

ΤΕΕ Θράκης
Κομοτηνή
10.10.2009

Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα με βάση τον Ευρωκώδικα 2
Μέρος 1-1 (EN 1992-1-1)

Οριακή Κατάσταση Αστοχίας έναντι Κάμψης με ή χωρίς ορθή δύναμη

Γιαννόπουλος Πλούταρχος
Δρ. Πολ. Μηχ., Αναπλ. Καθηγητής

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1992-1-1:2004

Δεκέμβριος 2004

ICS: 91.010.30 ; 91.080.40

Ελληνική έκδοση

**ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 2: “Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα”
Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια**

Ο παρών Ευρωκώδικας διατίθεται σε τρεις επίσημες εκδοχές (Αγγλική, Γαλλική, Γερμανική). Η απόδοση σε μια άλλη γλώσσα, όταν η μετάφραση γίνεται με ευθύνη μέλους της CEN και κοινοποιείται στο Κέντρο Διαχείρισης, έχει την ίδια υπόσταση με τις επίσημες εκδοχές.

Πρόλογος

Σύμφωνα με τους Εσωτερικούς Κανονισμούς της CEN/CENELEC, οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης των ακόλουθων χωρών: Αυστρία, Βέλγιο, Κύπρος, Δημοκρατία της Τσεχίας, Δανία, Εσθονία, Φιλανδία, Γαλλία, Γερμανία, **Ελλάδα**, Ουγγαρία, Ισλανδία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία και Μεγάλη Βρετανία **δεσμεύονται να εφαρμόσουν/υλοποιήσουν αυτόν τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό, οποίος θα λάβει την υπόσταση ενός εθνικού προτύπου χωρίς καμία τροποποίηση, ενώ αλληλοσυγκρουόμενα και αντιφατικά εθνικά πρότυπα θα αποσυρθούν το αργότερο μέχρι τον Μάρτιο 2010.**

Το Πρόγραμμα των Ευρωκωδίκων για τις Κατασκευές περιλαμβάνει τα παρακάτω πρότυπα, που εν γένει συντίθενται από έναν αριθμό μερών:

EN 1990 Ευρωκώδικας 0:	Βάσεις του Σχεδιασμού των Κατασκευών
EN 1991 Ευρωκώδικας 1:	Δράσεις επί των Κατασκευών
EN 1992 Ευρωκώδικας 2:	Σχεδιασμός των Κατασκευών από Σκυρόδεμα
EN 1993 Ευρωκώδικας 3:	Σχεδιασμός των Κατασκευών από Χάλυβα
EN 1994 Ευρωκώδικας 4:	Σχεδιασμός Σύμμεικτων Κατασκευών από Χάλυβα και Σκυρόδεμα
EN 1995 Ευρωκώδικας 5:	Σχεδιασμός Ξύλινων Κατασκευών
EN 1996 Ευρωκώδικας 6:	Σχεδιασμός των Κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία
EN 1997 Ευρωκώδικας 7:	Γεωτεχνικός Σχεδιασμός
EN 1998 Ευρωκώδικας 8:	Αντισεισμικός Σχεδιασμός των Κατασκευών
EN 1999 Ευρωκώδικας 9:	Σχεδιασμός των Κατασκευών από Αλουμίνιο

Ο Ευρωκώδικας 2 περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη

Μέρος 1-1:	Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
Μέρος 1-2:	Σχεδιασμός για πυρασφάλεια
Μέρος 2:	Γέφυρες από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα
Μέρος 3:	Υδατοδεξαμενές και κατασκευές υπό υδατοφόρτιση

Εθνικά πρότυπα για την εφαρμογή των Ευρωκωδίκων

Τα Εθνικά πρότυπα για την εφαρμογή των Ευρωκωδίκων θα περιλαμβάνουν το πλήρες κείμενο του Ευρωκώδικα, όπως δημοσιεύθηκε από τη CEN, στο οποίο θα μπορεί να προτάσσεται μια σελίδα με τον Εθνικό τίτλο και τον Εθνικό πρόλογο, και μπορεί να συνοδεύεται από ένα **Εθνικό Προσάρτημα**.

Το **Εθνικό Προσάρτημα** μπορεί να περιλαμβάνει μόνο πληροφορίες σχετικά με εκείνες τις παραμέτρους που έχουν αφαιρεθεί στον Ευρωκώδικα ανοιχτές για επιλογή σε εθνικό επίπεδο, γνωστές ως Εθνικώς Προσδιοριζόμενες Παράμετροι, ήτοι:

- τιμές και/ή κλάσεις για τις οποίες δίνονται εναλλακτικές τιμές στον Ευρωκώδικα
- τιμές για χρήση σε περιπτώσεις που στον Ευρωκώδικα δίνεται μόνο ένα σύμβολο
- δεδομένα ειδικά για τη χώρα (γεωγραφικά, κλιματολογικά, κλπ.), π.χ. χάρτης χιονοπτώσεων
- τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί, σε περιπτώσεις που στον Ευρωκώδικα δίνονται εναλλακτικές διαδικασίες.
- αναφορές σε συμβατές συμπληρωματικές πληροφορίες για υποβοήθηση του χρήστη στην εφαρμογή του Ευρωκώδικα.

Εθνικό Προσάρτημα του EN 1992-1-1

Το παρόν πρότυπο περιλαμβάνει τιμές με υποσημειώσεις που υποδεικνύουν τις περιπτώσεις όπου ενδεχομένως να χρειαστεί να γίνει επιλογή σε εθνικό επίπεδο. Επομένως το Εθνικό Πρότυπο για την εφαρμογή του EN 1992-1-1 πρέπει να περιλαμβάνει ένα Εθνικό Προσάρτημα που θα περιλαμβάνει όλες τις Εθνικώς Προσδιοριζόμενες Παραμέτρους που θα χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό των κτιρίων και των έργων Πολιτικού Μηχανικού που κατασκευάζονται στην υπόψη χώρα.

Εθνική επιλογή επιτρέπεται
στο EN 1992-1-1 στα
παρακάτω εδάφια:

2.3.3 (3)	4.4.1.3 (3)	6.2.4 (4)	9.2.1.2 (1)	9.10.2.3 (3)
2.4.2.1 (1)	4.4.1.3 (4)	6.2.4 (6)	9.2.1.4 (1)	9.10.2.3 (4)
2.4.2.2 (1)	5.1.2 (1)P	6.4.3 (6)	9.2.2 (4)	9.10.2.4 (2)
2.4.2.2 (2)	5.2 (5)	6.4.4 (1)	9.2.2 (5)	11.3.5 (1)P
2.4.2.2 (3)	5.5 (4)	6.5.2 (2)	9.2.2 (6)	11.3.5 (2)P
2.4.2.3 (1)	5.6.3 (4)	6.5.4 (4)	9.2.2 (7)	11.3.7 (1)
2.4.2.4 (1)	5.8.3.1 (1)	6.5.4 (6)	9.2.2 (8)	11.6.1 (1)
2.4.2.4 (2)	5.8.3.3 (1)	6.8.4 (1)	9.3.1.1(3)	11.6.1 (2)
2.4.2.5 (2)	5.8.3.3 (2)	6.8.4 (5)	9.4.3(1)	11.6.2 (1)
3.1.2 (2)P	5.8.5 (1)	6.8.6 (1)	9.5.2 (1)	11.6.4.1 (1)
3.1.2 (4)	5.8.6 (3)	6.8.6 (2)	9.5.2 (2)	12.3.1 (1)
3.1.6 (1)P	5.10.1 (6)	6.8.7 (1)	9.5.2 (3)	12.6.3 (2)
3.1.6 (2)P	5.10.2.1 (1)P	7.2 (2)	9.5.3 (3)	A.2.1 (1)
3.2.2 (3)P	5.10.2.1 (2)	7.2 (3)	9.6.2 (1)	A.2.1 (2)
3.2.7 (2)	5.10.2.2 (4)	7.2 (5)	9.6.3 (1)	A.2.2 (1)
3.3.4 (5)	5.10.2.2 (5)	7.3.1 (5)	9.7 (1)	A.2.2 (2)
3.3.6 (7)	5.10.3 (2)	7.3.2 (4)	9.8.1 (3)	A.2.3 (1)
4.4.1.2 (3)	5.10.8 (2)	7.4.2 (2)	9.8.2.1 (1)	C.1 (1)
4.4.1.2 (5)	5.10.8 (3)	8.2 (2)	9.8.3 (1)	C.1 (3)
4.4.1.2 (6)	5.10.9 (1)P	8.3 (2)	9.8.3 (2)	E.1 (2)
4.4.1.2 (7)	6.2.2 (1)	8.6 (2)	9.8.4 (1)	J.1 (3)
4.4.1.2 (8)	6.2.2 (6)	8.8 (1)	9.8.5 (3)	J.2.2 (2)
4.4.1.2 (13)	6.2.3 (2)	9.2.1.1 (1)	9.8.5 (4)	J.3 (2)
4.4.1.3 (2)	6.2.3 (3)	9.2.1.1 (3)	9.10.2.2 (2)	J.3 (3)

Πεδίο εφαρμογής του Μέρους 1-1 του Ευρωκώδικα 2

- Κεφ. 1: Γενικά
- Κεφ. 2: Βάσεις του σχεδιασμού
- Κεφ. 3: Υλικά
- Κεφ. 4: Ανθεκτικότητα σε διάρκεια και επικάλυψη οπλισμών
- Κεφ. 5: Ανάλυση του δομικού συστήματος
- Κεφ. 6: Οριακές καταστάσεις αστοχίας
- Κεφ. 7: Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
- Κεφ. 8: Κατασκευαστική διαμόρφωση των χαλαρών οπλισμών και των τενόντων προέντασης - Γενικά
- Κεφ. 9: Κατασκευαστική διαμόρφωση δομικών στοιχείων και ειδικοί κανόνες
- Κεφ. 10: Συμπληρωματικοί κανόνες για προκατασκευασμένα στοιχεία και κατασκευές από σκυρόδεμα
- Κεφ. 11: Κατασκευές από ελαφροσκυρόδεμα
- Κεφ. 12: Άοπλες και ελαφρώς οπλισμένες κατασκευές

Παραρτήματα

Οριακή Κατάσταση Αστοχίας έναντι κάμψης με ή χωρίς ορθή δύναμη [§6.1]

Σχεδιασμός διατομών στην ΟΚΑ σε

- **Καθαρή κάμψη**, όπως πλακών, δοκών.
- **Κάμψη με ορθή δύναμη**, όπως υποστυλωμάτων.

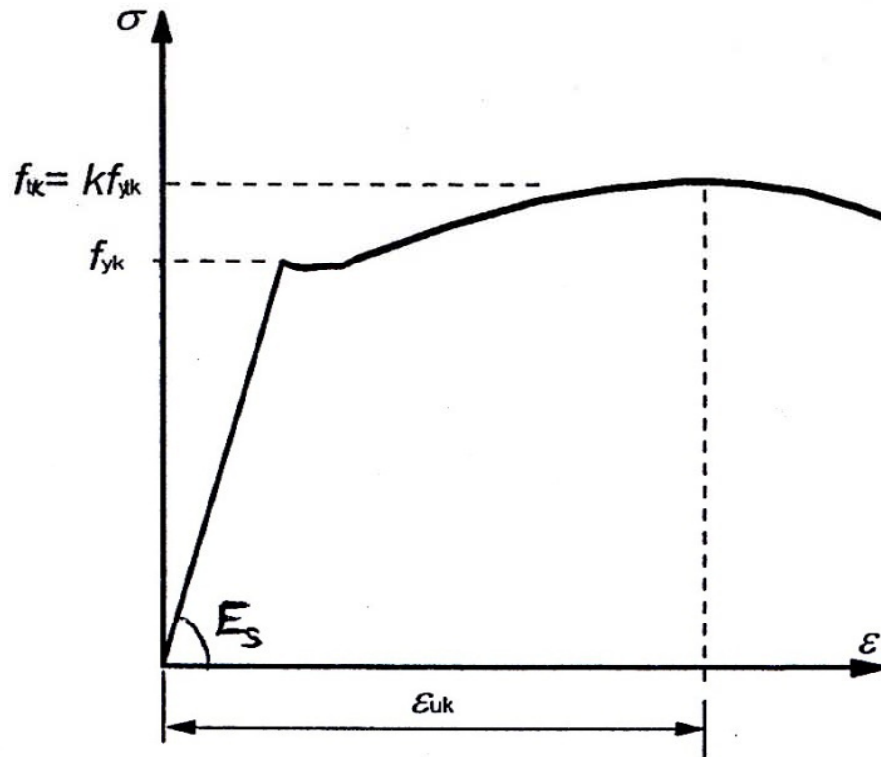
Χρειάζονται τα ακόλουθα:

- § 6.1 Κάμψη με ή χωρίς ορθή δύναμη
- § 3.1.7 Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων σχεδιασμού σκυρ/τος
- § 3.2.7 Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων σχεδιασμού χάλυβα
- § 5.5 Γραμμική ελαστική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή
- § 5.6 Ικανότητα πλαστικής στροφής

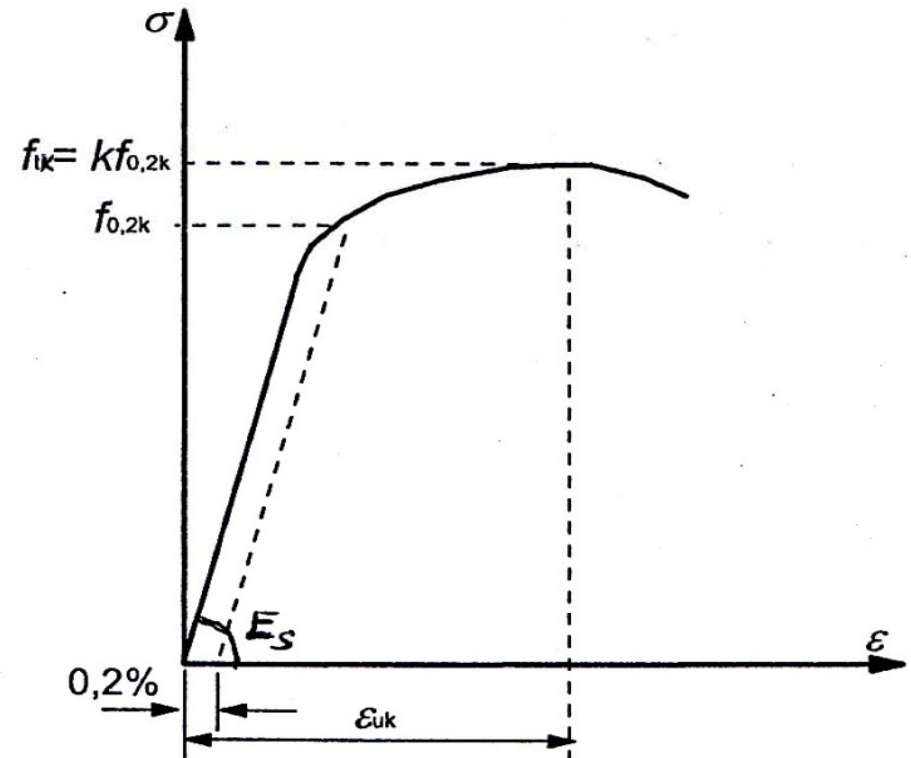
Βασικές παραδοχές [EN 1992-1-1 §6.1]

- Επίπεδες διατομές παραμένουν επίπεδες κατά την κάμψη.
- Οι παραμορφώσεις του οπλισμού, όταν εφελκύεται ή θλίβεται, είναι ίδιες με αυτές του γύρω $\varepsilon_c = \varepsilon_s$.
- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται $f_{ct} = 0$.
- Οι τάσεις στο σκυρόδεμα σε θλίψη λαμβάνονται από τα διαγράμματα σχεδιασμού $\sigma_c - \varepsilon_c$ της § 3.1.7.
- Οι τάσεις στον οπλισμό λαμβάνονται από το διάγραμμα σχεδιασμού $\sigma_s - \varepsilon_s$ της § 3.2.7.
- Ορίζονται μέγιστες παραμορφώσεις στο σκυρόδεμα & χάλυβα (§ 3.1.7 & 3.2.7)
- Οι δυνατές κατανομές παραμορφώσεων καθύψος της διατομής δίνονται στο Σχ. 6.1

Διαγράμματα σ_s - ε_s χαλύβων όπλισης [§3.2.4]



α) Θερμικά κατεργασμένοι χάλυβες



β) Ψυχρά κατεργασμένοι χάλυβες

Σχ. 3.7: Διαγράμματα σ_s - ε_s τυπικών χαλύβων όπλισης

Μηχανικές ιδιότητες χαλύβων [Παράρτημα C]

