

## ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 1. Εισαγωγή

Οι Χάλυβες ήταν ένας πανάρχαιος λαός που αναφέρεται από πολλούς Έλληνες συγγραφείς, τον Ηρόδοτο, τον Ξενοφώντα, τον Στράβωνα και άλλους, χωρίς να συμπίπτουν οι απόψεις όλων περί γεωγραφικής θέσεως της χώρας τους. Φαίνεται ότι πιθανότερη είναι η θέση που αναφέρει ο Ξενοφών, στις νότιες ακτές του Ευξείνου Πόντου, κάπου μεταξύ Σινώπης και Αμισού, όπου και βρέθηκαν ίχνη αρχαίων μεταλλείων.

Ο Αισχύλος, στον «Προμηθέα Δεσμώτη» τους ονομάζει «σιδηροτέκτονες», γιατί φαίνεται ότι ο λαός αυτός ανακάλυψε (τουλάχιστον αυτό πίστευαν τότε) και ειδικευόταν στη κατεργασία του σιδήρου, που γι' αυτό πήρε το όνομα «χάλυψ». Υπήρχε και θεός Χάλυψ, που λατρευόταν και από άλλους λαούς της περιοχής του Πόντου, Αρμένιους, Τιββαρρηνούς, Μόσχους κ.α., γιος του Άρη, στο όνομα του οποίου ετιμάτο το ομώνυμο μέταλλο, το υλικό των όπλων.

Δεν γνωρίζουμε μέχρι ποίου σημείου οι αρχαίοι Χάλυβες είχαν προχωρήσει την κατεργασία του σιδήρου, ούτε αν το αποτέλεσμα της δουλείας τους συμπίπτει με αυτό που σήμερα ονομάζουμε χάλυβα. Είναι βέβαιο όμως ότι θα αισθάνονταν περήφανοι αν ήξεραν ότι στην εποχή μας, ο χάλυβας δεν είναι μόνο υλικό όπλων, αλλά είναι η «καρδιά», το σημαντικότερο συστατικό του φέροντος οργανισμού των έργων του Πολιτικού Μηχανικού, και ότι μεγάλη προσπάθεια γίνεται, πολλή φαιά ουσία διατίθεται και μεγάλα χρηματικά ποσά καταναλώνονται, για τη συνέχιση της δικής τους ανακαλύψεως, τη μελέτη και τη βελτίωση των ιδιοτήτων του χάλυβα.

Την εποχή του χαλκού διαδέχεται η εποχή του σιδήρου, η ενανθράκωση του οποίου και η μετατροπή του σε χάλυβα ήταν από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις του ανθρώπου. Κατά την εποχή του σιδήρου αναπτύσσεται ακόμη περισσότερο η χυτηριακή τέχνη με τη χρήση του σιδήρου στα περισσότερα αγαθά, από τα πιο απλά μέχρι τη σημερινή χρήση του στις κατασκευές τόσο σαν δομικό υλικό (τους τελευταίους δυόμισι αιώνες) όσο και σαν οπλισμό ενίσχυσης σκυροδέματος. Η ευελιξία που προσφέρει ο σίδηρος στον κατασκευαστικό τομέα συνέβαλλε σημαντικά στο ρυθμό εξέλιξης του πολιτισμού διότι πρόκειται για υλικό με σημαντικές μηχανικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες και πολύ «συνεργάσιμο» όταν χρησιμοποιείται με το σκυρόδεμα, σε μορφή ράβδων οπλισμού ή τενόντων προέντασης έδωσε τεράστια ώθηση στην κατασκευή τεχνικών έργων από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Για να χρησιμοποιηθεί όμως στην κατασκευή είναι απαραίτητο να πληροί κάποιες προϋποθέσεις και να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ενώ η ποιότητά του να εξασφαλίζεται σε όλα τα στάδια από τον τρόπο παραγωγής μέχρι την τοποθέτησή του στην κατασκευή.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος και των ιδιοτήτων του. Αναπτύσσονται λοιπόν οι διάφορες διαδικασίες παραγωγής του χάλυβα από τον ακατέργαστο σίδηρο και η τελική διαμόρφωσή του σε ράβδους οπλισμού σκυροδέματος μετά από θερμή εξέλαση. Η ανάγκη της διασφάλισης και πιστοποίησης της ποιότητας σε όλη τη διαδικασία παραγωγής του, συνετέλεσαν στη σύνταξη ενός Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων (Κ.Τ.Χ.) που προδιαγράφει τις ελάχιστες

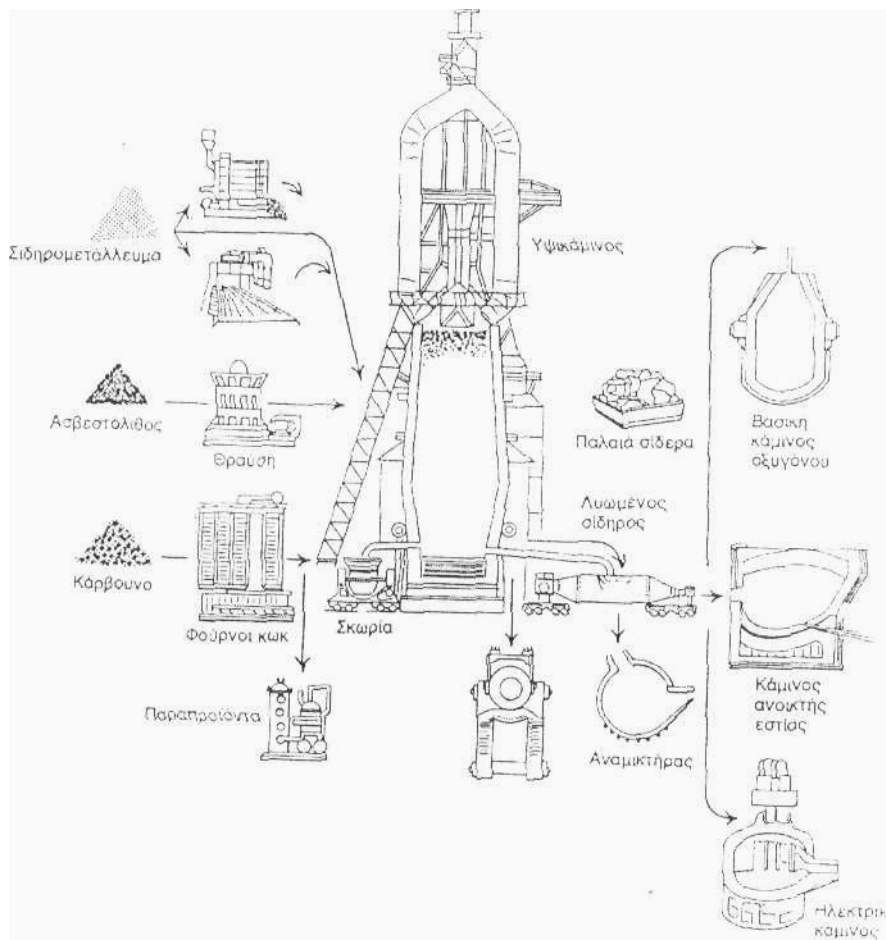
γενικές και ειδικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν οι χάλυβες ώστε να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια στη κατασκευή. Αναφορά γίνεται στη συμπεριφορά του χάλυβα σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, στην επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας, στον ρόλο των προσμίξεων στη σύστασή του, και στο πως οι προαναφερθέντες παράγοντες διαμορφώνουν και επηρεάζουν τις μηχανικές του ιδιότητες. Σημαντικό είναι και το πρόβλημα της ραδιενέργειας στο χάλυβα και στις επιπτώσεις που έχει στην κατασκευή και κατ' επέκταση στον άνθρωπο καθώς η ανεξέλεγκτη απόρριψη ραδιενεργών πηγών ή αποβλήτων δημιούργησε τα τελευταία χρόνια προβλήματα στις βιομηχανίες χάλυβα και ιδιαίτερα στις χαλυβουργίες ανακύκλωσης παλαιοσιδήρου.

Ενδιαφέρουσες επίσης είναι οι αναφορές που γίνονται στην ελληνική αγορά χάλυβα οπλισμού, της εγχώριας παραγωγής και εισαγωγής και στην επιτακτική ανάγκη για συμμόρφωση βάσει των προτύπων και προδιαγραφών από τα οποία διέπεται. Ακόμη διενεργούνται έλεγχοι των μηχανικών του χαρακτηριστικών προκειμένου να εξασφαλιστεί η ποιότητα και η ταυτότητα των χαλύβων. Γίνεται αναλυτική περιγραφή των δοκιμών, των πειραματικών διατάξεων και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, τα οποία ήταν ικανοποιητικά και μέσα στα όρια των τιμών που προδιαγράφονται. Οι ράβδοι οπλισμού σκυροδέματος αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της κατασκευής και η ευθύνη για την ασφάλειά της δεν περιορίζεται μόνο στον άνθρωπο που θα τοποθετήσει στον οπλισμό. Είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η σωστή διακίνηση και διάθεση των ράβδων οπλισμού από τους παραγωγούς, τους εισαγωγείς και τους κάθε είδους προμηθευτές, πράγμα που επιτυγχάνεται με την ικανοποίηση βασικών απαιτήσεων σχετικά με την οργάνωση, τον εξοπλισμό και την τεχνική στελέχωσή τους.

(Τριανταφύλλου Χ. Θ. Δομικά Υλικά, 4η έκδοση Πάτρα 2001 - Κωνσταντινίδης Απ., Η ποιότητα των αντισεισμικών κατασκευών, μεταξύ αντοχής και κόστους, Εισήγηση ημερίδας (Θώραξ Αντισεισμική Α.Ε.), Αθήνα 1999)

## **2. Χάλυβας**

Ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου με περιεκτικότητα σε άνθρακα που δεν ξεπερνάει το 2%. Λαμβάνεται από τον κοινό χυτοσίδηρο με αφαίρεση σημαντικού ποσοστού άνθρακα και άλλων προσμίξεων, με μία από τις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω. Η παραγωγή χυτοσιδήρου και χάλυβα δίνεται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 1.** Παραγωγή χυτοσιδήρου και χάλυβα.

## **2.1 Παραγωγή Χάλυβα**

Οι βασικότερες μέθοδοι παραγωγής χάλυβα είναι: (α) οι μέθοδοι Bessemer και Thomas, (β) η μέθοδος βασικής καμίνου οξυγόνου, (γ) η μέθοδος καμίνου ανοικτής εστίας και (δ) η μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου.

### **2.1.1 Μέθοδοι Bessemer και Thomas**

Η μέθοδος *Bessemer* εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1855, είναι η παλαιότερη από όλες. και σήμερα έχει μάλλον ιστορική μόνο σημασία. Σύμφωνα με αυτή, λιωμένος κοινός χυτοσίδηρος οδηγείται σε μετατροπέα (μεγάλο κυλινδρικό περίπου δοχείο από ελάσματα χάλυβα, με εσωτερική επένδυση από πυρίμαχες πλίνθους, χωρητικότητας αρκετών τόννων), από τον πυθμένα του οποίου διοχετεύεται αέρας υπό πίεση, μέσω οπών. Το οξυγόνο του αέρα προκαλεί οξείδωση των προσμίξεων του χυτοσιδήρου (π. χ. O, Si, Mn, P), οι οποίες απομακρύνονται παγιδευμένες στα προϊόντα οξείδωσης ή στα παραγόμενα αέρια. Επειδή με τη μέθοδο αυτή ο έλεγχος της περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι δύσκολος, αρχικά γίνεται τέλεια αφαίρεση του άνθρακα και κατόπιν προστίθεται χυτοσίδηρος ή παλαιός χάλυβας γνωστής περιεκτικότητας σε C. Οι πυρίμαχες πλίνθοι του μετατροπέα *Bessemer* είναι όξινου χαρακτήρα, κατάλληλοι για χυτοσίδηρο φτωχό σε φωσφόρο. Κατά τη μέθοδο Thomas, που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1878, οι πυρίμαχες πλίνθοι είναι βασικού χαρακτήρα (πλούσιοι σε οξειδία

CaO και MgO), και είναι κατάλληλοι για χυτοσίδηρο πλούσιο σε φωσφόρο. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων συνίσταται μόνο στο υλικό της πυρίμαχης επένδυσης. Ο συνολικός χρόνος παραγωγής χάλυβα σύμφωνα με τις μεθόδους αυτές είναι μεταξύ 1/2 και 1 ώρας.

