Οριακή Κατάσταση Αστοχίας έναντι Κάμψης με ή χωρίς ορθή δύναμη

ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΠΛΟΥΤΑΡΧΟΣ
Δρ. Πολ. Μηχανικός
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Οριακή Κατάσταση Αστοχίας έναντι κάμψης με ή χωρίς ορθή δύναμη [EN 1992-1-1 §6.1]

Σχεδιασμός διατομών στην ΟΚΑ σε

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

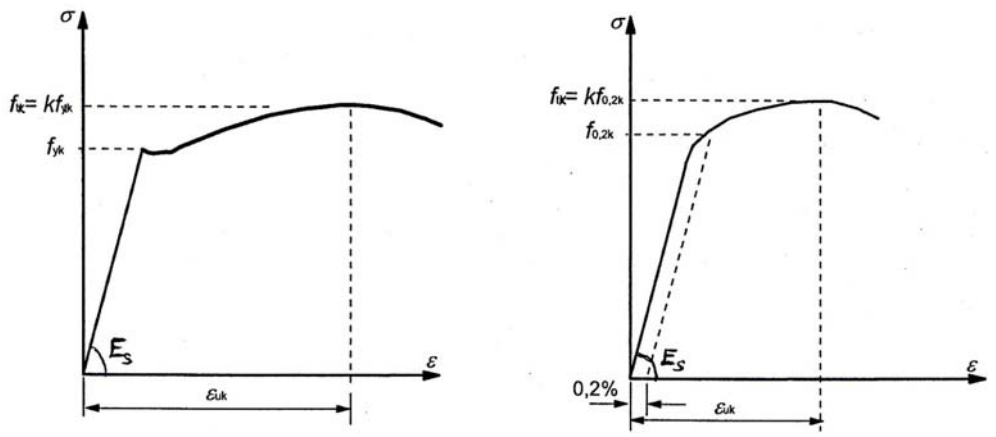
Χρειάζονται τα ακόλουθα:

- § 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 σ_c-ε_c της § 3.1.7.
- Οι τάσεις στον οπλισμό λαμβάνονται από το διάγραμμα σχεδιασμού σ_s-ε_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]

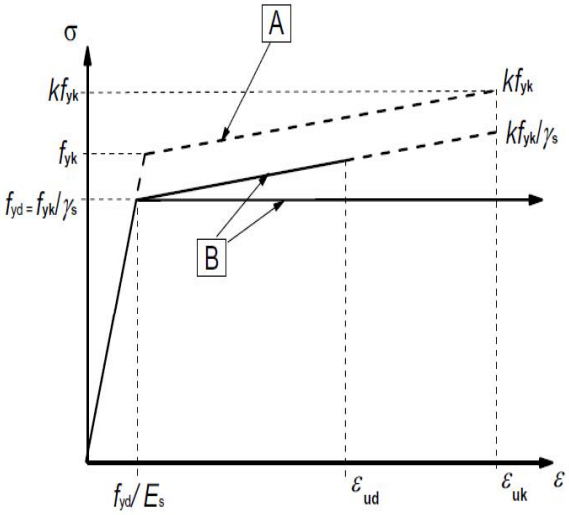
Table C.1: Properties of reinforcement

Μορφή χάλυβα	**Ράβδοι και ρόλοι**			**Ηλεκτροσυγκολλημένα πλέγματα / δικτυώματα**			**Απαίτηση ή ανεκτή απόκλιση (%)**
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 $k = (f_t/f_y)_k$	≥ 1,05	≥ 1,08	≥ 1,15 < 1,35	≥ 1,05	≥ 1,08	≥ 1,15 < 1,35	10,0
Χαρακτηριστική ένταση στη μέγιστη δύναμη, ε_{uk} (%)	≥ 2,5	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 2,5	≥ 5,0	≥ 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	± 6,0						5,0
Μέγιστη απόκλιση για ονομαστική μάζα (μεμονωμένη ράβδος ή σύρμα) (%) — Ονομαστική διάμετρος ράβδου (mm) > 8	± 4,5						

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

Επιτρέπεται διγραμμικό διάγραμμα με :

- **Κεκλιμένο άνω τμήμα** με
  - όριο παραμ. ε_{ud} (συνιστάται ε_{ud}=0.9 ε_{uk}=0.9x7.5%=67.5 ‰ ή Εθν. Προσ.)
- **Οριζόντιο άνω τμήμα**
  - χωρίς ανάγκη ελέγχου του ε_u



$k = (f_t/f_y)_k$

A Ιδεατό

B Απλοποιημένο σχεδιασμού

Σχ. 3.8

Κατηγορίες σκυροδέματος & ιδιότητες [§ 3.1.2]

Table 3.1 Strength and deformation characteristics for concrete

	Strength classes for concrete													
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_{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
$f_{ctk,0,05}$ (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
$f_{ctk,0,95}$ (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
E_{cm} (Gpa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44
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
ε_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ε_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ε_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

Διάγραμμα σ-ε σκυρ/τος για μη γραμμική ανάλυση

[§ 3.1.5]

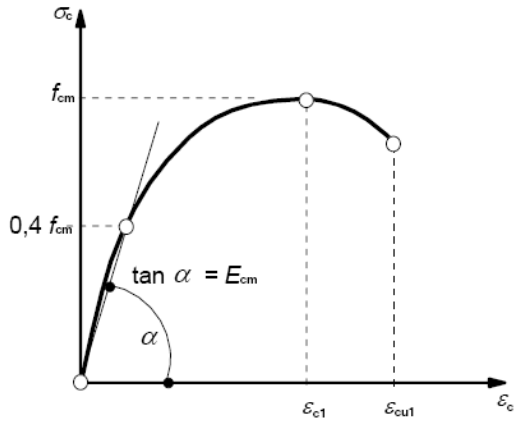


Figure 3.2: Schematic representation of the stress-strain relation for structural analysis (the use $0{,}4f_{cm}$ for the definition of E_{cm} is approximate).

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

where:

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

ε_{c1} is the strain at peak stress according to Table 3.1

$k = 1{,}05\, E_{cm} \times |\varepsilon_{c1}| / f_{cm}$ (f_{cm} according to Table 3.1)

