

ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.)  
ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ & ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

**ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**  
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΔΕΛΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : Δρ. ΜΠΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΜΑΙΟΣ 2002





*Στους γονείς μου ,*  
**Παναγιώτη και Λαμπρινή**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>5</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1 ΚΟΠΗ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	8
1.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
<b>ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΚΟΠΟΥΝ</b>	
2.1 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΚΟΠΟΥΝ	20
2.2 ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	20
2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥΣ	21
2.4 ΔΟΜΗ ΜΙΣΧΟΥ	21
2.5 ΔΟΜΗ ΙΝΑΣ	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</b>	
3.1 ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ – ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΙΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΤΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	
<b>ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>	
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ	35
4.2 ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ	37
4.3 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	39
4.4 ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ	41
4.5 ΕΙΔΗ ΦΟΡΤΙΩΝ	43
4.6 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΛΙΚΩΝ	46
4.7 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
<b>ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ – ΘΛΙΨΗ</b>	
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	50
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
<b>ΚΑΜΨΗ</b>	
6.1 ΚΑΜΨΗ	53
6.2 ΚΑΘΑΡΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ	54
6.3 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ	55
6.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	
<b>ΔΙΑΤΜΗΣΗ</b>	
7.1 ΔΙΑΤΜΗΣΗ	62
7.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	66
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8</b>	
<b>ΣΤΡΕΨΗ</b>	
8.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΣΤΡΕΨΗ	72
8.2 ΣΤΡΕΨΗ ΡΑΒΔΟΥ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	74
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b>	
<b>ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ</b>	
9.1 ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ	77
9.2 ΕΙΔΗ ΑΠΛΩΝ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ	77
9.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ – ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ	77

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

#### ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΠΛΗΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

10.1 ΛΟΓΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	81
10.2 ΦΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	82
10.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ	84
10.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ	84
10.5 ΠΕΙΡΑΜΑ – ΕΚΤΕΛΕΣΗ	88
10.5.1 ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	91

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

11.1 ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	94
11.2 ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΑΤΟΦΙΟ ΧΑΛΥΒΑ	99
11.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕ ΜΗΚΙΝΣΙΟΜΕΤΡΑ	104
11.4 ΘΛΙΨΗ ΠΑΤΑΤΑΣ	106

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

108

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

111

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

14.1 ΕΙΚΟΝΕΣ – ΣΧΗΜΑΤΑ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	114
14.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΟΝΣΟΛΑ	117
14.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Η/Υ	125

## *ΠΡΟΛΟΓΟΣ*

ΔΕΛΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για τον καλύτερο σχεδιασμό και κατασκευή ενός εξαρτήματος ή γεωργικού μηχανήματος που έχει σαν κύρια λειτουργία του την κοπή η γενικότερα την επεξεργασία φυτικών υλικών ,πρέπει να γνωρίζουμε την συμπεριφορά του εκάστοτε συγκομιζόμενου φυτικού υλικού ,προκειμένου να μπορέσουμε να σχεδιάσουμε και να κατασκευάσουμε καλύτερα τις γεωργικές μηχανές .Δηλαδή πρέπει να γνωρίζουμε τη δομή και τις ιδιότητές έτσι ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την μηχανική συμπεριφορά των φυτικών υλικών και να αξιοποιήσουμε τα αποτελέσματά μας δημιουργώντας καινούρια μηχανήματα ή βελτιώνοντας τα ήδη υπάρχοντα .

Οι μηχανές συγκομιδής έχουν σαν κύρια λειτουργία τους ,έχουν την κοπή .Δηλαδή ασκούν μια απλή ή σύνθετη καταπόνηση πάνω στο φυτικό υλικό που έχει σαν αποτέλεσμα του κοπή του υλικού .Λέγοντας κοπή δεν εννοούμε μόνο την καταπόνηση της διάτμησης αλλά γενικά όλες τις μηχανικές καταπονήσεις που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των φυτικών υλικών .

Για την καλύτερη παρουσίαση της εργασίας αυτής κρίθηκε σκόπιμο η χρησιμοποίηση πολλών φωτογραφιών, εικόνων ,σχημάτων και διαγραμμάτων .Επίσης θα αναφερθούμε σε γενικούς όρους της μηχανικής όσων αφορά τις καταπονήσεις καθώς επίσης και στην φυσιολογία των φυτών ,προκειμένου να μελετήσουμε την δομή και τις ιδιότητες των φυτικών υλικών .

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τον εμπνευστή της πτυχιακής αυτής εργασίας και υπεύθυνο καθηγητή μου Δρ. Ν. Μπατσούλα .Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή Μπιλάλη Α. για την βοήθειά του και για τις χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις που έκανε .

## ***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1***

### ***ΕΙΣΑΓΩΓΗ***

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

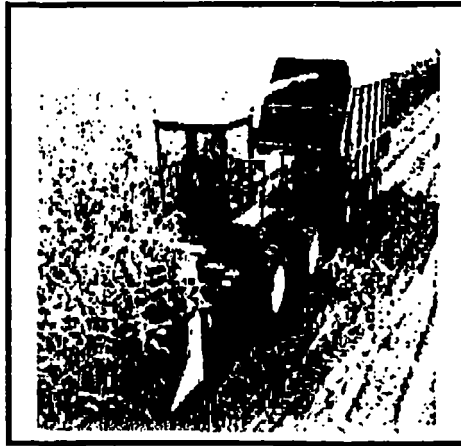
#### 1.1. ΚΟΠΗ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η κοπή φυτικών υλικών σε όλα τα στάδια είναι ο κοινός παρανομαστής για τους κλάδους της γεωργίας ,της ανθοκομίας και της δασοπονίας .Επίσης χρησιμοποιούνται καθ' όλη την διαδικασία παραγωγής για περαιτέρω επεξεργασία σε όλη την βιομηχανία που ασχολείται με τα γεωργικά προϊόντα μετά την συγκομιδή τους .

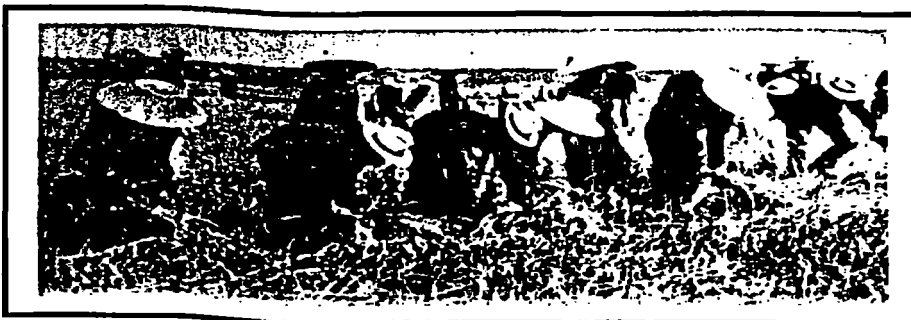
Μερικές τυπικές λειτουργίες ,οι οποίες περιέχουν την διαδικασία της κοπής φυτικών υλικών σαν κύρια λειτουργία απεικονίζονται στις εικόνες 1.1 μέχρι 1.9 .



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 Λογχοφόρο χορτοκοπτικό



ΕΙΚΟΝΑ 1.2 Θεριζοαλωνιστική

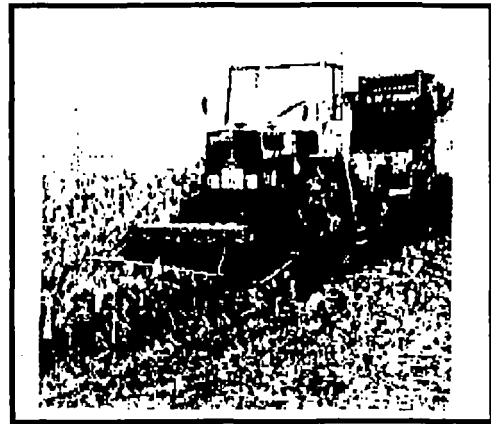


ΕΙΚΟΝΑ 1.3 Κοπή σιτηρών με τα χέρια

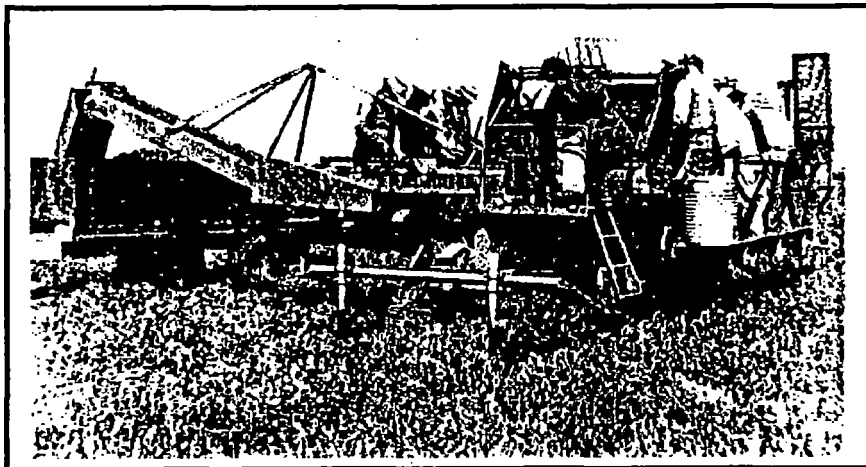




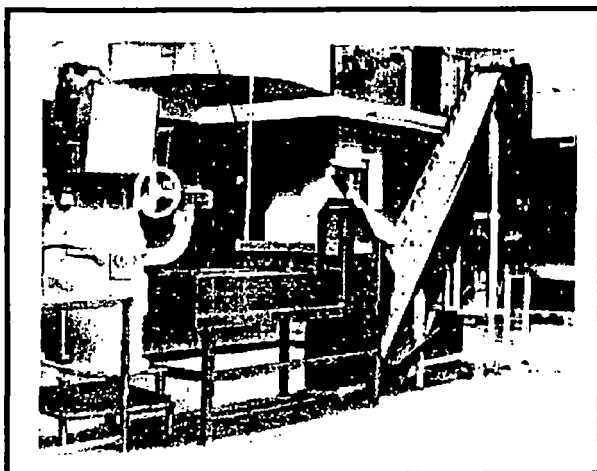
**ΕΙΚΟΝΑ 1.4** Κοπή άχυρου σαν πρώτο στάδιο του θεριζοαλωνισμού ,θέρισμα



**ΕΙΚΟΝΑ 1.5** Κοπή ζαχαροκάλαμου



**ΕΙΚΟΝΑ 1.6** Συγκομιδή ντομάτας κόβοντας τον μίσχο



**ΕΙΚΟΝΑ 1.7** Κοπή κρέατος σε σχήμα κύβου



**ΕΙΚΟΝΑ 1.8** Κοπή κορμών δέντρων ειδικό μηχάνημα

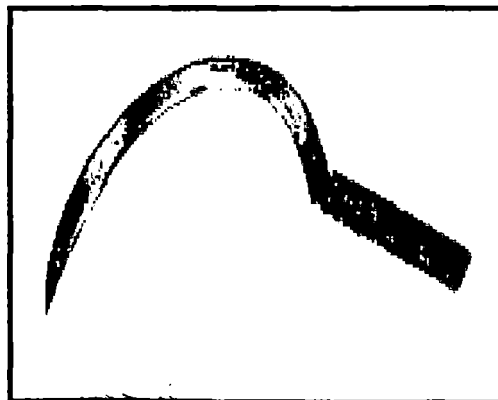


**ΕΙΚΟΝΑ 1.9** Μηχάνημα μεταφοράς κορμών ή αλλιώς τσάπα .

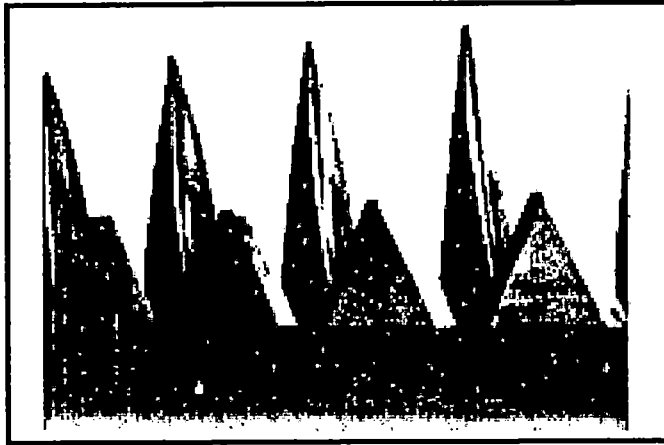
## 1.2. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πολλές διαφορετικές συσκευές κοπής χρησιμοποιούνται για αυτές τις εργασίες ,μερικές από αυτές απεικονίζονται στις εικόνες 1.10 μέχρι 1.31 .

Πολλά από τα εργαλεία κοπής που απεικονίζονται στις παρακάτω εικόνες συνδυάζονται στα σύγχρονα πλέον γεωργικά μηχανήματα .Για το λόγο αυτό στις επόμενες σελίδες ακολουθούν δύο πίνακες που απεικονίζουν μερικές συσκευές κοπής που χρησιμοποιούνται για πάνω από 100 χρόνια .

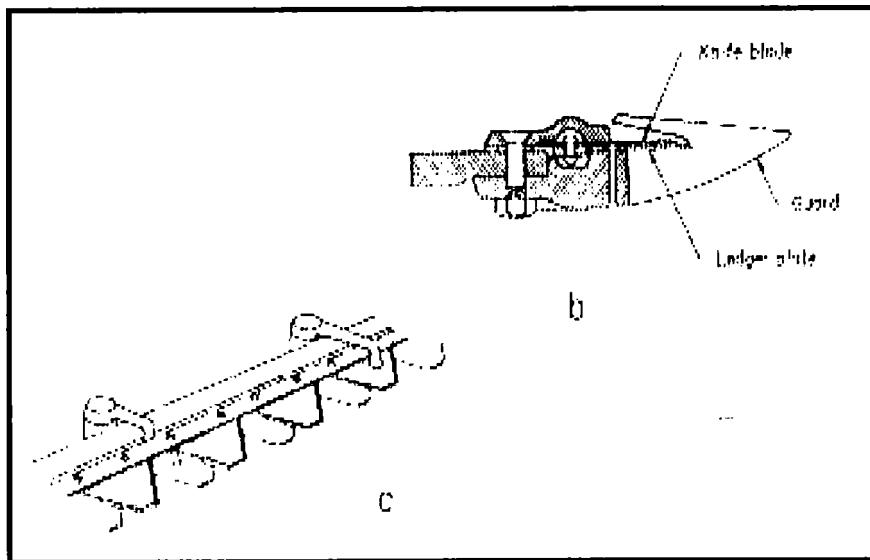


**ΕΙΚΟΝΑ 1.10** Δρέπανο για κοπή με τα χέρια (Εικόνα 1.3 απεικονίζεται σε εφαρμογή)



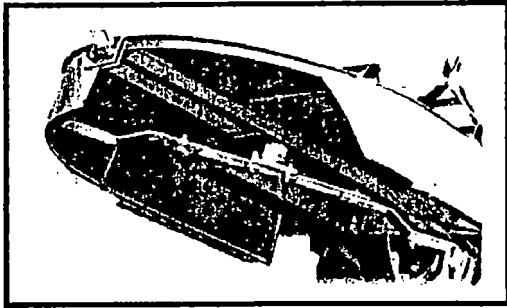
**ΕΙΚΟΝΑ 1.11** Λογχοφόρος μπάρα κοπής από χορτοκοπτικό με μαχαίρια που παλινδρομούν

- A. Απλή λεπίδα
- B. Ένα κομμάτι μόνο
- Γ. Με διπλά μαχαίρια

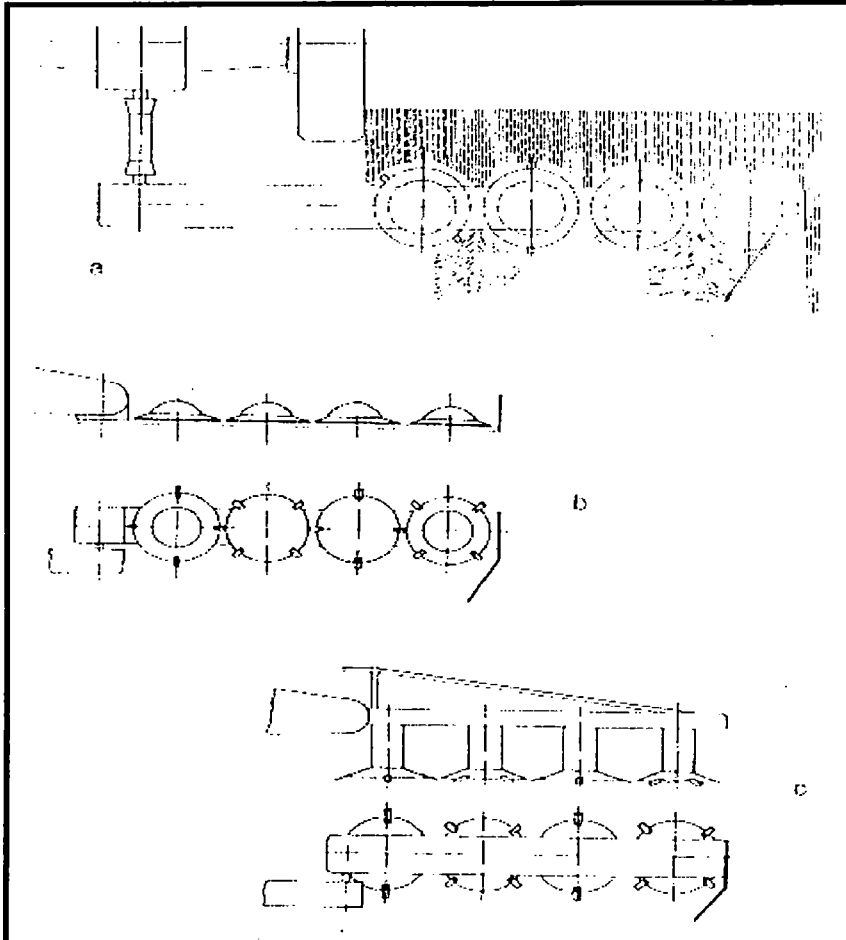


**ΕΙΚΟΝΑ 1.12** Χορτοκοπτικό με οριζόντιο άξονα που φέρει τα μαχαίρια

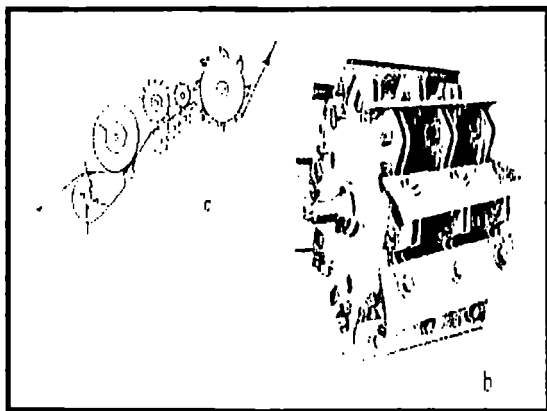
- A. Σε λειτουργία
- B. Τύποι λεπίδων
- (Εικόνα 1.1)



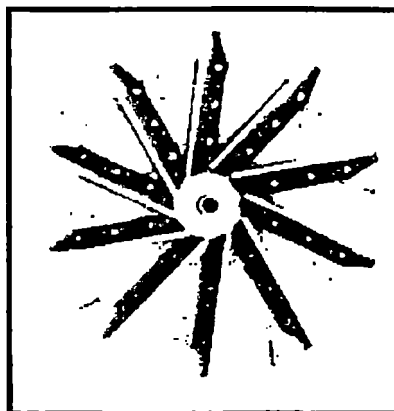
**ΕΙΚΟΝΑ 1.13** Χορτοκοπτικό με κάθετο άξονα κοπής (Χρησιμοποιείται όπως και στην Εικόνα 1.1)



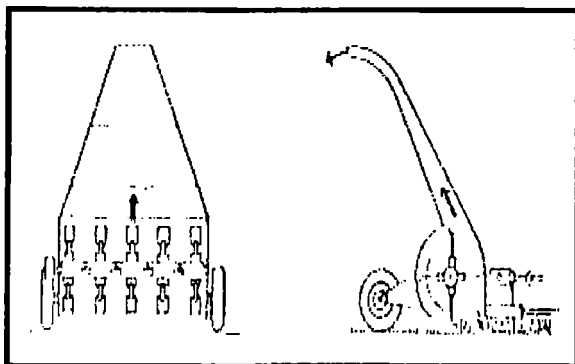
**ΕΙΚΟΝΑ 1.14** Χορτοκοπτικό με περιστρεφόμενους δίσκους (Χρησιμοποιείται για κοπή χόρτου όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 1.1 με παρόμοιο μηχανήμα)



**ΕΙΚΟΝΑ 1.15** Εξάρτημα συγκομιδής κυλινδρικού τύπου. Χρησιμοποιείται στην Εικόνα 1.2 που έχει ένα μαχαιροφόρο κύλινδρο και μια λεπίδα



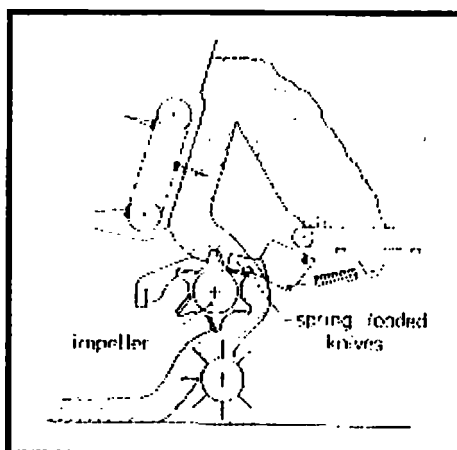
**ΕΙΚΟΝΑ 1.16** Εξάρτημα συγκομιδής τύπου πτερωτής. Χρησιμοποιείται σαν εξάρτημα στην μηχανή της Εικόνας 1.2



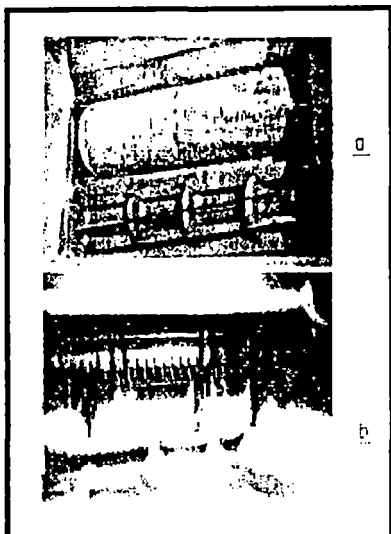
**ΕΙΚΟΝΑ 1.17** Μηχανή συγκομιδής και άμεση έξοδος του συγκομιζόμενου φυτικού υλικού



**ΕΙΚΟΝΑ 1.18** Περιστροφικοί δίσκοι. Για κοπή καλάμκοκιού χρησιμοποιούνται στις θεριζοαλωνιστικές

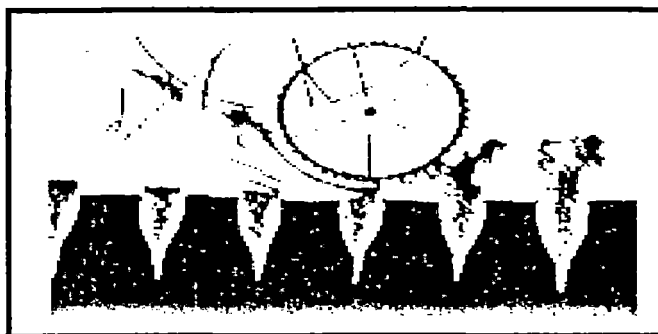


**ΕΙΚΟΝΑ 1.19** Ακίνητα μαχαιρία φερόμενα σε βαγόνι συγκομιδής

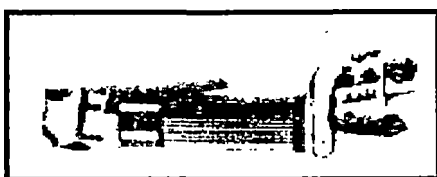


**ΕΙΚΟΝΑ 1.20** Μαχαιρία κοπής τα οποία χρησιμοποιούνται στις θεριζοαλωνιστικές μηχανές

- A. Συνδυασμός μαχαιριών με μαλακό κύλινδρο
- B. Νύχια περιδικά που εργάζονται μεταξύ των αντίστοιχων περιδικών ράβδων κοπής.



**ΕΙΚΟΝΑ 1.21** Ακίνητα μαχαιρία για κοπή της κορυφής όπως φαίνεται



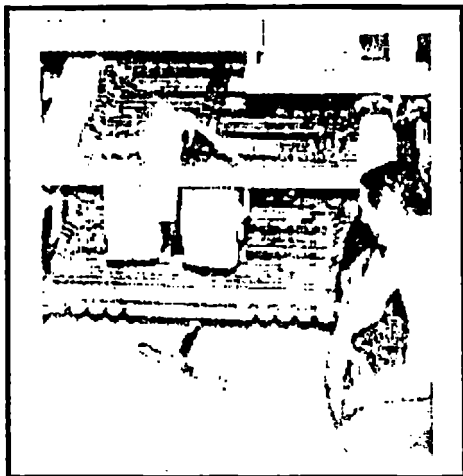
**ΕΙΚΟΝΑ 1.22** Πνευματικό μαχαίρι



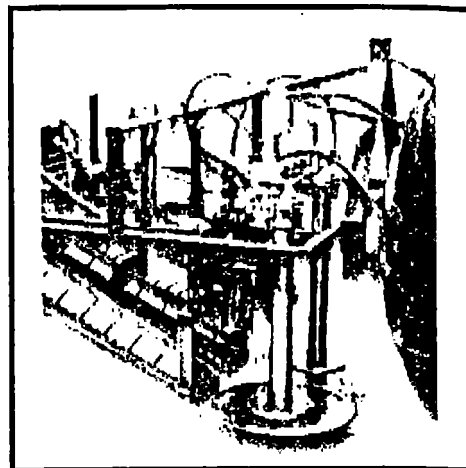
**ΕΙΚΟΝΑ 1.24** Μαχαιρία κοπής ζαχαροκάλαμου



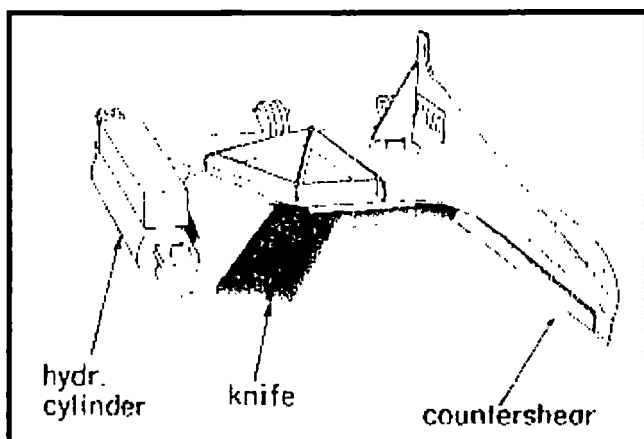
**ΕΙΚΟΝΑ 1.23** Λεπίδες κοπής τύπου ANBIA



**ΕΙΚΟΝΑ 1.25** Μαχαίρια κοπής του μίσχου της τομάτας (Παρόμοιοι τύποι χρησιμοποιούνται και σε άλλα μηχανήματα συγκομιδής λαχανικών)

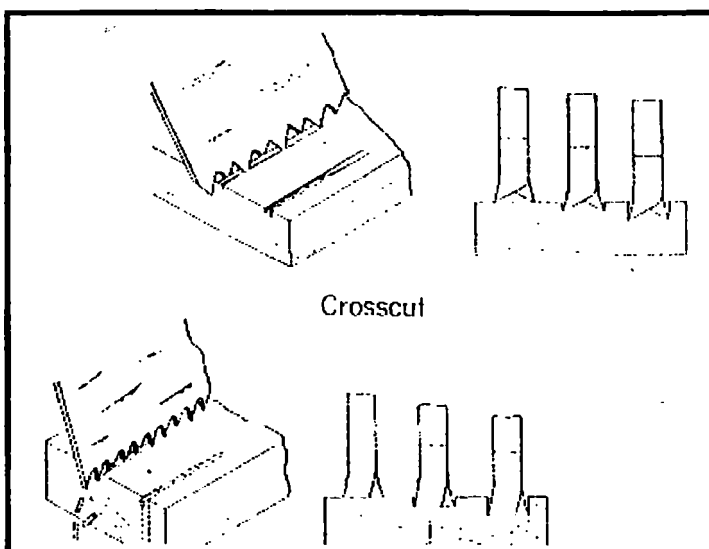


**ΕΙΚΟΝΑ 1.26** Δίσκοι κοπής σε μηχανήματα συγκομιδής λαχανικών



**ΕΙΚΟΝΑ 1.27** Μηχάνημα κοπής κορμών δένδρων (Χρησιμοποιείται σε μηχανήματα όπως στην Εικόνα 1.8)

**ΕΙΚΟΝΑ 1.28** Διάφοροι τύποι λεπίδων

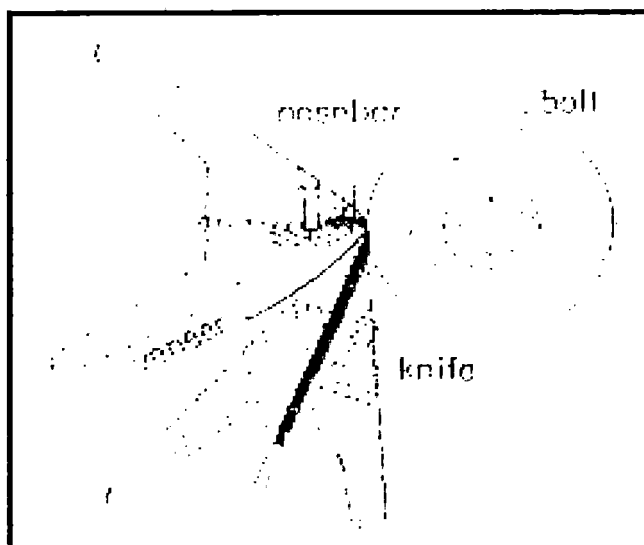




**ΕΙΚΟΝΑ 1.29** Μηχάνημα επεξεργασίας ξύλου ή αλλιώς πλάνη




































**ΕΙΚΟΝΑ 1.30** Μηχάνημα κοπής τύπου VENEER





































**ΕΙΚΟΝΑ 1.31** Μηχάνημα θρυματοποίησης του ξύλου χρησιμοποιώντας μαχαίρια



Fixed knives or blades				oscillating knives		
 Pitt	 Smith	 Mann	 Gibson	 France	 Burton	 Springer
 Hayes	 Kerr	 Bailey	 Whitworth	 Vessey		 Traffer
 Walker	 Cumming	 Blading	 Whitworth	 Mesan		
 Blackwell	 Dobbs	 Chandler	 Fairless	 Smith		
 Glassstone	 Scott	 (U.S.A.)	 Winder	 Combertz		
 Pucknell	 Scott	 Phillips	 Beckford	 Combertz		

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Εργαλεία κοπής τα οποία έχουν απλή κίνηση ευθεία  
(Farm Mechanization , 1951)

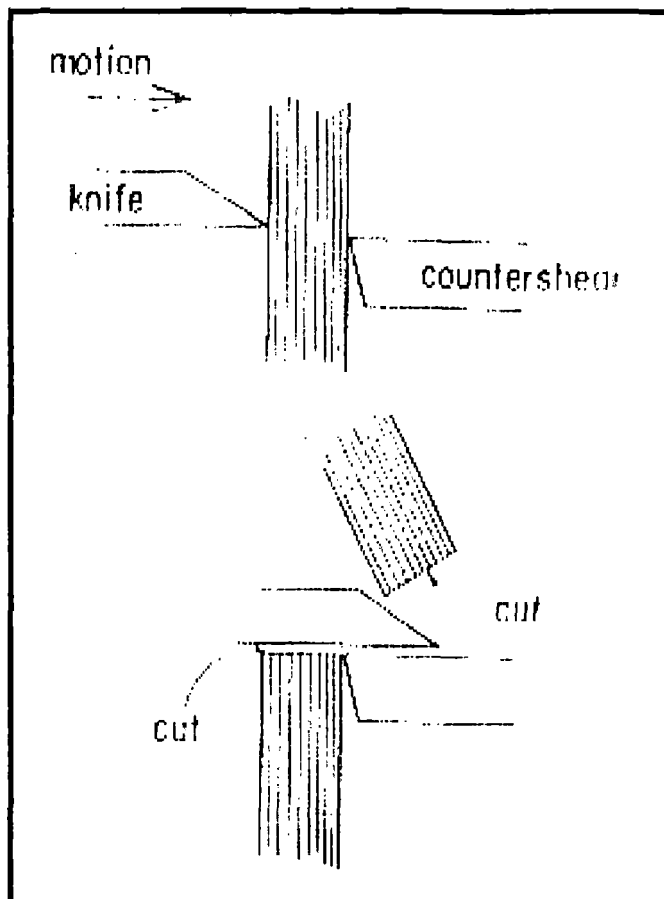
hand-powered	non-moving	continuous motion	oscillating motion			
	 Andrew Bone	 L. H. H.	 Salmon	 Rundell	 McCormick	 Wray
	 Glassstone	 Egall	 Oslo	 McCormick	 Poole	 Harris
 David	 Esterly		 Bell	 Stacey	 Crosskill	 Hussey
 Meares	 Bischoff		 Manning	 Gray	 Gray	 Johnson
 Taylor			 Hussey	 Ridley	 Fowler	 Hussey
			 McCormick	 Rundell	 Newton	

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Εργαλεία κοπής τα οποία εργάζονται σε κυκλική τροχιά δηλαδή η κίνηση που κάνουν κατά την διάρκεια της κοπής

(Farm Mechanization , 1951)

Κοπή ορίζεται η διαδικασία η οποία διαιρεί ένα υλικό κάθετα ή οριζόντια κατά μήκος μια νοητής γραμμής χρησιμοποιώντας ένα κοπτικό εργαλείο .Σαν καλλιεργητικό εργαλείο χαρακτηρίζεται αυτό το οποίο έχει μια αιχμηρή πλευρά.

Στις περισσότερες περιπτώσεις το αρχικό κομμάτι χωρίζεται σε δύο μέρη τα οποία έχουν δημιουργήσει καινούριες πλευρές ,ύστερα από την διαδικασία της κοπής αυτό απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα .



**ΕΙΚΟΝΑ 1.32** Βασικά στοιχεία και κινήσεις κατά την διάρκεια της κοπής

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**  
**ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΚΟΠΟΥΝ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1. ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΚΟΠΟΥΝ

Η κατεργασία της κοπής μπορεί να γίνει σε πολλά υλικά .Σε αυτή την εργασία θα εστιάσουμε την προσοχή μας στην κοπή των φυτικών υλικών .Επίσης θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε και άλλα υλικά όπως μη φυτικά που είναι τα διάφορα μέταλλα ή και ζωικά υλικά προς κοπή που ποιο συχνά ασχολείται η ζωοτεχνολογία .Σε αυτή την εργασία δεν θα αναφερθούμε καθόλου στην κοπή του εδάφους .

Μερικά από τα φυτικά υλικά είναι ,τα φύλλα ,οι ρίζες ,τα φρούτα ,οι σπόροι των φυτών ,το ξύλο και άλλα τνώδη και μη φυτικά υλικά .

### 2.2. ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Τα φυτά περιέχουν υγρά σημεία τα οποία είναι εμποτισμένα ή αλλιώς η υγρασία που έχουν καθώς επίσης και κενά γεμάτα με αέρα .
- Η αντοχή των φυτικών υλικών στις διάφορες καταπονήσεις οφείλεται στα "κελιά" που έχουν διάταξη σε σχήμα αλυσίδας και έτσι είναι ανθεκτικά ,τα οποία έχουν διάμετρο 0.1 - 0.2 mm .
- Η διάμετρος των "κελιών" έχει ένα εύρος τιμών από 10 μέχρι 50 μm και μήκος κελιού μέχρι 500 mm σε υπερβολικές όμως καταστάσεις .
- Τα "κελιά" μπορεί να έχουν λεπτότητα 500 nm .Τα τείχη έχουν τρία πεδία ,το πρωτεύον ,το μεσαίο και το δευτερεύον .
- Η αντοχή των φυτικών υλικών οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην κελουλόζη η οποία είναι ένα συστατικό το οποίο βρίσκεται στο δευτερεύον τοιχίο και είναι το κύριο συστατικό αυτής .

### 2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥΣ

Τα φυτικά υλικά τα οποία συναντάμε πιο συχνά στην κοπή σε όλο το φάσμα της γεωργίας είναι γενικά το χόρτο ( μηδική ) και άλλα υλικά όπως καλαμπόκι στο χωράφι ή μάζα μετά την συγκομιδή .Τα παραπάνω τα συναντάμε πιο συχνά και μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τις ιδιότητες αυτών των φυτικών υλικών προκειμένου να συνδυάσουμε και να προσαρμόσουμε τα γεωργικά μηχανήματα με βάση τις εκάστοτε ανάγκες μας .