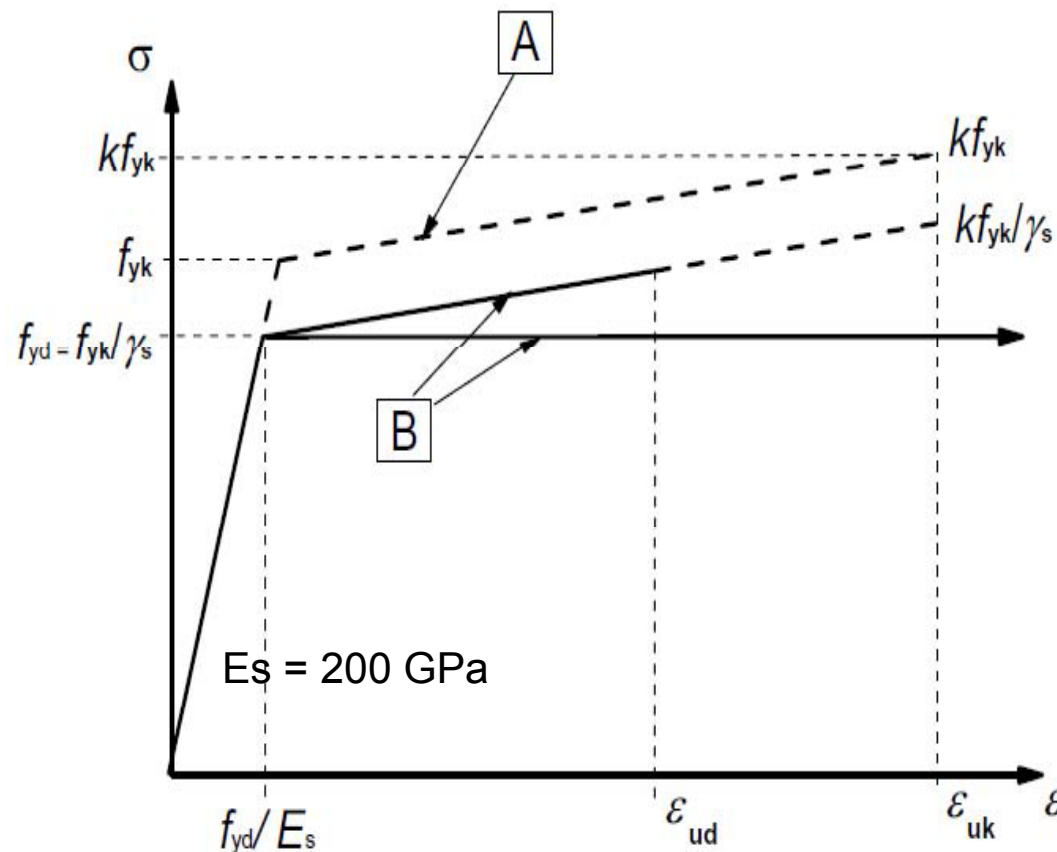
Πίνακας C.1: Ιδιότητες οπλισμού

Μορφή χάλυβα	Ράβδοι και ρόλοι			Ηλεκτροσυγκολλημένα πλέγματα / δικτυώματα			Απαίτηση ή ανεκτή απόκλιση (%)
	A	B	C	A	B	C	
Κατηγορία	A	B	C	A	B	C	-
Χαρακτηριστική αντοχή διαρροής f_{yk} ή $f_{0,2k}$ (Mpa)	400 έως 600						5,0
Ελάχιστη τιμή του $k = (f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Χαρακτηριστική ένταση στη μέγιστη δύναμη, ϵ_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Ικανότητα καμπύλωσης	Δοκιμή καμπύλωσης/ επανακαμπύλωσης			-			
Διατμητική αντοχή	-			0,3 A f_{yk} (όπου A το εμβαδόν της διατομής του σύρματος)			Ελάχιστη
Μέγιστη απόκλιση για ονομαστική μάζα (μεμονωμένη ράβδος ή σύρμα) (%)	Ονομαστική διάμετρος ράβδου (mm) ≤ 8 > 8			$\pm 6,0$ $\pm 4,5$			5,0

Διάγρ. $\sigma_s - \varepsilon_s$ ιδεατό & σχεδιασμού χαλύβων [§ 3.2.7]

Επιτρέπεται διγραμμικό διάγραμμα με :

- **Κεκλιμένο άνω τμήμα με**
 - όριο παραμ. ε_{ud} (συνιστάται $\varepsilon_{ud}=0.9 \varepsilon_{uk}=0.9 \times 7.5\%=67.5 \text{ ‰}$ ή Εθν. Προσ.)
- **Οριζόντιο άνω τμήμα**
 - χωρίς ανάγκη ελέγχου του ε_u



$$k = (f_t/f_y)_k$$

A Ιδεατό

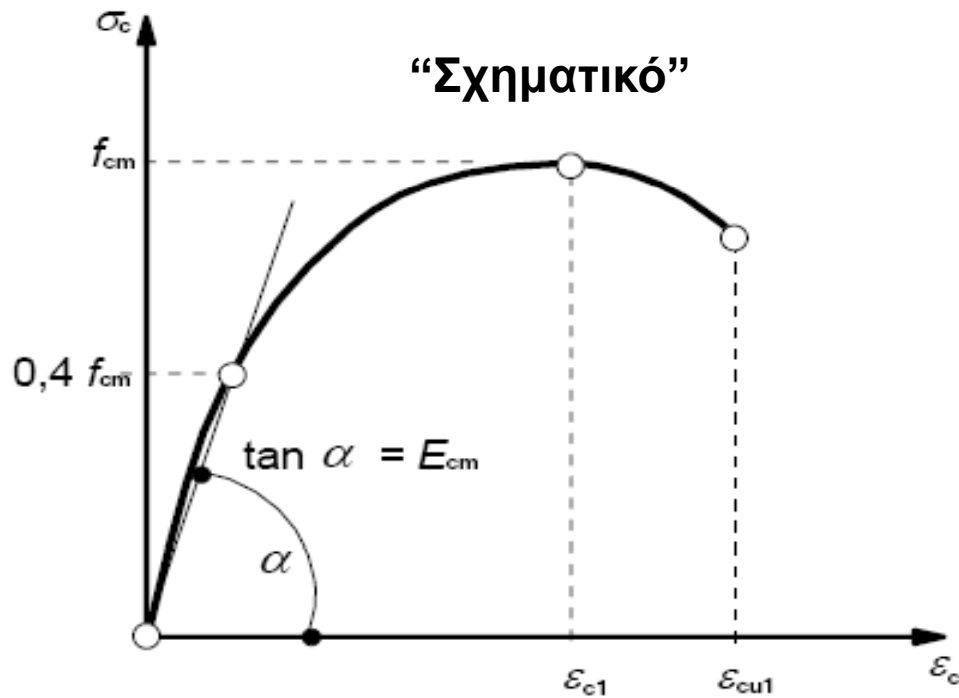
B Σχεδιασμού

Σχ. 3.8

Υλικά - Κατηγορίες σκυροδέματος & ιδιότητες [§ 3.1.2]

Κατηγορίες σκυροδέματος														Αναλυτική σχέση / Εξήγηση	
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% οριακό ποσοστό (fractile)
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% οριακό ποσοστό (fractile)
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)]^{0.3}$ (f_{cm} σε MPa)
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	βλ. Σχήμα 3.2 $\epsilon_{c1} (\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0.31} < 28$
ϵ_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	βλ. Σχήμα 3.2 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu1} (\text{‰}) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
ϵ_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	βλ. Σχήμα 3.3 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c2} (\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0.53}$
ϵ_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	βλ. Σχήμα 3.3 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu2} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	για $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
ϵ_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	βλ. Σχήμα 3.4 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c3} (\text{‰}) = 1,75 + 0,55 [(f_{ck} - 50)/40]$
ϵ_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	βλ. Σχήμα 3.4 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu3} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

Διάγραμμα σ-ε σκυρ/τος για μη γραμμική ανάλυση [§3.1.5]



Σχήμα 3.2: Σχηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων για την ανάλυση των κατασκευών (Η χρήση του $0,4f_{cm}$ για τον ορισμό του E_{cm} είναι προσεγγιστική).

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}$$

όπου:

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$$

ε_{c1} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην κορυφή της τάσης σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1

$$k = 1,05 E_{cm} \times |\varepsilon_{c1}| / f_{cm} \quad (f_{cm} \text{ σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1})$$

$$\varepsilon_{c1} (‰) = 0,7 f_{cm}^{0,31}$$

$$\varepsilon_{cu1} (‰) =$$

$$2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4 f_{cm} / 100]^4$$

για $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$ αλλιώς 3,5

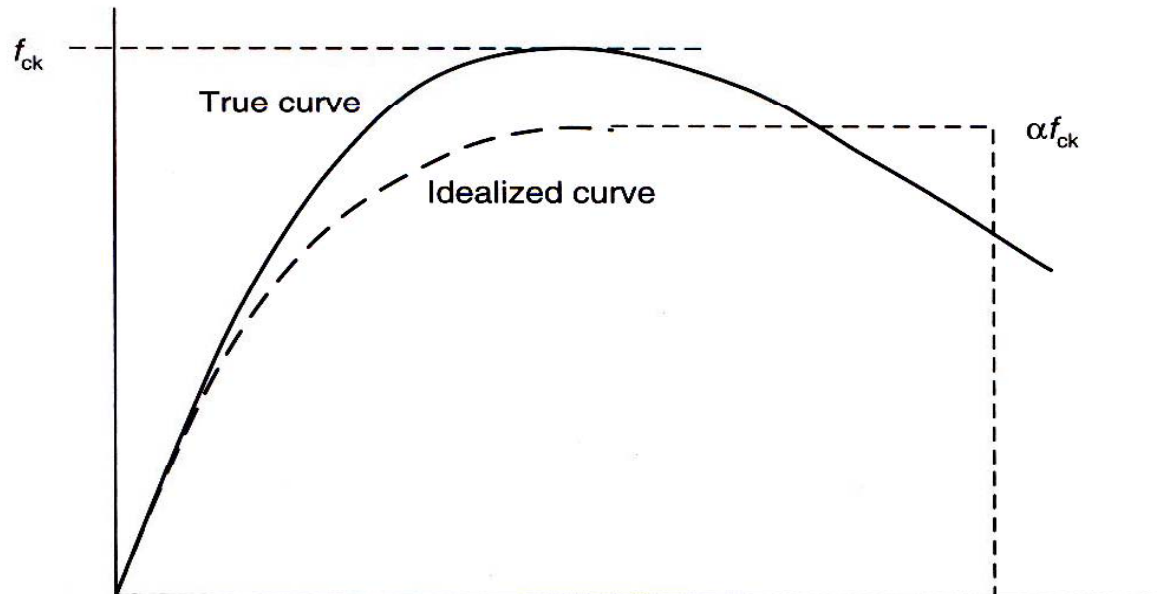
Αντοχές σχεδιασμού σκυροδέματος [§ 3.1.6]

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_C$$

α_{cc} = είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις μακροχρόνιες επιδράσεις του φορτίου στην θλιπτική αντοχή και τις δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο επιβολής του φορτίου.

Σημείωση: Η τιμή του α_{cc} προς χρήση σε μια χώρα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 1,0 και παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα.

Η συνιστώμενη τιμή είναι 1.

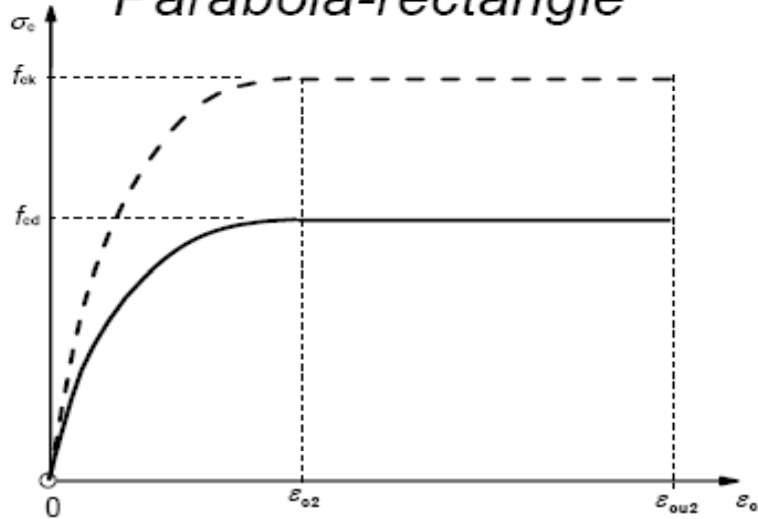


Διαγράμμ. σ - ϵ σκυρ/τος για το σχεδιασμό διατομών

[§ 3.1.7]

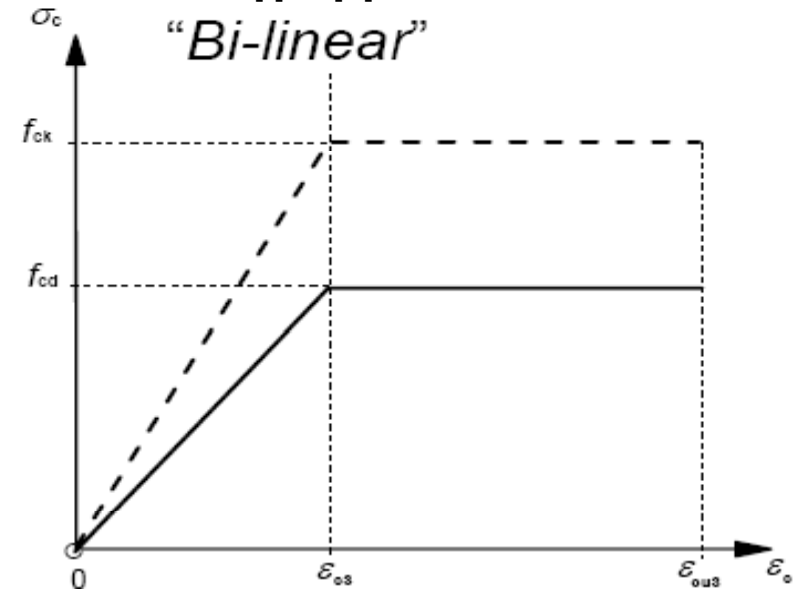
“Παραβολικό-ορθογωνικό”

“Parabola-rectangle”

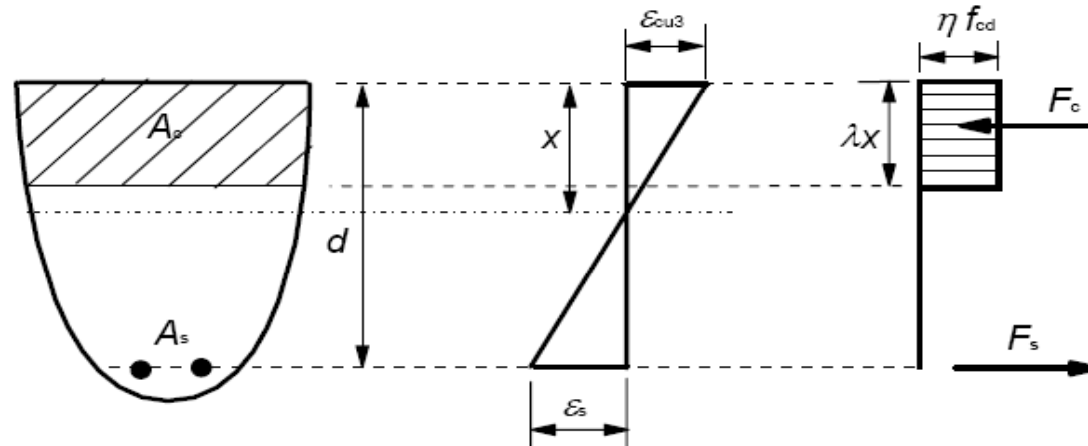


“Δι-γραμμικό”

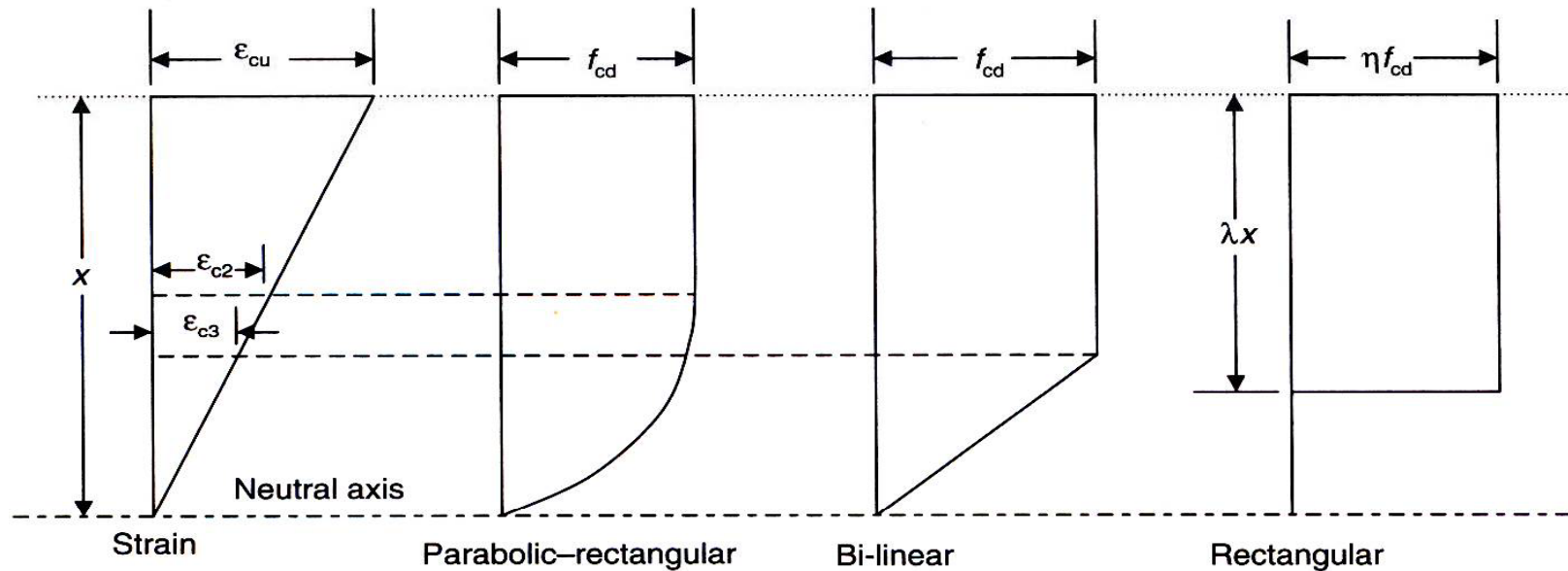
“Bi-linear”



“Απλοποιημένο ορθογωνικό”



