

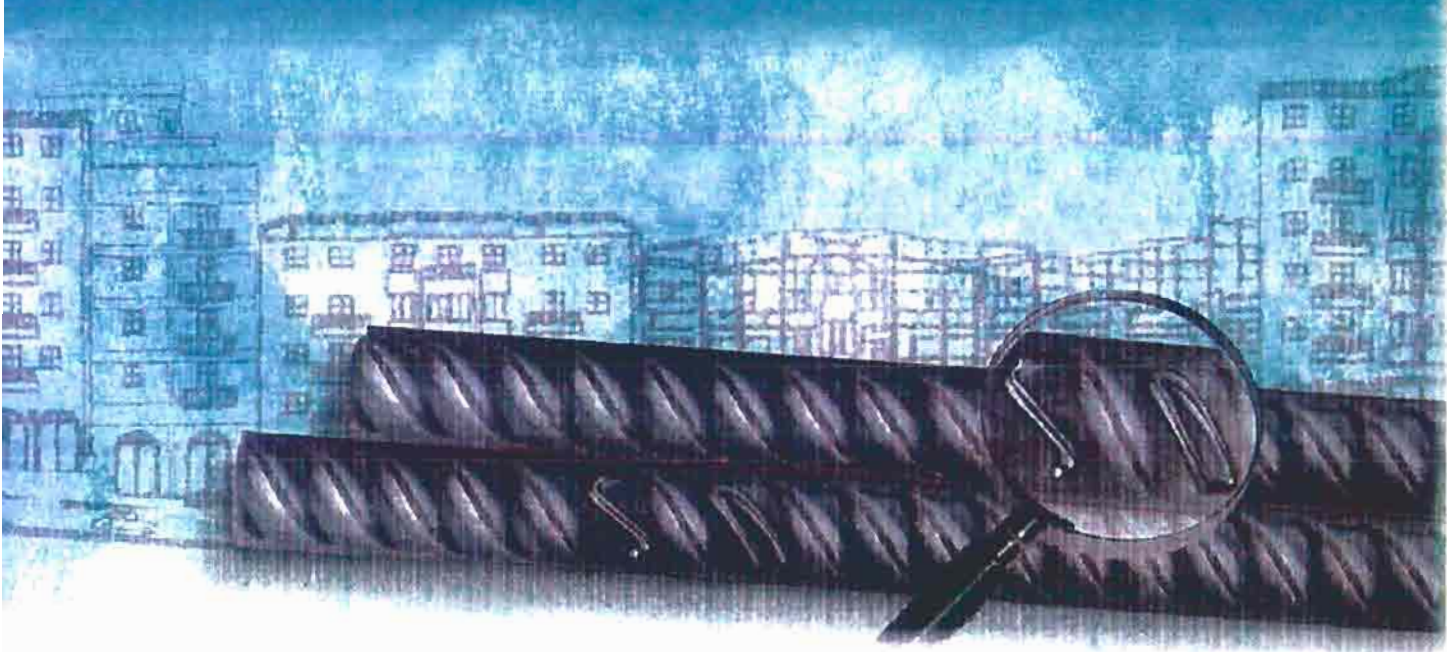
**ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

## **ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ**

**ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ  
ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ  
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
**ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**  
Καθηγητής Εφαρμογών

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:  
**ΚΕΣΙΔΟΥ ΕΛΕΝΗ**  
**ΚΟΜΠΟΤΗ ΣΟΦΙΑ**  
**ΣΑΛΠΙΣΤΗ ΑΝΔΡΙΑΝΗ**

ΠΑΤΡΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2001

ΑΡΙΘΜΟΣ  
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

3284

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Εισαγωγή

1.1	Ιστορική αναδρομή	1
1.2	Η πορεία της Ευρωπαϊκής χαλυβουργίας	5
1.3	Η παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα	8
1.4	Το εμπόριο του δομικού χάλυβα στην Ελλάδα	10
1.5	Η αργάνωση του εμπορίου	10
1.6	Εξαγωγικό εμπόριο ελληνικών χαλυβουργικών προϊόντων	12
1.7	Μελλοντικές τάσεις	13
1.8	Η παραγωγή χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος στην Ελλάδα	16
1.9	Μελλοντικές τάσεις	16
1.10	Η οικονομική διάσταση	18
2.1	Οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο ρόλος του χάλυβα μέσα σ' αυτό	19
3.1	Ορολογία και χαρακτηρισμός του χάλυβα	23
3.2	Παρογωγή του χάλυβα	26
3.3	Μηχανική κατεργασία	27
3.4	Θερμική κατεργασία	30
3.5	Είδη χάλυβα	33
3.6	Χαρακτηριστικά των χαλύβων	46
4.1	Σήμανση για την αναγνώριση της κατηγορίας	52

5.1	Σήμανση για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής	56
6.1	Συγκολλησιμότητα	64
7.1	Συγκολλήσιμοι χάλυβες	65
7.2	Χάλυβες συγκολλήσιμοι υπό προϋποθέσεις	68
7.3	Μηχανικές δοκιμές για τον έλεγχο συγκολλησιμότητας	70
8.1	Η κατάσταση του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα	72
8.2	Γιατί μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τον τρόπο μεταβολής των ιδιοτήτων των υλικών	77
8.3	Επιπτώσεις στην συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα	79
8.4	Αρχικά μέτρα προστασίας των σιδηροπλισμών από διάβρωση	82
8.5	Φθορές χάλυβα	86
8.6	Έμμεσες μέθοδοι μετρήσεως της διαβρώσεως του χάλυβα	89
8.7	Μηχανισμός διαβρώσεως του χάλυβα	90
9.1	Μέθοδος ανίχνευσης του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα	93
10.1	Εφελκυσμός	96
10.2	Επιτρεπόμενη τάση- Συντελεστής ασφαλείας	102
10.3	Λόγος Poisson	106
10.4	Διαδικασία Δοκιμής	107
10.5	Μηχανή AMSLER	111
10.6	Βασικές περιοχές της πορείας καταπόνησης του χάλυβα σε εφελκυσμό	118
10.7	Αποφόρτιση στη πλαστική περιοχή	127
11.1	Αποτελέσματα δοκιμών	
	(ΠΙΝΑΚΕΣ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ)	129

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## **Εισαγωγή**

Η συμπεριφορά των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή δομικών έργων, αποτελεί έναν από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες για την συμπεριφορά των έργων αυτών, γι' αυτό και η κατανόηση της είναι επιτακτική ανάγκη. Ένα από τα σημαντικότερα δομικά υλικά είναι ο χάλυβας καθώς θεωρείται υλικό ασφαλείας τόσο από τις Κοινοτικές όσο και από τις Ελληνικές διατάξεις.

Δεδομένου ότι η χώρα μας χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα, ο ποιοτικός έλεγχος του χάλυβα αποκτά ουσιώδη σημασία. Έτσι κύριος στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση της συμπεριφοράς του χάλυβα στην βασικότερη ίσως καταπόνηση, αυτή του εφελκυσμού και η κατηγοριοποίηση του ως προς την αντοχή του, τον τρόπο παραγωγής του και φύλαξης του στους χώρους αποθήκευσης.

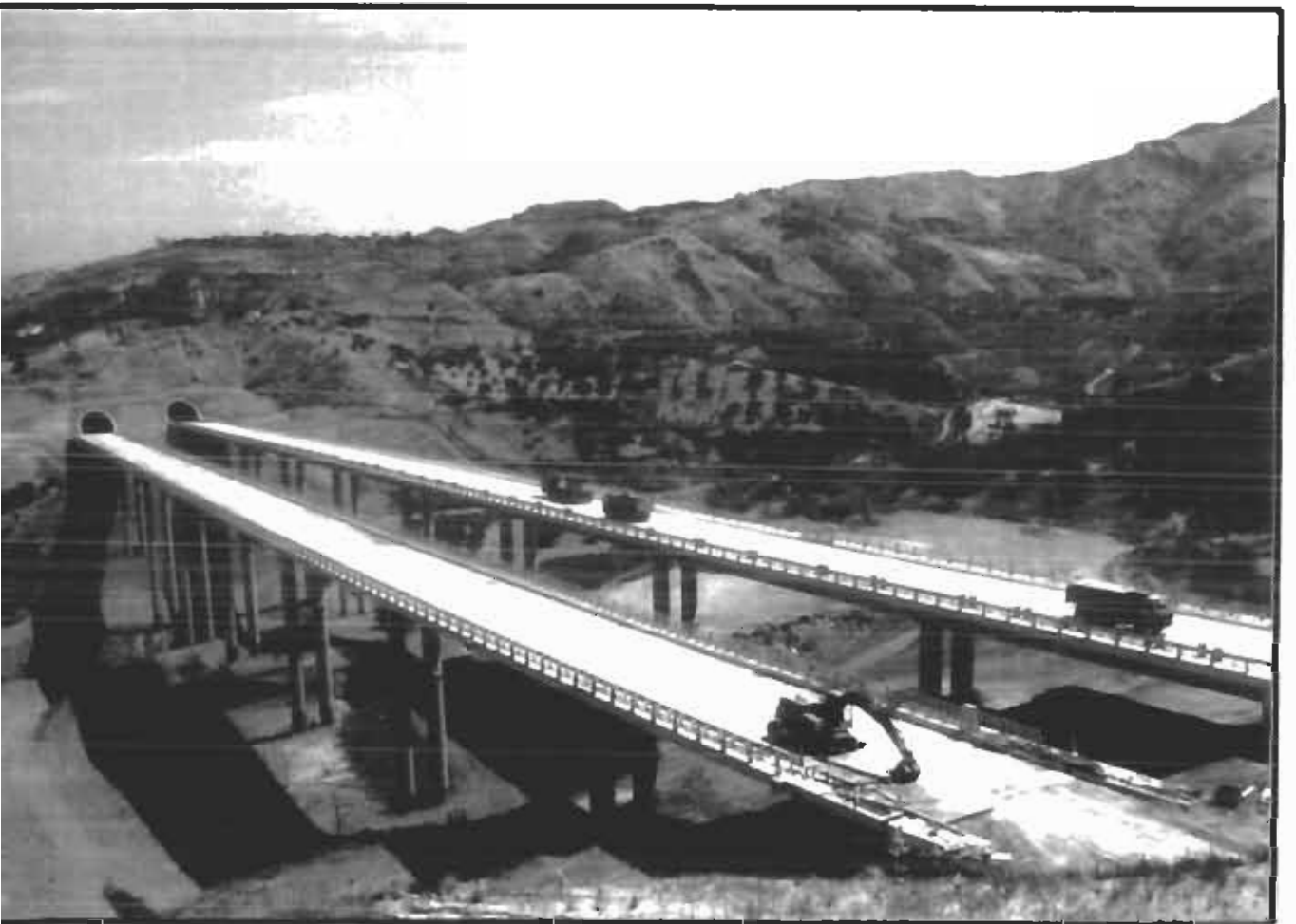
Με την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία που μας ανατέθηκε στις 1-3-2001 ελέγξαμε την αντοχή των δοκιμίων χαλύβων διαφόρων κατηγοριών (S220,S500) που διαμορφώνονται και διακινούνται σε διάφορους εργοταξιακούς χώρους της περιοχής των Πατρών.

Για τον λόγο αυτό έγιναν δειγματοληψίες χαλύβδινων ράβδων από τις παραπάνω κατηγορίες, οι οποίες ελέγχθησαν σε διαμορφωμένα δοκίμια βάση του ΕΛΟΤ 1045 και αδιαμόρφωτα δοκίμια. Η γενικότερη συμπεριφορά τους και τα αποτελέσματά τους φαίνονται στην ενότητα «ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ».

Με την ευκαιρία αυτή ευχαριστούμε θερμά, τον εισηγητή και καθηγητή μας κύριο Δημήτριο Παγουλάτο για την επιλογή του θέματος της παρούσης πτυχιακής εργασίας και τη συνεχή καθοδήγησή του για τη συγγραφή της. Επίσης ευχαριστούμε τον κύριο Αχιλλέα Παπαθανασόπουλο, τεχνικό εργαστηρίου, για την συμβολή του στην αποπεράτωση του εργαστηριακού τμήματος της πτυχιακής μας εργασίας.

Θερμότερες ευχαριστίες εκφράζουμε στον κύριο Νικόλαο Βερετάνο, χημικό μηχανικό πραιϊστάμενο του Κ.Ε.Δ.Ε, την κυρία Ιουλία Μπελεγρίδη, χημικό μηχανικό καθώς και το τεχνικό προσωπικό του εργαστηρίου του Κ.Ε.Δ.Ε για την πολύτιμη βοήθειά τους στην ολοκλήρωση της παραύσης εργασίας.

Για την συγγραφή της πτυχιακής μας εργασίας χρησιμοποιήσαμε τα εξής προγράμματα : Word 2000, Excel 2000, AutoCAD 2000 και Photoshop.



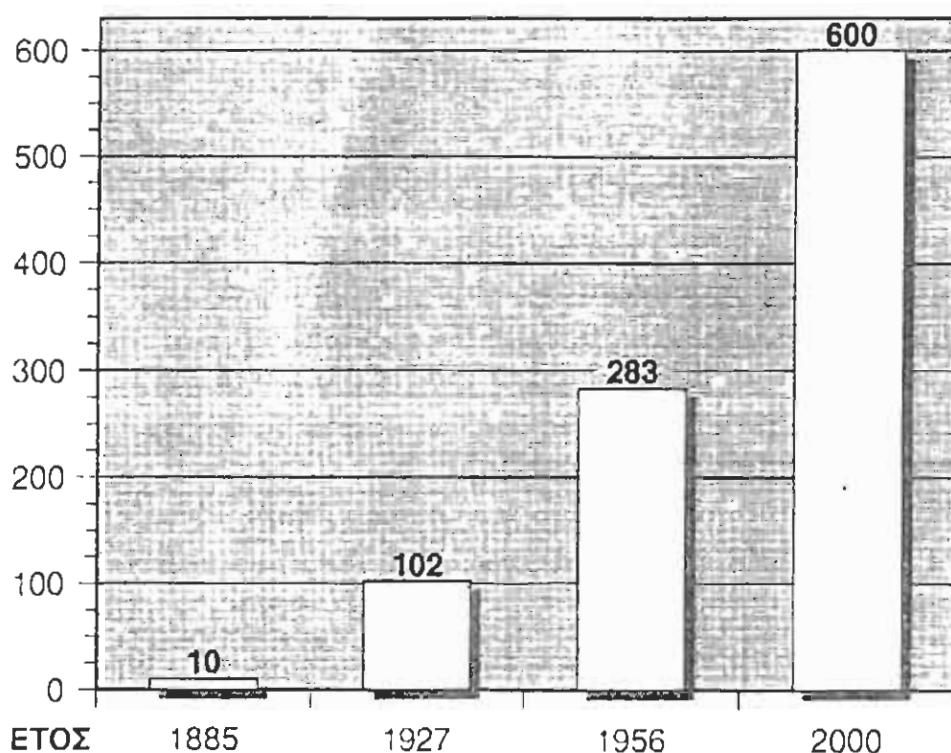


## **1.1 Ιστορική αναδρομή**

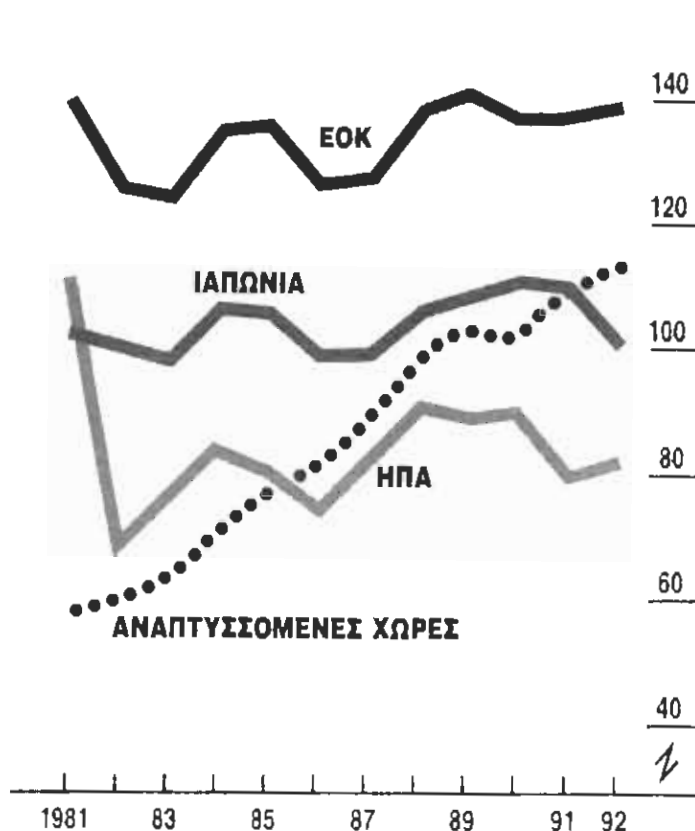
Μετά την τεχνολογική επανάσταση του 19<sup>ου</sup> αιώνα στον τομέα της μεταλλουργίας του σιδήρου (μέθοδοι Bessemer, Martin, Thomas, παραγωγή ειδικών χαλύβων, κ.λ.π.) η παραγωγή του χάλυβα γνώριζε διαρκώς μία αλματώδη ανάπτυξη. Από το 1979 και μετά, η αναφορά στη χαλυβουργία από διεθνούς κύρους οικονομικά έντυπα συνοδεύονταν πάντοτε από αναλύσεις για την κρίση που διέρχεται ο κλάδος. Βεβαία, για πολλούς αναλυτές, η χρεοκοπία πολλών συναφών επιχειρήσεων κυρίως στις ΗΠΑ και στην ΕΟΚ σηματοδοτούσαν περισσότερο μία αναδιάρθρωση του κλάδου σε παγκόσμιο επίπεδο παρά μια γενική κατάρπτωση. Χώρες σαν την Ιαπωνία και την Κίνα αλλά και την Ν. Κορέα, τη Βραζιλία και το Μεξικό πρόβαλλαν ως επιθετικές αιχμές της νέας τάξης πραγμάτων. Ενδεικτικό αυτών των μεταβολών είναι το γεγονός ότι ενώ το 1911 οι ΗΠΑ ήταν πρώτη στις εξαγωγές χάλυβα, το 1979 η Ιαπωνία ήταν πλέον η μεγαλύτερη εξαγωγική και οι ΗΠΑ η μεγαλύτερη εισαγωγική χώρα του κόσμου.

Οι πολύ σημαντικές μεταβολές στη διάρθρωση της παγκόσμιας παραγωγής και εμπορίας του χάλυβα συνοδεύονται από αρκετές ιδιομορφίες σε τεχνολογικό και οικονομικό επίπεδο. Μία από αυτές συνίσταται στο ότι, σε αντίθεση με τη συνηθισμένη ροή του διεθνούς εμπορίου όπου τα βιομηχανικά προϊόντα κατευθύνονται από οικονομικά αναπτυγμένες χώρες σ' αυτές του τρίτου κόσμου, το μεγαλύτερο μέρος των εξαγωγών του χάλυβα έχει ως αποδέκτες χώρες με παράδοση ισχυρής χαλυβουργίας, όπως π.χ. οι ΗΠΑ. Αυτό

συμβαίνει επειδή οι ξένοι παραγωγοί προσφέρουν τα προϊόντα τους σε κατώτερες τιμές από τα εγχώρια. Οι κατώτερες τιμές οφείλονται κυρίως στη διάθεση των αναπτυσσόμενων χωρών να ισχυροποιήσουν τη χαλυβουργία τους με μεγάλες κρατικές επιδοτήσεις. Μια άλλη ιδιομορφία που παρατηρείται είναι ότι, μέρος της πτώσης της ζήτησης του χάλυβα στις βιομηχανικές χώρες φαίνεται ότι οφείλεται στην τάση για χρήση άλλων ελαφρότερων υλικών στην παραγωγή αυτοκινήτων και αλλού.



**Διάγραμμα 1: Εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (σε εκατομμύρια τόνους) .**



Διάγραμμα 2: Παραγωγή ακατέργαστου χάλυβα (σε εκατομμύρια τόνους).

### ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΛΥΒΑ

Πίνακας 1: Ποσότητες σε εκατομμύρια τόνους

	1990	1995	2000
Αναπτυσσόμενες χώρες της Ασίας	67,5	88	105
Ευρωπαϊκή Ένωση	115,5	115	117
Βόρεια Αμερική	96,5	99	99
Λατινική Αμερική	22,3	28	35
Πρώην ΕΣΣΔ & Ανατ. Ευρώπη	148,5	100	100
Ιαπωνία	92,6	85	85

Η κατάσταση γίνεται ακόμα περισσότερο πολύπλοκη, εξ αιτίας του γεγονότος ότι οι εξελίξεις του κλάδου της χαλυβουργίας ρυθμίζονται σε πολλές

περιπτώσεις από τις κυβερνήσεις παρά από την ελεύθερη αγορά, αφού είτε οι χαλυβουργίες είναι κρατικές είτε συνιστούν ένα από τα κεντρικά μεγέθη της οικονομίας απασχολώντας χιλιάδες εργατών. Όλα αυτά σημαίνουν ότι ο χάλυβας κατέχει σημαντική θέση στα κυβερνητικά προγράμματα και γι' αυτό έχει βρεθεί πολλές φορές στο επίκεντρο οξείας πολιτικής διαμάχης μεταξύ των κομμάτων ή συνηθέστερα μεταξύ των κρατών. Ενδεικτική είναι η επιρροή των Αμερικανών παραγωγών χάλυβα που πιέζουν την κυβέρνησή τους να πάρει οικονομικά προστατευτικά μέτρα.

Εκτιμάται πως αυτές οι πιέσεις θα αποδώσουν καρπούς. Είτε θα αποσπάσουν πράγματι ευνοϊκές γι' αυτούς ρυθμίσεις από την Αμερικανική κυβέρνηση, είτε θα προκαλέσουν την οικειοθελή αύξηση των τιμών των ανταγωνιστών τους που θα καταφύγουν σ' αυτή τη λύση προκειμένου να αποφύγουν τα αρνητικά Αμερικανικά μέτρα. Ανάλογο κλίμα επικρατεί στην Ευρώπη, όπου η Ιταλική και η Ισπανική κυβέρνηση προσπαθούν να προστατεύσουν τις κρατικές χαλυβουργίες ILVA και CSI από τις πιέσεις των άλλων Ευρωπαϊκών εταιρειών, οι οποίες θεωρούν ότι οι δίκες τους χαλυβουργίες δεν ευνοούνται με τον ίδιο τρόπο από το καθεστώς των επιδοτήσεων.

## 1.2 Η πορεία της Ευρωπαϊκής χαλυβουργίας

Η Ευρωπαϊκή χαλυβουργία βρίσκεται εδώ και αρκετό καιρό στη δίνη μιας από τις σοβαρότερες κρίσεις της ιστορίας της. Η κρίση αυτή συνοδεύεται από απολύσεις μεγάλου αριθμού εργατών και κλείσιμο μονάδων, όπως αυτή της Ιταλικής ILVA στον Τάραντα της Σικελίας, ενώ για την Ισπανία συζητείται το κλείσιμο του συνόλου των μονάδων παραγωγής εκτός από τα μικρά χαλυβουργεία. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι η μεγαλύτερη επιχείρηση της Ευρώπης, η Usinor Sacilor είχε ζημιές ύψους 453 εκ. δολαρίων το 1992 και 585 εκ. το 1991.

Οι ρίζες των προβλημάτων βρίσκονται στην πλεονάζουσα παραγωγή προϊόντων, στην παρατεταμένη οικονομική ύφεση και στις εισαγωγές χάλυβα από τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης. Η κρίση είναι ιδιαίτερα έντονη στη Γερμανία, η οποία υπήρξε μέχρι τώρα η πιο αποδοτική και στέρεα νησίδα της Ευρωπαϊκής χαλυβουργίας. Οι Γερμανοί χαλυβουργοί θεωρούν ότι είναι οι πλέον αδικημένοι της Κοινότητας, αφού οι επιδοτήσεις της ΕΟΚ μεταξύ 1975 και 1990 ανήλθαν σε 121 δισ. DM και από αυτά στη Γερμανία αντιστοιχούσαν μόνο τα 7 δισ. DM. Στο στόχαστρο έχουν κυρίως τα Ισπανικά και Ιταλικά χαλυβουργεία και ζητούν την αλλαγή του συστήματος των οικονομικών ενισχύσεων. Υπάρχει πάντως και μία σημαντική παράμετρος της κατάστασης της Γερμανικής χαλυβουργίας, την οποία επισημαίνουν ανεξάρτητοι αναλυτές:

η Γερμανική είναι η μόνη ευρωπαϊκή χαλυβουργία που δεν ανανεώθηκε τα τελευταία χρόνια. Μπορεί να είναι τεχνολογικά αποδοτική, θεωρείται όμως πως πάσχει από οργανωτική πολυδιάσπαση. Ως βασικός λόγος του μη μετασχηματισμού θεωρείται η μέχρι τώρα έλλειψη σοβαρής οικονομικής κρίσης στη Γερμανία. Οι παραγωγοί έχοντας να αντιμετωπίσουν μια διαρκή αύξηση της ζήτησης των προϊόντων τους δεν βρέθηκαν στην ανάγκη να εξετάσουν συγχωνεύσεις των επιχειρήσεων κ.λ.π.

Τέλος, ειδικά στη Γερμανία η αλματώδης αύξηση των εισαγωγών από τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης όξυνε τα προβλήματα: από το 1990 οι εισαγωγές διπλασιάστηκαν από 86000 τόνους μηνιαίως στους 195000 τόνους. Αυτή η αύξηση αποτελεί τη μεγαλύτερη μεταξύ των χωρών της ΕΟΚ, όπου την ίδια περίοδο οι αντίστοιχες ποσότητες ήταν 240000 και 370000 τόνοι.

Θα πρέπει όμως να τονίσουμε ότι και στις Ανατολικοευρωπαϊκές χώρες η κρίση είναι δραματικά μεγαλύτερη από τις χώρες της ΕΟΚ. Τα προβλήματα είναι μεγαλύτερα αφού η χαλυβουργία στερήθηκε τις πρώτες ύλες και την ενέργεια που είχαν σε τεχνητά χαμηλές τιμές και προερχόταν από τη Σοβιετική Ένωση.

Επιπλέον, έχασε την ενιαία αγορά της Κομεκόν αλλά και τους στρατιωτικούς εξοπλισμούς. Οι ελπίδες για σημαντική αύξηση των πωλήσεων προς τις χώρες της ΕΟΚ και τις ΗΠΑ προσέκρουσαν στη γενικευμένη πολύ κακή κατάσταση της βιομηχανίας, αλλά και σε πρακτικά μετρά όπως είναι οι δασμοί που επιβλήθηκαν από τις ΗΠΑ, αλλά και οι απαιτήσεις της ΕΟΚ για πλαφόν ελάχιστον τιμών των Ανατολικοευρωπαϊκών προϊόντων. Η κατάσταση βεβαία

διαφέρει από χώρα σε χώρα καθώς όλοι πια προσπαθούν να βρουν λύσεις στα προβλήματά τους. Η Ρουμανία και η Πολωνία προχωρούν σε κοινές τριεθνείς επιχειρήσεις με την Ουκρανία – η οποία παρέχει πρώτες ύλες.

Παράλληλα, οι μεγάλοι ύψους επενδύσεις των αυτοκινητοβιομηχανιών όπως είναι της Fiat στην Πολωνία και των General Motors και Suzuki στην Ουγγαρία δημιουργούν νέες αγορές για τις εθνικές χαλυβουργίες και μάλιστα τείνουν να αναπροσανατολίσουν την έμφαση της παραγωγής από τα μακρά προϊόντα στα πλατέα.

Κατά τα άλλα, ενώ τα προβλήματα της Βουλγαρίας δείχνουν αξεπέραστα, η Τσεχία και η Σλοβακία είναι οι μόνες χώρες που σχεδόν δεν είχαν δυσκολίες: τα χαλυβουργεία της Βοημίας και της Μοραβίας παράγουν φθινό και υψηλής ποιότητας χάλυβα. Ο κυριότερος προορισμός τους είναι τα πολλά δημόσια και ιδιωτικά έργα της Ανατολικής Γερμανίας. Καταλήγοντας, ειδικά για τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης η τύχη των χαλυβουργείων τους θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από τη γενικότερη πορεία των οικονομιών τους.

### **1.3 Η παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα**

Η ιστορία του χάλυβα στην Ελλάδα αρχίζει την εποχή πριν από την είσοδο της χώρας στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οπότε ιδρύονται οι μονάδες παραγωγής σιδήρου μπετόν των Αφών Σταυριανού και της Ελληνικής Χαλυβουργίας. Παράλληλα, ολόκληρος ο ελληνικός τύπος της εποχής σε συνδυασμό με τα «Τεχνικά Χρονικά» του ΤΕΕ και τη «Βιομηχανική Επιθεώρηση» του ΣΕΒ ασχολούνται με την πιθανότητα ίδρυσης χαλυβουργίας με υψικάμινο για την παραγωγή ακατέργαστου χάλυβα. Οι προσπάθειες αυτές συνάντησαν τεράστια αντίδραση από την πλευρά κυρίως της Γερμανικής Χαλυβουργίας της εποχής, αλλά και από το καρτέλ της Διεθνούς Ένωσης Χάλυβα.

Η Ελληνική Χαλυβουργία αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια της μεταπολεμικής περιόδου και κατόρθωσε να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της χώρας σε χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος και κατά 40% περίπου σε ελαφρό μορφοσίδηρο ενώ παράλληλα είχε αξιόλογες επιδόσεις και στην παραγωγή χάλυβα για μεταλλικές κατασκευές. Ο δυναμισμός της Ελληνικής χαλυβουργίας εκδηλώθηκε και με σοβαρές εξαγωγικές προσπάθειες.

Η παραγωγή ακατέργαστου χάλυβα από τα Ελληνικά Χαλυβουργεία ανέρχεται περίπου στους 1 εκατομμύριο τόνους ετησίως, που είναι σε ποσοστά, κάτω από το 1% της συνολικής παραγωγής των χωρών της ΕΟΚ. Στην Ελλάδα ένας μεγάλος αριθμός εταιρειών δραστηριοποιείται στον τομέα της κατεργασίας



του ακατέργαστου χάλυβα ή κυρίως των ενδιάμεσων προϊόντων του. Τα παραγόμενα τελικά προϊόντα από χάλυβα είναι περίπου 2 εκατομμύρια τόνοι ετησίως, για τη χώρα μας.

Η Ελληνική Χαλυβουργία θεωρείται κλάδος έντασης κεφαλαίου. Πάντως, τα περισσότερα ελληνικά χαλυβουργεία εργάζονται γύρω στο 60% της δυναμικότητάς τους. Η οικοδομή απορροφά περίπου τη μισή από την παραγόμενη ποσότητα, ενώ σημαντικά ποσοστά αναλογούν στις εξαρτημένες μονάδες των σωληνουργείων και συρματουργείων, στις κατασκευές και στην κονσερβοποιία.

Πρέπει πάντως να τονιστεί πως, δεδομένου ότι η χώρα μας δε διαθέτει πολλές βιομηχανίες που να χρησιμοποιούν πλατέα προϊόντα, η έμφαση της παραγωγής των χαλυβουργείων στα μακρά προϊόντα είναι σε απόλυτη αρμονία με τις ανάγκες της χώρας.

Γενικά η εγχώρια κατανάλωση χάλυβα είναι πολύ χαμηλή, αφού η ετήσια κατά κεφαλή κατανάλωση στην Ελλάδα είναι κάτω από 200 κιλά και η αντίστοιχη των οικονομικά αναπτυγμένων χωρών της ΕΟΚ είναι περίπου 400.

## **1.4 Το εμπόριο του δομικού χάλυβα στην Ελλάδα**

Όπως προαναφέρθηκε, τα Ελληνικά χαλυβουργεία παράγουν σχεδόν το σύνολο του διατιθέμενου χάλυβα οπλισμού μπετόν στην Ελλάδα και μάλιστα παρουσιάζουν και εξαγωγική δραστηριότητα στον τομέα αυτό. Όσον αφορά τον χάλυβα για μεταλλικές κατασκευές μέρος του απαραίτητου υλικού παράγεται και επεξεργάζεται ως την τελική του μορφή στην Ελλάδα και μέρος εισάγεται κατ' ευθείαν από χώρες του εξωτερικού. Σε πολλές περιπτώσεις εισάγεται η πρώτη ύλη και στην Ελλάδα γίνεται η επεξεργασία.

## **1.5 Η οργάνωση του εμπορίου**

Ο δομικός χάλυβας που παράγεται στα εγχώρια χαλυβουργεία ή εισάγεται από το εξωτερικό διατίθεται ως εξής:

Το μεγαλύτερο ποσοστό (τάξη μεγέθους 75%) διατίθεται από μεγάλους εμπόρους – εισαγωγείς και περίπου 25% από ένα μεγάλο αριθμό μικρών εμπόρων – εισαγωγέων, οι οποίοι σε πολλές περιπτώσεις δεν έχουν ιδιόκτητες αποθήκες, οπότε οι εισαγωγές γίνονται C.I.F. (οι αγοραστές προμηθεύονται

κατευθείαν το προϊόν). Στη συνέχεια, από τους εισαγωγείς τα προϊόντα διατίθενται σε πολλούς μικρούς λιανέμπορους ή κατευθείαν στους χρήστες.

Για να δοθεί η ακριβής εικόνα της διάρθρωσης του εμπορίου πρέπει να τονιστεί ότι σε πολλές περιπτώσεις οι έμποροι, τόσο οι μεγάλοι όσο και οι μικροί, δεν εισάγουν μόνο δομικό χάλυβα, αλλά και για άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Για παράδειγμα, τακτικά πωλούν εμπόρευμα transit σε ναυπηγεία ή σε μεγάλους φορείς του Δημοσίου (ΔΕΗ, ΟΣΕ, Ένοπλες Δυνάμεις, κ.λ.π.).

Οι δραστηριότητες των εμπόρων χάλυβα παρουσιάζουν ποικιλία επειδή ακριβώς οι εισαγωγείς έχουν αναπτύξει διεθνείς εμπορικές διασυνδέσεις, οπότε μπορούν σε ορισμένες περιστάσεις να μεσολαβήσουν και για την εξαγωγή ελληνικών προϊόντων.

Οι ξένοι προμηθευτές πουλάνε με πίστωση που μπορεί να φθάσει και στους 3-4 μήνες με πολύ χαμηλά επιτόκια και αυτό επιτρέπει στους εισαγωγείς να ακολουθούν ανάλογη πιστωτική πολιτική προς τους πελάτες τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα Ελληνικά χαλυβουργεία συνήθως δεν ακολουθούν πολιτική πιστώσεων στις συναλλαγές τους. Ειδικά για τον χάλυβα οπλισμού μπετόν, που τα χαλυβουργεία συνηθίζουν να το διαθέτουν κατευθείαν στο λιανικό εμπόριο, οι λιανέμποροι αναλαμβάνουν σε πολλές περιπτώσεις να πιστοδοτήσουν οι ίδιοι τους εργολάβους – πελάτες οπότε για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα των χαμηλών περιθωρίων κέρδους, παρέχουν επιπλέον μεταποίηση στο προϊόν κοστολογώντας την ανάλογα.

Στον κλάδο των ελληνικών εταιρειών παραγωγής και εμπορίας χάλυβα παρατηρείται μία κινητικότητα από την άποψη των εξαγορών, της απόκτησης μέρους των μετοχών από άλλες εταιρείες, κ.λ.π.

Από τεχνολογική άποψη πρέπει να επισημανθεί ότι κάποιες μεγάλες εταιρείες επιδιώκουν να προσθέσουν στις δραστηριότητές τους εκτός από την εμπορία και κάποιο είδος επεξεργασίας των προϊόντων.

## **1.6 Εξαγωγικό εμπόριο ελληνικών χαλυβουργικών προϊόντων**

Η αξιόλογη εξαγωγική προσπάθεια των χαλυβουργείων γίνεται συνήθως με τη συνεργασία φερέγγυων διεθνών εμπορικών οίκων. Κύριες ανταγωνιστικές χώρες είναι η Ισπανία, η Ρουμανία, η Βουλγαρία, Τσεχοσλοβακία και η Τουρκία.

## **1.7 Μελλοντικές τάσεις**

Με τις γενναίες επιδοτήσεις της ΕΟΚ κατά τη διάρκεια του 1993, φαίνεται πως η ευρωπαϊκή χαλυβουργία παίρνει μια ανάσα. Οι επιδοτήσεις όμως συνοδεύονται από αυστηρές δεσμεύσεις των παραγωγών προς την Κοινότητα για μείωση της παραγωγής κατά 30 εκατομμύρια τόνους και απολύσεις 50000 εργαζομένων που ασχολούνται σε μη αποδοτικά εργοστάσια. Οι δεσμεύσεις αφορούν επίσης τεχνολογικές και επιχειρηματικές αναδιαρθρώσεις προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι νέες συνθήκες του διεθνούς ανταγωνισμού.

Ενώ αναγνωρίζεται ότι η βασική αιτία της κρίσης είναι η μακροχρόνια ύφεση των οικονομιών, επισημαίνεται επίσης ότι σε καιρούς οικονομικής ύφεσης αναδεικνύονται με τον πιο ανάγλυφο τρόπο τα δομικά προβλήματα του κλάδου. Μ' αυτή την έννοια, θεωρείται ότι οι Ευρωπαίοι πρέπει να αναθεωρήσουν ριζικά τις μεθόδους παράγωγης και τους τρόπους διάθεσης του χάλυβα. Το πρόβλημα της παραγωγής πλεονάζουσας ποσότητας προϊόντων χάλυβα είναι κομβικό και η εξέταση του αποκαλύπτει πολλά προβλήματα: ακριβώς επειδή οι χαλυβουργίες έχουν υψηλά πάγια και ανελαστικά έξοδα έχουν τη σαφή τάση να παράγουν όσο περισσότερο χάλυβα τους επιτρέπουν οι εγκαταστάσεις τους. Συνέπεια όμως αυτής της υπερπαραγωγής είναι, σε καιρούς κρίσης, η μείωση των τιμών των προϊόντων για να μη μένει αδιάθετο το πλεόνασμα. Αυτό σημαίνει, ότι σε περιόδους πτώσης της ζήτησης οι χαλυβουργίες αντιδρούν με δραστικές περικοπές των τιμών και όχι με μείωση της παραγωγής. Στις ΗΠΑ και την

Ιαπωνία έχει ήδη επισημανθεί ότι το πρόβλημα της σχεδόν αναγκαστικής τάσης για υπερπαραγωγή συνδέεται με το είδος της οργάνωσης και της τεχνολογικής υποδομής των γιγαντιαίων χαλυβουργείων που αποσκοπούν στο να παράγουν ταυτόχρονα όλους τους τύπους προϊόντων του χάλυβα.

Στον αντίποδα αυτής της παραδοσιακής δομής βρίσκονται τα λεγόμενα Μικρά Χαλυβουργεία τα οποία ανθούν ήδη στην Αμερική και στην Ιαπωνία, και οι επιπτώσεις της διάδοσης τους στην παγκόσμια οικονομία παρομοιάζεται από αρκετούς αισιόδοξους ανολυτές με αυτές της διάδοσης των προσωπικών υπολογιστών. Τα Μικρά Χαλυβουργεία απαιτούν χώρους παραγωγής ίσους με το ένα τέταρτο των χώρων των παραδοσιακών χαλυβουργείων και τα ανελαστικά έξοδά τους είναι μόνο 20 ή 30 % σε σχέση με το υψηλό ποσοστό 70 % των παραδοσιακών. Επιπλέον, έχουν το πλεονέκτημα να απαιτούν για πρώτη ύλη τον πολύ φθηνό παλαιοσίδηρο και ότι επίσης είναι πολύ επιδεκτικά σε τεχνολογικές αλλαγές ανά δεκαετία ή δεκαπενταετία.

Τέλος, ακριβώς επειδή αυτού του είδους τα χαλυβουργεία παράγουν μια μικρή γκάμα προϊόντων, δεν επιβαρύνονται με τα έξοδα των επιστημονικών ερευνών που είναι αναγκασμένοι να διεξάγουν οι γιγαντιαίοι ανταγωνιστές του. Αντίθετα, με μικρού κόστους τεχνολογικές επινοήσεις, τα μικρά χαλυβουργεία κατακτούν ολοένα και μεγαλύτερο τμήμα αγορών.

Όσον αφορά την Ελλάδα, η χαλυβουργεία των πλατεών προϊόντων περνά μια από τις δυσκολότερες στιγμές της ιστορίας της. Συγκεκριμένα, η υψηλής τεχνολογίας Heelenic Steel ήδη υπολειτουργεί λόγω χρηματοοικονομικών

προβλημάτων και η σωτηρία της εξαρτάται κατά μεγάλο μέρος από τη βοήθεια του ελληνικού κράτους και της ΕΟΚ. Μια πηγή προβλημάτων αποτελεί η αυξηνόμενη διείσδυση των Ευρωπαίων ανταγωνιστών της στην Ελληνική αγορά.

Επιπλέον, οι πιστωτικές δυνατότητες των ξένων εταιριών, είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές των ελληνικών, ακριβώς επειδή η Ελλάδα έχει τα υψηλότερα επιτόκια της Ευρώπης και επομένως το "οκριβότερο χρήμα". Μ' αυτή την έννοια, για πρώτη φορά ελληνικές χαλυβουργίες αντιμετωπίζουν τον πειρασμό να εξελιχθούν σε κυρίως εμπορικές - αντί ποραγωγικές - μονάδες αξιοποιώντας το δίκτυο των πελατών τους. Βέβαια αυτή η προοπτική δεν φαίνεται να έχει πολλές πιθανότητες - τουλάχιστον βραχυπρόσθεμα - αφού υπάρχουν ελπίδες ότι με την ενίσχυση της ΕΟΚ θα πραγματοποιηθούν εκσυγχρονιστικές επενδύσεις. Επιπλέον, από παράγοντες του κλάδου εκτιμάται ότι στην περίπτωση που η ευρωπαϊκή οικονομία ανακάμψει, ο ανταγωνισμός θα χάσει αρκετή από τη σημερινή οξύτητά του.

Στα πλαίσια της σημερινής δύσκολης οικονομικής συγκυρίας φαίνεται πως τα φιλόδοξα σχέδια για ελληνική μονάδα παραγωγής ανοξειδωτου χάλυβα έχουν ατονήσει. Τα σχέδια αυτά βασιζονταν στη διαρκώς αυξηνόμενη ζήτηση του ανοξειδωτου χάλυβα στη διεθνή αγορά, καθώς και στο γεγονός ότι στην Ελλάδα πορόγετοι από την ΛΑΡΚΟ το σιδηρονικέλιο και την ΕΛΣΙ το σιδηροχρώμιο, που είναι από τις βασικές πρώτες ύλες του.

## **1.8 Η παραγωγή χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος στην Ελλάδα**

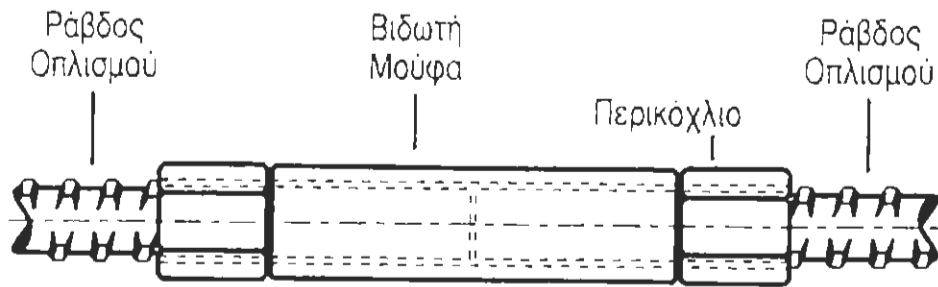
Η Ελληνική Χαλυβουργία αναπτύχθηκε ουσιαστικά μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο και κατάφερε να καλύψει πλήρως τις πολύ μεγάλες ανάγκες της χώρας σε χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος. Αναφέρεται σχετικά, ότι στην Ελλάδα παράγονται ετησίως περίπου 1000000 τόνοι χάλυβα για οικοδομές ενώ επίσημα εισάγονται περίπου 4000 – 10000 τόνοι σιδήρου μπετόν και περίπου 60000 – 80000 τόνοι φιλ μασίν συρματουργίας. Οι Ελληνικές εταιρείες παραγωγής χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος συγκαταλέγονται μεταξύ των καλύτερων στο είδος τους στην Ευρώπη χάρη στις επενδύσεις εκσυγχρονισμού τους.

## **1.9 Μελλοντικές τάσεις**

Πιθανές εξελίξεις στον τομέα του χάλυβα οπλισμού μπορεί να σχετίζονται με την προσπάθεια για την ολοένα και μεγαλύτερη επεξεργασία των οπλισμών, πριν ακόμα φθάσουν στο εργοτάξιο. Μ' αυτή την τάση συνδέονται και οι ειδικοί τρόποι σύνδεσης ράβδων που προσφέρονται π.χ. στη Γερμανία: μούφες – δηλ. βιδωτές ενώσεις των ράβδων, πρεσαριστές ενώσεις με χρήση μούφας, ακόμα και ειδικοί σύνδεσμοί με πύρους.



## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ



Σχ.1

Στα πλαίσια της επεξεργασίας των οπλισμών, αναπτύσσονται ήδη συνδυασμοί ράβδων κυρίου οπλισμού και συνδετήρων με ειδικά σχήματα που θα ήταν πολύ δύσκολο να συναρμολογηθούν επί τόπου. Τέτοιου τύπου οπλισμοί, που χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν υψηλή αντοχή έναντι σεισμικών δράσεων σε υποστυλώματα είναι και οι συνδετήρες Multi – Hoop.

Αυτοί αποτελούνται από ένα περιφερειακό και πολλούς εσωτερικούς συνδετήρες, ο καθένας από τους οποίους αποτελείται από μία ενιαία ράβδο οπλισμού χωρίς συγκολλήσεις. Είναι φανερό, ότι για να παραχθούν αυτού του είδους οι οπλισμοί με τα πολύπλοκα σχήματα χρειάστηκε να αναπτυχθούν καμπτικές μηχανές υψηλής αντοχής, ισχύος και ακριβείας στην κάμψη και κοπή ράβδων υψηλής αντοχής. Μια τέτοια μηχανή αναπτύχθηκε με συνεργασία και της ελληνικής εταιρείας ERGON.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρησιμοποίηση οπλισμού από ανοξείδωτο χάλυβα σε ειδικές εφαρμογές οπλισμένου σκυροδέματος. Τα επιχειρήματα υπέρ της χρήσης του ανοξείδωτου χάλυβα είναι ότι έτσι αποφεύγεται η οξειδωση των

οπλισμών ακόμα και στις περιπτώσεις που εμφανιστούν ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα ή ακόμα και σοβαρές ζημιές από π.χ. πυρκαγιά.

Με την αποφυγή της οξειδωσης αποφεύγεται η συνακόλουθη μείωση της ενεργού διατομής, η μείωση της συνάφειας κ.λ.π. Στην Ελλάδα εισάγεται ανοξειδωτος οικοδομικός χάλυβας με νευρώσεις και δομικά πλέγματα κυρίως από την Ιταλία.

## **1.10 Η οικονομική διάσταση**

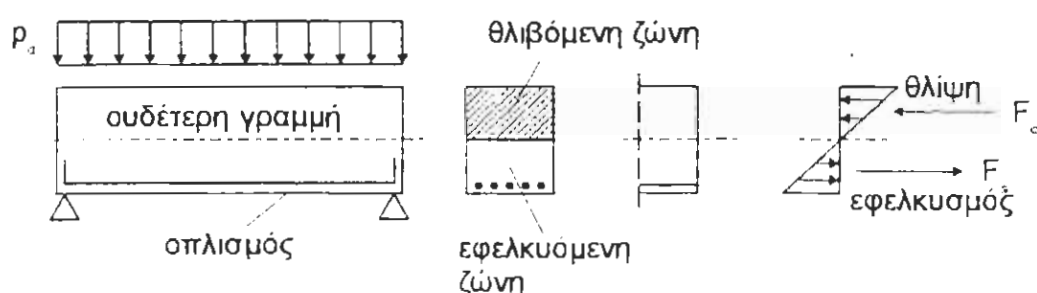
Οι ελληνικές εταιρείες παραγωγής χαλύβων οπλισμένου σκυροδέματος εξακολουθούν να είναι οι αδιαμφισβήτητοι κυρίαρχοι της εσωτερικής αγοράς παρά τις μεγάλες μεταβολές στον τομέα του χάλυβα σε ευρωπαϊκή κλίμακα.

Οι εισαγωγές από χώρες της Ανατολικής Ευρώπης φαίνεται πως είναι τα τελευταία χρόνια αυξημένες, χωρίς αυτό να αποτελεί σοβαρή απειλή για τα ελληνικής ιδιοκτησίας χαλυβουργεία. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι, μετά την κατάργηση των δασμών στο εμπόριο μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, αναμένεται πως θα υπάρξουν επιπτώσεις στο επιχειρηματικό περιβάλλον του χάλυβα οπλισμού. Ήδη, έχουν αυξηθεί σημαντικά οι ποσότητες χάλυβα οπλισμού που διατίθενται στην Ελληνική αγορά από Ιταλικές χαλυβουργίες.

## 2.1 Οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο ρόλος του χάλυβα μέσα σ' αυτό.

Σαν σκυρόδεμα χαρακτηρίζουμε έναν τεχνικό λίθο που προκύπτει από την ανάμιξη τσιμέντου, νερού, αδρανών υλικών και ενδεχομένως από διάφορα άλλα πρόσμικτα υλικά που επηρεάζουν ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος όπως π.χ. χρόνος πήξεως, ρευστότητα κ.λ.π.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ένα σκυρόδεμα στο οποίο έχουν τεθεί για ενίσχυση του χαλύβδινοι ράβδοι, οπλισμός, είναι επομένως ένα σύμμεικτο υλικό. Το σκυρόδεμα μπορεί να παραλάβει σχετικά μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις, ενώ η εφελκυστική του δύναμη είναι πολύ μικρή (5-10%) της αντίστοιχης θλιπτικής και δεν λαμβάνεται συνήθως υπόψη στον υπολογισμό, διότι το μεγαλύτερο μέρος της καταναλώνεται από δυνάμεις καταναγκασμού (θερμοκρασιακές αλλαγές, ερπυσμός). Ο χάλυβας απεναντίας έχει μεγάλη εφελκυστική και θλιπτική αντοχή. Με την κατάλληλη εκλογή και διάταξη του χάλυβα (οπλισμού) σε μια οπλισμένη διατομή σκυροδέματος είναι εφικτό το μεν σκυρόδεμα να παραλάβει τις θλιπτικές δυνάμεις και ο χάλυβας τις εφελκυστικές.



**ΣΧ.2 Διατομή με εσωτερικές τάσεις.**

Η αποτελεσματική συνεργασία των δύο υλικών είναι αναγκαία προϋπόθεση για την ασφαλή παραλαβή των εντατικών μεγεθών και την αλληλοσυμπλήρωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους.

Η συνεργασία των δύο υλικών επιτυγχάνεται με:

- **Συνάφεια**

Κατά μήκος των ράβδων σπλισμού, που βρίσκονται μέσα στη μάζα του σκληρυμένου σκυροδέματος, αναπτύσσονται δυνάμεις συνάφειας (πρόσφυσης), τριβής, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή σχετική μετατόπιση μεταξύ των υλικών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα για μια τυχαία παραμόρφωση του χάλυβα, να προκαλείται η ίδια και στο γειτονικό σκυρόδεμα, γεγονός που προκαλεί προϋπόθεση για να λειτουργήσει ο μηχανισμός μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των δύο υλικών.

- **Θερμική διαστολή .**

Τα ίδια υλικά έχουν τον ίδιο περίπου συντελεστή θερμικής διαστολής. Το σκυρόδεμα έχει  $\alpha_T \approx 10 \cdot 10^{-6} / \text{C}$ , ο χάλυβας έχει  $\alpha_T \approx 12 \cdot 10^{-6} / \text{C}$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δύο υλικά να έχουν τις ίδιες θερμοκρασιακές μεταβολές. Σε αντίθετη περίπτωση μειώνεται η συνάφεια στην προσπάθεια της να εμποδίσει την διαφορετική παραμόρφωση των δύο υλικών, γεγονός που συμβαίνει σε καταπόνηση με υψηλές θερμοκρασίες (>600 C, περίπτωση πυρκαγιάς).

- **Φυσική προστασία χάλυβα.**

Ο σπλισμός που θα καλυφθεί με αρκετό τσιμεντοπολτό αποκτά μια διαχρονική φυσική προστασία έναντι οξειδώσεως, διάβρωσης του χάλυβα. Το

οπλισμένο σκυρόδεμα είναι σχετικά νέο υλικό περίπου 150 ετών, έχει καταξιωθεί στην πράξη και έτη βρίσκεται σε συνεχή «κατηγορία» ως συνυπεύθυνο για την «τσιμεντοποίηση» των πόλεων.

### **Τα βασικά πλεονεκτήματα του χάλυβα :**

- **Μεγάλη θλιπτική αντοχή**

Το σκυρόδεμα έχει σχετικά μεγάλη θλιπτική αντοχή και είναι 4-5 φορές φθηνότερο από το χάλυβα στην παραλαβή της θλιπτικής δύναμης. Η οικονομικότητα του οφείλεται επίσης και στις φθηνές σχετικά πρώτες ύλες.

- **Μορφοποίηση**

Το σκυρόδεμα έχει την ικανότητα να παίρνει την μορφή του ξυλότυπου, «καλουπιού» μέσα στο οποίο διαστρώνεται. Επίσης έχει την δυνατότητα να σκληρύνεται στον αέρα και μέσα στο νερό.

- **Ανθεκτικότητα**

Είναι ένα διαχρονικό υλικό και δεν προσβάλετε από μικροοργανισμούς, όπως το ξύλο, ή χημικές ουσίες με την προϋπόθεση ότι έχει παρασκευαστεί ένα καλής ποιότητας σκυρόδεμα, σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος. Επίσης ως υλικό συμπεριφέρεται καλά σε περιπτώσεις πυρκαγιάς.

### **Τα βασικά μειονεκτήματα του χάλυβα :**

- **Ίδιο βάρος**

Το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει σημαντικό ίδιο βάρος ( $25\text{KN/m}^3$ ) ώστε το μεγάλο νεκρό φορτίο του ίδιου βάρους να το κάνει αντισυμβατικό για γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων.

Αυτό αντιμετωπίζετε με τη δημιουργία φορέων που μεταβιβάζουν μέρος του φορτίου διαμέσου θλιπτικών τάσεων π.χ. κελύφη, ή με προένταση ή με προκατασκευασμένα στοιχεία ,που λόγω των υψηλών ελεγχόμενων αντοχών οι διατομές είναι μικρότερες.

- **Θερμομόνωση – Ηχομόνωση**

Το σκυρόδεμα δεν έχει θερμομονωτική ικανότητα και απαιτεί ειδική θερμομόνωση. Ως προς την ικανότητα ηχομόνωσης παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά αν ο ήχος μεταδίδεται δια του αέρα ή είναι ήχος διαμέσου στερεού σώματος. Ενώ λόγω του σχετικά μεγάλου βάρους του έχει αρκετή ηχομονωτική ικανότητα σε αερόφερτους θορύβους, διότι τα ηχητικά κύματα δεν είναι σε θέση να θέσουν σε ταλάντωση τη μάζα του σκυροδέματος. Απεναντίας για θορύβους από κτυπογενείς ήχους που μεταδίδονται διαμέσου του στερεού σώματος απαιτείται πρόσθετη ηχομόνωση του σκυροδέματος.

### **3.1 Ορολογία και χαρακτηρισμός του χάλυβα**

Χάλυβας είναι κάθε είδος σιδήρου το οποίο είναι ελατό χωρίς μεσολάβηση νέας κατεργασίας. Το ελατό υποδηλώνει την ιδιότητα του σιδήρου να καθίσταται μαλακός και εύπλαστος στη θερμοκρασία της ερυθροπύρωσης ώστε να μπορεί να υποβληθεί σε οποιαδήποτε μεταβολή μορφής, χωρίς βλάβη της αντοχής και της ανθεκτικότητάς του. Ο δομικός χάλυβας είναι κράμα σιδήρου, άνθρακα – σε περιεκτικότητα κάτω από 1,67% - και άλλων στοιχείων που προστίθενται για να προσδώσουν συγκεκριμένες μηχανικές ιδιότητες.

Σε περίπτωση που το ποσοστό του άνθρακα είναι πάνω από 1,67%, το κράμα τείνει να μετατραπεί σε χυτοσίδηρο (cast iron). Η αυξημένη περιεκτικότητα σε άνθρακα αυξάνει την αντοχή αλλά παράλληλα μειώνει την πλαστικότητα και γενικά κάνει το υλικό πιο ευπαθές στη θερμική κατεργασία. Ο απλούστερος και φθηνότερος τύπος δομικού χάλυβα είναι οι ράβδοι δομικού οπλισμού σκυροδέματος όπου η αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται κυρίως με το υψηλό ποσοστό άνθρακα (εντός των ορίων του 1,67%). Προκειμένου όμως για χάλυβα μεταλλικών κατασκευών, η υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα συνεπάγεται μεγάλα προβλήματα στην κατεργασία – με κυριότερο αυτό της χαμηλής συγκολλησιμότητας. Γι' αυτό το λόγο, σ' αυτού του είδους το χάλυβα, επιδιώκεται η συγκράτηση του άνθρακα σε σχετικά χαμηλά επίπεδα και η προσθήκη και άλλων στοιχείων σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική κατεργασία.

Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται υψηλή αντοχή, ικανοποιητική πλαστικότητα, υψηλή συγκολλησιμότητα, καθώς και βελτιωμένα χαρακτηριστικά έναντι της πιθανότητας ψαθυρής θραύσης. Με ανάλογη διαδικασία μπορεί να προκύψει και ο ανοξειδωτος χάλυβας δηλαδή χάλυβας με ειδικά αντιδιαβρωτικά χαρακτηριστικά. Διακρίνονται τα ακόλουθα είδη:

- **Χάλυβας αναδεύσεως:**

Παράγεται σε φλογοβόλους κάμινους αναδεύσεως από ακατέργαστο σίδηρο. Στο σχηματιζόμενο τήγμα, ο σίδηρος συσσωματώνεται σε μύδρους βάρους 40~ 50 χιλιόγραμμων που υποβάλλονται αμέσως σε σφυρηλάτηση. Το είδος του χάλυβα αυτού περιέχει μεγάλο ποσοστό σκουρίας και είναι προτυποποιημένος. Χρησιμοποιείται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

- **Ρευστοπαγής χάλυβας :**

Είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος, στις κατασκευές έργων από πολιτικούς μηχανικούς, χάλυβας. Είναι εξαιρετικά ανθεκτικός και παράγεται από ακατέργαστο σίδηρο, που προσάγεται σε ρευστή κατάσταση σε ειδικές κάμινους όπου απομακρύνεται ο άνθρακας και οι ανεπιθύμητες προσμίξεις. Στα Γερμανικά Πρότυπα συμβολίζεται με St. Αμέσως μετά τα γράμματα αναγράφεται ο αριθμός πχ. St 52 που συμβολίζει το είδος του δομικού χάλυβα. Ο αριθμός δηλώνει την απαιτούμενη ελάχιστη αντοχή σε εφελκυσμό (37 ή 52 Kg/mm<sup>2</sup>). Δεξιά του αριθμού που δηλώνει την αντοχή σε εφελκυσμό τοποθετείται η ένδειξη 1 ή 2 ή 3 (πχ. St 37-1) που σημαίνει:

1: υλικό γενικής χρήσης, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις



2: υλικό υψηλών απαιτήσεων

3: υλικό ειδικών απαιτήσεων, κατάλληλο για όλες τις περιπτώσεις κόπωσης.

Οι παραπάνω αριθμοί υποδηλώνουν την ευαισθησία του χάλυβα σε σκλήρυνση και ευθραυστότητα. Πριν από το γράμμα St αναγράφεται ένας από τους συμβολισμούς U ή R ή RR (πχ. U St 37-2) που δηλώνει τον τρόπο απόχυσης: κατά την απόχυση στους κάδους ο χάλυβας χάνει την προστασία της επιπλέουσας σκωρίας και έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Τότε το ρευστό γίνεται ανήσυχο, κοχλάζει και έτσι σχηματίζονται πολλές φυσαλίδες. Για να παύσει ο σχηματισμός των φυσαλίδων προστίθεται πυρίτιο, αλουμίνιο, ασβέστιο ή τιτάνιο και ο χάλυβας κατευνάζεται. Οι κατηνασμένοι χάλυβες είναι ποιοτικά ανώτεροι.

