



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Ενότητα : Καμπύλες εφελκυσμού των πολυμερών

Διδάσκων : Κων/νος Τσιτσιλιάνης, Καθηγητής
Ουρανία Κούλη, Ε.ΔΙ.Π.

Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Σκοπός

Η εξάσκηση των φοιτητών με την τεχνική των δοκιμών εφελκυσμού, η καταγραφή των καμπυλών αυτών για διάφορα μακρομοριακά υλικά όπως ελαστομερή, ημικρυσταλλικά και άμορφα πολυμερή και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων με βάση τις φυσικές ιδιότητες τους.

Εισαγωγή

Ένα μορφοποιημένο πλαστικό αντικείμενο μπορεί να κριθεί ακατάλληλο για την χρήση για την οποία προορίζεται είτε λόγω υπερβολικής παραμόρφωσης είτε λόγω θραύσης, το υλικό δηλ. αστοχεί στον προορισμό του.

Για την ασφαλή χρήση των πολυμερών στην πράξη είναι απαραίτητη η κατανόηση των τελικών ιδιοτήτων τους καθώς και των παραγόντων που τις επηρεάζουν.

Τελικές μηχανικές ιδιότητες

Με τον όρο “τελικές μηχανικές ιδιότητες” εννοούμε τα φαινόμενα:

- της διαρροής (yielding)
- της λαίμωσης (necking)
- της ψυχρής έλασης (cold drawing)
- της θραύσης (fracture)
- κόπωση (fatigue)

Τύποι στερεών πολυμερικών υλικών

- **ελαστομερή** (υλικά άμορφα και πολύ ελαστικά, καουτσούκ)
- **θερμοπλαστικά** (υλικά κρυσταλλικά ή υαλώδη που μπορούν να τακούν, να εξελασθούν, χυτευθούν και παρασκευασθούν με διάφορες μορφές π.χ. πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας, πολυαμίδια και πολυεστέρες)
- **θερμοσκληραινόμενα** πολυμερή (υλικά άμορφα, που δικτυώνονται ισχυρά κατά την διάρκεια της παρασκευής τους και που αφού δικτυωθούν δεν μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν με άλλη μορφή επειδή δεν τήκονται π.χ. φαινολικές και εποξειδικές ρητίνες, αφροί πολυουρεθάνης).

Νόμος του Hooke

$$\sigma = E(\alpha - 1)$$

$$\alpha = L/L_0$$

σ : η τάση(stress), δύναμη ανά μονάδα διατομής του δοκιμίου
 E : το μέτρο ελαστικότητας Young του στερεού (Young modulus)
 α : ο λόγος επιμήκυνσης (L_0 και L είναι αντίστοιχα τα μήκη του δοκιμίου πριν και μετά την παραμόρφωση)

Μία απλούστερη σχέση του νόμου του Hooke είναι :

$$\sigma = E \varepsilon$$

ε : η σχετική επιμήκυνση $(L - L_0)/L_0$

Μέτρο του Young των πολυμερών

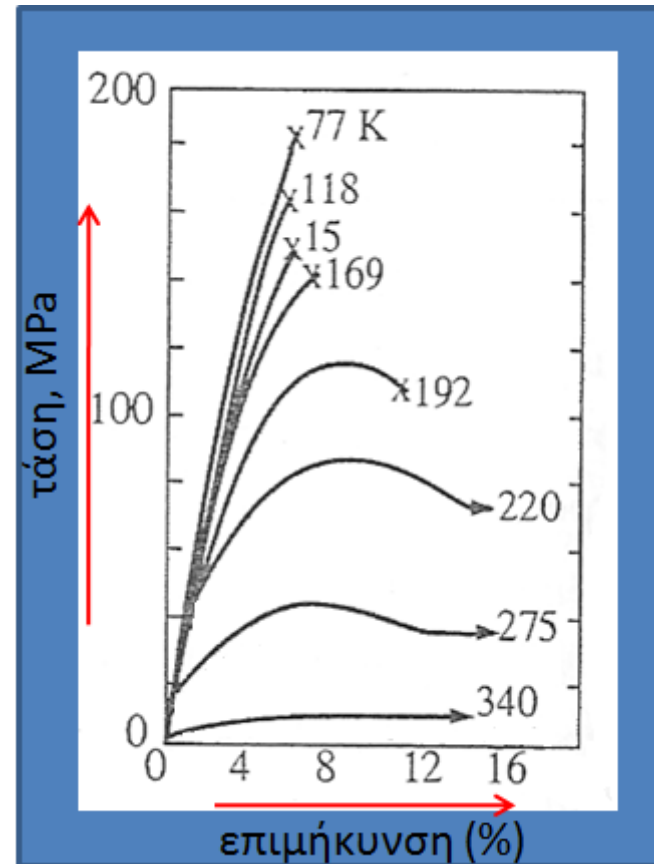
Στην περίπτωση των πολυμερών σπανίως ο νόμος του Hooke ισχύει σε όλη την περιοχή της επιμήκυνσης μέχρι την θραύση του δοκιμίου. Για το λόγο αυτό το μέτρο του Young των πολυμερών ορίζεται συνήθως σαν το οριακό σημείο σε μικρές επιμηκύνσεις :