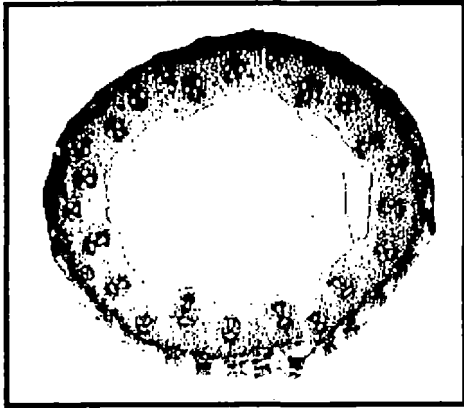
Η μελέτη των χαρακτηριστικών των φυτικών υλικών με βάση την αντοχή αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρία διαφορετικά στάδια κατάταξης :

1. Μελέτη ολόκληρου του στελέχους όπου διακρίνονται διάφορες περιοχές του υλικού οι οποίες έχουν και διαφορετικά χαρακτηριστικά ,όταν τις συγκρίνουμε μεταξύ τους , αλλά σαν σύνολο αποτελούν ολόκληρο το φυτικό υλικό .Κάθε περιοχή πάνω στο φυτό περιέχει ένα μεγάλο αριθμό ίδιων κελιών .Οι διαστάσεις αυτών είναι σε [mm] .
2. Μελέτη κάθε κελιού ξεχωριστά σε κάθε περιοχής ολόκληρου του φυτικού υλικού όπου απεικονίζεται το κελί με τα τρία τοιχία τα οποία είναι ανεξάρτητα από τις λειτουργίες του κελιού .Κάθε τοιχίο έχει διαφορετική δομή στ εσωτερικό του κελιού .Οι διαστάσεις αυτών είναι σε [ $\mu\text{m}$ ] .
3. Μελέτη κάθε τοιχίου του κελιού ξεχωριστά προκειμένου να μελετήσουμε τις ιδιότητες αυτών ,για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα .

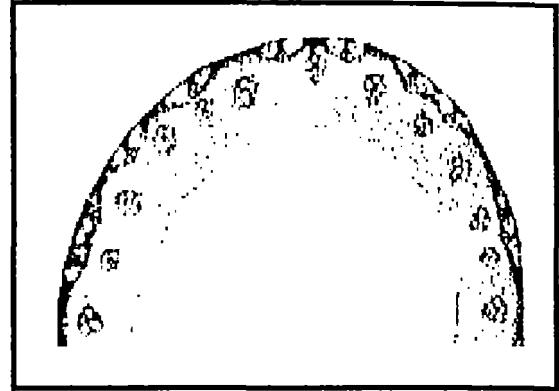
Οι δύο πρώτες μελέτες είναι σχετικά απλές ,χρησιμοποιούνται περισσότερο και μπορούν να πραγματοποιηθούν με ένα οπτικό μικροσκόπιο ,ενώ για την τρίτη μελέτη απαιτείται ηλεκτρικό μικροσκόπιο .

### 2.4. ΔΟΜΗ ΜΙΣΧΟΥ

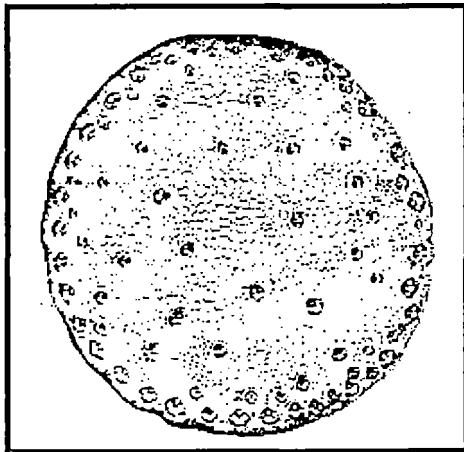
Τομές μίσχων των φυτικών υλικών καθώς επίσης και διάφορων άλλων υλικών ύστερα από κοπή ,τα οποία μας ενδιαφέρουν άμεσα σε αυτή την εργασία απεικονίζονται στις εικόνες 2.1 μέχρι 2.8 .Οι εικόνες δείχνουν τη γενική διάταξη των κελιών καθώς επίσης και την ποικιλομορφία και τις διαφορές μεταξύ των φυτικών υλικών και μη .



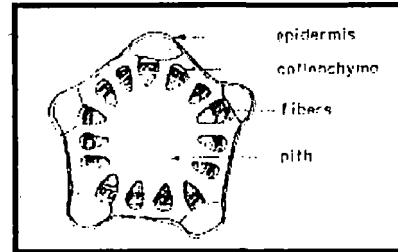
**ΕΙΚΟΝΑ 2.1** Τομή ενός μίσχου



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2** Τομή ενός μίσχου

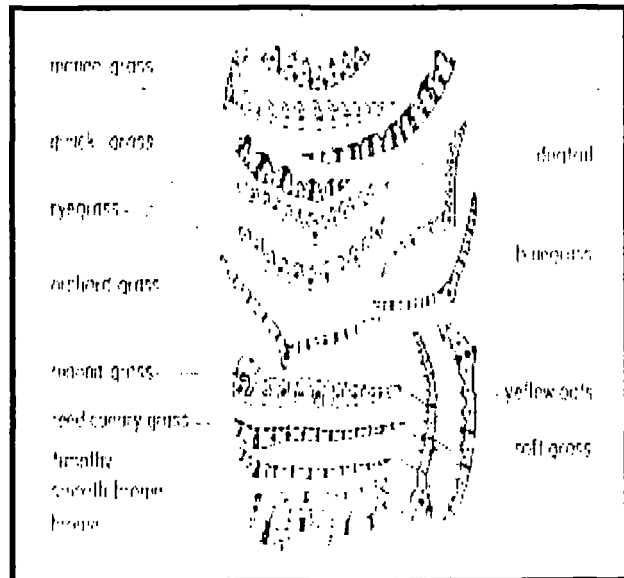


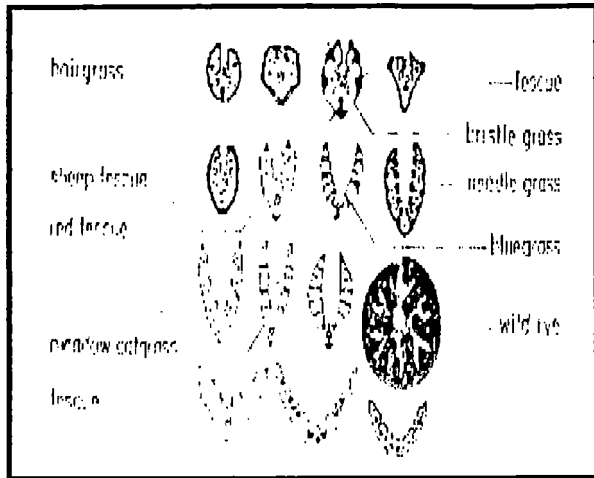
**ΕΙΚΟΝΑ 2.3** Τομή στελέχους καλαμποκιού



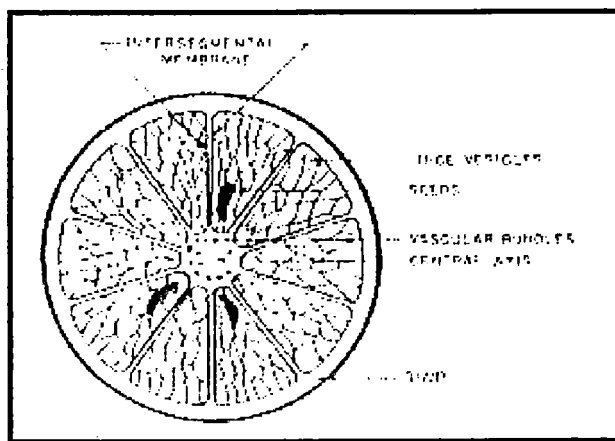
**ΕΙΚΟΝΑ 2.4** Τομή μίσχου από ALFALFA

**ΕΙΚΟΝΑ 2.5** Τομή επίπεδων φύλλων



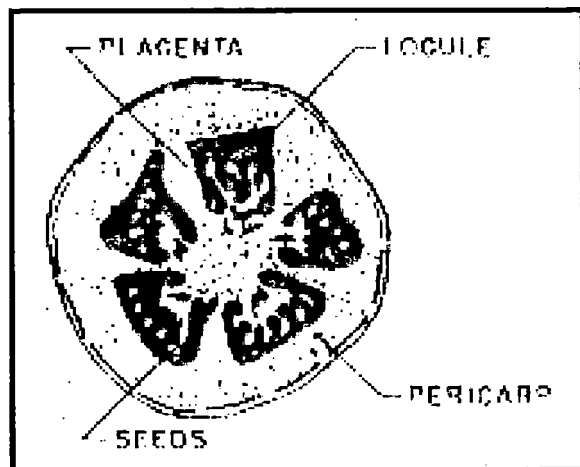


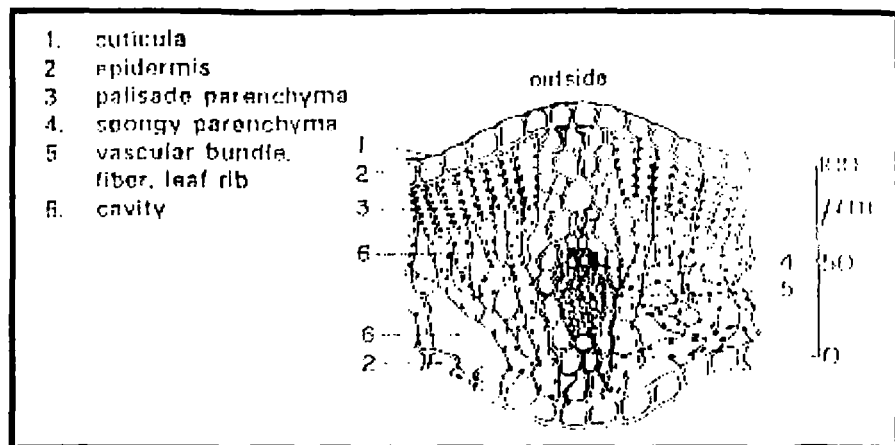
**ΕΙΚΟΝΑ 2.6** Τομή μη επίπεδων φύλλων τα οποία φέρουν αιχμές και κοιλότητες



**ΕΙΚΟΝΑ 2.7** Τομή πορτοκαλιού

**ΕΙΚΟΝΑ 2.8** Τομή τομάτας





**ΕΙΚΟΝΑ 2.9** Τομή και απεικόνιση των δομικών στοιχείων ενός φύλλου

Κατά την διάρκεια της συγκομιδής είναι γνωστό και αποδεδειγμένο ότι η μηχανή εκτός από το φυτικό υλικό κόβει και φύλλα .Στα φύλλα οφείλονται πολύ συχνά τα διάφορα σημαντικά και μη προβλήματα που δημιουργούνται κατά την διάρκεια της συγκομιδής .Δηλαδή αυτό έχει σαν συνέπεια να μπλοκάρει η μηχανή και τα κοπτικά εξαρτήματα ,μειώνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης κατά την συγκομιδή ,επίσης δεν κόβει καλά τα στελέχη με συνέπεια να τα τραυματίζει .Με βάση τον ερευνητή Schulze υπάρχουν πάνω από 150 είδη χόρτου ,για παράδειγμα μηδικής και άλλων τα οποία διαφοροποιούνται μεταξύ τους .Το χόρτο με πλατύ φύλλωμα (Εικόνα 2.5) είναι πολύ πιο δύσκολο να κοπεί από ότι το χόρτο με λεπτό και κυλινδρικό φύλλωμα (Εικόνα 2.6) .Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε το πιο ισχυρό και ανθεκτικό κομμάτι ενός φύλλου ,το οποίο είναι το νεύρο .

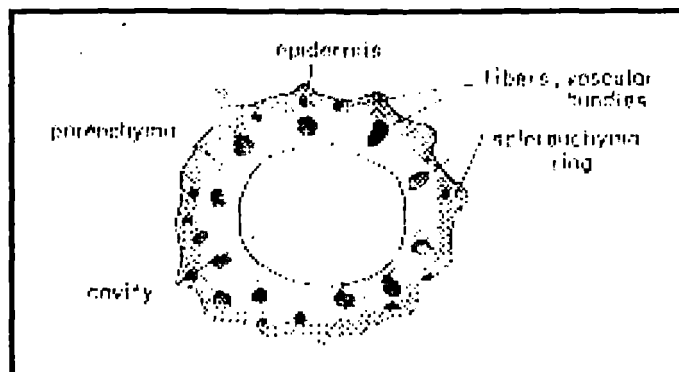
Το στέλεχος του καπνού με διάμετρο 16 με 45 mm έχουν ενδιάμεσα ένα κενό η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί και σαν σταθερά ,0.56 mm από την εσωτερική και εξωτερική διάμετρο .

$$\text{εξωτερική ή διάμετρος} = \text{σταθερά} \cdot (\text{ύψος} \cdot 0,33)$$

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ :** Όπου ύψος μετράται από την κορυφή του φυτού



Για έναν απλό χαρακτηρισμό με βάση την κοπή ή τις ιδιότητες υπάρχουν τέσσερις τύποι συστατικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια τομή ενός μίσχου για καλύτερη κατανόηση υπάρχει στην παρακάτω εικόνα .



**ΕΙΚΟΝΑ 2.10** Τομή μίσχου ενός φυτικού υλικού με εμφανείς τις κύριες περιοχές του μίσχου

Οι τέσσερις τύποι συστατικών είναι οι ακόλουθοι :

- Φυτικές ίνες
- Επιδερμίδα
- Μαλακά κελιά
- Σπηλιές

Τρεις τύποι κελιών συνήθως αναγνωρίζονται :

**Παρένχημα :** Ιστοί κυττάρων με ενεργούς πρωτοπλάστες (=“Ζωντανά κελιά”) ,τα οποία χρησιμοποιούνται είτε για φωτοσύνθεση ή για αποθήκευση ,έχουν ίδιες διαστάσεις και λεπτά τοιχώματα

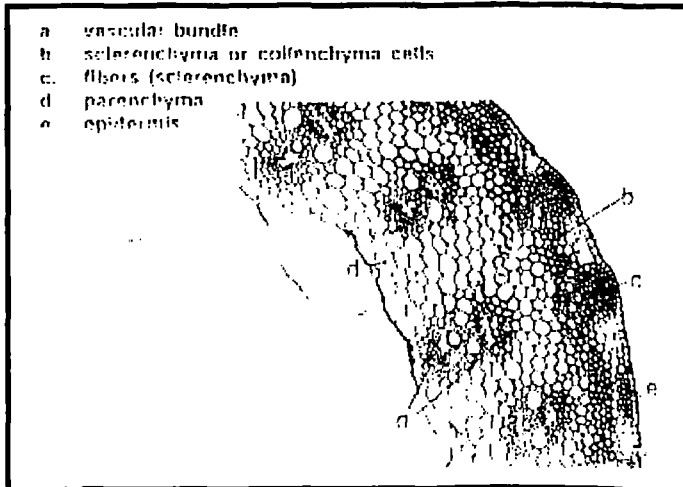
**Κολένχημα :** Κελιά με ενεργούς πρωτοπλάστες ,αλλά με πιο χοντρά και ανθεκτικά τοιχώματα ,με πολλές λειτουργίες ωφέλιμες για το φυτό .Είναι ελαστικό και όχι άκαμπτο.

**Σκληρόνχημα :** Κελιά χωρίς πρωτοπλάστες αλλά με χοντρά και ανθεκτικά τοιχώματα τα οποία είναι σκληρά και άκαμπτα .

Αυτοί οι βασικοί τύποι κελιών μπορούν να συνδυαστούν στο φυτό και να συμπληρώνει το ένα το άλλο .Μερικά περιέχουν μόνο έναν τύπο κελιών ,όπως για παράδειγμα το παρένχημα = μαλακό ,κολένχημα το οποίο καθορίζει την επιδερμίδα ,ή απλά ίνες που εμπεριέχονται στα κελιά σκληρόνχημα .

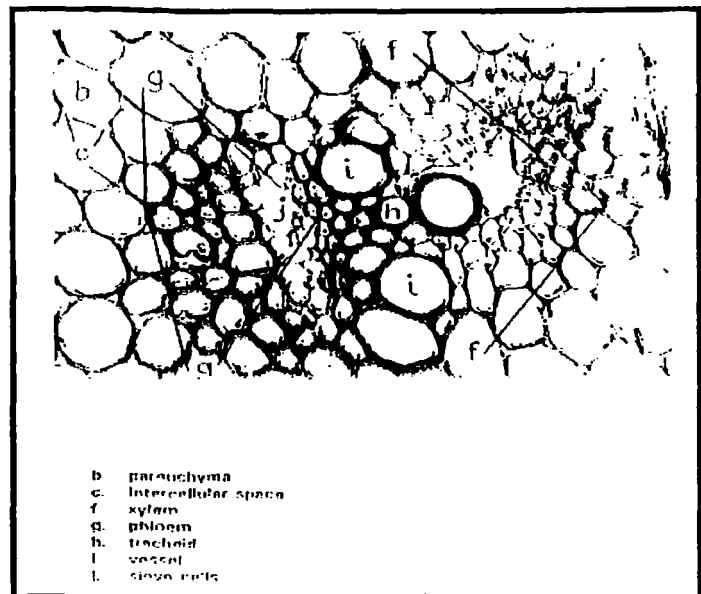
## 2.5. ΔΟΜΗ ΙΝΑΣ

Η μελέτη κάθε περιοχής ξεχωριστά του μίσχου σε μεγέθυνση όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες



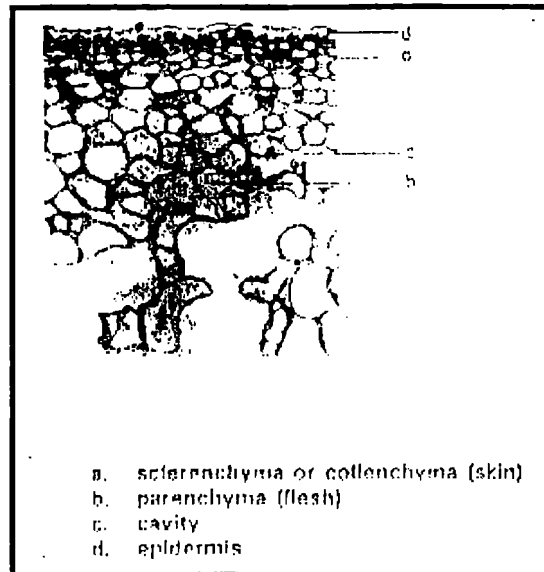
**ΕΙΚΟΝΑ 2.11** Μεγέθυνση τοιχώματος μίσχου από την ποικιλία TIMOTHY. Πάχος τοιχώματος περίπου 350 μm διάμετρος κελιών 5 μέχρι 15 μm (Ahlgrimm,1977)

**ΕΙΚΟΝΑ 2.12** Μεγέθυνση φωτογραφίας που απεικονίζει μια ίνα. Διακρίνονται τα τοιχώματα στα κελιά της ίνας και τα ακανόνιστα κενά ανάμεσα (Ahlgrimm,1977)



Απεικονίζει καλύτερα και είναι πιο εύκολο να διακριθούν τα κελιά καθώς επίσης και η διάταξη αυτών και η σύνθεση της δομής από τα οποία μπορούμε να καταλάβουμε τις ιδιότητες αυτού. Στην παρακάτω εικόνα καθώς επίσης και στις εικόνες 2.11 – 2.12 μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε τα μονά κύτταρα που είναι σε διάφορα επίπεδα ,η

επιδερμίδα ,που περιβάλλει το φυτικό υλικό το μίσχο ή το ίδιο το φρούτο ,το επίπεδο στο φυτικό υλικό που διατηρεί την υγρασία και το εξωτερικό σκληρό κομμάτι του φυτικού υλικού .



**ΕΙΚΟΝΑ 2.13** Τομή της επιδερμίδας του μήλου και της σάρκας προς το εσωτερικό (Reeve ,1953 in Mohsenin ,1970)

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με μερικά από τα πιο σημαντικά φυτικά υλικά στο χώρο της γεωργίας και θα χρησιμοποιήσουμε σε συγκεκριμένες καταπονήσεις οι οποίες έχουν λόγο εφαρμογής για δύο λόγους

1. Να κατανοήσουμε στην φυσιολογία των φυτικών υλικών
2. Να προσαρμόσουμε και να βελτιώσουμε τα γεωργικά μηχανήματα που υπάρχουν ,προκειμένου να αυξήσουμε τον βαθμό απόδοσης κατά την συγκομιδή .

Για το πιο φυτικά υλικά θα χρησιμοποιήσουμε και σε ποιες καταπονήσεις θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια αυτής της εργασίας γιατί πρώτα πρέπει να δώσουμε κάποια στοιχεία και στη συνέχεια να αιτιολογήσουμε την επιλογή μας αυτή.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**  
**ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**  
**ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

ΔΕΛΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

#### 3.1. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ – ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΤΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες τα δευτερεύοντα κελιά κατά την εφαρμογή του εφελκυσμού στη φυσική τους θέση μπορεί να έχουν αντοχή κατά την εφαρμογή του εφελκυσμού μέχρι  $1100 \text{ N/mm}^2$  για παράδειγμα ( ένα βαμβακιού  $300 - 1100 \text{ N/mm}^2$  , ένα από κορμό δένδρου  $150 - 350 \text{ N/mm}^2$  ) . Η ελαστικότητα του κυτταρικού τοιχίου είναι από  $10000$  μέχρι  $100000 \text{ N/mm}^2$  και η μέγιστη δύναμη από  $0.5$  μέχρι  $5$  τοις εκατό .

Για τα κελιά κατά την συμπίεση σε ένα αναπτυσσόμενο φυτό , η δύναμη εφελκυσμού είναι μικρότερη , αλλά η ελαστικότητα είναι μεγαλύτερη .

Άλλα κυτταρικά τοιχία άλλων φυτικών υλικών , έχουν μικρότερη αντοχή κατά την διάρκεια του εφελκυσμού όπως για παράδειγμα η επιδερμίδα των φυτικών υλικών ( $2 - 14 \text{ N/mm}^2$  ) και τα κελιά κολέγχυμα ( $90 - 140 \text{ N/mm}^2$  ) .

Τα διάφορα τεστ αντοχής στον εφελκυσμό που γίνονται στα φυτικά υλικά έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές . Προσοχή πρέπει να δίνεται στο σχήμα του φυτικού υλικού που πρόκειται να υποστεί σε κάποια μηχανική καταπόνηση καθώς επίσης και στις ιδιότητες αυτού .

Η αντοχή στον εφελκυσμό ενός φυτικού υλικού μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση :

$$F_s = F_{\max} / S$$

όπου :

$F_s$  – Η μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό του στελέχους ενός φυτικού υλικού [  $\text{N/mm}^2$  ] .

$F_{\max}$  – Η μέγιστη δύναμη εφελκυσμού [  $\text{N}$  ] .

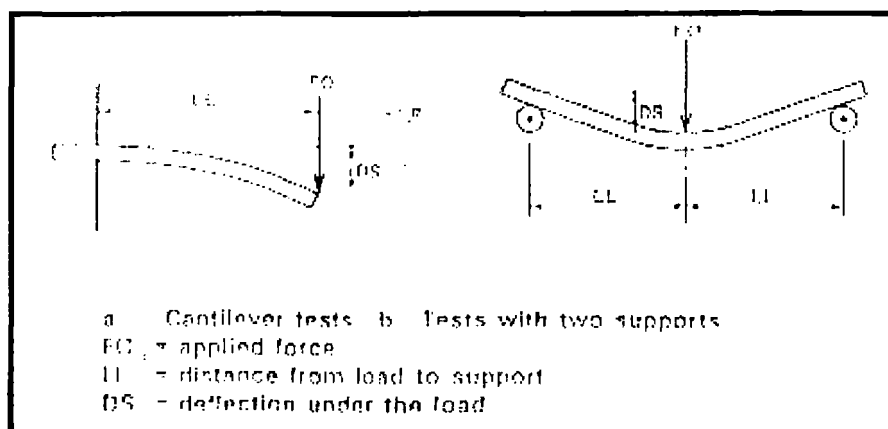
$S$  – Περιοχή εφαρμογής της δύναμης (στη δομή αυτής) [  $\text{mm}^2$  ] .

Ο παραπάνω τρόπος μέτρησης της αντοχής ,είναι πολύ αξιόπιστος και μπορεί να χαρακτηριστεί σαν αντιπροσωπευτικός αφού η δύναμη του εφελκυσμού μπορεί να ασκηθεί ομοιόμορφα σε όλα τα δομικά στοιχεία του φυτικού υλικού (ίνες) επάνω στο στέλεχος .

Πειραματικά αυτή η προσέγγιση μπορεί να υποστηριχτεί και από τα αποτελέσματα διάφορων που βρήκαν ότι το στεγνό συστατικό στο φυτό είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας στην μηχανική αντοχή των φύλων και της μηδικής ( φυτά σε μορφή χόρτου ) . Η αντοχή του ξύλου μπορεί να συσχετιστεί με το ειδικό βάρος του .Αυτή η επιρροή μπορεί να συσχετιστεί από την υψηλή περιεκτικότητα σε κελουλόζη στο ειδικό βάρος του ξύλου .Γενικά η αντοχή του φυτικού υλικού ,μπορεί να συσχετισθεί και με τη δομή αυτού και από τα διάφορα στρώματα κυτταρικά και μη μέσα στο φυτικό υλικό .

Κάποιοι ερευνητές υπολόγισαν την μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό σε στελέχη από το φυτό ποικιλίας alfalfa από  $8 - 35 \text{ N/mm}^2$  ανά περιοχή που συνολικά ασκείται ο εφελκυσμός .Αυτή η αντοχή στην μηχανική καταπόνηση του εφελκυσμού ,αντιστοιχεί σε μια δύναμη μεγέθους από  $180 - 200 \text{ N/mm}^2$  .

Ένα άλλο τεστ μηχανικής καταπόνησης που γίνεται πάνω στα φυτικά υλικά και που είναι μεγάλης σημασίας ,είναι το τεστ της κάμψης ,όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



**ΕΙΚΟΝΑ 3.1** Τεστ κάμψης για το υπολογισμό της αντοχής στελέχους ,ενός φυτικού υλικού .

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα τεστ κάμψης που γίνεται σε ένα φυτικό υλικό και μια παραλλαγή αυτού με δύο σημεία στήριξης του φυτικού υλικού, προκειμένου να υπολογίσουμε και το φορτίο που μπορεί να δεχτεί ένα φυτικό υλικό. Αν λάβουμε υπόψη μας τις απλές θεωρίες της ελαστικότητας μπορούμε να αξιοποιήσουμε τις παρακάτω εξισώσεις :

$$\text{Παραμόρφωση } \varepsilon = \sigma_1 * F * (L * 3) / (E * I)$$

$$\text{Μέγιστο φορτίο } F_{\max} = \sigma_2 * (I / D) * S / L$$

Όπου :

$\varepsilon$  => Παραμόρφωση κάτω από το ασκούμενο φορτίο [ mm ]

$\sigma_1$  => Συντελεστής της εξίσωσης της παραμόρφωσης

1/3 για κάμψη με στήριξη στο ένα άκρο

1/6 για κάμψη με στήριξη στα δύο άκρα

F => Το ασκούμενο φορτίο [ N ]

L => Η απόσταση από τα άκρα στήριξης στην εφαρμογή της δύναμης [mm]

E => Τιμή της ελαστικότητας [ N/mm<sup>2</sup>]

F<sub>max</sub> => Μέγιστο φορτίο [N]

D => Διάμετρος του στελέχους που υπόκειται στην καταπόνηση [mm]

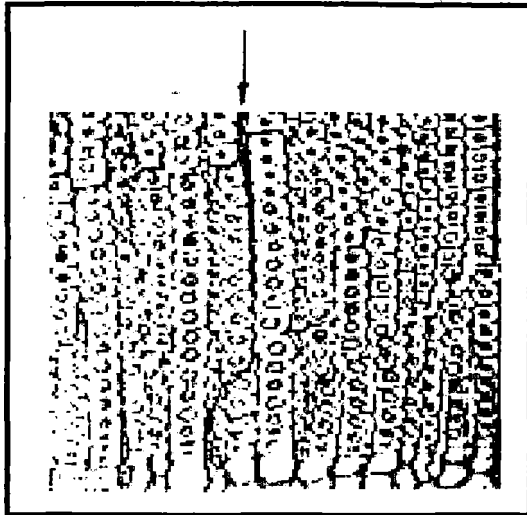
S => Μέγιστη τάση κατά την κάμψη [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_2$  => Συντελεστής στη εξίσωση του μέγιστου φορτίου

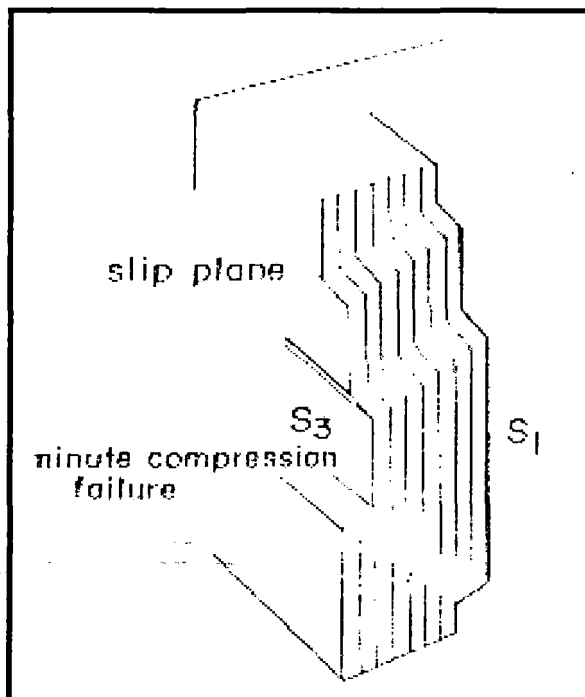
2 για μια στήριξη

4 για δύο σημεία στήριξης

Έχουμε αναφέρει πολλά στοιχεία όσων αφορά σχεδόν όλες τις μηχανικές καταπονήσεις, σύνθετες και μη πάνω σε διάφορα φυτικά υλικά και θα αναφερθούμε και στο κεφάλαιο με τα αποτελέσματα των πειραμάτων, που είναι ποιο αξιόπιστα. Στην παρακάτω σελίδα υπάρχουν τρεις εικόνες σε μεγέθυνση οι οποίες μας βοηθούν στο να κατανοήσουμε αυτά που αναφέραμε παραπάνω.

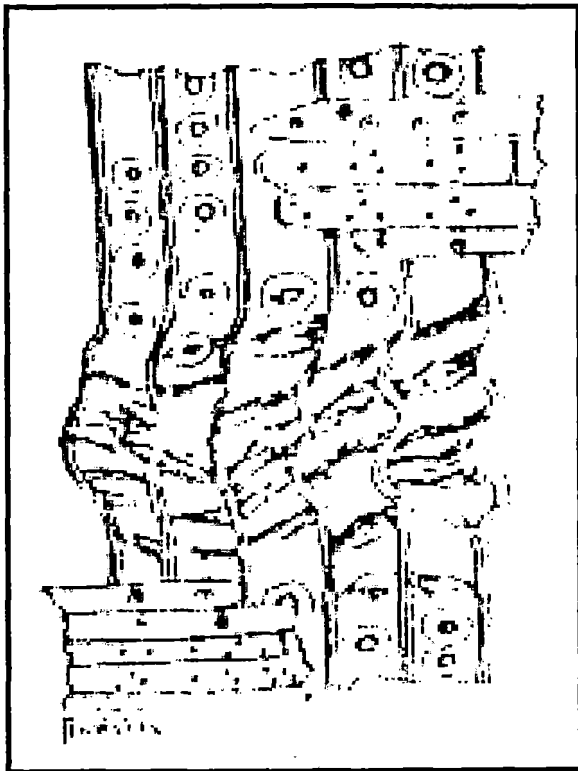


**ΕΙΚΟΝΑ 3.2** Εφελκυσμός ή διάτμηση στο μέσο ενός φυτικού υλικού ενός κορμού δένδρου



**ΕΙΚΟΝΑ 3.3** Σταδιακή παραμόρφωση των κελιών ενός φυτικού υλικού κατά την μηχανική καταπόνηση της συμπίεσης





**ΕΙΚΟΝΑ 3.4** Διάσπαση κελιών κορμού δένδρου που υπόκειται σε κάθετη συμπίεση

***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4***  
***ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ***

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Όπως είναι γνωστό ,αν ένα τεμάχιο από ελαστικό (λάστιχο) το έλξουμε αντίθετα στα δύο άκρα του ,θα παρατηρήσουμε ότι αυτό θα επιμηκυνθεί ,θα αυξήσει δηλαδή αισθητά το αρχικό του μήκος .Όταν σταματήσουμε να το έλκουμε παρατηρούμε ότι επανέρχεται στο αρχικό του μήκος .

Μια ξύλινη πακτωμένη δοκός επίσης ,όταν φορτιστεί κάμπτεται ,δηλαδή παραμορφώνεται παίρνοντας τη μορφή καμπύλης . Όταν όμως αφαιρεθεί η φόρτιση αυτή ,παρατηρούμε ότι η δοκός επανέρχεται στην αρχική της θέση .

Τα αέρια δε πιεζόμενα ,μειώνουν τον όγκο τους για να τόν επανακατακτήσουν όταν αφαιρεθεί η εξωτερική πίεση .

Η ιδιότητα αυτή των σωμάτων ,να τείνουν να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα ή στον αρχικό τους όγκο μετά την αποφόρτιση ,δηλαδή μετά την αφαίρεση των εξωτερικών φορτίων ,ονομάζεται ελαστικότητα .

Η αύξηση ή η ελάττωση του αρχικού μήκους μιας ράβδου ,ή ενός φυτικού υλικού ή η καμπύλωση αυτού όπως είπαμε παραπάνω με την κάμψη της δοκού ,ονομάζεται γενικότερα παραμόρφωση .

Τελείως ελαστικό ονομάζεται το σώμα εκείνο ,το οποίο επανέρχεται ακριβώς στο αρχικό του σχήμα και όγκο μετά την αποφόρτιση .Οι προκαλούμενες παραμορφώσεις στα παραπάνω σώματα ονομάζονται ελαστικές .

Τελείως πλαστικό χαρακτηρίζεται το σώμα εκείνο ,το οποίο παραμένει απολύτως στην παραμορφωμένη κατάσταση που έφτασε και μετά την αποφόρτιση .Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι ,το σώμα έχει υποστεί μόνιμη ή πλαστική παραμόρφωση.

Αστοχία ονομάζεται γενικότερα στη μηχανική η αποσυγκόλιση ενός ομοιογενούς σώματος.

Γενικότερα πλαστικότητα είναι η ιδιότητα των σωμάτων να υφίστανται μόνιμες (ή παραμένουσες) παραμορφώσεις όταν αυτά φορτιστούν και στη συνέχεια αποφορτιστούν .

Τα διάφορα σώματα που συναντώνται στη φύση καθώς επίσης και τα φυτικά υλικά ,παρουσιάζουν τις ιδιότητες της ελαστικότητας και της πλαστικότητας σε διαφορετικό βαθμό .Έτσι άλλα διατηρούν την ελαστικότητά τους ακόμα και σε

ισχυρή φόρτιση όπως είναι ο χάλυβας ,αλλά φθάνουν πολύ γρήγορα (δηλαδή με ασθενή φόρτιση) στην πλαστικότητα όπως είναι ο μόλυβδος ,αλλά στερούνται τελείως την ελαστικότητα όπως είναι περίπου η πλαστιλίνη και άλλα τέλος ,στερούνται περίπου εντελώς την πλαστικότητα όπως είναι το γυαλί ,το μάρμαρο ,ο χυτοσίδηρος ,το άοπλο σκυρόδεμα και διάφορα άλλα .

Τα τελευταία αυτά υλικά όταν εξαντλήσουν τα περιθώρια της ελαστικότητάς τους και φορτιστούν περαιτέρω , θραύονται αμέσως ,χωρίς να αποκτήσουν καθόλου πλαστικότητα πριν από τη θραύση τους .Η ιδιότητα αυτών των υλικών ονομάζεται ψαθυρότητα και τα υλικά ψαθυρά .

Αν η παραμόρφωση που οφείλεται στις εξωτερικές δυνάμεις δεν αποδίδεται στο σύνολό της μετά την αποφόρτιση ,τότε το σώμα χαρακτηρίζεται σαν μερικώς ελαστικό .Στην περίπτωση αυτή ,η ολική παραμόρφωση αποτελείται από δύο επιμέρους συνιστώσες :

1. Την ελαστική παραμόρφωση ,η οποία εξαφανίζεται συγχρόνως με την αφαίρεση των εξωτερικών φορτίων που την προκάλεσαν .
2. Την παραμένουσα ή πλαστική ή και μόνιμη παραμόρφωση ,που παραμένει στο σώμα και μετά την αφαίρεση των εξωτερικών φορτίων .