Τα σύμβολα δηλώνουν :

U: ακατεύναστος χάλυβας

R: κατηνασμένος χάλυβας

RR: ειδικά κατηνασμένος χάλυβας

Τέλος για να δηλωθεί το είδος της θερμικής επεξεργασίας αναγράφεται :

N: για κανονική ανόπτηση

U: για έλαση εν θερμώ χωρίς θερμική επεξεργασία.

Συνοψίζοντας τους παραπάνω συμβολισμούς : αν δηλωθεί R St 37-2, N, αυτό σημαίνει ότι πρόκειται για κατηνασμένο χάλυβα ελάχιστης αντοχής σε

εφελκυσμό 37 Kg/mm<sup>2</sup> από υλικό υψηλών απαιτήσεων και με κανονική ανόπτηση.

Οι ποιότητες που διατίθενται για μεταλλικές κατασκευές στην Ελλάδα είναι κυρίως :

- St 37 (κανονική ποιότητα)
- St 52 (υψηλής αντοχής)

### **3.2 Παραγωγή του χάλυβα**

**Για την παραγωγή του χάλυβα εφαρμόζονται τρεις ομάδες μεθόδων:**

1. Η εμφύσηση ψυχρού αέρα μέσα σε κάμινο, μορφής αχλαδιού. Η κάμινος τύπου Bessemer, με πυρίμαχη επένδυση από χαλαζιακό άργιλο, χρησιμοποιείται όταν ο ακατέργαστος σίδηρος είναι πτωχός σε φώσφορο.
2. Η κάμινος τύπου Thomas χρησιμοποιείται όταν ο ακατέργαστος σίδηρος είναι πλούσιος σε φώσφορο. Η παραγόμενη βασική σκωρία αλέθεται και χρησιμοποιείται ως λίπασμα.
3. Η εμφύσηση προθερμανθέντος αέρος με τη μέθοδο Siemens-Martin και την ηλεκτρική μέθοδο.

Για τη δήλωση της μεθόδου παραγωγής, χρησιμοποιούνται, εκτός απ' τα σύμβολα που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, και τα ακόλουθα σύμβολα:

- M: χάλυβας παραγόμενος με τήξη σε κάμινο Siemens-Martin
- T: χάλυβας παραγόμενος με εμφύσηση σε κάμινο Thomas
- W: χάλυβας παραγόμενος με ειδικές μεθόδους

Τα σύμβολα αυτά τοποθετούνται αριστερά του συμβόλου St, πχ. M<sub>U</sub>St 37-2 σημαίνει ότι πρόκειται για ακατεύναστο χάλυβα, παραγόμενο σε κάμινο Siemens-Martin, ελάχιστης αντοχής σε εφελκυσμό 37 Kg/mm<sup>2</sup> από υλικό υψηλών απαιτήσεων.

### **3.3 Μηχανική Κατεργασία**

Ο χάλυβας που παρασκευάζεται με βάση μία από τις μεθόδους που αναφέρονται παραπάνω διοχετεύεται σε κάδους και κατόπιν σε καλούπια, συνήθως μορφής κόλουρης πυραμίδας, οπότε τα αντίστοιχα τεμάχια χάλυβα λέγονται «χελώνες». Ενώ είναι ακόμα θερμές, οι «χελώνες» μορφοποιούνται σε στοιχεία πρισματικής συνήθως γεωμετρίας μέσω κυλινδρικών ελάστρων υψηλής πίεσης, έτσι ώστε οι διαστάσεις των πρισμάτων να είναι σχετικά παρόμοιες με τις τελικές διαστάσεις των δομικών στοιχείων από χάλυβα. Τα πρίσματα αυτό, μορφής ράβδου, δοκού ή πλάκας, ψύχονται και κατόπιν μεταφέρονται για περαιτέρω επεξεργασία στα χαλυβουργεία. Εκεί ο χάλυβας μορφοποιείται βάσει

μηχανικής κατεργασίας, που μπορεί να είναι εξέλαση, διέλκυση, (ή έλξη ή όλκηση), συμπίεση, σφυρηλάτηση και χύτευση.

Με εξαίρεση τη χύτευση, η κατεργασία του χάλυβα μπορεί να είναι θερμή, οπότε ο χάλυβας είναι ερυθροπυρωμένος σε θερμοκρασία 1000 °C περίπου, ή ψυχρή, οπότε ο χάλυβας μορφοποιείται σε θερμοκρασία δωματίου. Αποτέλεσμα της θερμής κατεργασίας είναι η μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού και η αύξηση της πυκνότητας (ενδοτράχυνση και ανακρυστάλλωση), λόγω του κλεισίματος των μικρότατων πόρων στη μάζα του υλικού, γι' αυτό ακολουθείται από αύξηση της αντοχής. Η ψυχρή κατεργασία επιφέρει επιμήκυνση των κόκκων παράλληλα στη διεύθυνση κατά την οποία επιμηκύνεται ο χάλυβας (ενδοτράχυνση), και έχει σαν συνέπεια αύξηση της αντοχής και της σκληρότητας, καλύτερο έλεγχο των διαστάσεων (επειδή αποφεύγεται η συστολή λόγω ψύξης), καλή λείανση των εξωτερικών επιφανειών (επειδή δεν σχηματίζονται οξειδία που είναι αναπόφευκτα στη θερμική κατεργασία) και μείωση της πλαστιμότητας.

**Εξέλαση:** τεμάχια ερυθροπυρωμένου χάλυβα (γύρω στους 900-1200 °C) διέρχονται από διαδοχικά έλαστρα (συνεχώς περιστρεφόμενοι κύλινδροι ειδικής διάταξης και μορφής), σε κάθε ένα από τα οποία το υλικό συμπιέζεται περισσότερο από ότι στο προηγούμενο, σε μορφή που να μοιάζει όλο και περισσότερο με την τελική.

Η θερμή εξέλαση συνήθως προηγείται της ψυχρής, έτσι ώστε να αποκτήσει ο χάλυβας μορφή παρόμοια με την τελική. Επίσης συχνά αποτελεί το

πρώτο βήμα πριν από τη διέλκυση και τη συμπίεση. Προϊόντα θερμής εξέλασης είναι οι περισσότεροι δομικοί χάλυβες (π.χ. μορφοχάλυβες) των μεταλλικών κατασκευών, ενώ προϊόντα ψυχρής εξέλασης, που απαιτεί αρκετά μεγαλύτερες δυνάμεις, είναι συνήθως στοιχεία μικρού πάχους (π.χ. ελάσματα, πτυχωτά χαλυβδόφυλλα κ.τ.λ.). Με εξέλαση παρασκευάζονται συχνά και ράβδοι ή τένοντες (π.χ. οπλισμού ή προέντασης σκυροδέματος), μέσω ελάστρων ειδικής μορφής.

Οι εξελασμένοι χάλυβες έχουν περίπου το ίδιο όριο διαρροής και την ίδια εφελκυστική αντοχή σε κάθε διεύθυνση, αλλά χαρακτηρίζονται από μειωμένη παραμόρφωση θραύσης και, κατ' επέκταση, πλαστιμότητα στη διεύθυνση κάθετα στη μικρή διάσταση της διατομής (πάχος).

**Διέλκυση:** είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος παρασκευής συρμάτων, διαμέτρου συνήθως κάτω από 5mm, στοιχείων λεπτότοιχων κλειστών διατομών (π.χ. σωλήνες χωρίς ραφές) κ.τ.λ. Ο χάλυβας προέρχεται από θερμή εξέλαση και κατόπιν διέρχεται από διαδοχικά ανοίγματα μειούμενης διαμέτρου.

**Συμπίεση:** η μορφοποίηση του χάλυβα κατά τη συμπίεση γίνεται με εφαρμογή μεγάλης πίεσης μέσω ειδικών πρεσσών –μητρών σε στοιχεία χάλυβα που είναι συνήθως λεπτότοιχα ή μικρών διαστάσεων (π.χ. κοχλίες, περικόχλια, ήλοι, πτυχωτά χαλυβδόφυλλα κ.τ.λ.). Η κατεργασία αυτή είναι είτε θερμή (γύρω στους 1000 °C) είτε ψυχρή, και έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των κόκκων της κρυσταλλικής δομής του υλικού και την αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας.

**Σφυρηλάτηση, χύτευση:** εφαρμόζονται περισσότερο για την παρασκευή μηχανολογικών εξαρτημάτων και σπάνια στο δομικά μέταλλα.

### **3.4 Θερμική κατεργασία**

Για τη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων τους, οι χάλυβες υποβάλλονται συχνά σε θερμικές κατεργασίες, που είτε έπονται των μηχανικών είτε γίνονται ταυτόχρονα με αυτές. Τέτοιες κατεργασίες είναι η ανόπτηση, η κανονικοποίηση, η βαφή, η επαναφορά, η ανοκούφιση τάσεων και η τοπική βαφή.

**Ανόπτηση:** συνίσταται σε θέρμανση του χάλυβα και πολύ βραδεία ψύξη του ( συνήθως στη κάμινο), ώστε να επέλθει αλλαγή στην εσωτερική δομή του υλικού ( μείωση μεγέθους κόκκων) και να βελτιωθούν ορισμένες ιδιότητες, ιδίως όταν έχει προηγηθεί μηχανική κατεργασία. Η μέγιστη θερμοκρασία (600-800 °C), ο ρυθμός θέρμανσης και ψύξης, και ο χρόνος θέρμανσης εξαρτώνται από τη σύνθεση του χάλυβα, το σχήμα και το μέγεθος του δομικού στοιχείου. Αποτέλεσμα της ανόπτησης είναι η άρση εσωτερικών τάσεων, η μείωση της σκληρότητας, και η αύξηση της πλαστιμότητας και της δυσθραυστότητας.

**Κανονικοποίηση:** συνίσταται σε θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία γύρω στους 900°C, ακολουθούμενη από βραδεία ψύξη στον αέρα (αυτό αποτελεί και τη βασική διαφορά με την ανόπτηση). Ο σχετικά ταχύς ρυθμός

ψύξης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ομοιομορφία της δομής του (σχηματισμός υποευθηκτοειδή φερριτο-περλίτη) και να αυξάνεται η πλαστιμότητα και η δυσθραυστότητα. Η μέθοδος είναι οικονομικότερη από την ανόπτηση γιατί δεν απαιτεί παρατεταμένη χρήση καμίνου, αλλά είναι εφαρμόσιμη μόνο σε στοιχεία σχετικά μικρών διαστάσεων, όπου η πιθανότητα στρέβλωσης λόγω της ψύξης στον αέρα είναι ασήμαντη.

**Βαφή:** αποτελεί μέθοδο αύξησης της σκληρότητας και της αντοχής του χάλυβα, που όμως συνοδεύεται από μείωση της πλαστιμότητας και της δυσθραυστότητας. Επιτυγχάνεται με θέρμανση του υλικού γύρω στους 900°C για κάποιο χρόνο (ώστε να γίνει μετάβαση στην ωστενιτική φάση) και απότομη ψύξη με εμβάπτιση (συνήθως σε νερό ή λάδι). Αποτέλεσμα της κατεργασίας είναι η ανακρυστάλλωση του χάλυβα από την ασταθή ωστενιτική μορφή στη μορφή μαρτενσίτη, κύριο χαρακτηριστικό της οποίας είναι η δημιουργία κρυστάλλων με ελαφρά παραμορφωμένο χωροκεντρομένο κυβικό σχηματισμό. Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε χάλυβες με σχετικά υψηλά ποσοστά άνθρακα.

**Επαναφορά:** αυτή η κατεργασία γίνεται σε χάλυβες που έχουν υποστεί βαφή, ώστε να γίνει μερική άρση των εσωτερικών τάσεων και να αυξηθεί η πλαστιμότητα και η δυσθραυστότητα (με παράλληλη ελαφρά μείωση της αντοχής και της σκληρότητας). Αυτό επιτυγχάνεται με θέρμανση του χάλυβα γύρω στους 450-650°C για κάποιο χρόνο και αργή ψύξη.

**Ανακούφιση τάσεων:** επιτυγχάνεται με θέρμανση του χάλυβα γύρω στους 400-600<sup>0</sup>C, διατήρησης της θερμοκρασίας για λίγο χρόνο και βραδεία ψύξη. Για χάλυβες στους οποίους έχει προηγηθεί βαφή και επαναφορά η μέγιστη θερμοκρασία δεν πρέπει να υπερβαίνει τη θερμοκρασία επαναφοράς. Η κατεργασία αυτή εφαρμόζεται για την ανακούφιση (μείωση) τάσεων που αναπτύσσονται λόγω συγκολλήσεων, κανονικοποίησης, μηχανικής κατεργασίας, κοπής, βαφής κ.τ.λ., και όχι και για σημαντική αλλαγή της δομής του χάλυβα.

**Τοπική βαφή:** επιτυγχάνεται επιφανειακά με φλόγα οξυγόνου.



### **3.5 Είδη χάλυβα**

Στα δομικά έργα χρησιμοποιούνται οι αναφερόμενοι στο DIN 17100 «Γενικοί δομικοί χάλυβες» καθώς και οι χάλυβες οπλισμών που αναφέρονται στο DIN 1045. Άλλα είδη χαλύβων χρησιμοποιούνται πχ για ήλους κατά το DIN 17111, για λεπτά ελάσματα κατά το DIN 1623 και για σωλήνες χωρίς ραφή κατά το DIN 1629. Σύμφωνα με το DIN 17100 οι χάλυβες δεν επιτρέπεται γενικά να είναι εύθραυστοι τόσο σε ψυχρή όσο και σε θερμή κατάσταση. Κατά τη δοκιμή της αναδίπλωσης, οι χάλυβες, οφείλουν να κάμπτονται κατά 180° χωρίς να εμφανίζουν ρωγμές στην εφελκυσόμενη πλευρά. Τα προϊόντα ελάσεως πρέπει να εμφανίζουν λεία επιφάνεια. Ως προς τη δυνατότητα συγκολλήσεως των διαφόρων ειδών χάλυβα αυτή εξετάζεται κατά περίπτωση.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε:

#### **1. Χάλυβες σκυροδέματος:**

Για τους χάλυβες σκυροδέματος καθοριστικό είναι το σχέδιο προδιαγραφής DIN 488 και έχουν επικρατήσει οι παρακάτω διακρίσεις:

A) Ακατέργαστος χάλυβας, φυσικής σκληρότητας, που οφείλει τις ιδιότητές του στην αρχική χημική του σύνθεση. Συμβολίζεται με το γράμμα U.

B) Χάλυβας ψυχρής κατεργασίας, ο οποίος οφείλει τις ιδιότητες του στη ψυχρή κατεργασία. Συμβολίζεται με το γράμμα K.

Γ) Λείος κυκλικός χάλυβας, με σύμβολο το γράμμα G.

Δ) Νευροχάλυβας, με σύμβολο το R, με εγκάρσιες νευρώσεις κάθετες ή κεκλιμένες προς τον άξονα της ράβδου, καθώς και με ή χωρίς διαμήκειες νευρώσεις.

Ε) Χάλυβας τυποποιημένης διατομής, με σύμβολο το γράμμα P, για την κατασκευή συγκολλητών πλεγμάτων.

Στον παρακάτω πίνακα περιλαμβάνονται όλες οι διαστάσεις του λείου χάλυβα και του νευροχάλυβα.

**Πίνακας 2: Ονομαστική διάμετρος, περίμετρος, διατομή και βάρος λείου χάλυβα και νευροχάλυβα οπλισμού ( κατά DIN 488 ).**

Ονομαστική διάμετρος d			Περίμετρος u cm	Διατομή Fe cm <sup>2</sup> , - 5%	Βάρος Kg/m
Λείος χάλυβας BSt 22/34 GU	Νευροχάλυβας BSt 22/34 RU, BSt 42/50 RU, BSt 42/50 RK				
1	2	3	4	5	6
5	-	-	1,57	0,196	0,154
6	6	6	1,89	0,283	0,222
8	8	8	2,51	0,503	0,395
10	10	10	3,14	0,785	0,617
12	12	12	3,77	1,13	0,888
14	14	14	4,4	1,54	1,21
16	16	16	5,03	2,01	1,58
18	18	18	5,65	2,54	2
20	20	20	6,28	3,14	2,47
22	22	22	6,91	3,8	2,98
25	25	25	7,85	4,91	3,85
28	28	28	8,8	6,16	4,83
-	32	-	10,05	8,04	6,31
-	36	-	11,31	10,2	7,99
-	40	-	12,57	12,6	9,87

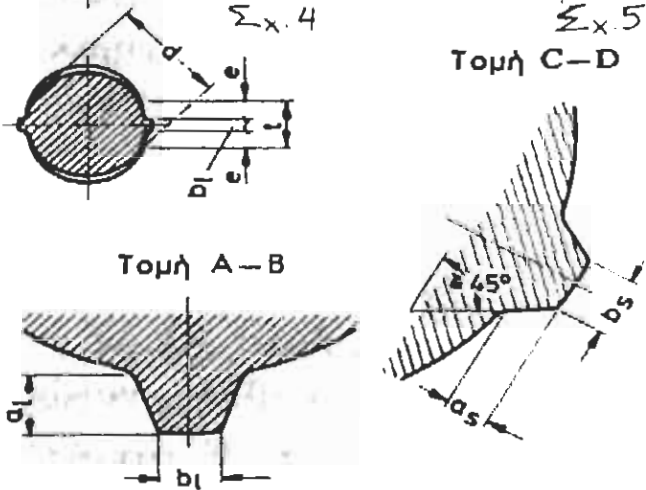
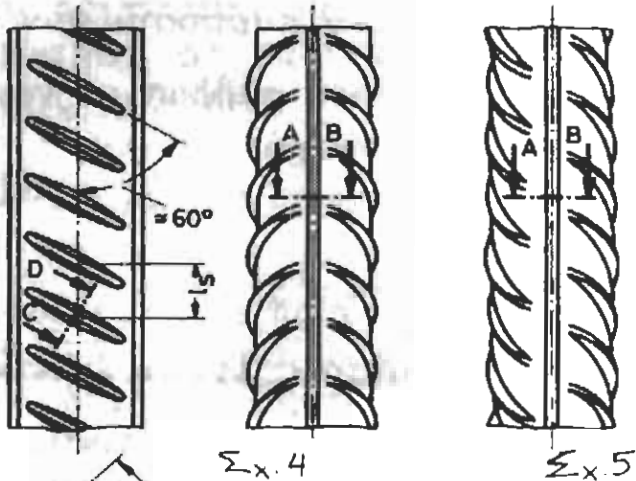
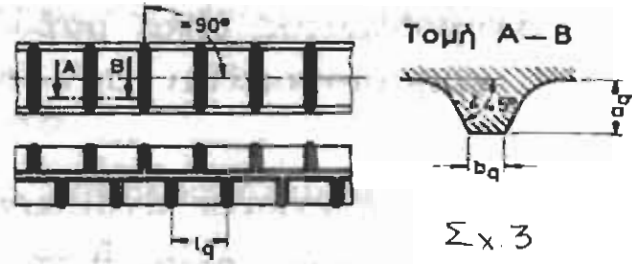
Η διατομή του λείου χάλυβα BSt 22/34 GU πρέπει να είναι κατά το δυνατό κυκλική, όπως επίσης κυκλικός πρέπει να είναι και ο πυρήνας της διατομής των νευροχαλύβων. Οι ράβδοι πρέπει να φέρουν εγκάρσιες νευρώσεις κάθετες και κεκλιμένες προς τον άξονά τους ενώ οι πλευρές των νευρώσεων πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο απότομες και ποτέ ομαλότερες από 45°.

Στους νευροχάλυβες BSt 22/34 RU οι νευρώσεις πρέπει να είναι κάθετες προς τον άξονα της ράβδου και να διανέμονται ομοιόμορφα σ' όλο το μήκος της ράβδου.

Στους νευροχάλυβες BSt 42/50 RU και BSt 42/50 RK οι ράβδοι πρέπει να φέρουν δύο σειρές λοξών δρεπανοειδών ραβδώσεων.

Οι ράβδοι με ομοιόστροφες νευρώσεις πρέπει να έχουν τουλάχιστον μία διαμήκη νευρώση. Οι εγκάρσιες νευρώσεις δεν επιτρέπεται να συνδέονται με ενδεχόμενα υπάρχουσες διαμήκεις νευρώσεις. Οι εγκάρσιες νευρώσεις πρέπει να κλείνουν κατά γωνία περίπου 60° ως προς τον διαμήκη άξονα της ράβδου σε περίπτωση ράβδων ψυχρής ολκής και κατά 35° περίπου στην περίπτωση στρεπτών ράβδων.

Για να διακρίνεται από τον νευροχάλυβα φυσικής σκληρότητας BSt 42/50 RU, ο νευροχάλυβας ψυχρής κατεργασίας BSt 42/50 RK στρέφεται κατά τον διαμήκη άξονα του. Ο βαθμός συστροφής, ανάλογα με τον τρόπο κατεργασίας ανέρχεται σε 10 έως 12d ή σε 100d.



**Σχ.3: Νευροχάλυβες σκυροδέματος**

**Σχ.4: Νευροχάλυβες σκυροδέματος BSt 42/50 RU με λοξές νευρώσεις της αυτής και αντιθέτου φορτίου**

**Επεξηγήσεις:**

**$l_q$ : Απόσταση εγκαρσίων νευρώσεων**

**$l_s$ : Απόσταση λοξών νευρώσεων**

**$b_1$ : Πλάτος διαμήκων νευρώσεων**

**$a_s$ : Ύψος λοξών νευρώσεων στο μέσο**

**$a_1$ : Ύψος διαμήκων νευρώσεων**

**d: Διάμετρος**

**Η απόσταση των άκρων των δυο εκατέρωθεν νευρώσεων σε ράβδους χωρίς συστροφή είναι:**

**$t=2e+b_1$ , αλλά πάντως  $\leq 0.2 * d$  (Σχ. 4 ) σε στρεπτές ράβδους**

**$t=2e+b_1$**

**όπου  $e \approx 0.1 * d$  μετρούμενου κάθετα προς τη διαμήκη νεύρωση**

**Σχ.5: Στρεπτός νευροχάλυβας**

Ωστόσο σύμφωνα με τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης –ΕΛΟΤ, ΑΘΗΝΑ 2000, οι χάλυβες σκυροδέματος διακρίνονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- **Χάλυβας κατηγορίας S220:**

Είναι γνωστός και ως χάλυβας κατηγορίας I (St I) ή μαλακός χάλυβας. Είναι λείος χάλυβας, μικρής εφελκυστικής αντοχής και δεν συνίσταται για κατασκευές με αντισεισμικές απαιτήσεις διότι έχει μικρή συνάφεια. Έχει όριο διαρροής  $f_y=220 \text{ N/mm}^2$ . Αντιστοιχεί στον χάλυβα BSt 220/340 των Γερμανικών Προδιαγραφών.

- **Χάλυβας κατηγορίας S400 και S400s:**

Είναι γνωστός και ως χάλυβας κατηγορίας III ( St III ) ή σκληρός και με νευρώσεις. Οι νευρώσεις στην επιφάνειά του τον κάνουν να έχει μεγάλη συνάφεια με το σκυρόδεμα. Έχει όριο διαρροής  $f_y=400\text{N/mm}^2$ . Ο συμβολισμός S400s δηλώνει χάλυβα που επιτρέπεται η συγκόλληση του. Αντιστοιχεί στον χάλυβα BSt 420/500 των Γερμανικών Προδιαγραφών.

- **Χάλυβας κατηγορίας S500 και S500s:**

Είναι γνωστός και ως χάλυβας κατηγορίας IV ( St IV ). Είναι χάλυβας με νευρώσεις, με υψηλή συνάφεια και έχει όριο διαρροής  $f_y=500\text{N/mm}^2$ . Ο συμβολισμός S500s δηλώνει χάλυβα που επιτρέπεται η συγκόλλησή του. Αντιστοιχεί στον χάλυβα BSt 500/550 των Γερμανικών Προδιαγραφών.

Στους χάλυβες όπου δεν υπάρχει ο συμβολισμός s δεν επιτρέπεται η συγκόλλησή τους διότι υπάρχει κίνδυνος ψαθυροποίησης του υλικού και μείωσης των ορίων διαρροής των. Γενικά επικρατεί η σκέψη και ήδη υλοποιείται στην πράξη, η χρησιμοποίηση μιας κατηγορίας αντοχής χάλυβα S500, (S500s). Οι λόγοι που συνηγορούν προς αυτή την κατεύθυνση είναι:

- Το όριο διαρροής του S500 έναντι του S400 είναι κατά 25% υψηλότερο, γεγονός που επιτρέπει αρκετή οικονομία σε χάλυβα.
- Σε σημεία κόμβων (υποστυλώματα με διασταυρούμενους δοκούς) ο οπλισμός δεν είναι τόσο πυκνός έτσι ώστε να μην έχουμε προβλήματα κατά τη σκυροδέτηση - συμπύκνωση που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής του σκυροδέματος.
- Ο χάλυβας S500 έχει εκτός της υψηλής αντοχής, μεγάλη ικανότητα ευκαμψίας ( ολκιμότητας ). Η εργασία κάμψεως και διαμόρφωσης των ράβδων S500, παρά την υψηλή αντοχή, είναι ευκολότερη από αυτή του S400.
- Η διαφορά αξίας αγοράς και των δύο χαλύβων είναι πολύ μικρή, έχουν σχεδόν την ίδια τιμή.

## **2. Δομικά πλέγματα:**

Σημαντικό ποσοστό της κατανάλωσης δομικού χάλυβα κατέχουν σήμερα τα δομικά πλέγματα και ειδικότερα έχει επεκταθεί σε μεγάλο βαθμό η χρήση των συγκολλητών πλεγμάτων.

Τα συγκολλητά πλέγματα συντίθεται από λείες ράβδους (G) ή ράβδους τυποποιημένης διατομής (P) για διαμέτρους 12mm ή ράβδους με νευρώσεις (R) για διαμέτρους μέχρι 16mm. Οι ράβδοι συνδέονται στους κόμβους με σημειακή συγκόλληση.

Οι διαμήκεις ράβδοι του πλέγματος είναι ή απλές ράβδοι διαμέτρου μέχρι 16mm ή διπλές ράβδοι διαμέτρου μέχρι 12mm, η μία δίπλα στην άλλη και της ίδιας διαμέτρου. Οι εγκάρσιες ράβδοι είναι πάντα απλές.

Η απόσταση των ράβδων μεταξύ των μετρείται από τον άξονα τους και το μήκος του πλέγματος ορίζεται από το μέγιστο μήκος των διαμήκων ράβδων ενώ το πλάτος του από το μέγιστο μήκος των εγκάρσιων ράβδων.

Στις ζώνες επικάλυψης, η διατομή των ράβδων μπορεί να μειώνεται στο μισό της διατομής των υπολοίπων ράβδων του πλέγματος (πλέγματα οικονομικών παρυφών).

Τα δομικά πλέγματα διακρίνονται στους παρακάτω τύπους:

- **Πλέγματα καταλόγου:** πρόκειται για πλέγματα, στα οποία οι αποστάσεις των ράβδων, οι διάμετροι των ράβδων και οι διαστάσεις τους καθορίζονται στον πίνακα παραγγελίας από τον αγοραστή.



- **Τυποποιημένα πλέγματα:** πρόκειται για πλέγματα, στα οποία οι αποστάσεις των ράβδων, οι διαμέτροι των ράβδων και οι διαστάσεις τους καθορίζονται από τον κατασκευαστή.
- **Πλέγματα βάσει σχεδίου:** πρόκειται για πλέγματα μη τυποποιημένων διαστάσεων, των οποίων η διαμόρφωση καθορίζεται βάσει σχεδίου.

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι για τα συγκολλημένα δομικά πλέγματα από νευροχάλυβα είναι απαραίτητη η ένδειξη «συγκολλητά πλέγματα νευροχάλυβος» τόσο στον κατάλογο παραγγελίας όσο και στα σχέδια τοποθετήσεως.

Επίσης τα μη συγκολλημένα δομικά πλέγματα επιτρέπεται να κατασκευάζονται από ειδικευμένους τεχνίτες και μόνο από χάλυβα BSt 50/55 RK. Απαραίτητη είναι η ένδειξη «μη συγκολλημένα δομικά πλέγματα από νευροχάλυβα» τόσο στον πίνακα παραγγελίας όσο και στα σχέδια τοποθετήσεως.

### **3. Σφυρήλατος χάλυβας:**

Ο σφυρήλατος χάλυβας είναι ρευστοπαγής χάλυβας, ο οποίος έχει υποστεί περαιτέρω κατεργασία δια θλίψεως ή σφυρηλατήσεως. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή κυλίνδρων εφεδράνων και βλήτρων αρθρώσεων σε μεταλλικά κτήρια ή γέφυρες.

Στη κατηγορία αυτή ανήκει και ο βελτιωμένος χάλυβας C35 και ο χαρακτηρισμός του αναφέρεται στην περιεκτικότητα του άνθρακα που ανέρχεται στο 0,35% και στη βελτίωση του που συνίσταται σε σκλήρυνση και ανόπτηση.

#### **4. Χυτοχάλυβες:**

Πρόκειται για κράματα σιδήρου και άνθρακα, με περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 2%. Τη μορφή τους την παίρνουν χυνόμενοι σε τύπους από άμμο ή πυρίμαχο άργιλο ή άλλο πυρίμαχο υλικό. Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, διακρίνονται χυτοχάλυβες Siemens-Martin, Bessemer, χυτοχάλυβες ηλεκτρικής καμίνου καθώς επίσης και χυτοχάλυβες με τη μέθοδο της εμφυσήσεως οξυγόνου. Σύμφωνα με τα στοιχεία που περιέχονται στο κράμα διακρίνεται καθαρός χυτοχάλυβας, χωρίς προσμίξεις άλλων στοιχείων εκτός του άνθρακα, χυτοχάλυβας με μικρό ποσοστό προσμείξεων και χυτοχάλυβας με μεγάλο ποσοστό προσμείξεων. Οι διάφορες ιδιότητες του χυτοχάλυβα (ανθεκτικός σε μεγάλες θερμοκρασίες, αντιμαγνητικός ή μαγνητιζόμενος κ.λ.π) επιτυγχάνονται με την προσθήκη διαφόρων προσμείξεων. Τα περισσότερα είδη χυτοχάλυβα επιδέχονται συγκολλήσεις και για την επίτευξη καλύτερων μηχανικών ιδιοτήτων, οι καθαροί χυτοχάλυβες αλλά κυρίως οι χυτοχάλυβες με μικρό ποσοστό προσμείξεων βελτιώνονται δια πυρώσεως. Τα διάφορα είδη χυτοχάλυβα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που η παραγωγή απαιτεί χύτευση και δεν επαρκούν οι αντοχές του τεφρού χάλυβα ή του χάλυβα ανοπτήσεως.

#### **5. Ανοξειδωτοι χάλυβες :**

Γενικά οι ανοξειδωτοι χάλυβες περιέχουν χρώμιο σε ποσοστό 12% τουλάχιστον και χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα από την αντοχή τους σε διάβρωση. Πρόκειται κυρίως για χρώμιο-χάλυβες ή χρωμιο-νικελο-χάλυβες. Στους χάλυβες

αυτούς μπορούν να προστεθούν και άλλα στοιχεία για την επίτευξη συγκεκριμένων ιδιοτήτων. Οι ανοξειδωτοί χάλυβες διακρίνονται σε μαρτενσιτικούς, φερριτικούς και ωστενιτικούς. Ιδιαίτερα κατάλληλες για τις δομικές κατασκευές είναι οι ακόλουθες ποιότητες ανοξειδωτού χάλυβα:

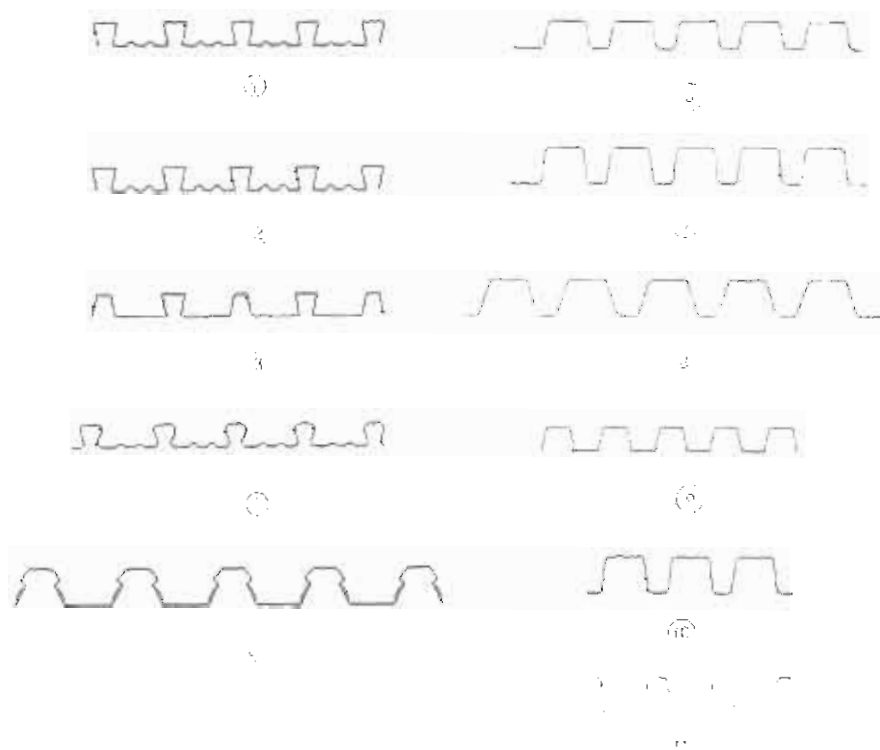
- **Υλικό 1.4401:** Η απόλυτη ανθεκτικότητα σε διάβρωση καθιστά το υλικό αυτό κατάλληλο για βιομηχανικά κτήρια με έντονα διαβρωτική ατμόσφαιρα ή για κατασκευές κοντά στη θάλασσα.
- **Υλικό 1.4301:** Ο χάλυβας αυτός είναι κατάλληλος για χρήσεις σε ατμόσφαιρα με κανονική διαβρωτική δράση. Επειδή έχει μικρή περιεκτικότητα άνθρακα, συγκολλείται αμέσως χωρίς ιδιαίτερη κατεργασία.
- **Υλικό 1.4300:** Ανοξειδωτο υλικό παρόμοιας συνθέσεως με το 1.4301
- **Υλικό 1.4571:** Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται για την κατασκευή αγκυριών ή τεχνιτών πλακών, καθώς και για την κατασκευή συνδέσεων προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το υλικό αυτό σταθεροποιούμενο με τιτάνιο, συγκολλάτε εύκολα και παρουσιάζει υψηλότερη αντοχή.
- **Υλικό 1.4016:** Το υλικό αυτό είναι καθαρός χρώμιο-χάλυβας και για το λόγο αυτό μαγνητίζεται εύκολα και έχει περιορισμένη αντοχή στη διάβρωση. Κατά συνέπεια είναι κατάλληλο για χρήσεις μόνο στο εσωτερικό των κτηρίων.

Γενικά οι κατασκευαστές προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος και η εταιρία μελέτης της προκατασκευής, συνιστούν τον ανοξειδωτο χάλυβα σαν το καταλληλότερο υλικό για την αγκύρωση και στερέωση των στοιχείων

επικαλύψεως προσόψεων κτηρίων και τη σύνδεση προκατασκευασμένων στοιχείων.

#### **6. Χαλυβδόφυλλα ή χαλύβδινα λεπτά φύλλα:**

Τα χρησιμοποιούμενα χαλυβδόφυλλα προέρχονται από εν ψυχρώ εξέλαση ταινιών – των λεγόμενων coils. Τα πάχη τους κυμαίνονται συνήθως από 0,5~2mm. Λόγω του πολύ μικρού τους πάχους τα φύλλα χρειάζονται ειδική επεξεργασία για την αποφυγή διάβρωσης. Η συνήθης επεξεργασία είναι η επιψευδαργύρωση, την οποία μπορεί να ακολουθήσει βαφή. Τα χαλύβδινα φύλλα είναι κατάλληλα και για εφυάλωση και επιμολύβδωση. Τα συνήθη ύψη χαλυβδοφύλλων είναι μικρά  $\leq 60\text{mm}$ . Μεγαλύτερα ύψη χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερα ανοίγματα. Τα φύλλα τοποθετούνται κάθετα στις δοκούς. Προς εξασφάλιση της διατμητικής συνεργασίας των δοκών με την πλάκα και επειδή οι δοκοί καλύπτονται από τα φύλλα, χρησιμοποιούνται διατμητικοί ήλοι, που συγκολλούνται δια μέσω των φύλλων στο άνω πέλμα της δοκού.



**Σχ.3 Χαλύβδινα λεπτά φύλλα**

### 3.6 Χαρακτηριστικά των χαλύβων

#### A. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ –ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Οι ονομαστικές διαμέτροι, οι ονομαστικές διατομές καθώς και η ονομαστική μάζα δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί σύμφωνα με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και 971.

**Πίνακας 3: Ονομαστική διάμετρος, ονομαστική διατομή και ονομαστική μάζα.**

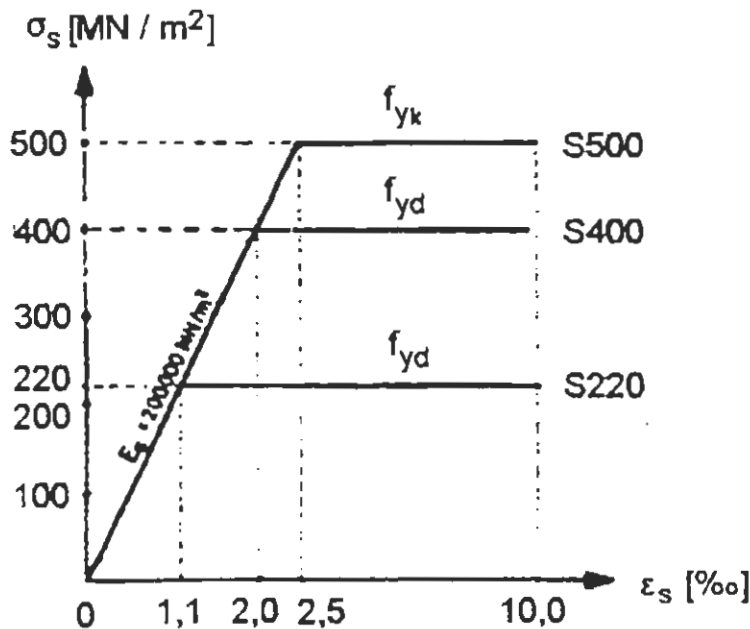
Ονομαστική διάμετρος d (mm)	Ονομαστική διατομή Ανοχές (%)			Ονομαστική μάζα (Kg/m)
	A(mm <sup>2</sup> )	Με νευρώσεις	Λείοι	
4	12,6	±10	±12	0,099
5	19,6	±10	±12	0,154
6	28,3	±10	±12	0,222
8	50,3	±8	±9	0,395
10	78,5	±8	±9	0,617
12	113	±8	±9	0,888
14	154	±6	±6	1,21
16	201	±6	±6	1,58
18	254	±6	±6	2,00
20	314	±6	±6	2,47
22	380	±5	±5	2,98
25	491	±5	±5	3,85
28	616	±5	±5	4,83
32	804	±5	±5	6,31

## **B. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 4: Μηχανικά χαρακτηριστικά χαλύβων κατά ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971.**

Μέγεθος	Κατηγορία				
	S220	S400	S500	S400s	S500s
Όριο διαρροής, $f_{yk}$ (Mpa)	220	400	500	400	500
Εφελκυστική αντοχής $f_y$ (Mpa)	340	500	550	440	550
Λόγος της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής, $f_y/f_y$	-	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$
Επιμήκυνση μετά τη θραύση, $\epsilon_s$ (%)	24	14	12	14	12



**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΑΛΥΒΩΝ**

Για το όριο διαρροής  $f_{yk}$  και την ανηγμένη παραμόρφωση μετά την θραύση  $\epsilon_5$  οι αναφερόμενες τιμές είναι χαρακτηριστικές με ποσοστημόριο  $p=95\%$ , ενώ για το λόγο  $f_t/f_y$  οι τιμές είναι οι ελάχιστες. Οι τιμές των  $f_y$  και  $f_t$  υπολογίζονται με βάση την πραγματική διατομή. Όταν δεν υπάρχει διακεκριμένο όριο διαρροής, θα προσδιορίζεται το συμβατικό όριο διαρροής  $f_{0,2}$ .

Οι τιμές που δίνονται στον παραπάνω πίνακα δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις αυξημένης πλαστιμότητας που θέτουν οι σύγχρονοι Κανονισμοί. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τέτοιες απαιτήσεις, υπό τις σύγχρονες αντιλήψεις. Από τη σύγκριση των πινάκων είναι εμφανής η ασυμφωνία που υπάρχει μεταξύ των σύγχρονων Κανονισμών και των Προτύπων ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971. Ο χρήστης μπορεί να απαιτεί από τους προμηθευτές, χάλυβες που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της μελέτης για αυξημένη πλαστιμότητα.



**Πίνακας 5: Ειδικές απαιτήσεις χαλύβων για λόγους αυξημένης πλαστιμότητας, κατά σύγχρονους Κανονισμούς.**

Μέγεθος	ENV 1988:1994		prEN 10080(έκδοση 1999) <sup>(1)</sup>	ΝΕΚΩΣ-95(υπό <sup>(2)</sup> αναθεώρηση 2000)
	Ευροκώδικας 8			
	Κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας Μ(μέση)	Κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας Υ(υψηλή)	Χάλυβας κατηγορίας C( $f_{yk}=450\text{N/mm}$ )	
$f_t/f_y$	$\geq 1, 15^{(3)}$	$\geq 1, 20^{(3)}$	$\geq 1, 15^{(4),(6)}$	$\geq 1, 10^{(4)}$
$\epsilon_{uk} (\%)$	$\leq 1, 35^{(3)}$	$\leq 1, 35^{(3)}$	$\leq 1, 35^{(4),(6)}$	$\leq 1, 35^{(4)}$
$F_{y,act}/f_{y,nom}$	$\geq 6, 0$	$\geq 9, 0$	$\geq 7, 5^{(4)}$	$\geq 7, 0^{(4)}$
	$\leq 1, 25$	$\leq 1, 20$	$\leq 1, 20^{(4),(6)}$	$\leq 1, 30^{(4)}$

- (1) Επί των τιμών αυτών υπάρχει η σύμφωνη γνώμη της Επιτροπής του Ευροκώδικα 8
- (2) Οι τιμές αυτές θα μπορούσαν να θεωρηθούν απαιτητές στη μεταβατική περίοδο, μέχρι τη μετατροπή του ENV 1998 (Ευροκώδικας 8) ή του prEN10080 σε Πρότυπα EN
- (3) Μέσες τιμές
- (4) Χαρακτηριστικές τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστημόριο  $\rho=90\%$  εκτιμώμενο με πιθανότητα  $\alpha=90\%$
- (5) Χαρακτηριστική τιμή που αντιστοιχεί σε ποσοστημόριο  $\rho=95\%$  εκτιμώμενο με πιθανότητα  $\alpha=90\%$
- (6) Οι τιμές των  $f_y$ ,  $f_{y,act}$ ,  $f_t$  υπολογίζονται με βάση την ονομαστική διατομή

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαία η παράθεση των ορισμών της ολκιμότητας και της πλαστιμότητας για τη καλύτερη κατανόηση των παραπάνω πινάκων.

**Ολκιμότητα:** ο όρος χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη σχέση της περιοχής των πλαστικών παραμορφώσεων ως προς την περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων μιας ράβδου οπλισμού που δοκιμάζεται σε εφελκυσμό. Συνήθως μετριέται με το λόγο της ανηγμένης παραμόρφωσης στο μέγιστο φορτίο προς την παραμόρφωση διαρροής.

**Πλαστιμότητα:** είναι η ικανότητα ενός φορέα ή μιας διατομής ή μιας περιοχής από οπλισμένο σκυρόδεμα να αποκρίνεται με μεγάλες μετελαστικές παραμορφώσεις, χωρίς σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητας.

Η ολκιμότητα είναι ιδιότητα του υλικού, ενώ η πλαστιμότητα είναι ιδιότητα ενός φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ολκιμότητα του χάλυβα είναι μια από τις προϋποθέσεις για να αναπτύξει πλαστιμότητα ένα στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πολλές φορές για τους χάλυβες οπλισμού, αντί του όρου ολκιμότητα χρησιμοποιείται καταχρηστικώς και ο όρος πλαστιμότητα.

### **Μέτρο ελαστικότητας, E**

Στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος η τιμή που λαμβάνεται υπόψη είναι 200 Gpa.

### **Λόγος Poisson, $\nu$**

Για τις πρακτικές εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιείται η τιμή 0,30.

### **Θερμική αγωγιμότητα**

Η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα στους 20<sup>0</sup> C μπορεί να ληφθεί στους υπολογισμούς ίση με 51,9 W/Mk.

### **Συντελεστής γραμμικής διαστολής**

Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του χάλυβα στο διάστημα από 0<sup>0</sup>C έως 100<sup>0</sup>C μπορεί να ληφθεί στους υπολογισμούς ίσος με  $10 \cdot 10^{-6}$  <sup>0</sup>C.

### **Ειδική ( ηλεκτρική ) αντίσταση**

Η ειδική αντίσταση του χάλυβα στους 20<sup>0</sup>C κυμαίνεται από 15,9 μΩcm έως 16,3Ωcm

### **Πυκνότητα χάλυβα**

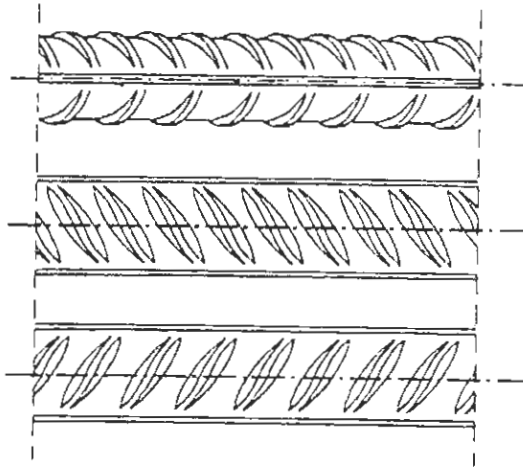
Η πυκνότητα του χάλυβα μπορεί να ληφθεί στους υπολογισμούς ίση με 7,85g/cm<sup>3</sup>.

## **4.1 Σήμανση για την αναγνώριση της κατηγορίας**

Οι χάλυβες με λεία επιφάνεια σημαίνονται με τη χρήση κάποιου χρώματος που συμφωνείται ανάμεσα στον προμηθευτή και τον αγοραστή, ώστε να διακρίνεται σαφώς η κατηγορία του προϊόντος. Η σήμανση των λείων χαλύβων με τη χρήση χρώματος είναι υποχρεωτική όταν στον ίδιο χώρο (αποθήκες παραγωγού, επιχειρήσεις διάθεσης, επιχειρήσεις διαμόρφωσης και εργοτάξια) διακινούνται περισσότερες της μιας κατηγορίες λείων χαλύβων. Στα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971 δεν αναφέρεται συγκεκριμένος τρόπος σήμανσης. Στον Ευρωπαϊκό χώρο, τις τελευταίες δεκαετίες, έχει επικρατήσει η σήμανση που ορίζεται από τα Πρότυπα EU 80-69, EU 80-85 και ISO 6935-2, χωρίς να αποκλείονται και άλλοι τρόποι σήμανσης.

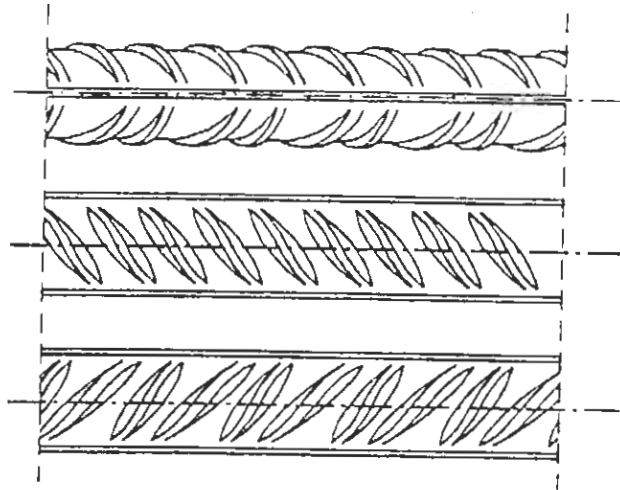
Παρακάτω δίνεται η μορφή των νευρώσεων ανά κατηγορία σύμφωνα με τα Πρότυπα EU 80-69, EU 80-85 και ISO 6935-2:

α) Οι ράβδοι χαλύβων κατηγορίας S400s φέρουν στην επιφάνειά τους δύο σειρές παράλληλων πλάγιων νευρώσεων αντίθετης φοράς και διαφορετικής απόστασης στην κάθε σειρά, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.



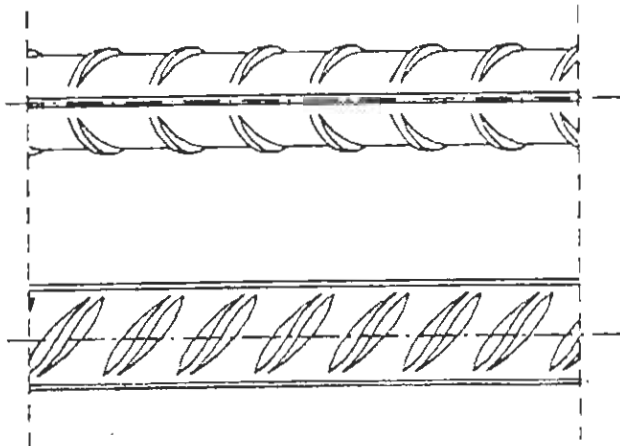
**Σχ.4: Μορφή νευρώσεων χάλυβα κατηγορίας S400s**

β) Οι ράβδοι χαλύβων κατηγορίας S500s φέρουν στην επιφάνειά τους δύο σειρές πλάγιων νευρώσεων αντίθετης φοράς, εκ των οποίων οι νευρώσεις της μιας σειράς είναι παράλληλες μεταξύ τους, ενώ της άλλης σειράς είναι με εναλλασσόμενες γωνίες κλίσης ως προς τον άξονα της ράβδου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.



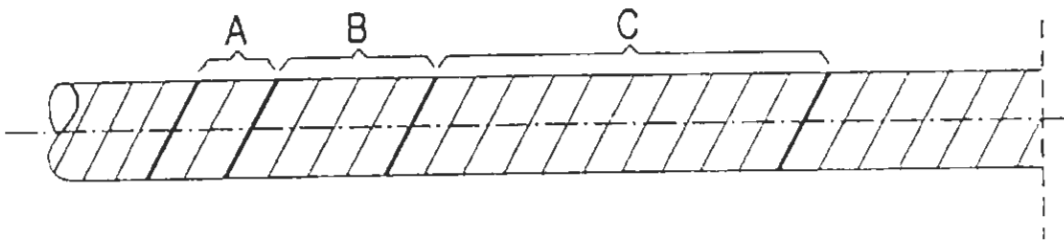
**Σχ.5: Μορφή νευρώσεων χάλυβα κατηγορίας S500s**

γ) Οι ράβδοι χαλύβων κατηγορίας S400 και S500 φέρουν στην επιφάνειά τους δύο σειρές παράλληλων πλάγιων νευρώσεων, αντίθετης φοράς και ίσων αποστάσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.

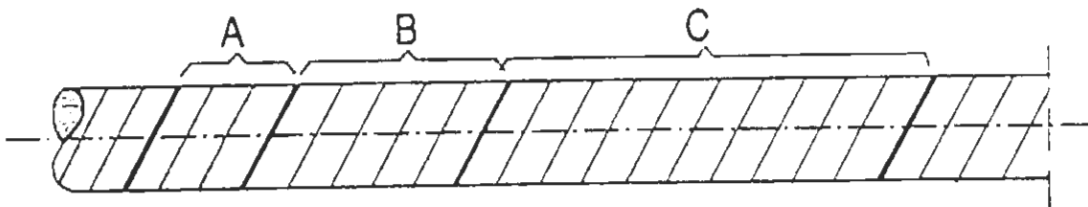


**Σχ.6: Μορφή νευρώσεων χαλύβων κατηγορίας S400 και S500**

Η διάκριση της κατηγορίας S400 από την κατηγορία S500 γίνεται με το διαφορετικό τρόπο συμβολισμού της έναρξης της σήμανσης (πεδίο A) όπως φαίνεται και στα Σχήματα 7 και 8. Για την κατηγορία S400 ο τρόπος συμβολισμού της έναρξης της σήμανσης είναι μία κανονική πλάγια νεύρωση ανάμεσα σε δύο ενισχυμένες, ενώ για την κατηγορία S500 δύο κανονικές πλάγιες νευρώσεις ανάμεσα σε δύο ενισχυμένες.



**Σχ.7: Χάλυβας S400**(πεδίο A: έναρξη σήμανσης, πεδίο B: χώρα παραγωγής, πεδίο C: μονάδα παραγωγής )



**Σχ.8: Χάλυβας S500** (πεδίο A: έναρξη σήμανσης, πεδίο B: χώρα παραγωγής, πεδίο C: μονάδα παραγωγής)

## **5.1 Σήμανση για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής**

Για τις χώρες του Πίνακα 6, η αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής ενός χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος γίνεται μέσω ενός αριθμητικού συστήματος κανονικών πλάγιων νευρώσεων ανάμεσα σε ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις που παρουσιάζονται επανολαμβανόμενες (ανά 1,0 m έως 1,5 m περίπου) στη μία σειρά των παράλληλων πλάγιων νευρώσεων της ράβδου.

Το σύμβολο που δηλώνει την έναρξη της σήμανσης του προϊόντος (πεδίο A, βλ. Σχ.9) καθώς και την κατεύθυνση της ανάγνωσης είναι για μεν τις κατηγορίες S400, S400s και S500s μία κανονική πλάγια νευρώση ανάμεσα σε δύο ενισχυμένες, ενώ για την κατηγορία S500 δύο κανονικές πλάγιες νευρώσεις ανάμεσα σε δύο ενισχυμένες.

Εναλλακτικά, για την κατηγορία S500s έχει επικρατήσει η έναρξη (πεδίο A) να υποδηλώνεται με διαδοχικές ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις ( βλ. Σχ . 12) όπως καθορίζεται από το DIN 488/84 και το ENV10080/95.

Μετά την έναρξη ακολουθεί η σήμανση της χώρας παραγωγής (πεδίο B βλ. Σχ. 9) και της μονάδας παραγωγής του χάλυβα (πεδίο C βλ. Σχ.9) που γίνεται μέσω δύο αριθμών που συμβολίζονται από κανονικές πλάγιες νευρώσεις ανάμεσα σε ενισχυμένες.



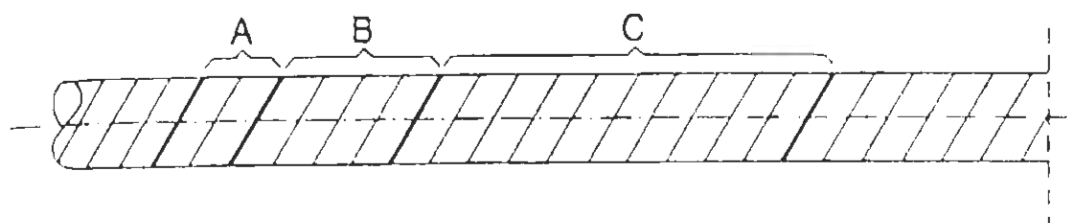
Ο πρώτος αριθμός, από 1 έως 8, δηλώνει τη χώρα παραγωγής (βλ. ΠΙΝΑΚΑΣ 6). Ο δεύτερος αριθμός δηλώνει τη μονάδα παραγωγής. Εάν ο αριθμός που δηλώνει τη μονάδα παραγωγής είναι διψήφιος (τα πολλαπλάσια του 10 συνίσταται να αποφεύγονται) τότε συμβολίζεται με δύο ομάδες πλάγιων νευρώσεων ανάμεσα σε ενισχυμένες, εκ των οποίων η πρώτη ομάδα δίνει το πρώτο ψηφίο και η δεύτερη το δεύτερο ψηφίο του κωδικού του εργοστασίου, όπως φαίνεται και στα Σχ. 9 έως 12.

Ο αριθμός των νευρώσεων που συμβολίζει τη χώρα παραγωγής είναι αυτός που ορίζεται από το Πρότυπο EU80-85 ( βλ. Πίνακα 6).

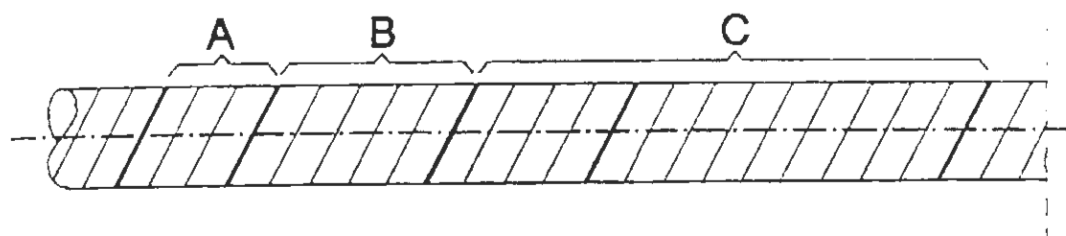
Για χώρες με τον ίδιο αριθμό (πεδίο Β) οι μονάδες παραγωγής πρέπει να έχουν διαφορετικό αριθμό ( πεδίο C).

#### **Πίνακας 6: Συμβολισμός χώρας παραγωγής κατά EU 80 –85.**

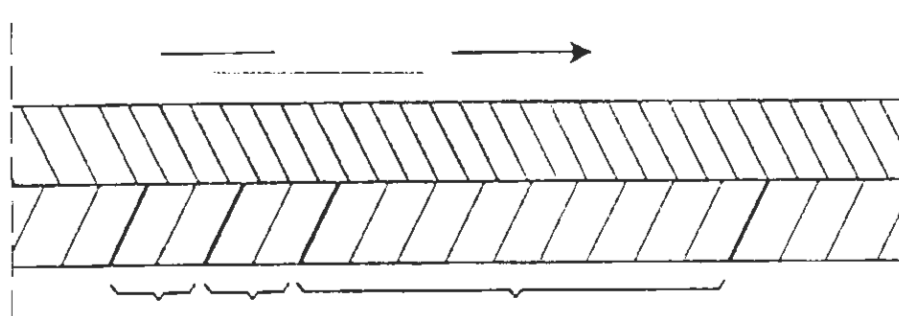
<b>Χώρα</b>	<b>Αριθμός κανονικών νευρώσεων μεταξύ της έναρξης και της επόμενης ενισχυμένης νευρώσης</b>
Γερμανία	1
Βέλγιο, Ολλανδία, Λουξεμβούργο	2
Γαλλία	3
Ιταλία	4
Η.Β., Ιρλανδία	5
Δανία, Φινλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	6
Πορτογαλλία, Ισπανία	7
Ελλάδα, (Τουρκία )	8



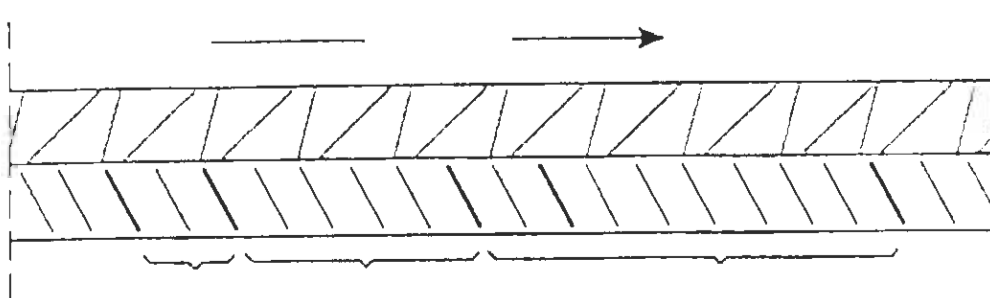
**Σχ.9: Χάλυβας S400** (Χώρα παραγωγής Γαλλία- Μονάδα παραγωγής υπ' αριθ.9)



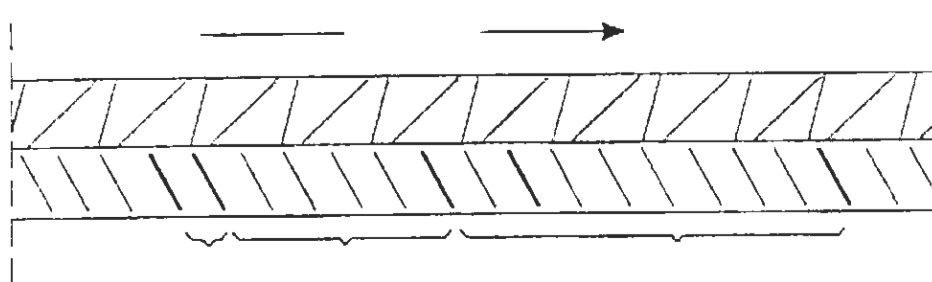
**Σχ.10: Χάλυβας S500**(Χώρα παραγωγής Ιταλία- Μονάδα παραγωγής υπ' αριθ.38)



**Σχ.11: Χάλυβας S400s**(Χώρα παραγωγής Γερμανία –Μονάδα παραγωγής υπ. αριθ. 8)



(α) Συμβολισμός πεδίου Α: μία κανονική πλάγια νεύρωση ανάμεσα σε δύο ενισχυμένες



(β) Εναλλακτικός συμβολισμός πεδίου Α: δύο διαδοχικές ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις

Σχ.12: Χάλυβας S500s (Χώρα παραγωγής Ιταλία-Μονάδα παραγωγής υπ' αριθ.16)

**Πίνακας 7: Κατηγορίες Χ.Ο.Σ. σύμφωνα με διατάξεις του ΦΕΚ 160Α-1954**

Κατηγορία	Μορφή επιφάνειας	Τρόπος παραγωγής	min $f_y$ (MPa)	min $f_t$ (MPa)	$\epsilon_{10}$ %
I	Λ	Θ.Ε.-Χ.	220	340-500	18
IIIα	Λ ή Ν	Θ.Ε.-Χ.	420 ή 400 <sup>(1)</sup>	500	18
IIIβ	Ν	Ψ.Κ.	420 ή 400 <sup>(1)</sup>	500	8
IVα	Λ ή Ν	Θ.Ε.-Χ.	500	-	16
IVβ	Ν	Ψ.Κ.	500	-	8

Σημ.: Λ = Λείες ράβδοι, Ν = Ράβδοι με νευρώσεις, Θ.Ε.-Χ. = Θερμή έλαση, Ψ.Κ.(Ψ.Κ.-Ο. ή Ψ.Κ.-Σ.) = Ψυχρή κατεργασία.