$$\lim (\Delta\sigma/\Delta\epsilon) = E$$

το μέτρο E εκφράζει την αντίσταση του υλικού στην επιμήκυνση

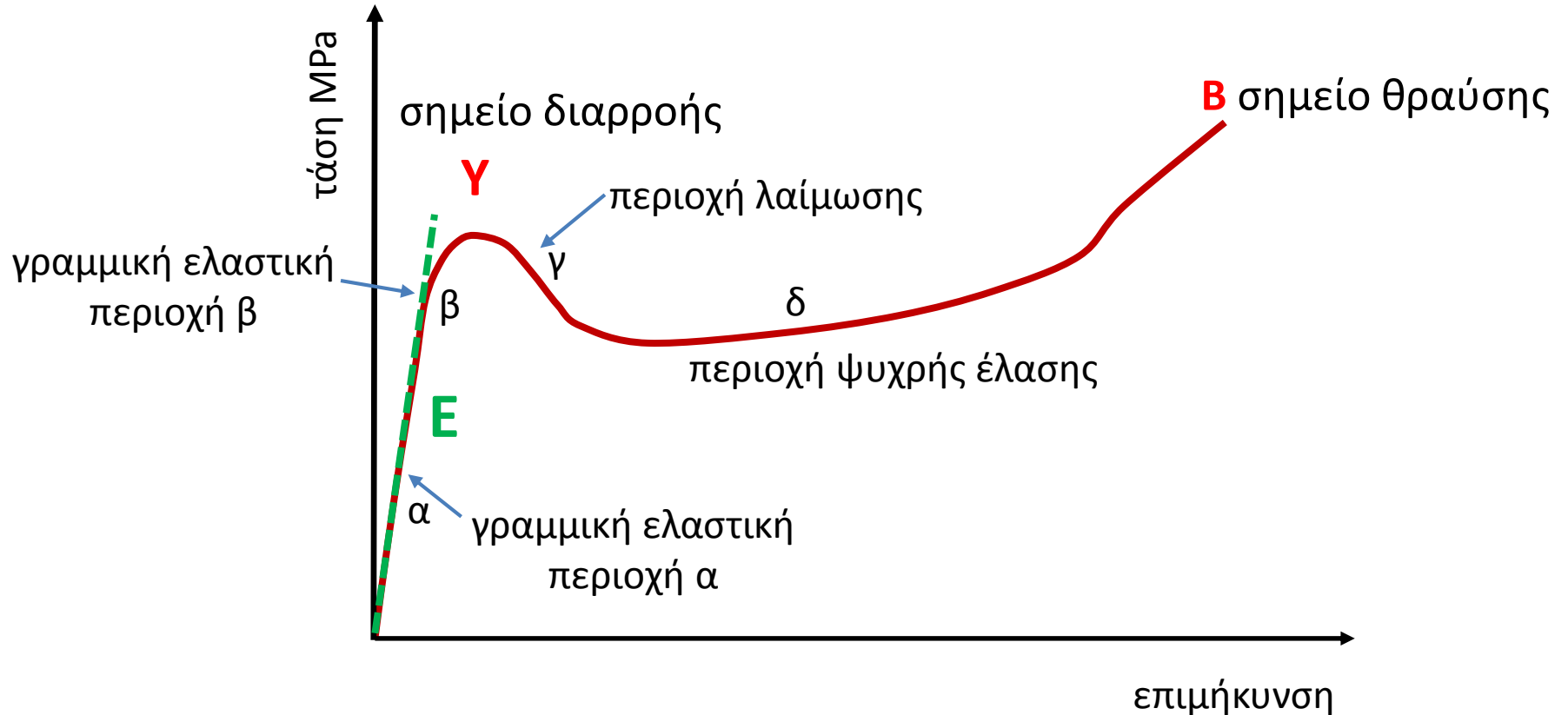
Παράγοντες που επηρεάζουν τη μορφή ενός διαγράμματος τάσης-επιμήκυνσης

