ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τυπολόγιο

για τα μαθήματα

«Σιδηροπαγές Σκυρόδεμα» (7^{ο} Εξάμηνο)

«Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα» (8^{ο} Εξάμηνο)

«Προεντεταμένο Σκυρόδεμα» (9^{ο} Εξάμηνο)

Version 11

Σεπτ 2016

Περιεχόμενα

1. Ιδιότητες Υλικών ... 1
1.1 Σκυρόδεμα ... 1
1.1.1 Απερίσφικτο σκυρόδεμα ... 1
1.1.2 Συντελεστές πλήρωσης, α, και κέντρου βάρους, ζ΄ ... 2
1.1.3 Περισφιγμένο σκυρόδεμα ... 3
1.2 Χάλυβας ... 3
2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης ... 4
2.1 Απλά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος ... 4
2.2 Διπλά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος, x/d≤0,45 (δυνατότητα ανακατανομής για πλαστική ανάλυση) ... 5
2.3 Διπλά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος, x/d≤0,617 (διαρροή εφελκυόμενου οπλισμού) ... 6
2.4 Πλακοδοκοί υπό κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος ... 7
2.5 Υποστυλώματα-Διαγράμματα αλληλεπίδρασης με παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος ... 8
3. Υπολογισμός Διατομών έναντι Τέμνουσας ... 14
3.1 Τέμνουσα για την οποία δεν απαιτείται (ή απαιτείται ο ελάχιστος) οπλισμός διάτμησης, $V_{Rd,c}$ (έλεγχος σε απόσταση d από την παρειά μιας άμεσης στήριξης) ... 14
3.2 Τέμνουσα που αναλαμβάνει ο οπλισμός διάτμησης, $V_{Rd,s}$ (έλεγχος σε απόσταση d από την παρειά μιας άμεσης στήριξης) ... 14
3.3 Μέγιστη τέμνουσα που αναλαμβάνει το στοιχείο (αστοχία λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος), $V_{Rd,max}$ (έλεγχος στην παρειά μιας άμεσης στήριξης) ... 14
4. Υπολογισμός Διατομών έναντι Στρέψης ... 15
4.1 Ισοδύναμη λεπτότοιχη διατομή ... 15
4.2 Μέγιστη στρεπτική ροπή που αναλαμβάνει το στοιχείο (αστοχία λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος), $T_{Rd,max}$ ... 15
4.3 Στρεπτική ροπή ρηγματώσεως (χωρίς οπλισμό στρέψης), $T_{Rd,c}$ ... 15
4.4 Υπολογισμός διαμήκους οπλισμού στρέψης, ΣA_{sl} ... 15
4.5 Στρεπτική ροπή σχεδιασμού που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες στρέψης, $T_{Rd,s}$ ... 15
5. Διάτρηση ... 16
5.1 Μοντέλο υπολογισμού (γενικά) ... 16
5.2 Βασική περίμετρος ελέγχου, u_1 ... 16
5.3 Στατικό ύψος ... 17
5.4 Βασική περίμετρος ελέγχου σε υποστυλώματα με διαπλάτυνση κεφαλής (κιονόκρανο), r_{cont} ... 17
5.5 Δρώσα διατμητική τάση (διάτρησης), v_{Ed} ... 18
5.6 Τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας ή της βάσης του υποστυλώματος χωρίς οπλισμό διάτρησης, $v_{Rd,c}$ ... 20
5.7 Τιμή σχεδιασμού της μέγιστης αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας (έλεγχος στην παρειά του υποστυλώματος), $v_{Rd,max}$ ... 20
5.8 Τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας με οπλισμό διάτρησης, $v_{Rd,cs}$ ... 20
6. Λυγισμός ... 21
6.1 Γεωμετρικές ατέλειες ... 21
6.2 Λυγηρότητα, λ ... 22
6.3 Μήκος λυγισμού, l_0 ... 22
6.4 Μέθοδος ανάλυσης βάσει ονομαστικών καμπυλοτήτων ... 23
7. Αγκυρώσεις ... 24
7.1 Βασικό μήκος αγκύρωσης, l_b ... 24
7.2 Οριακή τάση συνάφειας, f_{bd} ... 24
7.3 Βασικό απαιτούμενο μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης, $l_{b,rqd}$ ... 24
7.4 Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού, l_{bd} ... 24
7.5 Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης, $l_{b,eq}$ ... 25
7.6 Αγκύρωση συνδετήρων και οπλισμού διάτμησης ... 25
7.7 Διάμετρος τυμπάνου για καμπυλόμενες ράβδους, $D_{τυμπ}$ ... 25
8. Υπερκαλύψεις ... 26
8.1 Διάταξη υπερκαλύψεων ... 26
8.2 Μήκος υπερκάλυψης σχεδιασμού, l_o ... 26
9. Έλεγχος ρηγμάτωσης ... 27
9.1 Υπολογισμός εύρους ρωγμής, w_k ... 27
9.2 Περιορισμός εύρους ρωγμών ... 27
9. Έλεγχος ρηγμάτωσης (συνέχεια) ... 28
9.3 Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς ... 28

9.4 Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός ... 28
10. Έλεγχος παραμορφώσεων ... 29
10.1 Όρια βελών, a, δοκών και πλακών ... 29
10.2 Απαλλαγή από έλεγχο βελών ... 29
10.3 Υπολογιστικός έλεγχος παραμορφώσεων ... 29
11. Ανθεκτικότητα-Επικαλύψεις ... 32
11.1 Περιβαλλοντικές συνθήκες ... 32
11.2 Απαιτήσεις ανθεκτικότητας σκυροδέματος ... 33
11.3 Επικαλύψεις ... 33
12. Πλάκες ... 35
12.1 Πίνακας Pieper-Martens ... 35
12.2 Πίνακες Markus ... 36
12.3 Πίνακες Czerny (BETON KALENDER, Ελληνική έκδοση από το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος, 1970) ... 37
12.4 Πίνακες Czerny ... 38
12.5 Δοκιδοτές πλάκες ... 50
12.6 Συγκεντρωμένα φορτία σε πλάκες (διατάξεις ΕΚΩΣ, §9.1.6) ... 50
13. Βραχείς πρόβολοι ($a_c < z_0$) ... 51
14. Υψίκορμες δοκοί (l<3h) ... 52
15. Ικανοτικός Σχεδιασμός ... 53
15.1 Ικανοτικός έλεγχος τέμνουσας σε δοκούς (ΚΠΥ-ΚΠΜ) ... 53
15.2 Ικανοτικός έλεγχος τέμνουσας σε υποστυλώματα (ΚΠΥ-ΚΠΜ) ... 53
15.3 Ικανοτικός έλεγχος κάμψης υποστυλωμάτων (ικανοτικός έλεγχος κόμβου) ... 53
16. Περίσφιγξη σκυροδέματος ... 54
16.1 Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές, ω_{wd} ... 54
17. Κατασκευαστικές διατάξεις μελών Ο/Σ κατά EC2 (χωρίς αντισεισμικές απαιτήσεις) ... 55
17.1 Δοκοί ... 55
17.2 Υποστυλώματα ... 55
17.3 Πλάκες ... 56
18. Κατασκευαστικές διατάξεις για μέλη Ο/Σ κατά EC8 (με απαιτήσεις αντισεισμικότητας) ... 57
18.1 Δοκοί (M.N. Fardis, SEISMIC DESIGN, ASSESSMENT AND RETROFITTING OF CONCRETE BUILDINGS) ... 57
18.2 Υποστυλώματα (M.N. Fardis, SEISMIC DESIGN, ASSESSMENT AND RETROFITTING OF CONCRETE BUILDINGS) ... 58
19. Γεωμετρία καμπύλων τενόντων ... 59
20. **Παραδοχές σχεδιασμού χάλυβα προεντάσεως (**Προσοχή: διαφορές από τους «χαλαρούς» οπλισμούς B500C) ... 59
21. Μειώσεις λόγω τριβών ... 60
21.1 Μειώσεις λόγω τριβών σε καμπύλη και ευθύγραμμη χάραξη ... 60
22. Επιμήκυνση τενόντων ... 60
23. Σωστή εφαρμογή σε τένοντες μεγάλου μήκους ... 60
24. Ολίσθηση σφηνών ... 61
24.1 *Ολίσθηση σφηνών* (εκθετικές σχέσεις) ... 61
24.2 *Ολίσθηση σφηνών* (με χρήση γραμμικών σχέσεων) ... 61
25. Ελαστική βράχυνση ... 61
26. Ερπυσμός ... 61
27. Συστολή ... 62
28. Χαλαρωση χαλυβα προεντάσεως ... 62
29. Υπολογισμός χρόνιων απωλειών προεντάσεως ... 62
30. Επιτρεπόμενες τάσεις (ΟΚΛ) ... 63
31. Η θεώρηση της προέντασης στην οριακή κατάσταση αστοχίας ... 63
32. Υπολογισμός της αντοχής σε τέμνουσα του άοπλου σκυροδέματος, $V_{Rd,c}$ προεντεταμένων φορέων ... 63
33. Εμβαδόν ράβδων οπλισμού σκυροδέματος ... 64

1. Ιδιότητες Υλικών

1.1 Σκυρόδεμα

1.1.1 Απερίσφικτο σκυρόδεμα

i. Παραβολικό – ορθογωνικό διάγραμμα

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

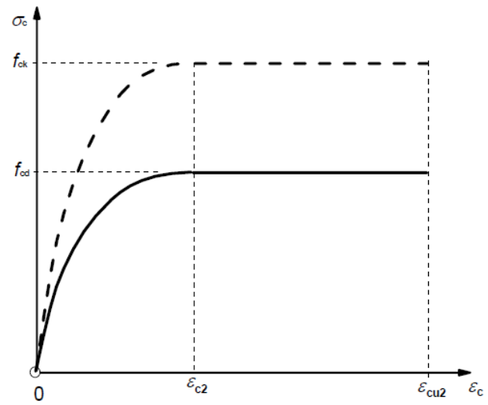
$\sigma_c = f_{cd}$ για $\varepsilon_{c2} \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu2}$

όπου:

n είναι ο εκθέτης σύμφωνα με τον Πίνακα 1.2

ε_{c2} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή σύμφωνα με τον Πίνακα 1.2

ε_{cu2} είναι η παραμόρφωση αστοχίας σύμφωνα με τον Πίνακα 1.2

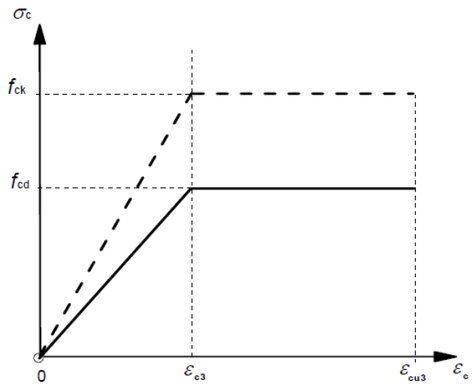


Σχήμα 1.1 Παραβολικό–ορθογωνικό διάγραμμα, σ-ε, για σκυρόδεμα υπό θλίψη (EC2, Σχ.3.3)

ii. Απλοποιημένη διγραμμική σχέση

$\sigma_c = (\varepsilon_c/\varepsilon_{c3})f_{cd}$ για $0 \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{c3}$

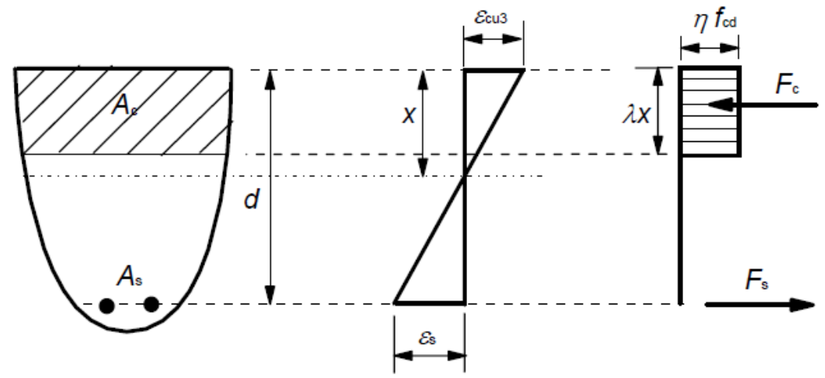
$\sigma_c = f_{cd}$ για $\varepsilon_{c3} \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu3}$



Σχήμα 1.2 Δι-γραμμικό διάγραμμα, σ-ε, για σκυρόδεμα υπό θλίψη (EC2, Σχ.3.4)

iii. Ορθογωνικό διάγραμμα

$\lambda = 0{,}8$	για $f_{ck} \le 50$ MPa
$\lambda = 0{,}8 - (f_{ck} - 50)/400$	για $50 < f_{ck} \le 90$ MPa
και	
$\eta = 1{,}0$	για $f_{ck} \le 50$ MPa
$\eta = 1{,}0 - (f_{ck} - 50)/200$	για $50 < f_{ck} \le 90$ MPa
Σημείωση: *Αν το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης μειώνεται προς την πλέον θλιβόμενη ίνα, η τιμή* ηf_{cd} *πρέπει να μειώνεται κατά 10%.*	



Σχήμα 1.3 Ορθογωνική κατανομή τάσεων (EC2, Σχ.3.5)

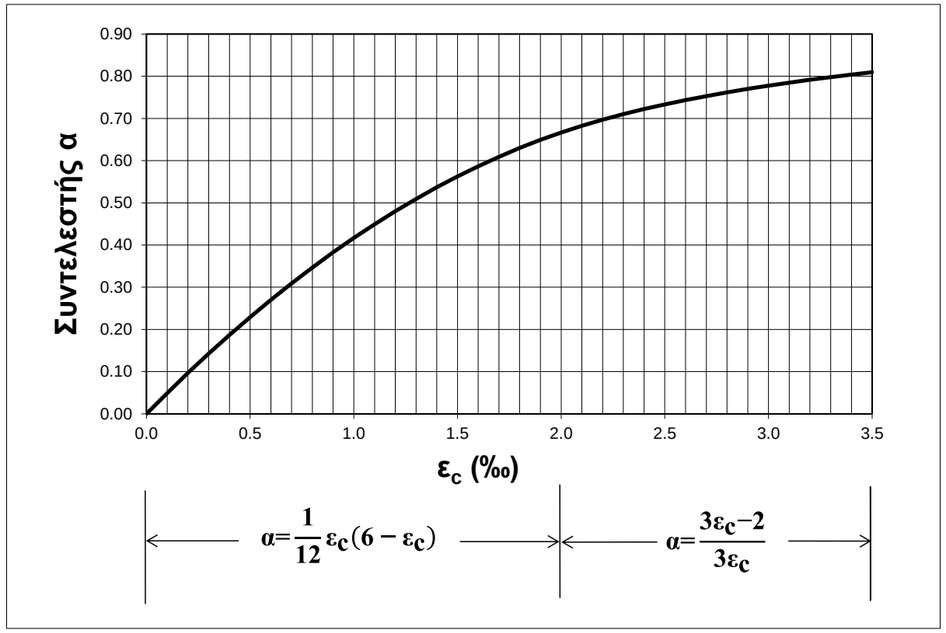
-Η τιμή της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού, f_{cd}, ορίζεται ως:
$f_{cd} = \alpha_{cc}\, f_{ck}/\gamma_c$
όπου:
$\gamma_c = 1{,}5$ είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
$\alpha_{cc} = 0{,}85$ είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο.
Σημείωση: *Ο συντελεστής* α_{cc} *λαμβάνει την τιμή 0.85 μόνο για ορθή ένταση (ροπή ή/και αξονική δύναμη) στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Σε όλες τις άλλες εντάσεις (διάτμηση, στρέψη κλπ) λαμβάνει την τιμή 1.00. Επίσης την τιμή 1.00 λαμβάνει και για ορθή ένταση στον σεισμικό συνδυασμό.*

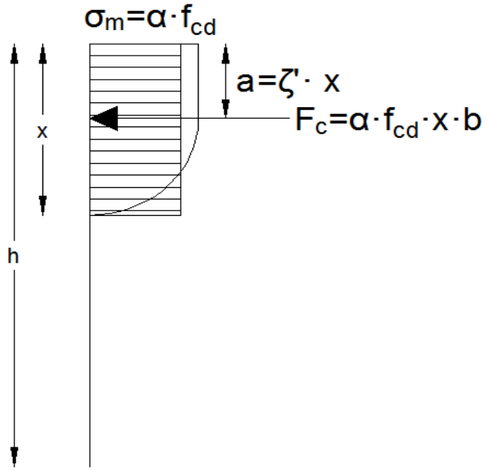
-Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού f_{ctd}, ορίζεται ως:
$f_{ctd} = \alpha_{ct}\, f_{ctk,0,05}/\gamma_c$
όπου:
$\gamma_c = 1{,}50$ είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
$\alpha_{ct} = 1{,}00$ είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην αντοχή σε εφελκυσμό και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο.

1. Ιδιότητες Υλικών

1.1.2 Συντελεστές πλήρωσης, α, και κέντρου βάρους, ζ΄

Συντελεστής πλήρωσης, α

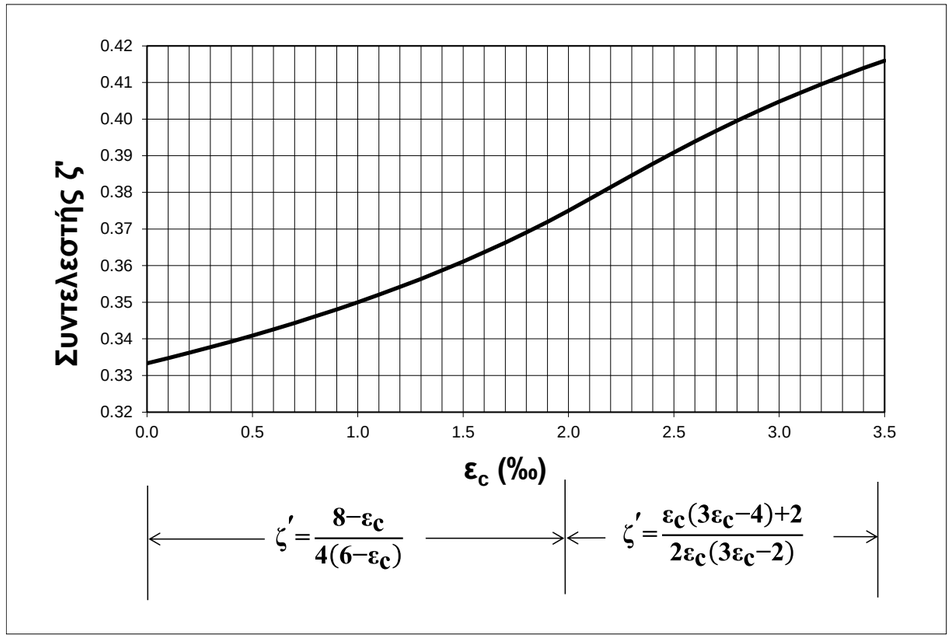




Πίνακας 1.1 Συντελεστές πλήρωσης, α, και κέντρου βάρους, ζ΄

εc	α	ζ΄
0,0	0,000	0,333
0,1	0,049	0,335
0,2	0,097	0,336
0,3	0,143	0,338
0,4	0,187	0,339
0,5	0,229	0,341
0,6	0,270	0,343
0,7	0,309	0,344
0,8	0,347	0,346
0,9	0,383	0,348
1,0	0,417	0,350
1,1	0,449	0,352
1,2	0,480	0,354
1,3	0,509	0,356
1,4	0,537	0,359
1,5	0,563	0,361
1,6	0,587	0,364
1,7	0,609	0,366
1,8	0,630	0,369
1,9	0,649	0,372
2,0	0,667	0,375
2,1	0,683	0,378
2,2	0,697	0,381
2,3	0,710	0,385
2,4	0,722	0,388
2,5	0,733	0,391
2,6	0,744	0,394
2,7	0,753	0,397
2,8	0,762	0,400
2,9	0,770	0,402
3,0	0,778	0,405
3,1	0,785	0,407
3,2	0,792	0,410
3,3	0,798	0,412
3,4	0,804	0,414
3,5	0,810	0,416

Συντελεστής κέντρου βάρους, ζ΄



1. Ιδιότητες υλικών

Πίνακας 1.2 Χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης σκυροδέματος (Πίνακας 3.1, EC2)

Αντοχή															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}=2,12ln(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	$f_{ctk;0,05} = 0{,}7f_{ctm}$
$f_{ctk,0.95}$(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	$f_{ctk;0,95} = 1{,}3f_{ctm}$
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_{c2} (‰)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,3	2,4	2, 5	2,6	βλ. Σχήμα 1.1 Για $f_{ck} \geq$ 50MPa ε_{c2}(‰)=2,0+0,085(f_{ck}-50)^{0,53}
ε_{cu2} (‰)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	βλ. Σχήμα 1.1 Για $f_{ck} \geq$ 50MPa ε_{cu2} (‰)=2,6+35[(90-f_{ck})/100]^4
n	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	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	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	βλ. Σχήμα 1.2 για $f_{ck} \geq$ 50 MPa ε_{c3}(‰) =1,75+0,55 [(f_{ck}-50)/40]
ε_{cu3} (‰)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	βλ. Σχήμα 1.2 για $f_{ck} \geq$ 50 MPa ε_{cu3} (‰) = 2,6 + 35[(90-f_{ck})/100]^4

1.1.3 Περισφιγμένο σκυρόδεμα

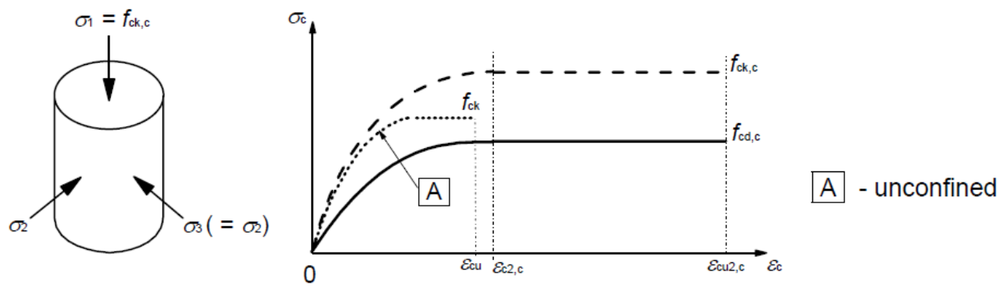
$f_{ck,c} = f_{ck}\,(1{,}000 + 5{,}00\,\sigma_2/ f_{ck})$ για $\sigma_2 \leq 0{,}05\, f_{ck}$

$f_{ck,c} = f_{ck}\,(1{,}125 + 2{,}5\,\sigma_2/ f_{ck})$ για $\sigma_2 > 0{,}05\, f_{ck}$

$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2}\,(f_{ck,c}/ f_{ck})^2$

$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0{,}2\sigma_2/f_{ck}$

όπου $\sigma_2=\sigma_3$ είναι η δρώσα ακτινική θλιπτική τάση στην οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω της περίσφιγξης.



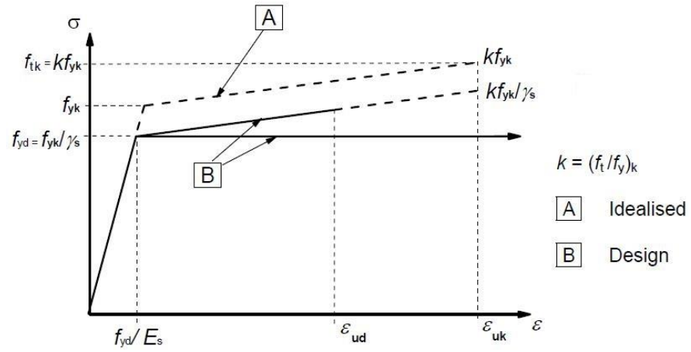
Σχήμα 1.4 Σχέση τάσεων-παραμορφώσεων για το περισφιγμένο σκυρόδεμα (EC2, Σχ.3.6)

1.2 Χάλυβας

Για συνήθη σχεδιασμό μπορεί να γίνει μία από τις παρακάτω παραδοχές :

i. Χάλυβας με κράτυνση (κεκλιμένος δεύτερος κλάδος) με όριο ανηγμένης παραμόρφωσης ε_{ud}=0,9ε_{uk} και μέγιστη τάση kf_{yk}/γ_ς στην $\varepsilon_{uκ}$, όπου k = f_{tk}/f_{yk} δίνεται στον Πίνακα 1.3.

ii. Οριζόντιος δεύτερος κλάδος χωρίς ανάγκη ελέγχου του ορίου ανηγμένης παραμόρφωσης.



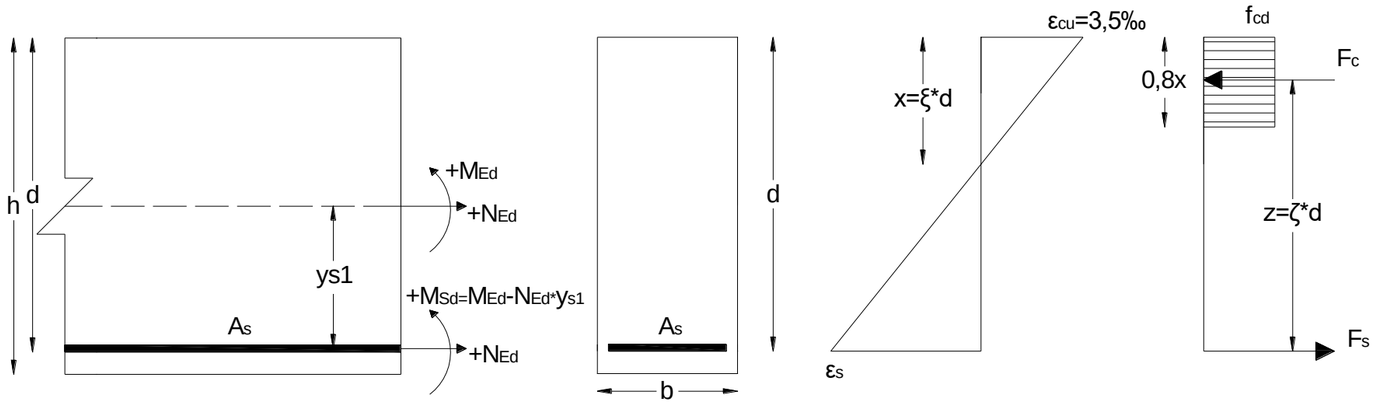
Σχήμα 1.5 Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (για εφελκυσμό και θλίψη) (EC2, Σχ.3.8)

Πίνακας 1.3 Ιδιότητες χάλυβα (Πίνακας C.1, EC2)

Μορφή προϊόντος	Ράβδοι και ράβδοι που προέρχονται από κουλούρες			Πλέγματα			Απαίτηση ή πιθανότητα μη συμμόρφωσης (%)
Τεχνική Κατηγορία	A	B	C	A	B	C	-
Χαρακτηριστικό όριο διαρροής f_{yk} ή $f_{0,2k}$ (MPa)	400 έως 600						5,0
Κράτυνση: Ελάχιστη τιμή του k = f_{tk}/f_{yk}	≥1,05	≥1,08	≥1,15 <1,35	≥1,05	≥1,08	≥1,15 <1,35	10,0
Χαρακτηριστική ανηγμένη παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο ή στην εφελκυστική αντοχή, ε_{uk} (‰)	≥25	≥50	≥75	≥25	≥50	≥75	10,0
Καμψιμότητα	Δοκιμή Κάμψης/Ανάκαμψης			-			
Διατμητική αντοχή	-			0,3Af_{yk} (A είναι η επιφάνεια της διατομής της ράβδου)			Ελάχιστη
Μέγιστη απόκλιση από την ονομαστική μάζα (μεμονωμένη ράβδος) (%)	Ονομαστική διάμετρος ράβδου (mm) ≤ 8 > 8			± 6,0 ± 4,5			5,0

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

2.1 Απλά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος (για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)



$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b*d^2*f_{cd}} \qquad \xi = \frac{x}{d} \qquad \zeta = \frac{z}{d} \qquad \omega = \frac{\mu_{sd}}{\zeta}$$

Σημ. Το ω ισούται με $\frac{A_{sd} f_{yd}}{b d f_{cd}}$ μόνον στην περίπτωση που N=0, στην γενική περίπτωση $\omega = \frac{\mu_{sd}}{\zeta}$

Από τον Πίνακα 2.1 ο απαιτούμενος οπλισμός υπολογίζεται ως:

$$A_s = \omega * b * d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

με N_{Ed}<0 για θλίψη

<u>Όρια ουδέτερου άξονα</u>

(α) Πλαστική ανάλυση: ξ = x/d ≤ 0,45 → μ_{lim}=0,295 (βλ Πίν. 2.2)

(β) Διαρροή εφελκυόμενου οπλισμού: ξ = x/d ≤ 0,617→ μ_{lim}=0,372 (βλ Πίν. 2.3)

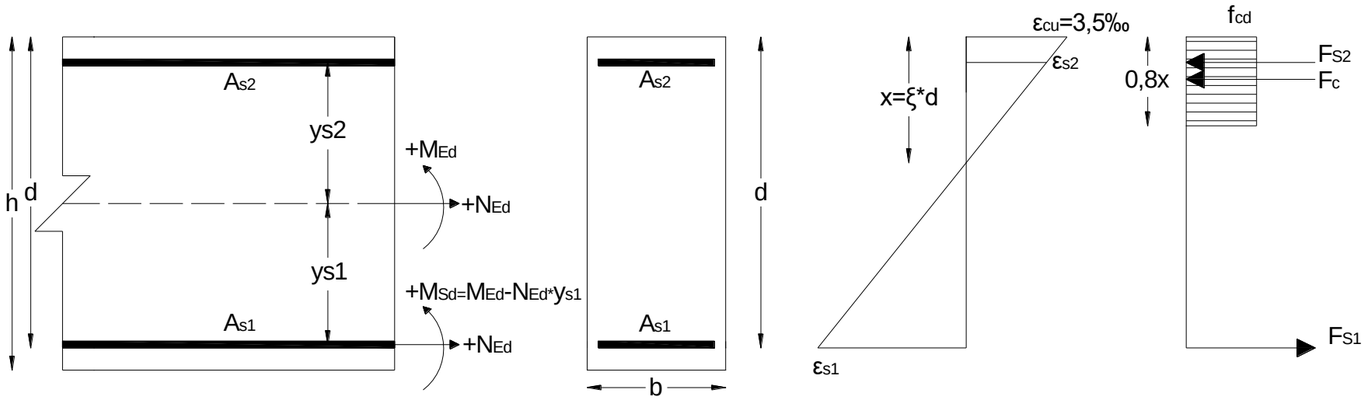
Πίνακας 2.1 Διαστασιολόγηση κατά EN1992, απλός οπλισμός — **B500C**

μ_{sd}	ζ	ξ	ω	ε_{s1} (‰)
0,01	0,995	0,013	0,010	275,09
0,02	0,990	0,025	0,020	135,09
0,03	0,985	0,038	0,030	88,41
0,04	0,980	0,051	0,041	65,07
0,05	0,974	0,064	0,051	51,06
0,06	0,969	0,077	0,062	41,72
0,07	0,964	0,091	0,073	35,05
0,08	0,958	0,104	0,083	30,04
0,09	0,953	0,118	0,094	26,14
0,10	0,947	0,132	0,106	23,02
0,11	0,942	0,146	0,117	20,47
0,12	0,936	0,160	0,128	18,34
0,13	0,930	0,175	0,140	16,53
0,14	0,924	0,189	0,151	14,99
0,15	0,918	0,204	0,163	13,64
0,16	0,912	0,219	0,175	12,47
0,17	0,906	0,234	0,188	11,43
0,18	0,900	0,250	0,200	10,50
0,19	0,894	0,266	0,213	9,67
0,20	0,887	0,282	0,225	8,92
0,21	0,881	0,298	0,238	8,24
0,22	0,874	0,3146	0,252	7,63
0,23	0,867	0,331	0,265	7,06
0,24	0,861	0,349	0,279	6,54
0,25	0,854	0,366	0,293	6,06
0,26	0,846	0,384	0,307	5,62
0,27	0,839	0,402	0,322	5,20
0,28	0,832	0,421	0,337	4,82
0,29	0,824	0,440	0,352	4,46
0,295	**0,820**	**0,450**	**0,360**	**4,28**
0,30	0,816	0,459	0,368	4,12
0,31	0,808	0,479	0,384	3,80
0,32	0,800	0,500	0,400	3,50
0,33	0,792	0,521	0,417	3,22
0,34	0,783	0,543	0,434	2,95
0,35	0,774	0,565	0,452	2,69
0,36	0,765	0,589	0,471	2,45
0,37	0,755	0,613	0,490	2,21
0,372	**0,753**	**0,617**	**0,494**	**2,17**
~~0,38~~	~~0,745~~	~~0,638~~	~~0,510~~	~~1,99~~
~~0,39~~	~~0,735~~	~~0,664~~	~~0,531~~	~~1,77~~
~~0,40~~	~~0,724~~	~~0,691~~	~~0,553~~	~~1,57~~
~~0,41~~	~~0,712~~	~~0,720~~	~~0,576~~	~~1,36~~
~~0,42~~	~~0,700~~	~~0,750~~	~~0,600~~	~~1,17~~
~~0,43~~	~~0,687~~	~~0,782~~	~~0,626~~	~~0,97~~
~~0,44~~	~~0,673~~	~~0,817~~	~~0,654~~	~~0,78~~
~~0,45~~	~~0,658~~	~~0,855~~	~~0,684~~	~~0,59~~
~~0,46~~	~~0,641~~	~~0,896~~	~~0,717~~	~~0,40~~
~~0,47~~	~~0,622~~	~~0,944~~	~~0,755~~	~~0,21~~
~~0,48~~	~~0,600~~	~~1,000~~	~~0,800~~	~~0,00~~