<sup>(1)</sup>  $f_y$  min 420 MPa για d έως 18 mm και 400 MPa για d > 18 mm.

**Πίνακας 8: Ταυτοποίηση χώρας παραγωγής σύμφωνα με EU 80-69**

ΧΩΡΑ	Αριθμός κανονικών νευρώσεων μεταξύ αρχής και επόμενης ενισχυμένης νευρώσης
Γερμανία	1
Βέλγιο, Λουξεμβούργο, Ολλανδία.	2
Γαλλία	3
Ιταλία	4

**Πίνακας 9: Ταυτοποίηση χώρας παραγωγής σύμφωνα με EU 80-85**

ΧΩΡΑ	Αριθμός κανονικών νευρώσεων μεταξύ αρχής και επόμενης ενισχυμένης νευρώσης
Γερμανία	1
Βέλγιο, Λουξεμβούργο, Ολλανδία.	2
Γαλλία	3
Ιταλία	4
Η.Β., Ιρλανδία	5
Δανία, Φινλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	6
Πορτογαλία, Ισπανία	7
Ελλάδα, (Τουρκία)	8

**Πίνακας 10: Τυπικές χημικές συνθέσεις, τρόποι παραγωγής και περίοδοι χρήσης διάφορων κατηγοριών Χ.Ο.Σ.**

Κατηγορία χάλυβα	Τυπική χημική σύνθεση				Τρόπος παραγωγής	Περίοδος χρήσης (Δεκαετίες)
	C%	Mn%	Si%	V%		
St I ή S 220	0.08-0.12	≈0.50	≈0.10	-	Θ.Ε.-Χ.	έως '60
St III ή S 400	0.30-0.40	0.30-1.00	0.20-0.30	-	Θ.Ε.-Χ.	'60 έως '90
St III ή S 400s	≈0.15	0.60-1.00	0.15-0.30	-	Θ.Ε.-Θ.	αργές '90
St III ελικ/βασ	0.10-0.15	≈0.50	≈0.10	-	Θ.Ε. & Ψ.Κ.	'60 & '70
St IV ή S 500	0.35-0.40	1.00-1.20	0.20-0.30	0.02-0.03	Θ.Ε.-Χ.	αργές '90
St IV ή S 500	0.40-0.45	≈1.20	0.20-0.30	-	Θ.Ε.-Χ.	αργές '90
St IV ή S 500s	0.18-0.20	1.00-1.20	0.20-0.30	0.04-0.09	Θ.Ε.-Χ.	αργές '90
St IV ή S 500s	0.15-0.20	0.60-1.00	0.15-0.30	-	Θ.Ε.-Θ.	αργές '90

Σημ.: Θ.Ε.-Χ. Θερμή έλαση

Θ.Ε.-Θ. Θερμή έλαση με εν σειρά θερμική κατεργασία

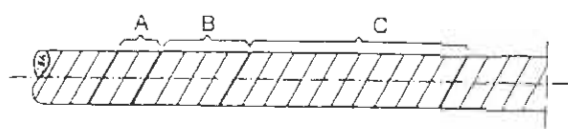
Ψ.Κ. (Ψ.Κ.-Ο. ή Ψ.Κ.-Σ.) Ψυχρή κατεργασία (με ολκή ή με στρέψη)

**Πίνακας 11: Κωδικοί αριθμοί σήμανσης Ελληνικών και ξένων βιομηχανιών**

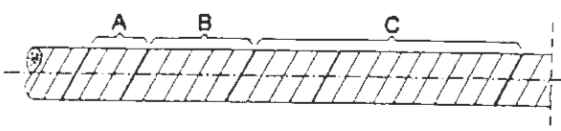
α/α	Κωδικοί αριθμοί	Χώρα παραγωγής	Βιομηχανία	Παρατηρήσεις
1	8 - 13	Ελλάδα	ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ	
2	8 - 14	Ελλάδα	ΣΙΔΕΝΟΡ	
3	8 - 15	Ελλάδα	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ	
4	8 - 18	Ελλάδα	ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	
5	8 - 24	Ελλάδα	ΣΙΔΕΝΟΡ (SOVEL)	
6	8 - 6	Ελλάδα	ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΧΑΛΥΨ	Δεν παράγει πλέον
7	4 - 5	Ιταλία	FERALPI SIDERURGICA	
8	4 - 7	Ιταλία	FERRIERE NORD	
9	4 - 9	Ιταλία	OFFICINE E FON. GALTAROSSA	
10	4 - 15	Ιταλία	LEALI LUIGI	
11	4 - 26	Ιταλία	ALFA ACCIAI	
12	5 - 4	Ην.Βασίλειο	ALPHA STEEL	
13	1 - 9	Γερμανία	HES	
14	8 - 7	Τουρκία	ICDAS	
15	-	Τουρκία	COLAKOGLU	CM *
16	-	Τουρκία	ICDAS	ICTR *
17	-	Τουρκία	HABAS	H *
18	8 - 17	Τουρκία	EKINCILER DEMIR VE CELIK SANAYI	
19	-	Μολδαβία	-	MOLDOVA *
20	1 - 1**	Ουκρανία	KRIVOROZHSTAL	

\* Υπάρχουν ανάλογα τα στοιχεία αυτά πάνω στη ραβδό.

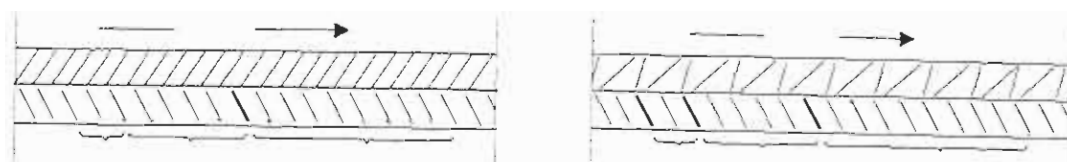
\*\* Αντί για ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις υπάρχουν κωκίδες πάνω σε κανονικού πάχους νευρώσεις.



Σχήμα 1 Χάλυβας κατηγορίας FeB40 EU 80-69



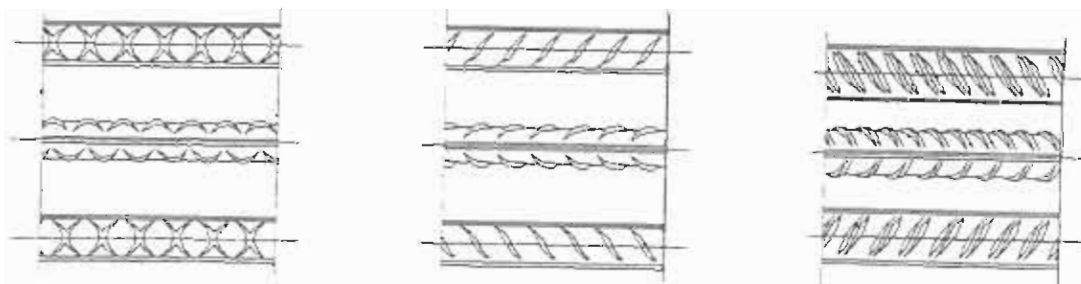
Σχήμα 2 Χάλυβας κατηγορίας FeB50 EU 80-69



Σχήμα 3 Χάλυβες κατηγορίας FeB400 και FeB500 σύμφωνα με EU 80-85



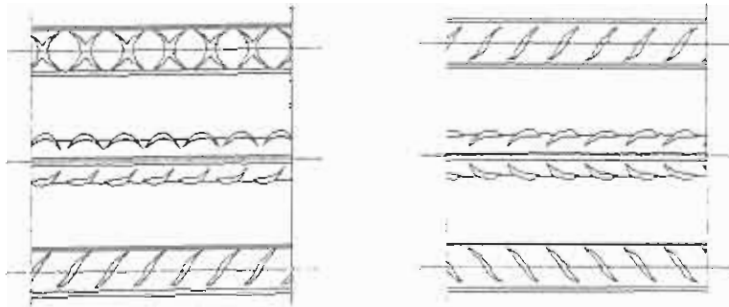
Σχήμα 4 Χάλυβες κατηγορίας BSt 420s και BSt 500s κατά DIN 488-84



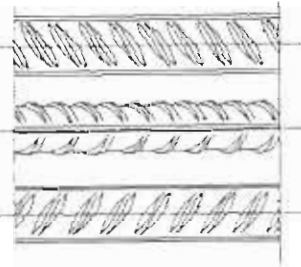
Σχήμα 5 Σημάνσεις χάλυβα κατηγορίας S 400 ή StIII



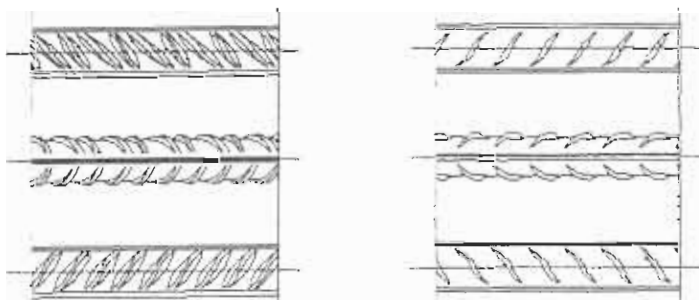
Σχήμα 6 Ελικοχάλυβας κατηγορίας S 400 ή St III



Σχήμα 7 Σημάνσεις χάλυβα S 500 ή St IV



Σχήμα 8 Σήμανση χάλυβα S 400s



Σχήμα 9 Σημάνσεις χάλυβα κατηγορίας S 500s ή St IV

## **6.1 Συγκολλησιμότητα**

Συγκολλησιμότητα είναι η ικανότητα ενός μετάλλου να συγκολλιέται στις συνθήκες του έργου, έτσι ώστε η προκύπτουσα σύνδεση να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Η συγκολλησιμότητα είναι σύνθετη ιδιότητα η οποία αναφέρεται στη δυνατότητα συγκόλλησης με την υπάρχουσα τεχνολογία, και επηρεάζεται από παράγοντες όπως :

- Η μεταλλουργία του μετάλλου βάσης και του μετάλλου προσθήκης
- Η τεχνική της συγκόλλησης
- Ο σχεδιασμός της σύνδεσης
- Οι ενδεχόμενες θερμικές κατεργασίες πριν και μετά τη συγκόλληση
- Άλλοι πιο εξειδικευμένοι παράγοντες (ενδεχομένως)

Οι χάλυβες διακρίνονται ως προς τη συγκολλησιμότητά τους σε:

- Συγκολλήσιμους, η συγκολλησιμότητα των οποίων εξασφαλίζεται με τη χημική σύσταση
- Συγκολλήσιμους υπό προϋποθέσεις, η συγκολλησιμότητα των οποίων ελέγχεται με ειδικές δοκιμές.



## 7.1 Συγκολλησιμοι χάλυβες

Οι χάλυβες θεωρούνται συγκολλησιμοι, όταν η μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα C, θείο S, φώσφορο P, άζωτο N, καθώς και η μέγιστη ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα  $C_{eq}$  δεν υπερβαίνουν τις τιμές που δίνονται στο Πίνακα 12.

Η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα  $C_{eq}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{eq} = C + (Mn/6) + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15,$$

Όπου τα σύμβολα των χημικών στοιχείων δείχνουν την επί τοις εκατό περιεκτικότητα κατά βάρος (% κ.β) όπως προσδιορίζεται από την χημική ανάλυση.

**Πίνακας 12: Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε άνθρακα, θείο, φώσφορο, άζωτο καθώς και μέγιστη ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα (% κ.β.) κατά ΕΛΟΤ 971.**

	Άνθρακας C	Θείο S	Φώσφορος P	Άζωτο N	Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C
Ανάλυση ρευστού χάλυβα κατά τη χύτευση	0,22	0,05	0,05	0,012	0,5
Ανάλυση τελικού προϊόντος	0,24	0,055	0,055	0,013	0,53

**Πίνακας 13: Μέθοδοι συγκόλλησης και τύποι σύνδεσης για τους συγκολλησίμους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατά ΕΛΟΤ 971.**

Τύποι σύνδεσης	Μέθοδοι συγκόλλησης			
	Σημειακή με ηλεκτρική αντίσταση	Ημιαυτόματη σε προστατευτική ατμόσφαιρα CO <sub>2</sub> /Ar	Ηλεκτροσυγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια	Αυτογενής συγκόλληση
Σταυρωτά	+	+	+	
Με παράθεση		+	+	
Άκρη με άκρη (μετωπικά )		+	+	+

Σε κάθε συγκόλληση, δημιουργείται ένας «θερμικός κύκλος», γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Το μέταλλο θερμαίνεται με ορισμένο ρυθμό, παραμένει σε κάποια μέγιστη θερμοκρασία για ορισμένο χρόνο και μετά αποψύχεται μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος με κάποιον άλλο ρυθμό.

Στη διάρκεια του θερμικού κύκλου μπορεί να αναπτυχθούν τάσεις και να εκδηλωθούν παραμορφώσεις. Επίσης μπορεί να λάβουν χώρα μεταλλουργικές και χημικές αλλαγές που οδηγούν σε μεταβολή των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων στη ζώνη τήξης και στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη.

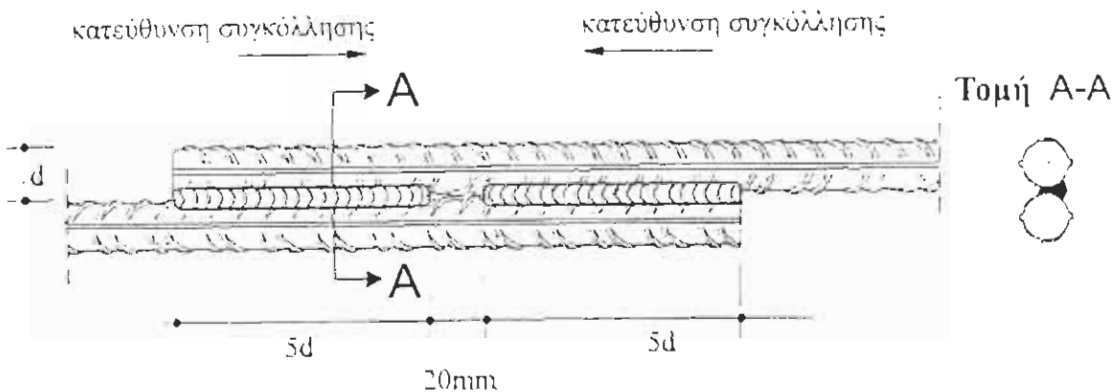
Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της συγκόλλησης είναι:

- Η προστατευτική ατμόσφαιρα της συγκόλλησης
- Το μέταλλο γόμωσης (προσθήκης)
- Το συλλίπασμα δηλ. η επένδυση του ηλεκτροδίου
- Η μέθοδος συγκόλλησης (σχεδίαση και εκτέλεση)

- Η θερμοκρασία της συγκόλλησης (προθέρμανση, θερμοκρασία μεταξύ πάσσων, μεταθέρμανση)
- Η τεχνική της συγκόλλησης (εξοπλισμός)
- Η ικανότητα του συγκολλητή .

## 7.2 Χάλυβες συγκολλησιμοι υπό προϋποθέσεις

Οι χάλυβες που δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις, που προαναφέρθηκαν, ελέγχονται ως προς την συγκολλησιμότητά τους με μηχανικές δοκιμές σε εφελκυσμό και κάμψη και επιτρέπεται να συνδέονται μόνον κατά παράθεση. Για κάθε μια δοκιμή κατασκευάζεται σε θερμοκρασία δωματίου ένα συγκολλημένο δοκίμιο ανά παρτίδα. Δεν επιτρέπεται τα δοκίμια αυτά να υποστούν καμιά θερμική κατεργασία, ούτε πριν, ούτε μετά τη συγκόλλησή τους. Η συγκόλληση γίνεται από τη μία πλευρά των ράβδων με δύο ραφές συγκόλλησης η κάθε μία των οποίων είναι μήκους  $5d$  (όπου  $d$  είναι η ονομαστική διάμετρος των ράβδων). Οι ραφές της συγκόλλησης ξεκινούν από έξω προς τα μέσα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να απομένει ανάμεσα τις απολήξεις ένα διάκενο  $20\text{ mm}$  περίπου. (Σχ. 13)



**Σχ.13: Τρόπος συγκόλλησης δοκιμίων για τον έλεγχο της συγκολλησιμότητας**

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται κατά τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου πρέπει να είναι με βασική επένδυση ή με όξινη επένδυση ρουτιλίου ( $\text{TiO}_2$ )

και τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους να είναι ανάλογα με εκείνα του μετάλλου βάσης. Η διάμετρος των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι σύμφωνη με τον Πίνακα 14.

**Πίνακας 14: Διάμετροι ηλεκτροδίων**

<b>Ονομαστική διάμετρος ράβδου</b>	<b>Διάμετρος ηλεκτροδίων</b>
5 –10 mm	2 mm
12 –14 mm	2,5 mm
16 –20 mm	3,25 mm
>20 mm	4 –5 mm

## 7.3 Μηχανικές δοκιμές για τον έλεγχο της συγκολλησιμότητας

Οι μηχανικές δοκιμές για τον έλεγχο της συγκολλησιμότητας των χαλύβων που δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις, που παραναφέρθηκαν είναι η δοκιμή εφελκυσμού και η δοκιμή κάμψης.

### **A) Δοκιμή εφελκυσμού**

Η δοκιμή σε εφελκυσμό συγκολλημένων δοκιμίων κατά παράθεση (βλ. Σχ. 13) γίνεται αναπόφευκτα κατά έκκεντρο τρόπο. Κατά τη δοκιμή εφελκυσμού συγκολλημένου δοκιμίου ελέγχεται μόνον η εφελκυστική του αντοχή, η οποία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 90% της αντίστοιχης εφελκυστικής αντοχής, που έχει προσδιορισθεί σε ασυγκόλλητο δοκίμιο από το ίδιο δείγμα. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το ασυγκόλλητο δοκίμιο να έχει εφελκυστική αντοχή μεγαλύτερη ή ίση με τη χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής της ποιότητάς του.

### **B) Δοκιμή κάμψης**

Η δοκιμή σε κάμψη συγκολλημένων δοκιμίων θα γίνεται κατά 90 μοίρες και γύρω από τα κυλινδρικά στελέχη, η διάμετρος των οποίων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η πλευρά που έχει τις ραφές της συγκόλλησης θα πρέπει να βρίσκεται στη ζώνη εφελκυσμού και το ενδιάμεσο διάκενο στο κέντρο της αναδιπλούμενης ζώνης.

Κατά τη δοκιμή κάμψης συγκολλημένων δοκιμίων δεν πρέπει να παρατηρηθεί με « γυμνό μάτι» καμία ρωγμή στο μέταλλο βάσης.

Αν εμφανισθεί ρωγμή στην επιφάνεια του μετάλλου συγκόλλησης (ραφή), χωρίς να επεκταθεί στα μέταλλο βάσης, τότε το αποτέλεσμα της δοκιμής γίνεται αποδεκτό.

**Πίνακας 15: Διάμετρος κυλινδρικού στελέχους για τη δοκιμή κάμψης συγκολλημένων δοκιμίων.**

Κατηγορία χάλυβα	Διάμετρος κυλινδρικού στελέχους για διάμετρο ράβδου $d$ (mm)			
	$d \leq 12$	$12 < d \leq 18$	$18 < d \leq 25$	$25 < d \leq 32$
<b>S220</b>	2d	2d	4d	4d
<b>S400</b>	5d	6d	8d	10d
<b>S500</b>	7d	8d	10d	12d

## **8.1 Η κατάσταση του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα**

Το σκυρόδεμα παρέχει στον χάλυβα προστασία έναντι διαβρώσεως, την ονομαζόμενη, παθητική προστασία. Αιτία είναι η αλκαλικότητα του σκυροδέματος εξαιτίας του υδροξειδίου του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  υποπροϊόντος της ενυδατώσεως του τσιμέντου. Έτσι, για μεγάλες τιμές του pH (από 9 έως 12,8) σχηματίζεται στην επιφάνεια του μετάλλου ένα πολύ λεπτό και σφικτά προσκολλημένο στρώμα οξειδίων του σιδήρου. Το στρώμα οξειδίων σχηματίζεται μόνο σε καθαρή επιφάνεια του μετάλλου. Όσο υπάρχει το προστατευτικό στρώμα, δεν συμβαίνει διάβρωση του χάλυβα, ακόμα και αν υπάρχουν οι παράγοντες οι οποίοι απαιτούνται για την εξέλιξη του φαινομένου της διαβρώσεως. Είναι επίσης δυνατό να έχει καταστραφεί το στρώμα οξειδίων, αλλά ο χάλυβας να μην διαβρώνεται επειδή οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν είναι "ευνοϊκές" π.χ. σε σκυρόδεμα βυθισμένο σε νερό (λόγω ανεπάρκειας οξυγόνου) ή σε σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων (λόγω ελλείψεως υγρασίας).

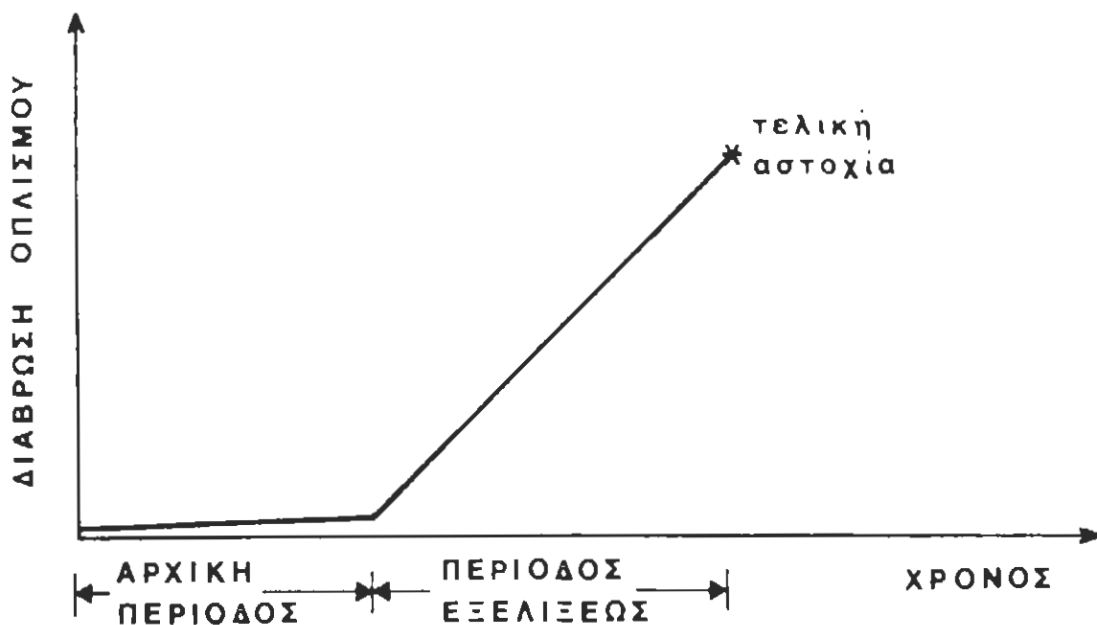
Διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει σε διάφορες περιπτώσεις:

- Το σκυρόδεμα είναι κακής ποιότητας και παύει να παρέχει παθητική προστασία στον χάλυβα π.χ. η διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι μεγάλη ώστε να επιτρέπει την διείσδυση χλωριόντων.



- Το περιβάλλον δεν ήταν το αναμενόμενο ή άλλαξε κατά τη διάρκεια χρήσεως της κατασκευής, π.χ. οι χώροι έχουν αυξημένοι υγρασία ή οι ξηρές συνθήκες μεταβλήθηκαν ξαφνικά σε υγρές, όπως συμβαίνει σε κουζίνες.
- Ο χάλυβας έρχεται σε επαφή με υλικά τα οποία δεν παρουσιάζουν αλκαλικότητα όπως π.χ. έδαφος, ξύλο, νερό, υγρομονωτικά υλικά κ.λ.π. Τα υλικά αυτά είναι πιθανόν να είναι μέρος της κατασκευής ή να έρθουν σε επαφή με τον χάλυβα μετά από τυχόν ρηγμάτωση του σκυροδέματος.
- Ο χάλυβας έχει κατασκευαστικές ατέλειες ή είναι εξαιρετικά ευαίσθητος ή έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα.

Για τον καθορισμό της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πότε θα εμφανιστεί η διάβρωση του χάλυβα, ποιες παράμετροι επηρεάζουν τη διαδικασία διάβρωσης και με ποιον τρόπο. Ο K. Tuutti, χωρίζει τη διάρκεια ζωής σε 2 περιόδους, την αρχική περίοδο ( $t_0$ ) και την περίοδο εξέλιξης ( $t_1$ ).



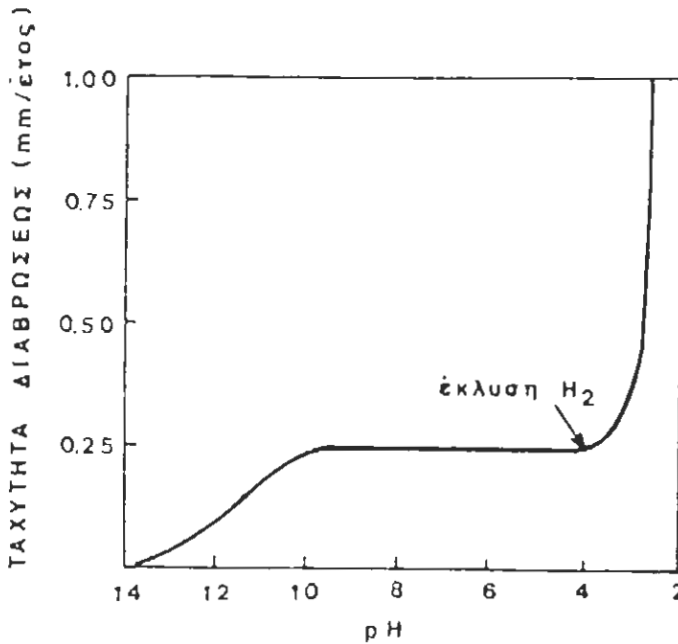
**Σχ. 14:Εξέλιξη της διαβρώσεως του χάλυβα**

Κατά την αρχική περίοδο ( $t_0$ ) συμβαίνουν εκείνες οι διαδικασίες οι οποίες καταστρέφουν την παθητική προστασία του χάλυβα (π.χ. ενανθράκωση του σκυροδέματος, διείσδυση χλωριόντων στο σκυρόδεμα κ.λ.π.). Κατά την δεύτερη περίοδο εξελίξεως προάγεται η διαδικασία διαβρώσεως με την παρουσία επαρκών ποσοτήτων οξυγόνου και υγρασίας, μέχρις ότου επέλθει η "τελική αστοχία". Ο τρόπος με τον οποίο διαβρώνεται ο χάλυβας ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με την αιτία που προκαλεί τη διάβρωση. Αν θέλουμε να κατατάξουμε τις μορφές διαβρώσεως σε κατηγορίες, πρέπει να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- **Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση.**

Χαρακτηριστικό της γενικής διάβρωσης είναι ότι η επιφάνεια του μετάλλου καλύπτεται σχεδόν ομοιόμορφα από τα προϊόντα της διαβρώσεως. Η

γενική διάβρωση συμβαίνει όταν η αλκαλικότητα του σκυροδέματος έχει χαθεί σε ευρεία περιοχή. Τότε το προστατευτικό στρώμα οξειδίων θα καταστραφεί και θα αρχίσει η διάβρωση.



**Σχ.15: Επίδραση της τιμής του pH στην ταχύτητα διαβρώσεως σιδήρου σε αεριζόμενο μαλακό νερό σε θερμοκρασία δωματίου.**

- **Τοπική διάβρωση**

α) Διάβρωση κατά βελονισμό (pitting)

Η διάβρωση κατά βελονισμό οφείλεται αποκλειστικά στην επίδραση χλωριόντων. Τα ιόντα χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) μπορούν να βρεθούν στο σκυρόδεμα είτε εξ αρχής με την παρασκευή του σκυροδέματος είτε να διεισδύσουν από το περιβάλλον αργότερα.

β) Μικρορρηγματώδης διάβρωση (crevice)

Η μικρορρηγματώδης διάβρωση είναι φαινόμενο ανάλογο με την διάβρωση κατά βελονισμό. Προκαλείται και αυτή αποκλειστικά από την επίδραση χλωριόντων. Η

διαφορά της από την διάβρωση με βελονισμό είναι ότι αρχίζει σε μικρορωγμές και μικροκοιλότητες στην επιφάνεια του χάλυβα και όχι σε "υγιή" επιφάνεια.

#### γ) Διάβρωση μεταξύ κόκκων (intergranular)

Διάβρωση μεταξύ των κόκκων εμφανίζεται μέσα στο μέταλλο και όχι στην επιφάνεια του. Συμβαίνει κυρίως στα κράματα όταν υπάρχουν ξένες ουσίες στα όρια μεταξύ των μεταλλικών κρυστάλλων και των κόκκων του άνθρακα. Με αυτό το τρόπο, αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού μεταξύ γειτονικών περιοχών του σιδήρου και έτσι αρχίζει η διάβρωση η οποία εμφανίζεται ως ρωγμή μέσα στο μέταλλο.

### • Διάβρωση λόγω ανάπτυξης εξωτερικής διαφοράς δυναμικού

#### α) Γαλβανική διάβρωση (galvanic)

Η γαλβανική διάβρωση είναι ηλεκτροχημική δράση η οποία αναπτύσσεται όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή μεταξύ τους.

#### β) Ηλεκτρολυτική διάβρωση (electrolytic)

Η ηλεκτρολυτική διάβρωση είναι το αποτέλεσμα άμεσης εφαρμογής ρεύματος στην κατασκευή από κάποια εξωτερική πηγή.

### • Διάβρωση υπό μηχανική διάβρωση

Από τις παραπάνω μορφές, η διάβρωση υπό μηχανική τάση εμφανίζεται μόνο στους προεντεταμένους χάλυβες.

## **8.2 Γιατί μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τον τρόπο μεταβολής των ιδιοτήτων των υλικών**

Μια κατασκευή κατά την διάρκεια της ζωής της πρέπει να πληρεί τους όρους ασφαλείας και να διατηρεί τα λειτουργικά και αισθητικά χαρακτηριστικά της. Οι φυσικές και χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα και στον χάλυβα, με τις φθορές τις οποίες προκαλούν, μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά επιτελεστικότητας της κατασκευής. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πώς η φθορά εξελίσσεται μέσα στο χρόνο και ποια μεταβολή προκαλεί στις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος και του χάλυβα.

Σε μια σχεδιασμένη κατασκευή, η εκλογή των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών (εκλογή υλικών, επικαλύψεων κ.λ.π.) γίνεται με κριτήριο τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Τα χαρακτηριστικά επιτελεστικότητας της κατασκευής θεωρούμε ότι είναι ικανοποιητικά εφόσον δεν έχει συμβεί φθορά πέρα από ένα "ανεκτό" όριο φθοράς.

Είναι λοιπόν απαραίτητο να γνωρίζουμε πως εξελίσσεται με τον χρόνο η φθορά του σκυροδέματος ή του χάλυβα λόγω μιας συγκεκριμένης επιδράσεως, για να εκτιμήσουμε αν θα επιτύχουμε την σκαπούμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Επίσης, απαιτείται η γνώση της μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών μέσα στο χρόνο, για να ελέγξουμε την ασφάλεια της κατασκευής μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής της.

Η εξέλιξη της φθοράς είναι ένας οδηγός κατά τη φάση του σχεδιασμού και της εκτελέσεως, ώστε να λάβουμε μέτρα για να ελαττώσουμε ή και να αποφύγουμε επιπτώσεις της αναμενόμενης φθοράς στην επιτελεστικότητα της κατασκευής κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής.

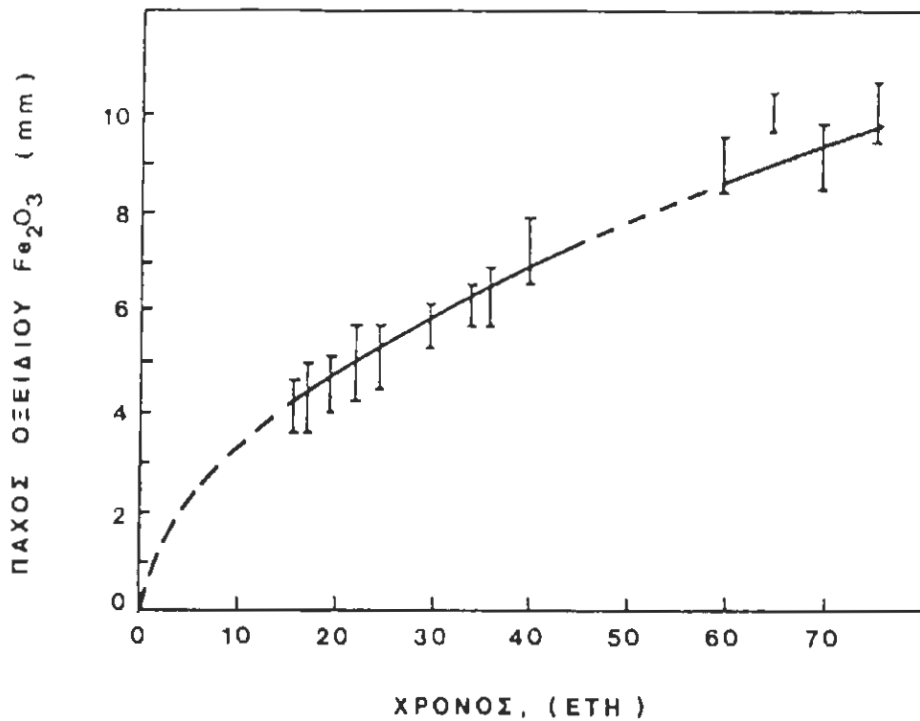
Σε μια υπάρχουσα κατασκευή χρειάζεται η γνώση της μεταβολής των χαρακτηριστικών των υλικών, για να είναι δυνατή η αριθμητική επανεκτίμηση των χαρακτηριστικών επιτελεστικότητας των δομικών στοιχείων. Η μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών λόγω μιας συγκεκριμένης επιδράσεως, μας βοηθάει να εκτιμήσουμε κατά πόσον η κατασκευή λειτουργεί ικανοποιητικά και μπορεί να μεταφέρει τα φορτία σχεδιασμού.

Όταν ανακαλυφθεί η φθορά, πρέπει να παρατηρήσουμε την εξέλιξη της μέσα στο χρόνο, γιατί η ταχύτητα φθοράς είναι σημαντικός παράγοντας για να προσδιορίσουμε πότε πρέπει να γίνει επέμβαση.

Για τον χάλυβα πρέπει να ερευνηθούν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Απώλεια διατομής (λόγω διάβρωσης)
- Απώλεια αντοχής
- Απώλεια ολκιμότητας

Από πειράματα φαίνεται ότι η μείωση της διατομής του χάλυβα ακολουθεί παραβολικό νόμο. Η σταθερά  $K$  της παραβολικής εξίσωσης  $y^2 = K * t$  έχει την τιμή  $K = 1,22\text{mm}^2/\text{έτος}$  για τις συνθήκες του πειράματος .



Σχ.16: Πάχος οξειδίου σιδηροπλισμού εκφρασμένου ως  $Fe_2O_3$  σε συνάρτηση με τον χρόνο.

### 8.3 Επιπτώσεις στην συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα

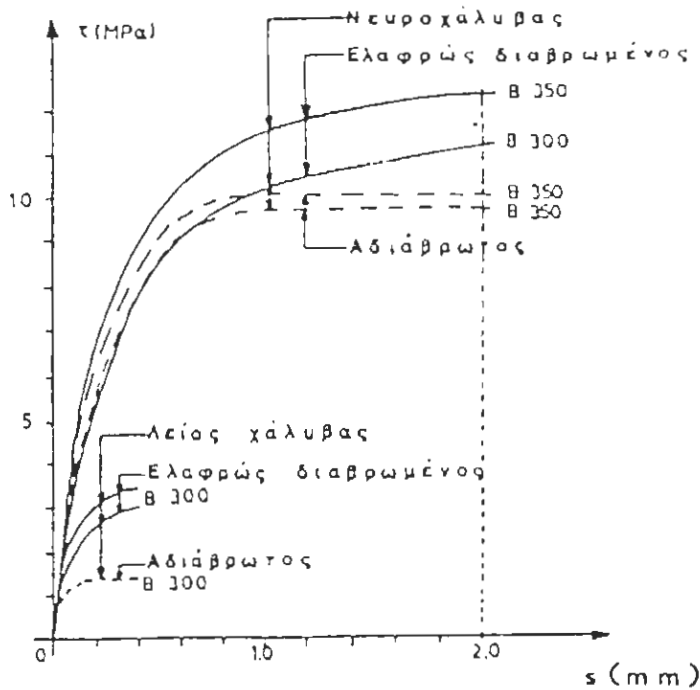
Από τους W. Mann- E. Hortmann (1979) αναφέρεται ότι η επίδραση ελαίων στο σκυρόδεμα προκαλεί μεγάλη μείωση της συνάφειας μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα. Στο CEB Bull .161 αναφέρεται ότι ο γαλβανισμός των χαλύβων ως μέτρο προστασίας των χαλύβων από διάβρωση, επηρεάζει την συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα. Ο ψευδάργυρος αντιδρά χημικώς

με τα αλκάλια του το δε υδρογόνο το οποίο εκλύεται από την αντίδραση συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και του χάλυβα, μειώνοντας έτσι την συνάφεια. Η μείωση της συνάφειας παρατηρείται στους λείους χάλυβες, ενώ οι νευροχάλυβες δεν επηρεάζονται πολύ από το επίχρισμα ψευδαργύρου.

Η επίχριση του χάλυβα με εποξειδικές ρητίνες μειώνει την συνάφεια του χάλυβα με το σκυρόδεμα.

Όσο αναφορά τους ανοξειδωτους χάλυβες, αναμένεται ότι η συνάφεια δεν μεταβάλλεται σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες. Από τον D. Ding (1984) αναφέρεται ότι με ενανθράκωση του σκυροδέματος η συνάφεια αυξάνεται 50% από ότι σε μη – ενανθρακωμένο σκυρόδεμα. Επίσης για διάβρωση του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα, η συνάφεια αυξάνεται στην αρχή. Μετά από ένα ορισμένο στάδιο διαβρώσεως (δηλ. διογκώσεως των οξειδίων) και μέχρι να συμβεί διαμήκης ρηγμάτωση του σκυροδέματος η συνάφεια μειώνεται μεν αλλά η αντοχή συνάφειας δεν παίρνει τιμή μικρότερη από την αντοχή συνάφειας πριν από την ενανθράκωση.





**Σχ.17: Συγκριτική συμπεριφορά αδιάβρωτων και διαβρωμένων λείων χαλύβων και νευροχαλύβων**

Σε σκυρόδεμα στο οποίο οι χάλυβες ήταν αρχικής ελαφρώς διαβρωμένοι, η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα είναι μεγαλύτερη από ότι αν οι χάλυβες είναι αδιάβρωτοι. Το φαινόμενο εμφανίζεται και στους λείους χάλυβες και στους νευροχάλυβες.

Από το σχήμα φαίνεται ότι η αρχικής διάβρωση του χάλυβα προκαλεί αύξηση της συνάφειας για τους λείους χάλυβες και για τους νευροχάλυβες. Στους λείους χάλυβες παρατηρείται αύξηση της αντοχής συνάφειας κατά 100 έως 140 %, ενώ στους νευροχάλυβες παρατηρείται αύξηση κατά 12 έως 26%.

Επισημαίνεται όμως εδώ ότι οι αρχικώς διαβρωμένοι χάλυβες δεν ωφελούνται από την παθητική προστασία την οποία παρέχει το σκυρόδεμα

στους οπλισμούς, διότι το προστατευτικό στρώμα οξειδίων σχηματίζεται μόνο επάνω σε σχετικώς καθαρή επιφάνεια του χάλυβα.

## **8.4 Αρχικά μέτρα προστασίας των σιδηροπλισμών από διάβρωση**

Ο χάλυβας στο σκυρόδεμα μπορεί να προστατευτεί κυρίως είτε μειώνοντας την διαπερατότητα του σκυροδέματος για να εμποδιστεί η διείσδυση επιβλαβών ουσιών, είτε με άμεση προστασία του χάλυβα εμποδίζοντας την προσβολή του μέταλλου. Τα μέτρα προστασίας τα οποία μπορούν να λαμβάνονται σε μια νέα κατασκευή είναι τα έξης:

- **Μέσα στο χάλυβα**

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως είναι ουσίες οι οποίες προστίθενται κατά την παρασκευή του, με σκοπό να προστατεύσουν τον ενσωματωμένο χάλυβα από διάβρωση. Ο μηχανικός επιδράσεως των ανασταλτικών είναι σύνθετος και δεν έχει εξηγηθεί πλήρως. Είναι πιθανόν ο μηχανισμός να διαφέρει ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου άλατος (π.χ. τα φωσφορικά άλατα σχηματίζουν σταθερές ενώσεις με τον σίδηρο).

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να είναι οργανικά άλατα (π.χ. άλατα δεξικού οξέος, αιθυλική ανιλίνη κ.λ.π.) ή ανόργανα άλατα (π.χ. διχρωμικό κάλιο, χλωριούχος κασσίτερος).

Ως ανασταλτικό διαβρώσεως έναντι επιδράσεως χλωριόντων αναφέρεται η λιγνοσουλφόνη η οποία είναι υλικό με βάση την λιγνίνη και προέρχεται από τα απορρίμματα της βιομηχανίας ξύλου. Για διάφορες ποιότητες σκυροδέματος υπό διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος, η λιγνοσουλφόνη προσέφερε στον χάλυβα πολύ καλή προστασία έναντι διαβρώσεως. Προσθήκη λιγνοσουλφόνης στο σκυρόδεμα με ποσοστό 0,42% κ.β. προστατεύει τον χάλυβα έναντι διαβρώσεως από προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου στο σκυρόδεμα σε ποσοστό έως 5% κ.β. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι μερικά ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος. Τα ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να προκαλέσουν μείωση της θλιπτικής διαβρώσεως του σκυροδέματος, να επιβραδύνουν την σκλήρυνση του τσιμέντου ή να γίνουν επιβλαβή σε μετέπειτα ηλικίες. Τα φωσφορικά άλατα σε μικρές συγκεντρώσεις δρουν ως επιταχυντικά σκληρύνσεως.

- **Στην επιφάνεια σκυροδέματος:**

- α) Προστατευτικά επιστρώματα

- 1) Υδατοστεγείς μεμβράνες

- 2) Επικάλυψη ειδικού σκυροδέματος

- β) Εμποτισμός με πολυμερή

- **Πάνω στον οπλισμό**

- α) Επιχρίσματα στον χάλυβα

Έχει παρατηρηθεί ότι η προστασία του χάλυβα με πρόσθετα μέτρα μέσα στο σκυρόδεμα ή με επιχρίσματα στην επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι

επαρκής διότι η προστασία περιορίζεται όταν το σκυρόδεμα ρηγματωθεί. Γι' αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιούνται μερικές φορές επιχρίσματα πάνω στον χάλυβα με σκοπό να εμποδίσουν τον χάλυβα να έρθει σε επαφή με οξυγόνο, υγρασία ή χλωριόντα. Τα επιχρίσματα εφαρμόζονται πάνω στον χάλυβα ο οποίος είναι απόλυτα καθαρός, απαλλαγμένος από ελαιώδεις ουσίες, σκόνη ή σκουριά.

Τα επιχρίσματα μπορεί να είναι μεταλλικά ή μη μεταλλικά.

- **Μη μεταλλικά επιχρίσματα.**

Τα υλικά επιχρίσεως μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα. Τα συνηθέστερα υλικά επιχρίσεως είναι οι εποξειδικές ρητίνες και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC). Το χλωριούχο πολυβινύλιο έχει μικρή διαπερατότητα έναντι νερού, αερίων και ηλεκτρολυτών, ενώ παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα έναντι χημικής προσβολής από οξέα και βάσεις. Οι εποξειδικές ρητίνες παρουσιάζουν καλή πρόσφυση στον χάλυβα και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα μέσα σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως είναι το περιβάλλον του σκυροδέματος.

- **Μεταλλικά επιχρίσματα**

Τα μεταλλικά επιχρίσματα εφαρμόζονται στον χάλυβα με διάφορους τρόπους:

- α) Με εμβάπτιση των χαλύβων σε τηγμένο μέταλλο
- β) Με επιμετάλλωση σε ηλεκτρολυτική συσκευή
- γ) Με ψεκασμό τηγμένου μετάλλου

Τα μεταλλικά επιχρίσματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

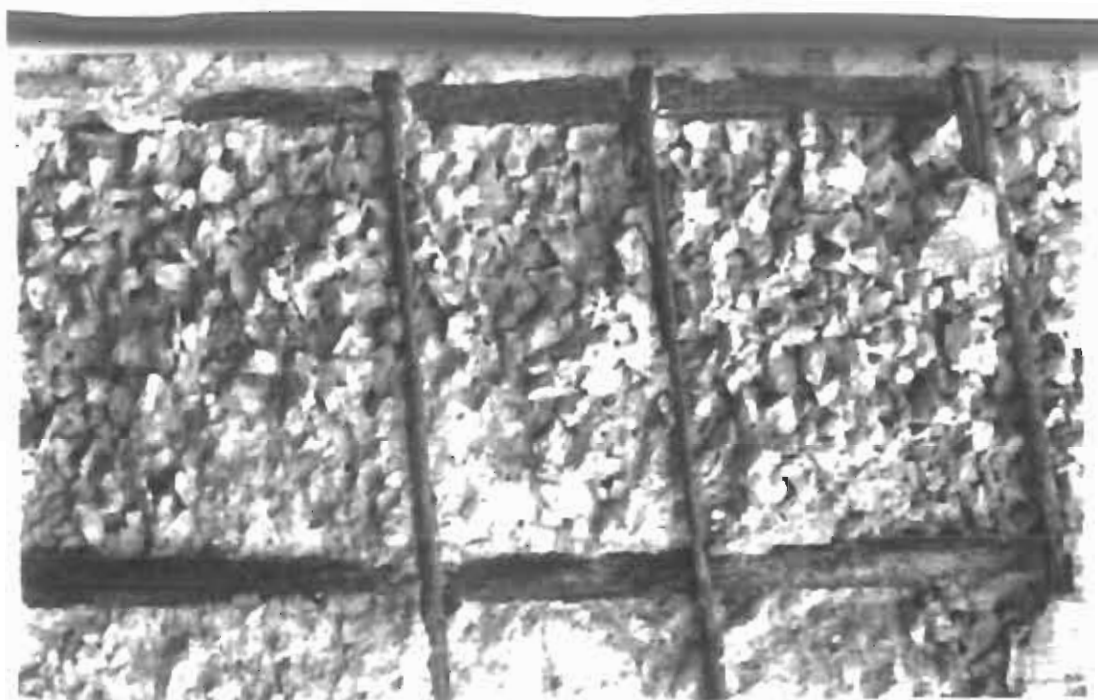
- 1) Ευγενή προστατευτικά επιχρίσματα τα οποία δρουν ως περίβλημα

2) Μεταλλικά επιχρίσματα με τη δική τους καταστροφή  
Εκτεταμένης χρήσεως είναι οι γαλβανισμένοι χάλυβες.

## **8.5 Φθορές χάλυβα**

### **A)Απογυμνωμένοι χάλυβες**

Οι οπλισμοί μπορεί να απογυμνωθούν μετά από απόσπαση τεμαχίων λόγω πρόσκρουσης, μετά από αποφλοιώση του σκυροδέματος ή μετά από εκτίναξη της επικάλυψεως του σκυροδέματος λόγω διάβρωσης των οπλισμών.



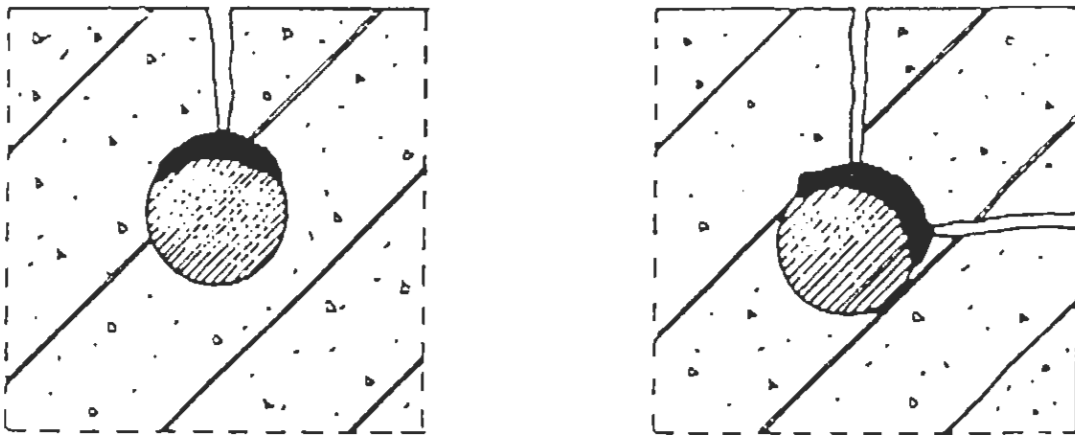
**ΕΙΚΟΝΑ 1:Απογυμνωμένοι χάλυβες**

Οι απογυμνωμένοι χάλυβες μπορεί να διαβρώνονται ταχύτερα διότι παύουν να έχουν την φυσική και χημική προστασία που τους προσφέρει το σκυρόδεμα. Εξ αλλού, παύουν να έχουν συνάφεια με το σκυρόδεμα. Όταν οι απογυμνωμένοι χάλυβες είναι αδιάβρωτοι σημαίνει ότι έχουν εκτεθεί σχετικώς πρόσφατα ή ότι το περιβάλλον δεν είναι πολύ διαβρωτικό.

Πάντως είναι σκόπιμο να γίνει επέμβαση το συντομότερο δυνατό, ώστε να αποτρέψει η ενδεχόμενη διάβρωση τους και να αποκατασταθεί η συνάφεια.

### **B) Διάβρωση των οπλισμών**

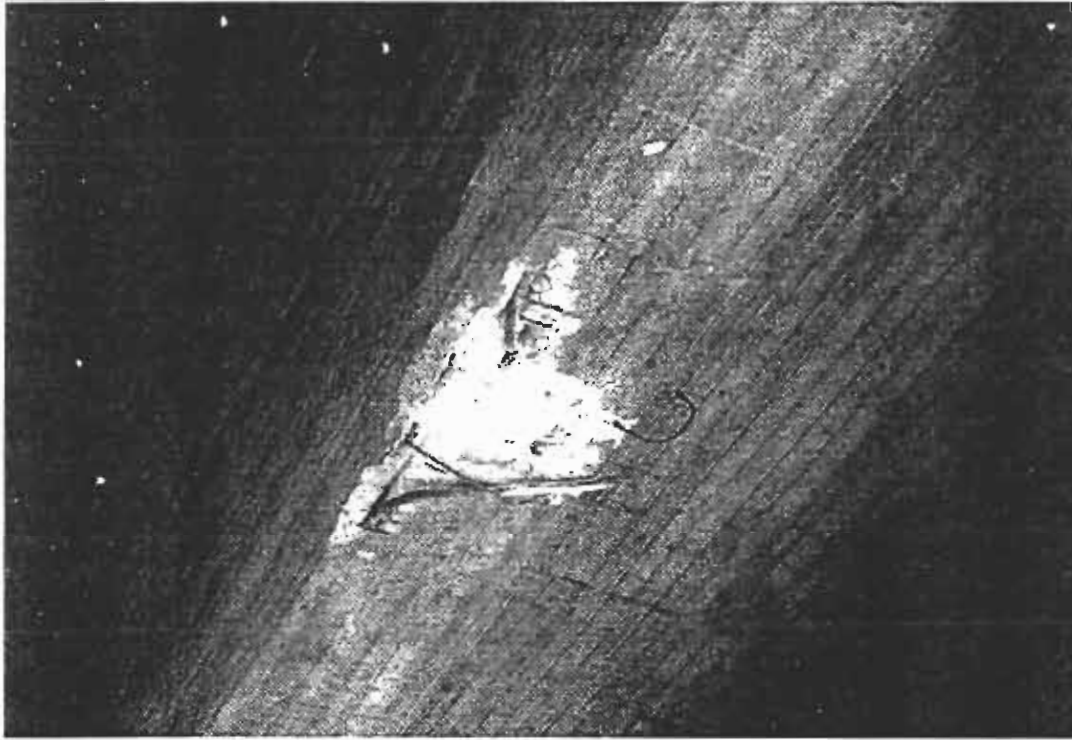
Η διάβρωση των οπλισμών του σκυροδέματος γίνεται συνήθως αντιληπτή από τις συνέπειές της πάνω στο σκυρόδεμα (κηλίδες σκουριάς, αποφλοιώση, διόγκωση, ρηγμάτωση).



**Σχ.18: Ρηγμάτωση του σκυροδέματος λόγω διαβρώσεως του ενσωματωμένου χάλυβα**

### **Γ) Θραυσμένοι οπλισμοί**

Θραύση οπλισμών συμβαίνει μετά από ισχυρή πρόσκρουση αντικειμένου πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα. Η θραύση των οπλισμών αποτελεί σημαντική φθορά για το οπλισμένο σκυρόδεμα διότι μειώνεται η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής και απαιτεί άμεση αντιμετώπιση.



**ΕΙΚΟΝΑ 2:Θραύση χάλυβα μετά από πρόσκρουση οχήματος πάνω στη δοκό γέφυρας άνω διαβάσεως**



## **8.6 Έμμεσες μέθοδοι μετρήσεως της διαβρώσεως του χάλυβα**

Το μέγεθος της διαβρώσεως του χάλυβα στο σκυρόδεμα μπορεί να εκφρασθεί ως απώλεια βάρους των ράβδων μετά την αφαίρεση της σκουριάς. Η μέθοδος όμως αυτή είναι ανασφαλής, διότι υπάρχει κίνδυνος λανθασμένων μετρήσεων κατά την αφαίρεση της σκουριάς. Επίσης, η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο μετά την οπτική αναγνώριση διαβρώσεως χάλυβα. Φαίνεται έτσι πόσο χρήσιμες είναι οι έμμεσες μέθοδοι για την ανίχνευση της διαβρώσεως του χάλυβα σε οποιαδήποτε στιγμή. Οι μέθοδοι επιτρέπουν ακόμα να μελετήσουμε την επιρροή των περιβαντολλογικών συνθηκών πάνω στο βαθμό διαβρώσεως του χάλυβα και να εκλέξουμε τον τρόπο επισκευής της κατασκευής και την αποτελεσματικότητα της καθοδικής προστασίας.

Υπάρχουν πολλές ηλεκτροχημικές έμμεσες μέθοδοι για την μέτρηση της διάβρωσης του χάλυβα μέσα σε υγρό διάλυμα. Μερικές από αυτές τις μεθόδους έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την μέτρηση της διάβρωσης του χάλυβα ενσωματωμένου σε σκυρόδεμα.

Οι περισσότερο γνώστες έμμεσες μέθοδοι είναι:

- Μέτρηση του ελεύθερου δυναμικού διαβρώσεως
- Σύνταξη και μελέτη καμπυλών πολώσεως
- Μέτρηση της αντιστάσεως πολώσεως

## 8.7 Μηχανισμός διαβρώσεως του χάλυβα

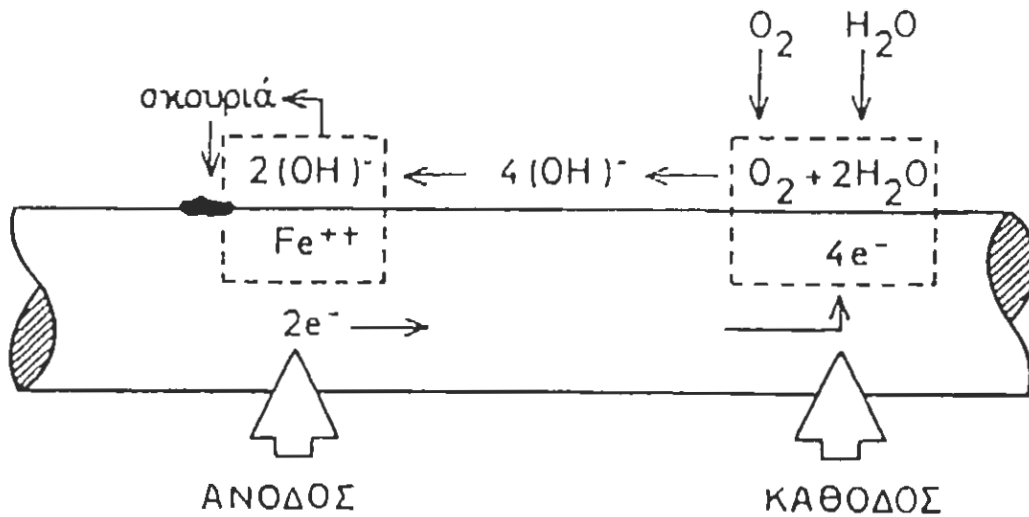
Η διάβρωση του χάλυβα είναι ένα σύνθετο χημικό και ηλεκτροχημικό φαινόμενο. Η "ευστάθεια" του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα εξαρτάται από το ηλεκτρικό δυναμικό, από το pH και από τη θερμοκρασία του σκυροδέματος.

Το φαινόμενο της ηλεκτρολύσεως μπορεί να διακριθεί σε δύο απλές διαδικασίες: της ανόδου και της καθόδου. Για να μπορεί να γίνει ηλεκτρόλυση, η άνοδος και η κάθοδος πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρικά και ηλεκτρολυτικά. Η ρόβδος του χάλυβα προσφέρει την ηλεκτρική σύνδεση, ενώ το νερό των πόρων του σκυροδέματος δρα ως ηλεκτρολύτης.

Ως **άνοδος** συμπεριφέρεται το τμήμα του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων. Σ' αυτή την περιοχή, τα άτομα σιδήρου μετατρέπονται σε ιόντα, ενώ ελευθερώνονται ηλεκτρόνια.

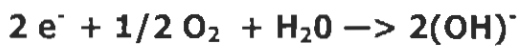


Το δυναμικό του αδιάβρωτου σιδήρου, με κλίμακα αναφοράς την κλίμακα υδρογόνου, είναι ίσο με  $E_A = -440\text{mV}_H$ . Στην άνοδο, το δυναμικό μικραίνει σημαντικά. Υπό την επίδραση αυτής της διαφοράς δυναμικού, τα ηλεκτρόνια τα οποία ελευθερώνονται στην άνοδο μεταφέρονται προς την κάθοδο.



**Σχ.19:Απλοποιημένο προσομοίωμα της ηλεκτροχημικής διαδικασίας διαβρώσεως του σιδηροπλισμού**

Ως **κάθοδος** συμπεριφέρεται εκείνη η περιοχή του χάλυβα όπου υπάρχει νερό και οξυγόνο, χωρίς να είναι απαραίτητο να έχει καταστραφεί το λεπτό στρώμα των οξειδίων. Σ' αυτή την περιοχή, ενώνονται τα ηλεκτρόνια με το νερό και το οξυγόνο, παράγονται δε ιόντα υδροξυλίου.