Σύγκριση διαγρ. σ-ε σχεδιασμού διατομών σκυρ/τος



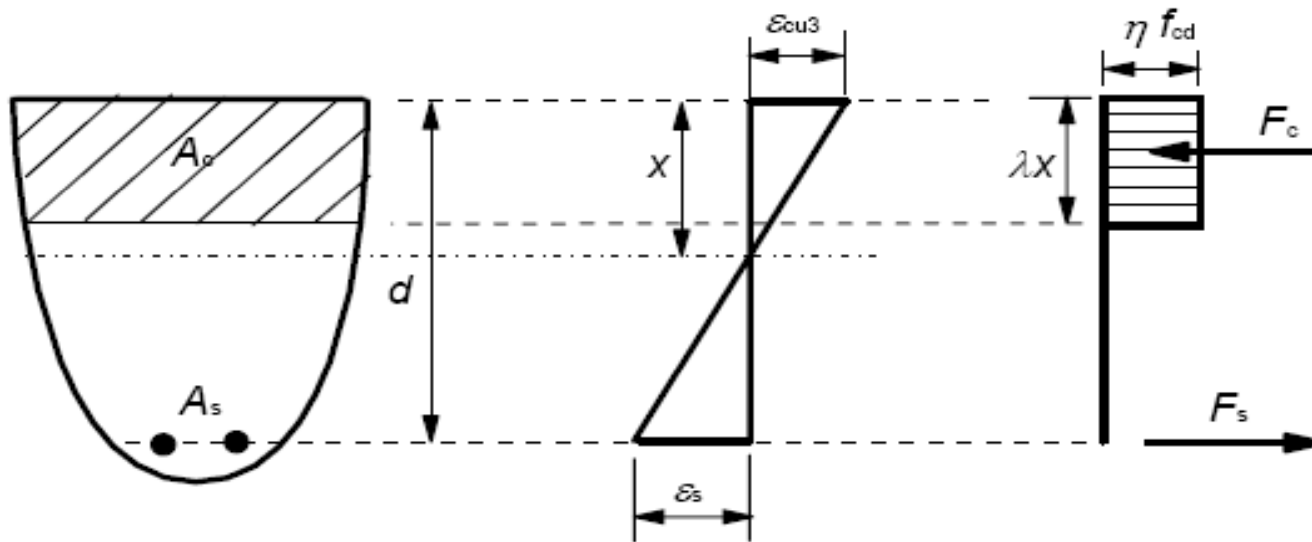
Grade	ϵ_{cu}	ϵ_{c2}	ϵ_{c3}	n	λ	η
\leq C50	0.0035	0.0020	0.00175	2.0	0.800	1.000
C55	0.0031	0.0022	0.00180	1.75	0.788	0.975
C60	0.0029	0.0023	0.00190	1.60	0.775	0.950
C70	0.0027	0.0024	0.00200	1.45	0.750	0.900
C80	0.0026	0.0025	0.00220	1.40	0.725	0.850
C90	0.0026	0.0026	0.00230	1.40	0.700	0.800

$$Με \quad f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c \quad \& \quad \gamma_c = 1,50$$

Παρατηρείται από τον ακόλουθο Πίνακα ότι τα αποτελέσματα για τα 3 διαγράμματα σχεδιασμού σ-ε του σκυροδέματος είναι παραπλήσια για αντοχές μέχρι 50 MPa.

Grade	Parabolic–rectangular		Bi-linear rectangular		Rectangular	
	Average stress (N/mm ²)	Centroid factor, β	Average stress (N/mm ²)	Centroid factor, β	Average stress (N/mm ²)	Centroid factor, β
12	5.51	0.416	5.10	0.389	5.44	0.40
16	7.34	0.416	6.80	0.389	7.25	0.40
20	9.18	0.416	8.50	0.389	9.07	0.40
25	11.47	0.416	10.63	0.389	11.33	0.40
30	13.76	0.416	12.75	0.389	13.60	0.40
35	16.06	0.416	14.88	0.389	15.87	0.40
40	18.35	0.416	17.00	0.389	18.13	0.40
45	20.64	0.416	19.13	0.389	20.40	0.40
50	22.94	0.416	21.24	0.389	22.67	0.40
55	23.19	0.393	22.10	0.374	23.93	0.39
60	23.58	0.377	22.88	0.363	25.03	0.39
70	24.86	0.360	24.55	0.349	26.78	0.38
80	27.1	0.355	26.51	0.342	27.94	0.36
90	29.75	0.353	28.44	0.337	28.56	0.35

Σχ. 3.5: Απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα



$$\lambda = 0,8$$

$$\text{για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400$$

$$\text{για } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$

και

$$\eta = 1,0$$

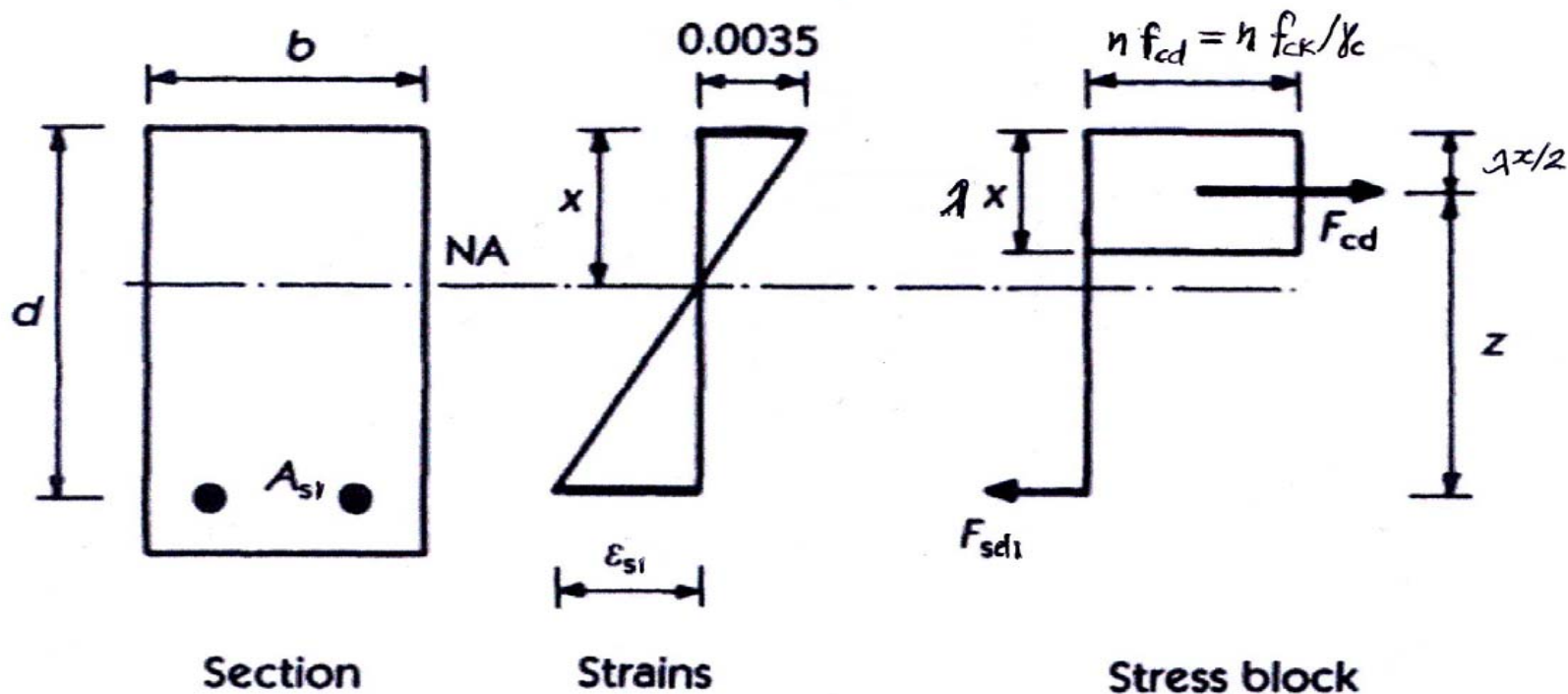
$$\text{για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200$$

$$\text{για } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$

Μείωση του η κατά 10% όταν το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης μειώνεται κατά την κατεύθυνση της ακραίας θλιπτικής ίνας

Υπολογισμός απλά οπλισμένων ορθογωνικών διατομών υπό μονοαξ. προέχ. κάμψη & απλοπ. διάγρ. σ-ε σκυρ/τος



$$f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad \lambda = 0,8 \quad \eta = 1$$

$$N_d = -0,8 b x f_{cd} + A_{s1} f_{yd} \quad \text{----} \rightarrow \quad v_d = -0,8 \xi + \omega_1$$

$$M_{sd} = 0,8 b x f_{cd} (d - 0,4x) \quad \text{----} \rightarrow \quad \mu_{sd} = 0,8 \xi (1 - 0,4\xi)$$

$$\text{----} \rightarrow \quad \omega_1 = 0,8 \xi + v_d$$

$$\omega_1 = 1 - (1 - 2\mu_{sd})^{0,5} + v_d$$

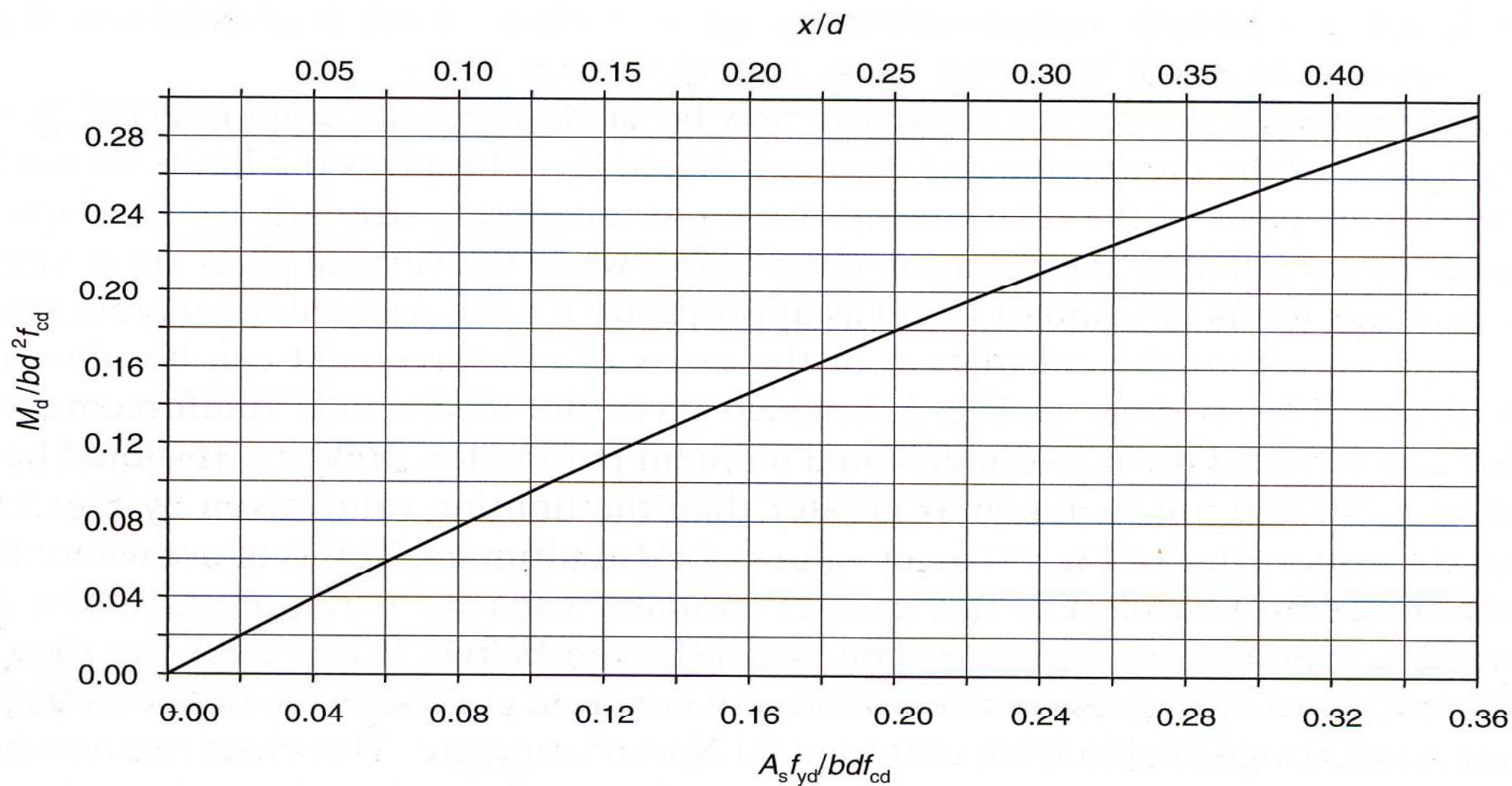
$$v_d = N_d / (b d f_{cd})$$

$$\mu_{sd} = M_{sd} / (b d^2 f_{cd})$$

$$\xi = x/d$$

$$\omega_1 = (A_{s1}/bd) (f_{yd}/f_{cd})$$

Νομογράφημα σχεδιασμού για απλά οπλισμένες διατομές



Όρια στο βάθος του ουδέτερου άξονα x

- Για να έχει διαρρέψει ο χάλυβας B500C πρέπει

$$\varepsilon_{s1} \geq f_{yk}/(\gamma_s E_s) = 0,002174 \quad \varepsilon_{cu2} = 0,0035 \quad x/d = \varepsilon_{cu2} / (\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{cu2}) \leq 0,617$$

- Γραμμική ελαστική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή [§5.5]

Σε συνεχείς πλάκες & δοκούς επιτρέπεται ανακατανομή των ροπών χωρίς έλεγχο ικανότητας στροφής υπό την προϋπόθεση: $0,5 \leq l_1/l_2 \leq 2,0$

δ = ανακατανεμημένη M/ ελαστική M = M_1/M_2

x_u = βάθος Ο.Α. στην ΟΚΑ μετά την ανακατανομή

$$\delta \geq k_1 + k_2 x_u/d \quad \text{για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

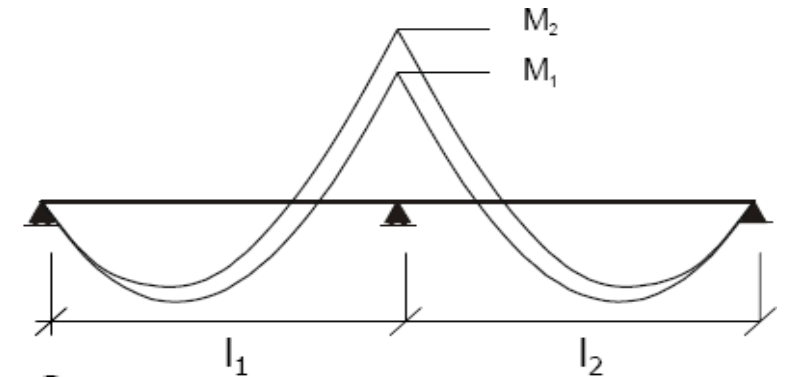
$$\delta \geq k_3 + k_4 x_u/d \quad \text{για } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

$$\delta \geq k_5 \quad \text{για κατηγορίες χάλυβα B & C}$$

$$k_1 = 0,44 \quad k_2 = 1,25(0,6 + 0,0014/\varepsilon_{cu2}) \quad \varepsilon_{cu2} = 0,0035 \quad k_3 = 0,54 \quad k_4 = k_2 \quad k_5 = 0,7$$

$$\text{Για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rightarrow x_u/d \leq (\delta - k_1)/k_2 = (\delta - 0,44)/1,25 \quad \& \quad \text{για } \delta = 1 \rightarrow x_u/d \leq 0,448$$

$$\text{Για } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rightarrow x_u/d \leq (\delta - k_1)/k_2 = (\delta - 0,54)/1,25 \quad \& \quad \text{για } \delta = 1 \rightarrow x_u/d \leq 0,368$$



- Στις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων [§5.6.3] πρέπει

$$\text{Για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rightarrow x_u/d \leq 0,45$$

$$\text{Για } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rightarrow x_u/d \leq 0,35$$

Με ανακατανομές ροπών

Για $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ $\rightarrow x_u/d \leq 0,8(\delta-0,44)$

Για $f_{ck} > 50 \text{ MPa}$ $\rightarrow x_u/d \leq 0,8(\delta-0,54)$

Moment redistribution design factors

<i>Redistribution</i>	δ	x_{bal}/d	z_{bal}/d	μ_{lim}	d'/d
Concrete grades less than or equal to C50					
0	1.0	0.45	0.821	0.296	0.194
10	0.9	0.37	0.853	0.251	0.158
15 ^a	0.85	0.33	0.869	0.228	0.141
20	0.8	0.29	0.885	0.205	0.124
25	0.75	0.25	0.900	0.178	0.107
30 ^b	0.70	0.21	0.917	0.154	0.089
Concrete grades greater than C50					
0	1.0	0.35	0.859	0.240	0.151
10	0.9	0.27	0.891	0.194	0.117
15 ^a	0.85	0.23	0.907	0.169	0.100
20	0.8	0.19	0.923	0.141	0.083
25	0.75	0.15	0.939	0.115	0.065
30 ^b	0.70	0.11	0.955	0.086	0.048

^a Maximum permitted redistribution for normal ductility steel.

^b Maximum permitted redistribution for high ductility steel.