Στα σώματα εκείνα που συνυπάρχουν οι δύο παραπάνω ιδιότητες ονομάζονται ελαστοπλαστικά .

Τα διάφορα υλικά ,έχουν γενικά ελαστοπλαστικές ιδιότητες .Για τα περισσότερα όμως από αυτά ,επιδιώκουμε όταν φορτιστούν να συμπεριφέρονται ελαστικά .Αυτό επιτυγχάνεται ,αν κατά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων ,δεν προκαλείται υπέρβαση κάποιου ορίου ,που ονομάζεται όριο ελαστικότητας .Εκμεταλλευόμαστε δε την ελαστική αυτή ιδιότητα των υλικών ,για τον υπολογισμό και τη μορφοποίηση των διάφορων μελών των κατασκευών ,επιδιώκοντας η συμπεριφορά των μελών αυτών να είναι ελαστική .Δεχόμαστε όμως για διάφορους λόγους και κυρίως για οικονομία υλικού ,την εμφάνιση και πλαστικών παραμορφώσεων ,αλλά σε πολύ περιορισμένη κλίμακα .

Διευκρινίζουμε ότι ,στη φύση δεν υπάρχουν υλικά ούτε τελείως ελαστικά ,ούτε τελείως πλαστικά , ο ορισμός αυτός δίνεται για πρώτη και μόνο προσέγγιση του όλου θέματος ,καθόσον το απλοποιεί σημαντικά .

Αναφέρουμε επίσης ότι ,φόρτιση είναι η επιβολή εξωτερικών δυνάμεων ή ροπών (δηλαδή φορτίων) σε ένα σώμα ,οπότε λέμε ότι αυτό φορτίζεται ή ότι καταπονείται ,ή ότι βρίσκεται σε εντατική κατάσταση .Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται καταπόνηση ή και επιπόνηση .

#### **4.2. ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

Πριν αρχίσουμε την μελέτη της αντοχής γενικά όλων των υλικών φυτικών και μη ,είναι χρήσιμο να αναφερθούμε σύντομα στο αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η επιστήμη της τεχνικής μηχανικής γενικότερα .Μια ολιγόλογη διατύπωση του αντικειμένου της ,είναι η εξής :

**Τεχνική μηχανική είναι η επιστήμη εκείνη , η οποία μελετά την ανταπόκριση της ύλης σε εξωτερικά αίτια .**

Λέγοντας εξωτερικά αίτια ,εννοούμε εξωτερικές δυνάμεις ,ροπές ,μεταβολές της θερμοκρασίας ,κ.τ.λ.

Γνωρίζουμε όμως ότι η ανταπόκριση (ή και η απόκριση) αυτή της ύλης στα εξωτερικά αίτια που προαναφέραμε ,εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την κατάσταση της ύλης ,που μπορεί να είναι στερεά ,υγρή ή αέρια .Από την σκοπιά λοιπόν αυτή , η τεχνική μηχανική διακρίνεται :

1. Στην τεχνική μηχανική των στερεών
2. στην τεχνική μηχανική των ρευστών (δηλαδή υγρά ή αέρια)

Η τεχνική μηχανική των στερεών σωμάτων χωρίζεται σε δύο περιοχές ,στην τεχνική μηχανική των απαραμόρφωτων στερεών και στην τεχνική μηχανική των παραμορφώσιμων στερεών .

Η τεχνική μηχανική των απαραμόρφωτων στερεών σωμάτων που λέγεται και μηχανική των μη παραμορφώσιμων σωμάτων ,μελετά του νόμους της κίνησης ή της ηρεμίας των στερεών ,όταν επάνω τους επενεργούν εξωτερικά φορτία ,χωρίς να λαμβάνει υπόψη την παραμόρφωσή τους .Δέχεται δηλαδή ότι αυτά παραμένουν απαραμόρφωτα με την επίδραση των εξωτερικών φορτίων .Για το λόγο αυτό ,η επιστήμη αυτή αναφέρεται και σαν μηχανική του απόλυτου στερεού .

Η έννοια βέβαια του απαραμόρφωτου στερεού αποτελεί μια εξιδανικευμένη κατάσταση της ύλης ,που δεν συναντάται σε κανένα πραγματικό στερεό σώμα .Η υπεραπλούστευση όμως αυτή ,φάνηκε πολύ χρήσιμη για τη διερεύνηση των φαινομένων της τεχνικής μηχανικής ,διότι όπως είδη διαπιστώσαμε στην τεχνική μηχανική – στατική (που αποτελεί μέρος της μηχανικής των απαραμόρφωτων στερεών) λύθηκαν εκεί ,αρκετά ενδιαφέροντα αλλά ισοστατικά προβλήματα .

Η μηχανική των παραμορφώσιμων σωμάτων ,ασχολείται και αυτή με τη συμπεριφορά των στερεών σωμάτων ,με τη σημαντική διαφορά όμως ότι ,τα σώματα δε θεωρούνται πλέον απαραμόρφωτα αλλά με την επίδραση των εξωτερικών φορτίων αυτά παραμορφώνονται ,μεταβάλλουν δηλαδή το αρχικό τους σχήμα ή τον αρχικό τους όγκο .Η ιδιότητα αυτή των σωμάτων να παραμορφώνονται ,συμβαδίζει απόλυτα με τα διάφορα στερεά σώματα που συναντώνται στη φύση .

Στην επιστήμη της μηχανικής των παραμορφώσιμων σωμάτων ,δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη φόρτιση των σωμάτων σε κατάσταση ηρεμίας καθώς και στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών ,ενώ οι νόμοι της κίνησης θεωρούνται δευτερεύουσας σημασίας .

Η τεχνική μηχανική των ρευστών μελετά τη συμπεριφορά τέτοιων μόνο ρευστών που αντιστέκονται ελάχιστα ή και καθόλου σε κάθε παραμόρφωσή τους ,όπως συμβαίνει στο λεγόμενο ιδανικό ρευστό .

Η τεχνική μηχανική των παραμορφώσιμων σωμάτων ,περιλαμβάνει την αντοχή των υλικών και τη θεωρία της ελαστικότητας .Η αντοχή των υλικών και η θεωρία της ελαστικότητας ασχολούνται με τα ίδια προβλήματα ,με διαφορά στον τρόπο αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών .

Στη θεωρία της ελαστικότητας ,τα διάφορα προβλήματα αντιμετωπίζονται από αυστηρά μαθηματική σκοπιά και η λύση τους απαιτεί βαθιά γνώση των μαθηματικών ,γι' αυτό και η επιστήμη αυτή πρωτοαναπτύχθηκε κυρίως από μαθηματικούς .Τα πρακτικά όμως αποτελέσματα της θεωρίας της ελαστικότητας ήταν κάπως περιορισμένα .Τα τελευταία όμως χρόνια ,με τη ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρικών υπολογιστών ,έχουν αναπτυχθεί αριθμητικές μέθοδοι επίλυσης των διάφορων θεωρητικών προβλημάτων ,τόσο ώστε να βελτιώνεται συνεχώς η θέση της επιστήμης αυτής στην αντιμετώπιση των διάφορων τεχνικών προβλημάτων .

Αντίστροφα ,η αντοχή των υλικών αναπτύχθηκε στα αρχικά της στάδια από μηχανικούς και πειραματιστές .Στη συνέχεια ,προκειμένου να επιλυθεί ένα τεχνικό πρόβλημα βασιζόμενο στην αντοχή των υλικών ,εγίνοντο αρκετές απλοποιητικές παραδοχές τόσες ,ώστε να επιτρέψουν μια λύση η οποία να βρίσκει άμεση εφαρμογή στο συγκεκριμένο αυτό τεχνικό πρόβλημα .

Σήμερα η αντοχή των υλικών ,βοηθούμενη με τη θεωρία της ελαστικότητας για σύντομη ανάλυση και περιγραφή των διαφόρων φαινομένων ,έχει αναπτύξει σχετικά απλές αναλυτικές μεθόδους ,οι οποίες βοηθούν το μηχανικό να επιλύσει με ικανοποιητική ακρίβεια μια σειρά από τεχνικά προβλήματα που συναντώνται στην πράξη.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού ,η αντοχή των υλικών στηρίζεται σε υποθέσεις και απλοποιητικές παραδοχές οι οποίες προέκυψαν από αναλύσεις της θεωρίας της ελαστικότητας αφενός ,αλλά και από πειραματικές παρατηρήσεις αφετέρου .Οι παραδοχές αυτές θα αναπτυχθούν σε επόμενη παράγραφο .

#### **4.3.ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Είναι γνωστό ότι αν σε δύο διαφορετικά υλικά για παράδειγμα ένα στέλεχος καλαμποκιού και ένα κομμάτι χάλυβα με ίδιες πάντα γεωμετρικές διαστάσεις ,όταν του ασκηθούν ίσες εξωτερικές δυνάμεις ,αυτά παρουσιάζουν γενικά διαφορετική συμπεριφορά .Το ένα υλικό μπορεί να αντέξει ,ενώ το άλλο να σπάσει ,ή το ένα στοιχείο να παραμορφωθεί πολύ περισσότερο από το άλλο .

Γίνεται αντιληπτό ότι ,τα διάφορα στερεά σώματα που χρησιμοποιούμε στις κατασκευές για παράδειγμα το ξύλο και τα διάφορα μέταλλα είναι πρακτικά χρήσιμα και εξυπηρετούν τον προορισμό τους ,όταν αφ' ενός δεν θραύονται με την επενέργεια των εξωτερικών φορτίων αλλά ανθίστανται τόσο ,ώστε αφετέρου ,οι αναπόφευκτες παραμορφώσεις τους να μην υπερβαίνουν κάποια όρια ,τα οποία προκύπτουν είτε από κατασκευαστικούς λόγους είτε από λόγους αισθητικής .

Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε μέχρι ποιου ορίου μας επιτρέπεται να φορτίζουμε τα διάφορα υλικά ,έναντι των δύο κινδύνων που προαναφέραμε ,δηλαδή έναντι του κινδύνου της θραύσης και έναντι της υπερβολικής παραμόρφωσης .

Έτσι η αντοχή των υλικών από πρακτική άποψη ,έχει σαν αντικείμενο :

1. Να προσδιορίσει τα επικίνδυνα όρια φόρτισης των διαφόρων υλικών σε όλα τα είδη των καταπονήσεων και στη συνέχεια ,να καθορίσει τα επιτρεπτά όρια φόρτισης για κάθε ένα είδος φόρτισης ξεχωριστά .
2. Να καθορίσει το πλέον κατάλληλο σχήμα των φορέων και στη συνέχεια να υπολογίσει τις διαστάσεις τους ,έτσι ώστε αυτοί να είναι σε θέση να παραλάβουν με ασφάλεια ,(έναντι του κινδύνου θραύσης αλλά και έναντι της υπερβολικής παραμόρφωσης) και συγχρόνως κατά τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο τη φόρτιση ,η οποία είναι δυνατό να προέρχεται :
  - Από εξωτερικές δυνάμεις ,τις οποίες προορίζονται να υποβαστάξουν και οι οποίες οφείλονται σε μόνιμα ή σε κινητά φορτία .
  - Από καταπονήσεις που προέρχονται από θερμοκρασιακές μεταβολές ,ή από υποχωρήσεις στηρίξεων ,ή από αυτεντατικές καταστάσεις λόγω κατασκευαστικής ατέλειας .
  - Από το ίδιο το βάρος του φορέα ή της κατασκευής .
3. Να υπολογίσει το μέγιστο δυνατό φορτίο το οποίο μπορεί με ασφάλεια να αναλάβει ένας φορέας ή μια κατασκευή και να ελέγξει ,κατά πόσο αυτός είναι ασφαλής έναντι δεδομένης φόρτισης (στατικός έλεγχος) ,ή τέλος να ελέγξει κατά πόσο οι προκληθείσες παραμορφώσεις βρίσκονται εντός των παραδεκτών ορίων .

Ο πρώτος από τους στόχους της αντοχής των υλικών ,επιτυγχάνεται στα ειδικά εργαστήρια αντοχής των υλικών .Οι δύο άλλοι επιτυγχάνονται με υπολογισμούς ,οι οποίοι εξαρτώνται από το σχήμα των φορέων ,από τον τρόπο που δρουν οι δυνάμεις επάνω τους ,από το υλικό τους κ.α.

Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να πούμε ότι :

Αντοχή των υλικών είναι η επιστήμη που υποδεικνύει αναλυτικές μεθόδους για τον υπολογισμό της αντοχής ,της ακαμψίας και της ευστάθειας (είναι η ιδιότητα των σωμάτων να μη λυγίζουν) των μελών μιας κατασκευής ,με γνώμονα το κόστος να είναι το ελάχιστο δυνατό .



#### 4.4. ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ

Γνωρίζουμε ότι τα διάφορα υλικά σώματα αποτελούνται από μικρότατα σωματίδια ύλης όπως είναι τα μόρια ,τα άτομα ή τα κύτταρα των φυτικών υλικών που μέσα σε αυτά εμπεριέχεται νερό και αέρας ,μεταξύ των οποίων ασκούνται δυνάμεις συνοχής .Οι δυνάμεις αυτές εκδηλώνονται σαν αντίσταση του υλικού εναντίον των επιβαλλόμενων εξωτερικών δυνάμεων ,οι οποίες τείνουν να του προκαλέσουν παραμόρφωση ή ακόμα και λύση της συνεχείας του ,δηλαδή θραύση .

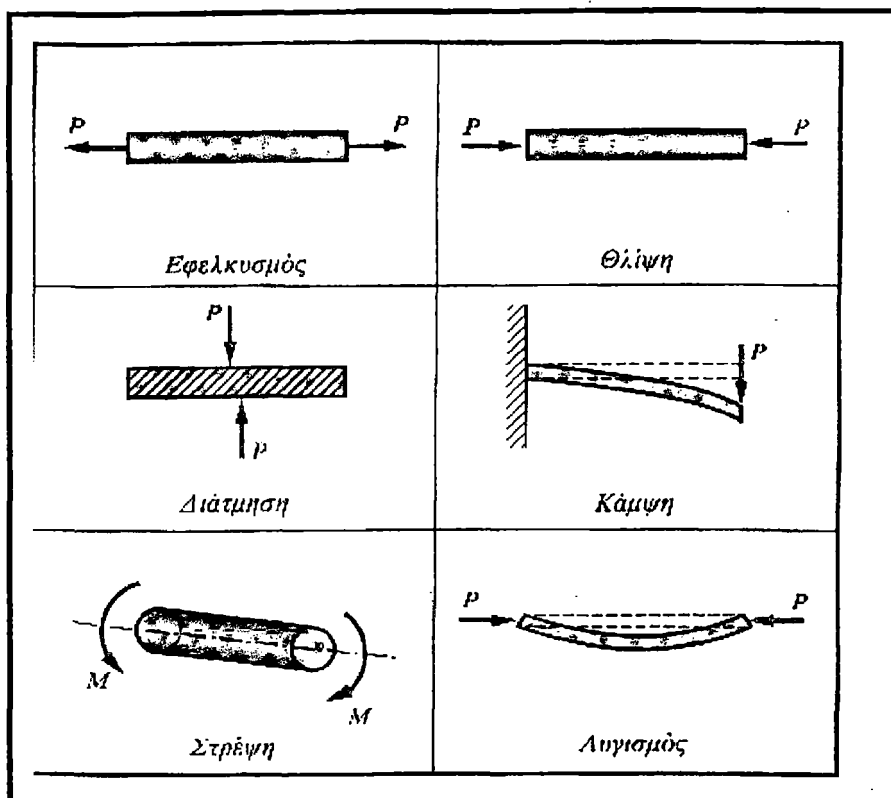
Εφόσον η πάλη αυτή μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών δυνάμεων συνοχής δε φτάσει μέχρι και τη θραύση του υλικού ,μπορούμε να δεχτούμε ότι επέρχεται μια ισορροπία μεταξύ τους .Στην ισορροπία αυτή αντιστοιχεί μια μονοσήμαντη κατάσταση εσωτερικής έντασης .Στην περίπτωση αυτή λέμε ,ότι το υλικό σώμα βρίσκεται σε εντατική κατάσταση ,ή ότι καταπονείται .

Οι εξωτερικές δυνάμεις επενεργούν στα σώματα με διάφορους τρόπους και προκαλούν διάφορα είδη απλών αλλά και σύνθετων καταπονήσεων .

Τα είδη των απλών καταπονήσεων είναι τα παρακάτω :

- **Εφελκυσμός** : Ένα σώμα καταπονείται σε εφελκυσμό ,όταν επενεργούν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το διασπάσουν .
- **Θλίψη** : Ένα σώμα καταπονείται σε θλίψη ,όταν επάνω του επενεργούν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το συνθλίβουν .
- **Διάτμηση** : Ένα σώμα καταπονείται σε διάτμηση ,όταν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις επενεργούν κάθετα στον άξονά του .
- **Κάμψη** : Ένα σώμα καταπονείται σε κάμψη ,όταν οι δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονά του .Αναπτύσσονται τότε ροπές κάμψης και προκαλείται καμπύλωση της δοκού .
- **Στρέψη** : Ένα σώμα καταπονείται σε στρέψη ,όταν οι δυνάμεις αποτελούν ζεύγος με επίπεδο κάθετο άξονά του ,το οποίο τείνουν να περιστρέψουν .
- **Λυγισμός** : Ο λυγισμός από άποψη δράσης των δυνάμεων μοιάζει με τη θλίψη ,ενώ από άποψη παραμορφώσεων μοιάζει με την κάμψη .Τελικά όμως διαφέρει αρκετά και από τις δυο προηγούμενες ,αποτελώντας ιδιαίτερο τρόπο καταπόνησης ,η οποία μάλιστα ,είναι πολύ επικίνδυνη στις κατασκευές .

Τα είδη των καταπονήσεων που αναφέραμε παραπάνω φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

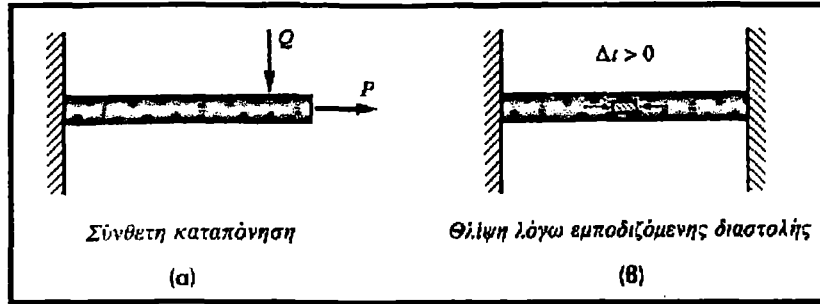


ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 Τα διάφορα είδη των απλών καταπονήσεων

**Σύνθετες καταπονήσεις :** Ένα σώμα ,είναι δυνατό να φορτίζεται με συνδυασμό δύο ,ή και περισσότερων απλών καταπονήσεων ,οπότε η προκύπτουσα καταπόνηση ονομάζεται **σύνθετη** .

Συχνά συναντώνται εφελκυσμός και κάμψη συγχρόνως (Εικόνα 4.1.α) ,στρέψη και κάμψη ,εφελκυσμός και διάτμηση ,ή και συνδυασμός περισσότερων από δύο είδη καταπονήσεων .Ένα σώμα εκτός από εξωτερικές δυνάμεις ,μπορεί να καταπονείται και από άλλες αιτίες ,όπως είναι η θερμοκρασιακή μεταβολή ,οι γεωμετρικοί καταναγκασμοί που προέρχονται από κατασκευαστική ατέλεια .

Έτσι αν εμποδίζεται η ελεύθερη διαστολή της ράβδου ή του φυτικού υλικού, λόγω αύξησης ( $\Delta t > 0$ ) της θερμοκρασίας (Εικόνα 4.1.β) ,αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να αναπτύσσονται θλιπτικές δυνάμεις στις δύο στηρίξεις της ,όπως θα δούμε αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο .



ΣΧΗΜΑ 4.2

A. Σύνθετη καταπόνηση

B. Θλίψη λόγω εμποδιζόμενης διαστολής



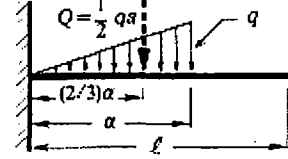
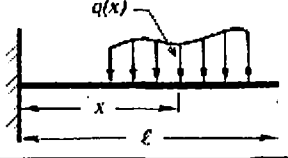

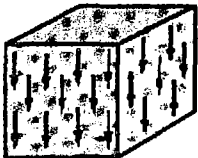
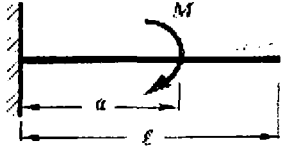
#### 4.5. ΕΙΔΗ ΦΟΡΤΙΩΝ

Οι δυνάμεις που δρουν στην εξωτερική επιφάνεια ενός παραμορφώσιμου σώματος, όπως αναφέραμε και παραπάνω λέγονται εξωτερικές δυνάμεις.

Οι εξωτερικές δυνάμεις αναφέρονται και σαν συνοριακές δυνάμεις επειδή δρουν στα εξωτερικά σύνορα (όρια) του σώματος.

Τα εξωτερικά φορτία (δυνάμεις ή ροπές) που ασκούνται σε ένα φορέα ή σε μια κατασκευή γενικότερα, διακρίνονται σε :

- Ημιστατικά φορτία, όταν αυξάνουν ομαλά, διατηρούν σταθερή τιμή για ένα χρονικό διάστημα και στη συνέχεια απομακρύνονται.
- Μόνιμα ή πάγια φορτία, όταν καταπονούν μόνιμα μία κατασκευή ή ένα υλικό. Σαν τέτοιο φορτίο χαρακτηρίζεται το ίδιο βάρος της κατασκευής ή του φυτικού υλικού.
- Κρουστικά φορτία, όταν δρουν απότομα με όλη τους την ένταση επάνω σε μια κατασκευή. Τέτοια φορτία προκύπτουν για μια γέφυρα, όταν οι δύο πρώτοι τροχοί του τρένου εισέρχονται σε αυτή. Το αποτέλεσμα τέτοιων φορτίων είναι η διάδοση τάσεων κυματικής μορφής και αποτελούν έντονη εντατική κατάσταση.
- Εναλλασσόμενα φορτία, όταν μεταβάλλονται ομαλά με την πάροδο του χρόνου. Τα φορτία αυτά έχουν συνήθως σταθερή περίοδο και αποτελούν επίσης έντονη καταπόνηση για την κατασκευή. Η καταπόνηση αυτή ονομάζεται δυναμική. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η κεφαλή των εμβόλων μιας πετρελαιομηχανής που περιστρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών.

Χαρακτηρισμός φορτίου	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης
Συγκεντρωμένο ή σημειακό φορτίο		N , Kp , t
Ομοιόμορφη κατανομή φορτίου		N/m , Kp/m , t/m
Τριγωνική κατανομή φορτίου		N/m , Kp/m , t/m
Ανομοιόμορφη κατανομή φορτίου		N/m , Kp/m , t/m
Επιφανειακά καταναμημένο φορτίο		N/m <sup>2</sup> , Kp/m <sup>2</sup> , t/m <sup>2</sup>
Χωρικά καταναμημένο φορτίο		KN/m <sup>3</sup> , t/m <sup>3</sup>
Συγκεντρωμένη ροπή		Nm , Kpm , tm

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 Απεικόνιση διάφορων ειδών φορτίων με σημειωμένες και τις μονάδες μέτρησής τους .

Τα εξωτερικά φορτία ,ανάλογα με τον τρόπο που δρουν σε ένα σώμα ,διακρίνονται σε:

- Συγκεντρωμένα φορτία ή συγκεντρωμένες δυνάμεις ,όταν ασκούν σε πολύ μικρή περιοχή του σώματος ,που πρακτικά θεωρούμε σημείο ,γι' αυτό ονομάζονται και σημειακά φορτία .Τέτοιου είδους δυνάμεις προκύπτουν για παράδειγμα ,από την πίεση του τροχού του τραίνου επάνω σε μια γραμμή (δοκό) .
- Κατανεμημένα φορτία ,όταν ασκούνται σε μια ορισμένη περιοχή του σώματος .Η κατανομή των φορτίων αυτών ,μπορεί να είναι ομοιόμορφη ,τριγωνική ,τραπεζοειδής (που προκύπτει από το άθροισμα της ομοιόμορφης και της τριγωνικής) ,παραβολική .Τα ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία ,για υπολογιστικούς και μόνο λόγους ,μπορούν να θεωρηθούν σαν συγκεντρωμένα που ασκούνται στο μέσο του μήκους που επενεργούν .Αν η κατανομή είναι τριγωνική δρουν στο  $1/3$  (ή και στα  $2/3$  ανάλογα) του μήκους που επενεργούν .
- Επιφανειακά κατανεμημένα φορτία ,όπως είναι το ίδιο βάρος των επιφανειών ,το βάρος του χιονιού πάνω στη μηδική για παράδειγμα ,καθώς επίσης και φορτία κατανεμημένα σε όλο τον όγκο (χώρο) του σώματος που χαρακτηρίζονται σαν χωρικά κατανεμημένα φορτία .Τέτοιο βάρος είναι το ειδικό βάρος ενός ομογενούς σώματος .

Εκτός από τα παραπάνω είδη φορτίων ,ένα σώμα μπορεί επίσης να φορτίζεται και από την εξωτερική ροπή ,που συνήθως μετριέται σε  $[N \cdot m , \text{tm}]$  .

Υπενθυμίζουμε ακόμη ότι εκτός από τις εξωτερικές δυνάμεις και ροπές ,ασκούνται επιπλέον στα σώματα και οι αντιδράσεις ,που εξαρτώνται από τους διάφορους τρόπους στήριξης του σώματος .

Οι εξωτερικές δυνάμεις διακρίνονται πολλές φορές και ανάλογα με το είδος της καταπόνησης που επιφέρουν στο σώμα .Έτσι ,μια αξονική δύναμη χαρακτηρίζεται και σαν εφελκυστική ή θλιπτική αν καταπονεί το σώμα σε εφελκυσμό ή θλίψη αντίστοιχα ,ενώ μια δύναμη που καταπονεί ένα σώμα σε διάτμηση χαρακτηρίζεται σαν διατμητική δύναμη .Επίσης ,αν οι δυνάμεις τείνουν να περιστρέψουν το σώμα ,χαρακτηρίζονται σαν στρεπτικές δυνάμεις ,ενώ αν καταπονούν ένα σώμα σε κάμψη αναφέρονται και σαν καμπτικές δυνάμεις .

#### 4.6. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπως είναι γνωστό ,μακροσκοπικές ονομάζονται οι ιδιότητες ενός υλικού σε επίπεδο δομικών λίθων (μόρια, άτομα, κύτταρα) .

Οι μακροσκοπικές ιδιότητες αποτελούν τις μέσες ιδιότητες που παρουσιάζει ένα υλικό στις συνήθεις εφαρμογές και οι οποίες αφορούν το σύνολο του σώματος και όχι μόνο ένα τμήμα του ,πολύ δε περισσότερο τα μόρια ή τα άτομά του το καθένα ξεχωριστά .Στην επιστήμη της μηχανικής όμως μας ενδιαφέρει προφανώς η γνώση των ιδιοτήτων των διαφόρων σωμάτων σε μακροσκοπικό μόνο επίπεδο .

Ισότροπο λέγεται το υλικό εκείνο που παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στη μάζα του .Αν οι ιδιότητες του υλικού εξαρτώνται από την διεύθυνση ,τότε ονομάζεται ανισότροπο .

Ανισότροπο υλικό είναι το ξύλο ,το οποίο παρουσιάζει άλλες μηχανικές ιδιότητες σε διεύθυνση παράλληλα στις ίνες του και άλλες εγκάρσια .

Ομογενές ονομάζεται το υλικό που παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες σε όλα τα σημεία της μάζας του .

Έτσι ,η ομογένεια εξασφαλίζει τις ίδιες ιδιότητες του υλικού από σημείο σε σημείο του ,ενώ η ισοτροπία εξασφαλίζει τις ίδιες ιδιότητες κατά τις διάφορες διευθύνσεις του .

Συνεχές ονομάζεται ένα υλικό που τα στοιχεία μέσα σε αυτό (κύτταρα) είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους ,έτσι ώστε το σώμα να μην παρουσιάζει κενά ή άλλες ασυνέχειες μέσα στη μάζα του ,διαφορετικά ονομάζεται ασυνεχές .

Η αντοχή των υλικών υποθέτει ότι όλα τα σώματα είναι ισότροπα ,ομογενή και συνεχή .

Υποθέτει επίσης ,ότι οι επιβαλλόμενες εξωτερικές δυνάμεις αυξάνουν πολύ αργά έτσι ώστε ,να μπορούν να θεωρηθούν στατικές ή ημιστατικές ,σε διάκριση με τις δυναμικές και τις πληκτικές δυνάμεις οι οποίες οδηγούν σε ταλαντώσεις και σε άλλα δυναμικά φαινόμενα .

Δέχεται επίσης ότι στα διάφορα φυτικά υλικά ,οι παραμορφώσεις επέρχονται ή αναιρούνται αμέσως μετά την επιβολή ή την αφαίρεση των εξωτερικών φορτίων ,διαφορετικά λέμε ότι έχουμε το φαινόμενο της υστέρησης .

Δέχεται τέλος ότι κατά την έναρξη της φόρτισης δεν προϋπάρχουν εσωτερικές δυνάμεις ή τάσεις εντός του σώματος ,είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με τις διαστάσεις του .

#### 4.7. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Ας επιμείνουμε όμως λίγο στην κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης των εσωτερικών δυνάμεων σε μικροσκοπική κλίμακα .

Κατά τη μελέτη των διαφόρων προβλημάτων της στατικής του απαραμόρφωτου στερεού σώματος ,οι εσωτερικές δυνάμεις δεν υπεισέρχονται στις διάφορες σχέσεις οι οποίες προκύπτουν από την εφαρμογή των συνθηκών ισορροπίας ,επειδή αυτές σύμφωνα με το νόμο της δράσης – αντίδρασης ,εμφανίζονται πάντοτε ως ζεύγη ίσων και αντίθετων συννευθιακών δυνάμεων και επομένως αναιρούνται μεταξύ τους .

Οι εσωτερικές δυνάμεις ασκούνται μεταξύ των δομικών στοιχείων ενός σώματος ,ακόμη και όταν δεν ασκούνται στο σώμα εξωτερικές δυνάμεις .Στην περίπτωση αυτή ,οι δυνάμεις συνοχής (ή και αλληλεπίδρασης) είναι εκείνες οι οποίες εξασφαλίζουν τη στερεότητα και τη συνοχή του σώματος .Στην πτυχιακή αυτή εργασία δεν θα ασχοληθούμε περαιτέρω με τις δυνάμεις αυτές .

Με την επενέργεια όμως εξωτερικών δυνάμεων κάθε πραγματικό σώμα παραμορφώνεται .Δηλαδή ,η μεταξύ των μορίων του αποστάσεις μεταβάλλονται .Το σώμα ανθίσταται στη μεταβολή αυτή της μορφής του ,με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν πρόσθετες εσωτερικές δυνάμεις ,οι οποίες τείνουν να επαναφέρουν το σώμα στην αρχική του μορφή .

Οι εσωτερικές δυνάμεις που οφείλονται στις παραμορφώσεις του σώματος ονομάζονται εσωτερικές τάσεις και προέρχονται όπως ήδη αναφέραμε ,από την αλληλεπίδραση των μορίων του σώματος .

Θα πρέπει να αναφέρουμε το γεγονός ,ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων του σώματος είναι μικρής ακτινικής δράσης .Η επίδρασή τους αυτή εκτείνεται μόνο στη μικρή περιοχή του μορίου ,το οποίο θεωρείται σε ακτίνα ίση περίπου με τη μεταξύ των μορίων απόσταση .Επομένως αν θεωρήσουμε τμήματα του σώματος αρκετά μεγάλα συγκρινόμενα με τα μόριά του ,μπορούμε να πούμε ότι ,πρακτικά η ακτίνα δράσης των εσωτερικών αυτών δυνάμεων ισούται με το μηδέν ,δηλαδή οι μεταξύ δύο τμημάτων του σώματος ασκούμενες δυνάμεις ενεργούν μόνο στην επιφάνεια διαχωρισμού τους .

Στην περίπτωση που η μεταξύ των μορίων απόσταση ,λόγω των εξωτερικών δυνάμεων αυξηθεί ,η αναπτυσσόμενη τότε πρόσθετη εσωτερική δύναμη αντιστεκόμενη στη μεταβολή αυτή θα έχει ελκτική φορά μεταξύ των μορίων (δηλαδή αυτά θα έλκονται ακόμα περισσότερο) ,αν δε η μεταξύ των μορίων απόσταση ελαττωθεί λόγω θλιπτικών εξωτερικών δυνάμεων ,η πρόσθετη εσωτερική δύναμη θα έχει φορά απωστική μεταξύ των μορίων .

Η κατανομή των εσωτερικών τάσεων στην επιφάνεια διαχωρισμού ,είναι γενικά ανομοιόμορφη και συνεχής .Σημειώνουμε όμως ,ότι για τους διάφορους τεχνικούς υπολογισμούς δεχόμαστε ότι η κατανομή αυτή είναι ομοιόμορφη .



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**  
**ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ – ΘΛΙΨΗ**

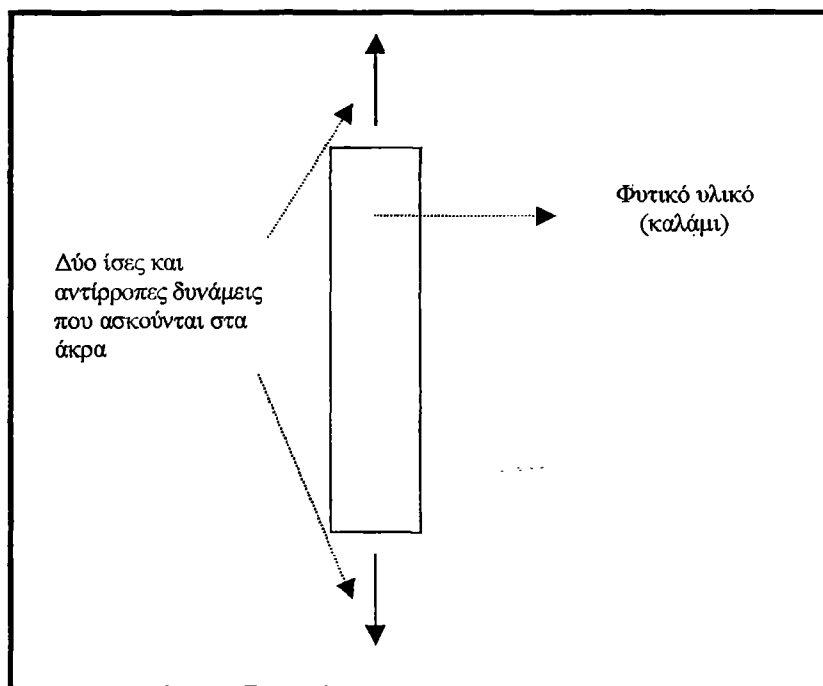
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ – ΘΛΙΨΗ

#### 5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε όλα τα συγγράμματα οι μηχανικές καταπονήσεις του εφελκυσμού καθώς επίσης και της θλίψης αναφέρονται μαζί ,για ευνόητους λόγους .Σε αυτή εδώ την εργασία μας ενδιαφέρει πάρα πολύ η μηχανική καταπόνηση του εφελκυσμού επειδή είναι μια από τις καταπονήσεις που ασκήσαμε στο εργαστήριο που σαν σκοπό έχει την εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων όσων αφορά την συμπεριφορά των φυτικών υλικών κατά την διάρκεια της μηχανικής αυτής καταπόνησης.

Λέγοντας εφελκυσμό εννοούμε την εφαρμογή δύο αντίθετων δυνάμεων σε ένα υλικό η οποία ασκείται από τα άκρα αυτού ,όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα :



Η μηχανική καταπόνηση του εφελκυσμού είναι ίσες μια από τις σημαντικότερες όσων αφορά τον χώρο της γεωργίας και ειδικότερα τον κλάδο της γεωργικής μηχανολογίας .

Όλα τα γεωργικά μηχανήματα ασκούν μια καταπόνηση πάνω στο έδαφος ,στο φυτό κτλ .Για παράδειγμα την ώρα που οργώνουμε ασκείται από το άροτρο συμπίεση και στη συνέχεια η μηχανική καταπόνηση της διάτμησης .Η θεριζοαλωνιστική όταν συλλέγει το καλαμπόκι εφαρμόζει ψαλιδισμό ,δηλαδή διάτμηση επάνω στο στέλεχος του καλαμποκιού .Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε πόσο σημαντική είναι η μελέτη αυτών των μηχανικών καταπονήσεων .