### **2.1.2 Βασική Κάμινος Οξυγόνου**

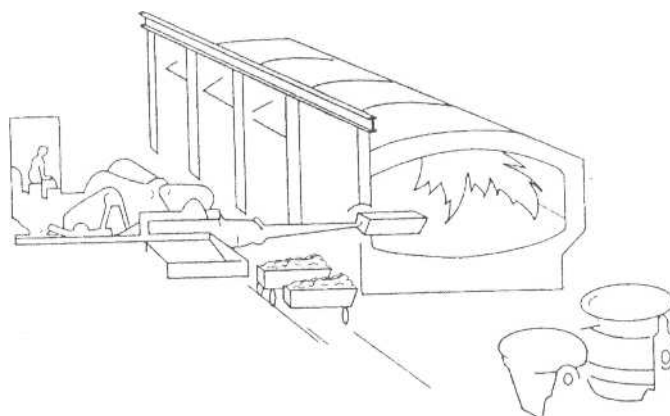
Αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου *Bessemer* και είναι η πλέον συνηθισμένη μέθοδος παραγωγής χάλυβα σήμερα. Το βασικό νέο στοιχείο της μεθόδου είναι η εισαγωγή καθαρού οξυγόνου από το στόμιο του μετατροπέα (Dowling et al. 1992), ο οποίος έχει χωρητικότητα που ξεπερνά τους 300 τόνους. Η διαδικασία παραγωγής χάλυβα ολοκληρώνεται σε λιγότερο από 45 λεπτά.



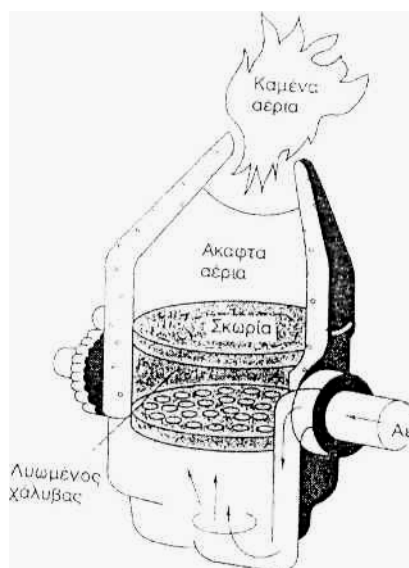
### **2.1.3 Κάμινος Ανοικτής Εστίας**

Η κάμινος ανοικτής εστίας (ή κάμινος Siemens-Martin) επινοήθηκε το 1867 από τον Martin, και κατασκευάστηκε από τον Siemens. Είναι αβαθής με μεγάλη επιφάνεια επένδυσης, που μπορεί να είναι βασική ή όξινη, και λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ 1500-1700°C. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση μπορούν να προκαλέσουν τήξη κραμάτων σιδήρου, όπως π.χ. ο χάλυβας. Έτσι, με ανάμιξη ρευστού ή στερεού χυτοσιδήρου γνωστής περιεκτικότητας σε C με άχρηστα κομμάτια χάλυβα, προερχόμενα από την σιδηροβιομηχανία, είναι δυνατή η παραγωγή χάλυβα με καθορισμένη εκ των προτέρων αναλογία σε C.





**Σχήμα 2.** Κάμινος ανοικτής εστίας.



**Σχήμα 3.** Μετατροπέας Bessemer ή Thomas.

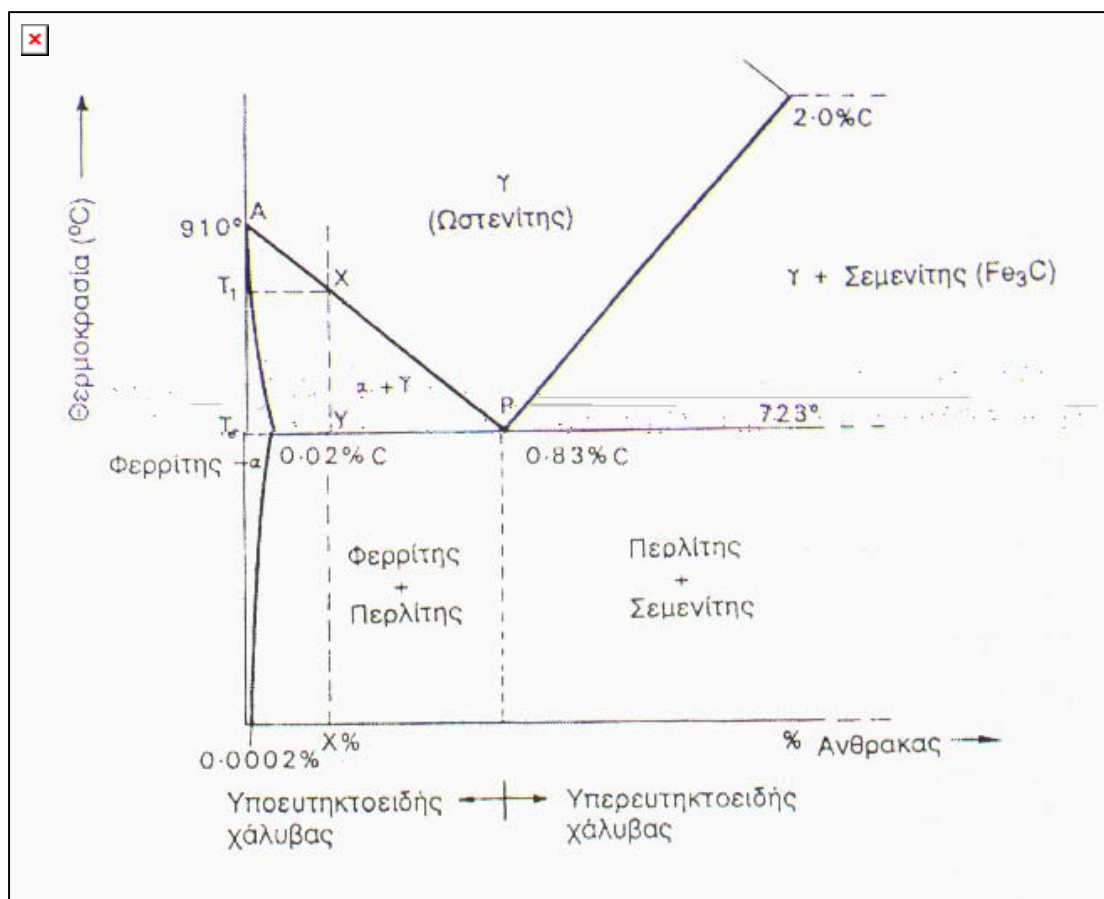
Η χωρητικότητα των καμίνων ανοικτής εστίας μπορεί να φθάσει και τους 400-600 τόνους, ο χρόνος όμως παραγωγής είναι γύρω στις 5-8 ώρες. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η επίτευξη μεγαλύτερης ομοιογένειας στο χάλυβα (λόγω της παρατεταμένης καμίνευσης) και το ότι η περιεκτικότητα σε άνθρακα ελέγχεται εύκολα, ενώ μειονέκτημα αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής.

#### **2.1.4 Ηλεκτρική Κάμινος**

Κατά τη μέθοδο της ηλεκτρικής καμίνου οι υψηλές θερμοκρασίες (που φθάνουν τους 2000 °C) επιτυγχάνονται συνήθως με τη βοήθεια ηλεκτρικού τόξου, μέσω ηλεκτροδίων γραφίτη, ή (σπανίως) με ρεύμα εξ επαγωγής. Η χωρητικότητα τους φθάνει τους 300 τόνους, και ο χρόνος καύσης είναι γύρω στις 3 ώρες (αλλά εξαρτάται σημαντικά από την ισχύ της καμίνου). Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για τη βελτίωση ορισμένων χαλύβων ή για την παραγωγή ειδικών χαλύβων (π. χ. νικελιούχος χάλυβας), σήμερα όμως η χρήση τους επεκτείνεται και στην παραγωγή κοινού χάλυβα.

### 3. Σύνθεση του Χάλυβα

Η βασική γνώση της δομής και της σύνθεσης του χάλυβα είναι χρήσιμη για την κατανόηση των ιδιοτήτων του. Ανάλογα με την θερμοκρασία και την περιεκτικότητα σε άνθρακα, τα κράματα σιδήρου-άνθρακα βρίσκονται σε μορφή ωστενίτη, φερρίτη, σεμενίτη και περλίτη. Αυτό δείχνεται και στο λεγόμενο **διάγραμμα κατάστασης** για το χάλυβα, που έχει τη μορφή του Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Διάγραμμα κατάστασης χάλυβα

Ο ωστενίτης, ή σίδηρος-γ κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρωμένο κυβικό σύστημα και σχηματίζεται μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες. Ο φερρίτης, ή σίδηρος-α, που είναι ουσιαστικά καθαρός σίδηρος, κρυσταλλώνεται στο εδροκεντρωμένο κυβικό σύστημα, και χαρακτηρίζεται από μεγάλη πλαστιμότητα αλλά μικρή αντοχή (π. χ. 50 MPa). Ο σεμενίτης είναι πολύ σκληρός και έχει μεγάλη αντοχή, αλλά είναι ψαθυρός. Ο περλίτης, που είναι μίγμα φερρίτη και σεμενίτη σε αναλογία περίπου 7 : 1 αντίστοιχα, χαρακτηρίζεται από ενδιάμεση αντοχή και πλαστιμότητα.

Ο ρόλος του άνθρακα στο χάλυβα είναι καθοριστικής σημασίας. Αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της αντοχής και της σκληρότητας, αλλά μείωση της πλαστιμότητας, της δυσθραυστότητας και της συγκολλησιμότητας. Ανάλογα με το ποσοστό άνθρακα, ο χάλυβας διακρίνεται γενικά σε: (α) χάλυβα μικρής περιεκτικότητας άνθρακα (ή πολύ μαλακό), με C έως 0.15%, (β) μαλακό ή κοινό χάλυβα, που

έχει την ευρύτερη χρήση στη δόμηση, με C μεταξύ 0.15-0.30%, (γ) χάλυβα μέτριας περιεκτικότητας σε άνθρακα (ή σκληρό). με C μεταξύ 0.30-0.60%, και (δ) χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (ή πολύ σκληρό), με C μεταξύ 0.6-2%. Εκτός όμως από άνθρακα, ο χάλυβας ενδέχεται να περιέχει και άλλες προσμίξεις, η επίδραση των οποίων δίνεται στον παρακάτω Πίνακα:

#### Επιδράσεις προσμίξεων στο χάλυβα

| ΣΤΟΙΧΕΙΟ | ΕΠΙΔΡΑΣΗ                                                                                         |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Άζωτο    | Αύξηση αντοχής και σκληρότητας.                                                                  |
| Άνθρακας | Αύξηση αντοχής και σκληρότητας, μείωση πλαστιμότητας, δυσθραυτότητας και συγκολλησιμότητας.      |
| Αργίλιο  | Αφαίρεση οξειδίων από λιωμένο χάλυβα, μείωση μεγέθους κόκκων, αύξηση αντοχής και δυσθραυτότητας. |
| Βανάδιο  | Μικρές ποσότητες(π.χ. 0,1-0,3 %) αυξάνουν την αντοχή.                                            |
| Θείο     | Θεωρείται γενικά ανεπιθύμητο. Μείωση πλαστιμότητας, δυσθραυτότητας και συγκολλησιμότητας.        |
| Μαγγάνιο | Αύξηση αντοχής, μείωση δυσάρεστων επιδράσεων του θείου.                                          |
| Μόλυβδος | Αύξηση αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες.                                                           |
| Νικέλιο  | Αύξηση αντοχής και δυσθραυτότητας.                                                               |
| Πυρίτιο  | Αφαίρεση οξειδίων από λιωμένο χάλυβα.                                                            |
| Τιτάνιο  | Αύξηση σκληρότητας και αντοχής σε ερπυσμό.                                                       |
| Φώσφορος | Αύξηση αντοχής και σκληρότητας, μείωση πλαστιμότητας και δυσθραυτότητας.                         |
| Χαλκός   | Αύξηση αντοχής, σκληρότητας και κυρίως ανθεκτικότητας σε διάβρωση.                               |
| Χρώμιο   | Αύξηση αντοχής, σκληρότητας και σημαντική ανθεκτικότητας σε διάβρωση.                            |

(Τριανταφύλλου Χ. Θ. Δομικά Υλικά, 4η έκδοση Πάτρα 2001).