ε_{c1} (‰) $= 0{,}7\, f_{cm}^{0,31}$

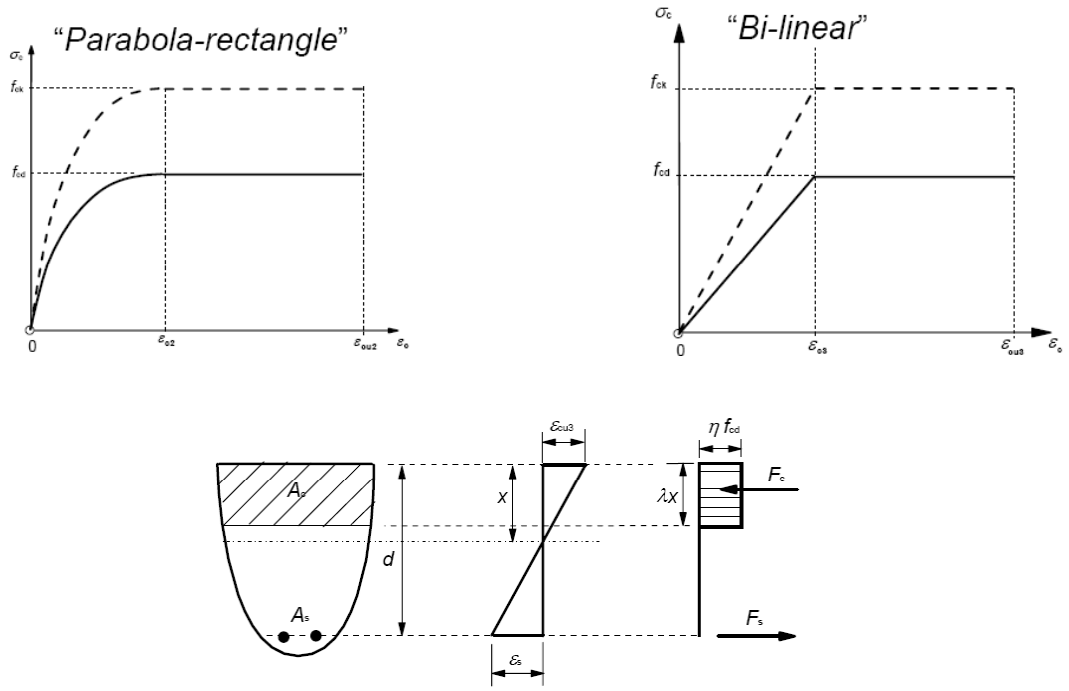
ε_{cu1} (‰) =

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

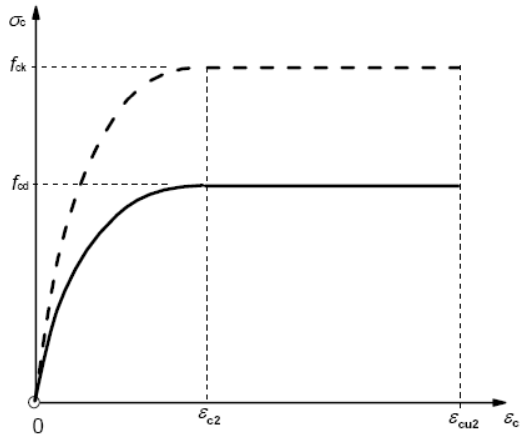
for $f_{ck} \geq 50$ MPa otherwise 3.5

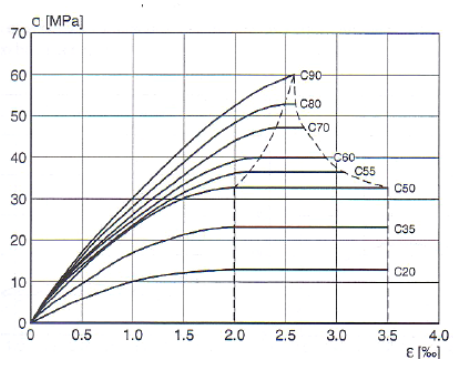
Διαγράμμ. σ-ε σκυρ/τος για το σχεδιασμό διατομών

[§ 3.1.7]



Σχ. 3.3: Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα





Για f_{ck}>50 MPa σκυρόδεμα ψαθυρό

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

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

$n = 1{,}4 + 23{,}4\,[(90-f_{ck})/100]^4$
for $f_{ck} \ge 50$ MPa otherwise 2,0

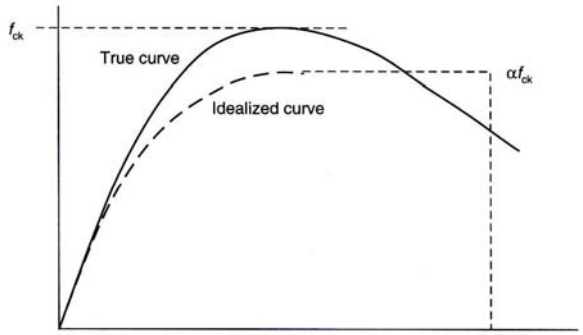
$\varepsilon_{c2}\,(^0/_{00}) = 2{,}0 + 0{,}085(f_{ck}-50)^{0{,}53}$
for $f_{ck} \ge 50$ MPa otherwise 2,0

$\varepsilon_{cu2}\,(^0/_{00}) = 2{,}6 + 35\,[(90-f_{ck})/100]^4$
for $f_{ck} \ge 50$ MPa otherwise 3,5

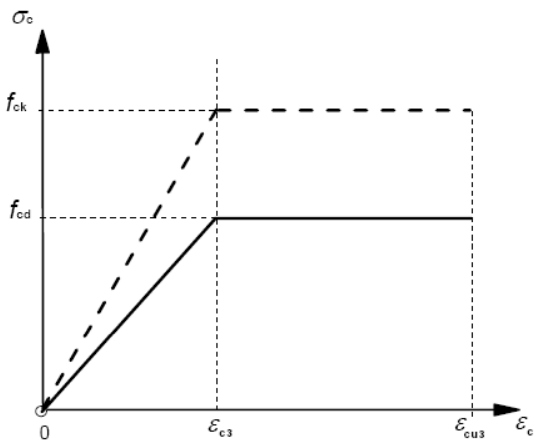
Αντοχές Σχεδιασμού σκυροδέματος [§ 3.1.6]

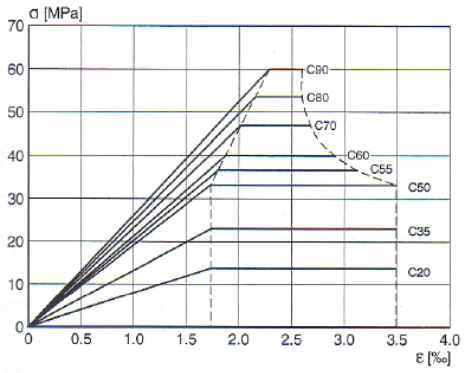
$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_C$$

α_{cc} = 1,0 είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη φαινόμενα μακράς διάρκειας στην θλιπτική αντοχή και δυσμενή αποτελέσματα που οφείλονται στον τρόπο επιβολής φορτίου



Σχ. 3.4: Δι-γραμμικό διάγραμμα



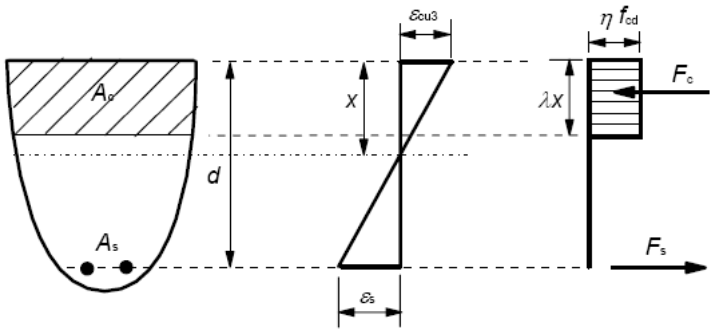


Για f_{ck}>50 MPa σκυρόδεμα ψαθυρό

ε_{c3} ($^0/_{00}$) = 1,75 + 0,55 [(f_{ck}-50)/40]
for f_{ck}≥ 50 MPa otherwise 1,75

