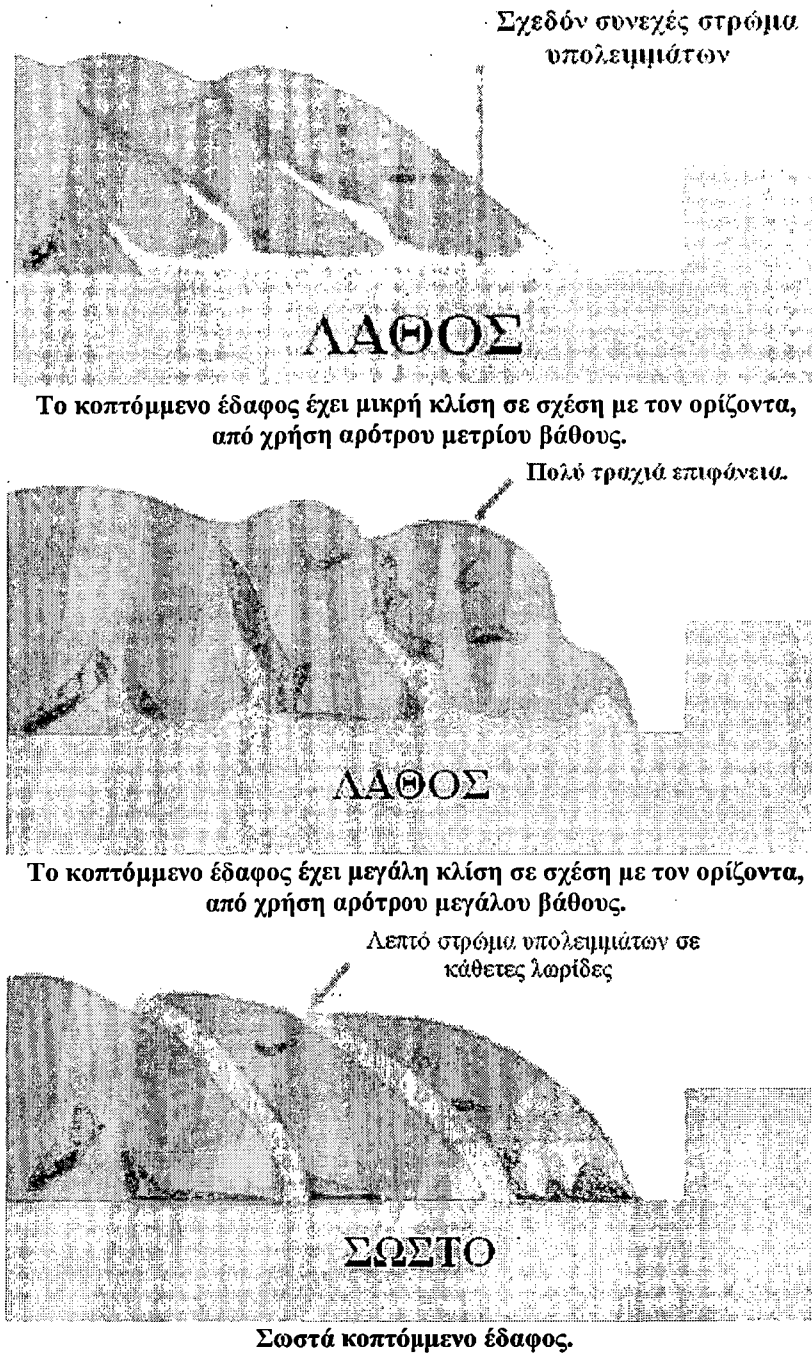
- Υνάροτρο μεγάλου θρυμματισμού για να παραμείνουν περισσότερα υπολείμματα στην επιφάνεια. (Τα υνάροτρα μετρίου βάθους ή γενικής χρήσης θάβουν περισσότερο τα υπολείμματα).
- Η δημιουργία στενότερων αυλακιών, σε άροτρα με ρυθμιζόμενο πλάτος πρώτης αυλακιάς, για την αύξηση της κάλυψης των υπολειμμάτων.
- Η αφαίρεση των λεπίδων που συνδέονται στο πάνω μέρος του αναστρεπτήρα για την αύξηση των υπολειμμάτων στην επιφάνεια.

Υνάροτρα που αφήνουν κάθε κοπτόμενη φέτα εδάφους στην άκρη του, όπως γίνεται από τα ευρωπαϊκά σχεδιαστικά πρότυπα, διαχειρίζονται τα υπολείμματα καλύτερα από εκείνα που αναστρέφουν το έδαφος. Η αναστροφή του εδάφους αφήνει

τα υπολείμματα των προηγούμενων καλλιεργειών σε ένα ενιαίο, συνεχές στρώμα κάτω από την επιφάνεια. Το στρώμα αυτό των υπολειμμάτων παγιδεύει το νερό πάνω του, πράγμα το οποίο μειώνει την διήθηση του νερού στο υπέδαφος. Αυτό στη συνέχεια, οδηγεί στην επιφανειακή απορροή του νερού και τη μείωση της εδαφικής υγρασίας κατά τη διάρκεια ξηρασίας. εγκλωβίζοντας το νερό κοντά στην επιφάνεια, το στρώμα αυτό μπορεί να καθυστερήσει τις καλλιεργητικές διεργασίες και να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών κάτω από υγρές καιρικές συνθήκες. Τα περισσότερα θαμμένα στρώματα υπολειμμάτων στο έδαφος υπόκεινται απώλεια αζώτου μέσω μιας διαδικασίας που αποκαλείται διάσπαση αζώτου.

Υνάροτρα με αναστρεπτήρες που τοποθετούν το έδαφος στις άκρες αφήνουν τα υπολείμματα σε λουρίδες βοηθώντας έτσι στην αποφυγή προβλημάτων. Τα υπολείμματα σχηματίζουν ένα «φιλμ» που βοηθά στην εξατμισοδιαπνοή και στην ανάπτυξη των φυτών.

Τα περισσότερα άροτρα με αναστρεπτήρα σχεδιάζονται για να γυρίσουν τις φέτες του κοπτόμενου εδάφους μόνο στα δεξιά. Τα αναστρεφόμενα άροτρα, εντούτοις, έχουν δύο σύνολα αντιταγμένων σωμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλεκτικά. Με αυτήν την ρύθμιση, όλες οι φέτες του κοπτόμενου εδάφους μπορούν να γυρίσουν προς την ίδια πλευρά του χωραφιού χρησιμοποιώντας τα σώματα δεξιάς αναστροφής προς τη μια κατεύθυνση κίνησης και τα σώματα αριστερής αναστροφής στη διαδρομή επιστροφής. Τα 2 σύνολα σωμάτων έχουν αναρτηθεί σε ένα κοινό πλαίσιο το οποίο περιστρέφεται σε γωνία 180° γύρω από ένα διαμήκη άξονα για την εναλλαγή του ενός συνόλου με το άλλο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η περιστροφή γίνεται με έναν υδραυλικό κύλινδρο που αποτελεί τμήμα του αρότρου. Τα σώματα του αρότρου στο πρώτο βήμα περιστρέφονται 90° προς τα πάνω (μαζεύονται), περνούν πάνω από το κέντρο λόγω της αδράνειάς τους, και στο επόμενο βήμα αφήνονται προς τα κάτω από την άλλη πλευρά (εκτείνονται). Οι τροχοί χάραξης και οι τροχοί αυλακιάς επανατοποθετούνται αυτόματα καθώς τα σώματα και το πλαίσιο του αρότρου περιστρέφονται, εκτός αν κάθε ένα σύνολο σωμάτων έχει τη ρόδα του (που είναι η συνήθης περίπτωση με αναρτόμενα άροτρα).



Εικ.1.20 Σωστός τρόπος αναστροφής του εδάφους.

Τα αναστρεφόμενα αναρτόμενα άροτρα έχουν συνήθως δυο έως έξι 36cm. ή 41cm. σώματα στο κάθε σύνολο. Ημιαναρτόμενα ή ελκόμενα σπάνια έχουν περισσότερα από 6 σώματα, αλλά είναι συνήθως 41cm. ή 46cm. Επειδή απαιτούνται 2 σύνολα σωμάτων, τα αναστρεφόμενα αναρτόμενα άροτρα είναι πιο ακριβά σε σύγκριση με τα απλά αναρτόμενα και φυσικά είναι κατά πολύ βαρύτερα.

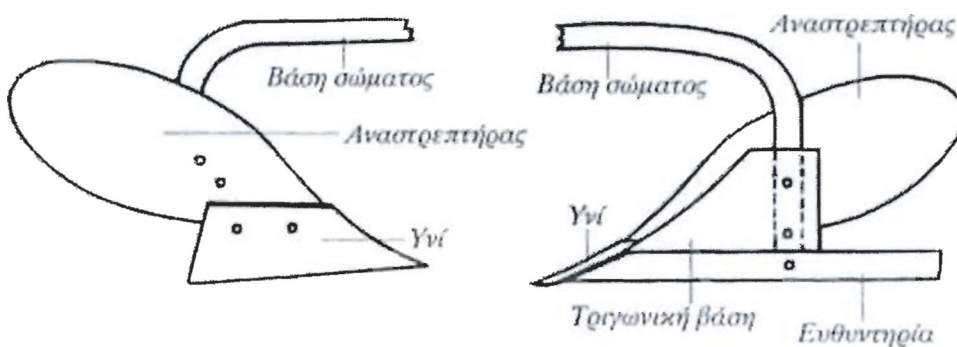
Χρησιμοποιώντας απλά αναρτόμενα άροτρα απαιτείται άροση αγρού σε μεγάλο χώρο, αρχίζοντας από τα πίσω αυλάκια (δύο κοπτόμενες φέτες που

συγκλίνουν, σαμάρια) και τελειώνοντας με νεκρά αυλάκια (δυο φέτες που αποκλίνουν, ανοιχτά αυλάκια). Ένα αναστρεφόμενο άροτρο αποβάλλει τις συγκλίνουσες και αποκλίνουσες αυλακιές, αφήνοντας στον αγρό πιο επίπεδο για άρδευση ή στράγγιση. Τα αναστρεφόμενα άροτρα υπερτερούν επίσης για αγρούς σε πλαγιά που είναι διαμορφωμένοι σε βαθμίδες ή στην άροση του περιγράμματος και για μικρούς αγρούς ακανόνιστου σχήματος. Δεν παύει όμως, η καμπυλότητα και το μήκος του αναστρεπτήρα να καθορίζουν το βαθμό θρυμματισμού στην κοπτόμενη λωρίδα εδάφους.

Σήμερα πάντως η τάση που επικρατεί, είναι η περιορισμένη κατεργασία και για λόγους προστασίας των φυσικών πόρων (αειφορία) αλλά και οικονομίας. Θα πρέπει ως εκ τούτου να περιορίζονται τα οργώματα όσο είναι δυνατό και να εκτελούνται με μεγάλη επιμέλεια και όταν οι εδαφικές συνθήκες είναι οι καλύτερες δυνατές (ρόγος). Γενικώς κάθε κατεργασία που κοστίζει περισσότερο απ' ό,τι αποδίδει θα πρέπει ή να καταργείται ή να αντικαθίσταται. Σήμερα στην Ευρώπη η άροση με υνάροτρα είναι ακόμη κυρίαρχη. Προβλέψεις για το μέλλον δίνουν περίπου το 60% των εδαφών να καλλιεργούνται με υνάροτρα τα προσεχή 20 χρόνια και τα υπόλοιπα με συστήματα μειωμένης κατεργασίας.

1.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ

Κάθε άροτρο αποτελείται από ένα πλαίσιο που στηρίζει ένα ή περισσότερα σώματα. Τα σώματα ενώνονται στο πλαίσιο με τις βάσεις σωμάτων (τα αποκαλούμενα σταβάρια), που φέρουν υνιά και αναστρεπτήρες αντίστοιχα. Το υνί και ο αναστρεπτήρας είναι συνενωμένα ώστε να αποτελούν μια ενιαία επιφάνεια και μαζί με την ευθυντηρία αποτελούν μια σφήνα συνδεόμενα όλα μαζί σε μια τριγωνική βάση.



Εικ.1.21. Στοιχεία που αποτελούν το άροτρο.

Τύποι σωμάτων αρότρων.

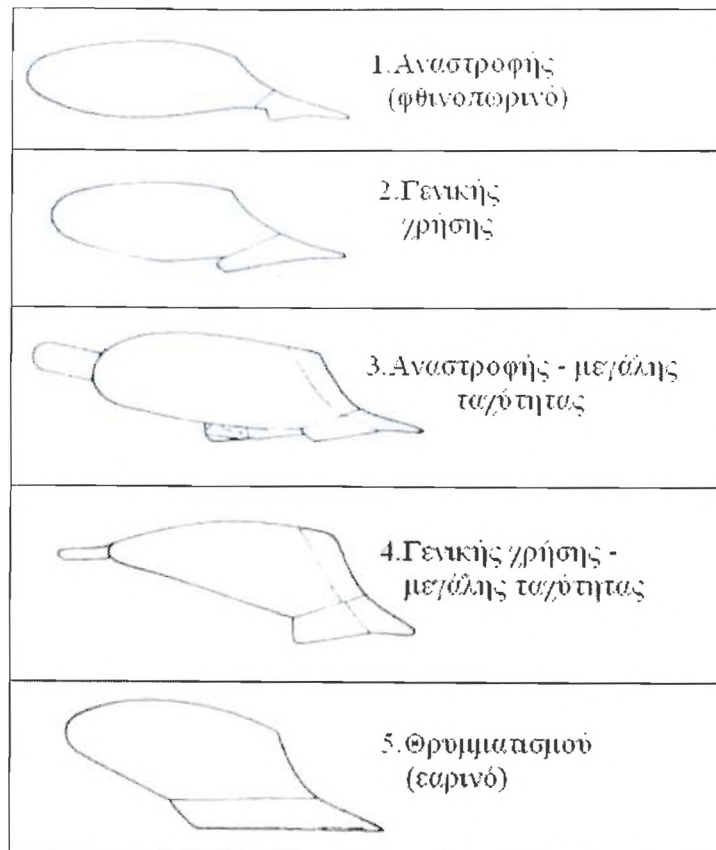
Τα υνάροτρα χαρακτηρίζονται από:

- Το βάθος κοπής του υνιού (cm,mm,in)
- Τον τύπο του σώματος

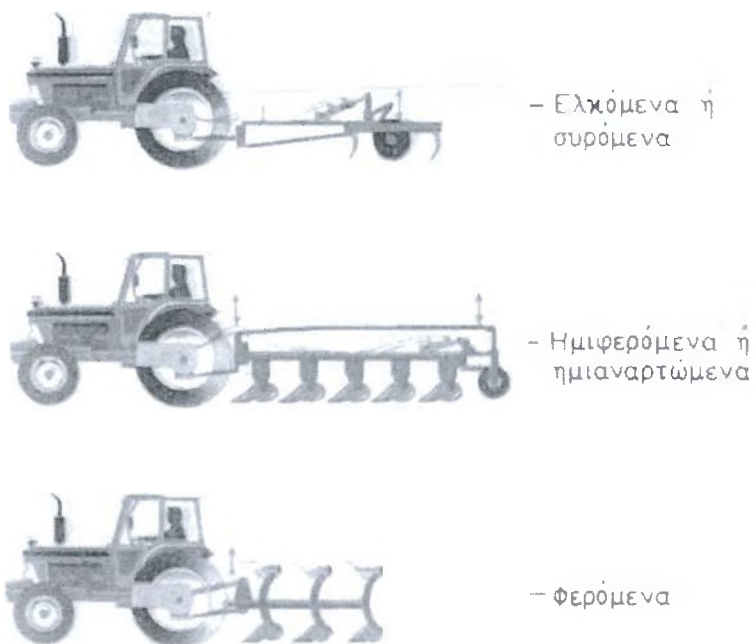
Τα άροτρα σύμφωνα με τους επιδιωκόμενους στόχους, την εποχή που θα χρησιμοποιηθούν και ανάλογα με τον τύπο του σώματος, τη μορφή του αναστρεπτήρα, του υνιού και των χαρακτηριστικών γωνιών διακρίνονται σε:

- Άροτρα αναστροφής: Είναι τα άροτρα με ελικοειδή αναστρεπτήρα που κάνουν αναστροφή του εδάφους και μικρό θρυμματισμό. Χρησιμοποιούνται για φθινοπωρινές-χειμερινές αρόσεις.
- Άροτρα θρυμματισμού: Είναι τα άροτρα με κυλινδρικό αναστρεπτήρα που κάνουν μεγαλύτερο θρυμματισμό. Χρησιμοποιούνται για ανοιξιάτικες αρόσεις.
- Άροτρα γενικής χρήσης: Έχουν αναστρεπτήρα μικτό (κυλινδροελικοειδή) και επιτυγχάνουν μέτριο θρυμματισμό σε σύγκριση με τα προηγούμενα. Είναι τα άροτρα που χρησιμοποιούν οι γεωργοί τόσο για φθινοπωρινές όσο και για ανοιξιάτικες αρόσεις (εικ.1.22).

- Το πλάτος κοπής του υνιού (cm, mm,in)
- Τον αριθμό των υνιών (μονόυνα, δίυνα, τρίυνα και άλλα)
- Τον τρόπο σύνδεσης με τον ελκυστήρα: Ελκόμενα ή συρόμενα, ημιαναρτώμενα ή ημιφερόμενα, αναρτώμενα ή φερόμενα), (εικ.1.23).
- Τη δυνατότητα εκτέλεσης ομοιοκλινούς άροσης (αναστρεφόμενα άροτρα).



Εικ.1.22. Τύποι σωμάτων αρότρου.

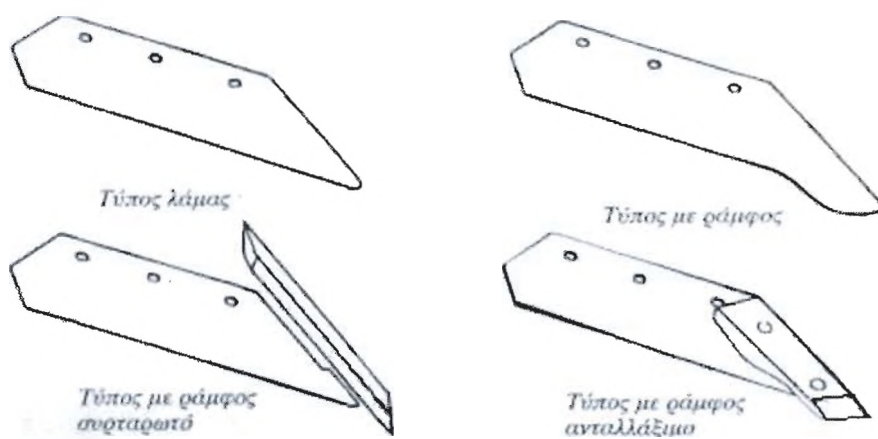


Εικ.1.23. Τρόποι σύνδεσης με τον ελκυστήρα.

Υνί

Το υνί κόβει το έδαφος σε λωρίδες (πλάνες), το χαλαρώνει και το ανυψώνει μερικώς. Συνήθως δεν προκαλεί θρυμματισμό.

Αν και τα υνιά κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων, ώστε να ανταποκρίνονται σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας, γενικώς αποτελούνται από μία λάμα επίπεδη έως ελαφρώς καμπύλη με μορφή μάλλον τραπεζοειδή. Η σύνδεση του υνιού στο σώμα του αρότρου γίνεται με ειδικούς κοχλίες (βίδες) με κωνική κεφαλή. Η σύνδεση αυτή επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση του όταν χρειασθεί.



Εικ.1.24. Τύποι υνιών.

Ο τύπος λάμας (ελάσματος) είναι ο πιο απλός και είναι κατάλληλος για εδάφη που δεν παρουσιάζουν προβλήματα διείδυσης. Υνιά του τύπου αυτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε εδάφη που έχουν πέτρες γιατί εμποδίζουν την άνοδο τους στην επιφάνεια. Συχνά έχουν συμμετρικό σχήμα ώστε να αναστρέφονται όταν φθείρονται. Είναι δυνατό να υποστούν κατεργασία (ακόνισμα) αλλά συνήθως αντικαθίστανται όταν φθαρούν.

Ο τύπος με ράμφος (συνήθως ονομάζεται και ράμφος χήνας) έχει προέκταση στο πρόσθιο τμήμα (μύτη ή ράμφος του υνιού) και έτσι επιτυγχάνει καλύτερη διείδυση στο έδαφος. Προτιμάται σε εδάφη δύσκολα στη διείδυση αλλά χωρίς πέτρες.

Ο τύπος με ράμφος σφραγιστό φέρει στο πρόσθιο τμήμα μία ράβδο που μπορεί συνήθως να σφραγίζει και να προεξέχει του υνιού. Έχει μεγάλη ικανότητα

διείσδυσης και χρησιμοποιείται σε εδάφη πολύ δύσκολα. Όταν φθαρεί μπορεί να κινηθεί συρταρωτά (γλιστρά) και να αναπληρώνει τη φθορά. Δεν είναι κατάλληλο για εδάφη με πέτρες.

Ο τελευταίος τύπος, με ράμφος ανταλλάξιμο, ομοιάζει με τον προηγούμενο ως προς τα χαρακτηριστικά. Το ράμφος στερεώνεται με κοχλίες και όταν φθαρεί αντικαθίσταται.

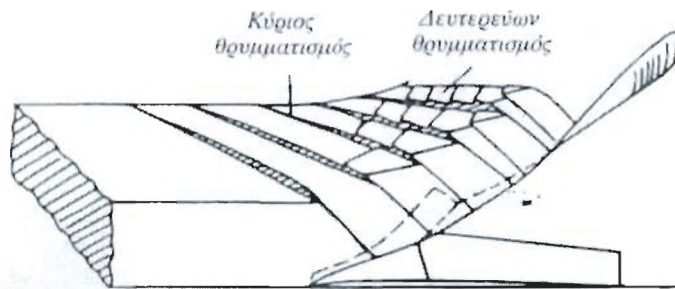
Τα υνιά λόγω των τριβών με το έδαφος φθείρονται γρήγορα και ως εκ τούτου θα πρέπει ή να αντικαθίστανται ή να ακονίζονται. Η φθορά των υνίων είναι πολύ μεγάλη σε βαριά εδάφη με πέτρες. Σε πολύ τραχέα εδάφη η φθορά μπορεί να είναι σημαντική σε συνολική διαδρομή 10 Km και φαίνεται να είναι γραμμική συνάρτηση της διαδρομής. Παλαιότερα το υλικό κατασκευής τους ήταν ο χυτοσίδηρος. Σήμερα όμως τόσο τα υνιά όσο ο αναστρεπτήρας και η ευθυντηρία κατασκευάζονται από ισχυρά κράματα σιδήρου. Συνήθως κατασκευάζονται με τριπλό κράμα σιδήρου. Η εξωτερική πλευρά που έρχεται σε επαφή με το έδαφος κατασκευάζεται από χάλυβα υψηλής αντοχής, ώστε να παρουσιάζει πολύ μειωμένη φθορά. Πολλές φορές μάλιστα προστίθενται χρώμιο, μαγνήσιο και άλλα υλικά που το κάνουν πολύ ανθεκτικό. Το μεσαίο στρώμα αντιθέτως κατασκευάζεται από μαλακά κράματα σιδήρου, ώστε να έχει αρκετή ελαστικότητα και να μη σπάει όταν υποστεί ισχυρές κρούσεις. Το τελευταίο (τρίτο) στρώμα κατασκευάζεται πάλι από σκληρά κράματα σιδήρου, συνήθως λιγότερο ισχυρά από το πρώτο έτσι ώστε να μην επιτρέπει στο υνί να μεταβάλλει το σχήμα του. Τα υνιά αυτά είναι γνωστά και με το όνομα "triplex" ή άλλα ανάλογα. Όταν φθαρούν αντικαθίστανται.

Σε ορισμένες χώρες ιδιαίτερα στην Αγγλία κατασκευάζονται ακόμη υνιά με δύο στρώματα κραμάτων σιδήρου. Το εξωτερικό που έρχεται σε επαφή με το έδαφος είναι σκληρό ενώ το εσωτερικό μαλακότερο έτσι ώστε και η φθορά να μην είναι μεγάλη αλλά και να αυτοακονίζονται με τη χρήση.

Τα τελευταία χρόνια δοκιμάζονται ακόμη και κεραμικά υλικά ώστε να προσδώσουν στο υνί πολύ μεγάλη αντοχή στη φθορά.

Αναστρεπτήρας

Ο αναστρεπτήρας είναι το καμπυλωτό εκείνο εξάρτημα του σώματος του αρότρου το οποίο χαλαρώνει, ριγματώνει, θρυμματίζει και αναστρέφει το έδαφος που έκοψε οριζόντια το υνί και κατακόρυφα ο δίσκος ή το μαχαίρι. Ο κύριος θρυμματισμός του εδάφους παρατηρείται στο χαμηλότερο τμήμα του αναστρεπτήρα ενώ ο δευτερεύων κάθετος σχεδόν προς τον κύριο παρατηρείται στο υψηλότερο τμήμα και στο πίσω μέρος του (εικ.1.25). Η αναστροφή του εδάφους επιτυγχάνεται κυρίως στο υψηλότερο και πίσω τμήμα του αναστρεπτήρα. Το θρυμματισμένο έδαφος ή η ανεστραμμένη λωρίδα του εδάφους εκτινάσσεται και πέφτει στο ανεστραμμένο έδαφος της προηγούμενης αυλακιάς. Επιτυχημένη θεωρείται η άροση όταν η αυλακιά που ανοίγει το κάθε σώμα του αρότρου είναι καθαρή και δεν γεμίζει από το έδαφος που αναστρέφει το ίδιο το σώμα.



Εικ.1.25. Κύριος και δευτερεύων θρυμματισμός του εδάφους.

Το μέγεθος του θρυμματισμού εξαρτάται απόλυτα από το είδος και το μέγεθος του αναστρεπτήρα, από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, από την υγρασία του καθώς και από την ταχύτητα μετακίνησης.

α. Είδη αναστρεπτήρων.

Επειδή τα εδάφη ποικίλουν από άποψη μηχανικής σύστασης, δομής και υγρασίας, είναι ευνόητο ότι ένα άροτρο με μοναδικό αναστρεπτήρα δεν μπορεί να εργασθεί ικανοποιητικά κάτω από όλες αυτές τις συνθήκες. Για το λόγο αυτό έχουν κατασκευασθεί ποικίλοι τύποι αναστρεπτήρων που επιτρέπουν την άροση με τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα και τις μικρότερες απαιτήσεις σε ισχύ. Οι αναστρεπτήρες έγιναν αντικείμενο

εντατικής επιστημονικής μελέτης, εξακολουθούν δε ακόμη να μελετώνται τόσο ως προς τη μορφή τους όσο και ως προς τα υλικά.

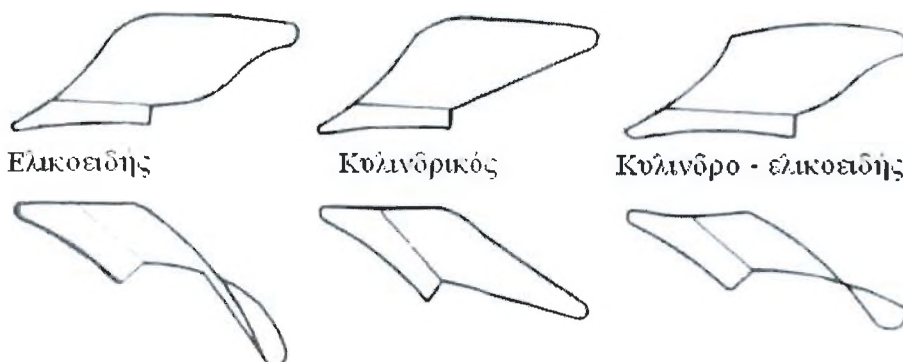
Τα χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τους αναστρεπτήρες είναι κυρίως το μήκος και η μορφή τους. Διακρίνονται έτσι σε:

Αναστρεπτήρες βραχείς: Οι αναστρεπτήρες αυτοί ενεργούν με τρόπο βίαιο με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν μεγάλο θρυμματισμό του εδάφους σε συνθήκες περιορισμένης υγρασίας.

Αναστρεπτήρες μακρείς: Οι αναστρεπτήρες αυτοί σχηματίζουν γενικώς γωνίες σχετικά οξείες. Χρησιμοποιούνται για οργώματα με μεγάλη ταχύτητα επειδή δεν προκαλούν μεγάλο θρυμματισμό.

Αναστρεπτήρες πλήρεις: Είναι όλοι οι αναστρεπτήρες που η επιφάνειά τους είναι πλήρης.

Αναστρεπτήρες ελικοειδείς (εικ.1.26): Το σχήμα του αναστρεπτήρα αυτού του τύπου είναι ελικοειδές, μικρού ύψους και μεγάλου μήκους. Το έδαφος κατά την κίνηση του αρότρου ακολουθεί μια μορφή έλικας κατά τη διάρκεια της αναστροφής του. Η αναστροφή είναι συνεχής, ομοιόμορφη και προοδευτική. Είναι κατάλληλοι για φθινοπωρινή κατεργασία γιατί δεν προκαλούν θρυμματισμό αλλά αναστροφή και χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια σε μέσο - μικρό βάθος με μικρές ταχύτητες.



Εικ.1.26. Τύποι αναστρεπτήρων.

Αναστρεπτήρες κυλινδρικοί (εικ.1.26): Οι αναστρεπτήρες αυτού του τύπου αποτελούν τμήμα κυλίνδρου. Είναι περισσότερο -ψηλοί και κοντότεροι από τους

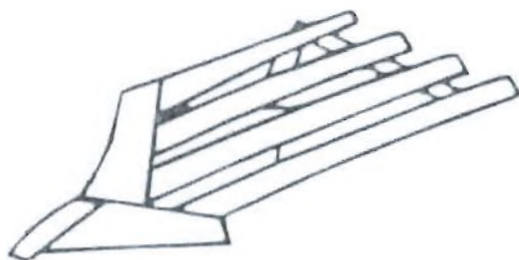
προηγούμενους. Λόγω της μορφής τους επιβάλλουν στο έδαφος υψηλές τάσεις με αποτέλεσμα υψηλό θρυμματισμό. Είναι κατάλληλοι ως εκ τούτου για κατερ-γασία την άνοιξη καθώς και για βαθιά οργώματα.

Αναστρεπτήρες κυλινδρο-ελικοειδείς (κυλινδροειδείς ή μικτοί) (εικ.1.26): Οι αναστρεπτήρες αυτοί αποτελούν μία ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ των ελικοειδών και των κυλινδρικών. Το πρόσθιο τμήμα είναι κυλινδρικό ενώ τοπίσθιο ελικοειδές, με επικρατούντα στοιχεία άλλοτε το κυλινδρικό και άλλοτε το ελικοειδές. Είναι οι αναστρεπτήρες γενικής χρήσης όπως θα μπορούσαν να ονομασθούν και αυτοί που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Αναστρεπτήρες αυτού του τύπου κοντότεροι και πιο στρογγυλεμένοι καλούνται σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης "αμερικανικού τύπου".

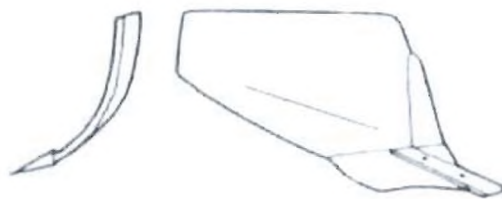
Αναστρεπτήρες με ράβδους ή δόντια: Είναι οι αναστρεπτήρες που η επιφάνεια τους δεν είναι πλήρης αλλά αποτελείται από παράλληλες μεταλλικές ράβδους (εικ.1.27). Χρησιμοποιούνται σε εδάφη τυρφώδη ή βαριά κολλώδη για να μειώνουν τις δυνάμεις τριβής και ως εκ τούτου τις απαιτούμενες ελκτικές δυνάμεις. Από έρευνες στο Πανεπιστήμιο Hohenkeim προέκυψε ότι για ταχύτητες μέχρι 10 km/h η αντίσταση ήταν μικρότερη κατά 15-20% έναντι των κοινών αναστρεπτήρων.

Αναστρεπτήρες ρομβοειδούς κοπής (αγγλ. diamond, γαλ. Isosange) (εικ.1.28): Είναι αναστρεπτήρες κυλινδρικού τύπου που αποκόπτουν το έδαφος όχι με μορφή παραλληλόγραμμου αλλά ρόμβου με κυλινδρικό κεκλιμένο το τοίχωμα της αυλακιάς. Η κοπή αυτή επιτρέπει τη διέλευση των τροχών των ελκυστήρων, που φέρουν μεγάλο εύρους ελαστικά, χωρίς να συμπιέζονται στην αυλακιά. Εκτός τούτων παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της απαίτησης μικρότερου εύρους μεταξύ δύο συνεχόμενων σωμάτων, γεγονός που επιτρέπει τη μείωση του ολικού μήκους του αρότρου για τον ίδιο αριθμό σωμάτων και το αυτό πλάτος κοπής. Επειδή δεν χρησιμοποιούνται μαχαίρια ή δίσκοι εργάζονται ικανοποιητικά και με ογκώδη φυτικά υπολείμματα (καλαμιά, άχυρο κ.ά.).

Αναστρεπτήρες συμμετρικοί - περιστρεφόμενοι: Ο αναστρεπτήρας είναι συμμετρικός ως προς κατακόρυφο άξονα συμμετρίας και μπορεί να εργασθεί και από τις δύο πλευρές του. Χρησιμοποιείται σε ειδικά άροτρα. Είναι κυλινδρικού τύπου.



Εικ.1.27. Αναστρεπτήρας με ράβδους.



Εικ.1.28. Αναστρεπτήρας ρομβοειδούς κοπής.

1.4. ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΑΡΟΤΡΟ:

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 και σύνθετο αναστρεπτήρα και υνί, με αποτέλεσμα οι αναλυτικές λύσεις που προτάθηκαν κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές να δίνουν αποτελέσματα που αποκλίνουν σημαντικά από τα πειραματικά δεδομένα [28]. Μία από τις πιο πρόσφατες έρευνες επεδίωξε να αναλύσει με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή 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 εκφρασθούν οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κίνηση του υναρότρου.

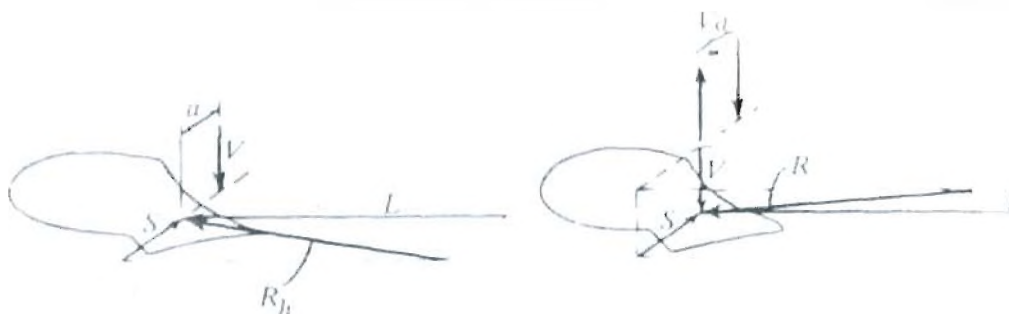
Η ανάλυση των δυνάμεων έχει απασχολήσει τους διάφορους ερευνητές από το 1920, και ιδιαίτερα τον A.W. Clyde [9], που προσπάθησαν να καθορίσουν τις δυνάμεις και να υπολογίσουν το μέγεθος τους. Η ανάλυση των δυνάμεων που αναπτύσσονται στο άροτρο εκτός από το θεωρητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και άμεσο ενδιαφέρον εφαρμογής. Με την ανάλυση αντιμετωπίζονται καλύτερα τα προβλήματα που έχουν σχέση με το σχήμα του υνιού 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 [31].

Γενικά οι δυνάμεις στο άροτρο .

Σε ένα άροτρο που κινείται με σταθερή ομοιόμορφη ταχύτητα οι δυνάμεις που ενεργούν είναι: α) το βάρος του , β) η συνολική αντίδραση του εδάφους και γ) η δύναμη έλξης του ελκυστήρα.

Ο Clyde [8], κατατάσσει τις δυνάμεις που προκαλούνται από την αντίδραση του εδάφους σε δυο 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'Callaghan και McCoy [8] 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.1.29 παριστά σύμφωνα με τον Clyde [8], τις δυνάμεις με δύο τρόπους: α) Με δύο δυνάμεις που ενεργούν σε διαφορετικό επίπεδο, την κατακόρυφη V και την οριζόντια R_h . Η 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 , 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 ($a=0$).



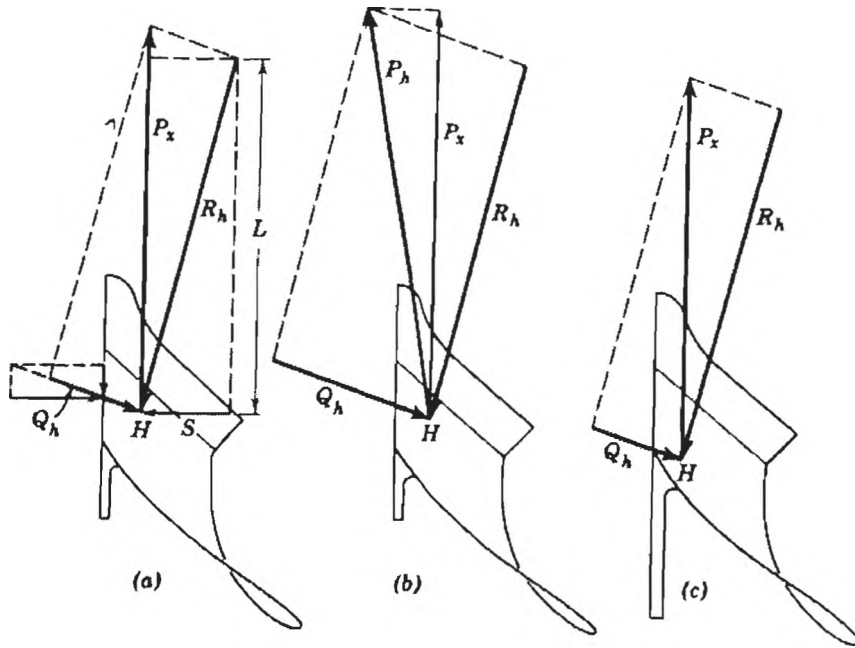
Εικ.1.29. Δύο τρόποι έκφρασης της συνολικής αντίστασης τον εδάφους σε ένα καλλιεργητικόεργαλείο.

Δυνάμεις στο οριζόντιο επίπεδο

Η εικ.1.30. δείχνει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται σε ένα άροτρο, σε οριζόντιο επίπεδο, σύμφωνα με δοκιμές που διεξήχθησαν από τον Clyde [8]. Η R_h παριστά την οριζόντια συνιστώσα της συνολικής αντίδρασης R (εικ.1.29) των κύριων ή ωφέλιμων δυνάμεων. Η Q_h την οριζόντια συνιστώσα των δευτερευουσών ή παρασιτικών δυνάμεων ενώ η 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 προϊνιο. 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 .

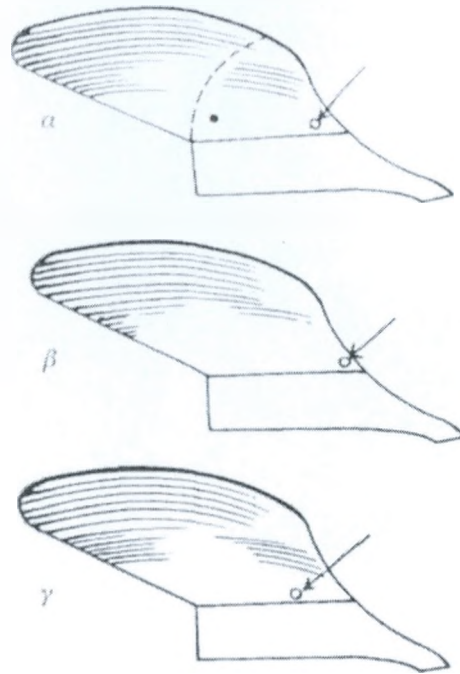
Η οριζόντια συνιστώσα Q_h της συνισταμένης Q των παρασιτικών αντιστάσεων αποτελείται από μία δύναμη που προέρχεται από την αντίδραση του τοιχώματος της αυλακιάς (τριβής) στην ευθυντηρία (Q_{hs}), που είναι ίση και αντίθετη προς την δ , καθώς και από μία δύναμη τριβής του εδάφους και της ευθυντηρίας και είναι αντίθετη προς τη διεύθυνση της κίνησης (Q_{hi}). Για τον υπολογισμό των παρασιτικών δυνάμεων ως συντελεστής τριβής εδάφους-άροτρου συνήθως λαμβάνεται η τιμή 0,3. Συνήθως δίνονται τιμές από 0,3 έως 0,5. Με βάση τις τιμές αυτές προσδιορίζεται η θέση και ο προσανατολισμός της δύναμης Q_h . Όταν προσδιορισθούν οι οριζόντιες συνιστώσες των κυρίων (R_h) και παρασιτικών δυνάμεων (Q_h) μπορεί να προσδιορισθεί το μέγεθος της δύναμης έλξης (P_x), κατά τη διεύθυνση της κίνησης, ώστε να αντιμετωπιστούν αυτές οι δυνάμεις. Το σημείο στο οποίο συγκλίνουν (ή διέρχονται) οι τρεις αυτές δυνάμεις

καλείται κέντρο αντίστασης του σώματος του αρότρου. Το κέντρο αντίστασης του αρότρου δεν είναι δυνατό να καθορισθεί με ακρίβεια, αφού οι δυνάμεις μεταβάλλονται συνεχώς και 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.1.30.