- το είδος του υλικού
- η θερμοκρασία
- ο ρυθμός επιμήκυνσης
- η προϊστορία του υλικού
- η γεωμετρία του δοκιμίου
- η εξωτερική πίεση
- το περιβάλλον



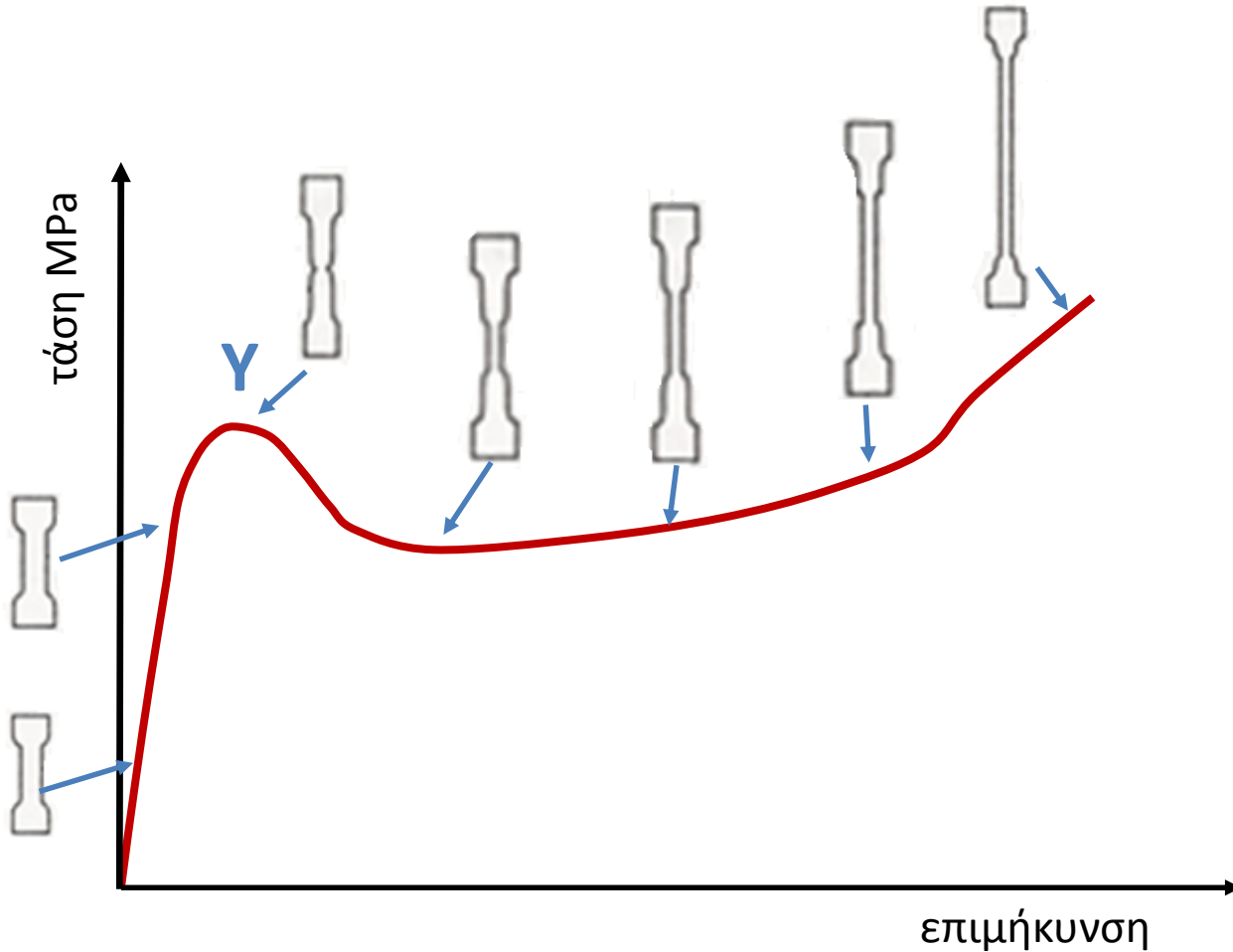
Καμπύλες σ-ε του πολυ(τετραφθοροαιθυλενίου) PTFE σε διάφορες θερμοκρασίες