ε_{cu3} ($^0/_{00}$) =2,6+35[(90-f_{ck})/100]^4
for f_{ck}≥ 50 MPa otherwise 3,5

Σχ. 3.5: Απλοποιημένο ορθογωνικό διάγραμμα



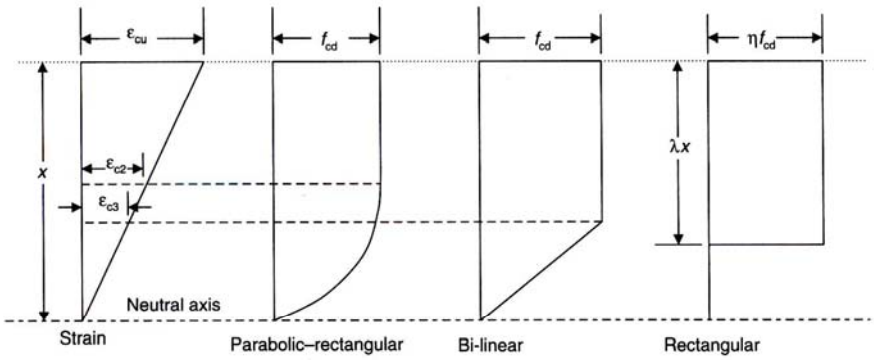
$\lambda = 0{,}8$ for $f_{ck} \leq 50$ MPa
$\lambda = 0{,}8 - (f_{ck} - 50)/400$ for $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa

and

$\eta = 1{,}0$ for $f_{ck} \leq 50$ MPa
$\eta = 1{,}0 - (f_{ck} - 50)/200$ for $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa

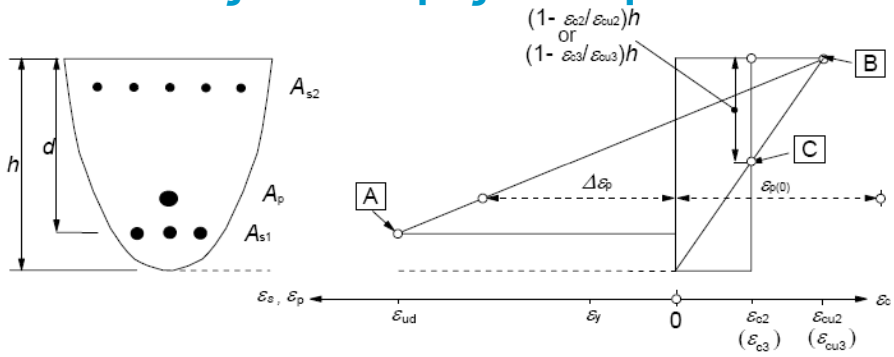
Μείωση του η κατά 10% όταν το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης μειώνεται κατά την κατεύθυνση της ακραίας θλιπτικής ίνας

Σύγκριση διαγρ. σ-ε σχεδιασμού διατομών σκυρ/τος



Grade	ε_{cu}	ε_{c2}	ε_{c3}	n	λ	η
≤ 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

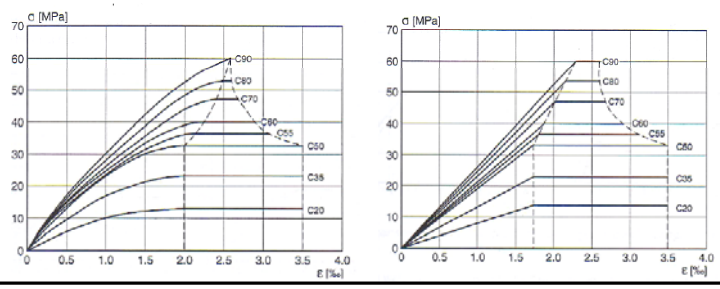
Σχ. 6.1: Πιθανές κατανομές ε στην Ο.Κ.Α.



A - reinforcing steel tension strain limit

B - concrete compression strain limit

C - concrete pure compression strain limit

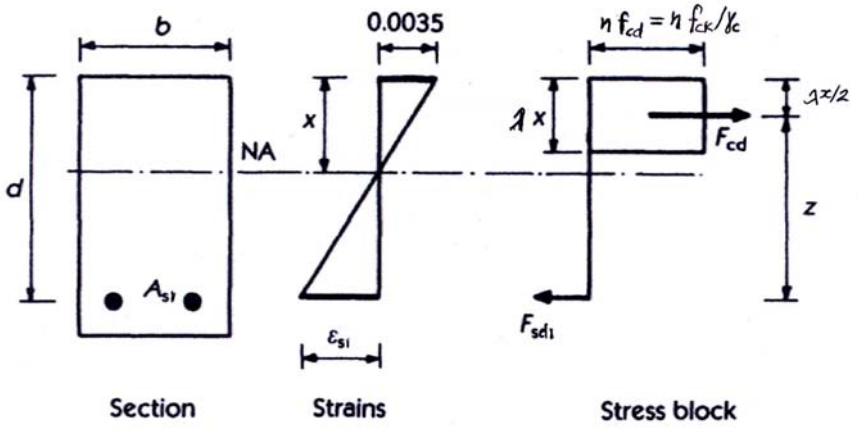


Με $f_{cd} = 0{,}85\, f_{ck}/\gamma_c$ & $\gamma_c = 1{,}50$

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

	Parabolic–rectangular		Bi-linear rectangular		Rectangular	
Grade	Average stress (N/mm²)	Centroid factor, β	Average stress (N/mm²)	Centroid factor, β	Average stress (N/mm²)	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

Εξισώσεις ισορροπίας απλά οπλισμένων πλακών & δοκών σε καθαρή κάμψη



f_{ck} < 50 MPa λ=0,8 η=1 α_{cc}=0,85 γ_c=1,50

$z = d-\lambda x/2 \rightarrow x = 2,5(d-z)$

$F_{cd} = (\eta f_{cd})\, b\, (\lambda x) = (\eta\, \alpha_{cc}\, f_{ck}/\gamma_c)\, b\, (\lambda x) = 0,453\, f_{ck}\, b\, x$

$M_{sd} = F_{cd}\, z$

$K = M_{sd}/(bd^2 f_{ck})$

$z = d\,[0,5+0,5(1-3,53K)^{0,5}]$

$A_s = M_{sd}/f_{yd} z$

$M_{sd}/(bd^2 f_{ck}) = 1,133\, z/d\, (1-z/d)$

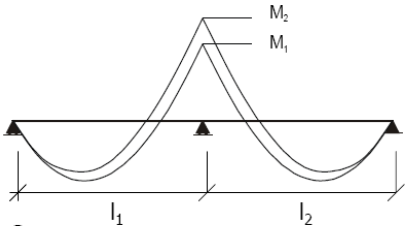
Όρια στο βάθος του ουδέτερου άξονα x

- **Για να έχει διαρρεύσει ο χάλυβας B500C πρέπει**
  $\varepsilon_s \geq f_{yk}/(\gamma_s E_s)$ $e_{cu3} = 0,0035$ $x/d = \varepsilon_{cu3}/(\varepsilon_s+\varepsilon_{cu3}) \leq 0,617$

- **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



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

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

  $\delta \geq k_5$ για κατηγορίες χάλυβα B & C

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

  Για $f_{ck} \leq 50$ MPa → $x_u/d \leq 0,8(\delta-0,44)$ & για δ=1 → $x_u/d \leq 0,448$

