

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ

**ΤΜΗΜΑ: ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ,
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



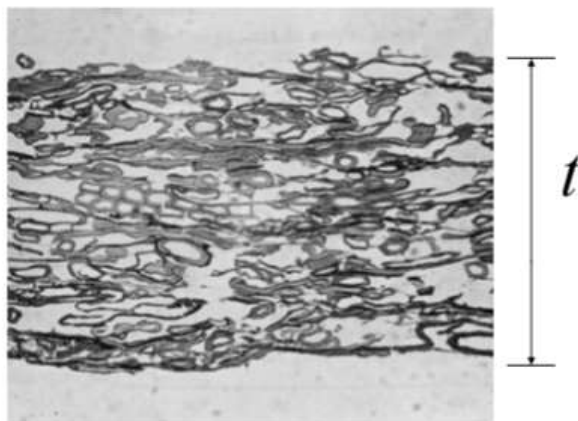
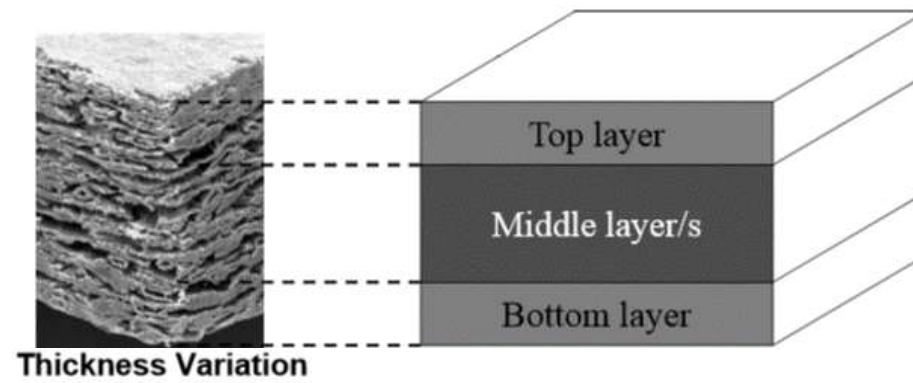
**ΜΕΡΟΣ Β'
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ
ΔΟΚΙΜΩΝ & ΑΣΚΗΣΕΩΝ**



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 1.

1.1 ΠΑΧΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (THICKNESS)

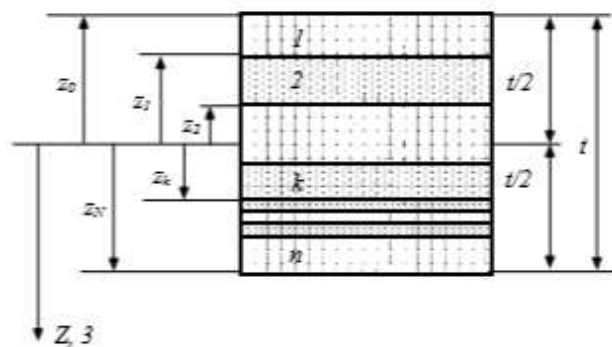


1.2 ΠΑΧΟΣ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (THICKNESS OF LAMINATES)

$$t = \sum_{k=1}^n t_k$$

$$z_0 = -\frac{t}{2}$$

$$z_k = z_{k-1} + t_k$$



t_k = the thickness of layer k

Thickness Measurement

- Since the thickness is variable, an average value is typically used in the stress calculations for the basic experimental tests (uniaxial testing and shear testing in torsion)
- In some laboratories, the “stress” in a stress-strain curve is calculated in units of force per unit width instead of force per unit area.

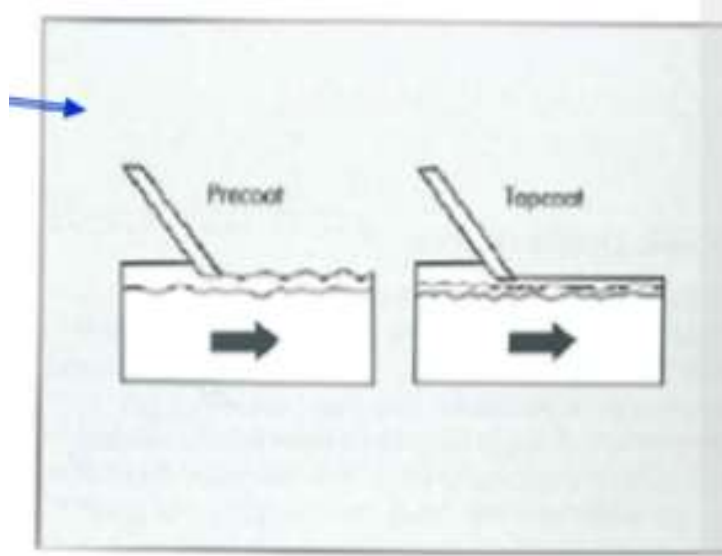
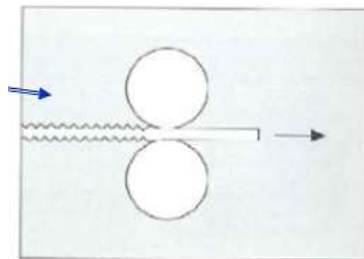
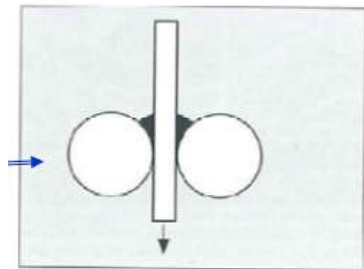
Stress

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{bt}$$

Force per unit width

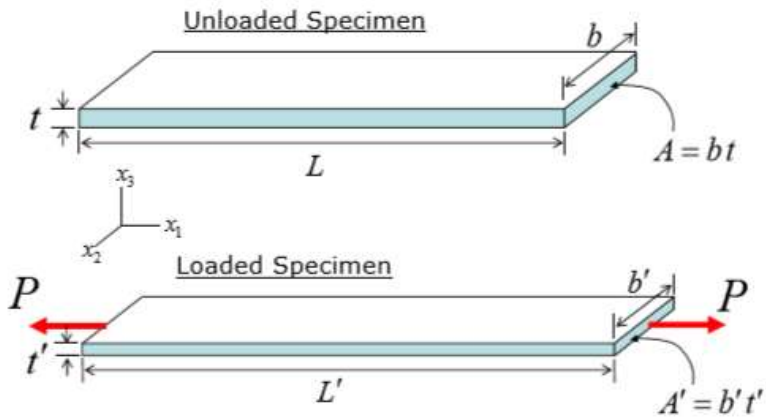
$$\sigma^b = \frac{P}{b}$$

1.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

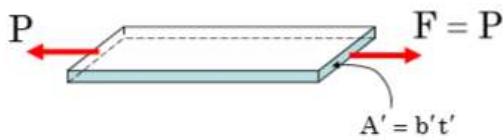


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2.

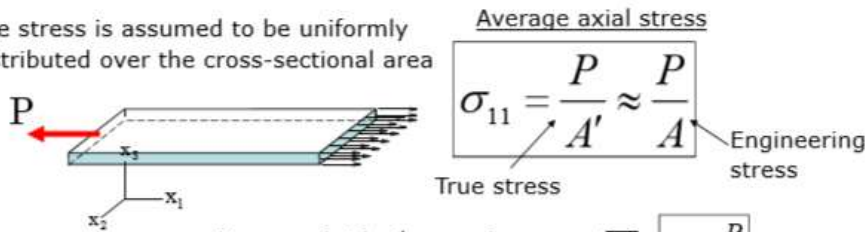
2.1 ΜΟΝΟ-ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ



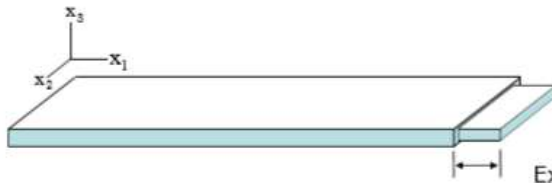
Assume uniform deformations in the loaded specimen



The stress is assumed to be uniformly distributed over the cross-sectional area



At any point in the specimen:



Average axial strain

$$\epsilon_{11} = \frac{L' - L}{L} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\delta}{L}$$

Extension
 $\delta \equiv \Delta L = L' - L$

Average transverse strains

$$\epsilon_{22} = \frac{b' - b}{b} = \frac{\Delta b}{b} \quad \epsilon_{33} = \frac{t' - t}{t} = \frac{\Delta t}{t}$$

2.2 ΑΚΑΜΨΙΑ ΕΦΕΛΚΙΣΜΟΥ (TENSILE STIFFNESS)



2.1.1 Μαθηματική διατύπωση και διαγράμματα κατά την δοκιμή τάνυσης – καμπύλες περιγραφής

Tensile stiffness

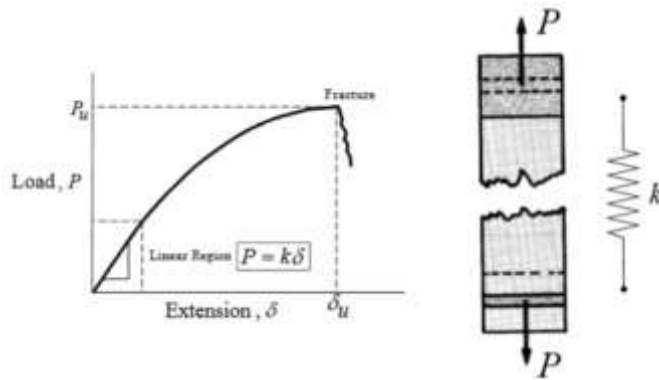
$$E^b = \frac{N}{\varepsilon^0}$$



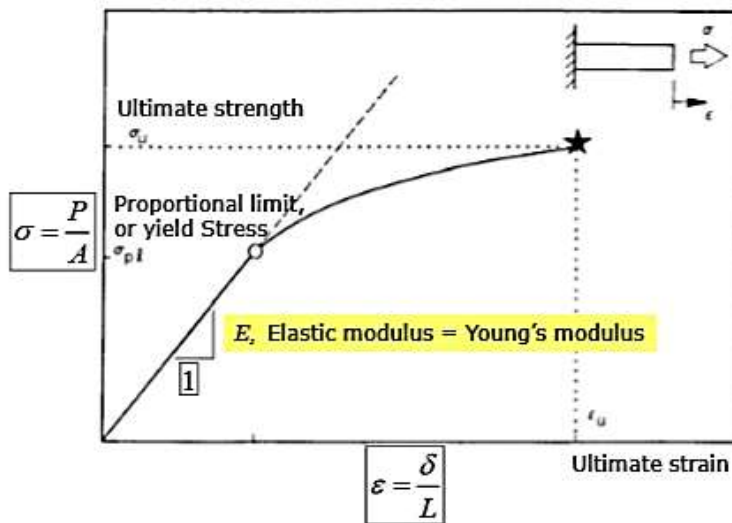
$$\left. \begin{array}{l} N_2 = N_6 = 0 \\ M_1 = M_2 = M_6 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow E_1^b = \frac{N_1}{\varepsilon_1^0} = \frac{1}{A'_{11}}$$

$$E_2^b = \frac{N_2}{\varepsilon_2^0} = \frac{1}{A'_{22}}$$

$$E_6^b = \frac{N_{61}}{\varepsilon_{16}^0} = \frac{1}{A'_{66}} \quad \text{shear stiffness}$$



Stress-strain curve

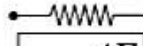


In the linear region

$$\sigma = E\epsilon$$

$$P = E \frac{\delta}{L}$$

$$P = \left(\frac{AE}{L} \right) \delta$$

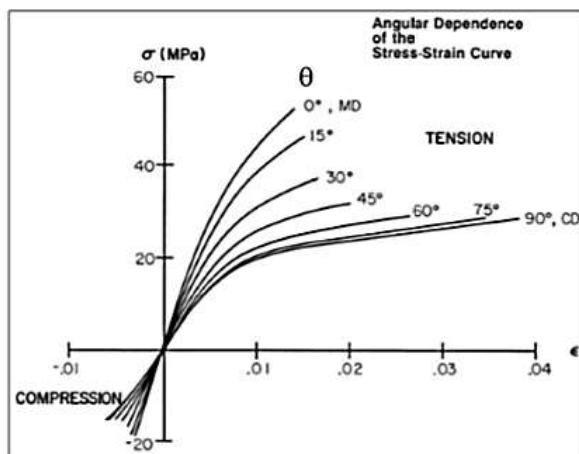


$$k = \frac{AE}{L}$$

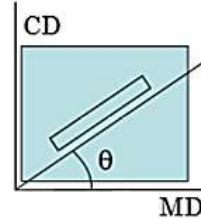
2.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

2.2.1 Εξάρτηση από την θερμοκρασία

Anisotropic (Orthotropic) Material Behavior



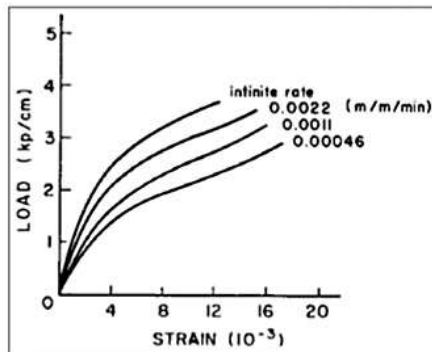
Specimen Orientation



2.2.2 Εξάρτηση από τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης

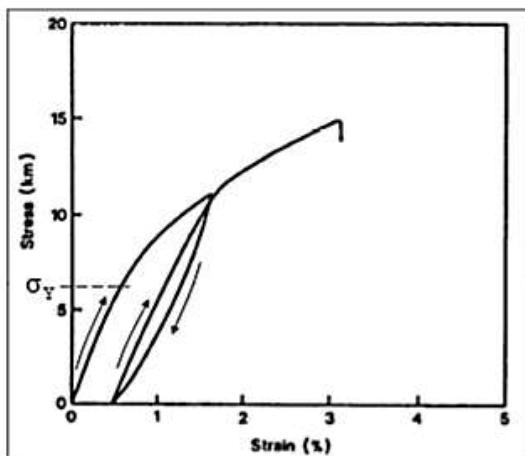
Stress-Strain Curve – Rate Dependent Behaviour

Variation of the stress-strain curve with extension-rate



2.2.3 Φαινόμενα πλαστικότητας

Stress-Strain Curve - Plasticity Effects



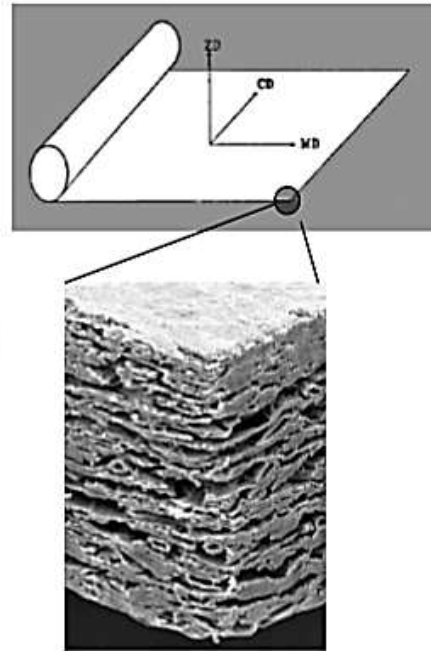
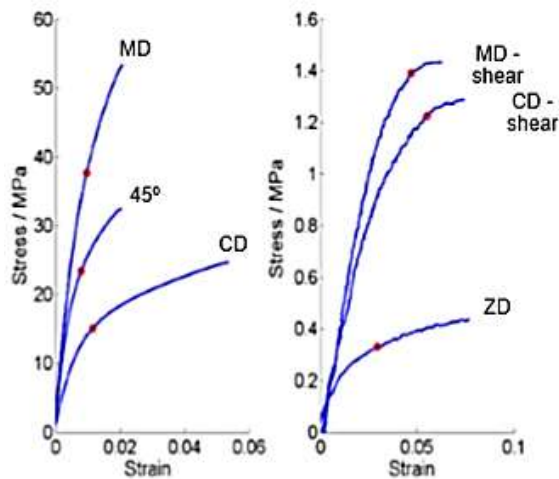
Elastic-plastic behavior

If the stress becomes higher than the yield stress (the stress-strain curve becomes nonlinear), permanent strains are obtained when unloading the specimen. The unloading curve and reloading curves are essentially parallel to the initial linear response.

2.3 ΧΑΡΤΙ

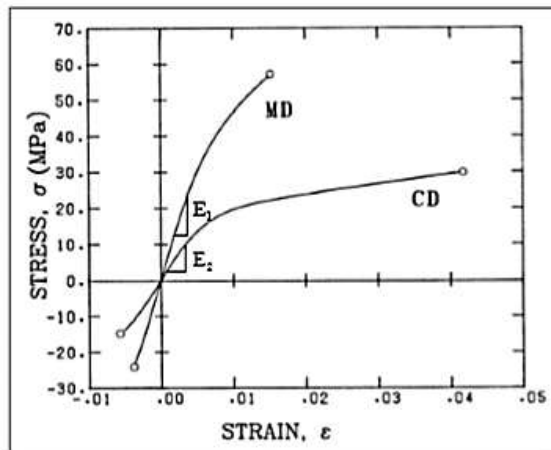
2.3.1 Επίδραση της φοράς των ινών

Paperboard

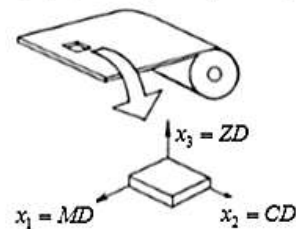


TENSION

Notation for Paper Elastic Moduli

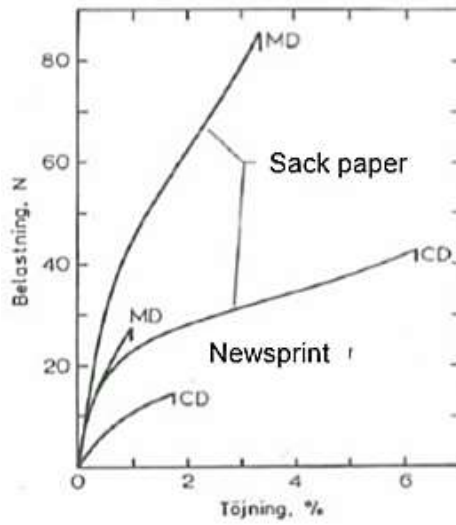


Coordinate axis convention
(for paper, wood, composites)



$$\begin{aligned} E_1 &\equiv E_{MD} \\ E_2 &\equiv E_{CD} \\ E_3 &\equiv E_{ZD} \end{aligned}$$

2.3.2 Επίδραση του τύπου χαρτιού



Nordman (1969)

2.3.3 Επίδραση της πυκνότητας (grammage)

Specific stress

Stress

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{bt}$$

Force per unit width

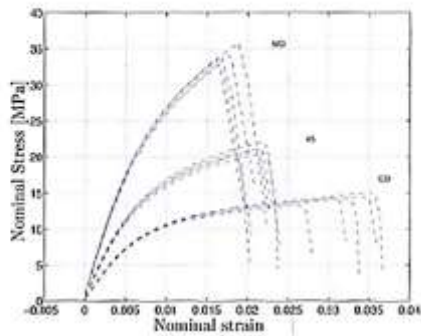
$$\sigma^b = \frac{P}{b}$$

Specific stress

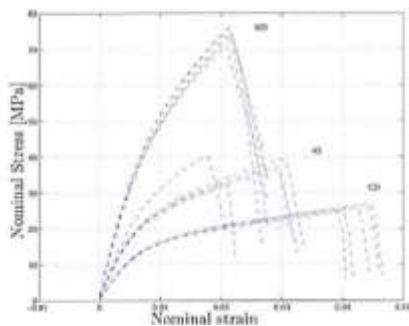
$$\sigma^w = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{\sigma}{\left(\frac{w}{t}\right)} = \frac{\sigma t}{w} = \frac{P}{bw} = \frac{\sigma^b}{w}$$

w = grammage /
basis weight

Typical stress-strain curve for a 150 g/m² fluting

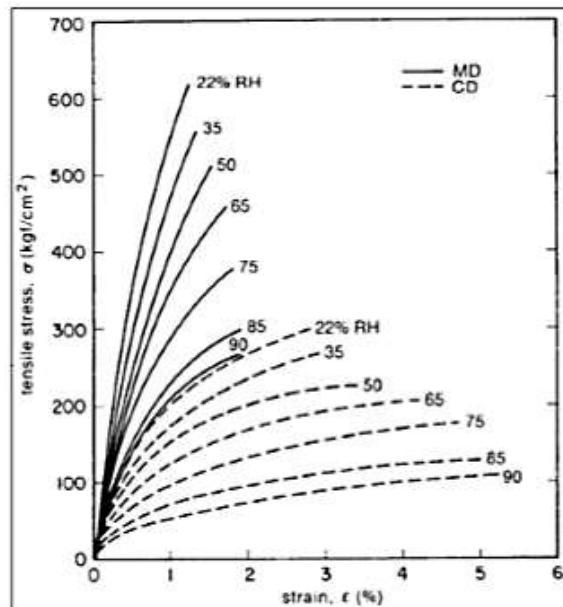


Typical stress-strain curve for a 180 g/m² liner



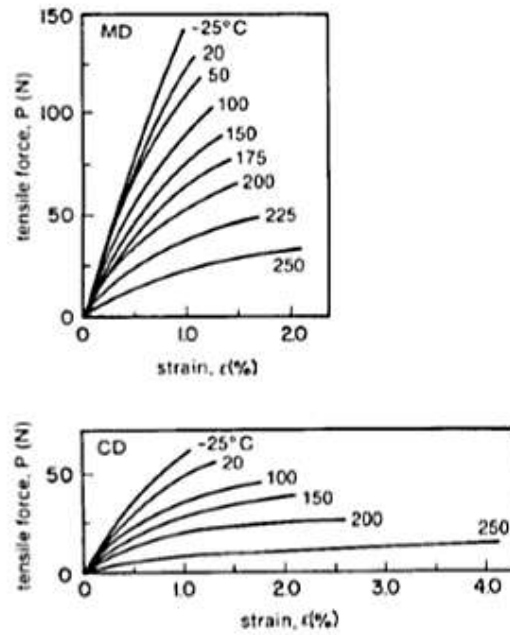
2.3.4 Επίδραση της σχετικής υγρασίας

Typical Effects of Moisture Content

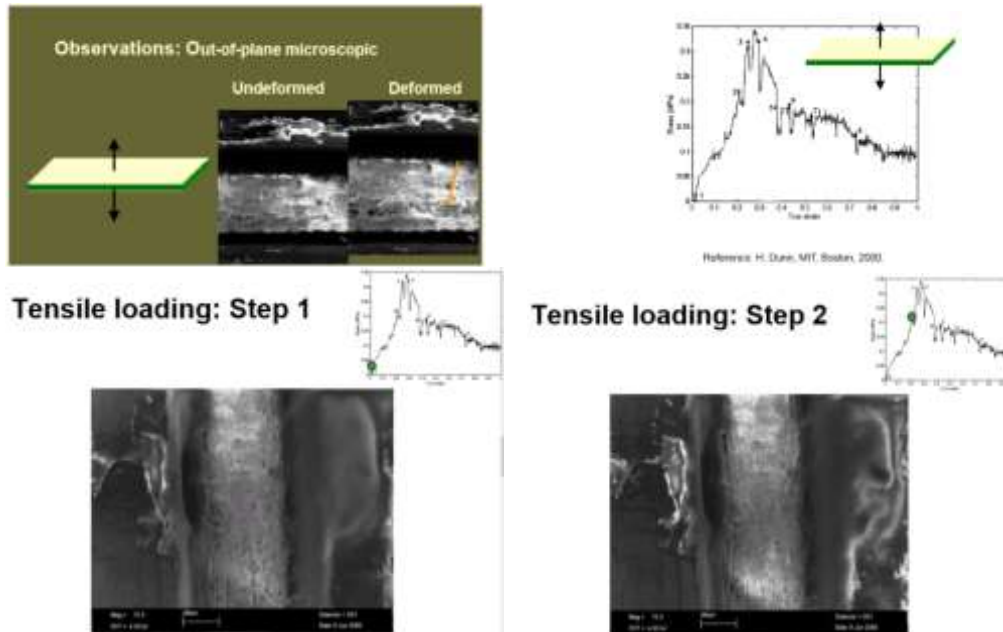


2.3.5 Επίδραση της θερμοκρασίας

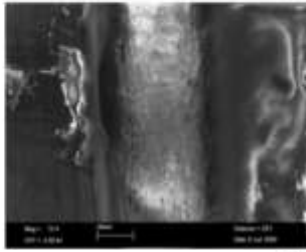
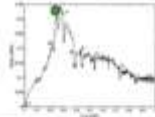
Typical Effects of Temperature



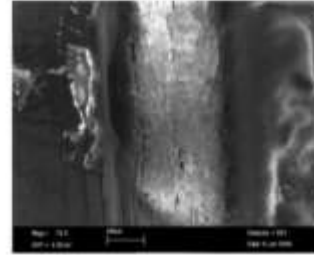
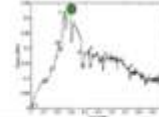
2.3.6 Απεικόνιση φαινομένων μεταβολής της δομής κατά την τάνυση ενός δείγματος χαρτιού



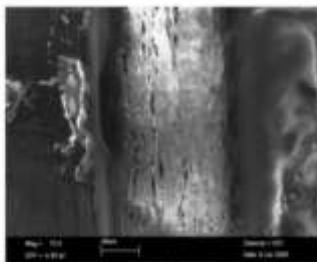
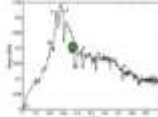
Tensile loading: Step 3



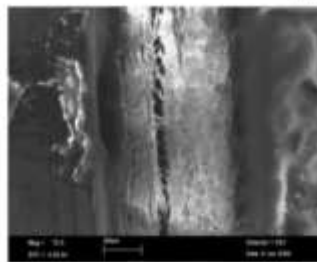
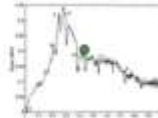
Tensile loading: Step 4



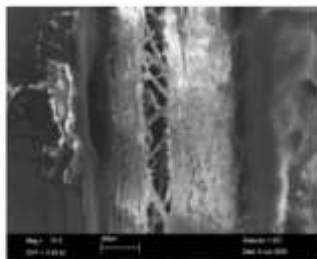
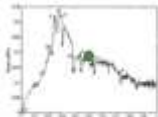
Tensile loading: Step 5



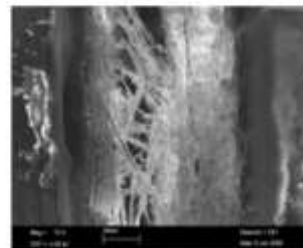
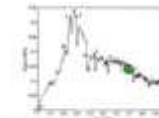
Tensile loading: Step 6



Tensile loading: Step 7

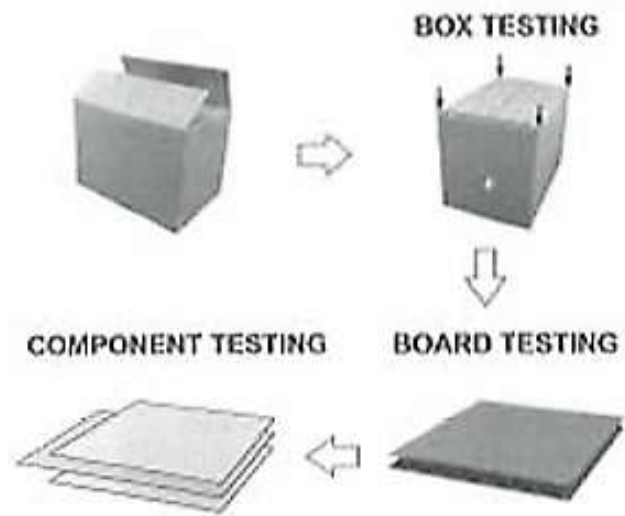


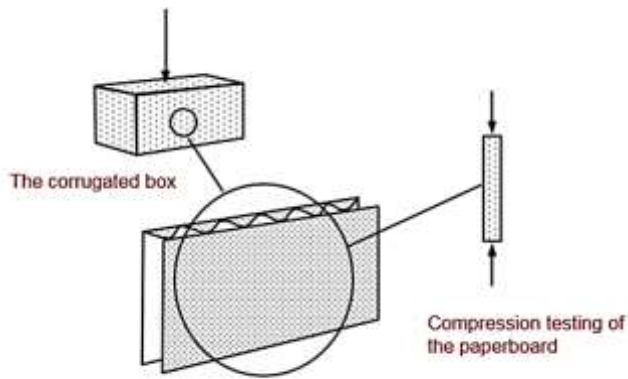
Tensile loading: Step 8



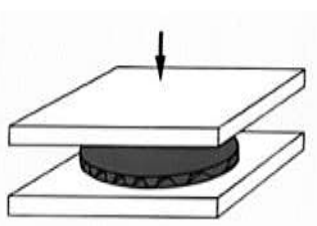
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3.