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

2.2 Διπλά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος, x/d≤0,45 (δυνατότητα ανακατανομής για πλαστική ανάλυση)

(για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)



$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b * d^2 * f_{cd}}$$

Από τον Πίνακα 2.2 ο απαιτούμενος οπλισμός υπολογίζεται ως:

$$A_{s1} = \omega_1 * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

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

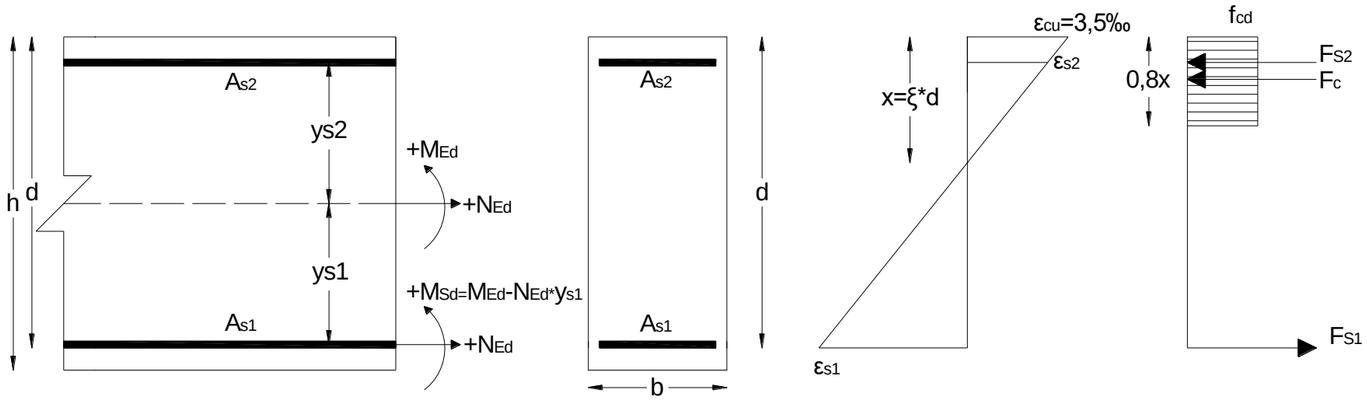
με N_{Ed}<0 για θλίψη

Πίνακας 2.2. Διαστασιολόγηση κατά EN1992, διπλός οπλισμός								B500C
Πλαστική Ανάλυση								ξ_{lim}=0,45
	d_2/d=0,05		d_2/d=0,10		d_2/d=0,15		d_2/d=0,20	
	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)
μ_{sd}	4,28	3,11	4,28	2,72	4,28	2,33	4,28	1,94
	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2
0,295	0,360	0	0,360	0	0,360	0	0,360	0
0,30	0,365	0,005	0,365	0,005	0,366	0,006	0,367	0,007
0,31	0,376	0,016	0,376	0,016	0,377	0,017	0,381	0,021
0,32	0,386	0,026	0,388	0,028	0,389	0,029	0,395	0,035
0,33	0,397	0,037	0,399	0,039	0,401	0,041	0,409	0,049
0,34	0,407	0,047	0,410	0,050	0,413	0,053	0,423	0,063
0,35	0,418	0,058	0,421	0,061	0,424	0,064	0,437	0,077
0,36	0,428	0,068	0,432	0,072	0,436	0,076	0,451	0,091
0,37	0,439	0,079	0,443	0,083	0,448	0,088	0,465	0,105
0,38	0,449	0,089	0,454	0,094	0,460	0,100	0,479	0,119
0,39	0,460	0,100	0,465	0,105	0,472	0,112	0,492	0,132
0,40	0,470	0,110	0,476	0,116	0,483	0,123	0,506	0,146
0,41	0,481	0,121	0,488	0,128	0,495	0,135	0,520	0,160
0,42	0,491	0,131	0,499	0,139	0,507	0,147	0,534	0,174
0,43	0,502	0,142	0,510	0,150	0,519	0,159	0,548	0,188
0,44	0,512	0,152	0,521	0,161	0,530	0,170	0,562	0,202
0,45	0,523	0,163	0,532	0,172	0,542	0,182	0,576	0,216
0,46	0,533	0,173	0,543	0,183	0,554	0,194	0,590	0,230
0,47	0,544	0,184	0,554	0,194	0,566	0,206	0,604	0,244
0,48	0,555	0,195	0,565	0,205	0,577	0,217	0,618	0,258
0,49	0,565	0,205	0,576	0,216	0,589	0,229	0,632	0,272
0,50	0,576	0,216	0,588	0,228	0,601	0,241	0,646	0,286
0,51	0,586	0,226	0,599	0,239	0,613	0,253	0,660	0,300
0,52	0,597	0,237	0,610	0,250	0,624	0,264	0,674	0,314
0,53	0,607	0,247	0,621	0,261	0,636	0,276	0,688	0,328
0,54	0,618	0,258	0,632	0,272	0,648	0,288	0,702	0,342
0,55	0,628	0,268	0,643	0,283	0,660	0,300	0,716	0,356
0,56	0,639	0,279	0,654	0,294	0,672	0,312	0,730	0,370
0,57	0,649	0,289	0,665	0,305	0,683	0,323	0,744	0,384
0,58	0,660	0,300	0,676	0,316	0,695	0,335	0,758	0,398
0,59	0,670	0,310	0,688	0,328	0,707	0,347	0,772	0,412
0,60	0,681	0,321	0,699	0,339	0,719	0,359	0,786	0,426

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

2.3 Διπλά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος, x/d≤0,617 (διαρροή εφελκυόμενου οπλισμού)

(για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)



$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b * d^2 * f_{cd}}$$

Από τον Πίνακα 2.3 ο απαιτούμενος οπλισμός υπολογίζεται ως:

$$A_{s1} = \omega_1 * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

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

με N_{Ed}<0 για θλίψη

Πίνακας 2.3. Διαστασιολόγηση κατά EN1992, διπλός οπλισμός							B500C	
Διαρροή Εφελκυόμενου Οπλισμού							ξ_{lim}=0,617	
	d_2/d=0,05		d_2/d=0,10		d_2/d=0,15		d_2/d=0,20	
	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)	ε_{s1} (‰)	ε_{s2} (‰)
μ_{sd}	2,17	3,22	2,17	2,93	2,17	2,65	2,17	2,37
	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2
0,372	0,494	0	0,494	0	0,494	0	0,494	0
0,38	0,502	0,009	0,503	0,009	0,503	0,010	0,504	0,010
0,39	0,513	0,019	0,514	0,020	0,515	0,021	0,516	0,023
0,40	0,523	0,030	0,525	0,031	0,527	0,033	0,529	0,035
0,41	0,534	0,040	0,536	0,042	0,539	0,045	0,541	0,048
0,42	0,544	0,051	0,547	0,054	0,550	0,057	0,554	0,060
0,43	0,555	0,061	0,558	0,065	0,562	0,068	0,566	0,073
0,44	0,565	0,072	0,569	0,076	0,574	0,080	0,579	0,085
0,45	0,576	0,082	0,581	0,087	0,586	0,092	0,591	0,098
0,46	0,586	0,093	0,592	0,098	0,597	0,104	0,604	0,110
0,47	0,597	0,103	0,603	0,109	0,609	0,116	0,616	0,123
0,48	0,608	0,114	0,614	0,120	0,621	0,127	0,629	0,135
0,49	0,618	0,124	0,625	0,131	0,633	0,139	0,641	0,148
0,50	0,629	0,135	0,636	0,142	0,644	0,151	0,654	0,160
0,51	0,639	0,145	0,647	0,154	0,656	0,163	0,666	0,173
0,52	0,650	0,156	0,658	0,165	0,668	0,174	0,679	0,185
0,53	0,660	0,167	0,669	0,176	0,680	0,186	0,691	0,198
0,54	0,671	0,177	0,681	0,187	0,692	0,198	0,704	0,210
0,55	0,681	0,188	0,692	0,198	0,703	0,210	0,716	0,223
0,56	0,692	0,198	0,703	0,209	0,715	0,221	0,729	0,235
0,57	0,702	0,209	0,714	0,220	0,727	0,233	0,741	0,248
0,58	0,713	0,219	0,725	0,231	0,739	0,245	0,754	0,260
0,59	0,723	0,230	0,736	0,242	0,750	0,257	0,766	0,273
0,60	0,734	0,240	0,747	0,254	0,762	0,268	0,779	0,285

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

2.4 Πλακοδοκοί υπό κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη με απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος (για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60, και για ξ≤0.617)

Ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}}$$

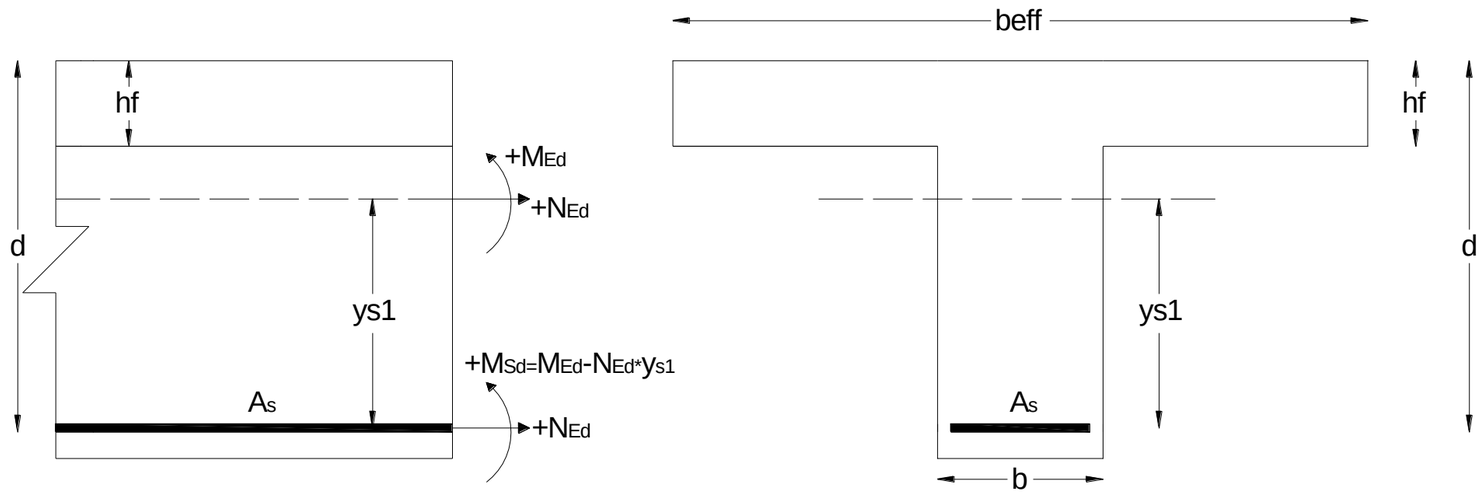
Απαιτούμενος οπλισμός:

$$A_{s1} = \omega * b_{eff} * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

Διπλός οπλισμός (όταν $\mu_{sd}>\mu_{lim}$): $\Delta\mu=\mu_{sd}-\mu_{lim}$

$$A_{s1} = \left[\omega_{lim} + \frac{\Delta\mu}{1 - d_2/d}\right] * b_{eff} * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_{s2} = \frac{\Delta\mu}{1 - d_2/d} * b_{eff} * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

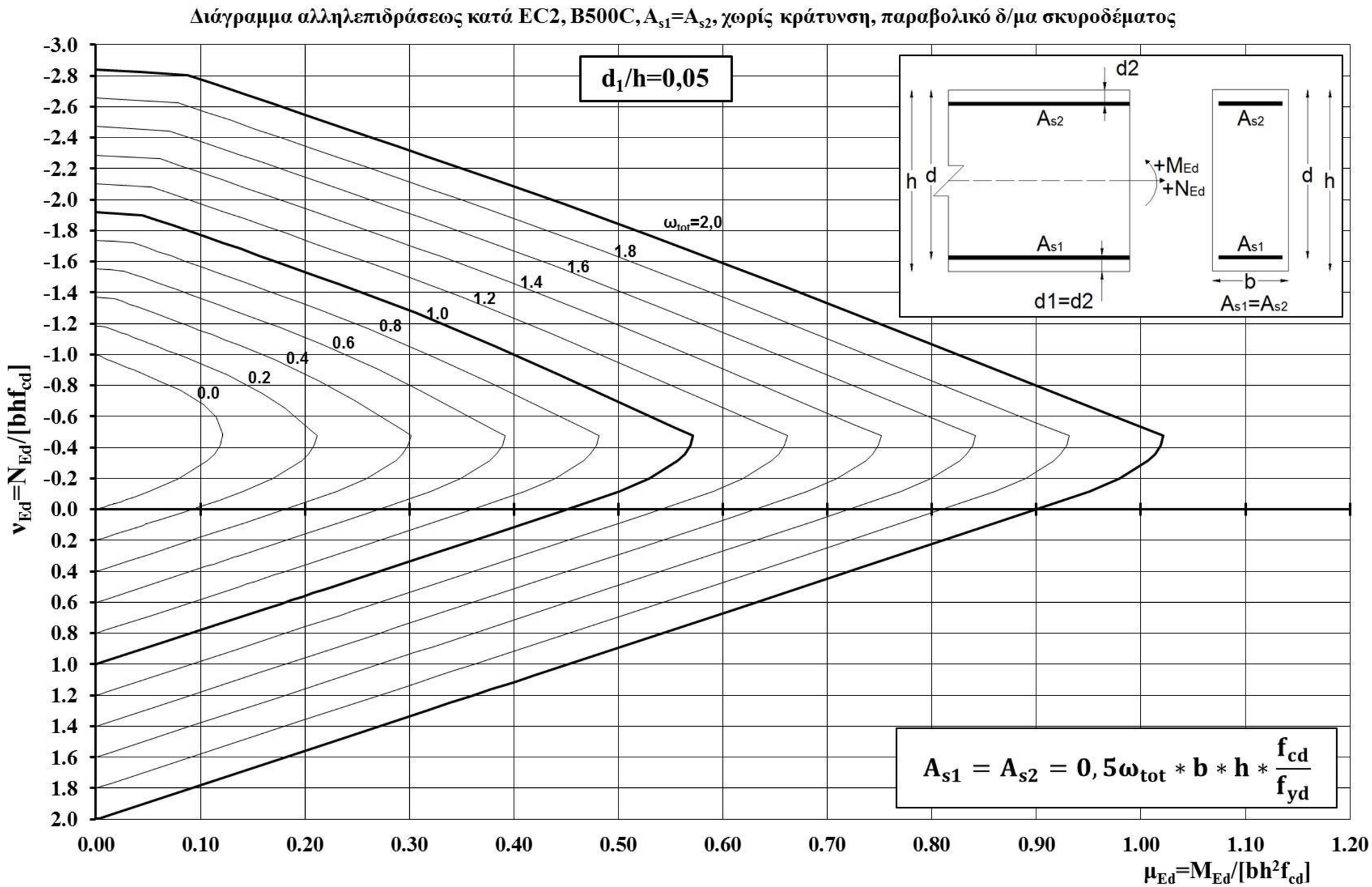


Πίνακας 2.4 Γενικός πίνακας για τον σχεδιασμό πλακοδοκών υπό κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη (ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων). **B500C**

μ_{sd}	$h_f/d=0,05$					$h_f/d=0,10$					$h_f/d=0,15$					$h_f/d=0,20$					$h_f/d=0,30$					$h_f/d=0,40$				
	ω για b_{eff}/b=					ω για b_{eff}/b=					ω για b_{eff}/b=					ω για b_{eff}/b=					ω για b_{eff}/b=					ω για b_{eff}/b=				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
0,02	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
0,04	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041
0,06	0,063	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062
0,08	0,092	0,086	0,085	0,084	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
0,10		0,115	0,110	0,107	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106
0,12			0,137	0,132	0,128	0,134	0,130	0,129	0,129	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128
0,14			0,168	0,158	0,151		0,160	0,155	0,153	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
0,16				0,187	0,175			0,184	0,179	0,175	0,180	0,177	0,176	0,176	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
0,18				0,218	0,200			0,217	0,207	0,200		0,209	0,204	0,202	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,20				0,252	0,225				0,238	0,225			0,235	0,229	0,225		0,227	0,226	0,226	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
0,22					0,252				0,272	0,252				0,260	0,252			0,256	0,254	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252
0,24					0,279					0,279				0,293	0,279			0,290	0,284	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279
0,26					0,307					0,307					0,307				0,317	0,307	0,308	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307
0,28					0,337					0,337					0,337					0,337		0,342	0,339	0,338	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337
0,30					0,368					0,368					0,368					0,368			0,377	0,372	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368
0,32					0,400					0,400					0,400					0,400					0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
0,34					0,434					0,434					0,434					0,434					0,434				0,435	0,434
0,36					0,471					0,471					0,471					0,471					0,471					0,471
0,372					0,494					0,494					0,494					0,494					0,494					0,494
μ_{lim}	0,081	0,113	0,157	0,210	0,372	0,123	0,150	0,187	0,234	0,372	0,162	0,185	0,217	0,255	0,372	0,199	0,218	0,244	0,276	0,372	0,267	0,278	0,294	0,314	0,372	0,325	0,330	0,337	0,346	0,372
ω_{lim}	0,094	0,139	0,198	0,272	0,494	0,139	0,179	0,231	0,297	0,494	0,184	0,219	0,265	0,322	0,494	0,229	0,259	0,298	0,347	0,494	0,319	0,339	0,365	0,397	0,494	0,409	0,419	0,431	0,447	0,494

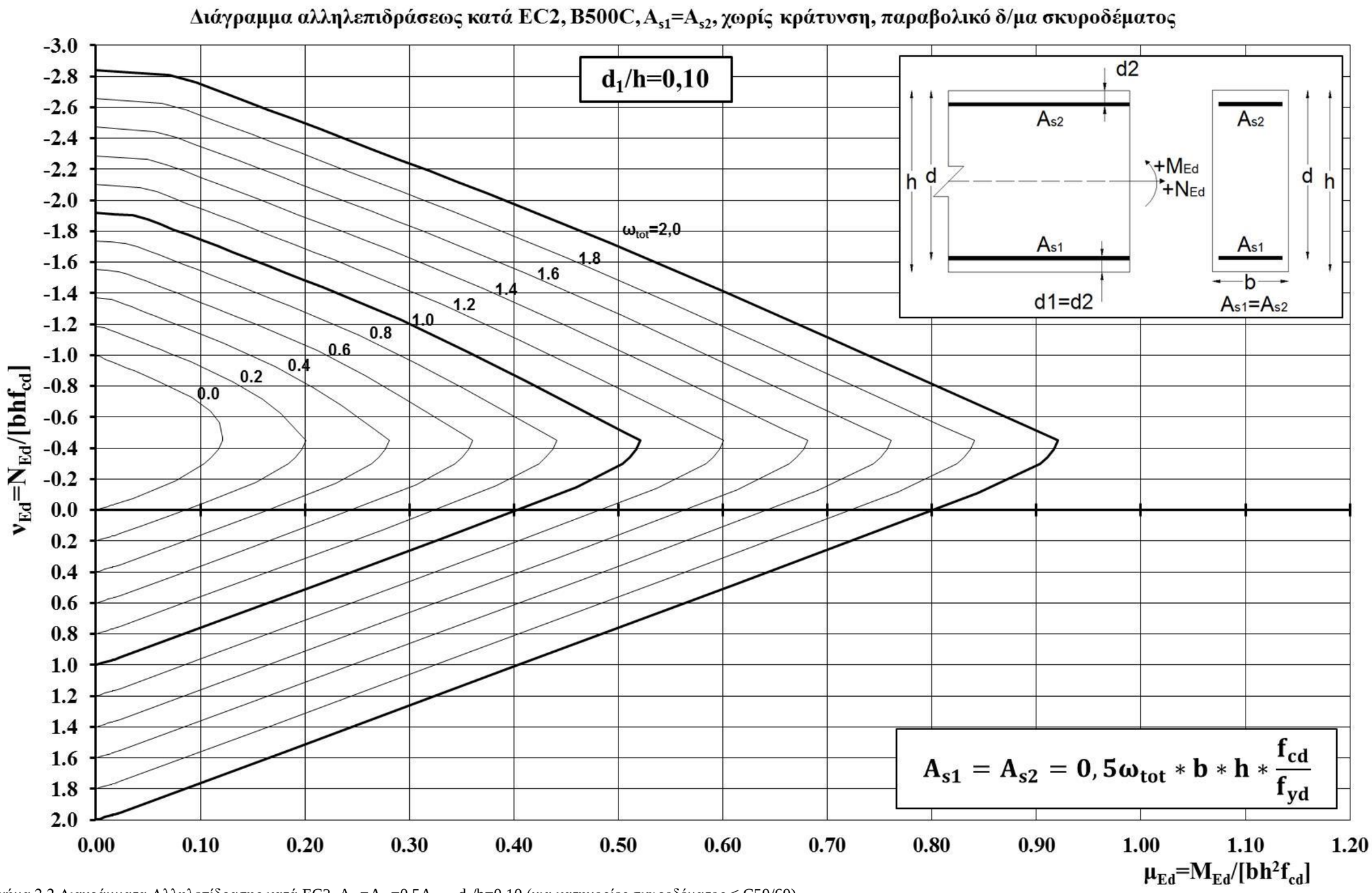
2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

2.5 Υποστυλώματα-Διαγράμματα αλληλεπίδρασης με παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος (για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)



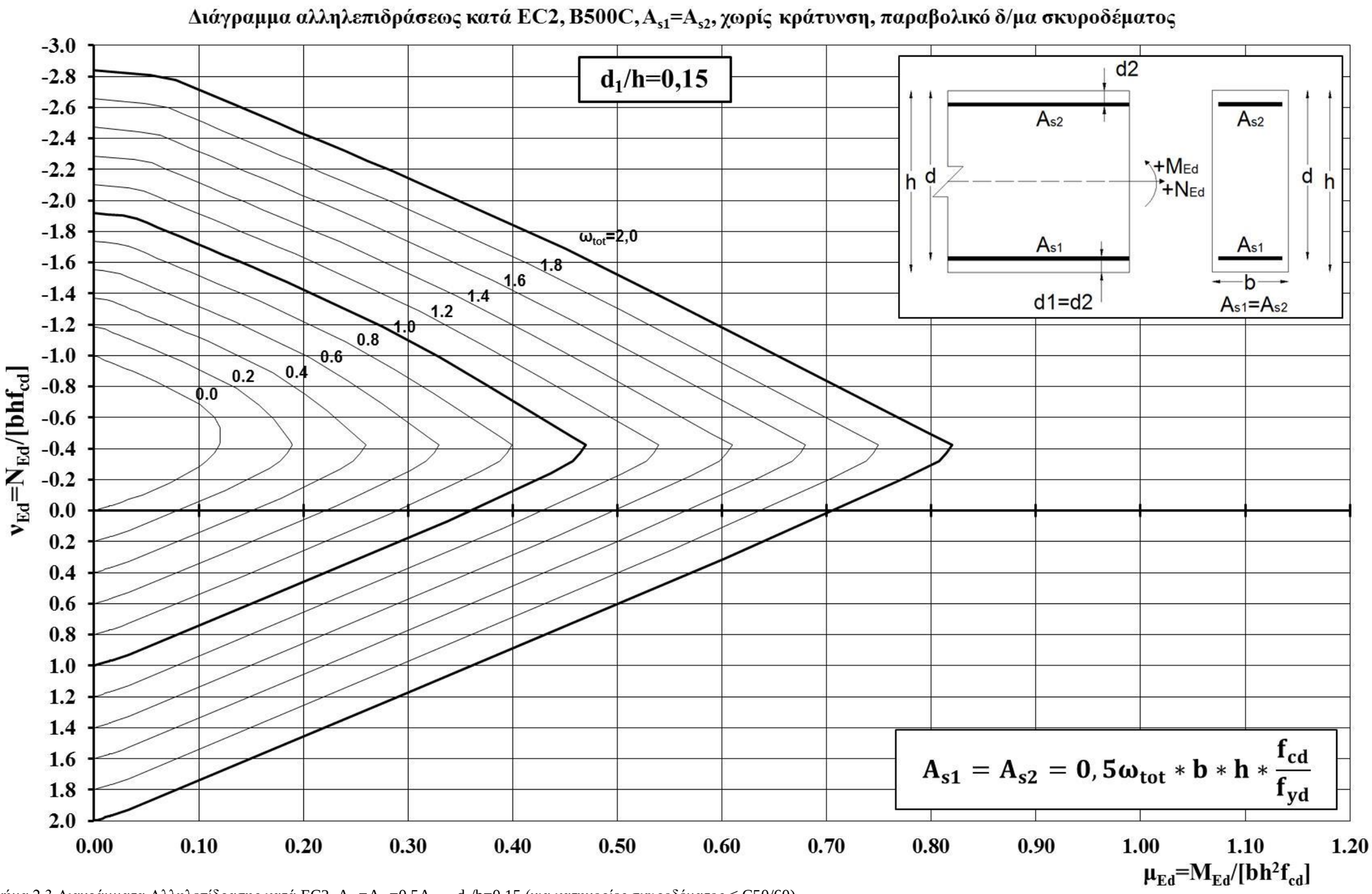
Σχήμα 2.1 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης κατά EC2, $A_{s1}=A_{s2}=0{,}5A_{s,tot}$, $d_1/h=0{,}05$ (για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης



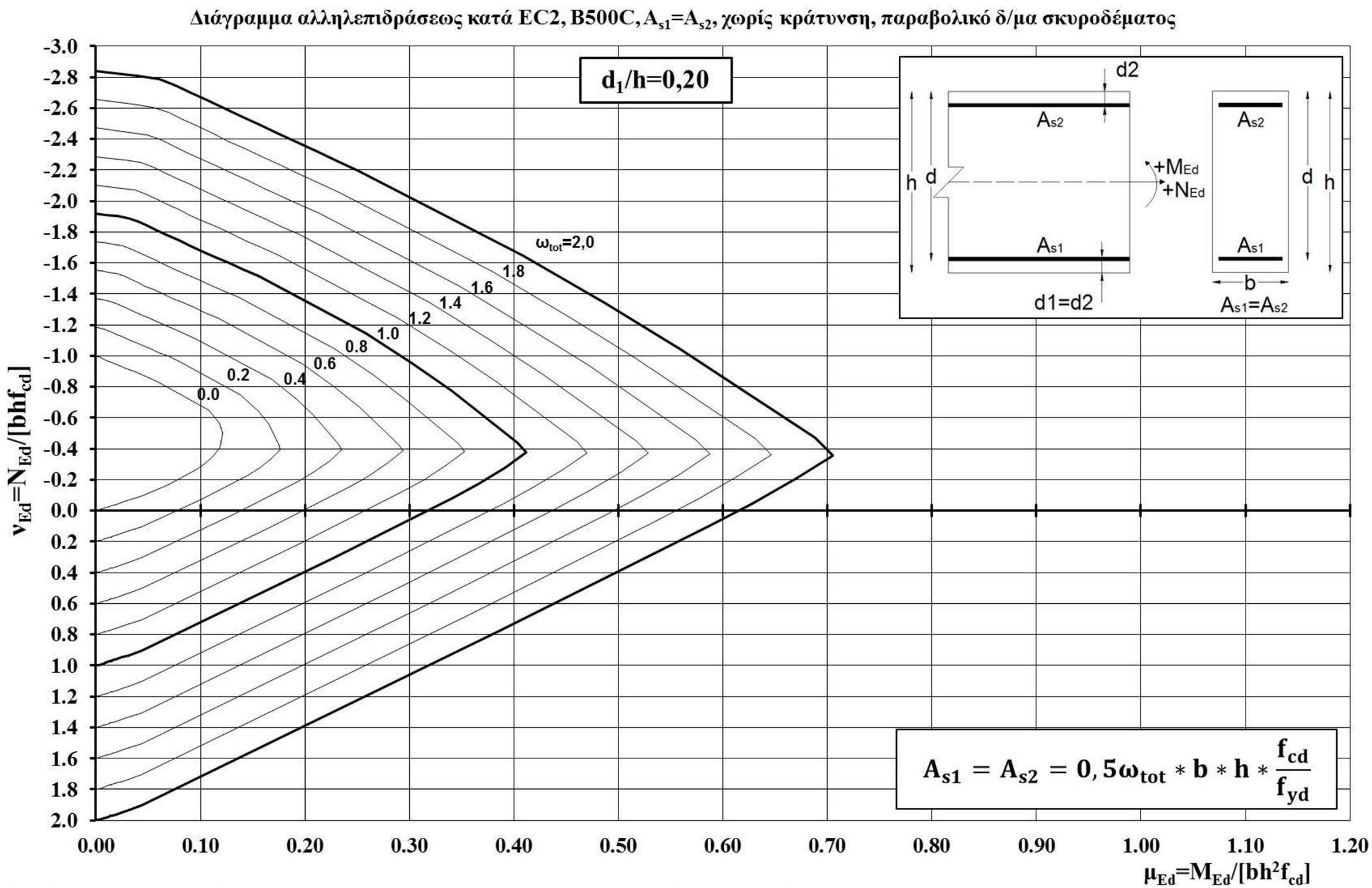
Σχήμα 2.2 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης κατά EC2, $A_{s1}=A_{s2}=0,5A_{s,tot}$, $d_1/h=0,10$ (για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης



Σχήμα 2.3 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης κατά EC2, $A_{s1}=A_{s2}=0{,}5A_{s,tot}$, $d_1/h=0{,}15$ (για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

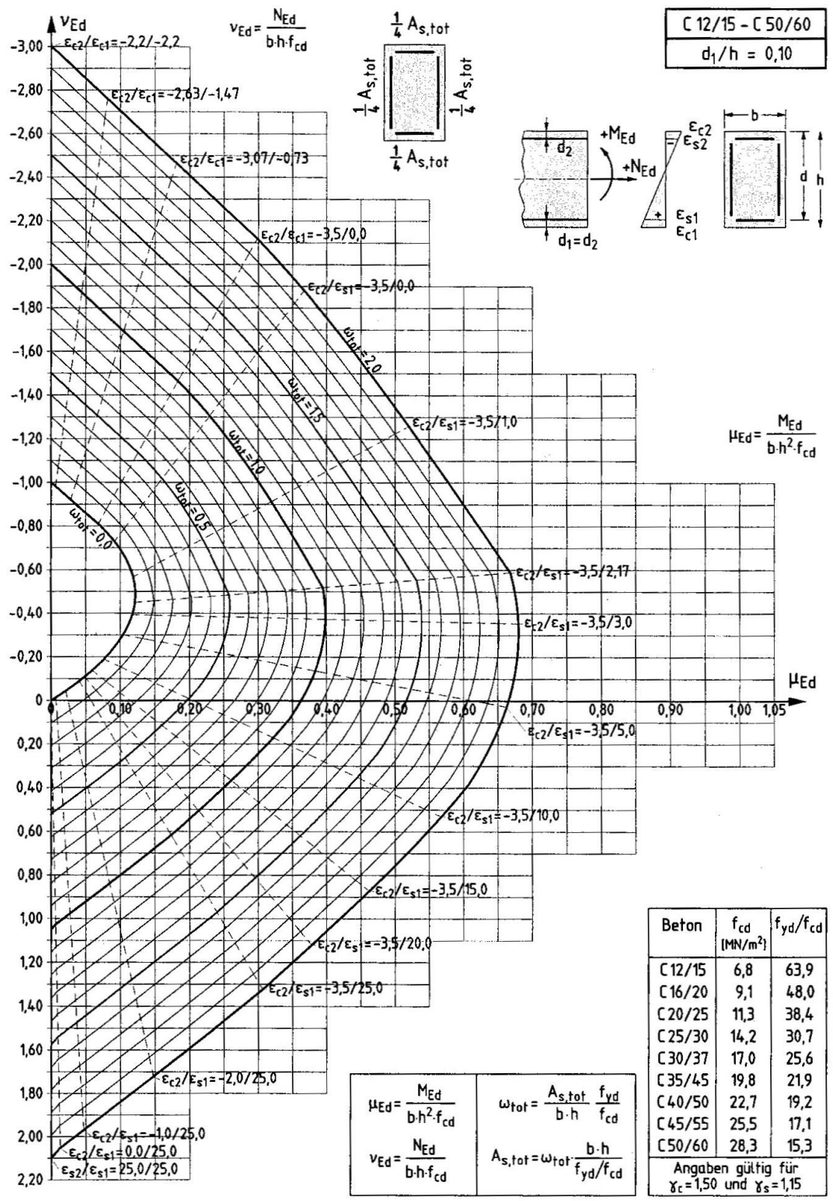


Σχήμα 2.4 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης κατά EC2, $A_{s1}=A_{s2}=0,5A_{s,tot}$, $d_1/h=0,20$ (για κατηγορίες σκυροδέματος ≤ C50/60)

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

(Schneider "Bautabellen für Ingenieure" - με βάση το Γερμανικό προσάρτημα το οποίο έχει μικρές διαφορές από το ελληνικό, π.χ. η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος είναι 2.2‰)

Tafel 6a



$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$ $\quad \omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$

$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$ $\quad A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{b \cdot h}{f_{yd}/f_{cd}}$