#### **4. Τύποι χαλύβων**

Οι χάλυβες οπλισμού καλύπτονται από τον Ελληνικό Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος ( Ε.Κ.Ω.Σ.-2000), όπως αυτός συμπληρώνεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων ( Κ.Τ.Χ ) και από τα πρότυπα ΕΛΟΤ-971 και ΕΛΟΤ -959.

Διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες:

(α) Σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής:

- Χάλυβες θερμής εξελάσεως (φυσικοί χάλυβες).
- Χάλυβες ψυχρής κατεργασίας (με συστροφή ή έλξη ή ψυχρή διέλκυση ή εξέλαση).
- Ειδικούς χάλυβες (π.χ. σκληρυμένους με βαφή).

(β) Σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας σε λείες ράβδους ή ράβδους με νευρώσεις για καλύτερη πρόσφυση στο σκυρόδεμα.

(γ) Σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα σε χάλυβες συγκολλησίμους [συμβολισμός (s) π. χ. S500s], και σε χάλυβες συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις.

(δ) Σύμφωνα με τη ολκιμότητα (ο δείκτης πλαστιμότητας του υλικού  $\mu_e$  και ισούται με το λόγο της παραμόρφωσης στη μέγιστη τάση προς τη παραμόρφωση διαρροής), σε χάλυβες υψηλής πλαστιμότητας (H) και σε χάλυβες συνήθους πλαστιμότητας (N).

(ε) Σύμφωνα με την αντοχή σε διάβρωση σε κοινούς χάλυβες (κράματα σιδήρου-άνθρακα) και μικρές περιεκτικότητες σε άλλα στοιχεία και ανοξείδωτους χάλυβες (με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο 12%).

Στην Ελλάδα παράγονται και κυκλοφορούν στο εμπόριο, έκτος από τις απλές ράβδους, και πλέγματα (τα καλούμενα «δομικά πλέγματα»), πού είναι εσχάρες συγκολλημένων ράβδων, προκατασκευασμένων κλωβών συνδετήρων και σπανιότερα προκατασκευασμένων ηλεκτροσυγκολλητών δικτυωμάτων.

Οι χάλυβες ονομάζονται σύμφωνα με το χαρακτηριστικό όριο διαρροής και τη διάμετρο τους.

**Χάλυβας S220**, (κοινός ή μαλακός, παλαιάς κατηγορίας StI) με χαρακτηριστικό όριο διαρροής 220 Mpa, ενώ στο εμπόριο κυκλοφορούν διάμετροι Φ6 -Φ14 (αυξανόμενες κατά 2 mm).

**Νευροχάλυβας S400**, (παλαιάς κατηγορίας StIII) με χαρακτηριστικό όριο διαρροής 400 Mpa. Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάμετροι Φ6 –Φ32 (αυξανόμενες κατά 2 mm) και μήκους 12 ή 14 m.

**Νευροχάλυβας S500**. Αντίστοιχος του παλαιού χάλυβα StIV ή StIVs. Είναι παρόμοιος με τον χάλυβα της παραπάνω κατηγορίας ως προς τα διαθέσιμα μήκη τις διαμέτρου, και ως προς τις νευρώσεις, και διαφέρει μόνο στη χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής που είναι 500 Mpa και μερικά άλλα χαρακτηριστικά. Σήμερα παράγεται και χρησιμοποιείται ευρέως ο χάλυβας S500s, ο οποίος είναι συγκολλησίμος και είναι τύπου Tempcore. Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ένα μειονέκτημα του χάλυβα τύπου Tempcore, ότι δηλαδή σε περίπτωση διάβρωσης καταστρέφεται πρώτα το ισχυρότερο τμήμα της διατομής των ράβδων.

**Δομικά πλέγματα S500**. Αντιστοιχεί στο παλαιό χάλυβα StIVb και έχει χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής 500 Mpa. Η επιφάνεια του είναι λεία ή με νευρώσεις και κυκλοφορεί σε μορφή εσχάρων ράβδων διαμέτρου Φ4–Φ12 (αυξανόμενες κατά 0.5 mm), σε διαστάσεις 2.15x5.00 m, με τετράγωνα ή ορθογωνικά ανοίγματα.

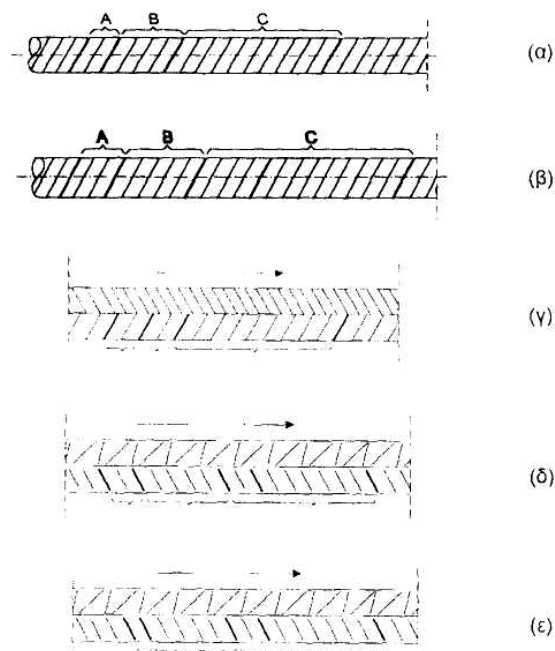
Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι χάλυβες με νευρώσεις, πρέπει να δείχνουν τη χώρα προέλευσης τους, την ποιότητα τους και το εργοστάσιο παραγωγής τους. Όμως ακόμα δεν υπάρχει διεθνής προδιαγραφή για κάτι τέτοιο παρά μόνο για τη χώρα προέλευσης και το εργοστάσιο παραγωγής, έτσι προς το παρών ο κάθε παραγωγός εφαρμόζει τη δικιά του σήμανση ως προς τη ποιότητα και τη συγκολλησιμότητα.

(Κωνσταντινίδης Απ., Η ποιότητα των αντισεισμικών κατασκευών, μεταξύ αντοχής και κόστους, Εισήγηση ημερίδας (Θώραξ Αντισεισμική Α.Ε.), Αθήνα 1999 - Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (ΕΚΩΣ 2000 Ο. Α. Σ. Π. –Σ. Π. Μ. Ε.).

### **5. Σήμανση χάλυβα σύμφωνα με το χυτήριο παραγωγής**

Σύμφωνα με τη EURONORM 80-69, η σήμανση γινόταν παλαιότερα με μας γλυφές που δημιουργούσαν στην επιφάνεια των ράβδων τρία πεδία πλαγίων νευρώσεων Α, Β και C, που χωρίζονταν μεταξύ μας με μία παχύτερη νεύρωση και επαναλαμβάνονταν ανά διαστήματα σε όλο το μήκος μας ράβδου, περίπου ανά μέτρο μήκους. Το σύμβολο που δηλώνει την έναρξη μας σήμανσης και την κατεύθυνση μας ανάγνωσης (βλ. Σχ. 7.31, πεδίο Α) είναι για μεν μας κατηγορίες S400, S400s και S500s μία κανονική νεύρωση ανάμεσα σε δύο ενισχυμένες, ενώ για την κατηγορία S500 δύο κανονικές πλάγιες νευρώσεις ανάμεσα σε δύο ενισχυμένες. Εναλλακτικά, βάσει μας EURONORM 80-85 και μας Προδιαγραφής ENV 10080, για την κατηγορία S500s έχει επικρατήσει η έναρξη (πεδίο Α) να υποδηλώνεται με δύο διαδοχικές ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις. Μετά την έναρξη ακολουθεί η σήμανση μας χώρας παραγωγής (πεδίο Β) και μας μονάδας παραγωγής (πεδίο C), που γίνεται μέσω δύο αριθμών που συμβολίζονται από κανονικές πλάγιες νευρώσεις ανάμεσα σε ενισχυμένες.

Σύμφωνα με το ENV 10080, η σήμανση μας χώρας προέλευσης (πεδίο Β) για μας Ευρωπαϊκές χώρες των οποίων ο χάλυβας έχει χρησιμοποιηθεί ή χρησιμοποιείται ακόμα στην χώρα μας είναι η παρακάτω: Αυστρία, Γερμανία: 1 γραμμή \. Βέλγιο, Ολλανδία, Λουξεμβούργο, Ελβετία: 2 γραμμές \\. Γαλλία: 3 γραμμές \\\. Ιταλία: 4 γραμμές \\\|. Βρετανία, Ιρλανδία, Ισλανδία: 5 γραμμές \\\|. Δανία, Σουηδία, Νορβηγία, Φινλανδία: 6 γραμμές \\\|. Ισπανία, Πορτογαλία: 7 γραμμές \\\|. Ελλάδα: 8 γραμμές \\\|. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι στην Ευρώπη εξακολουθεί να χρησιμοποιείται και η EURONORM 80-85, που έχει κάποιες διαφορές ως μας την προηγούμενη σήμανση- μία από αυτές είναι ότι με 8 γραμμές σημαίνεται η Ελλάδα και η Τουρκία. Λοιπές χώρες μέλη μας CEN θα αναφέρονται με τον αριθμό 9. Χάλυβες από τρίτες χώρες, εισαγόμενοι στην Ελλάδα, θα πρέπει να χρησιμοποιούν σήμανση που να μην προκαλεί σύγχυση και να μην έρχεται σε αντίθεση με τα παραπάνω.



Σχ. Παραδείγματα σήμανσης χαλύβων οπλισμού, (α) Χάλυβας S400, χώρα παραγωγής Γαλλία, μονάδα παραγωγής υπ' αρ. 9. (β) Χάλυβας S500. χώρα παραγωγής Ιταλία, μονάδα παραγωγής υπ' αρ. 38. (γ) Χάλυβας S400s, χώρα παραγωγής Γερμανία, μονάδα παραγωγής υπ' αρ. 8. (δ) Χάλυβας S500s, χώρα παραγωγής Ιταλία, μονάδα παραγωγής υπ' αρ. 16. (ε) Εναλλακτικός συμβολισμός πεδίου A. Χάλυβας S500s, χώρα παραγωγής Ιταλία, μονάδα παραγωγής υπ' αρ. 16.

Οι κωδικοί αριθμοί σήμανσης Ελληνικών βιομηχανιών παραγωγής χάλυβα δίνονται παρακάτω: Χαλυβουργικοί 13, Σιδενορ 14, Ελληνική χαλυβουργία 15, Χαλυβουργία Θεσσαλίας 18, Σιδενορ (SOVEL) 24. Κωδικοί άλλων χωρών που μέχρι σήμερα έχουν εισάγει προϊόντα στη χώρα μας δίνονται στον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων (2000).

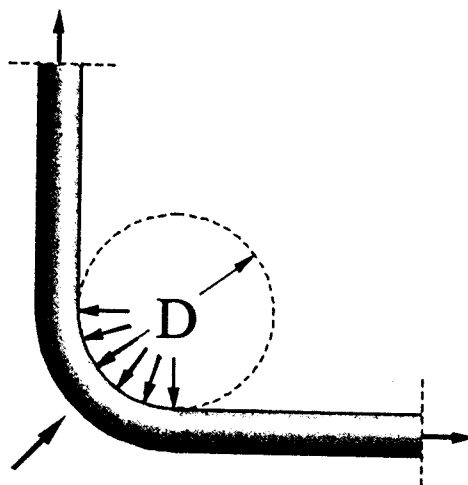


(Τριανταφύλλου Χ. Θ. Δομικά Υλικά, 4η έκδοση Πάτρα 2001- [WWW.SIDENOR.GR](http://WWW.SIDENOR.GR),  
[WWW.HALYBOYRGIA.GR](http://WWW.HALYBOYRGIA.GR)).