3.1 ΑΝΤΟΧΗ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ

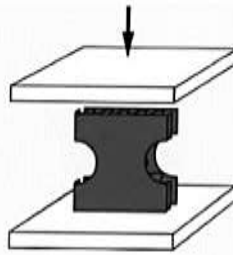




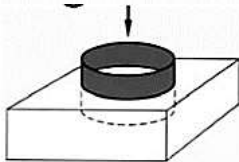
Testing of corrugated board panels



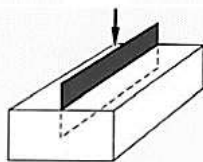
FCT – Flat Crush Test measures the resistance of the flutes to a crushing force applied perpendicular to the surface of the board under prescribed conditions.



ECT – Edge Crush Test measures the edgewise compression strength, parallel to the flutes.

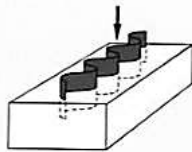


RCT – Ring Crush Test for measuring the resistance of paper and paper board to edgewise compression. A special jig is used during the test to hold the test piece in a ring form.

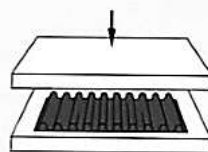


CLT – Concora Liner Test measures the same properties as the RCT test, but is carried out in a different type of jig.

Fluting

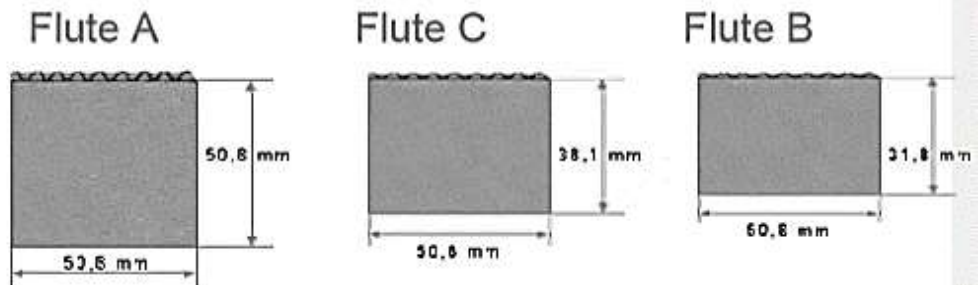


CCT – Corrugated Crush Test measures the edgewise compression strength of a laboratory-fluted strip of corrugating medium in the direction parallel to the fluted tips.



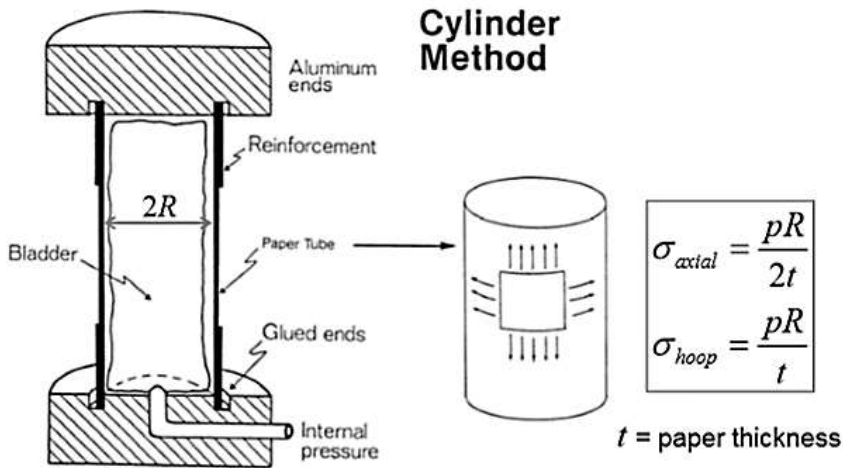
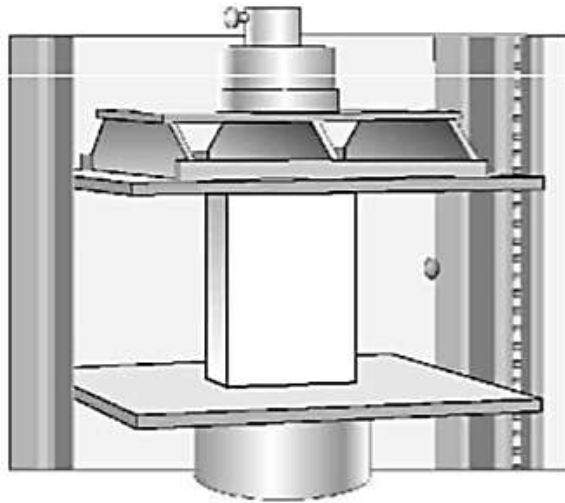
CMT – Concora Medium Test measures the crushing resistance of a laboratory-fluted strip of corrugating medium.

TAPPI-T 811



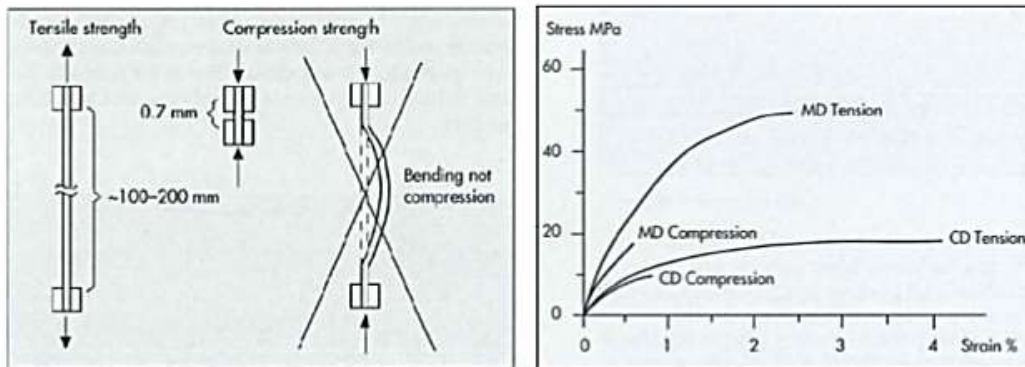
3.1.1 Δοκιμή κάθετης συμπίεσης

Box Compression Test (BCT)

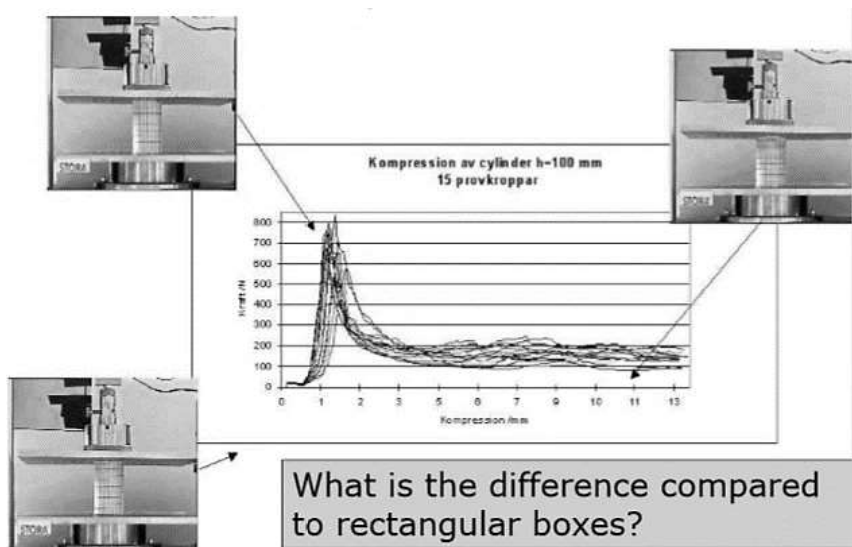
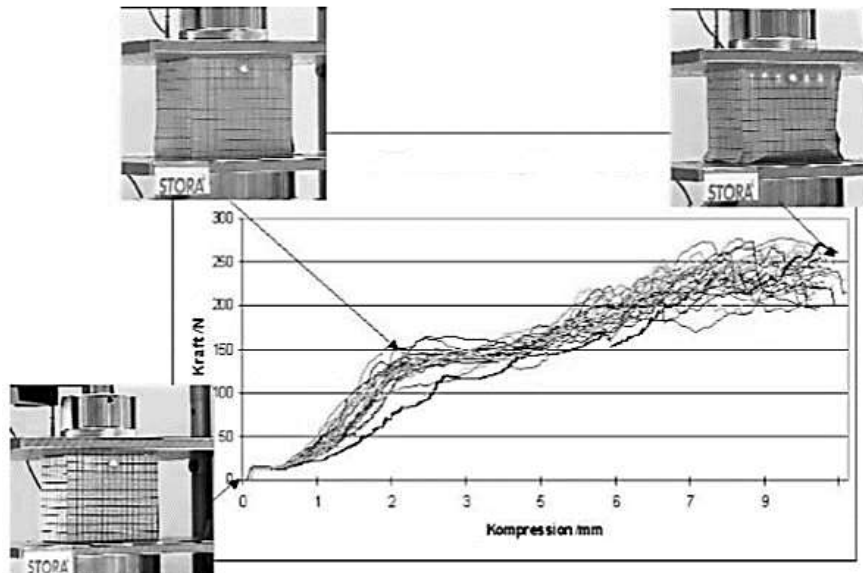


3.1.2 Διαγράμματα

Compression strength



L & W, Markström, 1991



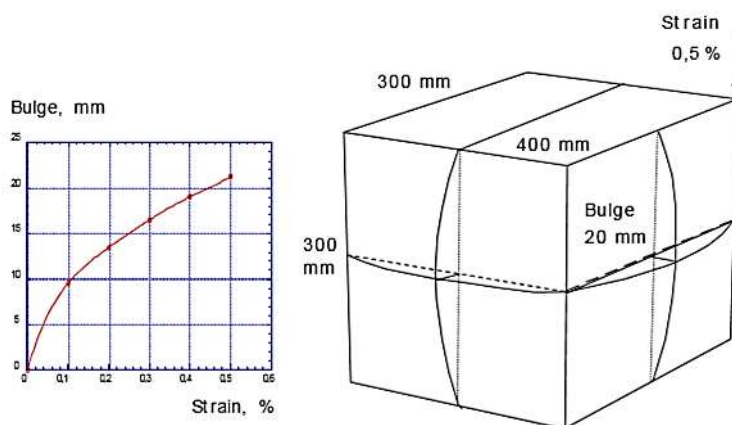
What is the difference compared to rectangular boxes?

3.1.3 Κύρτωση χαρτοκιβωτίων υπό κάθετη συμπίεση

Eulers knickningsfall nr	1	2	3	4	5
Knickningsfigur					

Knickkraft P_k	$\frac{\pi^2 EI}{4l^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{l^2}$	$\frac{2.05\pi^2 EI}{l^2}$	$\frac{4\pi^2 EI}{l^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{l^2}$
------------------	-------------------------	------------------------	----------------------------	-------------------------	------------------------

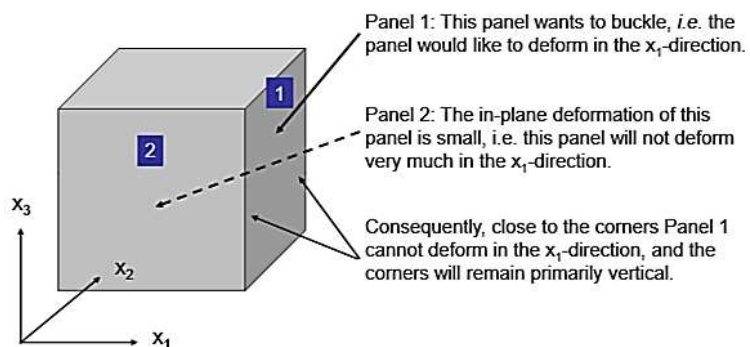
Bulge and strain



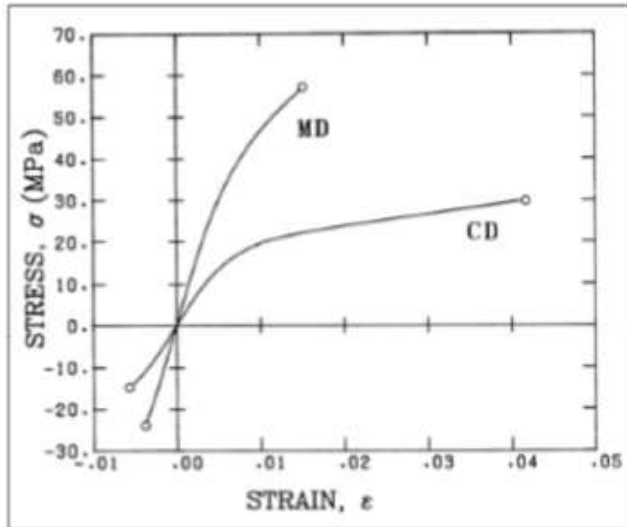
Buckling of paperboard boxes

Observation:

In-plane stiffness of panel is in general much larger than bending stiffness

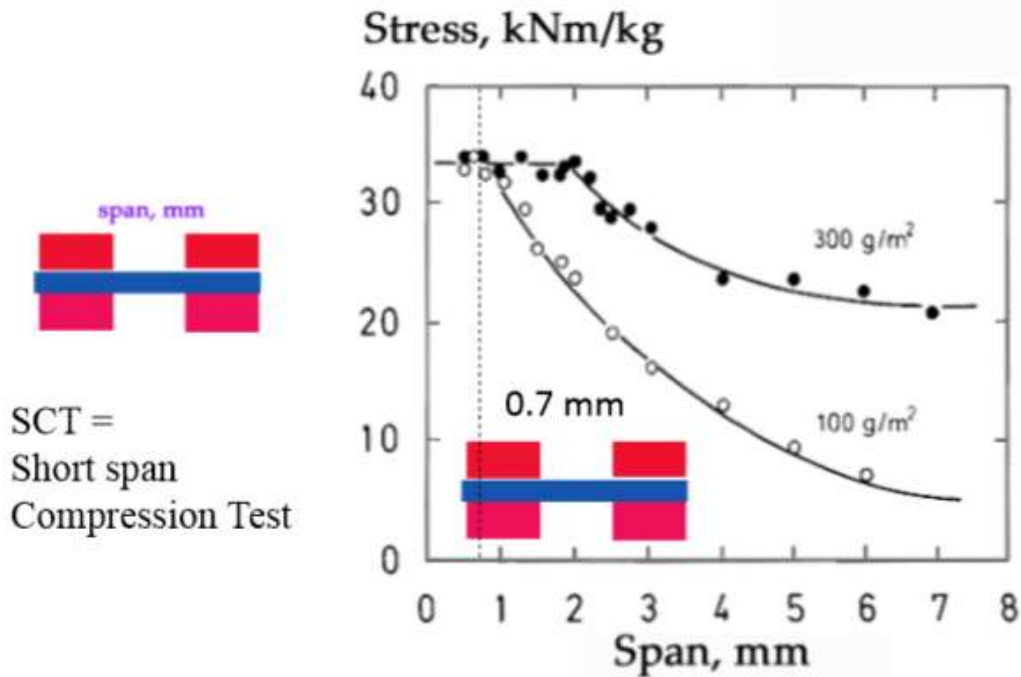


Comparison of tensile and compressive curves



There is no widely used method in industry for evaluating the compressive stress-strain curve or compressive elastic modulus (buckling problem)

1. The elastic modulus is constant through the origin.
2. Compressive strengths are much less than tensile strengths.



3.2 ΣΤΑΤΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ



Box compression strength of rectangular boxes

Consider a box subjected to compressive loading due to stacking.

1. At small loadings, the load is evenly distributed along the perimeter of the box
2. At a certain load the panels of the box buckle in a characteristic way
3. At the corners of the box the corners themselves prevent buckling of the panels
4. Load is then primarily carried by small zones at the corners of the box
5. Failure of the box finally occurs by compressive failure at the corners



Grangård (1969, 1970) show that the compression strength of PAPERBOARD boxes (the BCT-value) correlate well with the strength of laboratory tested panels.

Buckling of simply supported isotropic plate
subjected to uniform compressive loading
Timoshenko (1936)

$$P_c = \frac{\pi t^2 \sqrt{\sigma_{sc} E}}{\sqrt{3(1-\nu^2)}}$$

P_c = ultimate strength of buckled panel

t = plate thickness

ν = Poisson's ratio

E = in-plane Young's modulus

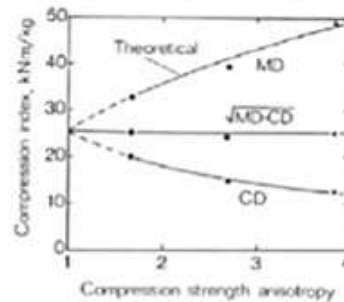
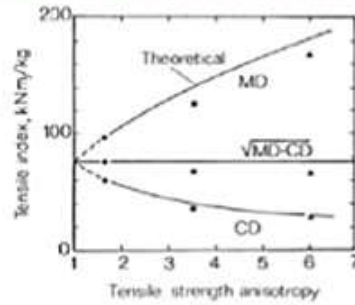
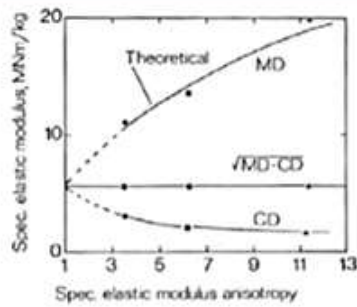
σ_{sc} = yield stress in compression

BOX compression strength
Paperboard boxes

Grangård's formula: $P = k \sqrt{F_c^{SCT} S_b}$

- The constant k that is introduced instead of 2π may vary depending on the dimensions of the box and the design (type of box).
- This constant needs to be determined through extensive testing.
- The quality of the crease will also strong affect k .

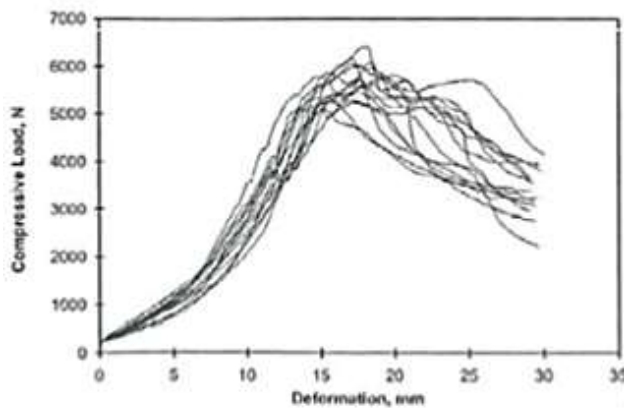
A comment on fibre orientation and mechanical properties



Board dried with 2 % stretch in MD and free drying in CD

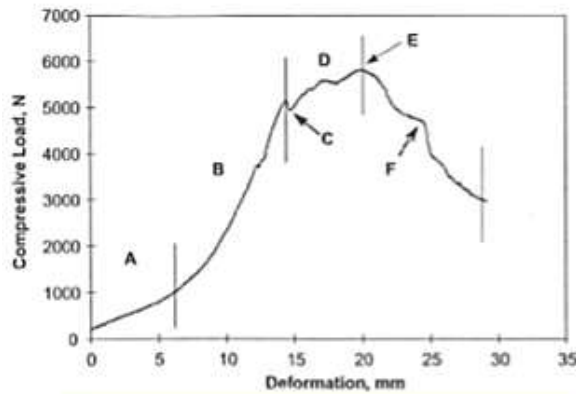
Key: ● Fiber orientation ratio 1.3
 ■ Fiber orientation ratio 2.6
 ▲ Fiber orientation ratio 4.6

Stacking strength of corrugated board boxes (15 RSC boxes)



- Mean box compression strength, 5764 N
- Maximum, 6420 N
- Minimum, 5100 N
- Standard deviation, 374 N
- Coefficient of variation, 6.5 %

Analysis of typical load-deformation curve



Load versus deformation for an A-flute RSC-box using fixed platens.

- A. Any unevenness in the box is levelled out. Top crease lines begin to roll.
- B. The steepest corners of the box start to take load.
- C. Sub-peak caused by small-scale yielding of one of the fold crease lines.
- D. Buckling of long panels.
- E. Maximum load. Collapse of box corners and buckling of short panels.
- F. Localized stability

BOX compression strength McKee's formula

$$P_c = \beta F_c^{0,75} S^{0,25} Z^{0,5}$$

P_c = Box compression strength

F_c = Compressive strength of plane panel (ECT)

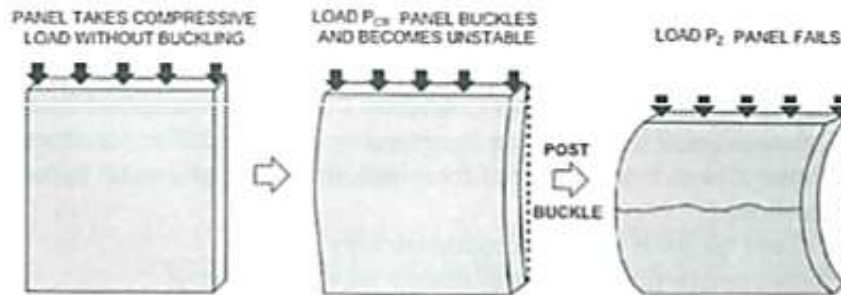
S = Geometric mean of MD and CD bending stiffness

Z = Perimeter of box

β = Empirical constant

$$\sqrt{S_{MD}^b S_{CD}^b}$$

The McKee model



Semi-empirical approach for description of the post-buckling behaviour

$$P_Z = c (F_c)^b P_{CR}^{1-b}$$

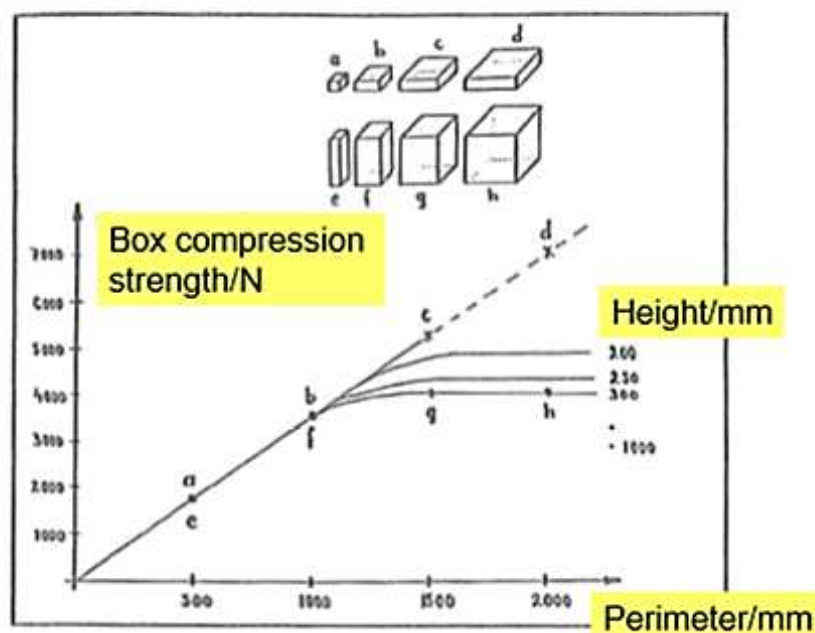
P_Z = ultimate strength of the panel

P_{CR} = buckling load for simply supported plate

F_c = edgewise compression strength of panel (ECT)

c, b = constants

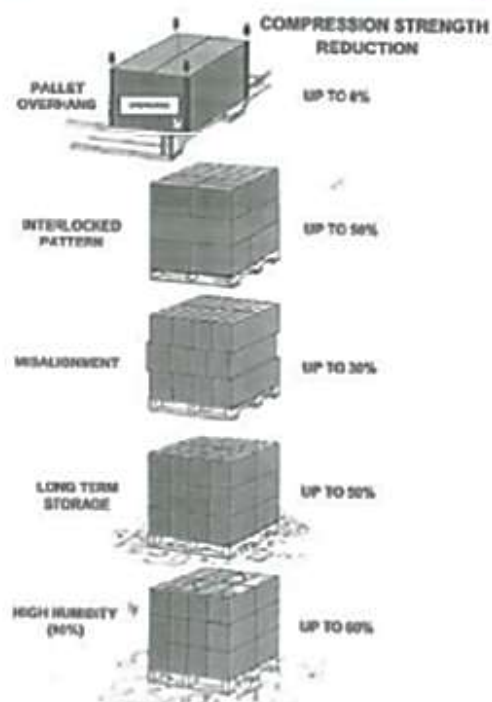
Influence of box perimeter and height on BCT-value



3.2.1 Εφαρμογή της δοκιμής αντοχής των χαρτοκιβωτίων στην εφοδιαστική αλυσίδα

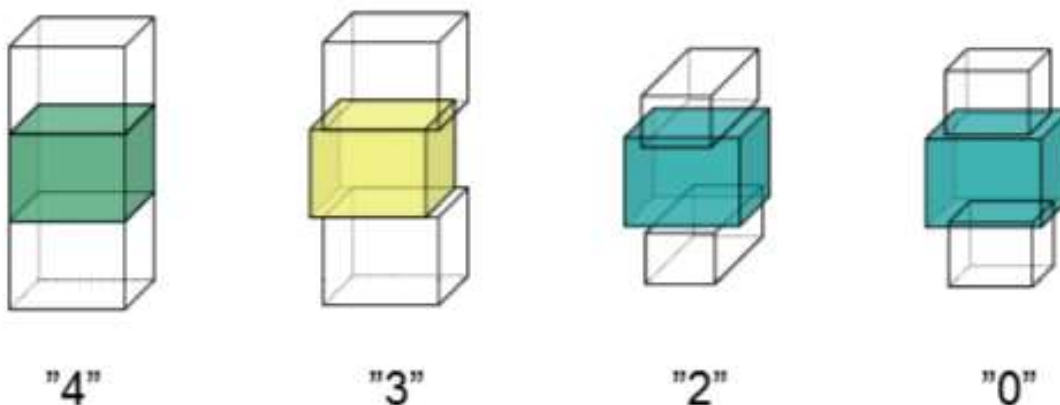
Usefulness of box compression strength

- Boxes are tested individually. If boxes are stacked in patterns other than a columns the full strength potential will not be realized.
- Climatic conditions may degrade box compression strength.
- Creep will affect the results considerably.
- The box may be subjected to dynamic loading, such as vibrations, that will accelerate failure.