Υπολογισμός διπλά οπλισμένων ορθογωνικών διατομών υπό μονοαξ. προέχ. κάμψη & απλοπ. διάγρ. σ-ε σκυρ/τος

Για $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ →

$$\xi_{lim} = 0,45 \quad \mu_{lim} = 0,8 \xi_{lim} (1 - 0,4\xi_{lim}) = 0,295 \quad \omega_{lim} = 0,8 \xi_{lim} + v_d = 0,36 + v_d$$

Εάν $\mu_{sd} \leq \mu_{lim}$ → απλά οπλισμ. διατομή

$$\omega_1 = 1 - (1 - 2\mu_{sd})^{0,5} + v_d$$

Εάν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$ → διπλά οπλισμ. διατομή

$$\begin{aligned} \mu_{lim} &\rightarrow \omega_{lim} = 0,36 + v_d \\ \Delta\mu_{sd} = \mu_{sd} - \mu_{lim} &\rightarrow \Delta\omega_1 + \omega_2 \end{aligned}$$

$$\omega_{lim} = 0,36 + v_d$$

$$\omega_1 = \omega_{lim} + \Delta\mu_{sd} / (1 - d_2/d)$$

$$\omega_2 = \Delta\mu_{sd} / [(1 - d_2/d) (-\sigma_{sd2}/f_{yd})]$$

σ_{sd2} προσδιορίζεται από ε_{s2} :

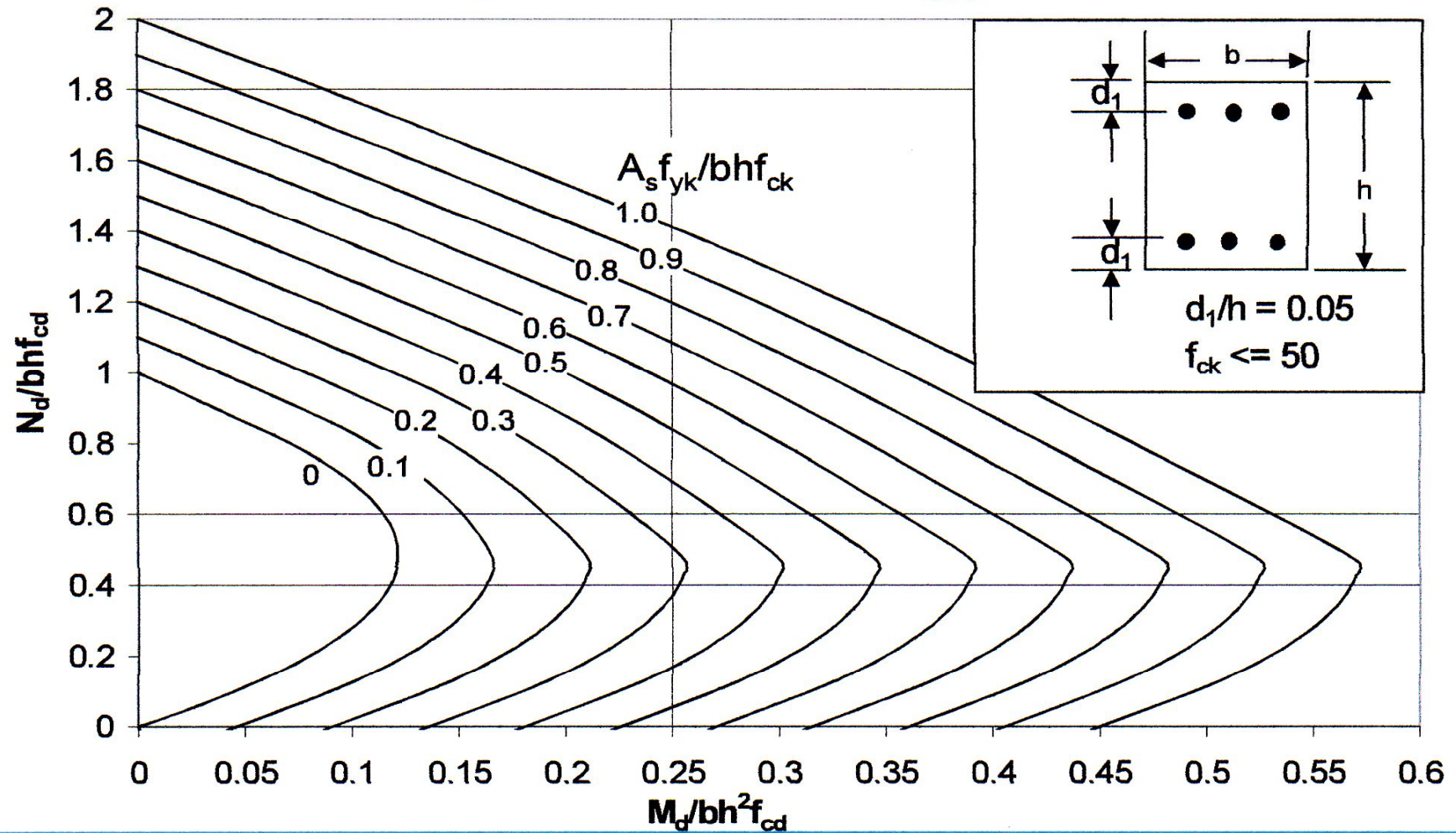
$$\text{για } |\varepsilon_{s2}| < \varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s \rightarrow \sigma_{sd2} = E_s \varepsilon_{s2}$$

$$\text{για } |\varepsilon_{s2}| \geq \varepsilon_{yd} \rightarrow \sigma_{sd2} = -f_{yd}$$

σχεδόν πάντα (για B500C & εάν $d_2/d \leq 0,17$) $\sigma_{sd2} = -f_{yd}$

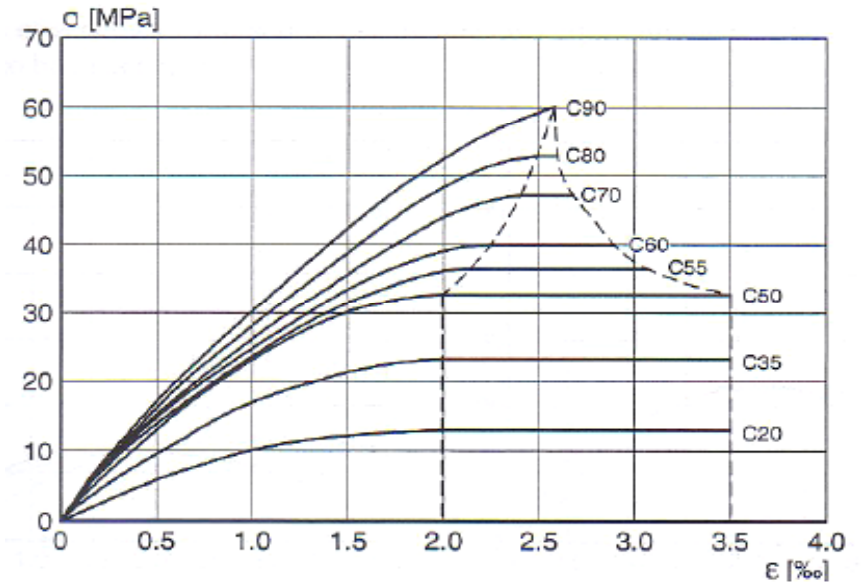
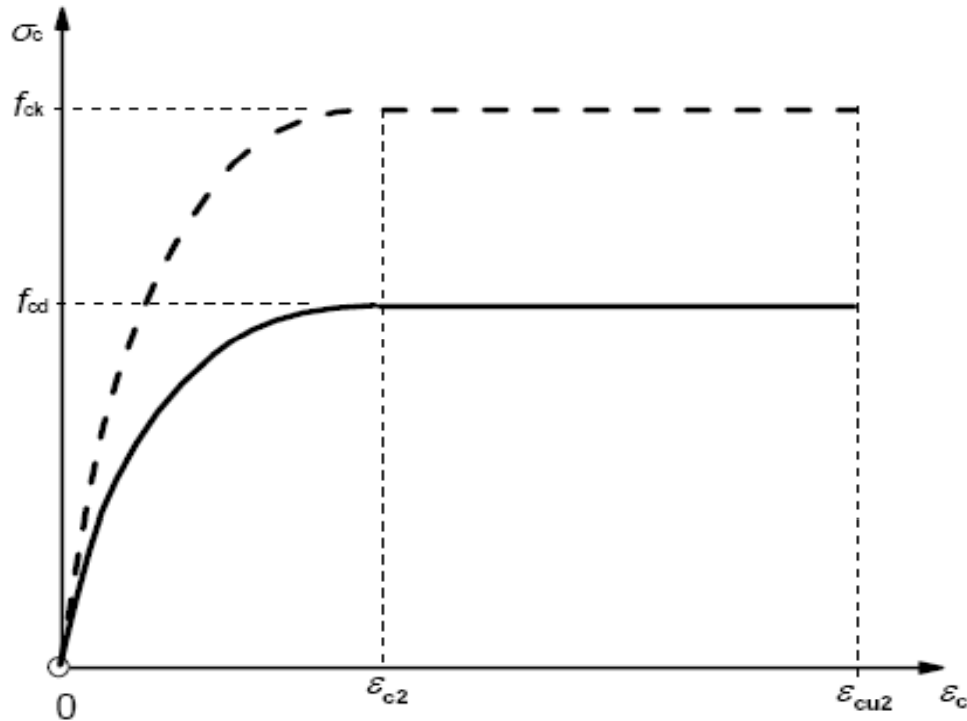
B500C

Column design chart for $f_{ck} \leq 50$ MPa



(Πηγή J.C. Walraven)

Σχ. 3.3: Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα



Για $f_{ck} > 50$ MPa σκυρόδεμα φαθυρό

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{for } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{for } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

$$n = 1,4 + 23,4 \left[\frac{90 - f_{ck}}{100} \right]^4$$

for $f_{ck} \geq 50$ MPa otherwise 2,0

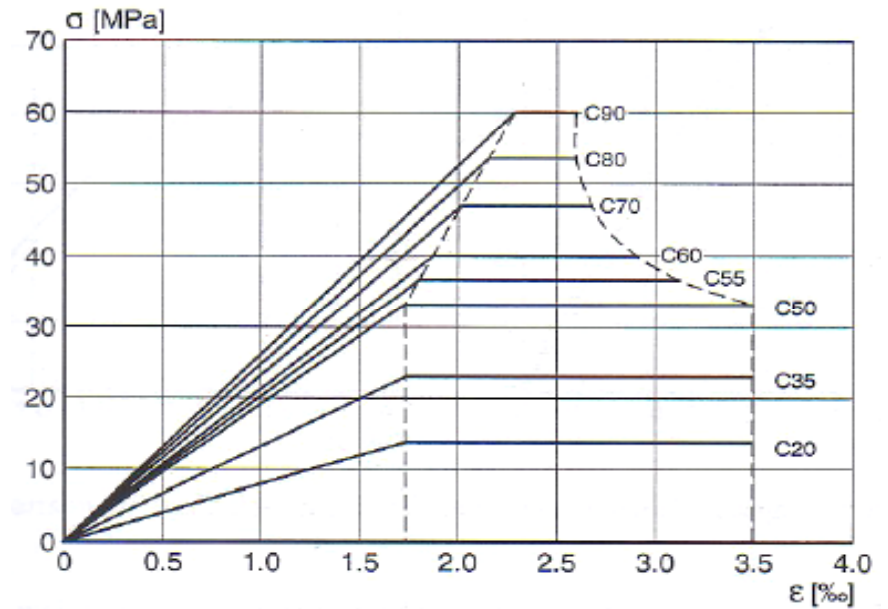
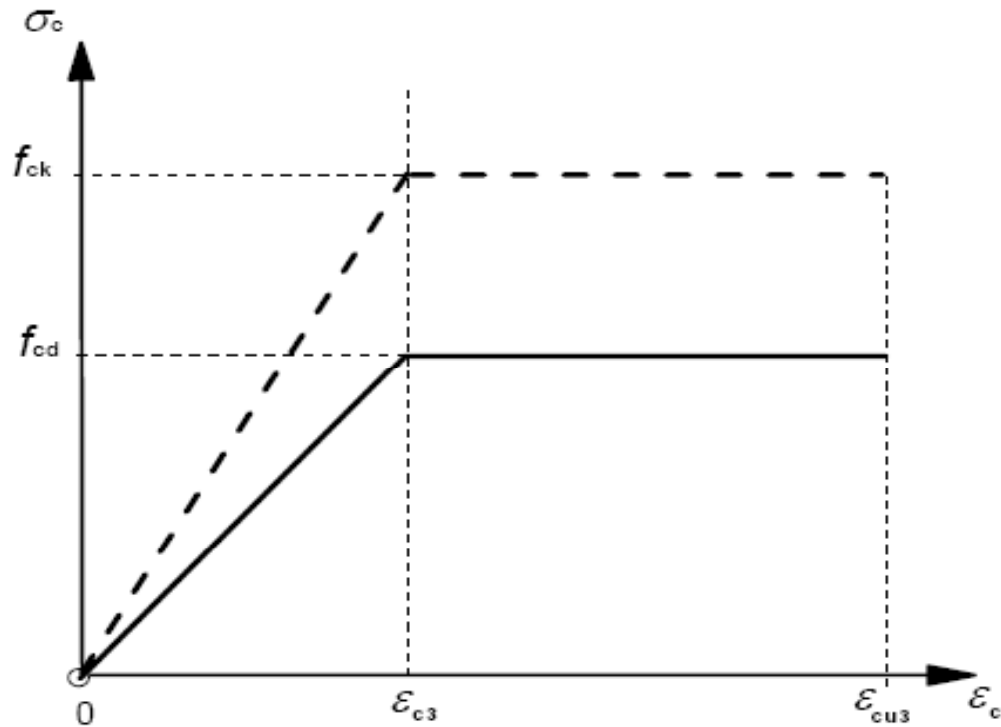
$$\varepsilon_{c2} \text{ (‰)} = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$$

for $f_{ck} \geq 50$ MPa otherwise 2,0

$$\varepsilon_{cu2} \text{ (‰)} = 2,6 + 35 \left[\frac{90 - f_{ck}}{100} \right]^4$$

for $f_{ck} \geq 50$ MPa otherwise 3,5

Σχ. 3.4: Δι-γραμμικό διάγραμμα



Για $f_{ck} > 50$ MPa σκυρόδεμα ψαθυρό

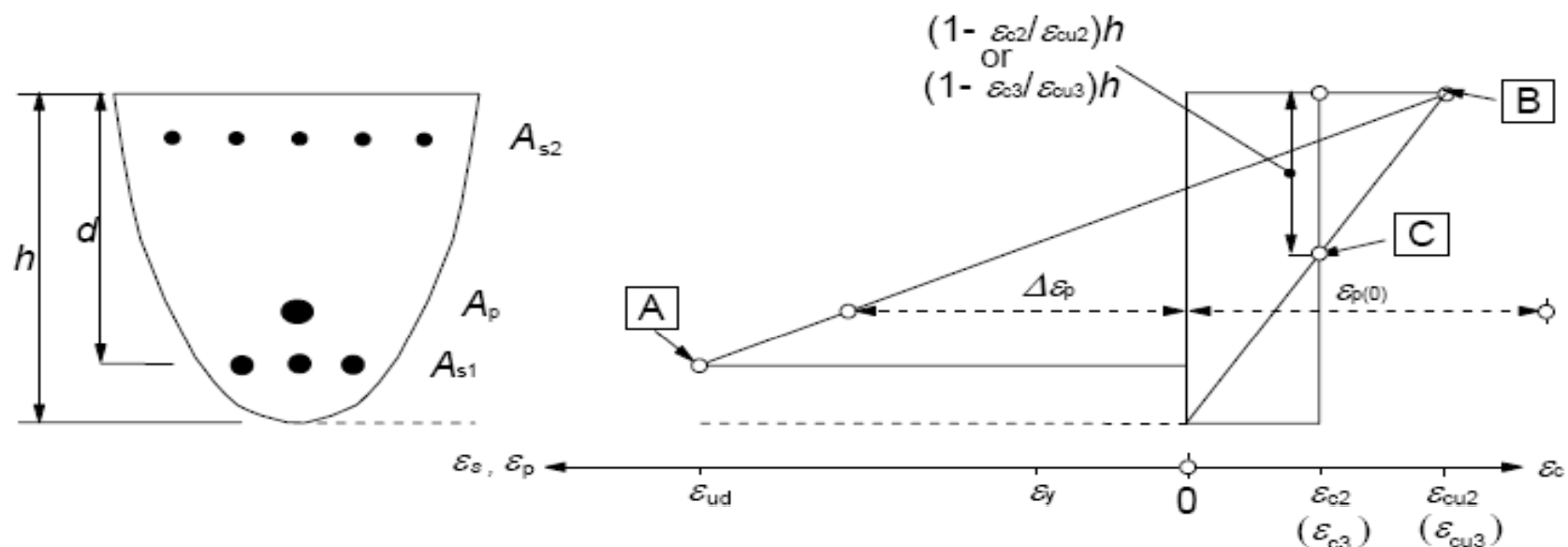
$$\varepsilon_{c3} (‰) = 1,75 + 0,55 [(f_{ck} - 50)/40]$$

for $f_{ck} \geq 50$ MPa otherwise 1,75

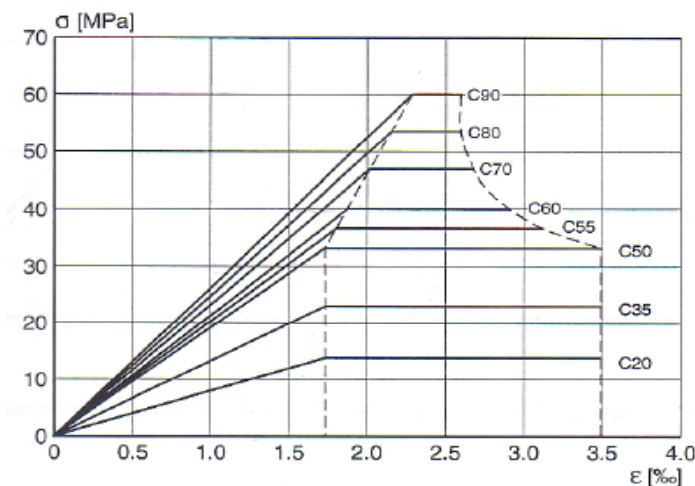
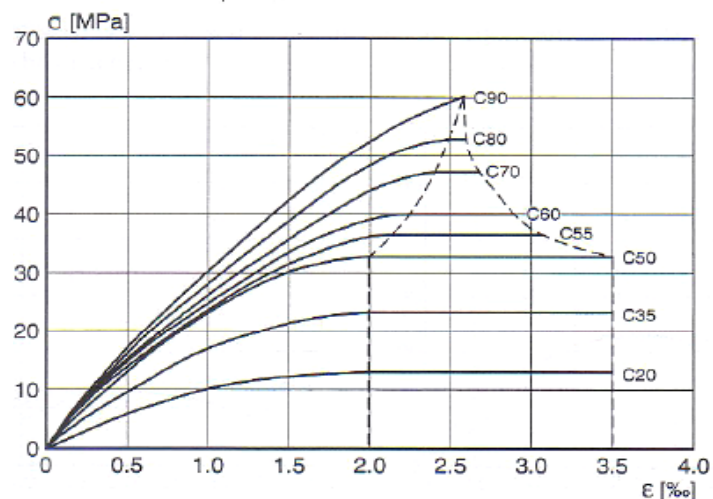
$$\varepsilon_{cu3} (‰) = 2,6 + 35 [(90 - f_{ck})/100]^4$$

for $f_{ck} \geq 50$ MPa otherwise 3,5

Σχ. 6.1: Πιθανές κατανομές ϵ στην Ο.Κ.Α. για παραβολικό-ορθογωνικό ή δι-γραμμικό διάγραμμα σ - ϵ σκυρ/τος