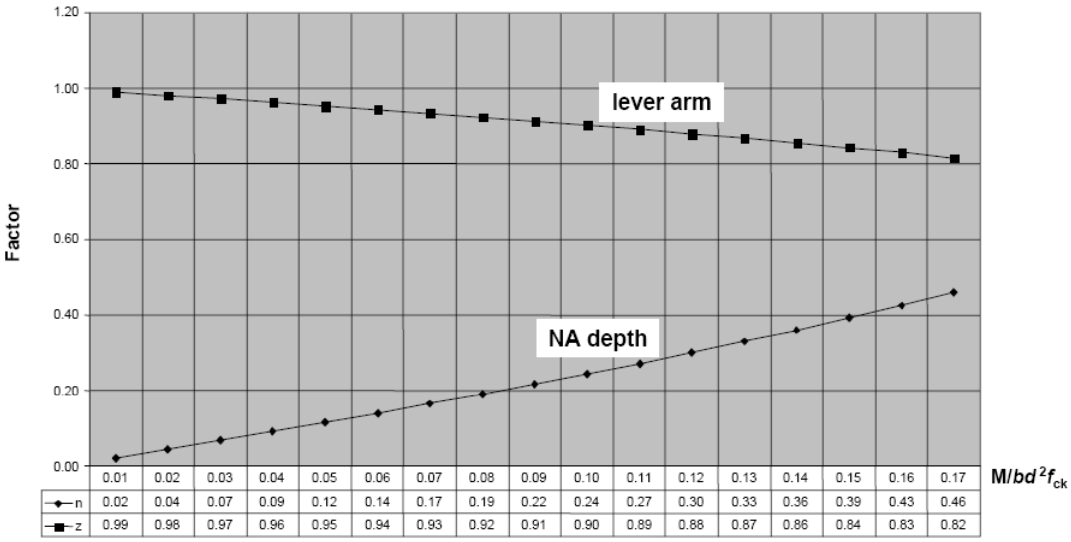
  Για $f_{ck} > 50$ MPa → $x_u/d \leq 0,8(\delta-0,54)$ & για δ=1 → $x_u/d \leq 0,368$

- **Στις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων [§5.6.3] πρέπει**
  Για $f_{ck} \leq 50$ MPa → $x_u/d \leq 0,45$
  Για $f_{ck} > 50$ MPa → $x_u/d \leq 0,35$

Μεταβολή x/d & z/d με M_{sd}

Factors for NA depth (n) and lever arm (=z) for concrete grade ≤ 50 MPa

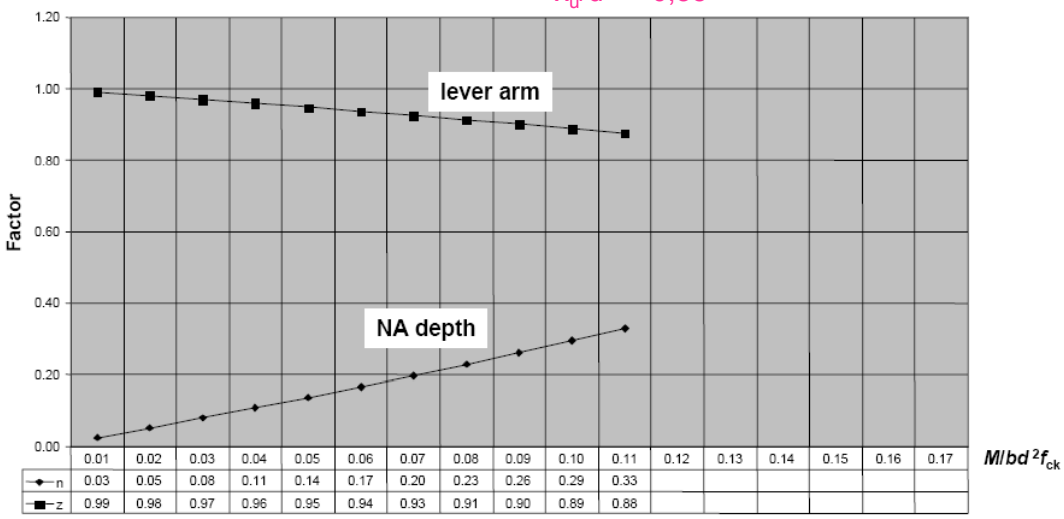
$x_u/d \leq 0{,}45$



	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
n	0.02	0.04	0.07	0.09	0.12	0.14	0.17	0.19	0.22	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.43	0.46
z	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.84	0.83	0.82

Factors for NA depth (=n) and lever arm (=z) for concrete grade 70 MPa

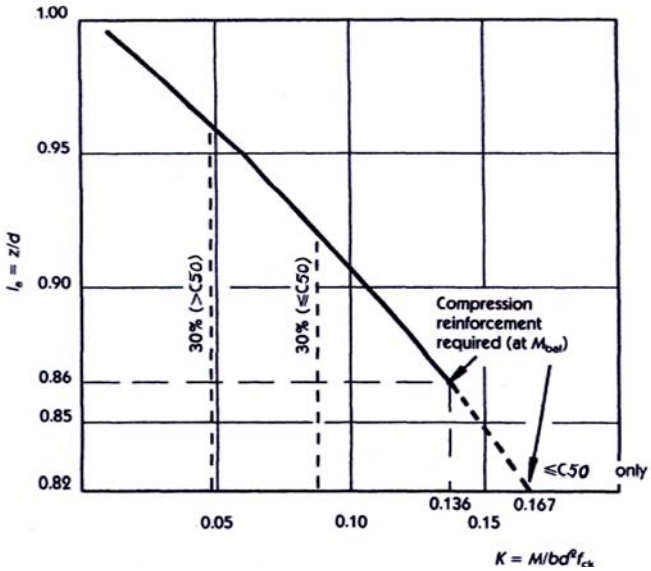
$x_u/d \leq 0{,}35$



	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
n	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33						
z	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.91	0.90	0.89	0.88						

Καμπύλη μοχλοβραχίονα z/d

$K = M/bd^2f_{ck}$	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.136	0.14	0.15	0.160	0.167
$l_a = z/d$	0.954	0.945	0.934	0.924	0.913	0.902	0.891	0.880	0.868	0.861	0.856	0.843	0.830	0.820



Εξισώσεις ισορροπίας διπλά οπλισμένων πλακών & δοκών σε καθαρή κάμψη

Για f_{ck} ≤ 50 MPa → x_{lim} = 0,45d z_{lim} = d-0,4x = 0,82d

$M_{lim}/(bd^2f_{ck}) = 1,133\ (z_{lim}/d)\ (1-z/d) = 0,167$ $A_{s,lim} = M_{lim}/f_{yd}\ z_{lim}$

Εάν $M_{sd} \geq M_{lim}$ → αλλαγή διατομής από **απλά** οπλισμένης σε **διπλά**

θλιβόμενος οπλισμός $A_{s2} = (M-M_{lim}) / [\sigma_{sd2}\ (d-d_2)]$

εφελκυόμενος οπλισμός $A_{s1} = M_{lim}/f_{yd}\ z_{lim} + (M-M_{lim}) / [f_{yd}\ (d-d_2)]$