Εικ.1.30. Δυνάμεις που αναπτύσσονται σε οριζόντιο επίπεδο σε ένα άροτρο κατά τον A. W. Clyde. a. Έλξη παράλληλη προς την ευθυντηρία. b. Έλξη με κλίση και c. Μεγάλου μήκους ευθυντηρία.

Όπως φαίνεται στην εικ.1.30c 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.1.31). Όταν υπάρχει οπίσθιος τροχός αυλακιάς, το κέντρο αντίστασης μετατοπίζεται επίσης προς τα πίσω και προς την ευθυντηρία.



Εικ.1.31. Θέση τον κέντρου αντίστασης σε άροτρο γενικής χρήσης α. μέσο, β. ελαφρύ, γ. βαρύ έδαφος.

Σε ένα πολύμνο άροτρο η θέση του κέντρου αντίστασης προσδιορίζεται από τις θέσεις των κέντρου αντίστασης των δύο ακραίων σωμάτων. Σε ένα τρίμνο άροτρο ,το κέντρο θα βρίσκεται στο κέντρο αντίστασης του μεσαίου σώματος ενώ σε ένα δίμνο 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.1.30b 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.

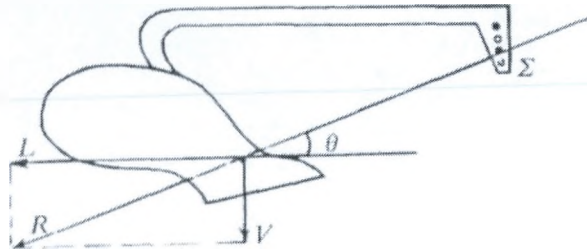
Επειδή κατά τη διάρκεια της εργασίας η θέση του κέντρου αντίστασης δεν παραμένει σταθερή, είναι πρακτικότερο να θεωρείται ως υποθετικό κέντρο αντίστασης κάποιο σταθερό σημείο π.χ. η μύτη του υνιού και να αναλύεται η αντίσταση του

εδάφους σε τρεις κάθετες συνιστώσες, στο σύστημα των ορθογωνίων συντεταγμένων $Oxyz$. 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 R_x και R_y , αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση του βάθους ενώ η συνιστώσα R_z λιγότερο, εξαρτώμενη κυρίως από το σχήμα του υνιού και του αναστρεπτήρα και από τις χαρακτηριστικές γωνίες του αρότρου. Από τις συνιστώσες αυτές, η R_x είναι αυτή που ενδιαφέρει κυρίως γιατί εξουδετερώνεται από την δύναμη έλξης. Η R_x αντιστοιχεί στην R_h , κατά την ανάλυση του Clyde [8]. Κάτω από συνήθεις καταστάσεις αγρού η R_x 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_x (ή R_h) εξαρτώνται απόλυτα, όπως αναφέρθηκε, από τη μηχανική σύσταση και τη γενική κατάσταση του εδάφους (συμπύκνωση, κατεργασία κλπ).

Δυνάμεις σε κατακόρυφο επίπεδο

Σε κατακόρυφο επίπεδο η δύναμη R (εικ.1.29) αναλύεται σε δύο συνιστώσες την L κατά τη διεύθυνση της κίνησης και την V κατά την κατακόρυφο (εικ.1.32)

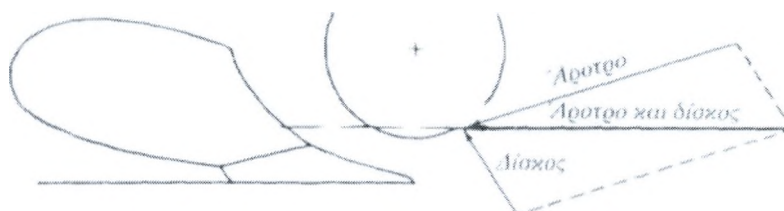


Εικ.1.32. Δυνάμεις που αναπτύσσονται σε άροτρο σε κατακόρυφο επίπεδο. Σ , σημείο σύνδεσης του αρότρου.

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. 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.

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 διείσδυση του δίσκου (αντίσταση με φορά προς την επιφάνεια). Η εικ. 3.55 δείχνει κατά τον Clyde [8] τη συνισταμένη αντίσταση του εδάφους σε άροτρο με δίσκο.



Εικ.1.33. Συνισταμένη των αντιστάσεων του εδάφους σε άροτρο με δίσκο.

Όσο το έδαφος γίνεται πιο βαρύ τόσο δυσκολεύεται η διείσδυση 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 τελείως ή να ρυθμίζεται να κόβει πολύ επιφανειακά. Σε αντίθεση τα προύγια δεν παρουσιάζουν προβλήματα διείσδυσης.

Ζεύγη δυνάμεων.

Γενικά, αν μελετήσουμε το σώμα ενός αρότρου δεξιάς φοράς από το οπίσθιο τμήμα, παρατηρούμε ότι υποβάλλεται σε ζεύγος δυνάμεων αντίθετο από τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Η μεγαλύτερη τιμή που αναφέρεται είναι περίπου 2000 lb ανά in. Ένας περιστρεφόμενος δίσκος μειώνει αυτό το ζεύγος, και σε σκληρό έδαφος αλλάζει δεξιόστροφα, προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού (μέχρι 1100 lb ανά in.). Σε ένα πλήρες άροτρο αυτή η περιστροφική επίδραση εμφανίζεται κυρίως από τις παρασιτικές ή δευτερεύουσες δυνάμεις στήριξης, στους τροχούς του αρότρου ή του γεωργικού ελκυστήρα ή στις επιφάνειες των σωμάτων του αρότρου.

Δύναμη έλξης.

Το συγκεντρωμένο φορτίο στα άροτρα ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά, οι οποίες επηρεάζονται από παράγοντες όπως τον τύπο του εδάφους, την κατάσταση του, την ταχύτητα οργώματος, το σχήμα του σώματος του αρότρου, τα χαρακτηριστικά τριβής των επιφανειών δέσμευσης εδάφους, την αιχμηρότητα και τη μορφή του υνιού, το βάθος του οργώματος, το πλάτος της κοπτόμενης φέτας, τον τύπο συνδέσεων, τη ρύθμιση του αρότρου και των συνδέσεων. Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για τον υπολογισμό των διαφόρων παραγόντων και έρευνες για να βρεθούν πιθανά μέσα για τη μείωση του φορτίου. Αναπτύχθηκε μια μαθηματική μέθοδος για τον προϋπολογισμό του φορτίου, με βάση τις εξισώσεις για την τροχιά της ροής του εδάφους που καθορίστηκαν πειραματικά.

Επίδραση του βάθους και του πλάτους κοπής.

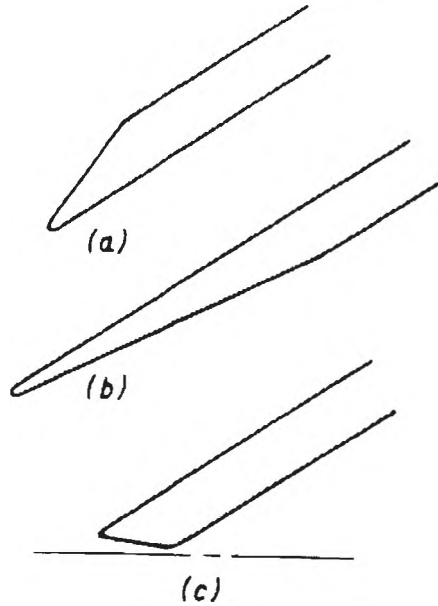
Τα περισσότερα διαθέσιμα στοιχεία, γενικά δείχνουν ότι το συγκεντρωμένο φορτίο ενός αρότρου μειώνεται με την αύξηση του βάθους μέχρι κάποια βέλτιστη αναλογία βάθους-πλάτους και έπειτα αυξάνεται καθώς το βάθος αυξάνεται περαιτέρω. Η αρχική μείωση του συγκεντρωμένου φορτίου με την αύξηση του βάθους είναι λογική επειδή η συνολική δύναμη για την κοπή του κάτω τμήματος της κοπτόμενης φέτας πρέπει να είναι ανεξάρτητη από το βάθος. Η αύξηση στο συγκεντρωμένο φορτίο πέρα από το βέλτιστο βάθος οφείλεται πιθανών, εν μέρει στην συμπίεση της παχιάς κοπτόμενης φέτας από την κυρτότητα του αναστρεπτήρα. Τα σώματα αρότρων για βαθιά άροση έχουν ψηλότερους αναστρεπτήρες από τα τυποποιημένα σώματα αρότρων γενικής χρήσης. Το ελάχιστο φορτίο για σώματα 36cm ήταν σε βάθος 13 έως 18cm.

Τα αποτελέσματα από ένα αριθμό δοκιμών σε δοκίμια από αμμώδες έδαφος, δείχνουν ότι, σε αυτό το έδαφος, αν μεταβάλουμε το πλάτος κοπής από ένα σώμα 31cm σε ένα σώμα 41cm (με αφαιρεμένες ευθυντηρίες) υπάρχει μικρή επίδραση στο συγκεντρωμένο φορτίο του σώματος. Αλλά η τριβή της ευθυντηρίας, το φορτίο στο δίσκο, και η αντίσταση κύλισης των τροχών του αρότρου, που δεν συμπεριλήφθηκαν, θα άλλαζαν ελάχιστα και ως εκ τούτου θα αύξαναν το συγκεντρωμένο φορτίο του αρότρου καθώς το πλάτος κοπής μειώνεται. Ο Getzlaff [8], από δοκιμές σε αγρούς με άροτρα 26cm, διαπίστωσε ότι το συγκεντρωμένο φορτίο αυξάνεται με τη μείωση του πλάτους κοπής κάτω από 26 cm.

Επίδραση της μορφής και του σχεδιασμού του σώματος του αρότρου.

Η μορφή του αναστρεπτήρα έχει μια καθορισμένη επίδραση στο φορτίο έλξης, παρόλο που υπάρχουν σχετικές επιδράσεις από τον τύπο του εδάφους τις συνθήκες που επικρατούν, την ταχύτητα, ίσως και άλλους παράγοντες. Ο Soehne [8] πραγματοποίησε μια λεπτομερή μελέτη για την επίδραση της μορφής του αναστρεπτήρα, της ταχύτητας, και του τύπου του εδάφους, στο φορτίο και την απόδοση. Τα αποτελέσματά του δείχνουν ότι η σειρά διαβάθμισης μιας ομάδας σωμάτων, από πλευρά συγκεντρωμένου φορτίου, μπορεί να είναι αρκετά διαφορετική σε δύο διαφορετικές ταχύτητες ή σε διαφορετικά εδάφη. Βρέθηκαν ευδιάκριτες διαφορές στο συγκεντρωμένο φορτίο για τους διάφορους τύπους σωμάτων και ακόμη και μεταξύ ποικίλων σωμάτων από την κατηγορία γενικής χρήσης. Γενικά, τα άροτρα που προσφέρουν καλύτερη κάλυψη υπολειμμάτων ή το μέγιστο βαθμό κονιορτοποίησης έχουν μεγαλύτερα φορτία, αν και το αντίστροφο δεν ισχύει πάντα.

Η μορφή της αιχμής του υνιού μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο φορτίο. Τρεις διαφορετικές μορφές υνιού που εξετάζονται σε ένα σώμα 36cm σε αργιλώδες έδαφος είχαν φορτία 266, 290, και 317 Ib όταν ήταν καινούρια. Συγκρίθηκαν 6 τύποι υνιών μιας χρήσεως του εμπορίου, με την χρήση ενός σώματος 36cm σε τρεις 3 τύπους εδάφους. Υνιά βαθιάς - αναρρόφησης (έχουν εκτεταμένο υνί προς τα εμπρός όπως τα υνιά τύπου gunnel), υνιά με τα εμπρόσθια σημεία να είναι παχύτερα, και υνιά που έχουν λαξευτεί στην πάνω πλευρά τους (εικ.1.34a) είχαν 10 με 20% περισσότερο φορτίο από το αναφερόμενο υνί τροποποιημένης καμπυλότητας. Τα επίπεδα υνιά είχαν 3 με 10% περισσότερο φορτίο από υνί τροποποιημένης καμπυλότητας. Μερικά υνιά με μεγαλύτερο φορτίο έχουν επιθυμητά χαρακτηριστικά όπως την καλή διείσδυση ή την καλή αντοχή στα δύσκολα - βραχώδη εδάφη.



Εικ.1.34. Καινούριες και φθαρμένες αιχμές υνιών (α) καινούρια, λαξευμένα στην πάνω πλευρά, (β) καινούρια, λαξευμένα στην κάτω πλευρά, (c) υνί που έχει φθαρεί.

Τα φθαρμένα υνιά μπορεί να έχουν ουσιαστικά μεγαλύτερο φορτίο από τα καινούρια, αλλά μερικές φορές έχουν σχεδόν το ίδιο ή λίγο μικρότερο. Η φθορά του υνιού εμφανίζεται γρήγορα σε πολλούς τύπους εδάφους, ιδιαίτερα όταν είναι χαμηλή η περιεκτικότητα σε υγρασία. Αναφέρονται αυξήσεις του φορτίου 15% ή περισσότερο μετά από χρήση μόνο μερικών ωρών.

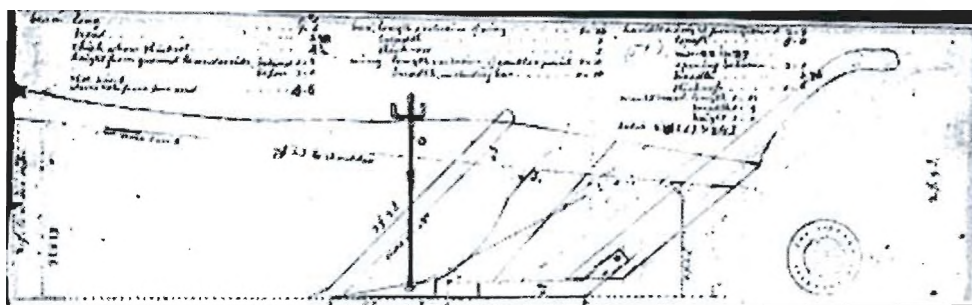
Αλλαγές στο σχεδιασμό ή στα υλικά για τη μείωση της τριβής εδάφους-μετάλλου, παρέχουν αξιοσημείωτες δυνατότητες για τη μείωση του φορτίου. Η τριβή στις επιφάνειες αρότρων μπορεί να αποτελεί τουλάχιστον το 30% του συνολικού φορτίου. Διάφορες ιδέες για τη μείωση της τριβής αναφέρονται στην παράγραφο «**Καθαρισμός αρότρου**», σε σχέση με τον καθαρισμό. Οι ιδέες αυτές περιλαμβάνουν την κάλυψη των επιφανειών δέσμευσης του εδάφους με τεφλόν, την παροχή ενός λεπτού φιλμ αέρα μεταξύ εδάφους και μετάλλου, τη λίπανση του αναστρεπτήρα και τη χρησιμοποίηση κινούμενων επιφανειών για τη μεταφορά του εδάφους. Όπως υποδεικνύεται στην παράγραφο «**Καθαρισμός αρότρου**», η κάλυψη του σώματος ενός αρότρου με τεφλόν μείωσε το φορτίο κατά 23% σε έδαφος που ο χάλυβας δεν θα καθάριζε, και κατά 12% σε έδαφος όπου και τα δύο καθαρίζονται.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ

Ο σχεδιασμός του αρότρου είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που δεν έχουν βρει λύση έτσι ώστε ένα απλό σχήμα σώματος να παρέχει ικανοποιητική εργασία σε όλες τις συνθήκες εδάφους που επικρατούν. Ακόμα περισσότερη δουλειά έχει γίνει ώστε να τελειοποιηθεί το σώμα του αρότρου σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο γεωργικό εργαλείο. Πρέπει να έχει καλές επιδόσεις στην ποιότητα άροσης, που μπορεί να προσφέρει στον παραγωγό, η οποία εν τέλει επηρεάζει την απόδοση του εδάφους, την αύξηση του φυτού σε μέγεθος και επιπλέον την αύξηση της παραγωγής.

Παλαιότερες μέθοδοι για τη γραφική ανάλυση κατά το σχεδιασμό του σώματος ενός αρότρου.

Κατά τη διάρκεια πολλών ετών η μορφή του αναστρεπτήρα στα άροτρα εξελίχθηκε μέσω μεθόδων σχεδιασμού «δοκιμής - λάθους» από τις προσπάθειες πολλών ατόμων. Ο Thomas Jefferson το 1788 [15] ανέπτυξε μια μέθοδο για την ακριβή περιγραφή της επιφάνειας ενός αρότρου με αναστρεπτήρα. Ήταν μια φυσική μέθοδος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ενός αρότρου. Χρησιμοποίησε δύο ευθείες γραμμές ως σταθερούς οδηγούς ενώ μια τρίτη ευθεία γραμμή κινούνταν και περιστρεφόταν σε ένα σταθερό επίπεδο. Η μέθοδος του Jefferson ήταν πρακτική, παρόλα αυτά, βασίστηκε καθαρά στη διαίσθηση. Ο White [5] ανέλυσε διάφορα άροτρα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Jefferson. Καθιέρωσε εξισώσεις για να περιγράψει τις επιφάνειες στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Δεν κατάφερε όμως να συσχετίσει αυτές τις εξισώσεις με τις δυνάμεις που ασκούνταν στο άροτρο. Εντούτοις, η εργασία του είναι μεγάλης αξίας, δεδομένου ότι απέδειξε ότι μια υπάρχουσα μορφή αρότρου θα μπορούσε να αναπαρασταθεί από μαθηματικές σχέσεις.



Εικ.2.1. σχεδιασμός από τον Thomas Jefferson.



Εικ.2.2. Αρότρο του Thomas Jefferson.

Οι διαδικασίες για το σχεδιασμό της μορφής των σωμάτων αναπτύσσονται με τη βοήθεια της θεωρητικής ανάλυσης και των μαθηματικών σχέσεων, ο σχεδιασμός των νεότερων σωμάτων συνήθως βασίζεται σε τροποποιήσεις ή αποκλίσεις από υπάρχοντα σώματα που ήταν γνωστά για ικανοποιητική απόδοση. Η γραφική ανάλυση της τροχιάς της ροής του εδάφους πάνω στον αναστρεπτήρα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση των ήδη υπάρχοντων και των προτεινόμενων σωμάτων, και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από τις αλλαγές της μορφής του σώματος. Οι τροχιές ροής μπορούν να προσδιοριστούν από τις γρατσουνιές που δημιουργούνται όταν κινείται το σώμα του αρότρου μέσα στο έδαφος για μια σχετικά μικρή απόσταση με σταθερή ταχύτητα, μετά από τον ψεκασμό της επιφάνειας με μια κατάλληλη λάκκα. Οι τροχιές ροής δεν είναι απαραίτητως οι ίδιες σε διαφορετικές ταχύτητες.

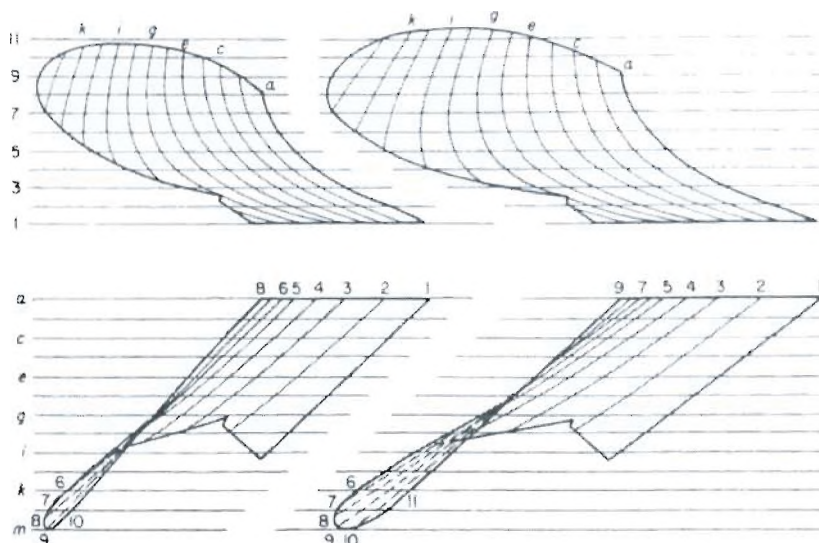
Οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων μετριοούνται κατά μήκος κάθε μιας από τις διάφορες τροχιές ροής και αναπτύσσεται μια εμπειρική εξίσωση για κάθε τροχιά ροής. Οι ταχύτητες και οι επιταχύνσεις προσδιορίζονται μετά από την πρώτη και τη δεύτερη παράγωγο αυτών των εξισώσεων. Μετέπειτα χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονικοί υπολογιστές για να ταιριάξουν τις πολυωνυμικές καμπύλες στις συντεταγμένες που έχουν ληφθεί από μετρήσεις και να υπολογίζουν τις ταχύτητες και τις επιταχύνσεις κατά μήκος των τροχιών ροής. Οι υπολογιστές παρέχουν ακριβέστερους υπολογισμούς και επιτρέπουν την έρευνα πολύ μεγαλύτερου αριθμού πιθανών σχεδίων.

Αν και η ποσοτική αξιολόγηση τέτοιων μαθηματικών σχέσεων δεν έχει αποδειχθεί, οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων επιτρέπουν την ποιοτική αξιολόγηση για ήδη υπάρχοντα σώματα αρότρων. Παραδείγματος χάριν, συγκρίνοντας δύο σώματα, των οποίων τα χαρακτηριστικά απόδοσης έχουν καθιερωθεί από πολυετή εμπειρία στους αγρούς. Τα ποσοστά επιτάχυνσης του σώματος που θεωρήθηκαν καλύτερα στην

πράξη ήταν πιο ομοιόμορφα από εκείνα του άλλου και στα οπίσθια τμήματα του αναστρεπτήρα ήταν αρκετά χαμηλότερα σε σχέση με το άλλο σώμα. Πραγματικά, αυτή η σύγκριση τείνει να επιβεβαιώσει τα συμπεράσματα των προγενέστερων ερευνητών ότι η ομοιόμορφη επιτάχυνση του εδάφους κατά μήκος των τροχιών ροής είναι επιθυμητή για καλύτερη απόδοση.

Αναπτύχθηκε μια μέθοδος πρόβλεψης του φορτίου ενός σώματος αρότρου, βασισμένη στις πειραματικά καθορισμένες εξισώσεις για τις τροχιές ροής του εδάφους. Εξέτασαν τις δυνάμεις σε ένα εδαφικό πρίσμα 2,54 επί 2,54cm (1in επί 1in) που απλώνει όλο το βάθος του εδαφικού στρώματος στον αναστρεπτήρα. Βρήκαν τις εξισώσεις για να περιγράψουν χωριστά τους παράγοντες του έργου που καταναλώθηκε στην υπερνίκηση της τριβής, της βαρύτητας, της επιτάχυνσης και της προσκόλλησης καθώς αυτό το πρίσμα κινείται από κάθε θέση σε μια άλλη θέση κατά μήκος μιας τροχιάς εδαφικής ροής. Από αυτές τις σχέσεις θα μπορούσαν να καθορίσουν το συνολικό έργο που καταναλώθηκε σε ένα στοιχειώδες πρίσμα στην κίνηση κατά μήκος μιας ιδιαίτερης τροχιάς ροής από το εμπρόσθιο τμήμα του σώματος προς το σημείο που το έδαφος εγκαταλείπει το σώμα. Οι εξισώσεις τους επέτρεψαν επίσης τον προσδιορισμό των δυνάμεων στο κάθετο επίπεδο και της οριζόντιας αντίδρασης του εδάφους, από τις οποίες μπορούσαν να υπολογίσουν τις παρασιτικές δυνάμεις έλξης στην ευθυντηρία και το σώμα του αρότρου. Η συνολική δύναμη έλξης προβλέφθηκε με αυτόν τον τρόπο και ισχύει αρκετά καλά με τα πειραματικά αποτελέσματα που αποκομίστηκαν σε ένα έδαφος αμμώδες πηλού.

Ο Soehne (1962) [5], σαν πρώτο βήμα στην έρευνά του για τις μορφές των σωμάτων για υψηλές ταχύτητες, δημιούργησε γραφικές αναπαραστάσεις για τη μορφή 25 περίπου υπάρχοντων σωμάτων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο παρεμπόδισης του φωτός. Με τη μέθοδο παρεμπόδισης του φωτός ο Soehne κατάφερε να σχηματίσει τα οριζόντια περιγράμματα και επίσης τις γραμμές περιγράμματος σε κάθετα επίπεδα παράλληλα στην ευθυντηρία του αρότρου. Προέβαλε μια στενή δέσμη φωτός πάνω σε ένα άροτρο με την επιφάνειά του βαμμένη άσπρη και κατέγραψε το ίχνος από το ανακλώμενο φως με τη βοήθεια μιας φωτογραφικής μηχανής, τοποθετημένης σε μια γραμμή κάθετα στο επίπεδο της λεπτής ακτίνας. Το σώμα αρότρου κινήθηκε, για να λάβει μια οικογένεια γραμμών για τα οριζόντια περιγράμματα και μια οικογένεια για τα κάθετα περιγράμματα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα.



Εικ.2.3. Περίγραμμα ενός σώματος αρότρου σχεδιασμένου για κατεργασία σε ταχύτητα 3 έως 3,5 m/h (αριστερά), και σώμα για ταχύτητα 5 m/h (δεξιά). Κάθε γραμμή περιγράμματος προβάλλεται από το επίπεδο που προσδιορίζεται με τον ίδιο αριθμό ή γράμμα στην αντίθετη όψη.

Η γραφική παράσταση της μορφής των σωμάτων του αρότρου με γραμμές περιγράμματος είναι πλέον μια κοινή πρακτική. Με τη μέθοδο παρεμπόδισης του φωτός ο Soehne παρατήρησε επίσης τις αποδόσεις τους στον αγρό και μέτρησε το φορτίο και την πλευρική απόσταση πτώσης του εδάφους ως συνάρτηση της ταχύτητας. Χρησιμοποίησε κάποιες εξισώσεις για την ανάλυση της επίδρασης της ταχύτητας στο φορτίο. Καθόρισε επίσης ορισμένες άλλες παραμέτρους για τη μορφή και προσπάθησε να τις συσχετίσει με την απόδοση, ιδιαίτερα όσον αφορά την άροση με μεγάλες ταχύτητες (5 με 7 m/h). Διάφορα σώματα μεγάλης ταχύτητας σχεδιάστηκαν και δοκιμάστηκαν, με κάθε σχέδιο να αρχίζει από ένα δοκιμασμένο σώμα για κανονικές ταχύτητες.

Γενικά, οι μελέτες του Soehne δείχνουν ότι ένα σώμα αρότρου για μεγάλες ταχύτητες πρέπει να είναι σχετικά επίπεδο, επιμηκυμένο, και αιχμηρό έτσι ώστε οι κάθετες και οι πλευρικές συνιστώσες της ταχύτητας του εδάφους να μην είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τα συμβατικά σώματα για χαμηλότερες ταχύτητες. Προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική αναστροφή, ο αναστρεπτήρας πρέπει να έχει σχετικά έντονη συστροφή. Το ομοιόμορφο στρίψιμο από την ευθυντηρία ως στο τέλος του αναστρεπτήρα παρέχει ικανοποιητική απόδοση με μεγαλύτερο εύρος σε χαμηλότερες ταχύτητες σε σχέση με κάποιο αναστρεπτήρα που έχει το μεγαλύτερο μέρος της συστροφής κοντά στο τέλος του αναστρεπτήρα. Η άκρη του αναστρεπτήρα

πρέπει να είναι υψηλότερη προς τη πλευρά της κοπτόμενης φέτας σε σύγκριση με ένα συμβατικό σώμα, έτσι ώστε το έδαφος να μην πετιέται μακριά από το σώμα σε υψηλές ταχύτητες. Στο σχήμα συγκρίνονται οι μορφές 2 παρόμοιων σωμάτων αρότρου που έχουν σχεδιαστεί για ταχύτητες 3,1 m/s και 5 m/s.

Έχουν αναπτυχθεί αναλυτικές μέθοδοι μηχανολογικού σχεδιασμού του αρότρου, αλλά και γραφικές μέθοδοι για τον καθορισμό της μορφής και τον προσδιορισμό εξισώσεων για το σχεδιασμό. Μια γραφική μέθοδος για να προσδιοριστεί η μορφή ενός υπάρχοντος αρότρου είναι με τη χρησιμοποίηση ενός ζεύγους παράλληλων επιφανειών, οι οποίες είναι κάθετες στο οριζόντιο επίπεδο, με τη σύμπτωση οπών σε πλέγμα. Οι επιφάνειες καθιερώνουν ένα επίπεδο $y-z$ ενώ το οριζόντιο επίπεδο είναι το επίπεδο $x-y$. Το άροτρο, η μορφή του οποίου πρόκειται να καθοριστεί, τοποθετείται μπροστά από τις κάθετες επιφάνειες που είναι πλέγματα με αριθμημένα τετράγωνα. Μια αριθμημένη ράβδος εισάγεται μέσω των οπών του πλέγματος μέχρι να αγγίζει την επιφάνεια του αρότρου. Αυτό καθορίζει την τιμή του x ενώ η θέση της οπής του πλέγματος καθορίζει την τιμή του y και του z . Χρησιμοποιώντας αυτά τα στοιχεία, μια διδιάστατη αναπαράσταση της επιφάνειας σχεδιάζεται στο επίπεδο $x-y$ με τη χάραξη της σταθεράς τιμής z των γραμμών του πλέγματος. Ο Soehne [9] χρησιμοποίησε οπτικά μέσα να επισπευτεί αυτή η μέθοδος. Πρόβαλε ένα φως μέσω μιας σχισμής, είτε οριζόντια είτε κάθετα, πάνω στη χρωματισμένη επιφάνεια του αρότρου. Μια φωτογραφική μηχανή χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει την απεικόνιση του φωτός. Μια σειρά φωτογραφιών λήφθηκε με την κίνηση του αρότρου σε διαφορετικές θέσεις. Δεν έγινε καμία προσπάθεια για ανάπτυξη μαθηματικών εξισώσεων ώστε να περιγράψει τα περιγράμματα. Αυτή η τεχνική ήταν χρήσιμη στη σύγκριση της μορφής διαφορετικών αρότρων.

Είναι εμφανές από την ανωτέρω αναφορά ότι δεν έχει ερευνηθεί καμία τεχνική που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εύκολα για να περιγράψει από μαθηματική άποψη τη μορφή ενός αρότρου με αναστρεπτήρα, ώστε να επιτρέπει σε ένα μηχανολόγο να αλλάζει εύκολα την επιφάνεια του αρότρου για το μηχανολογικό σχεδιασμό και να συνδυάζει τη μαθηματική περιγραφή της επιφάνειας με ένα μοντέλο μηχανικής εδάφους - εργαλείου, για να προβλέψουν τις μεταβολές της αντίστασης του εδάφους. Στην αεροναυπηγική βιομηχανία έχουν αναπτυχθεί τεχνικές ηλεκτρονικής γραφιστικής για την περιγραφή της περίπλοκης μορφής των αεροδυναμικών εξαρτημάτων και τη βελτίωση της απόδοσης. Αυτές οι τεχνικές ισχύουν άμεσα στις

σύνθετες επιφάνειες αναστρεπτήρων των αρότρων. Η γραφική αναπαράσταση είναι μια πολύ αποτελεσματική διάταξη επικοινωνίας μεταξύ ενός υπολογιστή και του μηχανολόγου.

Οι νέες πρακτικές άροσης και η ανάγκη για βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση στην κατεργασία του εδάφους, δίνουν έμφαση στη βελτιστοποίηση του μηχανολογικού σχεδιασμού των αρότρων. Ανάλογα με τις απαιτήσεις στο σχεδιασμό επιλέγονται πειραματικές ή θεωρητικές μέθοδοι ανάλυσης. Τα πειράματα στον αγρό επιτρέπουν την πιστοποίηση του αρότρου με τη χρήση ειδικών οργάνων εξοπλισμού. Αυτά τα πειράματα θα μπορούσαν επίσης να διεξαχθούν σε δείγμα εδάφους, όταν απαιτείται το περιβάλλον να είναι περισσότερο ελεγχόμενο, αφού η ετερογένεια του εδάφους παρατηρείται συχνά ως πηγή μεταβλητότητας [6].

Η θεωρητική ανάλυση είναι πιο διαδομένη, σε σχέση με τις απαιτήσεις της αυξημένης παραγωγικής διαδικασίας και την επιθυμία μείωσης της κατασκευής πρωτοτύπων και επαλήθευσης. Αναλυτικά και εμπειρικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ακόμα για να λυθούν εφαρμογές αλληλεπίδρασης εδάφους - εργαλείου.

Οι περισσότερες μέθοδοι μηχανολογικού σχεδιασμού, είναι ευκολότερες στη μελέτη με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, γιατί η πρόοδος στην απόδοση των υπολογιστών είναι απόδειξη που υπόσχεται αριθμητικές προσεγγίσεις. Οι μέθοδοι μηχανολογικού σχεδιασμού είναι:

- Αναλυτικές.
- Γραφικές.
- Γραφοαναλυτικές.

Στις αναλυτικές μεθόδους δημιουργείται ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει το άροτρο. Για να δημιουργηθεί αυτό το μοντέλο, γίνονται μερικές παραδοχές για την απλοποίηση του προβλήματος κατά την θεωρητική μελέτη, όπως για παράδειγμα ότι το υνί πρέπει να έχει ίσια κόψη, ο τύπος του εδάφους να είναι συγκεκριμένος και άλλα. Το μαθηματικό μοντέλο βοηθά στην περιγραφή της μορφής του αρότρου, σε κάθε περίπτωση και αποτελείται από εξισώσεις που προκύπτουν είτε από υπολογισμούς, είτε από πειράματα ή ακόμα και εμπειρικά.

Στις γραφικές μεθόδους σχεδιάζεται ένα ήδη υπάρχον άροτρο μόνο με γραφική απεικόνιση. Εκεί γίνονται τροποποιήσεις και αλλαγές στο άροτρο για την καλύτερη απόδοση. Αλλαγές μπορούν να γίνουν στη μορφή της επιφάνειας του αναστρεπτήρα και του υνιού. Το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή και η δοκιμή του νέου άροτρου.

Στις γραφοαναλυτικές μεθόδους δημιουργείται ένα μαθηματικό μοντέλο για την περιγραφή του αρότρου. Για την απεικόνιση ενός μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιούνται μέθοδοι γραφικής αναπαράστασης ή γραφικής ανάλυσης. Οι μέθοδοι γραφικής ανάλυσης είναι:

- ✦ Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ.) [20]
- ✦ Μέθοδος οριακών στοιχείων (Μ.Ο.Σ.) [23,24]
- ✦ Μέθοδος ξεχωριστών στοιχείων (Μ.Ξ.Σ.) [25]

Η Μέθοδος Οριακών Στοιχείων (Μ.Ο.Σ) παρέχει αποτελέσματα των γενικών ορίων του συστήματος, τα οποία μπορεί να μην είναι κατάλληλα για τις αλληλεπιδράσεις εδάφους εργαλείου, που περιλαμβάνουν επίσης τον προσδιορισμό της κατάστασης της εσωτερικής πίεσης του εδάφους, όταν διαταράσσεται από ένα εργαλείο άροσης. Η Μέθοδος ξεχωριστών στοιχείων (Μ.Ξ.Σ.) είναι μια πιο πρόσφατη προσέγγιση, που μοντελοποιεί το έδαφος ως ροή ξεχωριστών σωματιδίων παρά ως συνεχές σώμα όπως στη Μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ.). Αυτό είναι μια πολύ ισχυρή δυνατότητα για την εξέταση της αστοχίας του εδάφους που εμφανίζεται στην άκρη των εργαλείων. Από σύγχρονους μελετητές παρουσιάζονται περιοριστικές συνθήκες που απαιτούνται από τη Μ.Π.Σ. για το σχεδιασμό μιας τέτοιας κατάστασης εδάφους. Εντούτοις, ένας ακόμη περιορισμός είναι ότι απαιτείται υψηλή ικανότητα των υπολογιστών για τη λύση προβλημάτων με τη Μ.Ξ.Σ.. Για αυτό το λόγο, συνδυάζεται η Μ.Ξ.Σ. με τη Μ.Π.Σ. ώστε κάθε μια από αυτές να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά. Σήμερα, η Μ.Π.Σ. μπορεί να είναι η δημοφιλέστερη μέθοδος στη βιομηχανία λόγω της μεταβλητότητάς της. Επιπλέον, διάφορες εμπορικές εφαρμογές (ABAQUS, ANSYS, MATLAB και άλλα) με γραμμικές, μη γραμμικές και δυναμικές ικανότητες επίλυσης είναι ήδη διαθέσιμες.

Έχουν γίνει πάρα πολλές προσπάθειες για την ανάπτυξη μιας τεχνικής για το μηχανολογικό σχεδιασμό του αρότρου. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, αλλά οι πιο

ουσιαστικές είναι: η χρήση τρισδιάστατων γραφικών για το μηχανολογικό σχεδιασμό της επιφάνειας του αρότρου [5]. Η μέθοδος προσομοιώσεων με δοκιμή και επαλήθευση από τους [6]. Η μέθοδος μετρήσεων φορτίου και θρυμματισμού του εδάφους με διαφορετικές ταχύτητες και προεκτάσεις σωμάτων [7]. Η αναλυτική μέθοδος προσδιορισμού και σχεδιασμού της επιφάνειας του αρότρου [11].

3. ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μια τεχνική τρισδιάστατων γραφικών με ηλεκτρονικούς υπολογιστές που εφαρμόζεται για την περιγραφή της επιφάνειας ενός αρότρου. Ένα ήδη υπάρχον δισδιάστατο πρότυπο αλληλεπίδρασης εδάφους-εργαλείου για κεκλιμένο επίπεδο έχει τροποποιηθεί για την εφαρμογή του σε ένα τρισδιάστατο πρότυπο. Με την ανάπτυξη ενός διαλογικού προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή δίνονται λύσεις για την έλξη, τις πλευρικές, και τις κάθετες δυνάμεις. Το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη να αλλάξει την επιφάνεια του αρότρου, τις ιδιότητες του εδάφους, και τις συνθήκες εργασίας. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο άροτρο, όπως προβλέφθηκαν από το πρόγραμμα, συγκρίθηκαν με τα πειραματικά αποτελέσματα που είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία [5]. Διαπιστώθηκε ότι χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο θα μπορούσε να προβλεφθεί η δύναμη έλξης. Το μοντέλο αυτό, ήταν αδύνατο να προβλέψει τις πλευρικές και τις κάθετες αντιδράσεις του εδάφους.

Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται:

α) η δημιουργία ενός πρότυπου λογισμικού που:

- i) χρησιμοποιεί τρισδιάστατα γραφικά για την περιγραφή της μορφής του υνιού και του αναστρεπτήρα,
- ii) υπολογίζει τις μεταβολές της δύναμης στις τρεις διαστάσεις του σώματος του αρότρου και
- iii) επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει τη μορφή του αρότρου, το μέγεθος και τις συνθήκες εργασίας.

β) ο έλεγχος των αποτελεσμάτων με τη χρήση πειραματικών στοιχείων.