Όσον αφορά την μηχανική καταπόνηση του εφελκυσμού θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο όπου περιγράφουμε το πείραμα και ειδικότερα την καταπόνηση σε εφελκυσμό στελέχους καλαμιάς ,διάφορων ιδιοτήτων ,και θα αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα .

## ***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6***

### ***ΚΑΜΨΗ***

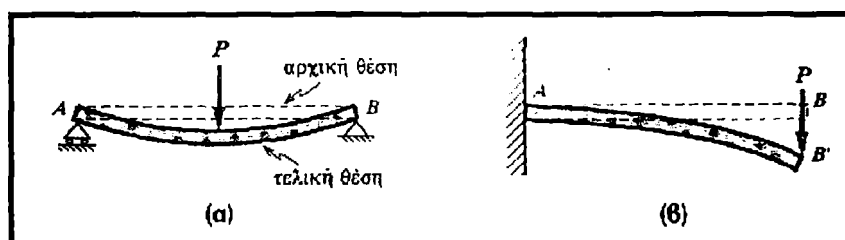
ΔΕΔΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6.1. ΚΑΜΨΗ

Όπως είναι γνωστό, η στατική μελετά την ισορροπία οποιουδήποτε φορέα που δέχεται φορτίσεις και υπολογίζει τις αντιδράσεις καθώς και τις εσωτερικές δυνάμεις, υποθέτοντας πάντα ότι τα σώματα παραμένουν απαραμόρφωτα κατά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων. Η αντοχή των υλικών αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της στατικής και λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη τις προκαλούμενες παραμορφώσεις, υπολογίζει τις απαιτούμενες διαστάσεις του φορέα, έτσι ώστε αυτός να είναι σε θέση να παραλάβει με ασφάλεια τα φορτία που δέχεται.

Η εντατική κατάσταση στην οποία βρίσκεται μία δοκός, που υποβάλλεται σε εγκάρσια φόρτιση, λέγεται κάμψη. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα.



ΕΙΚΟΝΑ 6.1 Παραμόρφωση δοκών λόγω εγκάρσιου εξωτερικού φορτίου

Το φαινόμενο αυτό της καταπόνησης της δοκού, ονομάζεται κάμψη. Η κάμψη παρατηρείται σε προβόλους, σε αμφιέρειστες, σε μονοπρόεχουσες, σε αμφιπρόεχουσες, δοκούς και γενικότερα σε πάρα πολλές τεχνικές κατασκευές ή φυτικά υλικά, που συναντάμε στην πράξη.

Όπως θα δούμε στα επόμενα κατά την καταπόνηση σε κάμψη αναπτύσσονται καμπτικές ροπές, οι οποίες προκαλούν την καμπύλωση του υλικού και την δημιουργία τάσεων εντός του υλικού της. Έτσι λοιπόν με την έννοια κάμψη εννοούμε τόσο τις αναπτυσσόμενες τάσεις, όσο και τις προκαλούμενες παραμορφώσεις που ονομάζονται συνήθως βέλη κάμψης.

## 6.2. ΚΑΘΑΡΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Για να γίνει ποιο κατανοητή η μηχανική καταπόνηση της κάμψης θα αναφέρουμε και παραδείγματα με βάση τις δοκούς όπου συνηθίζεται να χρησιμοποιείται στην μηχανική και την αντοχή των υλικών .Εννοείτε ότι ισχύει και για το φυτικό υλικό ,αν ήταν στη θέση της δοκού .

Τονίζουμε ότι με την έννοια φορτία εννοούμε τόσο δυνάμεις ,όσο και ροπές ,η ύπαρξη των οποίων δημιουργεί την αξονική δύναμη ,την τέμνουσα δύναμη καθώς και την καμπτική ροπή σε κάθε διατομή μιας φορτιζόμενης δοκού .

Όταν σε μια δοκό (φυτικό υλικό) επενεργεί είτε εγκάρσια δύναμη είτε καμπτική ροπή (ή και τα δύο συγχρόνως) ,τότε η δοκός θα καμπλωθεί και το υλικό της θα βρεθεί σε εντατική κατάσταση ,που από κοινού λέγονται κάμψη .

Η καταπόνηση σε κάμψη διακρίνεται σε δύο είδη :

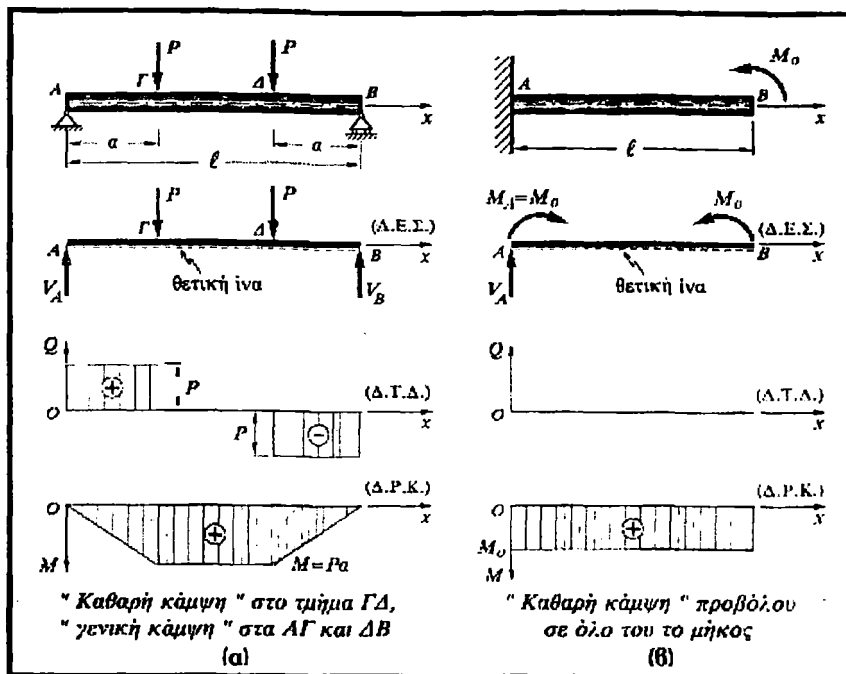
1. Στην καθαρή κάμψη ,κατά την οποία στη δοκό (φυτικό υλικό) ή σε τμήμα της εμφανίζεται μόνο καμπτική ροπή ( $N=Q=M_t=0$  ,  $M_b \neq 0$ )
2. Στη γενική κάμψη ,κατά την οποία εμφανίζεται εκτός της καμπτικής ροπής και τέμνουσα δύναμη ( $M_b$  ,  $Q \neq 0$ )

Με βάση το παρακάτω παράδειγμα γίνονται καλύτερα αντιληπτά τα δύο αυτά είδη κάμψης .Έστω λοιπόν η αμφιέριστη δοκός AB μήκους  $l$  ,στην οποία επενεργούν δύο ίσα φορτία  $P$  ,σε ίσες όμως αποστάσεις  $a$  από τις δύο στηρίξεις (Σχήμα 6.2.α) .

Με βάση τις συνθήκες της στατικής ισορροπίας υπολογίζουμε τις αντιδράσεις ( $V_A$  ,  $V_B$ ) που λόγω συμμετρίας είναι ( $V_A=V_B=P$ ) .Σχεδιάζουμε κατόπιν τα διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων (Δ.Τ.Δ.) και ροπών κάμψης (Δ.Ρ.Κ.) .

Παρατηρούμε από τα διαγράμματα (Δ.Τ.Δ.) και (Δ.Ρ.Κ.) ,ότι :

- Στο τμήμα ΓΔ της δοκού δεν εμφανίζεται τέμνουσα δύναμη  $Q$  (δηλαδή  $Q=0$ ) ,αλλά μόνο καμπτική ροπή με σταθερή τιμή ίση με  $M=Pa$  .Στο τμήμα ΓΔ της δοκού ,λέμε ότι έχουμε την περίπτωση της καθαρής κάμψης .
- Στα τμήματα ΑΓ και ΔΒ εκτός της καμπτικής ροπής (που έχει μεταβλητή τιμή) συνυπάρχει και τέμνουσα δύναμη  $Q=P$  .Για τα δύο αυτά τμήματα της δοκού (φυτικού υλικού) έχουμε την περίπτωση της γενικής κάμψης ,που για λόγους συντομίας θα την ονομάζουμε απλά κάμψη .Η περίπτωση της καθαρής κάμψης φαίνεται στο σχήμα 6.2.β .



ΣΧΗΜΑ 6.2

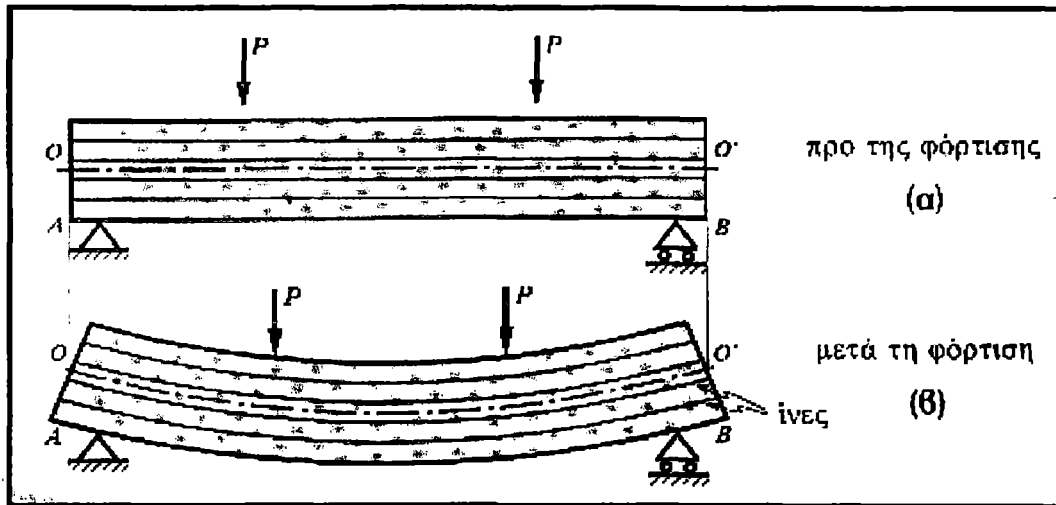
Α. Καθαρή κάμψη στο τμήμα ΓΔ, Γενική κάμψη στα ΑΓ και ΔΒ  
 Β. Καθαρή κάμψη προβόλου σε όλο του το μήκος

Επομένως οι εσωτερικές δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την καταπόνηση σε κάμψη, είναι γενικά τέμνουσες δυνάμεις και καμπτικές ροπές.

### 6.3. ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ

Θεωρούμε ένα φυτικό υλικό (καλαμιά) το οποίο το στηρίζουμε στις δύο άκρες του και του οποίου δεν του ασκείται φορτίο. Τότε άξονάς του  $OO'$  είναι ευθύγραμμος, εφόσον βέβαια αμελήσουμε το ίδιο βάρος της. Όταν όμως επενεργήσουν δυνάμεις κάθετες ως προς τον άξονά του (εγκάρσιες) ή ροπές κάμψης, τότε το καλάμι θα υποστεί καμπύλωση και ο άξονάς του  $OO'$  θα πάρει τη μορφή της καμπύλης γραμμής.

Για να γίνει ποιο κατανοητό το φαινόμενο της κάμψης δεχόμαστε για ευκολία δεχόμαστε και σημειώνουμε τη δέσμη αλληλένδετων ινών ,που είναι διατεταγμένες κατά οριζόντια και παράλληλα μεταξύ τους στρώματα ,όπως φαίνεται μεγενθυμένα στο (Σχήμα 6.3.α) .Κάνοντας λοιπόν την εξομοίωση του καλάμιού παρατηρούμε στο (Σχήμα 6.3.β) παρατηρούμε ότι κατά την καμπύλωση του άξονα  $OO'$  επέρχεται επιβράχυνση των ανώτερων ινών με ταυτόχρονη επιμήκυνση των κατώτερων .Επομένως οι ίνες που βρίσκονται άνω του άξονα του καλάμιού καταπονούνται σε θλίψη ,ενώ αυτές που βρίσκονται κάτω σε εφελκυσμό .



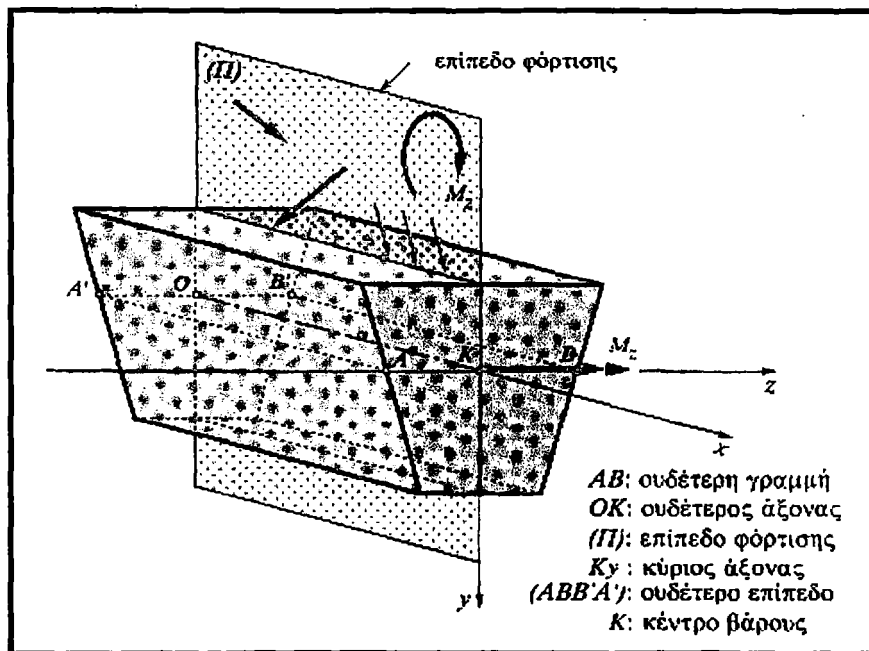
ΣΧΗΜΑ 6.3 Εξομοίωση καλάμιού ,με επάλληλα στρώματα ινών παράλληλα μεταξύ τους

Επειδή όμως το υλικό του καλάμιού δεν παρουσιάζει κενά εντός της μάζας του ,η παραμόρφωση είναι συνεχής και επομένως η μετάβαση από το φαινόμενο της θλίψης στο φαινόμενο του εφελκυσμού γίνεται βαθμιαία και όχι απότομα .Δηλαδή σε ενδιάμεσες θέσεις της διατομής υπάρχουν ίνες που δεν υφίστανται καμία μεταβολή στο μήκος τους οπότε δεν καταπονούνται ούτε σε εφελκυσμό ούτε σε θλίψη αλλά σε διάτμηση η οποία πραγματοποιείται κατά την ολίσθηση κάθε οριζόντιου στρώματος σε σχέση με τα εκατέρωθέν του .

Επομένως η κάμψη είναι μια καταπόνηση η οποία αναλύεται σε εφελκυσμό ,θλίψη και διάτμηση .



Οι ίνες που δεν καταπονούνται ούτε σε εφελκυσμό ούτε σε θλίψη αλλά μόνο σε διάτμηση ονομάζονται ουδέτερες ίνες και το επίπεδο που αποτελούν ονομάζεται ουδέτερο επίπεδο ή ουδέτερη στρώση ( $ABB'A'$ ). Η τομή  $OK$  του ουδέτερου αυτού επιπέδου ,με το επίπεδο συμμετρίας ( $xy$ ) της δοκού καλείται ουδέτερος άξονας που είναι ο άξονας ( $x$ ) .Το ίχνος του ουδέτερου επιπέδου σε μια διατομή της δοκού ονομάζεται ουδέτερη γραμμή ,όπως είναι η  $AB$  στο (Σχήμα 6.4) .



Σχήμα 6.4 Επίπεδο φόρτισης και ουδέτερη γραμμή μιας καμπτόμενης δοκού

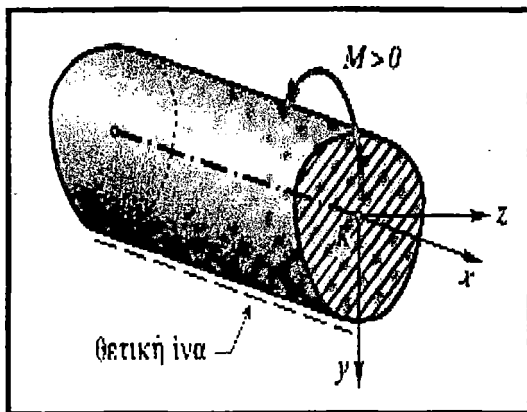
Πρέπει να σημειωθεί ότι τα εξωτερικά φορτία που δρουν στη δοκό βρίσκονται στο επίπεδο φόρτισης ( $\Pi$ ) (που αναφέρεται και σαν καμπτικό επίπεδο) ,το οποίο περιέχει το διαμήκη κεντροβαρικό άξονα ( $Kx$ ) της δοκού καθώς και ένα κύριο άξονα αδράνειας της διατομής .Στη προκειμένη περίπτωση ,κύριος είναι ο άξονας ( $y$ ) επειδή είναι άξονας συμμετρίας της διατομής .Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το διάνυσμα της ροπής κάμψης να βρίσκεται επάνω στον άλλο κεντροβαρικό άξονα αδράνειας της διατομής και να είναι προφανώς κάθετο στο επίπεδο φόρτισης .

Υπενθυμίζουμε ότι η καμπτική ροπή ( $M$ ) είναι διάνυσμα ,που ορίζεται από το εξωτερικό γινόμενο του διανύσματος θέσης ( $r$ ) επί τη δύναμη  $P$  ,είναι δηλαδή  $M = r \times P$

Με διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο των διανυσμάτων ( $r$ ) και ( $P$ ) και φορά που προκύπτει από τον "κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία".

Τη ροπή κάμψης της συμβολίζουμε με δύο βέλη ,κάθετο στο επίπεδο φόρτισης ,ή και διαφορετικά ,σαν καμπύλο διάνυσμα που περιέχεται όμως στο επίπεδο φόρτισης της δοκού (Σχήμα 6.4) .

Παρατηρούμε επιπλέον ότι από το ίδιο σχήμα ,ότι το διάνυσμα της καμπτικής ροπής κείται στον άξονα (  $K_z$  ) .Γενικότερα όμως επειδή η καμπτική ροπή μεταβάλλεται κατά μήκος της δοκού ,εξαρτάται δηλαδή από την τυχαία απόσταση (  $x$  ) ,έχει επικρατήσει να τη συμβολίζουμε απλά (  $M_z$  ) και όχι  $M_z(x)$  όπως ακριβέστερα θα έπρεπε.



ΣΧΗΜΑ 6.5 Καθορισμός συστήματος αξόνων

Για τη μελέτη της κάμψης στο εξής θα θεωρούμε το σύστημα αξόνων (  $Kxyz$  ) ,έτσι όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα όπου (  $K$  ) είναι το κέντρο βάρους της διατομής .Πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα αυτό κείται στο επίπεδο της διατομής και επιπλέον ο άξονας  $K_z$  συμπίπτει με την ουδέτερη γραμμή ,ενώ ο άξονας  $K_x$  συμπίπτει με το διαμήκη άξονα της δοκού ,που είναι συγχρόνως και ο ουδέτερος άξονας .

Το επίπεδο συμμετρίας  $Kxy$  δοκού συμπίπτει με το επίπεδο φόρτισής της ,εντός του οποίου επενεργούν όλα τα εξωτερικά φορτία .

Επειδή οι εξεταζόμενες διατομές πρέπει να έχουν έναν τουλάχιστον άξονα συμμετρίας ( άρα το  $K$  κείται επάνω σε αυτόν ) ,ο άξονας αυτός θα είναι βέβαια και κύριος κεντροβαρικός άξονας αδράνειας .Προφανώς οι κεντροβαρικοί άξονες κάθε διατομής είναι οι  $K_y$  και  $K_z$  .

Προκειμένου να μελετηθεί αναλυτικά η καταπόνηση σε κάμψη θα κάνουμε κάποιες παραδοχές οι οποίες ισχύουν γενικά στη μηχανική .Μερικές από αυτές ισχύουν και για την δική μας υπόθεση που θέλουμε να καταπονήσουμε σε κάμψη ένα φυτικό υλικό .

- Ο διαμήκης άξονας της δοκού είναι ευθύγραμμος .
- Οι γραμμικές διαστάσεις της διατομής είναι μικρές συγκρινόμενες με το μήκος της δοκού .
- Η διατομή της δοκού έχει έναν τουλάχιστον άξονα συμμετρίας ,που περιέχεται στο επίπεδο φόρτισης .
- Ισχύει η υπόθεση των Bernoulli – Navier κατά την οποία :  
Κάθε διατομή επίπεδη και κάθετη στον άξονα της δοκού πριν την παραμόρφωση , παραμένει επίπεδη και κάθετη και μετά από αυτήν .
- Ισχύει ο νόμος του Hooke ,δηλαδή οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι μικρότερες από το όριο αναλογίας του υλικού .
- Όλα τα φορτία ενεργούν κάθετα στον άξονα της δοκού και βρίσκονται μέσα στο επίπεδο φόρτισης .Το επίπεδο φόρτισης ,ή περιέχει τον άξονα συμμετρίας της διατομής ή είναι κάθετο σε αυτόν .
- Η ροπή κάμψης θεωρείται θετική ,όταν τείνει να εφελκύσει την ίνα αναφοράς που λαμβάνεται η κατώτερη .(Σχήμα 6.4 ,Σχήμα 6.5) .

#### 6.4. ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ

Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν τη συμπεριφορά του φυτικού υλικού κατά την κάμψη είναι ,η αποτυχία του φυτού λόγω στρες ,η ελαστικότητά του κατά την καταπόνηση της κάμψης και η ενέργεια που απαιτείται για να ασκήσουμε την κάμψη .

Η αποτυχία του φυτού λόγω στρες ( $\sigma_b$ ) μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση :

$$\sigma_b = \frac{M_y}{I} \quad \text{και} \quad M = F_b \times L$$

Όπου :

$M$  – Η μέγιστη τάση της κάμψης όπου πραγματοποιείται η αποτυχία του φυτικού υλικού .

$y$  – Είναι η απόσταση της πιο εξωτερικής ίνας από τον ουδέτερο άξονα ,δηλαδή η ίνα που βρίσκεται στα τοιχώματα του φυτικού υλικού .

$I$  – Είναι το δεύτερο κομμάτι της περιοχής του στελέχους του φυτικού υλικού από την τομή .

$F_b$  – Είναι η μέγιστη δύναμη κάμψης όπου έχουμε σαν τελικό αποτέλεσμα την αποκοπή.

$L$  – Είναι το σημείο όπου ασκείται η καταπόνηση της κάμψης .

Ο τύπος που μας δίνει το αποτέλεσμα της ελαστικότητας της μηχανικής καταπόνησης για τα φυτικά υλικά είναι :

$$\sigma_{mb} = \frac{F_b L^3}{3 DI}$$

Όπου :

$\sigma_{mb}$  – Είναι ο συντελεστής ελαστικότητας για την κάμψη

$D$  – Είναι η αντίδραση στο σημείο όπου ασκείται η δύναμη

Η ενέργεια της κάμψης μπορεί να υπολογιστεί αν λάβουμε υπόψιν τα αποτελέσματα από τις παραπάνω εξισώσεις και εφαρμόσουμε τον ακόλουθο τύπο :

$$E_b = \frac{1}{A} \int F_b dx = \frac{nf}{A}$$

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**  
**ΔΙΑΤΜΗΣΗ**

ΔΕΛΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7.1. ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Όταν σε μια ράβδο ασκείται κεντρική δύναμη (  $P$  ) που σχηματίζει γωνία (  $\varphi$  ) με τον άξονά της ,τότε κατά τα γνωστά ,μπορούμε να αναλύσουμε τη δύναμη (  $P$  ) σε δύο συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους .Στη συνιστώσα (  $N$  ) που ονομάζεται ορθή ή κάθετη δύναμη στη διατομή (  $F$  ) και στη συνιστώσα (  $Q$  ) η οποία κείται στο επίπεδο της διατομής της ράβδου και καλείται διατμητική ή και τέμνουσα δύναμη .

Γνωρίζουμε επίσης ότι η ορθή τάση (  $\sigma$  ) και η διατμητική ή εγκάρσια τάση (  $\tau$  ) ,ορίζονται αντίστοιχα από τις σχέσεις :

$$\boxed{\sigma = \frac{N}{F}} \qquad \boxed{\tau = \frac{Q}{F}} \qquad (7.1)$$

Η διατμητική τάση (  $\tau$  ) ισούται με το πηλίκο της διατμητικής δύναμης (  $Q$  ) προς το εμβαδόν της διατομής (  $F$  ) στο επίπεδο της οποίας περιέχεται η (  $Q$  ) .

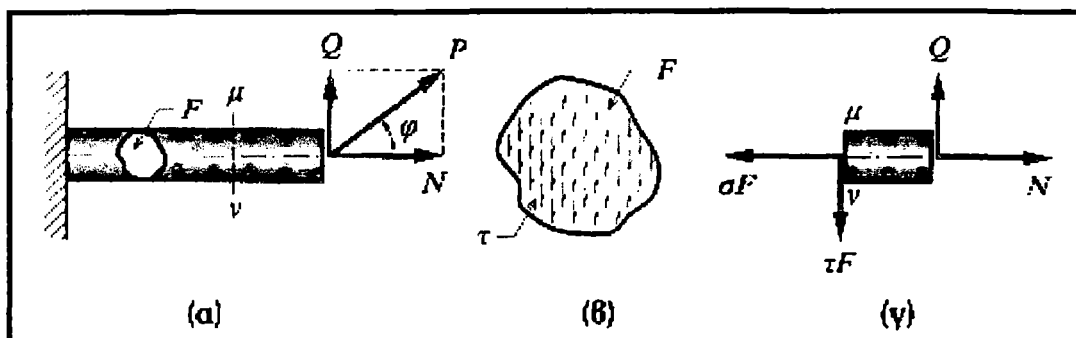
Από την γεωμετρία (Σχήμα 7.1.α) προκύπτει ότι οι συνιστώσες δυνάμεις (  $N$  ) και (  $Q$  ) προσδιορίζονται από τις σχέσεις :

$$N = P \cos\varphi \qquad Q = P \sin\varphi$$

Για την περαιτέρω μελέτη θεωρούμε μια τομή (  $\mu$ - $\nu$  ) κάθετη στον άξονα της ράβδου και στη συνέχεια σχεδιάζουμε το διάγραμμα ελεύθερου σώματος του δεξιά τμήματός της .Όπως είναι γνωστό η ορθή τάση (  $\sigma$  ) είναι κάθετη στη διατομή ,η δε δύναμη (  $\sigma F$  ) που προκύπτει (Σχήμα 7.1.γ) πρέπει να είναι ίση και αντίθετη με την (  $N$  ) ,προκειμένου να ισχύει η εξίσωση ισορροπίας κατά τον οριζόντιο άξονα της ράβδου .

Η διατμητική τάση (  $\tau$  ) όμως δρα πάνω στο επίπεδο της διατομής (δηλαδή εγκάρσια) ,όπως μεγενθυμένα φαίνεται στο (Σχήμα 7.1.β) .Από τις επιμέρους διατμητικές τάσεις (  $\tau$  ) προκύπτει η δύναμη (  $\tau F$  ) ,που πρέπει να είναι ίση και αντίθετη με την (  $Q$  ) ,ώστε να ισχύει η εξίσωση ισορροπίας και κατά τον κατακόρυφο άξονα της ράβδου .

Οι ορθές λοιπόν τάσεις (  $\sigma$  ) επενεργούν κάθετα στη διατομή και επιφέρουν όπως γνωρίζουμε ανοιγμένες γραμμικές παραμορφώσεις (  $\epsilon$  ), οι οποίες δίνονται από το νόμο του Hooke , (  $\sigma = E\epsilon$  με  $\epsilon = \Delta l / l$  ), όπου (  $l$  ) το αρχικό μήκος της ράβδου και (  $E$  ) το μέτρο ελαστικότητας του υλικού της .



ΣΧΗΜΑ 7.1 Ανάπτυξη διατμητικών τάσεων σε διατομή

Οι διατμητικές όμως τάσεις (  $\tau$  ) επενεργούν επάνω στο επίπεδο της διατομής και επιφέρουν γωνιακές παραμορφώσεις , οι οποίες επίσης δίνονται από τον αντίστοιχο νόμο του Hooke (  $\tau = \gamma G$  ) όπου (  $\gamma$  ) η ανοιγμένη διατμητική παραμόρφωση ή γωνία ολίσθησης (σε rad ) και (  $G$  ) το μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση ή μέτρο ολίσθησης του υλικού . Τα μέτρα ελαστικότητας (  $G$  ) και (  $E$  ) συνδέονται με το λόγο του Poisson (  $\mu$  ) με τη σχέση :

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Για την κατανόηση της γωνιακής παραμόρφωσης (  $\gamma$  ) θεωρούμε την παραμόρφωση ενός ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου που προκαλείται από τις διατμητικές τάσεις (  $\tau$  ) . Από την τομή του παραλληλεπιπέδου με το επίπεδο του χαρτιού , προκύπτει το παραλληλόγραμμο (  $AB\Gamma\Delta$  ) ( Σχήμα 7.2 ) .

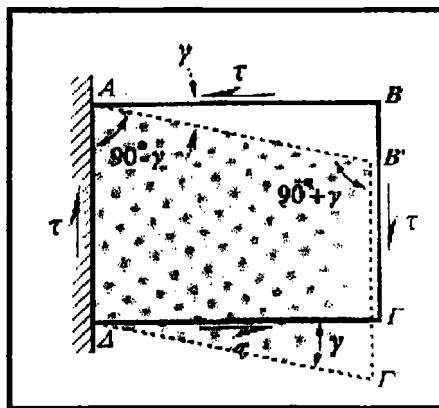
Αφού δεν υπάρχουν ορθές τάσεις , τα μήκη των πλευρών του ορθογωνίου παραλληλογράμμου δεν θα μεταβληθούν μετά την επιβολή των διατμητικών τάσεων (  $\tau$  ) . Θα παραμορφωθούν όμως οι αρχικά ορθές γωνίες του , κατά μικρή γωνία (  $\gamma$  ) , μετατρέπόμενες οι μεν δύο σε (  $90^\circ + \gamma$  ) οι δε άλλες δύο σε (  $90^\circ - \gamma$  ) . Έτσι το αρχικό ορθογώνιο παραλληλόγραμμο (  $AB\Gamma\Delta$  ) θα μετατραπεί τελικά στο πλάγιο παραλληλόγραμμο (  $AB\Gamma'\Delta$  ) που με κάποια υπερβολή είναι σχεδιασμένο με διακεκομμένες γραμμές . Θεωρούμε απαραίτητο να διευκρινίσουμε ότι :

Στην πραγματικότητα οι διατμητικές δυνάμεις ( $\tau$ ), δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη τη διατομή ( $F$ ).

Επειδή όμως ο νόμος της κατανομής των τάσεων αυτών είναι δύσκολο να προσδιοριστεί δεχόμαστε για τους διάφορους υπολογισμούς ότι :

Οι διατμητικές τάσεις είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες επάνω σε ολόκληρη την επιφάνεια της διατομής .

Η παραδοχή αυτή είναι απαραίτητη για τους υπολογισμούς και στο εξής όταν λέμε διατμητική τάση θα εννοούμε προφανώς τη μέση διατμητική τάση ( $\tau$ ) που αναπτύσσεται στη διατομή του καταπονούμενου σώματος .



ΣΧΗΜΑ 7.2 Γωνιακή παραμόρφωση

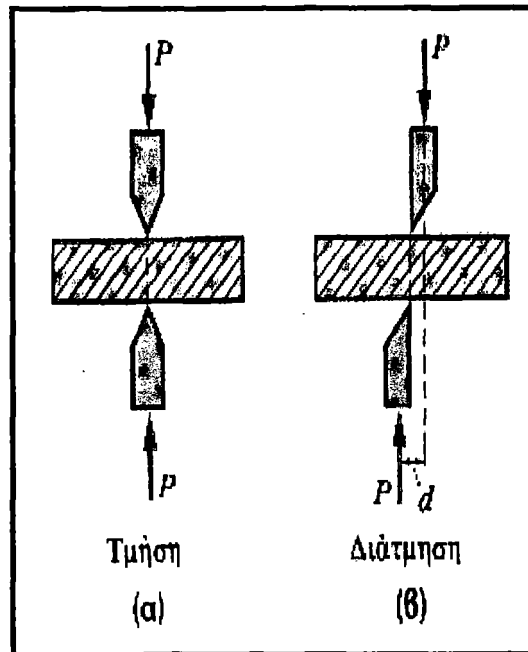
Η διάτμηση είναι μία από τις πιο απλές καταπονήσεις ,το οποίο αναφέραμε και στην εισαγωγή . Συναντάται συνήθως σε ενώσεις με ήλους ή με κοχλίες ,σε ενώσεις με συγκολλήσεις ,σε σφήνες που χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση των τροχαλιών επάνω σε ατράκτους σε διάτρηση μικρού πάχους ελασμάτων και σε πολλές άλλες εφαρμογές .

Επειδή οι όροι τμήση και διάτμηση χρησιμοποιούνται στη πράξη με την ίδια έννοια ,θεωρούμε απαραίτητο να διευκρινίσουμε τη διαφορά που υπάρχει μεταξύ αυτών των δύο καταπονήσεων .

Κατά κυριολεξία όταν λέμε ότι έχουμε καταπόνηση σε τμήση ( ή ψαλιδισμό ) εννοούμε ότι ενεργεί μόνο μια τέμνουσα δύναμη στο υλικό και δεν αναπτύσσεται ροπή κάμψης ,δηλαδή όταν η δράση και η αντίδραση επενεργούν πάνω στο ίδιο επίπεδο ,όπως περίπου συμβαίνει στα δύο σκέλη του ψαλιδισμού (που έχουν πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους) .Εκεί δηλαδή ,η ροπή κάμψης είναι περίπου μηδέν (Σχήμα 5.3.α) .



Ενώ όταν λέμε ότι έχουμε καταπόνηση σε διάτμηση ,εννοούμε ότι εκτός της τέμνουσας δύναμης αναπτύσσεται και ροπή κάμψης λόγω της υπαρκτής πλέον απόστασης μεταξύ των φορέων της δύναμης και της αντίδρασης .Στο (σχήμα 7.3.α , 7.3.β) απεικονίζονται τα όσα αναφέραμε παραπάνω όσων αφορά τη διαφορά τμήση – διάτμηση .



ΣΧΗΜΑ 7.3 Διαφορά τμήσης και διάτμησης

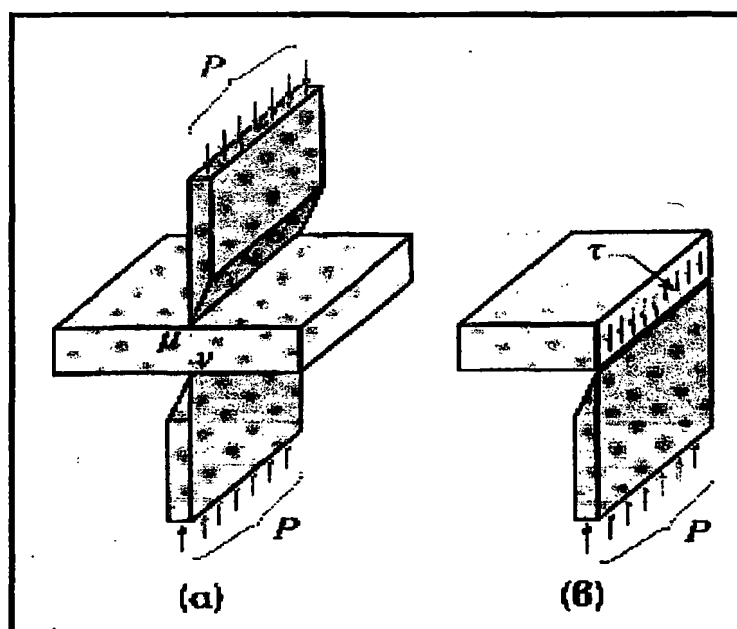
Τονίζουμε το γεγονός τμήση δεν μπορεί να εμφανιστεί στην πράξη ,διότι μαζί με την τέμνουσα δύναμη πάντοτε αναπτύσσεται και καμπτική ροπή .Έτσι στην πραγματικότητα τελικά συναντάται μόνο η καταπόνηση σε διάτμηση όπου συνυπάρχουν τέμνουσα δύναμη και καμπτική ροπή .Προκειμένου όμως να απλουστευθούν οι σχετικοί υπολογισμοί ,θεωρούμε τη ροπή κάμψης αμελητέα και εξετάζουμε τη διάτμηση σαν απλή τμήση .Έτσι λοιπόν η διάτμηση και η τμήση εξετάζονται από κοινού ,στα επόμενα δε και οι δύο ονομάζονται διάτμηση .