## **6. Κάμψη και αγκύρωση ράβδων οπλισμού**

Οι ράβδοι των οπλισμών κάμπτονται είτε για να παρακολουθήσουν τις τάσεις που αναπτύσσονται στον φορέα, είτε για την αγκύρωση των ράβδων.

Η κάμψη πρέπει να γίνεται με μία ελάχιστη διάμετρο  $D$ , τέτοια ώστε να αποφεύγεται η ρηγματώση της ράβδου, όπως επίσης και να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα του σκυροδέματος στο οποίο δημιουργούνται τοπικά (στην περιοχή καμπύλωσης), ισχυρές τάσεις άντυγος.



### **6.1 Αγκύρωση των ράβδων οπλισμού**

Οι συνήθεις τρόποι αγκυρώσεως ράβδων οπλισμού είναι:

- ευθύγραμμες αγκυρώσεις
- καμπύλες αγκυρώσεις
- βρόχοι
- αγκυρώσεις με μηχανικές διατάξεις

Τα μηχανικά μέσα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για αγκυρώσεις τενόντων προεντεταμένων στοιχείων, ενώ οι βρόχοι αποτελούν σπάνια

περίπτωση αγκυρώσεως για συνήθεις ράβδους οπλισμού. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τις ευθύγραμμες και τις καμπύλες αγκυρώσεις που αποτελούν την πλειονότητα των περιπτώσεων της πράξης.

## **6.2 Βασικό μήκος αγκύρωσης**

Το βασικό μήκος αγκύρωσης  $l_b$  δίνεται από τη σχέση:

$$L_b = Z / (U \times F_{bm})$$

Όπου:

Z: είναι η αξονική δύναμη που αναλαμβάνει η ράβδος και που πρέπει να μεταβιβασθεί στο γύρω σκυρόδεμα.

U: περίμετρος της διαμέτρου.

$F_{bm}$ : η μέση αντοχή συνάφειας μεταξύ σκυροδέματος και χαλύβδινης ράβδου για όλο το μήκος αγκυρώσεως.

## **6.3 Αγκύρωση με άγκιστρο**

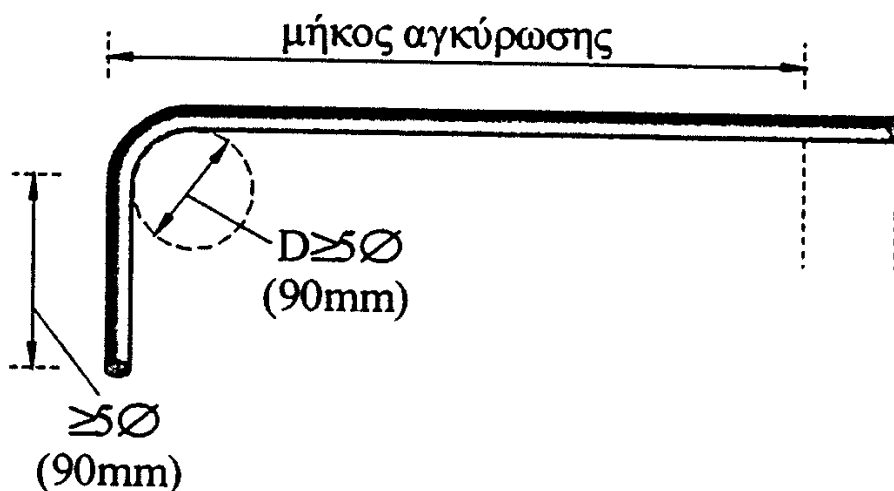
Η ελεύθερη διάμετρος καμπυλώσεως D για ημικυκλικά και ορθογωνικά άγκιστρα, αναβολείς, συνδετήρες, καθώς και για τις κεκαμμένες και άλλες ράβδους δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 5Φ γενικώς.

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης είναι πρακτικά:

- για ράβδους πλακών 4Φ (S400, S500)
- για ράβδους δοκών και υποστυλωμάτων που αγκυρώνονται σε κόμβους πλαισίων είναι:

5Φ για ράβδους  $\leq \Phi 1,8$ .

8Φ για ράβδους  $\geq \Phi 20$ .



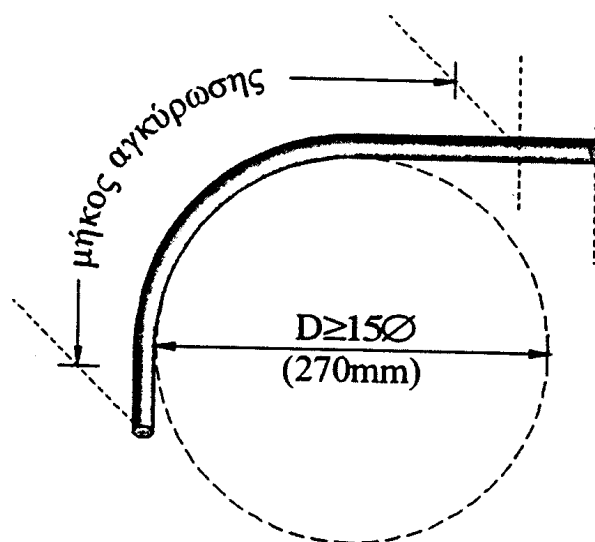
#### **6.4 Αγκύρωση με καμπύλωση, σε καλά περισφιγμένο κόμβο.**

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης είναι πρακτικά 15Φ.

Η διάταξη αυτή προστέθηκε σαν εναλλακτική λύση στα σχόλια του κανονισμού και μάλλον έχει σκοπό να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει δυνατότητα υποστυλωμάτων μεγάλης διάστασης (π.χ. σε προσθήκες κτιρίων).

Γι' αυτό συνιστάται η χρησιμοποίησή μόνο όταν δεν υπάρχει άλλη λύση.

Η κατασκευαστική αυτή διάταξη εφαρμόζεται απόλυτα και στο τελευταίο χωριό των προηγμένων χωρών και δεν έχει σχεδόν κανένα κόστος εφαρμογής, χρειάζεται όμως την "ακριβότερη" κατάσταση της αλλαγής συνήθειας



#### **6.5 Οι τρεις προδιαγραφές των αντισεισμικών συνδετήρων.**

Οι συνδετήρες αποτελούν έναν από τους κρίσιμότερους παράγοντες της ποιότητας και της αντισεισμικής αντοχής των κτιρίων.

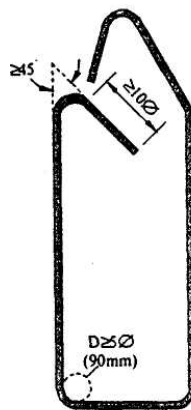
Δύο είναι οι κυριότερες παράμετροι αξιοπιστίας του συνδετήρα:

α. τα κατάλληλα άγκιστρα στα άκρα του. Είναι εντελώς απαραίτητα για την εξασφάλιση της λειτουργίας του συνδετήρα και στην περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού, κατά τον οποίο δημιουργείται αποφλοίωση του σκυροδέματος, οπότε ο μόνος μηχανισμός αγκύρωσης που παραμένει, είναι τα άγκιστρα.

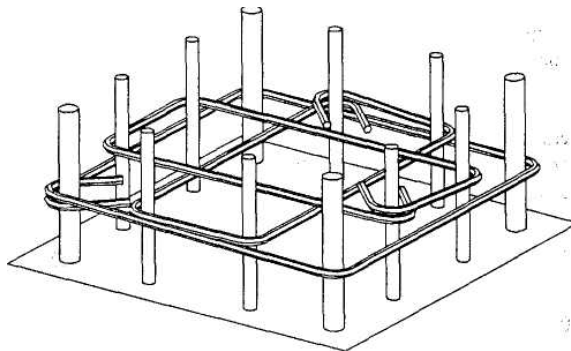
β. η διάμετρος καμπύλωσης στις γωνίες

Η κάμψη των συνδετήρων πρέπει να γίνεται σε πείρο διαμέτρου τουλάχιστον 4Φ, δηλαδή για Φ10, είναι D=40 mm.

γ. σκέλη συνδετήρα σε μέγιστη απόσταση μεταξύ τους 20cm (π.χ. μια κολώνα 50x50 χρειάζεται τρεις συνδετήρες σε κάθε στρώση).



Δυστυχώς στις περισσότερες κατασκευές δεν τηρείται καμία από τις τρεις κατασκευαστικές προδιαγραφές των συνδετήρων. Σίγουρα η εφαρμογή τους έχει το υψηλότερο κόστος του συνολικού σιδερώματος, είναι όμως εντελώς κρίσιμες για την αντισεισμική αντοχή της κατασκευής και στις επερχόμενες δύσκολες ημέρες εκεί θα παιχτεί το παιχνίδι.



Αν σε ένα υποστύλωμα τοποθετηθούν 10% λιγότερες ράβδοι, η αντοχή του υποστυλώματος θα γίνει περίπου 10% μικρότερη, αν αφαιρέσουμε έστω και ένα μόνο ενδιάμεσο τσέρκι στο ίδιο υποστύλωμα η αντοχή του μπορεί να γίνει 50% μικρότερη επειδή διπλασιάζεται το μήκος λυγισμού των ράβδων που περιβάλλει.



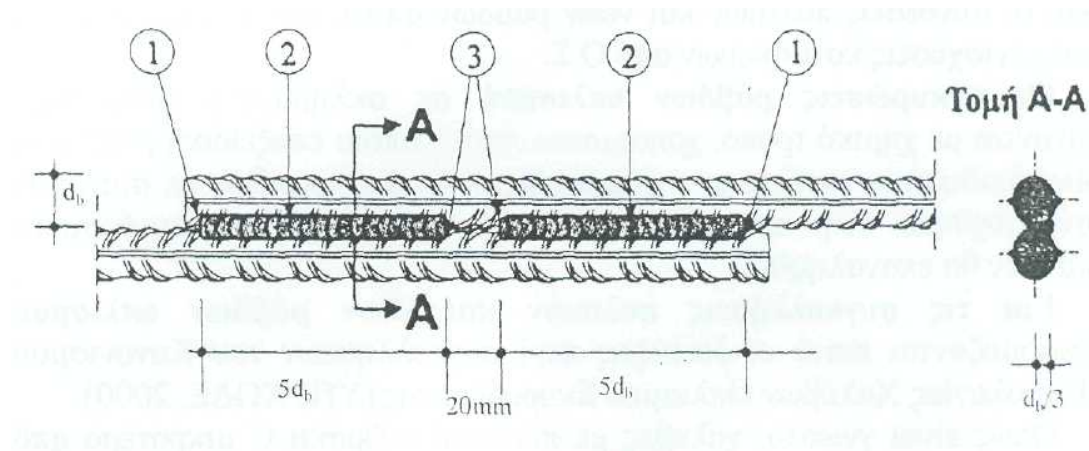
## 6.6 Συγκολλήσεις ράβδων οπλισμού

Για τις συγκολλήσεις ράβδων οπλισμού εφαρμόζονται πιστά οι διατάξεις περί συγκολλήσεων του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000).