3.1. Γραφική αναπαράσταση

Η τεχνική τρισδιάστατων γραφικών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που επιλέγεται πρέπει να επιτρέπει την εύκολη αναπαράσταση μιας ήδη υπάρχουσας επιφάνειας αρότρου και εύκολο χειρισμό του πρότυπου γραφικών ώστε να ερευνηθούν οι διάφορες μορφές. Υπάρχουν πολλοί τρόποι αναπαράστασης ενός τρισδιάστατου αντικείμενου από ένα μαθηματικό μοντέλο. Μια τριτοβάθμια (bicubic) παραμετρική επιφάνεια έχει ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία την καθιστούν κατάλληλη για το μηχανολογικό σχεδιασμό αναστρεπτήρων. Οι παραμετρικές επιφάνειες με την αντικατάσταση των

κλίσεων από διανύσματα εφαπτομένης, επιτρέπουν πολύ μεγάλη κλίση και συναρτήσεις ποικίλων τιμών.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να καθοριστεί μια τριτοβάθμια παραμετρική επιφάνεια. Η μορφή Bezier όμως, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και θεωρείται η πιο κατάλληλη για την περίπτωση του αρότρου.

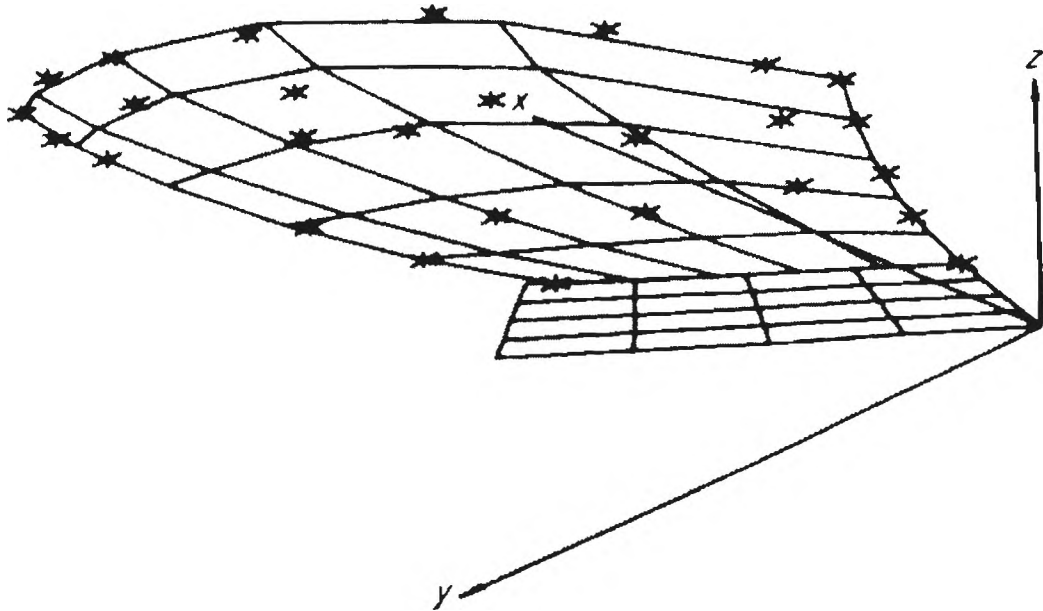
3.2. Πρότυπο μοντέλο αρότρου

Για τη γραφική αναπαράσταση ενός αρότρου είναι απαραίτητες δύο επιφάνειες Bezier. Μια για το υνί και μια για τον αναστρεπτήρα. Η μορφή της κάθε επιφάνειας στο πρότυπο διαμορφώνεται ώστε να ταιριάζει στο άροτρο της δοκιμής. Αυτό επιτυγχάνεται:

- i) Με μέτρηση των x, y, z για οχτώ σημεία που περιγράφουν το υνί και για 29 σημεία που περιγράφουν τον αναστρεπτήρα.
- ii) Σχεδιασμό των σημείων πάνω στις επιφάνειες Bezier σε τερματικό υπολογιστή.
- iii) Τροποποίηση των επιφανειών ώστε να ταιριάζουν με τα σημεία περιγραφής.

Στην εικ.3.1 παρουσιάζονται τα σημεία περιγραφής του αρότρου όπως χαραχτήκαν στις επιφάνειες.

Οι μετρήσεις που έγιναν εκτιμάτε πως έχουν ακρίβεια 2mm. Ο συνδυασμός των επιφανειών Bezier με τα σημεία του περιγράμματος ήταν μια διαδικασία δοκιμής και σφάλματος. Για την επιφάνεια του υνιού επιλέχτηκαν τέσσερα σημεία που αντιστοιχούν στις γωνίες και άλλα τέσσερα για τις γωνίες της επιφάνειας του αναστρεπτήρα. Τα μέσα σημεία ή σημεία ελέγχου, επιλέχθηκαν προσεγγιστικά κατ' εκτίμηση, ώστε να παρέχουν οπτικά ελάχιστο σφάλμα μεταξύ των σημείων του περιγράμματος και των επιφανειών Bezier. Θα μπορούσε να αναπτυχθεί πρόσθετο λογισμικό για την απλοποίηση αυτής της διαδικασίας. Το λογισμικό θα μπορούσε επίσης να αναπτυχθεί από μαθηματική πλευρά για να υπολογίσει και να ελαχιστοποιήσει το λάθος.



Εικ.3.1. Προσαρμογή της επιφάνειας Bezier για να περιγραφεί ένα σώμα αρότρου.

3.3. Πρότυπο μηχανικής εδάφους-εργαλείου (αρότρου)

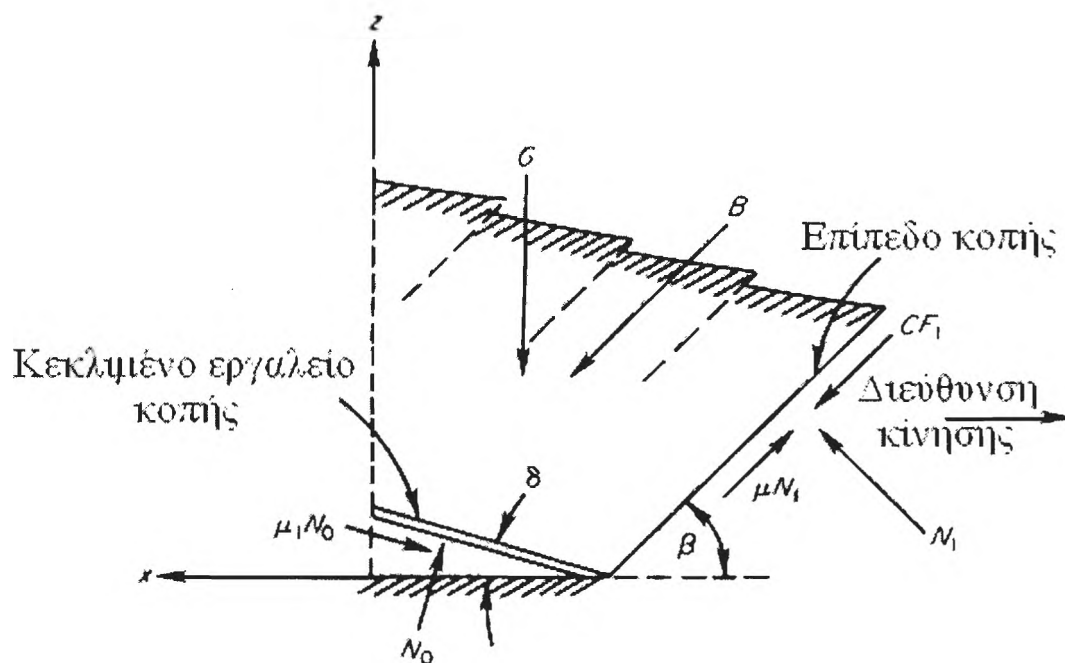
Η μελέτη της μηχανικής της κατεργασίας του εδάφους επινοήθηκε στη δεκαετία του '30 από τους Nichols και Reed. Το 1956, ο Soehne [10] ανέπτυξε το πρότυπο μηχανικής εδάφους - εργαλείου για μια κεκλιμένη λεπίδα, με τη χρησιμοποίηση τεσσάρων απλών εξισώσεων που περιγράφουν τη συμπεριφορά. Είναι i) η τριβή εδάφους - μετάλλου, ii) η αστοχία κοπής, iii) η δύναμη επιτάχυνσης κάθε συσσωματώματος του εδάφους, και iv) η αντίσταση του εδάφους κατά την κοπή. Για να διαμορφώσουν αυτές τις εξισώσεις έκαναν τις ακόλουθες υποθέσεις.

- (1) Η αστοχία του εδάφους σε ένα εργαλείο δημιουργείται από το σχηματισμό μιας σειράς επιπέδων αστοχίας κοπής.
- (2) Η γωνία του εμπρόσθιου επίπεδου αστοχίας της κοπής, εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του εδάφους σε σχέση με την τριβή.

(3) Η αντοχή στην κοπή και η αντίσταση στην ολίσθηση το εδάφους πάνω στο μέταλλο μπορεί να υπολογιστεί από μια γραμμική εξίσωση της πίεσης κανονική στην επιφάνεια κοπής ή ολίσθησης.

(4) Το έδαφος θεωρείται ένα ομοιογενές και ιστροπικό υλικό.

Στην εικ.3.2. φαίνονται οι δυνάμεις που επιδρούν σε ένα συσσωμάτωμα (κομμάτι) εδάφους κατά την κίνηση της λεπίδας. Οι δυνάμεις CF_1 και N_1 είναι δυνάμεις συνοχής και δυνάμεις εσωτερικής τριβής του εδάφους που οφείλονται στην κοπή του εδάφους. Η CF_1 εμφανίζεται μόνο τη στιγμή που παρουσιάζεται το επίπεδο κοπής του εδάφους. Η δύναμη $\mu_1 N_0$ είναι η δύναμη τριβής μετάλλου - εδάφους. Η δύναμη B οφείλεται στην επιτάχυνση του εδάφους και G είναι το βάρος του εδάφους.



Εικ.3.2. Δυνάμεις που παρουσιάζονται σε ένα δισδιάστατο επίπεδο και αλληλεπιδρούν σε ένα τμήμα εδάφους πάνω σε κεκλιμένο εργαλείο οργώματος (υνί).

Η καθαρή δύναμη αντίστασης στην κοπή εμφανίζεται στην αιχμή του εργαλείου. Έχει αποδειχθεί ότι η καθαρή δύναμη αντίστασης του εδάφους κατά την κοπή, είναι πολύ μικρή και σημαντική μόνο όταν το υνί έχει φθαρεί ή όταν υπάρχουν πέτρες ή οργανική ουσία. Επομένως, δεν λαμβάνεται υπόψη.

Η ελκτική δύναμη (F_x) και η κάθετη (F_z), μπορεί να υπολογιστεί προσθέτοντας τις δυνάμεις στο συσσωμάτωμα εδάφους και την κεκλιμένη λεπίδα και λύνοντας προς τον άγνωστο.

$$F_x = \frac{G}{Z} + \frac{CF_1 + B}{Z(\sin b + m \cdot \cos b)}, \quad (3.1)$$

όπου:

$$Z = \frac{\cos \delta - \mu_1 \sin \delta}{\sin \delta + \mu_1 \cos \delta} + \frac{\cos \beta - \mu \sin \beta}{\sin \beta + \mu \cos \beta} \quad (3.2)$$

όμοια η κάθετη δύναμη είναι:

$$F_z = \frac{F_x (\cos \delta - \mu_1 \sin \delta)}{(\sin \delta + \mu \cos \delta)} \quad (3.3)$$

3.4. Τρισδιάστατο μοντέλο.

Για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου λαμβάνεται υπόψη η περιστροφή της κεκλιμένης λεπίδας γύρω από τον άξονα z, καθώς η λεπίδα κινείται διαμέσου του εδάφους, να υπάρχει μια πλάγια δύναμη παράλληλη στον άξονα y. Στην εικ.3.3 παρουσιάζεται ο προσανατολισμός της λεπίδας καθώς κινείται στην αρνητική διεύθυνση του άξονα x.

Για την περιγραφή του προσανατολισμού της λεπίδας στο χώρο χρησιμοποιούνται δύο γωνίες. Στην εικ.3.3: το OA είναι ένα ευθύγραμμο τμήμα, κοινό στο επίπεδο της κεκλιμένης λεπίδας και του επίπεδου x-z. Η γωνία δ σχηματίζεται μεταξύ του OA και του άξονα z. Η γωνία α σχηματίζεται μεταξύ του OB και του άξονα x. Το OB είναι ευθύγραμμο τμήμα, κοινό στο επίπεδο της κεκλιμένης λεπίδας και στο επίπεδο x-y.

Για την απλούστευση του υπολογισμού των δυνάμεων, ορίζεται η γωνία Φ' από τους παράγοντες α και δ. Η σχέση είναι:

$$\Phi' = \tan^{-1}((\sin \alpha)(\tan \delta)) \quad (3.4)$$

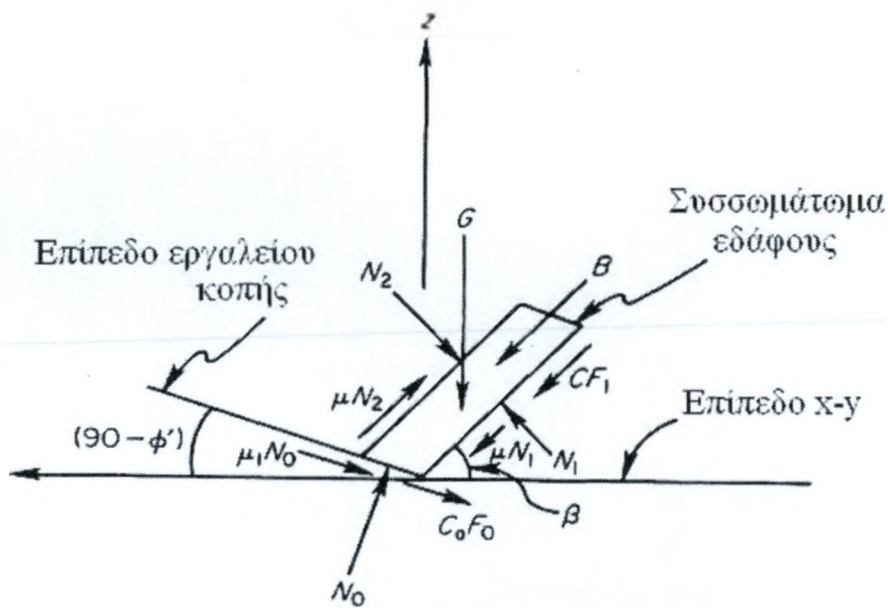
όπου Φ' είναι η γωνία μεταξύ του ευθύγραμμου τμήματος OC και του άξονα z. Το OC είναι κάθετο στο ευθύγραμμο τμήμα OB στο επίπεδο της κεκλιμένης λεπίδας.

Η αστοχία παρουσιάζεται στην εμπρόσθια επιφάνεια κοπής που υποθέτουμε ότι είναι κάθετη στο ευθύγραμμο τμήμα OB όπως φαίνεται στην εικ.3.3 και σε γωνία β με το επίπεδο x-y εικ.3.4. Οι δυνάμεις επιτάχυνσης και συνοχής ενεργούν κατά μήκος αυτού του επίπεδου.

Εκτός από τις προαναφερθείσες δυνάμεις λαμβάνεται υπόψη ο όρος προσκόλλησης εδάφους - μετάλλου C_a . Η δύναμη προσκόλλησης έχει την ίδια κατεύθυνση με την τριβή εδάφους - μετάλλου και δρα στην ίδια επιφάνεια.



Εικ.3.3. Τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός επίπεδου κεκλιμένου εργαλείου οργώματος.



Εικ.3.4. Διάγραμμα ελευθέρου σώματος μιας φέτας εδάφους για το τρισδιάστατο κεκλιμένο εργαλείο οργώματος.

Αθροίζοντας τις δυνάμεις κατά μήκος του διανύσματος δύναμης N_0 και λύνοντας προς N_0 , έχουμε:

$$N_0 = (\beta + CF_1 - \mu N_1 - \mu N_2) \cos(\Phi' - \beta) + (N_2 - N_1) \sin(\Phi' - \beta) + G \sin \Phi' \quad (3.5)$$

Αθροίζοντας τις δυνάμεις στην κατεύθυνση των διανυσμάτων N_1 και N_2 στην εικ.3.4, έχουμε:

$$N_1 - N_2 + N_0 \sin(\Phi' - \beta) - (C_a F_0 + \mu_1 N_0) \cos(\Phi' - \beta) - G \cos \beta = 0 \quad (3.6)$$

Εάν οι συνιστώσες των κανονικών δυνάμεων και των δυνάμεων τριβής, μπορούν να θεωρηθούν ίσες, τότε καθώς το μέγεθος των τεμαχίων του εδάφους γίνεται απειροελάχιστο τότε το βάρος του εδάφους πλησιάζει το μηδέν. Κατά συνέπεια, η εξίσωση (3.6) γίνεται:

$$N_1 \cong N_2 \quad (3.7)$$

Επομένως, η εξίσωση (3.7) μπορεί να απλοποιηθεί υποθέτοντας ότι $N_1 = N_2$:

$$N_0 = (\beta + C F_1) \cos(\Phi' - \beta) + G \sin \Phi' \quad (3.8)$$

Στην εικ.3.4 φαίνονται οι δυνάμεις που δρουν στην κεκλιμένη λεπίδα. Η κίνηση του τμήματος του εδάφους σε σχέση με το εργαλείο ήταν κατά μήκος της κατεύθυνσης της γωνίας η από τον άξονα x και στο επίπεδο της κεκλιμένης λεπίδας. Αθροίζοντας τις δυνάμεις στην κατεύθυνση της κάθε συνιστώσας έχουμε:

$$F_x = -(C_a F_0 + \mu_1 N_0) \cos \eta \cos \delta + N_0 \cos \Phi' \sin \alpha, \quad (3.9)$$

$$F_y = -(C_a F_0 + \mu_1 N_0) \sin \eta + N_0 \cos \Phi' \cos \alpha \quad (3.10)$$

$$F_z = -(C_a F_0 + \mu_1 N_0) \cos \eta \sin \delta + N_0 \sin \Phi' \quad (3.11)$$

Το βάρος του εδάφους μπορεί να υπολογιστεί από τον όγκο μεταξύ των κοπτόμενων επιπέδων:

$$G = \gamma \frac{b \cdot dh}{\sin \alpha \sin \beta} \quad (3.12)$$

Το εμβαδόν του εμπρόσθιου επιπέδου κοπής είναι:

$$F_1 = \frac{bd}{\sin \alpha \sin \beta} \quad (3.13)$$

Οι δυνάμεις επιτάχυνσης υπολογίζονται από το δεύτερο αξίωμα του Newton:

$$B = ma \quad (3.14)$$

Η μάζα του τμήματος του εδάφους που επιταχύνεται είναι:

$$m = \frac{G}{g} \quad (3.15)$$

Για τον υπολογισμό της μεταβολής της ταχύτητας με το χρόνο, πρέπει να ληφθεί υπόψη η μετατόπιση του εδάφους. Η απόλυτη μετατόπιση του εδάφους υποτίθεται πως είναι κατά μήκος του εμπρόσθιου επιπέδου κοπής και σε κατεύθυνση κάθετη στο ευθύγραμμο τμήμα OB εικ.3.3. Περαιτέρω, υπέθεσαν ότι η προς τα εμπρός ταχύτητα

του εργαλείου, ήταν η ταχύτητα με την οποία το έδαφος διαγράφει πάνω στη λεπίδα, την ανωτέρω πορεία. Ο χρόνος που απαιτείται για να περάσει τη λεπίδα είναι:

$$T_p = \frac{d_p}{V_t} \quad (3.16)$$

Ο χρόνος που απαιτείται για να περάσει το έδαφος την επιφάνεια του κεκλιμένου επίπεδου είναι ο ίδιος με το χρόνο που απαιτεί το έδαφος για να μετατοπιστεί κατά μήκος της εμπρόσθιας επιφάνειας αστοχίας. Επομένως, η απόλυτη ταχύτητα είναι:

$$V_a = \frac{d_s}{T_s} \quad (3.17)$$

και η επιτάχυνση είναι:

$$a \equiv \frac{V_a - V_0}{\Delta t} \quad (3.18)$$

Για αυτή την περίπτωση του τμήμα του εδάφους είναι αρχικά ακίνητο.

Γνωρίζοντας ότι οι δυνάμεις επιτάχυνσης υπολογίζονται από το 2^ο αξίωμα του Νεύτωνα ($B=ma$) και ότι η μάζα του τμήματος του εδάφους που επιταχύνεται είναι ($m=G/g$) συμπεραίνουμε ότι:

$$B = \frac{GV_a}{g\Delta T} \quad (3.19)$$

Όλες οι μεταβλητές είναι τώρα γνωστές στις εξισώσεις (3.9), (3.10) και (3.11), επομένως, οι δυνάμεις στους άξονες x, y και z μπορούν να υπολογισθούν.

3.5. Εφαρμογή υπολογιστών

Ένα πρόγραμμα λογισμικού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, που ονομάζεται PLOW, αναπτύχθηκε για να δείξει πως η τεχνική ηλεκτρονικής γραφιστικής, που είναι η επιφάνεια Bezier, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη γραφική αναπαράσταση του αρότρου και το μετέπειτα συνδυασμό με ένα μοντέλο μηχανικής εδάφους - εργαλείου για τον υπολογισμό των δυνάμεων που ασκούνται από το έδαφος στο άροτρο. Το πρόγραμμα H/Y εκτελέστηκε σε ένα υπολογιστή Prime 750 εξοπλισμένο με μεταγωγτιστή σε Fortran V, ένα Τερματικό Σύστημα ελέγχου (TCS) Tektronics Plot-10 και ένα Tektronics 4000 Τερματικό σειράς [12]. Το πακέτο Plot-10 τροποποιήθηκε για να δείχνει τρισδιάστατα διαγράμματα. Διάφορες "Πρακτικές" γράφτηκαν για να πραγματοποιηθεί η εφαρμογή. Ο χρήστης έχει επιλογές, μέσω της χρήσης αυτών των πρακτικών, να παρατηρήσει το άροτρο από διάφορες όψεις και με πολλούς παράγοντες

μεγέθυνσης, για να δει και να αλλάξει τα σημεία ελέγχου, επιτρέπει δηλαδή στο χρήστη να αλλάξει τη μορφή της επιφάνειας του αρότρου, να αλλάξει τον αριθμό των στοιχείων της επιφάνειας και αλλάξει τι συνθήκες εργασίας του εδάφους και του εργαλείου.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα του προγράμματος που αναπτύχθηκε συγκρίθηκαν με πραγματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Εθνικό Εργαστήριο Μηχανημάτων Οργάνωτος στο Auburn, της Alabama. Το άροτρο της δοκιμής ήταν Ford γενικής χρήσης 41cm με υνί μίας χρήσης. Το έδαφος και οι συνθήκες εργασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Ο όρος προσκόλλησης εδάφους - μετάλλου είναι μηδέν, γιατί η τριβή εδάφους - μετάλλου που μετρήθηκε για το υλικό κατασκευής του αρότρου συμπεριλαμβάνει την προσκόλληση.

Οι μέσοι όροι για τις συνιστώσες της δύναμης παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Τα αποτελέσματα μετρήθηκαν για συνδυασμούς 9, 16, 25, και 36 στοιχείων υνιού και αναστρεπτήρα. Για τις κατευθύνσεις x , y και z όλες οι δυνάμεις ήταν μεταξύ 3-5, 5-1, και 2-4% από τα μέσα, αντίστοιχα. Στον πίνακα 2 φαίνονται επίσης οι συγκρίσεις μεταξύ προβλεπόμενων και μετρημένων δυνάμεων. Η προβλεφθείσα δύναμη έλξης, F_x είναι 15% μεγαλύτερη από τη δύναμη της μέτρησης, η προβλεφθείσα πλάγια δύναμη, F_y , είναι 53% μεγαλύτερη από τη δύναμη της μέτρησης και η προβλεφθείσα κάθετη δύναμη, F_z , είναι 115% μεγαλύτερη από τη δύναμη της μέτρησης.

Πίνακας 3.1

Συνθήκες εδάφους και εργασίας που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση του μοντέλου

Τύπος εδάφους	Αμμώδης πηλός του Norfolk
Φαινόμενο ειδικό βάρος	1770-0 kg/m ³
Όρος προσκόλλησης εδάφους	19-7 kPa
Γωνία εσωτερικής τριβής εδάφους	34-8°
Συντελεστής τριβής εδάφους - μετάλλου	0-40
Όρος προσκόλλησης εδάφους - μετάλλου	0 kPa
Ταχύτητα προς τα εμπρός	1-34m/s
Βάθος εργαλείου	0,203 m

Πίνακας 3.2

Σύγκριση των δυνάμεων που προβλέφθηκαν στο άροτρο σε σχέση με τις δυνάμεις που μετρήθηκαν

Τρόπος	φορτίο F_x N	πλάγια δύναμη F_y , N	κάθετη δύναμη F_z , N
Πρόβλεψη	3895	-1712	-3319
Μέτρηση	3389	-1118	-1542

Το πρότυπο προβλέπει επαρκώς τη δύναμη έλξης. Εντούτοις, οι προβλεφθείσες κάθετες και πλευρικές δυνάμεις δεν συμπίπτουν καλά με εκείνες που μετρούνται πειραματικά. Πρέπει να αναγνωριστεί ότι το μοντέλο που επιλέχθηκε για την τεχνική ηλεκτρονικής γραφιστικής είναι πολύ απλό. Το μοντέλο δεν μπορεί να προβλέψει ακριβώς τις δυνάμεις για ένα άροτρο που έχει φθαρεί. Είναι επίσης πιθανό, η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πορείας του εδάφους πάνω στην επιφάνεια του αρότρου να μην είναι ακριβής. Κάποιος πρέπει να το ελέγξει πειραματικά.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

Οι προσομοιώσεις διεξήχθησαν σε διαφορετικά βάθη (100, 150 και 200 mm) και με ταχύτητες (0,25, 1 και 2 m/s) με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων (Μ.Π.Σ.) που διεξάχθηκαν με τη βοήθεια δείγματος εδάφους και με πειράματα σε αγρό με αργιλώδες έδαφος. Τα μοντέλα κρίσιμης κατάστασης (Critical State) και Coulombic χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή της μηχανικής του εδάφους και της συμπεριφοράς τριβής εδάφους-εργαλείου, αντίστοιχα. Δεν βρέθηκε καμία σημαντική διαφορά μεταξύ των οριζόντιων δυνάμεων (F_x) από τους υπολογισμούς και από τις προσομοιώσεις. Οι προβλεφθείσες τιμές των F_x συμφωνούν επίσης με τα αποτελέσματα των πειραμάτων στον αγρό, εκτός από τα πειράματα σε ταχύτητες μικρότερες από 1m/s. Οι κάθετες δυνάμεις από υπολογισμούς ήταν σημαντικά μικρότερες για κατεργασίες σε χαμηλότερες και υψηλότερες ταχύτητες. Οι πλευρικές δυνάμεις δεν μετρήθηκαν καθώς η ευθυντηρία του αρότρου παρείχε επιπλέον πλευρική στήριξη κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Το μοντέλο Αργίλου Cam (κανένας όρος συνοχής) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστήματα εδάφους - εργαλείου, στα οποία η συνοχή του εδάφους είναι αμελητέα. Όταν χρησιμοποιείται με την κατάλληλη συμπεριφορά του υλικού και τα μοντέλα αλληλεπίδρασης εδάφους - εργαλείου, το Μ.Π.Σ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λύση τρισδιάστατων προβλημάτων με σύνθετη γεωμετρία [6].

Οι προσομοιώσεις πρέπει πάντα να διεξάγονται παράλληλα με τις πειραματικές δοκιμές για να τις επιβεβαιώσει. Διάφορα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της μηχανικής συμπεριφορά του εδάφους, μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε σχέση με τον τύπο του εδάφους και τις συνθήκες της δοκιμής. Η Cam άργιλος και υπερβολικά μοντέλα είναι πιο δημοφιλή στην επιστημονική έρευνα άροσης του εδάφους. Το πλεονέκτημα ενός ελαστικού πλαστικού πρότυπου (Αργίλου Cam) σε σχέση με ένα μη γραμμικό ελαστικό πρότυπο (υπερβολικό) με τη Μ.Π.Σ. [27]. Η αλλαγή της κατάστασης του εδάφους κατά τη διάρκεια της κατεργασίας του εδάφους, ήταν μια σημαντική βελτίωση του προτύπου της αργίλου Cam. Παρουσίασε επίσης η ομοιότητα στα πρότυπα τριβής εδάφους - εργαλείου. Το μοντέλο Coulombic μπορεί να προβλέψει τις δυνάμεις και τις πιέσεις στην επιφάνεια επαφής εδάφους εργαλείου με την ίδια ακρίβεια του περίπλοκου υπερβολικού πρότυπου για αργιλώδες έδαφος. Το απλούστερο πρότυπο Coulombic βελτίωσε την ταχύτητα προσομοίωσης από έναν

τετραπλό παράγοντα για μια απλή δισδιάστατη προσομοίωση εργαλείων. Η τελευταία περίπτωση είναι πολύ σημαντική στη διαδικασία βιομηχανικού σχεδιασμού.

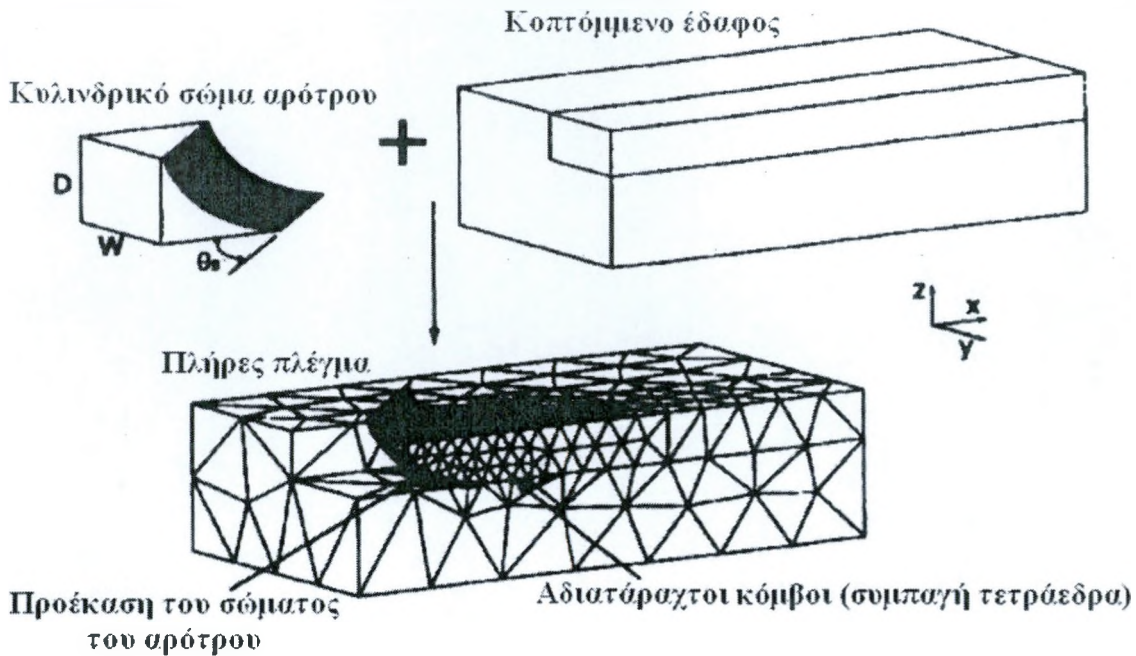
Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η επαλήθευση στις δυνάμεις που λαμβάνονται από τις προσομοιώσεις με τη Μ.Π.Σ. με τη βοήθεια ενός δοκιμίου εδάφους και πειραμάτων σε αγρό με αργιλώδες έδαφος, για διαφορετικές ταχύτητες και βάθη.

4.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

α. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Η επιφάνεια ενός κυλινδρικού σώματος αρότρου (model HSCXK-25, Case Corp.) δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας ένα ψηφιοποιητή (model Gamma-0101) με πλέγμα 25 mm. Αυτά τα σημεία χρησιμοποιήθηκαν στο I-DEAS v2.1 για να δημιουργηθεί η επιφάνεια. Το σώμα του αρότρου συνδύασε δυο ειδών επιφάνειες, κυλινδρική (εμπρός) και ελικοειδή (πίσω). Εντούτοις, μόνο το εμπρόσθιο τμήμα ήταν σε επαφή με το έδαφος για τις προσομοιώσεις. Ως εκ τούτου, η επιφάνεια απλοποιήθηκε ως απλό κυλινδρικό σώμα αρότρου εικ.4.1. με ακτίνα κυρτότητας 337 mm, γωνία υνιού 8° στο επίπεδο x-z και 45° στο επίπεδο x-y (θ_s). Οι ταχύτητες άροσης και το βάθος κάθε φορά (D) ρυθμίστηκαν σε 0.25, 1, και 2 m/s σε βάθη 100, 150, και 200 mm, αντίστοιχα. Για τις προσομοιώσεις και για τα πειράματα σε δοκίμιο εδάφους. Το πλάτος οργώματος (W) ήταν 350 mm σε όλες τις περιπτώσεις.

Ο συνδυασμός πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός προγράμματος μιας γεννήτριας αυτόματου πλέγματος I-DEAS για την εισαγωγή ABAQUS/τυποποιημένος υπολογιστής ενδεχομένων. Γραμμικά τετράεδρα στοιχεία (C3D4) χρησιμοποιήθηκαν για να διακρίνεται το δείγμα του εδάφους ενώ συμπαγή τετράεδρα στοιχεία (R3D3) χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό της επιφάνειας του σώματος του αρότρου. Η συμπαγής επιφάνεια του σώματος του αρότρου επεκτάθηκε 10 mm προς τα δεξιά ώστε να αποφευχθούν οι ασυνέχειες κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, καθώς οι κόμβοι slave που χρησιμοποιούνται για να συμβολίσουν το έδαφος, δεν θα ήταν δυνατό να μετατοπισθούν σε μεγαλύτερη απόσταση από τους κόμβους master που χρησιμοποιούνται για να συμβολίσουν το σώμα του αρότρου.



Εικ.4.1: Απαραίτητα βήματα για να δημιουργηθεί ένα αρχείο πλέγματος με τη γεννήτρια αυτόματου πλέγματος I-DEAS. Οι κόμβοι στην άνω δεξιά επιφάνεια που αναπαρίστανται με συμπαγή σημεία δεν συμπεριλήφθηκαν λόγω της πλευρικής μετακίνησης που έγινε από τον αναστρεπτήρα.

Το δοκίμιο του εδάφους είχε βάθος (D) από 3D, πλάτος (W) από 2.5 W και μήκος 3.5 (D+W). Τα μεγέθη των στοιχείων ήταν σε αναλογία με τα D και W για να έχουμε κατά προσέγγιση την ίδια ακρίβεια για όλους τους συνδυασμούς ρυθμίσεων του αρότρου. Περίπου 6000 στοιχεία συνδέθηκαν με 1500 κόμβους που δημιουργήθηκαν για κάθε να συνδυασμό. Η κρίσιμη κατάσταση (Critical State) της αργίλου Cam καθορίστηκε σε διαστήματα ανάλογα (e): με αποκλίσεις (q): υδροστατικά (p) στο χώρο χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση της συμπεριφοράς του εδάφους. Η Γραμμή Κρίσιμης Κατάστασης (Γ.Κ.Κ.) (Critical State Line CSL), η Γραμμή Κανονικής Ένωσης (Γ.Κ.Ε.) (Normal Consolidation Line NCL), και η Γραμμή Εκφόρτωσης – Φόρτωσης (Γ.Ε.Φ.) (Unloading-Reloading Line URL) καθορίζονται στις εξισώσεις 4.1 μέχρι 4.3. Το μοντέλο Coulombic (εξίσωση 4.4) χρησιμοποιήθηκε για να αναπαραστήσει την τριβή στην επιφάνεια επαφής εδάφους - εργαλείου (πίνακας 1). Η ασυμπτωτική τιμή, τ_{max} υπολογίστηκε για το μοντέλο Coulombic, ώστε να αποφευχθεί υπερβολική πίεση κοπής από την εσωτερική αστοχία του εδάφους. Υπολογίστηκε με τα κριτήρια αστοχίας Mohr-Coulomb (εξίσωση 4.5). Ένας υπολογιστής, μοντέλο HP 755 (Hewlett-Packard) με επεξεργαστή 100 MHz. Και μνήμη 256 Mb RAM χρησιμοποιήθηκε για όλες τις προσομοιώσεις.

$$URL, e = e_k - k \ln(p) \quad (4.1)$$

$$NCL_{,e} = N - \lambda \ln(p) \quad (4.2)$$

$$CSL, q = Mp \quad (4.3)$$

$$\tau_{crit} = \text{minimum} (\mu_s \sigma_n, \tau_{max}) \quad (4.4)$$

$$\tau_{max} = C + \mu_s \sigma_n \quad (4.5)$$

Πίνακας 1.

Παράμετροι εισαγωγής δεδομένων ενός εδάφους αργίλου Sainte-Rosalie για την κρίσιμη κατάσταση Critical State και τα μοντέλα Coulombic που χρησιμοποιήθηκαν με τη Μ.Π.Σ. για το πρότυπο του σώματος του αρότρου.

Παράμετροι	Υπαίθριο πείραμα	Δοκίμιο εδάφους
Critical State/Cam clay* (έδαφος)		
Κλίση του URL**	k (kPa) ⁻¹	0.0054
Κλίση των CSL και NCL στο επίπεδο e:p	λ(kPa) ⁻¹	0.0931
Κλίση του CSL στο επίπεδο q:p	M	1.41
Πίεση προσυνένωσης	p _c (kPa)	40.0
Συντελεστής κοπής	G (kPa)	5231
Φαινόμενο ειδικό βάρος (ξηρό)	p _b (Mg/m ³)	1.5
Περιεκτικότητα σε νερό (%κ.β.)	W (%)	20.0
Βαθμός κορεσμού (%)	S (%)	69.1
Συντελεστής εσωτερικής τριβής συνοχής	c (kPa)	54.1
Coulomb (τριβή εδάφους-εργαλείου)	μ _s	0.78
Συντελεστής τριβής	μ _f	0.5

* Το μοντέλο Κρίσιμης Κατάστασης Critical State καθορίζεται στο χώρο e:q:p.

** Γ.Κ.Κ. (Γραμμή Κρίσιμης Κατάστασης) CSL (Critical State Line), Γ.Κ.Ε. (Γραμμή Κανονικής Ένωσης) NCL (Normal Consolidation Line), και Γ.Ε.Φ. (Γραμμή Εκφόρτωσης – Φόρτωσης) URL (Unloading-Reloading Line).

Αρχικά έγινε ένα βήμα γεοστατικής ώστε να οριστεί το αρχικό επίπεδο πίεσης μέσα στο προφίλ του εδάφους (τομή). Έπειτα ορίστηκε μια στατική μετατόπιση στο σώμα του αρότρου μέχρι ο αλγόριθμος να ορίσει επαφή με την επιφάνεια του εδάφους. Τελικά, ορίστηκε μια ταχύτητα για επιφάνεια του σώματος του αρότρου για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο (δυναμικό βήμα). Ο χρόνος που απαιτήθηκε για να φθάσει η δύναμη στις μέγιστες τιμές της, που αντιστοιχούν στην αστοχία το εδάφους

μειώθηκε με το βάθος. Για τις προσομοιώσεις μας, η απόσταση μέχρι την αστοχία κυμάνθηκε από 20 έως 30mm.

Οι συνθήκες που ισχύουν για το περίγραμμα είναι εικ.4.1.: (1.) οι εμπρόσθιοι και οι οπίσθιοι κόμβοι της επιφάνειας καθορίστηκαν κατά μήκος (x), (2.) οι αριστεροί και οι δεξιοί κόμβοι της επιφάνειας καθορίστηκαν κατά πλάτος (y), (3.) οι χαμηλότεροι κόμβοι της επιφάνειας καθορίστηκαν κάθετα (z), (4.) οι κόμβοι στην επιφάνεια επαφής εδάφους – σώματος καθορίστηκαν κάθετα (z) για να αποφευχθούν τυχόν ασυνέχειες πριν από την εισαγωγή του σώματος του αρότρου στο έδαφος (γεωστατικά και στατικά βήματα). Οι κόμβοι αυτοί απελευθερώθηκαν στο επόμενο βήμα (δυναμικό) για να επιτραπεί η ροή του εδάφους πάνω στην επιφάνεια του αρότρου, (5.) οι κόμβοι της επιφάνειας του σώματος του αρότρου κινήθηκαν κατά μήκος σε μια προκαθορισμένη απόσταση (τουλάχιστον 20 mm) και περιορίστηκαν από μετακινήσεις και περιστροφές σε όλες τις άλλες κατευθύνσεις, (6.) οι κόμβοι στην πάνω δεξιά επιφάνεια (y) συμβολίζονται με τα συμπαγή σημεία που δεν περιορίζονται λόγω της πλευρικής μετακίνησης που επιβάλλεται από τον αναστρεπτήρα.