Το δυναμικό αυξάνεται και γίνεται ίσο με  $E_k = +401 \text{ m V}_H$ . Αν τα ιόντα υδροξυλίου κινηθούν μέσα στο νερό των πόρων από την περιοχή της καθόδου προς την περιοχή της ανόδου, θα ενωθούν με τα ιόντα του σιδήρου και θα σχηματίσουν σκουριά:



Με την παραπάνω αντίδραση είναι δυνατόν να σχηματιστούν διάφορα οξείδια του σιδήρου, π.χ.  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ . Από τον Θ. Σκουλικίδη (1971), αναφέρεται ότι στο σκυρόδεμα σχηματίζεται  $FeO$  ή  $Fe_3O_4$ . Αυτό συμβαίνει διότι δεν επιτρέπεται

μεγάλη διόγκωση του μετάλλου εξαιτίας της πίεσεως την οποία ασκεί το σκυρόδεμα. Τα οξειδία  $\text{FeO}$  και  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  έχουν μικρότερο όγκο από το οξείδιο  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Ανάλογα με το είδος του σχηματιζόμενου οξειδίου, το χρώμα της σκουριάς ποικίλλει σε κόκκινο -καφέ- πράσινο-μαύρο. Από τις αντιδράσεις οξειδώσεως φαίνεται ότι όσα νερό συνδυάζεται στην κάθοδο, τόσο απαδίδεται μετά τον σχηματισμό της σκουριάς.

Επομένως, μόνο το οξυγόνο καταναλώνεται για την διάβρωση του χάλυβα, ενώ το νερό χρειάζεται απλώς για να βοηθήσει τη διαδικασία ηλεκτρολύσεως. Για τον σχηματισμό του οξειδίου  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , απαιτείται 1,5 lt  $\text{O}_2$  ανά 1gr σιδήρου.

Οι περιοχές του χάλυβα οι οποίες δρουν ως άνοδος και ως κάθοδος, μπορεί να είναι γειτονικές ή απομακρυσμένες σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις. Είναι λοιπόν δυνατόν να συμβεί διάβρωση του χάλυβα και σε περιοχή όπου εμποδίζεται η πρόσβαση του οξυγόνου, αρκεί το σκυρόδεμα να είναι αρκετά υγρό ώστε να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρόλυση.

## 9.1 Μέθοδος ανίχνευσης του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα.

Για την ανίχνευση του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται ειδικές κατασκευές, οι οποίες με την εκπομπή μαγνητικών πεδίων εντοπίζουν και δίνουν πληροφορίες για τη διάμετρο του υπάρχοντος οπλισμού, τη διάταξή του μέσα στο σκυρόδεμα όπως επίσης και την επικάλυψη αυτού.

Το μειονέκτημα των συσκευών αυτών είναι ότι μας δίνουν ακριβείς πληροφορίες μόνο στην περίπτωση απλής διάταξης οπλισμού. Αντίθετα σε κρίσιμες περιοχές όπου παρατηρείται εμπλοκή του οπλισμού, για π.χ. εμπλοκή οπλισμού πλάκας με τον κατά μήκος οπλισμό της δοκού, υπάρχει περίπτωση σφάλματος στις μετρήσεις.

Στις συσκευές αυτές ανήκει το μοντέλο SCANLOG το οποίο αποτελείται από τον βασικό εξοπλισμό και από μια σειρά εξαρτημάτων.

Ο βασικός εξοπλισμός περιλαμβάνει:

1. **CyberScan**: πρόκειται για μια οθόνη πάνω στην οποία απεικονίζονται τα στοιχεία του σιδηροπλισμού και της επικάλυψής του. Επιπλέον δίπλα από την οθόνη είναι ενσωματωμένο το πληκτρολόγιο μέσω του οποίου δίνονται εντολές για την εύρεση των στοιχείων του σιδηροπλισμού. Περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα για την απεικόνιση τόσο της διάταξης του σιδηρού οπλισμού σε περισσότερα από ένα επίπεδο όσο και της γκρι κλίμακας της επικάλυψης του σκυροδέματος και με απευθείας εκτύπωση χωρίς Η/Υ.

2. **Σημειακός Αισθητήρας:** πρόκειται για ένα αισθητήρα ο οποίος εντοπίζει με ακρίβεια τον άξονα του σιδηροπλισμού και την μαρκάρει στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

3. **Αισθητήρας Διαμέτρου:** πρόκειται για έναν αισθητήρα ο οποίος υπολογίζει τη διάμετρο του οπλισμού.

4. **Καλώδιο σύνδεσης:** πρόκειται για το καλώδιο που συνδέει τα βασικά εξαρτήματα.

Τα επιπλέον εξαρτήματα αποτελούνται από την συσκευή μαρκαρίσματος, την προέκταση για την μετακίνηση των αισθητήρων, το κουτί δοκιμών κ.λ.π. , τα οποία όμως δεν είναι απαραίτητα για την διαδικασία μέτρησης.

Αρχικά γίνεται εντοπισμός του άξονα του σιδηροπλισμού με τον σημειακό αισθητήρα μαρκάροντας στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Στην συνέχεια συνδέεται ο αισθητήρας διαμέτρου και τοποθετείται στον σημειωμένο άξονα. Η διάμετρος υπολογίζεται εάν η πρόοδος της μέτρησης εκτελείται σωστά. Το όργανο δείχνει το όποιο λάθος έχει γίνει. Η διάμετρος απεικονίζεται μετά από μια σειρά τεσσάρων μετρήσεων και λαμβάνεται ως ο μέσος όρος αυτών.



**ΕΙΚΟΝΑ 3: Συσσκευή ανίχνευσης του χάλυβα.**

Ένας άλλος τρόπος ανίχνευσης του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα είναι η χρήση συσκευής εκπομπής ραδιενέργειας, που όμως αποφεύγεται λόγω επικινδυνότητας.

## 10.1 Εφελκυσμός

Όπως είναι γνωστό, τα διάφορα υλικά σώματα αποτελούνται από μικρότατα σωματίδια ύλης όπως είναι τα μόρια, τα άτομα κλπ, μεταξύ των οποίων ασκούνται δυνάμεις συνοχής. Οι δυνάμεις αυτές εκδηλώνονται σαν αντίσταση του υλικού εναντίον των επιβαλλόμενων εξωτερικών δυνάμεων, οι οποίες τείνουν να του προκαλέσουν παραμόρφωση ή ακόμη και λύση της συνέχειας του, δηλαδή θραύση. Στην περίπτωση αυτή λέμε, ότι το υλικό σώμα βρίσκεται σε εντατική κατάσταση.

Γενικότερα, όταν σε ένα σώμα επιβληθούν εξωτερικά φορτία λέμε, ότι το σώμα αυτό υφίσταται καταπόνηση (ή επιπόνηση) ή ότι καταπονείται ή και ότι φορτίζεται.

Οι εξωτερικές δυνάμεις δρουν στα σώματα με διάφορους τρόπους και προκαλούν διάφορα είδη απλών αλλά και σύνθετων καταπονήσεων. Η απλούστερη αλλά ίσως η βασικότερη καταπόνηση, είναι ο εφελκυσμός.

Ένα σώμα –δοκίμιο- καταπονείται σε εφελκυσμό, όταν επάνω του επενεργούν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις, οι οποίες τείνουν αρχικά να το επιμηκύνουν και εν συνεχεία να το διασπάσουν (θραύση).

Εφελκυσμό, επίσης έχουμε και στην περίπτωση επίδρασης μίας δύναμης στο ένα άκρο του δοκιμίου όταν το άλλο άκρο είναι πακτωμένο δηλαδή σταθερά δεμένο, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των δοκιμίων που καταπονήθηκαν



σε εφελκυσμό στη μηχανή AMSLER του εργαστηρίου της αντοχής υλικών, του Τ.Ε.Ι Πάτρας.

Αν το σώμα έχει έναν ευθύγραμμο κεντροβαρικό άξονα συμμετρίας και οι δυνάμεις κείνται επάνω στον άξονα αυτόν, τότε ο εφελκυσμός ονομάζεται αξονικός ή και κεντρικός. Αν οι δυνάμεις όμως είναι μεν παράλληλες με τον άξονα της ράβδου αλλά δεν κείνται επάνω σε αυτόν, τότε ονομάζεται έκκεντρος εφελκυσμός.



#### ΑΞΟΝΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ



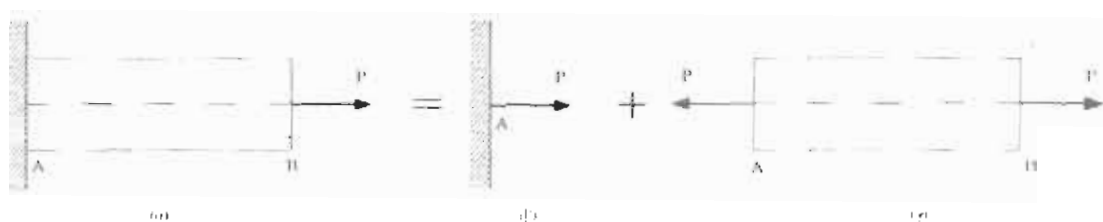
### ΕΚΚΕΝΤΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ



### ΑΞΟΝΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΜΕ ΠΑΚΤΩΜΕΝΟ ΤΟ ΕΝΑ ΑΚΡΟ

Στο εξής, όταν λέμε ότι ένα σώμα καταπονείται σε εφελκυσμό θα εννοούμε πάντα τον αξονικό εφελκυσμό.

Προκειμένου να γίνει καλύτερα αντιληπτός ο τρόπος που οι εξωτερικές δυνάμεις καταπονούν εφελκυστικά τα διάφορα σώματα, θεωρούμε την περίπτωση μιας πακτωμένης και αβαρούς ράβδου AB, στην οποία ασκείται αξονική εφελκυστική δύναμη P στο άκρο της B.



ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΑΜΕΤΩΝ ΣΕ ΕΠΕΛΚΥΣΜΕΝΗ  
(ΑΚΤΕΜΒΩΣΗ ΠΑΡΩΝ)  
ΣΕ ΒΑΛΕ

Επειδή η ράβδος ισορροπεί, για να γίνει η συνισταμένη μηδέν, θα πρέπει και στο σημείο A να ασκείται δύναμη ίση και αντίθετη της P, όπως φαίνεται στο διάγραμμα ελεύθερου σώματος της ράβδου (Σχ.1 γ).

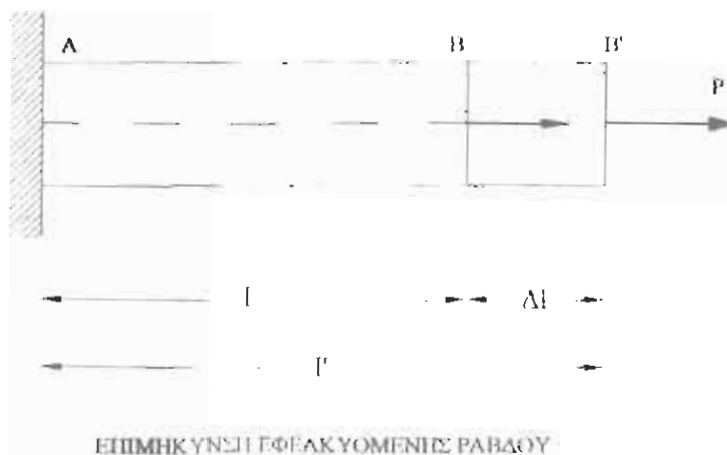
Την τελευταία αυτή δύναμη P, την ασκεί ( στο σημείο A της ράβδου) η πάκτωση. Λόγω δράσης-αντίδρασης όμως και η ράβδος ασκεί στην πάκτωση μία δύναμη ίση και αντίθετη με την P (Σχ. 1 β).

Διαπιστώνουμε δηλαδή ότι, η εξωτερική αξονική δύναμη P, καταπονεί σε εφελκυσμό όλες τις μεταξύ B και A ενδιάμεσες διατομές της ράβδου, μεταφέρεται δε μέσω αυτής και στην πάκτωση την οποία επίσης καταπονεί με δύναμη P.

Διαπιστώνουμε επίσης, ότι η πακτωμένη ράβδος (Σχ 1. α) είναι στατικά ισοδύναμη με την ελεύθερη ράβδο (Σχ 1.γ) όπου και στις δύο περιπτώσεις εφελκύεται από δύναμη P, που λέγεται και εφελκύουσα δύναμη.

Η παραμόρφωση και ειδικότερα η γραμμική παραμόρφωση, την οποία υφίσταται η αβαρής ράβδος AB, αναλύεται αμέσως πιο κάτω. Αν υποθέσουμε ότι η αβαρής ράβδος AB έχει αρχικό μήκος l, μετά την επιβολή του εφελκυστικού φορτίου P στο κέντρο βάρους της διατομής της, το σημείο B θα μετατοπιστεί δεξιότερα έστω στη θέση B', όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ 2). Η απόσταση  $\Delta l=(BB')$  ονομάζεται επιμήκυνση της ράβδου.





ΣΧΗΜΑ 2

Το τελικό μήκος έστω  $l'$  της ράβδου, που προκύπτει μετά την επιβολή του εφελκυστικού φορτίου γίνεται  $l' = l + \Delta l$ . Δηλαδή στον εφελκυσμό, το αρχικό μήκος μίας εφελκυόμενης ράβδου αυξάνεται κατά  $\Delta l$ . Ονομάζουμε ανηγμένη παραμόρφωση την ποσότητα:

$$\epsilon = \Delta l / l = (l' - l) / l = l' / l - 1$$

Στην περίπτωση του εφελκυσμού προκύπτει  $\epsilon > 0$  και ονομάζεται ανηγμένη επιμήκυνση. Η ανηγμένη παραμόρφωση επειδή είναι λόγος μηκών, είναι αδιάστατο μέγεθος και αναφέρεται συνήθως επί τοις εκατό (%) και επειδή ανάγεται στο αρχικό μήκος  $l$  της ράβδου, ονομάζεται επακριβώς ανηγμένη (ή ονομαστική) συμβολική παραμόρφωση.

Σύμφωνα λοιπόν με τους Γερμανικούς Κανονισμούς οι ανηγμένες επιμηκύνσεις των κατηγοριών χαλύβων που ήδη έχουμε αναφέρει παρουσιάζουν τις παρακάτω τιμές:

**BSt 220/340:**  $\epsilon_{10} \geq 18\%$

**BSt 420/500:**  $\epsilon_{10} \geq 10\%$

**BSt 500/550:**  $\epsilon_{10} \geq 8\%$

Όπου  $\epsilon_{10}$  είναι η παραμένουσα επιμήκυνση για βέργα χάλυβα που το χρήσιμο μήκος της είναι δεκαπλάσιο της διαμέτρου της. Σύμφωνα με τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης –Πρότυπο ΕΛΟΤ, Αθήνα 2000, πρέπει:

**S220:**  $\epsilon_5 \geq 24\%$

**S400:**  $\epsilon_5 \geq 14\%$

**S500:**  $\epsilon_5 \geq 12\%$

Όπου  $\epsilon_5$  είναι αντίστοιχα η παραμένουσα ανηγμένη επιμήκυνση για βέργα χάλυβα που το χρήσιμο μήκος της είναι πενταπλάσιο της διαμέτρου της.

## **10.2 Επιτρεπόμενη τάση – Συντελεστής ασφαλείας**

Τα υλικά των κατασκευών δεν πρέπει να ικανοποιούνται μέχρι το έσχατο όριο της αντοχής τους. Διάφοροι παράγοντες, όπως τα ελαττώματα των υλικών (μικρορωγμές, διάφορες ξένες προσμίξεις κ.λ.π) και το εξωτερικά αίτια (η ώθηση του αέρα σε μια γέφυρα, η απότομη μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας κ.λ.π.), μας εμποδίζουν να εκτιμήσουμε με σιγουριά την ακριβή καταπόνηση των κατασκευών.

Για τους παραπάνω λόγους πρέπει να υπάρχει ένα περιθώριο ασφαλείας. Αυτό είναι εφικτό αν, αντί να επιβαρύνουμε το υλικό μέχρι το όριο θραύσης του, το καταπονούμε λιγότερο, μέχρι μία ορισμένη μικρότερη τάση, ώστε η κατασκευή μας να έχει κάποια περιθώρια ασφαλείας. Η τάση αυτή ονομάζεται επιτρεπόμενη τάση και είναι το πηλίκο της τάσης θραύσης, προς τον συντελεστή ασφαλείας  $n$ :

$$\sigma_{\text{επ}} = \sigma_{\text{θρ}} / n$$

Ο συντελεστής ασφαλείας  $n$  είναι πάντα αριθμός θετικός και μεγαλύτερος της μονάδας. Παριστάνει δε το περιθώριο ασφαλείας όταν το υλικό καταπονείται με τάση  $\sigma_{\text{επ}}$ .

Είναι φανερό ότι πρέπει για λόγους ασφαλείας οι αναπτυσσόμενες τάσεις  $\sigma$  (ορθή ) αλλά και  $\tau$  (διατμητική) εντός των υλικών, να είναι μικρότερες ή το πολύ ίσες με τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες, δηλαδή

$$\sigma \leq \sigma_{\text{επ}} \text{ και } \tau \leq \tau_{\text{επ}}$$

Οι παραπάνω εξισώσεις ονομάζονται συνθήκες αντοχής.

Σημειώνουμε ότι κριτήριο για την επιτρεπόμενη τάση, είναι το όριο διαρροής για όλκιμα υλικά, για δε τα ψαθυρά υλικά το όριο θραύσης.

Όλκιμα ή Συνεκτικά υλικά είναι εκείνα που η θραύση τους επέρχεται μετά από σημαντικά πλαστική παραμόρφωση. Η θραύση επέρχεται με την δημιουργία ενός κρατήρα που τα χείλη του κλείνουν υπό γωνία  $45^\circ$ . Ο πυθμένας του κρατήρα είναι ανώμαλος και χονδρόκοκκος. Λίγο πριν τη θραύση έχουμε τη δημιουργία λαιμού όπως προαναφέρθηκε.

Ψαθυρά υλικά είναι εκείνα που δεν παρουσιάζουν πλαστική παραμόρφωση. Η θραύση τους επέρχεται κάθετο ως προς τη διεύθυνση φόρτισης των και χωρίς τη δημιουργία λαιμού, οι δε επιφάνειες θραύσης είναι επίπεδες και λεπτόκκοκες. Ένα τέτοιο υλικό είναι το σκυρόδεμα.

Ο καθορισμός της επιτρεπόμενης τάσης είναι κάπως δύσκολος, επειδή πρέπει να πληρούνται δύο φαινομενικά αντιφατικές προϋποθέσεις:

- Η επιτρεπόμενη τάση πρέπει να είναι μικρή, δηλαδή ο  $v$  να είναι μεγάλος ώστε να είναι ασφαλής η κατασκευή, η οποία όμως τότε είναι αντιοικονομική.
- Η κατασκευή πρέπει να είναι οικονομική, συνεπώς οι διατομές πρέπει να είναι μικρές, πράγμα που σημαίνει μεγάλες τάσεις (δηλαδή μικρός  $v$ ), που βέβαια σημαίνει ότι η οικονομία λειτουργεί σε βάρος της ασφάλειας και αντίστροφα.

Ανάμεσα στις δύο παραπάνω περιπτώσεις πρέπει να εκτιμηθεί η λεγόμενη βέλτιστη (οικονομοτεχνική) λύση.

Η επιτρεπόμενη τάση δεν είναι σταθερή για κάθε υλικό, αλλά εξαρτάται από το είδος της κατασκευής αλλά και από το είδος της καταπόνησης. Αν έχουμε υλικό με γνωστή τάση θραύσης  $\sigma_{\theta\rho}$ , στο οποίο αναπτύσσεται τάση σε, τότε ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$v = \sigma_{\theta\rho} / \sigma_{\sigma\tau}$$

Η εκλογή του  $v$  καθορίζεται από κρατικούς κανονισμούς. Έτσι για τι χάλυβα οι τιμές του  $v$  κυμαίνονται από 1,5 έως 1,7 για το όριο διαρροής και από 2,0 έως



3,0 για το όριο θραύσης. Το μέγεθος του συντελεστή ασφαλείας  $\nu$  εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι:

- Η ομοιογένεια του υλικού
- Η φθορά των υλικών
- Ελαττώματα στο υλικό
- Απρόβλεπτες φορτίσεις
- Ενδεχόμενη ύπαρξη αρχικών τάσεων
- Συμβατική εκτίμηση των φορτίων υπολογισμού
- Απλουστευτικές παραδοχές κατά τη διάρκεια των υπολογισμών

Γενικότερα η εκλογή του συντελεστή ασφαλείας  $\nu$ , εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες:

Από το είδος του υλικού πρώτον (για χάλυβα  $\nu=2,5$  έως  $3,0$ ) και από τις κατηγορίες υπολογισμού δεύτερον.

Έτσι στους υπολογισμούς της κατηγορίας I, όπου λαμβάνονται υπόψη μόνον για τα κύρια φόρτια, για το χάλυβα για παράδειγμα είναι  $\sigma_{επ} = 14\text{MN/m}^2 = 1400 \text{kp/cm}^2$ . Ενώ για υπολογισμούς της κατηγορίας II όπου λαμβάνονται επιπλέον υπόψη και οι πρόσθετες (δευτερεύουσες) δυνάμεις (όπως είναι η ανεμοπίεση, το βάρος του χιονιού κ.λ.π.), λαμβάνεται  $\sigma_{επ} = 16\text{MN/m}^2 = 1600 \text{kp/cm}^2$ .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Συντελεστής ασφαλείας για υπολογισμούς κατηγορίας I, II.**

Υπολογισμοί κατηγορίας	I (ή H), MN/m <sup>2</sup>	II (ή H <sub>z</sub> ), MN/m <sup>2</sup>
Θλίψη, όταν γίνεται έλεγχος σε λυγισμό και θλίψη προερχόμενη από κάμψη	14	16
Εφελκυσμός και εφελκυσμός προερχόμενος από κάμψη	16	18
Διάτμηση	9	11
Σύνθλιψη άντυγας οπών των ελασμάτων	28	32

### 10.3 Λόγος Poisson

Όπως ήδη έχουμε παρατηρήσει η εφελκυστική δύναμη προκαλεί επιμήκυνση της ράβδου και ταυτόχρονα εγκάρσια παραμόρφωση της διατομής της, που στην περίπτωση του εφελκυσμού είναι συστολή. Στην περίπτωση του κυλινδρικού δοκιμίου η διάμετρος  $d$  συστέλλεται σε  $d'$  στο τελικό στάδιο.

Με βάση τα ανωτέρω ορίζεται η Ανοιγμένη Εγκάρσια Συστολή που συμβολίζεται με  $e_q$  και δίνεται από την σχέση :

$$e_q = \Delta d/d = d' - d/d$$

Όπως φαίνεται από την σχέση η ανωτέρω παράμετρος είναι καθαρός αριθμός και στην περίπτωση του εφελκυσμού λαμβάνει αρνητική τιμή. Ο λόγος Poisson ή Συντελεστής Εγκάρσιας Παραμόρφωσης συμβολίζεται με "μ" και προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\mu = - e_q/e$$

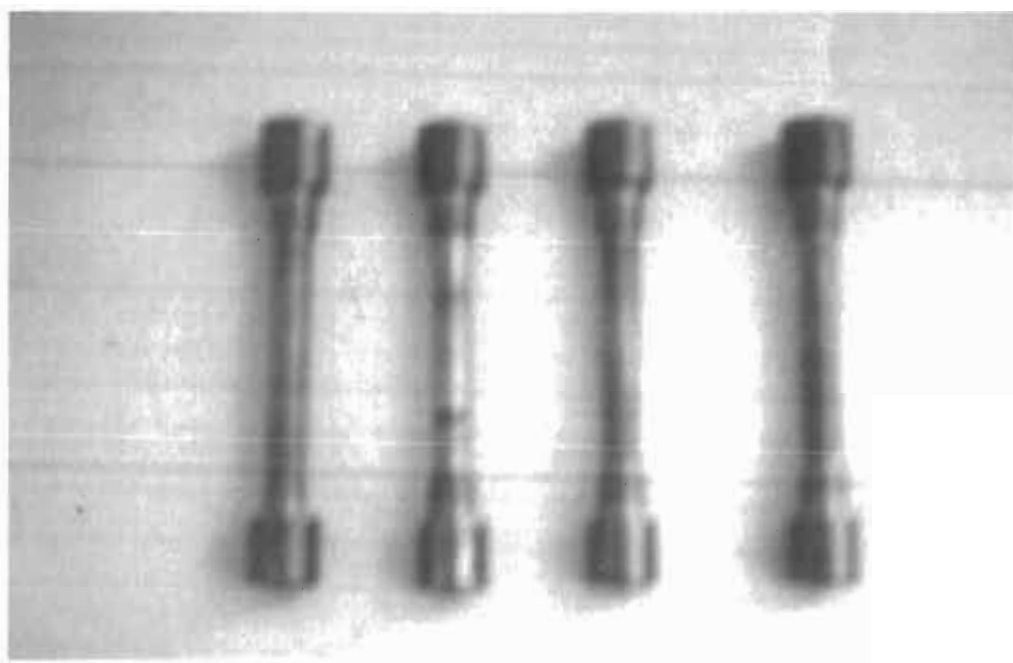
Ο ανώτερος συντελεστής είναι χαρακτηριστικός για κάθε υλικό που καταπονείται στην ελαστική περιοχή. Για τον χάλυβα η τιμή του είναι 0,3.

## **10.4 Διαδικασία Δοκιμής**

Όπως ήδη αναφέραμε η αντοχή του χάλυβα σε εφελκυσμό είναι μεγάλη, γι' αυτό και τοποθετείται σε εφελκυστικές ζώνες για την παραλαβή των αντιστοιχών φορτίων – τάσεων. Αξίζει όμως να γνωρίζουμε την πλήρη συμπεριφορά του υλικού αυτού μέχρι τη θραύση του, για να μπορούμε να εκμεταλλευόμαστε με ασφάλεια και οικονομία όλα τα πλεονεκτήματα του. Στο εργαστήριο αντοχής των υλικών του Τ.Ε.Ι. Πάτρας όπως επίσης και στο Κ.Ε.Δ.Ε. Πατρών υπάρχει ο κατάλληλος μηχανικός εξοπλισμός για την καταπόνηση σε εφελκυσμό προτύπων – συμβατικών δοκιμίων από χάλυβα καθώς και οποιουδήποτε μετάλλου .

Τα πρότυπα –συμβατικά δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή του εφελκυσμού του χάλυβα, στο εργαστήριο του Τ.Ε.Ι. Πάτρας, είχαν καθορισμένη μορφή και διαστάσεις που διέπονται από συγκεκριμένο κανονισμό (ΕΛΟΤ 1045). Αυτό έγινε για να μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ των δοκιμών από το ίδιο υλικό.

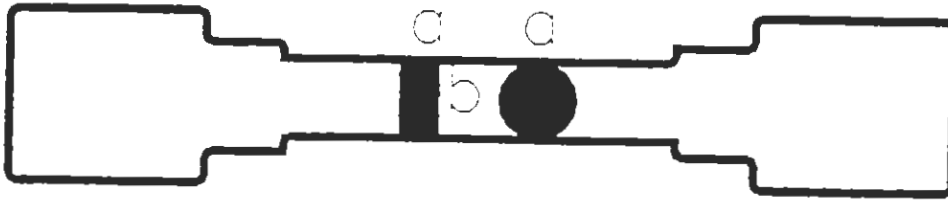
Έτσι τα μεταλλικά δοκίμια που προσκομίσθηκαν στο εργαστήριο για την καταπόνησή τους σε εφελκυσμό είχαν τη μορφή της παρακάτω φωτογραφίας.



**ΕΙΚΟΝΑ 4: Διαμορφωμένα δοκίμια**

δηλαδή κυκλικής διατομής, υπακούοντας στην κάτωθι σχέση:

$$L_v = L_o + 2d$$



**Σχ.20**

όπου  $L_v$ : ενδεικτικό μήκος δοκιμίου και είναι αυτό που φαίνεται μετά την τοποθέτηση των ενισχυμένων άκρων του υπό καταπόνηση δοκιμίου στις αρπάγες της μηχανής, για την εφαρμογή των εφελκυστικών δυνάμεων.

$L_0$ : χρήσιμο μήκος δοκιμίου και είναι αυτό εντός του οποίου τοποθετούμε τα μηχανισιόμετα οποιουδήποτε τύπου, για την μέτρηση των παραμορφώσεων του μετάλλου. Αυτό το χρήσιμο μήκος του δοκιμίου εξαρτάται από την επιλεγείσα διάμετρο του, όπου σύμφωνα με τις Γερμανικές Προδιαγραφές DIN 50125 που διέπουν και τη μηχανή του εργαστηρίου του Τ.Ε.Ι. Πάτρας έχει τιμή πενταπλάσια ή δεκαπλάσια της διαμέτρου του προς καταπόνηση δοκιμίου.

Οι ενισχύσεις που φαίνονται πέρα των ορίων του  $L_v$  βρίσκονται εξ' ολοκλήρου μέσα στις αρπάγες της μηχανής. Έχουν δημιουργηθεί κατά τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε το δοκίμιο να κρατείται σταθερά στα άκρα του από τις ανωτέρω αρπάγες. Με τον τρόπο αυτό κατευθύνεται το επιβαλλόμενο φορτίο στον άξονα του δοκιμίου, για την όσο το δυνατό ακριβέστερη καταπόνησή του σε μονοαξονικό εφελκυσμό.

Τα είδη των χαλύβων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση των δοκιμών είναι οι χάλυβες S220 και S500. Η εξέταση της πειραματικής

συμπεριφοράς σε μονοαξονικό εφελκυσμό των χαλύβων S220 και S500 έγινε ακολουθώντας τα κατωτέρα στάδια:

- **Επιλογή του δοκιμίου και τοποθέτησή του στη μηχανή AMSLER**
- **Ρύθμιση της μηχανής:**

ο) Κλίμακα επιβαλλόμενου φορτίου  $P$  ( $1\text{cm}=1500\text{N}$ ) και κλίμακα επιμήκυνσης  $\Delta l(16:1)$ . Η παραπάνω ρύθμιση χρησιμοποιήθηκε για τα διαμορφωμένα δοκίμια σύμφωνα με τις προαναφερθείσες προδιαγραφές των πρότυπων συμβατικών δοκιμίων.

β) Κλίμακα επιβαλλόμενου φορτίου  $P(1\text{cm}=1500\text{N})$  και κλίμακα Επιμήκυνσης  $\Delta l(4:1)$ . Η ρύθμιση αυτή αφορά μη διαμορφωμένα δοκίμια δηλαδή χαλύβδινες ράβδους των αντίστοιχων κατηγοριών S220 και S500.

γ) Λήψη διαγράμματος  $P$  και  $\Delta l$  που προέρχονται από την καταπόνηση μέχρι θραύσης του δοκιμίου. Όλα τα δοκίμια πριν την τοποθέτησή τους στη μηχανή εφελκυσμού χαράχθηκαν ανά απόσταση 10 mm ούτως ώστε να είναι δυνατή η εντόπιση και η μέτρηση των παραμορφώσεων τόσο κατά τη διάρκεια του πειράματος όσο και μετά τη θραύση των.



**ΕΙΚΟΝΑ 5:Μηχανή χάραξης δοκιμίων**

## **10.5 Μηχανή AMSLER**

Η μηχανή AMSLER αποτελείται από δύο βασικά τμήματα :

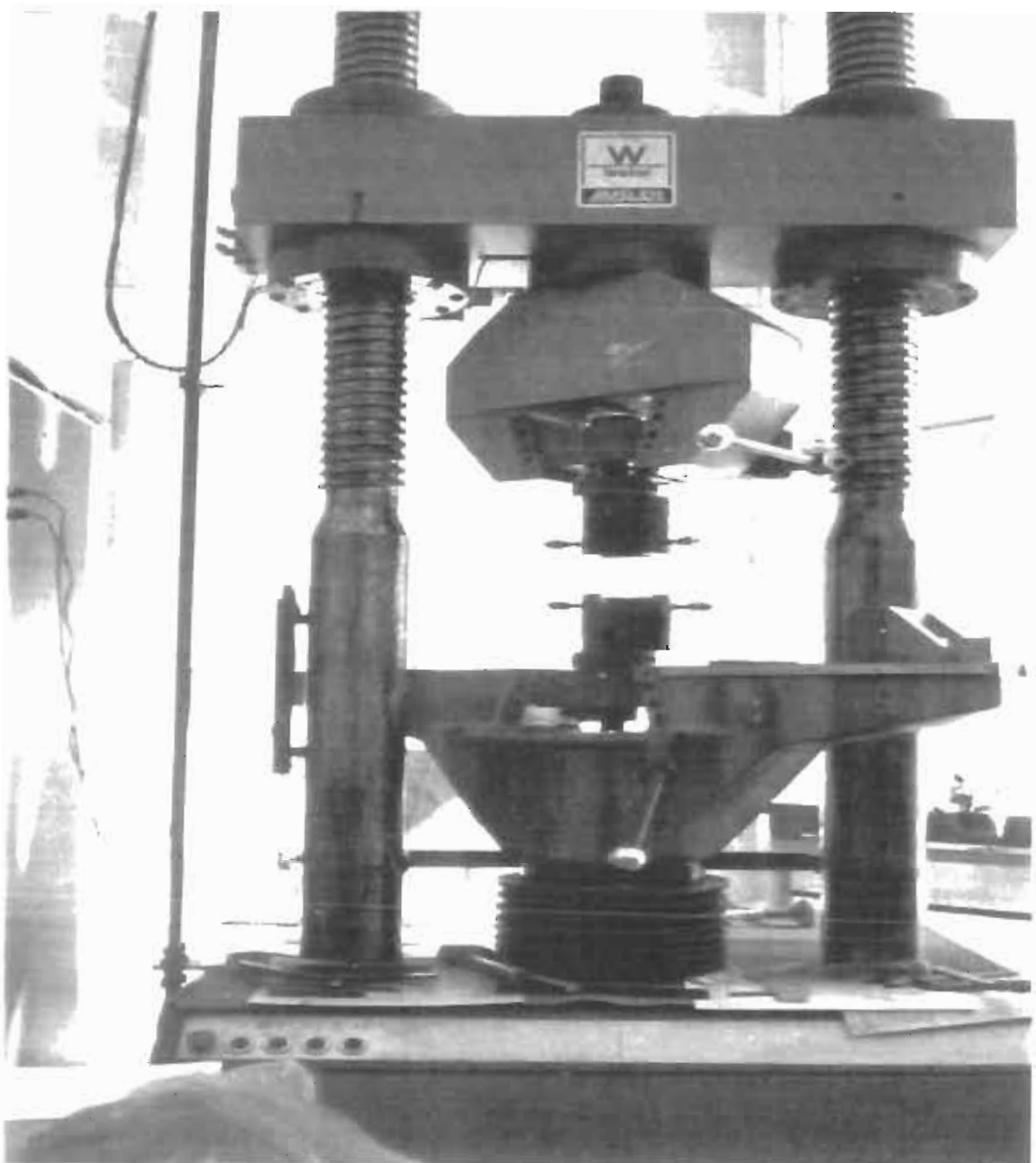
- **Το μηχανικό** ,στο οποίο υπάρχουν δύο αρπάγες στις οποίες με κατάλληλο τρόπο τοποθετείτε και συσφιγγεται το δοκίμιο. Με την έναρξη της καταπόνησης η μία αρπάγη (πάνω) παραμένει σταθερή (δηλαδή το δοκίμιο είναι πακτωμένο σε αυτή) και η άλλη αρπάγη (η κάτω) απομακρύνεται από την προηγούμενη εφαρμόζοντας τα εφελκυστικά φορτία. Οι επιμηκύνσεις παρουσιάζονται μόνο προς το μέρος της κινητής αρπάγης .

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: "ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ"

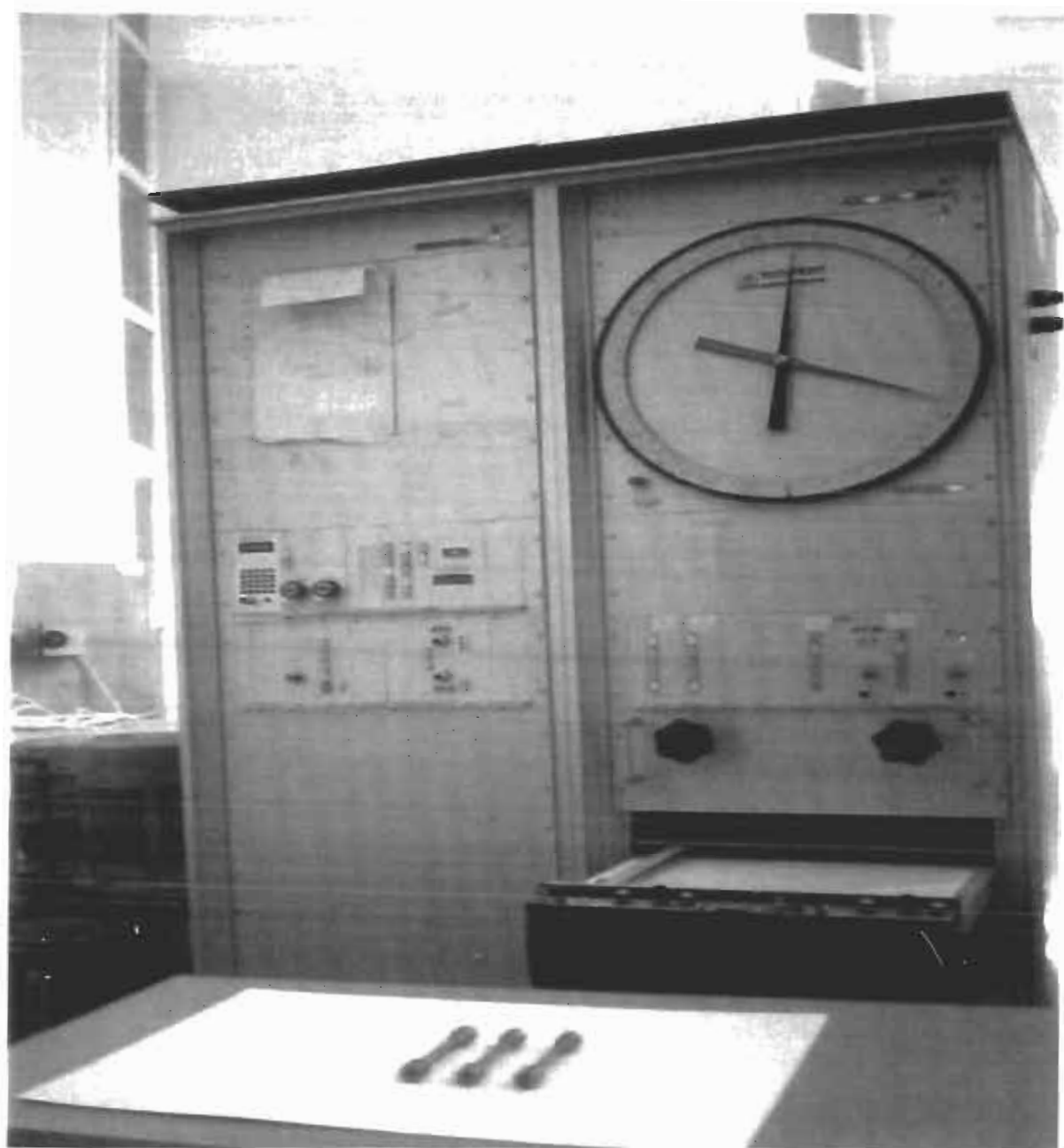
- **Το ηλεκτρονικό**, το οποίο δίνει την εντολή κίνησης της αρπάγης και στο οποίο βλέπουμε το εκάστοτε εφαρμοζόμενο φορτίο σε ΚΝ. Το ηλεκτρονικό μέρος αποτελείται από τον δίσκο καταγραφής των φορτίων σε ΚΝ όπως προαναφέρθηκε και από την καταγραφική συσκευή, όπου μία γραφίδα καταγράφει σε κατάλληλα διαμορφωμένο χαρτί (μιλιμετρέ) την τρέχουσα καταπόνηση. Στην ουσία καταγράφει τη γραφική σχέση του συνεχόμενα εφαρμοζόμενου φορτίου με τις αντίστοιχες παραμορφώσεις που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι επιμηκύνσεις.

Μέσω του ανώτερου ηλεκτρονικού του μέρους, μπορούμε να ρυθμίσουμε τον άξονα στον οποίο θα αναπαριστώνται τα φορτία με την επιθυμητή κλίμακα ,όπως επίσης και τον άξονα στον οποίο θα αναπαριστώνται οι επιμηκύνσεις με την επιθυμητή κλίμακα.



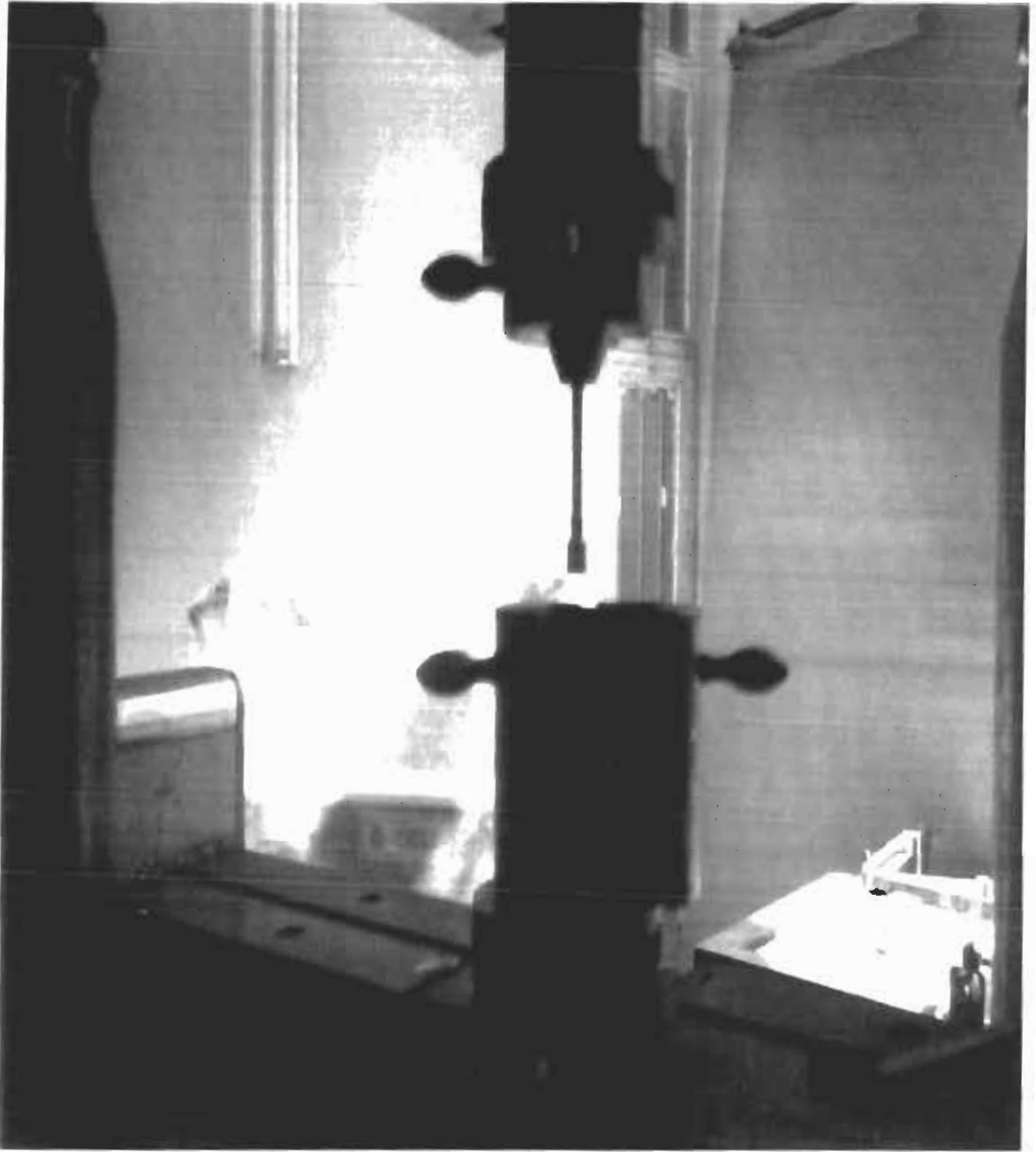


**ΕΙΚΟΝΑ 6: Μηχανικό τμήμα της μηχανής AMSLER**



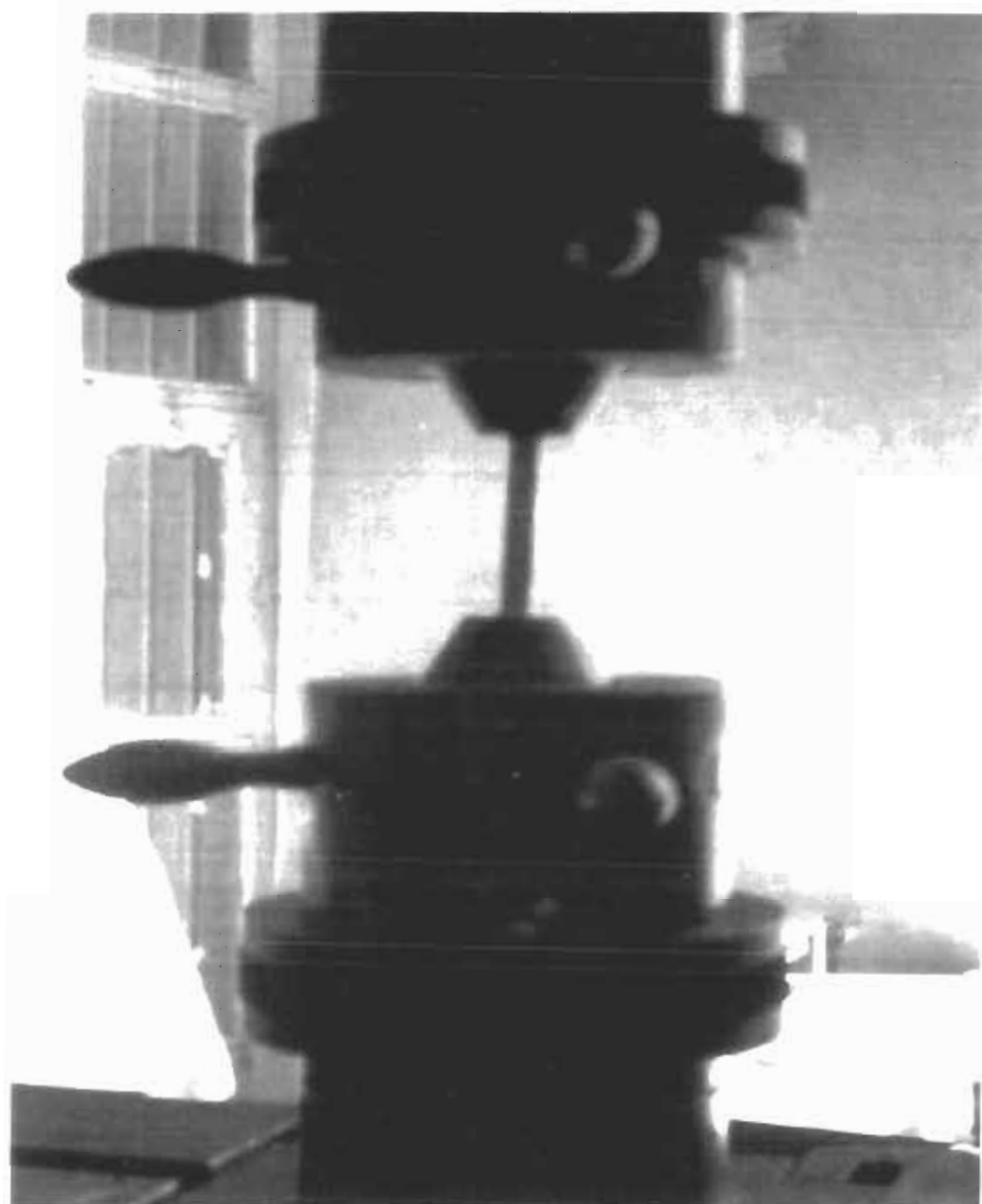
**ΕΙΚΟΝΑ 7: Ηλεκτρονικό τμήμα της μηχανής AMSLER**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: "ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ"



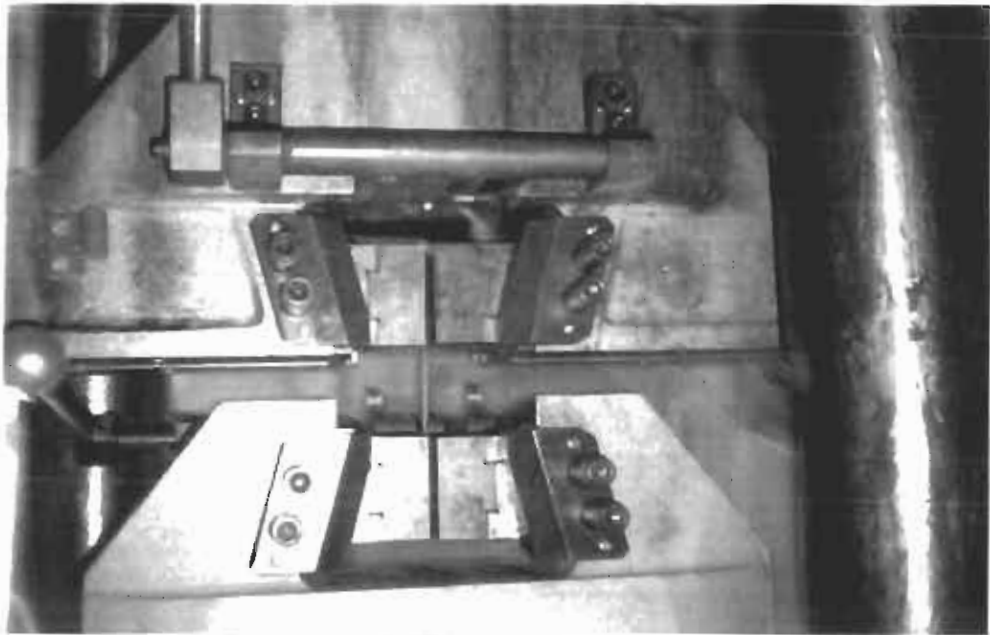
**ΕΙΚΟΝΑ 8: Διαμορφωμένο δοκίμιο πακτωμένο στη πάνω αρπάγη της μηχανής AMSLER του εργαστηρίου του Τ.Ε.Ι.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: "ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ"



**ΕΙΚΟΝΑ 9: Διαμορφωμένο δοκίμιο τοποθετημένο στις αρπάγες της μηχανής AMSLER του εργαστηρίου του Τ.Ε.Ι.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: "ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ"



**ΕΙΚΟΝΑ 10: Αδιαμόρφωτη ράβδος τοποθετημένη στη μηχανή AMSLER του εργαστηρίου του Κ.Ε.Δ.Ε.**



**ΕΙΚΟΝΑ 11: Αδιαμόρφωτη ράβδος τοποθετημένη στη μηχανή AMSLER του εργαστηρίου του Κ.Ε.Δ.Ε.**

## 10.6 Βασικές περιοχές της πορείας καταπόνησης του χάλυβα σε εφελκυσμό

- Περιοχή αναλογίας

Η ανωτέρα περιοχή χαρακτηρίζεται από μια ευθεία γραμμή που αρχίζει από την αρχή των αξόνων και καταλήγει εκεί που το υλικό παύει να συμπεριφέρεται ελαστικά. Μια συμπεριφορά χαρακτηρίζεται ελαστική όταν το υλικό επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση μετά την αποφόρτιση του, που σημαίνει ότι οι παραμορφώσεις που είχε αποκτήσει κατά τη διάρκεια της καταπόνησης δεν είναι παραμένουσες. Η περιοχή αυτή ονομάζεται ελαστική και περιγράφεται πλήρως από το νόμο του Hooke.

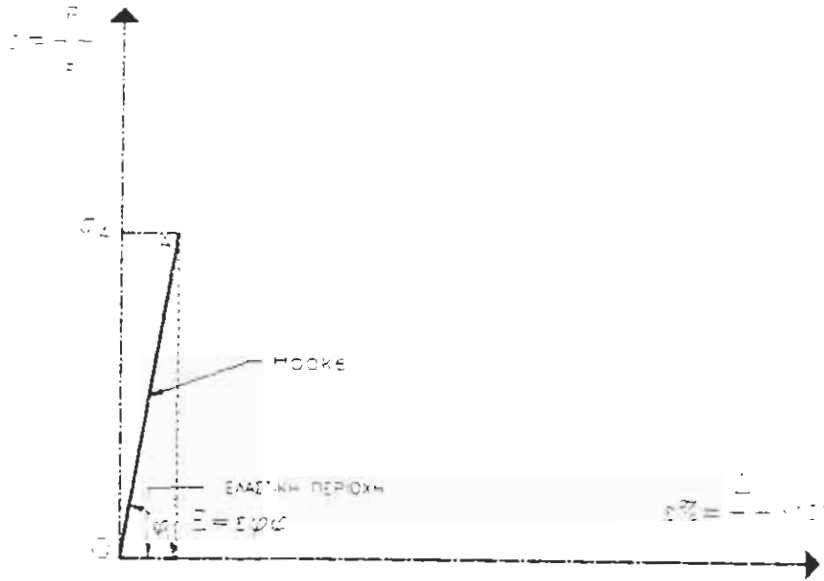
$$\sigma = \epsilon * E$$

όπου  $\sigma$ : τόσεις

$\epsilon$ : παραμορφώσεις

$E$ : Μέτρο ελαστικότητας το οποίο είναι χαρακτηριστικό για κάθε υλικό.

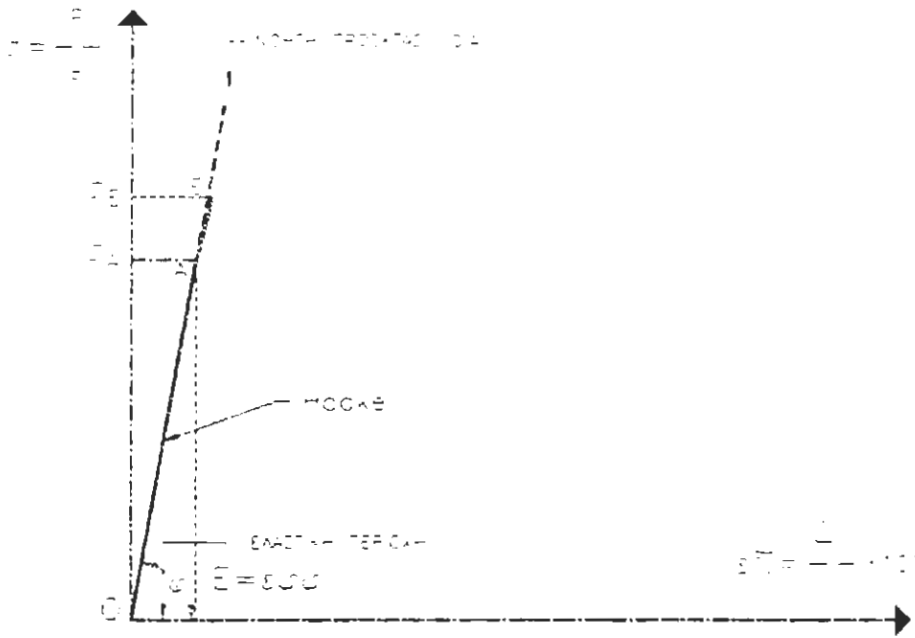
Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η γνώση του ορίου αυτής της περιοχής είναι πρωταρχική, μιας και η αριθμητική τιμή της τάσης του, αποτελεί το μέγιστο της ελαστικής αντοχής του υλικού. Το όριο αυτό ονομάζεται όριο Αναλογίας ( $A$ ) και γραφικά προσδιορίζεται στο σημείο εκείνο που το διάγραμμα από ευθεία γραμμή τείνει να λάβει κάποια κλίση και η τάση που αντιστοιχεί στο ανώτερο σημείο ονομάζεται τάση του ορίου αναλογίας  $\sigma_A$  (Σχήμα 21).



Σχ.21

- **Περιοχή Ελαστικότητας**

Με την επιβολή του εφελκυστικού φορτίου πέραν του ορίου Αναλογίας η γραμμική – αναλογική σχέση μεταξύ  $\sigma$  και  $\epsilon \%$  παύει να υπάρχει. Το διάγραμμα μετατρέπεται σε καμπύλη αλλά οι ελαστικές ιδιότητες του υλικού διατηρούνται. Το σημείο E αποτελεί το όριο Ελαστικότητας του υλικού και η τάση που αντιστοιχεί σε αυτό ονομάζεται τάση του ορίου Ελαστικότητας ( $\sigma_E$ ). Το σημείο αυτό βρίσκεται πολύ κοντά στο A και τις περισσότερες φορές είναι πολύ δύσκολο να το διακρίνουμε στο διάγραμμα που παίρνουμε από τα καταγραφικά των μηχανών (Σχήμα 22).



Σχ.22

Το Ε δεν βρίσκεται πάνω στην νοητή προέκταση της Ο.Α. αλλά επάνω σε μια καμπύλη που μόλις έχει αρχίσει να διαμορφώνεται (Σχήμα 23).



Σχ.23



- **Περιοχή Διαρροής**

Το κάθε σώμα αποτελείται από αριθμό μορίων που δυνάμεις συνοχής μεταξύ των εξασφαλίζουν τη στερεότητα (απαραμόρφωτο) του σώματος. Όταν μια εξωτερική δύναμη τείνει να παραμορφώσει το σώμα, δηλαδή, να μεταβάλει τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων του, τότε αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις που τείνουν να διατηρήσουν τις αποστάσεις των μορίων του σταθερές.

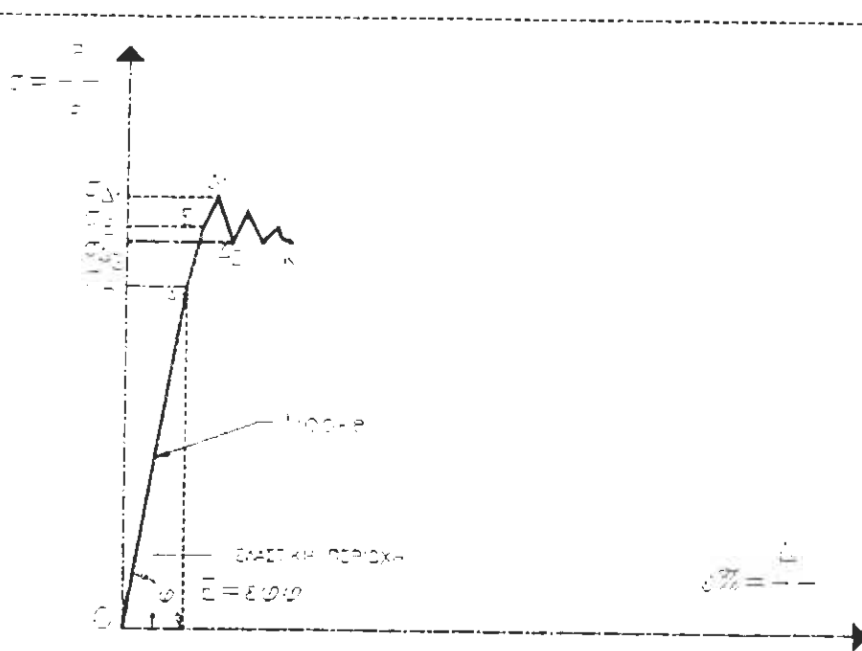
Στην περίπτωση της εφελκυστικής δύναμης οι εσωτερικές τάσεις έχουν ελκτική ιδιότητα προσπαθώντας να αντιδράσουν, για να διατηρήσουν τη συνοχή του σώματος σταθερή και το σώμα απαραμόρφωτο. Όταν η εξωτερική δύναμη λάβει τέτοιο μέγεθος που οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων του σώματος δεν μπορούν να διατηρηθούν στην αρχική κατάσταση, τότε λέμε ότι τα μόρια του σώματος διαρρέουν αναζητώντας νέες θέσεις για να μπορέσουν ελκτικά να αντισταθούν στη συνεχόμενη επιβολή της εξωτερικής δύναμης .

Η περιοχή αυτή που συμβαίνει το ανώτερο φαινόμενο ονομάζεται περιοχή Διαρροής, οριοθετείται από το Ε έως το Κ και στο διάγραμμα παρουσιάζεται με τη μορφή μιας ακανόνιστης τεθλασμένης γραμμής. Κατά την διάρκεια του ανωτέρου φαινομένου το σώμα επιμηκύνεται περίπου στο δεκαπλάσιο της επιμήκυνσης που είχε στο όριο Αναλογίας.

Η μέγιστη τιμή της τάσης της ανώτερου περιοχής που στο σχήμα 24 αντιστοιχεί στο  $\Delta_1$ , ονομάζεται Ανώτατο Όριο Διαρροής και συμβολίζεται με  $\sigma_{\Delta 1}$ .