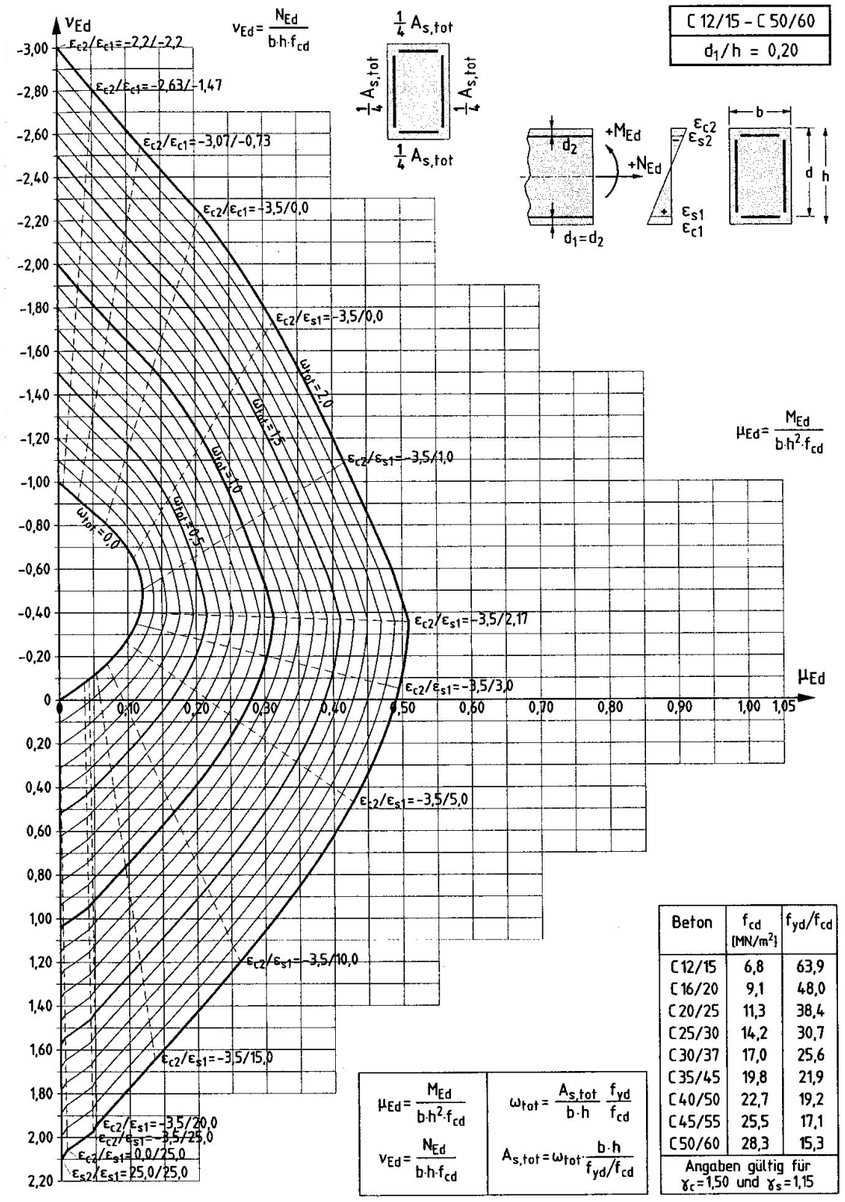
Beton	f_{cd} [MN/m²]	f_{yd}/f_{cd}
C12/15	6,8	63,9
C16/20	9,1	48,0
C20/25	11,3	38,4
C25/30	14,2	30,7
C30/37	17,0	25,6
C35/45	19,8	21,9
C40/50	22,7	19,2
C45/55	25,5	17,1
C50/60	28,3	15,3

Angaben gültig für $\gamma_c = 1{,}50$ und $\gamma_s = 1{,}15$

Interaktionsdiagramm für den Rechteckquerschnitt mit Bewehrungsanordnung nach obiger Skizze (BSt 500 mit γ_s = 1,15; Beton ≤ C50/60); d_1/h = 0,10 (aus [5.83])

Σχήμα 2.5 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης, ορθογωνική διατομή, $A_{s1}=A_{s2}=A_{s3}=A_{s4}=0{,}25A_{s,tot}$, $d_1/h=0{,}10$

Tafel 6b



$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$ $\quad \omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$

$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$ $\quad A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{b \cdot h}{f_{yd}/f_{cd}}$

Beton	f_{cd} [MN/m²]	f_{yd}/f_{cd}
C12/15	6,8	63,9
C16/20	9,1	48,0
C20/25	11,3	38,4
C25/30	14,2	30,7
C30/37	17,0	25,6
C35/45	19,8	21,9
C40/50	22,7	19,2
C45/55	25,5	17,1
C50/60	28,3	15,3

Angaben gültig für $\gamma_c = 1{,}50$ und $\gamma_s = 1{,}15$

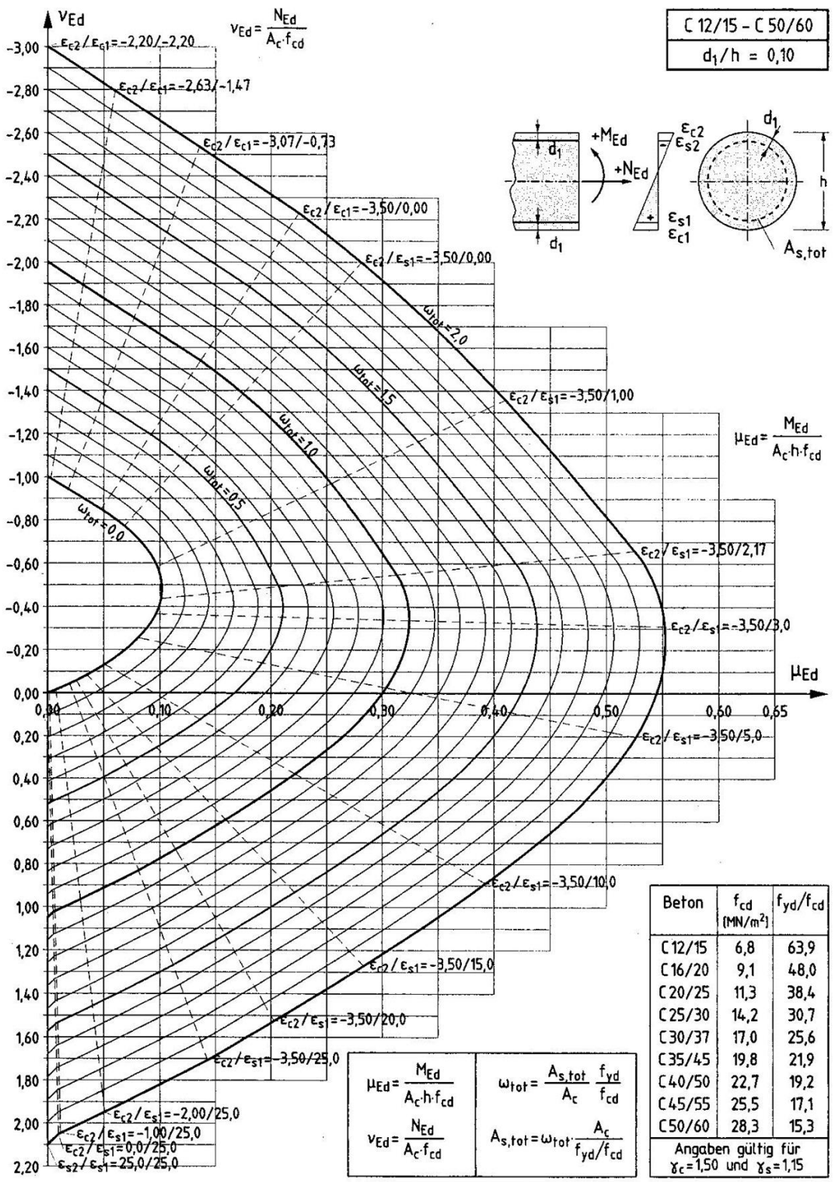
Interaktionsdiagramm für den Rechteckquerschnitt mit Bewehrungsanordnung nach obiger Skizze (BSt 500 mit γ_s = 1,15; Beton ≤ C50/60); d_1/h = 0,20 (aus [5.83])

Σχήμα 2.6 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης, ορθογωνική διατομή, $A_{s1}=A_{s2}=A_{s3}=A_{s4}=0{,}25A_{s,tot}$, $d_1/h=0{,}20$

2. Υπολογισμός Διατομών υπό μεγέθη Ορθής Έντασης

(Schneider "Bautabellen für Ingenieure")

Tafel 7a



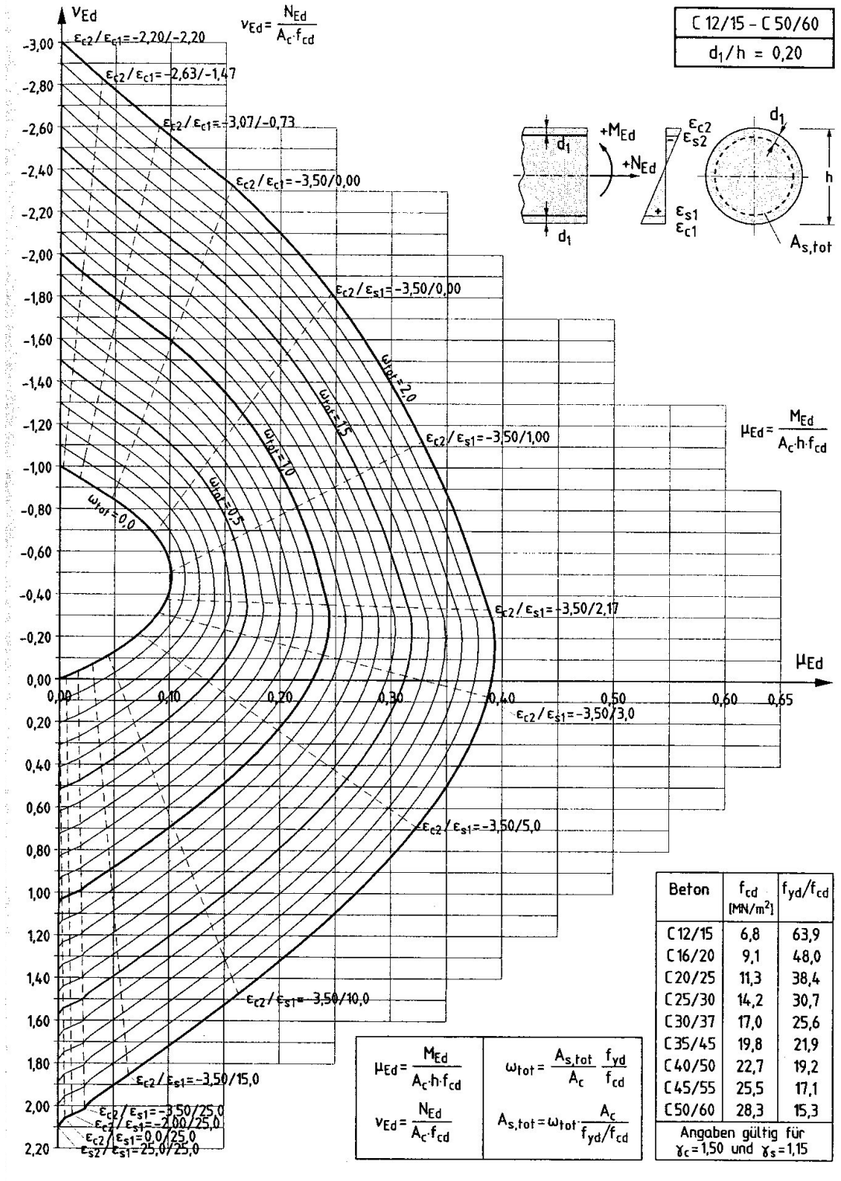
Beton	f_{cd} [MN/m²]	f_{yd}/f_{cd}
C12/15	6,8	63,9
C16/20	9,1	48,0
C20/25	11,3	38,4
C25/30	14,2	30,7
C30/37	17,0	25,6
C35/45	19,8	21,9
C40/50	22,7	19,2
C45/55	25,5	17,1
C50/60	28,3	15,3

Angaben gültig für $\gamma_c = 1{,}50$ und $\gamma_s = 1{,}15$

Interaktionsdiagramm für den Kreisquerschnitt mit Bewehrungsanordnung nach obiger Skizze (BSt 500 mit $\gamma_s = 1{,}15$; Beton ≤ C50/60); $d_1/h = 0{,}10$ (aus [5.83])

Σχήμα 2.7 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης, κυκλική διατομή, $d_1/h=0{,}10$

Tafel 7b



Beton	f_{cd} [MN/m²]	f_{yd}/f_{cd}
C12/15	6,8	63,9
C16/20	9,1	48,0
C20/25	11,3	38,4
C25/30	14,2	30,7
C30/37	17,0	25,6
C35/45	19,8	21,9
C40/50	22,7	19,2
C45/55	25,5	17,1
C50/60	28,3	15,3

Angaben gültig für $\gamma_c = 1{,}50$ und $\gamma_s = 1{,}15$

Interaktionsdiagramm für den Kreisquerschnitt mit Bewehrungsanordnung nach obiger Skizze (BSt 500 mit $\gamma_s = 1{,}15$; Beton ≤ C50/60); $d_1/h = 0{,}20$ (aus [5.83])

Σχήμα 2.8 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης, κυκλική διατομή, $d_1/h=0{,}20$

3. Υπολογισμός Διατομών έναντι Τέμνουσας

3.1 Τέμνουσα για την οποία δεν απαιτείται (ή απαιτείται ο ελάχιστος) οπλισμός διάτμησης, $V_{Rd,c}$ (έλεγχος σε απόσταση d από την παρειά μιας άμεσης στήριξης)

$$V_{Rd,c}=\left[C_{Rd,c}k\left(100\rho_l f_{ck}\right)^{1/3}+k_1\sigma_{cp}\right]b_w d\geq\left(v_{min}+k_1\sigma_{cp}\right)b_w d$$

f_{ck} σε MPa

$$k=1+\sqrt{\frac{200}{d}}\leq 2{,}0 \text{ (d σε mm)}$$

$\rho_l=A_{sl}/(b_w d)<0.02$

A_{sl} είναι το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού που εκτείνεται σε απόσταση μεγαλύτερη από $(l_{bd}+d)$ πέρα από τη θεωρούμενη διατομή (ο οπλισμός ο οποίος διαπερνά την ρωγμή η οποία ξεκινά από την εξεταζόμενη θέση (A) και είναι καλά αγκυρωμένος πέραν της ρωγμής) (βλ Σχήμα 3.1)

b_w είναι το ελάχιστο πλάτος της διατομής μεταξύ εφελκυόμενου και θλιβόμενου πέλματος (σε mm)

$\sigma_{cp}=N_{Ed}/A_c<0.2f_{cd}$ όπου N_{Ed} είναι η αξονική της διατομής (σε N) ($N_{Ed}>0$ για θλίψη) (αν η N είναι εφελκυστική τότε $\sigma_{cp}=0$)

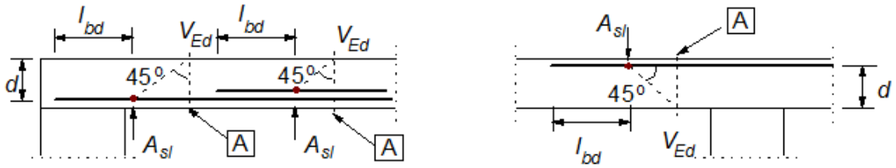
A_c είναι το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος (mm^2)

$V_{Rd,c}$ σε N

$C_{Rd,c}=0{,}18/\gamma_c=0{,}18/1{,}5=0{,}12$

$v_{min}=0{,}035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}$

$k_1=0{,}15$



Σχήμα 3.1 Ορισμός του A_{sl} (EC2, Σχ.6.3)

3.2 Τέμνουσα που αναλαμβάνει ο οπλισμός διάτμησης, $V_{Rd,s}$ (έλεγχος σε απόσταση d από την παρειά μιας άμεσης στήριξης)

$$V_{Rd,s}=\frac{A_{sw}}{s_w}zf_{ywd}(\cot\theta+\cot\alpha)\sin\alpha$$

$z=0{,}9d$

A_{sw} είναι το συνολικό εμβαδόν των σκελών των συνδετήρων

s_w είναι η απόσταση των συνδετήρων

f_{ywd} είναι η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης

α είναι η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτμησης με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα της δοκού

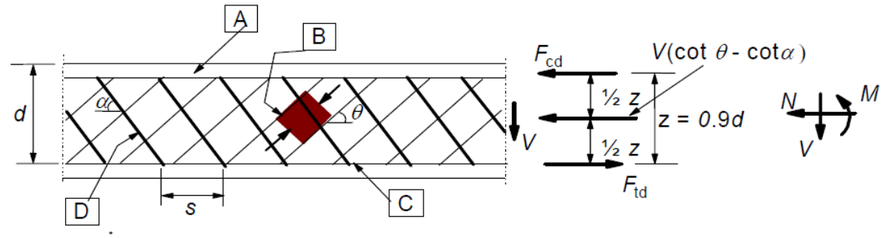
θ είναι η γωνία που σχηματίζουν οι λοξοί θλιπτήρες σκυροδέματος με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα της δοκού

3.3 Μέγιστη τέμνουσα που αναλαμβάνει το στοιχείο (αστοχία λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος), $V_{Rd,max}$ (έλεγχος στην παρειά μιας άμεσης στήριξης)

$$V_{Rd,max}=a_{cw}b_w z\nu_1 f_{cd}(\cot\theta+\cot\alpha)/(1+\cot^2\theta)$$

$a_{cw}=1$ για ΣΣ, $a_{cw}=1$ για ΣΣ (για ΠΣ βλ σελ 89 του EC2)

$\nu_1=0{,}6\left[1-\frac{f_{ck}}{250}\right]$ ή $\nu_1=0{,}9-\frac{f_{ck}}{200}$ με $0{,}5<\nu_1<0{,}6$ για μειωμένη τάση των συνδετήρων $\sigma_{sw}\leq 0{,}8f_{yk}$



A θλιβόμενο πέλμα, B θλιπτήρες, C εφελκυόμενη χορδή, D οπλισμός διάτμησης

Κλίση συνδετήρων: $45^o<\alpha<90^o$ Κλίση διαγώνιων θλιπτήρων: $1<\cot\theta<2{,}5 \rightarrow 45^o>\theta>21{,}8^o$

Σχήμα 3.2 Μοντέλο δικτυώματος (EC2, Σχ.6.5)

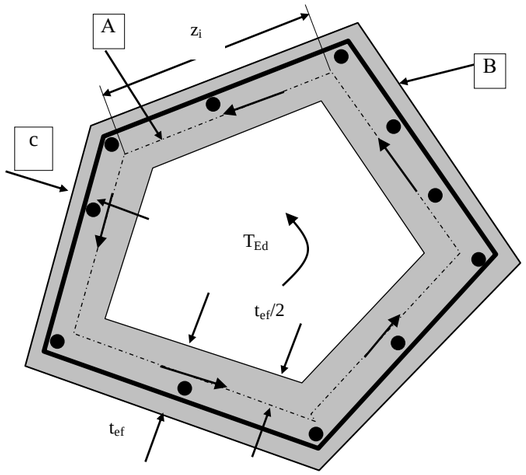
4. Υπολογισμός Διατομών έναντι Στρέψης

4.1 Ισοδύναμη λεπτότοιχη διατομή

A - μέση γραμμή
B - εξωτερικό όριο της ισοδύναμης διατομής, με περίμετρο u
C - απόσταση του κέντρου της διαμήκους ράβδου μέχρι το εξωτερικό όριο

Διατμητική ροή : $\tau_{t,i} t_{eff,i} = \frac{T_{Ed}}{2A_k}$ (δύναμη ανά μ.μ. του κάθε τοιχώματος)

Τέμνουσα δύναμη του τοιχώματος i:
$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} t_{eff,i} z_i = \frac{T_{Ed}}{2A_k} z_i$



Σχήμα 4.1 Ισοδύναμη λεπτότοιχη διατομή (EC2, Σχ.6.11)

A_k είναι το εμβαδόν που περικλείεται από τη μέση γραμμή των επιμέρους τοιχωμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των (όποιων) εσωτερικών κενών

$\tau_{t,i}$ είναι η διατμητική τάση λόγω στρέψης στο τοίχωμα i

u είναι η εξωτερική περίμετρος της διατομής

$t_{ef,i}$ είναι το πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής. Μπορεί να λαμβάνεται ίσο προς A/u, αλλά δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το διπλάσιο της απόστασης μεταξύ του άκρου της διατομής και του κέντρου του διαμήκους οπλισμού. Στις κοίλες διατομές το άνω όριο είναι το πραγματικό πάχος τους, δηλ. $t_{ef,i}=\max\{A/u, 2c\} \le t_{\text{πραγματικό}}$

A είναι το συνολικό εμβαδόν της διατομής που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο, συμπεριλαμβανομένων και των (όποιων) εσωτερικών κενών

z_i είναι το μήκος του επιμέρους τοιχώματος i οριζόμενο από την απόσταση των σημείων τομής του με τα γειτονικά τοιχώματα

4.2 Μέγιστη στρεπτική ροπή που αναλαμβάνει το στοιχείο (αστοχία λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος), $T_{Rd,max}$

$T_{Rd,max}=\nu\alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{ef,i} \sin 2\theta$

$\alpha_{cw}=1$

$\nu=0,6\left[1-\frac{f_{ck}}{250}\right]$

θ είναι η γωνία των λοξών θλιπτήρων

Έλεγχος επάρκειας διατομής:

$T_{Rd,max} \ge T_{Ed}$ (καθαρή στρέψη, δεν υπάρχει σχεδόν ποτέ)

$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \le 1$ (ταυτόχρονη στρέψη και τέμνουσα)

4.3 Στρεπτική ροπή ρηγματώσεως (χωρίς οπλισμό στρέψης), $T_{Rd,c}$

$T_{Rd,c}=2A_k f_{ctd} t_{ef,i}$ (για $\tau_{t,i}=f_{ctd}$)

f_{ctd} είναι η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού, $=f_{ctk,0.05}/1,5$

Όταν:

$T_{Rd,c} \ge T_{Ed}$ (καθαρή στρέψη)

ή

$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \le 1$ (ταυτόχρονη στρέψη και τέμνουσα)

τότε τίθεται ο ελάχιστος διαμήκης οπλισμός $A_{s,min}=0,26\,(f_{ctm}/f_{yk})b_t d \ge 0,0013 b_t d$ σε κάθε τοίχωμα.

4.4 Υπολογισμός διαμήκους οπλισμού στρέψης, ΣA_{sl}

Το εμβαδόν του απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού στρέψης (κατανέμεται ομοιόμορφα στην περίμετρο) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Sigma A_{sl}=u_k \frac{T_{Ed}}{2A_k f_{yd}} \cot\theta$$

u_k είναι η περίμετρος της περιοχής με εμβαδόν A_k

f_{yd} είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής του διαμήκους οπλισμού

θ είναι η γωνία των λοξών θλιπτήρων

Σε περίπτωση ταυτόχρονης στρέψης και κάμψης οι επιμέρους οπλισμοί αθροίζονται.

4.5 Στρεπτική ροπή σχεδιασμού που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες στρέψης, $T_{Rd,s}$

Οι συνδετήρες του τοιχώματος i υπολογίζονται από την τέμνουσα που προκαλεί η T_{Ed} στο τοίχωμα i:

$V_{Ed,i} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} z_i$

Για ταυτόχρονη στρέψη και τέμνουσα οι συνολικοί συνδετήρες αθροίζονται.

Η στρεπτική ροπή σχεδιασμού που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες υπολογίζεται ως:

$T_{Rd,s}=2*A_k*\left(\frac{A_{sw}}{s_w}\right)*f_{ywd}*\cot\theta$ (καθαρή στρέψη)

Ειδικώς για ορθογωνική διατομή με έναν περιμετρικό συνδετήρα ο συνολικός οπλισμός είναι:

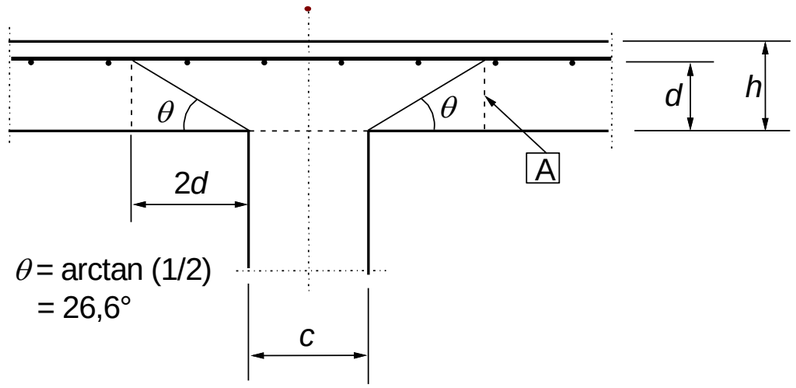
$\left(\frac{A_{sw}}{s_w}\right)_{tot} = \frac{1}{2\cot\theta * f_{ywd}}\left(\frac{T_{Ed}}{A_k}+\frac{V_{Ed}}{0,9d}\right)$ (ταυτόχρονη στρέψη και διάτμηση)

Όπου, και στις δύο παραπάνω σχέσεις, A_{sw} είναι το εμβαδόν του ενός σκέλους του συνδετήρα.

5. Διάτρηση

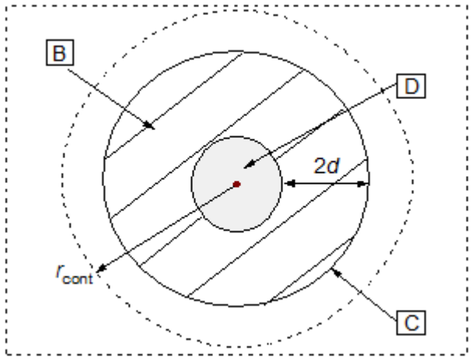
5.1 Μοντέλο υπολογισμού (γενικά)

Διατομή



A - βασική διατομή ελέγχου

Κάτοψη

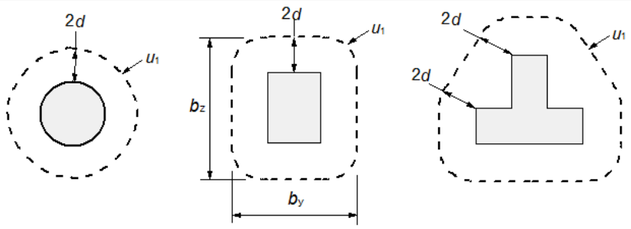
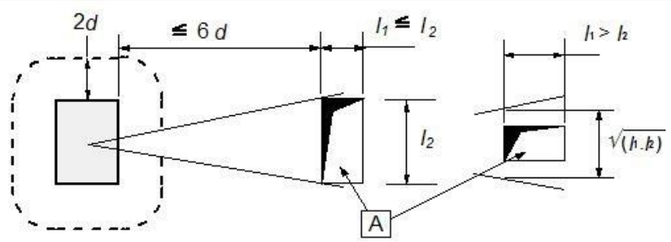
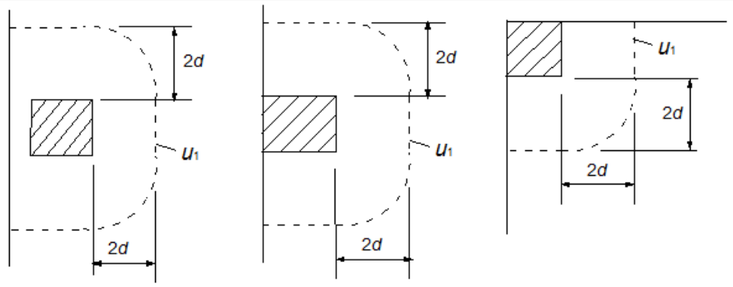


B - βασική επιφάνεια ελέγχου A_{cont} C - βασική περίμετρος ελέγχου, u_1

D - φορτιζόμενη επιφάνεια A_{load} r_{cont} ακτίνα άλλης περιμέτρου ελέγχου (βλ. Π.χ. Σχ. 5.4 και 5.9)

Σχήμα 5.1 Μοντέλο υπολογισμού για τον έλεγχο της Ο.Κ. αστοχίας από διάτρηση (EC2, Σχ. 6.12)

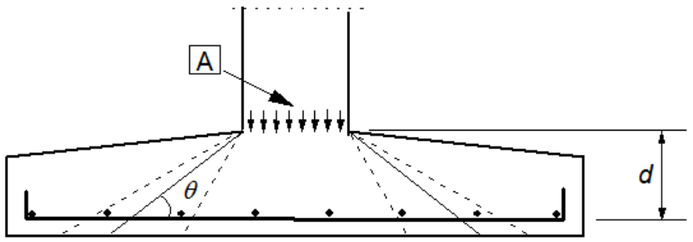
5.2 Βασική περίμετρος ελέγχου, u_1

α) Γενικά	**β) Βασική περίμετρος ελέγχου κοντά (≤6d) σε άνοιγμα**	**γ) Βασικές περίμετροι ελέγχου για φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται κοντά σε άκρο (≤d) ή γωνία**
 Σχήμα 5.2α Τυπικές βασικές περίμετροι ελέγχου γύρω από φορτιζόμενες επιφάνειες (EC2, Σχ. 6.13)	 [A]: άνοιγμα Σχήμα 5.2β Περίμετρος ελέγχου κοντά σε άνοιγμα (EC2, Σχ. 6.14)	 Σχήμα 5.2γ Βασικές περίμετροι ελέγχου για φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται κοντά σε άκρο ή γωνία (EC2, Σχ. 6.15)
Γενικώς η ελάχιστη απόσταση είναι **a=2d**. **<u>Σημείωση:</u>** Οταν μια μεγάλη πίεση (π.χ. η πίεση του εδάφους στη βάση) ή ένα φορτίο ή μία αντίδραση, μέσα σε μια απόσταση 2d από την περιφέρεια της επιφάνειας εφαρμογής του φορτίο, δρα αντίθετα προς τη διεύθυνση του συγκεντρωμένου φορτίου, τότε οι περίμετροι ελέγχου πρέπει να ορίζονται σε απόσταση μικρότερη από 2d (βλ παρ. 5.6)	Σε φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται κοντά σε ανοίγματα, εάν η εγγύτερη απόσταση μεταξύ της περιμέτρου της φορτιζόμενης επιφάνειας και της παρειάς του ανοίγματος δεν υπερβαίνει τα 6d, το τμήμα της περιμέτρου ελέγχου που περιλαμβάνεται μεταξύ δύο εφαπτομένων που χαράσσονται από το κέντρο της φορτιζόμενης επιφάνειας προς το περίγραμμα του ανοίγματος θεωρείται ανενεργό.	Σε φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται κοντά σε άκρο (≤d) ή επί του άκρου ή σε γωνία, η περίμετρος ελέγχου θα λαμβάνεται όπως φαίνεται στα σχήματα, όταν αυτά δίνουν περίμετρο (εξαιρουμένων των ελεύθερων- αστήρικτων άκρων) μικρότερη από εκείνη που προκύπτει με βάση την περίπτωση α.

5. Διάτρηση (συνέχεια)

5.3 Στατικό ύψος

Ως στατικό ύψος, d, ορίζεται το μέσο στατικό ύψος των δύο διευθύνσεων $d=\frac{d_x+d_y}{2}$

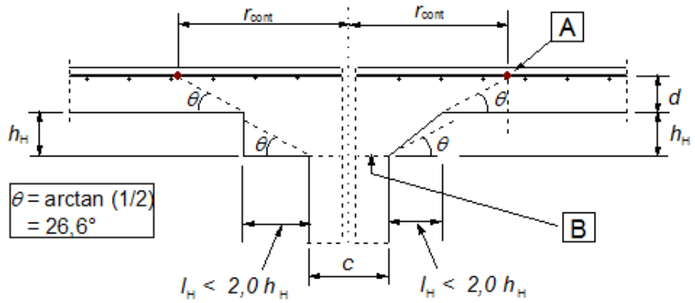
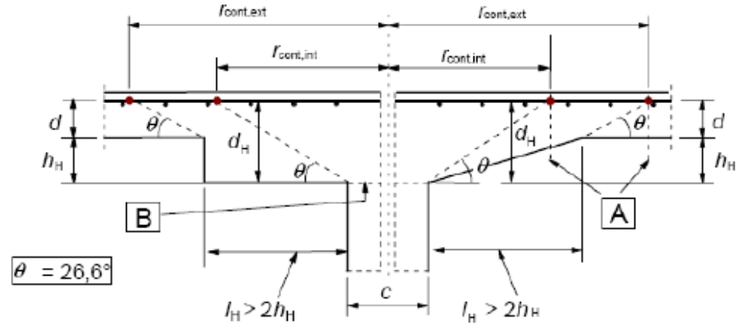


A - φορτιζόμενη επιφάνεια $\theta \geq \arctan(1/2)$

Σχήμα 5.3 Ύψος διατομής ελέγχου σε πέδιλο μεταβλητού πάχους (EC2, Σχ. 6.16)

Σε πλάκες ή πέδιλα μεταβλητού πάχους, εκτός από τα πέδιλα βαθμιδωτής μορφής, ως στατικό ύψος μπορεί να ληφθεί το ύψος στην περίμετρο της φορτιζόμενης επιφάνειας.