Β. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η λεπτομερής περιγραφή της δομής στο εσωτερικό του δοκιμίου εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για να επαληθευτούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Το κυλινδρικό σώμα αρότρου τοποθετήθηκε σε ένα τριαξονικό δυναμόμετρο και οι κάθετες και πλευρικές μετακινήσεις του ελέγχονταν από δύο υδραυλικούς κυλίνδρους. Ένας ηλεκτροκινητήρας 37 kW (50 Hp) τροφοδοτούσε μια υδραυλική αντλία και ένα μηχανισμό για να πραγματοποιηθεί μετατόπιση κατά μήκος του δοκιμίου του εδάφους σε ταχύτητες 3 m/s. Το δοκίμιο του εδάφους είναι πραγματικά φτιαγμένο από εννέα μικρότερα δοκίμια ενός μέτρου από τα οποία τα 5 ήταν Sainte-Rosalie αργιλώδες έδαφος (53% άργιλος, 27% ιλύς, 20% άμμος, και 2.97% οργανική ουσία). Αυτός ο συνδυασμός εδάφους και σώματος αρότρου κρίθηκε ότι αντιπροσωπεύει τις τυπικές διαδικασίες οργώματος με άροτρο με αναστρεπτήρα στην επαρχία του Quebec. Οι τριαξονικές δοκιμές που εκτελέστηκαν για τον καθορισμό των παραμέτρους του εδάφους στην κρίσιμη κατάσταση (Critical State) και τις παραμέτρους τριβής εδάφους Coulombic.

γ. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κάθε μέτρηση απαιτεί δύο περάσματα του σώματος του αρότρου, ένα για να δημιουργήσει ανοιχτή αυλακιά και ένα για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Η προετοιμασία του εδάφους πραγματοποιήθηκε, πριν από τα δύο αυτά περάσματα, χειρονακτικά με ένα φτυάρι και ένα συμπιεστή (τύπου AV900, Case Corp.). Κάθε στρώμα εδάφους, πάχους 100mm συμπιέστηκε τρεις φορές για να παρέχει ικανοποιητική ομοιομορφία. Η ομοιογένεια του εδαφικού προφίλ μετρήθηκε δύο φορές με ένα κωνικό όργανο μέτρησης σκληρότητας. Χρησιμοποιήθηκε ένας καταχωρητής δεδομένων για να παρθούν οι μετρήσεις σε διαστήματα 10 mm στο βάθος 280 mm. Ο μέσος όρος Δείκτη Κωνικότητας (Δ.Κ.) είναι περίπου 0.71 MPa με S.D. περίπου 0. 1 MPa ήταν ικανοποιητικά αν λάβουμε υπόψη τα στοιχειώδη εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία του εδάφους. Με μια συσκευή δειγματοληψίας εδάφους λήφθηκαν αδιατάραχτα δείγματα που ζυγίστηκαν και ξηράθηκαν στους 105°C για 24 h για να μετρηθεί η μέση περιεκτικότητα σε νερό (εδαφική υγρασία) κατά βάρος (w) και το φαινόμενο ειδικό βάρος (επί τοις εκατό ξηρό βάρος) (p_b) περίπου 21.4% (S.D. = 0.07) και 1.15 Mg/m³ (S.D. = 0.05), αντίστοιχα.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους (επί τοις εκατό ξηρό βάρος) που είχε το δείγμα του εδάφους ήταν μικρότερο από το p_b που χρησιμοποιήθηκαν για να καθοριστούν οι παράμετροι της κρίσιμης κατάστασης (Critical State). Οι παράμετροι εισαγωγής στην προσομοίωση, προσαρμόστηκαν στις συνθήκες του εδαφικού δείγματος με τη χρήση της εξίσωσης 4.6 η οποία συσχετίζει την πίεση προσυνένωσης (p_c), το συντελεστή εσωτερικής τριβής του εδάφους (μ_s), και το δείκτη κωνικότητας, CI.

$$p_c = \frac{CI}{1,3 \tan \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\tan^{-1}(\mu_s)}{2} \right]} e^{\pi \mu_s} \quad (4.6)$$

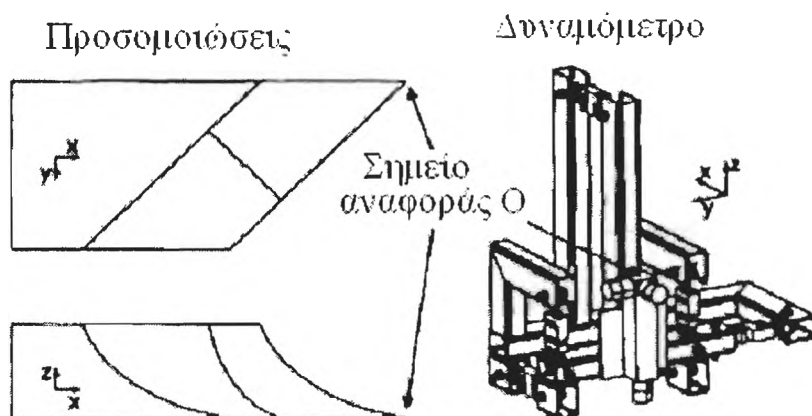
δ. ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟ

Οι δυνάμεις και οι χρόνοι μετρήθηκαν σε απόσταση τριών μέτρων με ένα τριαξονικό δυναμόμετρο εξοπλισμένο με 3x13500 N και 3x6750 N κύτταρα μονοαξονικού φορτίου. Ρυθμιστές σήματος με δεύτερης τάξης φίλτρα χαμηλής ροής ρυθμισμένα στα 100 Hz συνδεδεμένα στο κάθε κύτταρο φορτίου. Η ταχύτητα

ελέγχονταν με έναν οπτικό αποκωδικοποιητή (τύπου RRGB-461-0600, Rotalec Inc) τοποθετημένο στον τελευταίο αλυσσοτροχό του συστήματος οδήγησης. Το βάθος μετρήθηκε με ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο 762 mm συνδεδεμένο στο πλαίσιο του δυναμόμετρου (τύπου PTD-101-030). Αυτά τα τελικά σήματα καταγράφηκαν από μια κάρτα αποθήκευσης δεδομένων (τύπου AT-Mio-64) σε ένα δείκτη δειγμάτων 1000 Hz. Μια συνήθης εφαρμογή δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Lab View v3.1 για τον έλεγχο της κίνησης μετατόπισης, δημιουργώντας σήματα εισόδου, που τα αποτελέσματα προβάλλονται και αποθηκεύονται σε PC 486-66MHz. Μια μήτρα μετασχηματισμού, $[K]$, χρησιμοποιήθηκε για να μετατρέψει τις έξι δυνάμεις φορτίου κελιών, $|\theta|$, σε δυνάμεις και στιγμές (χρόνο), $|F|$, όσον αφορά όλους τους άξονες του τρισσορθογώνιου συστήματος (εξίσωση 4.7). Η μήτρα μετασχηματισμού ήταν αποτέλεσμα μιας ρύθμισης του δυναμόμετρου ώστε να εξαλειφθεί η επιρροή των ανοχών της κατασκευής. Οι μέσες δυνάμεις και οι χρόνοι υπολογίστηκαν για κάθε δοκιμή και χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

$$|F|=[K]|\theta|$$

(4.7)



Εικ.4.2. Στο σημείο αναφοράς (O) υπολογίζονται οι χρόνοι για τις προσομοιώσεις Μ.Π.Σ. και τις δοκιμές στο δοκίμιο εδάφους (δυναμόμετρο).

ε. ΣΗΜΕΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

Τα περισσότερα από τα εργαλεία δέσμευσης εδάφους αναπαρίστανται με το σύστημα τρισδιάστατης δύναμης φορτίου και το χρόνο. Σε εκείνες τις περιπτώσεις, μπορούμε να έχουμε τροποποιήσει τις δυνάμεις έτσι ώστε το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης δεν είναι απαραίτητως ένα σημείο σε χρόνο μηδέν. Εντούτοις, μπορεί να βρεθεί μια γραμμή δράσης για να ελαχιστοποιηθεί η συνισταμένη στον

μετέπειτα χρόνο. Η διατομή μεταξύ αυτής της γραμμής δράσης και της επιφάνειας του εργαλείου είναι το κέντρο φόρτισης ή το σημείο εφαρμογής της δύναμης. Τα πειράματα δοκιμίου εδάφους και οι προσομοιώσεις παρείχαν και τις δυνάμεις και τους χρόνους από ένα πλαίσιο συντεταγμένων αναφοράς. Στην περίπτωση μας, το σημείο της αιχμής του υνιού και η διατομή των τριών αξόνων λαμβάνονται ως σημεία αναφοράς (σημείο O, εικ.4.2). Ο καθορισμός δύο σημείων στη γραμμή δράσης (άξονα) χρησιμοποιώντας τις δυνάμεις και τους χρόνους. Κάθε τεταγμένη x επιλέχτηκε σε σχέση με τη θέση της επιφάνειας του εργαλείου στο χώρο. Για παράδειγμα, με ένα σώμα αρότρου που έχει μήκος 1000mm (x) και το σημείο αιχμής του υνιού του στην αρχή των αξόνων, μια συντεταγμένη του άξονα X πρέπει να είναι μικρότερη από 0 mm και οι υπόλοιπες μεγαλύτερες από 1000 mm. Αυτό εξασφαλίζει τη διατομή της γραμμής δράσης με την επιφάνεια. Έπειτα υπολογίζονται οι σταθερές C_1 και C_2 (εξισώσεις 4.8 και 4.9) και τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις 4.10 και 4.11 για να παρέχουν τις συντεταγμένες y και z για κάθε σημείο.

$$C_1 = F_y M_x - F_x M_y - F_x F_z x \quad (4.8)$$

$$C_2 = F_z M_y - F_y M_z + (F_z^2 + F_y^2)x \quad (4.9)$$

$$y = \frac{(F_x^2 + F_y^2)z + C_1}{F_y F_z} \quad (4.10)$$

$$z = \frac{C_2 F_z - C_1 F_x}{F_x (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)} \quad (4.11)$$

4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟ ΥΝΙ

Προσομοιώσεις με τη Μ.Π.Σ. πραγματοποιήθηκαν με ένα τρισδιάστατο μοντέλο ενός σώματος αρότρου με κυλινδρική επιφάνεια και ένα συμβατικό πλέγμα εδάφους. Έγιναν περιορισμοί στην Μ.Π.Σ. για την προσομοίωση της διάδοσης ρωγμών στην άκρη του υνιού με τέτοιο πλέγμα. Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις σε δυο διαστάσεις με προκαθορισμένη γραμμή ρήξης για να επιτραπεί ο συνδυασμός συμπίεσης του υπεδάφους και ανύψωσης του επιφανειακού εδάφους. Αναπτύχθηκαν σχέσεις για να ρυθμιστούν οι δυνάμεις που υπολογίσθηκαν με το συμβατικό πλέγμα

σύμφωνα με το πάχος της άκρης του υνιού ($e_p = 3 \text{ mm}$), πλάτος υνιού ($W = 350 \text{ mm}$), και γωνία εισχώρησης του υνιού ($\theta_s = 45^\circ$). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι δυνάμεις κατά μήκος (F_{xp}), πλάγια (F_{yp}) από 178 N και κάθετα (F_{zp}) 480 N προστέθηκαν στα αποτελέσματα της προσομοίωσης για να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις στην αιχμή του υνιού.

$$F_{xp} = (0.25 e_p - 0.03) W \cos \theta_s \quad (4.12)$$

$$F_{yp} = (0.25 e_p - 0.03) W \sin \theta_s \quad (4.13)$$

$$F_{zp} = (0.54 e_p - 0.25) W \quad (4.14)$$

ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟ ΣΩΜΑ ΤΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ

Αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις παρουσιάζουν τη μεταβολή της δύναμης αντίδρασης στο σώμα του αρότρου ως συνάρτηση της μετατόπισης του αρότρου διαμέσου του εδάφους εικ.4.3. Αυτό επιτρέπει τον προσδιορισμό της μετατόπισης στην οποία εμφανίζεται η αστοχία του εδάφους. Οι ελάχιστες, μέσες, και μέγιστες τιμές από τις μετρημένες δυνάμεις αντίδρασης στα πειράματα δοκιμών εδάφους σχεδιάζονται για να επεξηγήσουν την υψηλή μεταβλητότητα αυτών των δυνάμεων. Τα πειραματικά αποτελέσματα σχεδιάζονται στις τιμές του X αντίστοιχα με τις μέγιστες τιμές των δυνάμεων που λαμβάνονται από την προσομοίωση. Γενικά, τα αποτελέσματα προσομοίωσης συμφωνούν με τα πειραματικά αποτελέσματα εκτός από την περίπτωση που οι χαμηλότερες τιμές αναφέρονται σε προσομοιώσεις αργής επεξεργασίας. Δημιουργήθηκε ανάλυση έλλειψης προσαρμογής για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων προσομοίωσης σε σχέση με τα πειραματικά αποτελέσματα. Σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μόνο για τις κάθετες δυνάμεις (πίνακας 2). Μια δοκιμή t έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ F_z για τα πειράματα με ταχύτητες 0.25 και 2 m/s. Με την παράλειψη αυτών των τιμών, δεν βρέθηκε καμία σημαντική διαφορά με την ανάλυση Ε.Π.. Κατά τη διάρκεια ενός υπαίθριου πειράματος, αναφέρθηκε αύξηση της F_z με την αύξηση της ταχύτητας του αρότρου που συμφωνεί με τις προσομοιώσεις. Εντούτοις, η F_z ήταν πρακτικά σχεδόν σταθερή σε όλα τα πειράματα ταχύτητας κατά τη διάρκεια των δοκιμών σε δοκίμια εδάφους.

Πίνακας 2.

Αποτελέσματα από μια ανάλυση έλλειψης προσαρμογής (Ε.Π.) μεταξύ προσομοιώσεων (Μ.Π.Σ.) και δοκιμών σε δοκίμιο εδάφους (δυναμόμετρο).

	Πηγή	S.S.*	D.F.	M.S.	F**	F _{0.0}
Δύναμη Κατά μήκος	Υπολειματικό	2.0314	15			
	σφάλμα	0.9832	5	0.1966	1.88	3.3
	(Ε.Π.)	1.0482	10	0.1048		3
Κάθετη Δύναμη	Υπολειματικό	1.0153	15			
	σφάλμα	0.9862	5	0.1972	67.88	3.3
	(Ε.Π.)	0.0291	10	0.00291		3
Κάθετη Δύναμη***	Υπολειματικό	0.0328	9			
	σφάλμα	0.0102	3	0.0034	0.9	4.7
	(Ε.Π.)	0.0226	6	0.0037		6

* SS: Άθροισμα τετραγώνων, D.F: Βαθμός ελευθερίας, M.S.: Μέσο τετράγωνο, Ε.Π.: έλλειψη συναρμογής του μοντέλου.

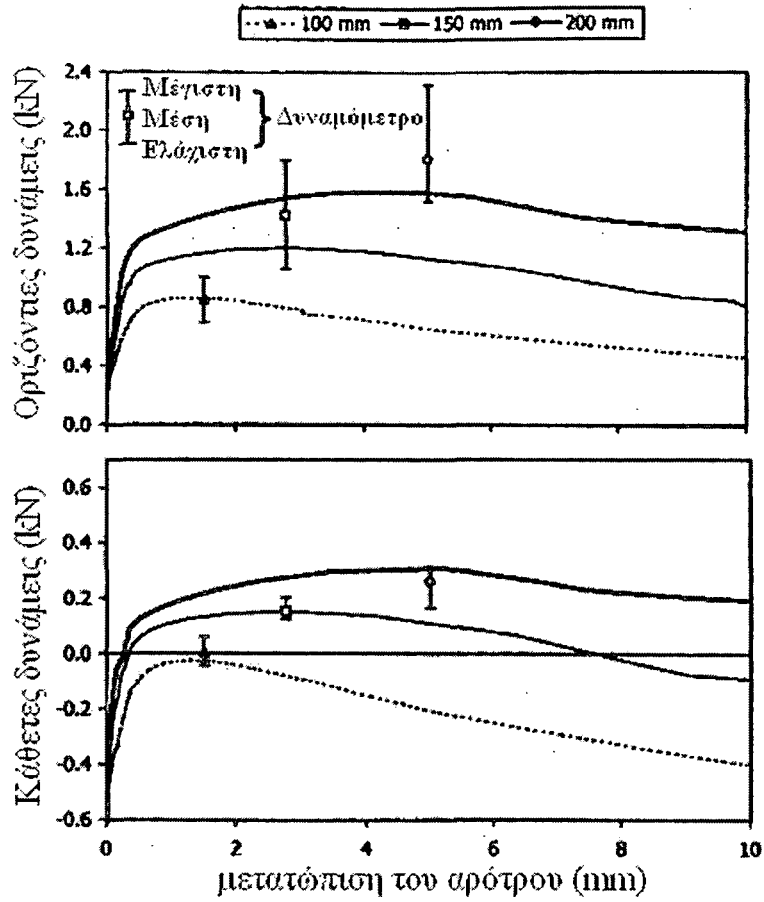
** Ε.Π. υπάρχει όταν $F > F_{0.05}$

*** Ανάλυση με κατεργασίες σε διαφορετικά βάθη μόνο ($s = 1 \text{ m/s}$).

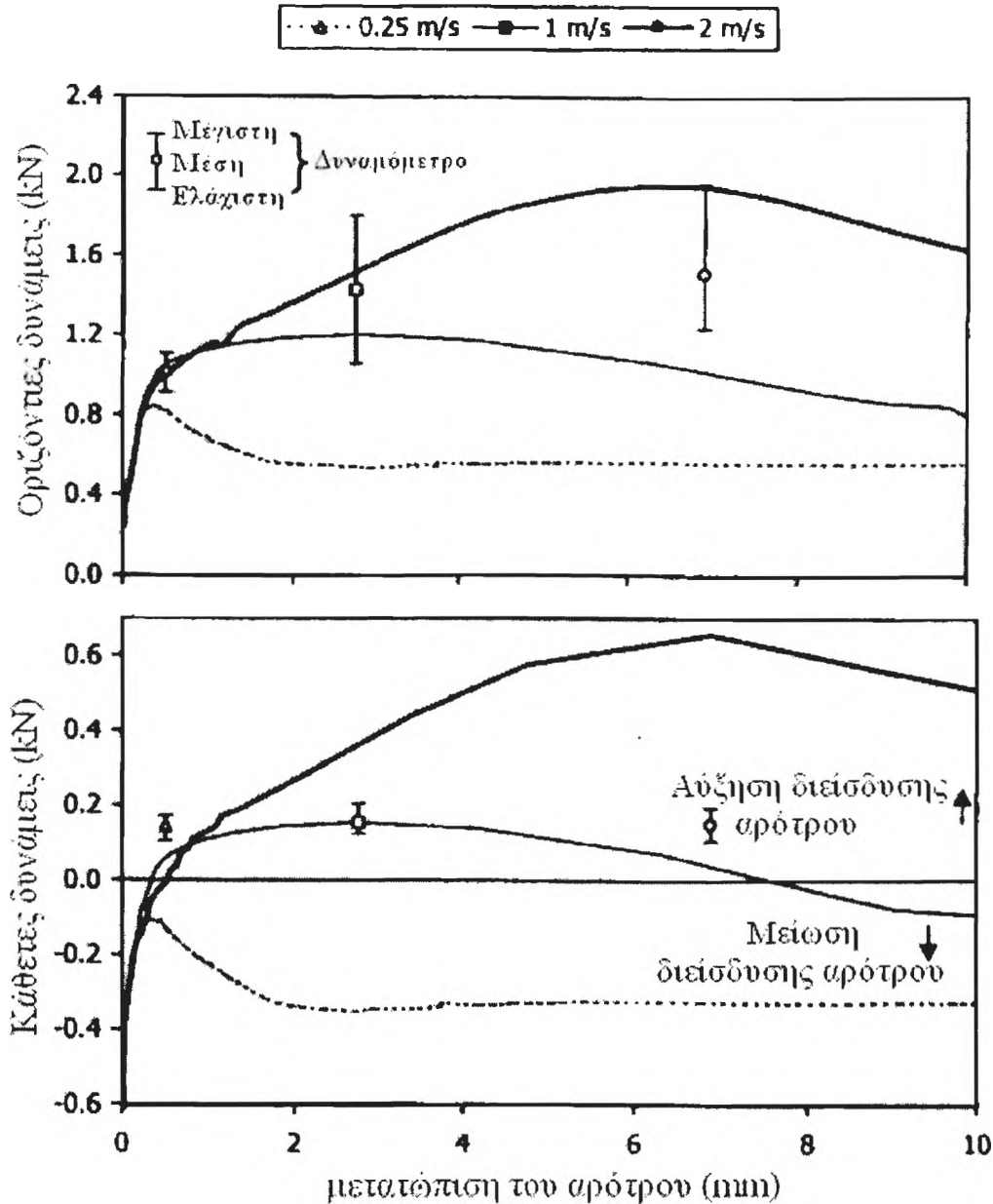
Απόσταση για την αστοχία του εδάφους

Καθώς αυξάνεται το βάθος, το σώμα του αρότρου πρέπει να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση μέσα στο έδαφος, έτσι, οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους φθάνουν στις μέγιστες τιμές εικ.4.3. Αυτό αντιστοιχεί στην αστοχία του εδάφους μπροστά από το σώμα του αρότρου. Αναφέρεται επίσης αύξηση στην απόσταση αστοχίας με την αύξηση του βάθους (απόστασης μεταξύ υνιού και επιφάνειας εδάφους). Παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα του βάθους εργασίας του εργαλείου στη γραμμή ρήξης στο εργαστήριο με την διαδρομή ενός ίσιου εργαλείου σε ένα αμμώδες έδαφος. Με την εφαρμογή τεχνικών ανάλυσης συχνότητας στα στοιχεία δύναμης εργαλείων, βρέθηκε ότι οι συχνότητες θρυμματισμού εδάφους κυμαίνονται μεταξύ 2 και 10 Hz. Για ταχύτητα εργαλείου 1 m/s, απόσταση 100 με 500 mm θα απαιτούταν για να ολοκληρωθεί ο κύκλος. Εντούτοις, στις προσομοιώσεις, μετατοπίσεις μικρότερες από 30-mm στο σώμα του αρότρου εκμεταλλεύτηκαν για να αντιμετωπισθεί η ασυνέχεια. Αυτά δεν αντιπροσωπεύουν έναν κύκλο αστοχίας - ρήξης. Άλλες μέθοδοι όπως την προκαθορισμένη γραμμή διαχωρισμού ή η μέθοδος ξεχωριστών στοιχείων Μ.Ε.Σ. [25] (Horne, 1993) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση προβλημάτων σε συνθήκες συνεχούς ροής εδάφους.

Ρυθμίσεις βάθους με σταθερή ταχύτητα 1m/s



Ρυθμίσεις ταχύτητας σε σταθερό βάθος=150mm



Εικ.4.3. Δυνάμεις κατά μήκος (F_x) και κάθετες (F_z) που εφαρμόζονται στο σώμα ενός αρότρου που κινείται σε διαφορετικά βάθη (ταχύτητα = 1 m/s) και διαφορετικές ταχύτητες (βάθος = 150 mm) σε ένα αργιλώδες έδαφος Sainte-Rosalie Mill ($\rho_b = 1.15 \text{ Mg/m}^3$, $W = 21\%$). Μια θετική δύναμη F_z ωθεί το άροτρο στο έδαφος. Οι τιμές των προσομοιώσεων έχουν σχεδιαστεί αρνητικές σε σχέση με τη μετατόπιση του σώματος του αρότρου, εκτιμώντας ότι, οι ενδείξεις του δυναμόμετρου παρουσιάζονται σε απόσταση που αντιστοιχεί στη μέγιστη δύναμη που λαμβάνεται από τις προσομοιώσεις.

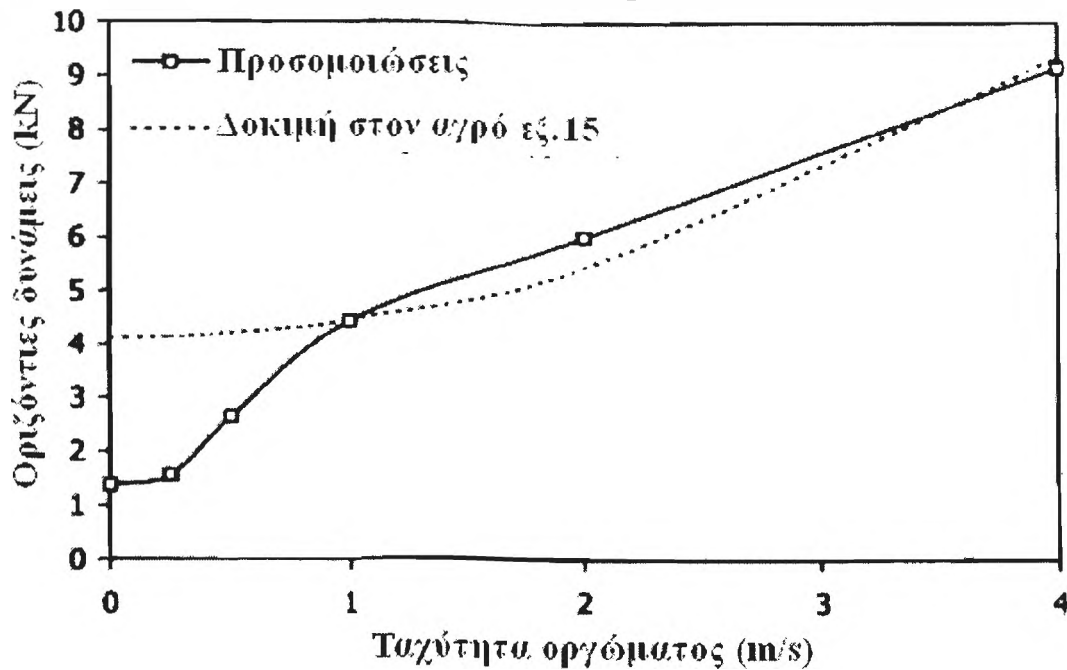
Προσομοιώσεις και πείραμα

Μια εμπειρική σχέση από μετρήσεις στον αγρό για διαφορετικές ταχύτητες και βάθη, είναι η εξίσωση 4.15. Ένα πρότυπο εδάφους και σώματος αρότρου όπως της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε για να επιτρέψει καλύτερη σύγκριση. Το φαινόμενο

ειδικό βάρος (ξηρό) ($\rho_h = 1.5 \text{ Mg/m}^3$) και περιεκτικότητα σε νερό επί τοις εκατό κατά βάρος ($w = 20\%$) ήταν στη σειρά των τριαξονικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν και οι παράμετροι προσομοίωσης αυτών των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν εύκολα (πίνακας 1). Οι τιμές για την εξίσωση 4.15 σχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας 0.4 m πλάτος οργώματος (W) και 0.15 m βάθος οργώματος (D). Οι υπολογισμένες κατά μήκος δυνάμεις (F_x) δίνονται σε kN και η ταχύτητα (s) σε m/s.

$$F_x = 68.7WD + 5.44WD s^2 \quad (4.15)$$

Η ταχύτητα οργώματος τέθηκε 0, 0.25, 0.5, 1, 2, και 4 m/s για 20 mm κατά μήκος μετατόπιση του σώματος του αρότρου μέσα στο έδαφος για κάθε προσομοίωση. Τα αποτελέσματα παρουσίασαν μια πολύ σταθερή πορεία με εξαίρεση πάλι για ταχύτητες χαμηλότερες από 1 m/s εικ.4.4. Οι δυνάμεις εσωτερικής συνοχής του εδάφους είναι σημαντικότερες στις χαμηλότερες ταχύτητες από τις δυνάμεις αδράνειας αποτέλεσμα της επιτάχυνσης του εδάφους. Το μοντέλο αργίλου Cam που χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή της μηχανικής συμπεριφοράς δεν λαμβάνει υπ' όψη τη συνοχή του εδάφους. Ως εκ τούτου, μια πρόταση για τις χαμηλότερες ταχύτητες μπορεί να χρησιμοποιεί πρότυπα, που περιλαμβάνουν όρους συνοχής όπως το υπερβολικό ή τα τροποποιημένα μοντέλα αργίλου Cam. Η σύγκριση του υπερβολικού μοντέλου και των μοντέλων αργίλου Cam (χωρίς όρους συνοχής) για ένα ίσιο άκαμπτο εργαλείο, έδειξε μεγαλύτερη F_x σε μικρότερες ταχύτητες για το υπερβολικό μοντέλο.



Εικ.4.4. Συγκρίσεις δυνάμεων κατά μήκος (F_x) μεταξύ των προσομοιώσεων Μ.Π.Σ. και μιας δοκιμής στον αγρό (εξίσωση 15) σε ένα αργιλώδες έδαφος Sainte-Rosalie ($\rho_b = 1,5 \text{ Mg/m}^3$, $W = 20\%$) και ένα κυλινδρικό σώμα αρότρου ($W = 0,4 \text{ m}$, $D = 0,15 \text{ m}$).

ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Συστηματικά εμφανίστηκαν διαφορές μεταξύ μετρήσεων και προσομοιωμένων πλευρικών δυνάμεων (πίνακας 3). Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε αύξηση με το βάθος και την ταχύτητα, όπως αναμένεται αλλά οι πλευρικές δυνάμεις που μετρήθηκαν από το δυναμόμετρο ήταν χαμηλότερες. Επιθεώρηση των συναρμογών, του σώματος του αρότρου που χρησιμοποιήθηκε στο δοκίμιο του εδάφους, αποκάλυψε ότι η ευθυντηρία, ή οποία ενώνει το υνί με τον αναστρεπτήρα, θα μπορούσε να ενεργήσει ως ευθυντηρία και να παρέχει πλευρική υποστήριξη για μήκος 250 mm. Η δύναμη που υπολογίστηκε με Μ.Π.Σ. ήταν η συνισταμένη του εδάφους που ωθεί το σώμα του αρότρου, εκτιμώντας ότι, το δυναμόμετρο μετρούσε τη δύναμη από το σταβάρι. Η βάση επιβαρύνονταν τη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο. Αυτό το σχόλιο συσχετίζεται με την αύξηση της πλάγιας δύναμης που μετρήθηκε, με την αυξανόμενη με την ταχύτητα σε σταθερό βάθος, δεδομένου ότι η βάση δεν προσφέρει αρκετή υποστήριξη σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Αντιθέτως, εάν αυξηθεί το βάθος σε μια σταθερή ταχύτητα, οι πλευρικές δυνάμεις που μετριοούνται παραμένουν σταθερές για κατεργασίες βάθους 150 και 200 mm.

Πίνακας 3.

Πλευρική δύναμη (F_v) υπολογισμένη με τη Μ.Π.Σ. και σύγκριση με τις δοκιμές δοκιμίων εδάφους (δυναμόμετρο) για ένα κυλινδρικό σώμα αρότρου με πλάτος 350 mm σε Αργιλώδες έδαφος Sainte-Rosalie. ($\rho_b = 1,15 \text{ Mg/m}^3$ και $W = 21\%$)

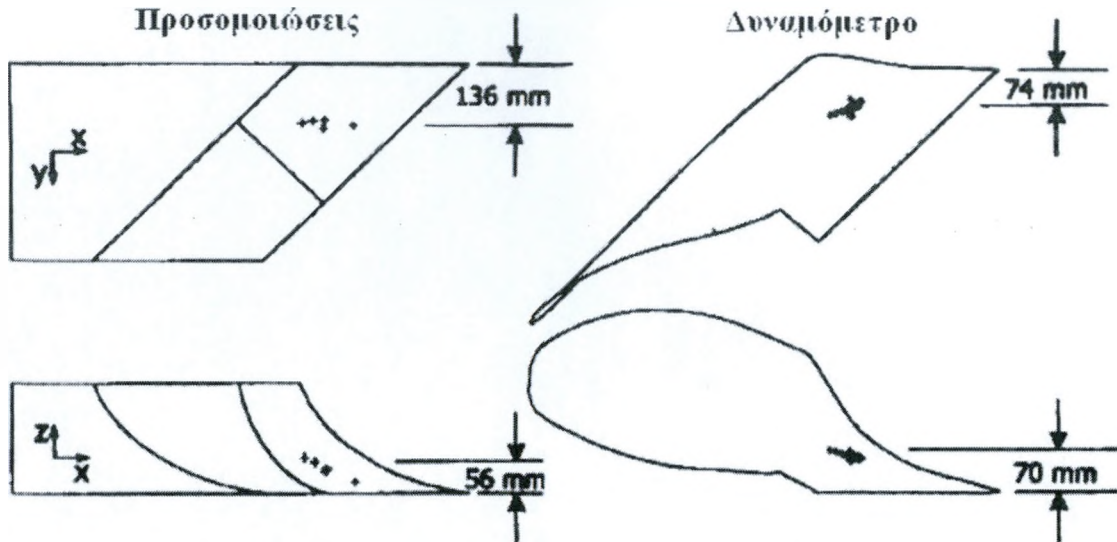
Πηγή	Πλάγιες δυνάμεις (N)				D = 150	
	s = 1*	D	s	D	s	D
Πηγή	100	150	200	0.25	1	2
Προσομοιώσεις με Μ.Π.Σ. (έδαφος)	434	561	693	441	561	834
Δείγμα εδάφους (συνολικά στο σταβάρι)	127	192	190	126	192	277
Διαφορά (υποστήριξη από τη βάση)**	307	369	503	315	369	557

*ταχύτητα (s) σε m/s και βάθος (D) σε mm.

** Η πλάγια δύναμη του εδάφους είναι άθροισμα των δυνάμεων στη βάση και στο σταβάρι.

ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

Το σημείο της εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης καθορίστηκε από τις δυνάμεις και τους χρόνους που υπολογίστηκαν στο τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων. Οι μέγιστες τιμές χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις και οι μέσες τιμές για το πείραμα. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του σημείου εφαρμογής ελαχιστοποιεί τη συνισταμένη ροπή σε μια παραμένουσα - υπολειμματική ροπή. Στην περίπτωση μας, ο λόγος των υπολειμματικών / συνιστωσών ροπών 3% δείχνει την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της οργάνωσης του πειράματος. Η διαφορά στις πλευρικές δυνάμεις που σημειώθηκαν προηγουμένως σημαίνει μετατόπιση του σημείου εφαρμογής 62 mm κατά μήκος του άξονα Y εικ.4.5. αποδείχτηκε πειραματικά ότι παρουσιάζεται το ίδιο φαινόμενο για σώμα αρότρου, με και χωρίς ευθυντηρία. Η διαφορά στη θέση του σημείου στον κάθετο άξονα αποδίδεται κυρίως στις χαμηλότερες τιμές που λαμβάνονται σε ταχύτητες 0.25 m/s που δεν έχουν σχέση ούτε με το δοκίμιο του εδάφους ούτε με τις πειραματικές δοκιμές στον αγρό.



Εικ.4.5. Μέσοι όροι θέσεων του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης σε ένα σώμα αρότρου υπολογισμένα με τη μέθοδο των προσομοιώσεων (Μ.Π.Σ.) και δοκιμές δοκιμίων εδάφους (Δυναμόμετρο) για διαφορετικές ταχύτητες και βάθη.

Ένας γενικός κανόνας για το σημείο της εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης σε ένα σώμα αρότρου είναι ότι η πλευρική απόσταση αντιστοιχεί στο 25% του πλάτους του υνιού (80 mm) και η οριζόντια απόσταση στην ίδια ευθεία με το τέλος του υνιού (350 mm). Για τις προσομοιώσεις, αύξηση στην πλευρική απόσταση συνεπάγεται μεγαλύτερη κατά μήκος απόσταση για τη γραμμή δράσης μέχρι το σώμα του αρότρου (πίνακας 4). Η κάθετη απόσταση αυξάνεται με το D. Η ταχύτητα έχει αμελητέα επίδραση στην κάθετη.

Πίνακας 4.

Απόσταση σημείου εφαρμογής της δύναμης από το τέλος του υνιού, από υπολογισμούς με τη μέθοδο των προσομοιώσεων (Μ.Π.Σ.) και από μετρήσεις με το δυναμόμετρο.

Κατεργασίες		Δυναμόμετρο				Προσομοιώσεις			
Depth (mm)	Speed (m/s)	x* (mm)	y (mm)	z (mm)	D** (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)	D (mm)
100	1	267	70	65	35	314	128	56	44
	1	278	71	70	80	340	130	70	80
	1	295	82	73	127	363	135	80	120
150	0,25	294	81	74	26	252	141	26	74
150	1	278	71	65	80	340	130	70	80
	2	266	68	65	135	318	147	50	150

* Ο άξονας των συντεταγμένων για το δυναμόμετρο είναι: x: κατά μήκος, y: πλάτος και z: κάθετος (ύψος)

** Διαφορά μεταξύ του καθορισμένου βάθους (100, 150 και 200 mm) και κάθετης απόστασης (z) του σημείου εφαρμογής της δύναμης.

Η γραμμή δράσης περνά από το εικονικό σημείο ζεύξης του τρακτέρ (VHP virtual hitch point). Μπορούμε να υπολογίσουμε το ένα άκρο αυτής της γραμμής δράσης με την αφαίρεση του καθορισμένου βάθους στο σώμα του αρότρου από την κάθετη απόσταση εκείνου του σημείου (πίνακας 4). Με τη χρησιμοποίηση διαγράμματος ελεύθερου σώματος του γεωργικού ελκυστήρα, μπορεί να αποδειχθεί η επίδραση στη μεταφορά βάρους στον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα. Το σημείο εφαρμογής στο σώμα του αρότρου επηρεάζει επίσης το μηχανισμό επανάθεσης που έχει τοποθετηθεί σε κάθε σταβάρι του αρότρου. Η μεταβολή αυτού του σημείου θεωρείται αμελητέα σε σχέση με τη σταθερή απόσταση μεταξύ υνιού και άξονα περιστροφής του σταβαριού (≈ 750 mm). Ως εκ τούτου οι μηχανολόγοι μπορούν να υποθέσουν ένα σταθερό σημείο εφαρμογής για αυτά τα συστήματα ασφάλειας.

5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΩΜΑΤΩΝ

Η επίδραση της ταχύτητας κίνησης και των επιπρόσθετων εξαρτημάτων, στο φορτίο και στο θρυμματισμό (κονιορτοποίηση) του εδάφους, μελετήθηκε σε ηφαιστειακά εδάφη τέφρας σε ένα ανοιχτό δείγμα εδάφους. Η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους ήταν 36% (ξηρό βάρος) ενώ οι ταχύτητες κίνησης κυμάνθηκαν από 1.0 έως 4.0 m/s. Μελετήθηκε επίσης η επίδραση επικάλυψης του αναστρεπτήρα αλλά και η χρήση προεκτάσεων στο άροτρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το φορτίο αυξήθηκε με τις αυξήσεις στην ταχύτητα κίνησης αλλά το ποσοστό αύξησης ήταν ανάλογο με την αύξηση της ταχύτητας. Στην ουσία, μέσα στο φάσμα των πρακτικότερων και οικονομικότερων ταχυτήτων οργώματος του εδάφους, η υπόθεση μιας γραμμικά αυξανόμενης σχέσης ταχύτητας-φορτίου φαίνεται να είναι γενικά αποδεκτή. Αυξήσεις στην ταχύτητα, χρήση επικαλύψεων και προεκτάσεις στο άροτρο είχαν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη κονιορτοποίηση – θρυμματισμό του εδάφους [7].

Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες από γεωργούς και μηχανολόγους για τη βελτιστοποίηση του μηχανολογικού σχεδιασμού του αρότρου και των γεωργικών μηχανημάτων. Αυτά τα μηχανήματα έχουν σχεδιαστεί ιστορικά σε μια βάση δοκιμής και λάθους. Η συμπεριφορά της αντίδρασης ταχύτητας - εδάφους και οι εδαφολογικές συνθήκες που προκύπτουν από διάφορες γεωργικές και σχετικές καλλιεργητικές διεργασίες μελετήθηκε από πολλούς ερευνητές. Με αυτό το έναυσμα, γίνονται πολλές προσπάθειες στην αλλαγή του σχεδιασμού και τη χρησιμοποίηση προεκτάσεων.