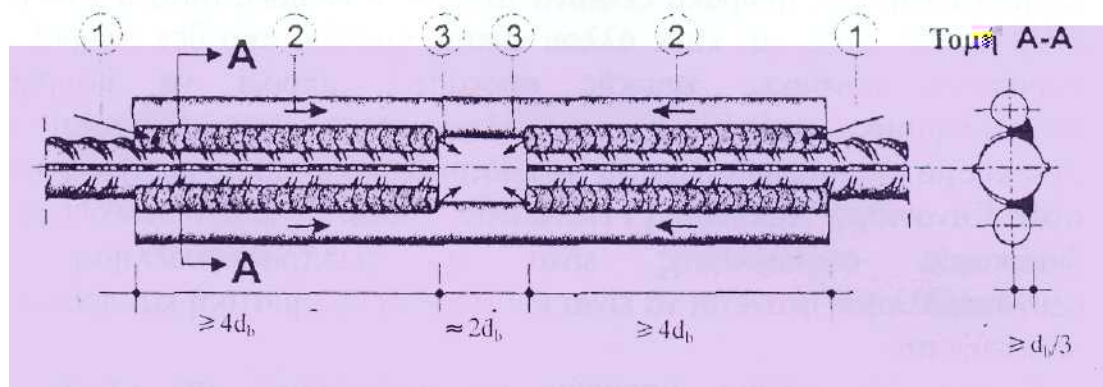
Όπως είναι γνωστό, χάλυβες με ποσοστό άνθρακα  $C$  μικρότερο από 0.24% και ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα  $C_{eq}$ , μικρότερο από 0.53% θεωρούνται συγκολλησιμοι. Οι παραπάνω συνθήκες εκπληρούνται για τους χάλυβες παλαιού τύπου μόνο στον S220 (StI) όπου η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι της τάξεως του 0,15% και δεν εκπληρούνται στο χάλυβα τύπου S400 (StIII) όπου η περιεκτικότητα σε άνθρακα ξεπερνά το 0.30%. Παρόλα αυτά ο χάλυβας S400 όπως και κάθε άλλου τύπου χάλυβας που δεν πληροί τις παραπάνω συνθήκες χημικής σύστασης, μπορεί να θεωρηθεί συγκολλησιμος εφόσον η συγκολλησιμότητα του ελέγχεται σε εφελκυσμό και κάμψη σύμφωνα με πρότυπες δοκιμές που περιγράφονται στον Κανονισμό Χαλύβων (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000). Η πλέον ενδεδειγμένη διαδικασία συγκόλλησης είναι η ηλεκτροσυγκόλληση. Η οξυγονοκόλληση φαίνεται να είναι ιδιαίτερα προβληματική και πρέπει να αποφεύγεται.

Εφόσον οι ράβδοι μπορούν να παρατεθούν σε επαφή, η ηλεκτροσυγκόλληση γίνεται από τη μία μόνο πλευρά, με δύο ραφές συγκόλλησης μήκους  $5d_b$  όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Εδώ, όπως και σε κάθε ανάλογη αναφορά που ακολουθεί, ως διάμετρος  $d_b$  λαμβάνεται η μικρότερη από τις ράβδους. Οι ραφές της συγκόλλησης ξεκινούν από τα άκρα των ράβδων (σημεία 1 του Σχήματος) και προχωρούν προς το εσωτερικό σε μήκος  $5d_b$  έτσι ώστε να απομένει ανάμεσα στις απολήξεις (σημεία 3 του Σχήματος) ένα διάκενο 20mm περίπου.

Οι μετωπικές ηλεκτροσυγκολλήσεις (άκρο με άκρο) ή όπως συχνά αναφέρονται «κατά κεφαλή», δεν επιτρέπονται (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000 - Τζωρτζάκης κ.α, 1990). Σε αντίθεση, για ηλεκτροσυγκολλήσεις ράβδων με μηδενική εκκεντρότητα μπορεί να επιλεγεί η λύση της συγκόλλησης με λωρίδες, όπου χρησιμοποιούνται δύο τμήματα ράβδων μήκους τουλάχιστον  $10d_b$  το καθένα, τα οποία τοποθετούνται συμμετρικά εκατέρωθεν των ράβδων και ηλεκτροσυγκολλούνται στα άκρα σε μήκος τουλάχιστον  $4 d_b$  όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 1: Συγκόλληση κατά παράθεση



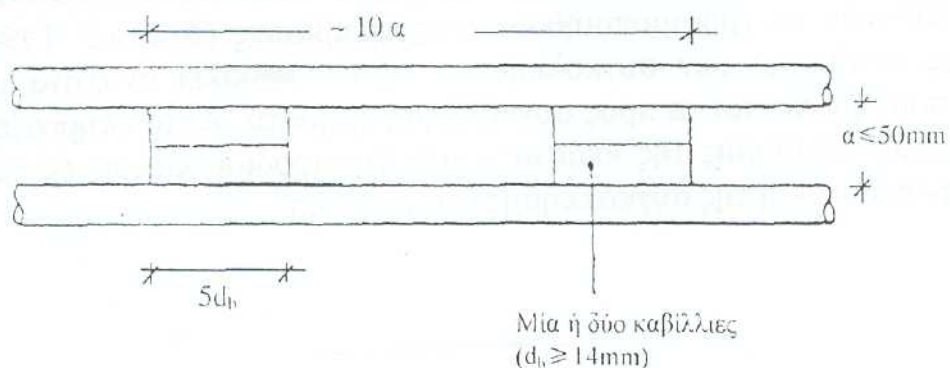
Σχήμα 2: Συγκόλληση με λωρίδες

Και σ' αυτήν την περίπτωση οι ραφές των συγκολλήσεων γίνονται μόνο από τη μία πλευρά και ξεκινούν από τα εξωτερικά σημεία (σημεία 1 στο Σχήμα) και προχωρούν προς το εσωτερικό (σημεία 3 στο Σχήμα), αφήνοντας ένα κενό ίσο περίπου με  $2d_b$ .

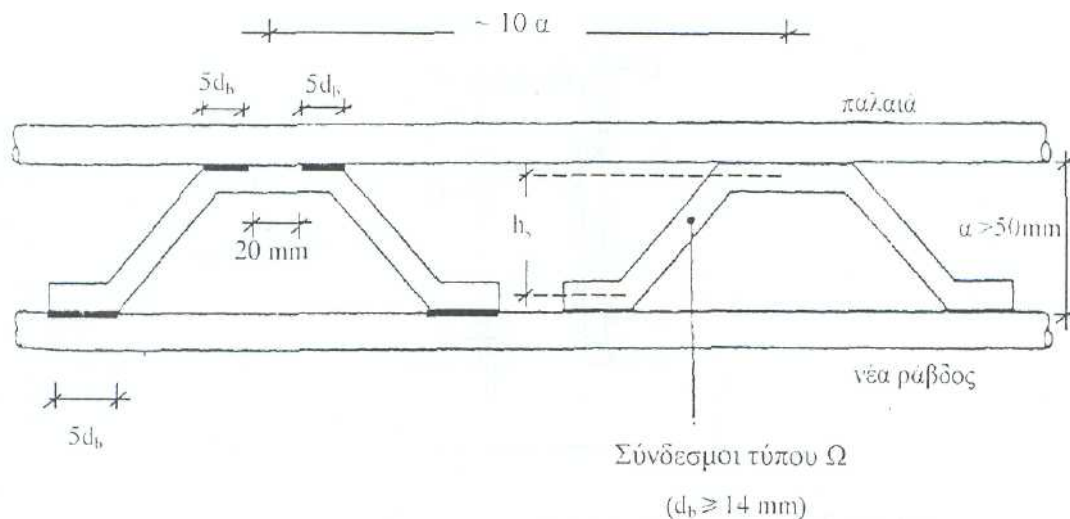
Σε όλες τις περιπτώσεις τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι είτε με βασική επένδυση είτε με ολική επένδυση ρουτιλίου. Η διάμετρος των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι σύμφωνη με τα προβλεπόμενα στον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000) και είναι της τάξεως του  $1/5$  της διαμέτρου των προς συγκόλληση ράβδων.

Στην περίπτωση που οι προς συγκόλληση ράβδοι βρίσκονται σε μικρή μεταξύ τους απόσταση αλλά όχι εν επαφή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σύνδεσμοι μεταλλικά παρεμβλήματα που θα ηλεκτροσυγκολληθούν στις εκατέρωθεν ράβδους και θα γεφυρώνουν την απόσταση. Οι σύνδεσμοι αυτοί θα πρέπει να είναι από συγκολλησιμο χάλυβα, ει δυνατόν, της ίδιας ποιότητας χάλυβα με τις προς συγκόλληση ράβδους.

Στην πράξη, ανάλογα με την απόσταση των ράβδων χρησιμοποιούνται οι δύο τύποι συνδέσμων που φαίνονται στο Σχήμα 3: (α) οι «δύσκαμπτοι» σύνδεσμοι και (β) οι «εύκαμπτοι» σύνδεσμοι (CEB Bul, 162, 1983). Σε κάθε περίπτωση η διατομή των συνδέσμων δεν πρέπει να υπολείπεται της μικρότερης διατομής των συγκολλούμενων ράβδων. Στο Σχήμα 3,  $d_b$  είναι η μικρότερη από τις διαμέτρους των ράβδων.



(α) ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ



### (β) ΕΥΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

Σχήμα 3: Σύνδεσμοι παλαιών - νέων ράβδων οπλισμού:

Οι «δύσκαμπτοι σύνδεσμοι» εφαρμόζονται, όταν η καθαρή απόσταση μεταξύ των ράβδων δεν ξεπερνάει τα 50 mm. Συνήθως χρησιμοποιούνται τμήματα ράβδων οπλισμού («καβίλλιες»), μήκους της τάξεως του  $5d_b$  με διάμετρο ανάλογη προς το υπάρχον κενό. Εάν το κενό δεν μπορεί να καλυφθεί από τη διάμετρο μιας ράβδου, μπορούν να ηλεκτροσυγκολληθούν εν σειρά δύο τμήματα ράβδων. Η τελευταία περίπτωση απεικονίζεται στο Σχήμα 4.

Όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 50 mm, χρησιμοποιούνται οι «εύκαμπτοι» σύνδεσμοι με μορφή Z ή Ω. Στο Σχήμα 3β παρουσιάζεται η περίπτωση εύκαμπτων συνδέσμων με μορφή Ω. Συχνά στη πράξη, οι σύνδεσμοι αυτού του τύπου ονομάζονται "πάπιες" ενώ όταν χρησιμοποιούνται σε υποστυλώματα ονομάζονται και "αναρτήρες".



Στο Σχήμα 4 απεικονίζονται διάφοροι τύποι συγκολλήσεων που είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν στις επεμβάσεις. Ο τρόπος εκτέλεσης των συγκολλήσεων αυτών ποικίλει ανάλογα με τη θέση που βρίσκονται τα προς συγκόλληση τμήματα. Αυτό επηρεάζει την ικανότητα διείσδυσης της «πάστας» του ηλεκτροδίου και ως εκ τούτου και την πρόσφυση της συγκόλλησης στο μέταλλο.

Η συγκόλληση «ανεβατό» (κατακόρυφη συγκόλληση με φορά προς τα πάνω) είναι πολύ δύσκολο να γίνει σωστά και απαιτεί επενδυμένα ηλεκτρόδια. Αν και έχει πολύ καλή διείσδυση έχει δύο βασικά μειονεκτήματα: α) Το λειωμένο μέταλλο και η προστατευτική πάστα τείνουν

να γυρίσουν προς τα πίσω λόγω της βαρύτητας, δημιουργώντας εγκλείσεις πάστας στη ραφή συγκόλλησης και μείωση της διατομής της. β) Στο τέλος της ραφής συγκόλλησης δημιουργείται ένας «κρατήρας» στο βασικό μέταλλο, πράγμα που μειώνει τη διατομή του. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί μόνο αν ο τεχνίτης είναι ειδικευμένος και προσεκτικός.

Η συγκόλληση «κατεβατό» (κατακόρυφη συγκόλληση με φορά προς τα κάτω) είναι δύσκολη κατασκευαστικά, απαιτεί επενδυμένα ηλεκτρόδια και το κυριότερο μειονέκτημα της είναι ότι έχει πολύ μικρή διείσδυση άρα και μικρή ικανότητα μεταφοράς φορτίων.

Η συγκόλληση «ουρανός» (συγκόλληση στο κάτω μέρος στοιχείων τοποθετημένων στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο) καθώς και η συγκόλληση «οριζόντιο» (συγκόλληση οριζόντια σε στοιχεία τοποθετημένα στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο) εκτός της κατασκευαστικής τους δυσκολίας δεν έχουν άλλα μειονεκτήματα ενώ η συγκόλληση «πλάκα» (συγκόλληση στο πάνω μέρος στοιχείων τοποθετημένων στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο) είναι η πλέον εύκολη.