Για λόγους πληρότητας αναφέρουμε επίσης και την περίπτωση της λεγόμενης καθαρής διάτμησης .Αυτή παρατηρείται μόνο σε επίπεδα με κλίση (  $45^\circ$  ) ως προς τον άξονα ,όταν το υλικό εφελκύεται κατά τη μία διεύθυνση με τάση (  $\sigma_x$  ) ενώ κατά την κάθετη διεύθυνση θλίβεται με τάση επίσης (  $\sigma_y$  ) .

## 7.2. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Σε προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε και την περίπτωση μιας ράβδου που καταπονείται αξονικά από εφελκυστικό φορτίο. Αν η τιμή του φορτίου αυτού γίνει τόσο μεγάλη ώστε να υπερβεί κάποιο όριο τότε η ράβδος θα σπάσει κατά επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση επιβολής του φορτίου. Στην περίπτωση αυτή, τη θραύση τη προκάλεσε η ορθή τάση η οποία ξεπέρασε κάποια κρίσιμη τιμή. Αυτό σημαίνει ότι η αναπτυσσόμενη στη διατομή ορθή τάση ( $\sigma$ ) ξεπέρασε το όριο αντοχής σε εφελκυσμό για το συγκεκριμένο υλικό. Το ίδιο βέβαια φαινόμενο θα συμβεί, αν αντί για ράβδο εφελκυσουμε ένα στέλεχος καλαμποκιού για παράδειγμα.

Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε ένα διαφορετικό τρόπο επιβολής της δύναμης στο στέλεχος καλαμποκιού. Έτσι θεωρούμε ότι με ένα κατάλληλο μηχανικό ψαλίδι επιβάλλουμε στο έλασμα κατανομές από ίσες και αντίθετες εγκάρσιες δυνάμεις που η συνισταμένη της κάθε κατανομής είναι ( $P$ ), που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους (Σχήμα 7.4) και τις οποίες αυξάνουμε προοδευτικά. Όταν η τιμή της δύναμης ( $P$ ) υπερβεί κάποιο όριο, τότε το στέλεχος καλαμποκιού θα υποστεί ψαλιδισμό, δηλαδή θα κοπεί κατά επιφάνεια ( $\mu - \nu$ ) παράλληλη στη διεύθυνση των δυνάμεων και μάλιστα στο μέσον της μεταξύ τους μικρής απόστασης (Σχήμα 7.4.β).



ΣΧΗΜΑ 7.4 Απότμηση(ψαλιδισμός)  
ελάσιματος(στέλεχος καλαμποκιού)

Παρατηρούμε ότι στον εφελκυσμό η θραύση γίνεται σε επίπεδο κάθετο στη δύναμη ,ενώ στη διάτμηση σε επίπεδο παράλληλο στη δύναμη .Αυτό σημαίνει ότι οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις (  $\tau$  ) ξεπέρασαν την αντοχή του υλικού σε διάτμηση στην καταπονούμενη διατομή (  $\mu - \nu$  ) η οποία και ονομάζεται κρίσιμη διατομή ή επιφάνεια διάτμησης .

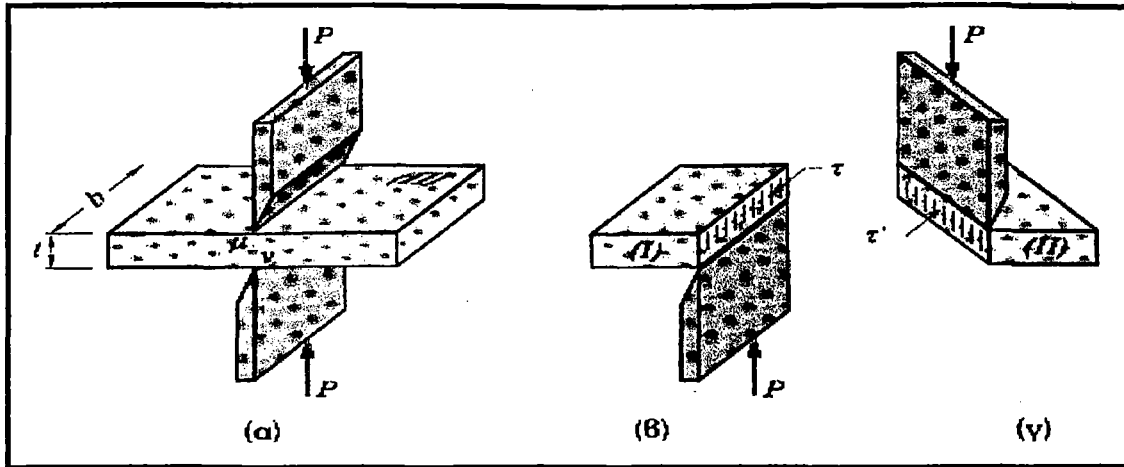
Από τα παραπάνω έγινε αντιληπτό ότι πρέπει να γνωρίζουμε τις διατμητικές τάσεις που θα αναπτυχθούν στην κρίσιμη διατομή ενός φυτικού υλικού ,προκειμένου να σχεδιάσουμε σωστά ένα γεωργικό μηχάνημα που να έχει σαν αποτέλεσμα της διάτμησης την θραύση με τα επιθυμητά αποτελέσματα .

Η κατανομή των διατμητικών τάσεων είναι πολύ πολύπλοκη και γι' αυτό υπολογίζουμε τη μέση διατμητική τάση ( $\tau_{\mu}$ ) που τελικά τη συμβολίζουμε με ( $\tau$ ) και η οποία ορίζεται σαν το πηλίκο της διατμητικής δύναμης (  $P$  ) δια του εμβαδού (  $F$  ) της επιφάνειας διάτμησης (  $\mu - \nu$  ) :

$$\tau = \tau_{\mu} = \frac{P}{F} \quad (7.2)$$

Η εξίσωση (7.2) είναι προσεγγιστική και ισχύει περισσότερο για τα ψαθυρά υλικά παρά για τα συνεκτικά .Αυτό συμβαίνει διότι στα ψαθυρά υλικά η θραύση γίνεται σε σχεδόν επίπεδη διατομή ,πράγμα που δεν συμβαίνει στα συνεκτικά ,όπου η διάτμηση συνυπάρχει τοπικά και με εφελκυσμό στην επιφάνεια διάτμησης .

Αν τώρα εξετάσουμε την ισορροπία και του τμήματος (  $\Pi$  ) θα πρέπει οι διατμητικές τάσεις έστω (  $\tau'$  ) που θα αναπτυχθούν σε αυτό να είναι αντίθετες της ασκούμενης διατμητικής δύναμης (  $P$  ) έτσι ώστε να ισχύει :  $\tau' F = P$  .



ΣΧΗΜΑ 7.5 Διάτμηση ελάσματος και ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στα δύο τμήματά του

Συνεπώς με βάση την εξίσωση (7.2) οι διατμητικές τάσεις του τμήματος ( II ) (Σχήμα 7.5.γ) είναι ίσες και αντίθετες με τις αντίστοιχες τάσεις του τμήματος ( I ) .Το τελευταίο εξηγείται και από το γεγονός ότι αν δεχτούμε ότι τα επαναφέρουμε στην αρχική τους θέση ,θα πρέπει οι δυνάμεις που προέρχονται από τις διατμητικές τάσεις στα δύο αποκοπτόμενα τμήματα να αλληλοεξουδετερώνονται και να δίνουν συνισταμένη μηδέν ,αφού δεν εξασκείτο καμιά εξωτερική δύναμη πριν από τη νοητή τομή ( μ - ν ) .Δηλαδή :

$$\tau F = \tau' F \Rightarrow \tau = \tau'$$

Στην περίπτωση του ψαλιδισμού (Σχήμα 7.5) παίζει ρόλο η διατμητική επιφάνεια .Στην περίπτωση αυτή επίσης η διατμητική δύναμη ( P ) δεν είναι συγκεντρωμένη δύναμη ,αλλά ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλο το πλάτος του ελάσματος δηλαδή το πηλίκο είναι σταθερό ,οπότε προκύπτει σταθερή διατμητική δύναμη ανά μονάδα πλάτους του ελάσματος ή του εκάστοτε φυτικού υλικού στην δική μας περίπτωση ,που λέγεται κατανεμημένη διατμητική δύναμη (Σχήμα 7.4) .

Για να μην αστοχεί μια κατασκευή που καταπονείται σε διάτμηση ,θα πρέπει το υλικό της να ικανοποιείται από τη συνθήκη αντοχής ,δηλαδή :

$$\tau = \frac{P}{F} \leq \tau_{επ}$$

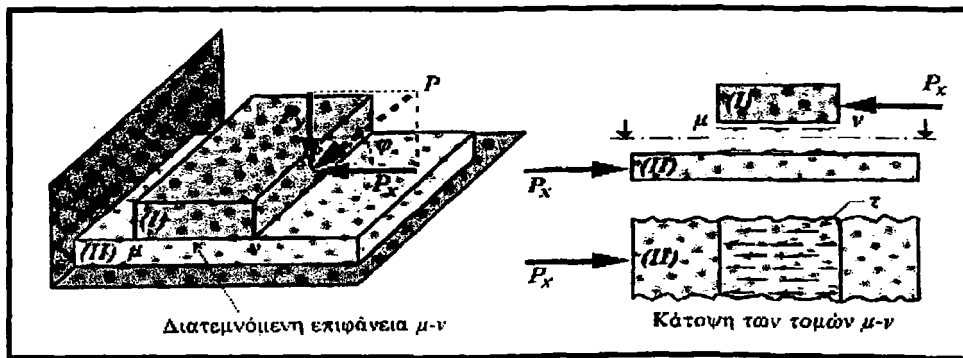
Όπου (  $\tau_{επ}$  ) είναι η επιτρεπόμενη διατμητική τάση του υλικού ,που δίνεται από κατάλληλους πίνακες ή και εκτιμάται κατά προσέγγιση (σαν συντελεστής από 0.5-0.8) :

$$\tau_{επ} \approx 0.8\sigma_{επ}$$

Όπου (  $\sigma_{επ}$  ) είναι η επιτρεπόμενη τάση του υλικού για εφελκυσμό ή θλίψη .

Στο (Σχήμα 7.6) φαίνεται επίσης μία λίγο διαφορετική περίπτωση καταπόνησης σε διάτμηση .Σε αυτό δύο κολλημένα μεταξύ τους ελάσματα τείνει να τα αποκολλήσει μια δύναμη ( P ) .Αν η κόλλα που χρησιμοποιείται έχει ομοιόμορφη στρώση σε όλη την κοινή επιφάνεια επαφής ,στην αποκόλληση αυτή η κόλλα αντιδρά με την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων (  $\tau$  ) .Για να συμβεί αποκόλληση ,θα πρέπει να ισχύει η συνθήκη :

$$P \geq \tau_{\max}F$$



ΣΧΗΜΑ 7.6 Ανάπτυξη διατμητικών τάσεων κατά την αποκόλληση δύο σωμάτων

Όπου (  $\tau_{\max}$  ) είναι η μέγιστη διατμητική τάση που χαρακτηρίζει την κόλλα για τη συγκολλητική της ικανότητα .

Μέγιστη δύναμη αντοχής της διάτμησης :

$$\sigma_s = \frac{F_{\max}}{A}$$

Συγκεκριμένη ενέργεια κοπής στη διάτμηση :

$$E_{ss} = \frac{1}{A} \int F dx = n \times \frac{f}{A}$$

Όπου :

$\sigma_s$  : Μέγιστη δύναμη αντοχής της διάτμησης

$E_{ss}$  : Συγκεκριμένη ενέργεια κοπής

$F_{max}$  : Μέγιστη δύναμη διάτμησης

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**  
**ΣΤΡΕΨΗ**

ΔΕΔΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

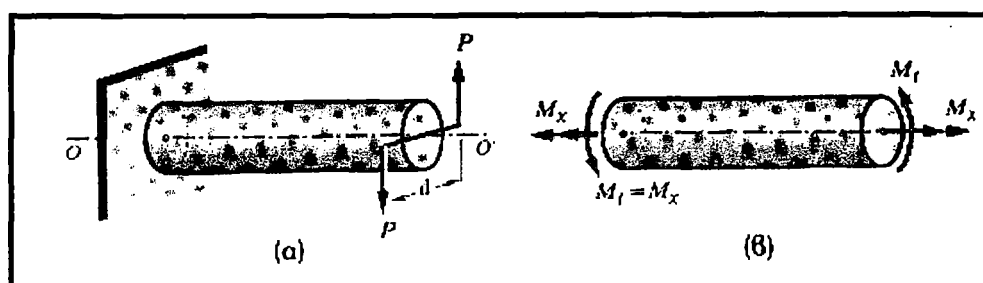
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### 8.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΣΤΡΕΨΗ

Η καταπόνηση σε στρέψη είναι ένα από τα είδη των απλών καταπονήσεων το οποίο δεν το κάναμε στο πείραμα που έγινε στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας και Τεχνολογίας Γεωργικών Μηχανών και Εργαλείων. Είναι σχετικά μια απλή καταπόνηση η οποία συνήθως εφαρμόζεται σε ράβδους αλλά και δοκούς.

**Μια ράβδος καταπονείται σε στρέψη, όταν επάνω σε αυτή επενεργούν ζεύγη ίσων και αντίθετων δυνάμεων που τα επίπεδά τους είναι κάθετα στο κεντροβαρικό άξονά της.**

Τα ζεύγη των δυνάμεων αυτών προκαλούν σε κάθε διατομή της ράβδου ροπή, που ονομάζεται ροπή στρέψης (Σχήμα 8.1.α). Στην περίπτωση που τα ζεύγη αυτά είναι περισσότερα από ένα η ροπή στρέψης προφανώς ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών όλων των ζευγών που είναι αριστερά ή δεξιά της διατομής.



ΣΧΗΜΑ 8.1 Στρέψη ράβδου  
Α. Από ζεύγος δυνάμεων  
Β. Από στρεπτική ροπή

Το διάνυσμα ( $M_t$ ) της ροπής στρέψης είναι σε αυτή την περίπτωση παράλληλο με τον άξονα της ράβδου και πολλές φορές συμβολίζεται με ( $M_x$ ) (διάνυσμα με δύο βέλη) γιατί συμπίπτει με το διαμήκη άξονα ( $x$ ) της ράβδου. Στο είδος της καταπόνησης αυτής, η ράβδος τείνει να περιστραφεί γύρω από τον άξονά της.

Η ύπαρξη της ροπής στρέψης ( $M_t$ ) ή ( $M_x$ ) δημιουργεί στο υλικό της ελαστικής ράβδου εσωτερικές διατμητικές τάσεις, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια στροφή των διατομών μεταξύ τους που ονομάζεται γωνία στροφής.



Η πακτωμένη ράβδος ( AB ) με ευθύγραμμο άξονα OO' στην οποία επενεργεί το ζεύγος των δυνάμεων P (Σχήμα 8.1.α) καταπονείται σε στρέψη .

Η πακτωμένη αυτή ράβδος είναι στατικά ισοδύναμη με το διάγραμμα ελευθέρου σώματος της ράβδου (Σχήμα 8.1.β) το οποίο έχει το πλεονέκτημα ,η στρεπτική ροπή στο αριστερό άκρο της ράβδου (που προέρχεται από την πάκτωση) να το βλέπουμε εμείς σαν εξωτερική ροπή .

Τα δύο προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε στην καταπόνηση της στρέψης ,είναι ο προσδιορισμός των διατμητικών τάσεων (  $\tau$  ) ,οι οποίες ονομάζονται ειδικότερα τάσεις στρέψης ,όσο και ο υπολογισμός της γωνίας στροφής των διατομών ,που αντιπροσωπεύουν την προκαλούμενη παραμόρφωση .

Για να εμβαθύνουμε στην μηχανική καταπόνηση της στρέψης και να την παρουσιάσουμε ποιο αναλυτικά κάνουμε τις κάτωθι παραδοχές :

### Παραδοχές Στρέψης

- Όλες οι διατομές της ράβδου παραμένουν επίπεδες και μετά την παραμόρφωση .Επίσης διατηρούν το σχήμα ,το μέγεθος ,καθώς και τη μεταξύ τους απόσταση .
- Οι ακραίες ροπές στρέψης θεωρούνται δεξιόστροφες και προκαλούν το ίδιο αποτέλεσμα σε κάθε διατομή .
- Κάθε διατομή περιστρέφεται σαν απόλυτα στερεός δίσκος .Έτσι ,η διατομή περιστρέφεται σαν σύνολο ,δηλαδή οι ακτίνες παραμένουν ευθείες .
- Το υλικό της ράβδου είναι ομογενές και ισότροπο ,ώστε οι ιδιότητες του υλικού να είναι ομοιόμορφες σε κάθε σημείο και διεύθυνση .

Τονίζουμε ότι το μέτρο ολίσθησης ( G ) είναι ο λόγος της διατμητικής τάσης (  $\tau$  ) προς τη διατμητική παραμόρφωση (  $\gamma$  ) :

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (8.1)$$

Το μέτρο ολίσθησης ή διάτμησης ή και δεύτερο μέτρο ελαστικότητας έχει μονάδες τάσης (N/m<sup>2</sup>) και συνδέεται με το μέτρο ελαστικότητας ( E ) μέσω του λόγου του Poisson (  $\mu$  ) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση :

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (8.2)$$

Παραδείγματα καταπόνησης σε στρέψη ,έχουμε σε άξονες (ατράκτους) μηχανών κοίλους ή μη όπως επίσης και ολόκληρων κτηρίων σε περίπτωση οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων .Η καταπόνηση σε στρέψη παρατηρείται επίσης στην περίπτωση που οι ευθείες επενέργειας των δυνάμεων δεν διέρχονται από τον κεντροβαρικό άξονα της ράβδου όπως συμβαίνει σε μια έκκεντρα φορτισμένη δοκό για παράδειγμα .Πολλές φορές επίσης ,συνυπάρχει με άλλες καταπονήσεις όπως με κάμψη ,διάτμηση ,κ.τ.λ.

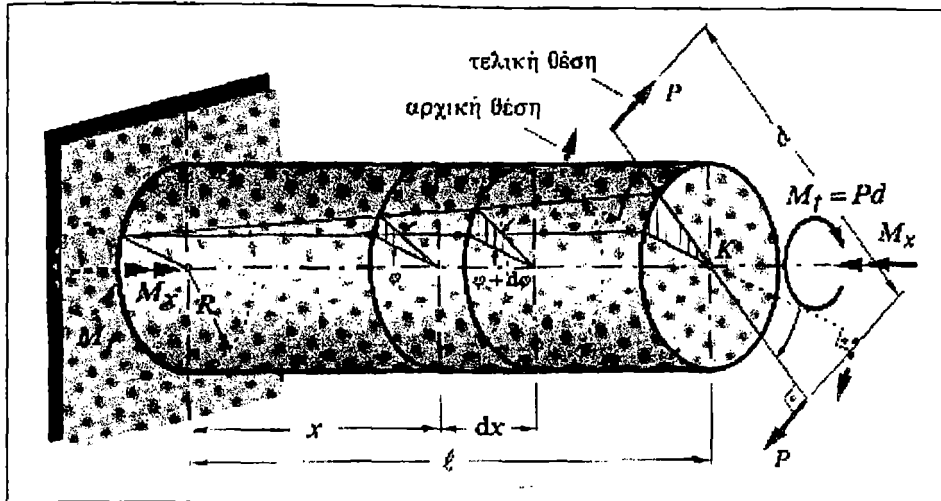
Η καταπόνηση σε στρέψη στη γενική της περίπτωση είναι αρκετά πολύπλοκη .Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται σχετικά απλές περιπτώσεις καταπόνησης σε στρέψη που παρουσιάζονται στις διάφορες τεχνικές εφαρμογές .Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις οι καταπονούμενες σε στρέψη ράβδοι θεωρούνται ότι αποτελούνται από υλικό "ελαστικό" ,για το οποίο προφανώς ισχύει ο νόμος του Hooke .

## 8.2. ΣΤΡΕΨΗ ΡΑΒΔΟΥ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Στην παράγραφο αυτή θα μελετήσουμε την απλούστερη περίπτωση στρέψης μια ράβδου με σταθερή κυκλική διατομή ,η οποία συναντάται πολύ συχνά στην πράξη σε περιστρεφόμενους άξονες (ατράκτους) .

Για το σκοπό αυτό θεωρούμε μια κυλινδρική ράβδο ακτίνας (  $r$  ) και μήκους (  $l$  ) ,η οποία είναι σταθερά πακτωμένη στο ένα της άκρο και ελεύθερη στο άλλο (Σχήμα 8.2) .Αν επιβάλουμε μια στρεπτική ροπή (  $M_t$  ) στο ελεύθερο άκρο της ,τότε για λόγους ισορροπίας ,αναπτύσσεται ίση και αντίθετη ροπή στρέψης στο σταθερό άκρο της ράβδου (η οποία δημιουργείται από την πάκτωση) .Το σύστημα αυτό όπως προαναφέραμε ,είναι στατικά ισοδύναμο με ελεύθερη κυλινδρική ράβδο που υφίσταται ίσες και αντίθετες στρεπτικές ροπές (  $M_t$  ) στις ακραίες της διατομές .

Υπενθυμίζουμε ότι η ροπή στρέψης (  $M_t$  ) συμβολίζεται και σαν ευθύγραμμο διάστημα (  $M_x$  ) που είναι συγγραμμικό με τον άξονα (  $X$  ) της ράβδου όπως φαίνεται στο (Σχήμα 8.2) (Χαρακτηριστικό διάστημα) .



ΣΧΗΜΑ 8.2 Στρέψη ράβδου από δεξιόστροφη ροπή ζεύγους δυνάμεων

Αν  $(\varphi)$  είναι η γωνία στροφής της διατομής που βρίσκεται σε απόσταση έστω  $(\chi)$  από το σταθερό άκρο της ράβδου, τότε η διατομή σε απόσταση  $(\chi + dx)$ , στρέφεται κατά γωνία  $(\varphi + d\varphi)$ . Η σχετική γωνία στροφής των δύο αυτών διαδοχικών διατομών είναι  $(d\varphi)$ , ενώ η απόστασή τους είναι  $(dx)$ .

Προκειμένου να εξετάσουμε λεπτομερέστερα τη σχετική στροφή των διατομών, θα θεωρήσουμε ότι αποκόπτουμε τον στοιχειώδη δίσκο πάχους  $(dx)$  από την υπόλοιπη ράβδο.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9**  
**ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ**

ΔΕΔΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### 9.1. ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέραμε γενικά στοιχεία ,τύπους καθώς επίσης και παραδοχές για τις διάφορες μηχανικές καταπονήσεις ξεχωριστά .Επειδή όμως στη γεωργική μηχανολογία συνήθως ασκούνται σύνθετες καταπονήσεις ,θα αναφέρουμε μερικές από αυτές σε αυτό το κεφάλαιο .Στην ουσία σύνθετη καταπόνηση καλείται η συνύπαρξη δύο ή περισσότερων μηχανικών καταπονήσεων που ασκούνται ταυτόχρονα σε ένα φυτικό υλικό .

### 9.2. ΕΙΔΗ ΑΠΛΩΝ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ

Με βάση αυτά που αναφέραμε παραπάνω καθώς επίσης και στα προηγούμενα κεφάλαια σαν απλές καταπονήσεις έχουμε γνωρίσει :

- Εφελκυσμό – Θλίψη
- Τη Διάτμηση
- Την Καθαρή Κάμψη
- Τη Στρέψη

Με αυτά που αναφέραμε παραπάνω ,η μελέτη των εσωτερικών δυνάμεων στη γενική περίπτωση της τυχαίας καταπόνησης ,μπορεί να αναχθεί στη μελέτη επιμέρους απλών καταπονήσεων .Μελετώντας στη συνέχεια τη κάθε απλή καταπόνηση χωριστά ,σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας ,το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των επιμέρους αποτελεσμάτων .

### 9.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ – ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Όπως είδη αναφέραμε ο υπολογισμός του κάθε σώματος (γενικότερα φορέα) πρέπει να επεκτείνεται στον έλεγχο όχι μόνο της αντοχής του αλλά και της παραμόρφωσής του .

- Για τον έλεγχο της αντοχής του φορέα ,αναζητούμε τη δυσμενέστερα καταπονούμενη διατομή για το κάθε είδος καταπόνησης και στη συνέχεια αναζητούμε ,τη θέση στην οποία παρατηρείται η μέγιστη τάση .Η ισοδύναμη τάση που θα προκύψει από επαλληλία στη θέση εκείνη πρέπει να παραμείνει μικρότερη ή ίση από την επιτρεπόμενη τάση του υλικού .Είναι προφανές ότι τόσο η ορθή τάση όσο και η διατμητική τάση πρέπει να ικανοποιούν την ανωτέρω συνθήκη αντοχής για τις επιτρεπόμενες αντίστοιχες τιμές τους .
- Για τον έλεγχο των προκαλούμενων παραμορφώσεων πρέπει να υπολογιστούν οι παραμορφώσεις που προκαλεί η κάθε μια καταπόνηση χωριστά και ακολούθως να γίνει έλεγχος με τα επιτρεπόμενα μεγέθη .Ο έλεγχος αυτός είναι δυνατόν να απαιτήσει την αύξηση της διατομής του φορέα ,από αυτή που προέκυψε από τη διαστασιολόγηση λόγω της συνθήκης αντοχής του .

Με το γενικό όρο διαστασιολόγηση εννοούμε την εκλογή του κατάλληλου υλικού με την κατάλληλη διατομή ,ώστε αυτή να μην αστοχήσει υπό την επίδραση μιας δεδομένης φόρτισης .Προφανώς τα προβλήματα που είχαμε να αντιμετωπίσουμε όσον αφορά τη διαστασιολόγηση στις απλές καταπονήσεις ,τα έχουμε και μάλιστα σε μεγαλύτερο βαθμό και στις παρακάτω εξεταζόμενες περιπτώσεις σύνθετης καταπόνησης.

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των επιμέρους περιπτώσεων σύνθετης καταπόνησης κρίνουμε σκόπιμο να αναφέρουμε μερικά βασικά στοιχεία για τον έλεγχο αντοχής και τη βάση αυτού προκύπτουσα διαστασιολόγηση των κατασκευών .

Στις σύνθετες καταπονήσεις αναπτύσσονται γενικά ορθές καθώς και διατμητικές τάσεις εντός του υλικού του καταπονούμενου σώματος .Οι ορθές τάσεις προέρχονται από την αξονική δύναμη (  $N_x$  ) και η ροπή κάμψης (  $M_z$  ) ενώ οι διατμητικές προέρχονται από την τέμνουσα δύναμη (  $Q_y$  ) ή (  $Q_z$  ) και από τη ροπή στρέψης (  $M_x$  ) .

Για να βρεθεί η ολική τάση ,σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας ,προστίθεται αλγεβρικά οι επιμέρους ορθές τάσεις οπότε η προκύπτουσα ολική ορθή τάση πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη αντοχής δηλαδή να μην υπερβαίνει την επιτρεπόμενη ορθή τάση του υλικού .

Ανάλογες σκέψεις ισχύουν και για τη διατμητική τάση ,ότι δηλαδή η τελικά προκύπτουσα από την αρχή της επαλληλίας ολική διατμητική τάση ,δεν υπερβαίνει την επιτρεπόμενη διατμητική τάση του υλικού .

Οι μέγιστες τιμές όμως των (  $N$  ,  $Q$  ,  $M_b$  ,  $M_t$  ) δεν συνυπάρχουν εν γένει στην ίδια διατομή .Γι' αυτό πρέπει να αναζητούμε όλες τις πιθανές διατομές στις οποίες είναι ενδεχόμενο ο συνδυασμός των ανωτέρω μεγεθών να προκαλεί ακόμα δυσμενέστερη καταπόνηση .Πολλές φορές ο τρόπος φόρτισης μίας δοκού για παράδειγμα επιτρέπει τον άμεσο έλεγχο της αντοχής .Έτσι σε πρόβολο με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ,οι μέγιστες τιμές των (  $M_b$  ) και (  $Q$  ) θα εμφανιστούν προφανώς στην πάκτωση και επομένως αρκεί να κάνουμε έλεγχο αντοχής στη συγκεκριμένη διατομή ,χωρίς να χρειάζεται να επεκταθούμε και σε άλλες .Γενικά όμως δεν είναι δυνατόν να γίνει αμέσως ο εντοπισμός της διατομής που καταπονείται δυσμενέστερα .

Σημειώνουμε πάντως ότι οι ορθές τάσεις είναι συνήθως σημαντικότερες των διατμητικών και περισσότερο επικίνδυνες θεωρούνται οι διατομές που εμφανίζεται η μέγιστη ροπή κάμψης ,χωρίς αυτό να αποτελεί κανόνα και μάλιστα με αρκετές εξαιρέσεις .

Ο δε έλεγχος των τάσεων πρέπει να επεκτείνεται σε ολόκληρη τη διατομή σημείο προς σημείο .Αυτό είναι απαραίτητο διότι όταν συνυπάρχουν ορθές και διατμητικές τάσεις ,οι ορθές τάσεις εμφανίζουν μέγιστο στις ακραίες ίνες της διατομής ,ενώ οι διατμητικές εμφανίζουν μέγιστο στην ουδέτερη γραμμή .Δηλαδή η μέγιστη ορθή τάση ,ποτέ δεν συνυπάρχει τοπικά με τη μέγιστη διατμητική τάση .Σε μια δοκό για παράδειγμα ,με κατεύθυνση από τις ακρότατες ίνες προς την ουδέτερη γραμμή οι ορθές τάσεις μειώνονται ,ενώ οι διατμητικές τάσεις αυξάνουν .Έτσι ,είναι ενδεχόμενο οι κύριες τάσεις ,ή κάποιες τάσεις σύγκρισης που θα προκύψουν να παρουσιάζουν μέγιστη τιμή σε κάποια ενδιάμεση θέση της διατομής όπου συνυπάρχουν (  $\sigma$  και  $\tau$  ) και όχι κατ' ανάγκη στην ουδέτερη γραμμή ή στις ακρότατες ίνες .

Με τον όρο διαστασιολόγηση μιας κατασκευής ,εννοούμε την εκλογή του κατάλληλου υλικού αλλά και τον καθορισμό της μορφής και των διαστάσεων της διατομής ,έτσι ώστε η εκλογή αυτή να οδηγεί στην οικονομικότερη λύση .

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10**  
**ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΠΛΗΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΠΛΗΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

#### 10.1. ΛΟΓΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Κάθε φυτικό υλικό είναι ξεχωριστό στη φύση και οι ιδιότητές του ποικίλουν από φυτό ,σε φυτό .Προκειμένου να αξιοποιήσουμε τα γεωργικά μηχανήματα ,αλλά και για αυξήσουμε την παραγωγή ,μειώνοντας έτσι τις φθορές και τις απώλειες στο φυτό ,είναι θεμιτό να γνωρίζουμε τις ιδιότητες κάθε φυτικού υλικού ,προκειμένου να αποφύγουμε ή να ελαχιστοποιήσουμε τους παραπάνω παράγοντες .Κάθε φυτό έχει διαφορετική κυτταρική δομή ,διαφορετικές διαστάσεις και γενικά αντιδράει αλλιώς στις διάφορες καιρικές συνθήκες .

Στα φυτά υπάρχει το λεγόμενο "Stress" των φυτών .Σε κάποια απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας το φυτό αντιδράει και παρατηρούμε σε αυτό μια κίνηση πάνω σε αυτό ,το οποίο ουσιαστικά καταπονεί μηχανικά το φυτό ,με απώτερη συνέπεια την αλλαγή των ιδιοτήτων του φυτού .Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι όταν το φυτό είναι "Διψασμένο" δηλαδή δεν έχουμε χορηγήσει νερό για κάποιο διάστημα ,που η θερμοκρασία είναι υψηλή ,τότε παρατηρούμε μια κύρτωση του στελέχους του φυτού και μια κλίση των φύλλων προς τα επάνω .Αυτό συμβαίνει επειδή το φυτό προσπαθεί να αποφύγει την εξατμισοδιαπνοή κλείνει τα στοματίά του ,προκειμένου να διατηρήσει τις ιδιότητές του .

Για να είναι το πείραμά μας αξιόπιστο και πάνω από όλα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα για την βελτίωση των γεωργικών μηχανημάτων ,πρέπει για κάθε φυτικό υλικό να κάνουμε μια μηχανική καταπόνηση .Δηλαδή αν βγάλουμε τις δοκιμές για τα φυτικά υλικά με βάση την κίνηση που κάνει το γεωργικό μηχανήμα κατά την συγκομιδή ,πρέπει για κάθε φυτικό υλικό να κάνουμε μια μηχανική καταπόνηση .Όταν εργαζόμαστε με ένα πατατοεξαγωγέα για την συγκομιδή της πατάτας τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται ασκούν την μηχανική καταπόνησης της θλίψης επάνω στο φυτικό υλικό ,που είναι η πατάτα .Μελετώντας λοιπόν τη σχέση ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ – ΦΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ,μπορούμε να επιτύχουμε και καλύτερη συγκομιδή και μεγαλύτερη επίδοση του μηχανήματος και να μειώσουμε τις απώλειες.

Για να αξιοποιήσουμε το πείραμά μας έκρινα σκόπιμο και έλαβα υπ' όψη μου του παρακάτω παράγοντες :

- Οικονομικότητα
- Διαθέσιμο χρόνο
- Εργονομία
- Επαναληψιμότητα
- Λόγος εφαρμογής

Με βάση τα παραπάνω ξεκίνησε το πείραμα ,εφόσον μελετήθηκαν και πάρθηκαν σοβαρά υπ 'όψη .

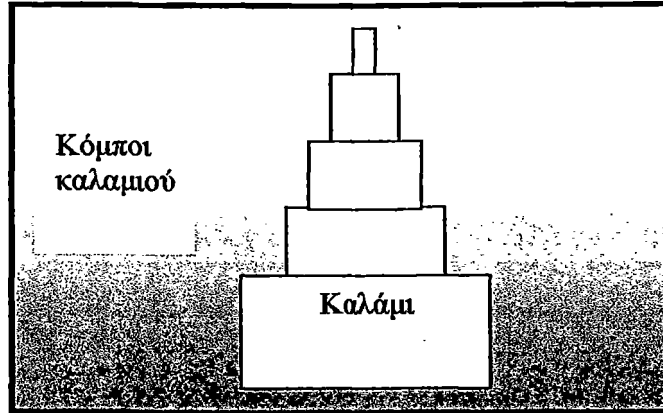
## **10.2.ΦΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

Το φυτικό υλικό που επέλεξα είναι το καλάμι ,το οποίο υπάρχει σε όλη την ευρύτερη περιοχή του Μεσολογγίου και ήταν εύκολο να το βρω .Το καλάμι είναι πολύ ανθεκτικό και χρησιμοποιείτε για πολλές κατασκευές ακόμα και για ,κατασκευή κτισμάτων .Το φυτικό υλικό το χώρισα σε δύο κατηγορίες :

- Καλάμι προ συγκομιδής ,δηλαδή η δοκιμή έγινε αμέσως αφού το μάζεψα από το αγροτεμάχιο
- Καλάμι μετά συγκομιδής ,δηλαδή το μάζεψα και το άφησα τρεις ημέρες προκειμένου να δω αν άλλαξαν οι ιδιότητες του ,όπως η υγρασία του κτλ .

Επίσης τα ξεχώρισα και επέλεξα αυτά που ήταν ενός έτους .Το καλάμι έχει μεταβλητή διατομή και παρατηρείται ένα στένεμα του στελέχους από την βάση αυτού προς την κορυφή ,όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα .

Αν το απεικονίσουμε σαν μια πυραμίδα και υποθέσουμε τα διάφορα στάδια αυτής σαν του κόμπους του υλικού ,έτσι ώστε να καταλάβουμε την σπουδαιότητα του σχήματος .



Τα καλάμια που χρησιμοποιήσα είναι ενός έτους και έχουν περιεχόμενη υγρασία 90% ,επίσης το δοκίμιο που έβαζα στη μηχανή είχε μόνο μέχρι δύο κόμπους .Άρα αν φτιάξουμε ένα πίνακα με τις ιδιότητες μόνο του καλαμιού ,θα είχε την παρακάτω μορφή :

<b>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΛΑΜΙΟΥ</b>	
<b>ΜΗΚΟΣ</b>	<b>200 mm</b>
<b>ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ</b>	<b>50 mm</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ</b>	<b>90%</b>
<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>	<b>26°C</b>
<b>ΗΛΙΚΙΑ</b>	<b>1 ΕΤΟΥΣ</b>
<b>ΣΤΑΔΙΟ</b>	<b>ΠΡΟ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ</b>

Επίσης ένα άλλο φυτικό υλικό το οποίο θα δοκιμάσουμε σε μηχανική καταπόνηση στο πείραμά μας είναι η πατάτα .Η πατάτα κατά την διάρκεια της συγκομιδής υπόκειται σε θλίψη ,διάτμηση δηλαδή είναι μια σύνθετη καταπόνηση κατά την οποία αρχικά έχουμε συμπίεση του φυτικού υλικού και στην συνέχεια την κοπή αυτού ,διάτμηση .Για την πατάτα μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τις διαστάσεις αυτής καθώς επίσης και την περιεχόμενη υγρασία κατά την διάρκεια του πειράματος .