Τυπικό διάγραμμα τάσης-επιμήκυνσης(σ - ϵ) ενός πολυμερούς



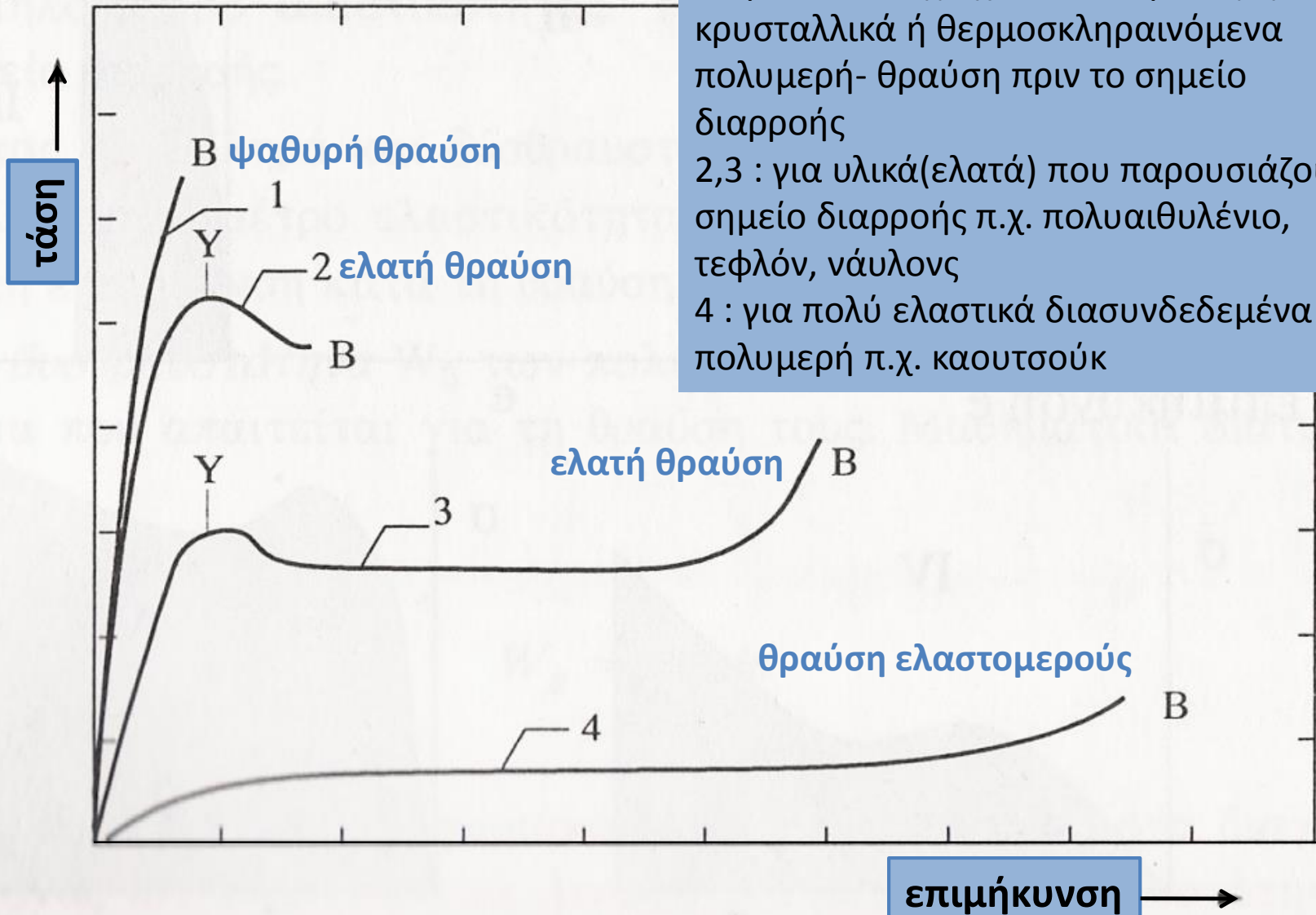
E : υπολογίζεται από την κλίση του διαγράμματος σ - ϵ στην γραμμική ελαστική περιοχή α