(Κωνσταντινίδης Απ., Η ποιότητα των αντισεισμικών κατασκευών, μεταξύ αντοχής και κόστους, Εισήγηση ημερίδας (Θώραξ Αντισεισμική Α.Ε.), Αθήνα 1999 - Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (ΕΚΩΣ 2000 Ο.Α.Σ.Π.-Σ.Π.Μ.Ε.)).

## **7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ**

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε το πείραμα εφελκυσμού δοκιμίου χάλυβα που πραγματοποιείται σε όλα τα εργοστάσια παραγωγής χαλύβων έτσι ώστε να υπολογίσουν τη χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής, του ορίου θραύσης, καθώς και το μέτρο ελαστικότητας. Επίσης θα αναφερθούμε ενδεικτικά στον δειγματοληπτικό έλεγχο παρτίδας χαλύβων.

Τα δεδομένα που θα αφορούν το παρακάτω πείραμα είναι από το εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου και Τεχνολογίας Υλικών του Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ, αναπληρωτής καθηγητής: Φ. Α. Φωτόπουλος (σύμφωνα με τι ισχύουσες προδιαγραφές και το Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων).

### **Γενικά**

Ο χάλυβας έχει τον ίδιο συντελεστή διαστολής με το σκυρόδεμα. Δηλαδή όσο διαστέλλεται το μπετόν τόσο διαστέλλεται και ο χάλυβας. Ο χάλυβας οπλισμού δεν είναι μέταλλο αλλά έχει μεταλλικούς δεσμούς. Μειονέκτημα είναι ότι δεν έχει καθόλου αντοχές μετάλλου (πλεονέκτημα μετάλλου- απορροφά μεγάλες ποσότητες ενέργειας πριν σπάσει).

Ο εφελκυσμός είναι η σπουδαιότερη καταπόνηση των χαλύβδινων ράβδων στις οικοδομές. Όταν κάμπτεται μια δοκός από οπλισμένο σκυρόδεμα ο οπλισμός που βρίσκεται στο κάτω μέρος της δοκού εφελκύεται ενώ αυτός που βρίσκεται επάνω θλίβεται. Την θλίψη μπορεί να την παραλάβει το σκυρόδεμα αλλά τον εφελκυσμό μόνο ο οπλισμός.

## **7.1 ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΧΑΛΥΒΑ**

Εφελκυσμός ονομάζεται η καταπόνηση δοκιμίου, όταν οι δυνάμεις που εφαρμόζονται είναι ίσες και αντίθετες, ενεργούν κατά μήκος του άξονα του δοκιμίου, τείνουν να αυξήσουν το μήκος του δοκιμίου.

### **ΣΚΟΠΟΣ:**

Σκοπός του εργαστηρίου είναι ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας, του ορίου διαρροής και του ορίου θραύσης.

### **ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

Δίνεται ένα κατάλληλο δοκίμιο από το δοκιμαζόμενο υλικό, σε ειδικό μηχάνημα εφελκυσμού. Από τις τιμές που παίρνουμε έχουμε τον εφελκυσμό και τις επιμηκύνσεις και χαράζουμε το διάγραμμα του δοκιμαζόμενου υλικού. Στον άξονα των  $x$  τοποθετούμε την παραμόρφωση-ειδική επιμήκυνση, στον άξονα των  $y$  την τάση εφελκυσμού.

Κατά την μελέτη του διαγράμματος παρατηρούμε ότι ένα τμήμα της καμπύλης (αυτό που ξεκινά από την αρχή των αξόνων), είναι ευθύγραμμο. Αυτό σημαίνει ότι κατά μήκος του τμήματος αυτού η τάση εφελκυσμού είναι ανάλογη με την παραμόρφωση (νόμος HOOKE):  $F = S \times E$  ( $E$ = μέτρο ελαστικότητας σε  $KN/mm^2$ ). Θεωρούμε την τάση εφελκυσμού μέχρι την οποία η παραμόρφωση είναι ελαστική. (ΟΡΙΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ).

Λίγο πιο πάνω από το Ο.Ε. , εμφανίζεται μόνιμη παραμόρφωση, χωρίς ουσιώδη μεταβολή της εφελκυστικής δύναμης. Η εφελκυστική τάση που συμβαίνει αυτό λέγεται όριο διαρροής. Παρατηρούνται ανωμαλίες στην περιοχή του Ο.Δ. οπότε το διακρίνουμε σε φανερό Ο.Δ.  $F_y$  (που είναι το ανώτερο ) και συμβατικό  $F_p$  (κατώτερο).

Μετά το Ο.Δ. η αύξηση της εφελκυστικής τάσεως συνοδεύεται από έντονη αύξηση της παραμόρφωσης σε όλο το μήκος δοκιμής του δοκιμίου ομοιόμορφα. Η αύξηση αυτή είναι πλαστική (μόνιμη) κατά το μεγαλύτερο μέρος του δοκιμίου. Από τη μέγιστη τάση εφελκυσμού και το δοκίμιο αρχίζει να σχηματίζει λαιμό σε κάποια θέση. Η τάση εφελκυσμού ελαττώνεται (πτώση της καμπύλης), ενώ η επιμήκυνση του δοκιμίου συνεχίζεται, μέχρι που να θραυστεί το δοκίμιο. Η πτώση της καμπύλης δεν σημαίνει ότι η αντοχή του δοκιμίου σε εφελκυσμό ελαττώθηκε, αντίθετα αυξήθηκε, γιατί το δοκίμιο υφίσταται σκλήρωση. Η πτώση αυτή εξηγείται από το ότι η τάση εφελκυσμού υπολογίζεται με βάση την αρχική διατομή του δοκιμίου, και όχι με βάση την ελάχιστη διατομή λόγω της δημιουργίας του λαιμού. Η μέγιστη τάση εφελκυσμού (λαιμός) ονομάζεται όριο θραύσης.

### **ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ**

$L$  = Μήκος αρχικό

$L_0$  = Μήκος χωρίς τις δαγκάνες (καταπονούμενο )

$L'$  = Συνολικό μήκος δοκιμίου μετά τη θραύση.

$S_o$  = Αρχική διατομή

$V_o$  = Αρχικός καταπονούμενος όγκος .

$\Delta l$  = Επιμήκυνση δοκιμίου μετά τη θραύση (χωρίς το μάζεμα λόγω ελαστικότητας)

$\Delta l\%$  = Επι τις εκατό παραμένουσα επιμήκυνση μετά τη θραύση .

$F$  = Φορτίο.

$F_p, F_y$  = Φορτία διαρροής

$F_m$  = Φορτίο μέγιστης θραύσης.

$\epsilon_o$  = Συμβατική ανοιγμένη παραμένουσα επιμήκυνση μετά τη θραύση .

#### **ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ**

$$S_o = 127,4 \times m / L$$

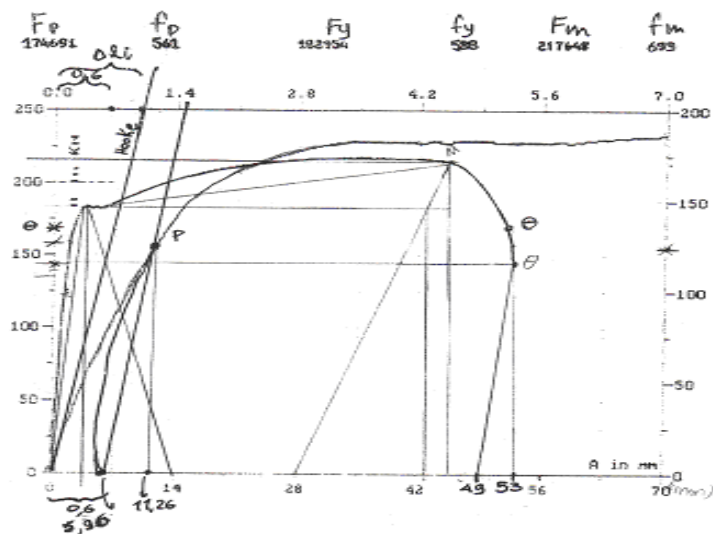
$$V_o = L_o \times S_o$$

$$\Delta l = L' - L$$

$$\Delta l\% = \Delta l \times 100 / L$$

$$f = F / S_o$$

$$\epsilon_s\% = \Delta l_o \times 100 / l_o$$



## 7.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Έχουμε στη διάθεσή μας ένα δοκίμιο χάλυβα σπλισμού που έχει εφελκυστεί και μέσω Η/Υ συνδεδεμένο με το μηχάνημα εφελκυσμού του συγκεκριμένου δοκιμίου. Το δοκίμιο είναι το Δ9. Υπολογίζουμε όλα τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού του δοκιμίου.



**Μηχανή εφελκυσμού**

- Υπολογίζω τη διατομή της βέργας  
 $m=1222\text{gr}$      $L=500\text{mm}$   
 άρα :  $S_0=311,36\text{mm}^2$

Στη συνέχεια εφόσον το καταπονούμενο μήκος του δοκιμίου είναι  $L_0=300\text{mm}$ , ο όγκος είναι:  $V_0= S_0 \times L_0= 93,40968\text{ cm}^3$

- Μετά τον εφελκυσμό του δοκιμίου, ενώνω τα δύο κομμάτια του και μετρώ το νέο ολικό μήκος. Άρα:  $\Delta L= L'-L= 49\text{mm}$
- Η ανηγμένη μόνιμη επιμήκυνση μετά την θραύση επί τοις εκατό είναι:  
 $\Delta L/L_0 \times 100= 16,3\%$

- Πριν τον εφελκυσμό το δοκίμιο χαρακώθηκε ανά 5mm. Παίρνουμε ένα διάστημα ίσο με 5d (d=20 mm ονομαστική διάμετρος Φ20) μέσα στο καταπονούμενο μέρος του δοκιμίου, και αναζητώ την επιμήκυνση του διαστήματος μετά την θραύση. Θα πάρω  $l_0 = 5d = 100\text{mm}$ . Ενώνουμε το δοκίμιο και παίρνουμε 10 διαστήματα (χαρακιές) δεξιά και 10 αριστερά του λαιμού και αυτό είναι το ΔΙ.Βρήκα:  $l_0' - l_0 = \Delta l_0 = 21\text{ mm}$ .

- Η συμβατική ανηγμένη μόνιμη παραμένουσα επιμήκυνση μετά την θραύση είναι:

$$\varepsilon_5 = \Delta l_0 / l_0 = 21\text{mm}.$$

- Η επί τοις εκατό συμβατική ανηγμένη μόνιμη παραμένουσα επιμήκυνση είναι :

$$\varepsilon_5 \% = \Delta l_0 / l_0 \times 100 = 21\%$$

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ

- Συμβατικό όριο διαρροής(Σ. Ο. Δ.): έχω μόνο όταν υπάρχει μόνιμη παραμόρφωση 0,2% και πάνω. Εμείς έχουμε  $L_0 = 300\text{mm}$  άρα για να έχω  $f_p$  πρέπει να έχω τουλάχιστον 0,6 mm επιμήκυνση, όπου στην περίπτωση μας έχουμε:

$$\text{Οπότε } f_p = F_p / S_0 = 561\text{ N/mm}^2$$

- Φαινόμενο όριο διαρροής :  $f_y = F_y / S_0 = 588\text{ N/mm}^2$

- Όριο θραύσης  $f_m = F_m / S_0 = 699\text{ N/mm}^2$

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΣΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑΣ

Αφήνουμε προς το παρόν το κανονικό διάγραμμα και πηγαίνουμε στο μεγενθυμένο στο οποίο δουλεύουμε με κάποιες παραδοχές.

#### 1η παραδοχή:

Θεωρώ ότι το διάγραμμα είναι σχεδόν ευθεία γραμμή στην οποία ισχύει ο νόμος του Hooke όχι μόνο μέχρι το όριο αναλογίας αλλά και πιο πέρα.