5.4 Βασική περίμετρος ελέγχου σε υποστυλώματα με διαπλάτυνση κεφαλής (κιονόκρανο), r_{cont}

α) Κυκλικά ή ορθογωνικά υποστυλώματα με **μικρή** διαπλάτυνση, $l_H < 2h_H$, έλεγχος σε μια διατομή	β) Κυκλικά υποστυλώματα με **μεγάλη** διαπλάτυνση, $l_H > 2h_H$, έλεγχος σε δυο διατομές
	
Σχήμα 5.4α Πλάκα με κιονόκρανο στο οποίο $l_H < 2{,}0\ h_H$ (EC2,Σχ.6.17)	Σχήμα 5.4β Πλάκα με κιονόκρανο στο οποίο $l_H > 2h_H$ (EC2,Σχ.6.18)
A - βασική διατομή ελέγχου B - φορτιζόμενη επιφάνεια A_{load}	A - οι δύο βασικές διατομές ελέγχου για κυκλικά υποστυλώματα B - φορτιζόμενη επιφάνεια A_{load}
Κυκλικά: $r_{cont} = 2d + l_H + 0{,}5c$ όπου: l_H είναι η απόσταση από την παρειά του υποστυλώματος ως το άκρο του κιονόκρανου c είναι η διάμετρος του κυκλικού υποστυλώματος	**Κυκλικά:** $r_{cont,ext} = l_H + 2d + 0{,}5c$ $r_{cont,int} = 2(d + h_H) + 0{,}5c$
Ορθογωνικά: Απλοποιητικά ο έλεγχος γίνεται σε **κυκλική** περίμετρο ακτίνας r_{cont} (και όχι με βάση τις γενικές διατάξεις (Σχ. 5.2α) $r_{cont}=\min\{2d+0{,}56\sqrt{(l_1 * l_2)};\ 2d+0{,}69 l_1\}$ όπου: $l_1 = c_1 + 2l_{H1}$ $l_2 = c_2 + 2l_{H2}$ $l_1 \leq l_2$	**Ορθογωνικά:** Ισχύουν οι γενικές διατάξεις (Σχ. 5.2α) (δηλαδή δεν εφαρμόζεται η απλοποιητική διαδικασία που εφαρμόζεται για τις μικρές διαπλατύνσεις)

5. Διάτρηση (συνέχεια)

5.5 Δρώσα διατμητική τάση (διάτρησης), v_{Ed}

- Γενικά

$$v_{Ed}=\frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

V_{Ed} δρώσα τέμνουσα

u_i η εκάστοτε περίμετρος ελέγχου

d το μέσο στατικό ύψος

- Πλάκες

Όταν η αντίδραση σε μια στήριξη δρα έκκεντρα ως προς την περίμετρο ελέγχου η μέγιστη διατμητική τάση υπολογίζεται ως εξής:

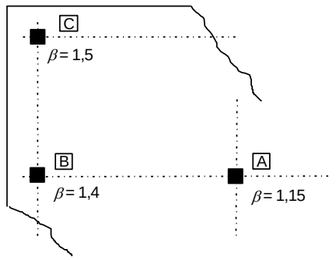
$$v_{Ed}=\beta\frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

Όπου

β συντελεστής εκκεντρότητας, ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

(i) Προσεγγιστικά

Σε φορείς, των οποίων η ευστάθεια υπό οριζόντια φορτία δεν εξαρτάται από την πλαισιακή λειτουργία μεταξύ πλακών και υποστυλωμάτων και στους οποίους τα γειτονικά ανοίγματα δεν διαφέρουν παραπάνω από 25%, μπορεί να χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές τιμές για το β.



A - εσωτερικό υποστύλωμα

B - περιμετρικό υποστύλωμα

C - γωνιακό υποστύλωμα

Σχήμα 5.5 Συνιστώμενες τιμές για το β (EC2, Σχ. 6.21N)

(ii) Υπολογιστικά

-Για **ορθογωνικά υποστυλώματα,** όπου το φορτίο παρουσιάζει **εκκεντρότητα προς τον ένα άξονα:**

$$\beta=1+k\frac{M_{Ed}}{V_{Ed}}\frac{u_1}{W_1}$$

u_1 είναι το μήκος της βασικής περιμέτρου ελέγχου

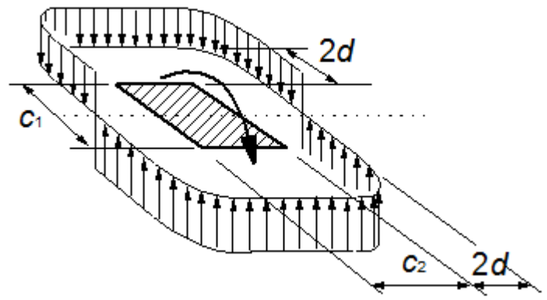
k είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το λόγο των διαστάσεων του υποστυλώματος

c_1 και c_2: η τιμή του είναι συνάρτηση του μεγέθους της ροπής λόγω εκκεντρότητας που μεταβιβάζεται μέσω της διαφοράς στην τιμή της τέμνουσας (εκατέρωθεν της στήριξης επί του υποστυλώματος) και μέσω κάμψης και στρέψης (βλέπε Σχήμα 5.6 και Πίνακα 5.1).

Πίνακας 5.1 Τιμές του k για ορθογωνικές φορτιζόμενες επιφάνειες (EC2, Πίνακας 6.1)

c_1/c_2	≤ 0,5	1,0	2,0	≥ 3,0
k	0,45	0,60	0,70	0,80

W_1 αντιστοιχεί σε μια κατανομή της τέμνουσας όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα και είναι συνάρτηση της βασικής περιμέτρου ελέγχου u_1



Σχήμα 5.6 Κατανομή της τέμνουσας από ροπή λόγω εκκεντρότητας σε έναν κόμβο πλάκας - εσωτερικού υποστυλώματος (EC2, Σχ.6.19)

$$W_1=\frac{c_1^2}{2}+c_1c_2+4c_2d+16d^2+2\pi dc_1$$

όπου:

c_1 είναι η παράλληλη προς τη διεύθυνση της εκκεντρότητας του φορτίου διάσταση του υποστυλώματος

c_2 είναι η κάθετη προς τη διεύθυνση της εκκεντρότητας του φορτίου διάσταση του υποστυλώματος

-Για **εσωτερικά ορθογωνικά υποστυλώματα**, όπου το φορτίο παρουσιάζει **εκκεντρότητα και προς τους δύο άξονες**:

$$\beta=1+1{,}8\sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2+\left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$$

όπου:

e_y και e_z είναι οι εκκεντρότητες M_{Ed}/V_{Ed} στη διεύθυνση των αξόνων y και z, αντίστοιχα

b_y και b_z είναι οι διαστάσεις της περιμέτρου ελέγχου (βλ. Σχήμα 5.2α)

Σημείωση: Η e_y προκύπτει λόγω ροπής περί τον άξονα z, ενώ η e_z λόγω ροπής περί τον άξονα y.

5. Διάτρηση (συνέχεια)

-Για **εσωτερικά κυκλικά υποστυλώματα**:

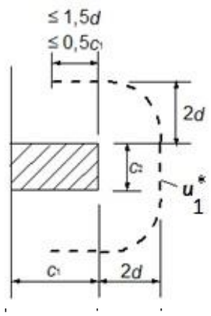
$$\beta=1+0{,}6\pi\frac{e}{D+4d}$$

όπου D είναι η διάμετρος του κυκλικού υποστυλώματος και $e=M_{Ed}/V_{Ed}$

-Για **περιμετρικά ορθογωνικά υποστυλώματα**, όπου το φορτίο παρουσιάζει **μόνο εκκεντρότητα κάθετη προς το άκρο της πλάκας** και βρίσκεται **προς το εσωτερικό της πλάκας**:

Η δύναμη διάτρησης κατανέμεται ομοιόμορφα καταμήκος της μειωμένης περιμέτρου ελέγχου u_{1*}

$$\beta=\frac{u_1}{u_{1*}}$$



Σχήμα 5.7 Μειωμένη βασική περίμετρος ελέγχου u_1^*, για περιμετρικό υποστύλωμα (EC2,Σχ.6.20a)

-Για **περιμετρικά ορθογωνικά υποστυλώματα**, όπου το φορτίο παρουσιάζει **εκκεντρότητες και στις δύο διευθύνσεις** και η εκκεντρότητα η κάθετη προς το άκρο της πλάκας βρίσκεται **προς το εσωτερικό της πλάκας**:

$$\beta=\frac{u_1}{u_{1^*}}+k\frac{u_1}{W_1}e_{par}$$

όπου:

e_{par} είναι η εκκεντρότητα παράλληλα προς το άκρο που προέρχεται από ροπή περί έναν άξονα κάθετο προς το άκρο της πλάκας.

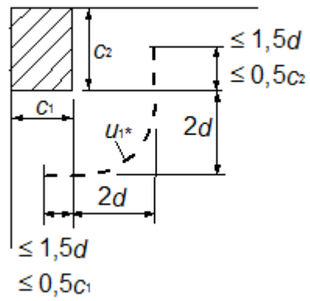
k μπορεί να λαμβάνεται από τον Πίνακα 5.1 αντικαθιστώντας το λόγο c_1/c_2 με τον $c_1/2c_2$

$$W_1=\frac{c_2^2}{4}+c_1c_2+4c_1d+8d^2+\pi dc_2$$

-Για **γωνιακά ορθογωνικά υποστυλώματα**, όπου το φορτίο παρουσιάζει **μόνο εκκεντρότητα κάθετη προς το άκρο της πλάκας** και βρίσκεται **προς το εσωτερικό της πλάκας**:

Η δύναμη διάτρησης κατανέμεται ομοιόμορφα καταμήκος της μειωμένης περιμέτρου ελέγχου u_{1*}

$$\beta=\frac{u_1}{u_{1*}}$$



Σχήμα 5.8 Μειωμένη βασική περίμετρος ελέγχου u_{1*} για γωνιακό υποστύλωμα (EC2, Σχ.6.20b)

-Για **περιμετρικά και γωνιακά ορθογωνικά υποστυλώματα**, όπου και η εκκεντρότητα η κάθετη προς το άκρο της πλάκας **βρίσκεται προς το εξωτερικό της πλάκας**:

Ισχύει ότι για εσωτερικά υποστυλώματα

$$\beta=1+k*\frac{M_{Ed}}{V_{Ed}}*\frac{u_1}{W_1}$$

- Βάση υποστυλώματος

Η αντοχή σε διάτρηση των βάσεων των υποστυλωμάτων πρέπει να ελέγχεται σε περιμέτρους ελέγχου, u, που απέχουν μέχρι 2d από την περίμετρο του υποστυλώματος.

-Για φόρτιση **χωρίς εκκεντρότητες**:

$$V_{Ed,red}=V_{Ed}-\Delta V_{Ed}$$

$$v_{Ed,red}=\frac{V_{Ed,red}}{u*d}$$

όπου:

ΔV_{Ed} είναι η καθαρή δύναμη που δρα προς τα πάνω (την ανωδομή) εντός της θεωρούμενης περιμέτρου ελέγχου, δηλ. η προς τα πάνω εδαφική πίεση μείον το ίδιο βάρος της βάσης του υποστυλώματος.

-Για **έκκεντρη** φόρτιση:

$$v_{Ed,red}=\frac{V_{Ed,red}}{u*d}\left[1+k\frac{M_{Ed}*u}{V_{Ed,red}W}\right]$$

Όπου το k όπως έχει οριστεί προηγουμένως κατά περίπτωση, και το W είναι παρόμοιο του W_1 αλλά αναφέρεται σε περίμετρο u.

6. Διάτρηση (συνέχεια)

5.6 Τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας ή της βάσης του υποστυλώματος χωρίς οπλισμό διάτρησης, $v_{Rd,c}$

$v_{Ed} < v_{Rd,c}$

Όπου το v_{Ed} όπως έχει οριστεί προηγουμένως κατα περίπτωση

- *Πλάκα (έλεγχος στην βασική περίμετρο ελέγχου, u_1)*

$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$ (σε MPa)

όπου

f_{ck} σε MPa

$v_{min} = 0{,}035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$

$C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c$

$k_1 = 0{,}1$

$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2.0$, d σε mm

$\rho_l = (\rho_{lz} * \rho_{ly})^{0,5} \leq 0.02$

ρ_{ly}, ρ_{lz} αναφέρονται στον εφελκυόμενο οπλισμό με συνάφεια στις διευθύνσεις y και z, αντιστοίχως. Οι τιμές ρ_{ly} και ρ_{lz} πρέπει να υπολογίζονται ως μέσες τιμές, θεωρώντας ένα πλάτος πλάκας ίσο προς το πλάτος του υποστυλώματος συν 3d σε κάθε πλευρά.

$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz})/2$

σ_{cy}, σ_{cz} είναι οι ορθές τάσεις στο σκυρόδεμα της κρίσιμης διατομής στις διευθύνσεις y και z (σε MPa, θετικές για θλίψη):

$\sigma_{c,y} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}}$ και $\sigma_{c,z} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$

N_{Edy}, N_{Edz} είναι οι αξονικές δυνάμεις σε ολόκληρο το φάτνωμα για εσωτερικά υποστυλώματα, και η αξονική δύναμη στη διατομή ελέγχου σε ακραία υποστυλώματα.

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος, σύμφωνα με τον ορισμό της N_{Ed}

- *Βάση υποστυλώματος (έλεγχος στην περίμετρο ελέγχου, u)*

$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} * (2d/a) \geq v_{min} * (2d/a)$

a είναι η απόσταση από την περίμετρο του υποστυλώματος ως τη θεωρούμενη περίμετρο ελέγχου (αν γίνεται έλεγχος σε απόσταση μικρότερη από 2d). Ο όρος 2d/a εκφράζει την αύξηση της αντοχής μιας και ο έλεγχος γίνεται σε μικρότερη απόσταση. Στα θεμέλια αφαιρούνται οι τάσεις του εδάφους.

5.7 Τιμή σχεδιασμού της μέγιστης αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας (έλεγχος στην παρειά του υποστυλώματος), $v_{Rd,max}$

$v_{Ed} < v_{Rd,max}$

όπου

$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_o d}$

u_0 για εσωτερικό υποστύλωμα u_0 = μήκος της περιμέτρου του υποστυλώματος [mm]

για ακραίο υποστύλωμα $u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$ [mm] (βλ. Σχ. 5.7 και 5.8)

για γωνιακό υποστύλωμα $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$ [mm] (βλ. Σχ. 5.7 και 5.8)

β όπως έχει οριστεί προηγουμένως κατά περίπτωση

$v_{Rd,max} = 0{,}5 * \nu * f_{cd}$

$\nu = 0{,}6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$

το f_{ck} σε MPa

5.8 Τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας με οπλισμό διάτρησης, $v_{Rd,cs}$

$v_{Rd,cs} = 0{,}75\, v_{Rd,c} + 1{,}5 \left(\frac{d}{s_r}\right) A_{sw} f_{ywd,ef} \left(\frac{1}{(u_1 d)}\right) \sin\alpha$

A_{sw} είναι το εμβαδόν του οπλισμού διάτρησης καταμήκος μιας από τις περιμέτρους γύρω από το υποστύλωμα [mm^2]

s_r είναι η αξονική απόσταση των περιμέτρων του οπλισμού διάτμησης [mm]

$f_{ywd,ef}$ είναι η δρώσα τιμή σχεδιασμού της αντοχής του οπλισμού διάτρησης

σύμφωνα με τη σχέση $f_{ywd,ef} = 250 + 0{,}25\, d \leq f_{ywd}$ [MPa]

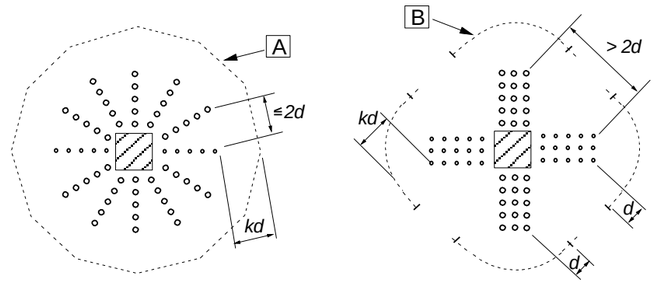
d είναι ο μέσος όρος των στατικών υψών σε δύο κάθετες διευθύνσεις [mm]

α είναι η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτρησης με το επίπεδο της πλάκας

Η περίμετρος ελέγχου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης, u_{out} (ή $u_{out,ef}$) υπολογίζεται:

$u_{out,ef} = \beta \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} * d}$

Η εξώτατη περίμετρος οπλισμού διάτρησης πρέπει να τοποθετείται σε μια απόσταση όχι μεγαλύτερη από 1,5d εντός της u_{out} (ή $u_{out,ef}$).



A Περίμετρος u_{out} B Περίμετρος $u_{out,ef}$

Σχήμα 5.9 Περίμετροι ελέγχου σε εσωτερικά υποστυλώματα (EC2, Σχ.6.22)

6. Λυγισμός

6.1 Γεωμετρικές ατέλειες

- Κλίση θ_i

$\theta_i=\theta_o*\alpha_h*\alpha_m$

όπου

θ_0 είναι η βασική τιμή, $\theta_0=l/200$

α_h είναι μειωτικός συντελεστής για το μήκος ή το ύψος

$\alpha_h=\frac{2}{\sqrt{l}}$ και $2/3\leq\alpha_h\leq1$

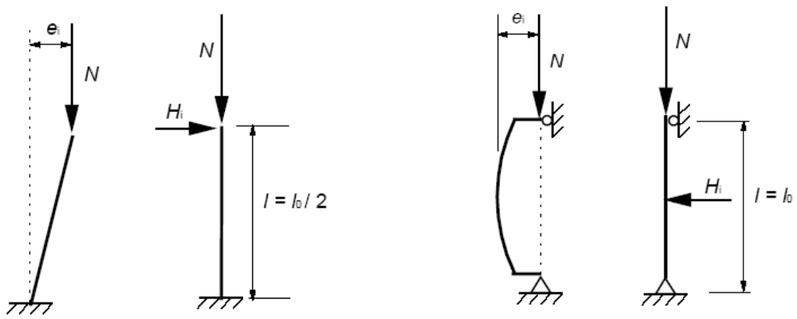
α_m είναι μειωτικός συντελεστής για το πλήθος των στοιχείων

$\alpha_m=\sqrt{0,5(1+1/m)}$

l είναι το μήκος ή το ύψος [m]

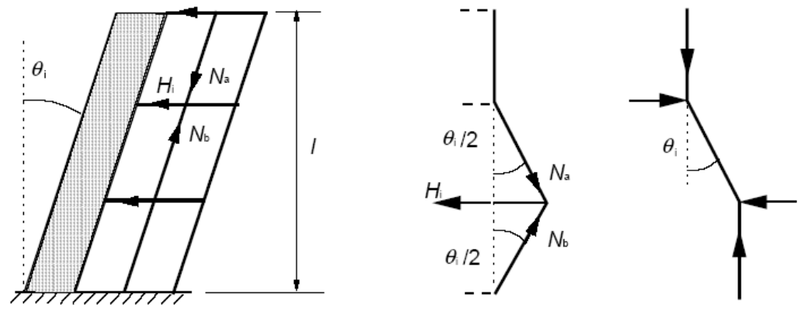
m είναι το πλήθος των κατακόρυφων στοιχείων που συνδράμουν στο συνολικό φαινόμενο

- Επιρροή σε ένα μεμονωμένο στοιχείο: l = πραγματικό μήκος στοιχείου, m =1
- Επιρροή στο σύστημα πλευρικής παγίωσης: l = ύψος του κτιρίου, m = αριθμός των κατακόρυφων στοιχείων που συμβάλλουν στην οριζόντια δύναμη επί του συστήματος πλευρικής παγίωσης.
- Επιρροή στα διαφράγματα πατωμάτων ή της στέγης τα οποία διανέμουν την οριζόντια δύναμη: l = ύψος ορόφου, m = αριθμός των κατακόρυφων στοιχείων στον όροφο (ή τους ορόφους) τα οποία συμβάλλουν στην οριζόντια δύναμη επί του πατώματος.



(α) Μεμονωμένα μεταθετά στοιχεία (β) Μεμονωμένα αμετάθετα στοιχεία

Σχήμα 6.1 Παράδειγμα επιρροής των γεωμετρικών ατελειών (EC2, από Σχ.5.1)



(α) Σύστημα πλευρικής παγίωσης (β) Διάφραγμα ορόφου (γ) Διάφραγμα στέγης

Σχήμα 6.2 Παράδειγμα επιρροής των γεωμετρικών ατελειών (EC2, από Σχ.5.1)

- Επιρροή ατελειών

- Για **μεμονωμένα δομικά στοιχεία**

α) ως εκκεντρότητα, e_i, η οποία δίνεται ως $e_i = \theta_i*l_0 / 2$

όπου l_0 είναι το μήκος λυγισμού

Απλουστετικά: Για τοιχώματα και μεμονωμένα υποστυλώματα σε συστήματα πλευρικής παγίωσης,

$e_i = l_0 /400$

β) ως εγκάρσια δύναμη, H_i, στην θέση που δίνει τη μέγιστη καμπτική ροπή:

- για μεταθετά δομικά στοιχεία

$H_i = \theta_i N$

- για αμετάθετα στοιχεία

$H_i = 2\theta_i N$

όπου N είναι το αξονικό φορτίο.

-Για τα **δομικά συστήματα**

Επιρροή στο σύστημα πλευρικής παγίωσης

$Hi = \theta i (N_b - N_a)$

Επιρροή στο διάφραγμα ορόφου

$Hi = \theta i*(N_b + N_a) / 2$

Επιρροή στο διάφραγμα στέγης

$Hi = \theta i*N_a$

όπου Na και Nb είναι αξονικές δυνάμεις που συμβάλλουν στη δημιοργία της Hi.

Απλουστετικά: Για τοιχώματα και μεμονωμένα υποστυλώματα σε συστήματα πλευρικής παγίωσης,

$e_i = l_0 /400$

6. Λυγισμός (συνέχεια)

6.2 Λυγηρότητα, λ

- Γενικά

$\lambda = l_0/i$

l_0 είναι το μήκος λυγισμού

i είναι η ακτίνα αδράνειας της αρηγμάτωτης διατομής σκυροδέματος

- Ελάχιστη λυγηρότητα για αγνόηση φαινομένων $2^{ας}$ τάξης

$\lambda_{lim} = 20*A*B*C/\sqrt{n}$

όπου:

λ είναι η λυγηρότητα όπως ορίστηκε προηγουμένως

A $=1/(1+0{,}2\varphi_{ef})$ (εάν το φ_{ef} είναι άγνωστο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή A=0,7)

B $=\sqrt{1+2\omega}$ (εάν το ω είναι άγνωστο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή B=1,1)

C $= 1{,}7-r_m$ (εάν το r_m είναι άγνωστο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή C=0,7)

$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty,t0)} \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed}$ (ενεργός συντελεστής ερπυσμού)

$\varphi_{(\infty,t0)}$ είναι ο τελικός συντελεστής ερπυσμού

M_{0Eqp} είναι η καμπτική ροπή $1^{ης}$ τάξης στον οιωνοί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων (ΟΚΛ)

M_{0Ed} είναι η ροπή $1^{ης}$ τάξης στον συνδυασμό σχεδιασμού (ΟΚΑ)

ω $= A_s f_{yd} / (A_c f_{cd})$; μηχανικό ποσοστό οπλισμού

A_s είναι το συνολικό εμβαδόν του διαμήκους οπλισμού

n $= N_{Ed} / (A_c f_{cd})$, η ανηγμένη ορθή δύναμη

r_m $= M_{01}/M_{02}$, ο λόγος ροπών

$r_m=1$

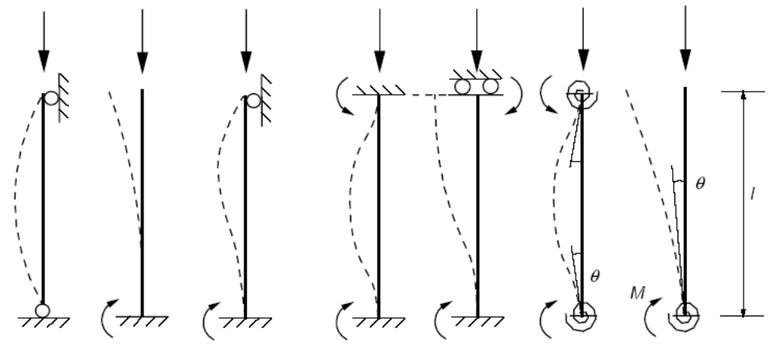
- για στοιχεία με πλευρική παγίωση αποκλειστικά με ροπές $1^{ης}$ τάξης ή κύρια εξαιτίας ατελειών ή οριζόντιας φόρτισης

- για στοιχεία χωρίς πλευρική παγίωση γενικώς

$M_{01,2}$ είναι οι ροπές στήριξης $1^{ης}$ τάξης, $|M_{02}| \geq |M_{01}|$

6.3 Μήκος λυγισμού, l_0

- Για μεμονωμένα μέλη:



a) $l_0 = l$ b) $l_0 = 2l$ c) $l_0 = 0{,}7l$ d) $l_0 = l/2$ e) $l_0 = l$ f) $l/2 < l_0 < l$ g) $l_0 > 2l$

Σχήμα 6.3 Μορφές λυγισμού και αντίστοιχο μήκος λυγισμού (EC2, από Σχ.5.7)

- Για μέλη πλαισίων:

Στοιχεία με πλευρική παγίωση (βλ.Σχήμα 6.3f):

$$l_0 = 0{,}5*l*\sqrt{\left(1+\frac{k_1}{0{,}45+k_1}\right)*\left(1+\frac{k_2}{0{,}45+k_2}\right)}$$

Στοιχεία χωρίς πλευρική παγίωση (βλ.Σχήμα 6.3g):

$$l_0 = l*\max\left\{\sqrt{\left(1+10\frac{k_1*k_2}{k_1+k_2}\right)};\left(1+\frac{k_1}{1+k_1}\right)*\left(1+\frac{k_2}{1+k_2}\right)\right\}$$

όπου:

k_1, k_2 είναι ο σχετικός δείκτης ευκαμψίας των στροφικών δεσμεύσεων στα άκρα 1 και 2 αντίστοιχα:

$k=\left(\frac{\theta}{M}\right)*\left(\frac{EI}{l}\right)$ Προτείνεται η ελάχιστη τιμή k=0,1

θ είναι η στροφή των στοιχείων στροφικής δέσμευσης για ροπή κάμψης M

EI είναι η δυσκαμψία του θλιβόμενου μέλους

l είναι το καθαρό ύψος του θλιβόμενου μέλους ανάμεσα στις στροφικές δεσμεύσεις.

6. Λυγισμός (συνέχεια)

6.4 Μέθοδος ανάλυσης βάσει ονομαστικών καμπυλοτήτων

- Καμπτικές ροπές:

$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$

όπου:

M_{0Ed} είναι η ροπή $1^{ης}$ τάξης συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης των ατελειών

$M_2 = N_{Ed}\, e_2$ είναι η ονομαστική ροπή $2^{ας}$ τάξης

Οι διαφέρουσες ροπές στήριξης $1^{ης}$ τάξης M_{01} και M_{02} δύναται να αντικατα-σταθούν από μια ισοδύναμη ροπή στήριξης $1^{ης}$ τάξης M_{0e}:

$M_{0e} = 0{,}6\, M_{02} + 0{,}4\, M_{01} \geq 0{,}4\, M_{02}$

N_{Ed} είναι η τιμή σχεδιασμού της αξονικής δύναμης

$$e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) l_0{}^2/c$$

$1/r$ είναι η καμπυλότητα

c είναι ένας συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από την κατανομή της καμπυλότητας (συνήθως c=10)

- Καμπυλότητα

Για μέλη με σταθερή συμμετρική διατομή (συμπεριλαμβανομένου του οπλισμού):

$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0$

όπου:

$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1$ (με $n_u = 1 + \omega$ $n_{bal}=0{,}4$)

$K_\varphi = 1 + \beta\varphi_{ef} \geq 1$ (με $\beta = 0{,}35 + f_{ck}/200 - \lambda/150$)

$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0{,}45\, d)$

$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$

d είναι το ενεργό ύψος (Εάν δεν είναι όλος ο οπλισμός συγκεντρωμένος στα άκρα του στοιχείου

$d = (h/2) + i_s$, όπου i_s είναι η ακτίνα αδράνειας της συνολικής επιφάνειας του οπλισμού).

$n = N_{Ed} / (A_c\, f_{cd})$, ανηγμένη αξονική δύναμη

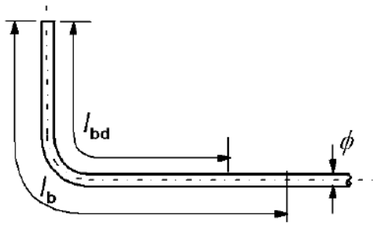
$\omega = A_s\, f_{yd} / (A_c\, f_{cd})$

A_s είναι το συνολικό εμβαδόν του οπλισμού

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος

7. Αγκυρώσεις

7.1 Βασικό μήκος αγκύρωσης, l_b



Σχήμα 7.1 Βασικό μήκος αγκυρώσεως, l_b, εφελκυόμενης ράβδου μετρούμενο στον άξονα της ράβδου (EC2, από Σχ.8.1)

7.2 Οριακή τάση συνάφειας, f_{bd}

$f_{bd}=2{,}25 n_1 n_2 f_{ctd}$

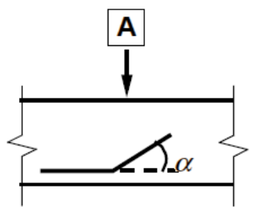
η_1 = 1,0 όταν εξασφαλίζονται 'ευνοϊκές' συνθήκες ή

η_1 = 0,7 για όλες τις άλλες περιπτώσεις και για ράβδους σε δομικά στοιχεία κατασκευασμένα με ολισθαίνοντες ξυλοτύπους, εκτός αν μπορεί να τεκμηριωθεί η ύπαρξη 'ευνοϊκών' συνθηκών συνάφειας

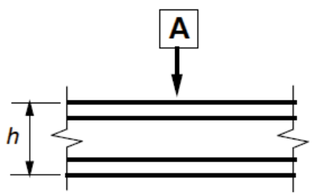
η_2 = 1,0 για $\varnothing \le 32$ mm

η_2 = (132 - ∅) / 100 για ∅ > 32 mm

$f_{ctd}=f_{ctk0.05}/\gamma_c$, όπου $f_{ctk0.05}$ από Πίνακα 7.1

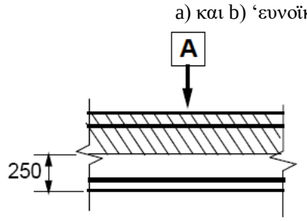


a) 45° ≤ α ≤ 90°

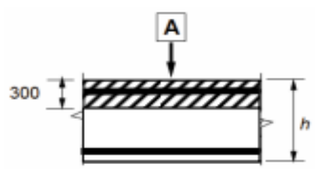


b) h ≤ 250 mm

a) και b) 'ευνοϊκές' συνθήκες συνάφειας για όλες τις ράβδους



c) h > 250 mm



d) h > 600 mm

c) και d) μη γραμμοσκιασμένη περιοχή - 'ευνοϊκές' συνθήκες συνάφειας γραμμοσκιασμένη περιοχή - 'δυσμενείς' συνθήκες συνάφειας

Α: διεύθυνση σκυροδέματος

Σχήμα 7.2 Ορισμός συνθηκών συνάφειας (EC2, Σχ.8.2)

Πίνακας 7.1 Τιμές της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και της τιμής $2.25f_{ctd}$ για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας και Φ<32mm (=f_{bd} για $\eta_1=\eta_2=1$)

f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ctk,0.05}$(MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$2.25f_{ctd}$ (=f_{bd} για $\eta_1=\eta_2=1$) (MPa)	1,65	1,95	2,25	2,70	3,00	3,30	3,75	4,05	4,35

7.3 Βασικό απαιτούμενο μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης, $l_{b,rqd}$

$$l_{b,rqd}=\frac{\Phi}{4}*\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

σ_{sd} είναι η τάση σχεδιασμού της ράβδου στη θέση από όπου αρχίζει να μετράται η αγκύρωση

7.4 Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού, l_{bd}

$l_{bd}=\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5 l_{b,req}\ge l_{b,min}$

Όπου $l_{b,min}$ είναι το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης το οποίο, εάν δεν υπάρχει άλλος περιορισμός, ορίζεται ως εξής:

- για αγκυρώσεις υπό εφελκυσμό: $l_{b,min} > \max\{0{,}3 l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100\text{ mm}\}$
- για αγκυρώσεις υπό θλίψη: $l_{b,min} > \max\{0{,}6 l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100\text{ mm}\}$

και οι συντελεστές α από τον παρακάτω Πίνακα 7.2

Πίνακας 7.2 Συντελεστές α για υπολογισμό μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού (EC2, Πίνακας 8.2)

Παράγοντας επιρροής	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	α_1 = 1,0	α_1 = 1,0
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 7.5 (a), (b) και (c))	α_1 = 0,7 εάν $c_d > 3\varnothing$ αλλιώς α_1 = 1,0 (βλέπε Σχήμα 7.3 για τιμές του c_d)	α_1 = 1,0
Επικάλυψη σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$0{,}7\le\alpha_2 = 1 - 0{,}15\cdot(c_d - \varnothing)/\varnothing\le 1{,}0$ (βλέπε Σχήμα 7.3 για τιμές του c_d)	α_2 = 1,0
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 7.5 (a), (b) και (c))	$0{,}7\le\alpha_2 = 1 - 0{,}15\cdot(c_d - 3\varnothing)/\varnothing\le 1{,}0$ (βλέπε Σχήμα 7.3 για τιμές του c_d)	α_2 = 1,0
Περίσφιξη με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$0{,}7\le\alpha_3 = 1 - K\lambda\le 1{,}0$ (βλέπε Σχήμα 7.4 για τιμές του K)	α_3 = 1,0
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό*	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 7.5 (d)	α_4 = 0,7	α_4 = 0,7
Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$0{,}7\le\alpha_5 = 1 - 0{,}04p\le 1{,}0$	-

$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min})/A_s$

ΣA_{st} εμβαδόν διατομής του εγκάρσιου οπλισμού κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd}

$\Sigma A_{st,min}$ εμβαδόν διατομής του ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμο ($0{,}25A_s$ για δοκούς και μηδενικό για πλάκες)

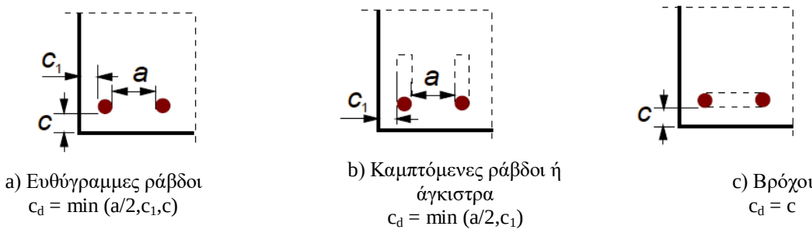
A_s εμβαδόν διατομής της αγκυρούμενης ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο

P εγκάρσια πίεση [MPa] στη κατάσταση αστοχίας κατά μήκος του l_{bd}

[*] Για άμεσες στηρίξεις, το l_{bd} μπορεί να ληφθεί μικρότερο από το $l_{b,min}$ αρκεί να υπάρχει τουλάχιστον ένα εγκάρσιο σύρμα συγκολλημένο στο μήκος στήριξης και σε απόσταση τουλάχιστον 15 mm από την έναρξη του μήκους στήριξης.