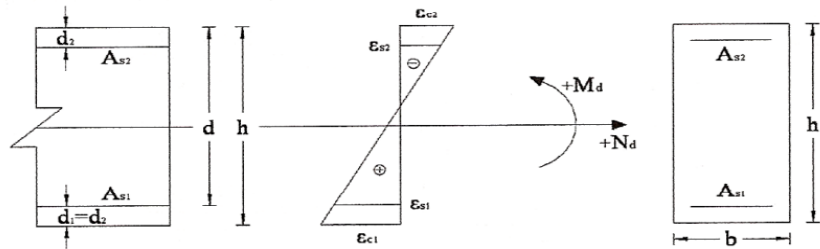
- A - όριο παραμόρφωσης εφελκόμενου χάλυβα
- B - όριο παραμόρφωσης θλιβόμενου σκυροδέματος
- C - όριο παραμόρφωσης σκυροδέματος υπό καθαρή θλίψη



**Νομογραφήματα σχεδιασμού
ορθογωνικών διατομών
υπό κάμψη με ορθή δύναμη
και παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα
σ-ε σκυρ/τος**

Απλή κάμψη - Ορθογωνική διατομή

S220 C16

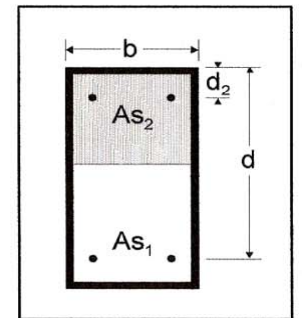
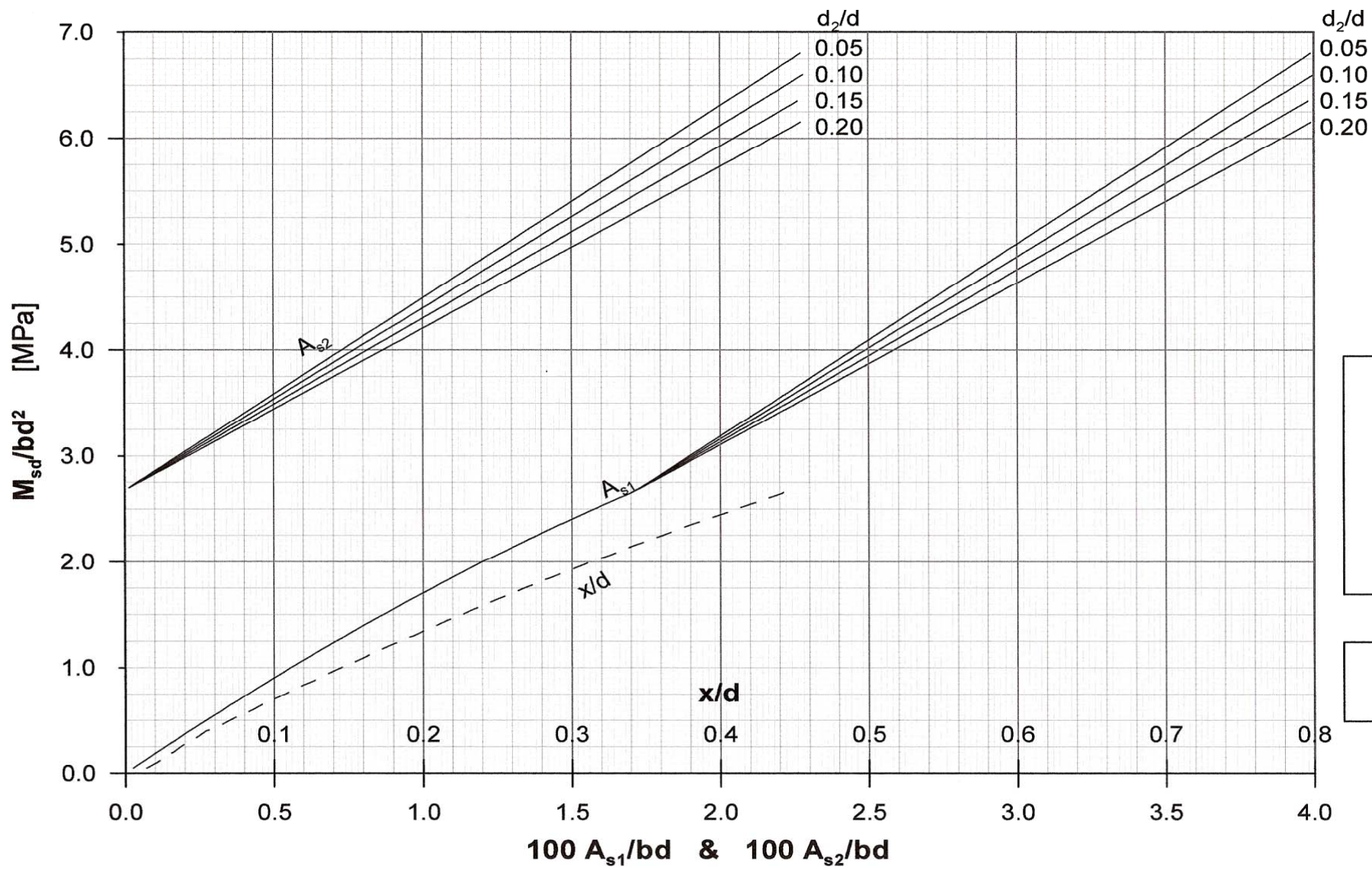


$$\rho_2 = \frac{100 \cdot A_{s2}}{b \cdot d}$$

$$\rho_1 = \frac{100 \cdot A_{s1}}{b \cdot d}$$

$$\xi = \frac{x}{d}$$

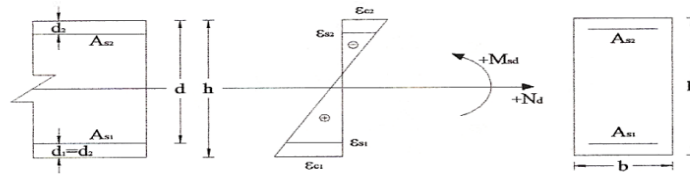
$\frac{M_{sd}}{bd^2}$ [MPa]	$d_2/d = 0.05$			$d_2/d = 0.10$			$d_2/d = 0.15$			$d_2/d = 0.20$		
	ξ	$\rho_1 \%$	$\rho_2 \%$	ξ	$\rho_1 \%$	$\rho_2 \%$	ξ	$\rho_1 \%$	$\rho_2 \%$	ξ	$\rho_1 \%$	$\rho_2 \%$
2,55	0,421	1,616		0,421	1,616		0,421	1,616		0,421	1,616	
2,60	0,432	1,657		0,432	1,657		0,432	1,657		0,432	1,657	
2,65	0,442	1,698		0,442	1,698		0,442	1,698		0,442	1,698	
2,70	0,448	1,732	0,014	0,448	1,733	0,014	0,448	1,734	0,015	0,448	1,735	0,016
2,75	0,448	1,760	0,041	0,448	1,762	0,043	0,448	1,765	0,046	0,448	1,768	0,049
2,80	0,448	1,787	0,069	0,448	1,791	0,072	0,448	1,795	0,077	0,448	1,800	0,081
2,85	0,448	1,815	0,096	0,448	1,820	0,101	0,448	1,826	0,107	0,448	1,833	0,114
2,90	0,448	1,842	0,124	0,448	1,849	0,130	0,448	1,857	0,138	0,448	1,866	0,147
2,95	0,448	1,870	0,151	0,448	1,878	0,159	0,448	1,888	0,169	0,448	1,898	0,179
3,00	0,448	1,897	0,179	0,448	1,907	0,189	0,448	1,918	0,200	0,448	1,931	0,212
3,05	0,448	1,925	0,206	0,448	1,936	0,218	0,448	1,949	0,230	0,448	1,964	0,245
3,10	0,448	1,952	0,234	0,448	1,965	0,247	0,448	1,980	0,261	0,448	1,996	0,277
3,15	0,448	1,980	0,261	0,448	1,994	0,276	0,448	2,011	0,292	0,448	2,029	0,310
3,20	0,448	2,007	0,289	0,448	2,024	0,305	0,448	2,041	0,323	0,448	2,062	0,343
3,25	0,448	2,035	0,316	0,448	2,053	0,334	0,448	2,072	0,353	0,448	2,094	0,375
3,30	0,448	2,062	0,344	0,448	2,082	0,363	0,448	2,103	0,384	0,448	2,127	0,408
3,35	0,448	2,090	0,371	0,448	2,111	0,392	0,448	2,134	0,415	0,448	2,160	0,441
3,40	0,448	2,118	0,399	0,448	2,140	0,421	0,448	2,164	0,446	0,448	2,192	0,473
3,45	0,448	2,145	0,426	0,448	2,169	0,450	0,448	2,195	0,476	0,448	2,225	0,506
3,50	0,448	2,173	0,454	0,448	2,198	0,479	0,448	2,226	0,507	0,448	2,258	0,539
3,55	0,448	2,200	0,481	0,448	2,227	0,508	0,448	2,257	0,538	0,448	2,290	0,571
3,60	0,448	2,228	0,509	0,448	2,256	0,537	0,448	2,287	0,569	0,448	2,323	0,604
3,65	0,448	2,255	0,536	0,448	2,285	0,566	0,448	2,318	0,599	0,448	2,356	0,637
3,70	0,448	2,283	0,564	0,448	2,314	0,595	0,448	2,349	0,630	0,448	2,388	0,669
3,75	0,448	2,310	0,591	0,448	2,343	0,624	0,448	2,380	0,661	0,448	2,421	0,702
3,80	0,448	2,338	0,619	0,448	2,372	0,653	0,448	2,410	0,692	0,448	2,454	0,735
3,85	0,448	2,365	0,646	0,448	2,401	0,682	0,448	2,441	0,722	0,448	2,486	0,767
3,90	0,448	2,393	0,674	0,448	2,430	0,711	0,448	2,472	0,753	0,448	2,519	0,800
3,95	0,448	2,420	0,701	0,448	2,459	0,740	0,448	2,503	0,784	0,448	2,552	0,833
4,00	0,448	2,448	0,729	0,448	2,488	0,769	0,448	2,533	0,815	0,448	2,584	0,865



S 220
C 16

Απλή κάμψη - Ορθογωνική διατομή
Πίνακες σχεδιασμού με μηχανικά ποσοστά οπλισμού

S220

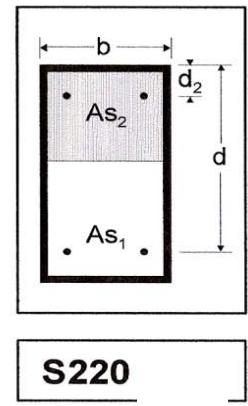
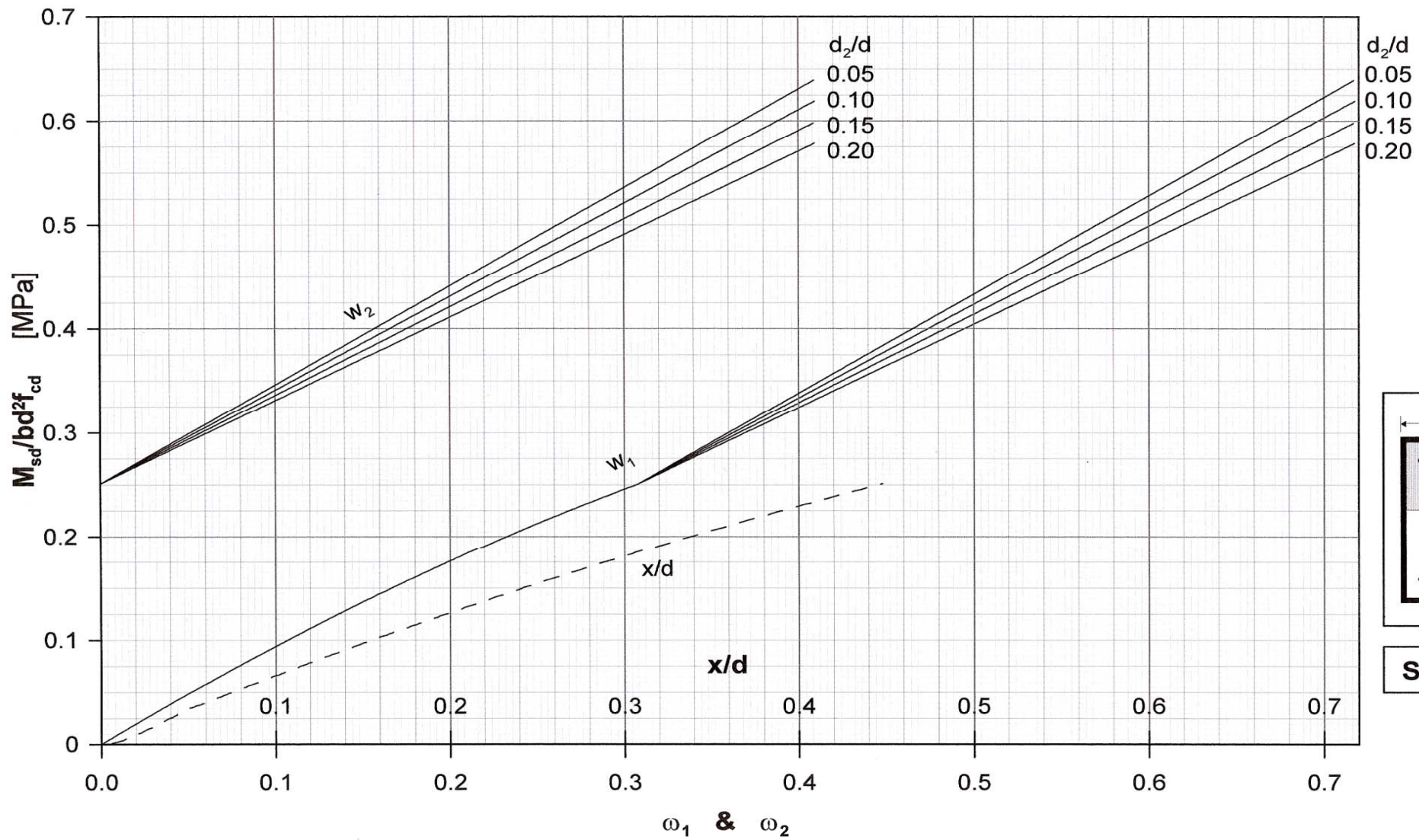


$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\omega_2 = \frac{A_{s2}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