Διαρροή των πολυμερών



Το όριο διαρροής Y εκφράζει την αντοχή του υλικού μέχρι την στιγμή που τελειώνει η ελαστική και αρχίζει η πλαστική (μόνιμη) παραμόρφωση

Μορφές καμπυλών εφελκυσμού



1 : για υαλώδη(π.χ. πολυστυρένιο) ή πολύ κρυσταλλικά ή θερμοσκληραινόμενα πολυμερή- θραύση πριν το σημείο διαρροής

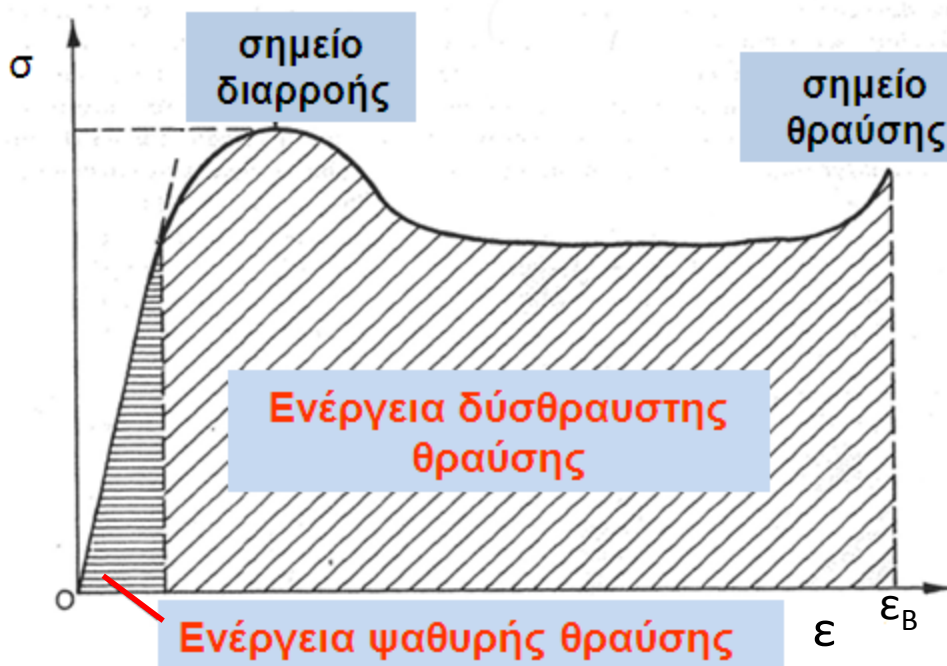
2,3 : για υλικά(ελατά) που παρουσιάζουν σημείο διαρροής π.χ. πολυαιθυλένιο, τεφλόν, νάυλονς