3.2.2 Κανόνες ασφαλούς τοποθέτησης

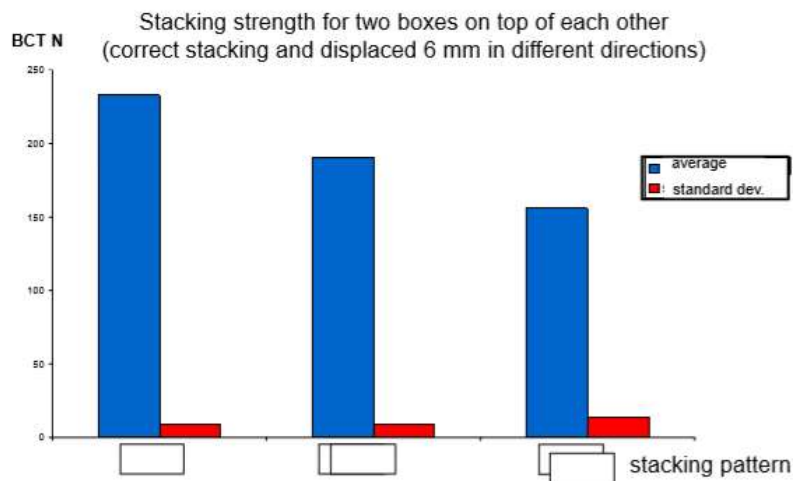
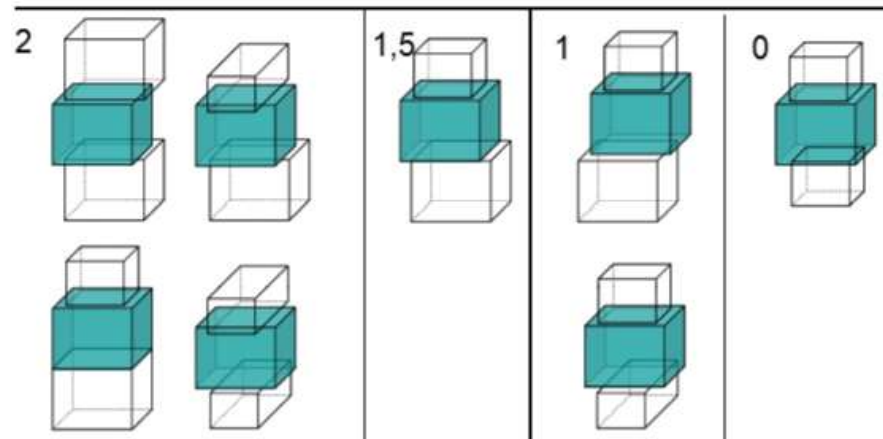
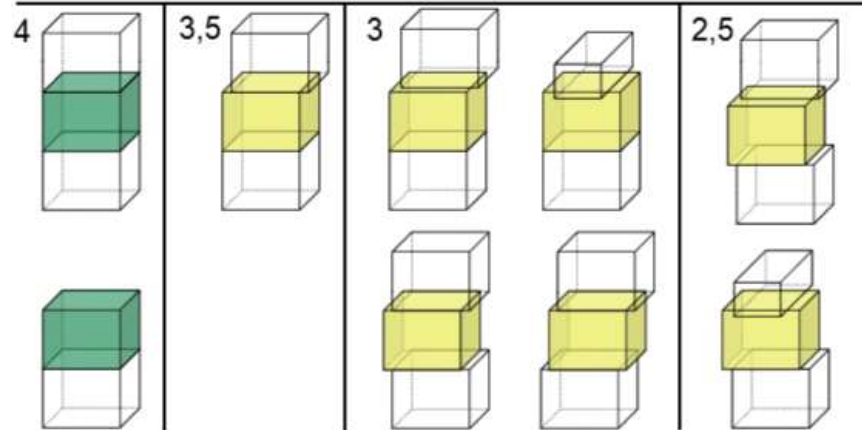
"Average" number of loaded vertical box panels



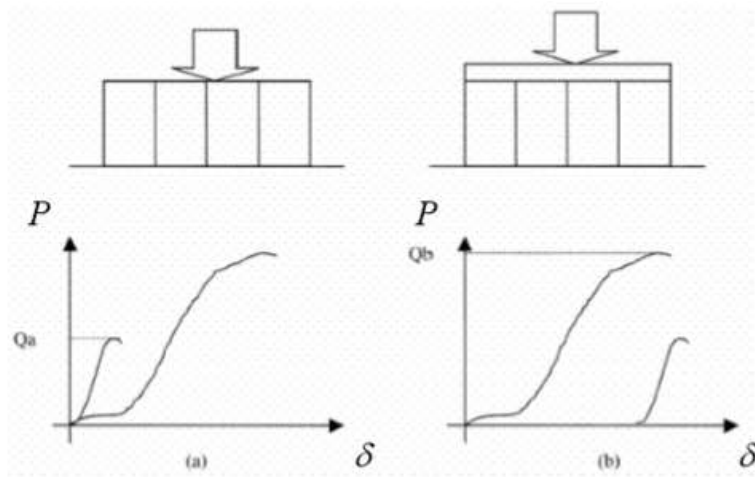
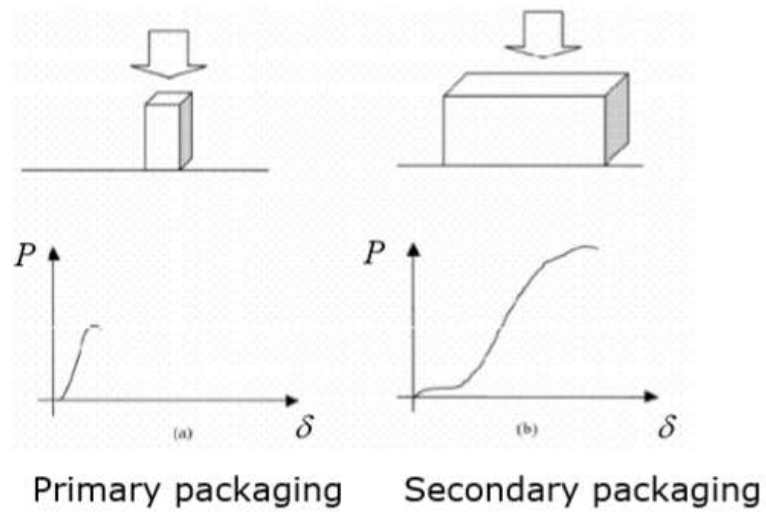
Μέσος αριθμός χαρτοκιβωτίων που μπορούν να τοποθετηθούν με την αντίστοιχη κάθετη ευθυγράμμιση

ΑΣΦΑΛΕΣ

ΚΡΙΣΙΜΟ



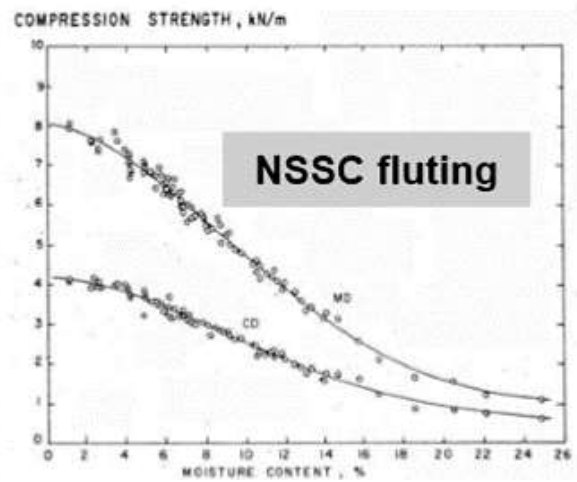
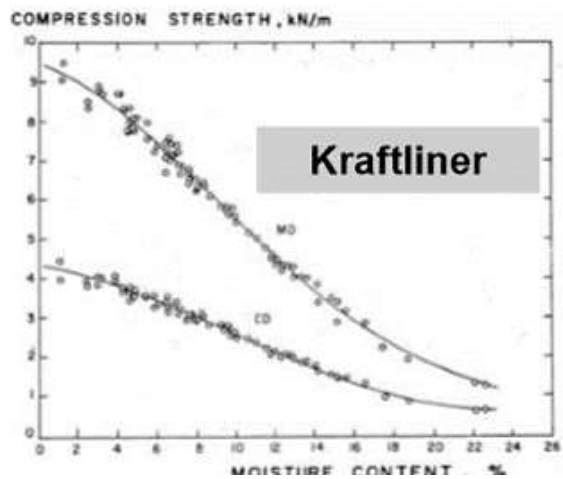
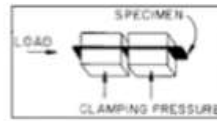
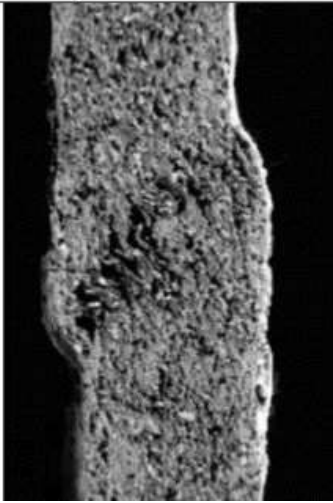
3.3.3 Συνδυασμός αντοχής στην κάθετη συμπίεση περιέκτη και προϊόντων



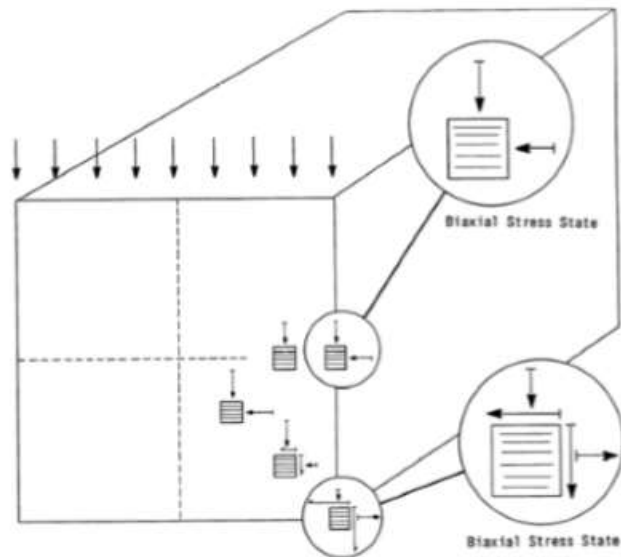
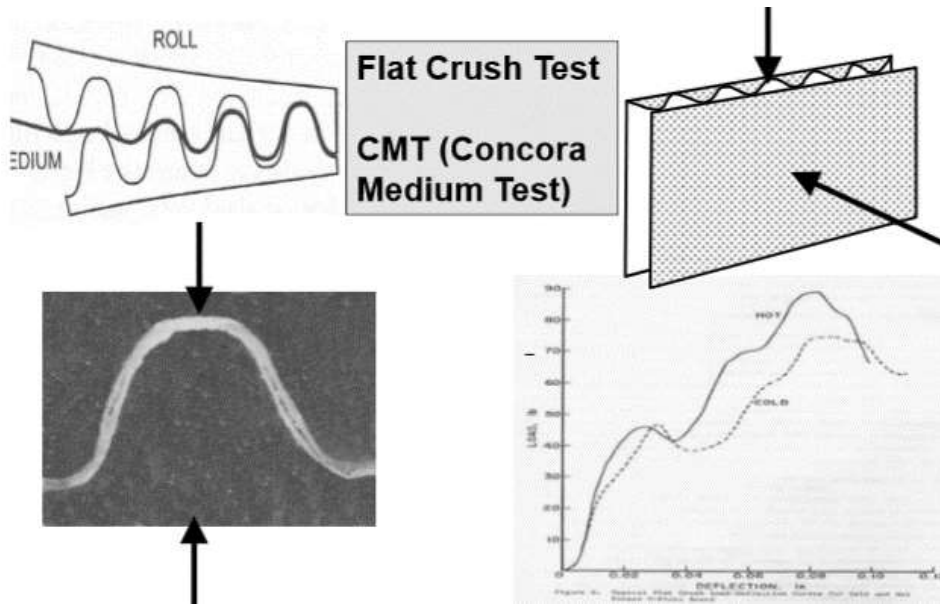
3.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΧΑΡΤΙΟΥ

STFI Short-Span Compression Tester (SCT)

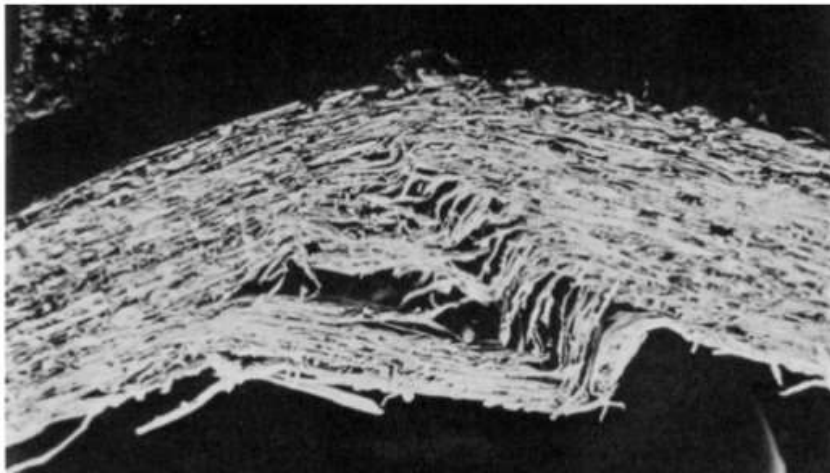
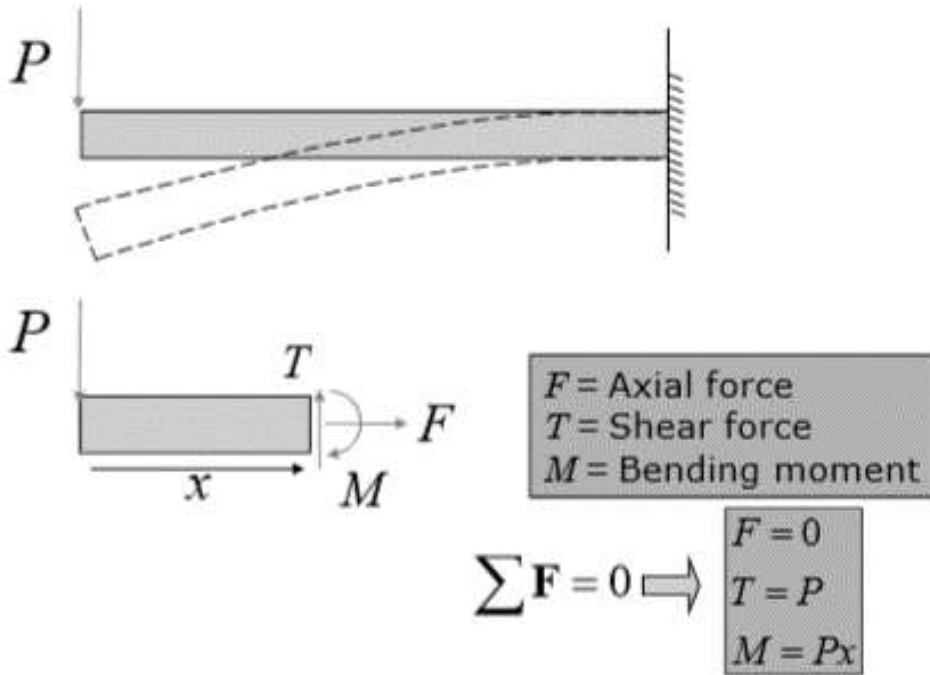
Compressive failure



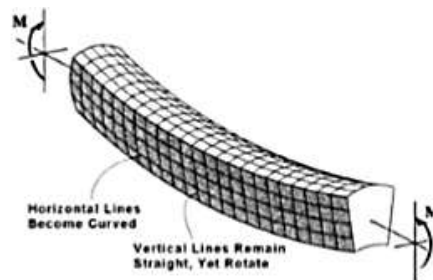
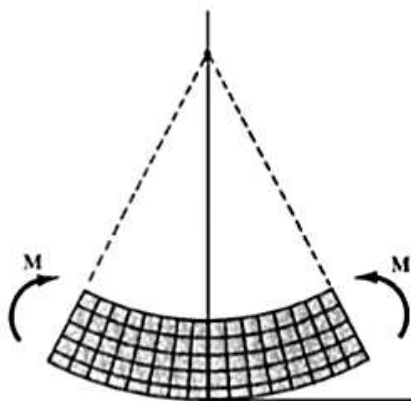
3.4.1 Δοκιμή πλάγιας συμπίεσης χαρτοκιβωτίου (κυματοειδές χαρτόνι)



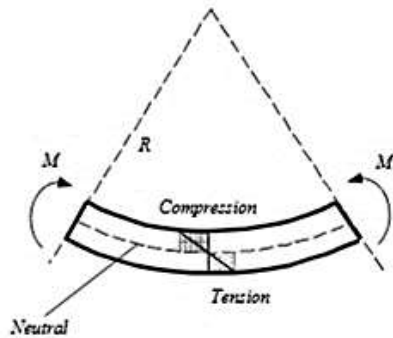
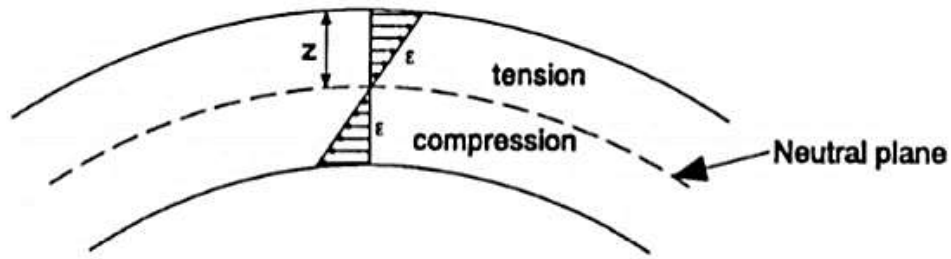
3.5 ΚΑΜΨΗ



"Plane sections remain plane"



A section in pure bending deforms approximately into a circular arc.



$$\varepsilon_B = z\kappa = \frac{z}{R}$$

$$\text{Total strain } \varepsilon = \varepsilon^0 + \varepsilon_B$$

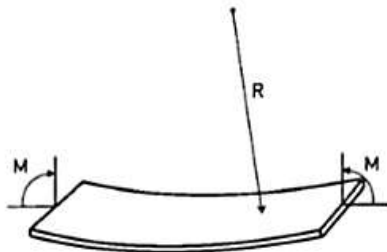
where the strain of the mean surface is ε^0

3.5.1 Ακαμψία (bending stiffness)

$$M = E_x I_{yy} \left(\frac{1}{R} \right) = E_x I_{yy} \kappa$$

$$S \equiv "EI" = E_x I_{yy} = \frac{E_x b t^3}{12}$$

Is called the bending stiffness of the beam and it is the slope of the moment vs. curvature relation.



Bending stiffness per unit width

$$S_b \equiv \frac{S}{b} = \frac{E_x t^3}{12}$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο βαθμός ακαμψίας εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού.

Tensile stiffness index is related to density according to (experimental)

$$E^w = k \rho^a \quad E^w = \frac{E^b}{w}$$

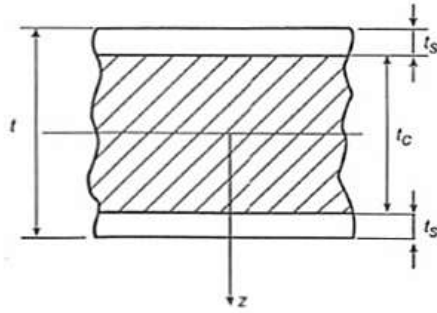
The bending stiffness per unit width then becomes

$$S^b = k w^3 \rho^{a-2} / 12$$

Define bending stiffness index (independent of grammage) as

$$S^w = \frac{S^b}{w^3} = \frac{1}{12} \left(\frac{E^w}{\rho^2} \right)$$

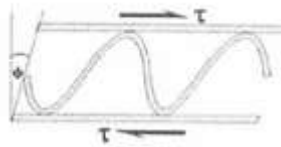
3.5.2 Ακαμψία κυματοειδούς χαρτονιού



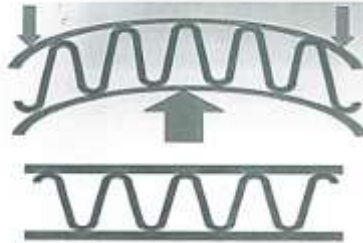
Introduce

$$E^{surface} = n^{surface} E_{ref}$$

$$E^{core} = n^{core} E_{ref}$$



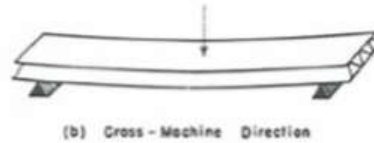
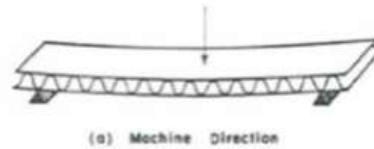
$$G = \frac{\tau}{\phi}$$



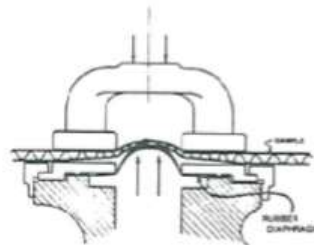
3.5.3 Συσχέτιση της δυσκαμψίας με την αντοχή σε διάρρηξη (burst strength)

Bending stiffness

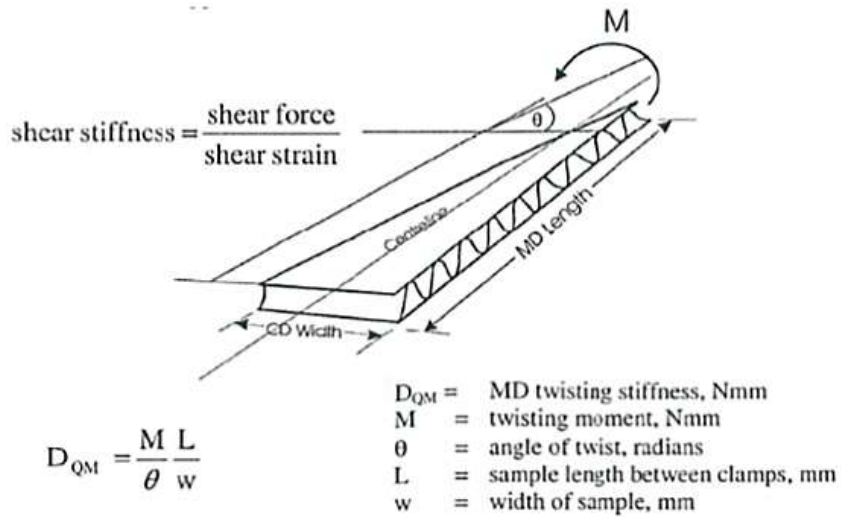
4-point testing used for corrugated board to avoid influence of transverse shear



Burst strength

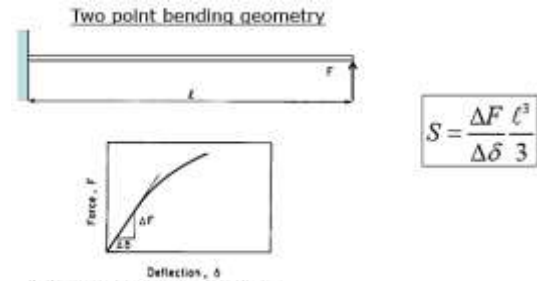


3.5.4 Συσχέτιση της δυσκαμψίας με την αντοχή σε περιστροφική παραμόρφωση (twisting stiffness)

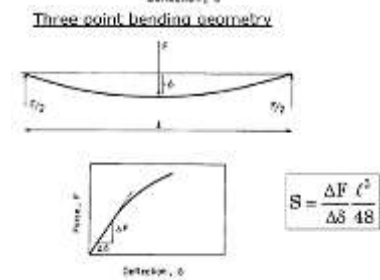


3.5.5 Εργαστηριακές δοκιμές ακαμψίας

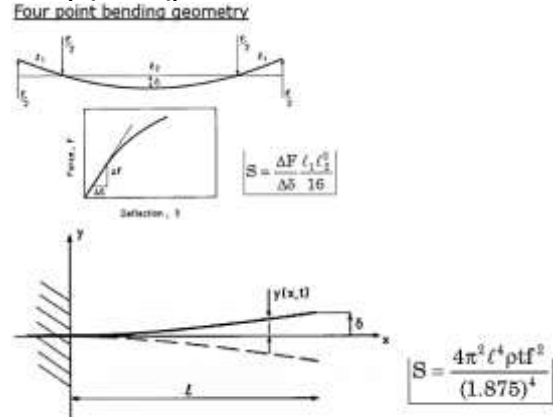
Δοκιμή 2 σημείων



Δοκιμή 3ων σημείων



Δοκιμή 4ων σημείων

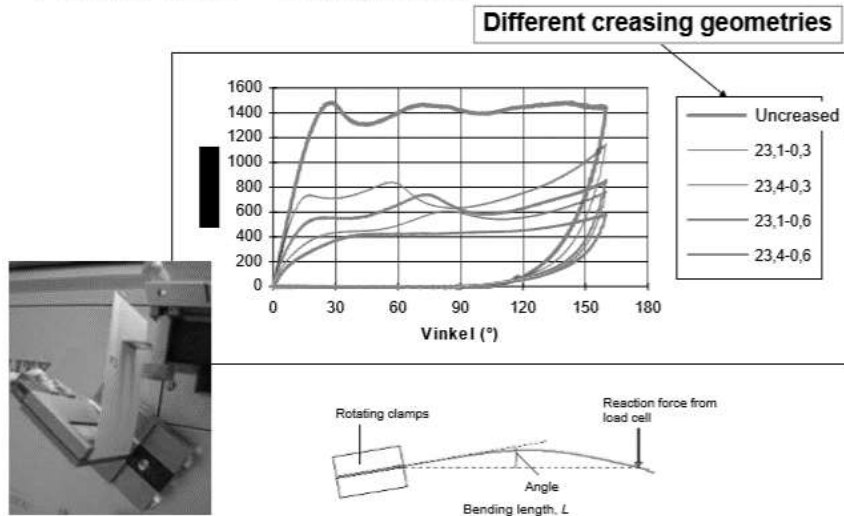


Δοκιμή σταθερής ράβδου

3.5.6 Διάγραμμα

Creasing analysis

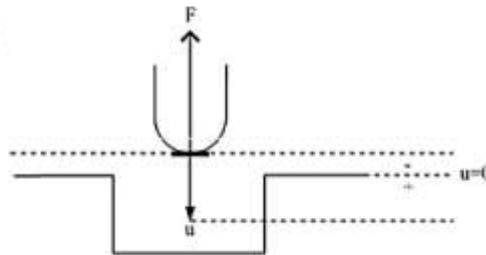
Folding force – folding angle



3.5.7 Μεθοδολογία

- Reaction force, F

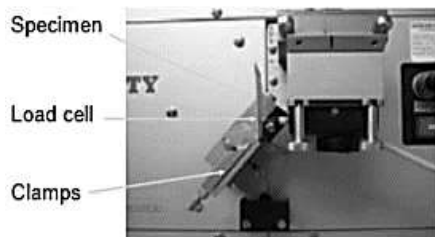
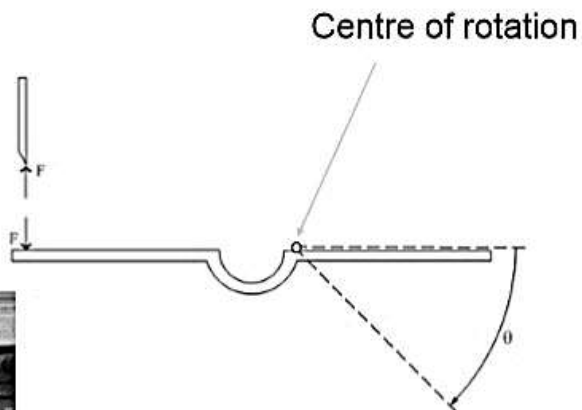
- Displacement

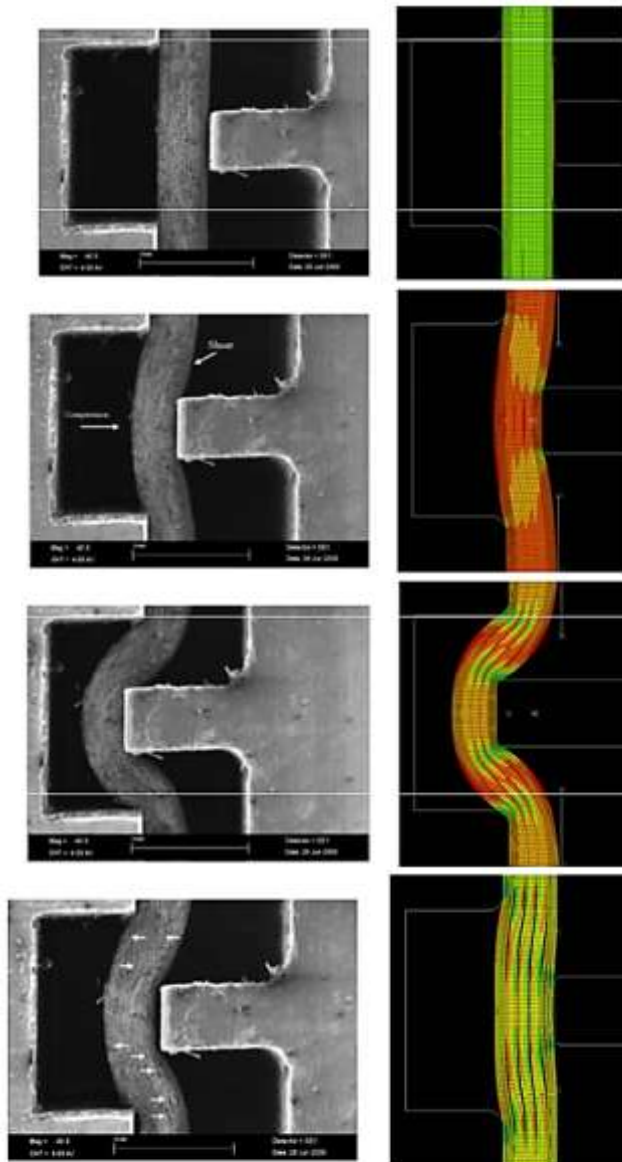


- Reaction force, F

•

- Rotation angle, θ





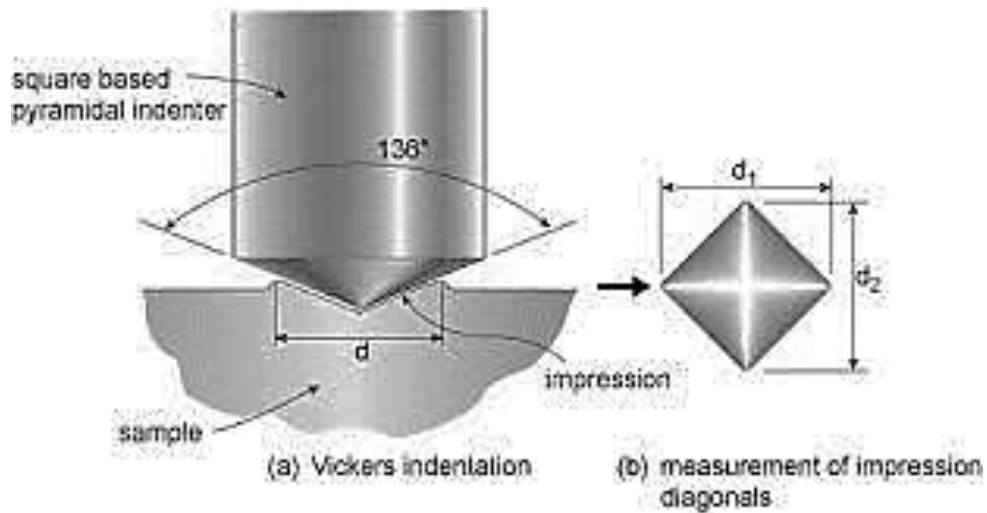
Reference: H. Dunn, MIT, 2000.