Απαιτείται όπως $(\alpha_2\,\alpha_3\,\alpha_5) \ge 0{,}7$

7. Αγκυρώσεις (συνέχεια)

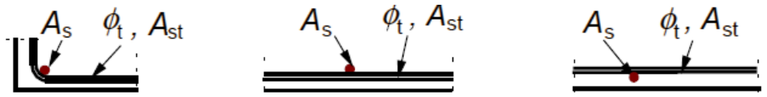


a) Ευθύγραμμες ράβδοι
c_d = min (a/2,c_1,c)

b) Καμπτόμενες ράβδοι ή άγκιστρα
c_d = min (a/2,c_1)

c) Βρόχοι
c_d = c

Σχήμα 7.3 Τιμές c_d για δοκούς και πλάκες (για υπολογισμό α_1 και α_2)(EC2, Σχ.8.3)



K = 0,1 K = 0,05 K = 0

Σχήμα 7.4 Τιμές K για δοκούς και πλάκες (για υπολογισμό α_3)(EC2, Σχ.8.4)

7.5 Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης, $l_{b,eq}$

Εναλλακτικά, το μήκος αγκύρωσης μπορεί να οριστεί ως το ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης, $l_{b,eq}$.

$l_{b,eq}=\alpha_1 * l_{b,rqd}$ για τις μορφές ράβδων a, b, c του Σχήματος 7.5

$l_{b,eq}=\alpha_4 * l_{b,rqd}$ για την μορφή ράβδου d του Σχήματος 7.5

a) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπική καμπύλωση

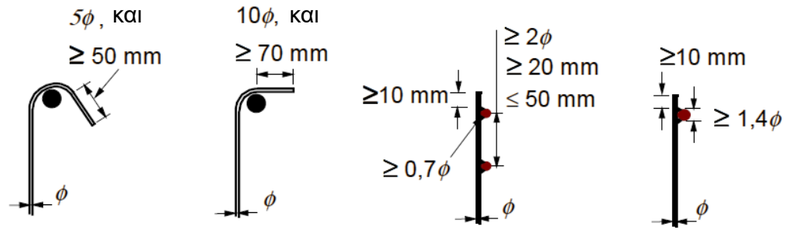
b) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό άγκιστρο

c) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό βρόχο

d) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης με συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο

Σχήμα 7.5 Ισοδύναμο μήκος αγκυρώσεως, $l_{b,eq}$, μετρούμενο στον άξονα της ράβδου (EC2, από Σχ.8.1)

7.6 Αγκύρωση συνδετήρων και οπλισμού διάτμησης



a) b) c) d)

Στις περιπτώσεις c) και d) η επικάλυψη δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 3∅ ή 50 mm.

Σχήμα 7.6 Αγκυρώσεις συνδετήρων (EC2, Σχ.8.5)

7.7 Διάμετρος τυμπάνου για καμπυλόμενες ράβδους, $D_{τυμπ}$

-Για να μην αστοχήσει η ράβδος: : $D_{τυμπ}$ = 4Φ για Φ≤16 και $D_{τυμπ}$ =7Φ για Φ>16

-Για να μην αστοχήσει το σκυρόδεμα (πίεση άντυγας):

$$D_{τυμπ} \geq \frac{F_{bt}\left[\frac{1}{\alpha_b}+\frac{1}{2\Phi}\right]}{f_{cd}}$$

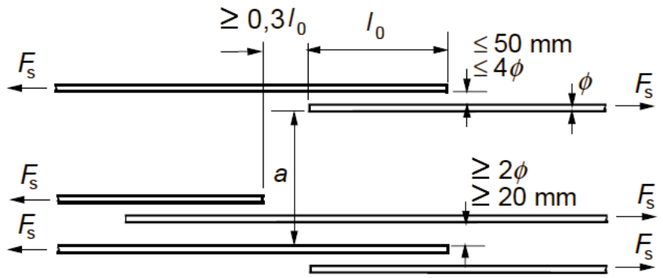
F_{bt} είναι η εφελκυστική δύναμη υπό τα φορτία αστοχίας σε μία ράβδο ή ομάδα ράβδων σε επαφή, στην αρχή της καμπύλωσης

a_b το ήμισυ της απόστασης των ΚΒ των ράβδων. Για την ράβδο την γειτονική στην παρειά του σκυροδέματος a_b=c+Φ/2

8. Υπερκαλύψεις

8.1 Διάταξη υπερκαλύψεων

- η καθαρή απόσταση μεταξύ ζεύγους υπερκαλυπτόμενων ράβδων πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από 4∅ ή 50 mm, αλλιώς το μήκος υπερκάλυψης θα πρέπει να αυξηθεί κατά απόσταση ίση με το καθαρό διάστημα πέραν των 4∅ ή 50 mm.
- η διαμήκης απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών ενώσεων πρέπει να μην είναι μικρότερη από 0,3 l_0, όπου l_0 το μήκος υπερκάλυψης.
- σε περίπτωση γειτονικών ενώσεων, η καθαρή απόσταση μεταξύ γειτονικών ράβδων δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 2∅ ή 20 mm



Σχήμα 8.1 Γειτονικές ενώσεις με υπερκάλυψη (EC2, Σχ.8.7)

8.2 Μήκος υπερκάλυψης σχεδιασμού, l_o

$l_o=\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5\alpha_6 l_{b,rqd}\geq l_{o,min}$

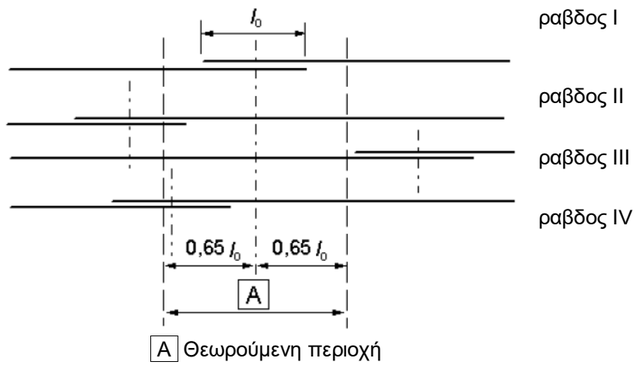
$l_{o,min} > \max\{0,3\alpha_6 * l_{b,rqd}, 15\varnothing, 15\text{ mm}\}$

Οι τιμές των $\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3$ και α_5 μπορούν να ληφθούν από το πίνακα 7.1. Κατά τον υπολογισμό του α_3, το $\Sigma A_{st,min}$ λαμβάνεται ίσο πρός $1,0A_s(\sigma_{sd}/f_{yd})$ με A_s το εμβαδόν διατομής της μίας υπό ένωση ράβδου.

$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$ αλλά όχι μεγαλύτερο από 1,5 ούτε μικρότερο από 1,0, όπου ρ_1 είναι το ποσοστό των υπό ένωση ράβδων σε αποστάσεις $0,65l_0$ εκατέρωθεν του θεωρούμενου μέσου του μήκους υπερκάλυψης

Πίνακας 8.1 Τιμές του συντελεστή α_6 (EC2, Πίνακας 8.3)

Ποσοστό των υπό ένωση ράβδων ως προς το συνολικό εμβαδόν ράβδων της διατομής	< 25%	33%	50%	> 50%
α_6	1	1,15	1,4	1,5
Σημείωση: Ενδιάμεσες τιμές καθορίζονται με γραμμική παρεμβολή				



Παράδειγμα:
Οι ενώσεις των ράβδων II και III είναι εκτός της θεωρούμενης περιοχής:
% = 50 και α_6 = 1,4

Σχήμα 8.2 Ποσοστό των υπό ένωση ράβδων που αντιστοιχεί σε μια θέση υπερκάλυψης (EC2, Σχ.8.8)

9. Έλεγχος ρηγμάτωσης

9.1 Υπολογισμός εύρους ρωγμής, w_k

$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$

$s_{r,max}$ είναι η μέγιστη απόσταση των ρωγμών η οποία υπολογίζεται ως:

$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \varphi / \rho_{p,eff}$

όπου:

- φ είναι η διάμετρος της ράβδου. Για μια διατομή με n_1 ράβδους διαμέτρου ϕ_1 και n_2 ράβδους διαμέτρου ϕ_2, χρησιμοποιείται μία ισοδύναμη διάμετρος, ϕ_{eq}:

$$\varphi_{eq} = \frac{n_1\varphi_1^2 + n_2\varphi_2^2}{n_1\varphi_1 + n_2\varphi_2}$$

- c είναι η επικάλυψη του διαμήκους οπλισμού
- k_1 συντελεστής για να ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες συνάφειας του οπλισμού με συνάφεια = 0,8 για ράβδους υψηλής συνάφειας και 1,6 για ράβδους με πρακτικώς λεία επιφάνεια (π.χ. τένοντες προέντασης)
- k_2 συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η κατανομή των παραμορφώσεων: = 0,5 για κάμψη και 1,0 για καθαρό εφελκυσμό
  Σε περιπτώσεις έκκεντρου εφελκυσμού ή για τμήματα μιας διατομής, χρησιμοποιούνται ενδιάμεσες τιμές του k_2 που μπορεί να υπολογιστούν ως $k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/2\varepsilon_1$ όπου ε_1 είναι η μεγαλύτερη και ε_2 η μικρότερη εφελκυστικη παραμόρφωση στα άκρα της θεωρούμενης διατομής, που υπολογίζονται με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής
- k_3, k_4 = 3,4 και 0,425 αντίστοιχα (συνιστώμενες τιμή)

$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$ (σε στοιχεία χωρίς τένοντες)

$A_{c,eff}$ είναι η ενεργός εφελκυόμενη ζώνη που περιβάλει τον οπλισμό (βλ. Σχήμα 9.1)

Όπου η απόσταση του οπλισμού με συνάφεια υπερβαίνει την τιμή $5(c+\phi/2)$ ή όπου δεν υπάρχει οπλισμός με συνάφεια εντός της εφελκυόμενης ζώνης, ένα άνω όριο για το εύρος ρωγμής μπορεί να βρεθεί υποθέτοντας την ακόλουθη μέγιστη απόσταση: $s_{r,max} = 1{,}3\,(h - x)$

ε_{sm} είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του οπλισμού υπό τον κατάλληλο συνδυασμό δράσεων, περιλαμβάνοντας και την επιρροή των επιβεβλημένων παραμορφώσεων καθώς και της εφελκυστικής συμβολής στη δυσκαμψία. Λαμβάνεται υπόψη μόνο η πρόσθετη τάση εφελκυσμού μετά από την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη

ε_{cm} είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών

Ο όρος $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \dfrac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \geq 0{,}6\,\frac{\sigma_s}{E_s}$$

όπου:

- σ_s είναι η τάση στον εφελκυόμενο οπλισμό, με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής.
- α_e είναι ο λόγος E_s/E_{cm}
- $f_{ct,eff}$ μπορεί να ληφθεί ίση με την f_{ctm}
- k_t είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τη διάρκεια της φόρτισης = 0,6 για βραχυχρόνια φόρτιση και 0,4 για μακροχρόνια φόρτιση

9.2 Περιορισμός εύρους ρωγμών

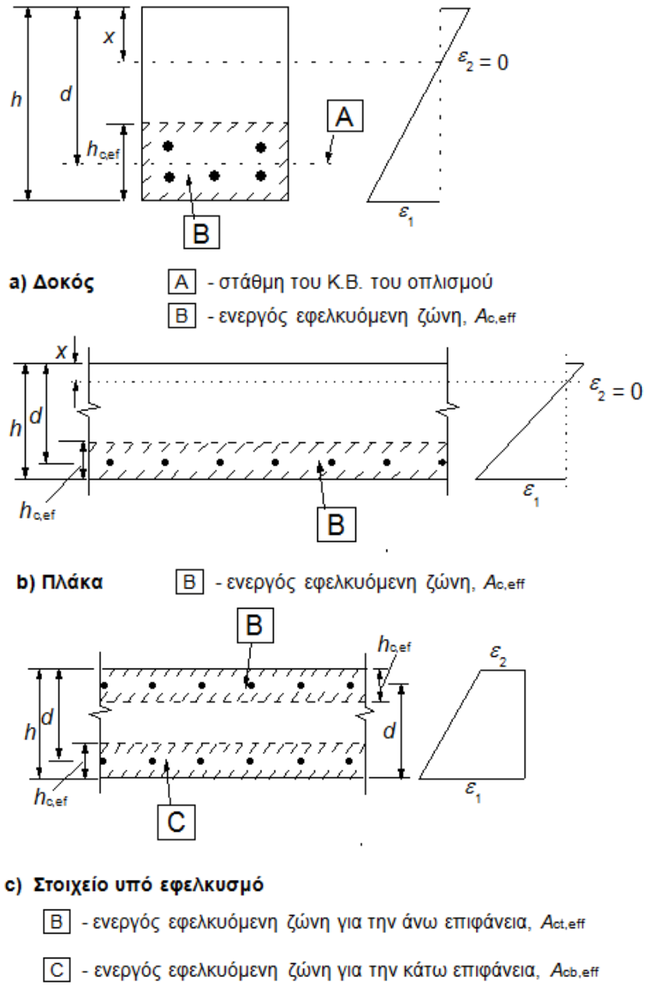
Το εύρος ρωγμής δεν πρέπει να υπερβαίνει μια μέγιστη τιμή ανεκτού εύρους ρήγματος, w_{max}

Πίνακας 9.1 Συνιστώμενες τιμές του w_{max} (mm) (EC2, Πίνακας 7.1N)

Κατηγορία περιβαλλοντικών συνθηκών	Οπλισμένα και προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες χωρίς συνάφεια	Προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες με συνάφεια
	Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός δράσεων	Συχνός συνδυασμός δράσεων
X0, XC1	0,4[1]	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2[2]
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Απόθλιψη

Σημείωση 1: Για τις κατηγορίες περιβαλλοντικών συνθηκών X0, XC1, το εύρος της ρωγμής δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα σε διάρκεια, και το σχετικό όριο τίθεται για την εξασφάλιση αποδεκτής αισθητικής εμφάνισης. Εφόσον δεν τίθενται απαιτήσεις αισθητικής, το όριο αυτό μπορεί να αυξηθεί.

Σημείωση 2: Για αυτές τις κατηγορίες περιβαλλοντικών συνθηκών, πρέπει, επιπλέον, να ελέγχεται η απόθλιψη υπό τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων.



$h_{c,ef} = \min\{2{,}5(h-d);\ (h-x)/3;\ h/2\}$

Σχήμα 9.1 Ενεργός εφελκυόμενη ζώνη (τυπικές περιπτώσεις) (EC2, Σχ.7.1)

9. Έλεγχος ρηγμάτωσης (συνέχεια)

9.3 Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς

Οι προηγούμενοι κανόνες μπορεί ως απλοποίηση να παρουσιασθούν υπό μορφή πινάκων περιορίζοντας ή την διάμετρο των ράβδων ή/και τη μεταξύ τους απόσταση (διαζευκτικά).

Πίνακας 9.2 Μέγιστες διάμετροι ράβδων φ^*_s για περιορισμό της ρηγμάτωσης[1](EC2, Πίνακας 7.2N)

Τάση χάλυβα[2] [MPa]	Μέγιστη διάμετρος ράβδων [mm]		
	w_k= 0,4 mm	w_k= 0,3 mm	w_k= 0,2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Σημειώσεις: 1. Έχουν ληφθεί υπόψη: c = 25mm, $f_{ct,eff}$ = 2,9MPa, h_{cr} = 0,5, (h-d) = 0,1h, k_1 = 0,8
k_2 = 0,5, k_c = 0,4, k = 1,0, k_t = 0,4 και k' = 1,0
2. Υπό τους κατάλληλους συνδυασμούς δράσεων

Πίνακας 9.3 Μέγιστη απόσταση ράβδων για περιορισμό της ρηγμάτωσης [1](EC2, Πίνακας 7.3N)

Τάση χάλυβα[2] [MPa]	Μέγιστη απόσταση ράβδων [mm]		
	w_k=0,4 mm	w_k=0,3 mm	w_k=0,2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-
Για Σημειώσεις βλέπε τον Πίνακα 9.2			

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων πρέπει να τροποποιείται ως εξής:

- Κάμψη (τμήμα, τουλάχιστον, της διατομής να βρίσκεται υπό θλίψη):

$$\varphi_s=\varphi^*_s\left(f_{ct,eff}/2,9\right)\frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)}$$

- Εφελκυσμός (ομοιόμορφος αξονικός εφελκυσμός)

$$\varphi_s=\varphi^*_s\left(f_{ct,eff}/2,9\right)\frac{h_{cr}}{8(h-d)}$$

όπου:

φ_s είναι η ανηγμένη μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων

ϕ^*_s είναι η μέγιστη διάμετρος ράβδων που δίνεται στον Πίνακα 9.2

h είναι το ολικό ύψος της διατομής

h_{cr} είναι το ύψος της εφελκυόμενης ζώνης αμέσως πριν τη ρηγμάτωση, λαμβάνοντας τις χαρακτηριστικές τιμές της προέντασης και των αξονικών δυνάμεων υπό τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων

d είναι το στατικό ύψος της διατομής, μετρούμενο μέχρι το κέντρο της πλέον απομακρυσμένης στρώσης οπλισμού

9.4 Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός

Εφόσον απαιτείται περιορισμός της ρηγμάτωσης, απαιτείται ένα ελάχιστο ποσοστό οπλισμού με συνάφεια για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης σε περιοχές όπου αναμένεται να αναπτυχθεί εφελκυσμός.

$A_{s,min}\sigma_s = k_c\, k\, f_{ct,eff}\, A_{ct}$

όπου:

$A_{s,min}$ είναι το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού της εφελκυόμενης ζώνης

A_{ct} είναι το εμβαδόν του σκυροδέματος της εφελκυόμενης ζώνης αμέσως πριν την εμφάνιση της ρηγμάτωσης

σ_s είναι η απόλυτη τιμή της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης του οπλισμού αμέσως μετά την εμφάνιση της ρηγμάτωσης. Αυτή μπορεί να λαμβάνεται ίση με f_{yk}.

k = 1,0 για κορμούς με h ≤ 300 mm ή πέλματα με πλάτη < 300 mm

= 0,65 για κορμούς με h ≥ 800 mm ή πέλματα με πλάτη > 800 mm,

για ενδιάμεσες τιμές μπορεί να γίνεται παρεμβολή

k_c Για καθαρό εφελκυσμό k_c = 1,0

Για καθαρή κάμψη ή κάμψη με ορθή δύναμη:

- Για ορθογωνικές διατομές και κορμούς πλακοδοκών ή κιβωτιοειδών διατομών:

$$k_c=0,4\left[1-\frac{\sigma_c}{k_1\left(h/h^*\right)f_{ct,eff}}\right]\leq 1$$

- Για πέλματα πλακοδοκών ή κιβωτιοειδών διατομών:

$$k_c=0,9\frac{F_{cr}}{A_{ct}f_{ct,eff}}\geq 0,5$$

$\sigma_c=N_{Ed}/bh$ είναι η μέση τάση του σκυροδέματος η οποία δρα στο θεωρούμενο τμήμα της διατομής:

N_{Ed} είναι η αξονική δύναμη στην Ο.Κ. λειτουργικότητας στο θεωρούμενο τμήμα της διατομής (θετική για θλίψη). Η N_{Ed} μπορεί να υπολογίζεται λαμβάνοντας τις χαρακτηριστικές τιμές της προέντασης και της ορθής δύναμης για τον θεωρούμενο συνδυασμό δράσεων

h* = h για h < 1,0 m

h* = 1,0 m για h ≥ 1,0 m

k_1 είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η επιρροή των αξονικών δυνάμεων στην κατανομή των τάσεων:

k_1 = 1,5 αν η N_{Ed} είναι θλιπτική

k_1=2h*/3h αν η N_{Ed} είναι εφελκυστική

F_{cr} είναι η απόλυτη τιμή της μέγιστης εφελκυστικής δύναμης στο πέλμα αμέσως πριν τη ρηγμάτωση, λόγω της ροπής ρηγμάτωσης που υπολογίζεται βάσει της $f_{ct,eff}$

10. Έλεγχος παραμορφώσεων

10.1 Όρια βελών, a, δοκών και πλακών

• **a ≤ l/250** για να μην βλαφθεί η εμφάνιση και η εν γένει χρησιμότητα τους

• **a ≤ l/500** μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής για να μην βλαφθούν ευαίσθητα διαχωριστικά στοιχεία

10.2 Απαλλαγή από έλεγχο βελών

Περιορισμός του λόγου ανοίγμα προς ύψος, l/d:

• Για τιμή τάσης του χάλυβα σε μια ρηγματωμένη διατομή στο κέντρο του ανοίγματος μιας δοκού ή πλάκας, ή στη στήριξη ενός προβόλου σ_s=310 MPa (αντιστοιχεί περίπου σε f_{yk} = 500 MPa)

$$\frac{1}{d}=K\left[11+1{,}5\sqrt{f_{ck}}\frac{\rho_o}{\rho}+3{,}2\sqrt{f_{ck}}\left(\frac{\rho_o}{\rho}-1\right)^{3/2}\right] \qquad \text{εάν } \rho\le\rho_o$$

$$\frac{1}{d}=K\left[11+1{,}5\sqrt{f_{ck}}\frac{\rho_o}{\rho-\rho'}+\frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}\sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}}\right] \qquad \text{εάν } \rho>\rho_o$$

K είναι συντελεστής που εξαρτάται από το δομικό σύστημα, f_{ck} σε MPa

ρ_0 είναι το ποσοστό οπλισμού αναφοράς = $\sqrt{f_{ck}}\,10^{-3}$

ρ και ρ΄ είναι τα απαιτούμενα ποσοστά εφελκυόμενου και θλιβόμενου οπλισμού για την παραλαβή της ροπής λόγω φορτίων σχεδιασμού στο κέντρο του ανοίγματος (για προβόλους, στη στήριξη)

Για τιμές διάφορες του σ_s= 310 MPa οι παραπάνω σχέσεις πολλοπλασιάζονται με 310/σ_s, το οποίο συντηρητικά μπορεί να θεωρηθεί:

$$\frac{310}{\sigma_s}=\frac{500}{f_{yk}}\left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}}\right)$$

Εναλλακτικά, το σ_s μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\sigma_s=f_{yd}\left(\frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}}\right)\left(\frac{p_{ser}}{p_{ult}}\right)$$

$A_{s,prov}$ είναι το εμβαδόν του οπλισμού που τοποθετείται στην ανωτέρω διατομή

$A_{s,req}$ είναι το εμβαδόν του οπλισμού που απαιτείται στη διατομή για την ΟΚ αστοχίας

p_{ser} είναι το φορτίο σχεδιασμού της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας που εξετάζεται

p_{ult} το φορτίο σχεδιασμού της οριακής κατάστασης αστοχίας με το οποίο υπολογίσθηκε ο απαιτούμενος οπλισμός $A_{s,req}$

• Σε διατομές με πέλματα, όπου ο λόγος του πλάτους του πέλματος προς το πάχος του κορμού υπερβαίνει το 3, οι τιμές του l/d πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί 0,8.

• Σε δοκούς ή πλάκες, πλην των μυκητοειδών πλακών, με ανοίγματα πάνω από 7m, που φέρουν διαχωριστικά ευαίσθητα σε βλάβες από υπερβολική βύθιση, οι τιμές του l/d πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί 7/l_{eff} (όπου l_{eff} το θεωρητικό άνοιγμα σε μέτρα).

• Σε μυκητοειδείς πλάκες, με άνοιγμα > 8,5 m, και οι οποίες φέρουν διαχωριστικά ευαίσθητα σε βλάβες από υπερβολική βύθιση, οι τιμές του l/d πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί 8,5/l_{eff} (l_{eff} σε μέτρα).

Πίνακας 10.1 Βασικοί λόγοι l/d (EC2, Πίνακας 7.4.N)

Δομικό σύστημα	K	Σκυρόδεμα υπό υψηλή τάση ρ = 1,5%	Σκυρόδεμα υπό χαμηλή τάση ρ = 0,5%
Αμφιέρειστη δοκός ή πλάκα κατά μία ή δύο διευθύνσεις	1,0	14	20
Ακραίο άνοιγμα συνεχούς δοκού ή πλάκας κατά μία διεύθυνση, ή πλάκας κατά δύο διευθύνσεις συνεχούς καταμήκος μιας επιμήκους πλευράς	1,3	18	26
Μεσαίο άνοιγμα δοκού ή πλάκας κατά μία ή δύο διευθύνσεις	1,5	20	30
Πλάκα επί υποστυλωμάτων χωρίς δοκούς (μυκητοειδής) (έλεγχος βάσει του μεγαλύτερου ανοίγματος)	1,2	17	24
Πρόβολος	0,4	6	8

Σημείωση 1: Οι τιμές που δίνονται έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να είναι εν γένει συντηρητικές, και ο υπολογισμός μπορεί συχνά να δείχνει ότι είναι δυνατή η χρήση μικρότερου πάχους στοιχείου.

Σημείωση 2: Σε πλάκες κατά δύο διευθύνσεις ο έλεγχος γίνεται βάσει του μικρότερου ανοίγματος. Σε μυκητοειδείς πλάκες, βάσει του μεγαλύτερου ανοίγματος.

Σημείωση 3: Τα όρια που δίνονται για μυκητοειδείς πλάκες αντιστοιχούν σε περιορισμό λιγότερο αυστηρό από εκείνον της βύθισης κατά 1/250 του ανοίγματος σε σχέση με τα υποστυλώματα. Η εμπειρία δείχνει ότι αυτό είναι ικανοποιητικό.

10.3 Υπολογιστικός έλεγχος παραμορφώσεων

- Για το στιγμιαίο βέλος (φ = 0):

$a_o=a_c*k_o$ ac=το ελαστικό βέλος

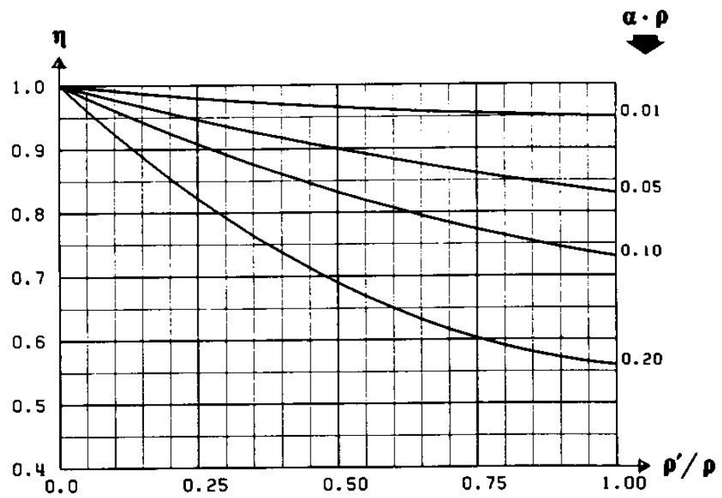
- Για το μακροχρόνιο βέλος (φ≠0) έχουμε:

$a_t=a_c*k_t*\eta$

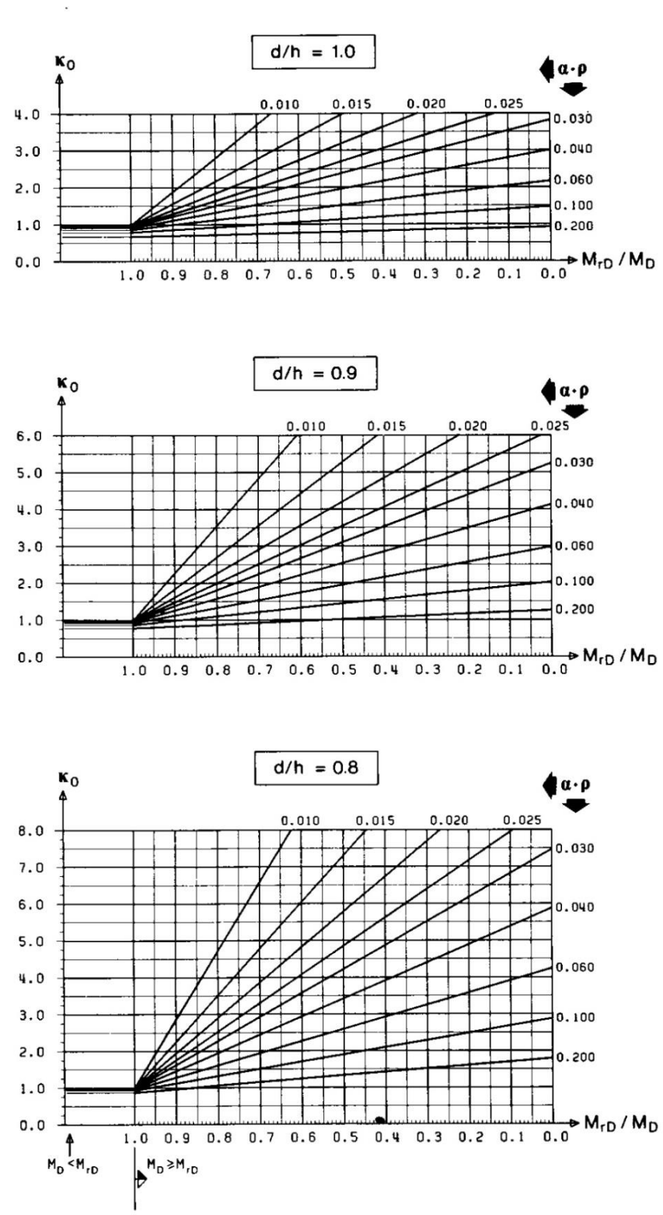
Πίνακας 10.2 Ελαστικά βέλη

Δομικό σύστημα/Φόρτιση	Ελαστικό Βέλος
Πρόβολος, συγκεντρωμενο φορτίο στο άκρο	$a_c=PL^3/(3EI)$
Πρόβολος, ομοιόμοφο φορτίο	$a_c=qL^4/(8EI)$
Πρόβολος, τριγωνικό φορτίο (μέγιστο στην στήριξη)	$a_c=qL^4/(30EI)$
Πρόβολος, τριγωνικό φορτίο (μέγιστο στο άκρο)	$a_c=11qL^4/(120EI)$
Πρόβολος, τριγωνικό φορτίο (μέγιστο στο μεσον)	$a_c=11qL^4/(192EI)$
Αμφιέρειστη, συγκεντρωμένο φορτίο σε απόσταση a	$a_c=maxM*a*(L-a)/(3EI)$
Αμφιέρειστη, ομοιόμορφο φορτίο	$a_c=5qL^4/(384EI)$
Αμφιέρειστη, τριγωνικό φορτίο (μέγιστο στην μέση)	$a_c=qL^4/(120EI)$
Μονόπακτη, ομοιόμορφο φορτίο	$a_c=qL^4/(184{,}6EI)$
Αμφίπακτη, συγκεντρωμένο φορτίο στην μέση	$a_c=PL^3/(192EI)$
Αμφίπακτη, ομοιόμορφο φορτίο	$a_c=qL^4/(384EI)$

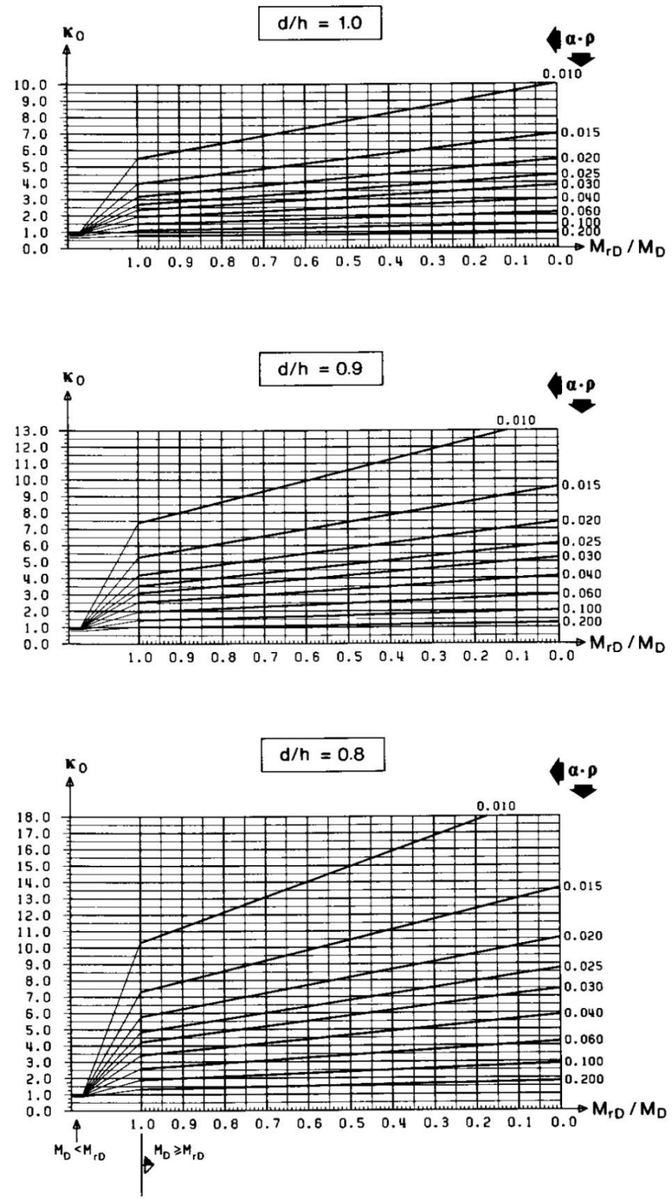
10. Έλεγχος παραμορφώσεων (συνέχεια)