Για f_{ck} > 50 MPa → x_{lim} = 0,35d z_{lim} = d-0,4x = 0,86d

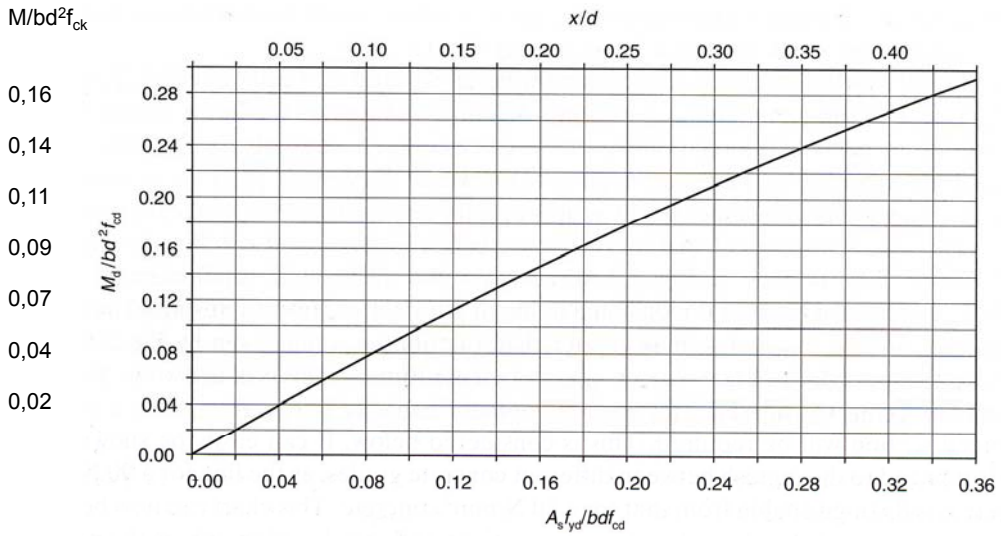
$M_{lim}/(bd^2f_{ck}) = 1,133\ (z_{lim}/d)\ (1-z/d) = 0,136$ $A_{s,lim} = M_{lim}/f_{yd}\ z_{lim}$

Εάν $M_{sd} \geq M_{lim}$ → αλλαγή διατομής από **απλά** οπλισμένης σε **διπλά**

θλιβόμενος οπλισμός $A_{s2} = (M-M_{lim}) / [\sigma_{sd2}\ (d-d_2)]$

εφελκυόμενος οπλισμός $A_{s1} = M_{lim}/f_{yd}\ z_{lim} + (M-M_{lim}) / [f_{yd}\ (d-d_2)]$

Νομογράφημα σχεδιασμού για απλά οπλισμένες διατομές



Με ανακατανομές ροπών

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

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

Moment redistribution design factors

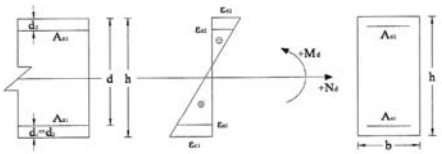
Redistribution	δ	x_{bal}/d	z_{bal}/d	K_{bal}	d'/d
Concrete grades less than or equal to C50					
0	1.0	0.45	0.821	0.167	0.194
10	0.9	0.37	0.853	0.142	0.158
15[a]	0.85	0.33	0.869	0.129	0.141
20	0.8	0.29	0.885	0.116	0.124
25	0.75	0.25	0.900	0.101	0.107
30[b]	0.70	0.21	0.917	0.087	0.089
Concrete grades greater than C50					
0	1.0	0.35	0.859	0.136	0.151
10	0.9	0.27	0.891	0.110	0.117
15[a]	0.85	0.23	0.907	0.096	0.100
20	0.8	0.19	0.923	0.080	0.083
25	0.75	0.15	0.939	0.065	0.065
30[b]	0.70	0.11	0.955	0.049	0.048

[a] Maximum permitted redistribution for normal ductility steel.
[b] Maximum permitted redistribution for high ductility steel.

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

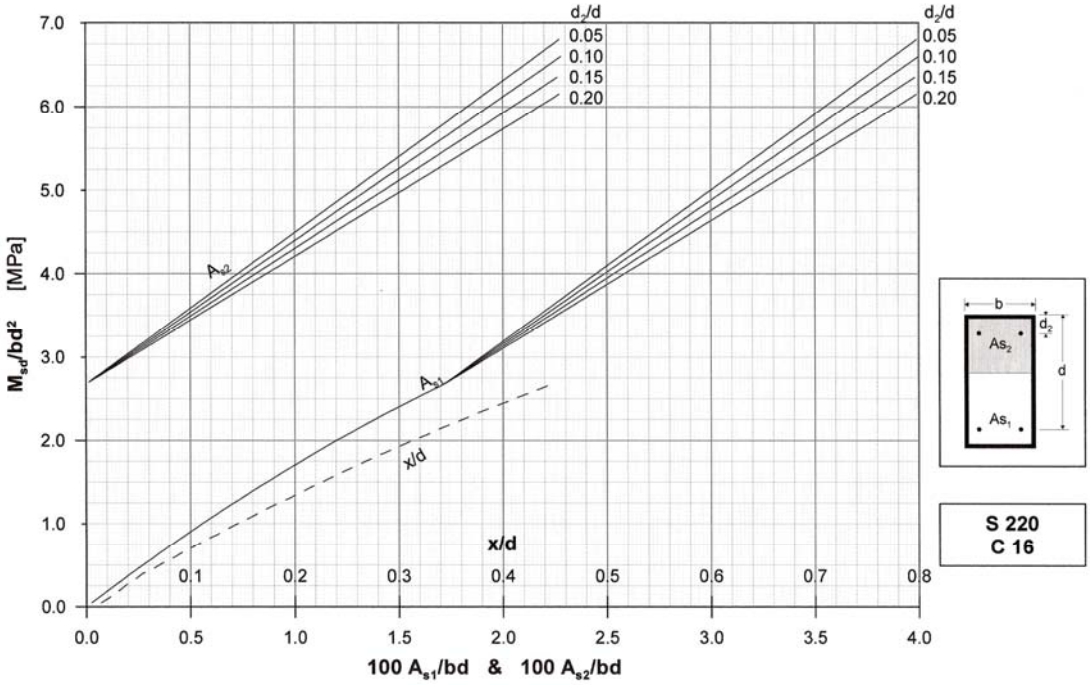
Απλή κάμψη - Ορθογωνική διατομή

S220 C16



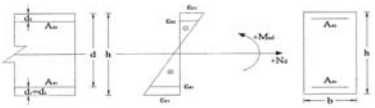
$$\rho_2 = \frac{100 \cdot A_{s2}}{b \cdot d} \qquad \xi = \frac{x}{d} \qquad \rho_1 = \frac{100 \cdot A_{s1}}{b \cdot d}$$

$\frac{M_{sd}}{bd^2}$	$d_2/d = 0.05$			$d_2/d = 0.10$			$d_2/d = 0.15$			$d_2/d = 0.20$		
[MPa]	ξ	ρ_1 %	ρ_2 %	ξ	ρ_1 %	ρ_2 %	ξ	ρ_1 %	ρ_2 %	ξ	ρ_1 %	ρ_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