Reference: STFI-Packforsk/Tetra Pak 2004

3.5.7.1 Η μέθοδος «Rockwell» δοκιμής της σκληρότητας μετάλλων

Όπως ορίζεται στο ASTM E-18, είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος δοκιμής σκληρότητας. Είναι συνήθως ευκολότερη και πιο ακριβής από ό, τι τα άλλα είδη μεθόδων δοκιμών σκληρότητας. Η μέθοδος δοκιμής Rockwell χρησιμοποιείται σε όλα τα μέταλλα, εκτός από την κατάσταση όπου η υπό δοκιμή μεταλλική δομή ή οι επιφανειακές συνθήκες θα δημιουργήσουν πάρα πολύ μεγάλες παραλλαγές, π.χ. όπου οι εγκοπές θα είναι πάρα πολύ μεγάλες για την δεδομένη εφαρμογή ή όταν το μέγεθος του δείγματος και το σχήμα του απαγορεύει τη χρήση του. Η μέθοδος Rockwell μετρά τη μόνιμη σε βάθος εσοχή που παράγεται από μια δύναμη / φορτίο σε ένα συμπίεστη. Κατ' αρχάς, μια προκαταρκτική δύναμη δοκιμής (που συνήθως αναφέρονται ως προφόρτιση ή ήσσονος σημασίας φορτίο) εφαρμόζεται σε ένα δείγμα χρησιμοποιώντας μια απόληξη κατάλληλη για το υλικό. Αυτό το φορτίο αντιπροσωπεύει το «μηδέν» ή τη θέση αναφοράς για τη μείωση των επιπτώσεων του φινιρίσματος της επιφάνειας. Μετά την προφόρτιση, ένα πρόσθετο και μεγαλύτερο φορτίο, εφαρμόζεται για να φτάσουμε στο συνολικό φορτίο δοκιμής που απαιτείται. Αυτή η δύναμη διατηρείται για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (χρόνος παραμονής) ώστε να επιτρέψει την ελαστική ανάκτηση του υλικού. Αυτό το σημαντικό φορτίο στη συνέχεια απελευθερώνεται και η τελική θέση αποκατάστασης μετράται σε σχέση με την αρχική θέση. Η απόσταση αυτή μετατρέπεται σε έναν «αριθμό σκληρότητας». Μια ποικιλία από απόληξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα μέταλλα, όπως κωνικό διαμάντι

με στρογγυλή μύτη για σκληρότερα μέταλλα, σε σχήμα μπάλας με διάμετρο που κυμαίνεται από 1/16 "έως 1/2" για μαλακότερα υλικά.

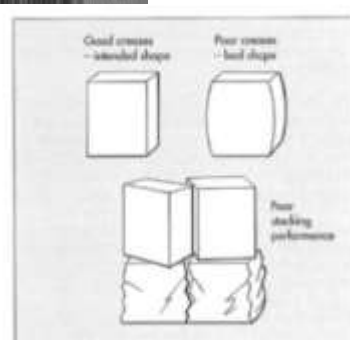


3.5.8 ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Ζάρωμα περιοχών διπλώματος χάρτινων περιεκτών (creasing)

3.5.8.1 Προβλήματα κακού διπλώματος

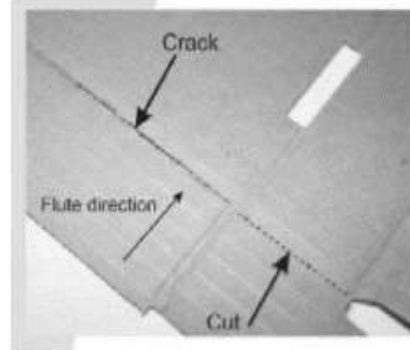
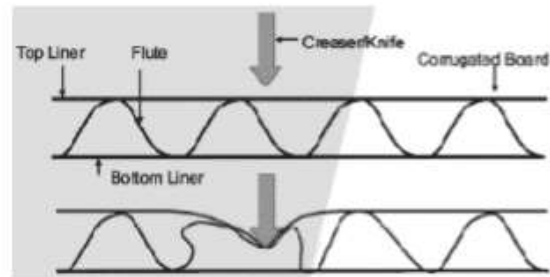


- for obtaining the intended carton shape
- when designing creative shapes
- for packaging line efficiency and runnability
- for achieving box compression strength and stacking strength



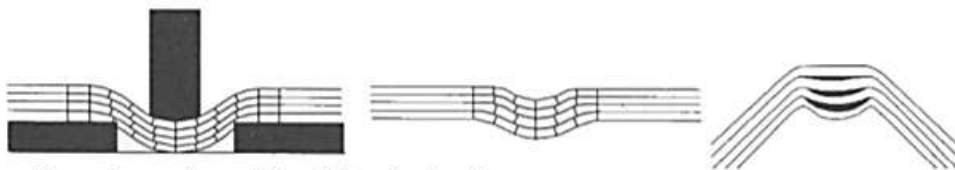
Problems

- The top liner cracks during creasing if the crease is too deep.
- The bottom liner cracks during folding if the crease is too shallow.

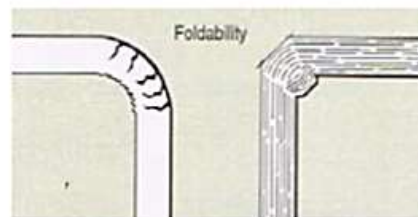
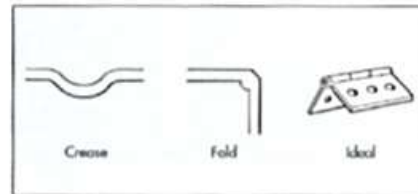


B.K. Thakkar, R.H.J. Peerlings, M.G.D. Geers
Eindhoven University of Technology, Department of
Mechanical Engineering 2006

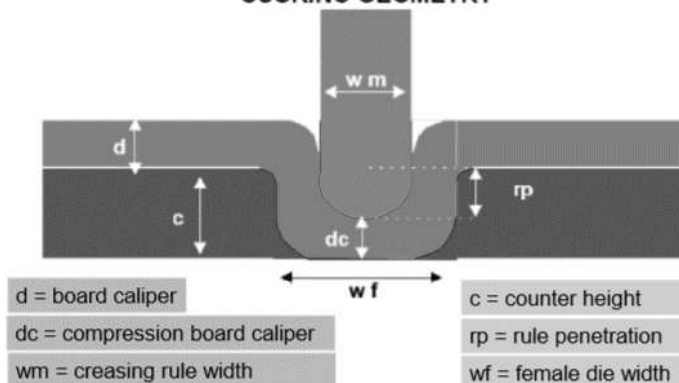
3.5.9 Παράγοντες σχεδιασμού μήτρας ζαρώματος επιφάνειας



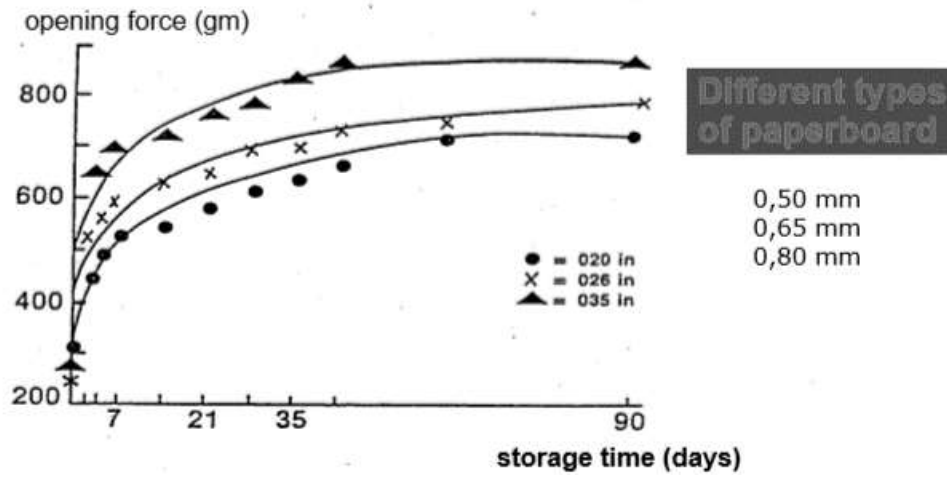
- Paperboard must be delaminated to create a good score
- In a well-defined folding line the ideal state is a hinge.
- A properly made score will allow a 180° board bend without top ply cracking



SCORING GEOMETRY



Carton forming force as function of storage time



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4.

4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΧΑΡΤΙΝΩΝ ΠΕΡΙΕΚΤΩΝ

Strain in the plane due to moisture absorption

$$\varepsilon^H = \beta^H \Delta H$$

$\beta^H = \text{hygroexpansion coefficient}$
 $\Delta H = \text{the change in the moisture content of the paper}$

$$\varepsilon^H = \beta^{RH} \Delta RH$$

$RH = \text{relative humidity}$

$$\varepsilon^H = \beta^{mc} \Delta mc$$

$mc = \text{moisture content}$

Total strain in a layer due to both moisture sorption and mechanical forces

$$\varepsilon = \varepsilon^M + \varepsilon^H$$

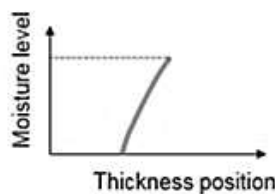
Total strain in a given layer due to moisture changes, mechanical influences and bending

$$\varepsilon^M = \varepsilon^0 + z\kappa - \beta^H \Delta H$$

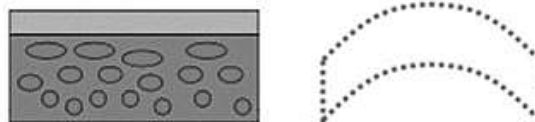
strain due to change in moisture (points to $-\beta^H \Delta H$)
 membrane strain (points to ε^0)
 bending strain (points to $z\kappa$)

4.2 ΚΑΜΠΥΛΩΤΗΤΑ - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

• Moisture gradients

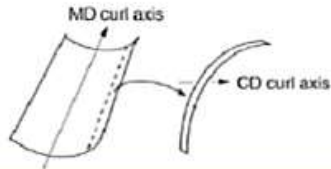


• Variation in fibre orientation, density

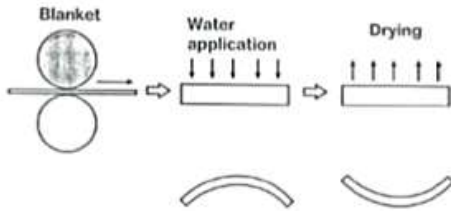
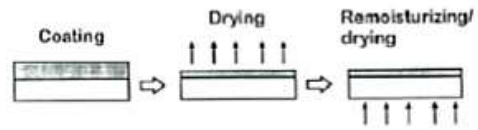


• Gradients in moisture expansion coefficient, elastic properties





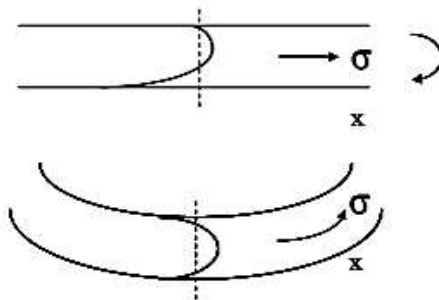
Paper curl depends on specimen size



Coating induced curl

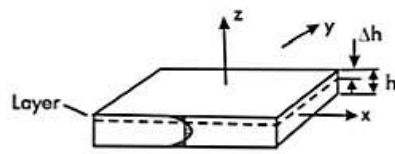
Curl in offset printing

4.3 ΚΑΜΠΥΛΩΤΗΤΑ - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΟΜΕΝΟΥ ΣΤΡΕΣ

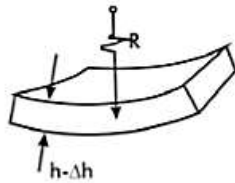


The mechanism behind build-up of residual stresses is moisture gradients during drying and re-wetting in combination with shrinkage due to changes in the moisture content.

Principle of detecting residual stress

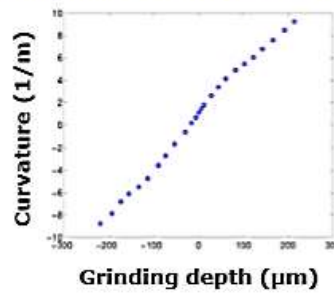


STRIP BEFORE REMOVAL OF LAYER

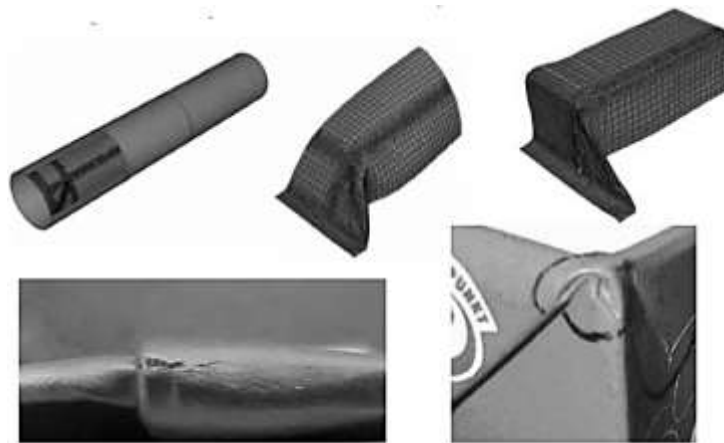


STRIP AFTER REMOVAL OF LAYER

Curvature versus grinding depth



$$\sigma_z(z_1) = \frac{E_z(z_0+z_1)^2}{6(1-\nu_{xz})} \left(\frac{d\kappa_z(z_1)}{dz_1} + \nu_{xz} \frac{d\kappa_y(z_1)}{dz_1} \right) - \frac{2E_z(z_0+z_1)}{3(1-\nu_{xz})} (\kappa_z(z_1) + \nu_{xz}\kappa_y(z_1)) + \frac{E_z}{3(1-\nu_{xz})} \int_{z_1}^z (\kappa_x(z) + \nu_{xz}\kappa_y(z)) dz + \frac{E_z z_0}{3(1-\nu_{xz})} (\kappa_x(z_0) + \nu_{xz}\kappa_y(z_0))$$



K-crack

Corner fold

Llff Nvrman. LTH. 2007

4.3.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

4.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ

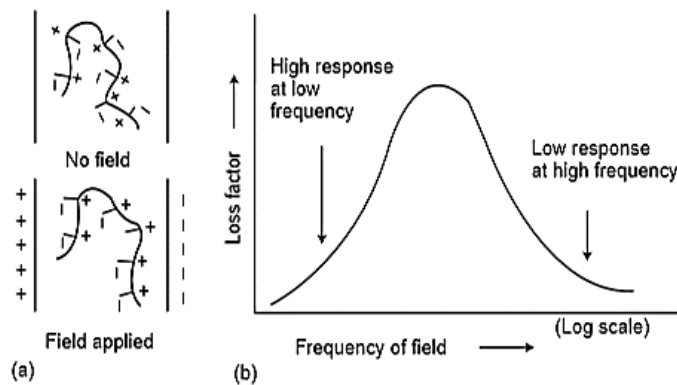
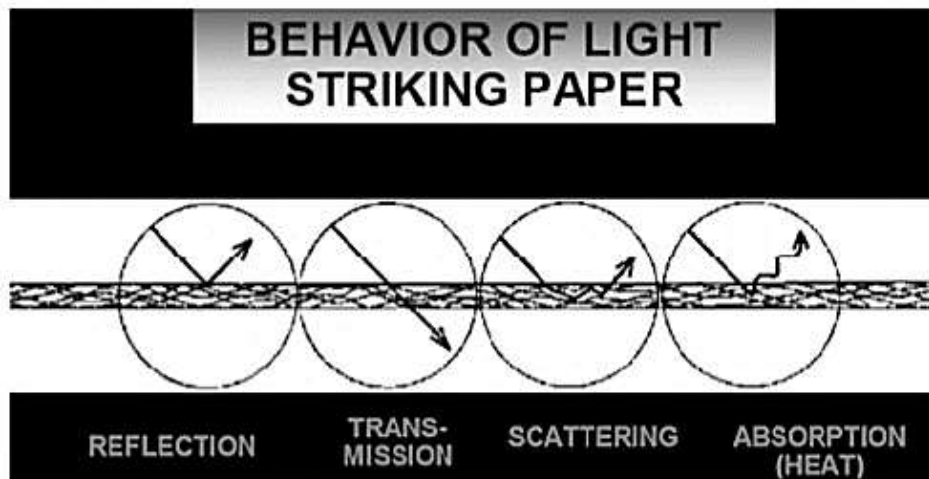


FIGURE (a) Orientation of a polar polymer molecule in an electric field. (b) Dielectric response of a polar polymer in an alternating electric field.

4.4.1 Οπτική πυκνότητα

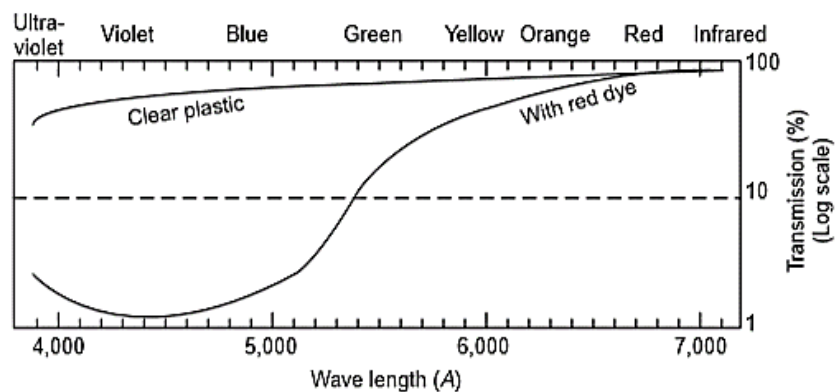


FIGURE Light transmission diagram for plastic.

4.4.2 Δείκτης διάθλασης (scattering)

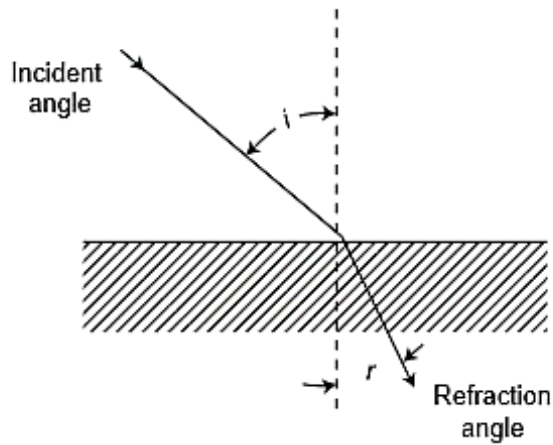


FIGURE Refraction of light. Index of refraction: $n = (\sin i)/(\sin r)$.

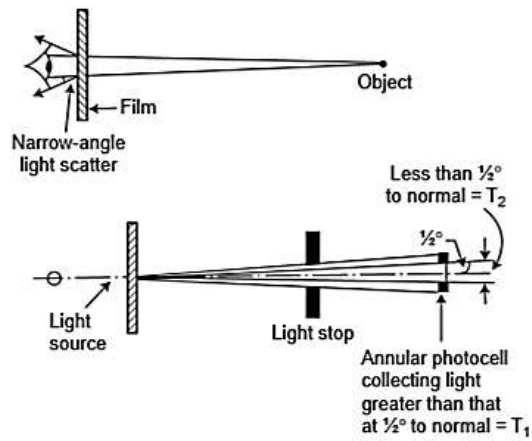


FIGURE Measurement of narrow-angle light-scattering property of plastic film. Clarity, % = $100 \times T_1 / (T_1 + T_2)$.

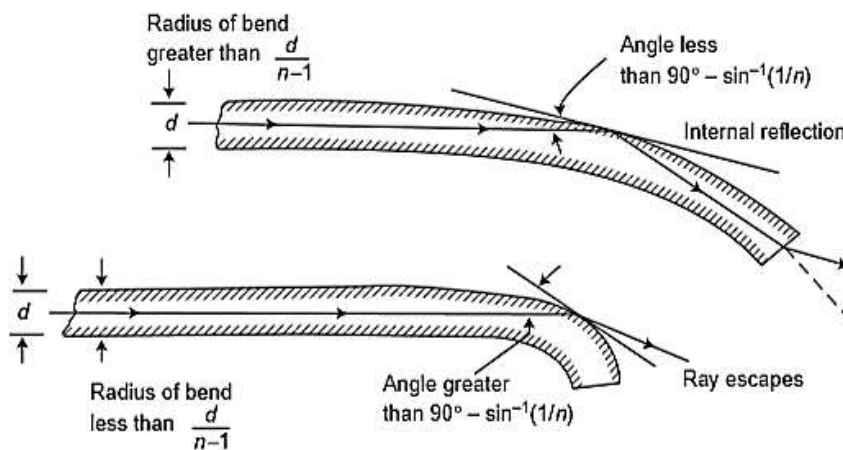


FIGURE Principle of piped light.

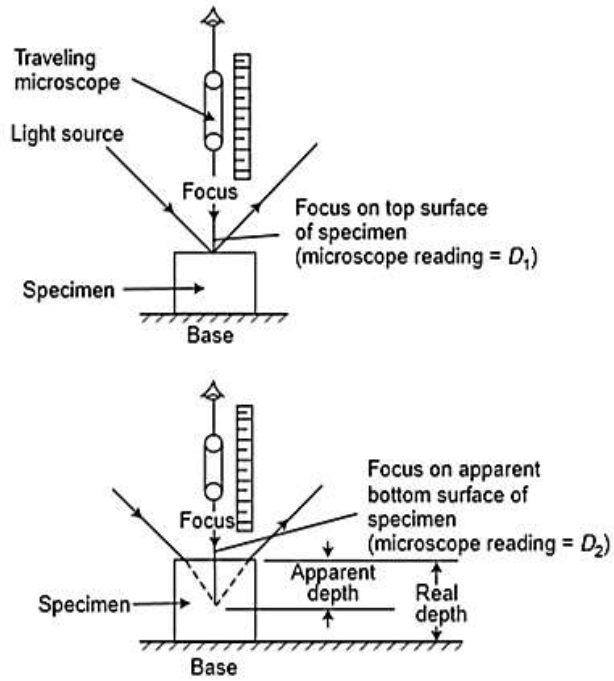


FIGURE Test for index of refraction of transparent plastics. Refractive index = real depth (measured with vernier)/apparent depth ($D_2 - D_1$). Standard test method: ASTM D542, ISO R189.

4.4.3 Θαμπάδα (Haze)

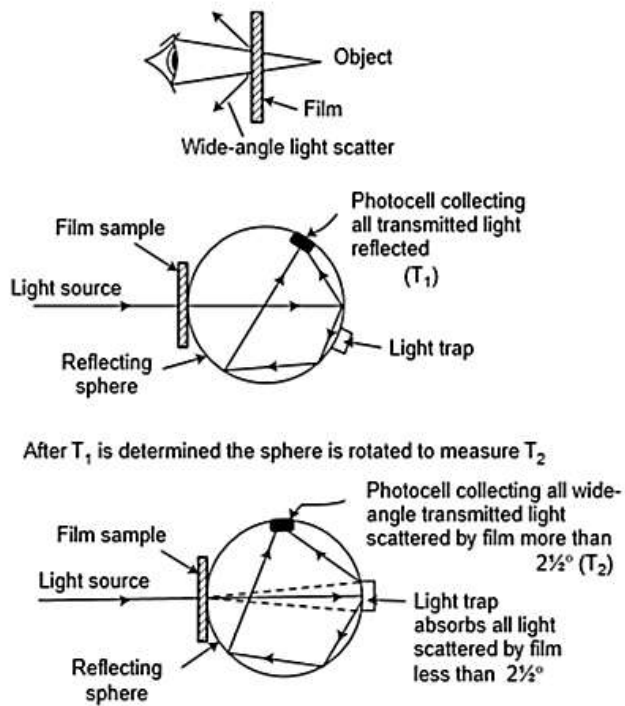


FIGURE Test for haze of transparent plastics. Haze, % = $100 \times T_2/T_1$. A low haze value is important for good short distance vision. Standard test method: ASTM D1003.

4.4.4 Λευκότητα

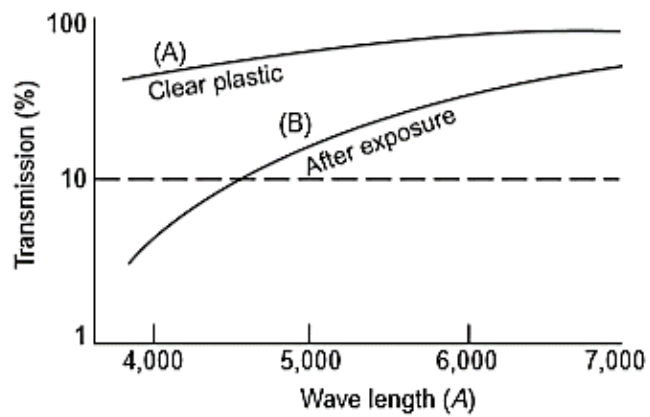
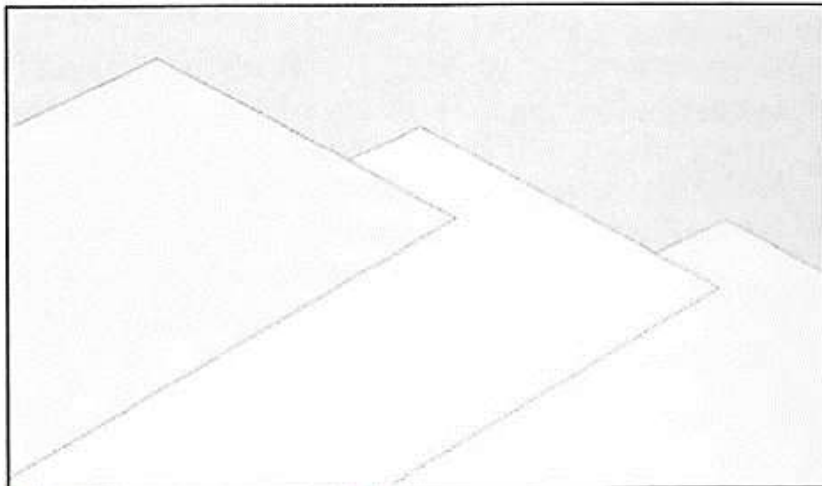
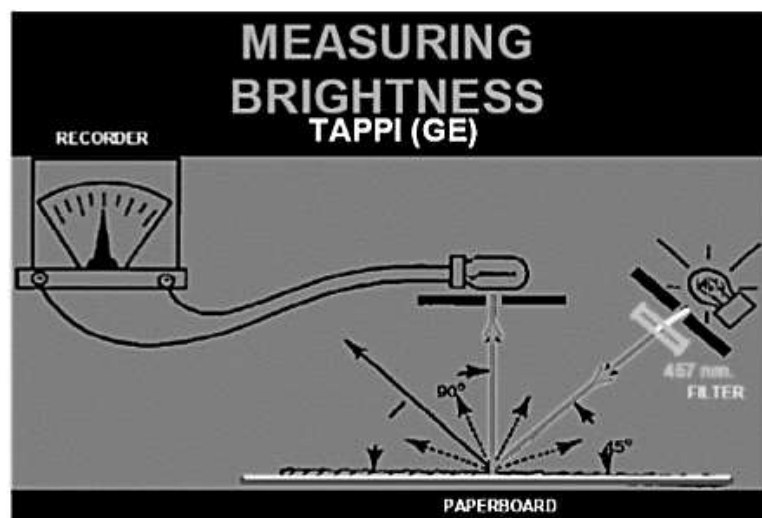


FIGURE Yellowing of plastics on exposure.