Σχήμα 10.1 Συντελεστής η
(CEB "MANUEL CEB FISSURATION ET DEFORMATIONS", 1983)

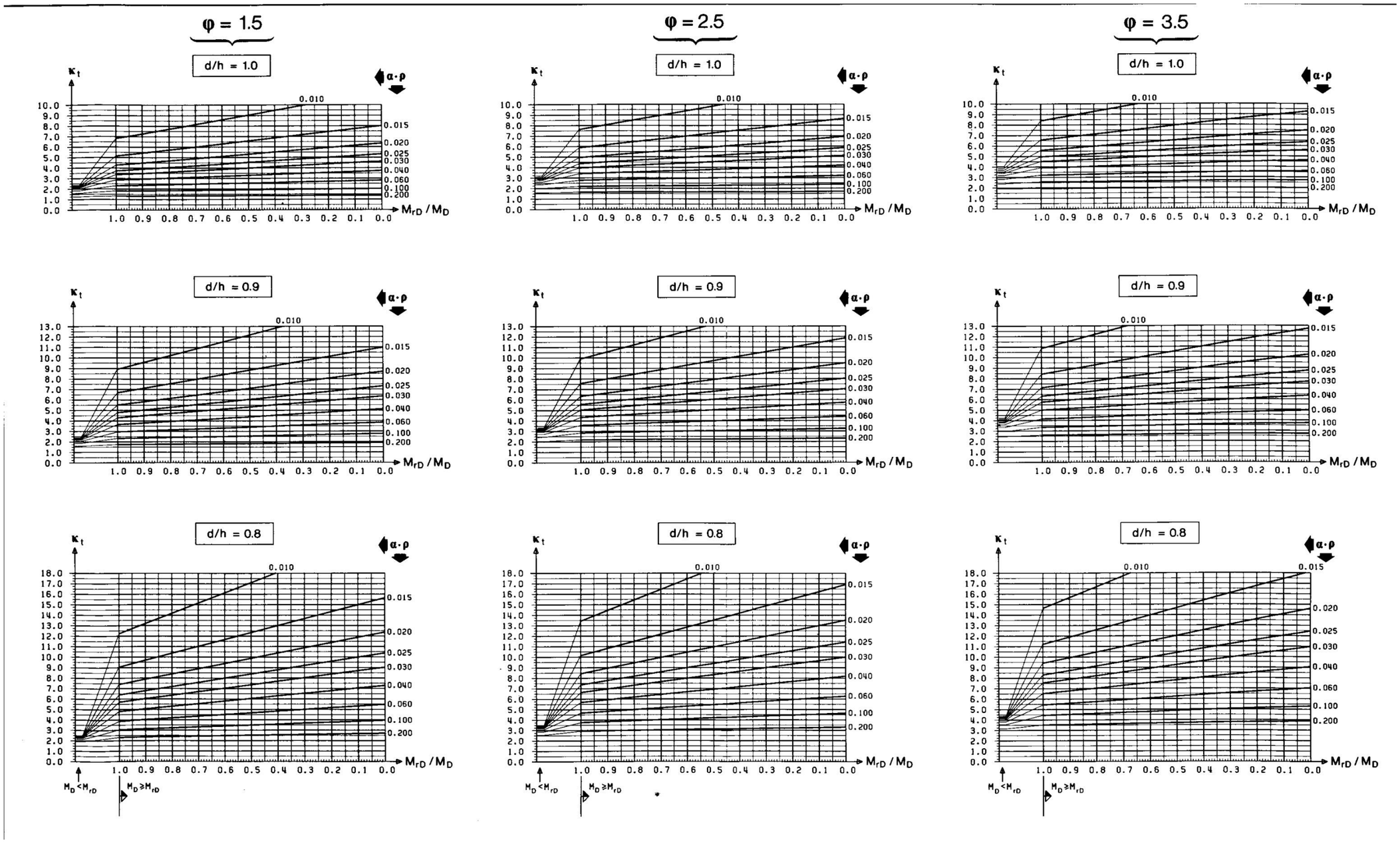


Σχήμα 10.2α Στιγμιαίος βέλος, Πρώτη φόρτιση (β_2=1) $a_0=k_0*a_c$
(CEB "MANUEL CEB FISSURATION ET DEFORMATIONS", 1983)



Σχήμα 10.2β Στιγμιαίος βέλος, Επαναλαμβανόμενες φορτίσεις (β_2=0,5) $a_0=k_0*a_c$
(CEB "MANUEL CEB FISSURATION ET DEFORMATIONS", 1983)

10. Έλεγχος παραμορφώσεων (συνέχεια)



Σχήμα 10.3 Μακροχρόνιο βέλος, Επαναλαμβανόμενες φορτίσεις (β2=0.5) aτ=ηkta (CEB “MANUEL CEB FISSURATION ET DEFORMATIONS”, 1983)

11. Ανθεκτικότητα-Επικαλύψεις

11.1 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Πίνακας 11.1 Κατηγορίες έκθεσης (EC2, Πίνακας 4.1)

Χαρακτηρισμός Κατηγορίας	Περιγραφή περιβάλλοντος	Πληροφοριακά παραδείγματα όπου οι κατηγορίες έκθεσης θα μπορούσαν να συμβούν
1 Χωρίς διακινδύνευση διάβρωσης ή προσβολής		
X0	Για άοπλο σκυρόδεμα ή σκυρόδε-μα χωρίς ενσωματωμένο μέταλλο: όλες οι συνθήκες έκθεσης εκτός περιπτώσεων ύπαρξης ψύξης/απόψυξης, επιφανειακής τριβής ή χημικής προσβολής. Για οπλισμένο σκυρόδεμα: πολύ ξηρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος
2 Διάβρωση από ενανθράκωση		
XC1	Ξηρό ή μόνιμα υγρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με μέτρια ή υψηλή υγρασία αέρος Σκυρόδεμα μόνιμα βυθισμένο στο νερό
XC2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος υπό μακροχρόνια επαφή με το νερό. Πληθώρα θεμελιώσεων.
XC3	Μέτρια υγρασία	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος Εξωτερικό σκυρόδεμα προσβαλλόμενο από τη βροχή
XC4	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος σε επαφή με το νερό, εκτός της κατηγορίας έκθεσης XC2
3 Διάβρωση από χλωριούχα		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε αερομεταφερόμενα χλωριούχα.
XD2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Πισίνες. Στοιχεία σκυροδέματος εκτεθειμένα σε βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν χλωριούχα.
XD3	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Τμήματα γεφυρών εκτεθειμένα σε ψεκασμό χλωριούχων. Πεζοδρόμια. Πλάκες χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων.
4 Διάβρωση από χλωριούχα θαλασσινού νερού		
XS1	Εκτεθειμένο σε άλατα θαλάσης αερομεταφερόμενα αλλά χωρίς άμεση επαφή με το θαλασσινό νερό.	Κατασκευές κοντά ή επί της ακτής
XS2	Μόνιμα βυθισμένο σε θαλασσινό νερό	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Ζώνες παλίρροιας, παφλασμού και πιτσιλίσματος.	Τμήματα λιμενικών έργων
5. Προσβολή ψύξης / απόψυξης		
XF1	Μέτριας κλίμακας υδρεμποτισμός χωρίς, παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF2	Μέτριας κλίμακας υδρεμποτισμός με παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος κατασκευών οδοποιίας εκτεθειμένες σε ψύξη και παράγοντες απόψυξης που μεταφέρονται με τον αέρα.
XF3	Εκτεταμένος υδρεμποτισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF4	Εκτεταμένος υδρεμποτισμός με παράγοντα απόψυξης ή θαλασσινό νερό	Καταστρώματα οδών ή γεφυρών εκτεθειμένα σε παράγοντες απόψυξης. Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε άμεσο ψεκασμό με παράγοντες απόψυξης. Ζώνες παφλασμού σε λιμενικά έργα εκτεθειμένα σε πάγο.
6. Χημική προσβολή		
XA1	Ελαφρώς επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA2	Μετρίως επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA3	Ιδιαιτέρως επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα

11. Ανθεκτικότητα-Επικαλύψεις (συνέχεια)

11.2 Απαιτήσεις ανθεκτικότητας σκυροδέματος

Πίνακας 11.2 Ενδεικτικές κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος (EC2, Πίνακας Ε.1Ν)										
	Κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος									
Διάβρωση										
	Διάβρωση οφειλόμενη σε ενανθράκωση				Διάβρωση οφειλόμενη σε χλωρίδια			Διάβρωση οφειλόμενη σε χλωρίδια από θαλάσσιο νερό		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Ενδεικτική κατηγορία αντοχής	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Βλάβες στο σκυρόδεμα										
	Κανένας κίνδυνος	Προσβολή από παγετό/επανυγροποίηση					Χημική προσβολή			
	X0	XF1	XF2		XF3		XA1	XA2	XA3	
Ενδεικτική κατηγορία αντοχής	C12/15	C30/37	C25/30		C30/37		C30/37		C35/45	

11.3 Επικαλύψεις

- Ονομαστική επικάλυψη, c_{nom}

$c_{non}=c_{min}+\Delta c_{dev}$

c_{min} είναι η ελάχιστη επικάλυψη

Δc_{dev} είναι η σχεδιαστική ανοχή για την αντιμετώπιση αποκλίσεων (συνιστώμενη τιμή ίση με 10mm)

- Ελάχιστη επικάλυψη, c_{min}

$c_{min}=\max\{c_{min,b};c_{min,dur}+\Delta c_{dur,\gamma}-\Delta c_{dur,st}-\Delta c_{dur,add};10mm\}$

όπου:

$c_{min,b}$ ελάχιστη επικάλυψη βάση απαίτησης συνάφειας

$c_{min,dur}$ ελάχιστη επικάλυψη βάση περιβαντολλογικών συνθηκών

$\Delta_{cdur,\gamma}$ πρόσθετη ασφάλεια στοιχείου (συνιστώμενη τιμή 0)

$\Delta_{cdur,st}$ απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση χρήσης ανοξείδωτου χάλυβα (συνιστώμενη τιμή 0)

$\Delta_{cdur,add}$ απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση πρόσθετης προστασίας (συνιστώμενη τιμή 0)

11. Ανθεκτικότητα-Επικαλύψεις (συνέχεια)

Πίνακας 11.3 Απαιτήσεις ελάχιστης επικάλυψης $c_{min,b}$, από άποψη συνάφειας (EC2, Πίνακας 4.2)

Απαίτηση συνάφειας	
Διάταξη ράβδων	Ελάχιστη επικάλυψη $c_{min,b}$*
Μεμονωμένες	Διάμετρος ράβδου
Δεσμίδα	Ισοδύναμη διάμετρος (Øn) **

* Εάν η μέγιστη ονομαστική διάσταση των αδρανών είναι μεγαλύτερη από 32 mm, τότε η $c_{min,b}$ πρέπει να προσαυξάνεται κατά 5 mm.

** Η δέσμη ράβδων αντικαθίσταται από μια ιδεατή ράβδο που έχει το ίδιο εμβαδόν διατομής και το ίδιο κέντρο βάρους με την δέσμη. Η ισοδύναμη διάμετρος Φn της ιδεατής ράβδου είναι: $\Phi n=\Phi\sqrt{n_b}\leq 55$mm όπου n_b είναι το πλήθος των ράβδων της δέσμης, με μέγιστη τιμή: $n_b\leq 4$ για κατακόρυφες ράβδους υπό θλίψη και ράβδους σε θέση υπερκάλυψης, και $n_b\leq 3$ για όλες τις άλλες περιπτώσεις.

Πίνακας 11.4 Απαιτήσεις ελάχιστης επικάλυψης, $c_{min,dur}$, από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα οπλισμού (EC2, Πίνακας 4.4N)

Περιβαλλοντολογική απαίτηση

Κατηγορία Κατασκευής	**Κατηγορία έκθεσης (Πίνακας 11.1)**						
	X0	**XC1**	**XC2 / XC3**	**XC4**	**XD1 / XS1**	**XD2 / XS2**	**XD3 / XS3**
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Πίνακας 11.5 Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών (EC2, Πίνακας 4.3N)

Κατηγορία Κατασκευής

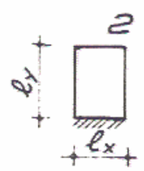
Κριτήριο	**Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα (Πίνακα 11.1)**						
	X0	**XC1**	**XC2 / XC3**	**XC4**	**XD1**	**XD2 / XS1**	**XD3 / XS2 / XS3**
Χρόνος ζωής σχεδιασμού 100 χρόνια	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2
Κατηγορία αντοχής	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C35/45 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C45/55 μείωση κατηγορίας κατά 1
Δομικό στοιχείο με γεωμετρία πλάκας (η θέση του οπλισμού δεν επηρεάζεται από τη διαδικασία κατασκευής)	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1
Διασφάλιση ειδικού ελέγχου ποιότητας παραγωγής σκυροδέματος	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1

Η συνιστώμενη Κατηγορία Κατασκευής (για χρόνο ζωής σχεδιασμού 50 έτη) είναι S4 για τις ενδεικτικές αντοχές του σκυροδέματος του Πίνακα 11.2 (EC2, Πίνακας E.1N). Η συνιστώμενη ελάχιστη Κατηγορία Κατασκευής είναι S1.

12. Πλάκες

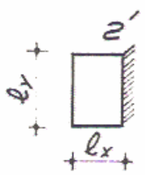
12.1 Πίνακας Pieper-Martens

(από Ε.Μ.Π, “Σημειώσεις για τις Κατασκευές από Ω.Σ”)

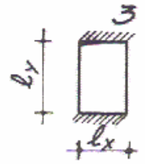


Πίν. II

ℓy/ℓx	fx	fy	Sy
1,0	32,8	29,1	11,9
1,1	26,3	29,2	10,9
1,2	22,0	29,8	10,1
1,3	18,9	30,6	9,6
1,4	16,7	31,8	9,2
1,5	15,0	33,5	8,9
1,6	13,7	34,8	8,7
1,7	12,8	36,1	8,5
1,8	12,0	37,3	8,4
1,9	11,4	38,4	8,3
2,0	10,9	39,5	8,2
→∞	8,0	*	8,0

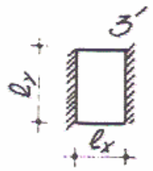


ℓy/ℓx	fx	fy	Sx
1,0	29,1	32,8	11,9
1,1	24,6	34,5	10,9
1,2	21,5	36,8	10,2
1,3	19,2	38,8	9,7
1,4	17,5	40,9	9,3
1,5	16,2	42,7	9,0
1,6	15,2	44,1	8,8
1,7	14,4	45,3	8,6
1,8	13,8	46,5	8,4
1,9	13,3	47,2	8,3
2,0	12,9	47,9	8,3
→∞	10,2	*	8,0

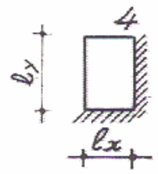


Πίν. III

ℓy/ℓx	fx	fy	Sy
1,0	38,0	30,6	14,3
1,1	30,2	30,2	12,7
1,2	24,8	30,3	11,5
1,3	21,1	31,0	10,7
1,4	18,4	32,2	10,0
1,5	16,4	33,8	9,5
1,6	14,8	35,9	9,2
1,7	13,6	38,3	8,9
1,8	12,7	41,1	8,7
1,9	12,0	44,9	8,5
2,0	11,4	46,3	8,4
→∞	8,0	*	8,0

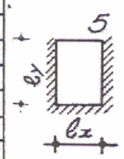


ℓy/ℓx	fx	fy	Sx
1,0	30,6	38,0	14,3
1,1	26,3	39,5	13,5
1,2	23,2	41,4	13,0
1,3	20,9	43,5	12,6
1,4	19,2	45,6	12,3
1,5	17,9	47,6	12,2
1,6	16,9	49,1	12,0
1,7	16,1	50,3	12,0
1,8	15,4	51,3	12,0
1,9	14,9	52,1	12,0
2,0	14,5	52,9	12,0
→∞	12,0	*	12,0



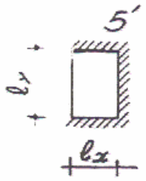
Πίν. IV

ℓy/ℓx	fx	fy	Sx	Sy
1,0	33,2	33,2	14,3	14,3
1,1	27,3	34,1	12,7	13,6
1,2	23,3	35,5	11,5	13,1
1,3	20,6	37,7	10,7	12,8
1,4	18,5	39,9	10,0	12,6
1,5	16,9	41,9	9,6	12,4
1,6	15,8	43,5	9,2	12,3
1,7	14,9	44,9	8,9	12,2
1,8	14,2	46,2	8,7	12,2
1,9	13,6	47,2	8,5	12,2
2,0	13,1	48,3	8,4	12,1
→∞	10,2	*	8,0	11,2

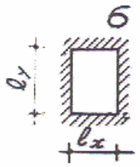


Πίν. V

ℓy/ℓx	fx	fy	Sx	Sy
1,0	33,6	37,3	16,2	18,3
1,1	28,2	38,7	14,8	17,7
1,2	24,4	40,4	13,9	17,5
1,3	21,8	42,7	13,2	17,5
1,4	19,8	45,1	12,7	17,5
1,5	18,3	47,5	12,5	17,5
1,6	17,2	49,5	12,3	17,5
1,7	16,3	51,4	12,2	17,5
1,8	15,6	53,3	12,1	17,5
1,9	15,0	55,1	12,0	17,5
2,0	14,6	56,9	12,0	17,5
→∞	12,0	*	12,0	17,5

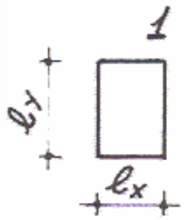


ℓy/ℓx	fx	fy	Sx	Sy
1,0	37,3	33,6	18,3	16,2
1,1	30,3	34,1	15,4	14,8
1,2	25,3	35,1	13,5	13,9
1,3	22,0	37,3	12,2	13,3
1,4	19,5	39,8	11,2	13,0
1,5	17,7	43,1	10,6	12,7
1,6	16,4	46,6	10,1	12,6
1,7	15,4	52,3	9,7	12,5
1,8	14,6	55,5	9,4	12,4
1,9	13,9	60,5	9,0	12,3
2,0	13,4	66,1	8,9	12,3
→∞	10,2	*	8,0	11,2



Πίν. VI

ℓy/ℓx	fx	fy	Sx	Sy
1,0	36,8	36,8	19,4	19,4
1,1	30,2	38,1	17,1	18,4
1,2	25,7	40,4	15,5	17,9
1,3	22,7	43,5	14,5	17,6
1,4	20,4	47,1	13,7	17,5
1,5	18,7	50,6	13,2	17,5
1,6	17,5	52,8	12,8	17,5
1,7	16,5	54,5	12,5	17,5
1,8	15,7	56,1	12,3	17,5
1,9	15,1	57,3	12,1	17,5
2,0	14,7	58,3	12,0	17,5
→∞	12,0	*	12,0	17,5



Πίν. I

ℓy/ℓx	fx	fy
1,0	27,2	27,2
1,1	22,4	27,9
1,2	19,1	29,1
1,3	16,8	30,9
1,4	15,0	32,8
1,5	13,7	34,7
1,6	12,7	36,1
1,7	11,9	37,3
1,8	11,3	38,5
1,9	10,8	39,4
2,0	10,4	40,3
→∞	8,0	*

12. Πλάκες (συνέχεια)

12.2 Πίνακες Markus

(από Ε.Μ.Π, “Σημειώσεις για τις Κατασκευές από Ω.Σ”)

Συντελεστές κατανομής φορτίου τετραέρειστων πλακών (Σταδιο λειτουργίας)

	$q_x = \kappa \cdot q$							$q_y = (1-\kappa) \cdot q$					
$\varepsilon = l_y/l_x$	l_y [1] / l_x	l_y [2] / l_x	l_y [3] / l_x	l_y [4] / l_x	l_y [5] / l_x	l_y [6] / l_x	$\varepsilon = l_y/l_x$	l_y [1] / l_x	l_y [2] / l_x	l_y [3] / l_x	l_y [4] / l_x	l_y [5] / l_x	l_y [6] / l_x
	κ_1	κ_2	κ_3	κ_4	κ_5	κ_6		κ_1	κ_2	κ_3	κ_4	κ_5	κ_6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0.60	0.115	0.245	0.393	0.115	0.206	0.115	1.00	0.500	0.714	0.833	0.500	0.667	0.500
0.61	0.122	0.257	0.409	0.122	0.217	0.122	1.01	0.510	0.722	0.839	0.510	0.676	0.510
0.62	0.129	0.270	0.425	0.129	0.228	0.129	1.02	0.520	0.730	0.844	0.520	0.684	0.520
0.63	0.136	0.083	0.441	0.136	0.240	0.136	1.03	0.530	0.738	0.849	0.530	0.692	0.530
0.64	0.144	0.296	0.456	0.144	0.251	0.144	1.04	0.539	0.745	0.854	0.539	0.701	0.539
0.65	0.151	0.309	0.472	0.151	0.263	0.151	1.05	0.549	0.752	0.859	0.549	0.709	0.549
0.66	0.159	0.322	0.487	0.159	0.275	0.159	1.06	0.558	0.759	0.863	0.558	0.716	0.558
0.67	0.168	0.335	0.502	0.168	0.287	0.168	1.07	0.567	0.766	0.868	0.567	0.724	0.567
0.68	0.176	0.348	0.517	0.176	0.300	0.176	1.08	0.576	0.773	0.872	0.576	0.731	0.576
0.69	0.185	0.362	0.531	0.185	0.312	0.185	1.09	0.585	0.779	0.876	0.585	0.739	0.585
0.70	0.194	0.375	0.546	0.194	0.324	0.194	1.10	0.594	0.785	0.880	0.594	0.745	0.594
0.71	0.203	0.389	0.560	0.203	0.337	0.203	1.11	0.603	0.792	0.884	0.603	0.752	0.603
0.72	0.212	0.402	0.573	0.212	0.350	0.212	1.12	0.611	0.797	0.887	0.611	0.759	0.611
0.73	0.221	0.415	0.587	0.221	0.362	0.221	1.13	0.620	0.803	0.891	0.620	0.765	0.620
0.74	0.231	0.429	0.600	0.231	0.375	0.231	1.14	0.628	0.809	0.894	0.628	0.772	0.628
0.75	0.240	0.442	0.613	0.240	0.388	0.240	1.15	0.636	0.814	0.897	0.636	0.778	0.636
0.76	0.250	0.455	0.625	0.250	0.400	0.250	1.16	0.644	0.819	0.900	0.644	0.784	0.644
0.77	0.260	0.468	0.637	0.260	0.413	0.260	1.17	0.652	0.824	0.904	0.652	0.789	0.652
0.78	0.270	0.481	0.649	0.270	0.425	0.270	1.18	0.660	0.829	0.906	0.660	0.795	0.660
0.79	0.280	0.493	0.661	0.280	0.438	0.280	1.19	0.667	0.834	0.909	0.667	0.800	0.667
0.80	0.291	0.506	0.672	0.291	0.450	0.291	1.20	0.675	0.838	0.912	0.675	0.806	0.675
0.81	0.301	0.518	0.683	0.301	0.463	0.301	1.22	0.689	0.847	0.917	0.689	0.816	0.689
0.82	0.311	0.531	0.693	0.311	0.475	0.311	1.24	0.703	0.855	0.922	0.703	0.825	0.703
0.83	0.322	0.543	0.703	0.322	0.487	0.322	1.26	0.716	0.863	0.926	0.716	0.834	0.716
0.84	0.332	0.555	0.713	0.332	0.499	0.332	1.28	0.729	0.870	0.930	0.729	0.843	0.729
0.85	0.343	0.566	0.723	0.343	0.511	0.343	1.30	0.741	0.877	0.934	0.741	0.851	0.741
0.86	0.354	0.578	0.732	0.354	0.523	0.354	1.32	0.752	0.883	0.938	0.752	0.858	0.752
0.87	0.364	0.589	0.741	0.364	0.534	0.364	1.34	0.763	0.889	0.942	0.763	0.865	0.763
0.88	0.375	0.600	0.750	0.375	0.545	0.375	1.36	0.774	0.895	0.945	0.774	0.872	0.774
0.89	0.386	0.611	0.758	0.386	0.557	0.386	1.38	0.784	0.901	0.948	0.784	0.879	0.784
0.90	0.396	0.621	0.766	0.396	0.568	0.396	1.40	0.794	0.906	0.951	0.794	0.885	0.794
0.91	0.407	0.631	0.774	0.407	0.578	0.407	1.42	0.803	0.910	0.953	0.803	0.890	0.803
0.92	0.417	0.647	0.782	0.417	0.589	0.417	1.44	0.811	0.915	0.955	0.811	0.896	0.811
0.93	0.428	0.652	0.789	0.428	0.599	0.428	1.46	0.820	0.919	0.957	0.820	0.901	0.820
0.94	0.438	0.661	0.797	0.438	0.610	0.438	1.48	0.827	0.923	0.959	0.827	0.906	0.827
0.95	0.449	0.671	0.803	0.449	0.620	0.449	1.50	0.835	0.927	0.961	0.835	0.910	0.835
0.96	0.459	0.680	0.809	0.459	0.630	0.459	1.52	0.842	0.930	0.963	0.842	0.914	0.842
0.97	0.470	0.689	0.816	0.470	0.639	0.470	1.54	0.849	0.933	0.965	0.849	0.918	0.849
0.98	0.480	0.698	0.822	0.480	0.649	0.480	1.56	0.856	0.936	0.967	0.856	0.922	0.856
0.99	0.490	0.706	0.828	0.490	0.658	0.490	1.58	0.862	0.939	0.969	0.862	0.926	0.862
1.00	0.500	0.714	0.833	0.500	0.667	0.500	1.60	0.868	0.942	0.970	0.868	0.929	0.868
	ρ'_1	ρ'_2	ρ'_3	ρ'_4	ρ'_5	ρ'_6		ρ'_1	ρ'_2	ρ'_3	ρ'_4	ρ'_5	ρ'_6
$\varepsilon = l_x/l_y$	l_y [1'] / l_x	l_y [2'] / l_x	l_y [3'] / l_x	l_y [4'] / l_x	l_y [5'] / l_x	l_y [6'] / l_x	$\varepsilon = l_x/l_y$	l_y [1'] / l_x	l_y [2'] / l_x	l_y [3'] / l_x	l_y [4'] / l_x	l_y [5'] / l_x	l_y [6'] / l_x
	$q_x = (1-\rho) \cdot q$							$q_y = \rho' \cdot q$					

Συντελεστές, ν, υπολογισμού ροπών ανοιγμάτων τετραέρειστων πλακών

$\varepsilon = l_x/l_y$	l_y [1] / l_x		l_y [2] / l_x		l_y [3] / l_x		l_y [4] / l_x	l_y [5] / l_x		l_y [6] / l_x	$\varepsilon = l_y/l_x$
	$\nu_{1x} = \nu_{1y}$		ν_{2x}	ν_{2y}	ν_{3x}	ν_{3y}	$\nu_{4x} = \nu_{4y}$	ν_{5x}	ν_{5y}	$\nu_{6x} = \nu_{6y}$	
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.50	0.804		0.746	0.820	0.735	0.841	0.890	0.876	0.896	0.935	0.50
0.55	0.769		0.711	0.795	0.712	0.828	0.869	0.858	0.881	0.923	0.55
0.60	0.734		0.682	0.774	0.696	0.818	0.851	0.841	0.866	0.911	0.60
0.65	0.701		0.657	0.757	0.690	0.815	0.832	0.827	0.854	0.900	0.65
0.70	0.671		0.641	0.745	0.691	0.815	0.815	0.816	0.845	0.890	0.70
0.75	0.644		0.633	0.739	0.698	0.819	0.799	0.809	0.839	0.881	0.75
0.80	0.621		0.625	0.734	0.708	0.825	0.787	0.804	0.835	0.874	0.80
0.85	0.604		0.633	0.740	0.723	0.833	0.777	0.805	0.835	0.868	0.85
0.90	0.592		0.641	0.745	0.737	0.842	0.771	0.805	0.836	0.864	0.90
0.95	0.587		0.653	0.753	0.751	0.852	0.768	0.810	0.840	0.862	0.95
1.00	0.583		0.665	0.762	0.768	0.861	0.766	0.815	0.844	0.861	1.00
1.10	0.591		0.695	0.783	0.798	0.879	0.770	0.829	0.856	0.864	1.10
1.20	0.610		0.727	0.806	0.824	0.894	0.780	0.844	0.869	0.870	1.20
1.30	0.635		0.757	0.827	0.846	0.908	0.794	0.860	0.882	0.878	1.30
1.40	0.663		0.783	0.846	0.865	0.919	0.810	0.875	0.894	0.888	1.40
1.50	0.691		0.807	0.863	0.881	0.929	0.826	0.888	0.905	0.897	1.50
1.60	0.718		0.827	0.877	0.895	0.937	0.841	0.899	0.915	0.906	1.60
1.70	0.742		0.845	0.890	0.906	0.944	0.855	0.909	0.923	0.914	1.70
1.80	0.765		0.860	0.901	0.916	0.950	0.868	0.918	0.931	0.922	1.80
1.90	0.786		0.974	0.910	0.924	0.955	0.879	0.926	0.937	0.929	1.90
2.00	0.804		0.885	0.919	0.931	0.959	0.890	0.933	0.943	0.935	2.00
	$\nu'_{1x} = \nu'_{1y}$		ν'_{2y}	ν'_{2x}	ν'_{3y}	ν'_{3x}	$\nu'_{4x} = \nu'_{4y}$	ν'_{5y}	ν'_{5x}	$\nu'_{6x} = \nu'_{6y}$	
$\varepsilon = l_x/l_y$	l_y [1'] / l_x		l_y [2'] / l_x		l_y [3'] / l_x		l_y [4'] / l_x	l_y [5'] / l_x		l_y [6'] / l_x	$\varepsilon = l_x/l_y$

12. Πλάκες (συνέχεια)

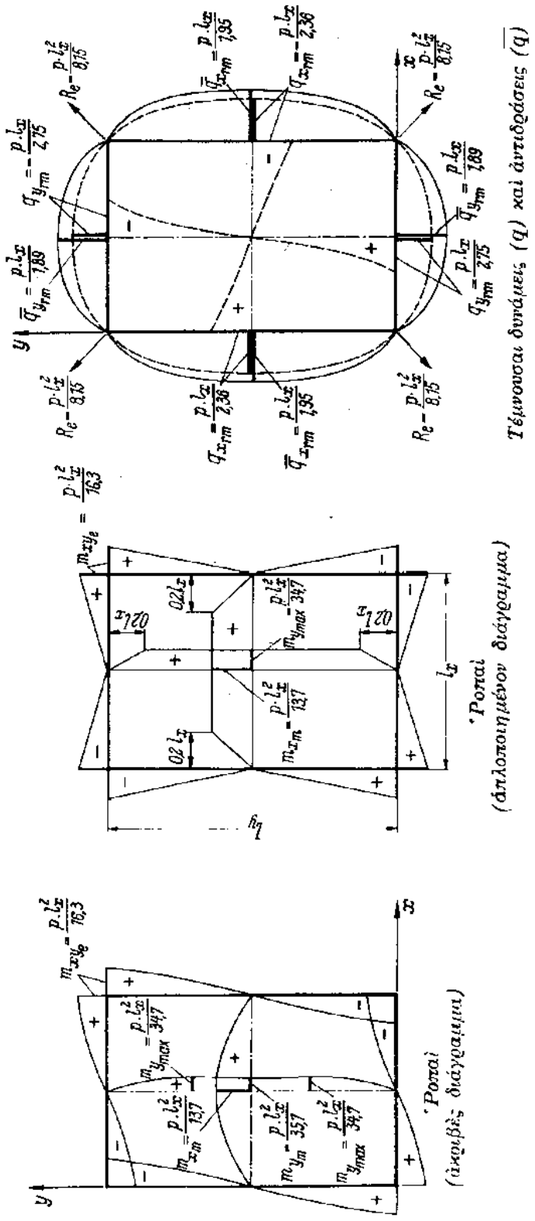
12.3 Πίνακες Czerny (BETON KALENDER, Ελληνική έκδοση από το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος, 1970)