#### 2η παραδοχή:

Θεωρώ ότι το μέτρο ελαστικότητας E για τον χάλυβα είναι:  $E = 200\text{ kn/mm}^2$ , αλλά θεωρώ ότι  $F_i = 200\text{kn}$ . Η διατομή  $S_0$  της βέργας μου ήταν  $S_0 = 311,36\text{ mm}^2$  και το  $l_0$ , το αρχικό το καταπονούμενο μήκος ήταν  $l_0 = 300\text{mm}$ . Οπότε εφαρμόζουμε:

$$E = (F_i / S_0) / (\Delta l_i / l_0) \rightarrow 200 = (200 / 311,36) / (\Delta l_i / 300) \rightarrow \Delta l_i = 0,96\text{mm}.$$

Αυτός ο όρος, μας δείχνει ότι σε κάποια δεδομένη στιγμή που ισχύει ο νόμος του Hooke θα έχουμε μία παραμόρφωση ίση με 0,96 mm. Την τιμή αυτή την βρίσκω περίπου στο μεγενθυμένο διάγραμμα και το τσεκάρω. Στη συνέχεια ενώνω την αρχή των αξόνων 0 με το 0,96 και η

ευθεία που προέκυψε είναι η ευθεία του HOOKE. Ουσιαστικά το 0,96 είναι μία ελαστική παραμόρφωση που ισχύει στην αναλογική περιοχή.

### 3η παραδοχή:

Θεωρούμε ότι το συμβατικό όριο διαρροής δηλ το 0,2% παραμόρφωση είναι το τέλος της ελαστικής περιοχής.

$$\Sigma. \text{ Ο. } \Delta. = 0,2\% l_0 = 0,6$$

Προσθέτω στο 0,96 το 0,6 και θα έχουμε:  $0,96 + 0,6 = 1,56$ . Από το 1,56 θα φέρω παράλληλη προς την ευθεία Hooke.

Το σημείο τομής της δεύτερης αυτής της ευθείας που χαράξαμε, με το μεγενθυμένο διάγραμμα έπρεπε να είναι το  $\Sigma. \text{ Ο. } \Delta.$ , αλλά δεν είναι αφού η μηχανή μας το δίνει διαφορετικό. Το έργο  $W_2 = \beta \times u/2$ , το  $u$  είναι το φορτίο που μας έδωσε η μηχανή, και τη βάση βρίσκεται με κλίμακα.(η κάθετη από το σημείο A στον άξονα των παραμορφώσεων.

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $W_2$ ΕΡΓΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

$$W_2 = \beta \times u/2 = 328,6 \text{ KN} \times \text{mm}$$

Από το σημείο που αντιστοιχεί στο τέλος της θραύσης, φέρνω ευθεία παράλληλη ως προς την Hooke και το εμβαδόν  $W_1$  που περικλείεται στο τρίγωνο του έργου της ελ. περιοχής. Όμως  $W_1 = W_2$  στο οποίο δεν γνωρίζω το ύψος  $u$ . Άρα θα μας δείξει το φορτίο που σπάει το δοκίμιο.

$$W_1 = \beta_1 \times u_1/2$$

$$W_1 = W_2 \Rightarrow \beta_1 \times u_1/2 = 328,6 \Rightarrow 4 \times u_1/2 = 328,6 \Rightarrow u_1 = 164,3 \text{ KN}$$

$$\text{Επομένως: } W_{\text{ελαστικής περιοχής}} = 328,6 \text{ KN} \cdot \text{mm}$$

Στο σημείο εκείνο που αντιστοιχεί στο διάγραμμα στο μέγιστο φορτίο, φέρνω κάθετη και το συνολικό εμβαδόν είναι το έργο στατικής φόρτισης, ενώ το εμβαδόν από το μέγιστο φορτίο μέχρι εκεί που σπάει το δοκίμιο έχω έργο δυναμικής φόρτισης.

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $W$ ΕΡΓΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Το χωρίζω σε γνωστά τμήματα, 2 τραπέζια και 3 τρίγωνα.

$$W_1 = \beta_1 \times u/2 \quad W_2 = \beta_2 \times u/2 \quad W_3 = \beta_3 \times u/2$$

$$W_4 = (B + \beta)u/2 \quad W_5 = (B + \beta)u/2$$

$$\text{Άρα: } W_{\text{ολ}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 8561,31 \text{ KN} \times \text{mm}.$$

Το  $W_{\text{ολ}}$  είναι το έργο στατικής φόρτισης.

### **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

Το έργο της δυναμικής φόρτισης είναι:

$$W_{δυν} = W_{ολ} - W_{ελ} = 8561,31 - 328,6 = 8232,71 \text{ KN} \times \text{mm}$$

### **ΔΥΣΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑ:**

$$\text{ΤΥΠΟΣ: } W_{στατ}/V_o = 8561,31/93409,68 = 0,091 \text{ KN/mm}^2$$

### **ΔΥΣΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑ:**

$$\text{ΤΥΠΟΣ: } W_{δυν}/S_o = 26,44 \text{ KN/mm}^2$$

### **7.3 ΕΛΕΓΧΟΙ ΧΑΛΥΒΩΝ**

Οι έλεγχοι αφορούν τρία διαφορετικά επίπεδα εφαρμογής μέσα στον ελληνικό χώρο. Γίνονται έλεγχοι (στατιστικά) στους χάλυβες των τρίτων χωρών, έλεγχοι στους Έλληνες παραγωγούς και έλεγχοι δειγματοληπτικοί.

### **ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ**

Γίνονται σε όλους τους χάλυβες οπλισμένου Σ/Δ άσχετα από πού προέρχονται. Αφορούν πάντοτε παρτίδα (δηλαδή χάλυβα της ίδιας διαμέτρου μπορεί και από διαφορετικό χυτήριο). Οι αφορούν χαρακτηριστικά χαλύβων με βάση τον ΚΤΧ.

Εξετάζουμε:

- 1) Όριο διαρροής (Ο.Δ.)
- 2) Όριο θραύσης (Ο.Θ.)
- 3) Επιμήκυνση  $\epsilon_5\%$
- 4) Διατομή
- 5) Κάμψη-ανάκαμψη

### **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ (ΕΛΟΤ 971 & ΚΤΧ)**

Χαρακτηριστική τιμή θεωρείται η τιμή πάνω από την οποία πρέπει να βρίσκεται πάνω από το 95% των δοκιμών που εξετάζουμε με πιθανότητα 90%.

Σήμερα για τους χάλυβες κατηγορίας S500s ισχύουν οι εξής τιμές:  
 $f_y = 500 \text{ Nt/mm}^2$   
 $f_m = 550 \text{ Nt/mm}^2$   
 $\epsilon_5 = 12\%$

Σύμφωνα με τον ΚΤΧ για τον δειγματοληπτικό έλεγχο παίρνουμε 3 δοκίμια και τα εξετάζουμε ως προς όριο διαρροής (Ο.Δ.), όριο θραύσης

(Ο.Θ.), επιμήκυνση  $\varepsilon_5\%$ , διατομή και κάμψη-ανάκαμψη και απαιτεί κάθε μεμονωμένη τιμή να είναι μεγαλύτερη από την χαρακτηριστική. Εάν αυτό δε συμβαίνει τότε κάνουμε λήψη 10 νέων δοκιμίων και απαιτεί η μέση τιμή της δεκάδας ( $m_{10}$ ) να είναι μεγαλύτερη ή ίση από τη χαρακτηριστική τιμή  $C_v$  και κάθε μεμονωμένη τιμή να είναι μεγαλύτερη ή ίση με το 0,95 της  $C_v$ . Δηλαδή  $m_{10} \geq C_v$

$$x_i \geq 0,95C_v$$

Αν και πάλι οποιαδήποτε τιμή δεν είναι εντός των ανοχών η παρτίδα απορρίπτεται.

Όσον αφορά τη διατομή αν στα 3 δοκίμια είναι εκτός ορίων τότε προχωράμε σε έλεγχο 10άδας και αν πάλι έστω και μία είναι εκτός τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

### **7.3.1 ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΑΜΨΗ**



Αν έστω και ένα παρουσιάσει ρωγμή τότε πάμε σε 10άδα και αν πάλι κάποιο αστοχήσει τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Κάμψη-ανάκαμψη: Στην αρχή λυγίζουμε το δοκίμιο ώστε να σχηματιστεί γωνία  $90^\circ$  μετά ανοίγουμε τη μια του πλευρά κατά  $20^\circ$  και πρέπει να μην παρουσιαστεί καμία ρωγμή ορατή δια γυμνού οφθαλμού στο σημείο κάμψης.

### **7.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΑΠΟ ΤΡΙΤΗ ΧΩΡΑ**

Πρέπει ο χάλυβας να είναι της ίδιας διατομής, του ίδιου χυτηρίου, από τον ίδιο παραγωγό, από διαφορετικά δέματα και διαφορετικές βέργες. Κάνω λήψη 15 δοκιμίων και τα εξετάζω ως προς όριο διαρροής (Ο.Δ.), όριο θραύσης (Ο.Θ.), επιμήκυνση  $\varepsilon_5\%$ , διατομή. Κάθε μεμονωμένη τιμή να είναι μέσα στα όρια των ανοχών που καθορίζει ο κανονισμός. Για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά πρέπει  $m_{15} - k \times S_{15} \geq C_v$ . ( $k$  συντελεστής από το Π 241). Αν αυτά τα 15 δεν πληρούν τις προδιαγραφές κάνουμε λήψη 45 ακόμη δοκιμίων και προχωράμε σε έλεγχο 60άδας. Αν οποιαδήποτε τιμή δεν είναι εντός των ανοχών η παρτίδα απορρίπτεται.

#### **7.4.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ**

Για το δειγματοληπτικό έλεγχο

Κάνουμε λήψη 3 δοκιμών και παρατηρούμε ότι για ικανοποιούν τις απαιτήσεις του ΚΤΧ διότι:

| Δοκίμιο | $E_s\%$ | $f_m$ | $f_y$ |
|---------|---------|-------|-------|
| Δ1      | 20      | 648   | 516   |
| Δ2      | 20      | 644   | 544   |
| Δ4      | 17      | 697   | 550   |
| M.O.    | 12,3    | 663   | 537   |

Για κάθε μεμονωμένη τιμή ισχύει:  $\varepsilon_s\% \geq 12\%$  και μέσος όρος  $\varepsilon_s\% > 12$   
 $f_{mi} \geq 550 \text{ Nt/mm}^2$  και μέσος όρος  $f_m > 550$   
 $f_{yi} \geq 500 \text{ Nt/mm}^2$  και μέσος όρος  $f_y > 500$

Οπότε η παρτίδα είναι μέσα στα όρια ανοχών του ΚΤΧ και μπορούμε να παραλάβουμε τη συγκεκριμένη παρτίδα.

**Συμπέρασμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**υμπέρασμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**μπέρασμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**πέρασμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**έρασμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**ρασμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**ασμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**σμα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα

και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

**μα:** επειδή κάθε μεμονωμένη τιμή ικανοποιεί τις προδιαγραφές αλλά η επιμήκυνση είναι μικρότερη της χαρακτηριστικής τιμής εξετάζουμε 60άδα και τότε εάν έστω και μια τιμή είναι εκτός ορίων τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

## **8. Στο όνομα της οικονομίας γίνεται η μεγαλύτερη σπατάλη**

### **Ο χάλυβας στο σεισμό**

Ο τρόπος με τον οποίο αστοχούν τα υποστυλώματα κατά την διάρκεια ενός σεισμού είναι πάντοτε ο ίδιος, αποδιοργανώνεται η κεφαλή ή ο πόδας με το άνοιγμα των συνδετήρων (ουσιαστικά η κρίσιμη περιοχή). Μόλις λυθούν οι συνδετήρες, λυγίζουν τα κώλονοσίδερα και αποδιοργανώνεται το σκυρόδεμα.

Αυτό δεν συμβαίνει μόνο στις παλιές κατασκευές που έχουν λίγα σίδερα, αλλά συμβαίνει το ίδιο και στις κολώνες που πλέον έχουν πολλά σίδερα, εφόσον αυτές δεν έχουν κατασκευαστεί με τις σωστές προδιαγραφές (που επισημαίνουν την τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων αλλά και αγκίστρων μεταξύ αυτών).