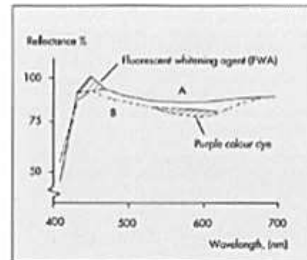
4.4.5 Λάμψη επιφάνειας



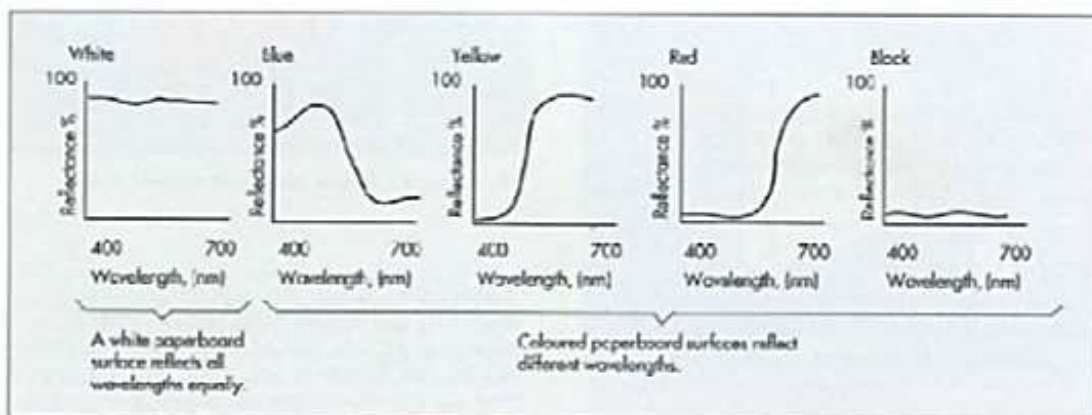
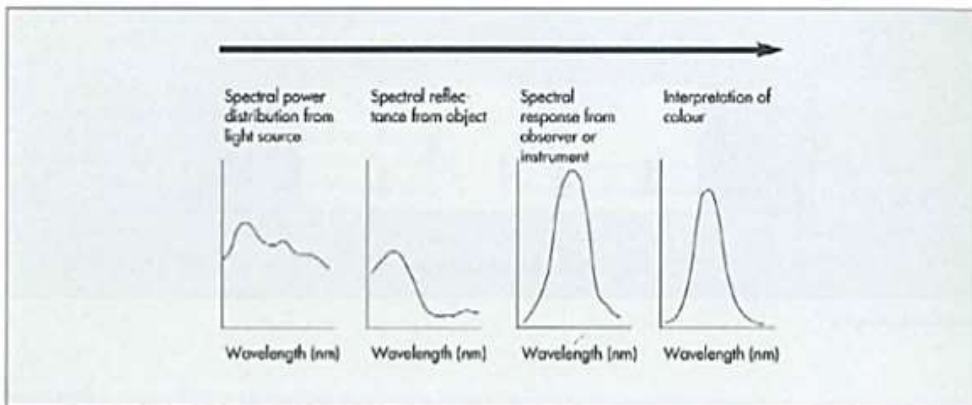
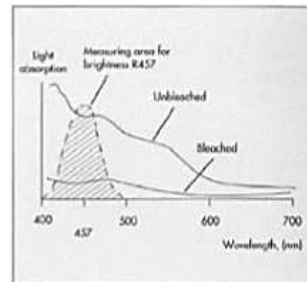
Brightness is a measure of the reflectance of blue light at a single wavelength of 457 nm.

Parameters affecting the impression of whiteness and brightness

- Adding FWA (Fluorescent Whitening Agent, absorbs some wavelength)
- Adding dyestuffs (coloured substances)
- Bleaching



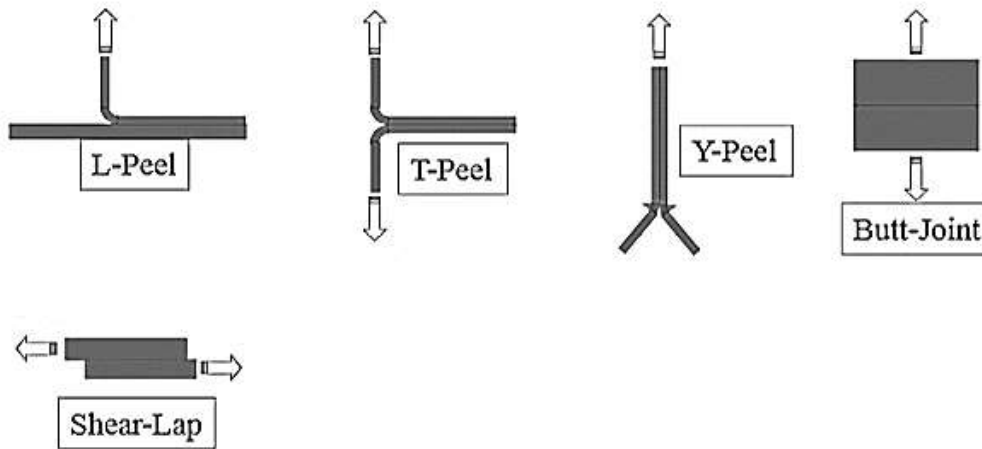
Whiteness and brightness are usually very important in design of packages for luxury products.



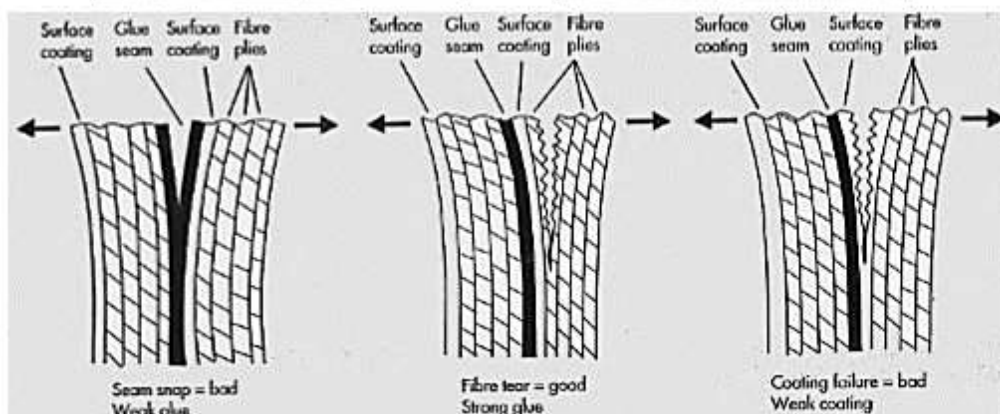
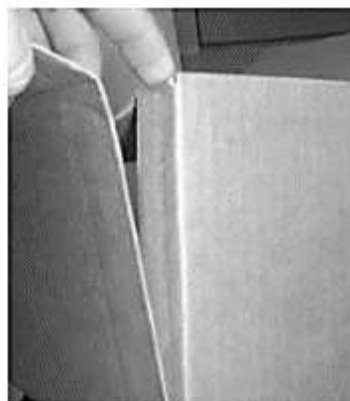
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 5.

5.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

5.1.1 Σπάσιμο δεσμού επιφάνειας συγκόλλησης



Reference: M. Lestelius, KaU, 2001



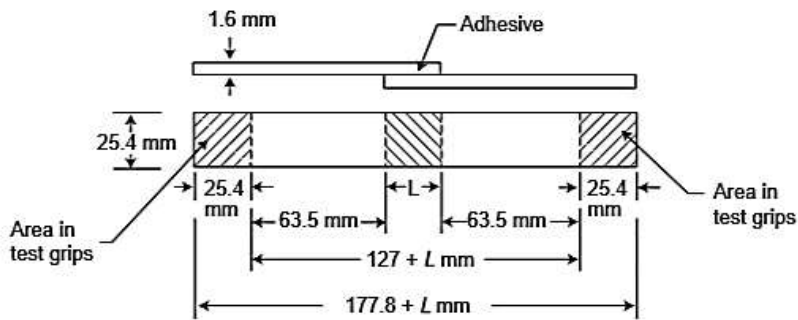


FIGURE Form and dimensions of test specimen for single-lap-joint shear test to determine shear strengths of adhesives for bonding metals (standard test method: ASTM D1002-94). Recommended length of overlap (L) for most metals of 1.62 mm in thickness is 12.7 mm. Specimen is placed in grips of a testing machine so that outer 25.4 mm (1 in.) of each end is in contact with the jaws. Load is applied at the rate of 80–100 kg/cm² (1,200–1,400 psi) of shear area per min and continued till failure occurs.

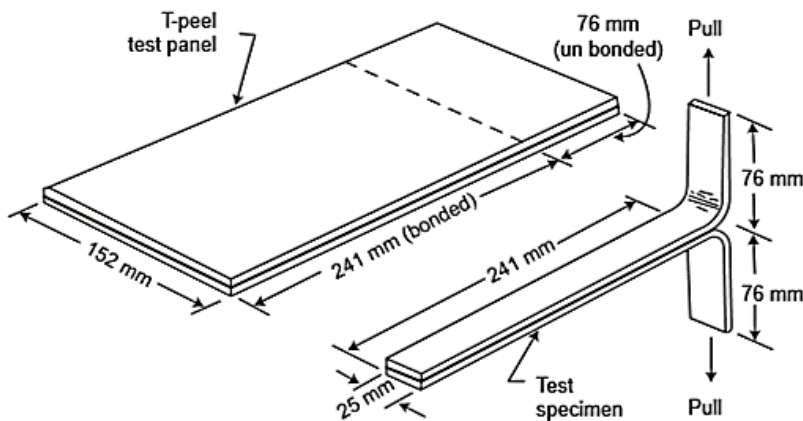
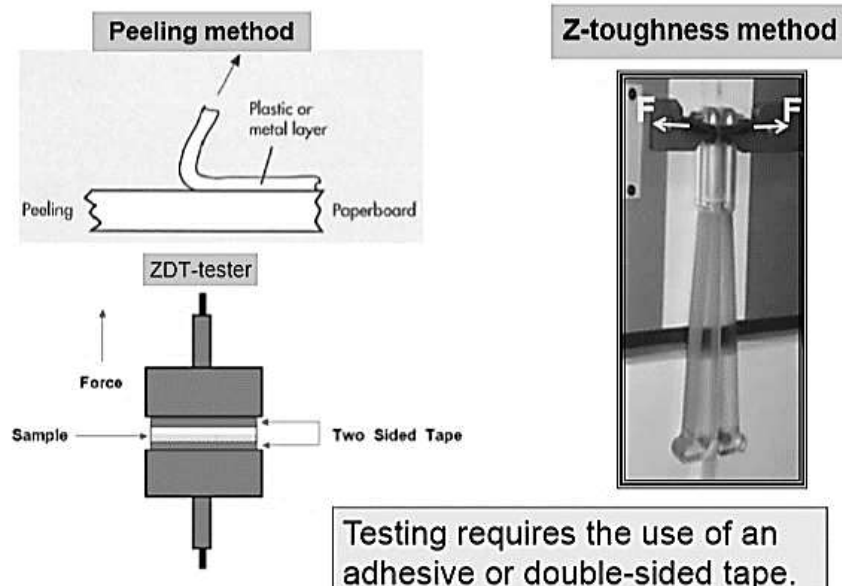
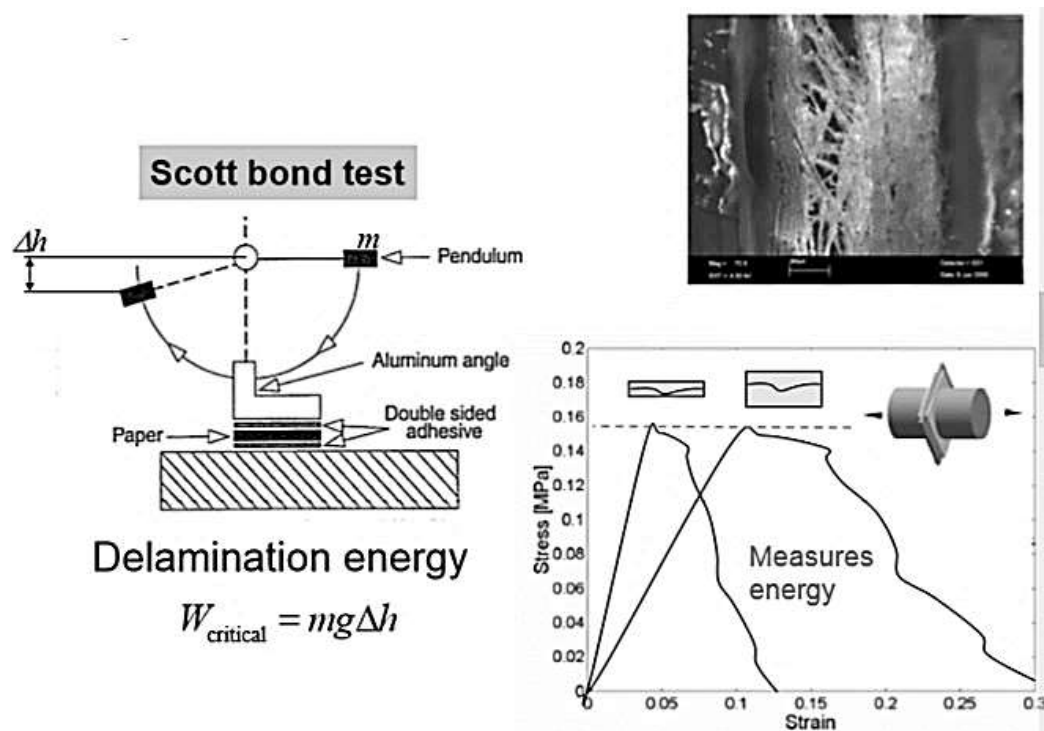
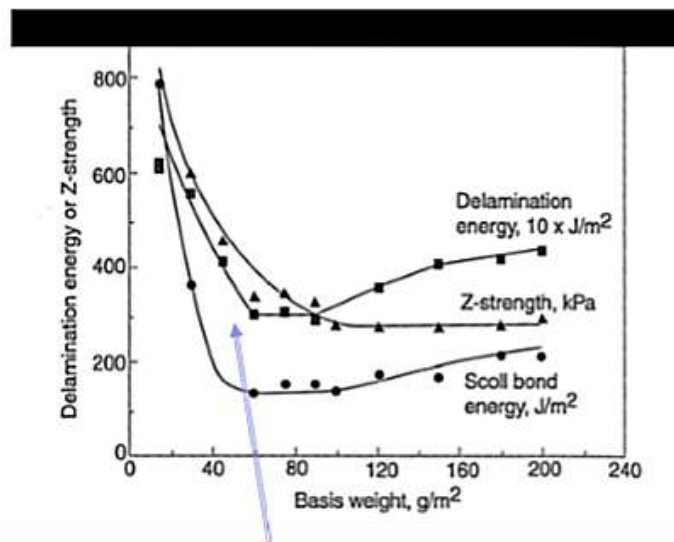


FIGURE Test panel and T-type test (T-peel test) specimen for peel resistance of adhesives (standard test method: ASTM D1876-95). The bent, unbonded ends of test specimen are clamped in test grips of tensile testing machine and load applied at a constant head speed of 254 mm (10 in.). Average peeling load (in pounds per inch of specimen width) is determined for the first 127 mm (5 in.) of peeling after the initial peak.





Delamination energy Influence of basis weight (grammage)

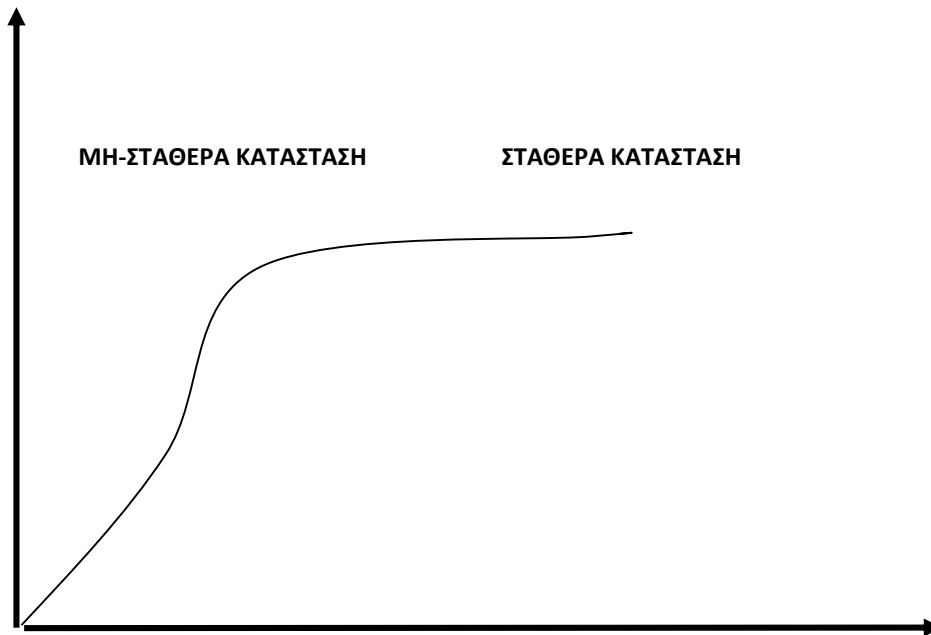


Influence of adhesive used to mount the paper to the metal blocks

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 6.

6.1 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΕΡΙΑ

Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της διαπερατότητας είναι α) η μέθοδος της αύξησης της πίεσης, β) η μέθοδος της αύξησης της συγκέντρωσης, γ) η μέθοδος της αύξησης του όγκου και δ) η μέθοδος εξέτασης μιας μεμβράνης ανίχνευσης.

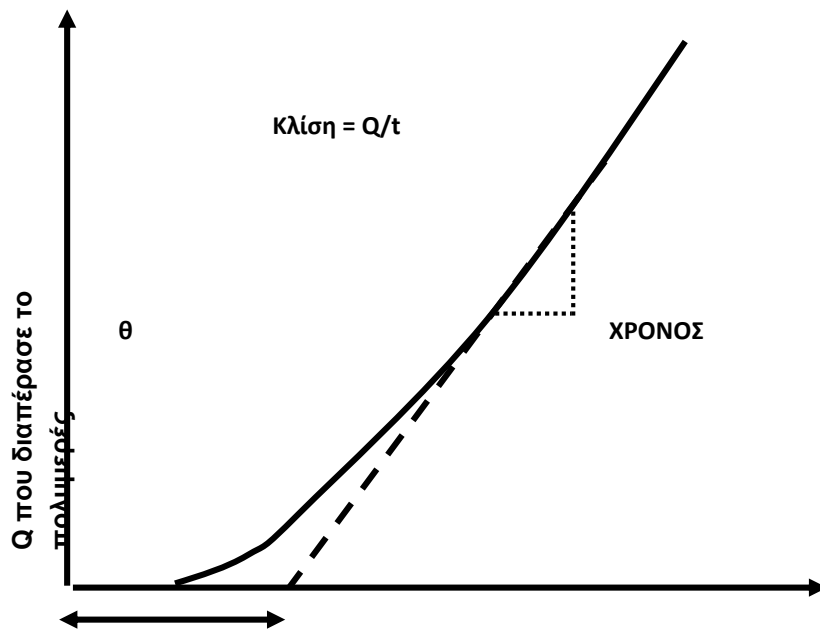


Από τις μεθόδους αυτές η μέθοδος της αύξησης της συγκέντρωσης, (γνωστή και ως **ισοστατική μέθοδος (isostatic)**, καθώς η πίεση και στις δύο πλευρές είναι σχετικά ίδια), βασίζεται στο ότι η διαφορά πίεσης μεταξύ των πλευρών μιας μεμβράνης αποτελεί την οδηγό δύναμη η οποία και αναγκάζει το αέριο να μετακινηθεί δια μέσω της μεμβράνης γνωστής επιφάνειας. Να τονίσουμε ενώ η συνολική πίεση είναι η ίδια, ώστε να μην μαζεύει η συσκευασία αλλά να παρουσιάζεται φουσκωμένη, είναι η διαφορά στη μερική πίεση του αερίου που το αναγκάζει να μετακινηθεί.

Η διαφορά της μερικής πίεσης διατηρείται με την μεταφορά των ποσοτήτων του υπό μέτρηση αερίου που διαπερνάν από την άλλη μεριά της μεμβράνης με τη χρήση ενός αδρανούς αερίου. Οι ποσότητες του αερίου που έχουν περάσει μεταφέρονται σε ένα κατάλληλο ανιχνευτή ο οποίος έτσι μετρά την συγκέντρωση του αερίου που διαπέρασε την μεμβράνη με το χρόνο. Η μέτρηση θα πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στον περιβάλλοντα τη μεμβράνη χώρο, ώστε να μπορεί να μελετηθεί ο ρόλος των δύο αυτών παραγόντων στη διαπερατότητα της υπό μελέτης μεμβράνης στο συγκεκριμένο αέριο. Με την ίδια μέθοδο μπορούν να μετρηθούν οι διαπερατότητες τόσο μεμβρανών όσο και ολόκληρων συσκευασιών, όπως μπουκάλια, σωληνάκια, σακουλάκια και λοιπά.

6.1.1 ΧΡΟΝΟΣ

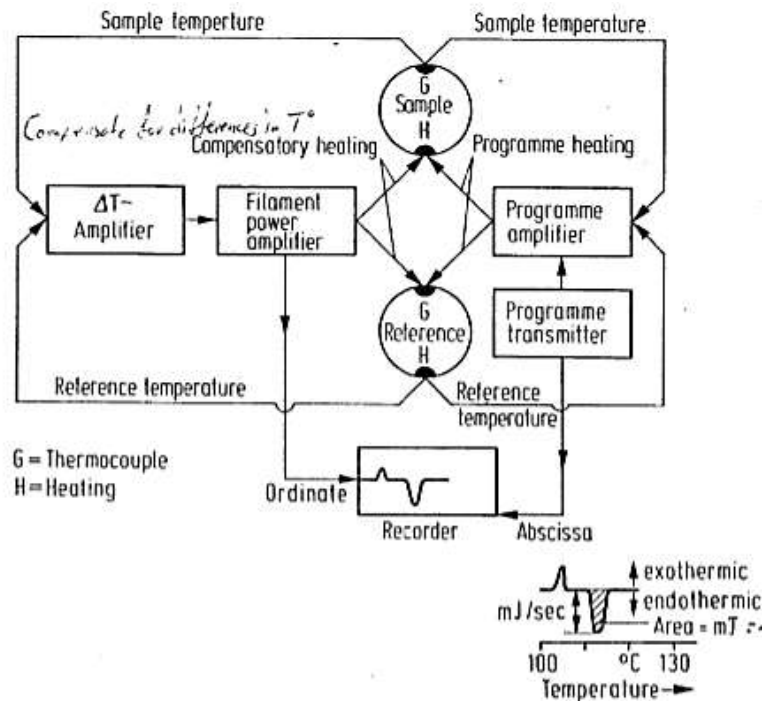
Σε μια εκδοχή της πιο πάνω μεθόδου η οποία λέγεται **ημι-ισοστατική (quasi-isostatic)**, ο θάλαμος συγκέντρωσης του αερίου που έχει διαπεράσει τη μεμβράνη είναι κλειστός και το αέριο που συσσωρεύεται εκεί απομακρύνεται σε τακτά και καθορισμένα χρονικά διαστήματα και αναλύεται σε χωριστό μηχάνημα (αέριο χρωματογραφία) για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του σε κάθε χρονική στιγμή.



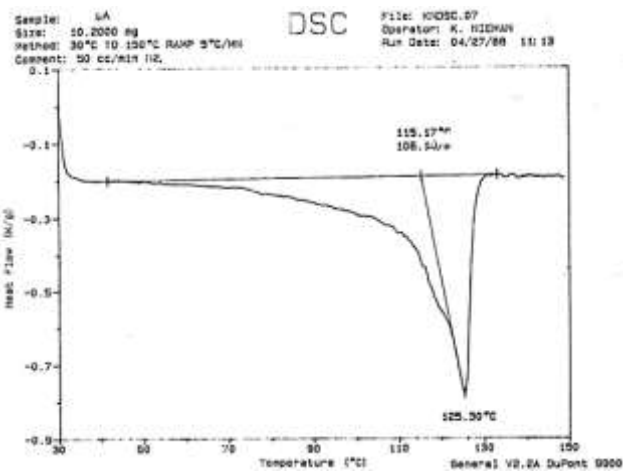
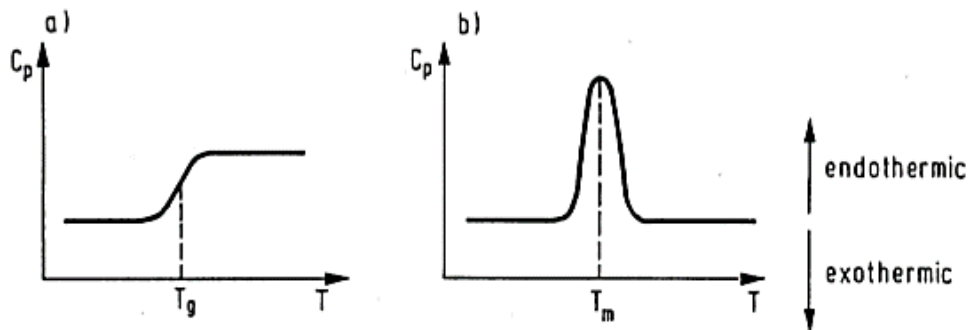
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 7.

7.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

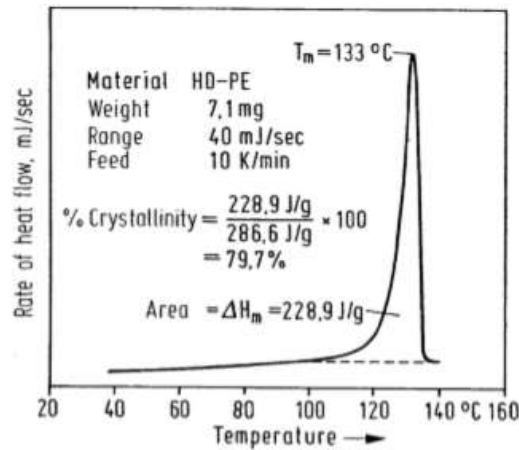
7.1.1 DSC



7.1.1.1 Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής DSC



7.1.1.2 Χαρακτηριστικά διαγράμματα DSC

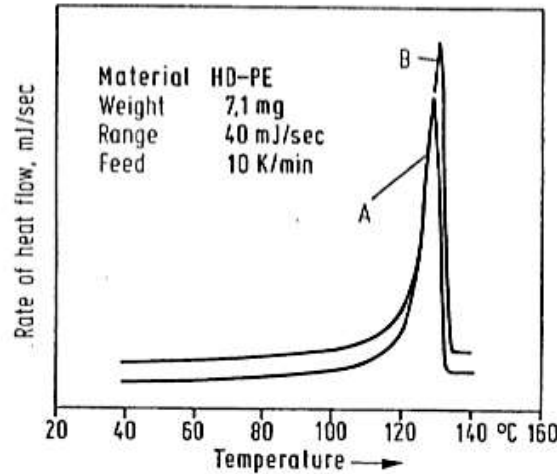


DSC used to determine

- T_g
- T_m
- % crystallinity
- Influence of thermal history

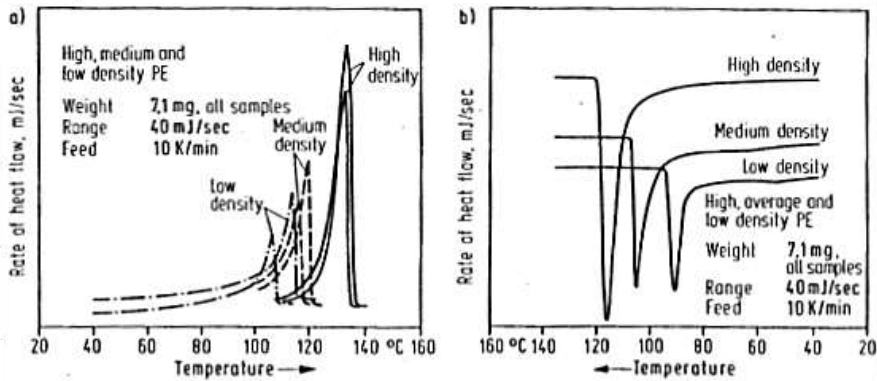
DSC : Determination of melting point and of crystalline fraction of a semi crystalline plastic.

Example: polyethylene



DSC : Influence of thermal history on melting behaviour.