Η ελάχιστη τιμή της τάσης της ανωτέρω περιοχής που στο σχήμα 24 αντιστοιχεί στο  $\Delta_2$ , ονομάζεται Κατώτατο Όριο Διαρροής και συμβολίζεται με  $\sigma_{\Delta 2}$ . Εμείς λαμβάνουμε μια μέση τιμή που την ονομάζουμε Όριο Διαρροής και που την συμβολίζουμε με  $\sigma_{\Delta}$ .

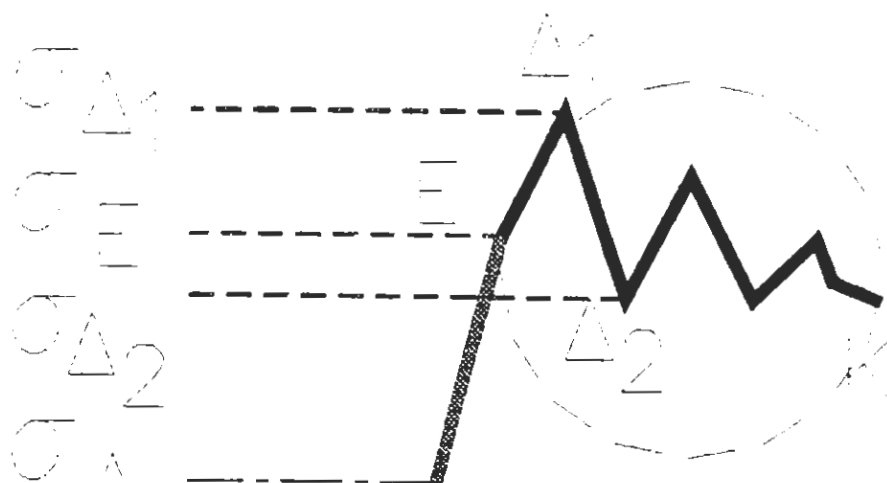
Όταν το υλικό αποκτήσει την ανωτέρω τάση οι ίνες του ολισθαίνουν σε επίπεδα κατά γωνία  $45^\circ$ , παρατηρώντας τις γνωστές γραμμές Luders η εμφάνιση των οποίων δηλώνει ότι η ανωτέρω διαρροή του υλικού είναι αποτέλεσμα της αστοχίας του σε Διάτμηση.



**Σχ.24**

Στο σημείο K η όλη διαρροή έχει τελειώσει με την ανακατανομή των μορίων του σώματος σε νέες θέσεις και το σώμα πλέον είναι έτοιμο σχετικά ομαλά να αντιδράσει στη συνεχόμενη επιβολή της εξωτερικής δύναμης. Δηλαδή το σώμα

είναι έτοιμο να "εργασθεί " και πάλι, για το λόγο αυτό και η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο K ονομάζεται συνήθως τάση Εργασίας.



Σχ.25

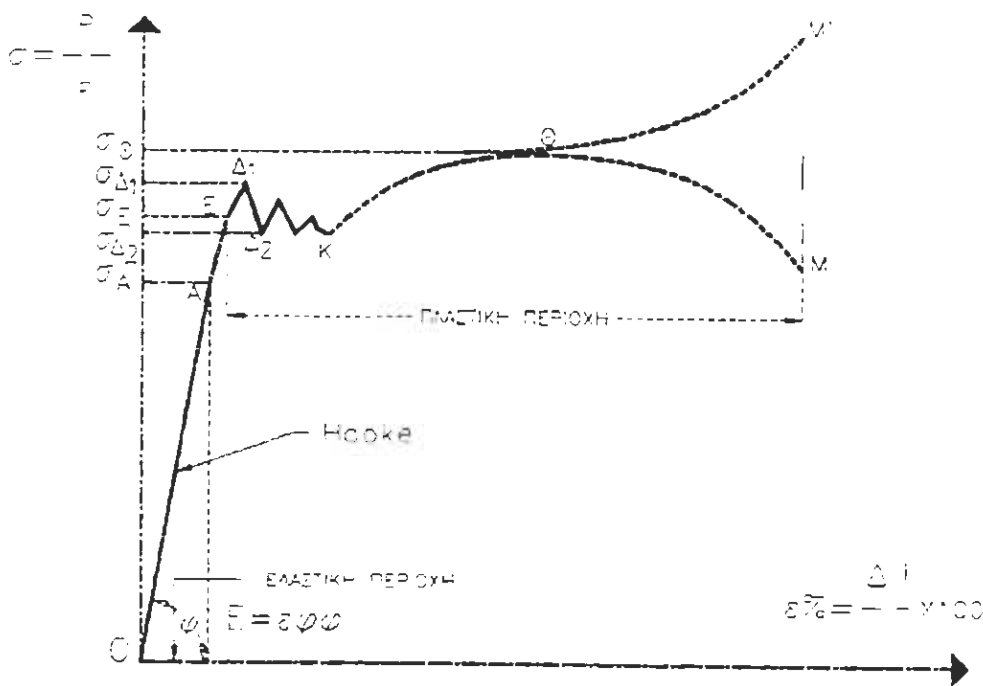
- **Περιοχή κράτυνσης**

Συνεχίζοντας την επιβολή του εφελκυστικού φορτίου μετά το σημείο K το διάγραμμα παίρνει την μορφή της καμπύλης ΚΘ του σχήματος 26 όπου παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση των παραμορφώσεων για μικρή σχετικά αύξηση των τάσεων. Το φαινόμενο αυτό έχει ήδη αρχίσει σε μικρό βαθμό από το E μέχρι το K, αλλά έντονο δηλαδή ουσιαστικά δυσανάλογες αυξήσεις μεταξύ τάσεων – παραμορφώσεων εμφανίζονται στην περιοχή ΚΘ.

Επειδή το υλικό μετά το πέρας της διαρροής του έχει αναλάβει σημαντικό μέρος των δυνάμεων του και συνεχίζει να αντιδρά, λέμε ότι το υλικό εξακολουθεί να "κρατάει" γι' αυτό και η ΚΘ ονομάζεται περιοχή κράτυνσης.

Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο  $\Theta$  ονομάζεται Όριο Θραύσης του υλικού και συμβολίζεται με  $\sigma_{\Theta}$ . Η ανωτέρω τιμή της τάσης εκφράζει στην ουσία το Όριο Αντοχής του υλικού σε Εφελκυσμό.

Ο προσδιορισμός του ανωτέρου σημείου σε ένα διάγραμμα προκύπτει από την τομή της εφαπτομένης που είναι παράλληλος προς την οριζόντια με το καμπύλο τμήμα ΚΜ.

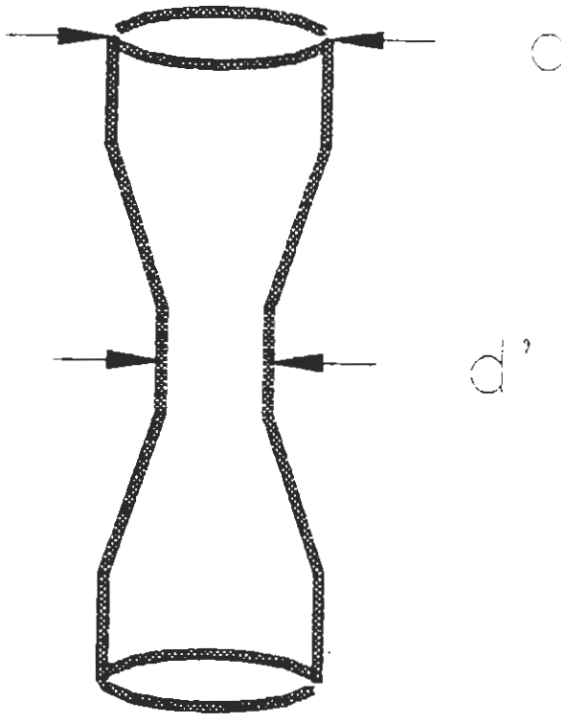


Σχ.26

• **Περιοχή εμφάνισης "λαιμού"**

Μετά το Όριο Αντοχής του υλικού (σημείο  $\Theta$ ) στο υλικό δημιουργείται μια εμφανής εξασθένηση (μείωση) της διατομής του, όπως φαίνεται στο σχήμα 27,

η οποία συνεχώς και επικινδύνως μειούμενη οδηγεί το υλικό στη διάσπαση του σε δύο τμήματα δηλαδή στη θραύση του. Η αποκόλληση των δύο τμημάτων έχει επέλθει στο σημείο Μ.

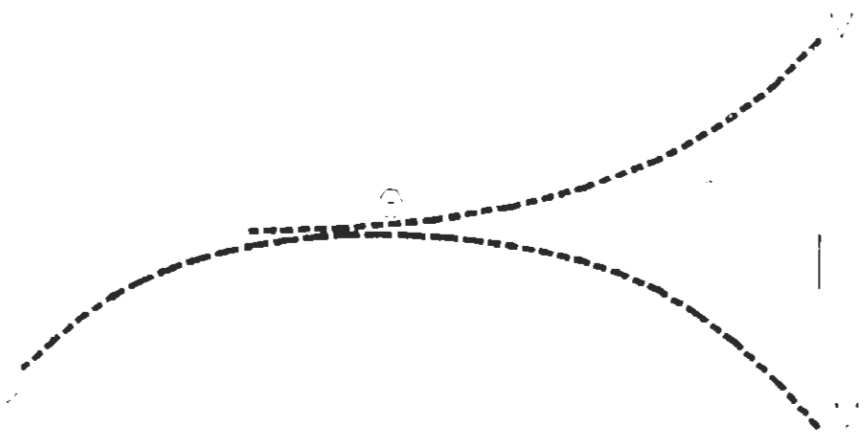


**Σχ.27**

Η μορφή του διαγράμματος ΘΜ είναι η αντίστοιχη πραγματική του διαγράμματος των Ρ και Δι δηλαδή του διαγράμματος της καταπόνησης. Το τμήμα ΘΜ στο διάγραμμα που εμείς εξετάζουμε δηλαδή των σ και ε % και που φαίνεται στο κατωτέρω σχήμα είναι συμβατικό και όχι πραγματικό. Το πραγματικό είναι το ΘΜ' μια και η πραγματική τάση

$$\sigma = P/f$$

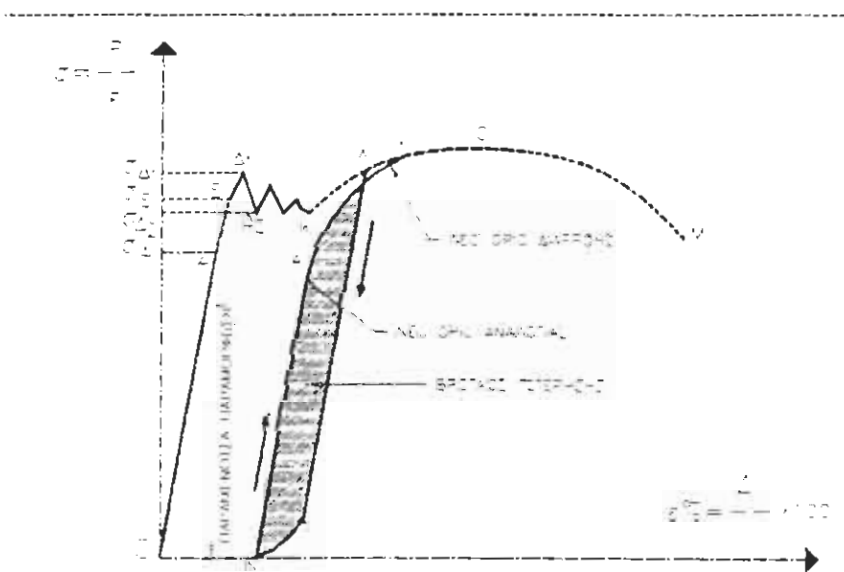
συνεχώς αυξάνει αφού η πραγματική διατομή  $f$  προκύπτει από τη συνεχώς μειούμενη πραγματική διάμετρο  $d'$ , όπως φαίνεται από το ανώτερο σχήμα 27. Επειδή όμως μετά το σημείο  $\Theta$  έχει ξεπερασθεί το όριο Αντοχής του υλικού δεν μας ενδιαφέρει η μορφή του τμήματος  $\Theta M$  και για λόγους αναλογίας με την πραγματική μορφή του διαγράμματος  $P$  και  $\Delta I$  του δίνουμε την ίδια μορφή. Εάν θέλουμε να βρούμε την πραγματική τάση σε κάποιο σημείο μετά το  $\Theta$  πρέπει να διαιρέσουμε το αντίστοιχο εφαρμοζόμενο εφελκυστικό φορτίο με την αντίστοιχη πραγματική διατομή που προκύπτει από το αντίστοιχο μέγεθος της διατομής  $d'$ .



**Σχ.28**

## 10.7 Αποφόρτιση στη πλαστική περιοχή

Εάν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας αποφορτίσουμε στη πλαστική περιοχή, έστω στο σημείο Λ του σχήματος τότε η γραφίδα του καταγραφικού θα ακολουθήσει μια πορεία προς τα κάτω και παράλληλη κατά το μέγιστο της τμήμα προς τη γραμμή αναλογίας Ο.Α. τέμνουσας του άξονα των παραμορφώσεων στο σημείο Ν'. Το μήκος ΟΝ' αναπαριστά τη μόνιμη παραμένουσα παραμόρφωση που έχει υποστεί το υπό καταπόνηση υλικό τη στιγμή της αποφόρτισης. Φορτίζοντας και πάλι το δοκίμιο η γραφίδα του καταγραφικού θα ακολουθήσει μια πορεία προς τα πάνω και παράλληλη κατά το μέγιστο της τμήμα προς τη γραμμή αναλογίας Ο.Α. τέμνοντας τον άξονα των παραμορφώσεων στο σημείο Λ'. Η περιοχή που περικλείεται μεταξύ των γραμμών φόρτισης και αποφόρτισης ονομάζεται ΒΡΟΓΧΟΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ.



Σχ.29

Στην περίπτωση της επαναφοράς το νέο Όριο Αναλογίας του υλικού έχει μικρότερη τιμή από το αντίστοιχο αρχικό. Ενώ το νέο Όριο Διαρροής έχει τιμή μεγαλύτερη από το αντίστοιχο αρχικό. Το φαινόμενο αυτό σκλήρυνσης λόγω πλαστικής παραμόρφωσης, χρησιμοποιείται σε πολλές τεχνολογικές μεθόδους κατεργασίας μετάλλων εν ψυχρώ όπως είναι η εξέλαση ράβδων.

Το εμβαδόν του βρόγχου υστέρησης αναποριστά το έργο που απορροφήθηκε μέχρι την στιγμή της αποφόρτισης. Ένα τμήμα του έργου αυτού που είναι και το σημαντικό μετατρέπεται σε θερμότητα, ενώ το υπόλοιπο παραμένει στο δοκίμιο σαν ενέργεια παραμόρφωσης.



## 11.1 Αποτελέσματα δοκιμών

### Α Κατηγορία δοκιμών.

Δοκίμια βάση προδιαγραφών – διαμορφωμένα με ενισχυμένα άκρα συνολικού μήκους 10 cm και βάρος 68,5 gr, ελεγχθέντα στο εργ. Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. Πάτρας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Α<sub>1</sub> Κατηγορία δοκιμών.**  
Δοκίμια κατηγορίας χάλυβα S220

α/α	Όριο Διαρροής (Μρα)	Όριο Θραύσης (ΜΡα)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
1	397	537	21,33
2	381	472	24,95
3	373	469	24,90
4	361	468	25,65

**ΠΙΝΑΚΑΣ 18: 1<sup>ο</sup> Διαμορφωμένο Δοκίμιο S 220**

α/α	Φορτίο	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	ε%
	P(N)	F(mm <sup>2</sup> )	σ(MPa)	Δl(mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	
A	19500	50,24	388	0,6	60	10,0*10 <sup>-3</sup>	1,00
Δ <sub>1</sub>	20550	50,24	409	0,6	60	10,0*10 <sup>-3</sup>	1,00
1	19650	50,24	391	0,7	60	11,7*10 <sup>-3</sup>	1,17
Δ <sub>2</sub>	19350	50,24	385	0,9	60	15,0*10 <sup>-3</sup>	1,50
2	19800	50,24	394	1,1	60	18,3*10 <sup>-3</sup>	1,83
3	19950	50,24	397	1,3	60	21,7*10 <sup>-3</sup>	2,17
4	19500	50,24	388	1,6	60	26,7*10 <sup>-3</sup>	2,67
5	25500	50,24	508	4,2	60	70,0*10 <sup>-3</sup>	7,00
Θ	27000	50,24	537	8,0	60	133,3*10 <sup>-3</sup>	13,33
6	24300	50,24	537	10,8	60	180,0*10 <sup>-3</sup>	18,00
7	15750	50,24	313	12,1	60	201,7*10 <sup>-3</sup>	20,17

1) P<sub>εργαστηρίου</sub> =27500N

2) Επιμήκυνση θραύσης: ε' =22,5% (από Μηχανή AMSLER)

3) Επιμήκυνση θραύσης: ε<sub>θ</sub> =20,17% (από Διάγραμμα)

- 4) Άρα  $\epsilon = (20,17\% + 22,5\%) / 2 = 21,33\% < 24\%$
- 5) Τάση ορίου Αναλογίας:  $\sigma_A = 388 \text{ MPa}$
- 6) Μέτρο Ελαστικότητας  $E = \sigma_A / \epsilon_A = 46747 \text{ MPa}$
- 7) Τάση ορίου Διαρροής:  $\sigma_{0A} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 397 \text{ MPa}$
- 8) Τάση ορίου Θραύσης:  $\sigma_{\theta} = 537 \text{ MPa}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 19: 2<sup>ο</sup> Διαμορφωμένο Δοκίμιο S 220.**

α/α	Φορτίο	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	$\epsilon\%$
	P (N)	F (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)	$\Delta l$ (mm)	$l_0$ (mm)	$\epsilon$	
A	18450	50,24	367	0,5	60	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,83
$\Delta_1$	20250	50,24	403	0,6	60	$10,0 \cdot 10^{-3}$	1,00
$\Delta_2$	18000	50,24	358	0,8	60	$13,3 \cdot 10^{-3}$	1,33
1	18600	50,24	370	0,9	60	$15,0 \cdot 10^{-3}$	1,50
2	18900	50,24	376	1,6	60	$26,7 \cdot 10^{-3}$	2,67
3	18450	50,24	367	1,9	60	$31,6 \cdot 10^{-3}$	3,16
4	18300	50,24	364	2,3	60	$38,3 \cdot 10^{-3}$	3,83
5	22500	50,24	448	5,6	60	$93,3 \cdot 10^{-3}$	9,33
$\theta$	23700	50,24	472	9,9	60	$165,0 \cdot 10^{-3}$	16,50
6	21150	50,24	421	13,6	60	$226,0 \cdot 10^{-3}$	22,60
7	18000	50,24	358	14,2	60	$236,0 \cdot 10^{-3}$	23,60

- 1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 27500 \text{ N}$
- 2) Επιμήκυνση θραύσης:  $\epsilon' = 26,3\%$  (από Μηχανή AMSLER)
- 3) Επιμήκυνση θραύσης:  $\epsilon_{\theta} = 23,6\%$  (από Διάγραμμα)
- 4) Άρα  $\epsilon = (26,3\% + 23,6\%) / 2 = 24,95\% > 24\%$
- 5) Τάση ορίου Αναλογίας  $\sigma_A = 367 \text{ MPa}$
- 6) Μέτρο Ελαστικότητας  $E = \sigma_A / \epsilon_A = 44217 \text{ MPa}$
- 7) Τάση ορίου Διαρροής  $\sigma_{0A} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 381 \text{ MPa}$
- 8) Τάση ορίου Θραύσης:  $\sigma_{\theta} = 472 \text{ MPa}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 20: 3<sup>ο</sup> Διαμορφωμένο Δοκίμιο S 220.**

α/α	Φορτίο P (N)	Διατομή F (mm)	Τάση σ (MPa)	Επιμ. Δl (mm)	Αρ.Μήκος l <sub>0</sub> (mm)	Αν.Επιμ. ε	ε%
A	18750	50,24	373	0,4	60	$6,7 \cdot 10^{-3}$	0,67
Δ <sub>1</sub>	19800	50,24	394	0,5	60	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,83
Δ <sub>2</sub>	17700	50,24	352	1,1	60	$18,3 \cdot 10^{-3}$	1,83
1	18150	50,24	361	1,5	60	$25,0 \cdot 10^{-3}$	2,50
2	18450	50,24	367	1,7	60	$28,3 \cdot 10^{-3}$	2,83
3	18300	50,24	364	1,9	60	$31,7 \cdot 10^{-3}$	3,17
4	18000	50,24	358	2,1	60	$35,0 \cdot 10^{-3}$	3,50
5	22500	50,24	448	5,1	60	$85,0 \cdot 10^{-3}$	8,50
Θ	23550	50,24	469	9,4	60	$156,7 \cdot 10^{-3}$	15,67
6	20550	50,24	409	13,2	60	$220,0 \cdot 10^{-3}$	22,00
7	16800	50,24	334	14,4	60	$240,0 \cdot 10^{-3}$	24,00

- 1)  $P_{εργαστηρίου} = 24000N$
- 2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε' = 25,8\%$  (από Μήχανή AMSLER)
- 3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε_{θ} = 24,0\%$  (από Διάγραμμα)
- 4) Άρα  $ε = (25,8\% + 24,0\%) / 2 = 24,9\% > 24\%$
- 5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $σ_A = 373 MPa$
- 6) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= σ_A / ε_A = 55672 MPa$
- 7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $σ_{οΔ} = (σ_{Δ1} + σ_{Δ2}) / 2 = 373 MPa$
- 8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $σ_{θ} = 469 MPa$

**ΠΙΝΑΚΑΣ:21 4<sup>ο</sup> Δοκίμιο κατηγορίας χάλυβα S 220.**

	Φορτίο	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ. Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε%
A	18300	50,24	364	0,5	60	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,83
Δ <sub>1</sub>	19050	50,24	379	0,6	60	$10,0 \cdot 10^{-3}$	1,00
1	18750	50,24	373	0,7	60	$11,7 \cdot 10^{-3}$	1,17
2	17850	50,24	355	1,0	60	$16,7 \cdot 10^{-3}$	1,67
3	18600	50,24	370	1,6	60	$26,6 \cdot 10^{-3}$	2,66
4	17850	50,24	355	1,9	60	$31,7 \cdot 10^{-3}$	3,17
Δ <sub>2</sub>	17250	50,24	343	2,2	60	$36,6 \cdot 10^{-3}$	3,66
5	22500	50,24	448	5,0	60	$83,3 \cdot 10^{-3}$	8,33
Θ	23550	50,24	468	9,1	60	$151,6 \cdot 10^{-3}$	15,16
6	20250	50,24	404	12,3	60	$205,0 \cdot 10^{-3}$	20,50
7	15000	50,24	299	13,8	60	$230,0 \cdot 10^{-3}$	23,00

1) P<sub>εργαστηρίου</sub> = 24000N

2) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε' = 28,3% (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε<sub>θ</sub> = 23,0% (από Διάγραμμα)

4) Άρα ε = (28,3% + 23,0%) / 2 = 25,65% > 24%

5) **Τάση ορίου αναλογίας:** σ<sub>A</sub> = 364 MPa

6) **Μέτρο Ελαστικότητας** E = σ<sub>A</sub> / ε<sub>A</sub> = 43855 MPa

7) **Τάση ορίου Διαρροής:** σ<sub>0Δ</sub> = (σ<sub>Δ1</sub> + σ<sub>Δ2</sub>) / 2 = 361 MPa

8) **Τάση ορίου Θραύσης:** σ<sub>θ</sub> = 468 MPa

**ΠΙΝΑΚΑΣ 22: A<sub>2</sub> Κατηγορία δοκιμίων.**

**Δοκίμια κατηγορίας χάλυβα S 500.**

A/a	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
1	424	585	20,55
2	379	528	19,9

**ΠΙΝΑΚΑΣ 23: 1<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S500.**

α/α	Φορτίο P (N)	Διατομή F (mm <sup>2</sup> )	Τάση σ (MPa)	Επιμ. Δl (mm)	Αρ.Μήκος l <sub>0</sub> (mm)	Αν. Επιμ. ε	ε%
A	21000	50,24	418	0,5	60	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,83
Δ <sub>1</sub>	21600	50,24	430	0,8	60	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,13
1	21450	50,24	427	0,6	60	$10,0 \cdot 10^{-3}$	1,00
2	21450	50,24	427	0,7	60	$11,6 \cdot 10^{-3}$	1,16
3	21600	50,24	430	1,1	60	$18,3 \cdot 10^{-3}$	1,18
Δ <sub>2</sub>	21300	50,24	424	2,0	60	$33,3 \cdot 10^{-3}$	3,33
4	26400	50,24	525	3,4	60	$56,7 \cdot 10^{-3}$	5,67
Θ	28050	50,24	585	7,6	60	$126,7 \cdot 10^{-3}$	12,67
5	24300	50,24	484	10,1	60	$168,3 \cdot 10^{-3}$	16,83
6	17250	50,24	343	12,6	60	$210,0 \cdot 10^{-3}$	20,10

- 1) **P** εργαστηρίου = 28500 N
- 2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 21,0\%$  (από Μηχανή AMSLER)
- 3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 20,1\%$  (από Διάγραμμα)
- 4) Άρα  $\epsilon = (21,0\% + 20,1\%) / 2 = 20,55\% > 12\%$
- 5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 418$  MPa
- 6) **Μέτρο Ελαστικότητας E** =  $\sigma_A / \epsilon_A = 50361$  MPa
- 7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 424$  MPa
- 8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 585$  MPa

**ΠΙΝΑΚΑΣ 24: 2° Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 500.**

α/α	Φορτίο P (N)	Διατομή F (mm)	Τάση σ (MPa)	Επιμ. Δl (mm)	Αρ.Μήκος l <sub>0</sub> (mm)	Αν.Επιμ. ε	ε%
A	19500	50,24	388	0,3	60	$5,0 \cdot 10^{-3}$	0,5
Δ <sub>1</sub>	20250	50,24	403	0,4	60	$6,7 \cdot 10^{-3}$	0,67
Δ <sub>2</sub>	17850	50,24	355	1,3	60	$22,0 \cdot 10^{-3}$	2,20
1	19500	50,24	388	0,5	60	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,83
2	19200	50,24	382	0,7	60	$12,0 \cdot 10^{-3}$	1,2
3	19350	50,24	385	0,9	60	$15,0 \cdot 10^{-3}$	1,5
4	19050	50,24	379	1,1	60	$18,0 \cdot 10^{-3}$	1,8
5	25050	50,24	499	4,2	60	$70,0 \cdot 10^{-3}$	7,00
Θ	26550	50,24	528	8,1	60	$135,0 \cdot 10^{-3}$	13,5
6	24150	50,24	481	10,6	60	$176,0 \cdot 10^{-3}$	17,6
7	19800	50,24	394	11,8	60	$196,0 \cdot 10^{-3}$	19,6

1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 27000 \text{ N}$

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 20,2\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 19,6\%$  (από Διάγραμμα)

4) Άρα  $\epsilon = (20,2\% + 19,6\%) / 2 = 19,9\% > 12\%$

5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 388 \text{ MPa}$

6) **Μέτρο Ελαστικότητας**  $E = \sigma_A / \epsilon_A = 77600 \text{ MPa}$

7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 379 \text{ MPa}$

8) **Τάση ορίου Θραύσης :**  $\sigma_{\theta} = 528 \text{ MPa}$

## **B Κατηγορία δοκιμίων**

Δοκίμια χωρίς ενισχυμένα άκρα –ράβδοι συνολικού μήκους 70 cm, ελεχθέντα στο εργ. Αντοχής Υλικών του **Τ.Ε.Ι** Πάτρας .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 25: Β1 Δοκίμια κατηγορίας χάλυβα S 220 (Θ.Χ.).**

α/α	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
1	432	675	19,88
2	466	702	16,08

**ΠΙΝΑΚΑΣ 26: 1° Δοκίμιο κατηγορίας χάλυβα S 220.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	ε%
α/α	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	
A	19800	234	50,24	394	2,25	478	4,7*10 <sup>-3</sup>	0,47
E	20700	234	50,24	412	3,00	478	6,3*10 <sup>-3</sup>	0,63
Δ <sub>2</sub>	21300	234	50,24	424	4,25	478	8,9*10 <sup>-3</sup>	0,89
Δ <sub>1</sub>	22050	234	50,24	439	5,00	478	10,5*10 <sup>-3</sup>	1,05
1	27300	234	50,24	543	12,50	478	26,1*10 <sup>-3</sup>	2,61
2	31800	234	50,24	633	26,25	478	54,9*10 <sup>-3</sup>	5,49
Θ	33900	234	50,24	675	52,25	478	109,3*10 <sup>-3</sup>	10,93
3	30600	234	50,24	609	61,75	478	129,2*10 <sup>-3</sup>	12,92
4	25950	234	50,24	517	62,50	478	130,7*10 <sup>-3</sup>	13,07

1) **P** εργαστηρίου =33700N

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 20,7\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 19,07\%$  (από Διάγραμμα)

4) Άρα  $\epsilon = (20,7\% + 19,07\%) / 2 = 19,88\% < 24\%$

5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 394$  MPa

6) **Μέτρο Ελαστικότητας E** = 84912 MPa

7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{\theta\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 432$  MPa

8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 675$  MPa

**ΠΙΝΑΚΑΣ 27: 2<sup>ο</sup> Δοκίμιο κατηγορίας χάλυβα S 220.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
a/a	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε%
A	20700	237	50,24	412	1,75	505	$3,5 \cdot 10^{-3}$	0,35
E	21900	237	50,24	436	2,50	505	$4,9 \cdot 10^{-3}$	0,49
Δ <sub>2</sub>	22950	237	50,24	457	3,75	505	$7,4 \cdot 10^{-3}$	0,74
Δ <sub>1</sub>	23850	237	50,24	475	5,50	505	$10,9 \cdot 10^{-3}$	1,09
1	32550	237	50,24	648	26,25	505	$51,9 \cdot 10^{-3}$	5,19
Θ	35250	237	50,24	702	58,50	505	$115,8 \cdot 10^{-3}$	11,58
2	34950	237	50,24	696	70,00	505	$138,6 \cdot 10^{-3}$	13,86
3	26400	237	50,24	525	72,50	505	$143,6 \cdot 10^{-3}$	14,36

- 1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 35000\text{N}$
- 2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 17,8\%$  (από Μηχανή AMSLER)
- 3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 14,36\%$  ( από Διάγραμμα)
- 4) Άρα  $\epsilon = (17,8\% + 14,36\%) / 2 = 16,08\% < 24\%$
- 5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 412 \text{ MPa}$
- 6) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= \sigma_A / \epsilon_A = 117714 \text{ MPa}$
- 7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 466 \text{ MPa}$
- 8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 702 \text{ MPa}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 28: Β<sub>2</sub> Δοκίμια Κατηγορίας χάλυβα S 220 (Ε.Χ.)**

a/a	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
3	365	466	17,24
4	385	478	16,53



**ΠΙΝΑΚΑΣ 29: 3<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 220.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε <sup>ο</sup> %
A	17400	235	50,24	346	1,70	476	$3,6 \cdot 10^{-3}$	0,36
1	18000	235	50,24	358	2,50	476	$5,3 \cdot 10^{-3}$	0,53
Δ <sub>2</sub>	17700	235	50,24	352	4,75	476	$9,9 \cdot 10^{-3}$	0,99
2	17850	235	50,24	355	7,50	476	$15,7 \cdot 10^{-3}$	1,57
3	18450	235	50,24	367	11,25	476	$23,6 \cdot 10^{-3}$	2,36
4	17850	235	50,24	355	12,50	476	$26,3 \cdot 10^{-3}$	2,63
5	18150	235	50,24	361	14,00	476	$29,4 \cdot 10^{-3}$	2,94
Δ <sub>1</sub>	19050	235	50,24	379	16,25	476	$34,1 \cdot 10^{-3}$	3,41
6	22500	235	50,24	448	43,75	476	$91,9 \cdot 10^{-3}$	9,19
Θ	23400	235	50,24	466	69,75	476	$146,5 \cdot 10^{-3}$	14,65
7	18450	235	50,24	367	72,50	476	$152,3 \cdot 10^{-3}$	15,23
8	14850	235	50,24	296	73,25	476	$153,8 \cdot 10^{-3}$	15,38

1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 23300\text{N}$

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 19,1\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 15,38\%$  ( από Διάγραμμα)

4) Άρα  $\epsilon = (19,1\% + 15,38\%) / 2 = 17,24\% < 24\%$

5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 346\text{MPa}$

6) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= \sigma_A / \epsilon_A = 96112\text{ MPa}$

7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 365\text{ MPa}$

8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 466\text{ MPa}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 30: 4<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S220.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	B(gr)	F (mm)	$\sigma$ (MPa)	$\Delta l$ (mm)	$l_0$ (mm)	$\epsilon$	$\epsilon\%$
A	18300	233	50,24	364	1,75	478	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,37
$\Delta_2$	18000	233	50,24	358	3,75	478	$7,8 \cdot 10^{-3}$	0,78
1	18450	233	50,24	367	8,25	478	$17,3 \cdot 10^{-3}$	1,73
2	19350	233	50,24	385	11	478	$23, \cdot 10^{-3}$	2,3
3	18900	233	50,24	376	12,75	478	$26,7 \cdot 10^{-3}$	2,67
4	19200	233	50,24	382	14,75	478	$30,8 \cdot 10^{-3}$	3,08
$\Delta_1$	20700	233	50,24	412	18,75	478	$39,2 \cdot 10^{-3}$	3,92
5	22500	233	50,24	448	31,25	478	$65,4 \cdot 10^{-3}$	6,54
$\Theta$	24000	233	50,24	478	61,75	478	$129,2 \cdot 10^{-3}$	12,92
6	22350	233	50,24	445	64,75	478	$135,5 \cdot 10^{-3}$	13,55
7	15000	233	50,24	298	66,25	478	$138,6 \cdot 10^{-3}$	13,86

1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 23600\text{N}$

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 19,2\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 13,86\%$  ( από Διάγραμμα)

4) Άρα  $\epsilon = (19,2\% + 13,86\%) / 2 = 16,53\% < 24\%$

5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 364\text{MPa}$

6) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= \sigma_A / \epsilon_A = 98378\text{ MPa}$

7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 385\text{ MPa}$

8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 478\text{ MPa}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 31: B<sub>3</sub> Δοκίμια Κατηγορίας χάλυβα S500 (Θ.Χ).**

α/α	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
5	497	566	11,85
6	488	545	12,16

**ΠΙΝΑΚΑΣ 32 : 5<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S500.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε%
A	28350	230	58,60	484	2,87	500	5,7*10 <sup>-3</sup>	0,57
1	29700	230	58,60	507	3,25	500	6,5*10 <sup>-3</sup>	0,65
Δ <sub>2</sub>	28200	230	58,60	481	3,50	500	7,0*10 <sup>-3</sup>	0,70
2	28500	230	58,60	486	6,25	500	12,5*10 <sup>-3</sup>	1,25
3	29250	230	58,60	499	9,50	500	19,0*10 <sup>-3</sup>	1,90
4	28800	230	58,60	491	12,50	500	25,0*10 <sup>-3</sup>	2,50
Δ <sub>1</sub>	30000	230	58,60	512	15,25	500	31,0*10 <sup>-3</sup>	3,10
5	32400	230	58,60	553	31,50	500	63,0*10 <sup>-3</sup>	6,30
Θ	33150	230	58,60	566	46,50	500	93,0*10 <sup>-3</sup>	9,30
6	31500	230	58,60	537	48,75	500	97,5*10 <sup>-3</sup>	9,75
7	25500	230	58,60	435	52,50	500	105,0*10 <sup>-3</sup>	10,50

1) **P**<sub>εργαστηρίου</sub>=33300N

2) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε' =13,2% (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε<sub>θ</sub>=10,50% ( από Διάγραμμα)

4) Άρα ε=(13,2%+10,50%)/2=11,85%<12%

5) **Τάση ορίου Αναλογίας:** σ<sub>A</sub>=484MPa

6) **Μέτρο Ελαστικότητας E** =σ<sub>A</sub>/ε<sub>A</sub>=84912 MPa

7) **Τάση ορίου Διαρροής:** σ<sub>0Δ</sub>=(σ<sub>Δ1</sub>+σ<sub>Δ2</sub>)/2=497 MPa

8) **Τάση ορίου Θραύσης:** σ<sub>θ</sub>=566MPa

**ΠΙΝΑΚΑΣ 33: 6<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S500.**

	Φόρτιο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε%
A	28650	250	63,07	454	3,50	505	$6,9 \cdot 10^{-3}$	0,69
1	30450	250	63,07	483	3,80	505	$7,5 \cdot 10^{-3}$	0,75
Δ <sub>2</sub>	29550	250	63,07	469	4,00	505	$7,9 \cdot 10^{-3}$	0,79
2	31350	250	63,07	497	5,25	505	$10,4 \cdot 10^{-3}$	1,04
3	30600	250	63,07	485	6,75	505	$13,4 \cdot 10^{-3}$	1,34
4	31650	250	63,07	502	8,50	505	$16,8 \cdot 10^{-3}$	1,68
5	31500	250	63,07	499	11,25	505	$22,3 \cdot 10^{-3}$	2,23
6	30900	250	63,07	490	13,25	505	$26,2 \cdot 10^{-3}$	2,62
7	31650	250	63,07	502	15,25	505	$30,2 \cdot 10^{-3}$	3,02
Δ <sub>1</sub>	31950	250	63,07	507	17,00	505	$33,6 \cdot 10^{-3}$	3,36
8	33750	250	63,07	535	27,50	505	$54,5 \cdot 10^{-3}$	5,45
Θ	34350	250	63,07	545	37,50	505	$74,3 \cdot 10^{-3}$	7,43
9	30000	250	63,07	476	41,25	505	$81,7 \cdot 10^{-3}$	8,17
10	22650	250	63,07	359	42,00	505	$83,2 \cdot 10^{-3}$	8,32

1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 34000\text{N}$

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 16,00\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 8,32\%$  ( από Διάγραμμα)

4) Άρα  $\epsilon = (16,00\% + 8,32\%) / 2 = 12,16\% > 12\%$

5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 454\text{MPa}$

6) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= \sigma_A / \epsilon_A = 65797\text{ MPa}$

7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 488\text{ MPa}$

8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 545\text{MPa}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 34: Β<sub>4</sub> Κατηγορία χάλυβα S500 (Ε.Χ.).**

α/α	Όριο Διαρροής (Μρα)	Όριο Θραύσης (ΜΡα)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
7	477	532	14,33
8	493	544	14,83

**ΠΙΝΑΚΑΣ 35: 7<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 500.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
A/a	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (ΜΡα)	Δl(mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε%
A	28650	220	60,93	470	2,75	460	5,9*10 <sup>-3</sup>	0,59
Δ <sub>1</sub>	29850	220	60,93	490	3,00	460	6,5*10 <sup>-3</sup>	0,65
1	28350	220	60,93	465	3,75	460	8,1*10 <sup>-3</sup>	0,81
2	28950	220	60,93	475	4,25	460	9,2*10 <sup>-3</sup>	0,92
3	28500	220	60,93	468	5,75	460	12,5*10 <sup>-3</sup>	1,25
Δ <sub>2</sub>	28350	220	60,93	465	8,00	460	17,4*10 <sup>-3</sup>	1,74
4	28800	220	60,93	473	8,75	460	19*10 <sup>-3</sup>	1,90
5	28500	220	60,93	468	12,50	460	27,2*10 <sup>-3</sup>	2,72
6	29100	220	60,93	478	15,75	460	34,2*10 <sup>-3</sup>	3,42
7	28650	220	60,93	470	17,75	460	38,6*10 <sup>-3</sup>	3,86
8	31500	220	60,93	517	32,00	460	69,6*10 <sup>-3</sup>	6,96
Θ	32400	220	60,93	532	53,25	460	115,7*10 <sup>-3</sup>	11,57
9	31350	220	60,93	515	56,50	460	122,8*10 <sup>-3</sup>	12,28
10	24450	220	60,93	401	58,25	460	126,6*10 <sup>-3</sup>	12,66

1) P<sub>εργαστηρίου</sub>=32400N

2) Επιμήκυνση θραύσης: ε' =16,00% (από Μηχανή AMSLER)

3) Επιμήκυνση θραύσης: ε<sub>θ</sub>=12,66% ( από Διάγραμμα)

4) Άρα ε=(16,00%+12,66%)/2=14,33%>12%

5) Τάση ορίου Αναλογίας: σ<sub>A</sub>=454MPa

6) Μέτρο Ελαστικότητας E =σ<sub>A</sub>/ε<sub>A</sub>=79661 MPa

7) Τάση ορίου Διαρροής: σ<sub>0Δ</sub>=(σ<sub>Δ1</sub>+σ<sub>Δ2</sub>)/2=477 MPa

8) Τάση ορίου Θραύσης: σ<sub>θ</sub>=532MPa

**ΠΙΝΑΚΑΣ 36: 8<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 500.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
A	28950	222	59,54	486	2,75	475	$5,8 \cdot 10^{-3}$	0,58
Δ <sub>1</sub>	30150	222	59,54	506	3,00	475	$6,3 \cdot 10^{-3}$	0,63
1	28800	222	59,54	484	4,25	475	$8,9 \cdot 10^{-3}$	0,89
2	29400	222	59,54	494	6,00	475	$12,6 \cdot 10^{-3}$	1,26
3	28800	222	59,54	484	8,50	475	$17,9 \cdot 10^{-3}$	1,79
Δ <sub>2</sub>	28500	222	59,54	479	12,25	475	$25,8 \cdot 10^{-3}$	2,58
4	29250	222	59,54	491	15,50	475	$32,6 \cdot 10^{-3}$	3,26
5	28650	222	59,54	481	18,75	475	$39,5 \cdot 10^{-3}$	3,95
6	31800	222	59,54	534	38,50	475	$81,1 \cdot 10^{-3}$	8,11
Θ	32400	222	59,54	544	56,25	475	$118,4 \cdot 10^{-3}$	11,84
7	27300	222	59,54	459	63,00	475	$132,6 \cdot 10^{-3}$	13,26

1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 32500\text{N}$

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 16,40\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 13,26\%$  ( από Διάγραμμα)

4) Άρα  $\epsilon = (16,40\% + 13,26\%) / 2 = 14,83\% > 12\%$

5) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 486\text{MPa}$

6) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= \sigma_A / \epsilon_A = 83793\text{MPa}$

7) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 = 493\text{MPa}$

8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 544\text{MPa}$

### **Γ Κατηγορία δοκιμίων:**

Δοκίμια χωρίς ενισχυμένα άκρα- ράβδοι συνολικού μήκους 70 cm, ελεχθέντα στο Κ.Ε.Δ.Ε.

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 37: Γ<sub>1</sub> Κατηγορία χάλυβα S220**

α/α	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
9	411	589	32,5
10	-	604	32,5
11	-	620	32,5
12	-	623	32,5

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 38: Γ<sub>2</sub> Κατηγορία χάλυβα S500 (Ε.Χ.)**

α/α	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
13	578	657	25
14	572	641	30
15	595	657	30

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 39 : Γ<sub>3</sub> Κατηγορία χάλυβα S 500 (Θ.Χ.)**

α/α	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
16	614	691	27,5

### Δ Κατηγορία δοκιμιών:

Δοκίμια χωρίς ενισχυμένα άκρα- ράβδοι συνολικού μήκους 70 cm, ελεχθέντα στο εργ. Αντοχής Υλικών του **Τ.Ε.Ι. Πάτρας**.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 40: Δ<sub>1</sub> Κατηγορία χάλυβα S 500 (Ε.Χ.)**

α/α	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
17	379	426	12,53

**ΠΙΝΑΚΑΣ 41:17<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 500.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε%
A	28350	285	75,33	376	4,75	482	9,8*10 <sup>-3</sup>	0,98
Δ <sub>2</sub>	28200	285	75,33	374	5,50	482	11,4*10 <sup>-3</sup>	1,14
1	28275	285	75,33	375	8,25	482	17,1*10 <sup>-3</sup>	1,71
2	28425	285	75,33	377	12,75	482	26,5*10 <sup>-3</sup>	2,65
3	28650	285	75,33	380	14,50	482	30,1*10 <sup>-3</sup>	3,01
4	28800	285	75,33	382	16,25	482	33,7*10 <sup>-3</sup>	3,37
5	28650	285	75,3	380	17,25	482	35,8*10 <sup>-3</sup>	3,58
Δ <sub>1</sub>	28950	285	75,33	384	18,75	482	38,9*10 <sup>-3</sup>	3,89
6	31800	285	75,33	422	38,75	482	49,5*10 <sup>-3</sup>	4,95
Θ	32100	285	75,33	426	52,50	482	108,9*10 <sup>-3</sup>	10,89
7	30900	285	75,33	410	53,50	482	110,9*10 <sup>-3</sup>	11,09

1) **P** εργαστηρίου=32000N

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 14,00\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 11,09\%$  ( από Διάγραμμα)

4) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\chi} = 12,50\%$  (από χαραγές)

5) Άρα  $\epsilon = (14,00\% + 11,09\% + 12,50\%)/3 = 12,53\% > 12\%$

6) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 376$  MPa

7) **Μέτρο Ελαστικότητας E** =  $\sigma_A/\epsilon_A = 38376$  MPa

8) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{\theta\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2})/2 = 379$  MPa

9) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 426$  MPa



**ΠΙΝΑΚΑΣ 42: Δ<sub>2</sub> Κατηγορία χάλυβα S 220.**

a/a	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
18	-	687	12,4
19	361	457	21,93
20	366	466	24
21	476,5	696	20,93

**ΠΙΝΑΚΑΣ 43: 18<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 220.**

a/a	Φορτίο P (N)	Βάρος Ράβδου B (gr)	Διατομή F (mm <sup>2</sup> )	Τάση σ (MPa)	Επιμ. Δl (mm)	Αρ.Μήκος lo (mm)	Αν. Επιμ. ε	ε%
A	15300	280	50,24	305	5,00	505	$9,9 \cdot 10^{-3}$	0,99
1	22050	280	50,24	439	6,25	505	$12,4 \cdot 10^{-3}$	1,24
2	29250	280	50,24	582	16,25	505	$32,2 \cdot 10^{-3}$	3,22
3	33300	280	50,24	663	31,25	505	$61,9 \cdot 10^{-3}$	6,19
Θ	34500	280	50,24	687	55,50	505	$109,9 \cdot 10^{-3}$	10,99
4	33450	280	50,24	666	57,00	505	$112,8 \cdot 10^{-3}$	11,28

1) P εργαστηρίου = 34300N

2) **Επιμήκυνση Θραύσης:**  $\epsilon' = 12,40\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση Θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 11,28\%$  ( από Διάγραμμα)

4) **Επιμήκυνση Θραύσης:**  $\epsilon_{\chi} = 15,00\%$  (από χαραγές)

5) Άρα  $\epsilon = (12,40\% + 11,28\% + 15,00)/3 = 12,89\% < 24\%$

6) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 305$  MPa

7) **Μέτρο Ελαστικότητας E** =  $\sigma_A / \epsilon_A = 30808$  MPa

8) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $\sigma_{0\Delta} = (\sigma_{\Delta 1} + \sigma_{\Delta 2}) / 2 =$  MPa

9) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 687$  MPa

**ΠΙΝΑΚΑΣ 44: 19° Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 220.**

	Φορτίο	Βάρος Ράβδου	Διατομή	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος	Αν. Επιμ.	
α/α	P (N)	B (gr)	F (mm <sup>2</sup> )	σ (MPa)	Δl (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	ε	ε%
A	16650	276	50,24	331	2,25	492	$4,6 \cdot 10^{-3}$	0,46
1	17700	276	50,24	352	2,37	492	$4,8 \cdot 10^{-3}$	0,48
Δ <sub>2</sub>	16950	276	50,24	337	2,50	492	$5,1 \cdot 10^{-3}$	0,51
2	17700	276	50,24	352	4,00	492	$8,1 \cdot 10^{-3}$	0,81
3	17100	276	50,24	340	6,50	492	$13,2 \cdot 10^{-3}$	1,32
4	17700	276	50,24	352	8,50	492	$17,3 \cdot 10^{-3}$	1,73
5	17550	276	50,24	349	11,25	492	$22,8 \cdot 10^{-3}$	2,28
6	18300	276	50,24	364	12,50	492	$25,4 \cdot 10^{-3}$	2,54
7	18150	276	50,24	361	15,25	492	$30,9 \cdot 10^{-3}$	3,09
8	18900	276	50,24	376	16,75	492	$34,0 \cdot 10^{-3}$	3,40
9	18150	276	50,24	361	17,00	492	$34,5 \cdot 10^{-3}$	3,45
10	18750	276	50,24	373	18,50	492	$37,6 \cdot 10^{-3}$	3,76
Δ <sub>1</sub>	19350	276	50,24	385	19,25	492	$391,1 \cdot 10^{-3}$	3,91
11	21900	276	50,24	436	39,25	492	$79,7 \cdot 10^{-3}$	7,97
Θ	22950	276	50,24	457	71,00	492	$144,3 \cdot 10^{-3}$	14,43
12	19500	276	50,24	388	73,75	492	$149,9 \cdot 10^{-3}$	14,99

- 1)  $P_{εργαστηρίου} = 23200N$
- 2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε = 18,30\%$  (από Μηχανή AMSLER)
- 3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε_{θ} = 14,99\%$  ( από Διάγραμμα)
- 4) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε_{χ} = 32,50\%$  (από χαραγές)
- 5) Άρα  $ε = (18,30\% + 14,99\% + 32,50)/3 = 21,93\% < 24\%$
- 6) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $σ_A = 331 MPa$
- 7) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= σ_A / ε_A = 71956 MPa$
- 8) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $σ_{0Δ} = (σ_{Δ1} + σ_{Δ2}) / 2 = 361 MPa$
- 9) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $σ_{θ} = 457 MPa$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 45: 20° Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 220.**

α/α	Φορτίο P (N)	Βάρος Ράβδου B (gr)	Διατομή F (mm <sup>2</sup> )	Τάση σ (MPa)	Επιμ. Δl (mm)	Αρ.Μήκος l <sub>0</sub> (mm)	Αν. Επιμ. ε	ε%
A	17250	276	50,24	343	2,00	465	4,3*10 <sup>-3</sup>	0,43
1	18300	276	50,24	364	2,50	465	5,4*10 <sup>-3</sup>	0,54
2	17550	276	50,24	349	3,25	465	6,9*10 <sup>-3</sup>	0,69
3	18000	276	50,24	358	5,75	465	12,4*10 <sup>-3</sup>	1,24
Δ <sub>2</sub>	17550	276	50,24	349	7,50	465	16,1*10 <sup>-3</sup>	1,61
4	18450	276	50,24	367	11,00	465	23,6*10 <sup>-3</sup>	2,36
5	18600	276	50,24	370	14,50	465	31,2*10 <sup>-3</sup>	3,12
Δ <sub>1</sub>	19200	276	50,24	382	16,50	465	35,5*10 <sup>-3</sup>	3,55
6	22050	276	50,24	439	36,50	465	78,5*10 <sup>-3</sup>	7,85
7	23100	276	50,24	460	49,25	465	105,9*10 <sup>-3</sup>	10,59
θ	23400	276	50,24	466	71,25	465	153,2*10 <sup>-3</sup>	15,32
8	19500	276	50,24	388	74,50	465	160,2*10 <sup>-3</sup>	16,02

1) P<sub>εργαστηρίου</sub>=23400N

2) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε' =20,70% (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε<sub>θ</sub>=16,02% ( από Διάγραμμα)

4) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε<sub>χ</sub>=35,00% (από χαραγές)

5) Άρα ε=(20,70%+16,02%+35,00)/3=23,9%≈24%

6) **Τάση ορίου Αναλογίας:** σ<sub>A</sub>=343 MPa

7) **Μέτρο Ελαστικότητας E** =σ<sub>A</sub>/ε<sub>A</sub>=79767 MPa

8) **Τάση ορίου Διαρροής:** σ<sub>0Δ</sub>=(σ<sub>Δ1</sub>+σ<sub>Δ2</sub>)/2=366 MPa

9) **Τάση ορίου Θραύσης:** σ<sub>θ</sub>= 466 MPa

**ΠΙΝΑΚΑΣ 46: 21° Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 220.**

α/α	Φορτίο	Βάρος Ράβδου B (gr)	Διατομή F (mm <sup>2</sup> )	Τάση σ (MPa)	Επιμ.	Αρ.Μήκος l <sub>0</sub> (mm)	Αν. Επιμ.	ε%
	P (N)				Δl (mm)		ε	
A	22650	283	50,24	451	2,50	480	$5,2 \cdot 10^{-3}$	0,52
Δ <sub>2</sub>	23100	283	50,24	460	3,25	480	$6,7 \cdot 10^{-3}$	0,67
1	23550	283	50,24	469	4,50	480	$9,4 \cdot 10^{-3}$	0,94
2	24450	283	50,24	487	6,50	480	$13,5 \cdot 10^{-3}$	1,35
Δ <sub>1</sub>	24750	283	50,24	493	8,00	480	$16,7 \cdot 10^{-3}$	1,67
3	24300	283	50,24	484	8,75	480	$18,2 \cdot 10^{-3}$	1,82
4	32400	283	50,24	645	26,75	480	$55,7 \cdot 10^{-3}$	5,57
5	34500	283	50,24	687	44,25	480	$92,2 \cdot 10^{-3}$	9,22
Θ	34950	283	50,24	696	61,75	480	$128,6 \cdot 10^{-3}$	12,86
6	32400	283	50,24	645	72,50	480	$151,0 \cdot 10^{-3}$	15,10

1)  $P_{εργαστηρίου} = 36500N$

2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε' = 22,70\%$  (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε_{θ} = 15,10\%$  ( από Διάγραμμα)

4) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $ε_{χ} = 25,00\%$  (από χαραγές)

5) Άρα  $ε = (22,70\% + 15,10\% + 25,00\%) / 3 = 20,93\% < 24\%$

6) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $σ_A = 451 MPa$

7) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= σ_A / ε_A = 86731 MPa$

8) **Τάση ορίου Διαρροής:**  $σ_{0Δ} = (σ_{Δ1} + σ_{Δ2}) / 2 = 476,5 MPa$

9) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $σ_{θ} = 696 MPa$

### **E Κατηγορία δοκιμίων:**

Δοκίμια χωρίς ενισχυμένα άκρα- ράβδοι συνολικού μήκους 60 cm, ελεχθέντα στο εργ. Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. Πάτρας.