Απλή κάμψη - Ορθογωνική διατομή
Πίνακες σχεδιασμού με μηχανικά ποσοστά οπλισμού

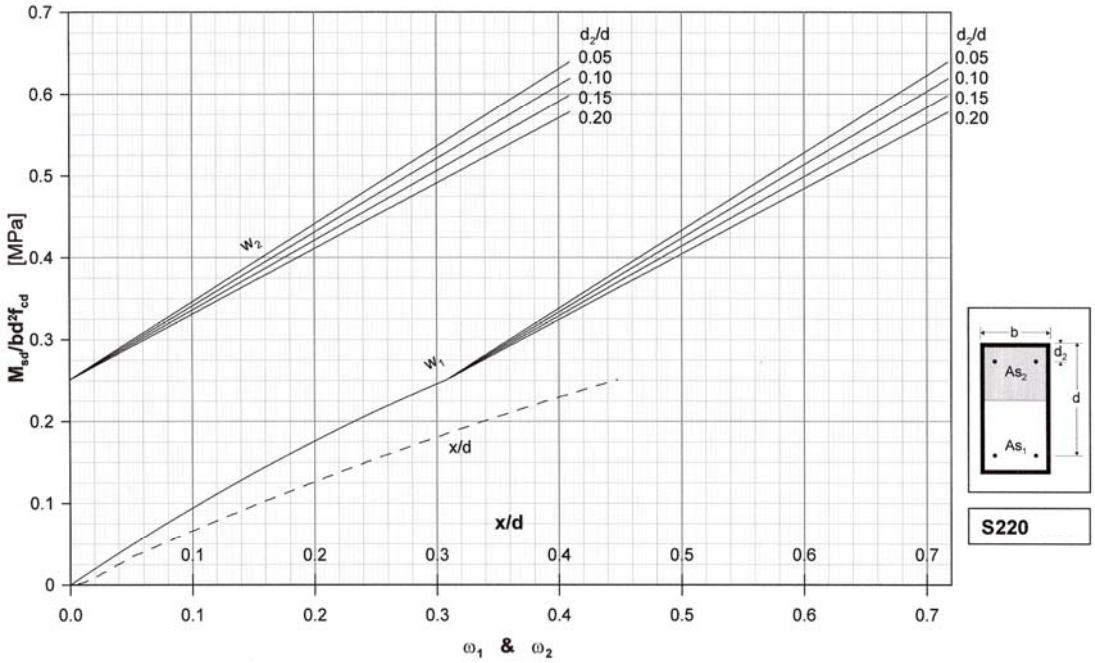
S220



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

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

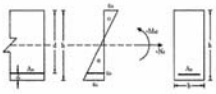
$\frac{M_{sd}}{bd^2}$	$d_2/d = 0.05$			$d_2/d = 0.10$			$d_2/d = 0.15$			$d_2/d = 0.20$		
[MPa]	ξ	ω_1 %	ω_2 %	ξ	ω_1 %	ω_2 %	ξ	ω_1 %	ω_2 %	ξ	ω_1 %	ω_2 %
0.551	0.448	0.6242	0.3160	0.448	0.6418	0.3335	0.448	0.6614	0.3532	0.448	0.6835	0.3752
0.552	0.448	0.6253	0.3170	0.448	0.6429	0.3346	0.448	0.6626	0.3543	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

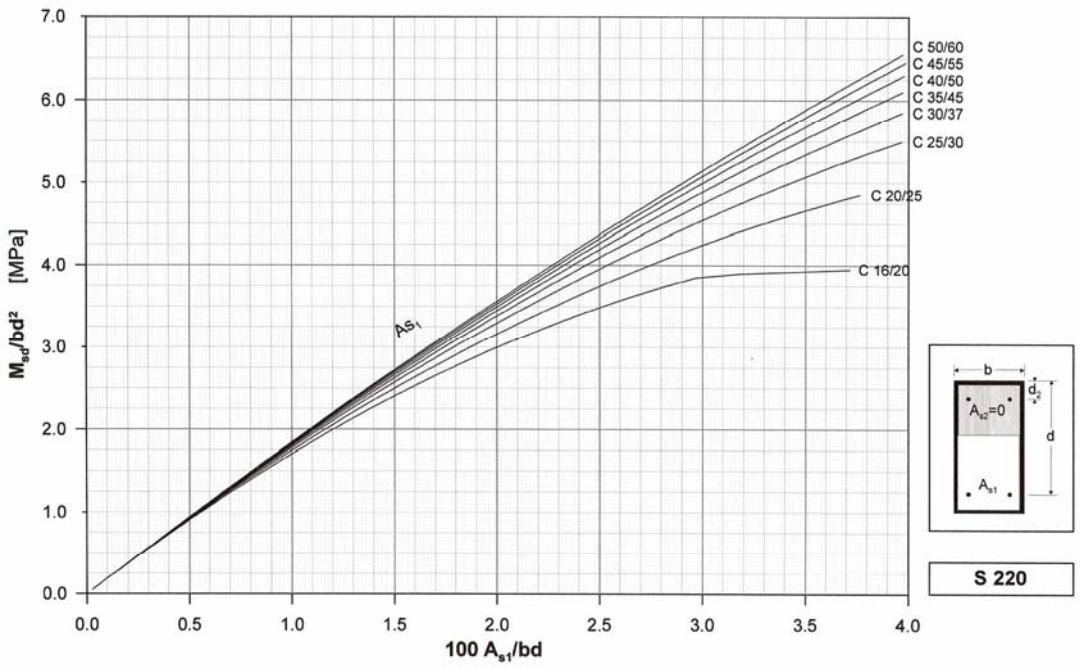
Εφελκυόμενος οπλισμός

S 220



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

$\frac{M_{sd}}{bd^2}$	C 16/20		C 20/25		C 25/30		C 30/37		C 35/45		C 40/50		C 45/55		C 50/60	
[MPa]	ξ	ρ%	ξ	ρ%	ξ	ρ%	ξ	ρ%	ξ	ρ%	ξ	ρ%	ξ	ρ%	ξ	ρ%
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

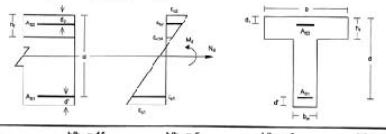


ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΣ

Υπό μονοαξονική τροξουσα κάμψη

Παραβολικό διάγραμμα $\varepsilon_{c1} = 67.5^0/_{00}$

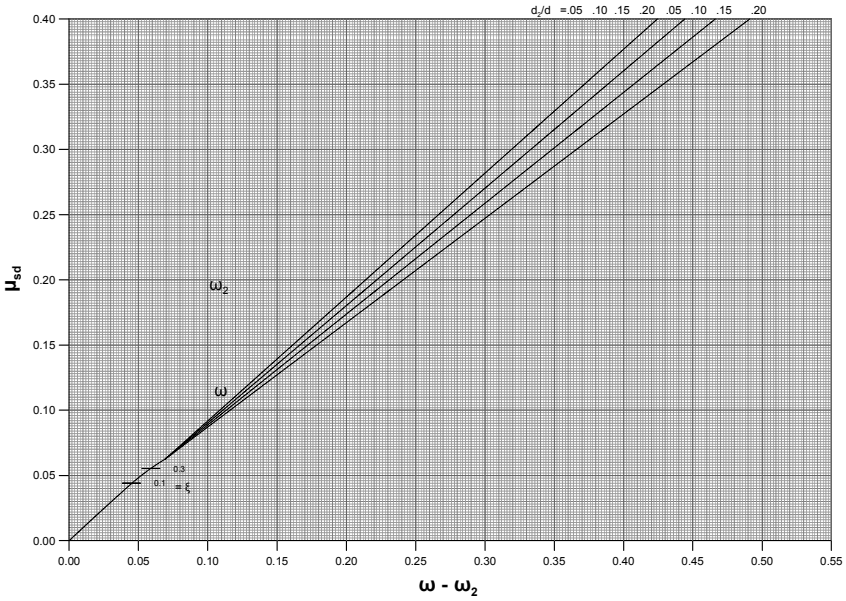
S500
C16-C35
$h_f/d=0.05$



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

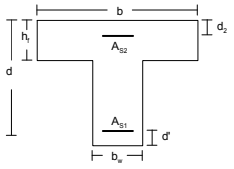
$$A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