2.2. Πίνακες τετραερείστων ὀρθογωνικῶν πλακῶν μὲ ὁμοιόμορφον καθολικὴν φόρτισιν

2.2.1 Ἐλευθέρα ἔδρασις τῶν τεσσάρων παρυφῶν

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xm} =$	27,2	24,5	22,4	20,7	19,1	17,8	16,8	15,8	15,0	14,3	13,7
$m_{ymax} = \quad p \cdot l_x^2 \cdot$	27,2	27,5	27,9	28,4	29,1	29,9	30,9	31,8	32,8	33,8	34,7
$m_{xye} = \pm$	21,6	20,6	19,7	19,0	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8	16,5	16,3
$R_e =$	10,8	10,3	9,85	9,5	9,2	8,95	8,75	8,55	8,4	8,25	8,15
$\bar{q}_{xrm} = \quad p \cdot l_x \cdot$	2,19	2,15	2,11	2,07	2,04	2,02	2,00	1,98	1,97	1,96	1,95
$\bar{q}_{yrm} =$	2,19	2,14	2,09	2,05	2,02	1,99	1,96	1,94	1,92	1,90	1,89
$fm = \quad \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} \cdot$	0,0487	0,0536	0,0584	0,0631	0,0678	0,0728	0,0767	0,0809	0,0850	0,0890	0,0927

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xm} =$	13,7	13,2	12,7	12,3	11,9	11,5	11,3	11,0	10,8	10,6	10,4
$m_{ymax} = \quad p \cdot l_x^2 \cdot$	34,7	35,4	36,1	36,7	37,3	37,9	38,5	38,9	39,4	39,8	40,3
$m_{xye} = \pm$	16,3	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,1
$R_e =$	8,15	8,05	7,95	7,85	7,8	7,75	7,7	7,65	7,65	7,6	7,55
$\bar{q}_{xrm} = \quad p \cdot l_x \cdot$	1,95	1,94	1,93	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
$\bar{q}_{yrm} =$	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,83	1,82	1,82	1,82	1,82
$f_m = \quad \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} \cdot$	0,0927	0,0963	0,0997	0,1029	0,1060	0,1093	0,1118	0,1145	0,1169	0,1195	0,1215



Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

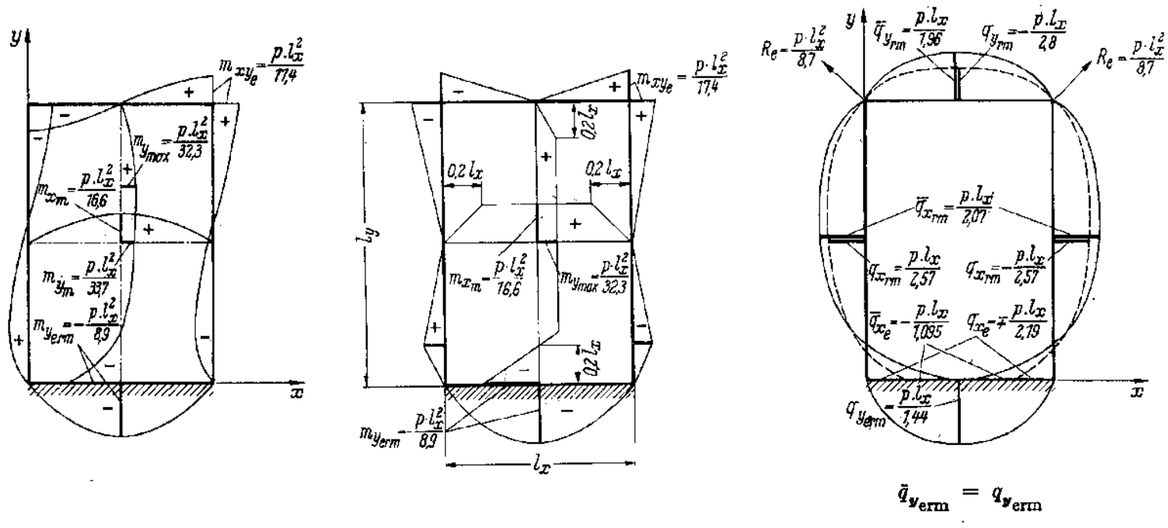
12.4 Πίνακες Czerny

(BETON KALENDER, Ελληνική έκδοση από το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος, 1970)

2.2.2. Πλήρης πάκτωσις μιᾶς παρυφῆς καὶ ἐλευθέρα ἔδρασις τῶν τριῶν ἑτέρων

$l_y : l_x$		1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_m} =$	$p \cdot l_x^2 :$	41,2	36,5	31,9	28,3	25,9	23,4	21,7	20,1	18,8	17,5	16,6
$m_{y_{erm}} = -$		11,9	11,3	10,9	10,4	10,1	9,8	9,6	9,3	9,2	9,0	8,9
$m_{y_{max}} =$		29,4	29,0	28,8	28,8	28,9	29,2	29,7	30,2	30,8	31,6	32,3
$m_{xy_e} = \pm$		26,2	24,5	23,2	21,9	21,0	20,1	19,4	18,7	18,3	17,7	17,4
$R_e =$		13,1	12,2	11,6	10,9	10,5	10,0	9,7	9,3	9,1	8,8	8,7
$\bar{q}_{x_{rm}} =$	$p \cdot l_x :$	2,59	2,49	2,42	2,34	2,29	2,23	2,19	2,15	2,12	2,09	2,07
$\bar{q}_{y_{erm}} =$		1,72	1,67	1,63	1,59	1,56	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45	1,44
$\bar{q}_{y_{rm}} =$		2,47	2,38	2,29	2,23	2,17	2,12	2,08	2,04	2,01	1,98	1,96
$f_m = \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} \cdot$		0,0334	0,0378	0,0422	0,0467	0,0512	0,0557	0,0602	0,0645	0,0689	0,0731	0,0773

$l_y : l_x$		1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_m} =$	$p \cdot l_x^2 :$	16,6	15,7	15,0	14,3	13,8	13,2	12,8	12,3	12,0	11,6	11,4
$m_{y_{erm}} = -$		8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,45	8,4	8,35	8,3	8,25	8,2
$m_{y_{max}} =$		32,3	33,0	33,6	34,3	34,9	35,6	36,2	36,9	37,5	38,2	38,8
$m_{xy_e} = \pm$		17,4	17,0	16,8	16,5	16,3	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4
$R_e =$		8,7	8,5	8,4	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7
$\bar{q}_{x_{rm}} =$	$p \cdot l_x :$	2,07	2,05	2,03	2,01	1,99	1,98	1,97	1,96	1,96	1,95	1,95
$\bar{q}_{y_{erm}} =$		1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,39	1,38	1,38	1,37	1,37
$\bar{q}_{y_{rm}} =$		1,96	1,94	1,92	1,90	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,84
$f_m = \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} \cdot$		0,0773	0,0815	0,0852	0,0892	0,0926	0,0962	0,0994	0,1027	0,1056	0,1085	0,1112

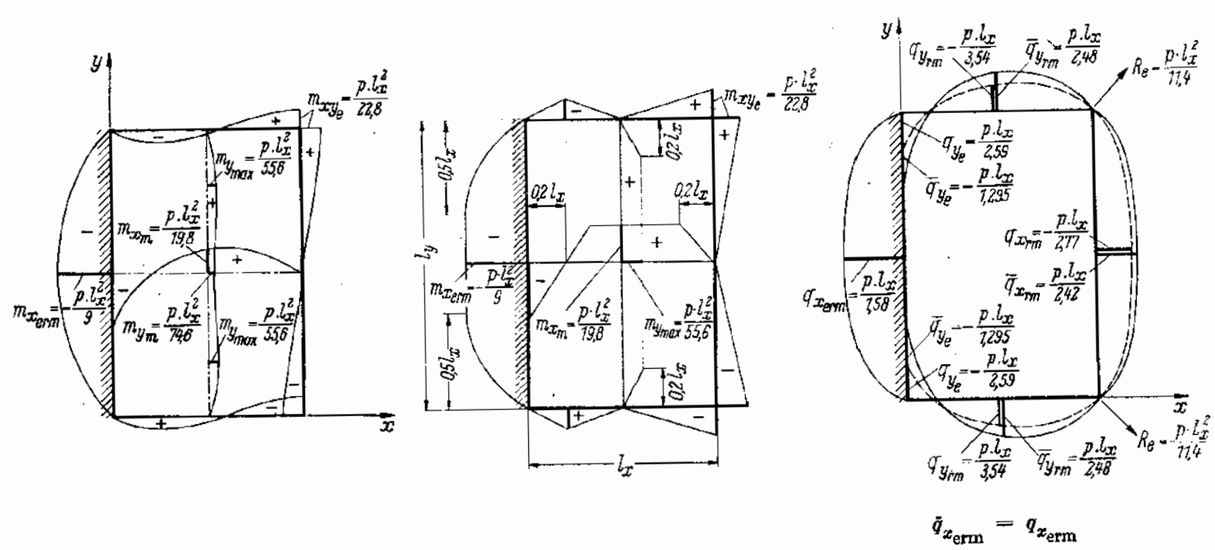


Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

12. Πλάκες (συνέχεια)

$l_y : l_x$		1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_{erm}}$	$= -$	11,9	11,3	10,9	10,5	10,2	9,9	9,7	9,4	9,3	9,1	9,0
m_{x_m}	$=$	31,4	29,2	27,3	25,8	24,5	23,4	22,4	21,6	21,0	20,3	19,8
$m_{y_{max}}$	$= \quad p \cdot l_x^2 \cdot$	41,2	43,2	45,1	47,1	48,8	50,3	51,8	53,2	54,3	55,0	55,6
m_{xy_e}	$= \pm$	26,2	25,4	24,9	24,4	24,0	23,7	23,5	23,2	23,0	22,9	22,8
R_e	$=$	13,1	12,7	12,4	12,2	12,0	11,8	11,7	11,6	11,5	11,4	11,4
$q_{x_{erm}}$	$=$	1,72	1,69	1,67	1,65	1,63	1,62	1,61	1,60	1,59	1,58	1,58
$\bar{q}_{x_{rm}}$	$= \quad p \cdot l_x \cdot$	2,47	2,44	2,42	2,41	2,41	2,40	2,40	2,40	2,41	2,41	2,42
$\bar{q}_{y_{rm}}$	$=$	2,59	2,56	2,54	2,52	2,51	2,50	2,50	2,49	2,49	2,48	2,48
f_m	$= \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} \cdot$	0,0334	0,0357	0,0380	0,0401	0,0420	0,0438	0,0455	0,0472	0,0485	0,0498	0,0510

$l_y : l_x$		1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_{erm}}$	$= -$	9,0	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,3	8,3	8,3	8,3
m_{x_m}	$=$	19,8	19,4	19,0	18,6	18,3	18,0	17,8	17,5	17,4	17,2	17,1
$m_{y_{max}}$	$= \quad p \cdot l_x^2 \cdot$	55,6	56,2	56,8	57,3	57,8	58,2	58,6	58,8	59,0	59,1	59,2
m_{xy_e}	$= \pm$	22,8	22,7	22,6	22,5	22,5	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
R_e	$=$	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
$q_{x_{erm}}$	$=$	1,58	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
$\bar{q}_{x_{rm}}$	$= \quad p \cdot l_x \cdot$	2,42	2,42	2,43	2,43	2,44	2,45	2,46	2,47	2,49	2,49	2,50
$\bar{q}_{y_{rm}}$	$=$	2,48	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
f_m	$= \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3} \cdot$	0,0510	0,0521	0,0531	0,0541	0,0549	0,0556	0,0562	0,0569	0,0575	0,0580	0,0585

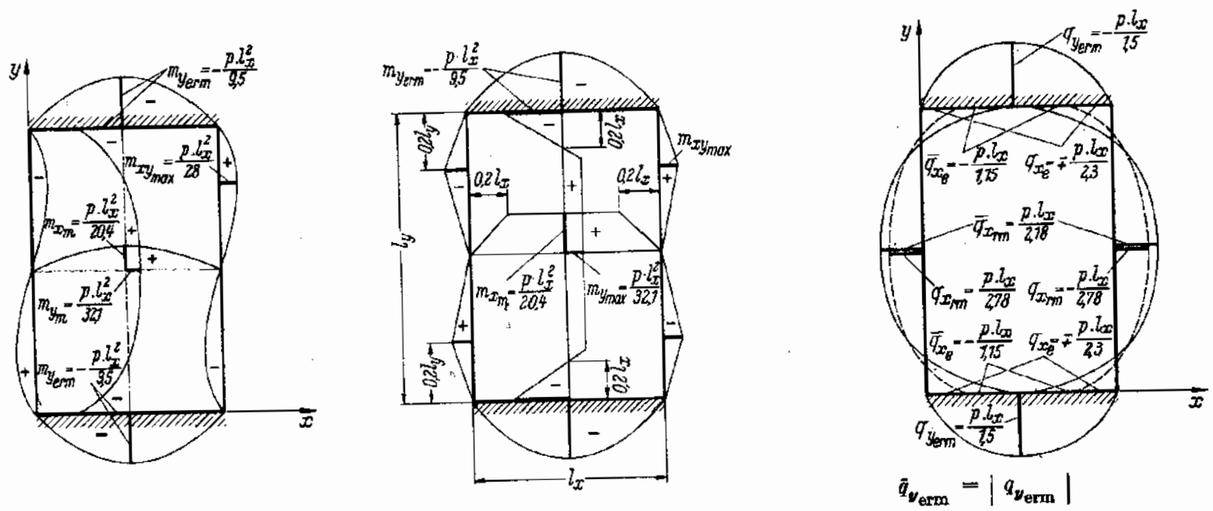


Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

2.2.3. Πλήρης πάκτωσις δύο ἀντικειμένων παρυφῶν καὶ ἐλευθέρα ἔδρασις τῶν δύο ἑτέρων

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_m} =$	63,3	52,2	46,1	39,8	35,5	31,5	28,5	25,8	23,7	22,0	20,4
$m_{y_{erm}} = -\,p \cdot l_x^2 :$	14,3	13,4	12,7	12,0	11,5	11,1	10,7	10,3	10,0	9,75	9,5
$m_{y_{max}} =$	35,1	33,7	32,9	32,2	31,7	31,3	31,2	31,2	31,4	31,7	32,1
$\bar{q}_{x_{rm}} =$	2,95	2,82	2,71	2,60	2,52	2,44	2,38	2,32	2,27	2,22	2,18
$q_{y_{erm}} = \pm\, p \cdot l_x :$	1,94	1,86	1,80	1,74	1,69	1,65	1,61	1,58	1,55	1,52	1,50
$f_m = \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$.	0,0230	0,0266	0,0303	0,0343	0,0383	0,0425	0,0467	0,0510	0,0553	0,0596	0,0639

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_m} =$	20,4	19,0	17,9	16,9	16,0	15,2	14,6	13,9	13,4	12,9	12,5
$m_{y_{erm}} = -\,p \cdot l_x^2 :$	9,5	9,3	9,2	9,05	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,4
$m_{y_{max}} =$	32,1	32,7	33,3	34,0	34,9	35,9	37,1	38,3	39,7	41,1	42,4
$\bar{q}_{x_{rm}} =$	2,18	2,14	2,11	2,09	2,07	2,05	2,03	2,01	2,00	1,99	1,98
$q_{y_{erm}} = \pm\, p \cdot l_x :$	1,50	1,47	1,46	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,40	1,39	1,39
$f_m = \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$.	0,0639	0,0681	0,0722	0,0762	0,0802	0,0840	0,0878	0,0914	0,0949	0,0982	0,1013

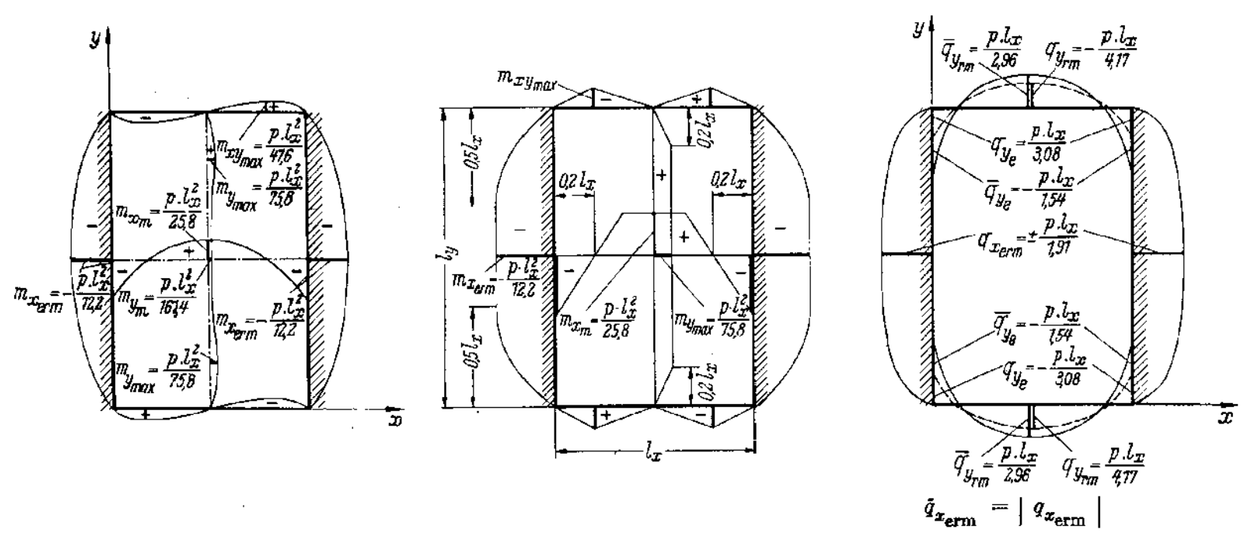


Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

12. Πλάκες (συνέχεια)

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_{erm}} = -$ $p \cdot l_x^2$:	14,3	13,8	13,5	13,2	13,0	12,7	12,6	12,4	12,3	12,2	12,2
$m_{x_m} =$ $p \cdot l_x^2$:	35,1	33,0	31,7	30,4	29,4	28,5	27,8	27,1	26,6	26,1	25,8
$m_{y_{max}} =$ $p \cdot l_x^2$:	61,7	64,5	67,2	69,6	71,5	72,8	73,5	74,1	74,6	75,3	75,8
$q_{x_{erm}} = \pm$ $p \cdot l_x$:	1,94	1,92	1,91	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,91
$\bar{q}_{y_{rm}} =$ $p \cdot l_x$:	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,96
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$.	0,0230	0,0241	0,0251	0,0260	0,0267	0,0275	0,0280	0,0285	0,0289	0,0293	0,0297

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_{erm}} = -$ $p \cdot l_x^2$:	12,2	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
$m_{x_m} =$ $p \cdot l_x^2$:	25,8	25,4	25,2	24,9	24,7	24,5	24,4	24,3	24,3	24,2	24,1
$m_{y_{max}} =$ $p \cdot l_x^2$:	75,8	76,5	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0
$q_{x_{erm}} = \pm$ $p \cdot l_x$:	1,91	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	1,94	1,94	1,95	1,95	1,95
$\bar{q}_{y_{rm}} =$ $p \cdot l_x$:	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$.	0,0297	0,0300	0,0302	0,0305	0,0307	0,0308	0,0309	0,0310	0,0311	0,0312	0,0313

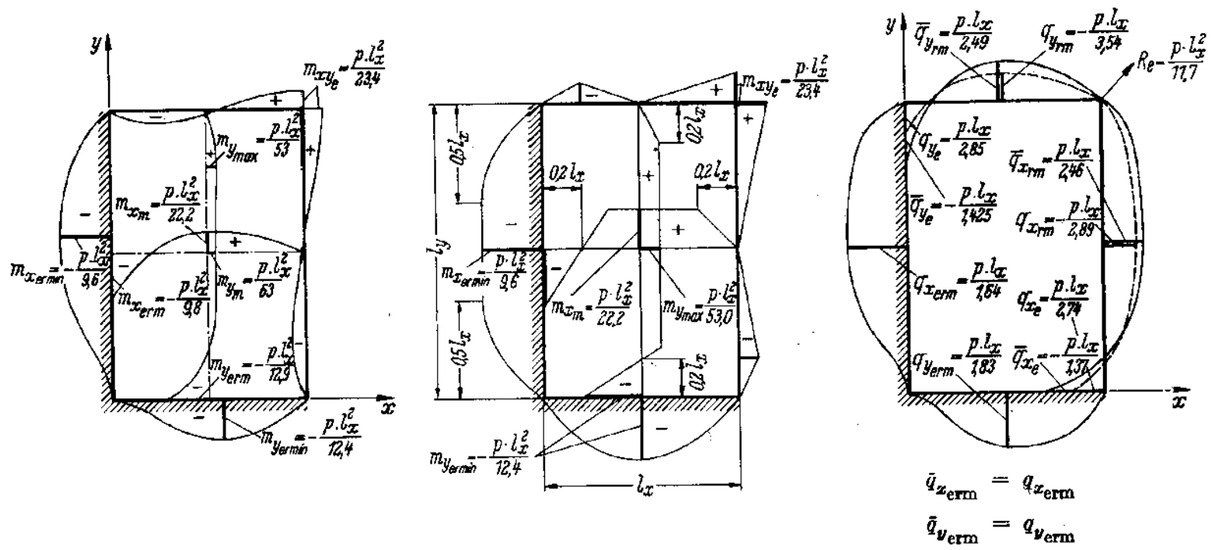


Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

2.2.4. Πλήρης πάκτωσις δύο γειτονικῶν παρυφῶν καὶ ἐλευθέρα ἔδρασις τῶν δύο ἑτέρων

$l_y : l_x$		1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_{ermin}} = -$	$p \cdot l_x^2$:	14,3	13,3	12,7	12,0	11,5	11,1	10,7	10,3	10,0	9,8	9,6
$m_{x_m} =$	$p \cdot l_x^2$:	42,7	38,0	35,1	32,2	30,0	28,0	26,5	25,2	24,1	23,1	22,2
$m_{y_{ermin}} = -$	$p \cdot l_x^2$:	14,3	13,8	13,6	13,3	13,1	12,9	12,8	12,7	12,6	12,5	12,4
$m_{y_{max}} =$	$p \cdot l_x^2$:	40,2	41,0	42,0	42,9	44,0	45,6	47,6	49,6	51,0	52,1	53,0
$q_{x_{erm}} =$	$p \cdot l_x$:	1,96	1,89	1,83	1,78	1,75	1,72	1,69	1,67	1,65	1,64	1,64
$\bar{q}_{x_{rm}} =$	$p \cdot l_x$:	2,76	2,69	2,64	2,58	2,55	2,53	2,51	2,49	2,47	2,46	2,46
$q_{y_{erm}} =$	$p \cdot l_x$:	1,96	1,93	1,90	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,84	1,83	1,83
$\bar{q}_{y_{rm}} =$	$p \cdot l_x$:	2,76	2,69	2,65	2,61	2,59	2,56	2,54	2,52	2,51	2,50	2,49
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$.		0,0252	0,0281	0,0302	0,0329	0,0348	0,0369	0,0389	0,0408	0,0426	0,0443	0,0459

$l_y : l_x$		1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_{ermin}} = -$	$p \cdot l_x^2$:	9,6	9,4	9,2	9,1	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,4
$m_{x_m} =$	$p \cdot l_x^2$:	22,2	21,6	21,0	20,4	19,9	19,5	19,1	18,7	18,4	18,1	17,9
$m_{y_{ermin}} = -$	$p \cdot l_x^2$:	12,4	12,3	12,3	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
$m_{y_{max}} =$	$p \cdot l_x^2$:	53,0	54,1	54,8	55,6	56,3	57,0	57,7	58,3	59,0	59,6	60,2
$q_{x_{erm}} =$	$p \cdot l_x$:	1,64	1,63	1,63	1,62	1,62	1,61	1,60	1,60	1,59	1,59	1,58
$\bar{q}_{x_{rm}} =$	$p \cdot l_x$:	2,46	2,46	2,46	2,47	2,47	2,47	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49
$q_{y_{erm}} =$	$p \cdot l_x$:	1,83	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
$\bar{q}_{y_{rm}} =$	$p \cdot l_x$:	2,49	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,48	2,47	2,47	2,47
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$.		0,0459	0,0472	0,0484	0,0496	0,0508	0,0519	0,0529	0,0538	0,0547	0,0554	0,0562



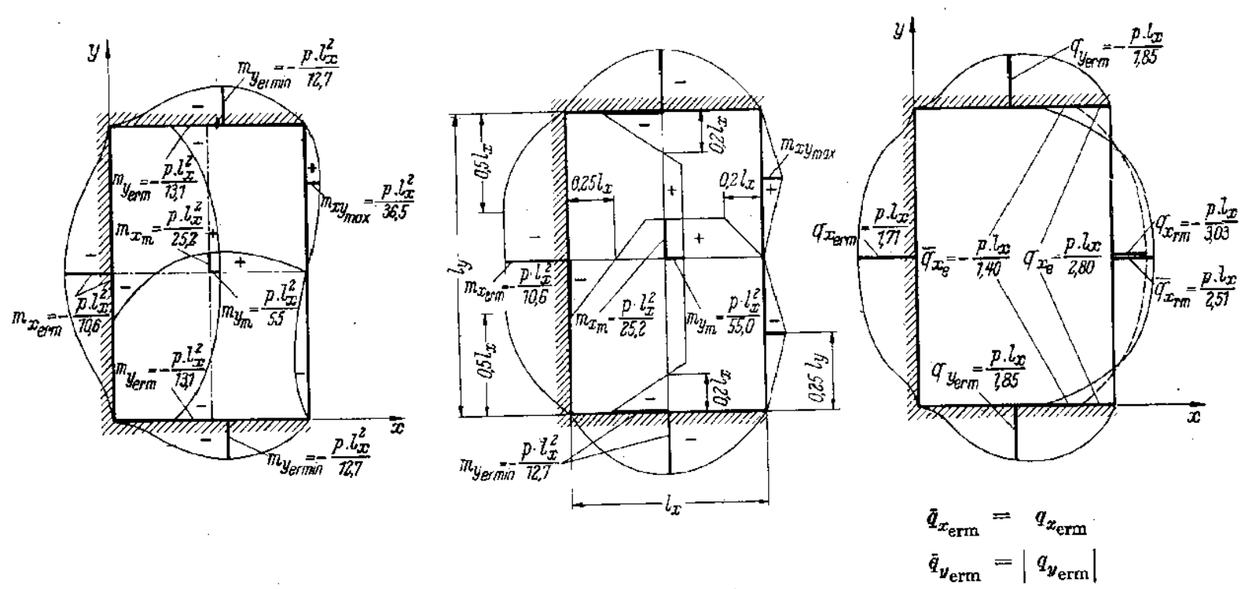
Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

2.2.5. Πλήρης πάκτωσις τριῶν παρυφῶν καὶ ἐλευθέρα ἔδρασις τῆς τετάρτης

$l_y : l_x$		1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_{erm}}$	$= -$	18,3	16,6	15,4	14,4	13,5	12,7	12,2	11,6	11,2	10,9	10,6
m_{x_m}	$=$	59,5	51,6	46,1	41,4	37,5	34,2	31,8	29,6	28,0	26,4	25,2
$m_{y_{ermin}}$	$= -$	16,2	15,4	14,8	14,3	13,9	13,5	13,3	13,1	13,0	12,8	12,7
m_{y_m}	$=$	44,1	43,6	43,7	44,2	44,8	45,8	46,9	48,6	50,3	52,3	55,0
$q_{x_{erm}}$	$=$	2,21	2,10	2,01	1,95	1,89	1,85	1,81	1,78	1,76	1,73	1,71
$\bar{q}_{x_{rm}}$	$=$	3,04	2,92	2,84	2,77	2,70	2,65	2,61	2,57	2,54	2,52	2,51
$q_{y_{erm}}$	$= \pm$	2,11	2,05	2,00	1,97	1,94	1,91	1,89	1,87	1,86	1,85	1,85
f_m	$= \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0188	0,0212	0,0236	0,0260	0,0284	0,0308	0,0329	0,0351	0,0371	0,0391	0,0409

m: $p \cdot l_x^2$; q: $p \cdot l_x$

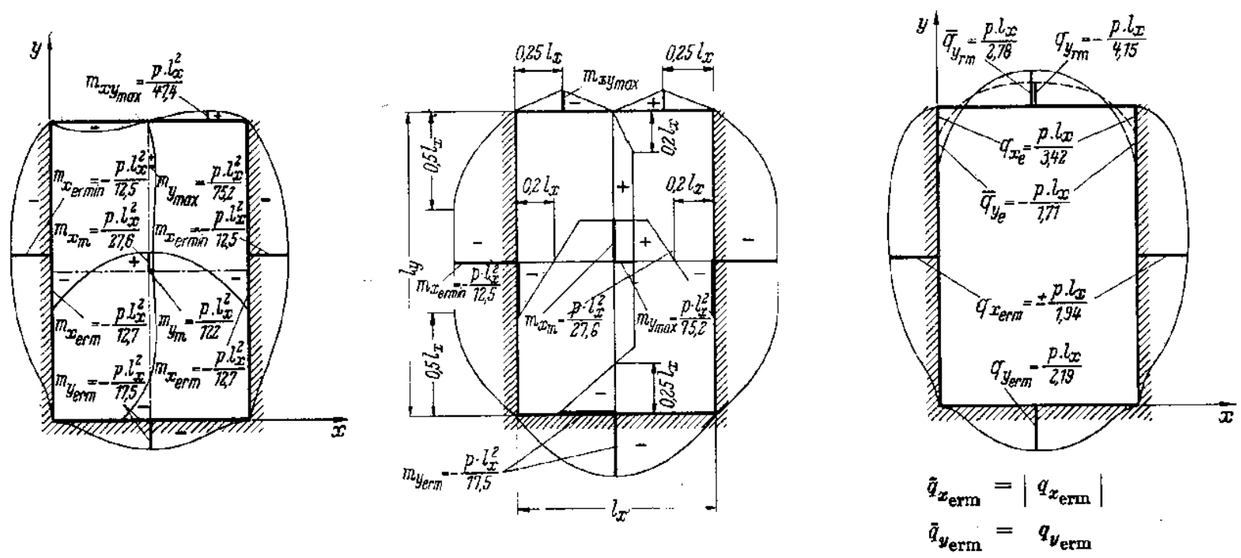
$l_y : l_x$		1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_{erm}}$	$= -$	10,6	10,3	10,1	9,9	9,7	9,5	9,4	9,2	9,0	8,9	8,8
m_{x_m}	$=$	25,2	24,2	23,3	22,5	21,7	21,1	20,5	20,0	19,5	19,1	18,7
$m_{y_{ermin}}$	$= -$	12,7	12,6	12,6	12,5	12,5	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3
m_{y_m}	$=$	55,0	58,2	61,6	65,6	70,4	75,0	79,6	84,7	89,8	95,4	101,0
$q_{x_{erm}}$	$=$	1,71	1,70	1,69	1,68	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62	1,61
$\bar{q}_{x_{rm}}$	$=$	2,51	2,50	2,50	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,47	2,47	2,47
$q_{y_{erm}}$	$= \pm$	1,85	1,84	1,84	1,84	1,84	1,83	1,83	1,83	1,83	1,82	1,82
f_m	$= \dfrac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0409	0,0426	0,0442	0,0457	0,0471	0,0484	0,0495	0,0507	0,0518	0,0529	0,0539



Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_{ermin}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	16,2	15,3	14,8	14,2	13,9	13,5	13,2	12,9	12,7	12,6	12,5
$m_{x_m} =$ ($p \cdot l_x^2$)	44,1	40,5	37,9	35,5	33,8	32,3	31,0	29,9	29,0	28,2	27,6
$m_{y_{erm}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	18,3	17,9	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y_{max}} =$ ($p \cdot l_x^2$)	55,9	57,5	60,3	64,2	66,2	67,7	69,0	70,5	72,0	73,4	75,2
$q_{x_{erm}} = \pm$ ($p \cdot l_x$)	2,11	2,05	2,01	1,97	1,96	1,94	1,93	1,92	1,92	1,93	1,94
$q_{y_{erm}} =$ ($p \cdot l_x$)	2,21	2,14	2,10	2,09	2,09	2,10	2,11	2,12	2,13	2,16	2,19
$\bar{q}_{y_{rm}} =$ ($p \cdot l_x$)	3,04	2,93	2,87	2,83	2,81	2,79	2,79	2,78	2,78	2,78	2,78
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0188	0,0202	0,0214	0,0226	0,0236	0,0245	0,0253	0,0261	0,0268	0,0274	0,0280

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x_{ermin}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	12,5	12,4	12,3	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0
$m_{x_m} =$ ($p \cdot l_x^2$)	27,6	27,0	26,5	26,1	25,7	25,3	25,1	24,9	24,7	24,6	24,5
$m_{y_{erm}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y_{max}} =$ ($p \cdot l_x^2$)	75,2	76,9	78,7	80,5	82,5	84,6	86,8	89,2	91,7	94,3	97,0
$q_{x_{erm}} = \pm$ ($p \cdot l_x$)	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,95	1,95	1,95
$q_{y_{erm}} =$ ($p \cdot l_x$)	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,20	2,20	2,20	2,21	2,21	2,21
$\bar{q}_{y_{rm}} =$ ($p \cdot l_x$)	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0280	0,0285	0,0289	0,0294	0,0298	0,0301	0,0303	0,0305	0,0307	0,0308	0,0309