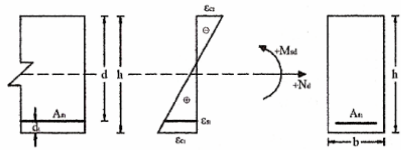
$$\xi = \frac{x}{d}$$

$\frac{M_{sd}}{bd^2}$ [MPa]	$d_2/d = 0.05$			$d_2/d = 0.10$			$d_2/d = 0.15$			$d_2/d = 0.20$		
	ξ	ω_1 %	ω_2 %	ξ	ω_1 %	ω_2 %	ξ	ω_1 %	ω_2 %	ξ	ω_1 %	ω_2 %
0.551	0.448	0.6242	0.3160	0.448	0.6418	0.3335	0.448	0.6614	0.3532	0.448	0.6835	0.3752
0.552	0.448	0.6253	0.3170	0.448	0.6429	0.3346	0.448	0.6626	0.3543	0.448	0.6847	0.3765
0.553	0.448	0.6264	0.3181	0.448	0.6440	0.3358	0.448	0.6638	0.3555	0.448	0.6860	0.3777
0.554	0.448	0.6274	0.3191	0.448	0.6451	0.3369	0.448	0.6649	0.3567	0.448	0.6872	0.3790
0.555	0.448	0.6285	0.3202	0.448	0.6462	0.3380	0.448	0.6661	0.3579	0.448	0.6885	0.3802
0.556	0.448	0.6295	0.3212	0.448	0.6474	0.3391	0.448	0.6673	0.3590	0.448	0.6897	0.3815
0.557	0.448	0.6306	0.3223	0.448	0.6485	0.3402	0.448	0.6685	0.3602	0.448	0.6910	0.3827
0.558	0.448	0.6316	0.3233	0.448	0.6496	0.3413	0.448	0.6697	0.3614	0.448	0.6922	0.3840
0.559	0.448	0.6327	0.3244	0.448	0.6507	0.3424	0.448	0.6708	0.3626	0.448	0.6935	0.3852
0.560	0.448	0.6337	0.3255	0.448	0.6518	0.3435	0.448	0.6720	0.3637	0.448	0.6947	0.3865
0.561	0.448	0.6348	0.3265	0.448	0.6529	0.3446	0.448	0.6732	0.3649	0.448	0.6960	0.3877
0.562	0.448	0.6358	0.3276	0.448	0.6540	0.3458	0.448	0.6744	0.3661	0.448	0.6972	0.3890
0.563	0.448	0.6369	0.3286	0.448	0.6551	0.3469	0.448	0.6755	0.3673	0.448	0.6985	0.3902
0.564	0.448	0.6379	0.3297	0.448	0.6562	0.3480	0.448	0.6767	0.3684	0.448	0.6997	0.3915
0.565	0.448	0.6390	0.3307	0.448	0.6574	0.3491	0.448	0.6779	0.3696	0.448	0.7010	0.3927
0.566	0.448	0.6400	0.3318	0.448	0.6585	0.3502	0.448	0.6791	0.3708	0.448	0.7022	0.3940
0.567	0.448	0.6411	0.3328	0.448	0.6596	0.3513	0.448	0.6802	0.3720	0.448	0.7035	0.3952
0.568	0.448	0.6421	0.3339	0.448	0.6607	0.3524	0.448	0.6814	0.3732	0.448	0.7047	0.3965
0.569	0.448	0.6432	0.3349	0.448	0.6618	0.3535	0.448	0.6826	0.3743	0.448	0.7060	0.3977
0.570	0.448	0.6442	0.3360	0.448	0.6629	0.3546	0.448	0.6838	0.3755	0.448	0.7072	0.3990
0.571	0.448	0.6453	0.3370	0.448	0.6640	0.3558	0.448	0.6849	0.3767	0.448	0.7085	0.4002
0.572	0.448	0.6464	0.3381	0.448	0.6651	0.3569	0.448	0.6861	0.3779	0.448	0.7097	0.4015
0.573	0.448	0.6474	0.3391	0.448	0.6662	0.3580	0.448	0.6873	0.3790	0.448	0.7110	0.4027
0.574	0.448	0.6485	0.3402	0.448	0.6674	0.3591	0.448	0.6885	0.3802	0.448	0.7122	0.4040
0.575	0.448	0.6495	0.3412	0.448	0.6685	0.3602	0.448	0.6897	0.3814	0.448	0.7135	0.4052
0.576	0.448	0.6506	0.3423	0.448	0.6696	0.3613	0.448	0.6908	0.3826	0.448	0.7147	0.4065
0.577	0.448	0.6516	0.3433	0.448	0.6707	0.3624	0.448	0.6920	0.3837	0.448	0.7160	0.4077
0.578	0.448	0.6527	0.3444	0.448	0.6718	0.3635	0.448	0.6932	0.3849	0.448	0.7172	0.4090
0.579	0.448	0.6537	0.3455	0.448	0.6729	0.3646	0.448	0.6944	0.3861			
0.580	0.448	0.6548	0.3465	0.448	0.6740	0.3658	0.448	0.6955	0.3873			
0.581	0.448	0.6558	0.3476	0.448	0.6751	0.3669	0.448	0.6967	0.3884			
0.582	0.448	0.6569	0.3486	0.448	0.6762	0.3680	0.448	0.6979	0.3896			
0.583	0.448	0.6579	0.3497	0.448	0.6774	0.3691	0.448	0.6991	0.3908			
0.584	0.448	0.6590	0.3507	0.448	0.6785	0.3702	0.448	0.7002	0.3920			
0.585	0.448	0.6600	0.3518	0.448	0.6796	0.3713	0.448	0.7014	0.3932			
0.586	0.448	0.6611	0.3528	0.448	0.6807	0.3724	0.448	0.7026	0.3943			
0.587	0.448	0.6621	0.3539	0.448	0.6818	0.3735	0.448	0.7038	0.3955			
0.588	0.448	0.6632	0.3549	0.448	0.6829	0.3746	0.448	0.7049	0.3967			
0.589	0.448	0.6642	0.3560	0.448	0.6840	0.3758	0.448	0.7061	0.3979			
0.590	0.448	0.6653	0.3570	0.448	0.6851	0.3769	0.448	0.7073	0.3990			



Απλή κάμψη - Ορθογωνική διατομή
Εφελκόμενος οπλισμός

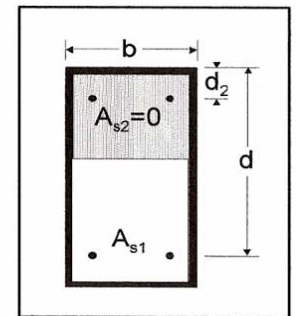
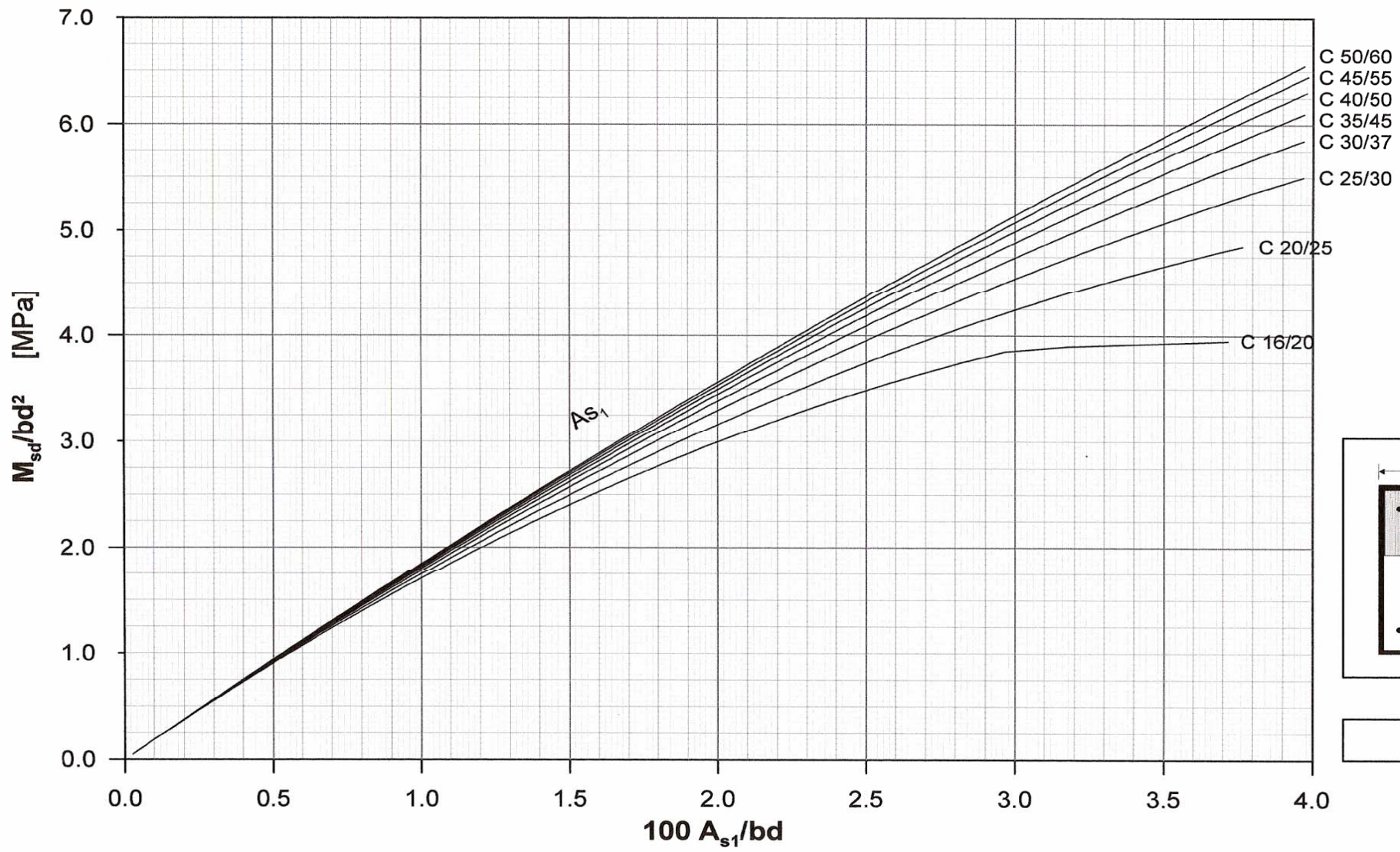
S 220



$$\xi = \frac{x}{d}$$

$$\rho = \frac{100 \cdot A_s}{b \cdot d}$$

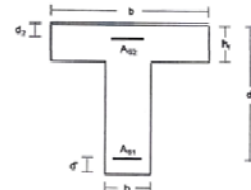
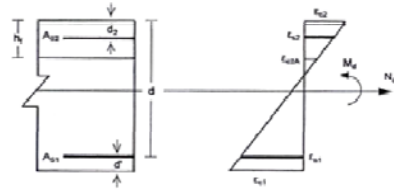
$\frac{M_{sd}}{bd^2}$ [MPa]	C 16/20		C 20/25		C 25/30		C 30/37		C 35/45		C 40/50		C 45/55		C 50/60	
	ξ	$\rho\%$	ξ	$\rho\%$	ξ	$\rho\%$	ξ	$\rho\%$	ξ	$\rho\%$	ξ	$\rho\%$	ξ	$\rho\%$	ξ	$\rho\%$
0,05	0,014	0,026	0,012	0,026	0,011	0,026	0,010	0,026	0,009	0,026	0,008	0,026	0,008	0,026	0,008	0,026
0,10	0,021	0,053	0,018	0,053	0,016	0,053	0,014	0,053	0,013	0,053	0,012	0,053	0,012	0,052	0,011	0,052
0,15	0,026	0,079	0,023	0,079	0,020	0,079	0,018	0,079	0,017	0,079	0,015	0,079	0,014	0,079	0,014	0,079
0,20	0,032	0,106	0,027	0,106	0,024	0,105	0,021	0,105	0,019	0,105	0,018	0,105	0,017	0,105	0,016	0,105
0,25	0,037	0,133	0,032	0,132	0,027	0,132	0,024	0,132	0,022	0,132	0,021	0,132	0,019	0,132	0,018	0,132
0,30	0,043	0,160	0,036	0,159	0,031	0,159	0,027	0,158	0,025	0,158	0,023	0,158	0,021	0,158	0,020	0,158
0,35	0,049	0,187	0,041	0,186	0,035	0,185	0,030	0,185	0,027	0,185	0,025	0,185	0,023	0,185	0,022	0,184
0,40	0,055	0,214	0,045	0,213	0,038	0,212	0,033	0,212	0,030	0,211	0,027	0,211	0,025	0,211	0,024	0,211
0,45	0,063	0,242	0,050	0,240	0,042	0,239	0,036	0,239	0,033	0,238	0,030	0,238	0,027	0,238	0,026	0,237
0,50	0,070	0,269	0,055	0,268	0,045	0,266	0,039	0,266	0,035	0,265	0,032	0,265	0,029	0,264	0,027	0,264
0,55	0,077	0,297	0,062	0,295	0,049	0,293	0,042	0,293	0,038	0,292	0,034	0,291	0,031	0,291	0,029	0,291
0,60	0,085	0,325	0,067	0,323	0,053	0,321	0,045	0,320	0,040	0,319	0,036	0,318	0,033	0,318	0,031	0,317
0,65	0,092	0,353	0,073	0,350	0,058	0,348	0,048	0,347	0,043	0,346	0,039	0,345	0,035	0,345	0,033	0,344
0,70	0,099	0,382	0,079	0,378	0,063	0,376	0,051	0,374	0,045	0,373	0,041	0,372	0,037	0,371	0,035	0,371
0,75	0,107	0,410	0,085	0,406	0,067	0,403	0,055	0,401	0,048	0,400	0,043	0,399	0,039	0,398	0,036	0,398
0,80	0,114	0,439	0,091	0,435	0,072	0,431	0,060	0,429	0,051	0,427	0,045	0,426	0,041	0,425	0,038	0,425
0,85	0,122	0,468	0,097	0,463	0,077	0,459	0,063	0,456	0,053	0,455	0,048	0,453	0,043	0,452	0,040	0,452
0,90	0,130	0,497	0,102	0,491	0,081	0,487	0,067	0,484	0,057	0,482	0,050	0,480	0,045	0,479	0,042	0,479
0,95	0,137	0,527	0,108	0,520	0,086	0,515	0,071	0,512	0,061	0,509	0,052	0,508	0,047	0,507	0,044	0,506
1,00	0,145	0,556	0,114	0,549	0,091	0,543	0,075	0,540	0,064	0,537	0,055	0,535	0,049	0,534	0,045	0,533
1,05	0,153	0,586	0,120	0,578	0,095	0,572	0,079	0,567	0,067	0,565	0,059	0,563	0,051	0,561	0,047	0,560
1,10	0,161	0,616	0,127	0,607	0,100	0,600	0,083	0,596	0,071	0,592	0,062	0,590	0,053	0,588	0,049	0,587
1,15	0,168	0,646	0,133	0,636	0,105	0,629	0,087	0,624	0,074	0,620	0,064	0,618	0,057	0,616	0,051	0,614
1,20	0,176	0,677	0,139	0,666	0,110	0,657	0,091	0,652	0,077	0,648	0,067	0,645	0,060	0,643	0,053	0,641
1,25	0,184	0,708	0,145	0,695	0,114	0,686	0,095	0,680	0,081	0,676	0,070	0,673	0,062	0,671	0,055	0,669
1,30	0,193	0,739	0,151	0,725	0,119	0,715	0,099	0,709	0,084	0,704	0,073	0,701	0,065	0,698	0,058	0,696
1,35	0,201	0,770	0,157	0,755	0,124	0,744	0,102	0,737	0,087	0,732	0,076	0,729	0,067	0,726	0,060	0,724
1,40	0,209	0,801	0,164	0,785	0,129	0,773	0,106	0,766	0,091	0,760	0,079	0,757	0,070	0,754	0,063	0,751
1,45	0,217	0,833	0,170	0,816	0,134	0,803	0,110	0,794	0,094	0,789	0,082	0,785	0,072	0,782	0,065	0,779
1,50	0,226	0,865	0,176	0,846	0,139	0,832	0,114	0,823	0,097	0,817	0,085	0,813	0,075	0,809	0,067	0,807
1,55	0,234	0,898	0,183	0,877	0,144	0,862	0,118	0,852	0,101	0,846	0,088	0,841	0,078	0,837	0,070	0,834
1,60	0,242	0,930	0,189	0,908	0,149	0,892	0,123	0,881	0,104	0,874	0,091	0,869	0,080	0,865	0,072	0,862
1,65	0,251	0,963	0,196	0,939	0,154	0,921	0,127	0,910	0,108	0,903	0,094	0,897	0,083	0,893	0,074	0,890
1,70	0,260	0,996	0,202	0,970	0,159	0,951	0,131	0,940	0,111	0,932	0,097	0,926	0,085	0,921	0,077	0,918
1,75	0,268	1,030	0,209	1,002	0,164	0,982	0,135	0,969	0,114	0,961	0,099	0,954	0,088	0,950	0,079	0,946



S 220

ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΣ

Υπό μοναξονική προέχουσα κάμψη
Παραβολικό διάγραμμα $\epsilon_{s1} = 67.5 \rho_{100}$



S500
C16-C35
 $h_f/d=0.05$

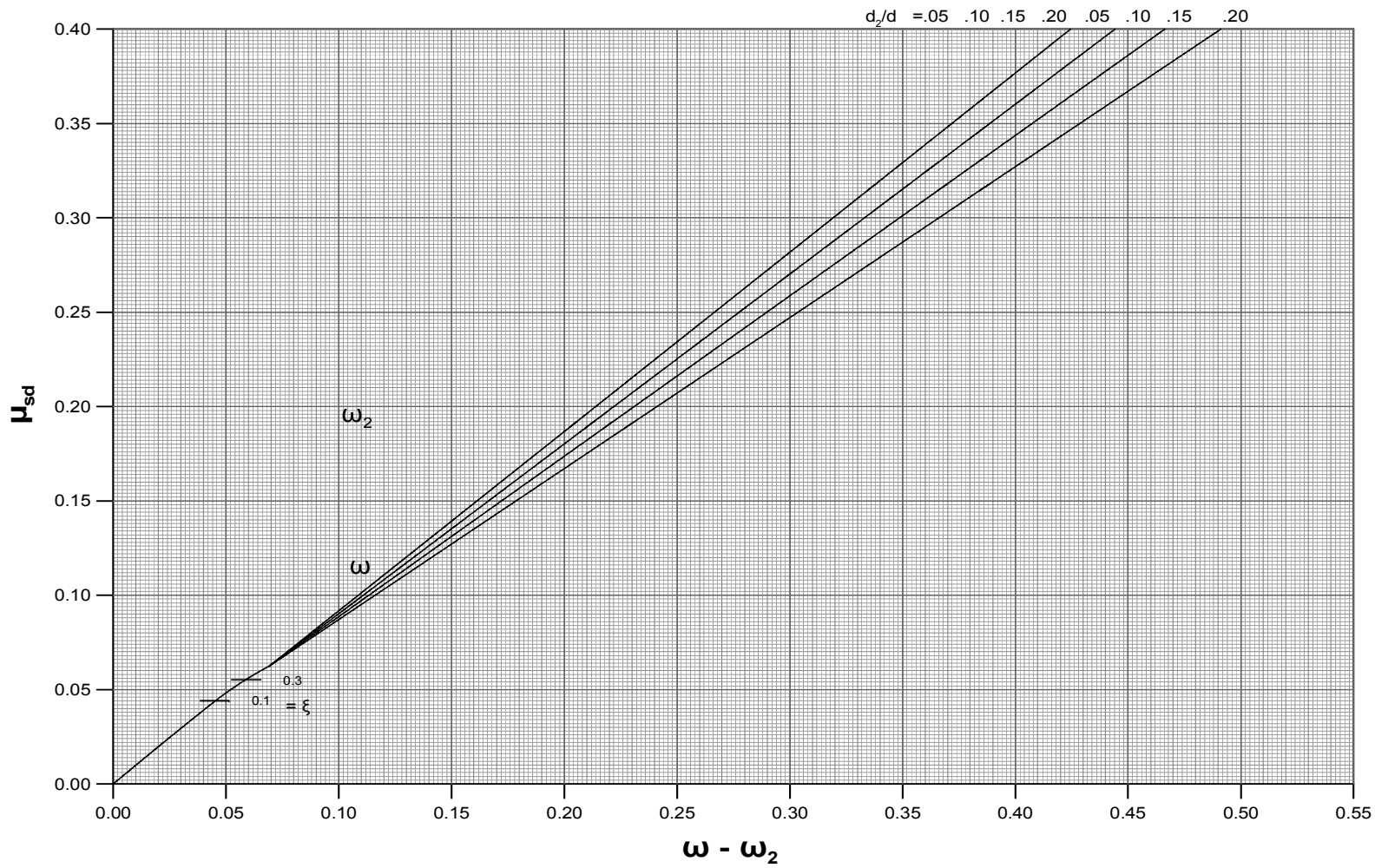
$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} + \frac{N_d}{f_{cd}}$$