Κατά την διάρκεια του σεισμού εξασκούνται πολύ υψηλές τάσεις, τουλάχιστον σε ορισμένα από τα στοιχεία του σκελετού της κατασκευής, με αποτέλεσμα να εξασκούνται πολύ υψηλές θλιπτικές δυνάμεις τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στις ράβδους του οπλισμού. Οι δυνάμεις αυτές «αναγκάζουν» το σκυρόδεμα να διογκωθεί πλευρικά και τις ράβδους του οπλισμού να λυγίσουν και εν τέλει να σπάσουν.

Αυτό συμβαίνει επειδή το μέτρο ελαστικότητας τους, στο επίπεδο αυτής της υψηλής έντασης, έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό. Οι δύο αυτοί παράγοντες σεισμικής αστοχίας αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά μόνο με την ύπαρξη πυκνών και σωστά τοποθετημένων συνδετήρων.

Γενικά τόσο οι δοκοί όσο και τα υποστυλώματα, κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού, αστοχούν με άνοιγμα των συνδετήρων. Αν μάλιστα δεν είναι και καλά κλειστοί (όπως συμβαίνει κατά κύριο λόγο) τότε ανοίγουν ακόμη και σε μικρής έντασης σεισμούς, με καταστροφικά αποτελέσματα.

### **8.1 Η κατάσταση στη σημερινή αγορά**

Η αντισεισμική συνείδηση και ευαισθησία στη χώρα μας ήταν πάντοτε πολύ αυξημένη και βέβαια η συνείδηση αυτή είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη τόσο στους λίγους αλλά καλά κατέχοντες τη γνώση του Μηχανικού, όσο επίσης και στους πολλούς συνετούς και απλούς ανθρώπους. Το πρόβλημα δημιουργείται από λίγους άφρονες "ειδικούς" οι οποίοι κατά κανόνα χωρίς να το γνωρίζουν ενθαρρύνουν και στηρίζουν, με πάθος μάλιστα, την κατεστημένη προχειρότητα.

Η υψηλή αντισεισμική Συνείδηση αποδεικνύεται από το γεγονός ότι:

1. Έχει γίνει αποδεκτός ο Νέος Αντισεισμικός Κανονισμός από το σύνολο των Μηχανικών και παρ' όλο τον πρόσθετο υπολογιστικό φόρτο που τους

επέβαλε (χωρίς μάλιστα αύξηση των αμοιβών τους), είναι απόλυτα σεβαστός.

2. Κανένας ιδιώτης, ιδιοκτήτης ή Μηχανικός, δεν κάνει οικονομία στην ασφάλεια και αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι κανείς δεν λέει στο Σίδερά "κόψε σίδερα" δηλαδή βάλε λιγότερα σίδερα, αλλά αντίθετα του λέει "βάλε καλύτερα περισσότερα σίδερα για να είμαστε σίγουροι". Και είναι γνωστό το καμάρι των ιδιοκτητών που, σχεδόν όλοι, ισχυρίζονται ότι το σπίτι τους είναι "φρούριο".

Εφ' όσον συμβαίνουν τα παραπάνω, θα έλεγε κανένας ότι το πρόβλημα της Αντισεισμικής Θωράκισης της Ελλάδος βρίσκεται στο σωστό δρόμο. Πράγματι, σαν προθέσεις και προϋποθέσεις έτσι έχουν τα πράγματα, υπάρχει όμως και μία ευρύτατα διαδεδομένη αντίληψη που δημιουργεί και τα περισσότερα προβλήματα,

το αξίωμα της μεγάλης πλάνης:

"για να έχω μεγάλη αντοχή αρκεί απλά να βάζω πολλά σίδερα"

ενώ η πραγματικότητα που μπορεί να λύσει την τελευταία απομένουσα αντιξοότητα είναι

το αξίωμα της μεγάλης αλήθειας:

"τα σίδερα αξιοποιούνται μόνο όταν τοποθετούνται σωστά"

δυστυχώς όμως υπάρχει και ο παραλογισμός της πραγματικότητας που μπορεί να συνοψισθεί έτσι:

το μεγάλο πρόβλημα:

"ο κοινός άνθρωπος προτιμάει να πληρώνει όσο-όσο παρά να αλλάζει συνήθειες"

και, για να υποστηρίξει αυτό τον παραλογισμό του, ισχυρίζεται και επιμένει προβάλλοντας μόνο τον επιφανειακό παράγοντα του ακριβού, συσκοτίζοντας τον δεύτερο παράγοντα της απόδοσης που εν προκειμένω λέγεται αντοχή και ασφάλεια.

Έτσι, το μεγάλο παράδοξο:

"σήμερα, εν ονόματι της οικονομίας, γίνεται η μεγαλύτερη σπατάλη"

Το πρόβλημα λοιπόν θα μπορούσε να συνοψισθεί στην οικονομικοτεχνική άγνοια της συντριπτικής πλειοψηφίας των εμπλεκομένων στην κατασκευή και επομένως η λύση βρίσκεται στην απόδειξη αυτής της Αλήθειας γιατί, ως γνωστόν, η Αλήθεια σώζει...

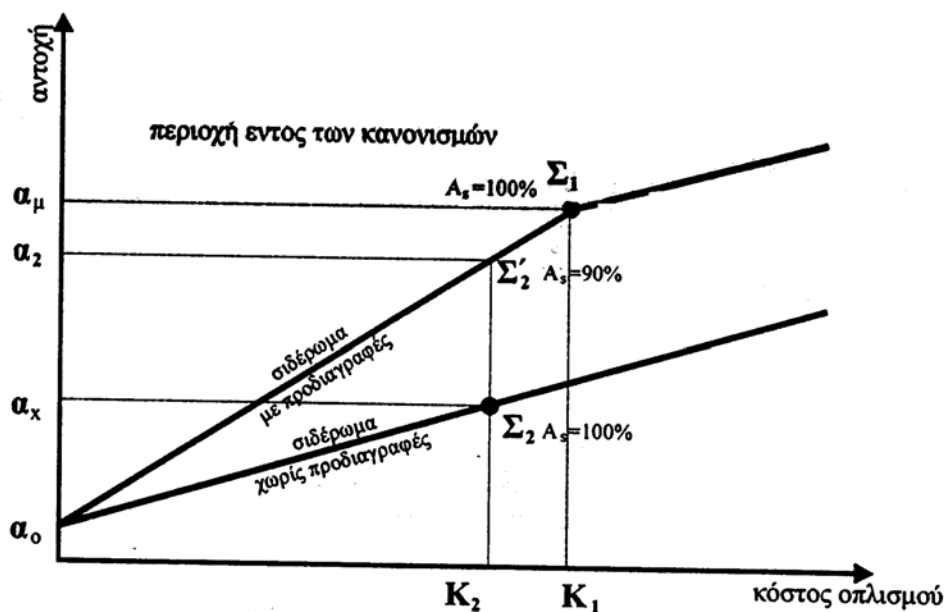
## **8.2 Παράδειγμα πραγματικού έργου:**

Μία μονοκατοικία συνολικού εμβαδού 200 τ.μ. που χρειάζεται οπλισμό 15 τόνων, εφόσον κατασκευασθεί με αντισεισμικούς θώρακες που θα καλύψουν όλες τις προδιαγραφές των συνδετήρων, θα έχουν μία διαφορά κόστους, σε σχέση με κατασκευή με μανδύες, της τάξεως των  $15.000\text{kg} \times 0.03\text{€ /kg} = 415\text{€}$ .

Για να τηρηθούν όλες οι αντισεισμικές προδιαγραφές (και όχι μόνο των συνδετήρων), είτε χρησιμοποιηθούν αντισεισμικοί θώρακες είτε οποιοδήποτε άλλο είδος συνδετήρων θα χρειαστεί μία διαφορά κόστους, σε σχέση με την πιο "πρόχειρη" δουλειά που θα μπορούσε να γίνει, της τάξεως των  $0.12\text{€/kg}$  που στο σύνολο του έργου δίνει  $15.000\text{kg} \times 0.12\text{€/kg} = 1800\text{€}$  όσο στοιχίζει ένα καλό ψυγείο...

### 8.3 Ο μύθος του ακριβού

Αν τοποθετήσουμε τα προηγούμενα στοιχεία σε ένα σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων όπου ο οριζόντιος άξονας είναι το κόστος και ο κατακόρυφος άξονας η αντοχή, έχουμε την καμπύλη της απόδοσης.



Διάγραμμα Αντισεισμικής Απόδοσης Οπλισμού.

### 8.4 Κόστος οπλισμού

$a_0$  = η αντοχή σε σεισμό που παρουσιάζει το έργο χωρίς καθόλου αντισεισμικό οπλισμό

$a_\mu$  = η αντισεισμική αντοχή που ζητείται από τη μελέτη

$K_1$  = το κόστος σιδερώματος με τήρηση των αντισεισμικών προδιαγραφών

$\Sigma_1$  = το σημείο ( $K_1, a_\mu$ ) στο οποίο η ποσότητα του οπλισμού  $A_s$  αντιστοιχεί στο 100% των  $\text{cm}^2$  της μελέτης

$K_2$  = το κόστος σιδερώματος χωρίς τήρηση των αντισεισμικών προδιαγραφών με ποσότητα όμως οπλισμού  $A_s$  που αντιστοιχεί με το 100% των  $\text{cm}^2$  της μελέτης.

Παρατηρούμε ότι με το ίδιο κόστος  $K_2$  στην περίπτωση του πρόχειρου σιδερώματος έχουμε μία μικρή αντοχή  $\alpha_x$  ενώ με το ίδιο κόστος στην περίπτωση του ορθού σιδερώματος έχουμε μία πολύ υψηλότερη αντοχή  $\alpha_2$  (π.χ. 90%  $\alpha_\mu$  όμως με λιγότερο οπλισμό του απαιτούμενου από τη μελέτη π.χ. 90% της μελέτης).

### **Συμπέρασμα:**

Αν τηρήσει κάποιος όλες τις κατασκευαστικές προδιαγραφές έχει στο ακέραιο την αντισεισμική αντοχή με την οποία μελετήθηκε το κτίριο του, έστω Ε. Αν δεν τηρήσει στο ακέραιο τις προδιαγραφές (που είναι ο κανόνας στη σημερινή πράξη) έχει αντοχή μικρότερη από  $E/2$ , που δεν αποκλείεται να είναι και  $E/3$  ή  $E/4$ .

### **Απόδειξη:**

Σκεφθείτε μόνο την απουσία αγκίστρων από τα τσέρκια.

(Τεχνικά χρονικά, Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 1999, έτος 68ο, διμηνιαία έκδοση Τ. Ε. Ε. - Κωνσταντινίδης Απ., Η ποιότητα των αντισεισμικών κατασκευών, μεταξύ αντοχής και κόστους, Εισήγηση ημερίδας (Θώραξ Αντισεισμική Α.Ε.), Αθήνα 1999 – Ε. Κ. Ω. Σ.)

### **9. Βιβλιογραφία**

- 1) Κωνσταντινίδης Απ., Η ποιότητα των αντισεισμικών κατασκευών, μεταξύ αντοχής και κόστους, Εισήγηση ημερίδας (Θώραξ Αντισεισμική Α.Ε.), Αθήνα 1999
- 2) Τριανταφύλλου Χ. Θ. Δομικά Υλικά, 4η έκδοση Πάτρα 2001.
- 3) 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Τ.Ε.Ε), τόμος Α' Κως 15-17 Οκτωβρίου 2003, Εισηγητής: Βουδικλάρης Γ. Θ. Πολιτικός Μηχανικός.
- 4) Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (ΕΚΩΣ 2000 Ο.Α.Σ.Π.-Σ.Π.Μ.Ε.).
- 5) Τεχνικά χρονικά, Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 1999, έτος 68ο, διμηνιαία έκδοση Τ. Ε. Ε.
- 6) INTERNET: Α. [WWW.SIDENOR.GR](http://WWW.SIDENOR.GR),  
Β. [WWW.HALYBOYRGIA.GR](http://WWW.HALYBOYRGIA.GR).