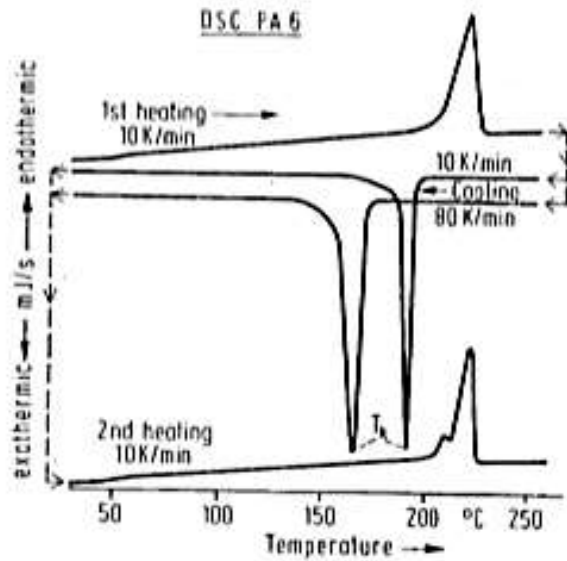
Example: Polyethylene



DSC measurements on polyethylene samples of different densities*

a) Influence on melting behaviour

b) Influence on rate of crystallisation and on crystalline fraction



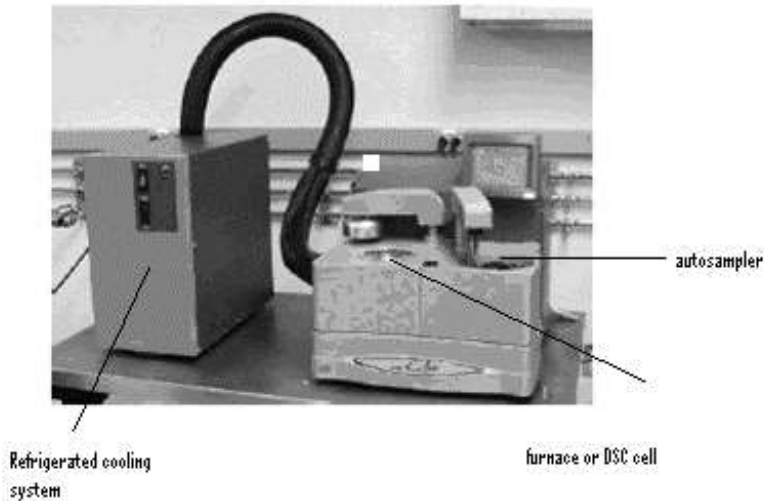
DSC : Information regarding rate of crystallisation: Dependence of exothermic recrystallisation maximum (T_K) on rate of cooling.

Example: Polyamide 6

7.1.1.3 Εργαστηριακή ανάλυση πολυμερών με την χρήση DSC

Η DSC Q1000 αποτελείται από 4 βασικές ενότητες:

Κλίβανος: Αυτό είναι το κύριο συγκρότημα όπου το δείγμα και αναφορά θερμαίνονται ως ανά πρόγραμμα ρυθμισμένη θερμοκρασία. Αυτόματος δειγματολήπτης: Αυτή η μονάδα λειτουργεί για να φορτώσουν και να ξεφορτώσουν τα ταψιά σύμφωνα με τις εντολές του τρέχει. Σύστημα ψύξης: Αυτή η μονάδα επιτρέπει να ψυχθεί το δείγμα και να βοηθήσει στην επίτευξη της επιθυμητής πρόγραμμα θερμοκρασίας. Υπολογιστής: Αυτό χρησιμεύει ως διεπαφή μεταξύ του χρήστη και του μέσου και επιτρέπει τον αυτόματο έλεγχο της πράξης σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουν τεθεί.



Ο φούρνος διοχετεύει τη θερμότητα στα δείγματα μέσω ενός δίσκου. Ο δίσκος έχει δύο υπερυψωμένες πλατφόρμες στις οποίες τοποθετούνται στην μία το δείγμα αναφοράς και στην άλλη το δείγμα μέτρησης. Οι πλατφόρμες συνδέονται με το συγκρότημα θέρμανσης (βάση) όπου υπάρχουν θερμικές αντιστάσεις μεταξύ των πλατφορμών και της βάσης. Ένας δίσκος χρωμίου και ένα καλώδιο σύνδεσης είναι συνδεδεμένο στην κάτω πλευρά της κάθε πλατφόρμας. Θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της διαφοράς των θερμοκρασιών μεταξύ των δειγμάτων κατά την διάρκεια της θερμικής διεργασίας. Ένα ξεχωριστό θερμοστοιχείο ενσωματωμένο στο μπλοκ θέρμανσης μετρά τη θερμοκρασία της βάσης και τροφοδοτεί ένα κέντρο ελέγχου της θερμοκρασίας του προγραμματισμένου κύκλου θέρμανσης. Ένα αδρανές αέριο διέρχεται μέσω του κυττάρου σε ένα σταθερό χαμηλό ποσοστό περίπου 40 ml min.

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι του συστήματος ψύξης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με DSC. Η επιλογή του συστήματος ψύξης εξαρτάται από την κλίμακα θερμοκρασίας που επιθυμείτε να χρησιμοποιήσετε για τα πειράματά σας. Λεπτομέρειες σχετικά με τους τύπους των συστημάτων ψύξης και τις συνθήκες χρήσης τους μπορεί να βρεθεί στο ηλεκτρονικό εγχειρίδιο DSC στην ενότητα Βοήθεια του λογισμικού DSC.

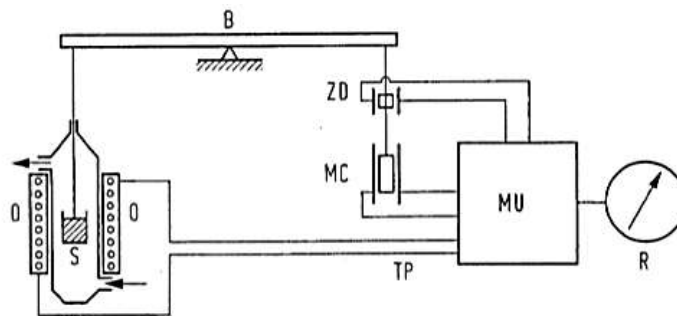
Έχουμε ένα ψυγείο σύστημα ψύξης (RCS) στο εργαστήριο μας, η οποία χρησιμοποιείται για να ψύχει τα πειράματα DSC. Αποτελείται από δύο στάδια, καταρράκτης, ατμός σύστημα ψύξης συμπίεσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πειράματα που απαιτούν ψύξη εντός μιας περιοχής λειτουργίας από -90 ° C έως 550 ° C. Ο μέγιστος ρυθμός ψύξης εξαρτάται από το εύρος της θερμοκρασίας του πειράματος.

7.1.1.3.1 Χρησιμοποιώντας το όργανο

Για την εκτέλεση των πειραμάτων DSC θα πρέπει να ακολουθήσουν αυτό το γενικό περίγραμμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν είναι όλα αυτά τα βήματα που απαιτούνται. Η πλειονότητα αυτών των βημάτων διεξάγεται χρησιμοποιώντας το λογισμικό ελέγχου του οργάνου. Οι οδηγίες που απαιτούνται για την εκτέλεση αυτών των ενεργειών μπορεί να βρεθεί αναλυτικά στην ηλεκτρονική βοήθεια του προγράμματος ελέγχου του οργάνου. Ως εκ τούτου, θα συζητηθεί εν συντομία εδώ

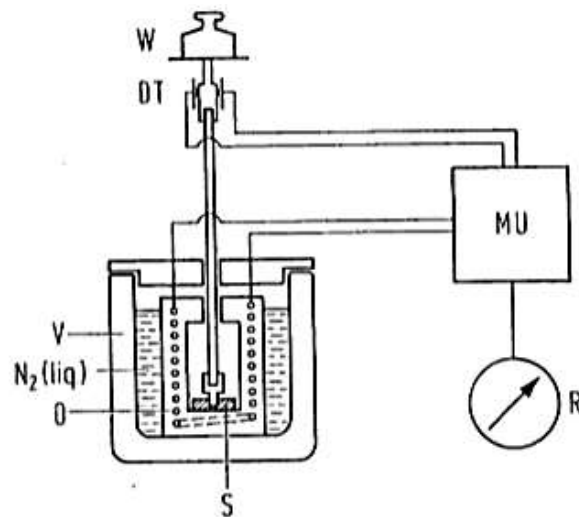
- Βαθμονόμηση του οργάνου
- Επιλογή του τύπου τηγάνι και υλικό
- Προετοιμασία του δείγματος
- Δημιουργία ή επιλογή της διαδικασίας της εξέτασης και την εισαγωγή του δείγματος και πληροφορίες όργανο μέσω του λογισμικού ΤΑ ελέγχου του οργάνου
- Ρύθμιση της ταχύτητας ροής του αερίου καθαρισμού
- Τοποθέτηση του δείγματος και κλείνοντας το καπάκι κυττάρων την έναρξη του πειράματος.

7.1.2 Θερμο-σταθμική μέθοδος (Thermogravimetric method)



TGA : Thermogravimetric apparatus. Principle of operation
 B : Scale balance
 S : Sample
 O : Oven
 TP : Temperature programming
 ZD : Zero point detector
 MC : Magnetic coil for weight compensation
 MU : Modular unit
 R : Recorder

7.1.3 Θερμο-μηχανική μέθοδος (Thermomechanical method)



TMA : Thermomechanical apparatus. Principle of operation

W : Weight

S : Sample

DT : Differential transformer
(Displacement pick up)

MU : Modular unit

V : Vacuum jacket

R : Recorder

O : Oven

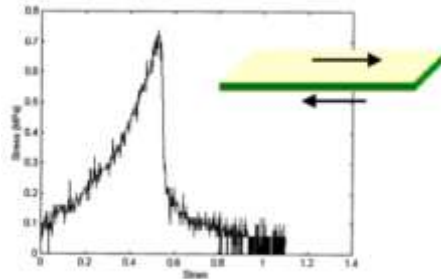
N₂(liq.) : Cooling bath (e.
liquid nitrogen)

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

8.1 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

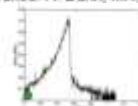
8.1.1 Απεικόνιση των μεταβολών στην μάζα του χαρτιού κατά τα διάφορα στάδια της δοκιμής

Shear loading

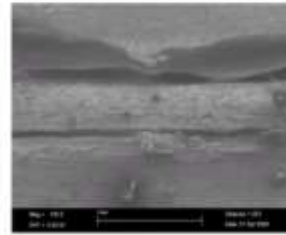
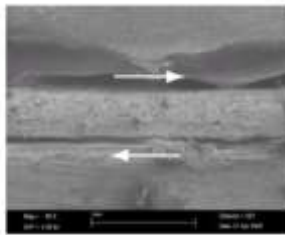
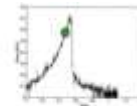


Reference: H. Dunn, MIT, 2000.

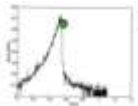
Shear loading: Step 1



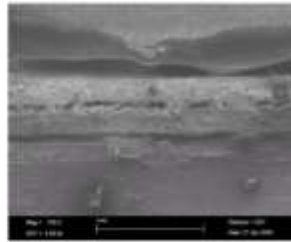
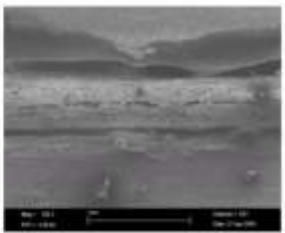
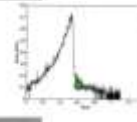
Shear loading: Step 2



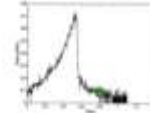
Shear loading: Step 3



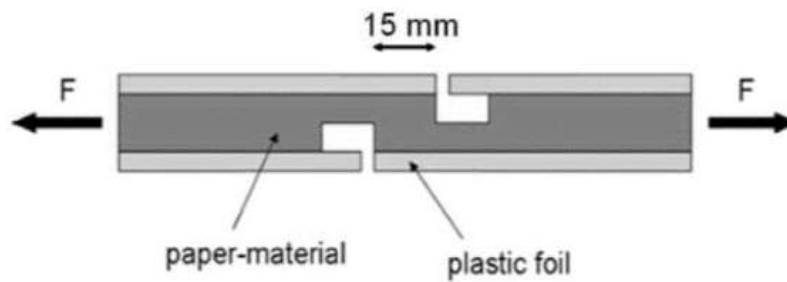
Shear loading: Step 4



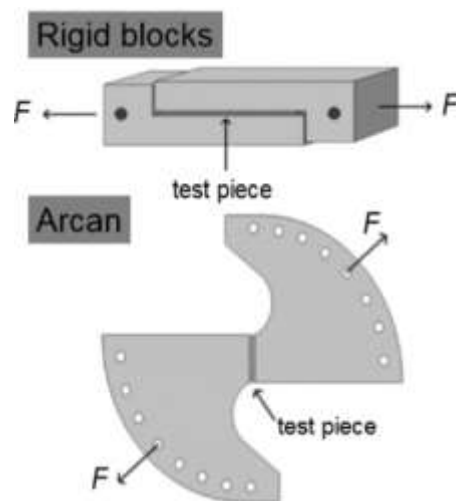
Shear loading: Step 5



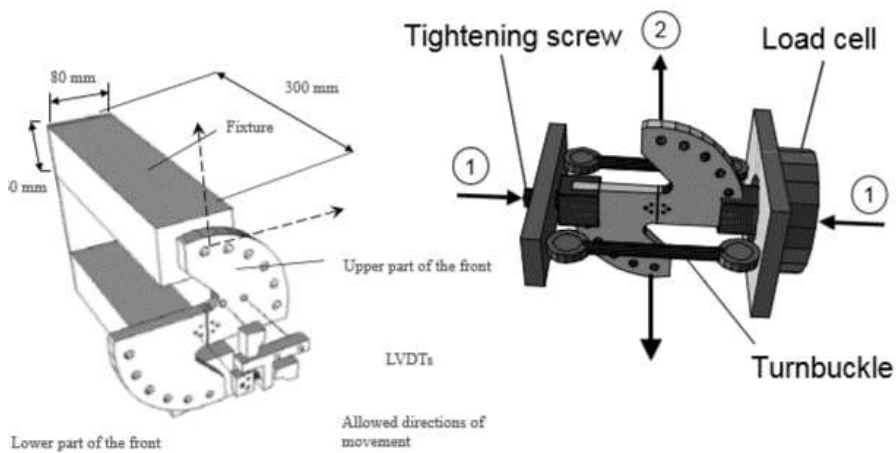
8.1.2 Μεθοδολογία δοκιμών



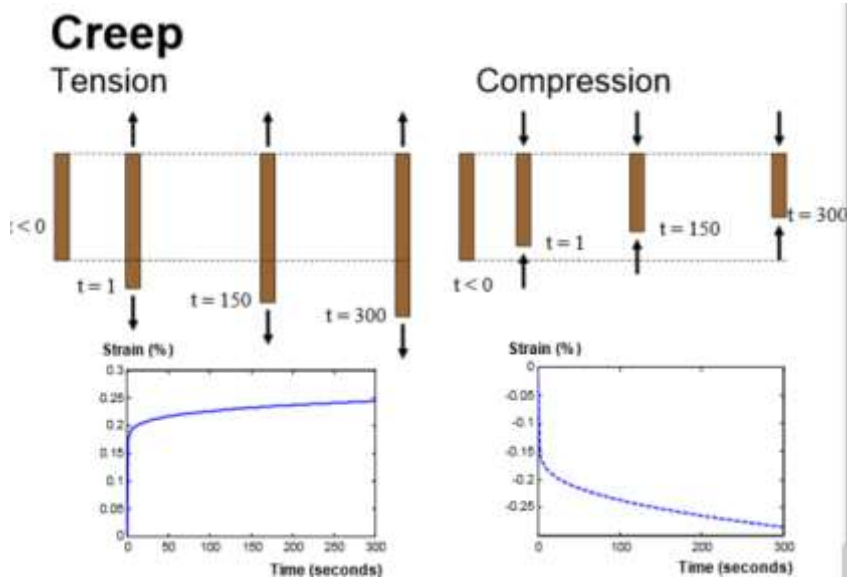
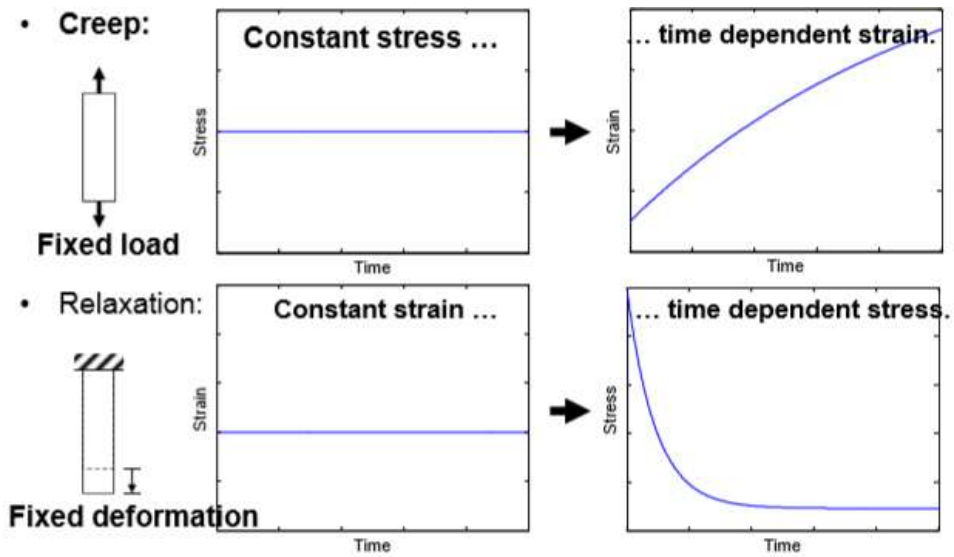
- Ordinary tensile test
- No gluing
- Relatively fast
- Stress concentrations at notches
- Notches prepared on many test pieces in one step



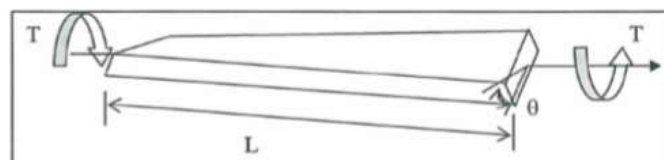
- Gluing
 - Glue penetration
 - Time consuming
- Alignment
 - Tilted gluing
 - Thickness
- Homogeneous stress field?



8.2 ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΑΡΩΣΗ



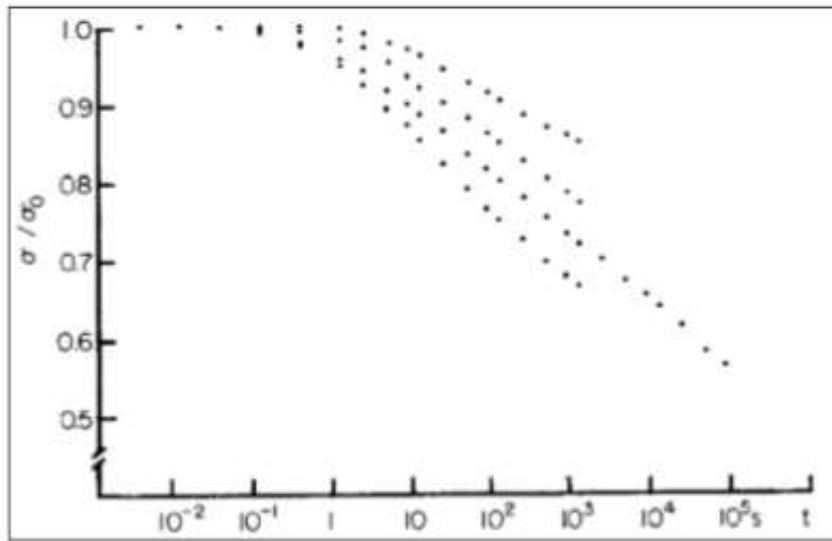
8.3 ΣΤΡΟΦΟΡΜΗ



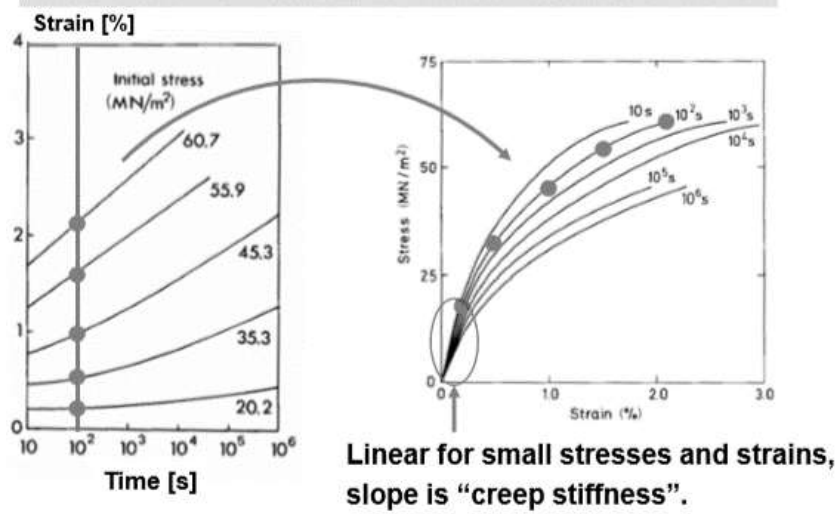
$$\theta = \frac{TL}{k}$$

$k = GK$ for an isotropic material, where G is the shear modulus and K depends on the geometry of the cross-section.

8.4 ΧΑΛΑΡΩΣΗ ΣΤΡΕΣ (STRESS RELAXATION)



- Stress-strain curves at different times.



8.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ Διηλεκτρική σταθερά (Dielectric constant)

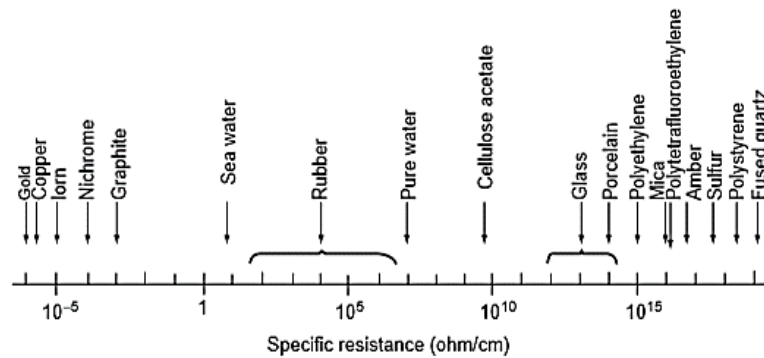


FIGURE The resistivity spectrum.

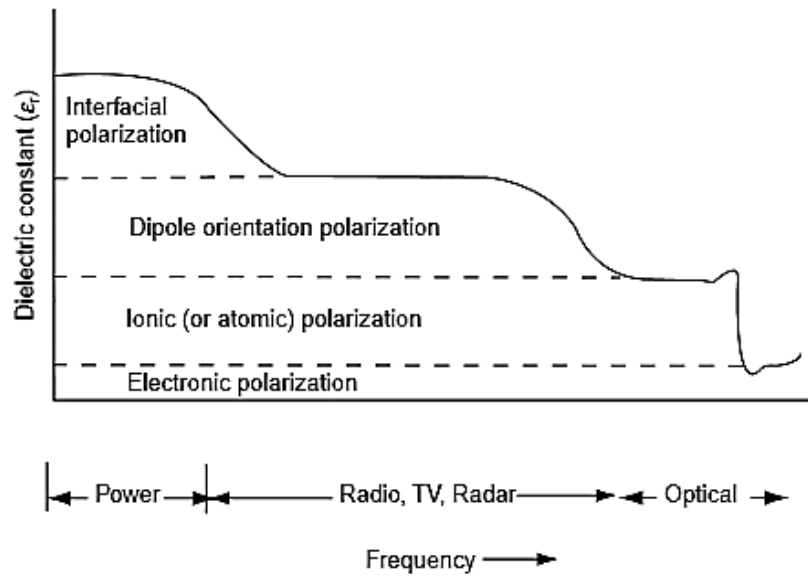


FIGURE Dielectric constant versus frequency.

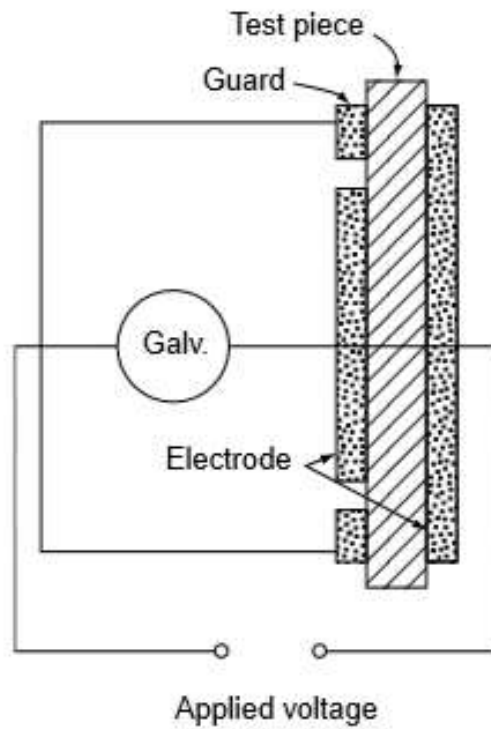


FIGURE Insulation resistance test.

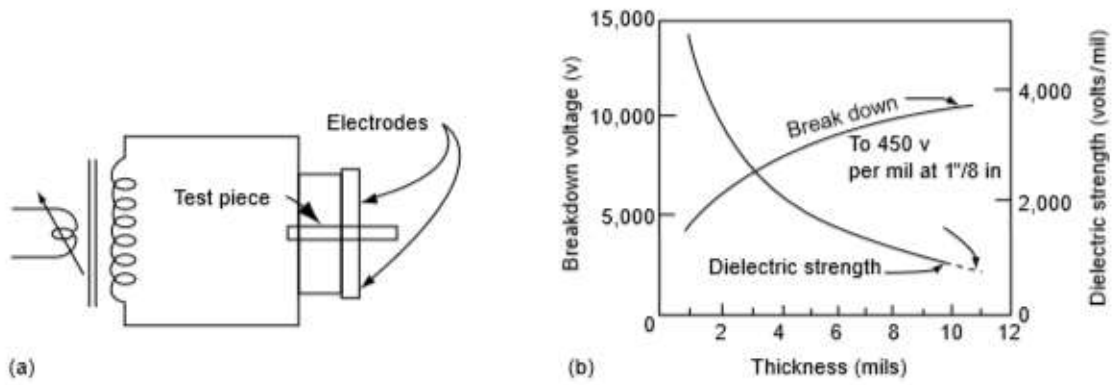


FIGURE (a) Dielectric strength test. (b) Dependence of dielectric strength on thickness of sample.

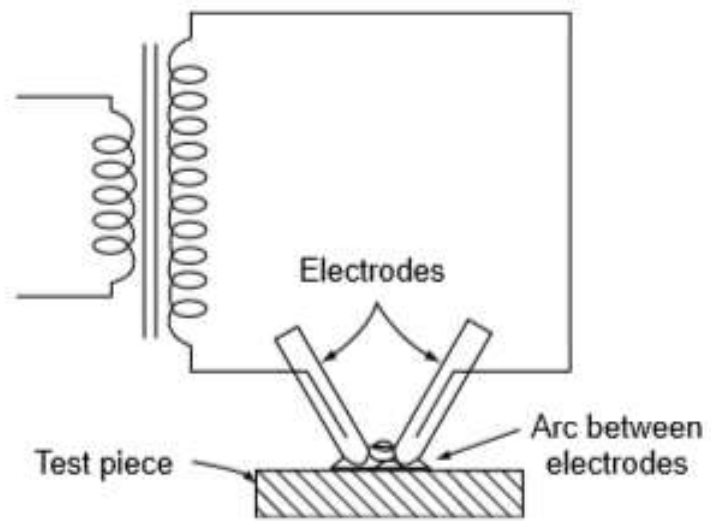


FIGURE Arc-resistance test.

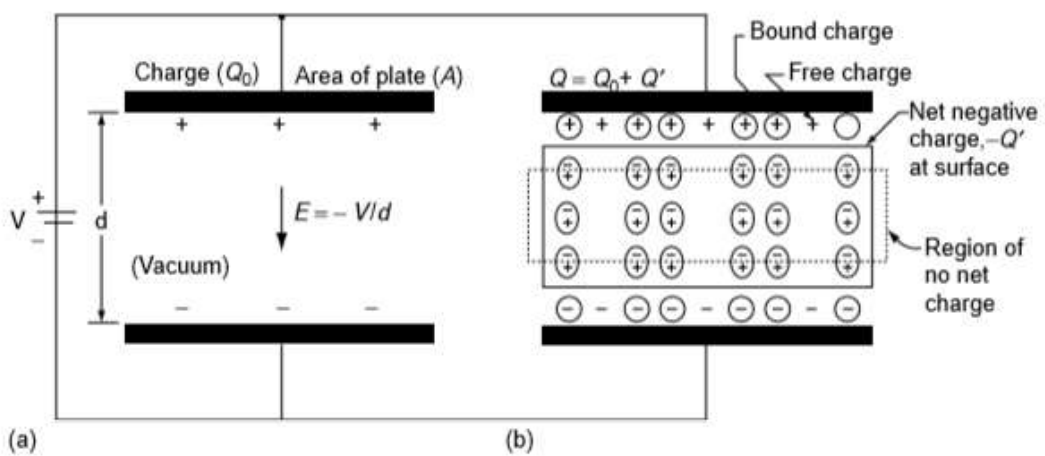


FIGURE Schematic illustration of the effect of dielectric material in increasing the charge storing capacity of a capacitor.