### **ΠΙΝΑΚΑΣ 47: E<sub>1</sub> Κατηγορία χάλυβα S 500.**

a/a	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
22	385	447	16,95

### **ΠΙΝΑΚΑΣ 48: 22° Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 500.**

a/a	Φορτίο P (N)	Βάρος Ράβδου B (gr)	Διατομή F (mm <sup>2</sup> )	Τάση σ (MPa)	Επιμ. Δl (mm)	Αρ.Μήκος Lo (mm)	Αν. Επιμ. ε	ε%
A	27300	223	72,85	375	2,25	390	$5,8 \cdot 10^{-3}$	0,58
1	27900	223	72,85	383	4,50	390	$11,0 \cdot 10^{-3}$	1,1
2	28050	223	72,85	385	7,00	390	$17,9 \cdot 10^{-3}$	1,79
Δ <sub>2</sub>	27750	223	72,85	381	8,75	390	$22,4 \cdot 10^{-3}$	2,24
Δ <sub>1</sub>	28350	223	72,85	389	9,50	390	$24,0 \cdot 10^{-3}$	2,4
3	28200	223	72,85	387	10,00	390	$25,6 \cdot 10^{-3}$	2,56
4	28650	223	72,85	393	11,50	390	$29,5 \cdot 10^{-3}$	2,95
5	28200	223	72,85	387	12,25	390	$31,4 \cdot 10^{-3}$	3,14
6	28350	223	72,85	389	13,00	390	$33,3 \cdot 10^{-3}$	3,33
7	30900	223	72,85	424	23,25	390	$59,6 \cdot 10^{-3}$	5,96
Θ	32550	223	72,85	447	41,00	390	$105,1 \cdot 10^{-3}$	10,51
8	31350	223	72,85	430	48,25	390	$123,7 \cdot 10^{-3}$	12,37

1) P<sub>εργαστηρίου</sub> = 31800N

2) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε' = 16,00% (από Μηχανή AMSLER)

3) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε<sub>θ</sub> = 12,37% ( από Διάγραμμα)

4) **Επιμήκυνση θραύσης:** ε<sub>χ</sub> = 22,50% (από χαραγές)

5) Άρα ε = (22,50% + 16,00% + 12,370)/3 = 16,95% > 12%

6) **Τάση ορίου Αναλογίας:** σ<sub>A</sub> = 375 MPa

7) **Μέτρο Ελαστικότητας E** = σ<sub>A</sub>/ε<sub>A</sub> = 64655 MPa

8) **Τάση ορίου Διαρροής:** σ<sub>0Δ</sub> = (σ<sub>Δ1</sub> + σ<sub>Δ2</sub>)/2 = 385MPa

9) Τάση ορίου Θραύσης:  $\sigma_{\theta} = 447 \text{ MPa}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 49: E<sub>2</sub> Κατηγορία χάλυβα S 220**

α/α	Όριο Διαρροής (MPa)	Όριο Θραύσης (MPa)	Επιμήκυνση Θραύσης (%)
23	-	579	22,4

**ΠΙΝΑΚΑΣ 50: 23<sup>ο</sup> Δοκίμιο Κατηγορίας χάλυβα S 220.**

α/α	Φορτίο P (N)	Βάρος Ράβδου B (gr)	Διατομή F (mm <sup>2</sup> )	Τάση	Επιμ.	Αρ.Μήκος lo (mm)	Αν. Επιμ.	ε%
				σ (MPa)	Δl (mm)		ε	
A	20400	239	50,24	406	3,50	377	$9,0 \cdot 10^{-3}$	0,90
1	23850	239	50,24	475	10,25	377	$27,0 \cdot 10^{-3}$	2,70
2	26550	239	50,24	528	18,75	377	$50,0 \cdot 10^{-3}$	5,00
3	28650	239	50,24	570	36,00	377	$95,0 \cdot 10^{-3}$	9,50
Θ	29100	239	50,24	579	53,50	377	$142,0 \cdot 10^{-3}$	14,20
4	27500	239	50,24	547	61,00	377	$162,0 \cdot 10^{-3}$	16,20
5	24150	239	50,24	481	61,50	377	$163,0 \cdot 10^{-3}$	16,30

- 1)  $P_{\text{εργαστηρίου}} = 29500 \text{ N}$
- 2) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon' = 21,00\%$  (από Μηχανή AMSLER)
- 3) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\theta} = 16,30\%$  ( από Διάγραμμα)
- 4) **Επιμήκυνση θραύσης:**  $\epsilon_{\chi} = 30,00\%$  (από χαραγές)
- 5) Άρα  $\epsilon = (21,00\% + 16,30\% + 30,00\%) / 3 = 22,4\% < 24\%$
- 6) **Τάση ορίου Αναλογίας:**  $\sigma_A = 375 \text{ MPa}$
- 7) **Μέτρο Ελαστικότητας E**  $= \sigma_A / \epsilon_A = 64655 \text{ MPa}$
- 8) **Τάση ορίου Θραύσης:**  $\sigma_{\theta} = 579 \text{ MPa}$

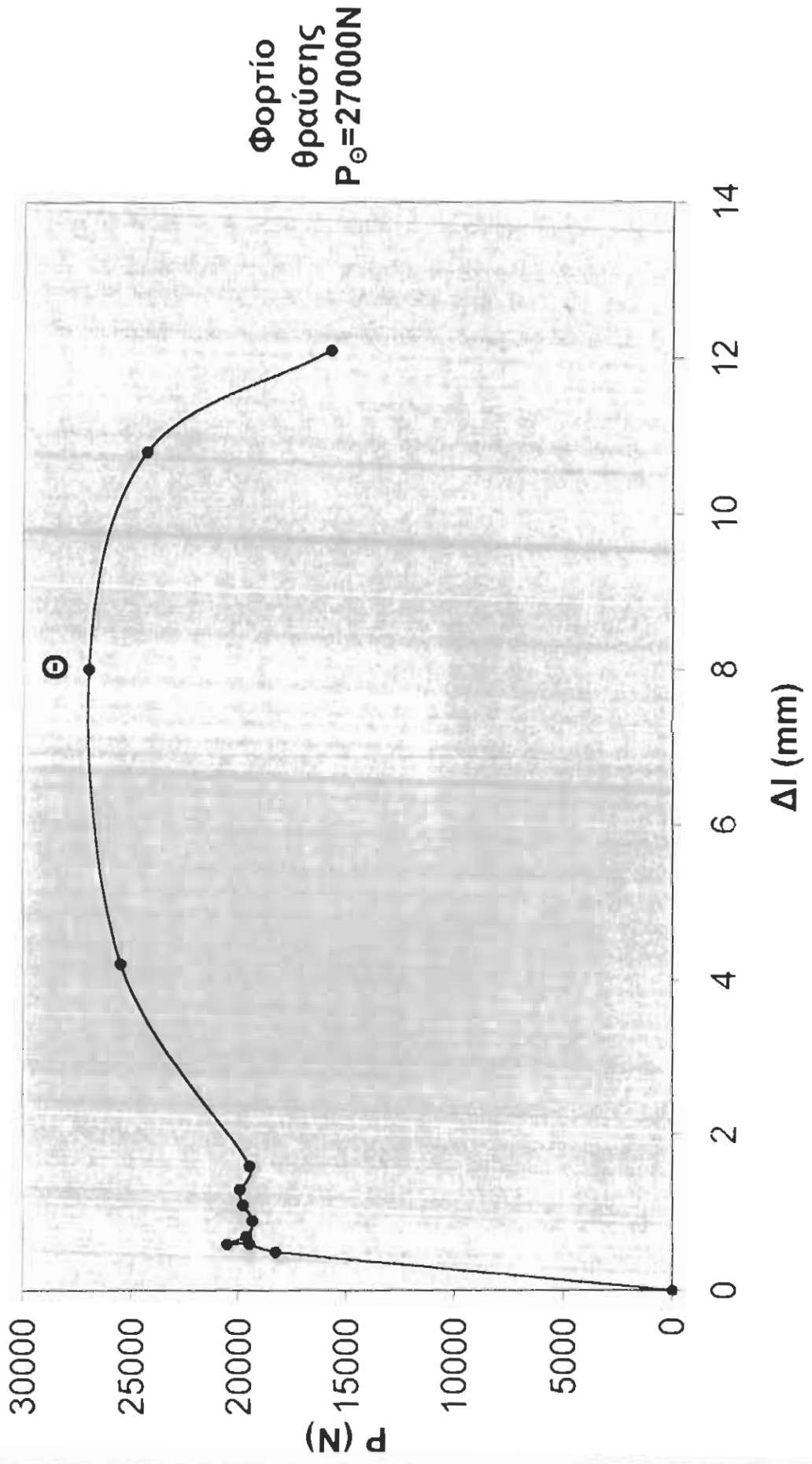
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ A<sub>1</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

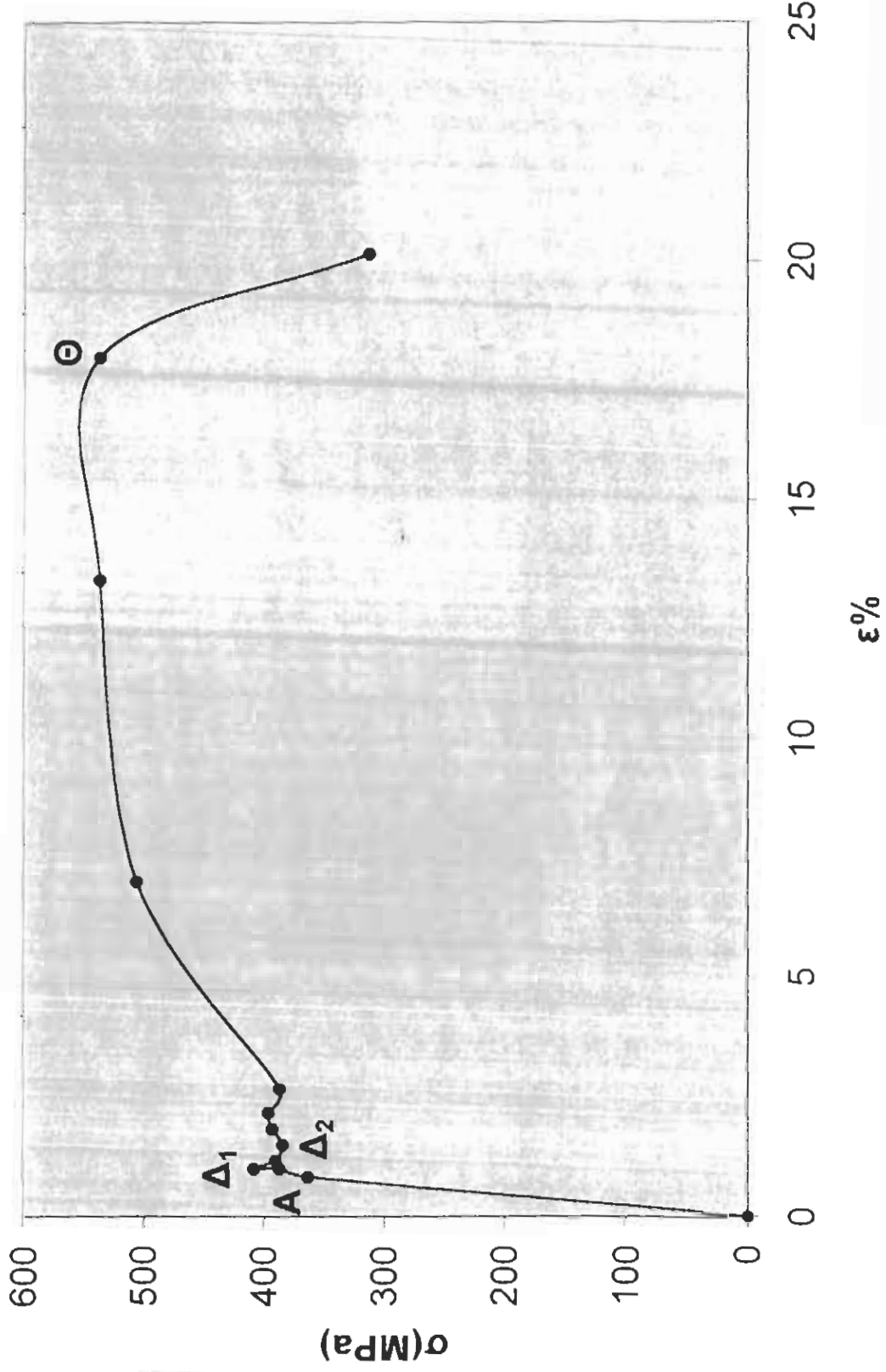
**Δl(16:1)**

# S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 1



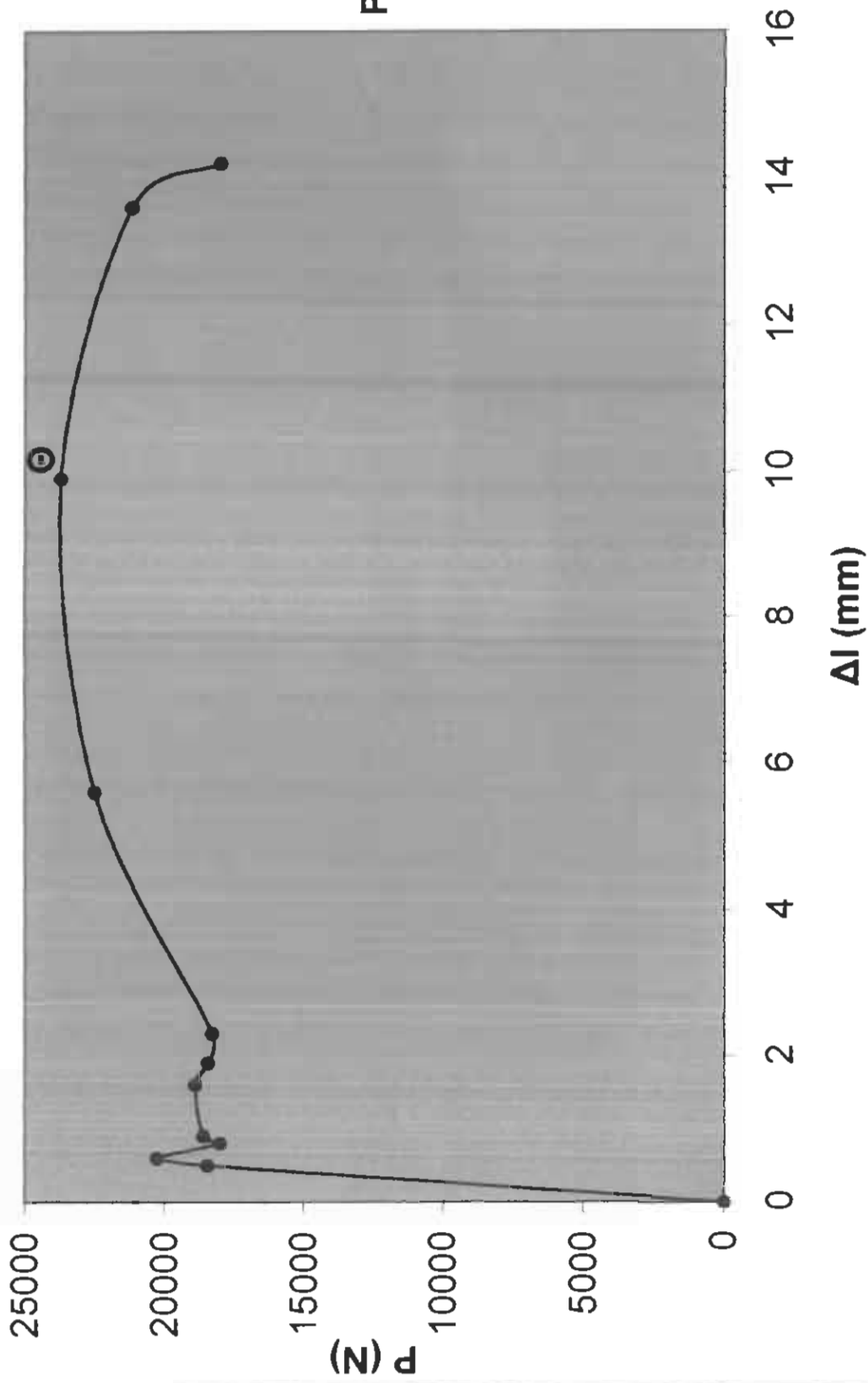


# S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 1

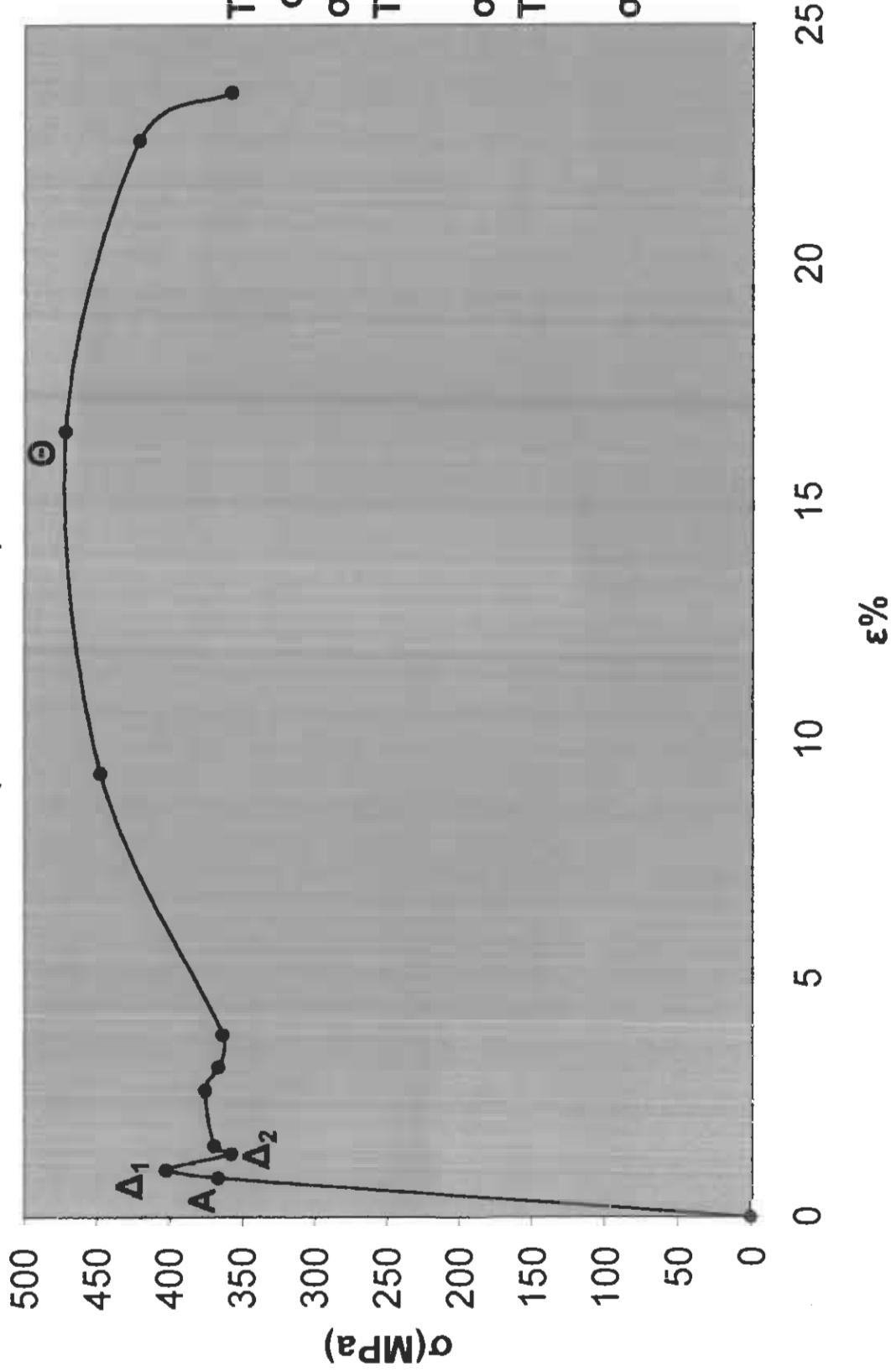


Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 364 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_{\Delta} = 397 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_{\Theta} = 537 \text{ MPa}$

# S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ )-ΔΟΚΙΜΙΟ 2

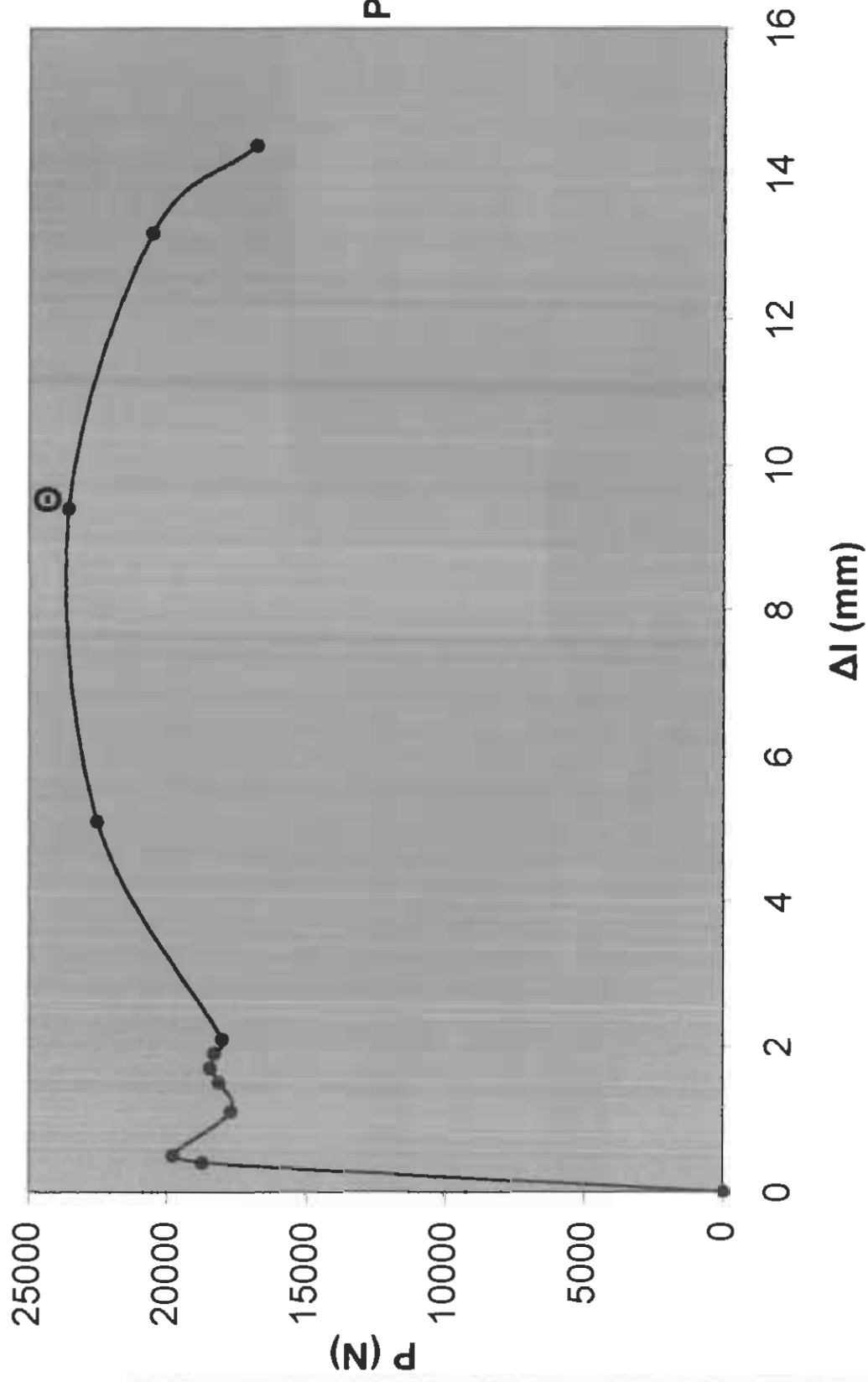


## S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 2

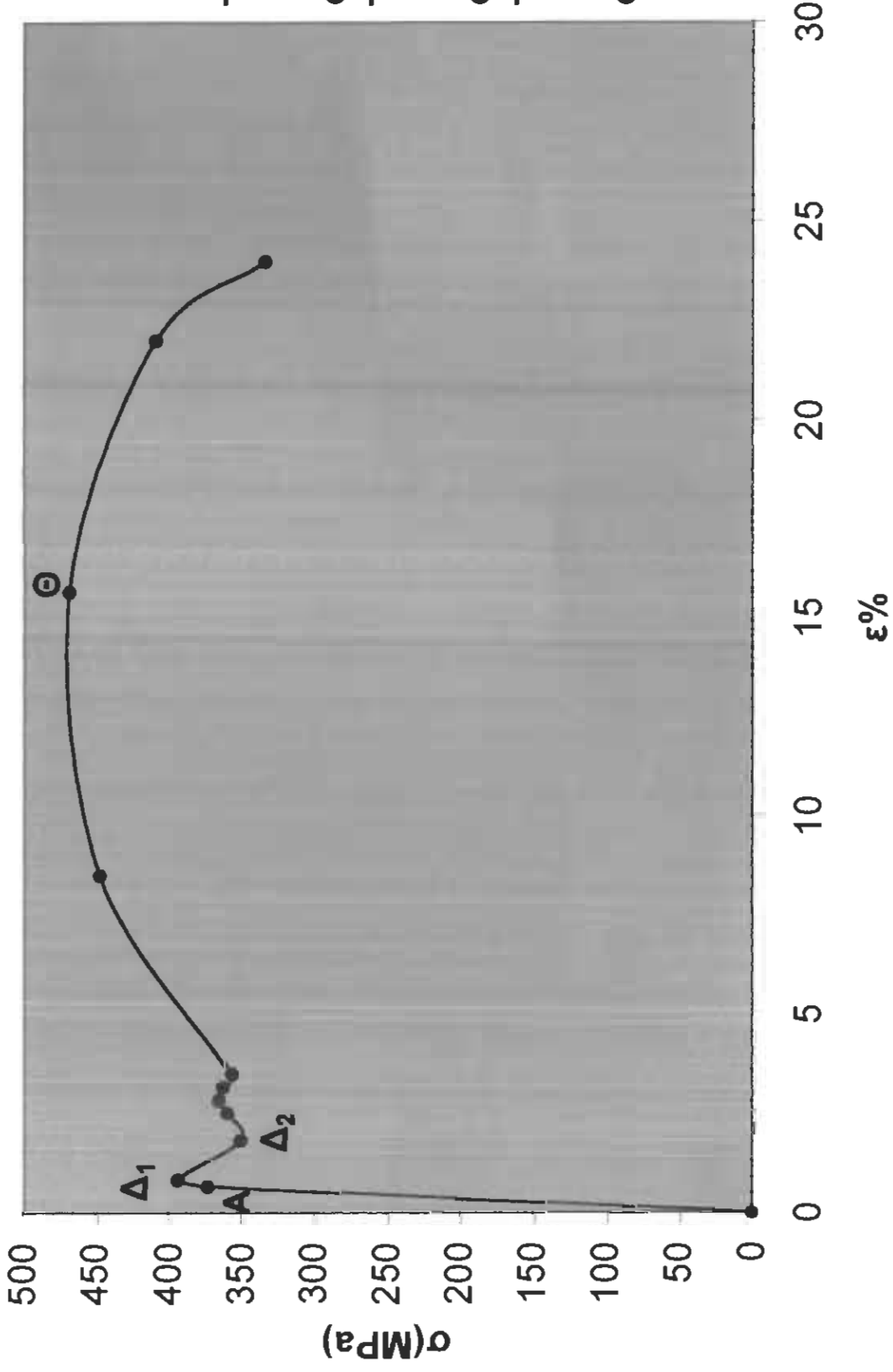


Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 367 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta = 381 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta = 472 \text{ MPa}$

# S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ )-ΔΟΚΙΜΙΟ 3

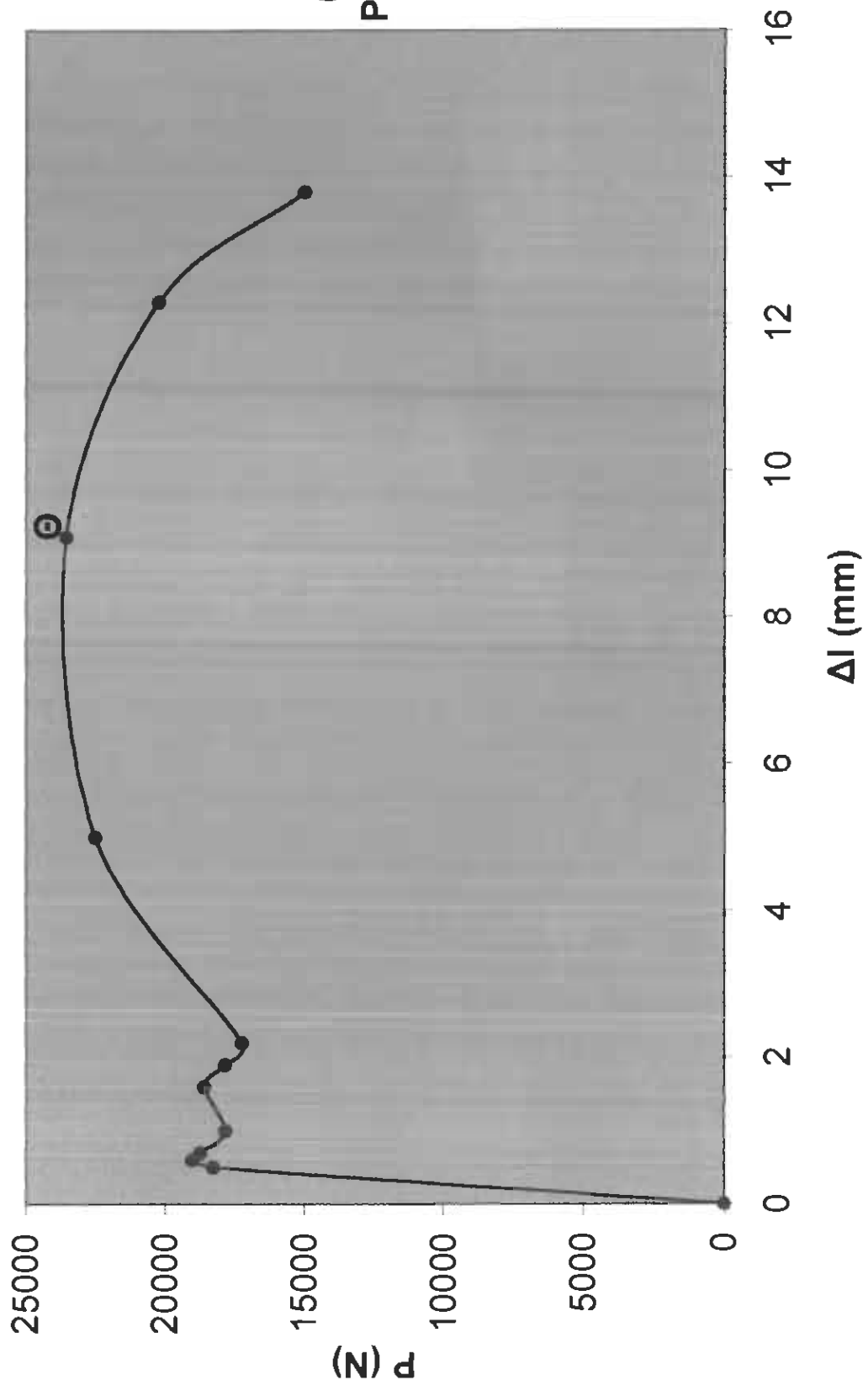


### S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 3



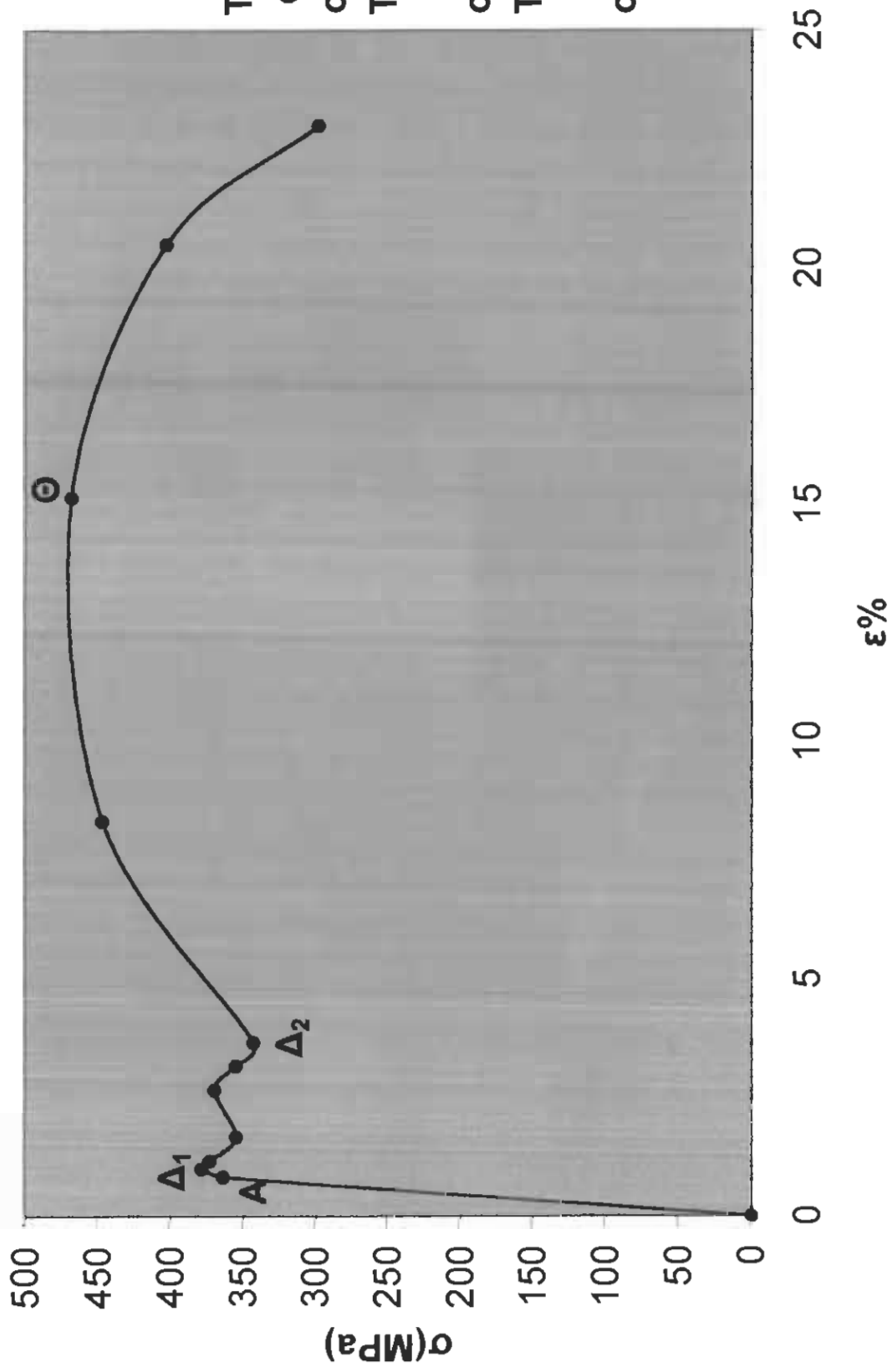
Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 373 \text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta = 373 \text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta = 468 \text{MPa}$

# S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ )-ΔΟΚΙΜΙΟ 4



Φορτίο  
θραύσης  
 $P_{\Theta}=23550N$

# S220 (ΔΙΑΜΕΝΟ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 4



Τάση ορίου αναλογίας  $\sigma_A=364\text{MPa}$   
Τάση ορίου διαρροής  $\sigma_{\Delta}=361\text{MPa}$   
Τάση ορίου θραύσης  $\sigma_{\Theta}=468\text{MPa}$

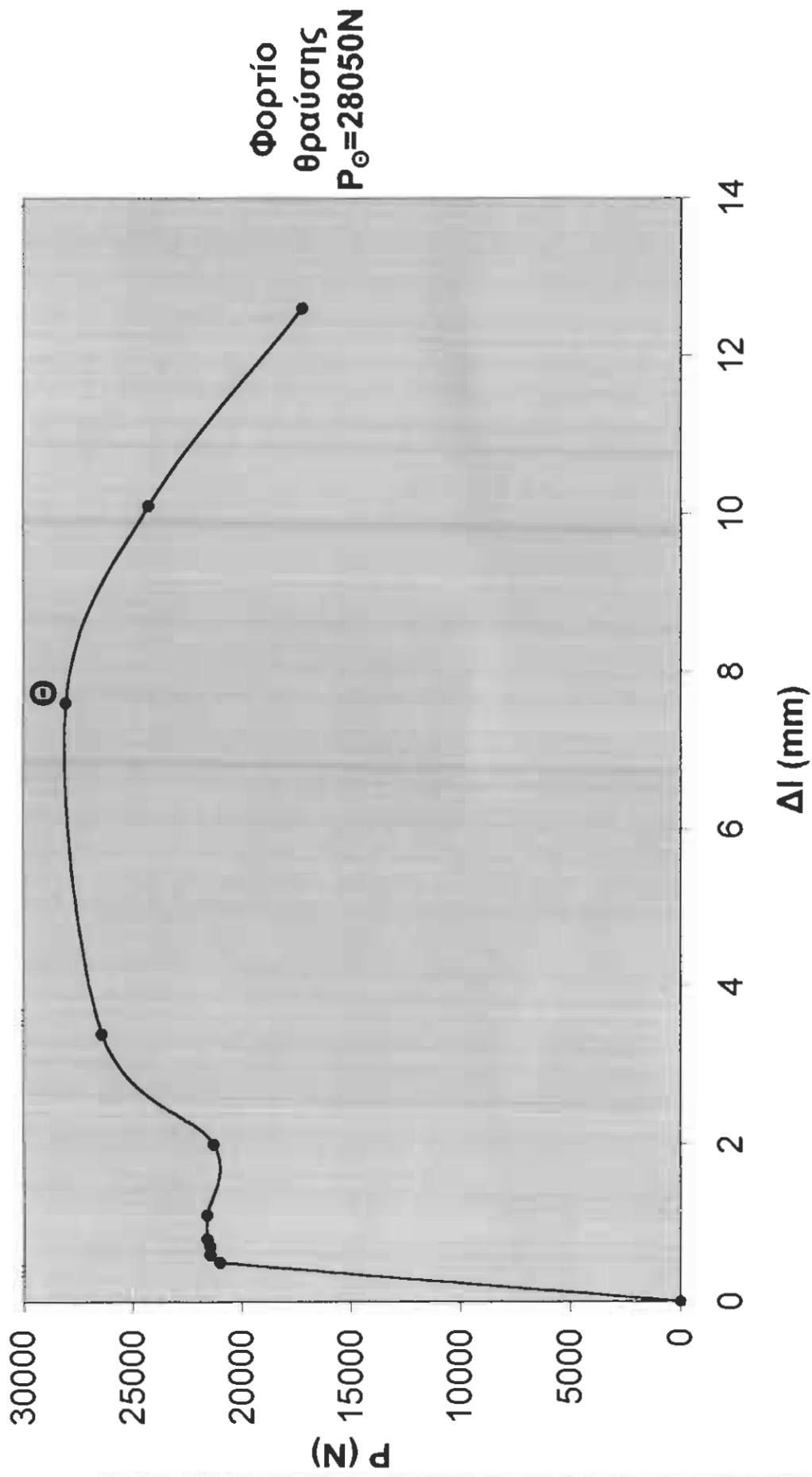
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ A<sub>2</sub>**

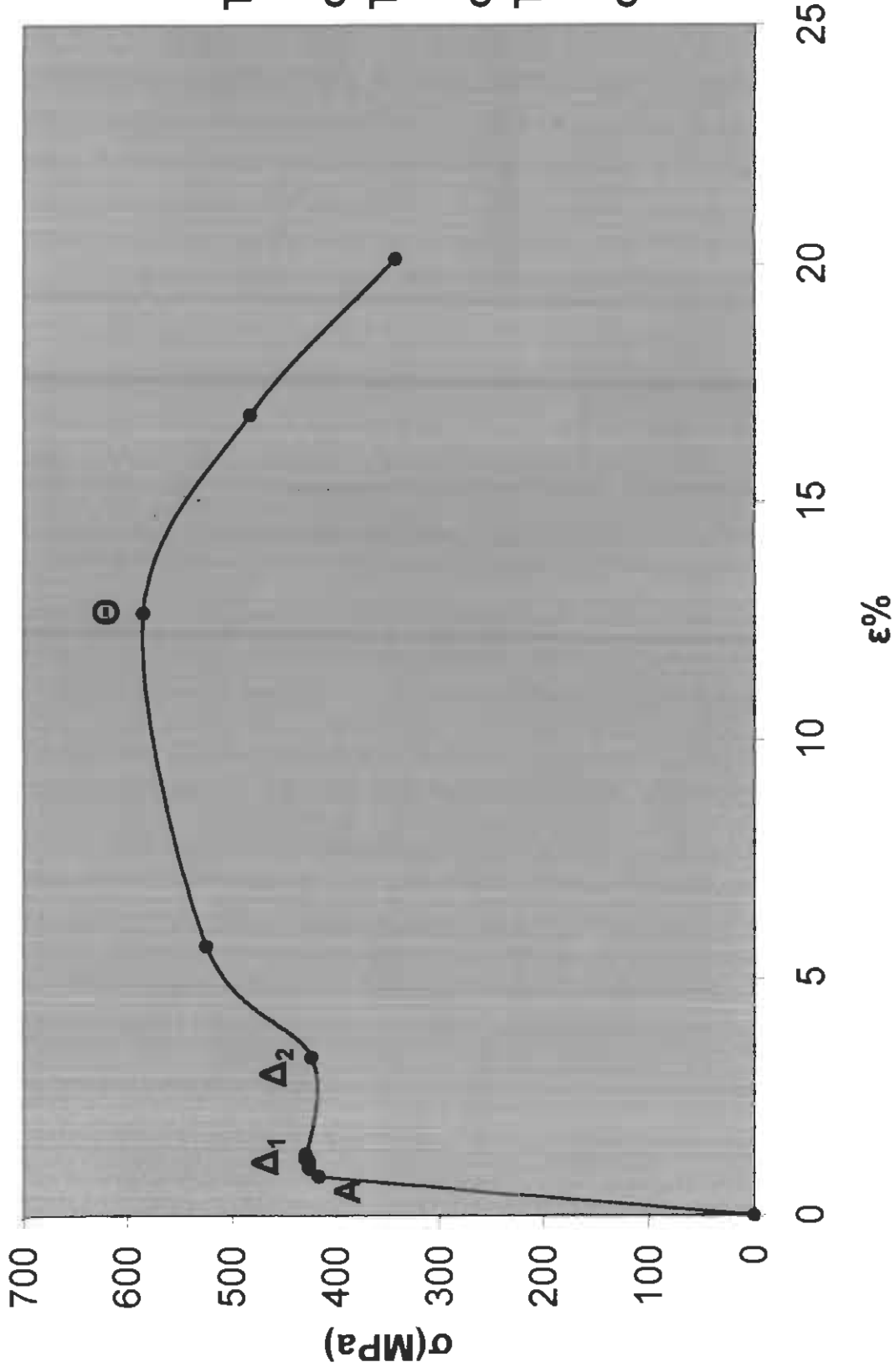
**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)  
Δl(16:1)**



# S500 (ΔΙΑΜΕΝΟ )-ΔΟΚΙΜΙΟ1

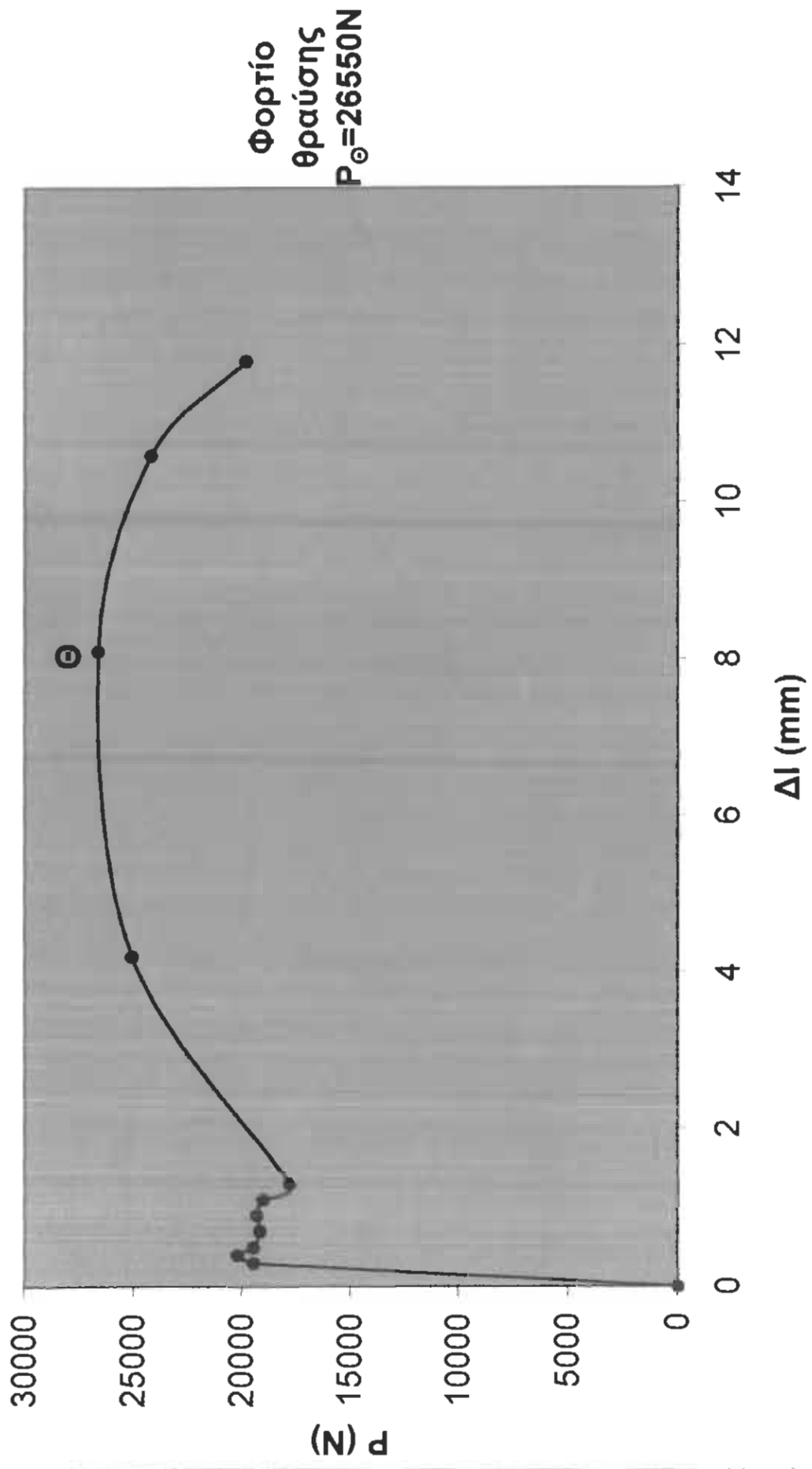


# S500 (ΔΙΑΜΕΝΟ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 1

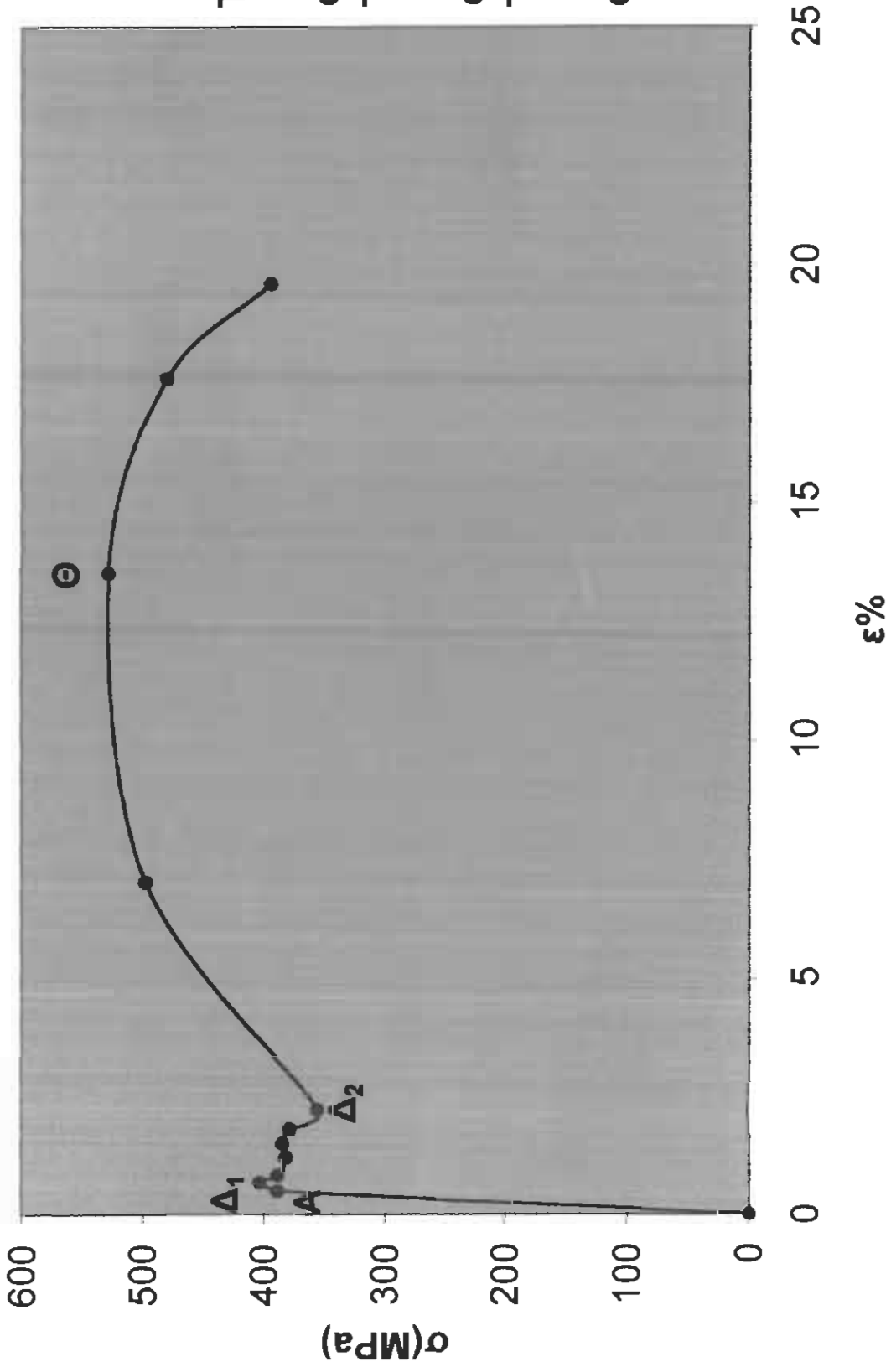


Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 418 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta = 424 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta = 585 \text{ MPa}$

# S500 (ΔΙΑΜΕΝΟ )-ΔΟΚΙΜΙΟ2



## S500 (ΔΙΑΜΕΝΟ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 2



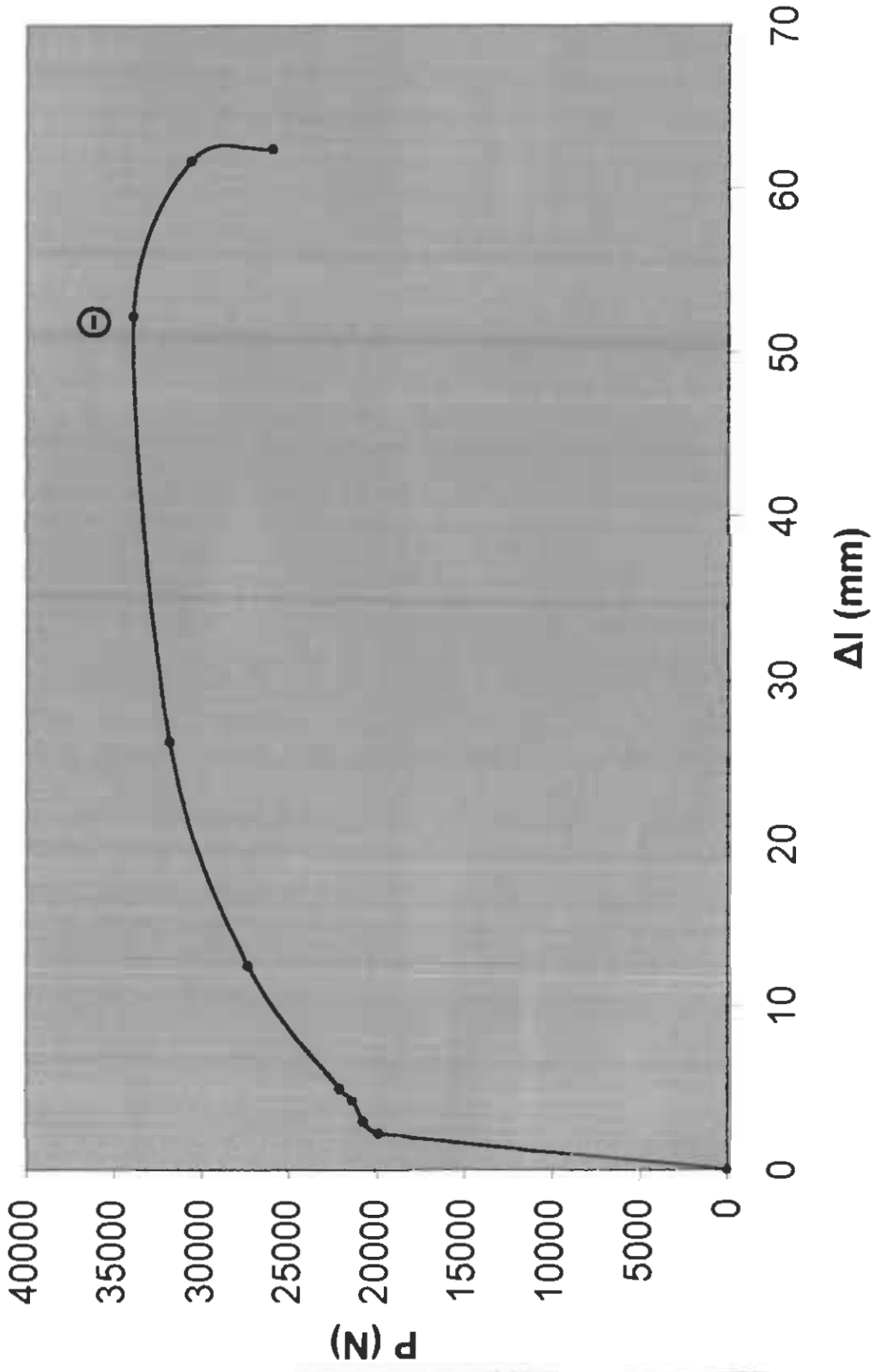
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ B<sub>1</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

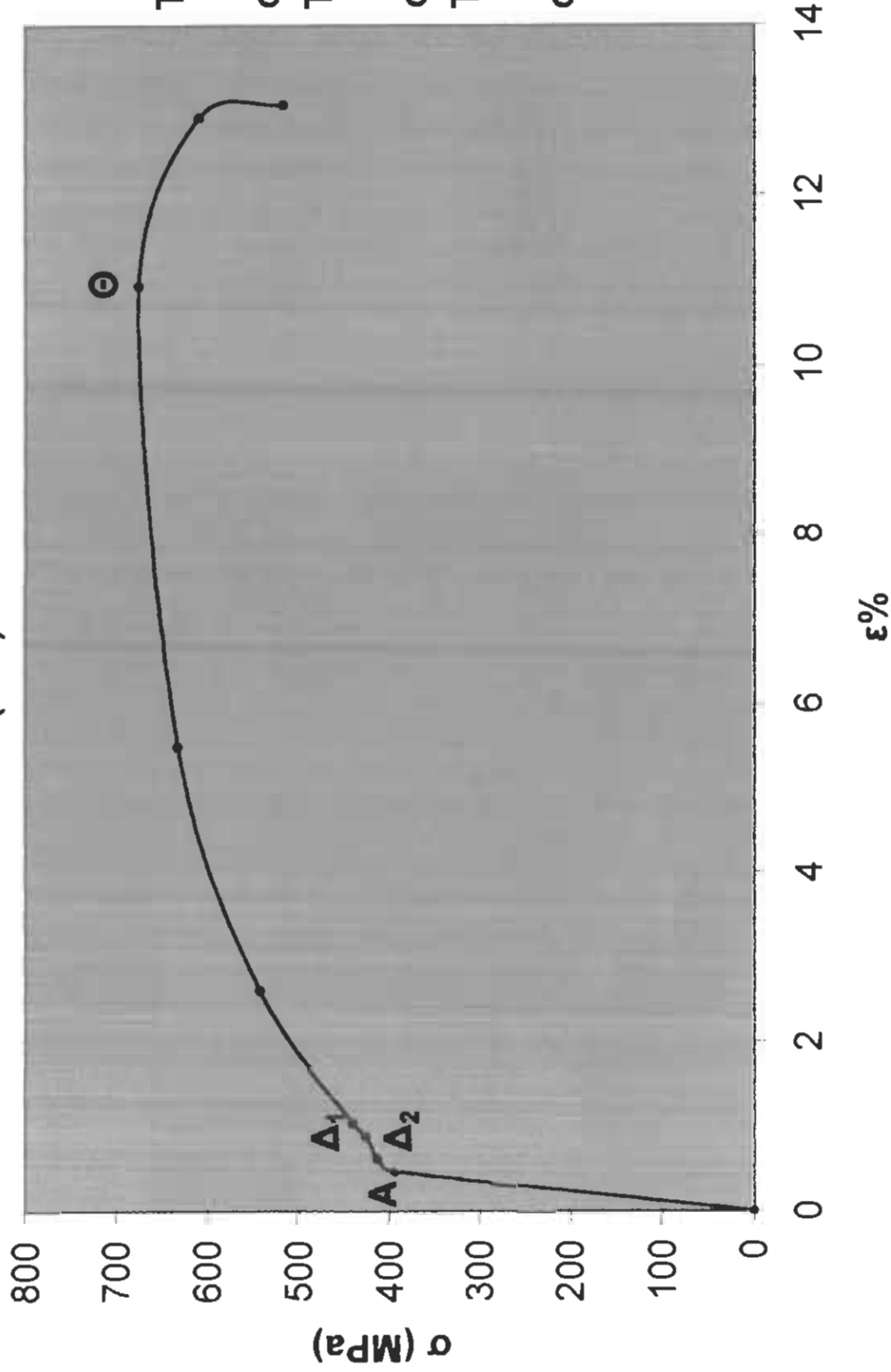
**Δl(4:1)**

# S220 (ΘΧ)-ΔΟΚΙΜΙΟ 1



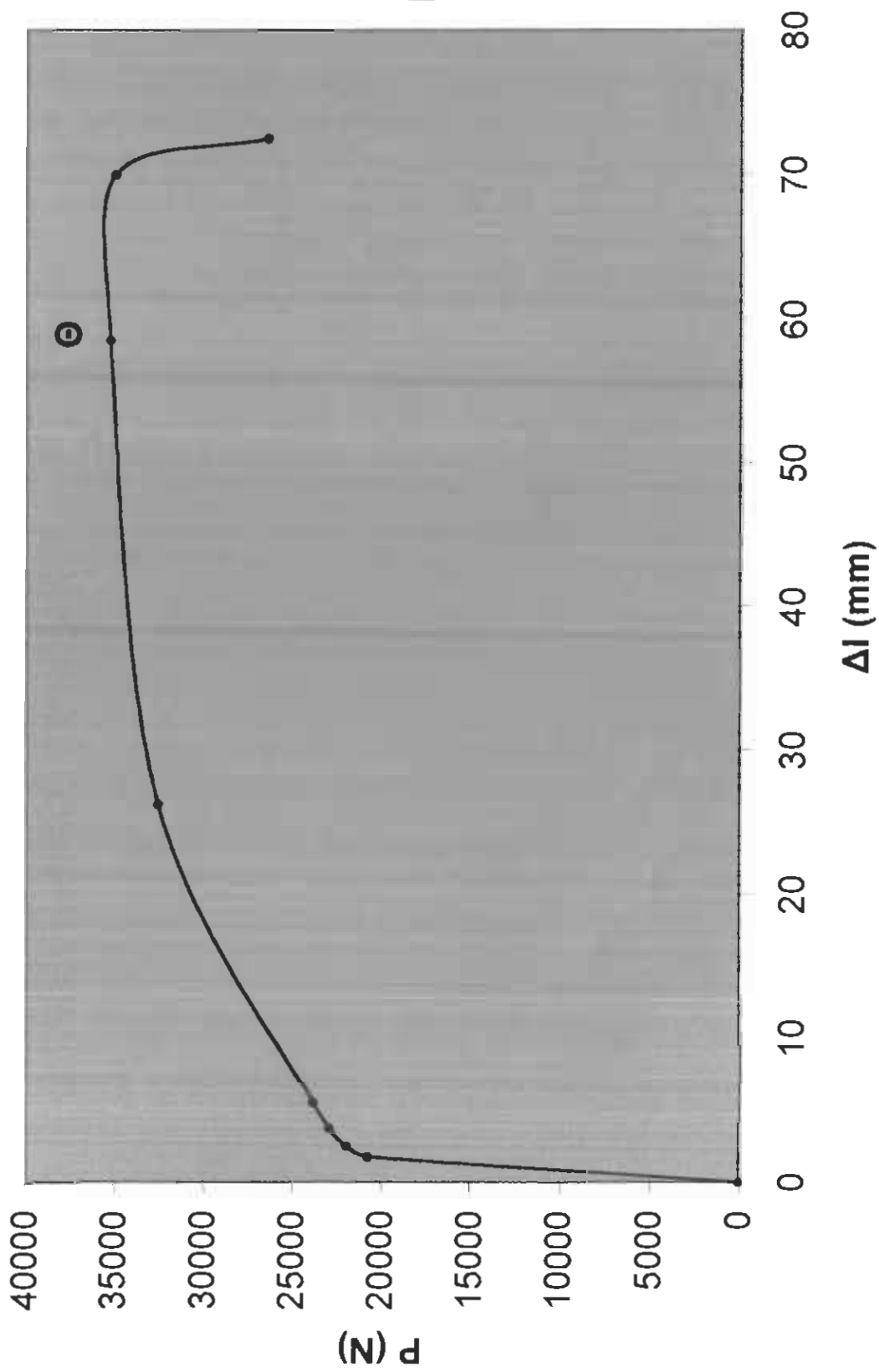
Φορτίο  
θραύσης  
 $P_{\Theta} = 33900\text{N}$

# S220 (ΘΧ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 1



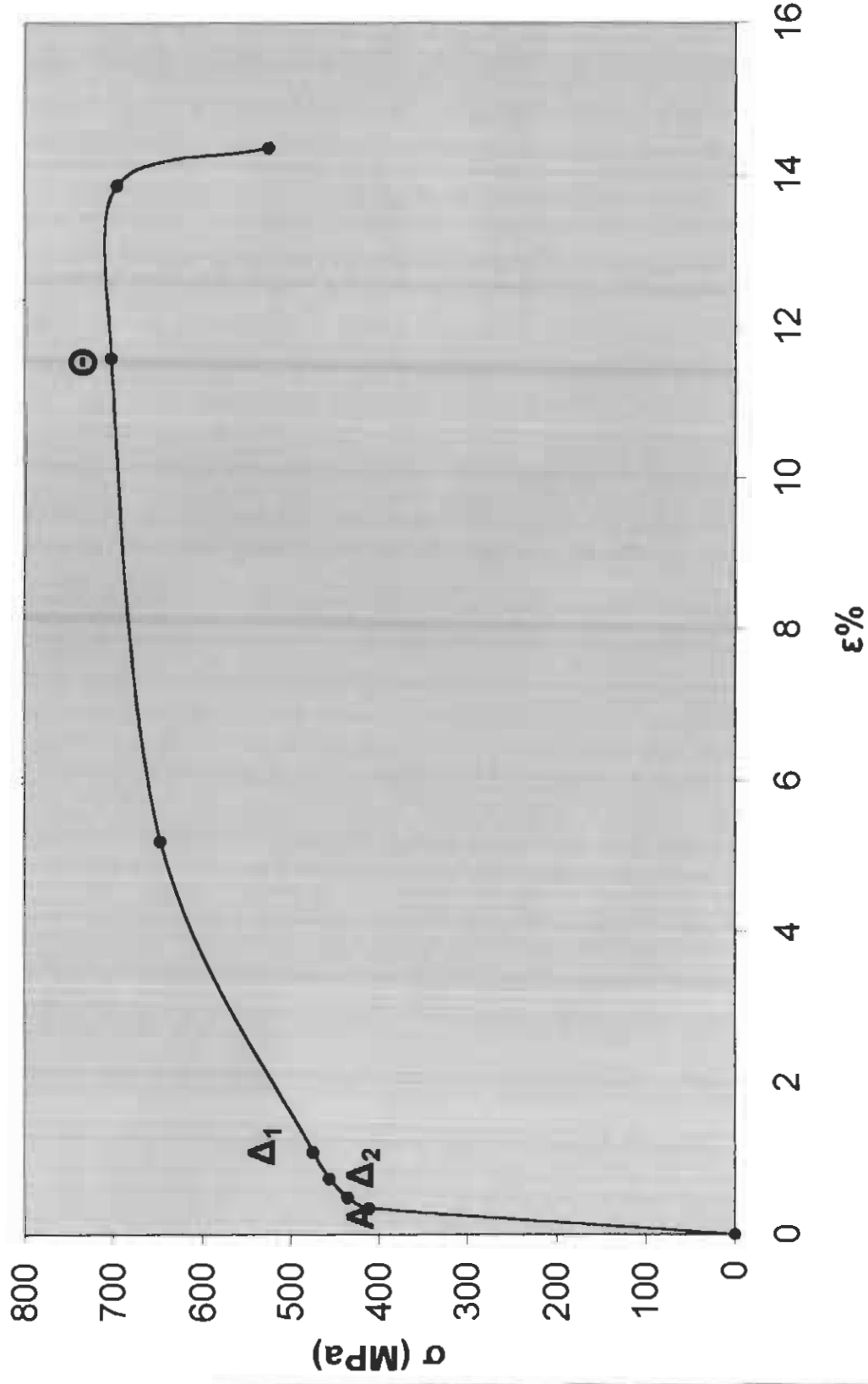
Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=394\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_{\Delta}=432\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_{\Theta}=675\text{MPa}$