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

μ_{sd}	d_2/d	$b/b_w = 10$			$b/b_w = 5$			$b/b_w = 3$			$b/b_w = 2$			$b/b_w = 1$		
		ξ	ω	ω_2	ξ	ω	ω_2	ξ	ω	ω_2	ξ	ω	ω_2	ξ	ω	ω_2
0.02		0.034	0.020		0.034	0.020		0.034	0.020		0.034	0.020		0.034	0.020	
0.04		0.068	0.041		0.064	0.041		0.063	0.041		0.062	0.041		0.060	0.041	
0.06		0.395	0.065		0.214	0.063		0.151	0.063		0.120	0.069		0.081	0.062	
0.08					0.411	0.090		0.256	0.087		0.187	0.088		0.123	0.084	
0.10								0.374	0.114		0.258	0.110		0.155	0.107	
0.12											0.335	0.137		0.189	0.130	
0.14											0.420	0.166		0.224	0.154	
0.16														0.261	0.179	
0.18														0.299	0.206	
0.20														0.338	0.233	
0.22														0.390	0.261	
0.24														0.423	0.291	

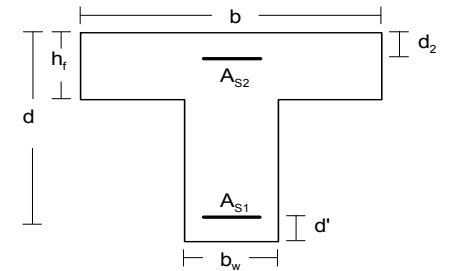
Χρήση διπλού σπλισμού

0.08	0.05	0.448	0.088	0.019												
0.08	0.10	0.448	0.089	0.020												
0.08	0.15	0.448	0.090	0.021												
0.08	0.20	0.448	0.091	0.025												
0.10	0.05	0.448	0.109	0.040	0.448	0.113	0.018									
0.10	0.10	0.448	0.111	0.042	0.448	0.114	0.019									
0.10	0.15	0.448	0.113	0.044	0.448	0.115	0.020									
0.10	0.20	0.448	0.116	0.053	0.448	0.117	0.023									
0.12	0.05	0.448	0.130	0.061	0.448	0.134	0.039	0.448	0.140	0.009						
0.12	0.10	0.448	0.133	0.064	0.448	0.136	0.041	0.448	0.141	0.010						
0.12	0.15	0.448	0.137	0.068	0.448	0.139	0.043	0.448	0.141	0.010						
0.12	0.20	0.448	0.141	0.081	0.448	0.142	0.051	0.448	0.142	0.012						
0.14	0.05	0.448	0.151	0.082	0.448	0.155	0.060	0.448	0.161	0.030						
0.14	0.10	0.448	0.155	0.086	0.448	0.159	0.063	0.448	0.163	0.032						
0.14	0.15	0.448	0.160	0.091	0.448	0.162	0.067	0.448	0.165	0.034						
0.14	0.20	0.448	0.166	0.109	0.448	0.167	0.090	0.448	0.167	0.040						
0.16	0.05	0.448	0.172	0.103	0.448	0.176	0.081	0.448	0.182	0.051	0.448	0.190	0.015			
0.16	0.10	0.448	0.178	0.108	0.448	0.181	0.085	0.448	0.185	0.054	0.448	0.191	0.015			
0.16	0.15	0.448	0.184	0.115	0.448	0.186	0.090	0.448	0.188	0.057	0.448	0.192	0.016			
0.16	0.20	0.448	0.191	0.137	0.448	0.192	0.108	0.448	0.192	0.068	0.448	0.193	0.019			
0.18	0.05	0.448	0.193	0.124	0.448	0.197	0.102	0.448	0.203	0.072	0.448	0.211	0.035			
0.18	0.10	0.448	0.200	0.131	0.448	0.203	0.107	0.448	0.207	0.076	0.448	0.213	0.038			
0.18	0.15	0.448	0.207	0.138	0.448	0.209	0.114	0.448	0.212	0.081	0.448	0.215	0.040			
0.18	0.20	0.448	0.216	0.165	0.448	0.217	0.136	0.448	0.217	0.096	0.448	0.218	0.048			
0.20	0.05	0.448	0.214	0.145	0.448	0.218	0.123	0.448	0.225	0.093	0.448	0.232	0.057			
0.20	0.10	0.448	0.222	0.153	0.448	0.225	0.130	0.448	0.230	0.099	0.448	0.235	0.060			
0.20	0.15	0.448	0.231	0.162	0.448	0.233	0.137	0.448	0.236	0.104	0.448	0.239	0.063			
0.20	0.20	0.448	0.241	0.193	0.448	0.242	0.164	0.448	0.242	0.124	0.448	0.243	0.076			
0.22	0.05	0.448	0.235	0.166	0.448	0.240	0.144	0.448	0.246	0.114	0.448	0.253	0.078			
0.22	0.10	0.448	0.244	0.175	0.448	0.248	0.152	0.448	0.252	0.121	0.448	0.257	0.082			
0.22	0.15	0.448	0.256	0.185	0.448	0.256	0.161	0.448	0.259	0.128	0.448	0.262	0.087			
0.22	0.20	0.448	0.266	0.221	0.448	0.267	0.192	0.448	0.267	0.153	0.448	0.268	0.104			
0.24	0.05	0.448	0.256	0.187	0.448	0.261	0.165	0.448	0.267	0.136	0.448	0.274	0.099			
0.24	0.10	0.448	0.266	0.197	0.448	0.270	0.174	0.448	0.274	0.143	0.448	0.280	0.104			
0.24	0.15	0.448	0.278	0.209	0.448	0.280	0.184	0.448	0.283	0.151	0.448	0.285	0.110			
0.24	0.20	0.448	0.291	0.249	0.448	0.292	0.220	0.448	0.292	0.181	0.448	0.293	0.132			



$$A_{S1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

$$A_{S2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$



S500
 $h_f/d=0.05$ $b/b_w=10$

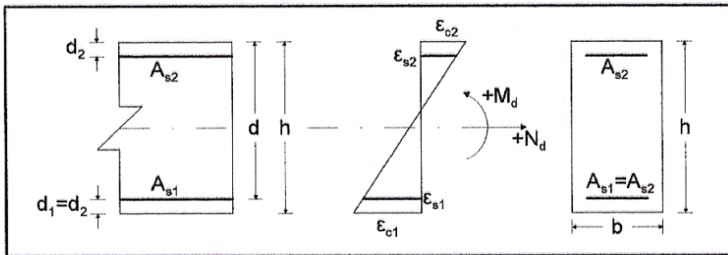
Αλληλεπίδραση - Ορθογωνική διατομή
Πίνακες σχεδιασμού - ελέγχου διατομής

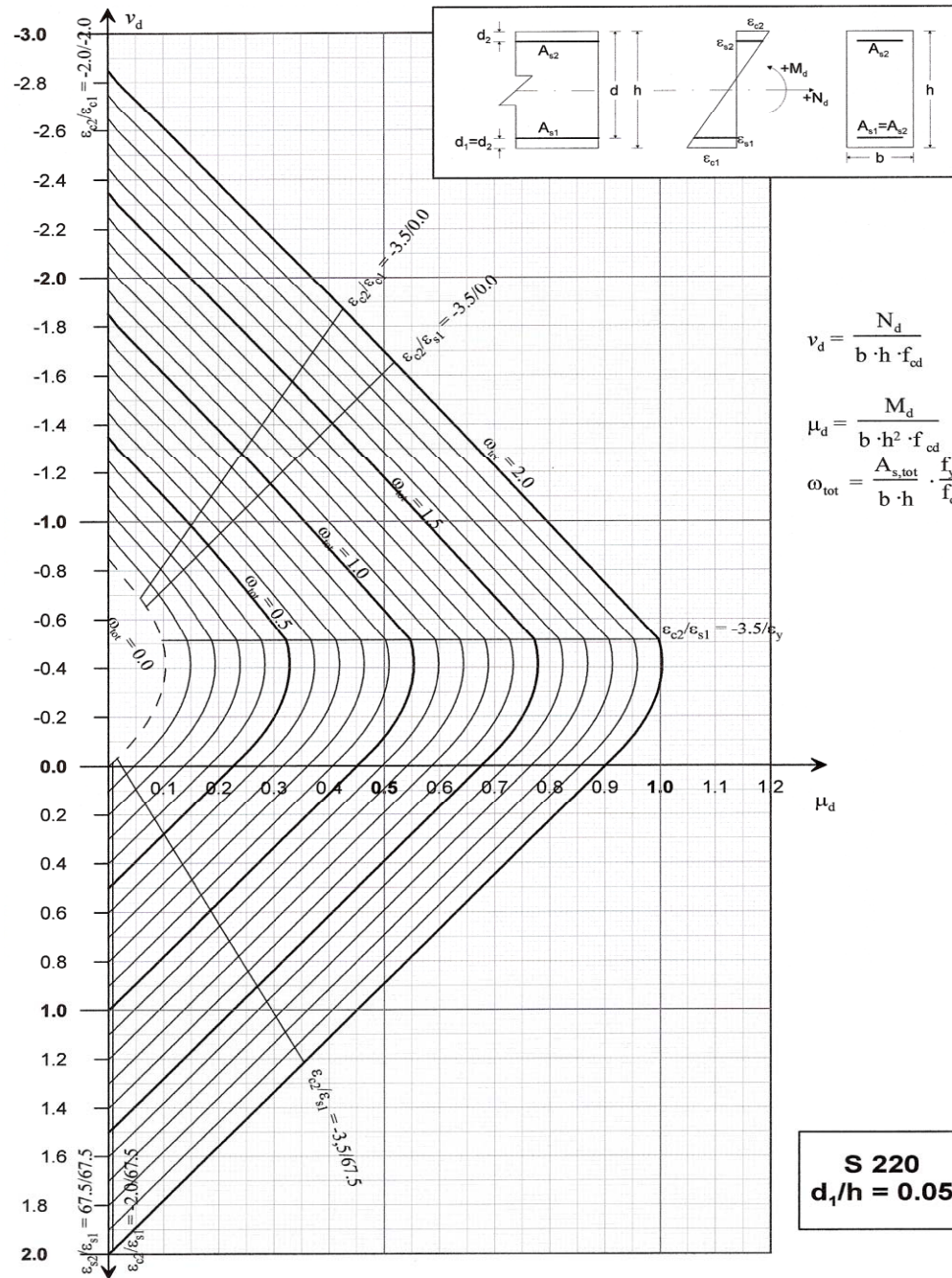
$$v_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}, \mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}, \omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h}, \xi_1 = \frac{x}{h}$$

S 220

d₁/h = 0.05

μ _d	v _d =2.00		v _d =1.90		v _d =1.80		v _d =1.70		v _d =1.60		v _d =1.50		v _d =1.40		v _d =1.30		v _d =1.20		v _d =1.10		v _d =1.00		v _d =0.90		v _d =0.80		v _d =0.70						
	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}	ξ	ω _{tot}					
0,000	0,037	2,000	0,037	1,900	0,037	1,800	0,037	1,700	0,037	1,600	0,037	1,500	0,037	1,400	0,037	1,300	0,037	1,200	0,037	1,100	0,037	1,000	0,037	0,900	0,037	0,800	0,037	0,700					
0,025			0,037	1,954	0,037	1,854	0,038	1,754	0,038	1,654	0,038	1,554	0,038	1,454	0,038	1,354	0,038	1,254	0,038	1,154	0,038	1,054	0,038	0,954	0,038	0,854	0,038	0,754					
0,050					0,038	1,909	0,038	1,809	0,038	1,709	0,038	1,609	0,039	1,509	0,039	1,409	0,039	1,309	0,039	1,209	0,039	1,109	0,039	1,009	0,039	0,909	0,039	0,809	0,040	0,809			
0,075					0,039	1,965	0,039	1,865	0,039	1,765	0,039	1,665	0,039	1,565	0,040	1,465	0,040	1,365	0,040	1,265	0,040	1,165	0,040	1,065	0,040	0,965	0,041	0,865	0,041	0,865			
0,100							0,040	1,920	0,040	1,820	0,040	1,720	0,040	1,620	0,040	1,520	0,041	1,420	0,041	1,320	0,041	1,220	0,041	1,120	0,042	1,020	0,042	0,920	0,042	0,920			
0,125							0,040	1,976	0,041	1,876	0,041	1,776	0,041	1,676	0,041	1,576	0,041	1,476	0,042	1,376	0,042	1,276	0,042	1,176	0,043	1,076	0,043	0,976	0,044	0,976			
0,150									0,041	1,931	0,041	1,831	0,042	1,731	0,042	1,631	0,042	1,531	0,043	1,431	0,043	1,331	0,043	1,231	0,043	1,131	0,044	1,031	0,045	1,031			
0,175									0,042	1,987	0,042	1,887	0,042	1,787	0,043	1,687	0,043	1,587	0,043	1,487	0,044	1,387	0,044	1,287	0,045	1,187	0,046	1,087	0,046	1,087			
0,200											0,043	1,942	0,043	1,842	0,043	1,742	0,044	1,642	0,044	1,542	0,045	1,442	0,045	1,342	0,046	1,242	0,046	1,142	0,046	1,142			
0,225											0,043	1,998	0,043	1,898	0,043	1,798	0,044	1,698	0,044	1,598	0,045	1,498	0,045	1,398	0,046	1,298	0,046	1,198	0,047	1,198			
0,250													0,044	1,953	0,044	1,853	0,045	1,753	0,045	1,653	0,046	1,553	0,046	1,453	0,047	1,353	0,048	1,253	0,048	1,253			
0,275														0,045	1,909	0,045	1,809	0,046	1,709	0,046	1,609	0,046	1,509	0,047	1,409	0,048	1,309	0,048	1,309	0,048	1,309		
0,300															0,045	1,965	0,046	1,865	0,046	1,764	0,047	1,664	0,048	1,564	0,048	1,464	0,049	1,364	0,049	1,364			
0,325																	0,046	1,920	0,047	1,820	0,047	1,720	0,048	1,620	0,049	1,520	0,050	1,420	0,050	1,420			
0,350																		0,047	1,976	0,047	1,876	0,048	1,776	0,049	1,676	0,049	1,576	0,050	1,476	0,050	1,476		
0,375																				0,048	1,931	0,048	1,831	0,049	1,731	0,050	1,631	0,051	1,531	0,051	1,531		
0,400																				0,048	1,987	0,049	1,887	0,049	1,787	0,050	1,687	0,051	1,587	0,051	1,587		
0,425																					0,049	1,942	0,050	1,842	0,050	1,742	0,051	1,642	0,051	1,642	0,051	1,642	
0,450																					0,050	1,998	0,050	1,898	0,051	1,798	0,051	1,698	0,052	1,598	0,052	1,598	
0,475																						0,051	1,953	0,051	1,853	0,051	1,753	0,052	1,653	0,052	1,653		
0,500																										0,052	1,909	0,053	1,809	0,053	1,809		
0,525																										0,052	1,964	0,053	1,864	0,053	1,864		
0,550																												0,053	1,920	0,053	1,920		
0,575																													0,054	1,976	0,054	1,976	
0,600																																	
0,625																																	
0,650																																	
0,675																																	
0,700																																	
0,725																																	
0,750																																	
0,775																																	
0,800																																	
0,825																																	
0,850																																	
0,875																																	
0,900																																	
0,925																																	
0,950																																	
0,975																																	
1,000																																	