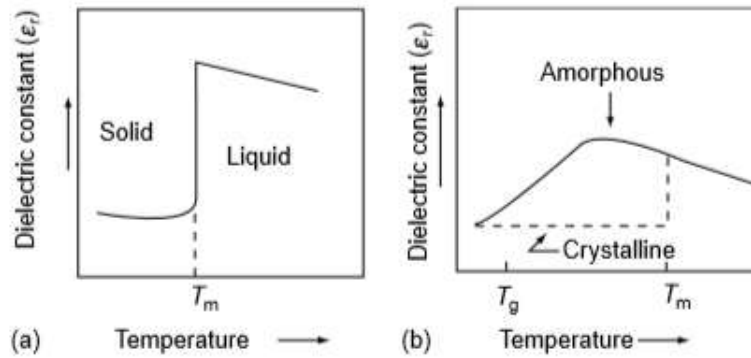


FIGURE Variation of dielectric constant with temperature (schematic). (a) Crystalline material. (b) Amorphous polymer. A crystalline polymer containing polar group would behave as shown by dashed lines.

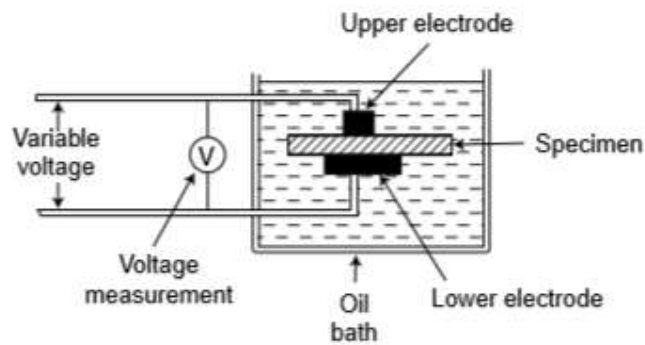


FIGURE Test for dielectric strength of solid insulating materials. Dielectric strength (V/mil) = maximum voltage before failure (V)/thickness of specimen (mil). Standard test methods: ASTM D149, BS 2782 method 201.

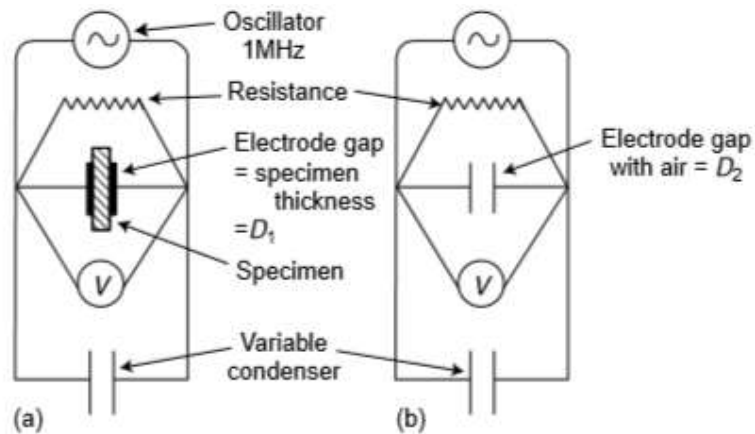


FIGURE Test for permittivity (dielectric constant) of insulating materials. (a) Position of maximum voltage obtained with sample by adjusting variable capacitor. Electrode gap = specimen thickness = D_1 ; (b) position of maximum voltage obtained with air by adjusting electrode gap to D_2 [variable capacitor remains as set in (a)]. Dielectric constant = D_1 (in. or mm)/ D_2 (in. or mm). Standard test methods: ASTM D150, BS 2782 method 207A.

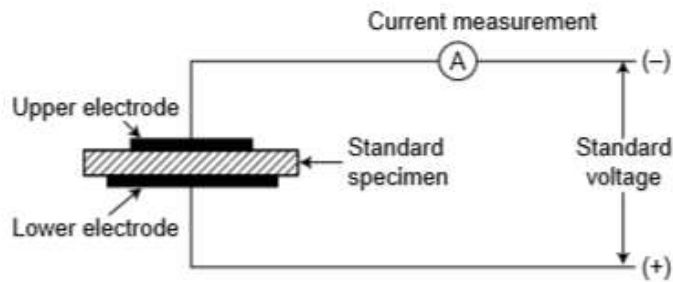


FIGURE Test for DC resistance of insulating materials. Electrical resistance of specimen (ohm) = applied voltage (V)/current measured (A). Volume resistivity (ohm-cm) = resistance of specimen (ohm) × arc of upper electrode (cm²)/specimen thickness (cm). Standard test methods: ASTM D257, BS 2782 method 202.

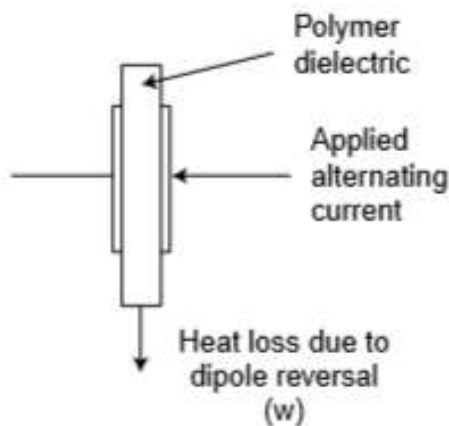


FIGURE Test for AC loss characteristics of solid insulating materials. Power factor = $W/V \times I$, where W = power loss in watts and $V \times I$ = effective sinusoidal voltage × current in volt-amperes. Standard test methods: ASTM D150, BS 2782 method 207A.

8.6 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΤΡΕΣ (Stress cracking)

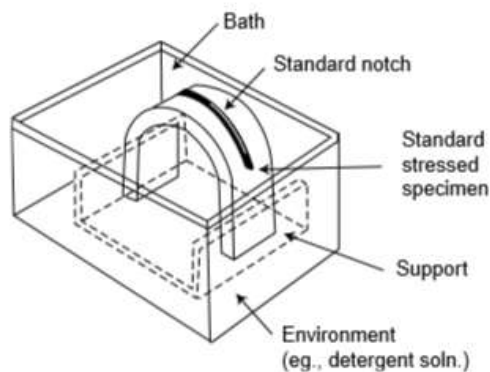


FIGURE Test for environmental stress cracking of ethylene plastics. Stress cracking resistance (F_{50}) = time taken for 50% of the specimens to fail (h). Standard test method: ASTM D1693.

8.7 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

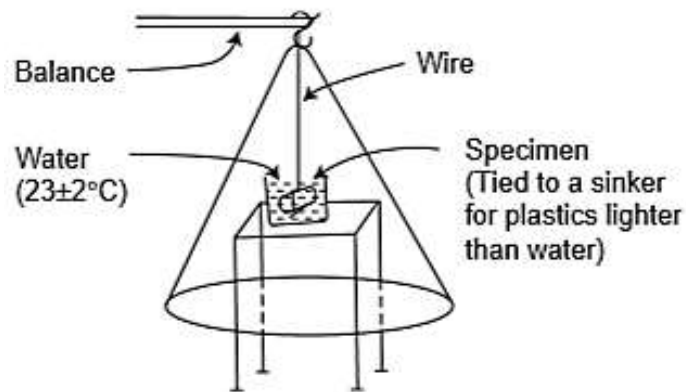
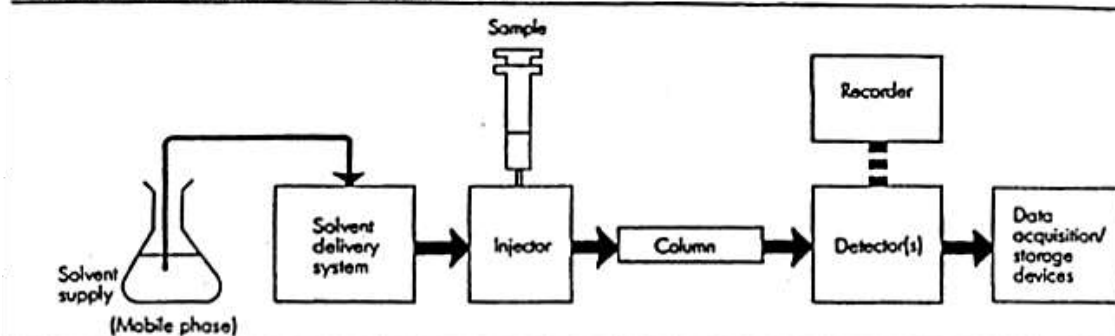


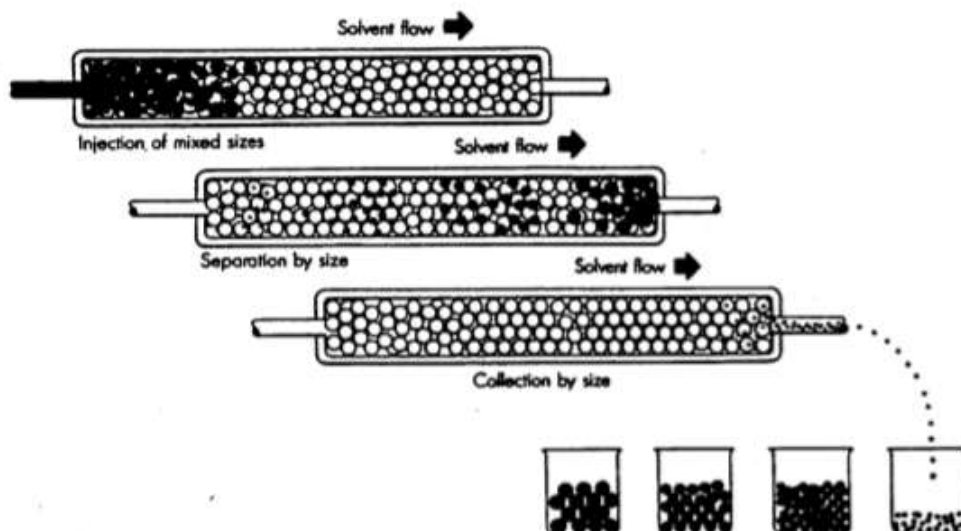
FIGURE Test for specific gravity and density of plastics. Sp. gr. = $a/(a-w-b)$ where a = wt. of specimen without wire, b = wt. of specimen completely immersed and of the wire partially immersed in water, and w = wt. of partially immersed wire. Standard test method: ASTM D792.

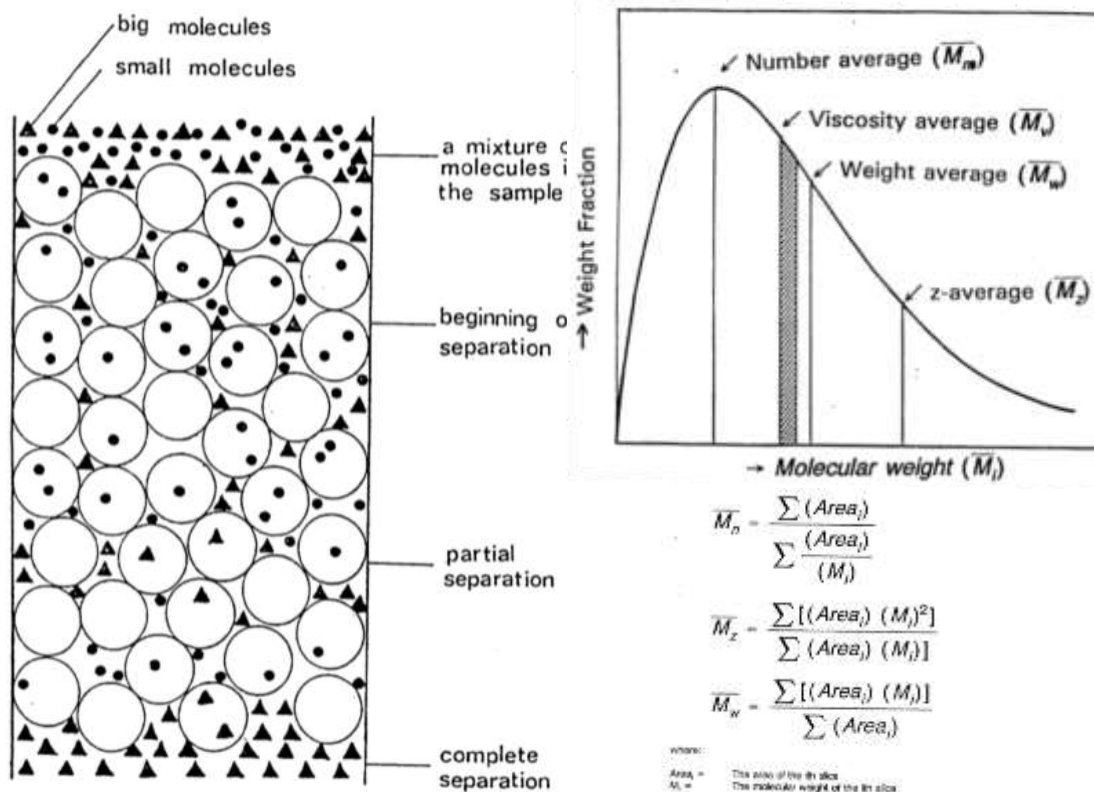
8.8 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΟΡΙΑΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ

Schematic of a typical gel permeation chromatograph



This diagram illustrates how the sample is injected into the mobile phase and the path the sample takes to the detector.





8.9 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΟΗΣ ΛΕΙΩΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (MELT FLOW INDEX – MFI)

8.9.1 Δοκιμή . Συσκευή μέτρησης του MFI

Στο πρότυπο ISO 1133-1 ορίζεται ο τρόπος μέτρησης του MFI ως εξής:

Αρχικά ένα μικρό δείγμα του πολυμερούς, περίπου 4-5 γραμμάρια τοποθετείται στο ειδικά σχεδιασμένο μηχάνημα μέτρησης. Το υλικό πιέζεται για να είναι όσο το δυνατόν τοποθετημένο συμπαγώς ώστε να αποφευχθούν ενδιάμεσοι άδειοι χώροι με αέρα.

Ένα έμβολο τοποθετείται επάνω από το υλικό, το οποίο θα εξωθήσει το υλικό όταν λειώσει.

Το δείγμα θερμαίνεται αρχικά για δεδομένο χρόνο. Παράδειγμα 5 min στους 190°C για το πολυαιθυλένιο και 6 min στους 230°C για το πολυπροπυλένιο.

Στην συνέχεια ένα δεδομένο βάρος τοποθετείται επάνω στο έμβολο, στην μεριά που δεν βρίσκεται σε επαφή με το πολυμερές, ωθώντας το προς τα κάτω να πιέσει το λειωμένο υλικό. Τυπικά βάρη είναι τα 2.16 kg, τα 5 kg, κ.λπ.

Καθώς το λειωμένο υλικό θα δεχθεί το βάρος-πίεση στην μια πλευρά του θα αρχίσει αν ρέει πιεζόμενο προς την έξοδο του τριχοειδούς σωλήνα. Ένα δείγμα του πολυμερούς που έχει εξέλθει του σωλήνα λαμβάνεται μετά από συγκεκριμένο χρόνο και ζυγίζεται με ακρίβεια.

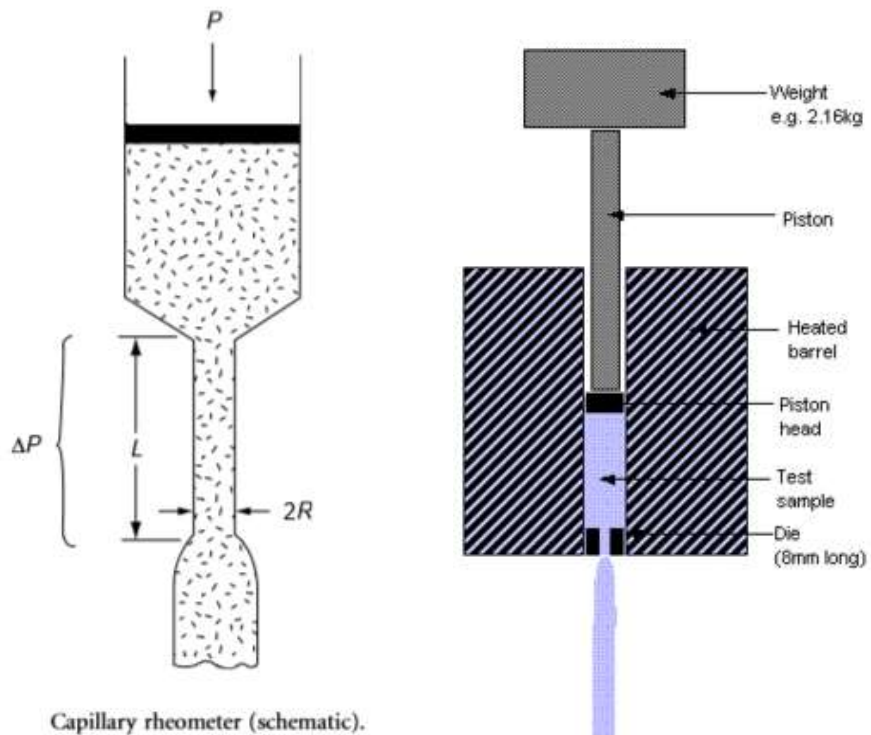


FIGURE Capillary rheometer (schematic).



Ο MFI δίνεται σε γραμμάρια του πολυμερούς σε 10 λεπτά (διάρκεια της δοκιμής). Συνώνυμα του MFI είναι ο ρυθμός ροής του λειωμένου υλικού (Melt Flow Rate) καθώς και δείκτης λειωμένου υλικού (Melt Index). Συχνά χρησιμοποιούνται οι συντομεύσεις: MFI, MFR και MI, αντίστοιχα.

8.10 ΔΟΚΙΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

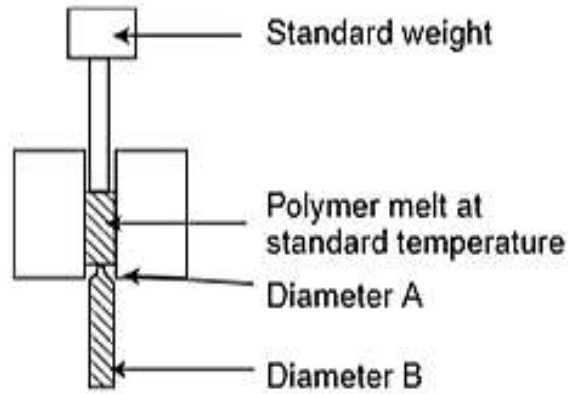


FIGURE Measurement of swelling of die extrudate. Die swell ratio = B/A .

8.11 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΥΣΗΣ

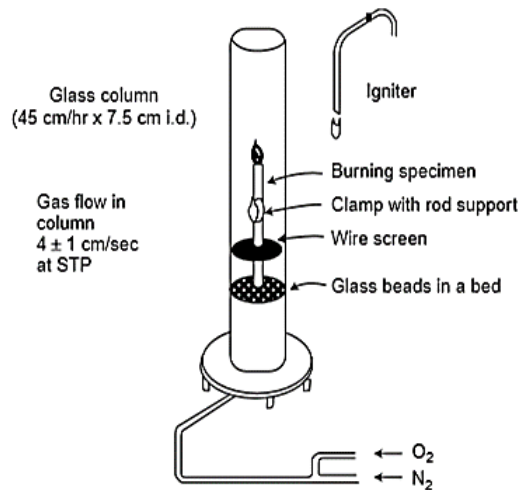


FIGURE Determination of oxygen index. Oxygen index, $n\% = 100 \times O_2 / (O_2 + N_2)$, where O_2 , volumetric flow rate of oxygen, cm^3/sec , at the minimum concentration necessary to support flaming combustion of a material initially at room temperature and N_2 , corresponding flow rate of nitrogen, cm^3/sec . Standard test method: ASTM D2863.

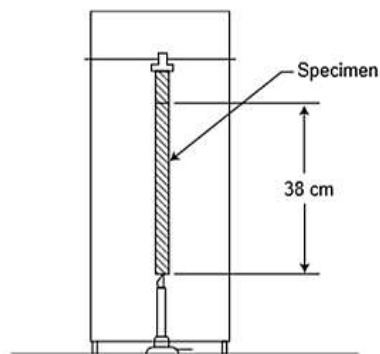


FIGURE Test for rate of burning. Burning rate = $38 \text{ (cm)} / t \text{ (min)}$. Standard test method: ASTM D568.

TABLE Heating Tests of Some Common Polymers

Polymer	Color of Flame	Odor of Vapor	Other Notable Points
<i>The material burns but self-extinguishes on removal from flame</i>			
Poly(vinyl chloride)	Yellow–orange, green bordered	Resembles hydrochloric acid and plasticizer (usually ester like)	Strongly acidic fumes (HCl), black residue
Poly(vinylidene chloride)	As above	Resembles hydrochloric acid	As above
Polychloroprene	Yellow, smoky	As above	As above
Phenol-formaldehyde resin	Yellow, smoky	Phenol, formaldehyde	Very difficult to ignite, vapor reaction neutral
Melamine-formaldehyde resin	Pale yellow, light	Ammonia, amines (typically fish like), formaldehyde	Very difficult to ignite, vapor reaction alkaline
Urea-formaldehyde resin	As above	As above	As above
Nylons	Yellow–orange, blue edge	Resembling burnt hair	Melts sharply to clear, flowing liquid; melt can be drawn into a fiber; vapor reaction alkaline
Polycarbonate	Luminous, sooty	Phenolic	Melts and chars
Chlorinated rubber	Yellow, green bordered	Acrid	Strongly acidic fumes, liberation of HCl; swollen, black residue
<i>The material burns and continues burning on removal from flame</i>			
Polybutadiene (BR)	Yellow, blue base, smoky	Disagreeable, sweet	Chars readily; vapor reaction neutral
Polyisoprene (NR, gutta percha, synthetic)	Yellow, sooty	Pungent, disagreeable, like burnt rubber	As above
Styrene-butadiene rubber (SBR)	Yellow, sooty	Pungent, fruity smell of styrene	As above
Nitrile rubber (NBR)	Yellow, sooty	Like burnt rubber/burnt hair	As above
Butyl rubber (IIR)	Practically smoke free candle like	Slightly like burnt paper	Melt does not char readily
Polysulfide rubber (polymer itself emits unpleasant, mercaptan like odor)	Smoke-free, bluish	Pungent; smell of H ₂ S	Yellow, acidic (SO ₂) fumes
Cellulose (cotton, cellophane, viscose rayon, etc.)	Yellow	Burnt paper	Chars, burns without melting
Cellulose acetate	Yellow–green, sparks	Acetic acid, burnt paper	Melts, drips, burns rapidly, chars, acidic fumes
Cellulose acetate butyrate	Dark yellow (edges slightly blue), somewhat sooty, sparks	Acetic acid/butyric acid, burnt paper	Melts and forms drops which continue burning
Cellulose nitrate (plasticized with camphor)	Yellow	Camphor	Burns very fast, often with explosion
Methyl cellulose	Yellow, luminous	Burnt paper	Melts and chars
Ethyl cellulose	Pale yellow with blue–green base	Slightly sweet, burnt paper	Melts and chars
Polyacrylonitrile	Yellow	Resembling burnt hair	Dark residue; vapor reaction alkaline
Poly(vinyl acetate)	Yellow, luminous, sooty	Acetic acid	Sticky residue, acidic vapor
Poly(vinyl alcohol)	Luminous, limited smoky	Unpleasant, charry smell	Burns in flame, self extinguishing slowly on removal; black residue

TABLE (Continued)

Polymer	Color of Flame	Odor of Vapor	Other Notable Points
Poly(vinyl butyral)	Bluish (yellow edge)	Like rancid butter	Melts, forms drops
Poly(vinyl acetal)	Purple edge	Acetic acid	Does not drip like poly(vinyl butyral)
Poly(vinyl formal)	Yellow–white	Slightly sweet	Does not drip like poly(vinyl butyral)
Polyethylene	Luminous (blue center)	Like paraffin wax (extinguished candles)	Melts, forms drops; droplets continue burning
Poly(α -olefins)(PP, EPR, etc.)	As above	As above	As above
Polystyrene	Luminous, very sooty	Sweet (styrene)	Softens, easily ignited
Poly(methyl methacrylate)	Luminous, yellow (blue, edge), slightly sooty, crackling	Sweet, fruity	Softens, chars slightly

Source: From Krause, A. and Lange, A. 1969. *Introduction to Chemical Analysis of Plastics*. Hiffe Books Ltd, London; Ghosh, P. 1990. *Polymer Science and Technology of Plastics and Rubber*. Tata McGraw-Hill, New Delhi, India.

TABLE Solubility Behavior of Some Common Plastics

Resin	Soluble In	Insoluble In
Polyolefins		
Polyethylene	Dichloroethylene, xylene, tetralin, decalin (boiling)	Alcohols, esters, halogenated hydrocarbons
Polypropylene	Chloroform, trichloroethylene, xylene, tetralin, decalin (boiling)	Alcohols, esters
Polyisobutylene	Ethers, petroleum ether	Alcohols, esters
Poly(vinyl chloride)	Dimethyl formamide, tetrahydrofuran, cyclohexanone	Alcohols, hydrocarbons, butyl acetate
Poly(vinylidene chloride)	Butyl acetate, dioxane, ketones, tetrahydrofuran	Alcohols, hydrocarbons
Polytetrafluoroethylene	Insoluble	All solvents
Polychlorotrifluoroethylene	<i>o</i> -Chlorobenzotrifluoride (above 120°C)	All solvents
Polystyrene	Benzene, methylene chloride, ethyl acetate	Alcohols, water
ABS	Chlorinated hydrocarbons, eg., <i>p</i> -dichlorobenzene	Alcohols, water
Polybutadiene	Benzene	Aliphatic hydrocarbons, alcohols, esters, ketones
Polyisoprene	Benzene	Alcohols, esters, ketones
Acrylics		
Polyacrylonitrile	Dimethylformamide and nitrophenol	Alcohols, esters, ketones, hydrocarbons
Polyacrylamide	Water	Alcohols, esters, hydrocarbons
Esters of polyacrylic acid	Aromatic hydrocarbons, esters, chlorinated hydrocarbons, ketones, tetrahydrofuran	Aliphatic hydrocarbons
Esters of polymethacrylic acid	Aromatic hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons, esters, ketones, dioxane	Aliphatic hydrocarbons alcohols, ethers
Poly(vinyl acetate)	Aromatic hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons, ketones, methanol	Aliphatic hydrocarbons
Poly(vinyl alcohol)	Formamide, water	Aliphatic and aromatic hydrocarbons, alcohols, ethers, esters, ketones
Poly(vinyl acetals)	Esters, ketones, tetrahydrofuran, (butyrals in 9:1 chloroform- methanol mixture)	Aliphatic hydrocarbons, methanol
Poly(vinyl ethers)		
Methyl ether	Water, alcohol, benzene, chlorinated hydrocarbons, ethers, esters	Petroleum ether
Ethyl ether	Petroleum ether, benzene, chlorinated hydrocarbons, alcohols, ethers, esters, ketones	Water
Polyesters	Benzyl alcohol, nitrated hydrocarbons, phenols	Alcohols, esters, hydrocarbons
Polycarbonate	Chlorinated hydrocarbons, cyclohexanone, dimethyl formamide, cresol	(Only swelling in usual solvents)
Nylon	Formic acid, phenols, trifluoroethanol	Alcohols, esters, hydrocarbons
Molded phenolic resins	Benzylamine (at 200°C)	All common solvents
Molded amino resins (urea, melamine)	Benzylamine (at 160°C)	All common solvents

TABLE (Continued)

Resin	Soluble In	Insoluble In
Polyurethanes		
Noncross-linked	Methylene chloride, hot phenol, dimethylformamide	Petroleum ether, benzene, alcohols, ethers
Cross-linked	Dimethylformamide	Common solvents
Polyoxymethylene	Insoluble	All solvents
Poly(ethylene oxide)	Alcohols, chlorinated hydrocarbons water	Petroleum ether
Epoxy resins		
Uncured	Alcohols, ketones, esters, dioxane, benzene, methylene chloride	Aliphatic hydrocarbons, water
Cured	Practically insoluble	
Cellulose, regenerated	Schweizer's reagent	Organic solvents
Cellulose ethers		
Methyl	Water, dil. Sodium hydroxide	Organic solvents
Ethyl	Methanol, methylene chloride	Water, aliphatic and aromatic hydrocarbons
Cellulose esters (acetate, propionate)	Ketons, esters	Aliphatic hydrocarbons
Cellulose nitrate	Esters (ethyl acetate, butyl acetate, etc.), ketones (acetone, methyl ethyl ketone, etc.), mixtures (eg. 80% methyl isobutyl ketone + 20% isopropyl alcohol, 80% butyl acetate + 20% isopropyl alcohol)	Aliphatic hydrocarbons (hexane, heptane, etc.) methyl alcohol, water
Natural rubber	Aromatic hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons	Petroleum ether, alcohols ketones, esters
Chlorinated rubber	Esters, ketones, linseed oil (80–100°C), carbon tetrachloride, tetrahydrofuran	Aliphatic hydrocarbons
Styrene-butadiene rubber	Ethyl acetate, benzene, methylene chloride	Alcohols, water

Source: From Krause, A. and Lange, A. 1969. *Introduction to Chemical Analysis of Plastics*. Iliffe Books Ltd., London.