# S220 (ΘX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 2





## S220 (ΘΧ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 2



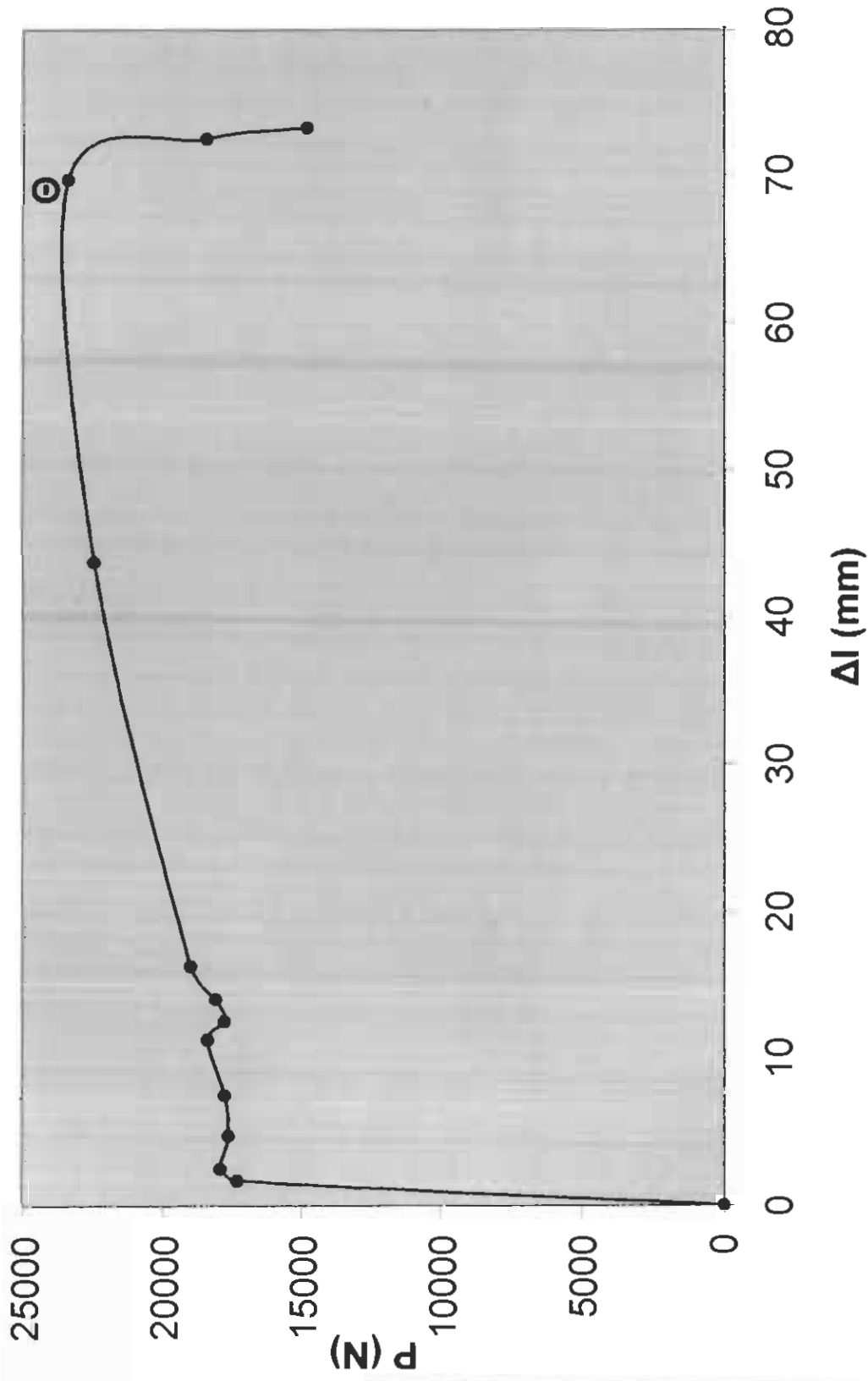
Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=412\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_{\Delta}=466\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_{\Theta}=702\text{MPa}$

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

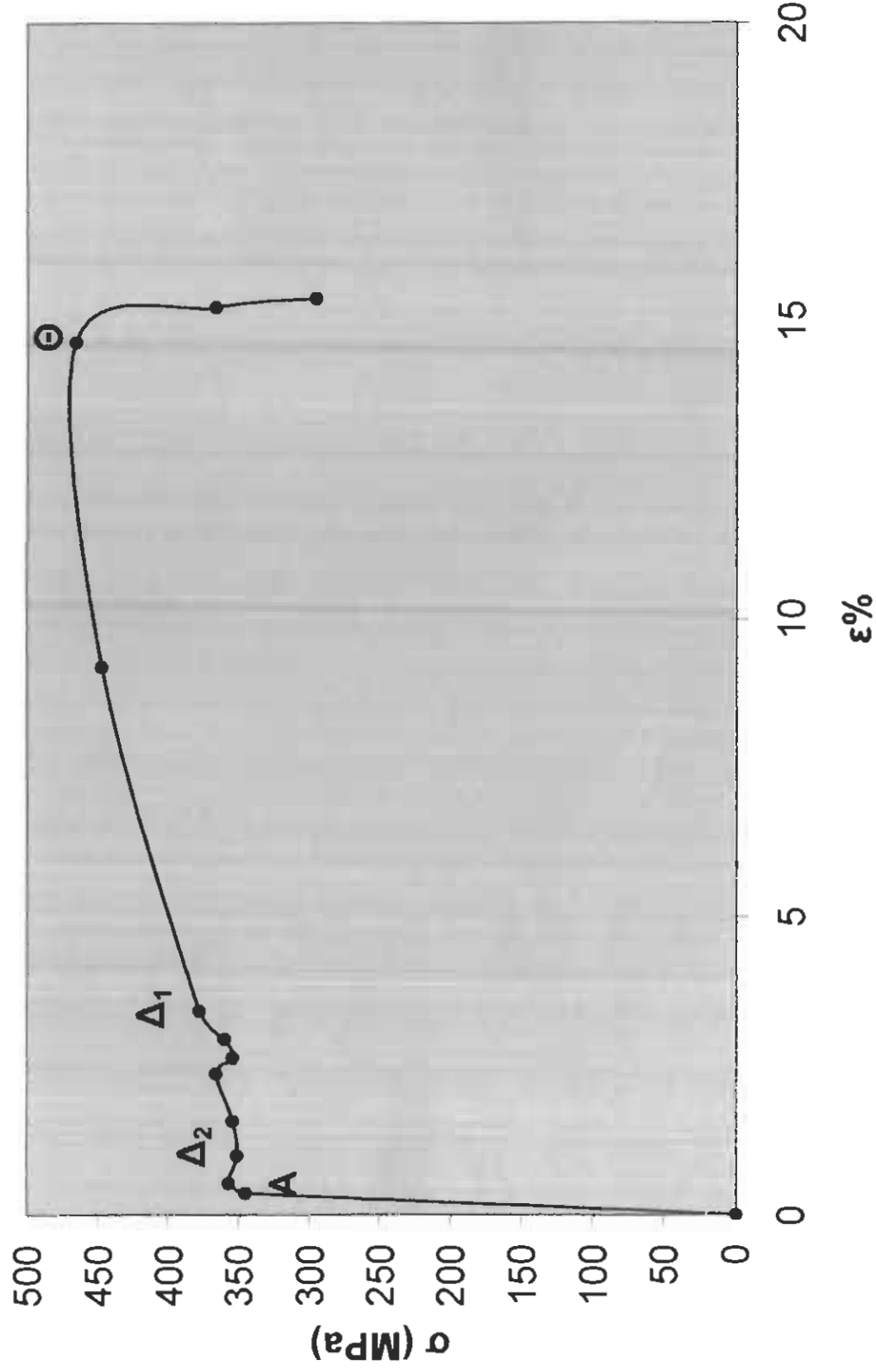
**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ B<sub>2</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)  
Δl(4:1)**

# S220 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 3

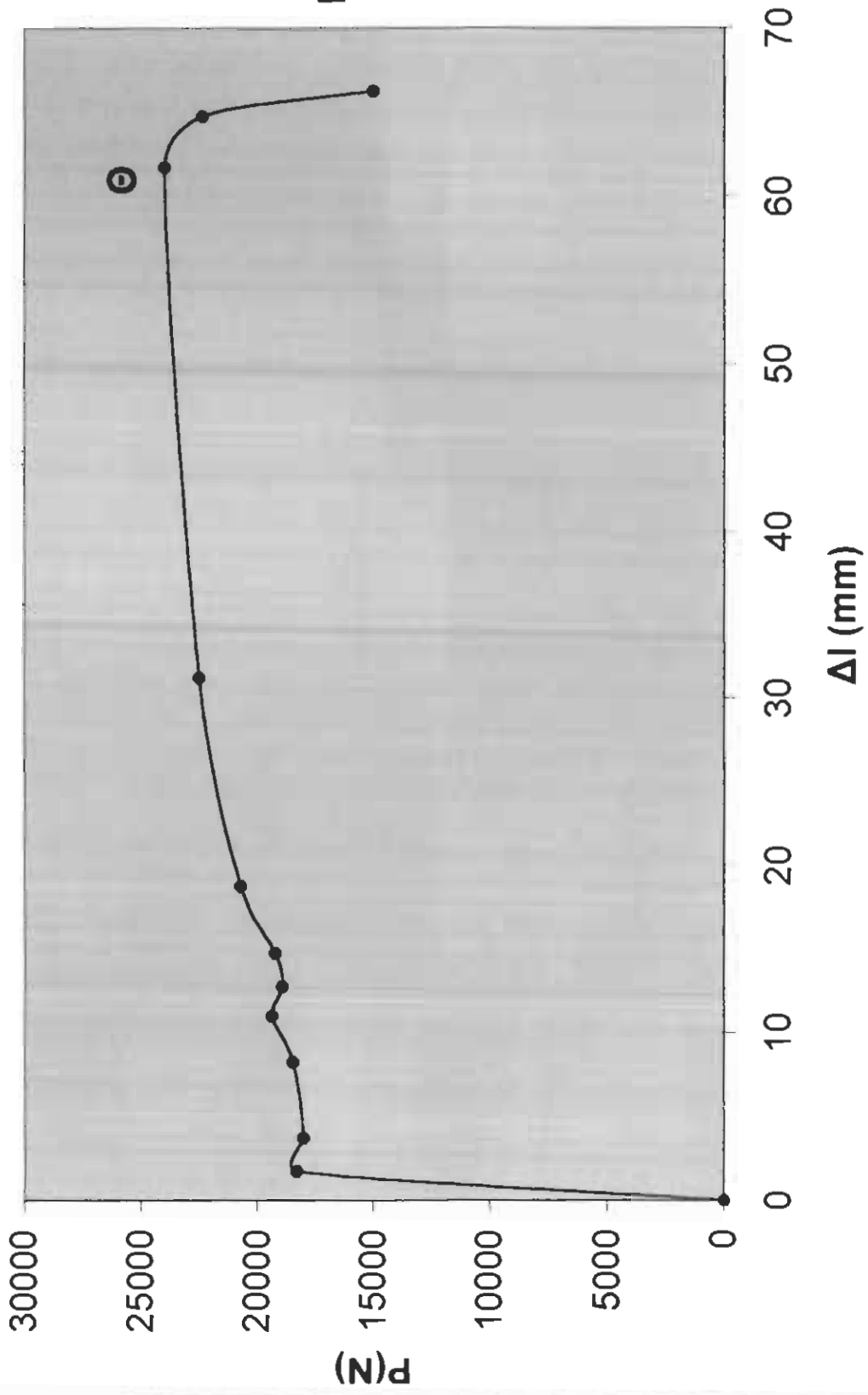


# S220 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 3

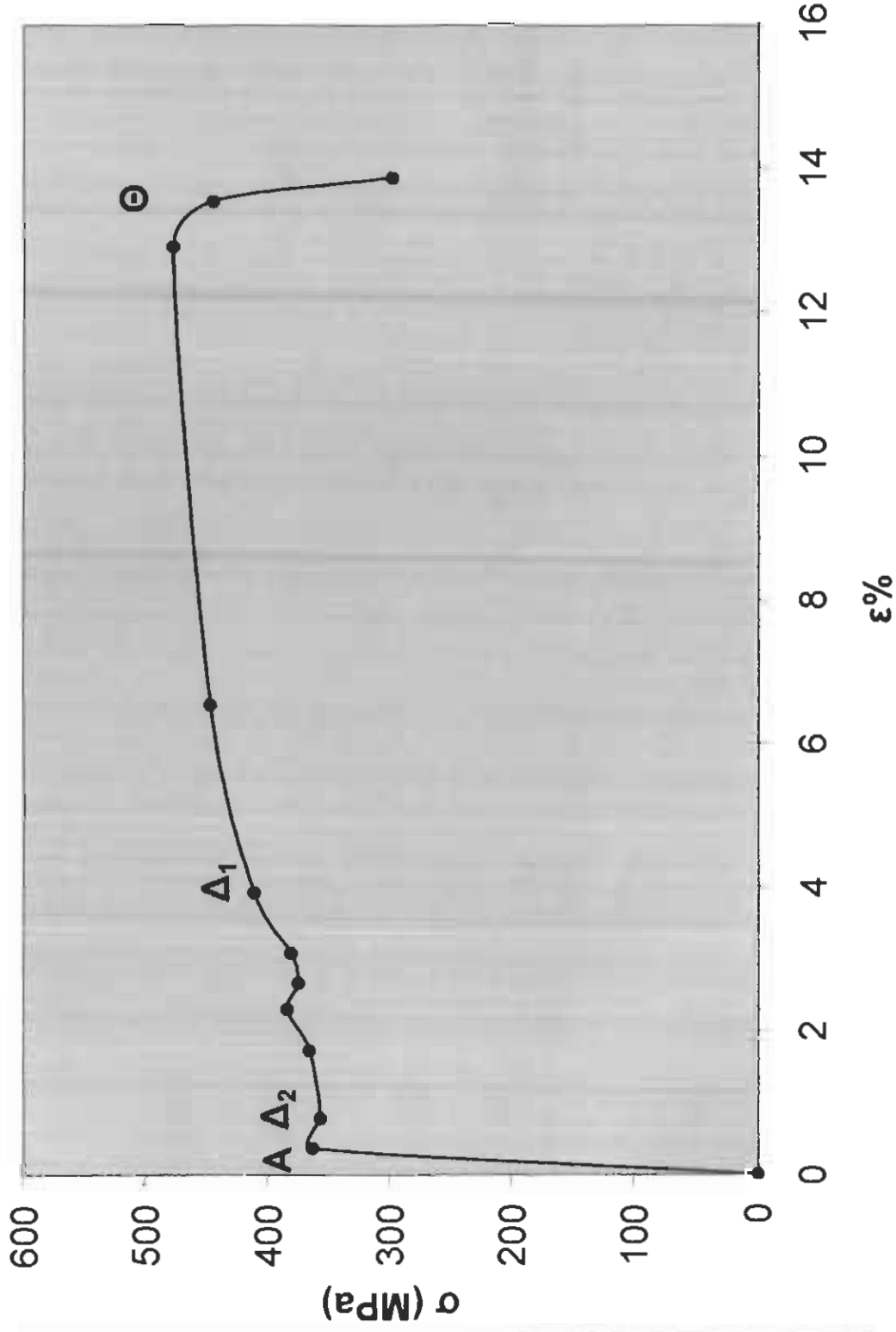


Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=346\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta=365\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta=466\text{MPa}$

# S220 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 4



# S220 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 4



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 364 \text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_{\Delta} = 385 \text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_{\theta} = 478 \text{MPa}$

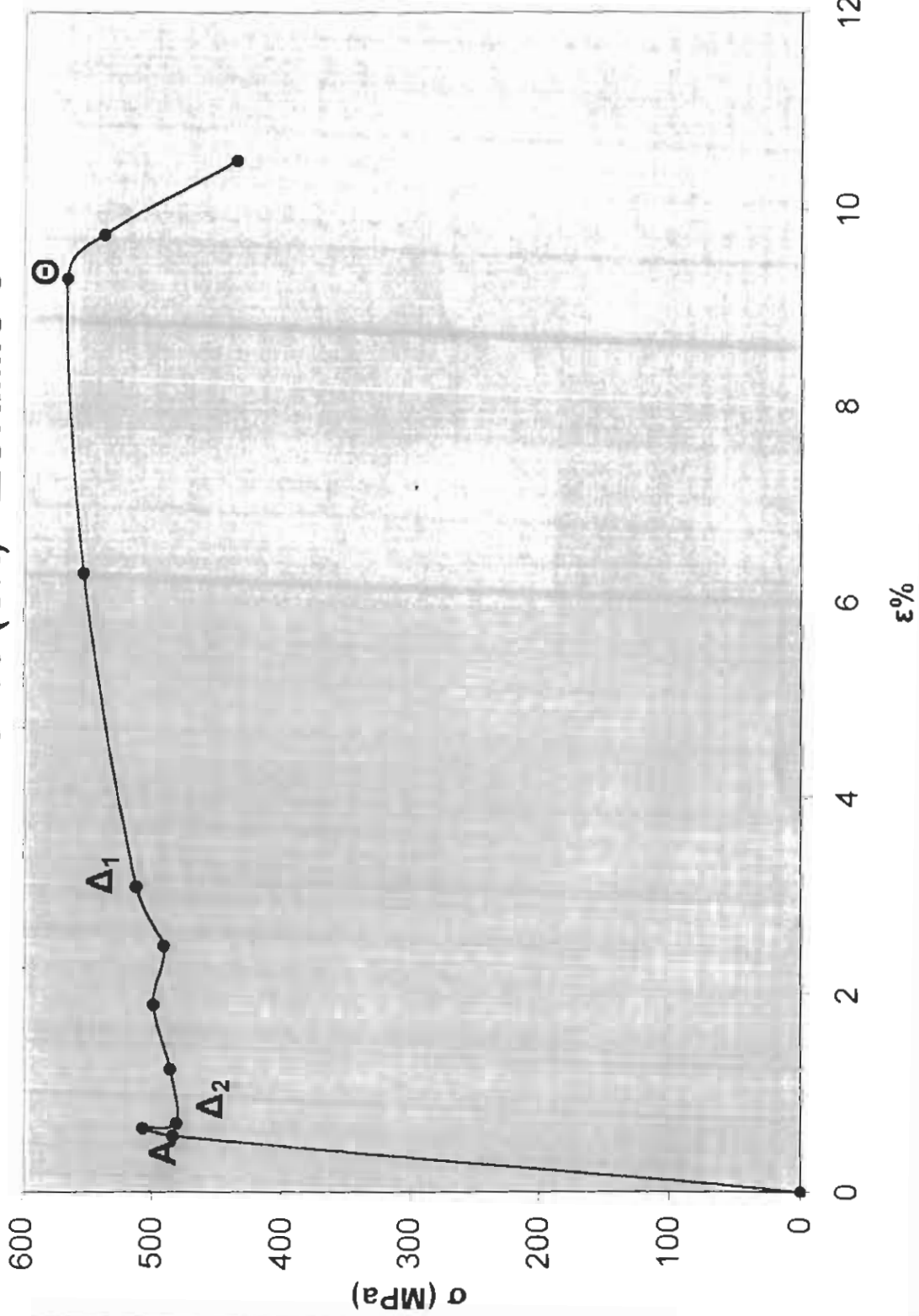
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ B<sub>3</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

**Δl(4:1)**

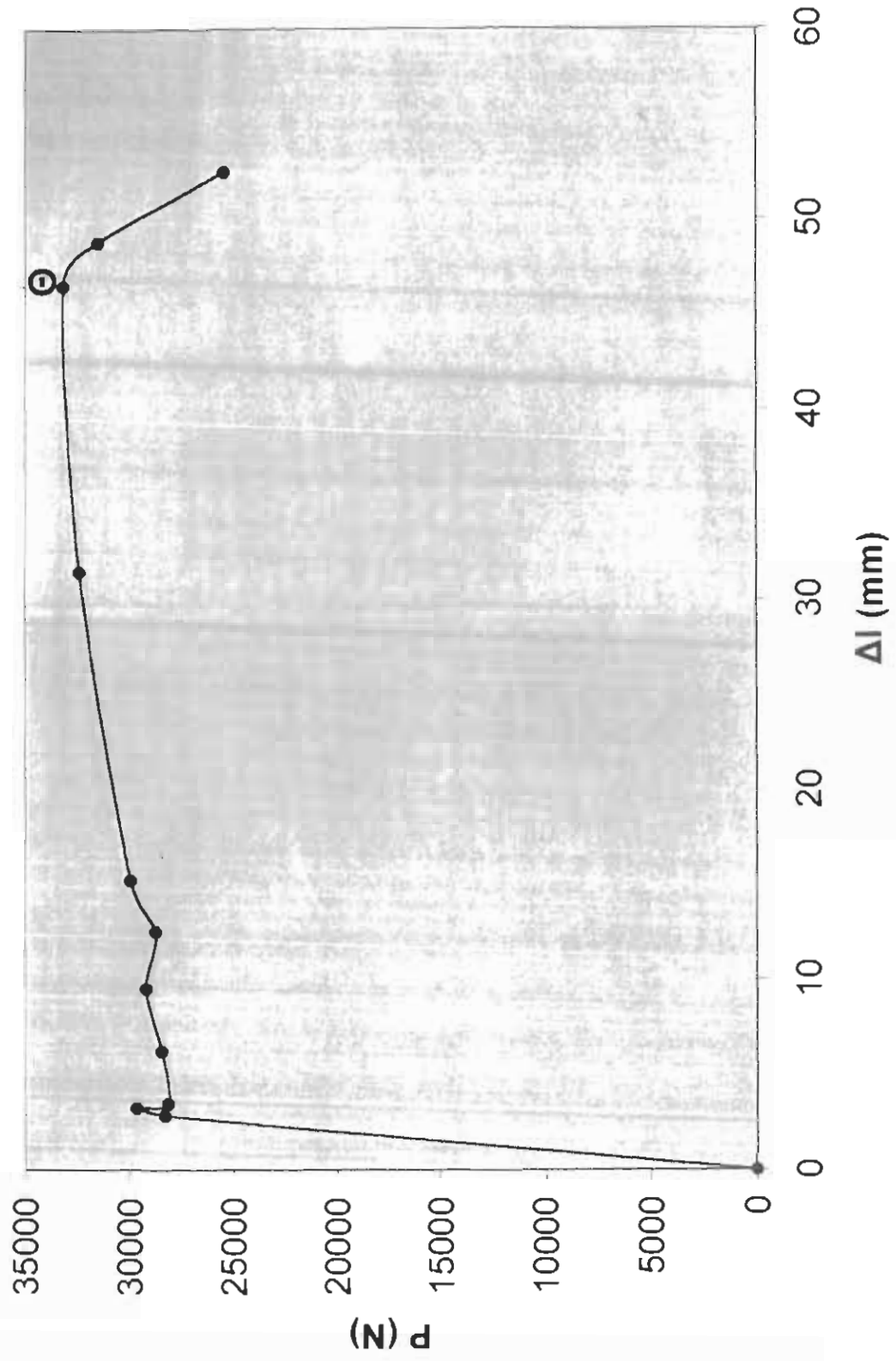
# S500 (ΘΧ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 5



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 484 \text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_{\Delta} = 497 \text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσεως  
 $\sigma_{\Theta} = 566 \text{MPa}$

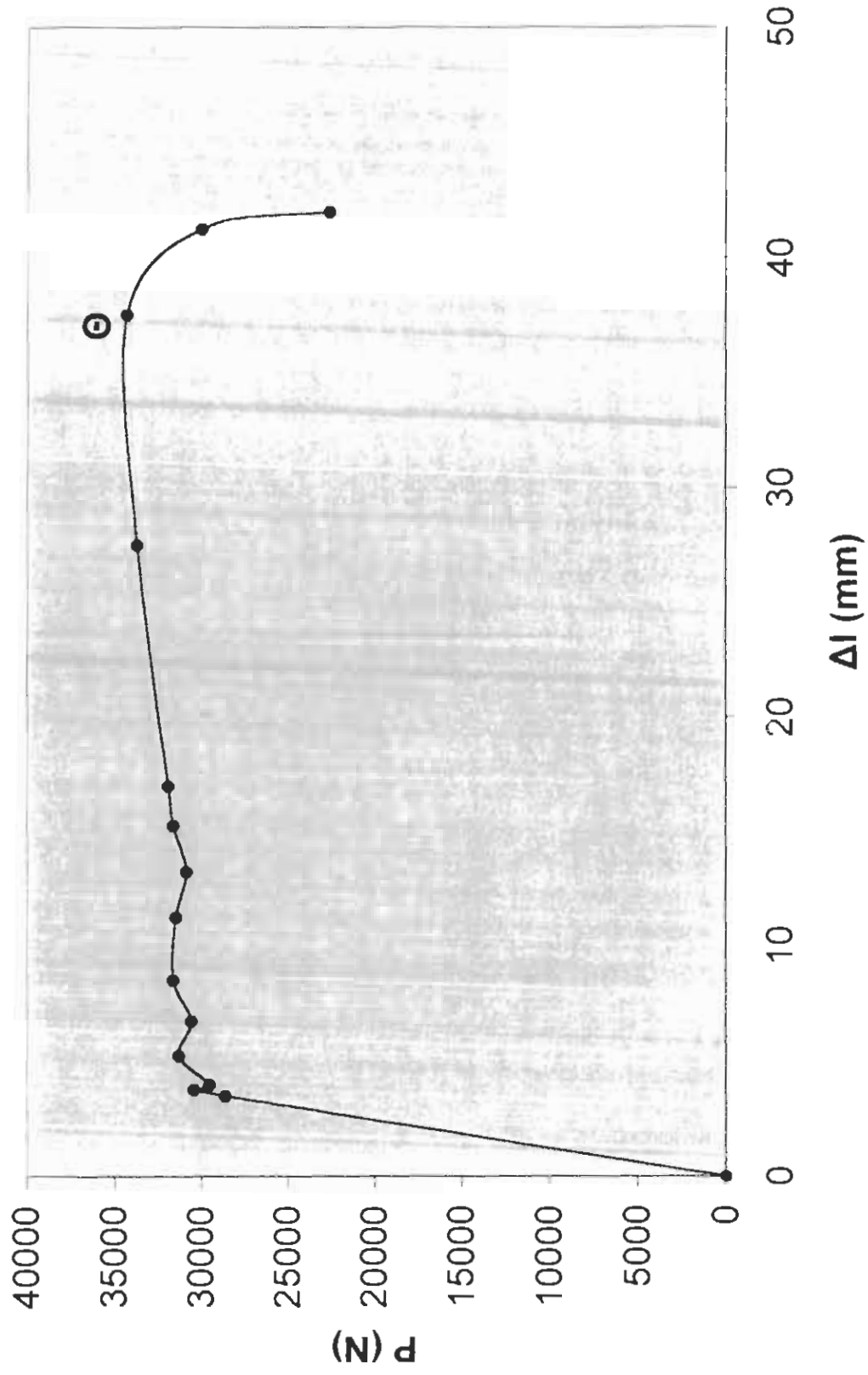


# S500 (ΘΧ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 5

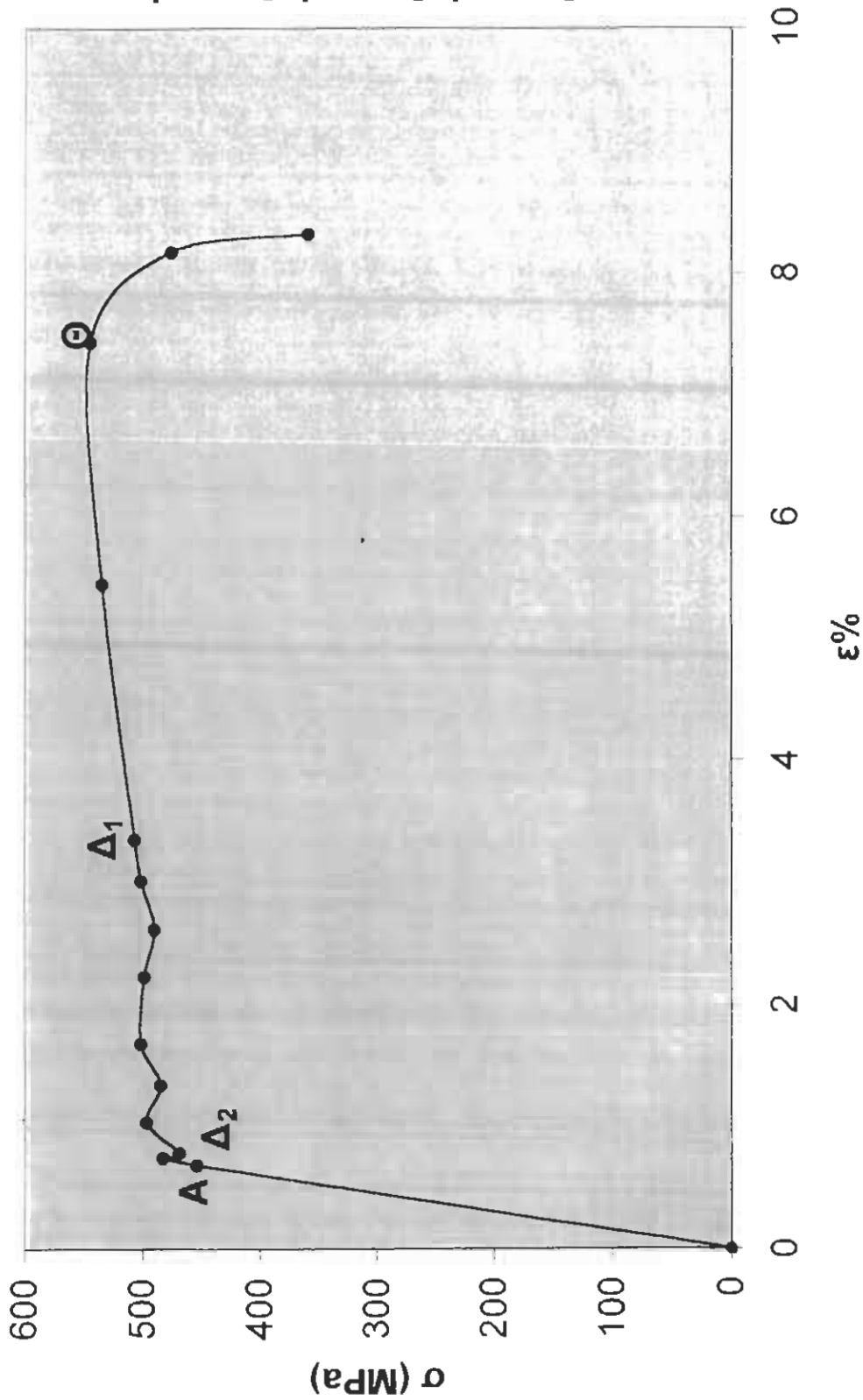


Φορτίο  
θραύσης  
 $P_{\Theta} = 33150N$

# S500 (ΘΧ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 6



# S500 (ΘΧ) - ΔΟΚΙΜΙΟ 6



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=454\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta=488\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta=545\text{MPa}$

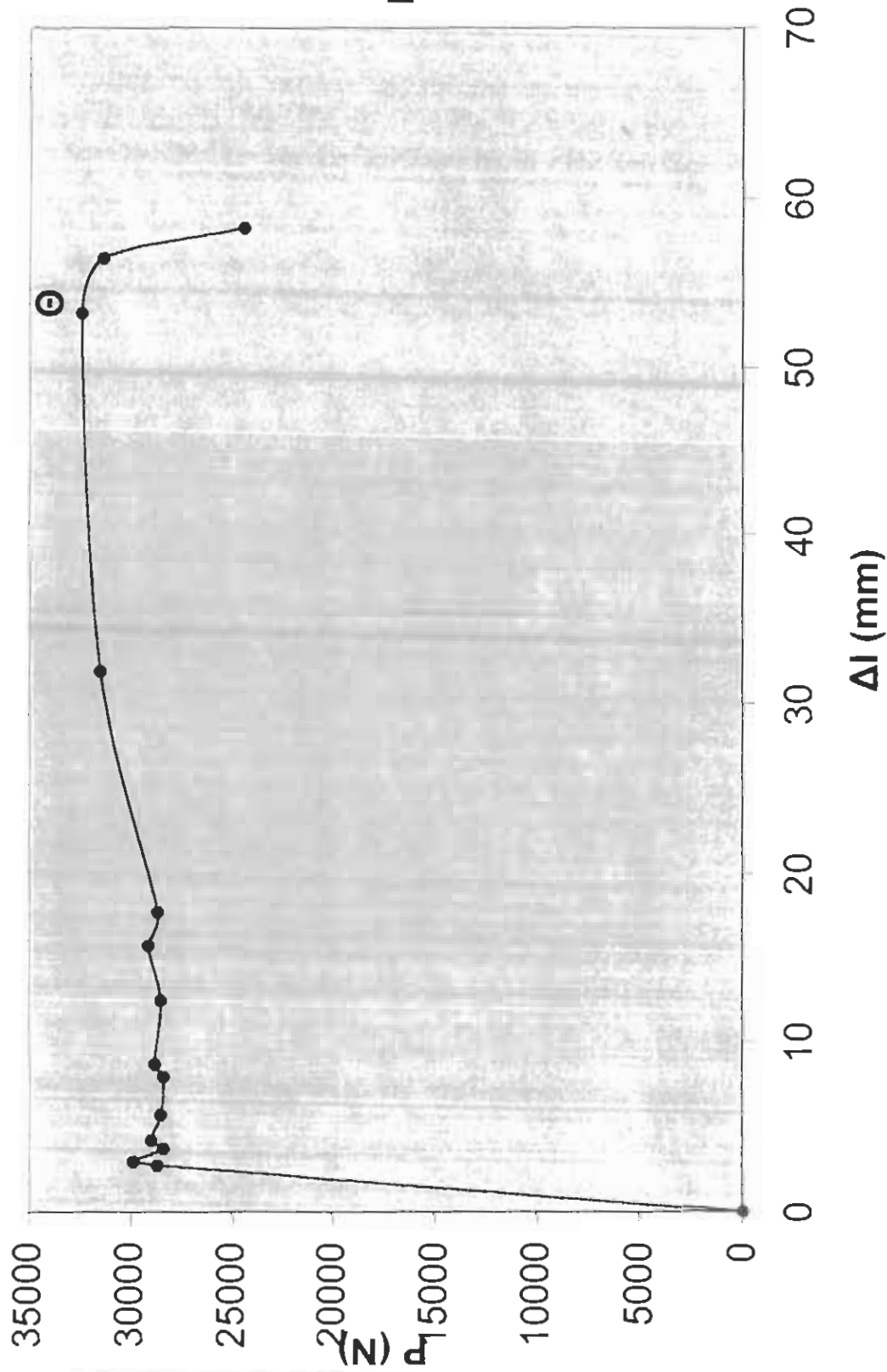
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ B<sub>4</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

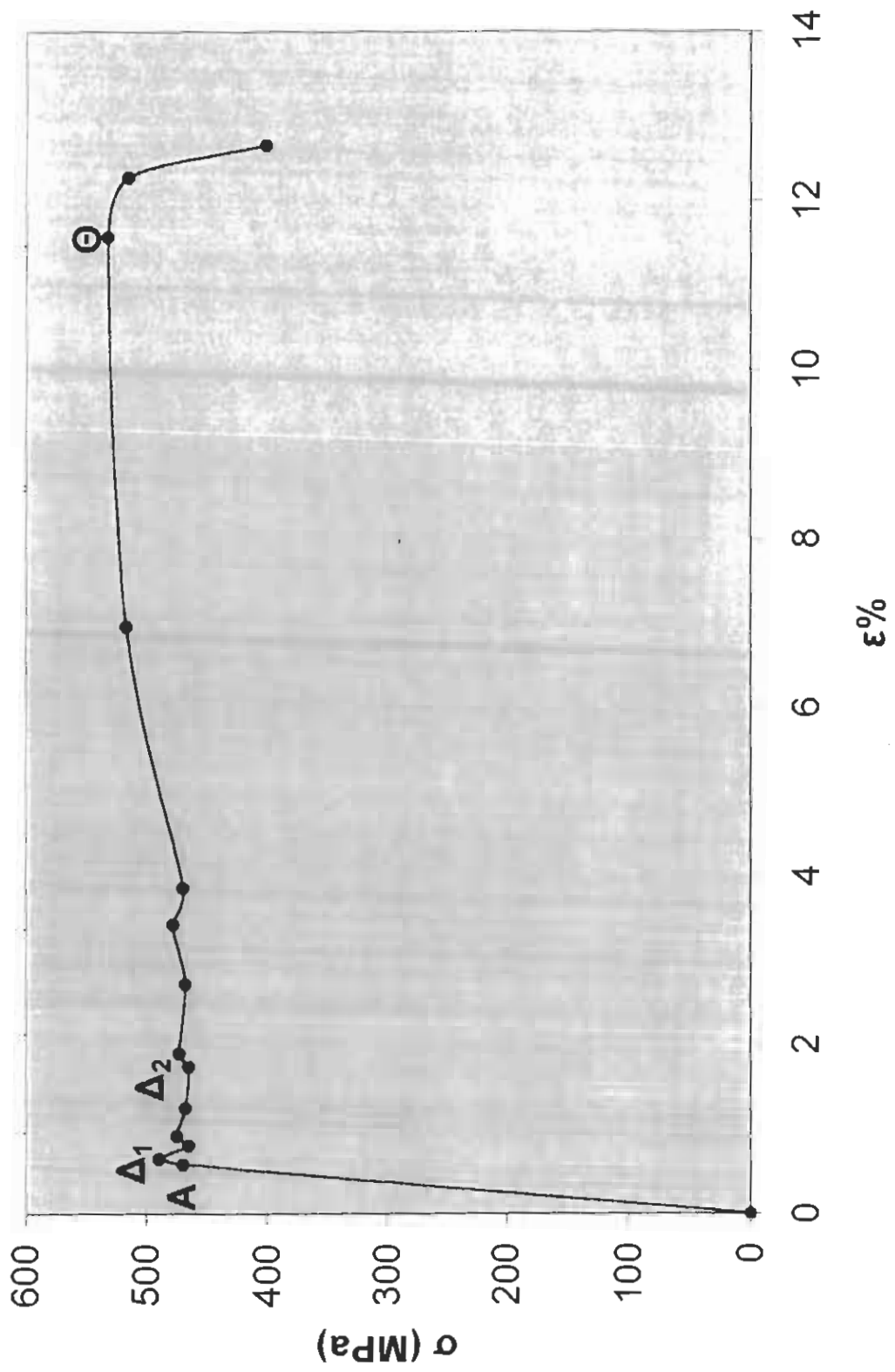
**Δl(4:1)**

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 7



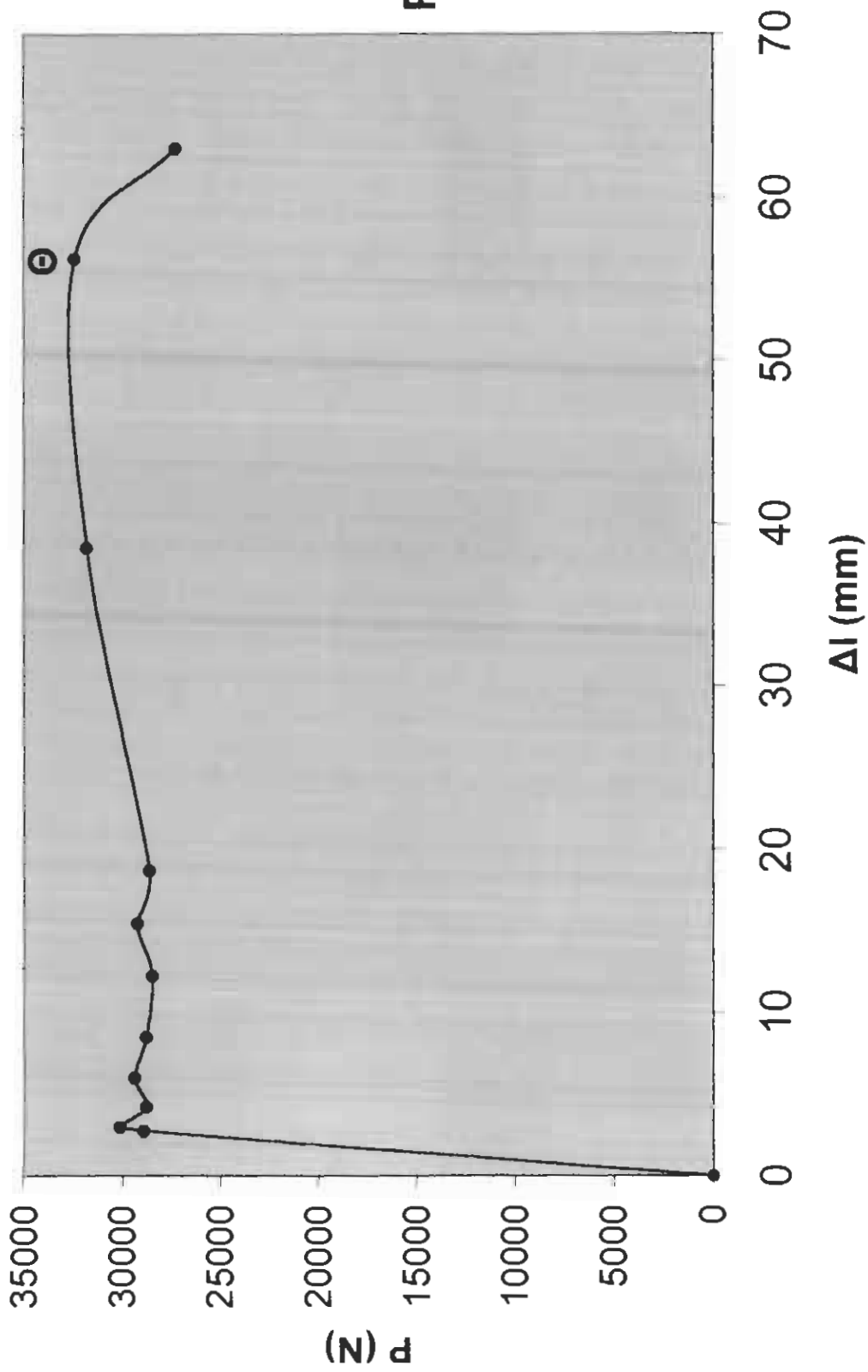
Φορτίο  
θραύσεως  
 $P_{\Theta} = 32400 \text{ MPa}$

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 7



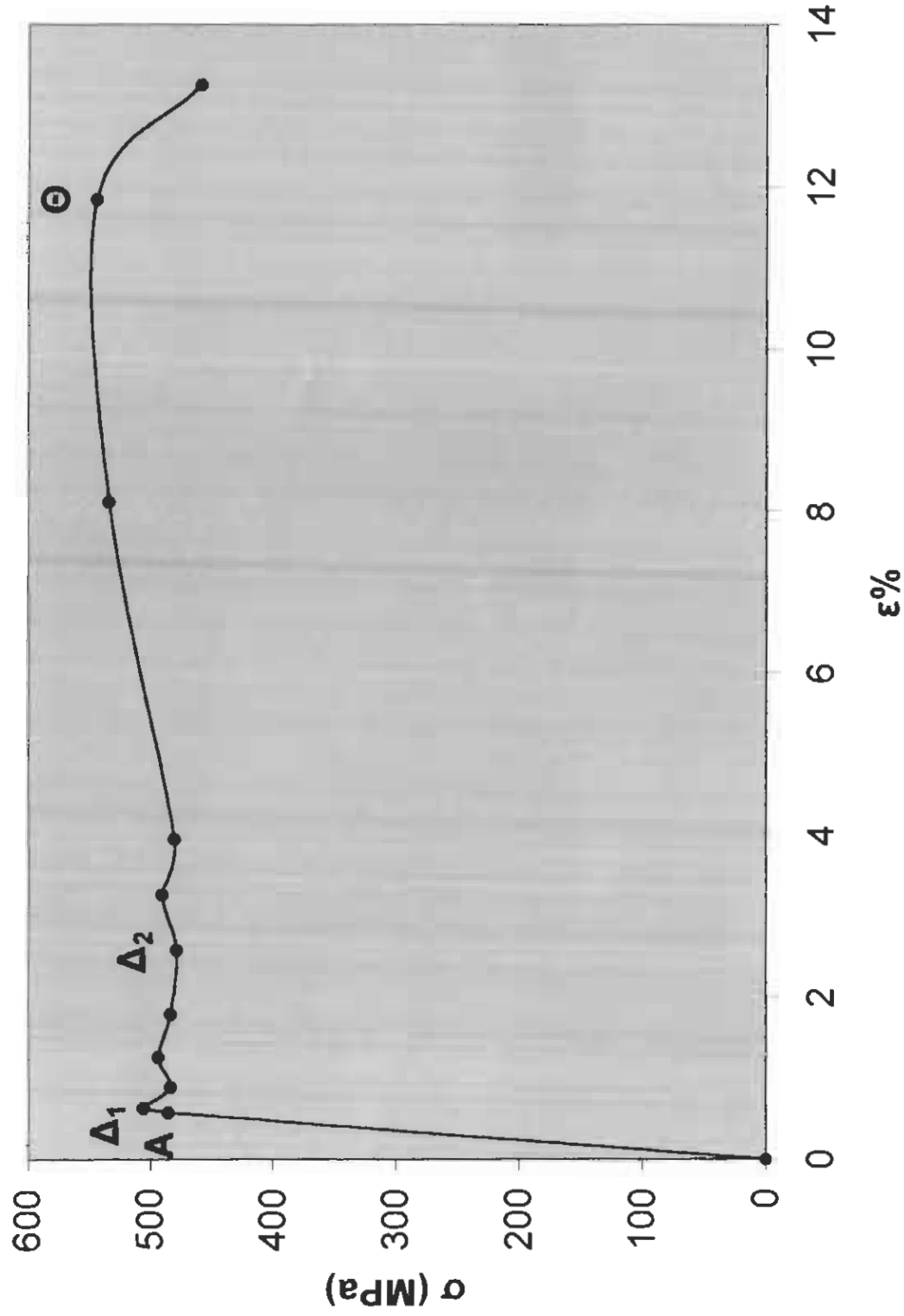
Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=470\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta=477\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσεως  
 $\sigma_\Theta=532\text{MPa}$

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 8



Φορτίο  
θραύσης  
 $P_{\theta} = 32400N$

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 8



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 486$ MPa  
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta = 493$ MPa  
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta = 544$ MPa



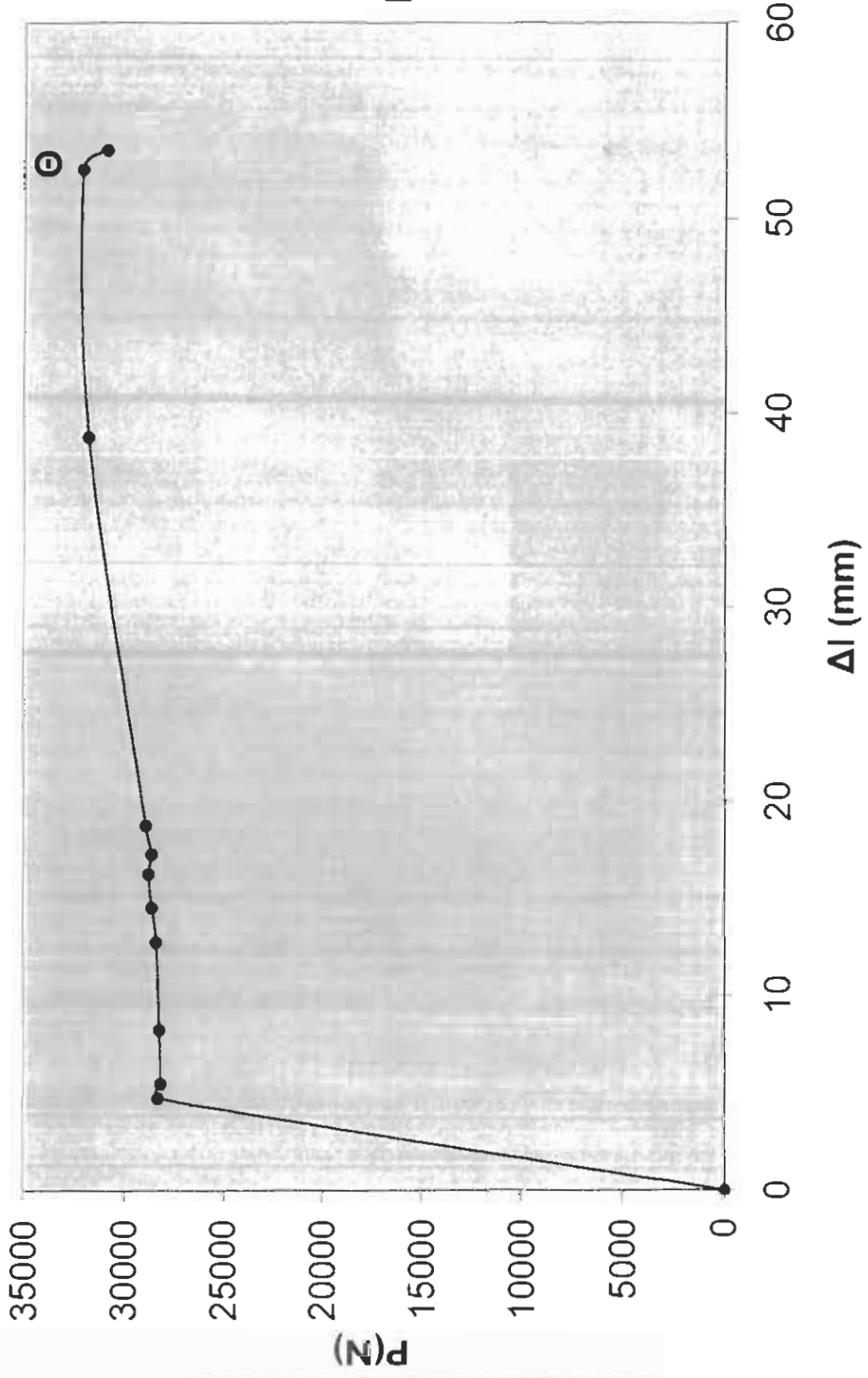
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Δ<sub>1</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

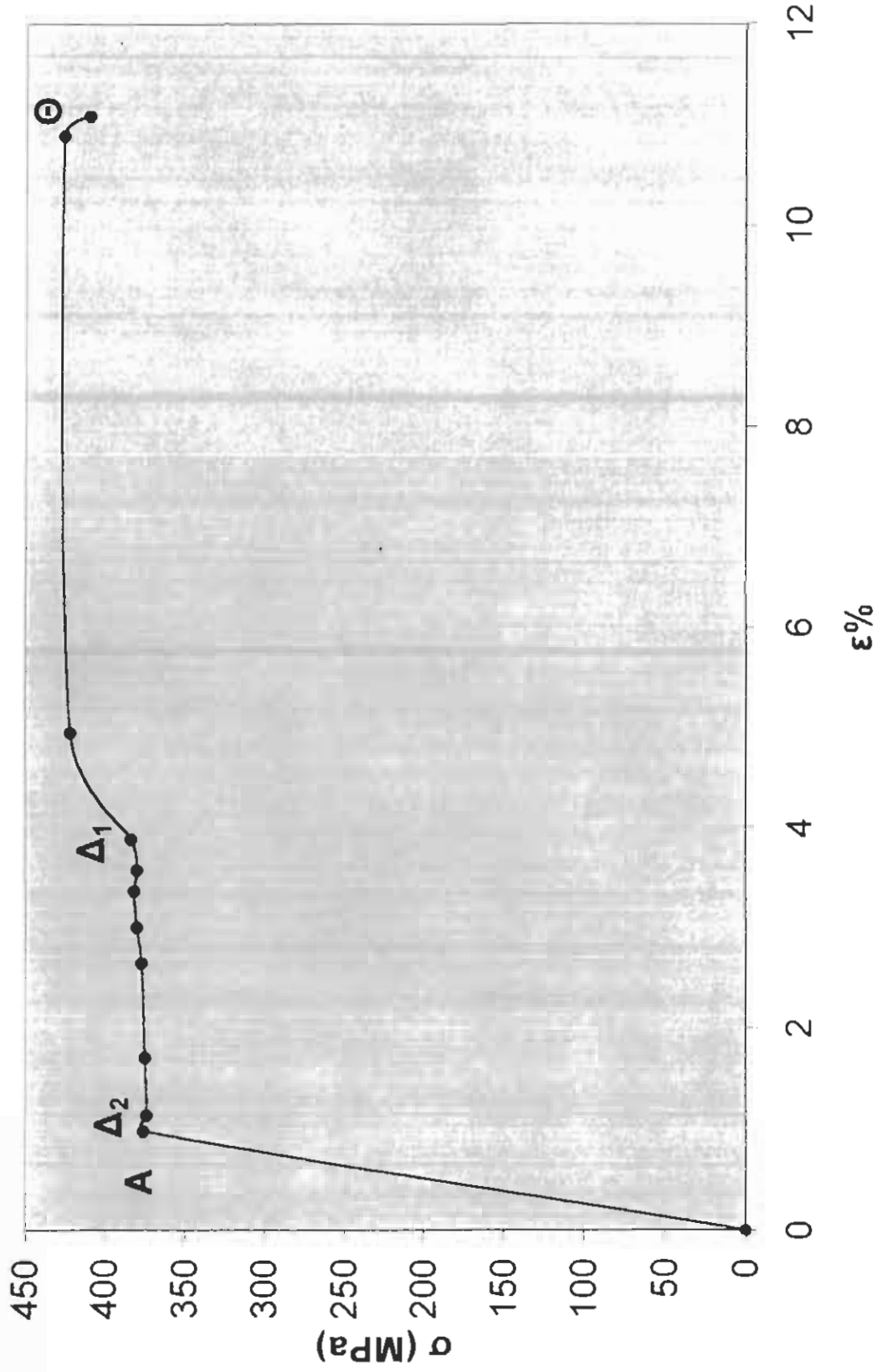
**ΔΙ(4:1)**

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 17



Φορτίο  
θραύσης  
 $P_{\Theta} = 32100N$

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 17



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=376\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta=379\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta=426\text{MPa}$

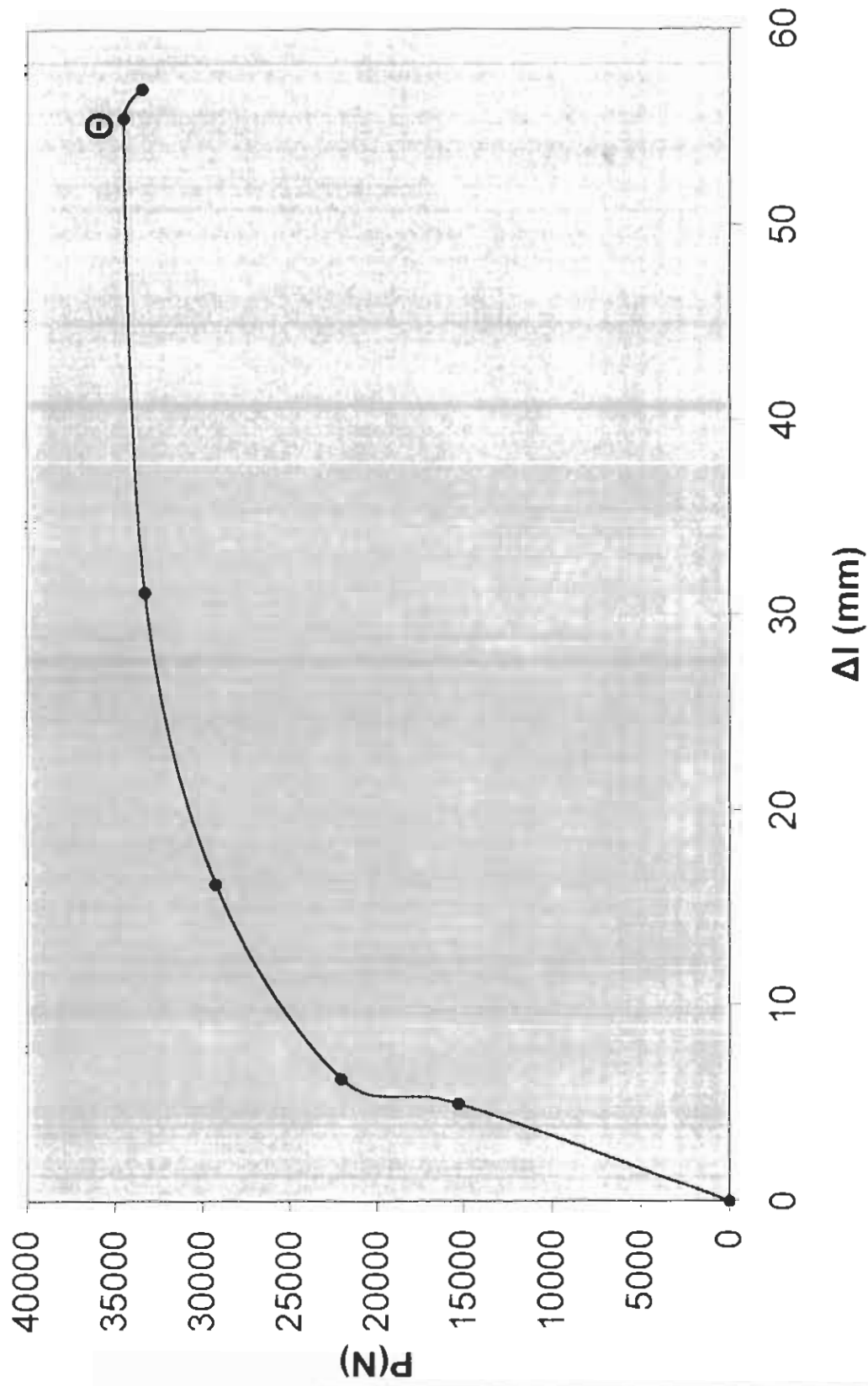
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Δ<sub>2</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