4 : για πολύ ελαστικά διασυνδεδεμένα πολυμερή π.χ. καουτσούκ

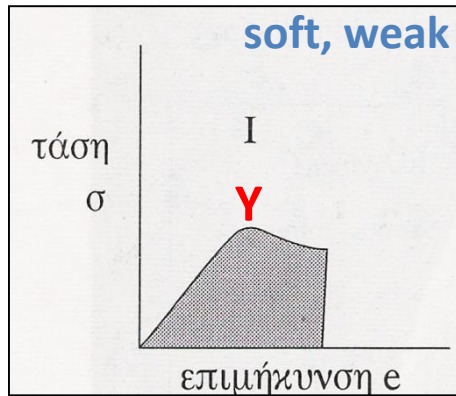
Δυσθραυστότητα πολυμερών

$$W_B = \int_0^{\epsilon_B} \sigma d\epsilon$$

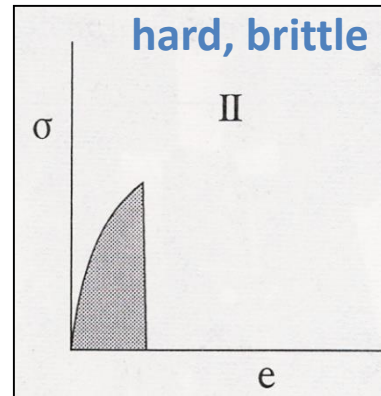
η ενέργεια που απαιτείται για τη θραύση τους και υπολογίζεται από το εμβαδόν της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη εφελκυσμού, όπου ϵ_B είναι η επιμήκυνση μέχρι την θραύση



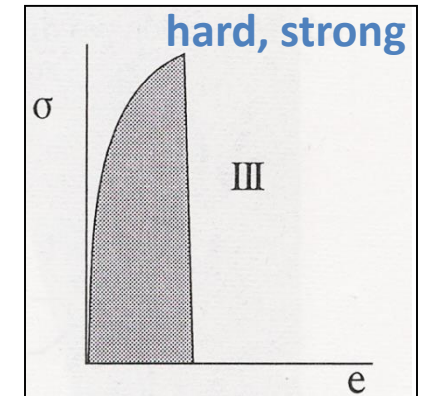
Τύποι διαγραμμάτων τάσης-παραμόρφωσης



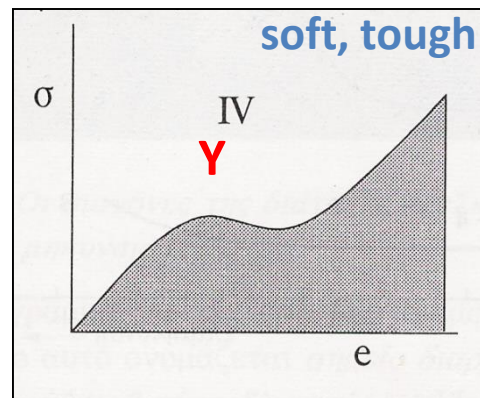
I : Μαλακά & ασθενή
Χαμηλό μέτρο E
Σημείο διαρροής



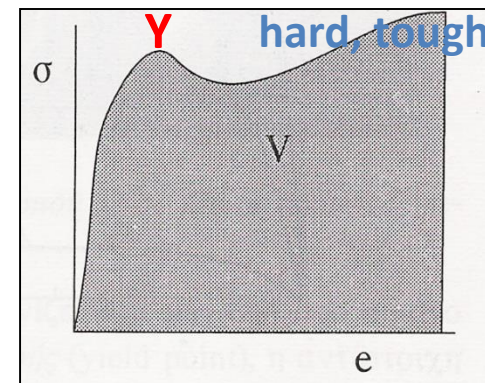
II : Σκληρά & εύθραυστα
Υψηλό μέτρο E
Όχι σημείο διαρροής



III : Σκληρά & δύσκαμπτα
Πολύ υψηλό μέτρο E
Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό
Όχι σημείο διαρροής



IV : Μαλακά & δύσθραυστα
Χαμηλό μέτρο E, Σημείο διαρροής
Υψηλή επιμήκυνση κατά τη θραύση

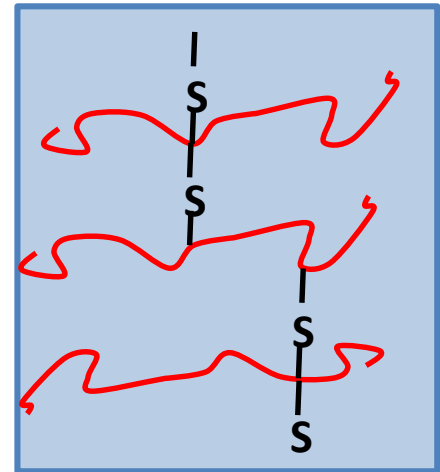


V : Σκληρά & δύσθραυστα
Πολύ υψηλό μέτρο E, Σημείο διαρροής
Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό
Υψηλή επιμήκυνση κατά τη θραύση

Ελαστομερή

Φυσικό καουτσούκ : φυσικό μαλακό ρευστό με κολλώδη χαρακτήρα που συλλεγόταν από τους κορμούς του δέντρου *Hevea brasiliensis*. Σήμερα είναι γνωστό ως *cis*- πολυισοπρένιο.