		$b/b_w = 10$			$b/b_w = 5$			$b/b_w = 3$			$b/b_w = 2$			$b/b_w = 1$		
μ_{Ed}	d_2/d	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	0.040		0.060	0.041	
0.06		0.395	0.055		0.214	0.043		0.151	0.063		0.120	0.063		0.091	0.062	
0.08					0.411	0.090		0.256	0.087		0.137	0.089		0.123	0.084	
0.10								0.374	0.114		0.258	0.113		0.155	0.107	
0.12											0.395	0.137		0.189	0.130	
0.14											0.420	0.166		0.214	0.154	
0.16														0.241	0.176	
0.18														0.259	0.206	
0.20														0.338	0.233	
0.22														0.380	0.261	
0.24														0.423	0.291	
		Χρήση δικλού οπλισμού														
0.08	0.05	0.448	0.088	0.012												
0.08	0.10	0.448	0.089	0.022												
0.08	0.15	0.448	0.090	0.023												
0.08	0.20	0.448	0.091	0.025												
0.10	0.05	0.448	0.139	0.043	0.448	0.113	0.018									
0.10	0.10	0.448	0.111	0.042	0.448	0.114	0.018									
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	0.051	0.448	0.134	0.036	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	0.042	0.448	0.141	0.010						
0.12	0.20	0.448	0.141	0.081	0.448	0.142	0.051	0.448	0.143	0.012						
0.14	0.05	0.448	0.151	0.087	0.448	0.155	0.057	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	0.165	0.109	0.448	0.167	0.080	0.448	0.167	0.040						
0.16	0.05	0.448	0.172	0.103	0.448	0.176	0.081	0.448	0.187	0.051	0.448	0.196	0.015			
0.16	0.10	0.448	0.176	0.108	0.448	0.181	0.085	0.448	0.189	0.054	0.448	0.191	0.015			
0.16	0.15	0.448	0.184	0.116	0.448	0.186	0.090	0.448	0.189	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	0.069	0.448	0.192	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	0.038			
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	0.213	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	0.236	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	0.236	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	0.242	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	0.173	0.448	0.248	0.152	0.448	0.252	0.121	0.448	0.257	0.082			
0.22	0.15	0.448	0.255	0.185	0.448	0.258	0.161	0.448	0.259	0.128	0.448	0.262	0.087			
0.22	0.20	0.448	0.266	0.227	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	0.273	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	0.283	0.184	0.448	0.285	0.151	0.448	0.289	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			



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

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



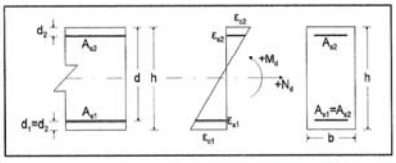
S500
$h_f/d=.05$ $b/b_w=10$

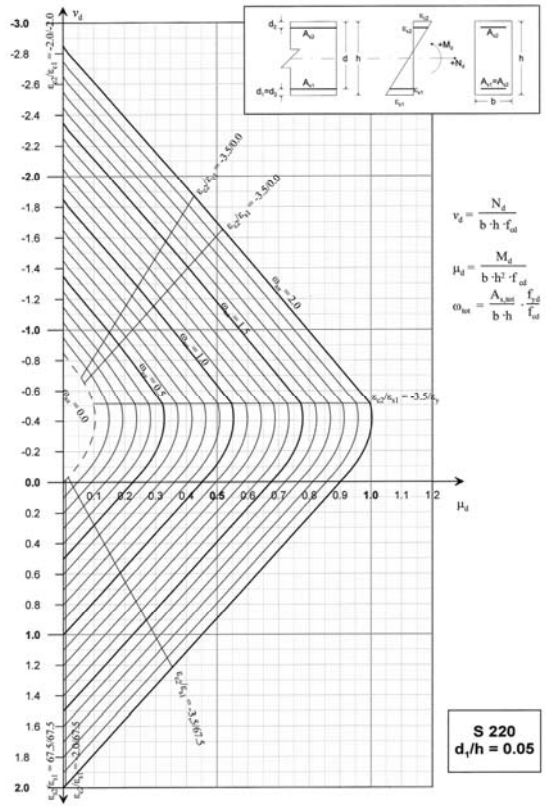
Αλληλεπίδραση - Ορθογωνική διατομή
Πίνακες σχεδιασμού - ελέγχου διατομής

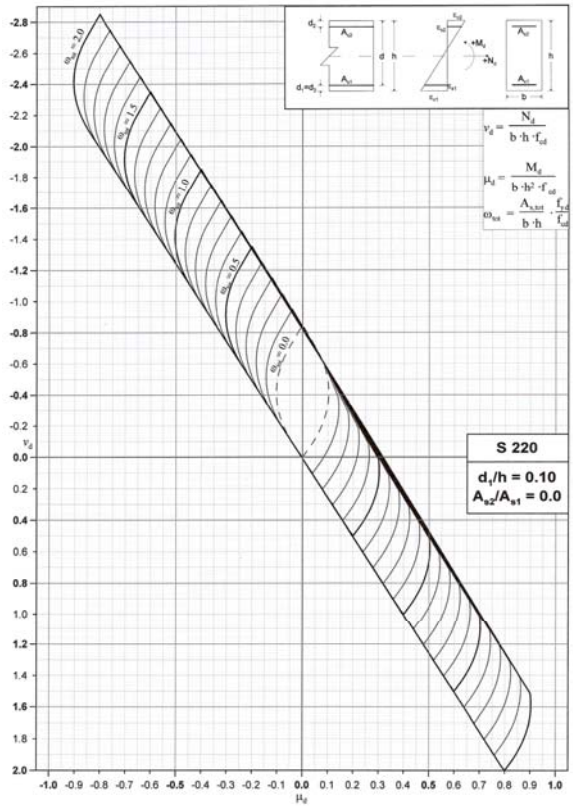
$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}},\ \mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}},\ \omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h},\ \xi_1 = \frac{x}{h}$$