Η σχέση μεταξύ των δυνάμεων που προκύπτουν από τις διεργασίες οργώματος και τις αντίστοιχες ταχύτητες κίνησης έχει μελετηθεί με ποικίλα συμπεράσματα. Ένας παράγοντας που έχει μεγάλη σημασία, είναι ότι οι περισσότερες από τις προηγούμενες μελέτες έχουν διεξαχθεί σε ταχύτητες μικρότερες από 2,75 m/s. Επίσης είχαν υποθέσει ότι μεγαλύτερες ταχύτητες θα ήταν μη πρακτικές. Η ζήτηση στην παραγωγή τροφίμων είναι πάντα αυξανόμενη, συνεπώς η βελτίωση στα γεωργικά μηχανήματα θεωρείται ως μια από τις λύσεις για την εξασφάλιση υψηλής παραγωγικότητας. Τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών περιλαμβάνουν τη μελέτη οργώματος με μεγάλες ταχύτητες, το σχεδιασμό και την παραγωγή αρότρων υψηλών ταχυτήτων.

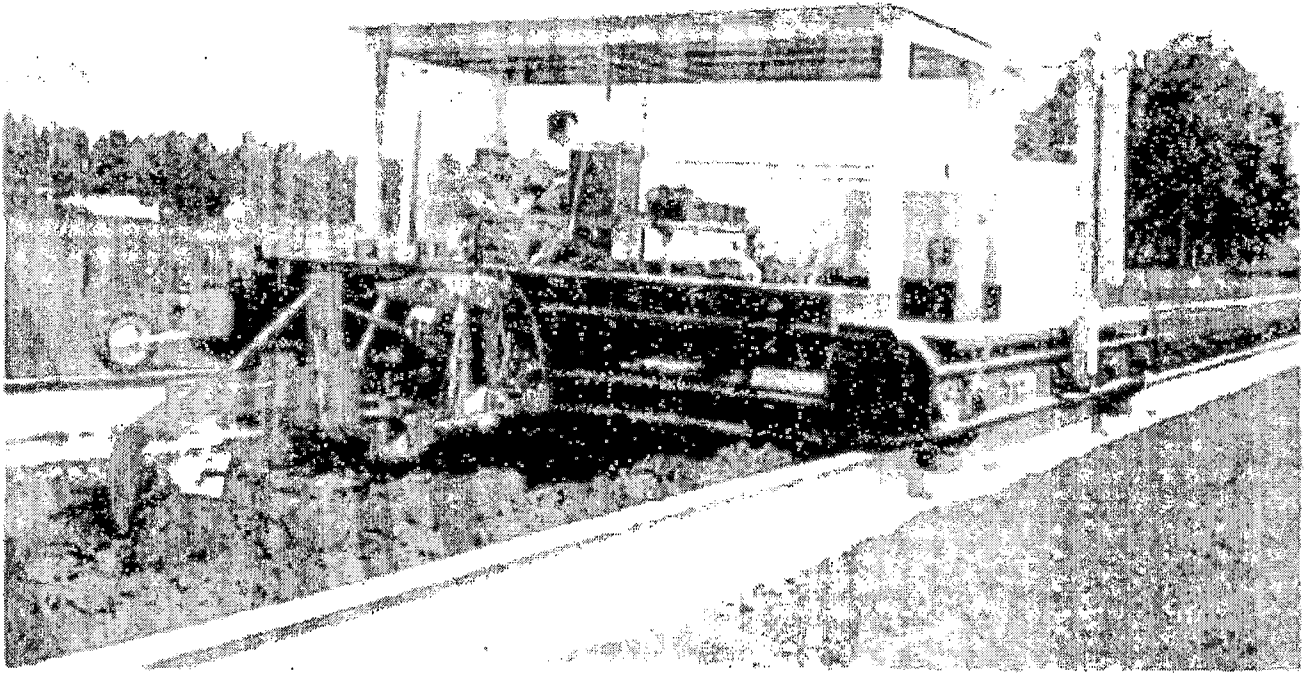
Το υνάροτρο χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες και θα συνεχίσει να χρησιμοποιείται για το εγγύς μέλλον. Δυστυχώς, πιθανών λόγω της ασύμμετρης και πολύπλοκης κυρτής μορφής του, αποκλείεται μια ακριβής μηχανική ανάλυση των αλληλεπιδράσεων με το έδαφος, έχουν αναφερθεί σχετικά λίγα συμπεράσματα από ερευνητές για τις διεργασίες με υψηλές ταχύτητες. Παρόλα αυτά, έχουν γίνει προσπάθειες συσχετισμού της επίδρασης των αλλαγών στις ταχύτητες κίνησης με τις διάφορες δυνάμεις που δημιουργούνται πάνω στο άροτρο κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Οι στόχοι αυτής της μελέτης ήταν να καθοριστεί η επίδραση της ταχύτητας κίνησης στο φορτίο σε ένα υνάροτρο, η επίδραση της ταχύτητας κίνησης, της επικάλυψης του αρότρου και των προεκτάσεων που χρησιμοποιούνται στις εδαφολογικές συνθήκες που προκύπτουν.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Αυτή η έρευνα έγινε στο πανεπιστήμιο του Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα δείγμα εδάφους 100,0 X 4,3 X 1,0m σε μήκος, πλάτος και βάθος, αντίστοιχα, και ένα όχημα δυναμομέτρησης. Το όχημα δυναμομέτρησης μπορεί να παρέχει ταχύτητες κίνησης από 0,07 έως 4,8 m/s. Οι προδιαγραφές του αρότρου που χρησιμοποιήθηκε δίνονται στον πίνακα 1.

πίνακας 1. προδιαγραφές του αρότρου που χρησιμοποιήθηκε

<i>Τύπος</i>	<i>Άροτρο γενικής χρήσης και υψηλών ταχυτήτων</i>
<i>Μέγεθος αρότρου (mm)</i>	<i>510.0</i>
<i>Αριθμός σωμάτων</i>	<i>Ένα σώμα</i>
<i>Υλικό επαφής εδάφους αναστρεπτήρα</i>	<i>Πλαστικό (συνθετικές ρητίνες)</i>
<i>Οριζόντια αναρρόφηση (mm)</i>	<i>12.0</i>
<i>Πρώτη κάθετη αναρρόφηση (mm)</i>	<i>50.0</i>
<i>Δεύτερη κάθετη αναρρόφηση (mm)</i>	<i>12.0</i>
<i>Μήκος αρότρου (mm)</i>	<i>803.0</i>
<i>Γωνία ανύψωσης (°)</i>	<i>18.9</i>
<i>Γωνία κοπής (°)</i>	<i>38.3</i>
<i>Γωνία στροφής στο 85% του βάθους (°)</i>	<i>31.3</i>
<i>Συνολικό ύψος (mm)</i>	<i>566.0</i>
<i>Συνολικό μήκος (mm)</i>	<i>1484.0</i>
<i>Συνολικό πλάτος (mm)</i>	<i>754.0</i>



Εικ.5.1. Η πειραματική διάταξη κατά τη διάρκεια της μελέτης.

Οι ταχύτητες κίνησης κατά τη δοκιμή κυμάνθηκαν από 1.0 έως 4.0 m/s με διάστημα 0.5 m/s και μετρήθηκαν από ένα πέμπτο τροχό που συνδέθηκε στο οπίσθιο τμήμα του οχήματος της δυναμομέτρησης στο δοκίμιο εδάφους. Το φορτίο του αρότρου στα άνω και κάτω σημεία σύνδεσης μετρήθηκε με τη χρήση πείρων φόρτισης. Οι πείροι φόρτισης αποτελούν ένα άξονα σύνδεσης των πάνω και κάτω σημείων σύνδεσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα των πείρων περιλάμβαναν ένα κυλινδρικό εσωτερικά κενό τυφλό πείρο φόρτισης (κενός εσωτερικά, αλλά όχι διαμπερής με τοιχώματα από μαλακό μαγνήτη, μια μονάδα μετασχηματισμού του μαγνητισμού σε ηλεκτρική τάση, και ηλεκτρική καλωδίωση που συνδέονται οι πείροι με την ηλεκτρονική διάταξη καταγραφής στοιχείων. Οι πείροι φόρτισης μέτρησαν τις οριζόντιες συνιστώσες των δυνάμεων έλξης. Οι ταχύτητες και τα φορτία καταγράφηκαν με ένα όργανο καταγραφής δεδομένων και αργότερα επεξεργάστηκαν στο εργαστήριο. Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στην εικ.5.1.

Το έδαφος ισοπεδώνονταν πριν από κάθε πείραμα, ποτίζονταν όπου κρίθηκε απαραίτητο, φρεζαρισμένο και δονημένο - συμπιεσμένο τέσσερις φορές. Οι συνθήκες αυτές εξασφάλισαν ομοιόμορφο και ιδανικό φαινόμενο ειδικό βάρος για κάθε

πειραματική δοκιμή. Ένας υπεδαφοκαλλιεργητής έπρεπε να χρησιμοποιηθεί κατά διαστήματα πριν από το φρεζάρισμα για να αποφευχθεί ο σχηματισμός υπεδάφιου ορίζοντα. Ο τύπος του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε ήταν Epiwa ηφαιστειακό τέφρα με σύσταση 57.0% άμμο και 31.0% άργιλο.

Οι ιδιότητες που καθορίστηκαν στο έδαφος, ήταν η περιεκτικότητά του σε υγρασία, το φαινόμενο ειδικό βάρος (ξηρό), η γωνία εσωτερικής τριβής, η γωνία εξωτερικής τριβής, η συνοχή, η προσκόλληση, και η αντίσταση του εδάφους στην κοπή. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία και το φαινόμενο ειδικό βάρος καθορίστηκαν από συλλογή δειγμάτων εδάφους με χρησιμοποίηση χαλύβδινων δαχτυλιδιών γνωστού βάρους και όγκου. Η γωνία εσωτερικής τριβής και η συνοχή καθορίστηκαν με τη χρήση ενός δίσκου κοπής που κόβει σε παράλληλα επίπεδα, ενώ η γωνία εξωτερικής τριβής και η προσκόλληση καθορίστηκαν με χρήση του ίδιου δίσκου κοπής αλλά με ίσιο δίσκο. Η αντίσταση του εδάφους στην διείδυση (cone index) καθορίστηκε με τη χρησιμοποίηση ενός τυποποιημένου κωνικού μετρητή αντίστασης διάτρησης (penetrometer). Όλες οι ανωτέρω δοκιμές προσδιορισμού εδαφικής σύστασης έγιναν τρεις φορές. Οι μέσες τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

πίνακας 2. Ιδιότητες του εδάφους

Περιεκτικότητα σε υγρασία (% ξ.β.)	36
Πυκνότητα (Mg/m ³)	1.2
Γωνία εσωτερικής τριβής (°)	18
Συνοχή (KPa)	39.2
Γωνία εξωτερικής τριβής (°)	16
Προσκόλληση (KPa)	9.8
Αντίσταση εδάφους (kPa)	628

Έγιναν έρευνες για την επίδραση των προεκτάσεων του αρότρου στο φορτίο και την κονιορτοποίηση του εδάφους, που διεξήχθησαν με χρήση επικαλύψεων και προεκτάσεων στον αναστρεπτήρα. Το βάθος και το πλάτος κάθε αυλακιάς μετρήθηκε μετά από κάθε πειραματική διαδρομή. Μια από τις σημαντικές παραμέτρους που προκύπτουν, από τις αλλαγές στην ταχύτητα και τη χρήση των προεκτάσεων στο άροτρο, στις "μετέπειτα συνθήκες του εδάφους" ήταν αλλαγές στα μέγιστα πλάτη και ύψη των "αυλακιών" και ως εκ τούτου η κονιορτοποίηση του εδάφους. Οι μετέπειτα αυλακίες μελετήθηκαν ως προς το μετέπειτα πλάτος και ύψος όπως φαίνεται στο

εικ.5.2. Για αυτό το σκοπό αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα Profilometer (όργανο καταγραφής του προφίλ του εδάφους). Χρησιμοποιήθηκε για να καθορίσει το πέταγμα του κοπτόμενου εδάφους από τις διατομές των αυλακιών, σε διαφορετικές ταχύτητες και με τις προεκτάσεις στο άροτρο. Πριν από τη χρησιμοποίηση του προφιλόμετρου, καθορίστηκαν οι αποστάσεις πετάγματος του εδάφους από τη ράγα της δεξιάς πλευράς του εδαφικού δοκιμίου. Το πέταγμα του εδάφους λήφθηκε υπόψη στις διαδικασίες μηχανοργάνωσης που ακολούθησαν.



MW: μέγιστο πλάτος αυλακιάς μετά από την άροση.

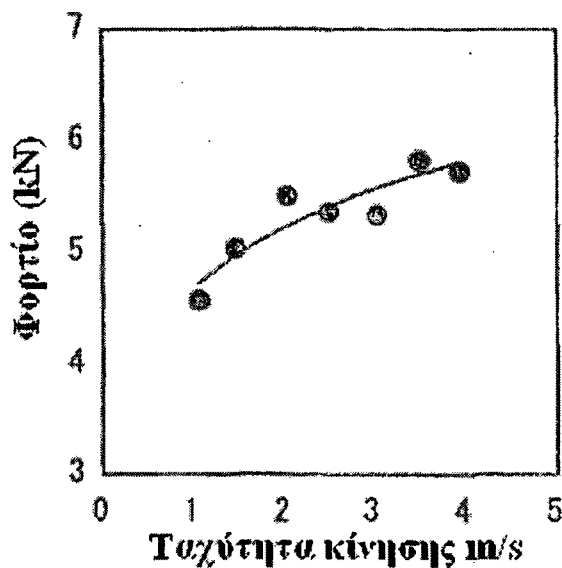
MH: μέγιστο ύψος αυλακιάς μετά από την άροση.

Εικ.5.2. Ορισμοί "του μεγίστου πλάτους και ύψους αυλακιάς μετά από την άροση " όπως χρησιμοποιούνται στην ανάλυση.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ

Το φορτίο αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης, αλλά σε μικρό ποσοστό όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3. Στις πιο συνηθισμένες συνθήκες κατεργασίας εδάφους, όπου εμφανίζεται αστοχία σε εύθραυστο κυρίως έδαφος, αυτό το είδος συμπεριφοράς φορτίου - ταχύτητας προκύπτει κυρίως από τις δυνάμεις που απαιτούνται για την αντιμετώπιση της αντίστασης στην κοπή, την τριβή και της δύναμης που απαιτείται για την επιτάχυνση των συσσωματωμάτων του εδάφους. Στην αστοχία ενός εύθραυστου εδάφους, το έδαφος θρυμματίζεται ή σπάει. Το έδαφος μπορεί επίσης να έχει άλλους τύπους αστοχίας, όπως η αστοχία ροής, όπου δεν είναι ευδιάκριτο κανένα επίπεδο κοπής στο έδαφος γύρω από την επιφάνεια επαφής εδάφους-εργαλείου. Στην αστοχία ροής, η παραμόρφωση του εδάφους εμφανίζεται πρώτα από συμπίεση στις πλευρές και τη βάση της αυλακιάς και από τη ροή του εδάφους στην ελεύθερη επιφάνεια.

Ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τον τρόπο αστοχίας του εδάφους είναι η περιεκτικότητά του σε υγρασία. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι όροι για τη λεπτομερή περιγραφή της αστοχίας του εδάφους μεταξύ αυτών των δύο ακραίων τρόπων αστοχίας εδάφους. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, υπήρχαν και οι δυο περιπτώσεις αστοχίας του εδάφους με εναλλαγή από εύθραυστο σε ροή λόγω των αναπόφευκτων αλλαγών στις εδαφικές συνθήκες και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Εντούτοις, συνεπάγεται το συμπέρασμα ότι η παρατηρηθείσα συμπεριφορά ταχύτητας-φορτίου οφείλεται κυρίως στις δυνάμεις που απαιτούνται για την επιτάχυνση των συσσωματωμάτων του εδάφους και για να υπερνικήσουν την αντίσταση της κοπής και της τριβής.



Εικ.5.3. Η παρατηρηθείσα σχέση ταχύτητας κίνησης- δύναμης φορτίου.

Οι σχέσεις φορτίου - ταχύτητας ποικίλουν. Διάφοροι ερευνητές έχουν αναφέρει ότι αυτή η σχέση αυξάνεται γραμμικά, ενώ άλλοι έχουν αποτελέσματα που σε γενικές γραμμές περιγράφονται παρακάτω. Σε πολύ μικρές ταχύτητες, μια ευθεία γραμμή περιγράφει αρκετά καλά. Με ταχύτητες μέσα στο φάσμα της πρακτικής άρσης, η ευθεία γραμμή έχει κλίση προς τα κάτω. Οι παρούσες παρατηρήσεις φαίνονται να απαιτούν περαιτέρω έρευνες όπου οι ταχύτητες θα κυμαίνονται από 0.25 m/s έως 5.0 m/s.

Μελετώντας την απόδοση ενός άκαμπτου υνιού σε σχέση με τις συνθήκες του εδάφους και την ταχύτητα, βγαίνει το συμπέρασμα ότι με την αύξηση του ποσοστού κόπης, το ιξώδες του εδάφους που προκύπτει μειώνεται. Αυτό είχε επιπτώσεις στη συνοχή και στην αντοχή της κόπης του υνιού. Οι δυνάμεις τριβής μειώθηκαν με την αύξηση στην ταχύτητα. Αυτό αποδίδεται στα υδροδυναμικά αποτελέσματα λίπανσης. Επίσης αποδείχθηκε ότι η προσκόλληση μπορεί να αυξηθεί με το χρόνο της επαφής που σημαίνει ότι η επίδραση της προσκόλλησης μειώνεται με την αύξηση στην ταχύτητα ολίσθησης.

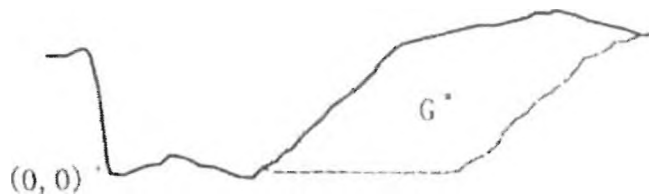
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΟΝΙΟΡΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα στοιχεία που λαμβάνονται με τη χρήση του προφιλόμετρου (profilometer) χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία διάφορων εδαφικών προφίλ και ιστογραμμάτων για της διατομές των αυλακιών για τις διαφορετικές συνθήκες άροσης. Τα προφίλ παρουσιάζουν την τελική μορφή του κατεργασμένου εδάφους δεδομένου ότι στηρίχτηκε στις προηγούμενες αυλακίες μετά από τις διαδικασίες χειρισμού ενώ τα ιστογράμματα συγκρίνουν κυρίως την κατάσταση της αυλακιάς πριν και μετά από την άροση, υποθέτοντας ότι δεν υπήρξε καμία προηγούμενη άροση.

Η αύξηση στην ταχύτητα κίνησης συνεπάγεται περισσότερη κονιορτοποίηση του εδάφους εικ.5.4. Αυτό έχει μεγάλη οικονομική σημασία, δεδομένου ότι θα μπορούσε να οδηγήσει στη μείωση του χρόνου που απαιτείται στην διαδικασία της άροσης και ως εκ τούτου λιγότερες δαπάνες άροσης. Οι προεκτάσεις που χρησιμοποιήθηκαν είχαν επίσης επίδραση στην κονιορτοποίηση του εδάφους εικ.5.5. Η χρήση των δύο προεκτάσεων και επικάλυψης του αναστρεπτήρα, με ταχύτητα 4.0 m/s έχει ως αποτέλεσμα περισσότερη κονιορτοποίηση του εδάφους, σε σύγκριση με την περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε μόνο επικάλυψη του αναστρεπτήρα. Παρατηρήσεις κατά την κονιορτοποίηση του εδάφους από απλό αναστρεπτήρα και όταν χρησιμοποιήθηκαν προεκτάσεις και επικάλυψη, συγκρίνονται στα διαγράμματα εικ.5.6 όπου η δεύτερη περίπτωση είναι πιο ευνοϊκή.

Ο λόγος των διατομών των αυλακιών μετά από την άροση του εδάφους προς τις διατομές των αυλακιών πριν από την άροση, αναφέρεται ως "λόγος κονιορτοποίησης του εδάφους" και αυξάνεται με την αύξηση στην ταχύτητα κίνησης.

Εντούτοις, τα αποτελέσματα δεν έδειξαν καμία συγκεκριμένη τάση. Το μέγιστο «πλάτος αυλακιάς μετά από την άροση» αυξήθηκε όταν το μέγιστο «ύψος αυλακιάς μετά από την άροση» μειώθηκε με αύξηση της ταχύτητας κίνησης. Όπως στην περίπτωση του λόγου κονιορτοποίησης του εδάφους, αυτά τα αποτελέσματα δεν παρουσίασαν κάποια συγκεκριμένη τάση. Ο συσχετισμός στοιχείων του «λόγου κονιορτοποίησης του εδάφους» και του «μέγιστου πλάτους και ύψους αυλακιάς μετά από την άροση» και η ταχύτητες κίνησης δίνονται στους πίνακες 3 και 4, αντίστοιχα. Και οι δύο παρατηρήσεις συμφωνούν με τα αποτελέσματα που αφορούν την ταχύτητα και την κονιορτοποίηση του εδάφους.



Επιφάνεια διατομής = 1799 cm²

G(X,Y) = (86 cm, 18 cm)

(a) Με προέκταση του αρότρου και επικάλυψη του αναστρεπτήρα και ταχύτητα κίνησης 1.0 m/s



Επιφάνεια διατομής = 1675 cm²

G(X,Y) = (102 cm, 17 cm)

(b) Με προέκταση του αρότρου και επικάλυψη του αναστρεπτήρα και ταχύτητα κίνησης 4.0 m/s

Εικ.5. 4. Επίδρασή της ταχύτητας κίνησης στο προφίλ του εδάφους.



Επιφάνεια διατομής

Πριν από την άροση: Sap = 1478 cm²

Μετά από την άροση: Sbp = 1675 cm²

Μέγιστο πλάτος =(96 cm)

Ελάχιστο πλάτος(X, Y) = (50 cm, 0 cm)

Μέγιστο πλάτος (X,Y) = (240 cm, 0 cm)

(a) Με προέκταση του αρότρου και επικάλυψη του αναστρεπτήρα και ταχύτητα κίνησης 4.0 m/s



Επιφάνεια διατομής
 Πριν από την άροση: $S_{ap} = 1574 \text{ cm}^2$ Ελάχιστο πλάτος $(X, Y) = (48 \text{ cm}, 0 \text{ cm})$
 Μετά από την άροση: $S_{bp} = 1753 \text{ cm}^2$ Μέγιστο πλάτος $(X, Y) = (168 \text{ cm}, 0 \text{ cm})$
 Μέγιστο πλάτος $= (99 \text{ cm})$

(b) Με επικάλυψη του αναστρεπτήρα, μόνο σε μια ταχύτητα κίνησης 4.0 m/s

Εικ.5.5. Διαγράμματα επίδρασης των προεκτάσεων και των επικαλύψεων του αρότρου στο έδαφος.



Επιφάνεια διατομής = 1806 cm^2
 $G(X, Y) = (86 \text{ cm}, 19 \text{ cm})$

(a) Αναστρεπτήρας χωρίς προεκτάσεις με ταχύτητα κίνησης 2.0 m/s



Επιφάνεια διατομής = 1818 cm^2
 $G(X, Y) = (91 \text{ cm}, 20 \text{ cm})$

(b) με προέκταση και επικάλυψη του αναστρεπτήρα με ταχύτητα κίνησης 2.0 m/s

Εικ.5.6. Επίδραση των προεκτάσεων και των επικαλύψεων στο εδαφικό προφίλ.

Πίνακας 3. επίδραση της ταχύτητας κίνησης στο βαθμό κονιορτοποίησης

Ταχύτητα κίνησης (m/s)	Βαθμός κονιορτοποίησης του εδάφους (με μια προέκταση του αναστρεπτήρα και επικάλυψη του υνιού)	Βαθμός κονιορτοποίησης του εδάφους (μόνο με επικάλυψη του υνιού)
1.0	1.2	1.0
1.5	0.9	-
2.0	1.1	1.1
2.5	1.0	-
3.0	1.3	1.3
3.5	1.2	-
4.0	1.1	1.1

Πίνακας 4. Επίδραση της ταχύτητας κίνησης στο μέγιστο πλάτος και στο μέγιστο ύψος αυλακιάς μετά από την άροση.

Ταχύτητα κίνησης (m/s)	Μέγιστο πλάτος αυλακιάς μετά από την άροση (cm)	Μέγιστο ύψος αυλακιάς μετά από την άροση (cm)
1.0	140	34
1.5	145	30
2.0	155	33
2.5	155	32
3.0	190	33
3.5	195	32
4.0	245	28

6. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ.

Τα αρχικά στοιχεία για το μηχανολογικό σχεδιασμό της επιφάνειας του σώματος ενός αρότρου είναι: οι διαστάσεις κοπής και μετατόπισης της κοπτόμενης φέτας εδάφους, οι διαστάσεις και η θέση (της κόψης) του υνιού, η θέση και η εξίσωση της σταθερής καμπύλης, η εξίσωση για της γεννήτριας γραμμής της καμπύλης και η εγκάρσια κάθετη προβολή της επιφάνειας εργασίας του σώματος του αρότρου. Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα στοιχεία, συμπεριλαμβάνονται όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του σώματος του αρότρου, δηλαδή, το περίγραμμα στο χώρο, οι προβολές στις Oxyz συντεταγμένες, οι εξισώσεις για τις διατομές σε διαφορετικά επίπεδα (κάθετο - διαμήκης, εγκάρσιο, κάθετο στην αιχμή του υνιού και άλλα) και την επιφάνεια αναστροφής (ισιωμένος αναστρεπτήρας) [11]. Οι εξισώσεις που παρουσιάζονται σε αυτήν την εργασία επιτρέπουν την ανάπτυξη προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, για (1) τον ακριβή σχεδιασμό νέων αναστρεπτήρων και την ανάλυση αυτών που ήδη υπάρχουν (2) μια εύκολη μαθηματική περιγραφή της μορφής ενός αναστρεπτήρα, χρήσιμη για τη θεωρητική έρευνα της διαδικασίας του οργώματος του εδάφους, που λαμβάνει υπόψη τον τύπο του εδάφους, τις συνθήκες εργασίας και τη μορφή της επιφάνειας εργασίας.

Η επιφάνεια εργασίας ενός σώματος αρότρου έχει δύο μέρη που διακρίνονται στην εικ.6.1. α) *το υνί* και β) *τον αναστρεπτήρα*. Η επιφάνεια του υνιού είναι είτε κοίλη είτε επίπεδη. Η επιφάνεια του αναστρεπτήρα έχει σύνθετη γεωμετρία, συνήθως είναι μια κυλινδροειδής επιφάνεια.

Ο αναστρεπτήρας είναι το κύριο μέρος του αρότρου και έχει τη λειτουργία του θρυμματισμού του εδάφους, της μετατόπισής του πλευρικά και της αναστροφής της κοπτόμενης φέτας εδάφους για να καλύψει τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Η γεωμετρία του αναστρεπτήρα καθορίζει την ποιότητα της εργασίας του αρότρου και την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του οργώματος.

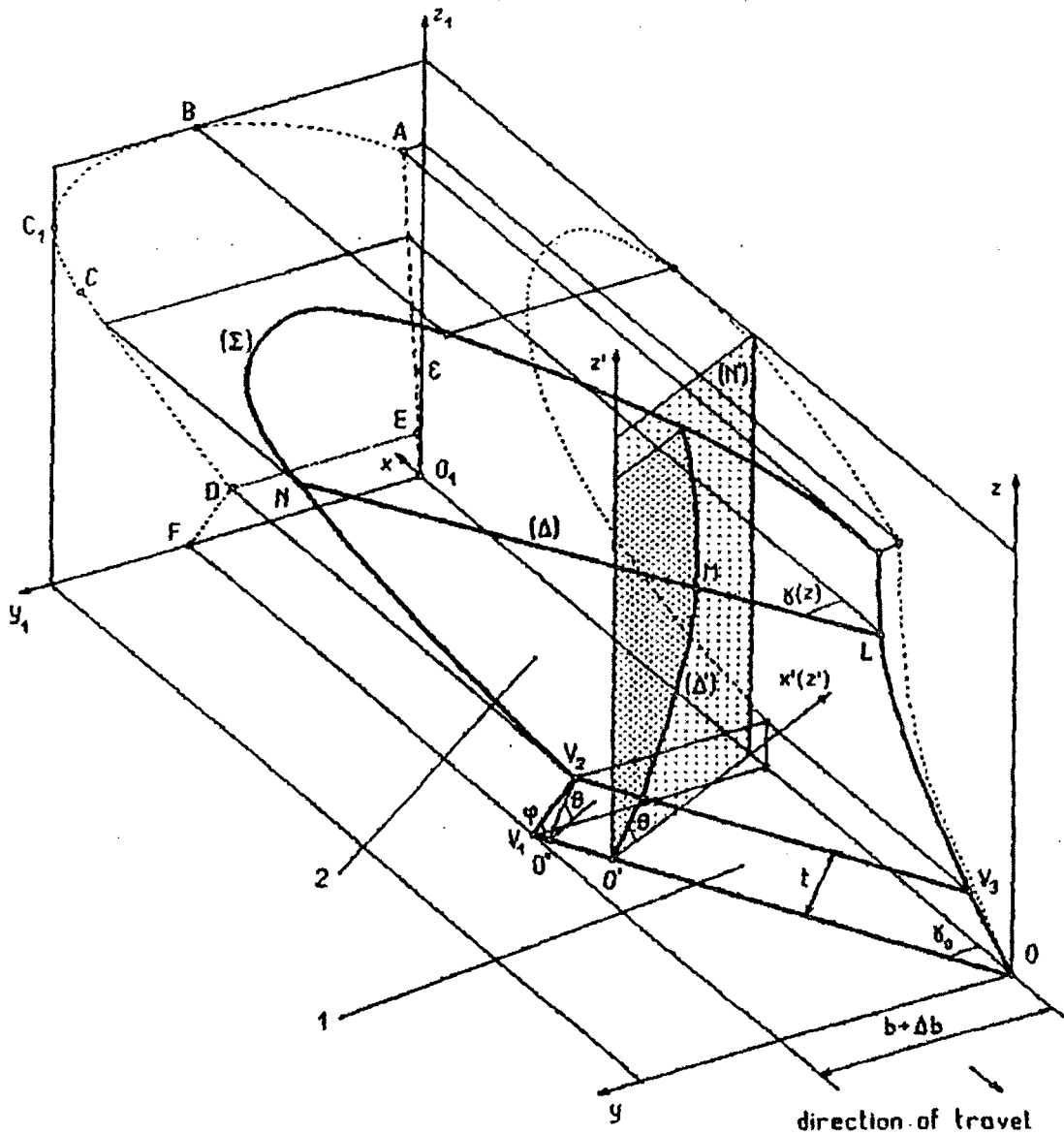
Η γεωμετρική μελέτη της μορφής του αρότρου, γίνεται με την τοποθέτησή του σε ένα ισότιμο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων Oxyz εικ.6.1 , με την αρχή των αξόνων στο σημείο της αιχμής του υνιού. Ο άξονας Ox είναι η διεύθυνση κίνησης και

τα θετικά είναι αντίθετα από την κατεύθυνση κίνησης. Το σύστημα των αξόνων xOy είναι ένα οριζόντιο επίπεδο, ενώ το σύστημα των αξόνων xOz είναι ένα κατακόρυφο διαμήκες επίπεδο και καλείται τοίχωμα της αυλακιάς και το σύστημα των αξόνων yOz είναι η προόψη.

Υποθέτουμε ότι το υνί έχει επίπεδη επιφάνεια εικ.6.1 με το περίγραμμα $OV_1V_2V_3$. Η γραμμή, OV_1 , που είναι το κάτω μέρος του υνιού αποκαλείται κόψη του υνιού και βρίσκεται στο επίπεδο xOy . Η γραμμή, V_2V_3 , που είναι το πάνω μέρος του υνιού είναι η κορυφογραμμή του υνιού που συνδέεται με τον αναστρεπτήρα ώστε η επιφάνεια να είναι λεία και συμπίπτει με την κάτω γραμμή του περιγράμματος του αναστρεπτήρα.

Λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας του εδάφους και των συνθηκών άροσης, έχουν αναπτυχθεί πολλές διαφορετικές μορφές αναστρεπτήρων: κυλινδρικοί, κυλινδροειδείς, και ελικοειδής. Οι κυλινδρικές και κυλινδροειδείς (ελλειπτικές) επιφάνειες είναι ευρέως διαδεδομένες.

Η κυλινδροειδής επιφάνεια, (Σ), είναι η επιφάνεια του αναστρεπτήρα, που παράγεται από μια γεννήτρια καμπύλη γραμμή (Δ) εικ.6.1 που κινείται σε μια καμπύλη οδηγό (τη Δ'). Με την κίνηση, η γεννήτρια καμπύλη γραμμή (Δ) είναι πάντα παράλληλη στο οριζόντιο επίπεδο xOy και καθορίζει μια μεταβλητή γωνία, $\gamma(z)$, με το κάθετο-διάμηκες επίπεδο xOz .



Εικ.6.1. Αξονομετρική προοπτική της επιφάνειας εργασίας σώματος υναρότρου στην κατεύθυνση της κίνησης.

Συνήθως, στο σχεδιασμό αναστρεπτήρων, για να καθοριστεί η επιφάνεια (Σ) και να προσδιοριστούν οι γραμμές περιγράμματος, χρησιμοποιούνται γραφικές και γραφοαναλυτικές μέθοδοι.

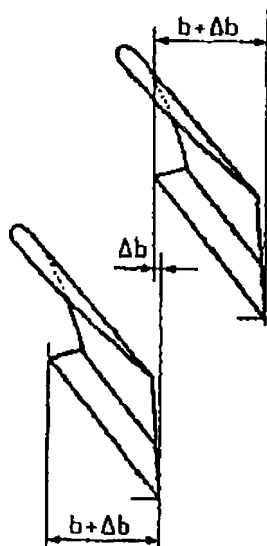
6.1 Στόχοι

Μια πλήρης μεθοδολογία για την ανάλυση του προβλήματος έχει τα εξής βήματα. Για αναστρεπτήρες κυλινδροειδούς γεωμετρίας, είναι:

1. Μαθηματική περιγραφή του αναστρεπτήρα και της επιφάνειας του σώματος του αρότρου σε Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.
2. Οι εξισώσεις των καμπυλών προκύπτουν από τις διατομές του αναστρεπτήρα με το κατακόρυφο - διαμήκες επίπεδο, $y = \text{σταθερό}$.
3. Οι εξισώσεις των καμπυλών προκύπτουν από τις διατομές του αναστρεπτήρα με το κατακόρυφο- εγκάρσιο επίπεδο, $x = \text{σταθερό}$.
4. Οι εξισώσεις των διατομών της επιφάνειας εργασίας με κάθετα επίπεδα, κάθετα στην κόψη του υνιού.
5. Οι συντεταγμένες των σημείων στο περίγραμμα από ευθύ αναστρεπτήρα.

Οι παράμετροι στη δεύτερη και τρίτη κατηγορία είναι απαραίτητες για να αναλυθεί θεωρητικά η διαδικασία εργασίας, και οι παράμετροι στην τέταρτη και πέμπτη κατηγορία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αναστρεπτήρων.

Οι εξισώσεις που παρουσιάζονται βοήθησαν στην ανάπτυξη ενός προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην έρευνα και το σχεδιασμό.



Εικ.6.2. Κάτοψη δύο σωμάτων αρότρου σε σχέδιο (στο πλαίσιο).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

(Σ) κυλινδροειδής επιφάνεια, η όποια έχει την επιφάνεια του αναστρεπτήρα ως συστατικό μέρος.

(Δ) γεννήτρια καμπύλη.

(Δ') καμπύλη οδηγός.

(Δ'') καμπύλη, που χρησιμοποιείται βοηθητική για το επίπεδο διάδοσης του αναστρεπτήρα.

(N') κάθετο επίπεδο, επίπεδα κάθετα στην κόψη του υνιού, όπου βρίσκεται η (Δ')

(N'') κάθετο επίπεδο, επίπεδα κάθετα στην κόψη του υνιού, όπου βρίσκεται η (Δ'')

(N) επίπεδα κάθετα στην κόψη του υνιού, σε μια τυχαία θέση

(L) κάθετο - διάμηκες επίπεδο, σε τυχαία θέση, $y = \text{σταθερό}$

(T) κάθετο - εγκάρσιο επίπεδο, σε τυχαία θέση, $x = \text{σταθερό}$

a βάθος οργώματος

b το πλάτος κοπτόμενου εδάφους.

Δb η ζώνη επικάλυψης μεταξύ των σωμάτων του αρότρου εικ.6.2.

Δc η απόσταση μεταξύ του σημείου C και ανεστραμμένου κομμένου εδάφους εικ.6.3.

h μέγιστα ύψη της πορείας του κοπτόμενου εδάφους στη διαδικασία αναστροφής

Δh Μεταβολή των μέγιστων υψών στον αναστρεπτήρα.

t το πλάτος υνιού εικ.6.1.

I μήκος της κόψης του υνιού (OV_1 , εικ.6.1)

k ο συντελεστής που καθορίζει τη θέση του στην κόψη του υνιού O' ,

$$\overline{OO'} = k \times \overline{OV_1}, (\text{εικ.6.1})$$

a_1, b_1, c_1, d_1 οι συντελεστές του πολυωνύμου της καμπύλης οδηγού (Δ')

a_2, b_2, c_2, d_2 οι συντελεστές του πολυωνύμου της βοηθητικής καμπύλης (Δ'')

m, n, p, q οι συντελεστές της συνάρτησης $\gamma(z)$

d', d'' οι αποστάσεις που καθορίζουν τις θέσεις των επιπέδων (N'), (N'')

d_N, d_L, d_T οι αποστάσεις που καθορίζουν τις θέσεις των επιπέδων (N), (L), (T)

r_1, r_2 ακτίνες της κυκλικής αψίδας της προβολής του αναστρεπτήρα στην

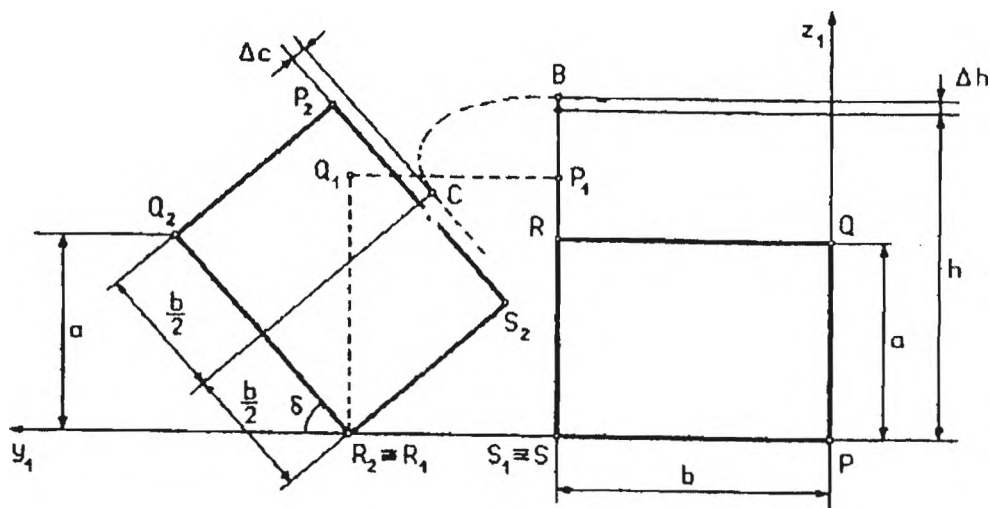
πρόοψη εικ.6.4.

$\gamma(z)$ η γωνία μεταξύ της αιχμής του αναστρεπτήρα και του τοιχώματος αυλακιού, στο ύψος z εικ.6.1.

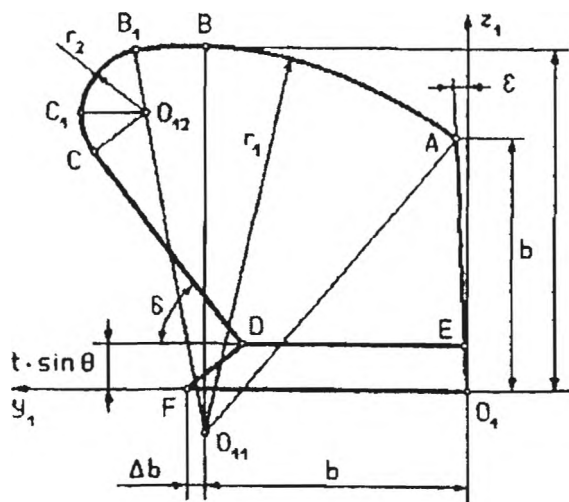
γ_0 η γωνία μεταξύ της αιχμής του υνιού και τοιχώματος αυλακιού εικ.6.1.

θ η γωνία μεταξύ της κόψης του υνιού και του οριζώντιου επιπέδου εικ.6.1.

ε η γωνία μεταξύ $O_1 A$ γραμμής από το μετωπικό επίπεδο της πρόοψης και του άξονα $O_1 z_1$ εικ.6.4.