### **10.3. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ**

#### **Καλάμι**

Στο καλάμι θα ασκήσουμε δύο διαφορετικές καταπονήσεις .Η πρώτη μηχανική καταπόνηση είναι ο εφελκυσμός και η δεύτερη μηχανική καταπόνηση είναι η θλίψη .

Εφόσον επιλέχθηκαν οι καταπονήσεις για το καλάμι έπρεπε να λύσουμε και ένα μεγάλο πρόβλημα όσον αφορά το πως θα εφαρμόσουμε ένα ευπαθές φυτικό υλικό σε ένα μηχάνημα καταπονήσεων που είναι σχεδιασμένο για μηχανικές καταπονήσεις σε μη φυτικά υλικά .Επίσης έπρεπε για την μηχανική καταπόνηση της διάτμησης να κατασκευάσουμε μια βάση στήριξης και για τα δύο φυτικά υλικά .

#### **Πατάτα**

Στη πατάτα επίσης θα κάνουμε θλίψη .Δεν υπάρχει λειτουργικός λόγος να ασκήσουμε την μηχανική καταπόνηση του εφελκυσμού στην πατάτα .Το πρόβλημα σε αυτή τη δοκιμή ήταν το πώς θα "πακτώσουμε" την πατάτα στο μηχάνημα λόγω του ακανόνιστου σχήματός της .Περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφέρουμε σε επόμενη παράγραφο όπου θα έχουμε και σχήματα για καλύτερη κατανόηση .

### **10.4. ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ**

Το μηχάνημα καταπόνησης όπου θα πραγματοποιηθεί το πείραμά μας είναι το μηχάνημα "CESARE GALDABINI SUN/60" όπου κάνει μηχανικές καταπονήσεις και υπάρχει στα εργαστήρια του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων .Το μηχάνημα αποτελείται από το μέλος που κάνει την καταπόνηση και είναι πακτωμένο στο έδαφος από μια κονσόλα και από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου είναι το χειριστήριο για την λειτουργία του πειράματος .

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι μάρκας IBM και λειτουργεί σε περιβάλλον Windows 95 .Το κύριο μενού του λειτουργικού συστήματος είναι το παρακάτω :

## **Κύριο μενού**

### Τύπος Μηχανικής Καταπόνησης

Εδώ εισάγουμε όλες τις πληροφορίες ,δεδομένα καθώς επίσης και όλα τα στοιχεία που αφορούν τα κενά κατά την έναρξη του πειράματος .

### Εκτέλεση Μηχανικής καταπόνησης

Σε αυτή τη σελίδα βάζουμε τα στοιχεία όταν πρόκειται να εκτελέσουμε μια αυτόματη μηχανική καταπόνηση χωρίς να εισάγουμε περαιτέρω πληροφορίες .

### Στατιστικά Στοιχεία

Βάζουμε αναλυτικά τα δεδομένα για το πώς θέλουμε να λάβουμε τα αποτελέσματά μας όσον αφορά τα στατιστικά στοιχεία και το γράφημα μετά το τέλος της μηχανικής καταπόνησης .

### Επισκευή

Η πρόσβαση σε αυτή τη σελίδα αφορά τον κατασκευαστή .

### Διαχείριση Αρχείων

Αρχεία δοκιμών που υπάρχουν στο πρόγραμμα από προηγούμενες δοκιμές καθώς επίσης και δημιουργία νέων για καινούργιες μηχανικές καταπονήσεις .

### Ημερομηνία / Ώρα

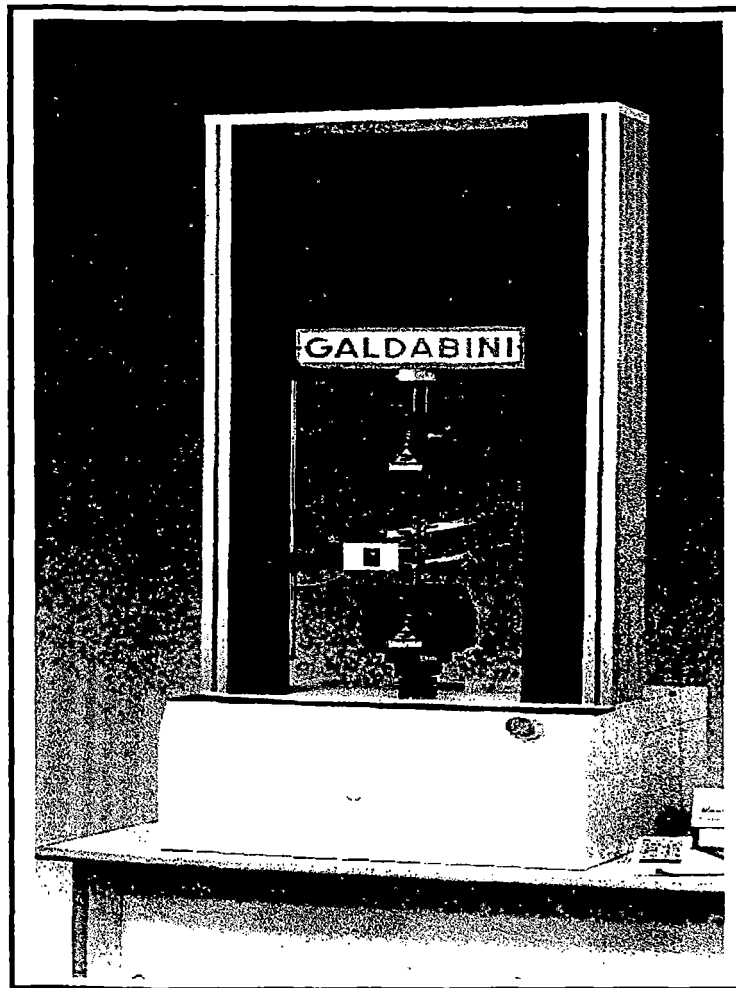
Εισάγουμε ή εμφανίζουμε την ημερομηνία και την ώρα όλου του συστήματος ή θέτουμε όρια κατά την διάρκεια του πειράματος .

## Χειροκίνητος Έλεγχος

Εισαγωγή μέσω του προγράμματος ημιαυτόματων κινήσεων του μηχανήματος .

### Αρχική ρύθμιση

Εισαγωγή στοιχείων και παραμέτρων που τα βάζει κατά βούληση ο χειριστής ,δηλαδή όνομα ,επίθετο ,κτλ .



ΣΧΗΜΑ 10.1 Μηχάνημα μηχανικών καταπονήσεων εργαστηρίου

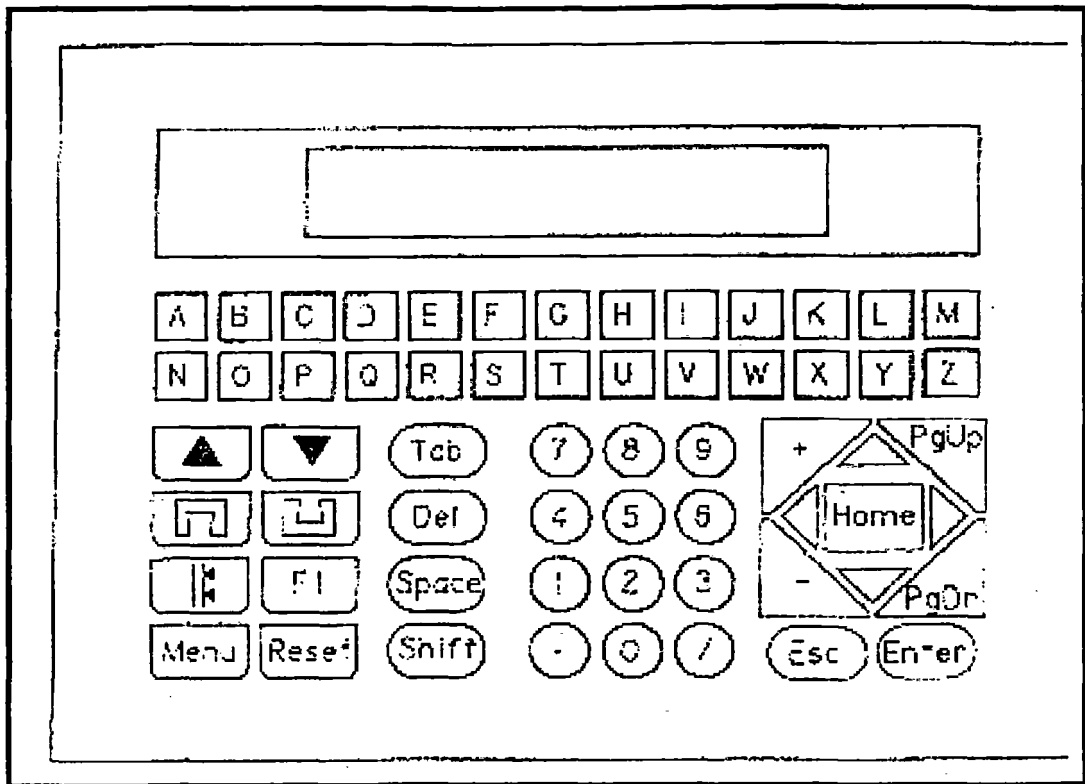
Επίσης κρίνω απαραίτητο την επεξήγηση των πιο σημαντικών εντολών που έχει το πρόγραμμα που χρησιμοποιεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και στη συνέχεια θα αναλύσουμε και την λειτουργία της κονσόλας που φέρει το μηχανήμα .

## Χρήσιμες Εντολές Η/Υ

- Τύπος διάκενου .Εισαγωγή γεωμετρικών στοιχείων όσων αφορά τις διαστάσεις του φυτικού υλικού που πρόκειται υποβληθεί σε μηχανική καταπόνηση .
- Εισαγωγή .Εισαγωγή δεδομένων και αυτόματη έναρξη της διαδικασίας της δοκιμής από το μηχάνημα .
- Εξτενσιόμετρο .Επιλογή και μέτρηση της επιμήκυνσης κατά την διάρκεια της δοκιμής .
- Δευτερεύον εξτενσιόμετρο .Επιλογή και μέτρηση της επιφάνειας που μικραίνει κατά την καταπόνηση .
- Δεδομένα .Εισαγωγή στοιχείων τα οποία θα εκτυπωθούν μετά το τέλος της δοκιμής .
- Δεδομένα διάκενων .Τα στοιχεία αυτά υποστηρίζουν τα αποτελέσματα .Στην ουσία είναι έξτρα πληροφορίες ,τα οποία τα εισάγουμε προαιρετικά .
- Αποτελέσματα .Επιλογή για το πώς θέλουμε να απεικονιστούν τα αποτελέσματά μας μετά το πείραμα .Ενεργοποίηση των στατιστικών αποτελεσμάτων .
- Εκτύπωση .Επιλογή και ρυθμίσεις για την εκτύπωση του εγγράφου που περιέχει την δοκιμή και το διάγραμμα αυτής .
- Διάγραμμα .Καθορισμός της μορφής του γραφήματος .

## Λειτουργία κονσόλας

Η κονσόλα που φέρει το μηχάνημα έγινε κατά παραγγελία από τον Δρ. Ν. Μπατσούλα ,προκειμένου να γίνονται πειράματα πιο γρήγορα και το ίδιο αποτελεσματικά .Η κονσόλα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



**EIKONA 10.2.** Κονσόλα λειτουργίας

Η κονσόλα όπως φαίνεται και παραπάνω είναι πολύ απλή στην λειτουργία της .Αποτελείται από μια οθόνη υγρών κρυστάλλων και ένα πληκτρολόγιο με 61 πλήκτρα .Τα οποία έχουν την εξής λειτουργικότητα .Δύο πλήκτρα ανεβάζουν και κατεβάζουν την κεφαλή .Δύο πλήκτρα που ανοίγουν και κλείνουν τις αρπαγές ,οι οποίες λειτουργούν με αέρα .Ένα πλήκτρο που ενεργοποιεί και απενεργοποιεί το τενσιόμετρο και άλλα τα οποία είναι μικρότερης σημασίας ,όπως οι αλφαριθμητικοί χαρακτήρες και διάφορα άλλα .

### 10.5. ΠΕΙΡΑΜΑ – ΕΚΤΕΛΕΣΗ

Πριν αρχίσουμε να αναλύουμε όλη την διαδικασία του πειράματος καθώς επίσης και την προετοιμασία πριν από αυτό θα αναφερθούμε στις στηρίξεις και πως τελικά λύθηκε το "πρόβλημα" αυτό .

Όσον αφορά την στήριξη του καλαμιού και της πατάτας κατά την μηχανική καταπόνηση της διάτμησης σχεδιάστηκε ένα πλαίσιο όπως φαίνεται στις τρεις όψεις του στο παράρτημα .Είναι μια πολύ απλή κατασκευή η οποία έχει την μορφή κύβου.

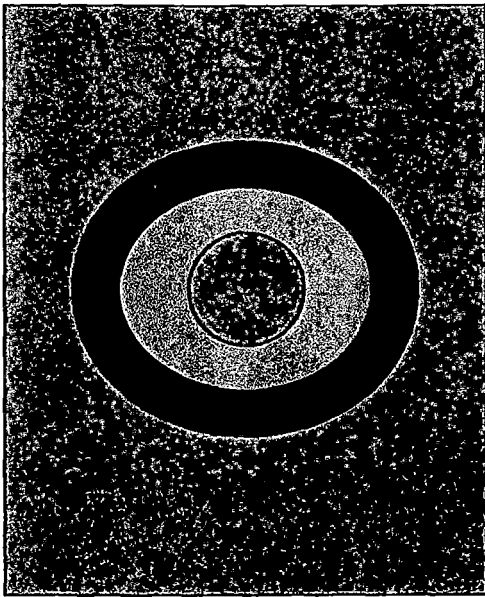


Στο κέντρο αυτού υπάρχει οπή όπου εισέρχεται το κοπτικό εργαλείο όταν τελικά κάνει την διάτμηση και κόψει το φυτικό υλικό. Στα άκρα της κατασκευής αυτής υπάρχουν βάσεις όπου στηρίζουμε τα άκρα του φυτικού υλικού. Στο παράρτημα απεικονίζεται η κατασκευή αυτή.

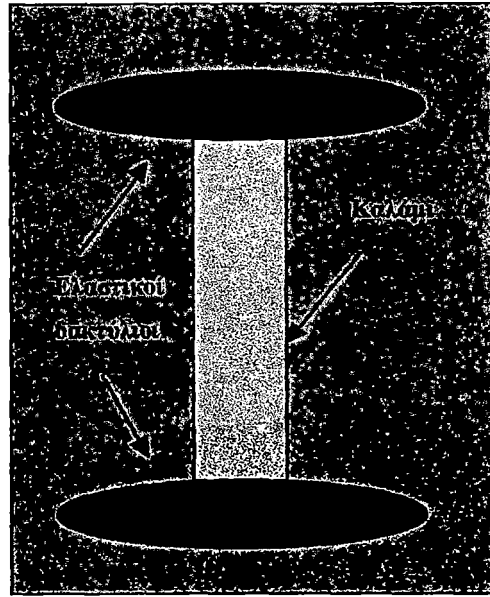
Για την στήριξη του καλαμιού κατά την μηχανική καταπόνηση του εφελκυσμού δοκιμάσαμε πολλούς τρόπους στήριξης, όπως :

### Ελαστικοί δακτύλιοι από καουτσούκ

Οι οποίοι είχαν τη μορφή :



Ελαστικοί δακτύλιοι

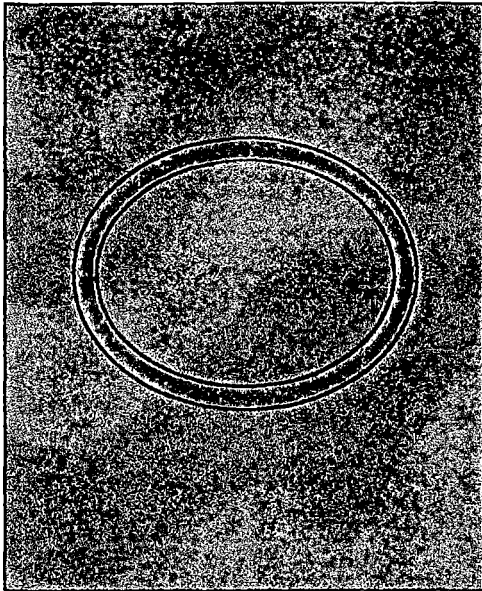


Καλάμι με ελαστικούς δακτυλίους στα άκρα του

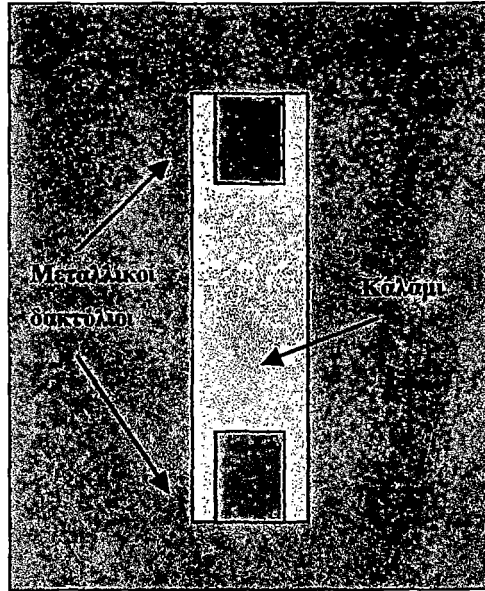
Ο παραπάνω τρόπος στήριξης όμως δεν ήταν αποτελεσματικός γιατί είχαμε μεγάλη ολίσθηση κατά την μηχανική καταπόνηση με συνέπεια τα αποτελέσματα μας επιστημονικά να είναι λανθασμένα. Επειδή κατά την διάρκεια του πειράματος το φορτίο αυξάνεται καθώς επίσης και η απόσταση μεταξύ των κεφαλών οι αρπαγές ασκούν περισσότερη πίεση στο φυτικό υλικό με συνέπεια οι ελαστικοί δακτύλιοι να μην μπορούν να απορροφήσουν το φορτίο, με συνέπεια να ασκείται πίεση στα άκρα του φυτικού υλικού, στο οποίο δημιουργούνται εγκάρσιες τομές, όπου επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα.

## Μεταλλικός δακτύλιος στο εσωτερικό του φυτικού υλικού

Ο τρόπος αυτός στήριξης βασίζεται στην παραπάνω φιλοσοφία και έχει την μορφή :



Μεταλλικός δακτύλιος μη συμπαγής

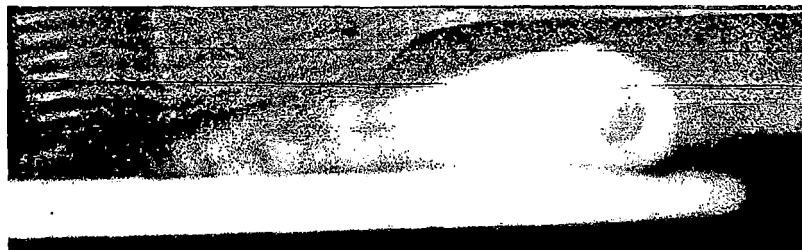


Μεταλλικοί δακτύλιοι εσωτερικά του καλαμού

Και σε αυτόν εδώ τον τρόπο είχαμε επίσης πρόβλημα ανάλογο του παραπάνω .

## Σιδερένιος δοκός συμπαγής στο εσωτερικό του φυτικού υλικού

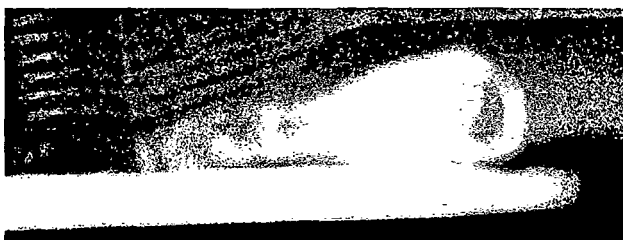
Η μέθοδος αυτή στήριξης ,είναι παρόμοια με τη μέθοδο με τους δακτυλίους ,με τη μονή διάφορα ότι αντί για μεταλλικό δακτύλιο μη συμπαγή ,έχουμε συμπαγή κομμάτι στην άκρη του φυτικού υλικού .Ο τρόπος αυτός στήριξης ,ήταν ο πιο αποτελεσματικός και έγιναν τα πειράγματα με βάση αυτόν το τύπο στήριξης .



Σιδερένιος δοκός στο εσωτερικό φυτικού υλικού.

## Τσιμέντο στο εσωτερικό του φυτικού υλικού

Σε αυτή τη μέθοδο εργαστήκαμε με βάση την στήριξη του τσιμέντου στα άκρα του φυτικού υλικού .Δηλαδή πρώτα παρασκευάσαμε το τσιμέντο και στη συνέχεια το τοποθετήσαμε στις άκρες του φυτικού υλικού όσων το δυνατόν ποιο βαθιά μέσα στο στέλεχος .Ο τρόπος αυτός στήριξης είναι πάρα πολύ καλός και οικονομικός ,το μόνο μειονέκτημα που έχει είναι ότι πρέπει να περιμένουμε αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να στεγνώσει το δοκίμιο .



Τσιμέντο στο εσωτερικό του φυτικού υλικού.

*ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Οι δύο παραπάνω τύποι στήριξης του φυτικού υλικού ,είναι αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμά μας .*

### 10.5.1.ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πρώτο πράγμα που κάνουμε κατά την έναρξη του πειράματος είναι να καθορίσουμε και σημειώσουμε τα στοιχεία (ιδιότητες ,χαρακτηριστικά) του φυτικού υλικού ,που πρόκειται να υποβάλουμε σε μηχανική καταπόνηση .Στη συνέχεια τα βάζουμε σε ένα πίνακα όπως παρακάτω :

Μήκος στελέχους	240 [mm] (με δύο κόμπους)
Διάμετρος	17 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	15 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός

Εφόσον τελειώσουμε την παραπάνω διαδικασία ,αρχίζουμε να βάζουμε σε λειτουργία το μηχάνημα των καταπονήσεων ,ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία :

- Άνοιγμα κεντρικού διακόπτη παροχής ηλεκτρικού ρεύματος από τον κεντρικό πίνακα του μηχανήματος .
- Άνοιγμα του κεντρικού διακόπτη του μηχανήματος ,όπου βρίσκεται στο πίσω μέρος αυτού .
- Άνοιγμα του συμπιεσέρ αέρα ,επειδή το μηχάνημα είναι πνευματικό .
- Άνοιγμα το ηλεκτρονικού υπολογιστή και εισαγωγή στο κύριο μενού εκτέλεσης των πειραμάτων .
- Αναμονή περίπου 15 λεπτά για να έρθει το όλο σύστημα σε ισορροπία, δηλαδή να είναι έτοιμο προς εκτέλεση μηχανικής καταπόνησης .

Ύστερα από την παραπάνω διαδικασία παίρνουμε το φυτικό υλικό και το τοποθετούμε στις αρπαγές του μηχανήματος ,πάντα με πολύ προσοχή .Πατάμε τα κουμπιά που ασφαλίζουν τις δαγκάνες και κεντράρουμε το φυτικό υλικό ,μέσα σε αυτές .Εφόσον όπως είπαμε και παραπάνω έχουμε κάνει όλη την διαδικασία είμαστε έτοιμοι προς μέτρηση .

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11**  
**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

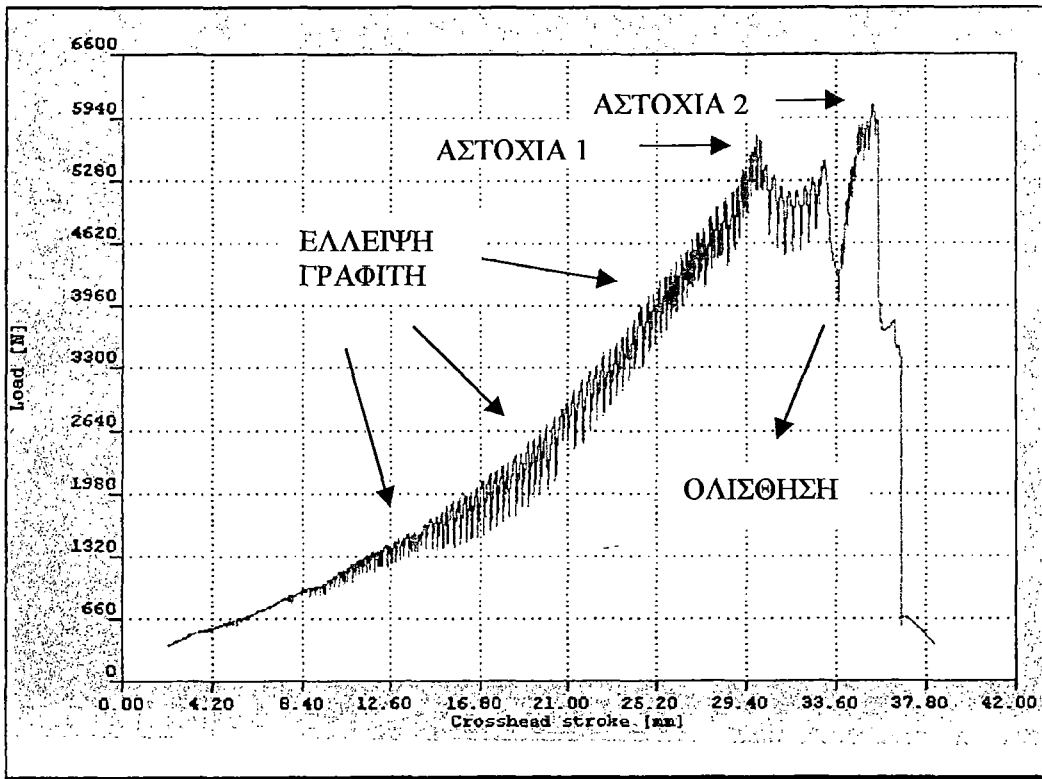
ΔΕΔΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

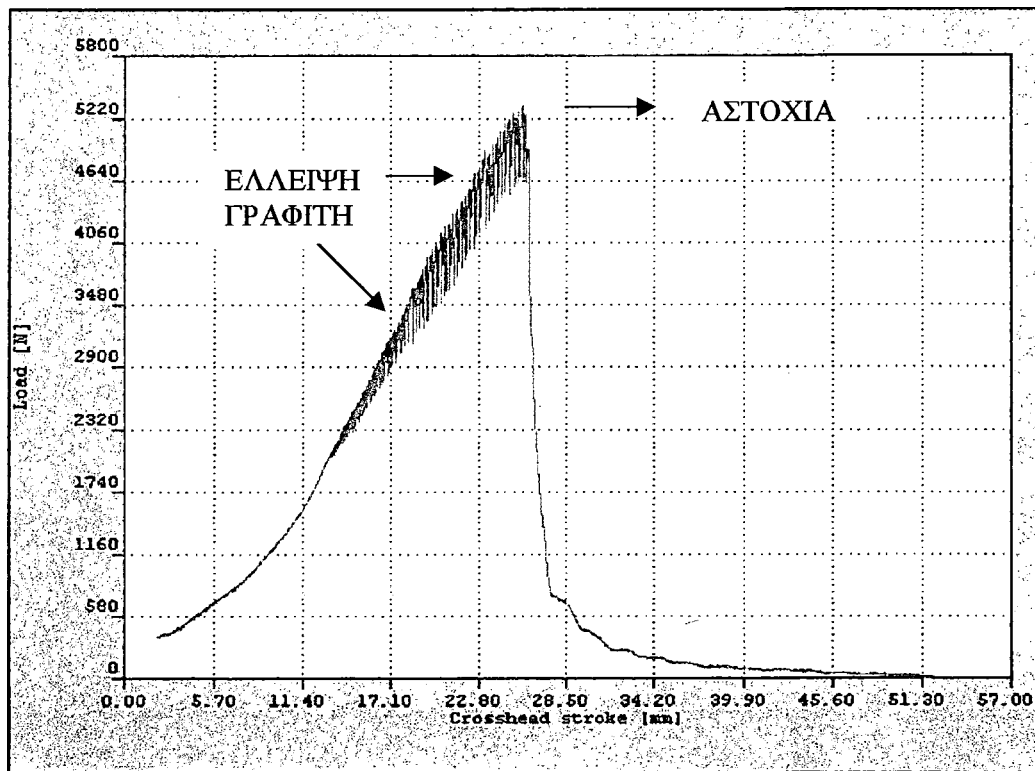
### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 11.1. ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

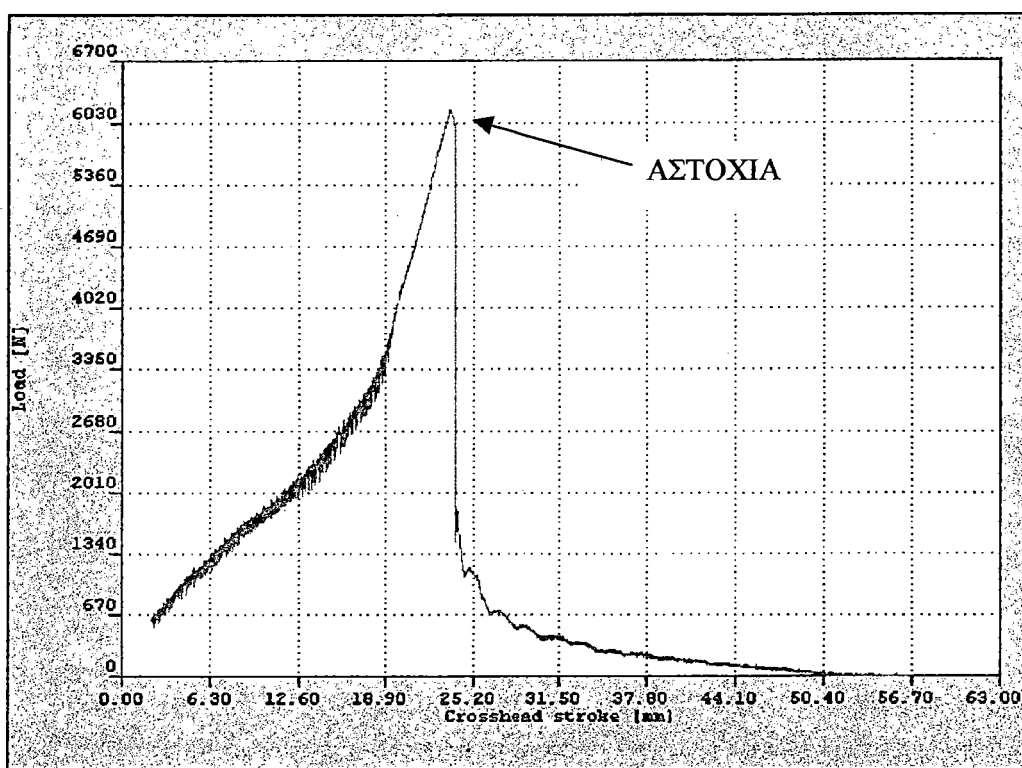
Μήκος στελέχους	320 [mm]
Διάμετρος	20 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφέλκυσμός



Μήκος στελέχους	310 [mm]
Διάμετρος	22 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός

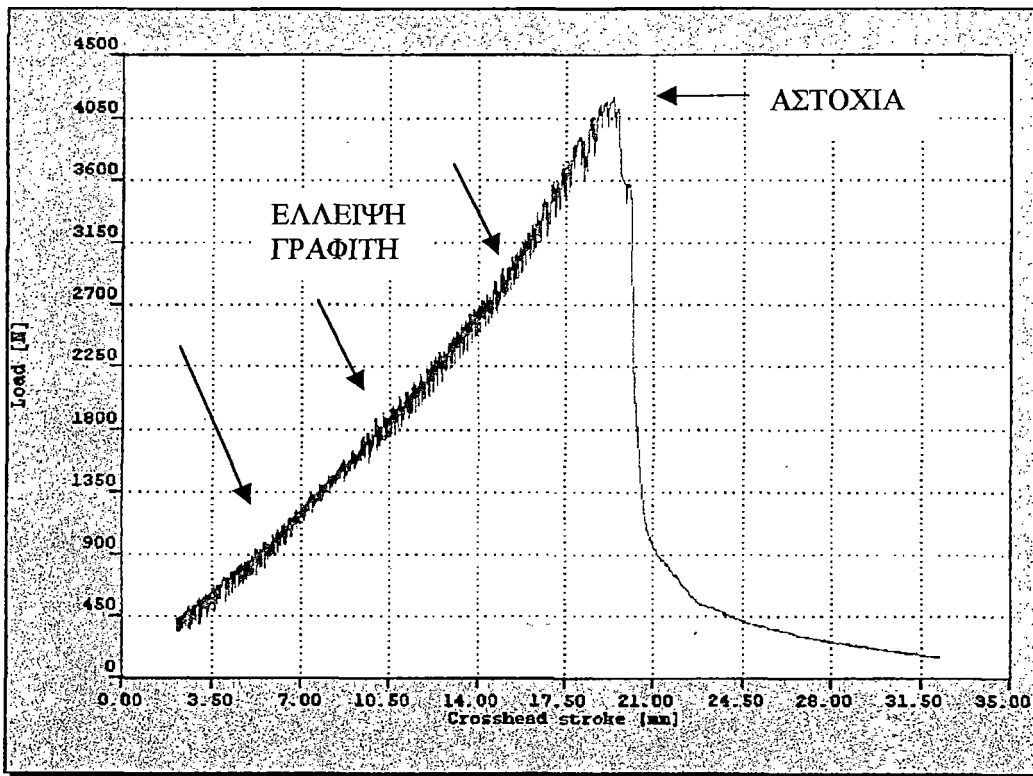


Μήκος στελέχους	405 [mm]
Διάμετρος	18 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός

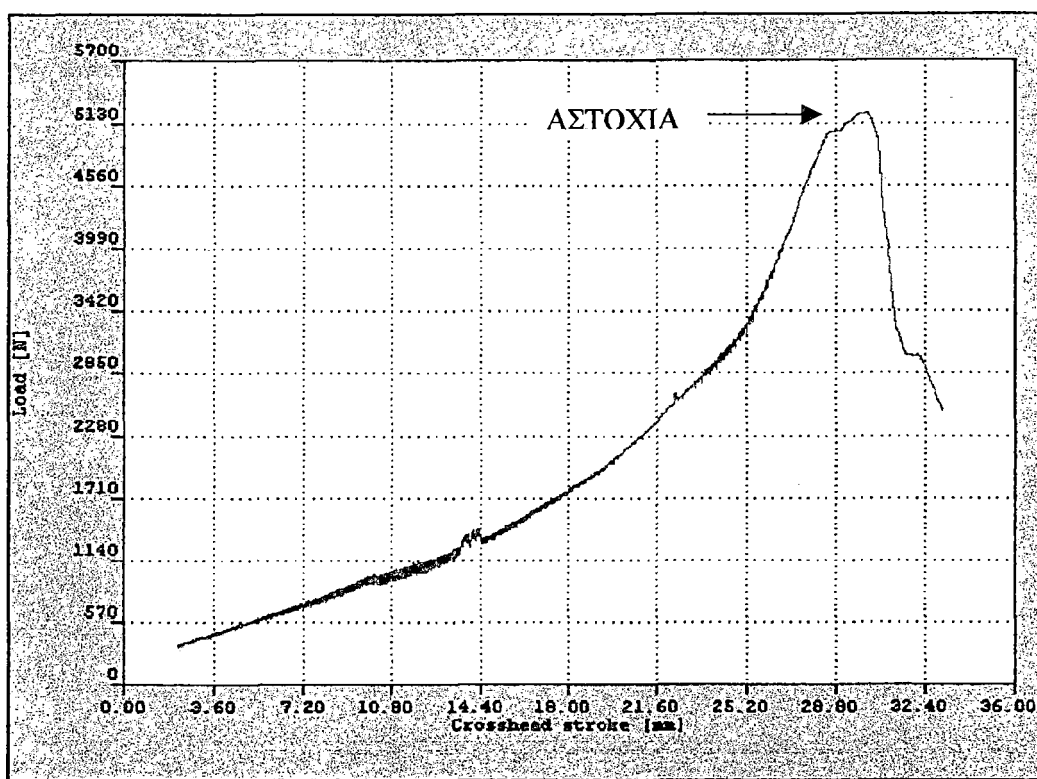




Μήκος στελέχους	310 [mm]
Διάμετρος	20 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός

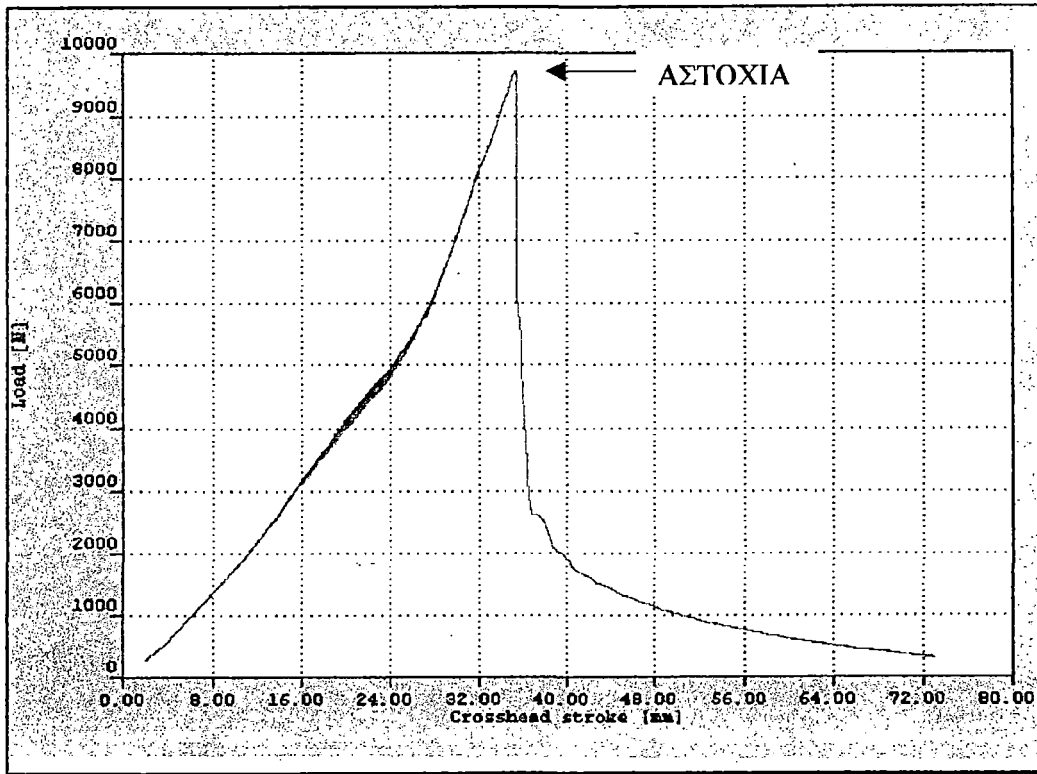


Μήκος στελέχους	340 [mm]
Διάμετρος	23 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός

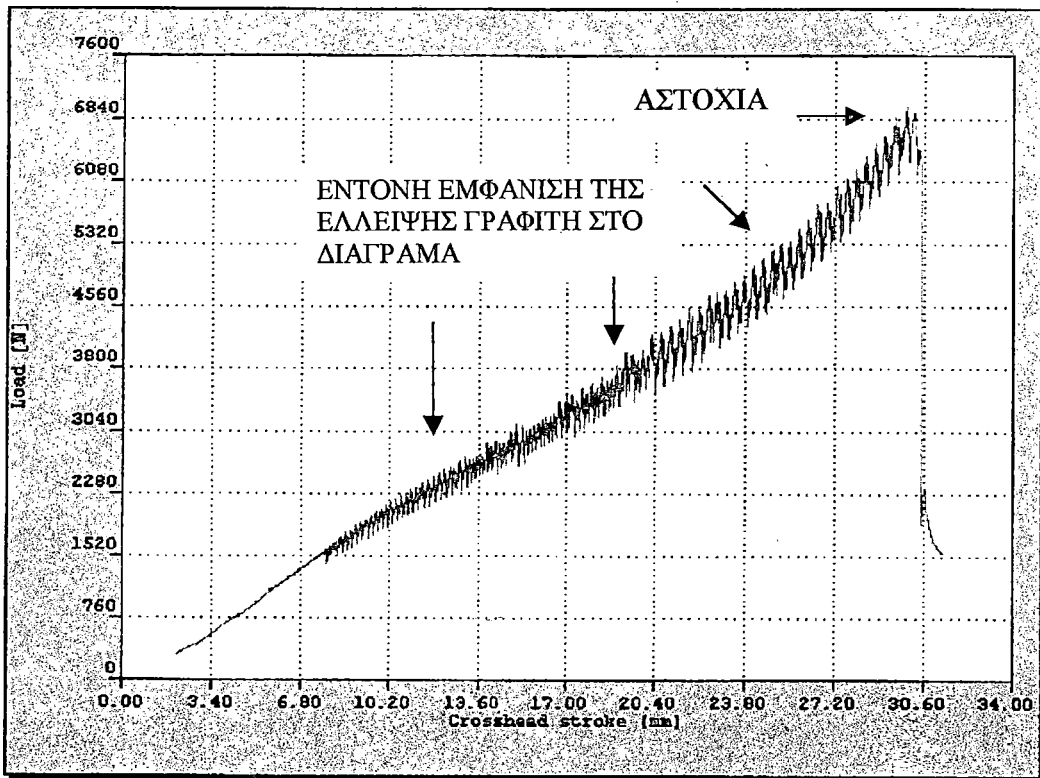


## 11.2. ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΑΤΟΦΙΟ ΧΑΛΥΒΑ

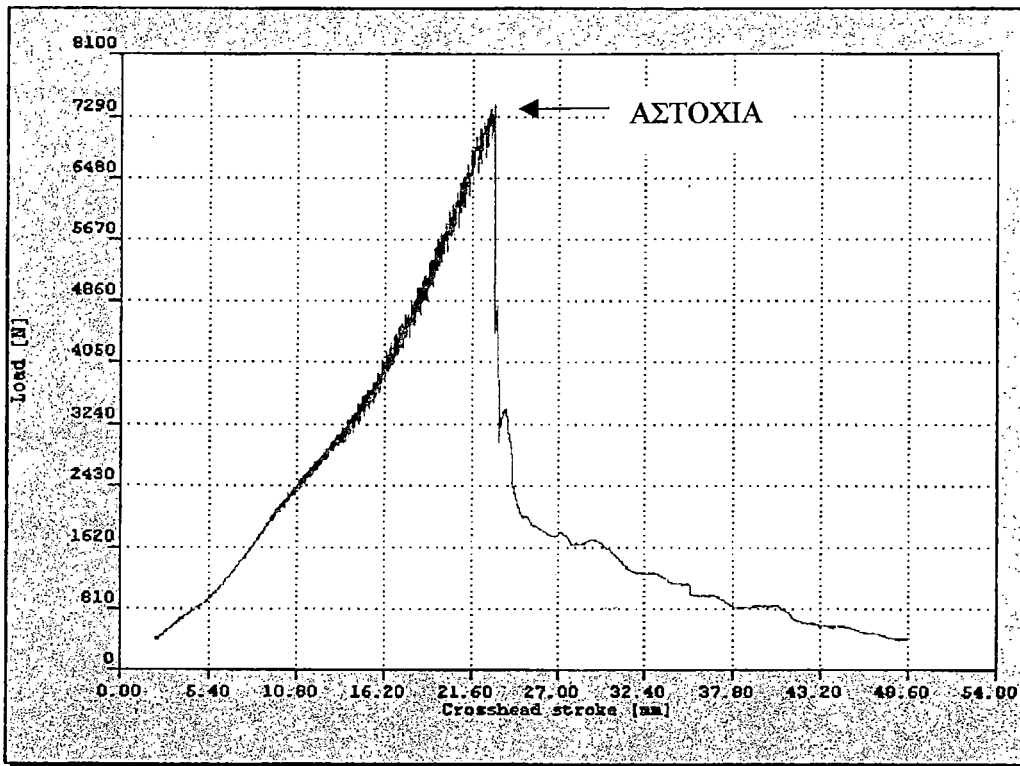
Μήκος στελέχους	250 [mm]
Διάμετρος	26 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός



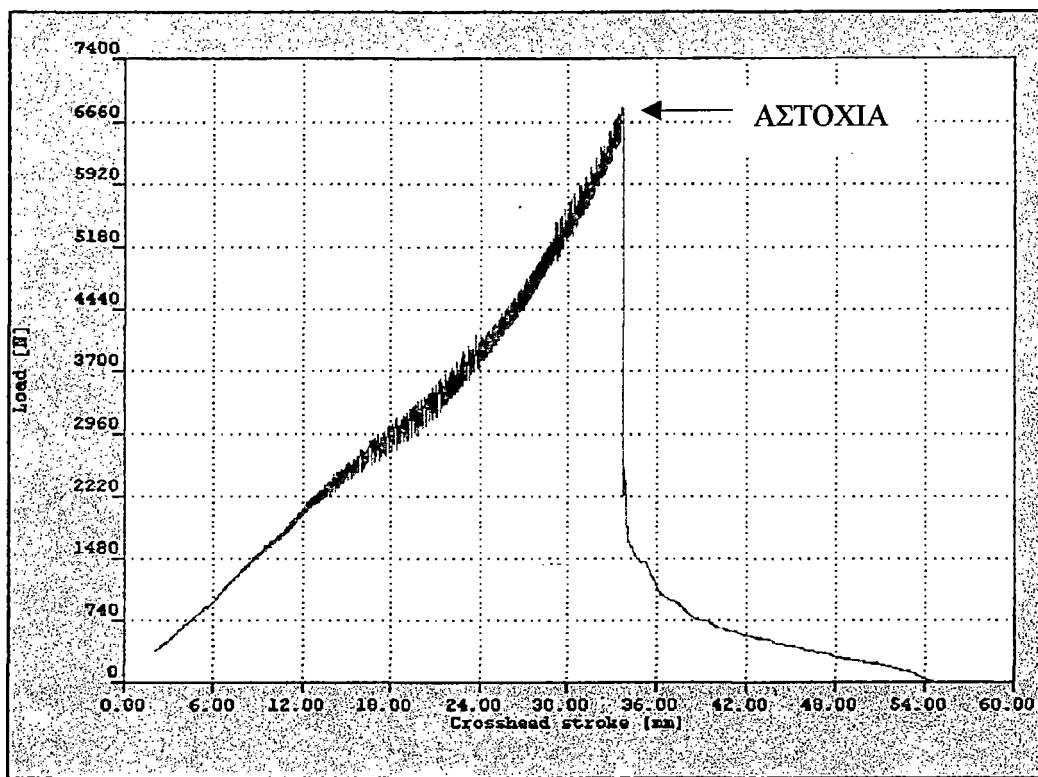
Μήκος στελέχους	350 [mm]
Διάμετρος	23 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός



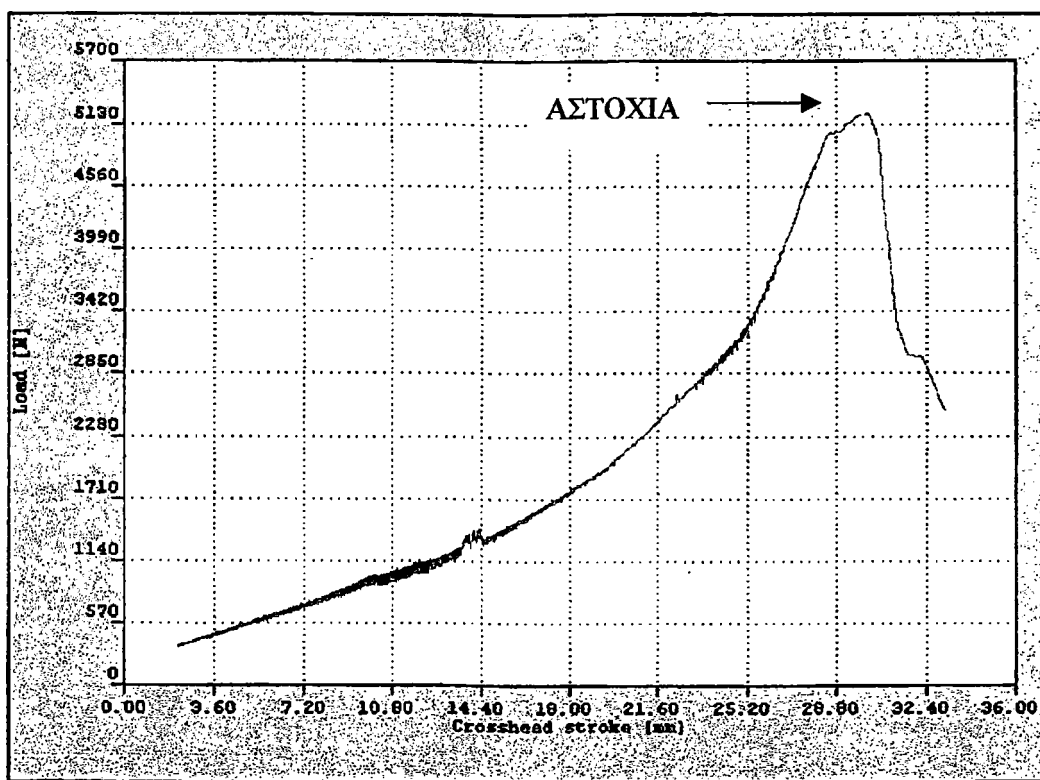
Μήκος στελέχους	260 [mm]
Διάμετρος	23 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός



Μήκος στελέχους	350 [mm]
Διάμετρος	23 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός



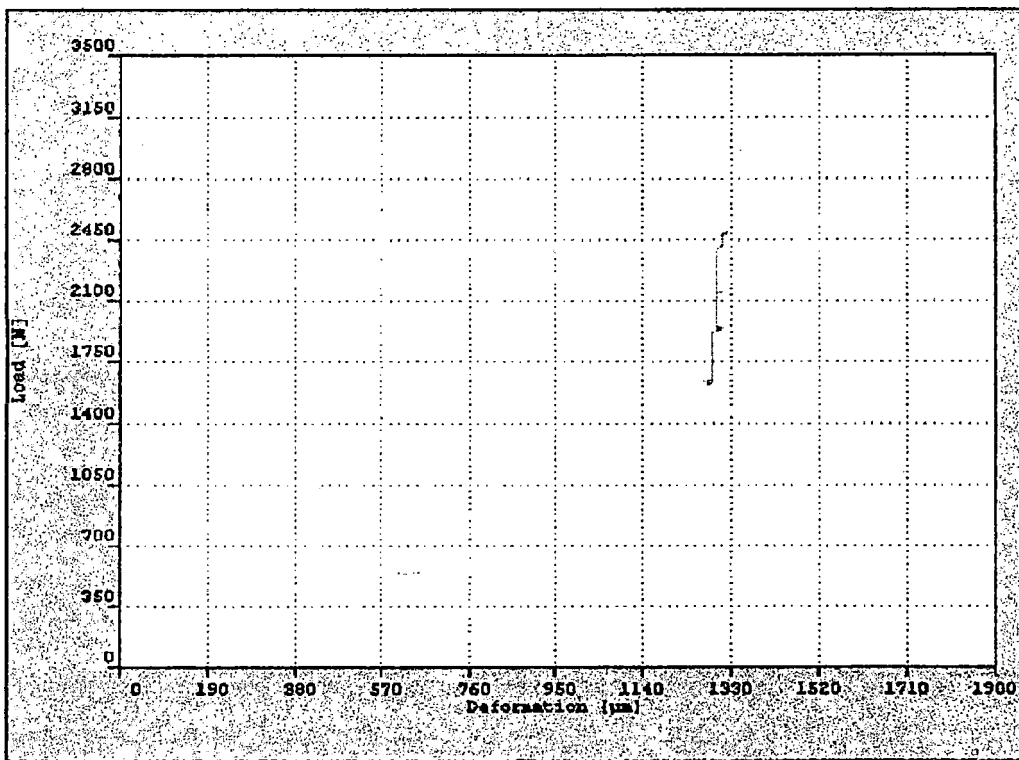
Μήκος στελέχους	355 [mm]
Διάμετρος	24 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	2 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός



*ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Όλα τα παραπάνω διαγράμματα είναι με βάση τη μετατόπιση των κεφαλών (crosshead stroke) και όχι με βάση την παραμόρφωση.*

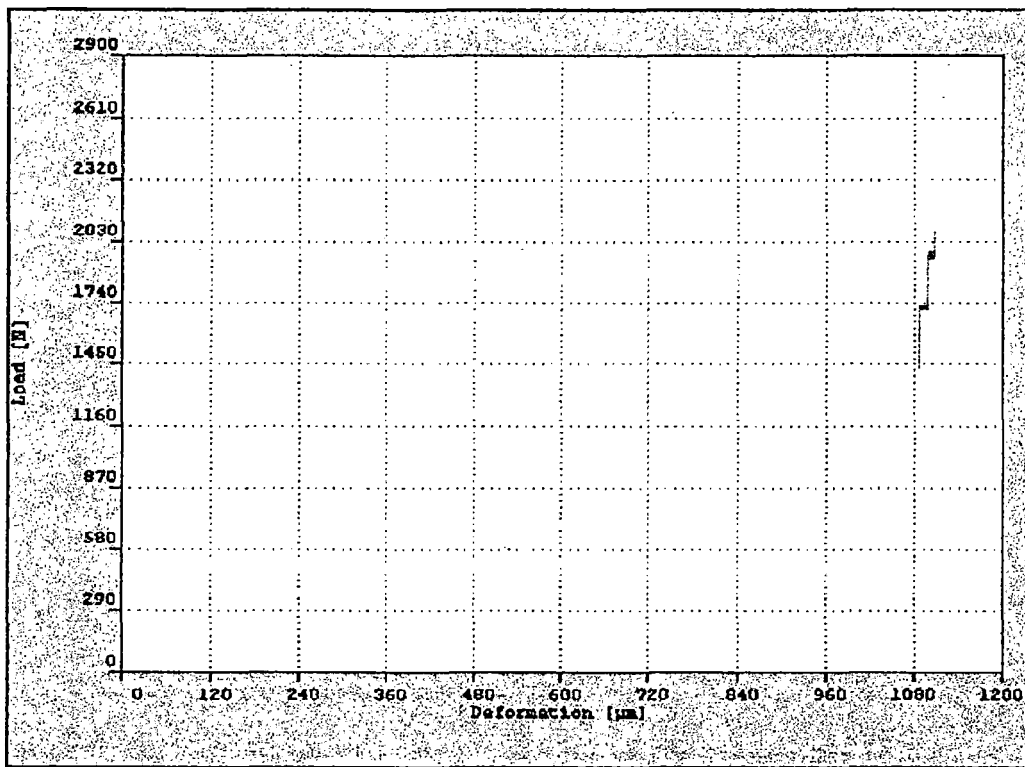
### 11.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕ ΜΗΚΙΝΣΙΟΜΕΤΡΑ

Μήκος στελέχους	460 [mm]
Διάμετρος	20 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	15 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός





Μήκος στελέχους	310 [mm]
Διάμετρος	20 [mm]
Φυτικό υλικό	Καλάμι
Ταχύτητα δοκιμής	15 [mm/min]
Μηχανική καταπόνηση	Εφελκυσμός

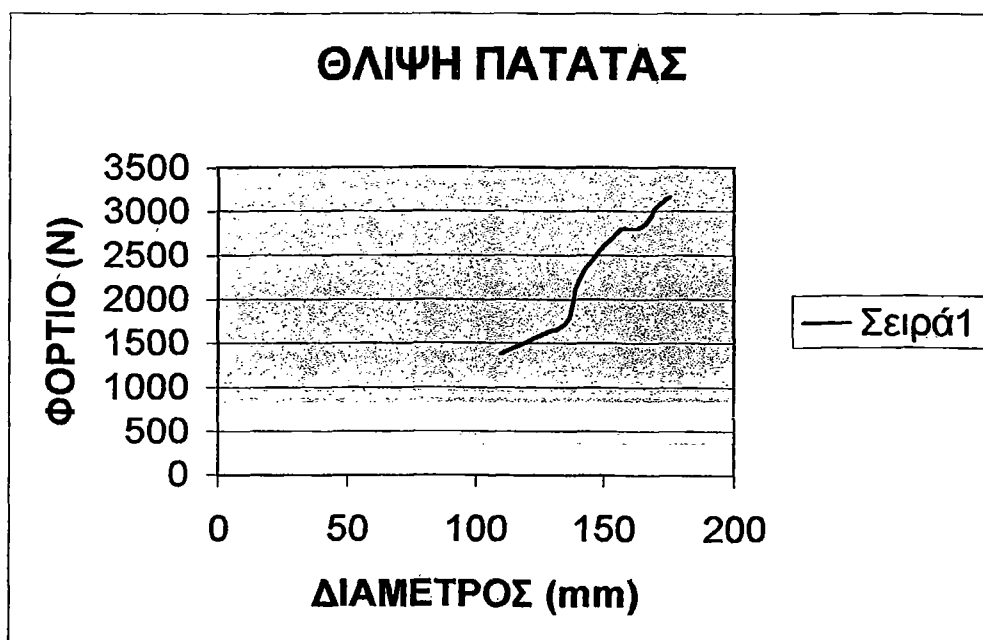


#### 11.4. ΘΛΙΨΗ ΠΑΤΑΤΑΣ

Για την θλίψη της πατάτας χρησιμοποιήσαμε δέκα δείγματα διαφορετικών διαστάσεων. Τα στοιχεία που καταγράψαμε είναι η διάμετρος [mm] και το μέγιστο φορτίο [N]. Τα αποτελέσματα της δοκιμής, είναι τα παρακάτω :

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ [mm]	ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ [N]
110	1380
124	1570
136	1756
141	2257
156	2783

161	2796
165	2839
168	2945
170	3045
175	3163



***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12***  
***ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ***

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ύστερα από όσα αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια και μετά το τέλος του πειράματος που είχε σαν σκοπό την μελέτη και την μηχανική συμπεριφορά των φυτικών υλικών βγάζουμε τα εξής συμπεράσματα :

- Σε μια τέτοια δοκιμή καθοριστικό ρόλο παίζουν οι "στηρίξεις" που θα σχεδιαστούν προκειμένου να συγκρατήσουν το φυτικό υλικό κατά την διάρκεια της δοκιμής ,στην μηχανή καταπονήσεων .
- Το μέγεθος του φυτικού υλικού πρέπει προηγουμένως να έχει μετρηθεί έτσι ώστε να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματά μας ,μετά την δοκιμή .
- Έχει μεγάλη σημασία η εποχή που είναι συγκομισμένο το φυτικό υλικό .Όσο πιο νωρίς έχει κοπεί ,τόσο μικρότερη αντοχή έχει κατά την δοκιμή γιατί ,χάνει τα ποσοστά υγρασίας του με συνέπεια να μην έχει ελαστικότητα και φτάνει στη θραύση πιο εύκολα .
- Πρέπει να γνωρίζουμε τα φυσικά χαρακτηριστικά του φυτικού υλικού που πρόκειται να υποβάλλουμε σε μηχανική καταπόνηση ,δηλαδή να γνωρίζουμε τις ιδιότητές του .
- Η αντοχή του φυτικού υλικού αυξάνει κατά την διάρκεια της δοκιμής γιατί κατά την δοκιμή του εφελκυσμού για παράδειγμα θρυμματίζονται οι ίνες μία ,μία ξεχωριστά άρα όσο περισσότερες τόσο περισσότερο αντέχει .
- Ρόλο σημαντικό παίζουν και οι αποστάσεις που είναι τα φυτικά υλικά διατεταγμένα στο αγροτεμάχιο .Δηλαδή όσο πιο κοντά είναι φυτεμένα τόσο λιγότερο αντέχουν στις μηχανικές καταπονήσεις .
- Η κυτταρική δομή του στελέχους είναι καθοριστική για την μηχανική αντοχή των φυτικών υλικών .
- Η θερμοκρασία κατά την διάρκεια της δοκιμής αλλά και κυρίως του φυτικού υλικού είναι πολύ σημαντική .Εμείς δεχόμαστε ότι η θερμοκρασία είναι ομοιόμορφη σε όλο το δοκίμιο του φυτικού υλικού που πρόκειται να καταπονήσουμε .

- Οι χημικές ουσίες που μπορεί να περιέχει ένα φυτικό υλικό εξαιτίας λιπάνσεων που έχει δεχτεί τονίζουμε ότι επιταχύνουν τη γήρανση του φυτικού υλικού καθώς επίσης και διαβρώνουν τις ιδιότητές του .
- Η ταχύτητα εκτέλεσης του πειράματος παίζει καθοριστικό ρόλο .Αν δεν καθορίσουμε την σωστή ταχύτητα ,τότε το πείραμα μας θα είναι λάθος .Η μέση ταχύτητα που επιλέξαμε για τις δικές μας μηχανικές καταπονήσεις είναι 15 mm/min .
- Επίσης η γωνία της λεπίδας του κοπτικού εργαλείου κατά την μέτρηση της διάτμησης παίζει ρόλο γιατί ,όσο μικρότερη είναι η γωνία τόσο πιο εύκολα κόβει ,ψαλιδίζει το φυτικό υλικό κατά την καταπόνηση της διάτμησης ,ενώ το αντίθετο ,τόσο πιο δύσκολα και αυξάνεται και η καταπόνηση της συμπίεσης ή θλίψης .
- Η αντοχή της πατάτας για διάμετρο από 110 mm μέχρι 156 mm κυμαίνεται από 1380 N μέχρι 2783 N .
- Η αντοχή του εφελκυσμού στο καλάμι διαμέτρου 20 mm με 28 mm είναι μέχρι 15000 N
- Όσο πιο μικρής ηλικίας είναι το καλάμι τόσο πιο πολύ αντέχει στις μηχανικές καταπονήσεις .
- Τα πρώτα σπασίματα στις ίνες του καλάμιού κατά την μηχανική καταπόνηση του εφελκυσμού αρχίζουν όταν το φορτίο είναι 450 N – 520 N .

***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13***  
***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

ΔΕΛΟΥΣΗΣ Π. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**1. Π. Α. Βουθόουης .**

Β έκδοση 1995 Τεχνική Μηχανική -- Αντοχή των Υλικών

**2. Sverker Persson .**

Monograph 1987      Mechanics of Cutting Plant Materials

**3. P.S. Chattopadhyay K.P. Pandey .**

Mechanical Properties of Sorghum Stalk in relation to Quasi-static  
Deformation

Journal of Agricultural Engineering Research (1999) 73 ,199-206

**3. Chancellor W J .**

Cutting of biological material .

In Handbook of Engineering in Agriculture (1988) 1 ,35-63

**4. Halyk R M ,Hurlbut I .**

Tensile and Shear strength Characteristics of alfalfa stems

Transactions of ASEAE (1968) 11 ,256-257

**5. McRandal D M ,McNulty P B .**

Mechanical and physical properties of grasses

Transactions of ASAE (1980) 23 ,816-821

**6. Prasad J ,Gupta C P .**

Mechanical properties of maize stalks as related to harvesting

Journal of Agricultural Engineering Research (1975) 20 ,79-87

**7. Prince R P ,Bartok T W ,Bradway D M .**

Shear stress and modulus of elasticity of selected forages  
Transactions of ASEAE (1969) 12 ,426-429

**8. Preston J .**

The physical biology of plant cell walls  
Chapman and Hall (1974) 491

**9. Berentsen O J .**

Energy requirements for grass chopping  
Norway institute of agricultural engineering research (1973) Report 22

**10. Prince R P ,Wheeler W C .**

Factor effecting the cutting process of forage crops  
(1960) ASAE paper 60-61

**11. Henry Z A , W H Allen**

Use of hydrostatic pressure in development of stress strain information for  
tomato skins  
Transactions of ASAE (1974) 787-789 ,792

**12. Moore M A, F S King, P F Davis and T C D Mamby**

The effect of knife geometry on cutting force and fracture in sugar beet  
topping  
Journal of Agricultural Engineering Research (1979) 24, 11-

**13. Wilson T R C**

Strength – moisture relations for wood  
USDA (1932) 282

**14. Yoshida, Kenzo**

Analysis of cutting of common hand sickle  
The Agricultural Engineer (1961) 7, 57-66

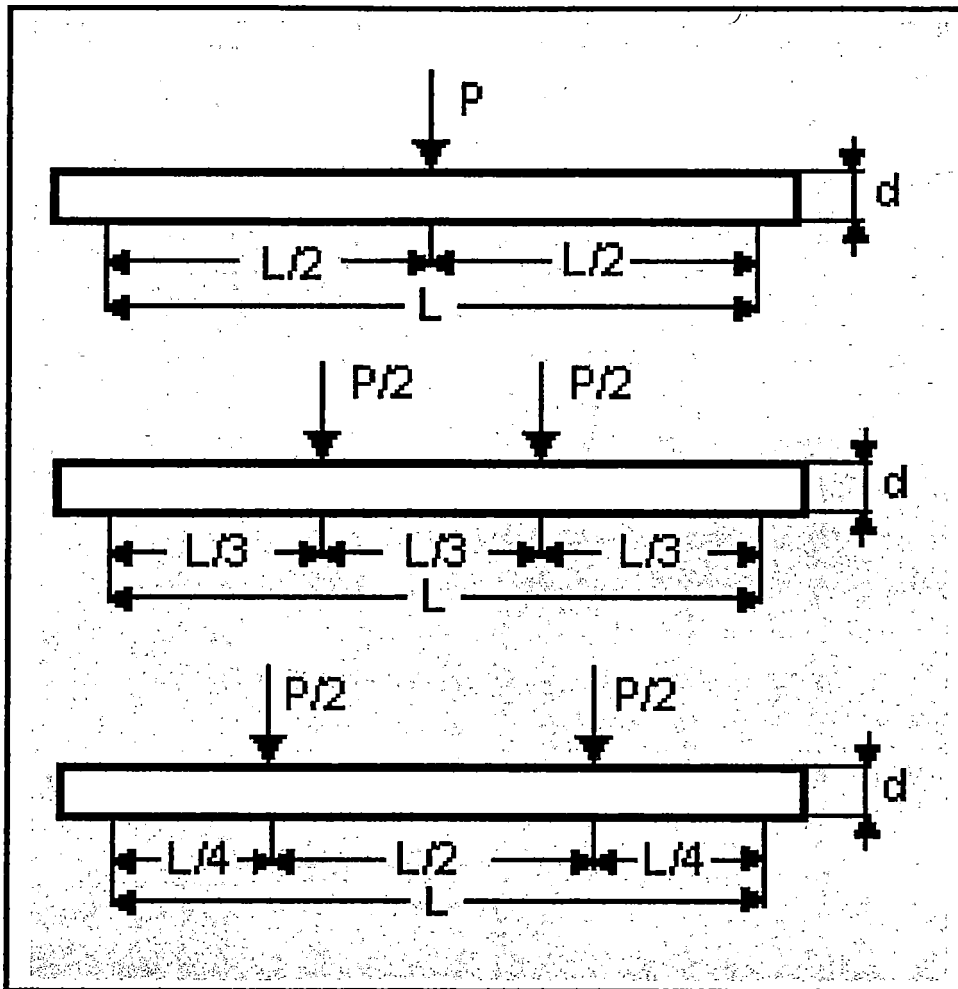


**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14**  
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

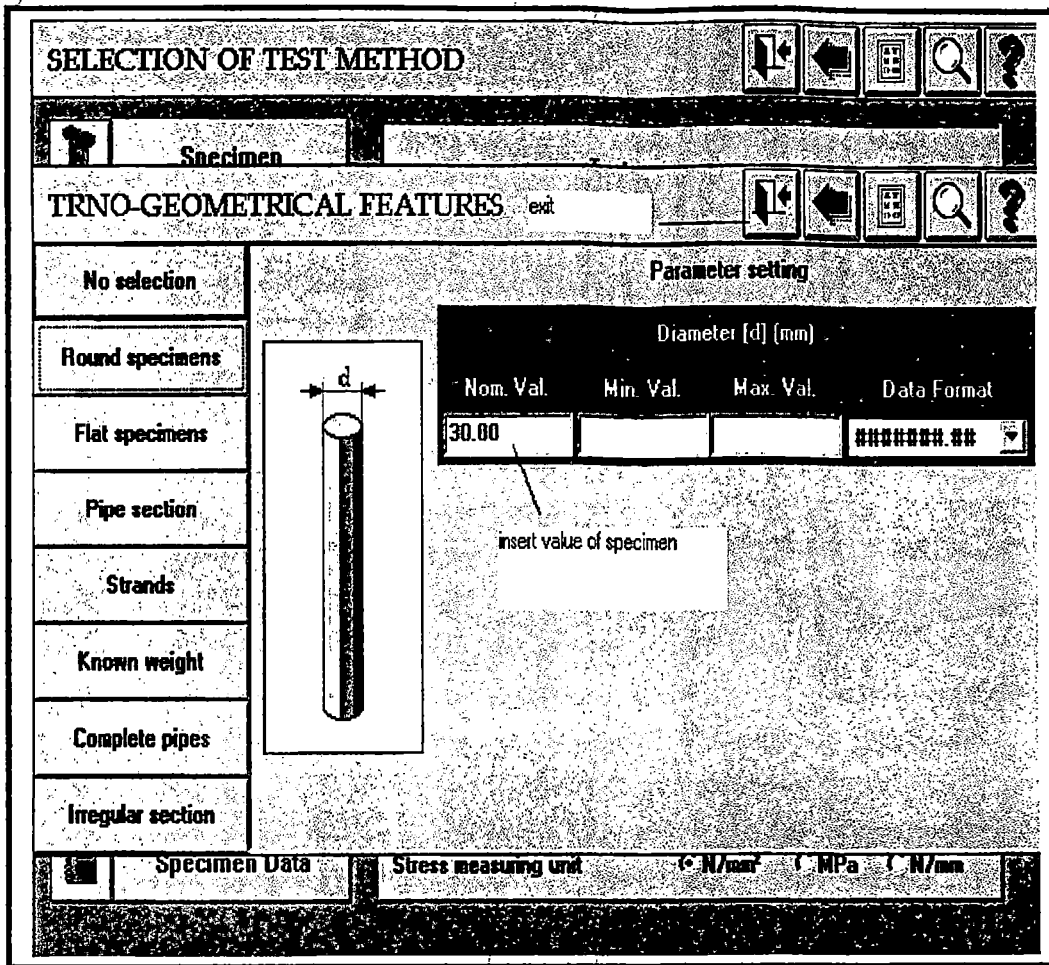
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

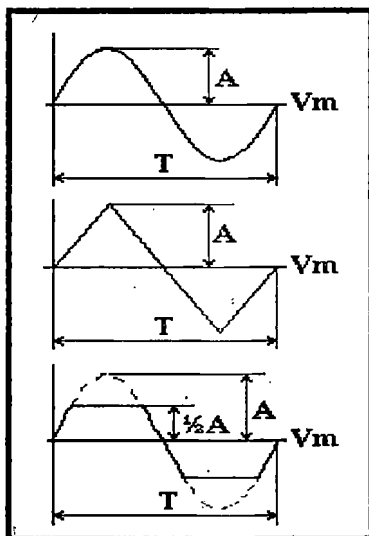
#### 14.1. ΕΙΚΟΝΕΣ – ΣΧΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



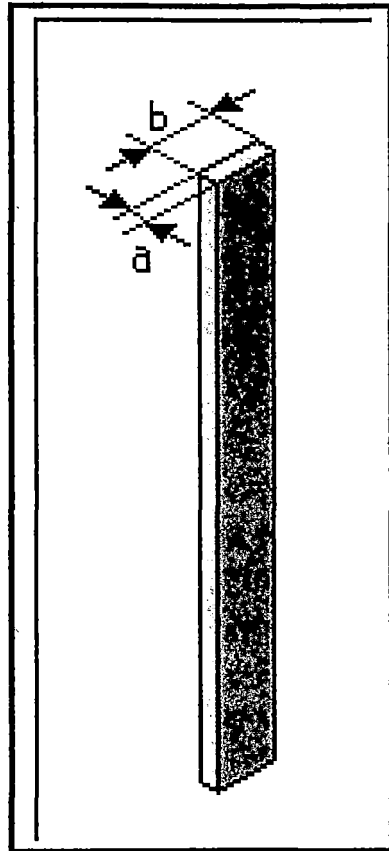
Στοιχεία που μετράμε και καταγράφουμε πριν από την εκπόνηση ενός πειράματος στην μηχανή των καταπονήσεων



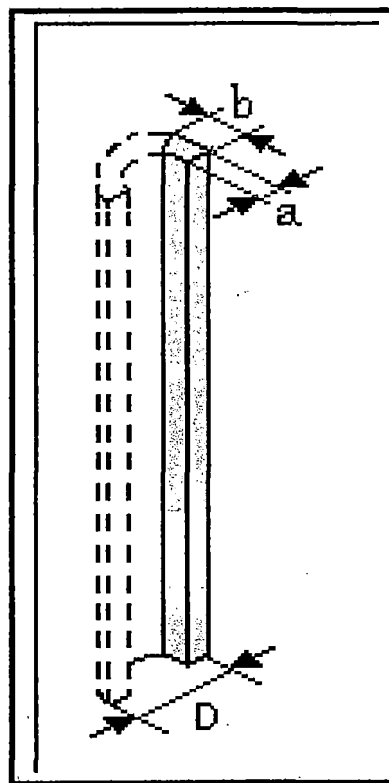
Επιλογή των διαστάσεων του δοκιμίου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο πείραμα, ασκώντας μια απλή ή σύνθετη καταπόνηση