Βουλκανισμός φυσικού καουτσούκ : η χημική επεξεργασία του φυσικού καουτσούκ με θείο με αποτέλεσμα τη δημιουργία σταυροδεσμών μεταξύ των αλυσίδων. Το σχηματιζόμενο δίκτυο εμποδίζει τις παραμορφώσεις από την θερμοκρασία, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την ελαστική παραμόρφωση. Το μέγεθος του μέτρου E είναι ανάλογο της πυκνότητας των διασταυρώσεων (5 με 10(κ.β.) μέρη θείου σε 100 μέρη ελαστικού δίνουν ένα χρήσιμο ελαστομερές). Παραπάνω προσθήκη θείου κάνει το ελαστικό πιο σκληρό και μειώνει την δυνατότητα εφελκυσμού.



Συνθετικό καουτσούκ

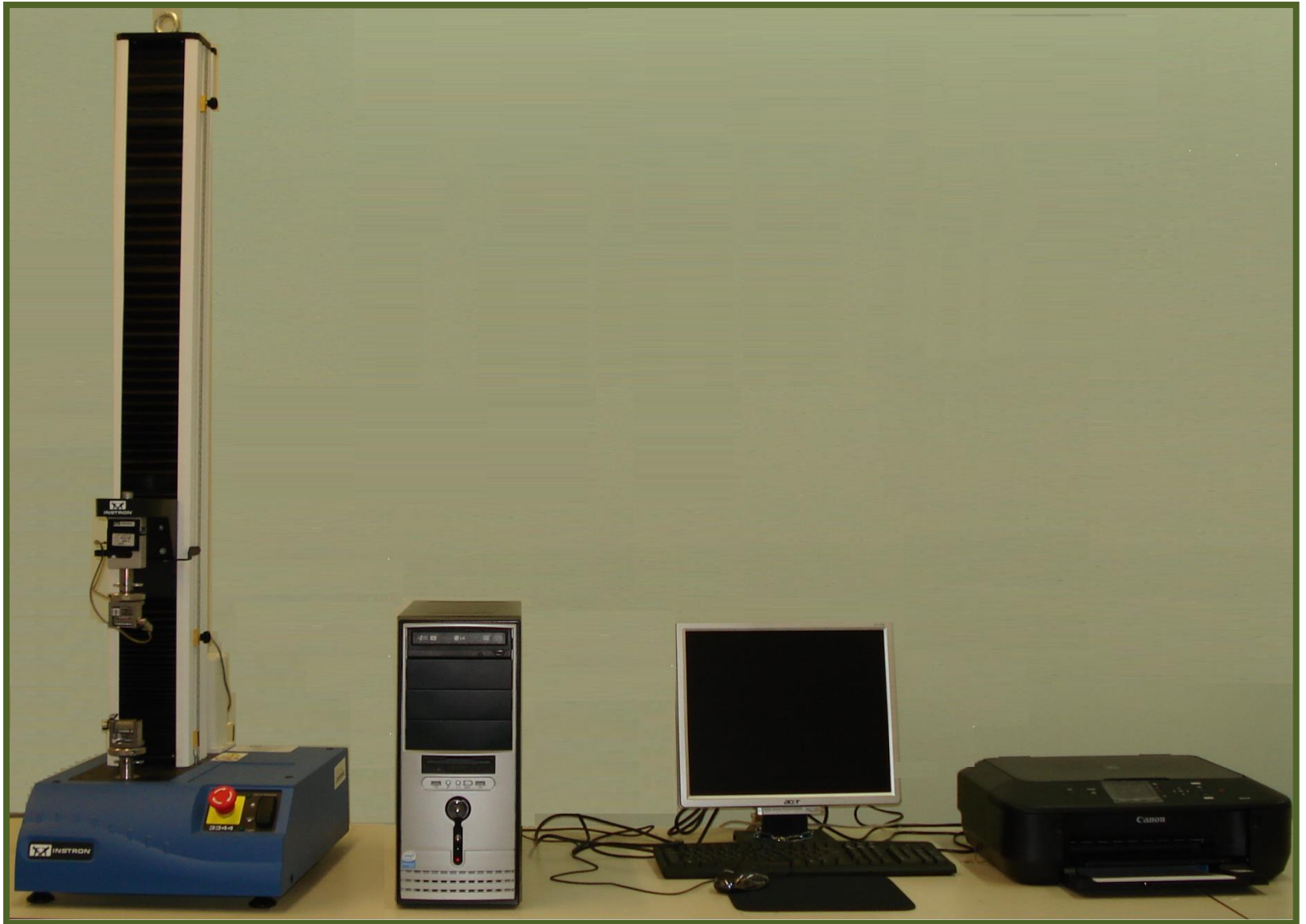
- συμπολυμερές στυρενίου-βουταδιενίου (SBR)
- συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου (NBR)
- νεοπρένιο (CR)
- πολυσιλοξάνη (σιλικόνη)