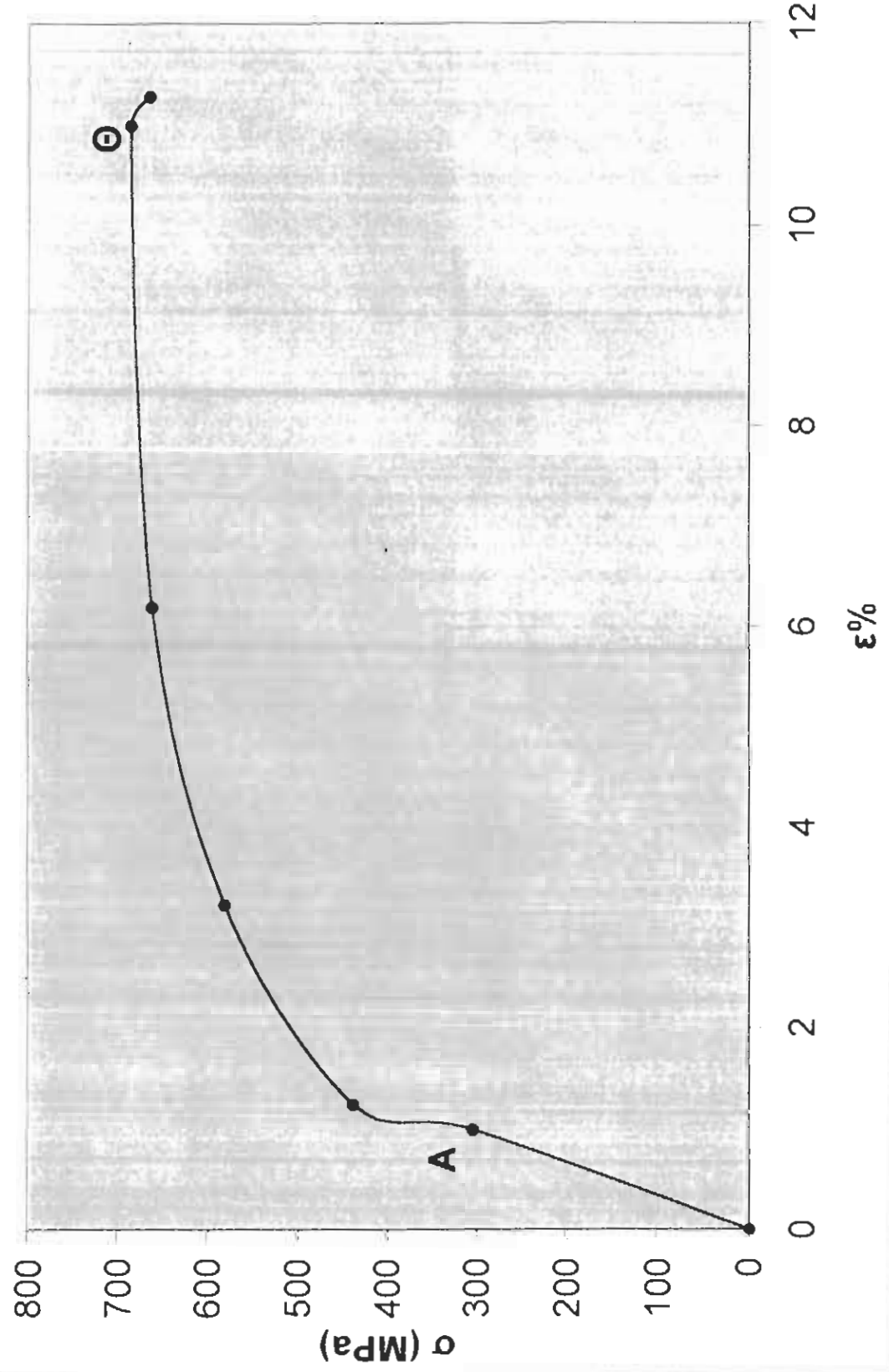
**Δl(4:1)**

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 18



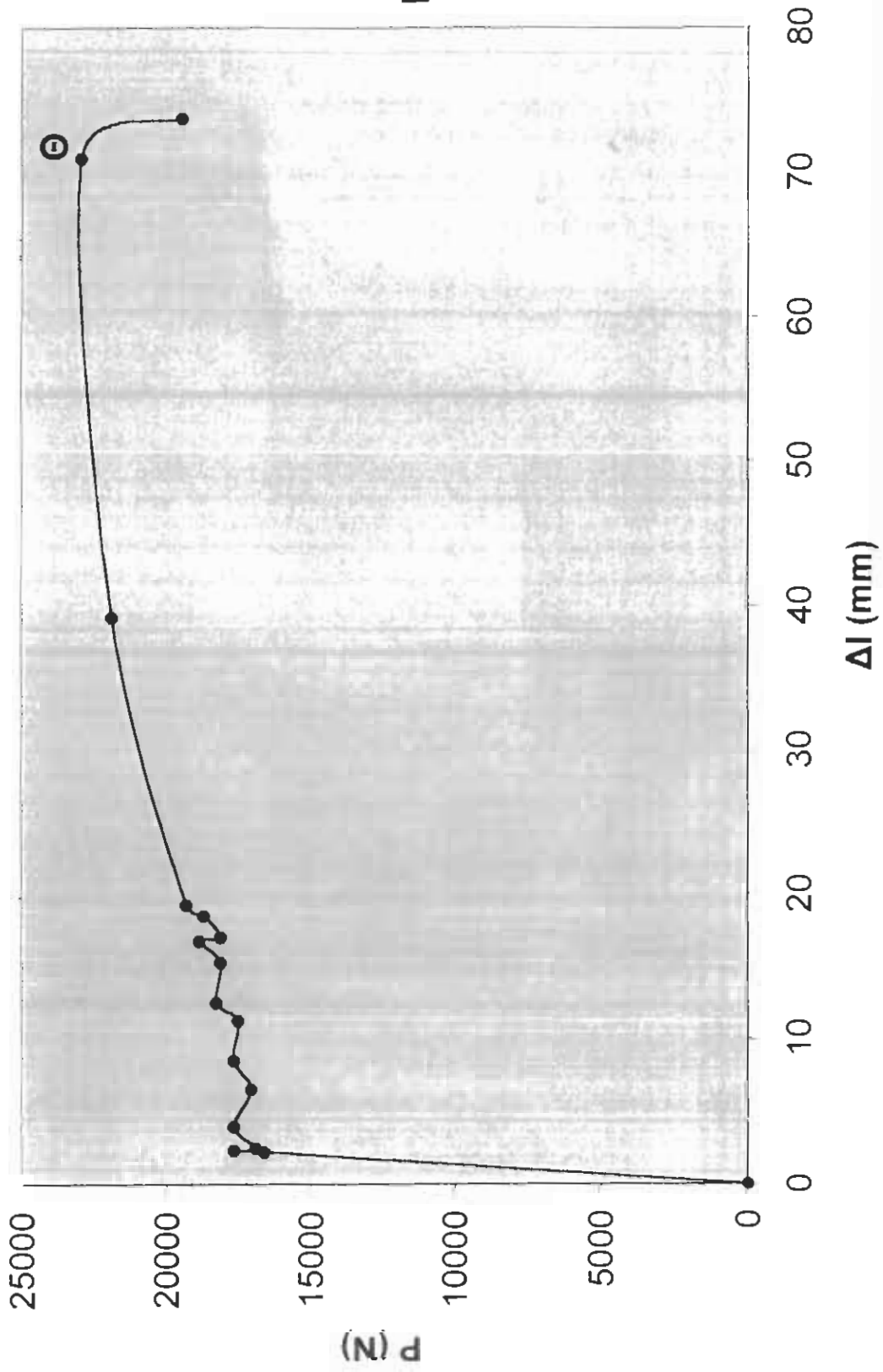
Φορτίο  
θραύσης  
 $P_{\Theta} = 34500\text{N}$

# S500 (EX) - ΔΟΚΙΜΙΟ 18



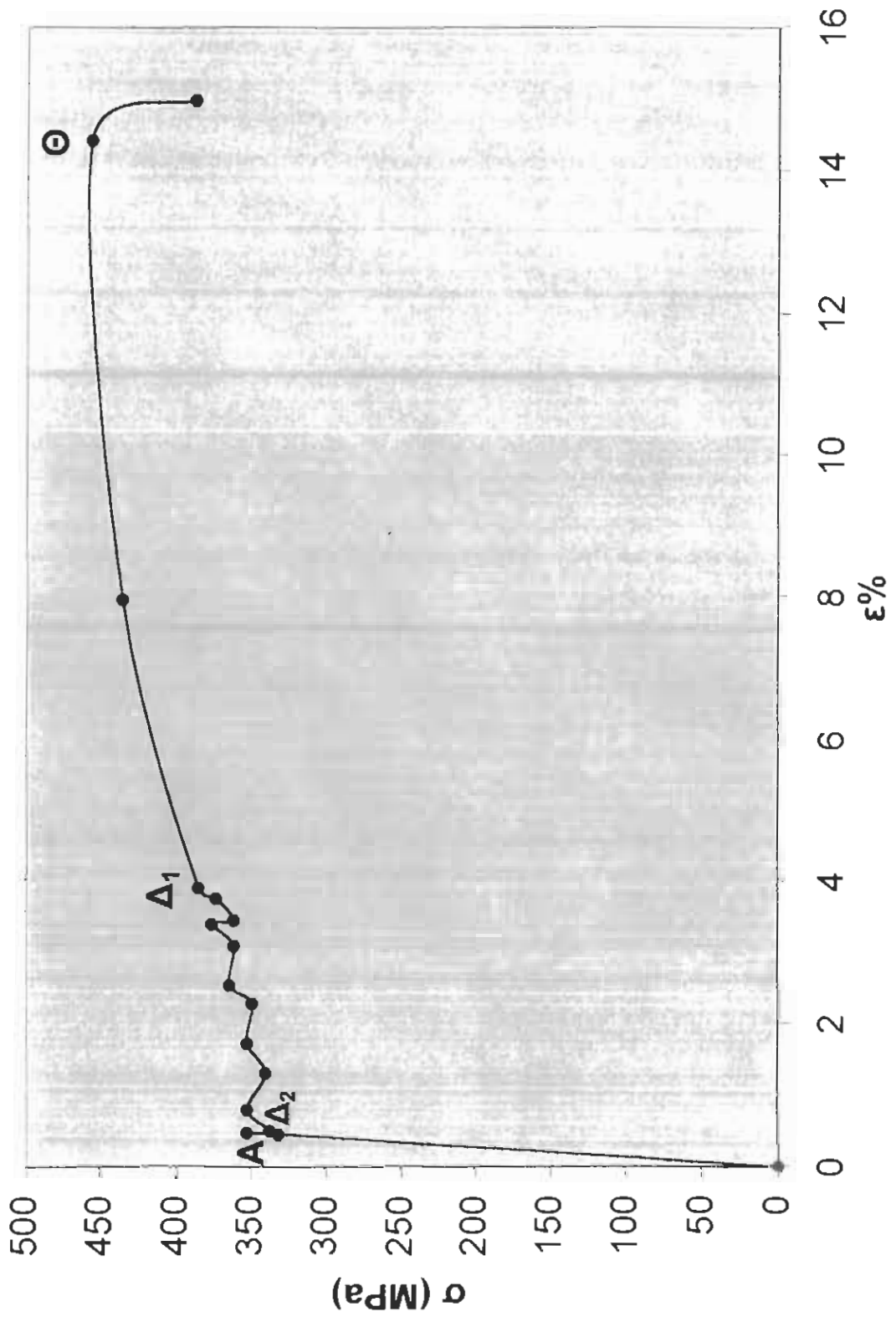
Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=278\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta=687\text{MPa}$

# S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 19



Φορτίο  
θραύσεως  
 $P_{\Theta} = 22950\text{N}$

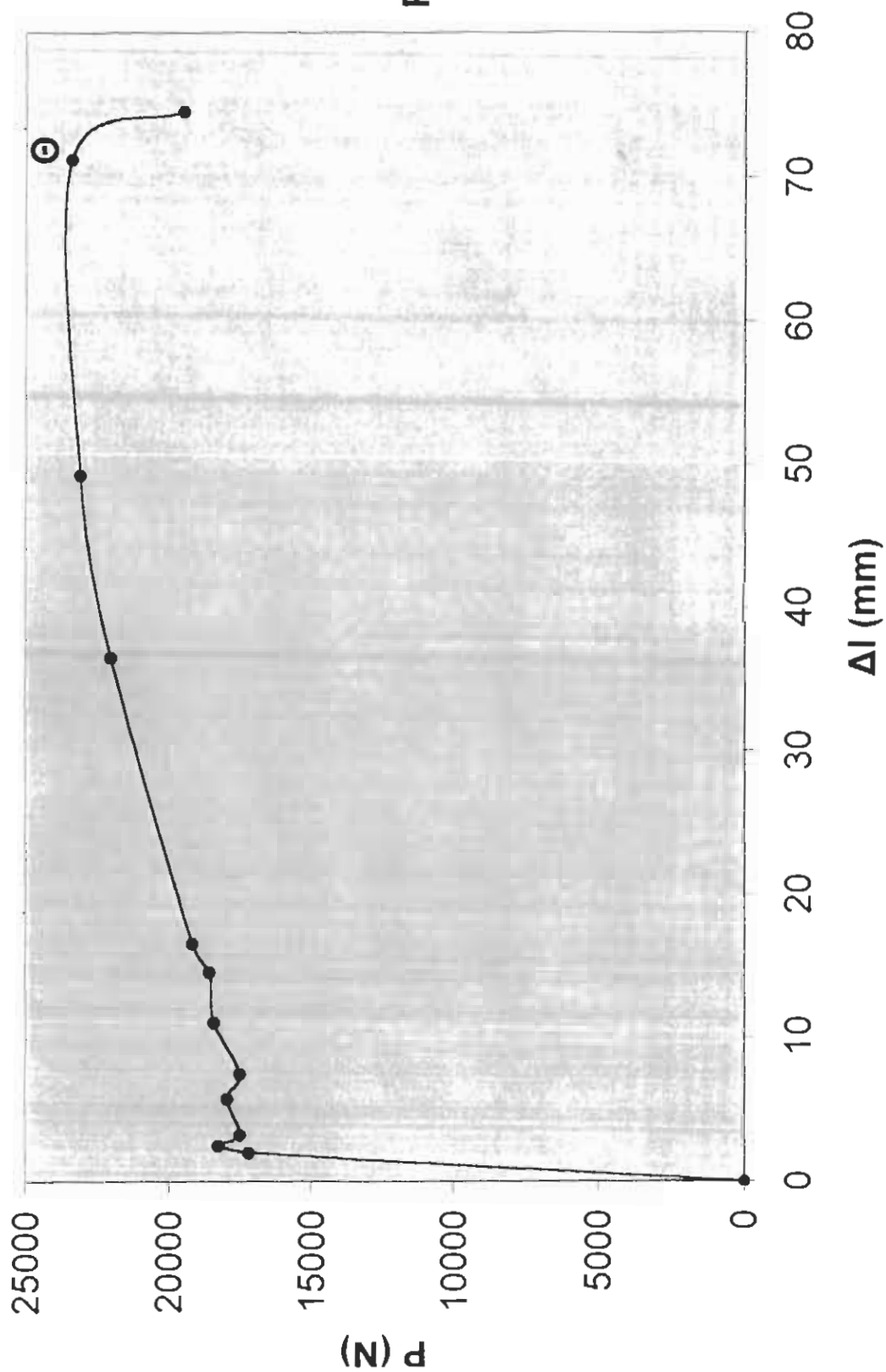
# S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 19



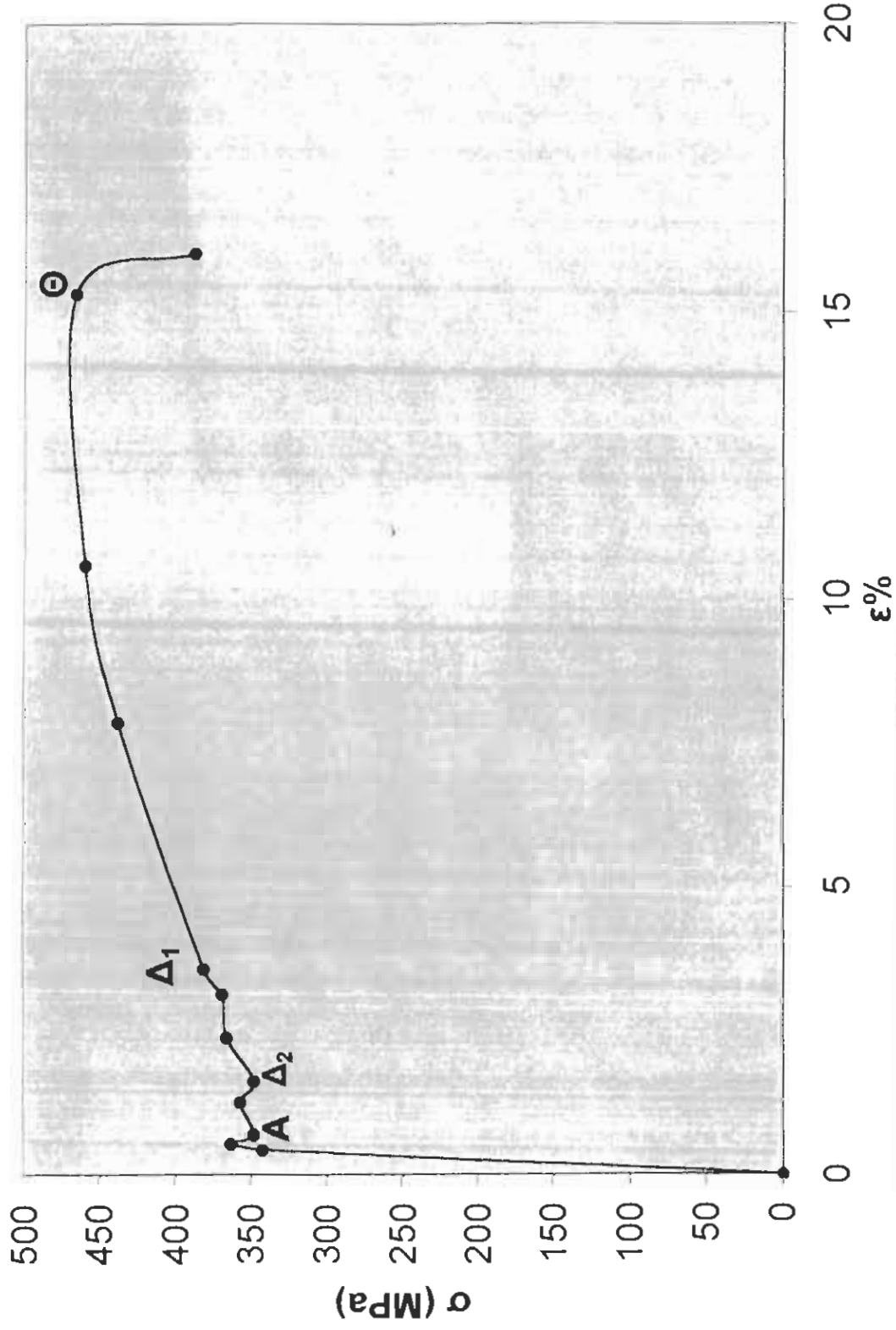
Τάση ορίου αναλογίας  $\sigma_A=331\text{MPa}$   
Τάση ορίου διαρροής  $\sigma_\Delta=361\text{MPa}$   
Τάση ορίου θραύσης  $\sigma_\Theta=457\text{MPa}$



# S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 20

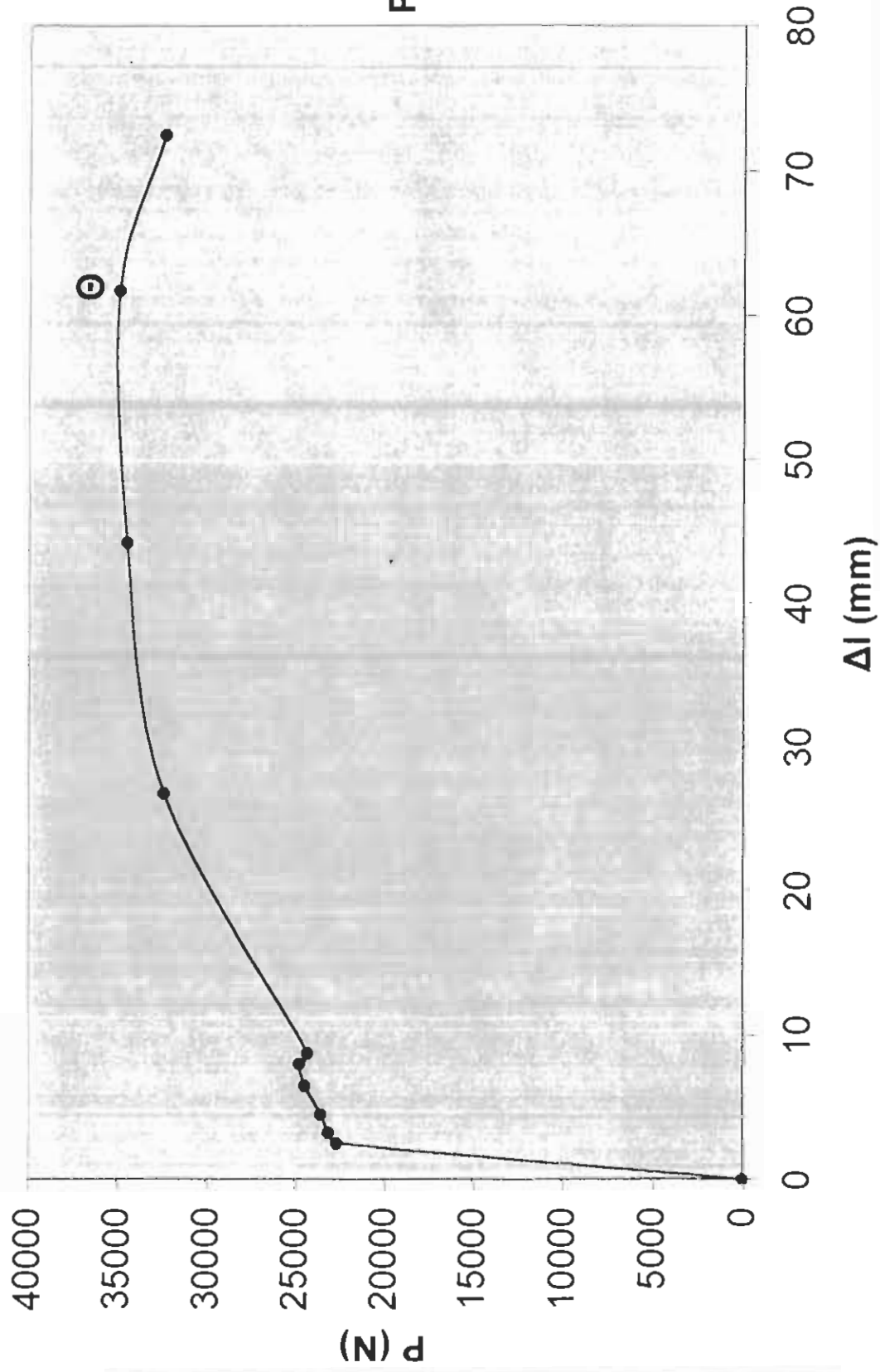


## S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 20

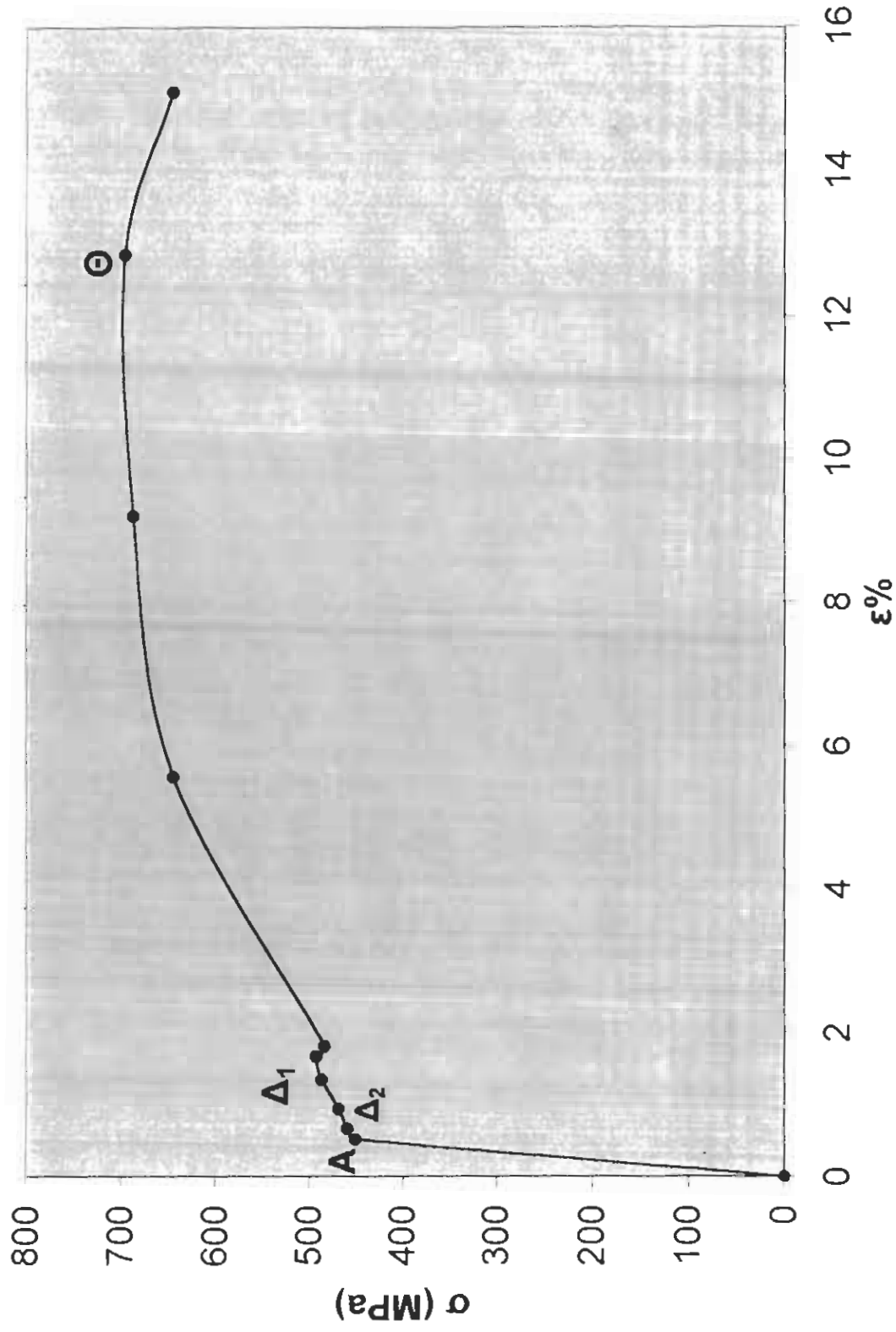


Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A=343\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_{\Delta}=366\text{MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_{\Theta}=466\text{MPa}$

# S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 21



## S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 21



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 451$ MPa  
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta = 477$ MPa  
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta = 696$ MPa

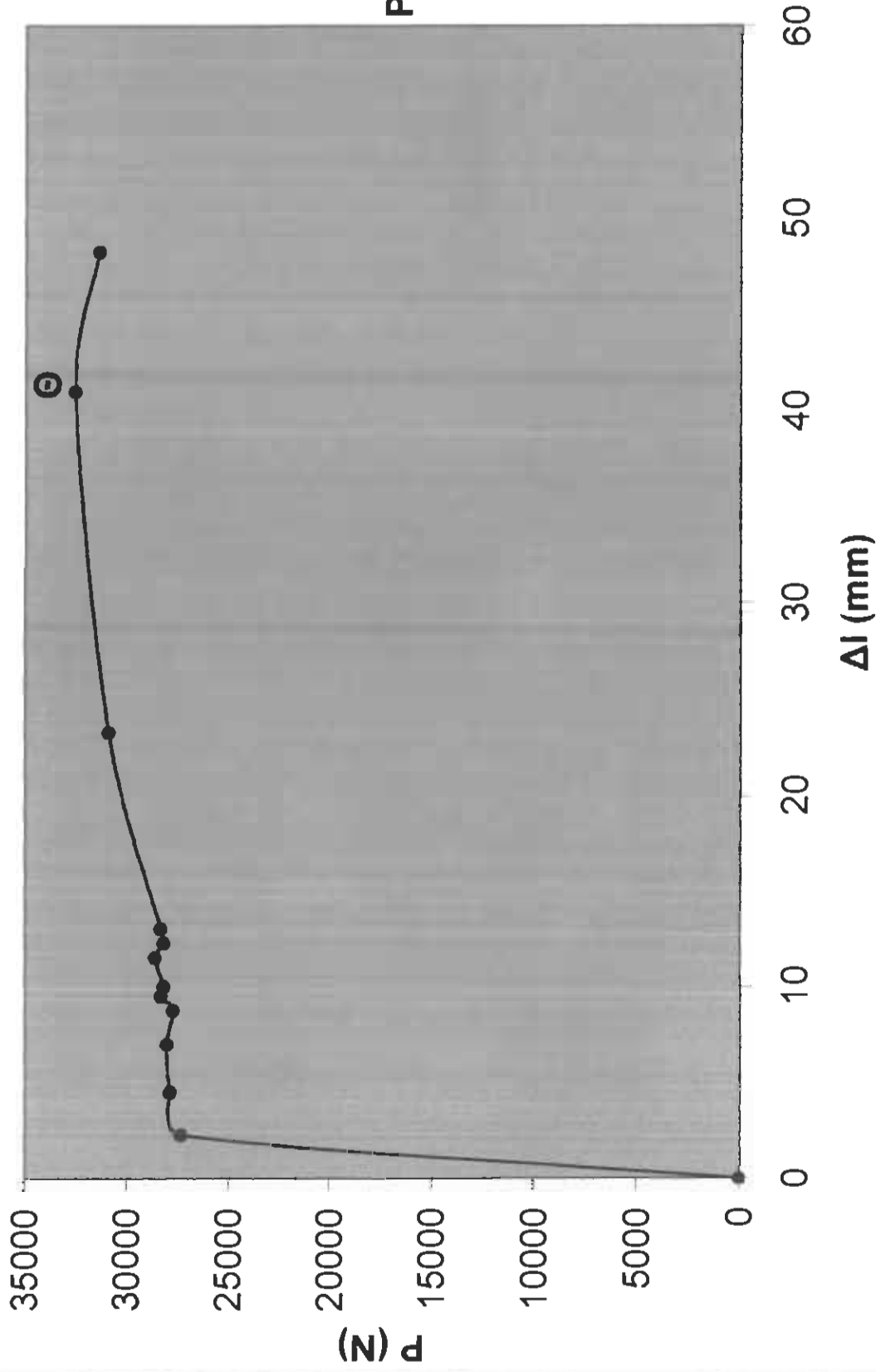
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ E<sub>1</sub>**

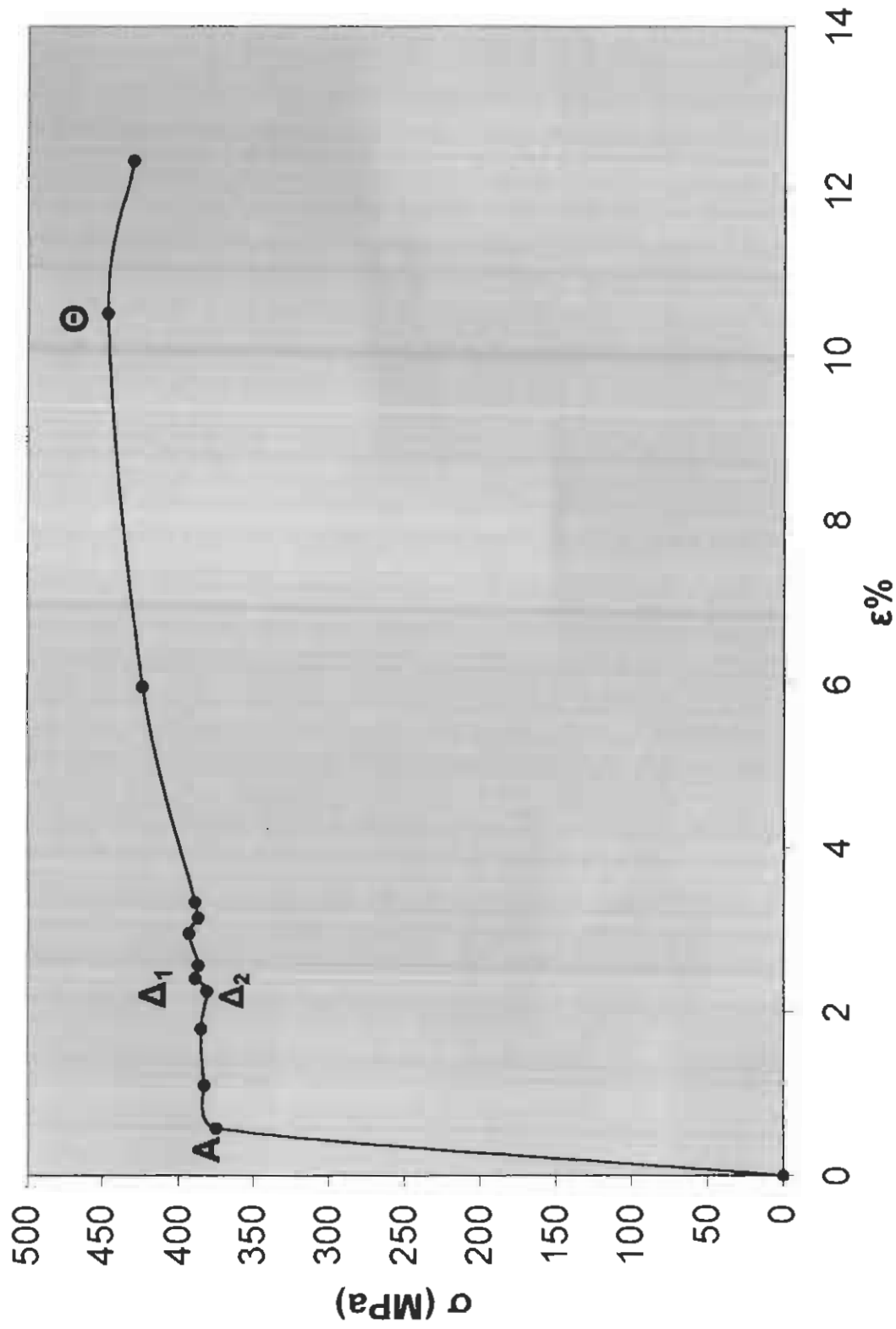
**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

**Δl(4:1)**

# S500 - ΔΟΚΙΜΙΟ 22



## S500 - ΔΟΚΙΜΙΟ 22



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 375 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
διαρροής  
 $\sigma_\Delta = 385 \text{ MPa}$   
Τάση ορίου  
θραύσης  
 $\sigma_\Theta = 447 \text{ MPa}$

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΔΙΑΜΟΡΦΩΤΩΝ**

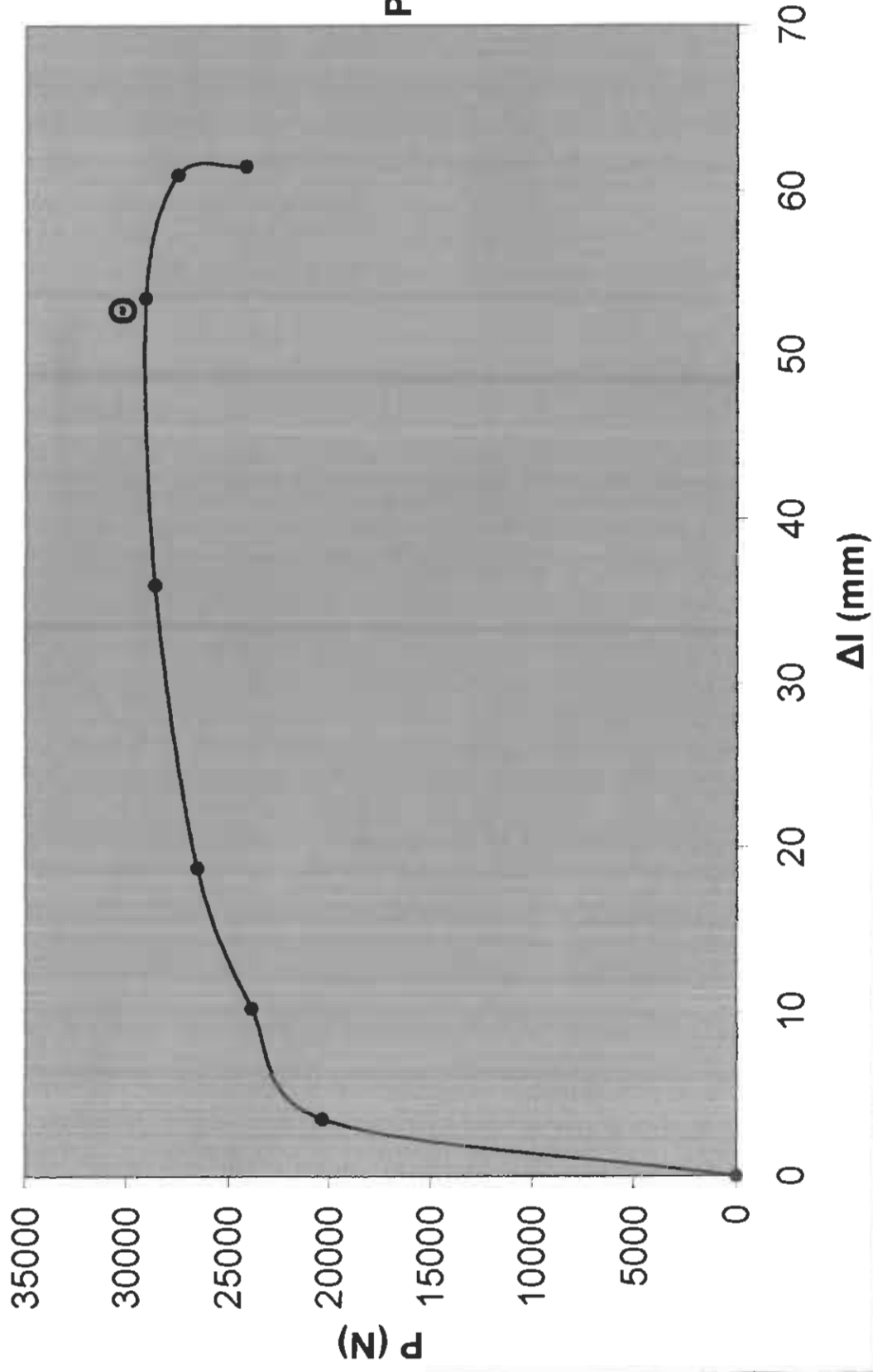
**ΔΟΚΙΜΙΩΝ: ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ E<sub>2</sub>**

**ΚΛΙΜΑΚΕΣ : P(1cm=1500N)**

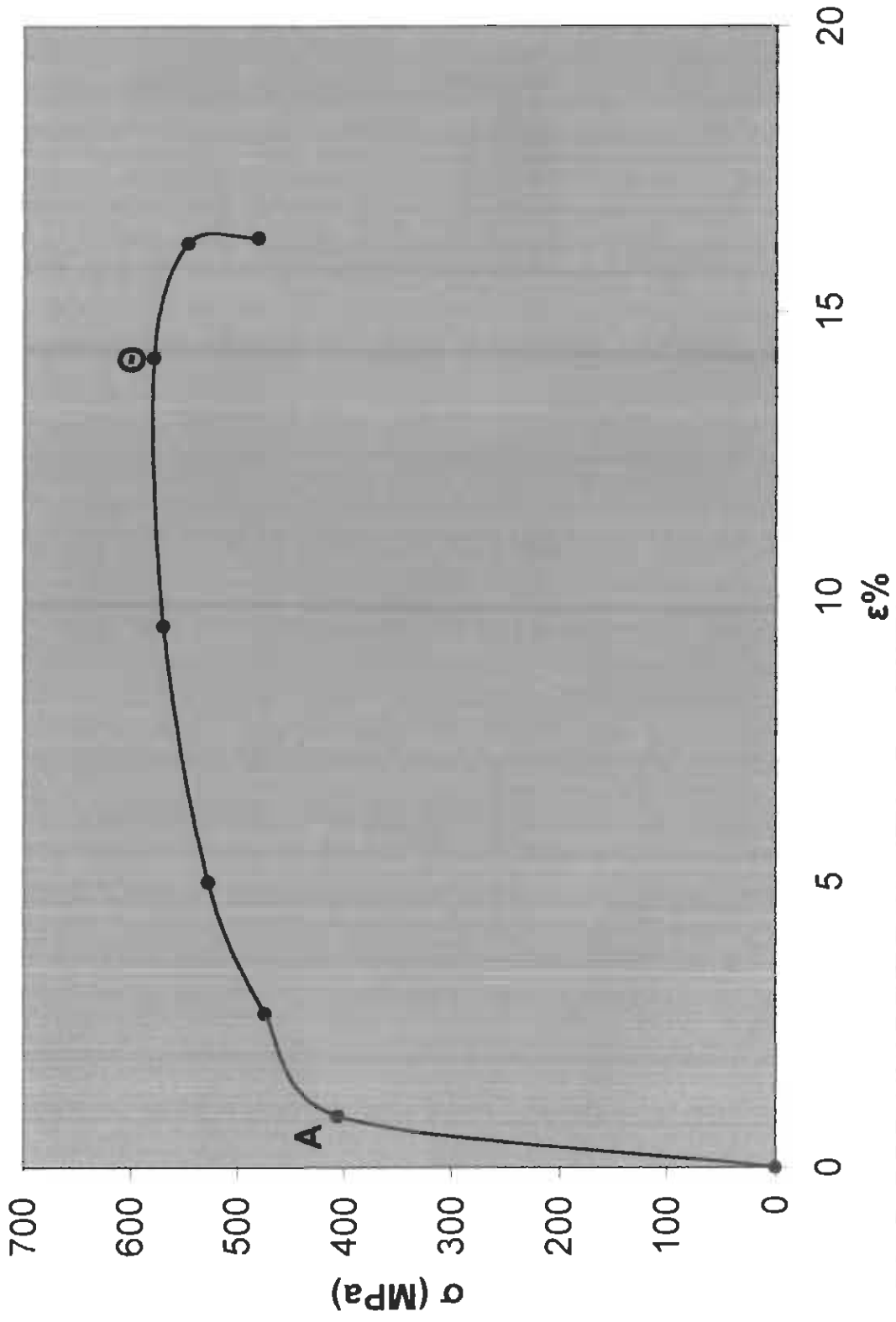
**Δl(4:1)**



# S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 23



# S220 - ΔΟΚΙΜΙΟ 23



Τάση ορίου  
αναλογίας  
 $\sigma_A = 406 \text{ MPa}$

## 11.2 Συμπεράσματα-Παρατηρήσεις

- Στα δοκίμια Κατηγορίας Α και Β που ελέχθηκαν στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι., η επιμήκυνση θραύσης υπολογίσθηκε σαν μέσος όρος της επιμήκυνσης θραύσης που πήραμε από τη βαθματολογημένη κλίμακα της μηχανής AMSLER και της επιμήκυνσης θραύσης από το Διάγραμμα P-ΔΙ. **Η διαφορά που παρατηρήθηκε ανάμεσα στις τιμές επιμήκυνσης της μηχανής και των διαγραμμάτων οφείλεται στο γλιστρήμα των δοκιμίων μέσα στις αρπάγες που έχει σαν αποτέλεσμα το ηλεκτρονικό τμήμα της μηχανής AMSLER να καταγράφει παραμορφώσεις πριν την επιβολή φορτίου. Για να αποφύγουμε αυτές τις μικροδιαφορές απαιτείται σήμανση συγκεκριμένων σημείων στο χρήσιμο μήκος και ηλεκτρονική καταγραφή της παραμόρφωσης τους.** Στα δοκίμια Κατηγορίας Δ και Ε που ελέχθηκαν στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι., η επιμήκυνση θραύσης υπολογίστηκε σαν μέσος όρος της επιμήκυνσης θραύσης από το Διάγραμμα P-ΔΙ, της επιμήκυνσης θραύσης που πήραμε από την Μηχανή AMSLER και από την επιμήκυνση θραύσης που πήραμε από την "μέθοδο των χαραγών". **Στις περιπτώσεις όπου σε αντίστοιχα δοκίμια μετρήθηκαν παραμορφώσεις με την μέθοδο των χαραγών διαπιστώσαμε πολύ μεγαλύτερες παραμορφώσεις (σχεδόν διπλάσιες). Θεωρούμε ότι αυτό δεν μπορεί να ισχύει με δεδομένη την αυξημένη αντοχή τους. Αποδίδουμε το λάθος**

**αυτό στην εσφαλμένη εικόνα μέτρησης των χαραγών από τον παρατηρητή.**

- Κατά την διάρκεια των δοκιμών στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. υπολογίσθηκαν από την μηχανή εφελκυσμού τα φορτία θραύσης τα οποία παρουσίασαν ελάχιστη διαφορά από τα αντίστοιχα των διαγραμμάτων και αυτό εξαιτίας της εκτίμησης του ματιού στο δίσκο της μηχανής.

- Το Μέτρο Ελαστικότητας  $E$  σε όλα τα δοκίμια που ελέχθηκαν στο εργαστήριο Αντοχής του Τ.Ε.Ι. παρουσίασε τιμές πολύ μικρότερες του 200GPa.

**Το συγκεκριμένο γεγονός συνδέεται με την κλίση της ευθείας του Hooke και την καταγραφή μετρήσεων που αφορούν τις παραμορφώσεις χωρίς ηλεκτρονική υποστήριξη.**

- Ο υπολογισμός της διατομής  $F$  έγινε με βάση τον τύπο  $F=\pi d^2/4$ , για τα διαμορφωμένα δοκίμια αλλά και για τα δοκίμια χωρίς ενισχυμένα άκρα- ράβδοι κατηγορίας χάλυβα S220. Στις ράβδους σπλισμού σκυροδέματος με νευρώσεις (κατηγορία χάλυβα S500) η πραγματική διάμετρος αντιστοιχεί στη διάμετρο λείας κυκλικής ράβδου, που έχει την ίδια μάζα στο ίδιο μήκος.

Η πραγματική διατομή υπολογίζεται με την βοήθεια του τύπου:

$$A=127,4m/L_0$$

Ο τύπος αυτός προκύπτει από την σχέση:

$$\rho=m/V \Rightarrow \rho \cdot A \cdot l = m \Rightarrow A = (1/\rho) \cdot (m/l) \Rightarrow$$

$$A = (1/0.00785) \cdot (m/l) = 127,4 \cdot (m/L_0)$$

**Η πυκνότητα του χάλυβα  $\rho = 7,85 \text{gr/cm}^3 = 0,00785 \text{gr/mm}^3$**

## A Κατηγορία δοκιμίων:

- Τα δοκίμια της Κατηγορίας A<sub>1</sub> που ελέχθηκαν στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. είναι σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στον Κ.Τ.Χ. όσον αφορά τη διατομή, το όριο Διαρροής και το όριο Θραύσης. Οι επιμήκυνσεις θραύσης είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια εκτός από το 1<sup>ο</sup> δοκίμιο. Παρατηρούμε ότι όλα τα δοκίμια της κατηγορίας αυτής παρουσιάζουν αυξημένες τιμές στα όρια Διαρροής και Θραύσης. **Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά την διαμόρφωση των δοκιμίων αναπτύχθηκαν μεγάλες θερμοκρασίες οι οποίες συνέβαλαν στην αύξηση του ορίου Διαρροής και Θραύσης (φαινόμενο ανόπτωσης ) ενώ αντιθέτως αυτό το γεγονός συνέβαλε στην μείωση της επιμήκυνσης θραύσης.**
- Το 5<sup>ο</sup> δοκίμιο της Κατηγορίας A<sub>2</sub> παρουσιάζει μικρότερη τάση ορίου Διαρροής από την επιτρεπόμενη, ενώ η τάση ορίου θραύσης και η επιμήκυνση θραύσης είναι σύμφωνη με τα όσα ορίζει ο Κ.Τ.Χ.
- Το 6<sup>ο</sup> δοκίμιο της Κατηγορίας A<sub>2</sub> παρουσιάζει μικρότερη τάση ορίου Διαρροής και Θραύσης από τα επιτρεπόμενα, ενώ η επιμήκυνση θραύσης είναι σύμφωνη με τα όσα ορίζει ο Κ.Τ.Χ.

## **B Κατηγορία δοκιμών :**

- Τα δοκίμια των κατηγοριών B<sub>1</sub> και B<sub>2</sub> που ελέχθηκαν στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. είναι σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στον Κ.Τ.Χ., όσον αφορά το όριο Διαρροής και το όριο Θραύσης. Αντίθετα οι επιμηκύνσεις θραύσης είναι μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια. **Στις Κατηγορίες αυτές διαπιστώνουμε ότι οι χάλυβες S220 της Ελληνικής αλλά και της Θεσσαλικής Χαλυβουργίας είναι αρκετά ενισχυμένοι ως προς τα όρια Διαρροής και Θραύσης. Αυτή η ενίσχυση τους έχει σαν αποτέλεσμα και την μειωμένη επιμήκυνση θραύσης περίπου 17%.**

Το 5<sup>ο</sup> δοκίμιο της κατηγορίας B<sub>3</sub> παρουσιάζει μικρότερη τάση ορίου Διαρροής και επιμήκυνση θραύσης από τις επιτρεπόμενες τιμές, ενώ η τάση ορίου θραύσεως είναι σύμφωνη με τα όσα ορίζει ο Κ.Τ.Χ.

- Το 6<sup>ο</sup> δοκίμιο της Κατηγορίας B<sub>3</sub> αλλά και τα 7<sup>ο</sup> και 8<sup>ο</sup> δοκίμια της κατηγορίας B<sub>4</sub> παρουσιάζουν μικρότερη τάση ορίου Διαρροής και Θραύσης από τις επιτρεπόμενες, ενώ οι επιμηκύνσεις θραύσης είναι σύμφωνα με τα όσα ορίζει ο Κ.Τ.Χ.

- **Θα πρέπει να τονίσουμε ότι, οι αποκλίσεις των τιμών από τις επιτρεπόμενες είναι πολύ μικρές και οφείλονται:**

**1) Στη μη ευκρινή ανάγνωση των τιμών πάνω στο διάγραμμα.**

**2) Στις συνθήκες συντήρησης του χάλυβα στους χώρους αποθήκευσης.**

3) Στο μικρό αριθμό δοκιμίων που δεν μας επέτρεψαν να αποκλείσουμε από το μέσο όρο την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή.

- Συγκρίνοντας τα δοκίμια των Κατηγοριών B<sub>3</sub> και B<sub>4</sub> διαπιστώνουμε ότι, οι χάλυβες τόσο της Θεσσαλικής όσο και της Ελληνικής Χαλυβουργίας παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές στα όρια Διαρροής και Θραύσης.

### Γ Κατηγορία δοκιμίων:

- Οι χάλυβες της Κατηγορίας Γ<sub>1</sub>, Γ<sub>2</sub> και Γ<sub>3</sub> (Δοκίμια 9<sup>ο</sup> έως και 16<sup>ο</sup>) που ελέχθηκαν στο Κ.Ε.Δ.Ε. είναι σύμφωνοι με τα όσα ορίζονται στον Κ.Τ.Χ., όσον αφορά τη διατομή, το όριο Διαρροής, το όριο Θραύσης και την επιμήκυνση μετά τη θραύση.

- Στα 10<sup>ο</sup>, 11<sup>ο</sup>, και 12<sup>ο</sup> δοκίμια Κατηγορίας Γ<sub>1</sub> (χάλυβες S220) η περιοχή διαρροής δεν ήταν εμφανής με αποτέλεσμα να μην προσδιοριστεί η τάση ορίου Διαρροής.

- Η μηχανή εφελκυσμού AMSLER στο εργαστήριο του Κ.Ε.Δ.Ε. δεν διαθέτει καταγραφικό τμήμα με αποτέλεσμα να μην έχουμε διαγράμματα φορτίου (Ρ) - παραμορφώσεων (Δl) και κατ' επέκταση τάσεων(σ) -

επιμηκύνσεων (%).Γι' αυτό το λόγο δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας E.

- Από τους παραπάνω πίνακες γίνεται αντιληπτό ότι το 16<sup>ο</sup> δοκίμιο χάλυβα S500 της Θεσσαλικής Χαλυβουργίας παρουσιάζει μεγαλύτερο όριο Διαρροής και Θραύσης από τα 13<sup>ο</sup> ,14<sup>ο</sup> και 15<sup>ο</sup> δοκίμια S500 της Ελληνικής Χαλυβουργίας.

- Οι παραμορφώσεις στην κατηγορία αυτή είναι της τάξεως του 30% με την μέθοδο των χαραγών. **Θεωρούμε ότι είναι αρκετά προσαυξημένες και ιδιαίτερα για τους χάλυβες υψηλής αντοχής, γεγονός που οφείλεται όπως έχουμε και προηγουμένως παρατηρήσει στην αδυναμία ανάγνωσης των μετακινήσεων των χαραγών από τον παρατηρητή.**

#### **Δ Κατηγορία δοκιμών:**

- Το 17<sup>ο</sup> δοκίμιο της Κατηγορίας Δ<sub>1</sub> που ελέχθηκε στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. παρουσιάζει μικρότερη τάση ορίου Διαρροής και Θραύσης από τις επιτρεπόμενες, ενώ η επιμηκύνση θραύσης είναι σύμφωνα με τα όσα ορίζει ο Κ.Τ.Χ.

- Τα δοκίμια της κατηγορίας Δ<sub>2</sub> που ελέχθηκαν στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. είναι σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στον Κ.Τ.Χ., όσον αφορά το όριο Διαρροής και το όριο Θραύσης. Αντίθετα οι επιμηκύνσεις θραύσης είναι



μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια. Στην Κατηγορία αυτή διαπιστώνουμε ότι οι χάλυβες S220 της Ελληνικής αλλά και της Θεσσαλικής Χαλυβουργίας είναι αρκετά ενισχυμένοι ως προς τα όρια Διαρροής και Θραύσης.

- Στο 18<sup>ο</sup> δοκίμιο της Κατηγορίας Δ<sub>2</sub> δεν ήταν εμφανής η περιοχή διαρροής με αποτέλεσμα να μην προσδιοριστεί η τάση ορίου Διαρροής.

### **Ε Κατηγορία δοκιμίων:**

- Το δοκίμιο της Κατηγορίας Ε<sub>1</sub> που ελέχθηκε στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. είναι σύμφωνο με τα όσα ορίζονται στον Κ.Τ.Χ. όσον αφορά τη διατομή, το όριο Διαρροής και το όριο Θραύσης και την επιμήκυνση θραύσης.
- Στο 22<sup>ο</sup> δοκίμιο της Κατηγορίας Ε<sub>2</sub> δεν ήταν εμφανής η περιοχή διαρροής με αποτέλεσμα να μην προσδιοριστεί η τάση ορίου Διαρροής. Το όριο Θραύσης είναι σύμφωνο με το επιτρεπόμενο όριο, ενώ η επιμήκυνση θραύσης είναι μικρότερη από τα επιτρεπόμενα όρια.

***ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ***

## **Προδιαγραφές διαμόρφωσης δοκιμίων σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ 1045**

Τύποι δοκιμίων που χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις επίπεδων ελασμάτων πάχους μεγαλύτερου ή ίσου των 3mm και συρμάτων, ράβδων και μορφών διαμέτρου ή πλευράς ίσης ή μεγαλύτερης των 4mm.

### **1. ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Κατά κανόνα το δοκίμιο είναι κατεργασμένο το δε τμήμα σταθερής διατομής του καταλήγει με καμπυλωτή διεύρυνση στα δύο άκρα σύνδεσης. Τα άκρα αυτά μπορεί να έχουν οποιοδήποτε σχήμα που να προσαρμόζεται στους σφικτήρες της μηχανής.

Ράβδοι, μορφές κ.λ.π μπορούν αν χρειάζεται να δοκιμαστούν ακατέργαστα. Η διατομή του δοκιμίου μπορεί να είναι κυκλική, τετραγωνική ορθογωνική ή και σε άλλες ειδικές περιπτώσεις άλλου σχήματος.

Στα δοκίμια ορθογωνικής διατομής συνιστάται η σχέση μεταξύ πλάτους και πάχους τους να μην υπερβαίνει το 8:1.

Κατά κανόνα, η διάμετρος του μήκους σταθερής διατομής του κατεργασμένου κυλινδρικού τμήματος του δοκιμίου, δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 4mm.

### **2. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

- Μήκος του τμήματος σταθερής διατομής του κατεργασμένου δοκιμίου.

Το μήκος του τμήματος σταθερής διατομής ( $L_c$ ) πρέπει να είναι το λιγότερο ίσο με:

$L_0 + d/2$  στις περιπτώσεις δοκιμών κυκλικής διατομής

$L_0 + 1,5 S_0^{1/2}$  στις περιπτώσεις πρισματικών δοκιμών

Σε περιπτώσεις αντιδικίας πρέπει να χρησιμοποιείται το μήκος  $L_0 + 2d$  ή  $L_0 + 2S_0^{1/2}$  ανάλογα με τον τύπο του δοκιμίου, εκτός αν δεν επαρκεί το υλικό.

- Μήκος του ακατέργαστου δοκιμίου

Το ελεύθερο μήκος, μεταξύ των σφικτήρων της μηχανής, πρέπει να είναι αρκετό ώστε οι ακραίες χαραγές του βαθμονομημένου τμήματος του δοκιμίου να βρίσκονται σε λογική απόσταση από τους σφικτήρες.

- Αρχικό μήκος μέτρησης  $L_0$
- Δοκίμια αναλογικά

Κατά κανόνα αναλογικά δοκίμια χρησιμοποιούνται όταν το αρχικό μήκος μέτρησης συνδέεται με την αρχική διατομή με τη σχέση :  $L_0 = kS_0^{1/2}$  όπου  $k$  ισούται με 5,65 και που δίνει στην περίπτωση κυκλικής διατομής  $L_0 = 5d$ . Δοκίμια κυκλικής διατομής έχουν κατά προτίμηση διαστάσεις που δίνονται στον πίνακα 6.

- Μη αναλογικά δοκίμια μπορεί να χρησιμοποιηθούν όταν προδιαγράφονται στο πρότυπο του υλικού.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Διαστάσεις δοκιμών κυκλικής διατομής.

K	διάμετρος $d$ mm	εμβαδόν αρχικής διατομής $S_0$ mm <sup>2</sup>	αρχικό μήκος μέτρησης $L_0 = kS_0^{1/2}$ mm	ελάχιστο μήκος σταθερής διατομής $L_c$ mm	συνολικό μήκος $L_t$ mm
5,65	20±0,150	314	100±1,0	110	Εξαρτάται από τον τρόπο στερέωσης του δοκιμίου στις κεφαλές της μηχανής $L_t > L_0 + 2d$ or $4d$
	10±0,075	78,5	50±0,5	55	
	5±0,040	19,6	25±0,25	28	

### 3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Οι ανοχές στις εγκάρσιες διαστάσεις των κατεργασμένων δοκιμίων δίνονται στον πίνακα 7. Παράδειγμα εφαρμογής δίνεται παρακάτω:

- Ανοχές κατεργασίας

Η τιμή που δίνεται στον πίνακα 7 π.χ.  $\pm 0,075\text{mm}$  για ονομαστική διάμετρο των 10 mm, ότι κανένα δοκίμιο δεν θα πρέπει να έχει διάμετρο έξω από τις δύο οριακές τιμές που δίνονται παρακάτω, όταν θέλουμε να χρησιμοποιηθεί, η ονομαστική τιμή του εμβαδού της αρχικής διατομής ( $S_0$ ) στον υπολογισμό χωρίς μέτρηση της διατομής  $10+0,075=10,075\text{mm}$ ,  $10-0,075=9,925\text{mm}$ .

- Ανοχές μορφής

Η τιμή που δίνεται στον πίνακα 7 δηλώνει ότι για δοκίμιο ονομαστικής διαμέτρου 10mm, που ικανοποιεί τις συνθήκες κατεργασίας, η απόκλιση μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης διαμέτρου που μετρήθηκαν, δεν θα ξεπερνά το 0,004mm. Συνεπώς αν η ελάχιστη διάμετρος του δοκιμίου είναι 9,99mm, η μέγιστη διάμετρος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα  $9,99+0,04=10,03\text{mm}$ .

### 4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ( $S_0$ )

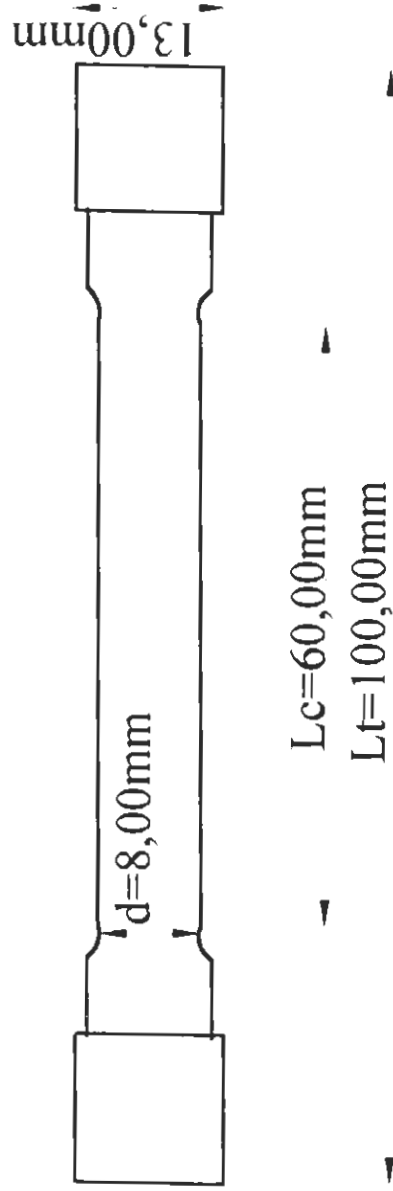
Η ονομαστική διάμετρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του εμβαδού της αρχικής διατομής των δοκιμίων με κυκλική διατομή όταν αυτά ικανοποιούν τις ανοχές που δίνονται στον πίνακα 7. Για όλες τις άλλες μορφές δοκιμίων, το εμβαδόν της αρχικής διατομής πρέπει να υπολογίζεται με βάση

τις μετρήσεις των καταλλήλων διαστάσεων με σφάλμα μετρήσεως που δεν θα ξεπερνά το  $\pm 0,5\%$  για κάθε διάσταση.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Ανοχές σχετικές με τις εγκάρσιες διαστάσεις των δοκιμίων (Ανοχές σε χιλιοστόμετρα).**

χαρακτηριστικό	εγκάρσια ονομ. διάσταση	ανοχή κατεργασίας στην ονομ. διάσταση	ανοχή μορφής
διάμετρος των κατεργασμένων δοκιμίων κυκλικής διατομής	>3		0,03
	<6		
	>6		
	<10		0,04
	>10		
	<18		0,04
	>18		
	<30		0,05
εγκάρσιες διαστάσεις δοκιμίων ορθογωνικής διατομής κατεργασμένων στις 4 πλευρές		ίδιες ανοχές όπως στη διάμετρο των δοκιμίων κυκλικής διατομής	
εγκάρσιες διαστάσεις δοκιμίων ορθογωνικής διατομής κατεργασμένων στις δύο μόνο απέναντι πλευρές	>3		0,18
	<6		
	>6		
	<10		0,22
	>10		
	<18		0,27
	>18		
	<30		0,33
	>30		
	<50		0,39

# ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΔΟΚΙΜΙΟ



## **Βιβλιογραφία**

- Βλάβες δομικών έργων (Rybicki)
- Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος (Τάσος, Αλιγιζάκη)
- Δομικά υλικά (Wendehorst)
- ΣύνΕργον – Τεχνολογικά και οικονομικά ζητήματα των κατασκευών
- Τεχνική Μηχανική – Αντοχή των Υλικών (Βουθούνης)
- Σημειώσεις Εργαστηρίου στη Μηχανική ΙΙ (Παγανός, Παγουλάτος)
- Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.) (ΦΕΚ 381/Β/24.3.2000)
- Οπλισμένο σκυρόδεμα (Τόμος Α) (Θ.Γεωργόπουλος)
- Δομικά υλικά (Θανάσης Χ. Τριανταφύλλου)