Εικ.6.3. Πρόοψη των θεωρητικών θέσεων της λωρίδας του κοπτόμενου εδάφους στη διαδικασία αναστροφής.



Εικ.6.4. Η προβολή του αναστρεπτήρα στο μετωπικό επίπεδο (κάθετο - εγκάρσιο επίπεδο).

δ η γωνία του ανεστραμμένου κομμένου εδάφους με το επίπεδο xOy εικ.6.3.

φ η γωνία μεταξύ της γραμμής φτερού του υνιού και αιχμής του υνιού εικ.6.1

x, y, z Καθολικές Καρτεσιανές συντεταγμένες

y_1, z_1 Καρτεσιανές συντεταγμένες για την προβολή του αναστρεπτήρα στο μετωπικό επίπεδο (εικ.6.3, εικ.6.4)

\bar{x}, \bar{z} Καρτεσιανές συντεταγμένες στο επίπεδο (N)

x', z' Καρτεσιανές συντεταγμένες στο επίπεδο (N')

x'', z'' Καρτεσιανές συντεταγμένες στο επίπεδο (N'')

6.2 Διαστάσεις του κοπτόμενου εδάφους και της θέσης της κόψης του υνιού στο σώμα του αρότρου.

Το σώμα του αρότρου σχεδιάζεται για να αναποδογυρίζει μια κοπτόμενη φέτα εδάφους η οποία, παραμένει θεωρητικά αμετάβλητη και έχει ορθογωνική διατομή με διαστάσεις: a , το ύψος της κοπτόμενης φέτας εδάφους (βάθος οργώματος) και b το πλάτος της κοπτόμενης φέτας εδάφους.

Η ρύθμιση δύο γειτονικών σωμάτων στο πλαίσιο του αρότρου πρέπει να γίνεται ώστε να υπάρχει μια ζώνη επικάλυψης με πλάτος Δb εικ.6.2. Η επίπεδη επιφάνεια της κόψης εικ.6.1 έχει τραπεζοειδές περίγραμμα, $OV_1V_2V_3$.

Το σημείο O'' είναι η προβολή του σημείου V_2 στην ευθεία γραμμή OV_1 . Η απόσταση $t = \overline{V_2O''}$ μεταξύ των παραλλήλων τμημάτων OV_1 και V_2V_3 καλείται **πάχος κόψης**.

Η θέση του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται η επιφάνεια της κόψης του υνιού καθορίζεται από τη γωνία γ_0 , που είναι η γωνία μεταξύ της αιχμής του υνιού και του άξονα Ox . Και θ , η γωνία μεταξύ του επιπέδου της κόψης του υνιού και του οριζώντιου επιπέδου xOy . Οι θέσεις των σημείων O και V_1 , αυτή τη στιγμή, προσδιορίζονται, αλλά εκείνες των σημείων V_2 και V_3 , δεν δύναται να προσδιοριστούν.

Η γεωμετρία της επιφάνειας εργασίας του σώματος του αρότρου καθορίζεται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- $a, b, \Delta b, t, \gamma_0, \theta$, καθορισμένες ανωτέρω.
- $k, \Delta c, \Delta h, \varepsilon$, τα όποια θα καθοριστούν αργότερα σε αυτό το άρθρο.
- m, n, p, q : οι συντελεστές της τριτοβάθμιας εξίσωσης $\gamma(z)$.
- a_1, b_1, c_1, d_1 : οι συντελεστές της τριτοβάθμιας εξίσωσης της καμπύλης οδηγού (Δ').

Όλες οι γεωμετρικές διαστάσεις για τις οποίες έχουν δοθεί σχέσεις υπολογισμού, μπορούν να περιγραφούν από τις ανωτέρω παραμέτρους, αλλά κάνοντας κάτι τέτοιο, συχνά οδηγούμαστε σε πολύπλοκες εξισώσεις. Επομένως, χρησιμοποιούνται κάποιες ενδιάμεσες σχέσεις για να μειώσουν την πολυπλοκότητα των τύπων. Αυτή η μέθοδος απλοποιεί την ανάπτυξη των προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών.

6.3 Προβολή σώματος αρότρου στο κατακόρυφο - εγκάρσιο επίπεδο.

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι, προκειμένου να καθοριστεί το περίγραμμα της επιφάνειας του σώματος ενός αρότρου στο χώρο, πρέπει να αρχίσουμε από την προβολή του στο κάθετο-εγκάρσιο επίπεδο, ανεξάρτητα από τη μέθοδο σχεδιασμού που χρησιμοποιείται (γραφική, γραφοαναλυτική ή αναλυτική)[39]. Στην εικ.6.1, φαίνεται η προβολή ενός σώματος αρότρου στο κατακόρυφο - εγκάρσιο επίπεδο $y_1O_1Z_1$. Επειδή αυτό το επίπεδο είναι παράλληλο με το κάθετο-εγκάρσιο επίπεδο yOz , όταν χαρακτηρίζουμε τις συντεταγμένες των σημείων της προβολής, προκειμένου να απλοποιηθεί η διαδικασία, χρησιμοποιούμε τον πίνακα "1".

Θεωρητικά, δεχόμαστε την υπόθεση ότι, στη διαδικασία αναστροφής εικ.6.3 η ορθογωνική διατομή του κομμένου εδάφους, PQRS, παραμένει. Πρώτα, η διατομή περιστρέφεται γύρω από το σημείο S έως ότου φθάνει στη θέση $P_1Q_1R_1S_1$, κατόπιν περιστρέφεται γύρω από το σημείο R_1 έως ότου φθάνει στην τελική θέση $P_2Q_2R_2S_2$, όταν το ύψος του σημείου Q_2 πάρει την τιμή a . Η γωνία δ , από το ανεστραμμένο κομμένο έδαφος στην τελική θέση έχει την τιμή:

$$\delta = \arcsin \frac{a}{b} \quad \text{ή} \quad \sin \delta = \frac{a}{b} \quad (6.1)$$

Στο χρόνο της περιστροφής γύρω από το σημείο S, το σημείο Q ακολουθεί μια κυκλική πορεία με μέγιστο ύψος:

$$h = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6.2)$$

Ανάλογα με την τιμή του h , ο σχεδιαστής προσδιορίζει το ανώτερο σημείο B από την προβολή:

$$Z_B = h + \Delta h \quad (6.3)$$

Η μεταβολή Δh μπορεί να είναι, θετική ή αρνητική και ποικίλει μέσα στα όρια $\Delta h = 40\text{mm} (-25, \dots, +25)$ mm (ανάλογα με τις διαστάσεις της κοπτόμενης φέτας εδάφους).

Η κάθετη-εγκάρσια προβολή εικ.6.4 αποτελείται από την προβολή του αναστρεπτήρα, ABCDE και την προβολή της κόψης του υνιού, O₁EDF. Η ευθεία γραμμή DE είναι κοινή και για τις δυο ανωτέρω προβολές και έχει την εξίσωση: $z = t \times \sin\theta$. Η προβολή του αναστρεπτήρα έχει σχεδιαστεί βάσει των χαρακτηριστικών σημείων A, B, C, D, E. Οι συντεταγμένες του σημείου B δίνονται από την εξίσωση 6.3, και οι θέσεις των άλλων σημείων καθορίζονται ως εξής:

Το σημείο A είναι στο σημείο που τέμνονται οι ευθείες $z = b$ με την ευθεία γραμμή που περνά από το σημείου O₁ και ορίζουν τη γωνία ε με τον άξονα O₁z₁ εικ.6.4:

$$z_A = b, \quad y_B = b \cdot \tan \varepsilon \quad (6.4)$$

Η γωνία ε επιλέγεται από το σχεδιαστή και συνήθως, παίρνει την τιμές από 2° μέχρι 3°. Το σημείο C είναι στην μεσοκάθετο του τμήματος P₂ S₂ εικ.6.3 την απόσταση Δc από το P₂ S₂. οι τυπικές τιμές του Δc είναι από 20 μέχρι 30 mm.

Από την εικ.6.3 έχουμε:

$$z_c = (a + \Delta c)\cos\delta + \frac{b}{2}\sin\delta$$

$$y_c = a + b - (a + \Delta c)\sin\delta + \frac{b}{2}\cos\delta \quad (6.5)$$

Το σημείο D είναι στη διατομή της ευθείας γραμμής $z = t \cdot \sin\theta$ με την ευθεία γραμμή που περνά από το σημείο C και σχηματίζει γωνία θ με τον άξονα $O_1 y_1$ εικ.6.4:

$$z_D = t \cdot \sin\theta, \quad y_D = y_C - \frac{z_C - z_D}{\tan\delta} \quad (6.6)$$

Από το σχήμα 4, βλέπουμε ότι, οι συντεταγμένες του σημείου E είναι:

$$z_E = z_D, \quad y_E = z_E \cdot \tan\varepsilon \quad (6.7)$$

6.4 Περιγραφή της κάθετης-εγκάρσιας προβολής.

Αποτελείται από: τα ευθύγραμμο τμήματα AE, DE, CD, το κυκλικό τόξο ABB_1 , με κέντρο του κύκλου O_{11} και ακτίνα r_1 , και το κυκλικό τόξο B_1C_1C , με κέντρο του κύκλου O_{12} και ακτίνα r_2 . Τόξο B_1C_1C ενώνεται με το τόξο ABB_1 , στο σημείο B_1 , και ενώνεται με το ευθύγραμμο τμήμα CD στο σημείο C.

Το κέντρο O_{11} βρίσκεται στην ευθεία γραμμή $y = b$, έτσι ώστε $\overline{O_{11}A} = \overline{O_{11}B}$ αυτοί οι όροι καθορίζουν τις συντεταγμένες του σημείου O_{11} :

$$z_{O_{11}} = \frac{b^2(2 - 2 \cdot \tan\varepsilon + \tan^2\varepsilon) - (h + \Delta h)^2}{2(h + \Delta h - b)}$$

$$y_{O_{11}} = b \quad (6.8)$$

και την τιμή της ακτίνας r_1 :

$$r_1 = h + \Delta h - z_{O_{11}} \quad (6.9)$$

Η εξίσωση του κύκλου με το κέντρο O_{12} και ακτίνα r_1 είναι:

$$(z - z_{O_{11}})^2 + (y - y_{O_{11}})^2 = r_1^2 \quad (6.10)$$

Το κέντρο O_{12} τοποθετείται στην ευθεία γραμμή $O_{11}B_1$ έτσι τόξο ABB_1 μπορεί να ενωθεί με το τόξο B_1C_1C στο σημείο B_1 και, συγχρόνως, σε μια γραμμή που είναι κάθετη στο ευθύγραμμο τμήμα CD και περνά από το σημείο

C. Αυτό επιτρέπει στο τόξο B_1C_1C να ενωθεί με το ευθύγραμμο τμήμα CD στο σημείο C. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το $\overline{O_{12}B_1} = \overline{O_{12}C} = r_2$ έχουμε:

$$r^2 = \frac{r_1^2 - (z_C - z_{O_{11}})^2 - (y_C - y_{O_{11}})^2}{2r_1 + 2(z_C - z_{O_{11}})\cos\delta - 2(y_C - y_{O_{11}})\sin\delta} \quad (6.11)$$

$$z_{O_{12}} = z_C + r^2 \cos\delta, \quad y_{O_{12}} = y_C + r^2 \sin\delta \quad (6.12)$$

$$z_{B_1} = \frac{r_1}{r_1 - r_2} z_{O_{12}} - \frac{r_2}{r_1 - r_2} z_{O_{11}} \quad (6.13)$$

$$y_{B_1} = \frac{r_1}{r_1 - r_2} y_{O_{12}} - \frac{r_2}{r_1 - r_2} y_{O_{11}} \quad (6.13)$$

Η εξίσωση του κύκλου με κέντρο O_{12} και ακτίνα r_2 είναι:

$$(z - z_{O_{12}})^2 + (y - y_{O_{12}})^2 = r_2^2 \quad (6.14)$$

Το σημείο C_1 , το πιο μακρινό από τον άξονα OZ έχει συντεταγμένες:

$$z_{C_1} = z_{O_{12}}, \quad y_{C_1} = y_{O_{12}} + r_2, \quad (6.15)$$

Η προβολή της κορυφογραμμής της κόψης του υνιού επάνω στο κάθετο-εγκάρσιο επίπεδο (μετωπικό επίπεδο) καθορίζεται από τα σημεία E και D, των οποίων οι συντεταγμένες δίνονται ανωτέρω, με προέλευση τα σημεία O και F. Το σημείο F έχει τις συντεταγμένες:

$$z_F = 0, \quad y_F = b + \Delta b \quad (6.16)$$

Το σημείο στο μέγιστο ύψους της προβολής του σώματος του αρότρου επάνω στο κάθετο-εγκάρσιο επίπεδο είναι το B. Το περίγραμμα στη δεξιά πλευρά, O_1AB , και το περίγραμμα στην αριστερή πλευρά, BB_1CD , μπορεί να προσδιοριστεί στα δεξιά και αριστερά του σημείου B, αντίστοιχα. Οι γραμμές αυτών των περιγραμμάτων έχουν τις εξισώσεις 6.17 μέχρι 6.22 (πίνακας 1). Η ανεξάρτητη μεταβλητή στον πίνακα 1 είναι το z. Οι εξισώσεις 6.20 και 6.22 είναι αποτέλεσμα των εξισώσεων 6.10 και 6.19 από την εξίσωση 6.14.

6.5 Περίγραμμα της κόψης του υνιού

Τα ευθύγραμμα τμήματα που διαμορφώνουν το περίγραμμα της κόψης του υνιού καθορίζονται από τις συντεταγμένες των σημείων O, V₁, V₂, V₃ εικ.6.1 και εικ.6.5.

Το σημείο V₁ έχει τις συντεταγμένες:

$$y_{V_1} = y_F, \quad z_{V_1} = 0, \quad x_{V_1} = \frac{y_{V_1}}{\tan\gamma_0} \quad (6.23)$$

και το μήκος της κόψης του υνιού, $l = \overline{OV_1}$, δίνεται από:

$$l = \frac{b + \Delta b}{\sin\gamma_0} \quad (6.24)$$

Οι συντεταγμένες των σημείων V₂ και V₃ (εικ.6.5, εικ.6.6 και εικ.6.1) είναι:

$$y_{V_2} = y_D, \quad z_{V_2} = z_D, \quad x_{V_2} = \frac{y_{V_2}}{\tan\gamma_0} + t \frac{\cos\theta}{\sin\gamma_0} \quad (6.25)$$

$$y_{V_3} = y_E, \quad z_{V_3} = z_E, \quad x_{V_3} = \frac{y_{V_3}}{\tan\gamma_0} + t \frac{\cos\theta}{\sin\gamma_0} \quad (6.26)$$

τα σημεία O'', V₄, οι προβολές των V₂ και V₃ στην κόψη του υνιού εικ.6.5 έχουν τις συντεταγμένες:

$$\begin{aligned} y_{O''} &= y_{V_2} + t \cdot \cos\theta \cdot \cos\gamma_0, \\ z_{O''} &= 0 \\ x_{O''} &= x_{V_2} - t \cdot \cos\theta \cdot \sin\gamma_0 \end{aligned} \quad (6.27)$$

$$\begin{aligned} y_{V_4} &= y_{V_3} + t \cdot \cos\theta \cdot \sin\gamma_0 \\ z_{V_4} &= 0 \\ x_{V_4} &= x_{V_3} - t \cdot \cos\theta \cdot \sin\gamma_0 \end{aligned} \quad (6.28)$$

Πίνακας 1. Εξισώσεις του περιγράμματος του αναστρεπτήρα σε κάθετο επίπεδο.

Z	Εξισώσεις των γραμμών του αριστερού περιγράμματος	Εξισώσεις των γραμμών του δεξιού περιγράμματος
0,...,z _D	Ευθύγραμμο τμήμα DF $y(z) = y_F + \frac{y_D - y_F}{z_D} z \quad (6.17)$	Ευθύγραμμο τμήμα O ₁ A $y(z) = z \cdot \tan \epsilon \quad (6.21)$
z _D ,...,z _C	Ευθύγραμμο τμήμα CD $y(z) = y_D + \frac{z - z_D}{\tan \delta} z \quad (6.18)$	
z _C ,...,z _A	Τόξο B ₁ C $y(z) = y_{O_{12}} + \sqrt{r_2^2 - (z - z_{O_{12}})^2} \quad (6.19)$	Τόξο AB $y(z) = y_{O_{11}} + \sqrt{r_1^2 - (z - z_{O_{11}})^2} \quad (6.22)$
z _A ,...,z _{B1}	Τόξο BB ₁ $y(z) = y_{O_{12}} + \sqrt{r_1^2 - (z - z_{O_{11}})^2} \quad (6.20)$	
z _{B1} ,...,z _B		

και η γωνία φ μεταξύ των ευθύγραμμων τμημάτων OV₁ and V₁V₂ στο επίπεδο του υνιού, μπορεί να προκύψει από τη σχέση:

$$\tan \varphi = \frac{t \cdot \sin \gamma_0}{y_{V_1} - y_{O_1}} \quad (6.29)$$

6.6 Περίγραμμα του αναστρεπτήρα

Για την κυλινδροειδή επιφάνεια (Σ), η όποια περιλαμβάνει την επιφάνεια του αναστρεπτήρα, η συνάρτηση μεταβολής της γωνίας γ(z), μεταξύ της γεννήτριας γραμμής (Δ) και του επιπέδου xOz είναι απαραίτητο να είναι γνωστή, και η εξίσωση της καμπύλης οδηγού (Δ'), πρέπει να βρεθεί.

Η συνάρτηση μεταβολής της γωνίας γ(z) μπορεί να περιγραφεί με την τριτοβάθμια εξίσωση:

$$\gamma(z) = m \cdot z^3 + n \cdot z^2 + p \cdot z + q \quad (6.30)$$

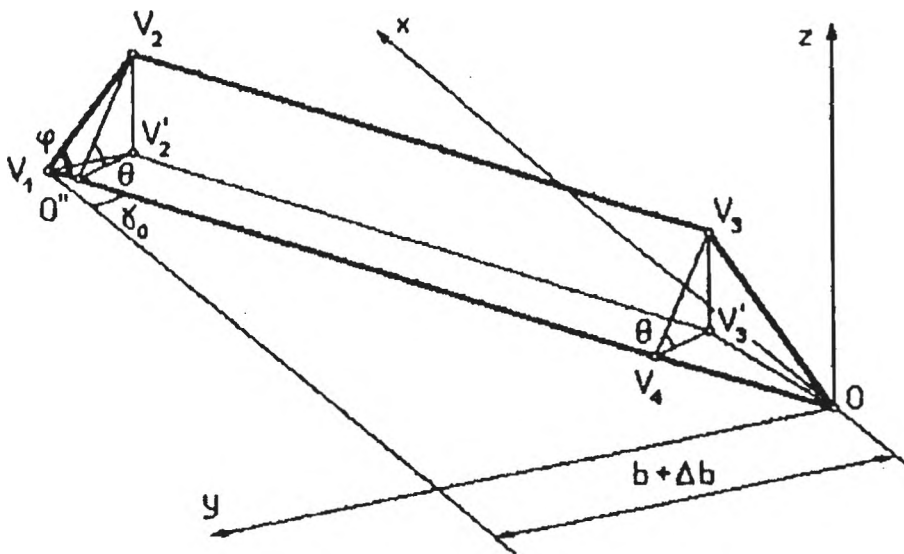
Οι συντελεστές m, n, p, q, εξαρτώνται από τη μορφή της γραφικής παράστασης της εικ.6.7 που έχει επιλεχθεί, και από τις τιμές της γραφικής παράστασης. Η μορφή της γραφικής παράστασης καθορίζει τον τύπο του αναστρεπτήρα. Αυτοί οι συντελεστές θεωρούνται γνωστοί.

Στη χαμηλότερη θέση της, η γενέτειρα ταυτίζεται με την ευθεία γραμμή V_2V_3 εικ.6.1 και $y(z) = y_0$.

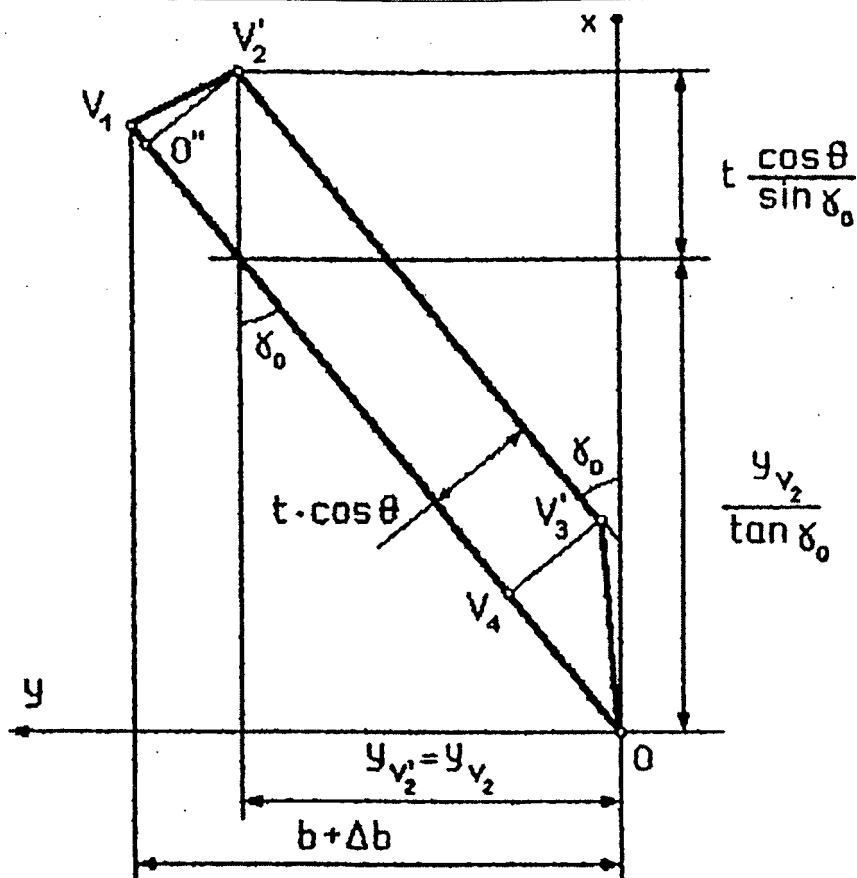
Η καμπύλη οδηγός (Δ') καθορίζεται στο ισότιμο σύστημα $x'O'z'$, τοποθετείται σε ένα κάθετο επίπεδο (N'), και κάθετα στην αιχμή του υνιού εικ.6.1. Η τιμή του k βοηθά στην εκτίμηση της θέσης του σημείου O' πάνω στην αιχμή του υνιού. Η τιμή αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$k = \frac{OO'}{OV_1} \quad (6.31)$$

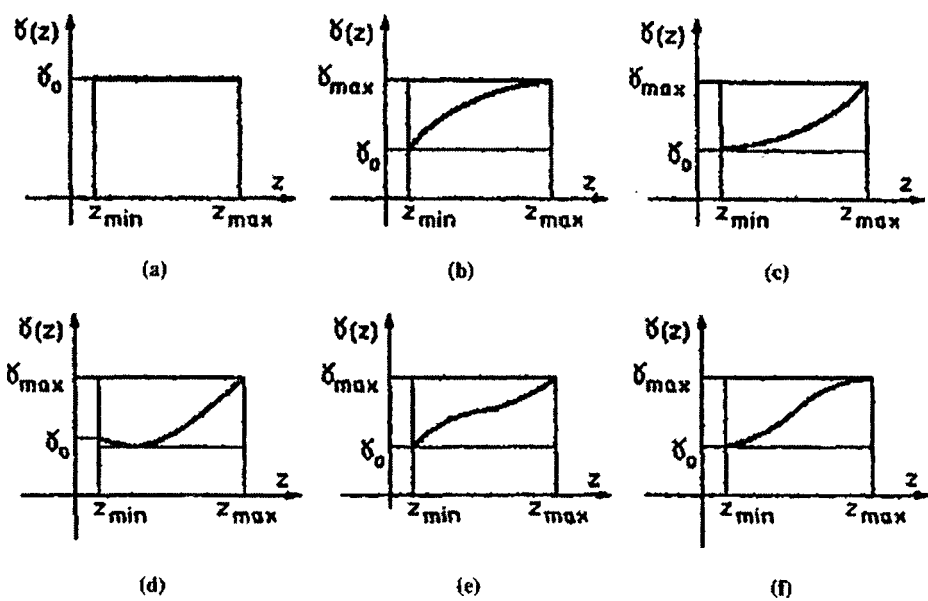
όπου, συνήθως, $k \in (2/3, \dots, 1)$, ανάλογα με τον τύπο του αναστρεπτήρα.



Εικ.6.5. Αξονομετρική προοπτική της κόψης του υνιού.



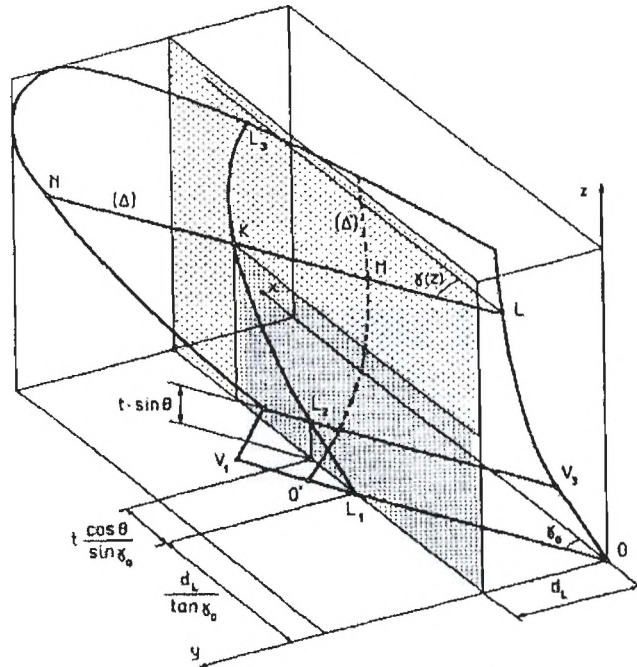
Εικ.6.6. προβολή της κόψης σε οριζόντιο επίπεδο.



Εικ.6.7. Εξάρτηση της γωνίας $\gamma(z)$ για αναστρεπτήρες: (a) κυλινδρικούς, (b) κυλινδροειδής, (c & d) ημιελικοειδής, (e & f) καθολικός.

Οι συντεταγμένες του σημείου O' είναι:

$$\begin{aligned} x_{O'} &= k \cdot x_{V_1} \\ y_{O'} &= k \cdot y_{V_1} \end{aligned} \quad (6.32)$$



Εικ.6.8. Τομή σώματος αρότρου με κατακόρυφο - διάμηκες επίπεδο.

Η καμπύλη οδηγός (Δ') καθορίζεται από μια τριτοβάθμια συνάρτηση:

$$x'(z') = a_1 \cdot z'^3 + b_1 \cdot z'^2 + c_1 \cdot z' + d_1 \quad (6.33)$$

συντελεστές του οποίου θεωρούνται γνωστοί.

Στο ισότιμο σύστημα $x'O'z'$ η συντεταγμένη του ορισμένου σημείου M της σταθερής καμπύλης, τοποθετείται στο ύψος:

$$z'_M = z$$

$$x'_M(z') = a_1 z'^3_M + b_1 z'^2_M + c_1 z'_M + d_1$$

$$\text{ή } x'_M(z) = a_1 z^3 + b_1 z^2 + c_1 z + d_1 \quad (6.34)$$

και στο γενικό σύστημα των αξόνων $Oxyz$ αυτές οι συντεταγμένες είναι:

$$x_M(z) = x_{O'} + x'_M(z) \cdot \sin \gamma_0$$

$$y_M(z) = y_{O'} - x'_M(z) \cdot \cos\gamma_0 \quad (6.35)$$

λαμβάνοντας υπόψη το $x'_M(z)$ από την εξίσωση 6.34.

Στην εικ.6.1 φαίνεται η γεννήτρια γραμμή LMN σε μια ορισμένη θέση στο ύψος z . Οι συντεταγμένες των σημείων L και N στο περίγραμμα του αναστρεπτήρα μπορούν να υπολογιστούν με τη σχέση:

$$x_{L,N}(z) = x_M(z) - \frac{y_M(z) - y(z)}{\tan\gamma(z)} \quad (6.36)$$

όπου $x_M(z)$, $y_M(z)$ δίνονται από την εξίσωση 35, και το $x_L(z)$, το $x_N(z)$, και το $y(z)$ επιλέγονται από τον πίνακα 1, σύμφωνα με το διάστημα στο οποίο υπάρχει η μεταβλητή z και σύμφωνα με τη γραμμή του περιγράμματος: για το $x_L(z)$, από το περίγραμμα στη δεξιά πλευρά, και για το $x_N(z)$, από το περίγραμμα στην αριστερή πλευρά. Προκειμένου να ληφθεί το περίγραμμα του αναστρεπτήρα, το z παίρνει τιμές από z_D μέχρι z_B .

6.7 Τομές του σώματος του αρότρου με κατακόρυφα - διαμήκη επίπεδα

Η εικ.6.8 αντιπροσωπεύει ένα κάθετο-διάμηκες επίπεδο (L), στην απόσταση d_L από το τοίχωμα του κοπτόμενου εδάφους. Αυτό το επίπεδο διασχίζει την επιφάνεια της κόψης του υνιού στη γραμμή L_1L_2 και η επιφάνεια του αναστρεπτήρα στην καμπύλη $L_2K L_3$.

Σύμφωνα με τις εικ.6.8 και 6.9, τα σημεία L_1 και L_2 έχουν τις συντεταγμένες:

$$x_{L_1} = \frac{d_L}{\tan\gamma_0}, \quad y_{L_1} = d_L, \quad z_{L_1} = 0 \quad (6.37)$$

$$x_{L_2} = \frac{d_L}{\tan\gamma_0} + t \frac{\cos\theta}{\sin\gamma_0}, \quad y_{L_2} = d_L, \quad z_{L_2} = t \cdot \sin\theta \quad (6.38)$$

Το σημείο K είναι το σημείο που τέμνονται το επίπεδο (L) και η γεννήτρια γραμμή LMN, η οποία βρίσκεται σε ύψος z . Επομένως:

$$y_K = d_L, \quad z_K = z \quad (6.39)$$

και από το εικ.6.9 δίνεται ότι:

$$x_K(z) = x_M(z) + \frac{d_L - y_M(z)}{\tan\gamma(z)} \quad (6.40)$$

όπου $x_M(z)$ και $y_M(z)$ δίνονται από την εξίσωση 6.35.

Η τιμή $x_K(z)$, υπολογίζεται από την εξίσωση 6.40, πρέπει να ικανοποιεί τους όρους:

$$x_L(z) \leq x_K(z) \leq x_N(z) \quad (6.41)$$

Τα $x_L(z)$ και $x_N(z)$ δίνονται από την εξίσωση 6.36. Εάν οι όροι δεν ικανοποιούνται, σημαίνει ότι το επίπεδο (L), στην απόσταση d_L , δεν έχει κανένα κοινό σημείο με τον αναστρεπτήρα στο ύψος z .

Για την εξίσωση της καμπύλης $L_2 K L_3$, οι συντάκτες έχουν επιτύχει τα ακριβή αποτελέσματα επιλέγοντας ένα πολυώνυμο τρίτου βαθμού, ακριβώς όπως για τη σταθερή καμπύλη. Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός ζευγαριών των τιμών $[z, x_K(z)]$ έχει τοποθετηθεί σε ένα αρχείο και έπειτα οι συντελεστές του πολυωνύμου έχουν καθοριστεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η αναλυτική έκφραση της τέμνουσας καμπύλης ήταν γνωστή, έτσι ώστε να μπορούν να καθοριστούν οι γωνίες μεταξύ των εφαπτόμενων στην καμπύλη και της κατεύθυνσης κίνησης. Αυτές οι γωνίες χαρακτηρίζουν την ικανότητα του αναστρεπτήρα να σχίζει το έδαφος.

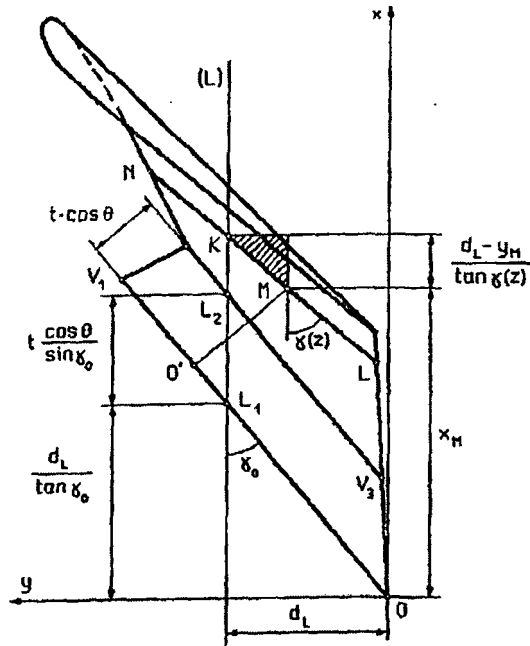
Το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή των συντακτών για το σχεδιασμό αναστρεπτήρων περιλαμβάνει τη γραφική παράσταση των τέμνουσων καμπυλών. Η δυνατότητα τύπωσης των γραφικών παραστάσεων σε αξονομετρική προβολή (όπως στην εικ.6.10, όπου $d_L = 240 \text{ mm}$) μπορεί να τυπωθεί και σε ορθογώνια προβολή, και οι οικογένειες καμπυλών μπορούν να σχεδιαστούν όπως προκύπτουν από τα τεμνόμενα ισαπέχοντα επίπεδα (όπως στην εικ.6.11, για επίπεδα σε απόσταση 20 mm το ένα από το άλλο).

6.8 Πέρασμα του σώματος με κατακόρυφα - εγκάρσια επίπεδα

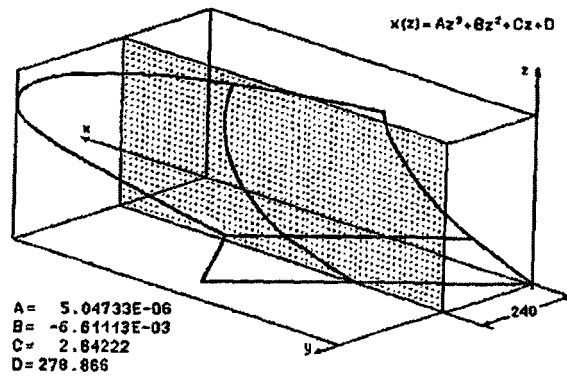
Το κάθετο-εγκάρσιο επίπεδο (T) στην εικ.6.12, σε απόσταση d_T από το επίπεδο yOz , τέμνει την επιφάνεια της κόψης στο ευθύγραμμο τμήμα T_1T_2 και την επιφάνεια του αναστρεπτήρα στην καμπύλη $T_2G T_3$.

Σύμφωνα με τις εικ.6.12 και 6.13, τα σημεία T_1 και T_2 έχουν τις συντεταγμένες:

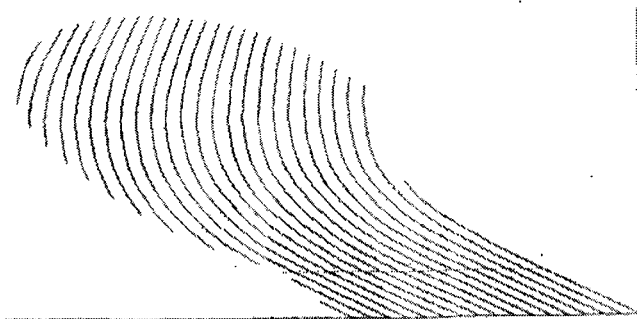
$$\begin{aligned} x_{T_1} &= d_T, \\ y_{T_1} &= d_T \cdot \tan \gamma_0, \quad z_{T_1} = 0 \end{aligned} \quad (6.42)$$



Εικ.6.9. Γεωμετρικά στοιχεία απαραίτητα για να δημιουργηθεί η εξίσωση της καμπύλης μιας κάθετης-διαμήκου διατομής.



Εικ.6.10. Εξίσωση της τέμνουσας καμπύλης με το κάθετο διαμήκου επίπεδο σε $y=240\text{mm}$. Οι μεταβλητές x και z έχουν μονάδες mm .



Εικ.6.11. Οικογένεια καμπυλών διατομής ενός σώματος αρότρου με τα κάθετα-διαμήκη επίπεδα.

$$x_{T_2} = d_T, y_{T_2} = d_T \cdot \tan\gamma_0 - t \frac{\cos\theta}{\cos\gamma_0}, z_{T_2} = t \cdot \sin\theta \quad (6.43)$$

Το σημείο G είναι το σημείο που τέμνεται το επίπεδο (T) με γενέτειρα γραμμή LMN, η όποια βρίσκεται στο ύψος z, επομένως:

$$x_G = d_T, z_G = z \quad (6.44)$$

Και από την εικ.6.13 συμπεραίνουμε:

$$y_G(z) = y_M(z) + [d_T - x_M(z)] \cdot \tan\gamma(z) \quad (6.45)$$

όπου $x_M(z)$ και $y_M(z)$ δίνονται από την εξίσωση 6.35.

Η τιμή $y_G(z)$, υπολογίζεται από την εξίσωση 6.45, και πρέπει να ικανοποιεί τις συνθήκες:

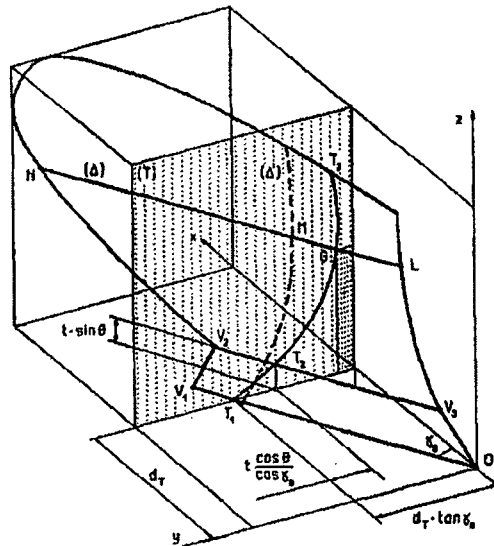
$$y_L(z) \leq y_G(z) \leq y_N(z) \quad (6.46)$$

Τα $y_L(z)$ και $y_N(z)$ λαμβάνονται από τον πίνακα 1, σύμφωνα με z, και το περίγραμμα [$y_L(z)$ στη δεξιά πλευρά και $y_N(z)$ στην αριστερή πλευρά]. Εάν δεν πληρούνται οι όροι, σημαίνει ότι το επίπεδο (T), στην απόσταση d_T , δεν έχει κανένα κοινό σημείο με τον αναστρεπτήρα στο ύψος z.

Η εξίσωση της καμπύλης $T_2 G T_3$ μπορεί να ληφθεί με τον ίδιο τρόπο με αυτήν της καμπύλης $L_2 K L_3$ που περιγράφηκε προηγουμένως. Απαιτείται τριτοβάθμιο πολυώνυμο.

Η αναλυτική έκφραση της τέμνουσας καμπύλης μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό των γωνιών μεταξύ των εφαπτόμενων στην καμπύλη και της εγκάρσιας κατεύθυνσης. Αυτές οι γωνίες χαρακτηρίζουν την ικανότητα του αναστρεπτήρα να ανατρέφει την κοπτόμενη φέτα εδάφους.

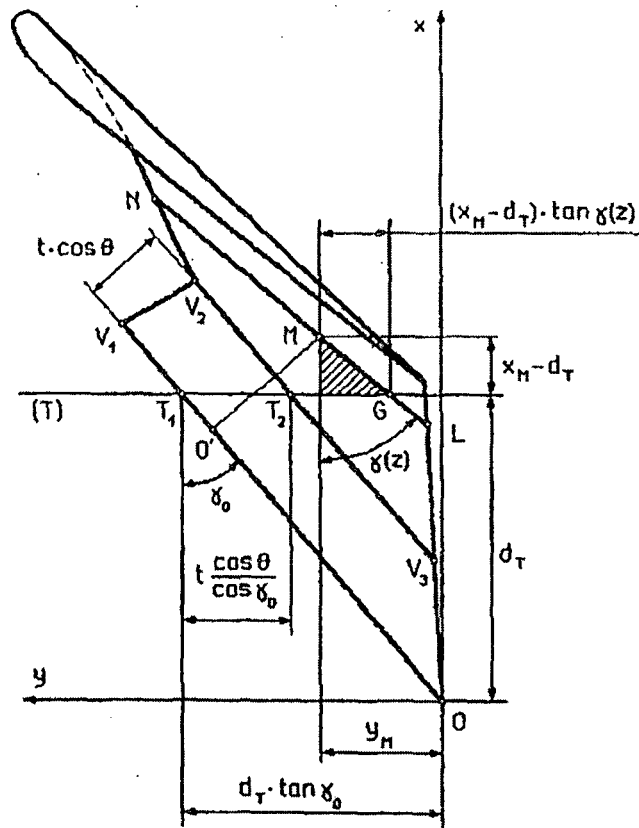
Η εικ.6.14 αναπαριστά την αξονομετρική προβολή από την τομή μεταξύ αναστρεπτήρα και του επίπεδου στην απόσταση $d_T = 420 \text{ mm}$ και η εικ.6.15 αναπαριστά την ορθογωνική προβολή των οικογενειών των καμπυλών που προκύπτουν από την τέμνουσα μεταξύ του αναστρεπτήρα και του παράλληλου επίπεδου σε απόσταση 20 mm το ένα από το άλλο.