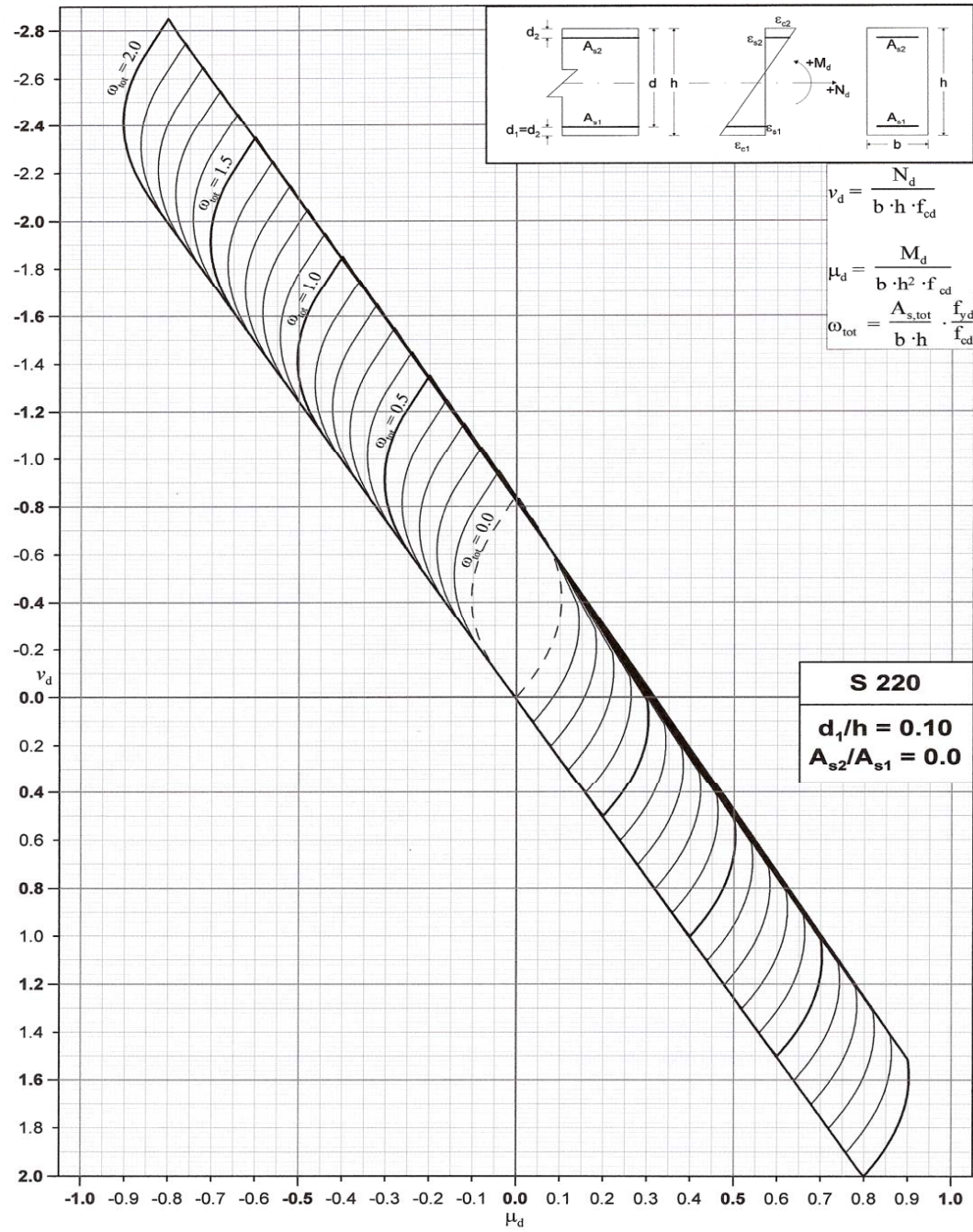


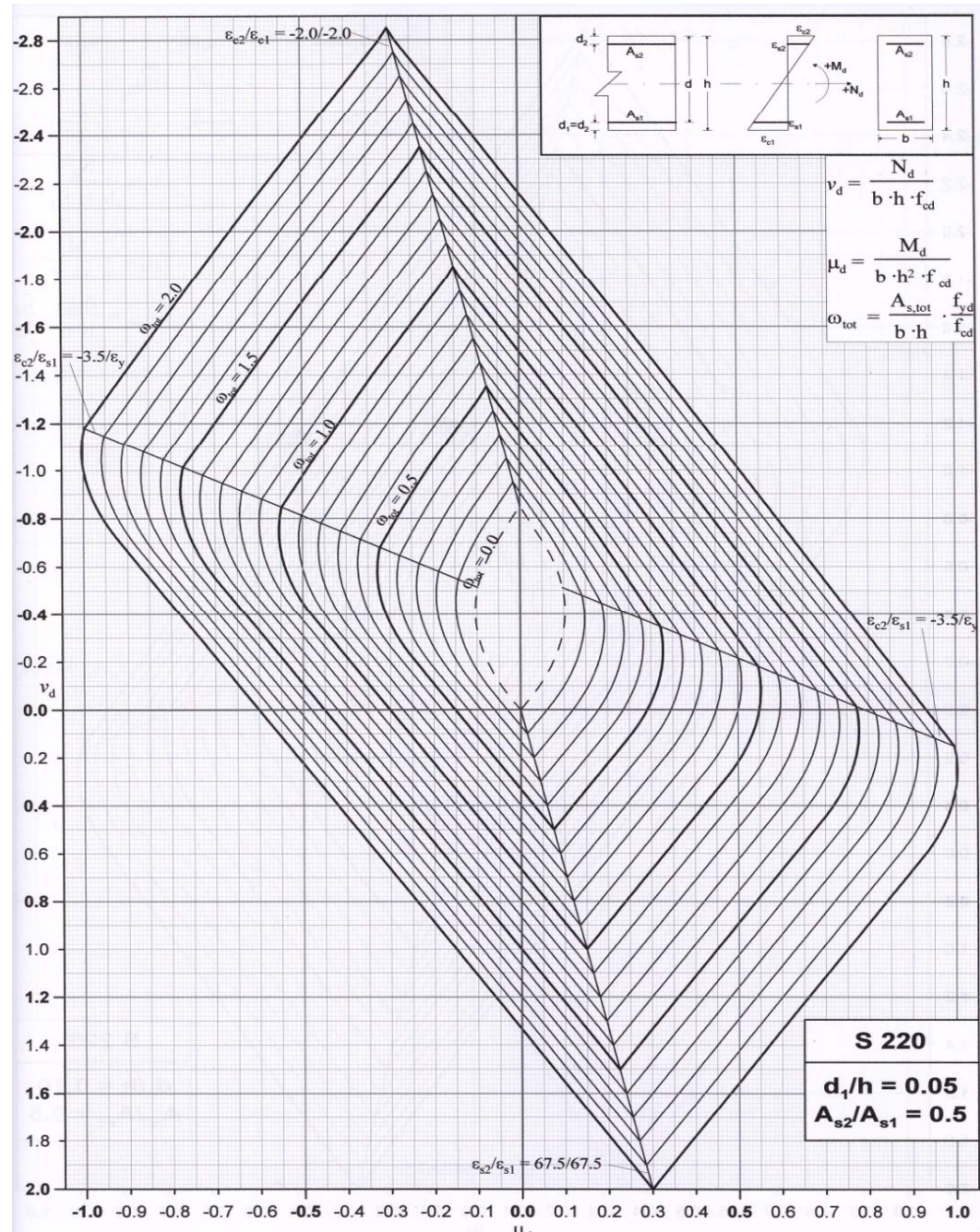
$$v_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

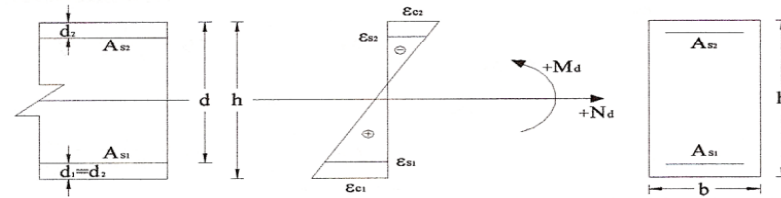
S 220
 $d_1/h = 0.05$





Απλή κάμψη - Ορθογωνική διατομή
Πίνακες ελέγχου διατομής

S220 d₂/d=0.05

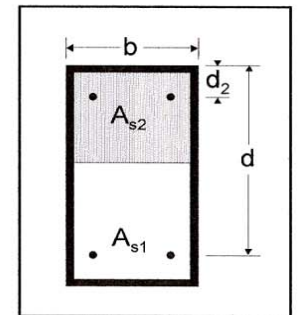
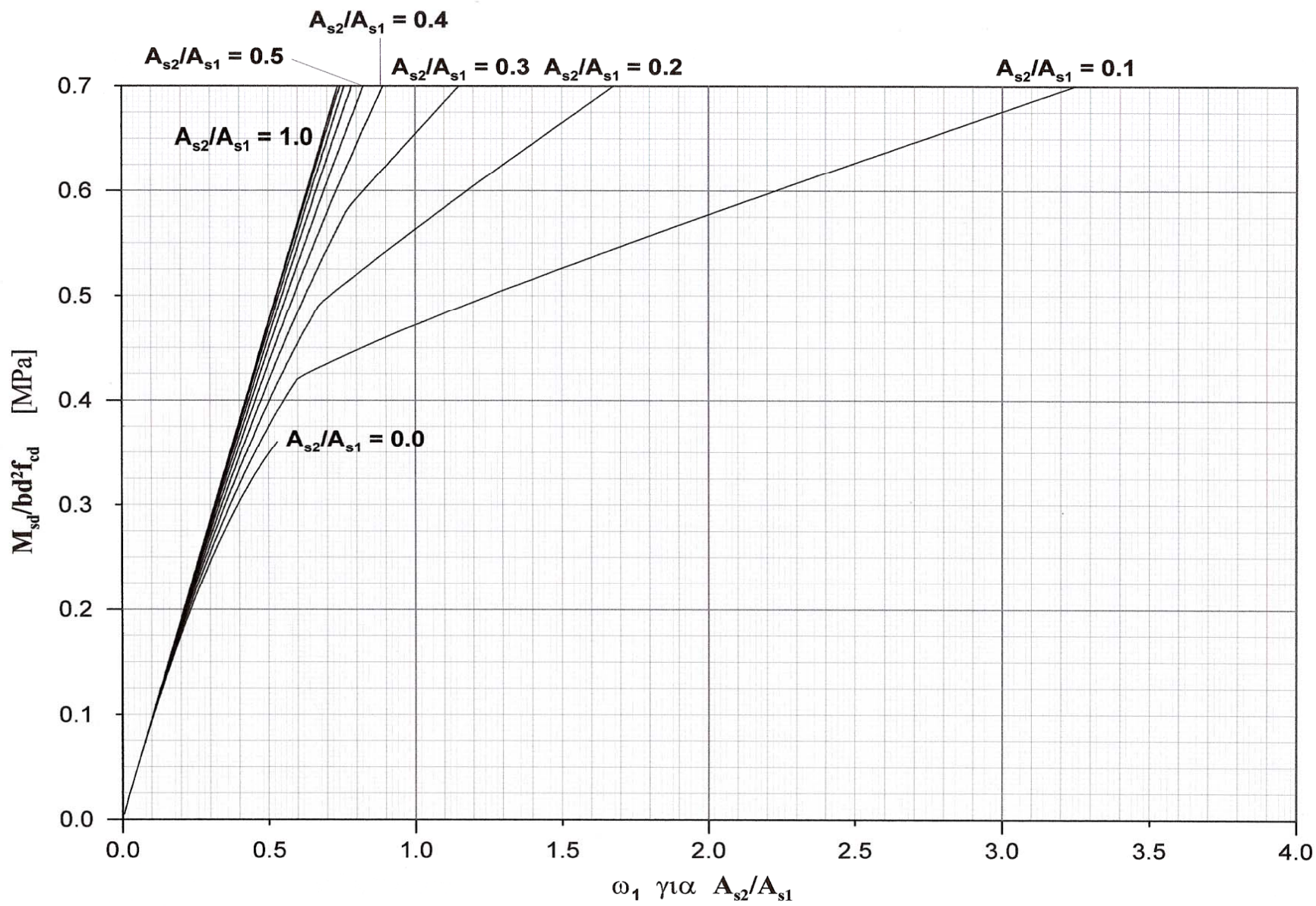


$$\omega_2 = \frac{A_{s2} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = \frac{x}{d}$$

$\frac{M_{sd}}{bd^2}$ [MPa]	$A_{s2}/A_{s1} = 0.0$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.1$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.2$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.3$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.4$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.5$		$A_{s2}/A_{s1} = 1.0$	
	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1
0,005	0,014	0,005	0,015	0,005	0,016	0,005	0,017	0,005	0,017	0,005	0,018	0,005	0,021	0,005
0,010	0,021	0,010	0,023	0,010	0,024	0,010	0,025	0,010	0,026	0,010	0,027	0,010	0,033	0,010
0,015	0,027	0,015	0,029	0,015	0,031	0,015	0,033	0,015	0,034	0,015	0,036	0,015	0,040	0,015
0,020	0,033	0,020	0,036	0,020	0,038	0,020	0,039	0,020	0,040	0,020	0,041	0,020	0,044	0,020
0,025	0,039	0,025	0,041	0,025	0,043	0,025	0,044	0,025	0,044	0,025	0,045	0,025	0,047	0,025
0,030	0,045	0,031	0,046	0,031	0,047	0,031	0,047	0,031	0,048	0,031	0,048	0,031	0,049	0,031
0,035	0,051	0,036	0,051	0,036	0,051	0,036	0,051	0,036	0,051	0,036	0,051	0,036	0,050	0,036
0,040	0,060	0,041	0,057	0,041	0,054	0,041	0,054	0,041	0,053	0,041	0,053	0,041	0,052	0,041
0,045	0,067	0,046	0,062	0,046	0,059	0,046	0,058	0,046	0,056	0,046	0,055	0,046	0,053	0,046
0,050	0,075	0,052	0,068	0,052	0,063	0,052	0,061	0,052	0,059	0,052	0,057	0,052	0,054	0,052
0,055	0,083	0,057	0,074	0,057	0,067	0,057	0,063	0,057	0,061	0,057	0,059	0,057	0,054	0,057
0,060	0,091	0,062	0,081	0,062	0,072	0,062	0,066	0,062	0,063	0,062	0,061	0,062	0,056	0,062
0,065	0,098	0,068	0,088	0,068	0,078	0,067	0,069	0,067	0,065	0,067	0,062	0,067	0,057	0,067
0,070	0,106	0,073	0,095	0,073	0,085	0,073	0,074	0,073	0,067	0,073	0,064	0,073	0,057	0,073
0,075	0,114	0,079	0,103	0,078	0,091	0,078	0,079	0,078	0,068	0,078	0,065	0,078	0,058	0,078
0,080	0,123	0,084	0,110	0,084	0,097	0,084	0,085	0,083	0,073	0,083	0,066	0,083	0,058	0,083
0,085	0,131	0,090	0,117	0,089	0,103	0,089	0,090	0,089	0,077	0,088	0,068	0,088	0,059	0,088
0,090	0,139	0,096	0,124	0,095	0,110	0,094	0,096	0,094	0,082	0,094	0,069	0,094	0,059	0,094
0,095	0,147	0,101	0,131	0,100	0,116	0,100	0,101	0,099	0,086	0,099	0,072	0,099	0,060	0,099
0,100	0,155	0,107	0,139	0,106	0,122	0,105	0,107	0,105	0,091	0,104	0,076	0,104	0,060	0,104
0,105	0,164	0,113	0,146	0,112	0,129	0,111	0,112	0,110	0,096	0,110	0,080	0,110	0,060	0,109
0,110	0,172	0,118	0,153	0,117	0,135	0,116	0,118	0,116	0,100	0,115	0,083	0,115	0,061	0,115
0,115	0,181	0,124	0,161	0,123	0,142	0,122	0,123	0,121	0,105	0,121	0,087	0,120	0,061	0,120
0,120	0,189	0,130	0,168	0,129	0,148	0,128	0,129	0,127	0,110	0,126	0,091	0,126	0,061	0,125
0,125	0,198	0,136	0,176	0,135	0,155	0,133	0,134	0,132	0,115	0,131	0,095	0,131	0,061	0,130
0,130	0,207	0,142	0,184	0,140	0,161	0,139	0,140	0,138	0,119	0,137	0,099	0,136	0,062	0,136
0,135	0,216	0,148	0,191	0,146	0,168	0,145	0,146	0,143	0,124	0,142	0,103	0,142	0,062	0,141
0,140	0,224	0,154	0,199	0,152	0,175	0,150	0,151	0,149	0,129	0,148	0,107	0,147	0,062	0,146
0,145	0,233	0,161	0,207	0,158	0,181	0,156	0,157	0,154	0,134	0,153	0,111	0,152	0,062	0,152
0,150	0,242	0,167	0,214	0,164	0,188	0,162	0,163	0,160	0,138	0,159	0,115	0,158	0,062	0,157
0,155	0,252	0,173	0,222	0,170	0,195	0,168	0,168	0,166	0,143	0,164	0,119	0,163	0,063	0,162
0,160	0,261	0,179	0,230	0,176	0,202	0,173	0,174	0,171	0,148	0,170	0,122	0,169	0,063	0,167
0,165	0,270	0,186	0,238	0,182	0,208	0,179	0,180	0,177	0,153	0,175	0,126	0,174	0,063	0,173
0,170	0,280	0,192	0,246	0,188	0,215	0,185	0,186	0,183	0,158	0,181	0,130	0,179	0,063	0,178
0,175	0,289	0,199	0,254	0,194	0,222	0,191	0,192	0,188	0,162	0,186	0,134	0,185	0,063	0,183
0,180	0,299	0,206	0,263	0,201	0,229	0,197	0,197	0,194	0,167	0,192	0,138	0,190	0,063	0,188
0,185	0,308	0,212	0,271	0,207	0,236	0,203	0,203	0,200	0,172	0,197	0,142	0,196	0,063	0,194
0,190	0,318	0,219	0,279	0,213	0,243	0,209	0,209	0,206	0,177	0,203	0,146	0,201	0,064	0,199
0,195	0,328	0,226	0,287	0,220	0,250	0,215	0,215	0,211	0,182	0,209	0,150	0,207	0,064	0,204
0,200	0,338	0,233	0,296	0,226	0,257	0,221	0,221	0,217	0,187	0,214	0,154	0,212	0,064	0,209
0,205	0,348	0,240	0,304	0,233	0,264	0,227	0,227	0,223	0,192	0,220	0,158	0,218	0,064	0,215
0,210	0,359	0,247	0,313	0,239	0,271	0,233	0,233	0,229	0,197	0,226	0,162	0,223	0,064	0,220
0,215	0,369	0,254	0,322	0,246	0,279	0,240	0,239	0,235	0,202	0,231	0,166	0,229	0,064	0,225
0,220	0,380	0,261	0,330	0,252	0,286	0,246	0,245	0,241	0,207	0,237	0,170	0,234	0,064	0,230
0,225	0,390	0,269	0,339	0,259	0,293	0,252	0,251	0,247	0,212	0,243	0,174	0,240	0,064	0,236
0,230	0,401	0,276	0,348	0,266	0,300	0,258	0,257	0,253	0,217	0,248	0,178	0,245	0,064	0,241
0,235	0,412	0,284	0,357	0,273	0,308	0,265	0,263	0,259	0,222	0,254	0,182	0,251	0,064	0,246
0,240	0,423	0,291	0,366	0,280	0,315	0,271	0,269	0,265	0,227	0,260	0,186	0,256	0,065	0,252
0,245	0,435	0,299	0,375	0,287	0,323	0,278	0,275	0,271	0,232	0,266	0,190	0,262	0,065	0,257
0,250	0,446	0,307	0,384	0,294	0,330	0,284	0,282	0,277	0,237	0,271	0,194	0,268	0,065	0,262



S 220
 $d_1/d=0.05$