9.1 Η διαδικασία ανάλυσης δειγμάτων με τεχνική FT-IR

Η διαδικασία έχει ως εξής:

1. Η Πηγή: Η υπέρυθρη ενέργεια που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή μέλανος σώματος περνά μέσω ενός ανοίγματος το οποίο ελέγχει την ποσότητα της ενέργειας στο δείγμα (και, τελικά, στον ανιχνευτή). Η ακτινοβολία παράγεται με την ηλεκτρονική θέρμανση μιας πηγής, συνήθως μιας ίνας Nernst ή Globalar.

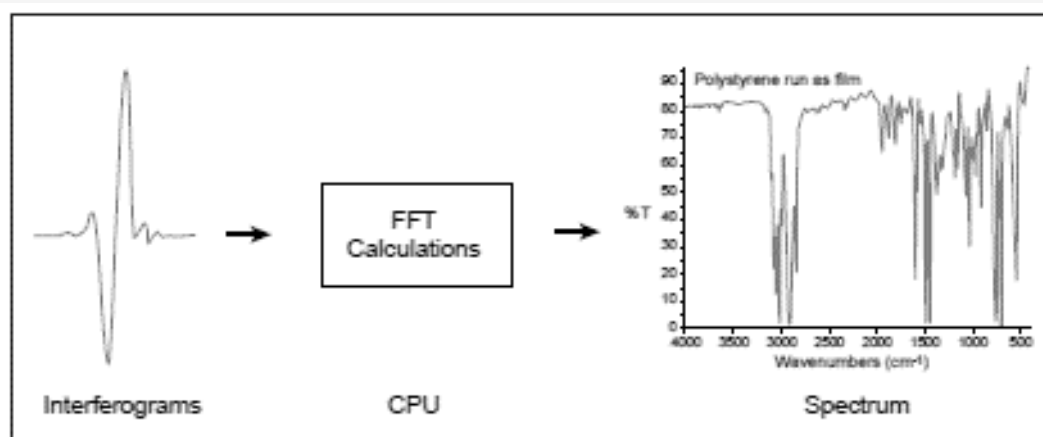
2. Το συμβολόμετρο: Η δέσμη εισέρχεται στο συμβολόμετρο όπου γίνεται η λεγόμενη "φασματική κωδικοποίηση". Στη συνέχεια, το προκύπτον σήμα (συμβολογράφημα) εξέρχεται από το συμβολόμετρο.

Στα όργανα διπλής δέσμης (double beam spectrophotometers) η ακτινοβολία από την πηγή χωρίζεται σε δύο μέρη, δύο παράλληλες δέσμες ίδιας έντασης. Η μία δέσμη στέλνεται να περάσει μέσα από το προς ανάλυση δείγμα και η άλλη μέσα από ένα δείγμα αναφοράς. Η διαφορά μεταξύ των δύο δεσμών που φτάνουν κατόπιν στον ανιχνευτή, εμφανίζεται σαν ένα μεταβαλλόμενο σήμα με ένταση ανάλογη της διαφοράς.

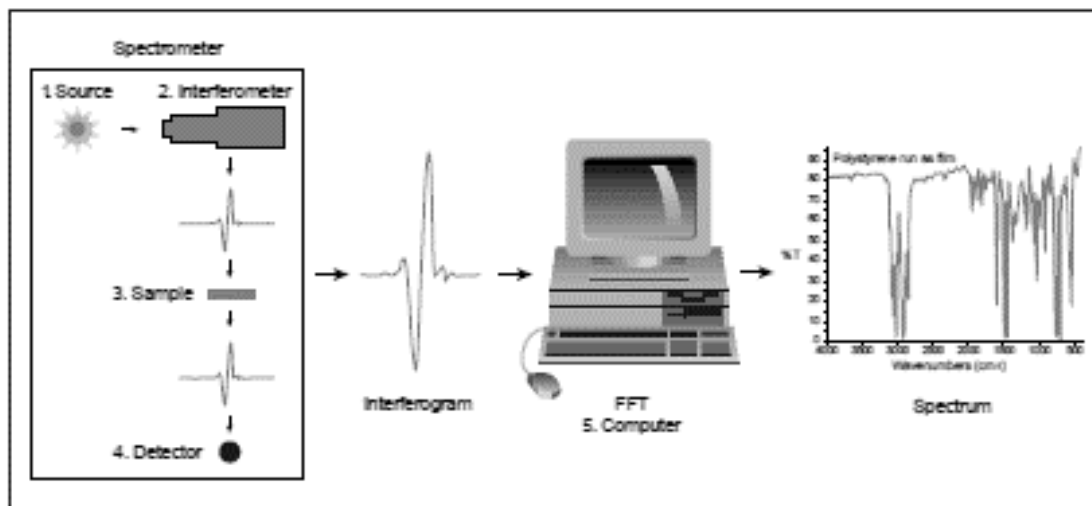
3. Το δείγμα: Η δέσμη εισέρχεται στο θάλαμο που βρίσκεται το δείγμα, όπου μεταδίδεται διαμέσου αυτού ή ανακλάται από την επιφάνεια του δείγματος, ανάλογα με το είδος της ανάλυσης που επιτυγχάνεται. Κατά την διαδικασία αυτή συγκεκριμένες συχνότητες της ενέργειας απορροφώνται, το οποίο και εξαρτάται από τα μοναδικά χαρακτηριστικά του δείγματος.

4. Ο ανιχνευτής: Η δέσμη περνά τελικά στον ανιχνευτή για την τελική μέτρηση. Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται είναι ειδικά σχεδιασμένοι για τη μέτρηση του ειδικού σήματος - συμβολογράφημα. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ένα θερμοζεύγος. Η ενέργεια από την ακτινοβολία χτυπά ένα από τα δύο σημεία απόληξης τους θερμοζεύγους και η ηλεκτρομαγνητική δύναμη που παράγεται είναι ανάλογη του βαθμού θέρμανσης.

5. Ο υπολογιστής: Το μετρούμενο σήμα ψηφιοποιείται και αποστέλλεται στον υπολογιστή όπου λαμβάνει χώρα μετασχηματισμός Fourier. Το τελικό υπέρυθρο φάσμα παρουσιάζεται στο χρήστη για ερμηνεία και οποιουδήποτε περαιτέρω χειρισμούς.



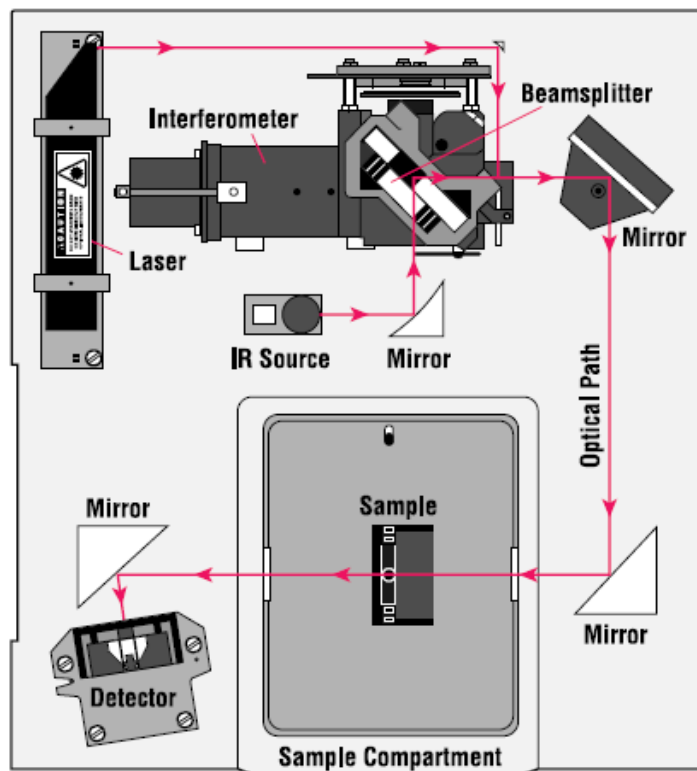
Επειδή πρέπει να υπάρχει μια σχετική κλίμακα για την ένταση της απορρόφησης, είναι απαιτούμενο αρχικά να μετρηθεί ένα φάσμα φόντου (baseline). Αυτό γίνεται συνήθως με μια μέτρηση με κάποιο ουδέτερο δείγμα ώστε να έχουμε την σύγκριση του με την μετέπειτα μέτρηση του δείγματος και να προσδιοριστεί η «επί τοις εκατό διαπερατότητα». Έτσι, διασφαλίζεται πως όλα τα φασματικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που είναι παρόντα στο φάσμα, οφείλονται αυστηρά στο δείγμα. Το ίδιο ενιαίο φόντο μέτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές μετρήσεις δειγμάτων, επειδή αυτό το φάσμα είναι χαρακτηριστικό του οργάνου και ανεξάρτητο των δειγμάτων.



Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του FT-IR στο διασποράς τεχνική περιλαμβάνουν:

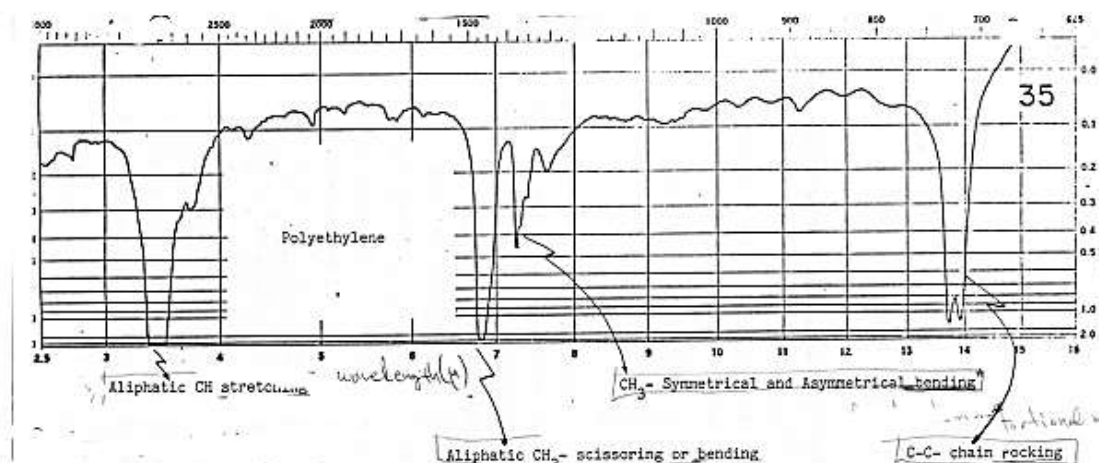
- Ταχύτητα: Επειδή όλες οι συχνότητες μετρούνται ταυτόχρονα, οι περισσότερες μετρήσεις με FT-IR γίνονται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα, αντί για αρκετά λεπτά.
- Ευαισθησία: Έχει βελτιωθεί σημαντικά καθώς οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται είναι πολύ πιο ευαίσθητοι, η οπτική απόδοση είναι πολύ μεγαλύτερη και οδηγεί σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα θορύβου, οι γρήγορες σαρώσεις επιτρέπουν την συν-προσθήκη πολλών σαρώσεων προκειμένου να μειωθεί το τυχαίο λάθος (θόρυβος) της μέτρησης σε οποιοδήποτε επιθυμητό επίπεδο, (Αναφέρεται ως μέσος όρος του σήματος).
- Μηχανική απλότητα: με ελάχιστη μηχανική μετατόπιση των στοιχείων του οργάνου εξασφαλίζεται η πολύ μικρή πιθανότητα μηχανικής βλάβης.
- Εσωτερικά βαθμονομημένη μέθοδος: Τα όργανα FT-IR χρησιμοποιούν ένα λέιζερ ως εσωτερικό μήκος κύματος για την πρότυπη βαθμονόμηση τους. Η διαδικασία είναι «η αυτο-βαθμονόμηση» τους και ποτέ δεν πρέπει να διακριβώνεται από τον χρήστη.

Τα πλεονεκτήματα αυτά, μαζί με πολλά άλλα, κάνουν μετρήσεις που έγιναν από την FT-IR εξαιρετικά ακριβείς και αναπαραγωγίμες.



Το FT-IR είναι ένα ανεκτίμητο εργαλείο για εφαρμογές ποιοτικού ελέγχου ή διασφάλισης της ποιότητας, είτε είναι από παρτίδα σε παρτίδα με συγκρίσεις με τα πρότυπα ποιότητας ή ανάλυσης ενός άγνωστου μολυντή. Επιπλέον, η ευαισθησία και η ακρίβεια των ανιχνευτών FT-IR, μαζί με μια μεγάλη ποικιλία αλγορίθμων του λογισμικού, έχουν αυξήσει σημαντικά την πρακτική χρήση των υπέρυθρων για την ποσοτική ανάλυση. Ποσοτικές Μέθοδοι μπορούν να αναπτυχθούν εύκολα και να ενσωματωθούν σε απλές διαδικασίες συνήθους ανάλυσης. Αυτό κατέστησε δυνατή την ανάπτυξη πολλών νέων τρόπων δειγματοληψίας οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προβλημάτων που ήταν αδύνατο να διαχειριστούν με την παλιότερη τεχνολογία.

9.2 Χρήση του FT-IR για την ανάλυση πολυμερών



Ο επόμενος πίνακας αποτελεί ένα παράδειγμα καταγραφής επιλεγμένων των λειτουργικών με ενδιαφέρον στην αναγνώριση των πολυμερών, με τις δομές και τις αντίστοιχες συχνότητες απορρόφησης τους. Παρόμοιοι πίνακες αποτελούν τα μέσα αναγνώρισης των δομικών στοιχείων μέσα από τις ζώνες προσρόφησης της ακτινοβολίας, και της επακόλουθης ταυτοποίησης των υλικών.

Typical Functional Group Stretching Vibrational Absorptions

Functional Group	Structure Found	Absorption Frequency
Hydroxyl (O-H)	Alcohols ROH Phenols ROH (where R= aromatic)	3650-3584 cm^{-1} (2.74-2.77 μ) if hydrogen bonded 2.82-3.13 μ
	Acids $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	3300-2500 cm^{-1} (3.03-4.00 μ)
Amino (N-H)	Amine $\text{R}-\text{NH}_2$ $\text{R}-\text{N}-\text{H}$ R ¹	2.86 - 2.94 μ , (primary amine)
	Amide $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$	2.84 μ - 3.400 μ
Carbon-hydrogen bond (C-H)	$\text{R}-\text{H}$ (aromatic) where R = aromatic	Above 3000 cm^{-1} (below 3.3 μ)
	$\text{R}-\text{CH}_2-\text{H}$ (when R = aliphatic)	3000 cm^{-1} - 2840 cm^{-1} (3.3-3.5 μ)
Nitrile (C≡N) isocyanate (N=C=O)	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$) $\text{R}-\text{N}=\text{C}=\text{O}$)	2260-2240 cm^{-1} (4.42-4.46 μ)
Carbonyl (C=O)	Region between	1870-1540 cm^{-1} (5.35-6.50 μ)
	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ (aldehyde)	1740-1720 cm^{-1} (5.75-5.82 μ)
	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$ (ketones)	1720 cm^{-1} (5.83 μ) aliphatic, saturated ketones.
	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ (Carboxylic Acid)	
	Monomer	1760 cm^{-1} (5.68 μ)
	Dimer	1720-1706 cm^{-1} (5.81-5.86 μ)
	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OR}$ (ester)	5.71-5.76 μ (saturated)
	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$ (amide)	1650 cm^{-1} (6.06-5.92 μ)

Με δεδομένη την λειτουργία ενός FT-IR, μπορεί να γίνει εύκολα η αναγνώριση των υλικών στην επιφάνεια του πολυμερούς, ενώ είναι αδύνατη η αναγνώριση υλικών στην εσωτερική πλευρά πολύπλοκων μεμβρανών και πολύ-στρωματικών δομών. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται η αποκόλληση και ξεχωριστή ανάλυση των στρωμάτων των μεμβρανών με δεδομένη προϋπόθεση την καθαρότητα από μελάνια καθώς και η απομάκρυνση των όποιων υλικών κόλλησης που μπορεί να χρησιμοποιούνται ανά περίπτωση.

9.13 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Τα The following are some tests used to characterize film materials and methods to evaluate performance:

- ASTM D882, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting
- ASTM D1709, Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method
- ASTM D1922, Standard Test Method for Propagation Tear Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by Pendulum Method
- ASTM D4321, Standard Test Method for Package Yield of Plastic Film
- ASTM F392, Standard Test Method for Flex Durability of Flexible Barrier Materials
- ASTM F2251, Standard Test Method for Thickness Measurement of Flexible Packaging Material

TYPE OF TEST	DESCRIPTION	ASTM	ISO
TENSION	Tensile Properties Of Plastics	D638	527
	Test Methods For Vulcanised Rubber And Thermoplastic Elastomers	D412	37
	Test Methods For Rubber Property	D413	
	Test Methods For Rubber Property - Adhesion To Rigid Substrates	D429	
	Test Methods For Tear Strength Of Conventional Vulcanised Rubber And Thermoplastic Elastomers	D624	
	Test Method For Shear Strength Of Plastics	D732	
	Tensile Properties Of Plastic Sheeting	D882	527-3
	Test Method For Bond Or Cohesive Strength Of Sheet Plastics And Electrical Insulating Materials	D952	
	In-Plane Shear Strength Of Reinforced Plastics	D3846	4585
	Test Methods For Rubber O Rings	D1414	
	Tensile And Tensile Adhesion Properties Of Rigid Cellular Plastics	D1623	1926
	Tensile Properties Of Plastics By Use Of Microtensile Specimens	D1708	6239
	Test Method For Climbing Drum Peel For Adhesives	D1781	
	Test Method For The Tensile Properties Of Polymer Matrix Composite Materials	D3039	
	Test Methods For Flexible Cellular Materials	D3574	2386
	Tear Propagation Resistance Of Plastic Film And Thin Sheeting By A Single Tear Method	D1938	6383-1
Tensile Properties Of Reinforced Thermosetting Plastics Using Straight Sided Specimens	D5083	3268	
COMPRESSION	Compressive Properties Of Rigid Plastics	D695	604
	Test Method For Rubber Properties In Compression	D575	
	Flexural Properties Of Unreinforced And Reinforced Plastics And Electrical Insulating Materials	D790	178
	Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics	D1621	844
	Test Method For Column Crush Properties Of Blown Thermoplastic Containers	D2659	
	Tensile, Comprehensive And Flexural Creep And Creep Rupture Of Plastics	D2990	899-1, -2
	Test Method For In-Plane Shear Strength For Reinforced Plastics	D3846	
	Test Method For Apparent Horizontal Shear Strength Of Fiber Reinforced Pultruded Plastic Rods	D4475	
	Test Method For Flexural Properties Of Fiber Reinforced Pultruded Plastic Rods	D4476	
	MELT FLOW	Flow Rates Of Thermoplastics By Extrusion Plastometer	D1238
Specification For FEP-Fluorocarbon Moulding, And Extrusion Materials		D2116	286
Polybutylene Plastics Moulding And Extrusion Materials		D2581	
Specification Of Modified ETFE Fluoropolymer Moulding, And Extrusion Materials		D3159	12086
Classification Of E-CHE Fluoroplastic Moulding, Extrusion, And Coating Materials		D3275	
Test Method For Flow Rates For Polyvinyl Chloride With Molecular Structural Implications		D3364	
IMPACT	Determining The Pendulum Impact Resistance Of Notched Specimens Of Plastics	D256	179 / 180
	Test Method For The Impact Strength Of Adhesive Bonds	D950	
	Tensile Impact Energy To Break Plastics And Electrical Insulating Materials	D1822	
	Test Method For The Chip Impact Strength Of Plastics	D4508	
	Test Method For Determining The Charpy Impact Resistance Of Notched Specimens Of Plastic	D6110	
HEAT DEFLECTION UNDER LOAD	Deflection Temperature Of Plastics Under Load	D648	75
	Vicat Softening Temperature Of Plastics	D1525	306
FOLDING ENDURANCE	Test Method For Folding Endurance Of Paper By MIT Tester	D2176	

8.12 ΜΟΝΑΔΕΣ

TEST / MEASURES	UNITS
Basis Weight	g/m ²
Box Compression Test B.C.T.	KN y mm
Burst Index	kPa m ² /g
Burst Strength	kPa
COBB Index	g/m ⁴
Compression C.C.T.	KN/m
Compression C.L.T.	KN/m
Compression C.M.T.	N
Compression E.C.T.	KN/m
Compression F.C.T.	Kpa
Compression P.A.T.	KN/m
Compression R.C.T.	KN/m
Dynamic Puncture Resistance	J
Energy Absorbed during Bursa test "B.E.A."	J/m ²
Flexion - 4 points	N/m
Moisture	%
Porosity Gurley	s
Score Quality Test	Score ratio in %
Short Span Compression Test "S.C.T."	KN/m
Short Span Compression Test S.C.T. Index	KNm/kg
Smoothness (Bendtsen method)	ml / min.
Stacking Test (Constant load)	mm/time
Tear Index	mNm ² /g
Tearing Strength	N
Tensile / Breaking Elongation	N y mm
Tensile Energy Absorbed T.E.A.	J/m ²
Tensile Index	N m / g
Thickness	μ m, mm

8.12.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΜΟΝΑΔΩΝ

SI Units and Conversion Factors

Physical Quantity	Name of SI Unit	Symbol for SI Unit	Definition of SI Unit
Length	Meter	m	Basic unit
Mass	Kilogram	kg	Basic unit
Time	Second	s	Basic unit
Force	Newton	N	kg m s ⁻² (= J m ⁻¹)
Pressure	Pascal	Pa	kg m ⁻¹ s ⁻² (= N m ⁻²)
Energy	Joule	J	kg m ² s ⁻²
Power	Watt	W	kg m ² s ⁻³ (= J s ⁻¹)

Physical Quantity	Customary Unit	SI Unit	To Convert from Customary Unit to SI Units Multiply by
Length	in.	m	2.54 × 10 ⁻²
Mass	lb	kg	4.5359237 × 10 ⁻¹
Force	dyne	N	1 × 10 ⁻⁵
	kgf	N	9.80665
Pressure	lbf	N	4.44822
	dyne/cm ²	Pa or N/m ²	1 × 10 ⁻¹
	atm	Pa or N/m ²	1.01325 × 10 ⁵
	mm Hg	Pa or N/m ²	1.33322 × 10 ²
Energy	lbf/in. ² or psi	Pa or N/m ²	6.89476 × 10 ³
	erg	J	1 × 10 ⁻⁷
	Btu	J	1.055056 × 10 ³
Area	ft.-lbf	J	1.35582
	in. ²	m ²	6.4516 × 10 ⁻⁴
	ft. ²	M ²	9.290304 × 10 ⁻²
Density	lb/ft. ³	kg /m ³	1.6018463 × 10
Viscosity	poise	kg / (m.s)	1 × 10 ⁻¹
		or N s/m ²	

8.13 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Mocon	Oxygen Permeation Analyzer	Module #2 Ox-Tran Model 2/21, ML
Mocon Oxygen Permeation Analyzer, Mocon	Tran Model 2/21, MH	Module #1 Ox
	Water Vapor Permeation Analyzer, Module #1, Permatran	W Model 3/31, MG
Illinois Instruments	Oxygen Permeation Analyzer	8001
Mocon, Permatran	Carbon Dioxide Permeation Analyzer C Model 4/41,	Module #4 MC Module
Mocon Permatran	Water Vapor Permeation Analyzer W Model 3/33, MG Module	Module #2
Instron	Universal Testing Machine	
Oxysense	Oxygen Detector	X 101
Thermo Electron Corporation	GC Trace GC Ultra	
Illinois Instruments	Head Space O2/CO2 Analyzer 6600	
Thermo Scientific Electron Corporation	GC/MS Trace GC Ultra/DSQ II	
Perkin Elmer Instruments	UV/VIS Spectrometer	Lambda 25
Perkin Elmer	FTIR	Spectrum 1000
Bruker Optics	FTIR	Hyperion/Tensor 27 2
SHIMADZU Corporation	FTIR Fourier Transform Infrared Spectrophotometer	R Prestige21
Leitz	Inverted Transmitted Light Microscope	Labovert FS
Olympus	Microscope SZX	
PTI (Packaging Technologies & Inspection)	Leak Detector	
Mocon Package	Leak tester	500
Ray	Run Melt Flow Indexer	
A & D Company	Moisture Analyzer	MX 50
Hunter	Colorimeter	LabScan XE
Gurley	Densometer	4110
TMI	Dead Weight Micrometer	
Panametrics	Thickness Gauge,	Magna Mike 8000
TMI	Micrometer	549M
Precision Scientific	Vacuum Oven	
Q Panel Company	UV Accelerated Weathering Tester	QUV/SER
MacBeth	Spectralight UV/Light Box	SPL75B
SUB	MAP (Shelf Life Booster) Machine	
VTI Corporation Symmetric	Vapor Sorption Analyzer	100R SGA
National Appliance Company	Vacuum Oven	
Thermotron	Temperature/Humidity Chamber	SM325SH
Thermotron	Temperature/Humidity Chamber	SM 8SH
Blue	M Oven #4 0V	18A
Blue M Oven #5 OV	472A	3
Oden	Liquid Filling Machine	Profill 1000 Hefestus
Multivac	Vacuum Packaging Machine	A300/16
Stone	Skin Packaging Machine	99K
Thwing	Albert Instrument Company Hydraulic Precision Sampler Cutter	24010
S&S	Corrugated Paper Machinery Company Paper & Corrugated Cutting Machine	CAL 3203
Trav	C&C Paper Cutting Machine	

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Άσκηση 1. ΑΝΤΟΧΗ ΥΛΙΚΩΝ

- α) Θερμική αντοχή και αντοχή εσωτερικής πίεσης γυάλινου περιέκτη και
- β) Αντοχή σε εσωτερική πίεση μεταλλικού περιέκτη.
- γ) Μεταβολή πίεσης εσωτερικά της συσκευασίας λόγω μεταβολής των εξωτερικών συνθηκών (υψόμετρο, θερμοκρασία).

Άσκηση 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΔΥΝΑΜΗ / ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Άσκηση 3. Ύψος Πτώσης Σακού

Άσκηση 4. ΑΝΤΟΧΗ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

- α) Ανάλυση αντοχής προϊόντος & χαρτοκιβωτίου
- β) Προσδιορισμού προδιαγραφών βέλτιστης παλλετοποίησης (αποδοτική χρήση επιφάνειας και όγκου)

Άσκηση 6. Βάρος 80 κιλών ακουμπά στην άκρη ενός 2mm φάρδους, 10mm ύψους δείγμα κυματοειδούς χαρτονιού SW C-flute CB το οποίο μόλις και κυρτώνει. Ποιο το ECT του δείγματος;

Άσκηση 7. Ποιες οι διαστάσεις ενός χαρτοκιβωτίου 1 κυβικού μέτρου RSC το οποίο χρησιμοποιεί την ελάχιστη ποσότητα C-flute υλικού. Σχεδιάστε το επίπεδο γράφημα του χαρτοκιβωτίου.

Άσκηση 8. Ποια ποσότητα LDPE ($\rho=0,92$) θα χρειαστεί για να καλύψει 3.500 m² με 1 mil πάχος;

Άσκηση 9. Πόση ποσότητα πολυαιθυλενίου χρειάζεται να καλυφθεί εσωτερικά συσκευασία tetrapack 1 λίτρου, με πάχος υλικού 0,001 mm, και $\rho = 0,92$;

Άσκηση 10. Ποια η συνολική ποσότητα οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα που περνά σε κυλινδρική συσκευασία 100ml και 2 λίτρων PET 6 X 4 cm ανθρακούχου αναψυκτικού;

Άσκηση 11.