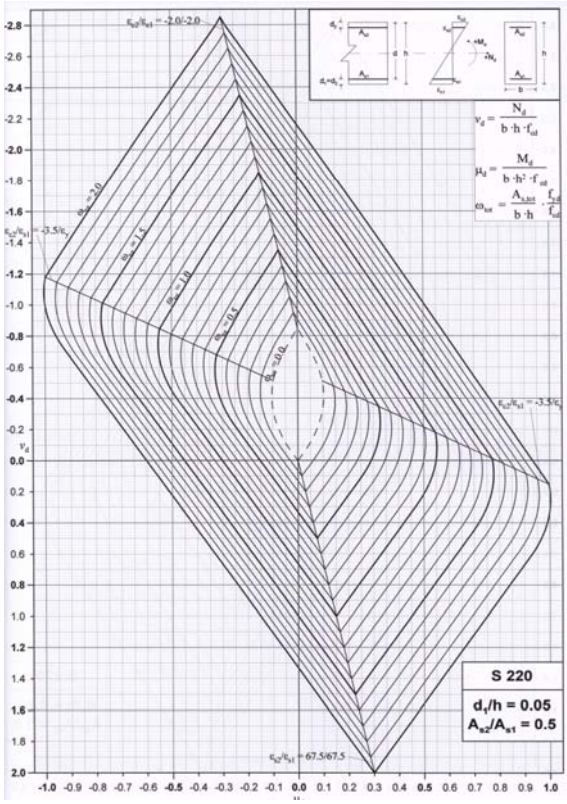
S 220 **$d_1/h = 0.05$**

	ν_d=2.00		ν_d=1.90		ν_d=1.80		ν_d=1.70		ν_d=1.60		ν_d=1.50		ν_d=1.40		ν_d=1.30		ν_d=1.20		ν_d=1.10		ν_d=1.00		ν_d=0.90		ν_d=0.80		ν_d=0.70	
μ_d	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	0,040	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	0,041	0,965	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	0,042	1,120	0,042	1,020	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	0,043	1,176	0,043	1,076	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	0,044	1,131	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
0,200											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
0,225											0,043	1,998	0,043	1,898	0,044	1,798	0,044	1,698	0,045	1,598	0,045	1,498	0,046	1,398	0,046	1,298	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
0,275															0,045	1,909	0,045	1,809	0,046	1,709	0,046	1,609	0,047	1,509	0,048	1,409	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
0,325																	0,046	1,920	0,047	1,820	0,047	1,720	0,048	1,620	0,049	1,520	0,050	1,420
0,350																	0,047	1,976	0,047	1,876	0,048	1,776	0,049	1,676	0,049	1,576	0,050	1,476
0,375																			0,048	1,931	0,048	1,831	0,049	1,731	0,050	1,631	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
0,425																					0,049	1,942	0,050	1,842	0,051	1,742	0,051	1,642
0,450																					0,050	1,998	0,050	1,898	0,051	1,798	0,052	1,698
0,475																							0,051	1,953	0,051	1,853	0,052	1,753
0,500																									0,052	1,909	0,053	1,809
0,525																									0,052	1,964	0,053	1,864
0,550																											0,053	1,920
0,575																											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																												



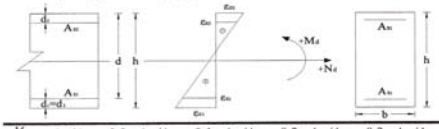

S 220
$d_1/h = 0.05$
$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$
$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$
$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$
ν_d
μ_d


S 220
$d_1/h = 0.10$
$A_{s2}/A_{s1} = 0.0$
$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$
$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$
$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$
ν_d
μ_d



Απλή κάμψη - Ορθογωνική διατομή
Πίνακες ελέγχου διατομής

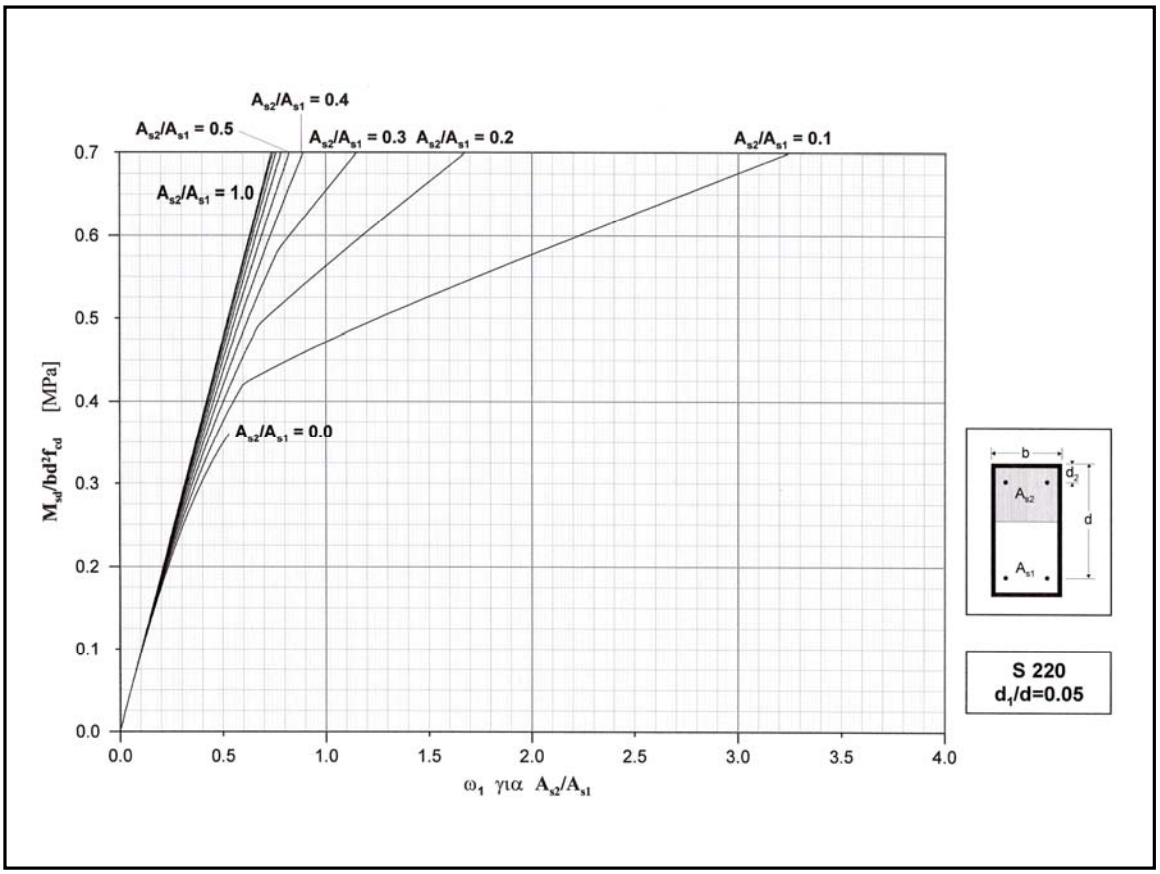
S220 $d_2/d=0.05$



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

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

$\frac{M_{sd}}{bd^2}$	$A_{s2}/A_{s1} = 0.0$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.1$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.2$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.3$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.4$		$A_{s2}/A_{s1} = 0.5$		$A_{s2}/A_{s1} = 1.0$	
[MPa]	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	0,01
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	0,02
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	0,12
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	0,13
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	0,183	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	0,22
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	0,23
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


A_{s2}/A_{s1} = 0.4
A_{s2}/A_{s1} = 0.5
A_{s2}/A_{s1} = 0.3
A_{s2}/A_{s1} = 0.2
A_{s2}/A_{s1} = 0.1
A_{s2}/A_{s1} = 1.0
A_{s2}/A_{s1} = 0.0
M_{sd}/bd^2f_{cd} [MPa]
ω_1 για A_{s2}/A_{s1}
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
b
d_2
d
A_{s2}
A_{s1}
S 220
d_1/d=0.05