Το πιο σπουδαίο συνθετικό καουτσούκ είναι το (SBR) που χρησιμοποιείται στην κατασκευή λάστιχων αυτοκινήτων αναμειγμένο με σκόνη άνθρακα (αιθάλη) για ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων του.

Πειραματική διάταξη

Η συσκευή φέρει ένα στοιχείο φορτίου που επιτρέπει την μετάφραση σε ηλεκτρικό δυναμικό της δύναμης που εφαρμόζεται σε ένα δείγμα κατά την διάρκεια παραμόρφωσης. Το δείγμα προσδένεται σε δύο σιαγόνες, η μία είναι σταθερή και η άλλη κινητή. Η κινητή σιαγόνα είναι στερεωμένη σε έναν οριζόντιο άξονα μέσω του στοιχείου φορτίου. Ο οριζόντιος άξονας μετακινείται σε δύο ατέρμονες κοχλίες με προκαθορισμένη ταχύτητα χάρις σε ένα σύστημα γραναζιών. Κατά την διάρκεια της έλξης το στοιχείο φορτίου μεταδίδει σε έναν Η/Υ ένα σήμα ανάλογο με την δύναμη που ασκείται επί του δείγματος.





Τοποθέτηση δείγματος

κίνητη σιαγόνα

ακίνητη σιαγόνα



Πειραματική διαδικασία

Δίνονται τα δείγματα :

1. Βουλκανισμένο φυσικό καουτσούκ
2. Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)
3. Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)
4. Πολυπροπυλένιο (PP)
5. Πολυστυρένιο (Ps)

• Με το παχύμετρο και το μικρόμετρο υπολογίζονται οι διαστάσεις των δοκιμίων.

• Χρησιμοποιώντας τις εφαρμογές του σύγχρονου λογισμικού Bluehill, ορίζονται με σαφήνεια οι παράμετροι για κάθε πείραμα όπως η γεωμετρία των δοκιμίων, η ταχύτητα επιμήκυνσης κ.λ.π.

- Το δείγμα προσδένεται με προσοχή στις δύο σιαγόνες.
- Διεξάγεται το πείραμα.
- Συλλέγονται τα δεδομένα και αναλύονται οι μετρήσεις.

Υπολογισμοί

1. Το μέτρο E του υλικού.
2. Η τάση σ_γ και η σχετική επιμήκυνση διαρροής ϵ_γ .
3. Η τάση σ_B και η σχετική επιμήκυνση κατά την θραύση ϵ_B .
4. Η δυσθραυστότητα W_B των πολυμερών.

Να γίνει η ερμηνεία των αποτελεσμάτων με βάση τις φυσικές ιδιότητες τους.

Βιβλιογραφία

1. «Συνθετικά Μακρομόρια, Βασική Θεώρηση», Α.Ντόντος, Εκδ. Κωσταράκης, Αθήνα, 2012.
2. Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών», Κ. Παναγιώτου, Εκδ. ΠΗΓΑΣΟΣ, Θεσσαλονίκη, 2000.
3. «Επιστήμη Πολυμερών» , Καθηγητής, Κωνσταντίνος Τσιτσιλιάνης Πανεπιστήμιον Πατρών, Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2154/>

ΤΕΛΟΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, Καθηγητής, Κωνσταντίνος Τσιτσιλιάνης . «Εργαστήριο Πολυμερών». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2158/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως Μη Εμπορική ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.