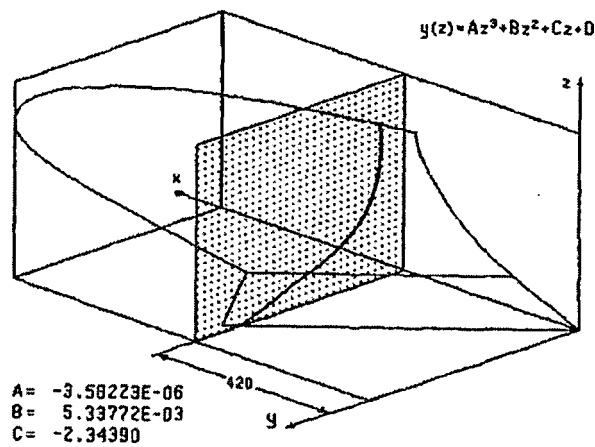
Εικ.6.12. Διατομή του σώματος με κάθετο-εγκάρσιο επίπεδο.

Τομή του σώματος και των κάθετων επίπεδων κάθετα στην κόψη του υνιού.

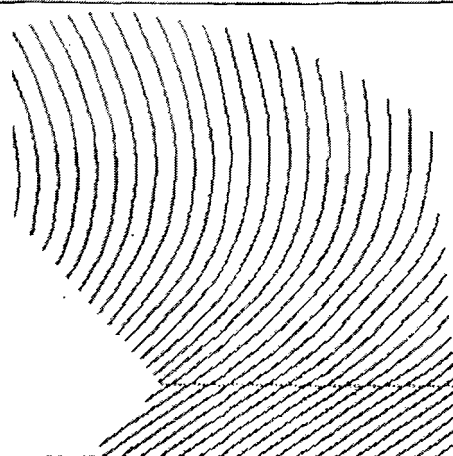
Υπάρχει ένα κάθετο επίπεδο (N) εικ.6.16 κάθετος στην κόψη του υνιού, σε απόσταση d_N από το σημείο της κόψης. Αυτό το επίπεδο είναι παράλληλο με το επίπεδο (N') στο οποίο καθορίζεται η καμπύλη οδηγός (Δ'). Στο επίπεδο (N') είναι ένα σταθερό επίπεδο, σε απόσταση $\overline{OO'}$ από το σημείο της κόψης. Λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση 6.31 και δεδομένου ότι $1 = \overline{OV_1}$ το μήκος της αιχμής (κόψης) του υνιού, η απόσταση d' μπορεί να εκφραστεί ως εξής:



Εικ.6.13. Γεωμετρικά στοιχεία απαραίτητα για να προκύψει η εξίσωση για την κατακόρυφο - εγκάρσια καμπύλη διατομής.



Εικ.6.14. Εξίσωση της καμπύλης διατομής με το κατακόρυφο - εγκάρσιο επίπεδο σε $x = 420$ mm. Οι μεταβλητές y και z έχουν μονάδες mm.



Εικ.6.15. Οικογένεια των καμπυλών διατομών ενός σώματος αρότρου με κατακόρυφα - εγκάρσια επίπεδα.

$$d' = k \cdot 1 \quad (6.47)$$

Το επίπεδο (N) τέμνει την επιφάνεια του υνιού στην ευθεία γραμμή $N_1 N_2$ και την επιφάνεια του αναστρεπτήρα στην καμπύλη $N_2 H N_3$. Υπάρχουν διάφορες θέσεις του επιπέδου (N) στις οποίες δεν τέμνεται η επιφάνεια του υνιού, για $d_N > 1$. Το σημείο H της καμπύλης $N_2 H N_3$ είναι το σημείο τομής του επιπέδου (N) και της γεννήτριας LMN.

Γνωρίζοντας τις εξισώσεις της καμπύλης $N_2 H N_3$ για τις διαφορετικές θέσεις του επιπέδου (N) βοηθούμαστε στο χτίσιμο της φόρμας που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση του αναστρεπτήρα από την πλαστική παραμόρφωση και επίσης για να διαμορφώσουν ορισμένα πρότυπα για χρήση στον έλεγχο της γεωμετρίας των αναστρεπτήρων.

Η εξίσωση της καμπύλης $N_2 H N_3$ και οι συντεταγμένες του σημείου N_2 βρίσκονται στο σύστημα \bar{x}^N, \bar{z} στο επίπεδο (N). Η εξίσωση της καμπύλης μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του z αφού $\bar{z}_H = z_H = z$. Βάσει των γεωμετρικών στοιχείων που αναπαρίστανται στην εικ.6.17:

$$\bar{x}_H(z) = x'_M(z) + (d' - d_N) \cdot \tan[\gamma(z) - \gamma_0] \quad (6.48)$$

όπου $x'_M(z)$ δίνεται από την εξίσωση 6.34 και:

$$\bar{x}_{N_2} = t \cdot \cos\theta, \quad \bar{z}_{N_2} = t \cdot \sin\theta \quad (6.49)$$

Ισιωμένος αναστρεπτήρας

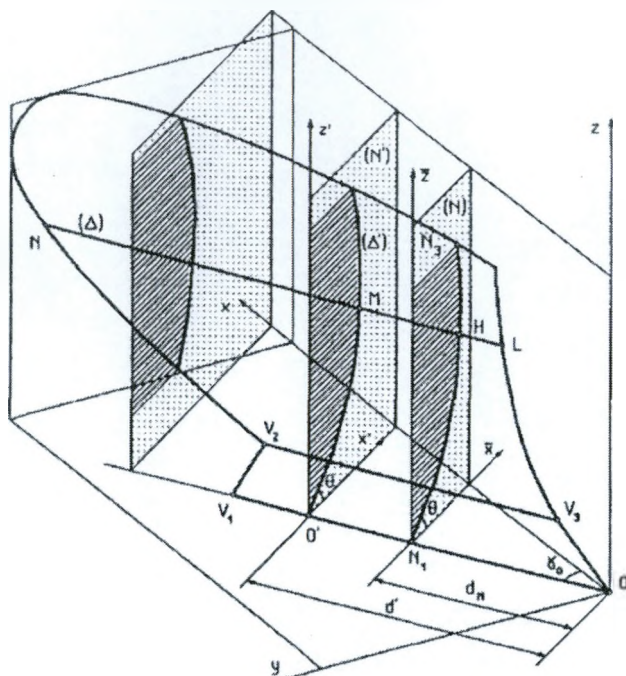
Η κυλινδρική επιφάνεια του αναστρεπτήρα, δε δύναται να περιγραφεί από γεωμετρική όψη. Αλλά, προκειμένου να διαμορφωθεί ο αναστρεπτήρας από ένα επίπεδο το οποίο πρόκειται να παραμορφωθεί σε υψηλή θερμοκρασία, είναι απαραίτητο να καθοριστεί "η διάδοση αναστρεπτήρα" (ισιωμένος αναστρεπτήρας) της επιφάνειας του αναστρεπτήρα.

Οι συντάκτες έχουν καθορίσει έναν αλγόριθμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των συντεταγμένων διάφορων σημείων του περιγράμματος του ισιωμένου αναστρεπτήρα. Αυτός ο αλγόριθμος εμπεριέχει τη χρήση της καμπύλης οδηγού (Δ') και μιας βοηθητικής καμπύλης (Δ''). Η βοηθητική καμπύλη (Δ'') είναι η τέμνουσα μεταξύ αναστρεπτήρα και ενός κάθετου επιπέδου (N''), κάθετη στην κόψη του υνιού και παράλληλη στο (N'). Το επίπεδο (N'') περιλαμβάνει τα σημεία V_2 και O'' εικ.6.18. Η καμπύλη (Δ'') καθορίζεται με τη βοήθεια της μεθόδου που παρουσιάζεται σε προηγούμενα σημεία του άρθρου.

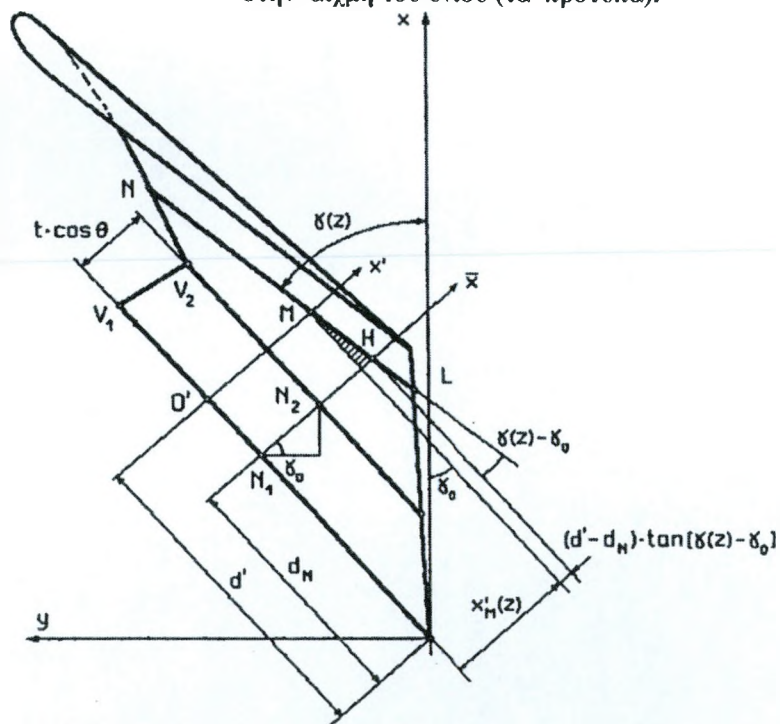
Η γενέτειρα από το M τέμνει η βοηθητική καμπύλη (Δ'') στο W . Οι συντεταγμένες του W , στο επίπεδο (N''), προκύπτουν από την εξίσωση 6.48, όπου d' δίνεται από την εξίσωση 6.47 και $d_N = d''$:

$$d'' = \frac{y_{O''}}{\sin \gamma_0} \tag{6.50}$$

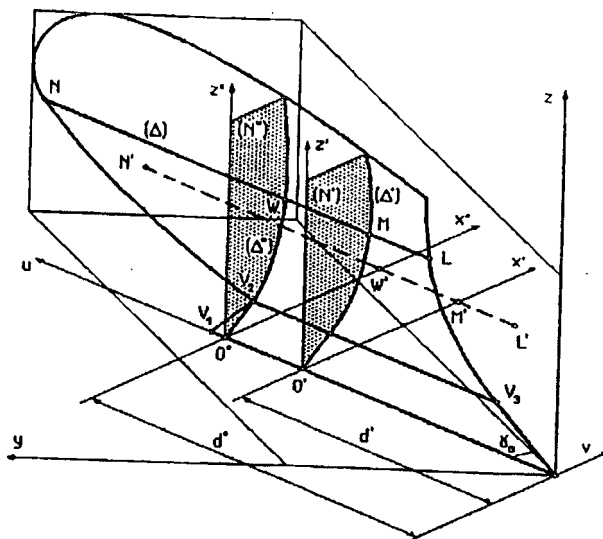
$$x''_W(z) = x'_M(z) + (d' - d'') \cdot \tan[\gamma(z)\gamma_0] \tag{6.51}$$



Εικ.6.16. Διατομές ενός σώματος αρότρου με κάθετα επίπεδα, κάθετα στην αιχμή του υνιού (τα πρότυπα).



Εικ.6.17. Γεωμετρικά στοιχεία απαραίτητα στον υπολογισμό της σχέσης των καμπύλων των διατομών ενός σώματος αρότρου με κάθετα επίπεδα.



Εικ.6.18. Γεωμετρικά στοιχεία απαραίτητα για την κατασκευή ενός ισιωμένου αναστρεπτήρα.

Στο γενικό ισότιμο σύστημα $Oxyz$ το σημείο W έχει τις συντεταγμένες:

$$x_w(z) = x_{O''} + x''_w(z) \cdot \sin \gamma_0$$

$$y_w(z) = y_{O''} + x''_w(z) \cdot \cos \gamma_0 \quad (6.52)$$

Όπως έχει παρουσιαστεί προηγουμένως σε αυτό το άρθρο, ένα πολυώνυμο τρίτου βαθμού λαμβάνεται για την καμπύλη (Δ'') . Έχει την ίδια έκφραση με το πολυώνυμο της εξίσωσης 6.34, η όποια δίνει την εξίσωση της καμπύλης οδηγού (Δ') :

$$x''_w(z) = a_2 z^3 + b_2 z^2 + c_2 z + d_2 \quad (6.53)$$

όπου το z'' έχει αντικατασταθεί από το z . Οι συντελεστές a_2, b_2, c_2, d_2 θεωρούνται γνωστοί. Ο ισιωμένος αναστρεπτήρας λαμβάνεται στο οριζόντιο επίπεδο εικ.6.18 στο ισότιμο σύστημα uOv . Με τη διάδοση, οι καμπύλες (Δ') και (Δ'') γίνονται ευθείες γραμμές, κάθετες στον άξονα Ou εικ. 6.19. Η διάδοση γίνεται με τους όρους (C1) και (C2). Ο πρώτος παράγοντας είναι:

C1: τα μήκη των καμπυλών (Δ') και (Δ'') είναι σταθερά. Τα σημεία M και W στη γενέτειρα του ύψους z , δημιουργείται με τη διάδοση των, M' και W . Οι συντεταγμένες v των σημείων M' και W είναι :

$$v_{M'} = t + l_M(z) \quad , \quad v_{W'} = t + l_W(z) \quad (6.54)$$

Όπου t αποτελέσματα από τις γραμμές που τέμνονται με την κόψη και $l_M(z)$, $l_W(z)$ είναι τα μήκη των καμπυλών στον τεμνόμενο αναστρεπτήρα, από την κόψη στη γενέτειρα LMN. Αυτά τα μήκη υπολογίζονται με τις γνωστές εξισώσεις:

$$l_M(z) = \int_{z_{\min}}^z \sqrt{1 + \left[\frac{dx'_M(z)}{dz} \right]^2} \cdot dz$$

$$l_W(z) = \int_{z_{\min}}^z \sqrt{1 + \left[\frac{dx''_W(z)}{dz} \right]^2} \cdot dz$$

όπου $z_{\min} = t \cdot \sin \theta$ είναι η τιμή του ύψους z όταν η γενέτειρα LMN είναι στη θέση V_2V_3 . Λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις 6.34 και 6.53 συμπεραίνουμε ότι:

$$l_M(z) = \int_{z_{\min}}^z \sqrt{1 + (3a_1z^2 + 2b_1z + c_1)^2} \cdot dz$$

$$l_W(z) = \int_{z_{\min}}^z \sqrt{1 + (3a_2z^2 + 2b_2z + c_2)^2} \cdot dz \quad (6.55)$$

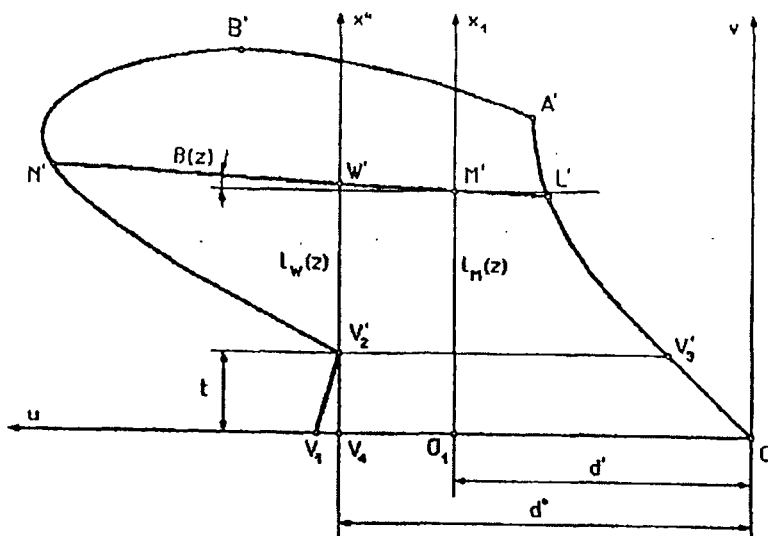
Η γενέτειρα LMN φθάνει στο επίπεδο uOv στη γραμμή των σημείων M' και W . Η γωνία μεταξύ γεννήτριας και άξονα Ou , $\beta(z)$, προκύπτει από τη σχέση:

$$\tan \beta(z) = \frac{l_W(z) - l_M(z)}{d'' - d'} \quad (6.56)$$

Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες των σημείων L , N , M , και W στο σύστημα $Oxyz$ (λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις 6.36, 6.35, και 6.52), τα μήκη των τμημάτων NW και LM στη γεννήτρια καμπύλη (Δ) μπορούν να υπολογιστούν:

$$l_{LM} = \sqrt{(x_M - x_L)^2 + (y_M - y_L)^2}$$

$$l_{NW} = \sqrt{(x_N - x_W)^2 + (y_M - y_W)^2} \quad (6.57)$$



Εικ6.19. Υπολογισμός των σημείων στη διάδοση περιγράμματος του ισιωμένου αναστρεπτήρα.

Ο δεύτερος όρος απαραίτητος για να γίνει η διάδοση του αναστρεπτήρα είναι:

C2: τα μήκη των ευθύγραμμων τμημάτων \overline{NW} και \overline{LM} στη γεννήτρια (Δ) είναι σταθερά.

Αυτό σημαίνει ότι $\overline{L'M'} = LM$ και $\overline{N'W'} = NW$, τα όποια σύμφωνα με την εικ.6.19, δίνουν:

$$u_{L'}(z) = d' - l_{LM} \cdot \cos\beta(z)$$

$$v_{L'}(z) = v_{M'} - l_{LM} \cdot \sin\beta(z)$$

$$u_{N'}(z) = d'' - l_{NW} \cdot \cos\beta(z)$$

$$v_{N'}(z) = v_{W'} - l_{NW} \cdot \sin\beta(z) \tag{6.58}$$

Το περίγραμμα διάδοσης του αναστρεπτήρα, $V_3A'B'NV_2$, μπορεί να σχεδιαστεί από σημεία: για μια τυχαία θέση της γεννήτριας, δίνοντας b στη μεταβλητή z , καθορίζονται δύο σημεία, τα άκρα της γεννήτριας, στο επίπεδο uOv της διάδοσης του αναστρεπτήρα. Οι συντεταγμένες τους υπολογίζονται με τις σχέσεις (εξίσωση 6.58).

7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Για την εφαρμογή μιας αναλυτικής μεθόδου μηχανολογικού σχεδιασμού αρότρου με τη χρήση γραφικών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και την απεικόνιση ενός μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιούνται μέθοδοι γραφικής γραφικής ανάλυσης. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι γραφικής ανάλυσης είναι:

- * Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ.)[33]
- * Μέθοδος οριακών στοιχείων (Μ.Ο.Σ.)[32]
- * Μέθοδος ξεχωριστών στοιχείων (Μ.Ξ.Σ.)[25]

Στις μεθόδους γραφικής ανάλυσης αναφερθήκαμε στο κεφάλαιο 2. Για την γραφική ανάλυση της μεθόδου του κεφαλαίου 6 επιλέχτηκε το Matlab [13] λόγω της ευκολίας στο χειρισμό τριτοβάθμιων εξισώσεων, αλλά και για την απεικόνιση τρισδιάστατων γραφημάτων, που βοηθούν στην περιγραφή του αρότρου. Η αναλυτική μέθοδος προσδιορισμού και σχεδιασμού της επιφάνειας του αρότρου κεφ6 [11] επεξεργάστηκε ως κώδικας του Matlab [30], που επιτρέπει την αλλαγή των δεδομένων ώστε να επιτυγχάνεται η γραφική περιγραφή της μορφής του αρότρου.

Όλες οι εξισώσεις του κεφαλαίου 6 περάστηκαν στο Matlab με τις κατάλληλες εντολές ώστε να αποτελούν κώδικα. Επίσης έγιναν μετρήσεις για ένα ήδη υπάρχον άροτρο στο χώρο του τμήματος Γεωργικής Μηχανολογίας και Υδάτινων Πόρων του Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

Κατά την εφαρμογή στο Matlab

Η εξίσωση της ευθείας γραμμής DE είναι η $z = t \times \sin\theta$.

Στον κώδικα είναι:

Δεδομένα από μετρήσεις.[37,39]

```
clc;
clear all;

format long
%apo metrisis exoyme
beta=300;
alpha=280;
epsilon=(2*pi)/180;
%dc=25;
dc=30;
theta=(30*pi)/180;
```



```
t=[0:1:140];
tmax=max(t);
tmin=min(t);
%dh=-25;
dh=6;
dbeta=30;
r2=70;
dl=240;
r2^2;
z01=0.1;
y01=0.1;
gamamiden=(45*pi)/180;
q=(45*pi)/180;
k=0.8;
ov1tonos=466.76;
```

Οι εξισώσεις όπως διαμορφώθηκαν στον κώδικα είναι [26]:

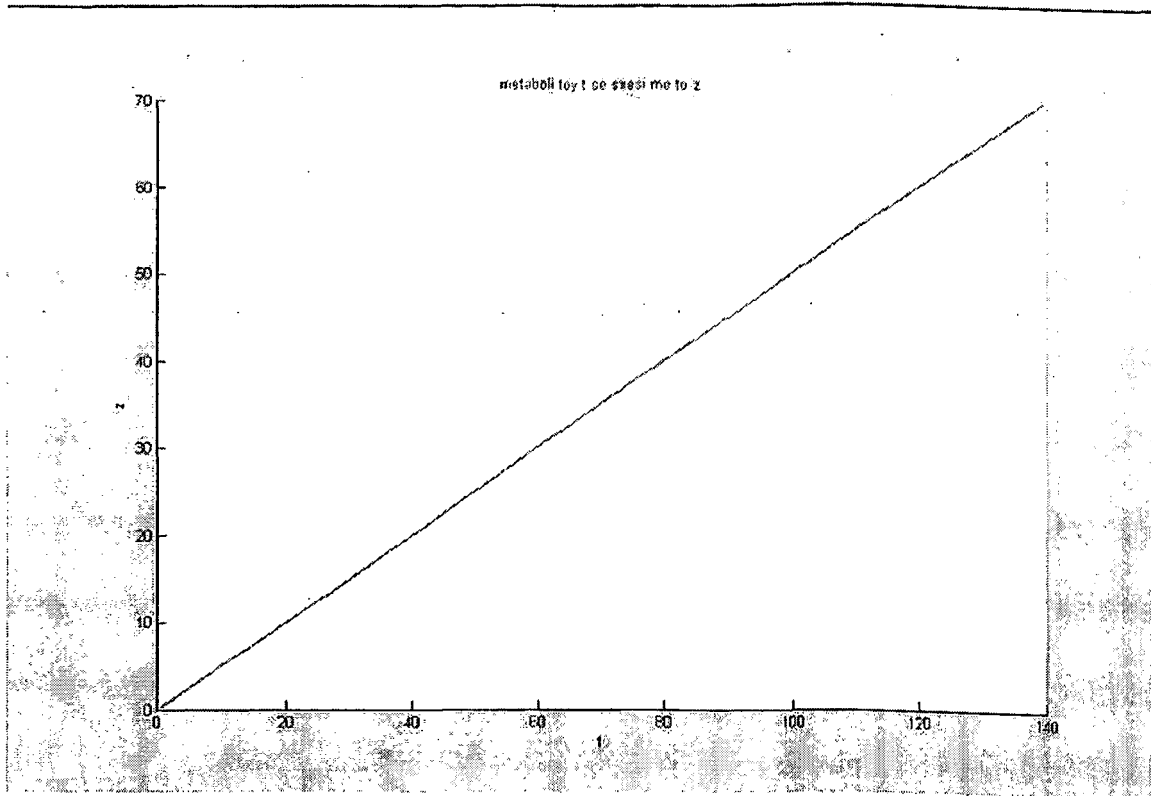
```
%(01)
delta=asin(alpha/beta);
deltadeg=delta*180/pi;

%(02)
h=sqrt(alpha^2+beta^2);

%(03)
zb=h+dh;
yb=beta;
%efthia DE
z=t*sin(theta);

figure;
colormap(hsv);
title('metaboli toy t se sxesi me to z');
xlabel('t');
ylabel('z');
hold on;
plot(t,z,'k');
```

Μέχρι αυτό το σημείο έχουμε τη μεταβολή του t σε σχέση z .



Εικ.7.1. Ευθεία DE.

```

%(04)
za=beta;
ya=beta*tan(epsilon);

%(05)
zc=(alpha+dc)*cos(delta)+(beta/2)*sin(delta);
yc=alpha+beta-((alpha+dc)*sin(delta))+((beta/2)*cos(delta));

%(06)
zd=tmax*sin(theta);
yd=yc-((zc-zd)/tan(delta));

%(07)
ze=zd;
ye=ze*tan(epsilon);

%perigrama proopsis

%(08)
zo11=((beta^2)*(2-(2*tan(epsilon))+tan(epsilon)^2)-((h+dh)^2))/(2*(h+dh-beta));
yo11=beta;

%(09)
rena=h+dh-zo11;
renatet=rena^2;

%(10)
ykyk1=yo11+sqrt(renatet+(z-zo11).^2);

%(11)
r=sqrt(((renatet)-((zc-zo11)^2)-((yc-yo11)^2))/(2*rena+2*(zc-zo11)*cos(delta)-2*(yc-yo11)*sin(delta)));
%r^2

%(12)
zo12=zc+(r^2)*cos(delta);
    
```

```

yo12=yc+(r^2)*sin(delta);

%(13)
zb1=((rena*zo12)/(rena-r2))-((r2*zo11)/(rena-r2));
yb1=((rena*yo12)/(rena-r2))-((r2*yo11)/(rena-r2));

%(14)
ykyk2=yo12+sqrt(r2^2+(z-zo11).^2);

%(15)
zc1=zo12;
yc1=yo12+r2;

%(16)
zf=0;
yf=beta+dbeta;

%orismos

%(17) tmima D F
zена=[0:1:zd];
yенаа=[-270:1:-330];
yенаа=yf+(((yd-yf)*zена)/zd);

%(18) tmima C D
zdyо=[zd+1:1:zc];
yенab=[-270:1:-500];
yенab=(yd)+(((zdyо.^2)-(zd*zdyо))/((tan(delta))^5.51));
%(19) toxo B1 C
ztria=[zc+1:1:zb1];
ztriaA=[zc+1:1:za];
ztriaB=[za+1:1:zb1];
yенac=[-500:1:521];
yенac=yo12+sqrt((r2.^2)-((ztria-zo12).^2));

%(20) toxo B b1 (an yo12=270)
ztes=[zb1+1:1:zb];
yенad=[-500:1:-290];
yенad=yo12-182+sqrt((rena.^2)-((ztes-zo11).^2));

%(21) tmima O1 A
zpen=[0:1:za];
ydyоa=[0:1:-10];
ydyоa=zpen*tan(epsilon);

%(22) toxo A B
zex=[za+1:1:zb];
ydyоb=[-10:1:-290];
ydyоb=yo11-sqrt((rena.^2)-(zex-zo11).^2);

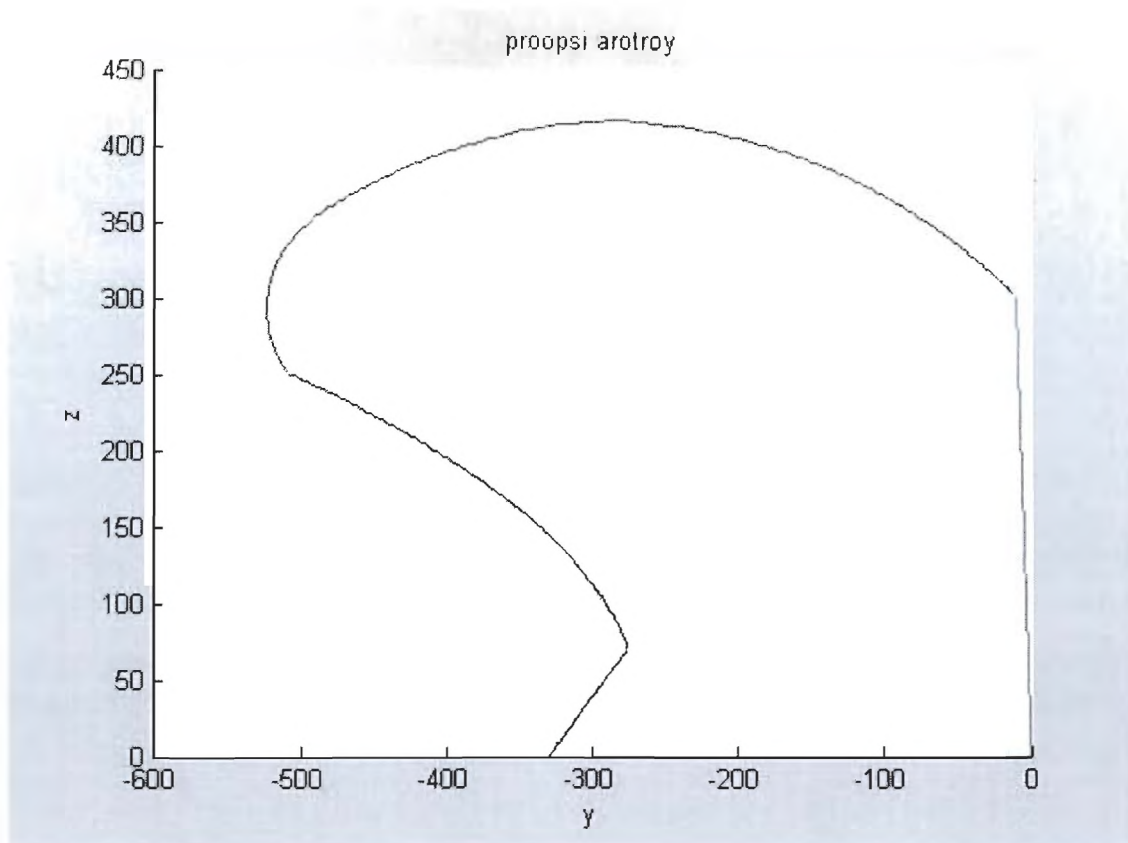
figure;
colormap(hsv);
title('proopsi arotroy'); xlabel('y'); ylabel('z');
hold on;
plot(-yенаа,zена,-yенab,zdyо,'k',-yенac,ztria,-yенad,ztes,-ydyоa,zpen,-ydyоb,zex);

```

Σε αυτό το κομμάτι του κώδικα παρουσιάζεται ο πίνακας 1, δηλαδή οι εξισώσεις που περιγράφουν τις γραμμές που αποτελούν την πρόοψη του αναστρεπτήρα, η οποία παρουσιάζεται στην εικόνα 7.2.

Πίνακας 1. Εξισώσεις πρόωσης του αναστρεπτήρα.[36]

Z	Εξισώσεις των γραμμών του αριστερού περιγράμματος	Εξισώσεις των γραμμών του δεξιού περιγράμματος
$0, \dots, z_D$	Ευθύγραμμο τμήμα DF $y(z) = y_F + \frac{y_D - y_F}{z_D} z \quad (6.17)$	Ευθύγραμμο τμήμα O_1A $y(z) = z \cdot \tan \varepsilon \quad (6.21)$
z_D, \dots, z_C	Ευθύγραμμο τμήμα CD $y(z) = y_D + \frac{z - z_D}{\tan \delta} z \quad (6.18)$	
z_C, \dots, z_A	Τόξο B_1C $y(z) = y_{O_{12}} + \sqrt{r_2^2 - (z - z_{O_{12}})^2} \quad (6.19)$	Τόξο AB $y(z) = y_{O_{11}} + \sqrt{r_1^2 - (z - z_{O_{11}})^2} \quad (6.22)$
z_A, \dots, z_{B1}		
z_{B1}, \dots, z_B	Τόξο BB_1 $y(z) = y_{O_{12}} + \sqrt{r_1^2 - (z - z_{O_{11}})^2} \quad (6.20)$	



Εικ.7.2. Πρόοψη αρότρου από εξισώσεις 17 μέχρι 22.

Το κάθε χρώμα είναι η απεικόνιση που αντιστοιχεί σε μια εξίσωση του πίνακα 1 ανάλογα με το ύψος z [38]. Για παράδειγμα αν $z=150\text{mm}$ τότε για το δεξιό περίγραμμα είναι $y=-336,9\text{mm}$ και για το αριστερό περίγραμμα $y=-5,2\text{mm}$.

```
%perigramma kopsis iniou

%(23)
yv1=yf;
zv1=0;
xv1=yv1/tan(gamamiden);
%(24)
elas=(beta+dbeta)/sin(gamamiden);

%(25)
yv2=yd;
zv2=zd;
xv2=(yv2/tan(gamamiden))+((tmax*cos(theta))/sin(gamamiden));

%(26)
yv3=ye;
zv3=ze;
xv3=(yv3/tan(gamamiden))+((tmax*cos(theta))/sin(gamamiden));

%(27)
yoditono=yv2+(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));
zoditono=0;
xoditono=xv2-(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));
```

```

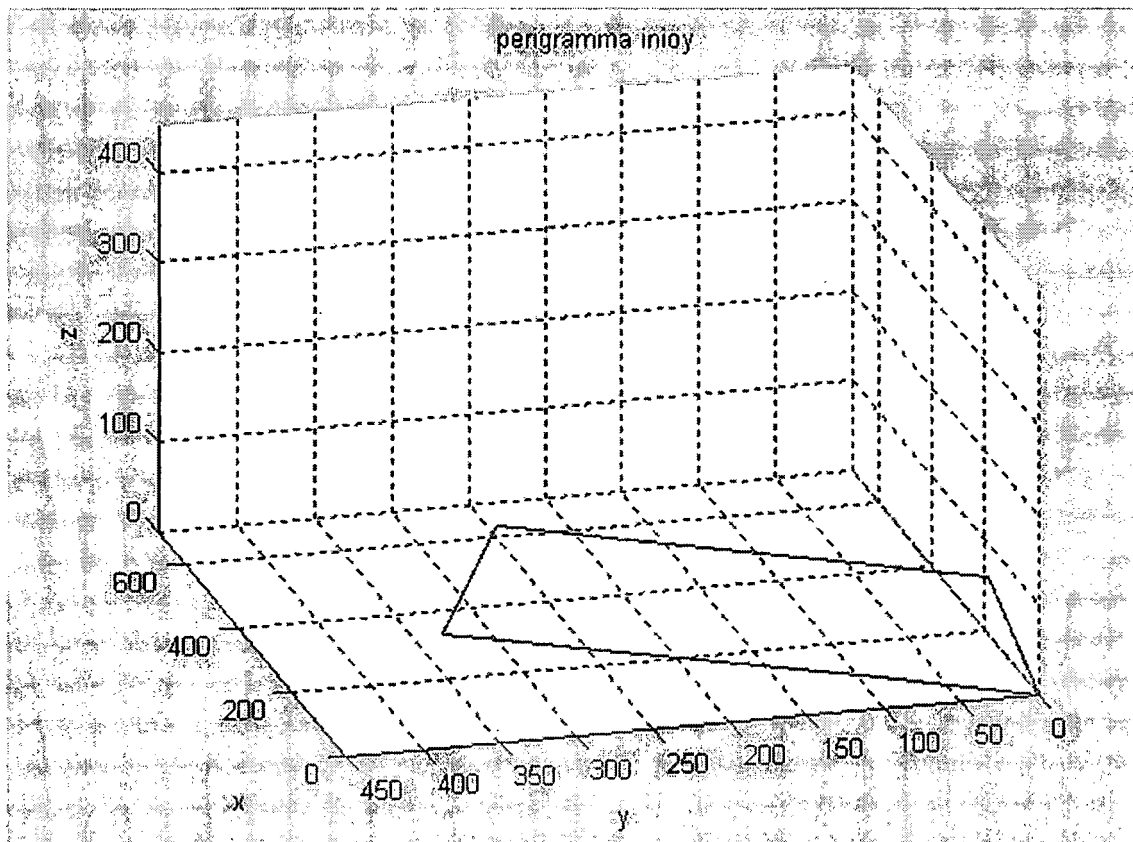
%(28)
yv4=yv3+(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));
zv4=0;
xv4=xv3-(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));

%(29)
tanfi=(tmax*sin(gamamiden))/(yv1-yoditono);

%perigramma inioy
x=[0,xv4,xv1,xv2,xv3,0];
y=[0,yv4,yv1,yv2,yv3,0];
z=[0,zv4,zv1,zv2,zv3,0];

figure;
plot3(x,y,z,'b');
colormap(hsv);
title('perigramma inioy'); xlabel('x'); ylabel('y');zlabel('z');
grid on;
hold on;
view(-105,30);
axis([0 700 0 450 0 450]);
    
```

Από τις παραπάνω εντολές περιγράφεται το τρισδιάστατο περίγραμμα του υνιού όπως φαίνεται στην εικόνα 7.3.



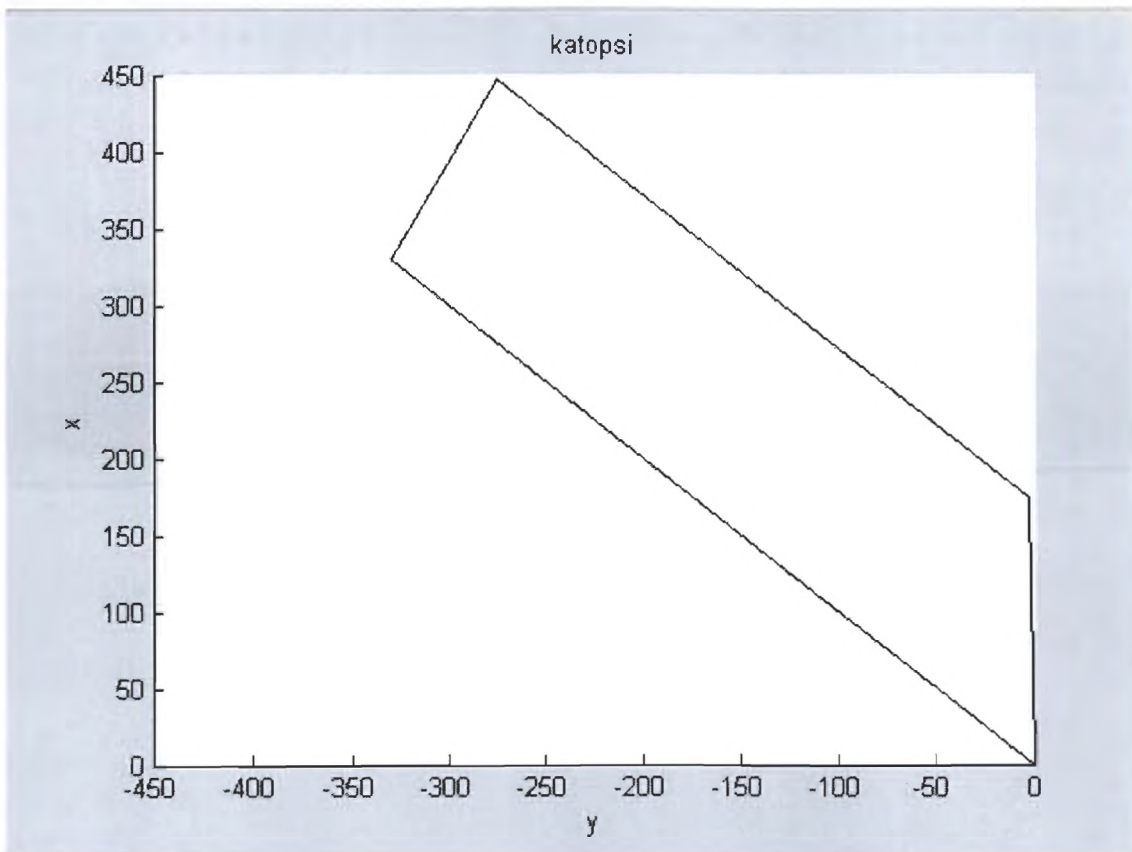
Εικ.7.3. Περίγραμμα της κόψης του υνιού.