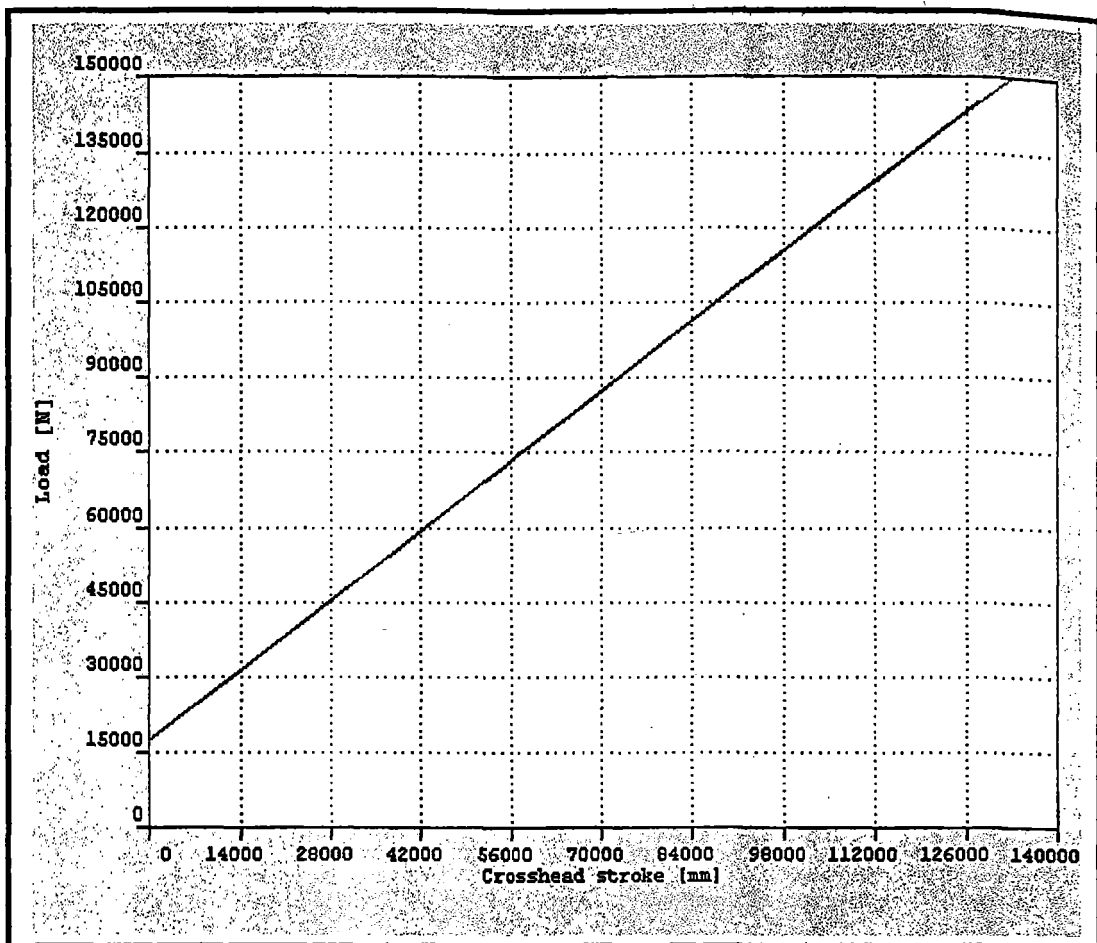
Τύποι διαγραμμάτων που είναι διαθέσιμοι στο πρόγραμμα του H/Y του μηχανήματος



Διαστάσεις που μετράμε σε μια πλάκα



Διαστάσεις που μετράμε σε ένα σωλήνα



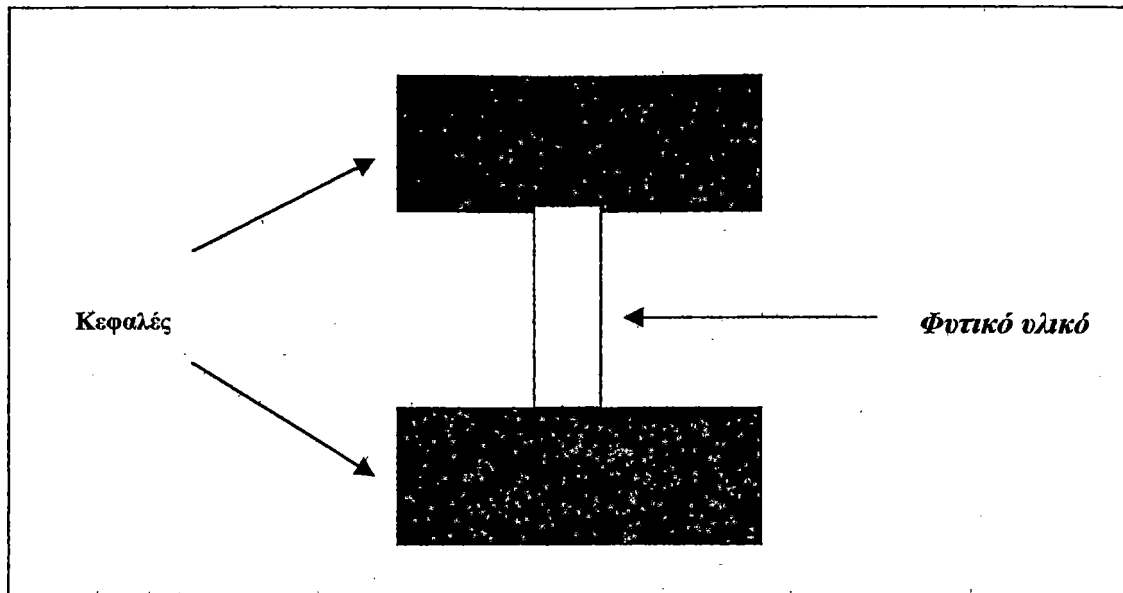
Ένα από τα διαγράμματα που είναι διαθέσιμο

#### 14.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΟΝΣΟΛΑ

Με βάση την κονσόλα οι σειρά των εντολών που πρέπει να δώσουμε για να πάρουμε τα αποτελέσματά μας είναι η παρακάτω :

- MENU => TEST SELECT enter
- SET TEST PARAMETER enter
- GENERAL PARAMETERS enter
  - TEST TYPE : \*TENS(ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ)
  - EXTENSIOMETER : \*NO or YES
  - SPECIMEN SECTION : ΔΙΝΩ ΤΟ ΕΜΒΑΛΟΝ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
  - LOAD LIMIT : 600.000 N
  - ELONG RASE (MM) :5 x ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
  - PAV LENGTH (MM) : ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΕΦΑΛΩΝ

ΑΦΟΥ ΕΙΣΑΧΘΕΙ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΙ ΣΦΡΑΓΙΣΤΕΙ ΠΑΤΑΩ esc

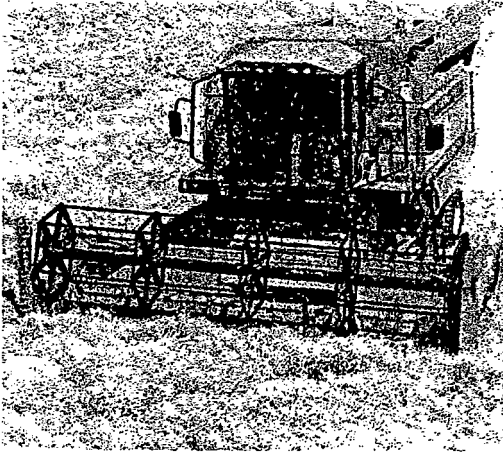


□ SET PARAMETER

- TEST PHASES **enter**
- CHECKING TYPE : \*SPEED LOAD
- DIRECTION : \*UP
- SPEED : ΚΑΤ' ΕΠΙΛΟΓΗ
- C1 : YIELD POINT REACHED **enter** ( ← → )
- C2 : KENA
- C3 : KENA
- NEXT 2 **enter**
- PAGEDOWN (PHASE 2)
- CHECKING TYPE : \*SPEED LOAD
- DIRECTION : \*UP
- SPEED :
- C1 : LOAD ≤ 100
- ESC **enter**
- SET PARAMETER
- RESULT SELECT **enter**
- CHOISE 5
- MENU
- START AUTOMATIC TEST
- F3 - F2 - F4 - F5 - F1 - DEL - TAB

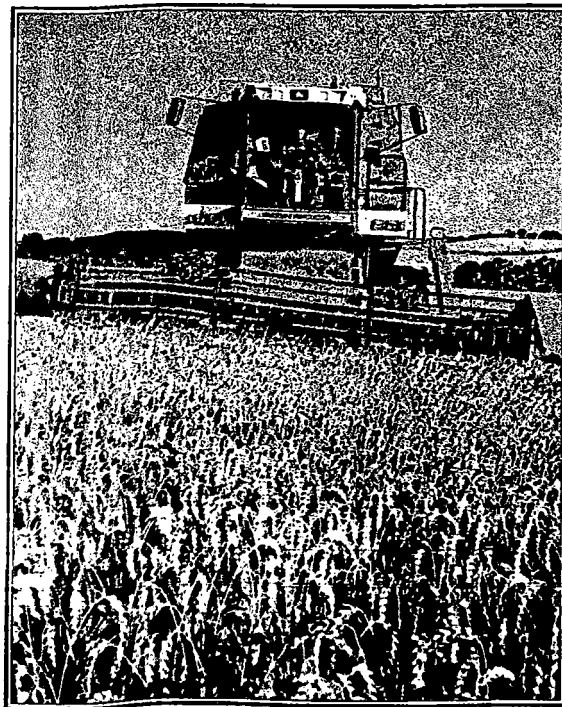
Το πείραμα αρχίζει και αναμένουμε κούτώντας πάντα στην οθόνη μας τις τιμές κατά την διάρκεια της μηχανική καταπόνησης .Σε καμία περίπτωση δεν αγγίζουμε τη μηχανή ή το φυτικό υλικό κατά την διάρκεια του πειράματος ,προκειμένου να αποφύγουμε κάποιο ατύχημα .

Τα αποτελέσματα από το πείραμα δίνονται σε επόμενο κεφάλαιο .

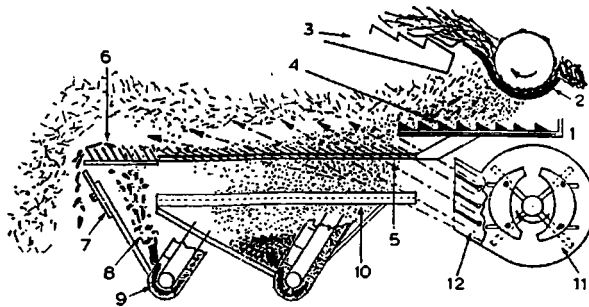


Γεωργικές Μηχανές που ασκούν μηχανικές καταπονήσεις κατά την εργασία τους στον αγρό .Κοπή ,Συμπίεση ,Εφελκυσμό

Γεωργικές Μηχανές που ασκούν μηχανικές καταπονήσεις κατά την εργασία τους στον αγρό .Κοπή ,Συμπίεση ,Εφελκυσμό

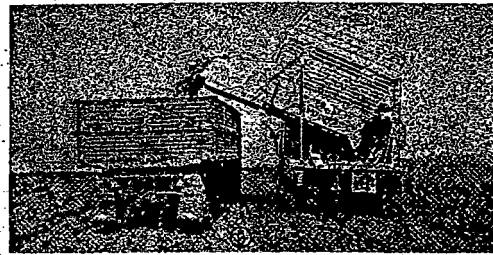
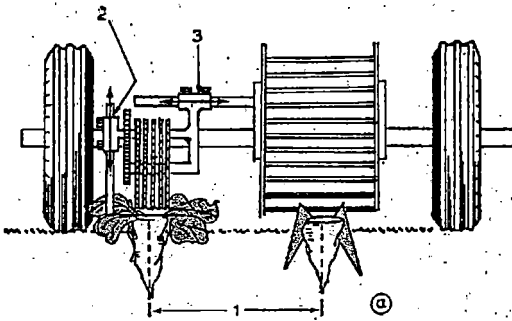


1. Τύμπανο.
2. Αντιτύμπανο.
3. Αχyroπινάκτες.
4. Χώρος συγκεντρώσεως του καρπού από το αντιτύμπανο και τους αχyroπινάκτες.
5. Πρώτο (επάνω) κόσκινο.
6. Επέκταση πρώτου κοσκίνου (μοιάζει με χτένι) ρυθμιζόμενων διακένων.
7. Κεκλιμένο επίπεδο (φάλκα), ρυθμιζόμενο.
8. Επιστρεφόμενα (μισοτριμμένοι, στάχεις, κότσαλα).
9. Αναβατήριο επιστρεφομένων.
10. Δεύτερο (κάτω) κόσκινο.
11. Ανεμιστήρας.
12. Ελάσματα ρυθμίσεως της κατευθύνσεως του αέρα (κατευθυντήρες).



Συνηθισμένη διάταξη κοσκίνων και ανεμιστήρα θεραπυωστικής μηχανής.

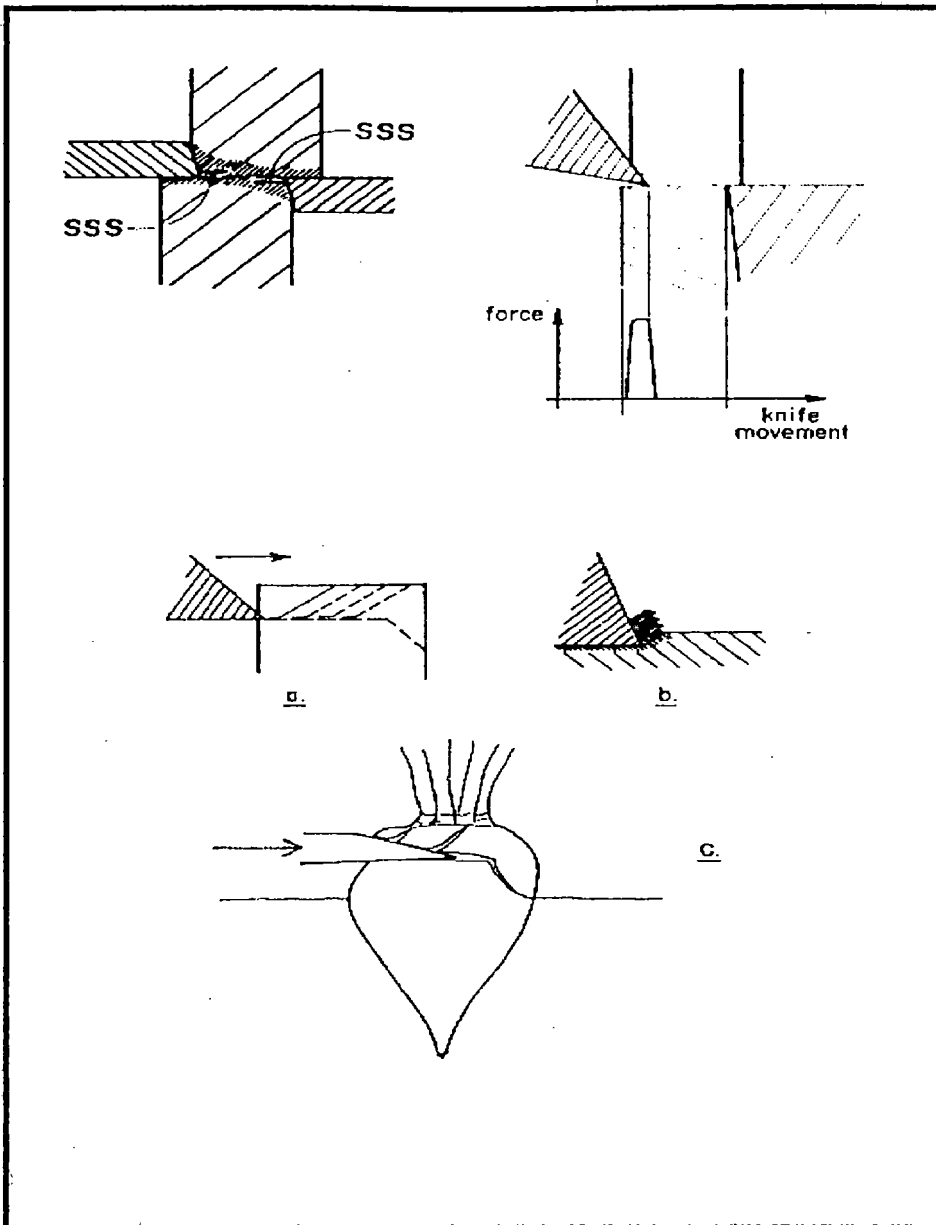
### Επεξεργασία φυτικού υλικού



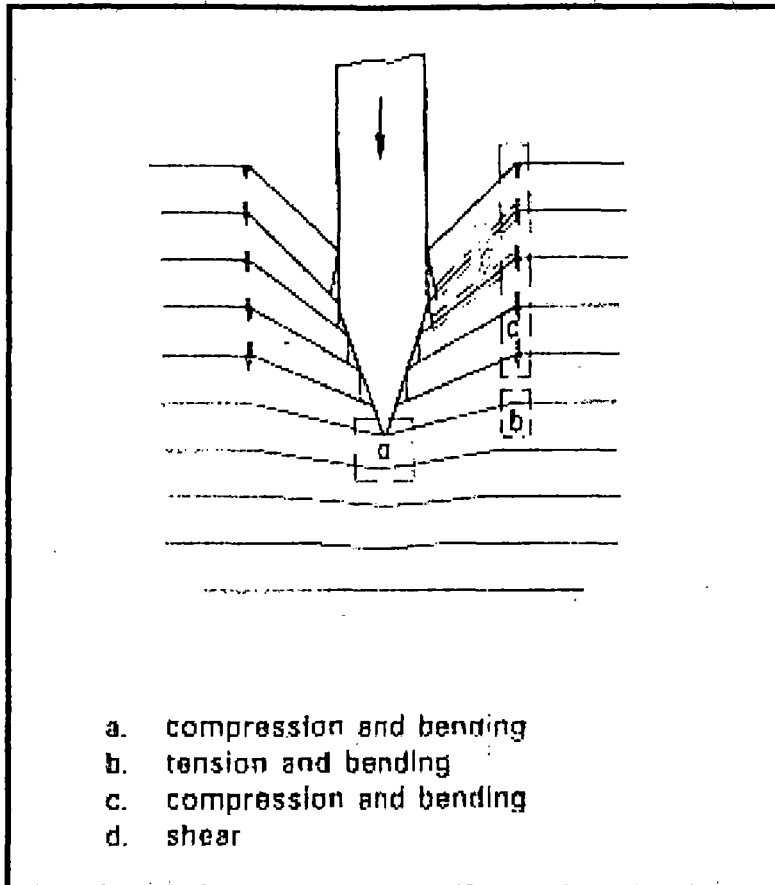
1. Απόσταση μεταξύ παρακειμένων γραμμών τεύτλων.
2. Κατακόρυφη ρύθμιση μάχαιριού.
3. Πλευρική ρύθμιση ψηλαφητή.

### Τυπική διάταξη επεξεργασίας φυτικού υλικού σε πρώτο στάδιο

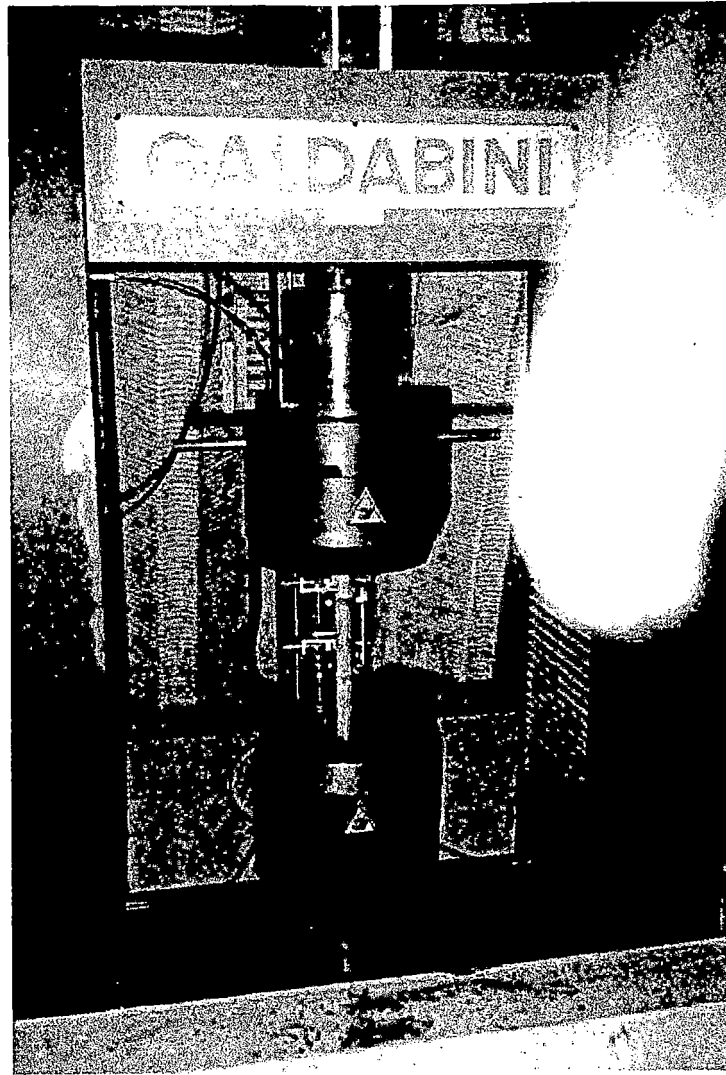




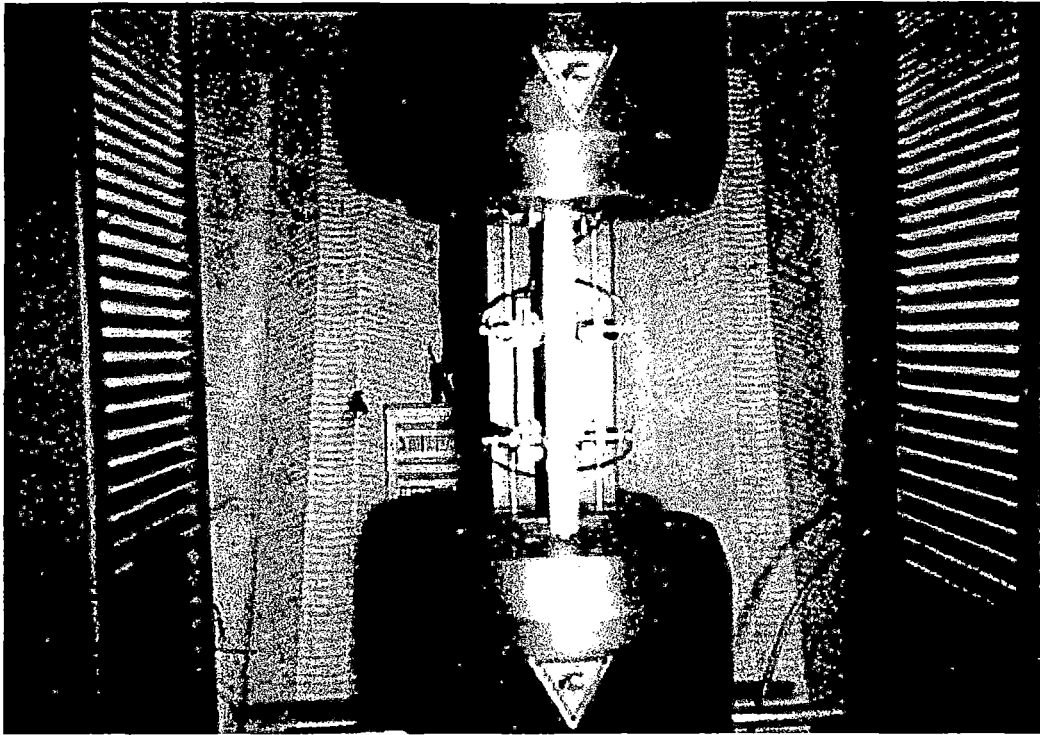
Κοπή διαφόρων φυτικών υλικών



**Απεικόνιση δυνάμεων κατά την κοπή**



**Μηχανή καταπονήσεων (απεικονίζεται το φωτικό υλικό και τα μηχανοστάσια)**



**Μεγένθυση των κεφαλών της μηχανής καταπονήσεων**

### 14.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ Η/Υ

Η χρήση του Η/Υ κρίνεται απαραίτητη γιατί αν δεν χρησιμοποιηθεί δεν μπορούμε να βγάλουμε το διάγραμμα ύστερα από το τέλος του πειράματος .Ο Η/Υ είναι σαν όλους τους άλλους και εργάζεται σε περιβάλλον Windows 98 και είναι πολύ απλός στην χρήση του .Ο υπολογιστής περιέχει το λειτουργικό σύστημα του μηχανήματος και περιέχει όλες τις εντολές και τα δεδομένα της μηχανής .Παρακάτω θα αναφέρουμε όλες τις ρυθμίσεις που κάνουμε στο κύριο μενού πριν από ένα πείραμα .

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ :** Η ονομασία του μενού θα γράφεται στα αγγλικά γιατί έτσι το έχει και ο Η/Υ και το περιεχόμενο τού μενού θα αναλυθεί στα Ελληνικά .

#### ΒΗΜΑ 1

**Specimen type .** Εδώ εισάγουμε όλα τα δεδομένα που έχουν να κάνουν με τη μορφή του υλικού που πρόκειται να καταπονηθεί ,δηλαδή αν έχει σχήμα κυλινδρικό ,η ορθογώνιο καθώς επίσης και τις διαστάσεις αυτού .Δηλαδή μας ζητάει τέσσερις παραμέτρους οι οποίες είναι :

- Τύπος δοκιμίου προς μέτρηση
- Ονομαστική διάμετρος (αυτή που εμείς έχουμε μετρήσει)
- Ελάχιστη διάμετρος
- Μέγιστη διάμετρος

Η ελάχιστη και μέγιστη διάμετρος που εισάγουμε στο πρόγραμμα είναι τα όρια που χρειάζεται ο υπολογιστής για να δουλέψει γι' αυτό και τα εισάγουμε .

#### ΒΗΜΑ 2

**Extensometer ,** Εδώ επιλέγουμε αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε μηχανισιόμετρο κατά το πείραμα ,προκειμένου να μετρήσουμε και να καταγράψουμε την επιμήκυνση του εκάστοτε υλικού που καταπονούμε .Εδώ να τονίσουμε ότι και να μην ενεργοποιήσουμε την επιλογή αυτή δεν επηρεάζεται πουθενά η εργασία μας ,απλά δεν θα έχουμε στο τελικό διάγραμμα το αποτέλεσμα της επιμήκυνσης .

### ΒΗΜΑ 3

**Second extensometer** .Εδώ επιλέγουμε αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το δεύτερο μηχανισιόμετρο ,το οποίο μετράει την παραμόρφωση στο συγκεκριμένο σημείο ,δηλαδή κατά πόσο είχαμε μεταβολή ,όχι σε ολόκληρο το στέλεχος του φυτικού υλικού ,αλλά μόνο στο σημείο ,που εμείς το έχουμε τοποθετήσει .

### ΒΗΜΑ 4

**Selection of connected load cell** . Εδώ επιλέγουμε τις κεφαλές που θα χρησιμοποιήσουμε ,δηλαδή κάθε μηχανική καταπόνηση θέλει διαφορετικές κεφαλές .Για παράδειγμα κατά την καταπόνηση σε εφελκυσμό οι κεφαλές που χρησιμοποιούμε είναι δαγκάνες ,δηλαδή σφίγγουν τα άκρα του φυτικού υλικού και κινούνται προς τα επάνω .Για να κάνουμε θλίψη πρέπει πρώτα να αλλάξουμε τις κεφαλές και στην συνέχεια να το δηλώσουμε στο κύριο μενού του H/Y για να μην μπλοκάρει το μηχάνημα ,

### ΒΗΜΑ 5

**Selection of the results to be calculated** ,Εδώ επιλέγουμε την μορφή των αποτελεσμάτων ,αν θα είναι σε μορφή απλής ή σύνθετης εξίσωσης και την απεικόνιση αυτών στο τελικό διάγραμμα .

### ΒΗΜΑ 6

**Definition of the graphic** .Εδώ επιλέγουμε την μορφή του τελικού διαγράμματος .Δηλαδή τι θα απεικονίζει ο άξονας των X και τι άξονας των Y ,μέσα από κάποιες επιλογές που διαθέτει το πρόγραμμα .

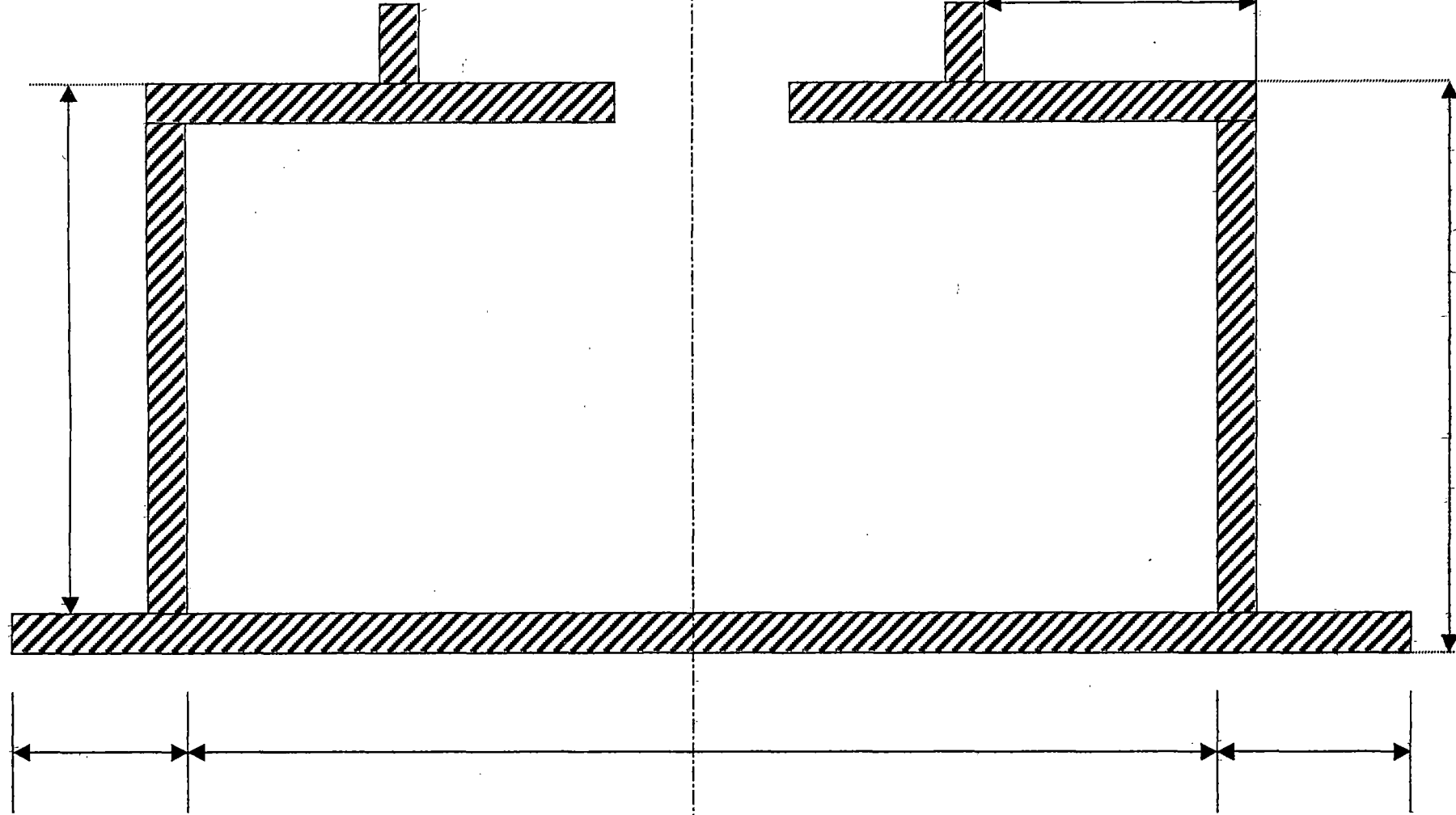
Εφόσον κάνουμε όλες τις παραπάνω ρυθμίσεις και έχουμε τοποθετήσει το φυτικό υλικό στη μηχανή πατάμε το κουμπί **Test Execution** και αρχίζει το πείραμα ,εμφανίζοντας στην οθόνη μας το διάγραμμα κατά την δοκιμή και τα παρακάτω στοιχεία :

- Φορτίο
- Ταχύτητα δοκιμής
- Απομάκρυνση κεφαλών
- Επιμήκυνση

Δεδούσης Π. Αθανάσιος

Τομή

Σχέδιο 1

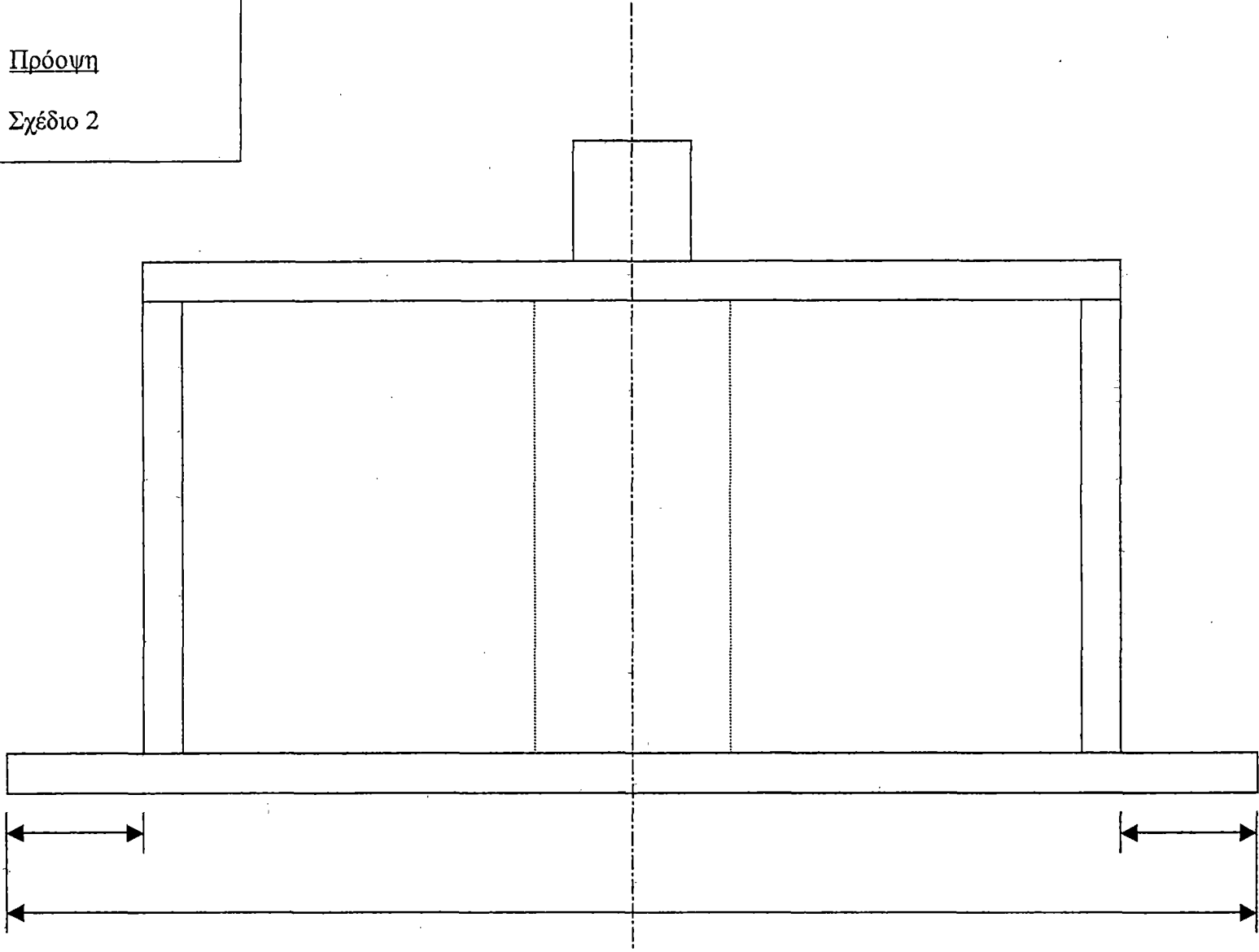




Δεδομένης Π. Αθανάσιος

Πρόοψη

Σχέδιο 2



Δεδούσης Π. Αθανάσιος

Κάτοψη  
Σχέδιο 3