Το περίγραμμα του υνιού σε απλή μορφή αποτελείται από τέσσερις ευθείες, οι οποίες προκύπτουν από την ένωση των τεσσάρων σημείων.

```
%katopsi
x=[0,xv4,xv1,xv2,xv3,0];
y=[0,yv4,yv1,yv2,yv3,0];

figure;
colormap(hsv);
title('katopsi'); xlabel('y'); ylabel('x');
hold on;
plot(-y,x,'k');
axis([-450 0 0 450])
```

Από τις παραπάνω εντολές περιγράφεται η κάτοψη του υνιού όπως φαίνεται στην εικόνα 7.4.



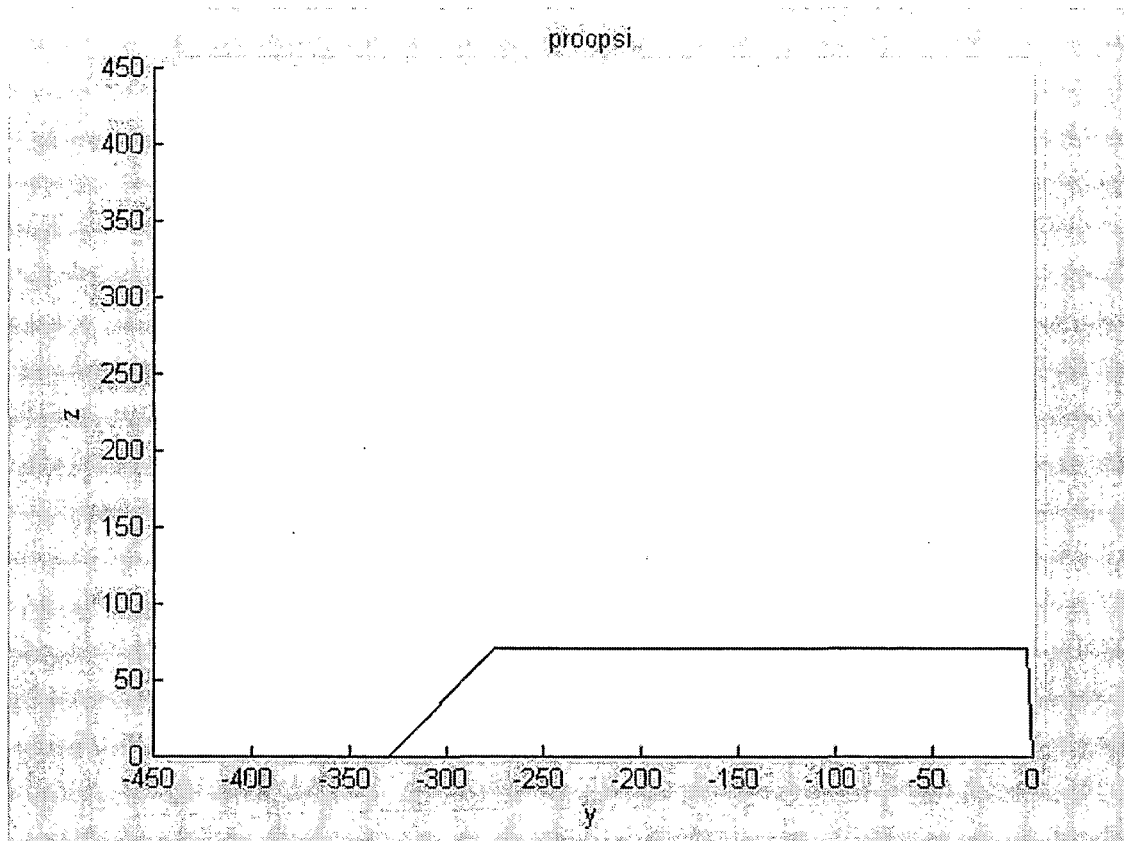
Εικ.7.4. Κάτοψη.

```
%proopsi
y=[0,yv4,yv1,yv2,yv3,0];
z=[0,zv4,zv1,zv2,zv3,0];
```

```
figure;
colormap(hsv);
```

```
title('proopsi'); xlabel('y'); ylabel('z');
hold on;
plot(-y,z,'k');
axis([-450 0 0 450]);
```

Από τις παραπάνω εντολές περιγράφεται η πρόοψη του υνιού όπως φαίνεται στην εικόνα 7.5.



Εικ.7.5. Πρόοψη του υνιού.

```
%perigrama anastreptira
%synartisi metabolis gonias gamazita
% z=0 gamazita=(45*pi)/180;
% z=150 gamazita=(48*pi)/180;
% z=300 gamazita=(52*pi)/180;
% z=450 gamazita=(57*pi)/180;
```

```
gamazita=[(45*pi)/180
(48*pi)/180
(52*pi)/180
(57*pi)/180];
```

```
V= [0 0 0 1
3375000 22500 150 1
27000000 90000 300 1
91125000 202500 450 1];
```

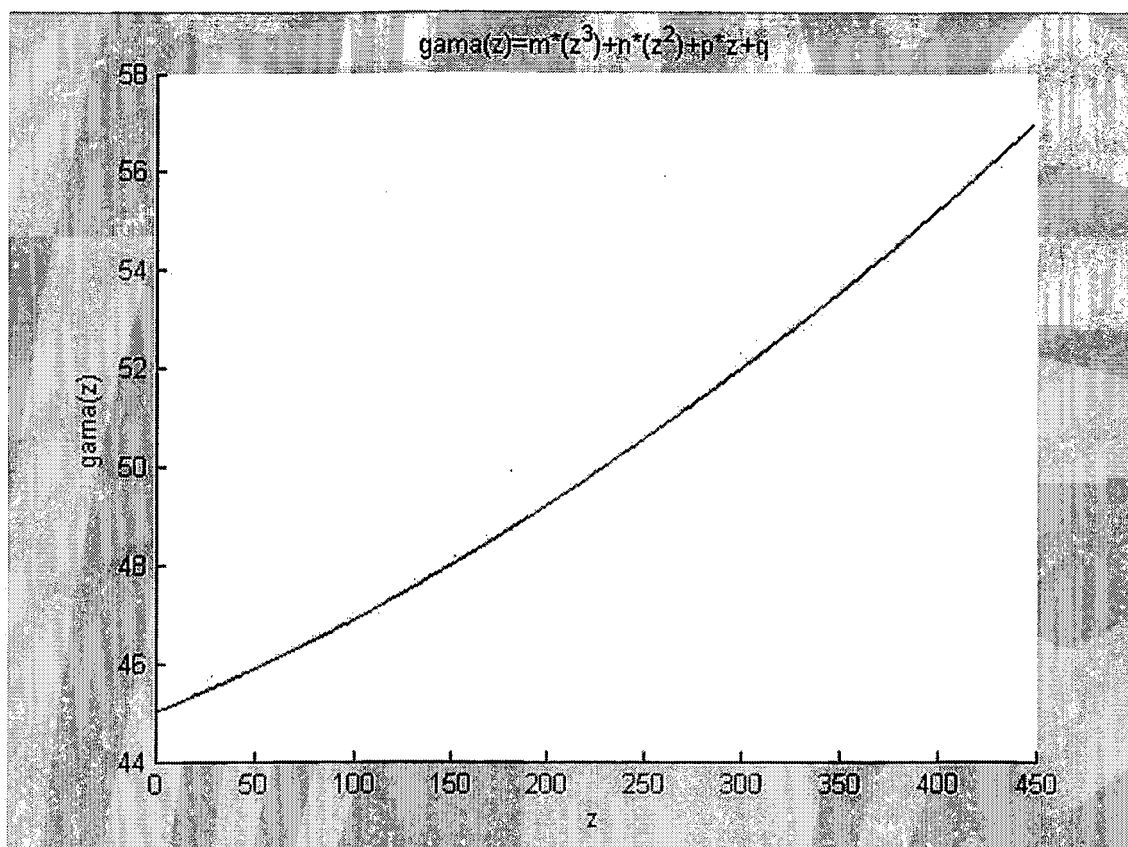
```
a=V\gamazita;
```



```
% (30)
z=[0:0.642:450];
%gamazita=[0:0.0642:45];
m=a(1);
n=a(2);
p=a(3);
q=a(4);
gamazita=(((m*(z.^3))+n*(z.^2))+p*z+q)*180)/pi;
```

```
figure;
colormap(hsv);
title('gama(z)=m*(z^3)+n*(z^2)+p*z+q'); xlabel('z'); ylabel('gama(z)');
hold on;
plot(z,gamazita,'k');
```

Από τις παραπάνω εντολές περιγράφεται η μεταβολή της γωνίας $\gamma(z)$ όπως φαίνεται στην εικόνα 7.6.



Εικ.7.6. Μεταβολή της γωνίας $\gamma(z)$.

Ανάλογα με τη μεταβολή της γωνίας $\gamma(z)$ έχουμε κυλινδρικό, κυλινδροειδή, ημιελκοειδή ή καθολικό τύπο αναστρεπτήρα.

```
% (31)
```

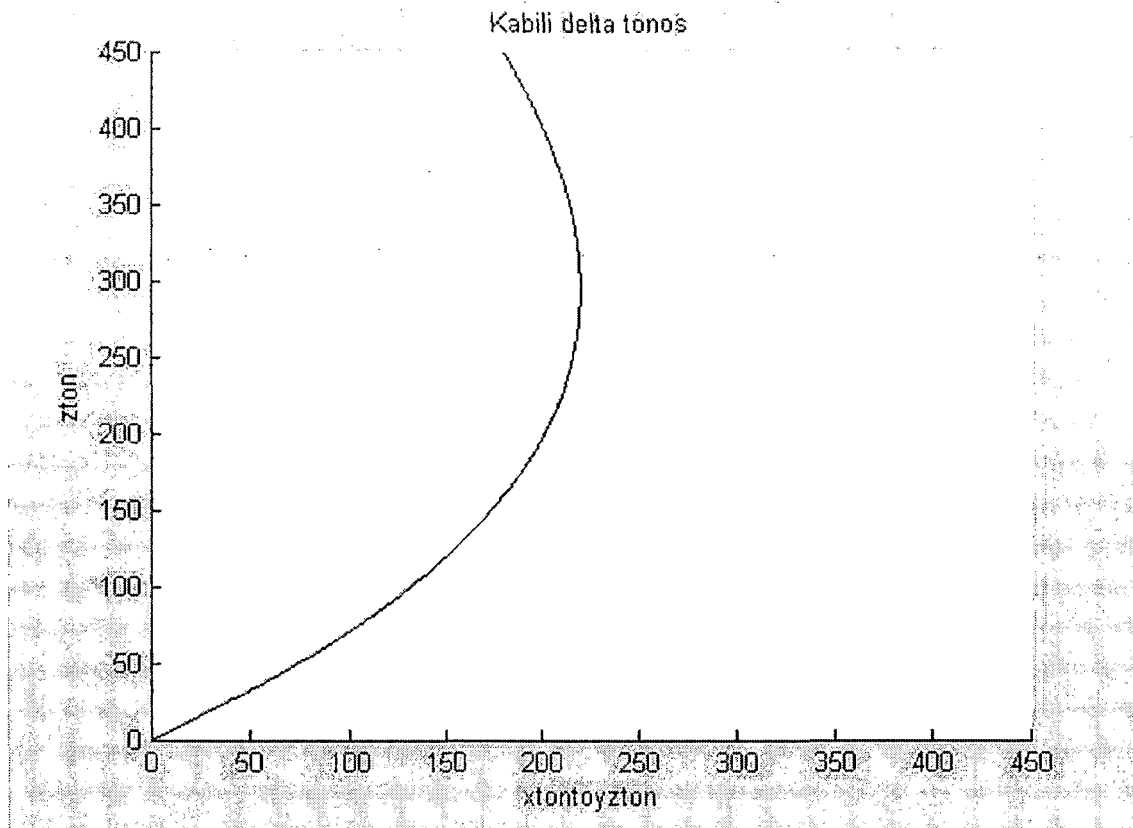
```

ootonos=k*ovltonos;
%
% (32)
zotonos=0;
xotonos=k*xv1;
yotonos=k*yv1;
%
% Καμπύλη (Δ') epipeo x' O' z'
xtontoyzton=[0
             150
             220
             180];
S=[ 0    0    0    1
    10000000 10000 100 0
    27000000 90000 300 0
    91125000 202500 450 0];
bre=S\xtontoyzton;
%
% (33)
%(an a1=0.00000182870370 b1=-0.00374189814815 c1=1.69131944444444 d1=0)
zton=[0:0.642:450];
a1= bre(1);
b1= bre(2);
c1= bre(3);
d1= bre(4);
xtontoyzton=(a1*zton.^3)+(b1*zton.^2)+c1*zton+d1;
xtonMtoyzita=(a1*zton.^3)+(b1*zton.^2)+c1*zton+d1;

figure;
colormap(hsv);
title(' Kabili delta tonos '); xlabel(' xtontoyzton '); ylabel(' zton ');
hold on;
plot(xtontoyzton,zton,'k');
axis([ 0 450 0 450]);

```

Από τις παραπάνω εντολές έχουμε την καμπύλη Δ' όπως φαίνεται στην εικόνα 7.7.[34]



Εικ.7.7. Καμπύλη Δ´

figure;

```
% gia z apo 0 mexri zd
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(zena.^3)-
(0.00374189814815*(zena.^2))+1.691319444444444*zena)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=((m*(zena.^3)+(n*(zena.^2)+(p*zena)+q)*180)/pi;
% aristero perigramma (17)
ytoyz=yf+(((yd-yf)*zena)/zd);
xLtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,zena);
hold on;
% dexio perigramma (21)
ytoyz=zena*tan(epsilon);
xNtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,zena);

xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(zdyo.^3)-
(0.00374189814815*(zdyo.^2))+1.691319444444444*zdyo)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=((m*(zdyo.^3)+(n*(zdyo.^2)+(p*zdyo)+q)*180)/pi;
%(18)
ytoyz=(yd)+(((zdyo.^2)-(zd*zdyo))/((tan(delta))^5.51));
xLtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,zdyo);
%(21)
ytoyz=zdyo*tan(epsilon);
xNtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
```

```

plot3(xNtoyz,ytoyz,zdyo);
%
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztria.^3))-
(0.00374189814815*(ztria.^2))+1.69131944444444*ztria)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztria.^3)))+(n*(ztria.^2)))+(p*ztria)+q)*180)/pi;
%(19)
ytoyz=yo12+sqrt((r2.^2)-((ztria-zo12).^2));
xLtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,ztria);
%
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztriaA.^3))-
(0.00374189814815*(ztriaA.^2))+1.69131944444444*ztriaA)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztriaA.^3)))+(n*(ztriaA.^2)))+(p*ztriaA)+q)*180)/pi;
%(21)
ytoyz=ztriaA*tan(epsilon);
xNtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,ztriaA)

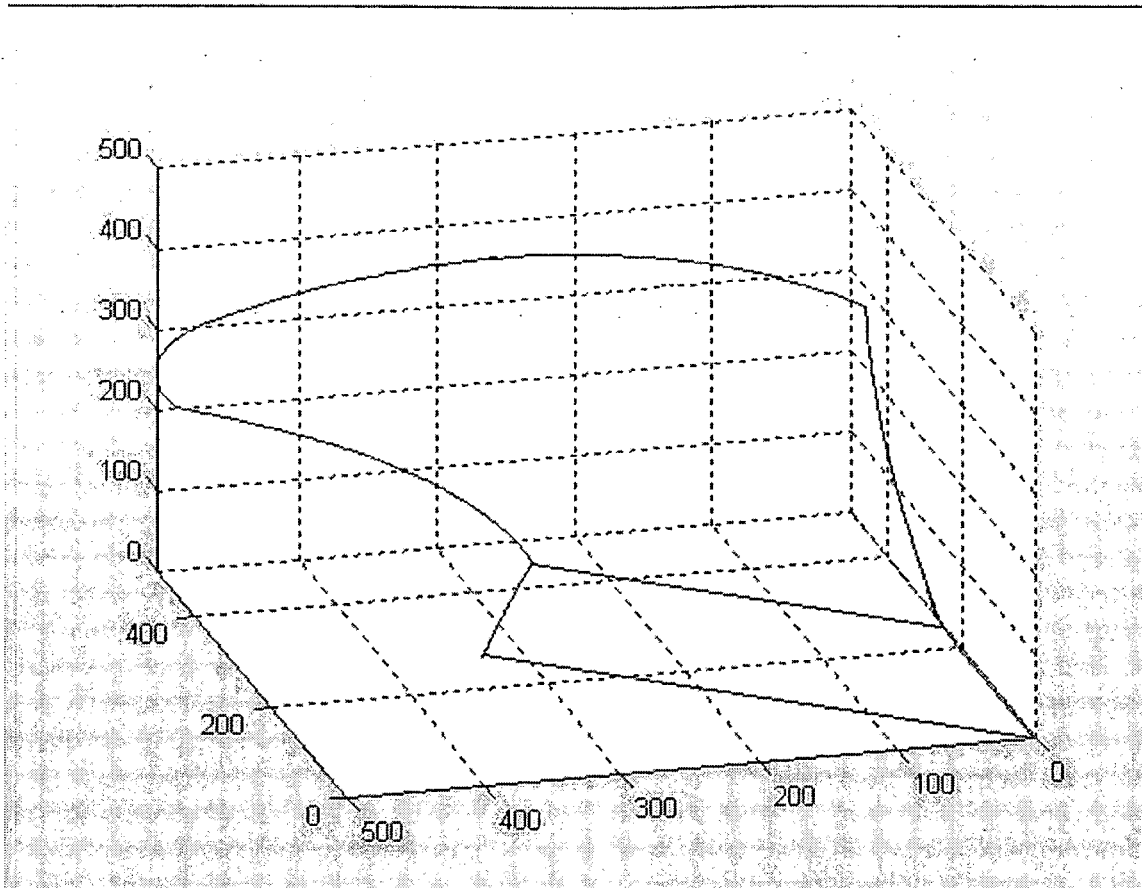
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztriaB.^3))-
(0.00374189814815*(ztriaB.^2))+1.69131944444444*ztriaB)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztriaB.^3)))+(n*(ztriaB.^2)))+(p*ztriaB)+q)*180)/pi;
%(22)
ytoyz=yo11+80-sqrt((rena.^2)-((ztriaB-zo11).^2));
xNtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,ztriaB);

xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztes.^3))-
(0.00374189814815*(ztes.^2))+1.69131944444444*ztes)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztes.^3)))+(n*(ztes.^2)))+(p*ztes)+q)*180)/pi;
%(20)
ytoyz=yo12-180+sqrt((rena.^2)-((ztes-zo11).^2));
xLtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,ztes);
%(22)

xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztes.^3))-
(0.00374189814815*(ztes.^2))+1.69131944444444*ztes)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztes.^3)))+(n*(ztes.^2)))+(p*ztes)+q)*180)/pi;
%(22)
ytoyz=yo11-sqrt((rena.^2)-((ztes-zo11).^2));
xNtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,ztes);
grid on
view(-105,30);
axis([0 500 -100 500 -200 500]);

```

Από τις παραπάνω εντολές έχουμε το περίγραμμα του αναστρεπτήρα όπως φαίνεται στην εικόνα 7.8.[35]



Εικ.7.8. Τρισδιάστατη γραφική αναπαράσταση του αναστρεπτήρα.

Συμπεράσματα

Από το κεφάλαιο 3 (Χρήση τρισδιάστατων γραφικών για το μηχανολογικό σχεδιασμό της επιφάνειας του αρότρου) διαπιστώνουμε ότι οι τρισδιάστατες επιφάνειες Bezier μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή της επιφάνειας ενός αναστρεπτήρα αρότρου. Χρησιμοποιώντας ένα απλό μοντέλο μηχανικής εδάφους - εργαλείου για την πρόβλεψη της δύναμης έλξης χωρίς τη γνώση της πορείας του εδάφους πάνω στην επιφάνεια του αναστρεπτήρα του αρότρου. Εντούτοις, το μοντέλο και η τεχνική λύσης που χρησιμοποιήθηκαν δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των άλλων συνιστωσών της δύναμης.

Από το κεφάλαιο 4 (Μέθοδος προσομοιώσεων με δοκιμή και επαλήθευση) όπου οι προσομοιώσεις αναστρεπτήρων αρότρων έγιναν με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων Μ.Π.Σ. σε αργιλώδες έδαφος επαληθεύτηκε με τη βοήθεια δοκιμίου εδάφους και πειραμάτων στον αγρό. Δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των οριζόντιων δυνάμεων (F_x) που υπολογίστηκαν και των δυνάμεων που μετρήθηκαν. Οι κάθετες δυνάμεις (F_z) που υπολογίστηκαν ήταν σημαντικά μικρότερες από τις δυνάμεις που μετρήθηκαν για τις χαμηλές και τις υψηλές ταχύτητες κατεργασίας. Οι πλευρικές δυνάμεις (F_y) δεν συμπεριλήφθηκαν δεδομένου ότι η βάση του σώματος του αρότρου παρείχε επιπλέον πλευρική στήριξη στο τοίχωμα της αυλακιάς κατά τη διάρκεια των πειραμάτων στο δοκίμιο του εδάφους. Εντούτοις, και οι δύο μέθοδοι παρουσίασαν μια αναμενόμενη αύξηση στις F_y με την αύξηση του βάθους και της ταχύτητας. Οι δυνάμεις και οι ροπές χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τον προσδιορισμό της θέσεως του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης στην επιφάνεια του σώματος του αρότρου. Το σημείο εφαρμογής είναι χρήσιμο στον καθορισμό της μεταφοράς βάρους στον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα και το σχεδιασμό του μηχανισμού αυτόματης επανατοποθέτησης του σταβαριού. Όταν χρησιμοποιείται με την κατάλληλη συμπεριφορά του υλικού και τα μοντέλα αλληλεπίδρασης εδάφους - εργαλείου, η Μ.Π.Σ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επίλυση τρισδιάστατων προβλημάτων με σύνθετη γεωμετρία.

Από το κεφάλαιο 5 (Μέθοδος με μετρήσεις φορτίου και θρυμματισμού του εδάφους με διαφορετικές ταχύτητες και προεκτάσεις σωμάτων) βλέπουμε ότι το φορτίο σε ένα άροτρο αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας. Όπως έχει διαπιστωθεί και από πολλούς ερευνητές. Από την συμπεριφορά φορτίου - ταχύτητας, παρατηρείται ότι η

σχέση του φορτίου με την ταχύτητα, είναι αρχικά αυξανόμενη στις χαμηλές ταχύτητες κίνησης, ενώ στις μεγαλύτερες ταχύτητες μειώνεται. Αυτό απαιτεί πιο λεπτομερή έρευνα που να καλύπτει ευρύτερο φάσμα ταχυτήτων σε πιο μικρά διαστήματα ώστε να έχουμε περισσότερα και πιο ακριβή αποτελέσματα. Μέσα στο φάσμα των πρακτικότερων και οικονομικότερων εργασιών, το συμπέρασμα ότι η σχέση φορτίου - ταχύτητας είναι γραμμικά αυξανόμενη είναι αρκετά λογικό. Η κονιορτοποίηση του εδάφους αυξήθηκε με την αύξηση της ταχύτητας και όταν χρησιμοποιήθηκαν οι προεκτάσεις του αρότρου με ενδιαφέροντα αποτελέσματα στην απόδοση άρα και στην οικονομία..

Στο κεφάλαιο 6 (Αναλυτική μέθοδος προσδιορισμού και σχεδιασμού της επιφάνειας του αρότρου) η αναλυτική περιγραφή της επιφάνειας εργασίας του σώματος ενός αρότρου μπορεί να καθοριστεί πλήρως από τις διαστάσεις της κοπτόμενης φέτας εδάφους, τη θέση και την εξίσωση από τη σταθερή καμπύλη, την εξίσωση για τη γενέτειρα γραμμή, και την πρόωση της επιφάνειας του αρότρου. Οι μαθηματικές εξισώσεις επιτρέπουν μια εύκολη και πλήρη γεωμετρική περιγραφή της μορφής του υναρότρου. Αυτές οι εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση ενός νέου υναρότρου, τη σύγκριση διαφορετικών μορφών δυο υπάρχοντων σωμάτων, την ανάπτυξη προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή για την επίλυση προβλημάτων όπως ο προσδιορισμός της τροχιάς του εδάφους στην επιφάνεια του αναστρεπτήρα ή την πρόβλεψη της δύναμης έλξης.

Η ακριβέστερη μέθοδος είναι η αναλυτική μέθοδος προσδιορισμού και σχεδιασμού της επιφάνειας του αρότρου (κεφαλαίο 6). Πλεονεκτεί στην ακρίβεια κατά την εφαρμογή προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους που δίνουν αποτελέσματα μόνο για τις δυνάμεις που ασκούνται στο άροτρο, τη δύναμη έλξης, το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων και την κονιορτοποίηση του εδάφους. Τα αποτελέσματα της αναλυτικής μεθόδου προσδιορισμού και σχεδιασμού της επιφάνειας του αρότρου με τη χρήση της Μ.Π.Σ. για τον προγραμματισμό προσφέρουν, την εύκολη και πλήρη γεωμετρική περιγραφή της μορφής του υναρότρου. Με εξισώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- τη σχεδίαση ενός νέου άροτρου,
- τη σύγκριση διαφορετικών μορφών δυο υπάρχοντων σωμάτων,

- την ανάπτυξη προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή για την επίλυση προβλημάτων όπως ο προσδιορισμός της τροχιάς του εδάφους στην επιφάνεια του αναστρεπτήρα
- την πρόβλεψη της δύναμης έλξης,
- το σχεδιασμό και τη γραφική ανάλυση του αρότρου
- την ανάπτυξη του λογισμικού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Αναμένεται ότι οι παρατηρήσεις αυτής της εργασίας θα συμβάλουν στη βελτιστοποίηση του μηχανολογικού σχεδιασμού και την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του αρότρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργικοί ελκυστήρες - Κυριάκου Α.Τζιβανόπουλου 1997
2. Εκμηχάνιση της Γεωργίας και Αρδεύσεις – Κουτσοβίτης Νικόλαος , Μακρηγιάννης Παναγιώτης, Παγώνης Κων/νος 1999
3. Εργαστήριο Γεωργικών Μηχανημάτων - Νικολάου Εμ.Καφετζάκη 1994
4. Τεχνολογία Γεωργικών Μηχανών Ι - Δρ.Νικόλαος, Δ.Μπατσούλας 2003
5. The use of three dimensional computer graphics to design mouldboard plough surfaces by S.B.RICHEY, A.K.SRIVASTAVA, L.J.SEGERLIND. Journal of agricultural engineering resource (1989), vol 43, σελίδες 245-258.
6. Validations of moldboard plow simulations with FEM on a clay soil
C. Plouffe, M J. Richard, S. Tessier, C. Laguë. Transactions of the ASAE, vol 42(6) σελίδες 1523-1529
7. Draft and soil manipulations by a moldboard plow under different forward speed and body attachments
T. Taniguchi, J. T. Makanga, K. Ohtomo, T. Kishimoto, Transactions of the ASAE, vol 42(6) σελίδες 1517-1521
8. Principles of farm machinery by R.A.KAPNER, ROY BAINER, E.L.BARGER 1972
9. Agricultural machinery by J.BROWNLEE DAVIDSON, B.S., M.E., A.E..JONH wiley and sons. 7th printing 1948.
10. Agricultural machinery by J.BROWNLEE DAVIDSON 1931
11. An analytical method for identifying and designing a moldboard plow surface V. Craciun, d. Leon
Transactions of the ASAE © 1998 American Society VOL. 41(6): 1589-1599
12. Extended finite element method for three-dimensional crack modeling, International journal for numerical methods in engineering, Int. J. Numer. Meth. Engng 2000; 48:1549{1570
13. A Parallel Environment for Three-Dimensional Finite Element Method Analysis

Ιστοσελίδες

14. www.deutsches-museum.de Plows, harrows, hoes
15. www.inventors.about.com
16. www.Fathers_of_Modern_Agriculture.com Fathers of agriculture\id31.htm
17. www.lib.niu.edu
18. www.implementations.co.uk
19. www.artpolitic.org Rotherham
20. www.andrew.cmu.edu Methods for connecting dissimilar three-dimensional finite element meshes
21. www.olemiss.edu
22. www.dynaflow-inc.com
23. www.integratedsoft.com Boundary Element Method for Engineering Simulation.htm
24. www.amazon.com Boundary Element Methods for Engineers and Scientists.htm
25. www.lhl.lib.mo.us Discrete-Element Method for Simulating Behavior of Cohesive Soil.htm
26. www.research.ibm.com Examples created by bubble mesh.htm
27. www.PDHcenter.com What Engineers and Architects Need to Know about Finite Element Methods?
28. www.technion.ac.il 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL DYNAMICS
29. www.bartleby.com The Columbia Encyclopedia, Sixth Edition. 2001-05.
30. www.amazon.com MATLAB Guide to Finite Elements
31. www.amazon.com Moldboard plow design and use for higher horsepower
32. www.amazon.com Programming the Boundary Element Method
33. www.amazon.com Programming the Finite Element Method
34. www.science-books.net
35. www.mathworks.com Line Plots of 3-D Data
36. www.mathworks.com Plotting Matrix Data
37. www.mathworks.com Handle Graphics
38. www.mathworks.com Figure Windows
39. www.calerga.com Library - stdlib
40. www.gov.on.ca
41. www.en.wikipedia.org John Deere
42. www.monticello.org Jefferson's Plow Moldboard of Least Resistance
43. www.historylink101.com The Auto Plow
44. sfr.ee.teiath.gr James Small

Παράρτημα

```

clc;
clear all;

format long
%apo metrisis exoyme
beta=300;
alpha=280;
epsilon=(2*pi)/180;
%dc=25;
dc=30;
theta=(30*pi)/180;
t=[0:1:140];
tmax=max(t);
tmin=min(t);
%dh=-25;
dh=6;
dbeta=30;
r2=70;
dl=240;
r2^2;
z01=0.1;
y01=0.1;
gamamiden=(45*pi)/180;
q=(45*pi)/180;
k=0.8;
ov1tonos=466.76;

%(01)
delta=asin(alpha/beta);
deltadeg=delta*180/pi;

%(02)
h=sqrt(alpha^2+beta^2);

%(03)
zb=h+dh;
yb=beta;
%efthia DE
z=t*sin(theta);

figure;
colormap(hsv);
title('metaboli toy t se sxesi me to z');
xlabel('t');
ylabel('z');
hold on;
plot(t,z,'k');

%(04)
za=beta;
ya=beta*tan(epsilon);

%(05)
zc=(alpha+dc)*cos(delta)+(beta/2)*sin(delta);
yc=alpha+beta-((alpha+dc)*sin(delta))+((beta/2)*cos(delta));

%(06)
zd=tmax*sin(theta);

```

```

yd=yc-((zc-zd)/tan(delta));

%(07)
ze=zd;
yc=ze*tan(epsilon);

%perigrama proopsis
%(08)
zo11=((beta^2)*(2-(2*tan(epsilon))+tan(epsilon)^2)-((h+dh)^2))/(2*(h+dh-beta));
yo11=beta;

%(09)
rena=h+dh-zo11;
renatet=rena^2;

%(10)
ykyk1=yo11+sqrt(renatet+(z-zo11).^2);

%(11)
r=sqrt(((renatet)-((zc-zo11)^2)-((yc-yo11)^2))/(2*rena+2*(zc-zo11)*cos(delta)-2*(yc-yo11)*sin(delta)));
%r^2

%(12)
zo12=zc+(r^2)*cos(delta);
yo12=yc+(r^2)*sin(delta);

%(13)
zb1=((rena*zo12)/(rena-r2))-((r2*zo11)/(rena-r2));
yb1=((rena*yo12)/(rena-r2))-((r2*yo11)/(rena-r2));

%(14)
ykyk2=yo12+sqrt(r2^2+(z-zo11).^2);

%(15)
zc1=zo12;
yc1=yo12+r2;

%(16)
zf=0;
yf=beta+dbeta;

%orismos

%(17) tmima D F
zena=[0:1:zd];
yena=[-270:1:-330];
yena=yf+(((yd-yf)*zena)/zd);

%(18) tmima C D
zdyo=[zd+1:1:zc];
yenab=[-270:1:-500];
yenab=(yd)+(((zdyo.^2)-(zd*zdyo))/((tan(delta))^5.51));

%(19) toxo B1 C
ztria=[zc+1:1:zb1];
ztriaA=[zc+1:1:za];
ztriaB=[za+1:1:zb1];
yenac=[-500:1:521];
yenac=yo12+sqrt((r2.^2)-((ztria-zo12).^2));

%(20) toxo B b1 (an yo12=270)

```

```

ztes=[zb1+1:1:zb];
yenad=[-500:1:-290];
yenad=yol2-182+sqrt((rena.^2)-((ztes-zol1).^2));

%(21) tmima O1 A
zpen=[0:1:za];
ydyoa=[0:1:-10];
ydyoa=zpen*tan(epsilon);

%(22) toxo A B
zex=[za+1:1:zb];
ydyob=[-10:1:-290];
ydyob=yol1-sqrt((rena.^2)-(zex-zol1).^2);

figure;
colormap(hsv);
title('proopsi arotroy'); xlabel('y'); ylabel('z');
hold on;
plot(-yena,zena,-yenab,zdyo,'k',-yenac,ztria,-yenad,ztes,-ydyoa,zpen,-ydyob,zex);

%(sxima) perigramma kathetis egarsias probolis
%ycontr=[ya,yb,yb1,yc1,yc,yd,yf,yol,ye,ya,ye,yd];
%zcontr=[za,zb,zb1,zc1,zc,zd,zf,zol,ze,za,ze,zd];
%figure(2);
%plot(ycontr,zcontr,'k');

%perigramma kopsis inioy

%(23)
yv1=yf;
zv1=0;
xv1=yv1/tan(gamamiden);
%(24)
elas=(beta+dbeta)/sin(gamamiden);

%(25)
yv2=yd;
zv2=zd;
xv2=(yv2/tan(gamamiden))+((tmax*cos(theta))/sin(gamamiden));

%(26)
yv3=ye;
zv3=ze;
xv3=(yv3/tan(gamamiden))+((tmax*cos(theta))/sin(gamamiden));

%(27)
yoditono=yv2+(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));
zoditono=0;
xoditono=xv2-(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));

%(28)
yv4=yv3+(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));
zv4=0;
xv4=xv3-(tmax*cos(theta)*sin(gamamiden));

%(29)
tanfi=(tmax*sin(gamamiden))/(yv1-yoditono);

%perigramma inioy
x=[0,xv4,xv1,xv2,xv3,0];
y=[0,yv4,yv1,yv2,yv3,0];

```

```

z=[0,zv4,zv1,zv2,zv3,0];

figure;
plot3(x,y,z,'b');
colormap(hsv);
title('perigramma inioy'); xlabel('x'); ylabel('y');zlabel('z');
grid on;
hold on;
view(-105,30);
axis([0 700 0 450 0 450]);

%katopsi
x=[0,xv4,xv1,xv2,xv3,0];
y=[0,yv4,yv1,yv2,yv3,0];

figure;
colormap(hsv);
title('katopsi'); xlabel('y'); ylabel('x');
hold on;
plot(-y,x,'k');
axis([-450 0 0 450])

%proopsi
y=[0,yv4,yv1,yv2,yv3,0];
z=[0,zv4,zv1,zv2,zv3,0];

figure;
colormap(hsv);
title('proopsi'); xlabel('y'); ylabel('z');
hold on;
plot(-y,z,'k');
axis([-450 0 0 450]);

%perigramma anastreptira
%synartisi metabolis gonias gamazita
% z=0 gamazita=(45*pi)/180;
% z=150 gamazita=(48*pi)/180;
% z=300 gamazita=(52*pi)/180;
% z=450 gamazita=(57*pi)/180;

gamazita=[(45*pi)/180
(48*pi)/180
(52*pi)/180
(57*pi)/180];

V= [0 0 0 1
3375000 22500 150 1
27000000 90000 300 1
91125000 202500 450 1];

a=V\gamazita;

%(30)
z=[0:0.642:450];
%gamazita=[0:0.0642:45];
m=a(1);
n=a(2);
p=a(3);
q=a(4);
gamazita=(((m*(z.^3))+n*(z.^2))+p*z)+q)*180/pi;

```

```

figure;
colormap(hsv);
title('gama(z)=m*(z^3)+n*(z^2)+p*z+q'); xlabel('z'); ylabel('gama(z)');
hold on;
plot(z,gamazita,'k');

% (31)
ootonos=k*ovltonos;
%
% (32)
zotonos=0;
xotonos=k*xv1;
yotonos=k*yv1;
%
% Καμπυλη (Δ') eperedo x' O' z'
xtontoyzton=[0
             150
             220
             180];
S=[ 0      0      0      1
    10000000 10000 100 0
    27000000 90000 300 0
    91125000 202500 450 0];
bre=S\xtontoyzton;
%
% (33)
%(an a1=0.00000182870370 b1=-0.00374189814815 c1=1.69131944444444 d1=0)
zton=[0:0.642:450];
a1= bre(1);
b1= bre(2);
c1= bre(3);
d1= bre(4);
xtontoyzton=(a1*zton.^3)+(b1*zton.^2)+c1*zton+d1;
xtonMtoyzita=(a1*zton.^3)+(b1*zton.^2)+c1*zton+d1;

figure;
colormap(hsv);
title(' Kabili delta tonos '); xlabel(' xtontoyzton '); ylabel(' zton ');
hold on;
plot(xtontoyzton,zton,'k');
axis([ 0 450 0 450]);

% (34)paralipetai(an a1=0.000626565 b1=-0.0570175 c1=1.9624 d1=0.000005121)
%xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(z.^3)-(0.00374189814815*(z.^2))+(1.69131944444444*z)+0;

% (35)

% (36)
% N
figure;
% gia z apo 0 mexri zd
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(zena.^3)-
(0.00374189814815*(zena.^2))+(1.69131944444444*z)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(zena.^3)+(n*(zena.^2))+(p*zena)+q)*180)/pi;
% mymesh = meshgrid(zena,zena);
% aristero perigramma (17)
ytoyz=yf+(((yd-yf)*zena)/zd);
xLtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,zena);

```

```

hold on;
% dexio perigrama (21)
ytoyz=zena*tan(epsilon);
xNtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,zena);
%
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(zdyo.^3))-
(0.00374189814815*(zdyo.^2))+1.691319444444444*zdyo)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(zdyo.^3))+n*(zdyo.^2))+p*zdyo)+q)*180)/pi;
%(18)
ytoyz=(yd)+(((zdyo.^2)-(zd*zdyo))/((tan(delta))^5.51));
xLtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,zdyo);
%(21)
ytoyz=zdyo*tan(epsilon);
xNtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,zdyo);
%
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztria.^3))-
(0.00374189814815*(ztria.^2))+1.691319444444444*ztria)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztria.^3))+n*(ztria.^2))+p*ztria)+q)*180)/pi;
%(19)
ytoyz=yo12+sqrt((r2.^2)-((ztria-zo12).^2));
xLtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,ztria);
%
xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztriaA.^3))-
(0.00374189814815*(ztriaA.^2))+1.691319444444444*ztriaA)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztriaA.^3))+n*(ztriaA.^2))+p*ztriaA)+q)*180)/pi;
%(21)
ytoyz=ztriaA*tan(epsilon);
xNtoyz=xmtoyzita+((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,ztriaA)

xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztriaB.^3))-
(0.00374189814815*(ztriaB.^2))+1.691319444444444*ztriaB)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztriaB.^3))+n*(ztriaB.^2))+p*ztriaB)+q)*180)/pi;
%(22)
ytoyz=yo11+80-sqrt((rena.^2)-((ztriaB-zo11).^2));
xNtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,ztriaB);

xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztes.^3))-
(0.00374189814815*(ztes.^2))+1.691319444444444*ztes)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztes.^3))+n*(ztes.^2))+p*ztes)+q)*180)/pi;
%(20)
ytoyz=yo12-180+sqrt((rena.^2)-((ztes-zo11).^2));
xLtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xLtoyz,ytoyz,ztes);
%(22)

```

```

xtonMtoyzita=(0.00000182870370*(ztes.^3)-
(0.00374189814815*(ztes.^2))+1.691319444444444*ztes)+0;
xmtoyzita=xotonos+(xtonMtoyzita*sin(gamamiden));
ymtoyzita=yotonos-(xtonMtoyzita*cos(gamamiden));
gamazita=(((m*(ztes.^3))+n*(ztes.^2)+(p*ztes)+q)*180)/pi;
%(22)
ytoyz=yol1-sqrt((rena.^2)-((ztes-zol1).^2));
xNtoyz=xmtoyzita-((ymtoyzita-ytoyz)/tan(gamazita));
plot3(xNtoyz,ytoyz,ztes);
grid on
view(-105,30);
axis([0 500 -100 500 -200 500]);

```