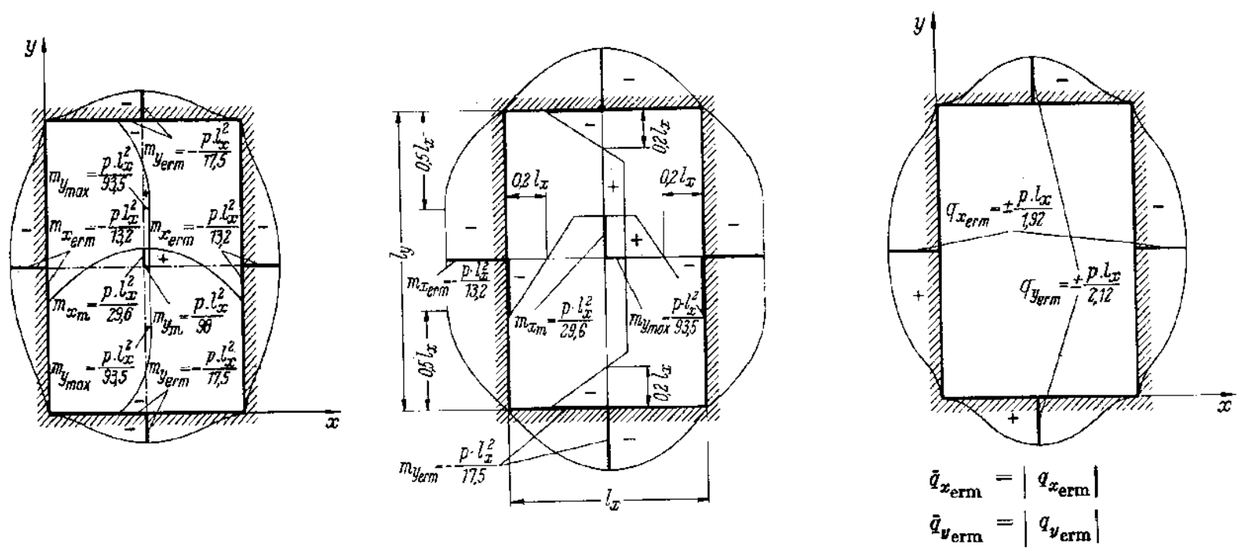


Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διά λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

2.2.6. Πλήρης πάκτωσις τῶν τεσσάρων παρυφῶν

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x_{erm}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	19,4	18,2	17,1	16,3	15,5	14,9	14,5	14,0	13,7	13,4	13,2
$m_{x_m} =$ ($p \cdot l_x^2$)	56,8	50,6	46,1	42,4	39,4	37,0	34,8	33,3	31,9	30,6	29,6
$m_{y_{erm}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	19,4	18,8	18,4	18,1	17,9	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y_{max}} =$ ($p \cdot l_x^2$)	56,8	58,2	60,3	62,6	65,8	69,4	73,6	78,4	83,4	89,4	93,5
$q_{x_{erm}} = \pm$ ($p \cdot l_x$)	2,24	2,17	2,10	2,05	2,01	1,98	1,96	1,94	1,92	1,92	1,92
$q_{y_{erm}} = \pm$ ($p \cdot l_x$)	2,24	2,20	2,16	2,14	2,12	2,11	2,10	2,09	2,09	2,10	2,12
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0152	0,0167	0,0181	0,0195	0,0207	0,0219	0,0230	0,0240	0,0248	0,0257	0,0264

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,0
$m_{x_{erm}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	13,2	13,0	12,8	12,7	12,5	12,4	12,3	12,2	12,1	12,0	12,0
$m_{x_m} =$ ($p \cdot l_x^2$)	29,6	28,8	28,1	27,5	26,9	26,4	26,0	25,7	25,4	25,2	25,0
$m_{y_{erm}} = -$ ($p \cdot l_x^2$)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y_{max}} =$ ($p \cdot l_x^2$)	93,5	96,1	98,1	99,9	101,3	102,4	103,3	104,0	104,6	104,9	105,0
$q_{x_{erm}} = \pm$ ($p \cdot l_x$)	1,92	1,92	1,92	1,92	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
$q_{y_{erm}} = \pm$ ($p \cdot l_x$)	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2.13	2,13	2,13
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0264	0,0271	0,0277	0,0282	0,0287	0,0291	0,0294	0,0297	0,0300	0,0302	0,0304



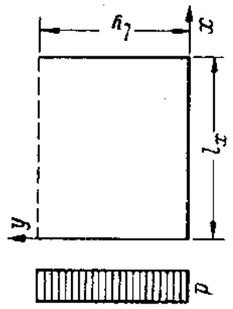
Διαγράμματα τῶν ἐντατικῶν μεγεθῶν τομῆς διὰ λόγον πλευρῶν $l_y : l_x = 1,5$

12. Πλάκες (συνέχεια)

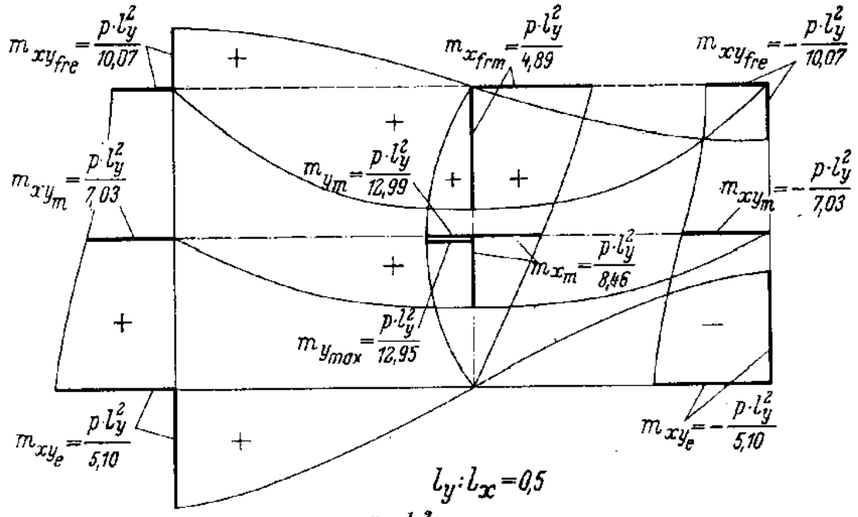
3.2. Πίνακες τριερείστων ὀρθογωνικῶν πλακῶν μὲ ὁμοιόμορφον καθολικὴν φόρτισιν

3.2.1. Ἐλευθέρα ἔδρασις τῶν τριῶν παρυφῶν

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{x_m} =$	7,88	7,88	8,04	8,46	9,11	9,97	11,04	12,26	13,67	15,24	16,96	18,83	20,86	23,04
$m_{x_{frm}} =$	4,04	4,12	4,41	4,89	5,53	6,34	7,32	8,46	9,77	11,25	12,90	14,73	16,73	18,90
$m_{y_m} =$	8,43	8,92	10,51	12,99	16,51	21,27	27,56	35,72	46,15	59,35	75,90	96,51	122,04	153,54
$m_{y_{max}} =$	8,43	8,92	10,51	12,95	16,44	20,94	26,58	33,47	41,67	50,42	59,99	70,42	81,67	93,75
$\} \cdot p \cdot l_y^2 \cdot$	$y/l_y = 0,5$	0,5	0,5	0,48	0,45	0,42	0,4	0,38	0,33	0,28	0,26	0,25	0,24	0,22
$m_{xy_e} = \pm$	2,23	2,74	3,84	5,10	6,58	8,31	10,32	12,65	15,30	18,27	21,56	25,17	29,10	33,34
$m_{xy_m} = \pm$	2,55	3,24	4,89	7,03	9,81	13,42	18,10	24,11	31,78	41,51	53,78	69,19	88,44	112,41
$m_{xy_{fre}} = \pm$	2,90	3,83	6,32	10,07	15,79	24,47	37,57	57,22	86,46	129,72	193,27	286,29	421,76	618,43

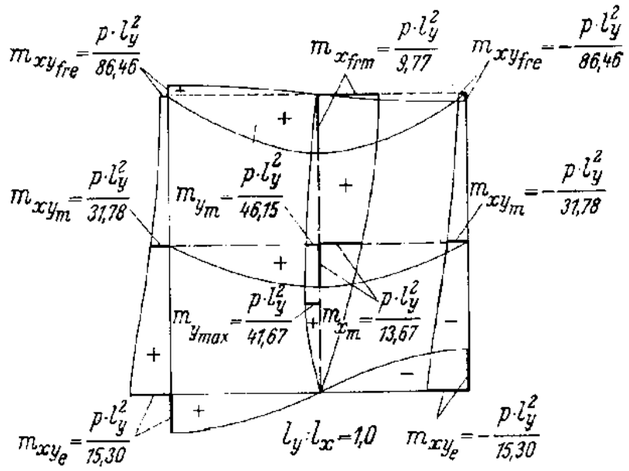


$m_{x_{max}} = m_{x_{frm}}$



$R_{fre} = \frac{p \cdot l_y^2}{5,03}$ (Δύναμις θλίψεως)

$R_e = \frac{p \cdot l_y^2}{2,55}$ (Δύναμις ἐφελκυσμοῦ)



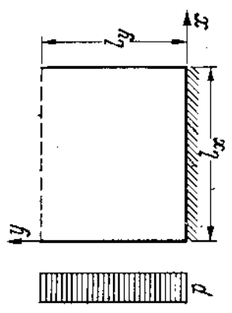
$R_{fre} = \frac{p \cdot l_y^2}{43,23}$ (Δύναμις θλίψεως)

$R_e = \frac{p \cdot l_y^2}{7,65}$ (Δύναμις ἐφελκυσμοῦ)

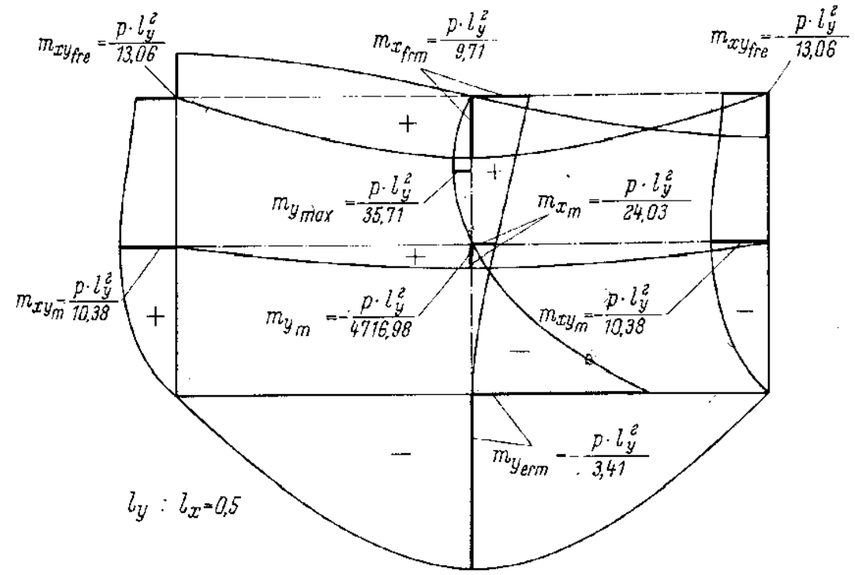
12. Πλάκες (συνέχεια)

3.2.2. Πλήρης πάκτωσις τῆς ἑναντι τῆς ἐλευθέρας κειμένης παρυφῆς καὶ ἐλευθέρα ἕδρασις τῶν δύο ἑτέρων

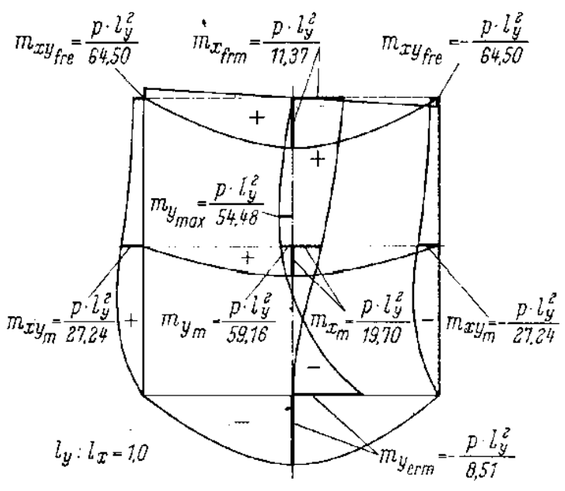
$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{x_m} = \quad \{p \cdot l_y^2:$	73,19	52,29	31,74	24,03	20,57	18,92	18,63	18,92	19,70	20,68	21,98	23,51	26,24	27,18
$m_{x_{frm}} =$	26,43	18,09	11,75	9,71	9,09	9,13	9,59	10,36	11,37	12,61	14,06	15,72	17,58	19,64
$m_{y_{erm}} =$	2,26	2,42	2,85	3,41	4,11	4,94	5,95	7,14	8,51	10,06	11,79	13,72	15,82	18,13
$m_{y_m} =$	−12,69	−17,24	−43,58	−4716,98	82,03	56,95	52,20	53,97	59,16	67,51	78,68	92,89	110,55	132,38
$m_{y_{max}} =$				35,71					54,48					126,58
				$y/l_y = 0,75$					$y/l_y = 0,6$					$y/l_y = 0,43$
$m_{xy_m} = \pm$	8,00	8,32	9,11	10,38	12,21	14,66	17,87	21,99	27,24	33,83	42,07	52,32	65,00	80,73
$m_{xy_{fre}} = \pm$	8,68	9,02	10,48	13,06	17,10	23,18	32,15	45,35	64,50	92,32	132,53	190,51	278,74	393,54



$m_{x_{max}} = m_{x_{frm}}$



$R_{fre} = \frac{p \cdot l_y^2}{6,53}$ (Δύναμις θλίψεως)

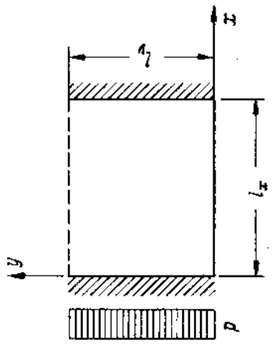


$R_{fre} = \frac{p \cdot l_y^2}{32,25}$ (Δύναμις θλίψεως)

12. Πλάκες (συνέχεια)

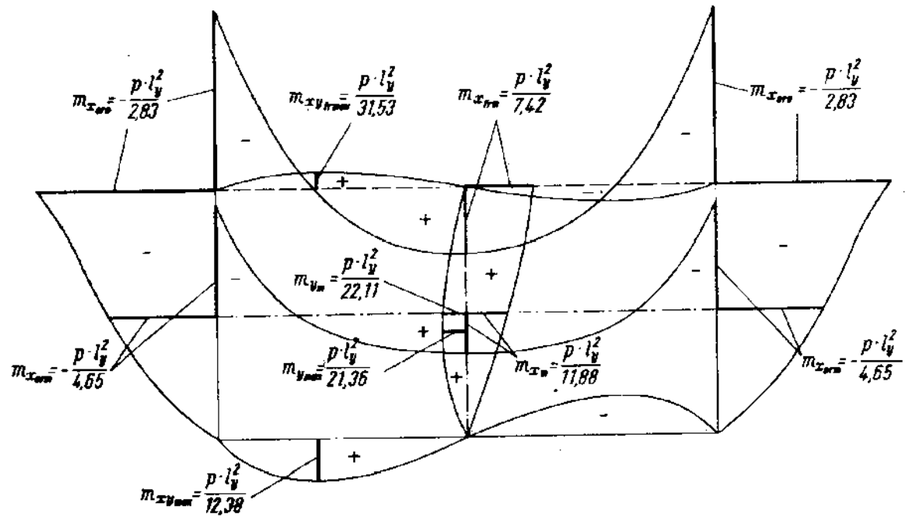
3.2.3. Πλήρης πάκτωσις ἀμφοτέρων τῶν ἀντικειμένων παρυφῶν καὶ ἐλευθέρα ἔδρασις τῆς τρίτης

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$p \cdot l_y^2$:														
$m_{x_{erm}} =$	2,12	2,63	3,55	4,65	5,92	7,39	9,06	10,94	13,04	15,39	17,98	20,81	23,90	27,24
$m_{x_{ere}} =$	0,90	1,20	1,89	2,83	4,04	5,53	7,30	9,35	11,67	14,25	17,07	20,13	23,43	26,96
$m_{x_m} =$	8,08	8,48	9,86	11,88	14,34	17,25	20,56	24,28	28,42	32,98	38,00	43,48	49,46	55,91
$m_{x_{trm}} =$	4,30	4,67	5,80	7,42	9,58	12,27	15,53	19,35	23,76	28,73	34,22	40,24	46,76	53,74
$m_{y_m} =$	9,72	11,20	15,55	22,11	31,53	44,96	63,94	90,71	128,43	181,62	256,82	363,36	515,11	732,42
$m_{y_{max}} =$	9,72	11,11	15,38	21,36	29,03	38,58	49,61	61,83	76,33	92,36	110,76	131,00	151,93	174,41
$\nu/l_y = 0,5$	0,48	0,48	0,45	0,42	0,37	0,32	0,29	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15

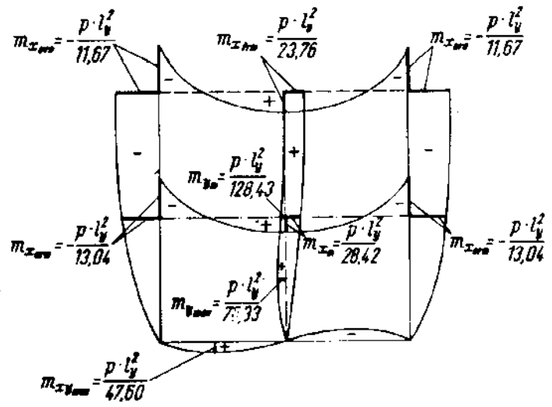


$m_{x_{ermin}} = m_{x_{ere}}$

$m_{x_{max}} = m_{x_{trm}}$



$l_y : l_x = 0,5$



$l_y : l_x = 1,0$

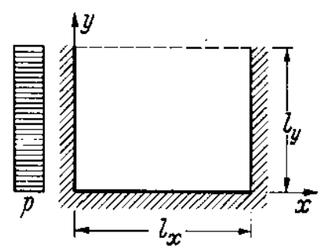
3.2.4. Πλήρης πάκτωσις τῶν τριῶν παρυφῶν

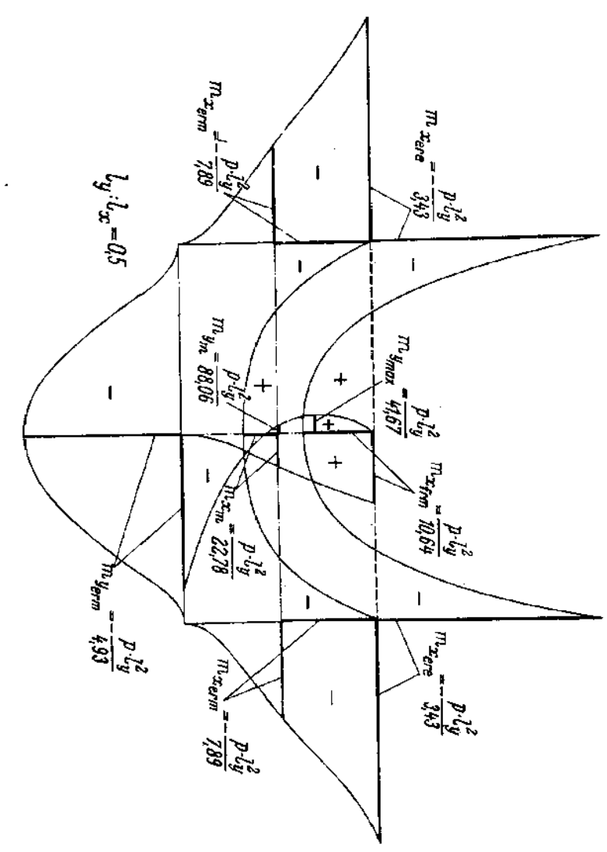
$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{x_{erm}} = -$	6,79	6,89	7,26	7,89	8,79	9,98	11,41	13,08	14,98	17,12	19,50	22,13	25,03	28,14
$m_{x_{ere}} = -$	2,15	2,27	2,71	3,43	4,45	5,77	7,41	9,35	11,59	14,11	16,90	19,94	23,22	26,73
$m_{x_m} =$	57,08	37,91	25,43	22,78	23,16	24,92	27,49	30,65	34,30	38,42	43,01	48,06	53,61	59,66
$m_{x_{frm}} =$	19,24	13,91	10,69	10,64	11,87	13,94	16,73	20,18	24,29	29,02	34,35	40,26	46,71	53,69
$m_{y_{erm}} = -$	2,41	2,71	3,61	4,93	6,66	8,81	11,34	14,29	17,59	21,26	25,28	29,66	34,39	39,47
$m_{y_m} =$	−16,07	−26,67	−267,52	88,06	62,86	63,84	73,38	89,55	112,97	145,48	189,93	250,44	332,89	445,63
$m_{y_{max}} =$	104,17	62,46	43,24	41,67	48,00	58,45	72,73	89,55	108,70	131,53	156,52	183,69	213,04	244,56
	$y/l_y = 0,88$	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,32	0,3	0,28

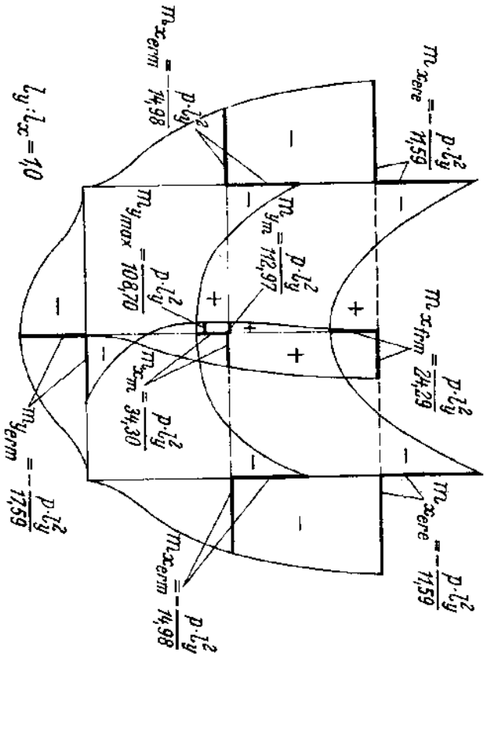
$p \cdot l_y^2 :$

$m_{x_{ermin}} = m_{x_{ere}}$

$m_{x_{max}} = m_{x_{frm}}$



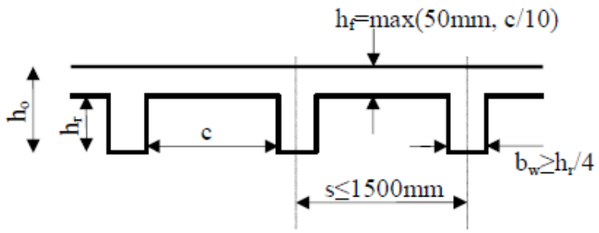




12. Πλάκες (συνέχεια)

12.5 Δοκιδοτές πλάκες

- Γεωμετρικοί περιορισμοί



Σχήμα 12.1 Γεωμετρικοί περιορισμοί νευρώσεων κατά EC2

Επιπλέον πρέπει να υπάρχουν εγκάρσιες νευρώσεις (διαδοκίδες) τουλάχιστον ανά $10h_0$ (καθαρή απόσταση).

- Όπλιση κύριας νεύρωσης

  Ως δοκός

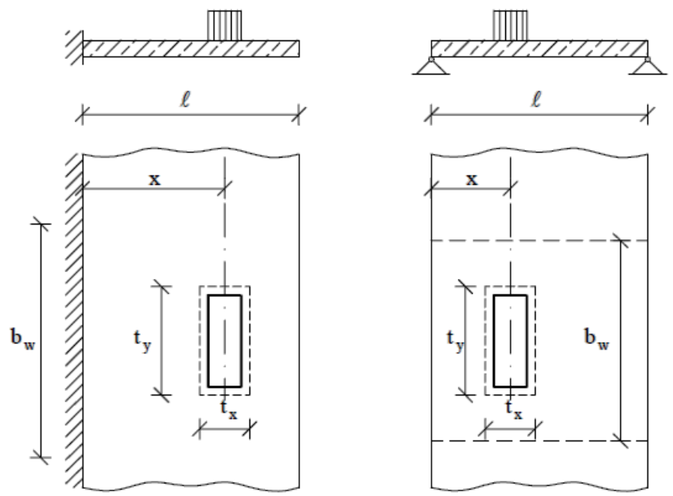
- Όπλιση εγκάρσιας διαδοκίδας

  Ίδιοι διαμήκεις οπλισμοί με κύρια νέυρωση πάνω και κάτω και ίδιοι συνδετηρες (ΕΚΩΣ §18.2.2.3)

- Όπλιση πλάκας

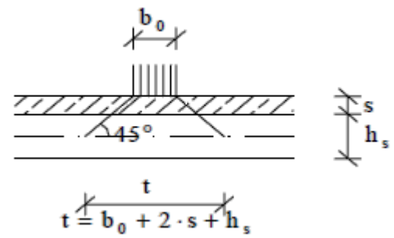
  Δομικό πλέγμα ίσο με $0{,}001*A_c$, όπου A_c=100 (cm)*h_f (cm) (ΕΚΩΣ §18.2.2.1)

12.6 Συγκεντρωμένα φορτία σε πλάκες (διατάξεις ΕΚΩΣ, §9.1.6)



Σχήμα 12.2 Υπολογιστικό πλάτος διανομής φορτίου (ΕΚΩΣ, Σχ. Σ.9.2)

- Πλάτος εισαγωγής φορτίου, t



Σχήμα 12.3 Πλάτος εισαγωγής φορτίου (ΕΚΩΣ, Σχ. Σ.9.3)

$t_x=t_y=b_0+2s+h_s$

- Πλάτος διανομής φορτίου, b_m

Πίνακας 12.1 Υπολογιστικό πλάτος διανομής φορτίου (ΕΚΩΣ, Πίνακας Σ.9.1)

	1	2	3		
	Στατικό σύστημα Εντατικά μεγέθη	Υπολογιστικό πλάτος διανομής φορτίου b_m	Όρια ισχύος		
1	V, m_f	$b_m = t_y + 2.50\,x(1-\frac{x}{\ell})$	$0 < x < 1$	$t_y \le 0.80\ell$	$t_x \le \ell$
2	V	$b_m = t_y + 0.50\,x$	$0 < x < 1$	$t_y \le 0.80\ell$	$t_x \le \ell$
3	m_s, m_f	$b_m = t_y + 1.50\,x(1-\frac{x}{\ell})$	$0 < x < 1$	$t_y \le 0.80\ell$	$t_x \le \ell$
4	m_s	$b_m = t_y + 0.50\,x(2-\frac{x}{\ell})$	$0 < x < 1$	$t_y \le 0.80\ell$	$t_x \le \ell$
5	V	$b_m = t_y + 0.30\,x$	$0.21 < x < 1$	$t_y \le 0.40\ell$	$t_x \le 0.20\ell$
6		$b_m = t_y + 0.40(\ell - x)$	$0 < x < 0.81$	$t_y \le 0.40\ell$	$t_x \le 0.20\ell$
7	m_f	$b_m = t_y + x(1-\frac{x}{\ell})$	$0 < x < \ell$	$t_y \le 0.80\ell$	$t_x \le \ell$
8	m_s	$b_m = t_y + 0.50\,x(2-\frac{x}{\ell})$	$0 < x < \ell$	$t_y \le 0.40\ell$	$t_x \le \ell$
9	V	$b_m = t_y + 0.30\,x$	$0.21 < x < \ell$	$t_y \le 0.40\ell$	$t_x \le 0.20\ell$
10	m_s, ℓ_k	$b_m = t_y + 1.50\,x$	$0 < x < \ell_k$	$t_y \le 0.80\ell_k$	$t_x \le \ell_k$
11	V	$b_m = t_y + 0.30\,x$	$0.2\ell_k < x < \ell_k$	$t_y \le 0.40\ell_k$	$t_x \le 0.20\ell_k$

x είναι η απόσταση του ΚΒ του φορτίου από την στήριξη.
m_f η ροπή ανοίγματος, m_s η ροπή στηρίξεως

13. Βραχείς πρόβολοι ($a_c < z_0$)

- Επάρκεια διαστάσεων

$F_{c,\theta\lambda\iota\pi\tau\acute{\eta}\rho\alpha} \leq F_{cR}$

$F_{cR}=0,12b*d*f_{cd}$

- Οπλισμοί

-Διαμήκεις

$$A_s=\frac{F_{t,\varepsilon\lambda\kappa\upsilon\sigma\tau\acute{\eta}\rho\alpha}}{f_{yd}}$$

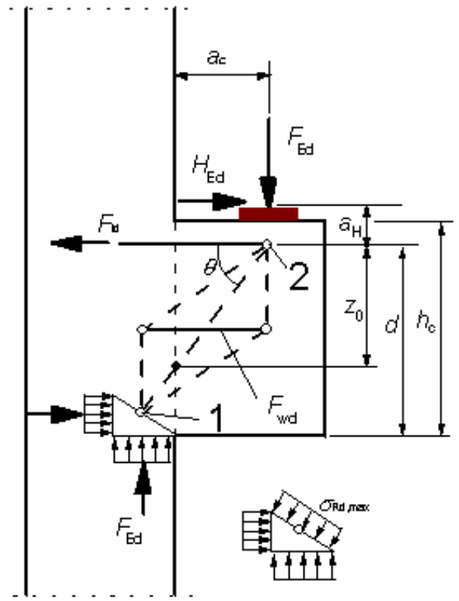
-Συνδετήρες

Αν $a_c < 0,5\ h_c$,

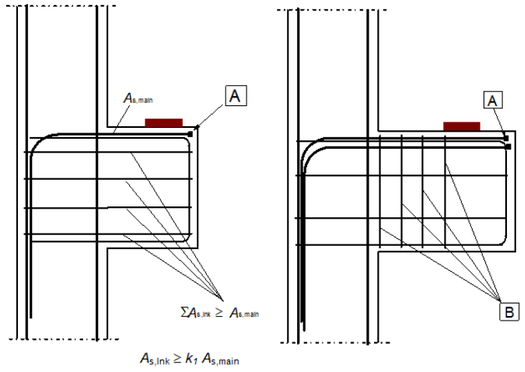
κλειστοί οριζόντιοι ή κεκλιμένοι συνδετήρες με $A_{s,\ln k} \geq k_1\ A_{s,main}$ (k_1=0,25)

Αν $a_c > 0,5\ h_c$ και $F_{Ed} > V_{Rd,c}$

κλειστοί κατακόρυφοι συνδετήρες με $A_{s,\ln k} \geq k_2\ F_{Ed}/f_{yd}$ (k_2=0,5)



Σχήμα 13.1 Προσομοίωμα θλιπτήρων-ελκυστήρων για κοντό πρόβολο (EC2, Σχ. J.5)



A - πλάκα αγκύρωσης ή βρόχοι B - Συνδετήρες

(a) οπλισμός για $a_c \leq 0,5\ h_c$ (b) οπλισμός για $a_c > 0,5\ h_c$

Σχήμα 13.2 Διαμόρφωση λεπτομερειών κοντού προβόλου (EC2, Σχ. J.6)

14. Υψίκορμες δοκοί (l<3h)

- Θεωρητικό μήκος

$l_{\theta\varepsilon\omega\rho}=\min\{l_{\alpha\xi ov};1,15l_{net}\}$

- Μοχλοβραχίονας, z

Από Σχήμα 14.1

- Διαμήκης οπλισμός, A_s

$A_s=\frac{M_{sd}}{z*f_{yd}}$ (με $f_{yd}\leq 365MPa$)

-Άνοιγμα: As σε ύψος min{0,15h;0,20l}

-Στήριξη: As΄

- Φορτία ανηρτημένα

Οπλισμός αναρτήσεως: $A_s=p_d/f_{yd}$.

maxs=10÷15cm.

(l>1.2h) τότε οι συνδετήρες εκτείνονται μέχρι πάνω

(l<1.2h) τότε οι συνδετήρες αρκεί να αγκυρώνονται κατά μήκος ενός ημικυκλίου με ύψος l στην μέση.

- Εμμεση φόρτιση

Πρόσθετοι οπλισμοί:

a. στην στηρίζουσα δοκό: λοξοί ή κατακόρυφοι συνδετήρες για 0.8VSd,

b. στην στηριζόμενη δοκό: λοξοί συνδετήρες για 0.5VSd.

- Συγκεντρωμένα φορτία (σε μήκος a):

Πρόσθετος οπλισμός διασπάσεως: $As=0.3N(1-a/a_1)/fyd$ κατανεμόμενος σε απόσταση $a_1=0.5(lnet-a)$

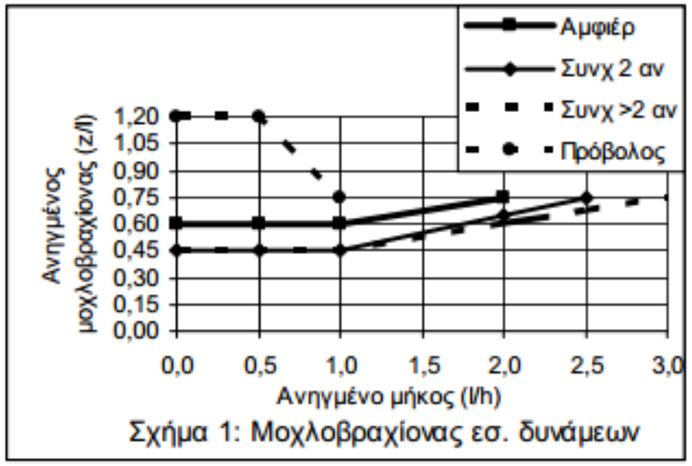
- Αμεση στήριξη:

a. Περιορισμος θλίψεως: σc<0.8fcd για ακραία στήριξη και $\sigma_c<1.2f_{cd}$ για μεσαία στήριξη

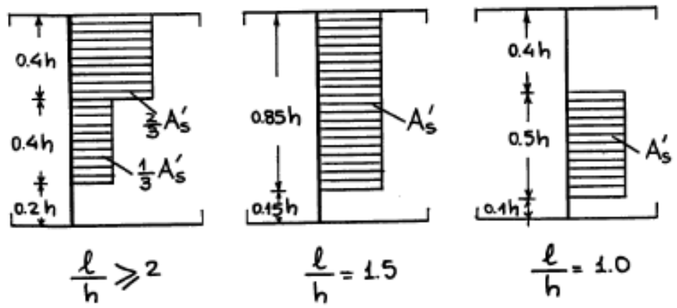
b. Πρόσθετοι οπλισμοίA_s=0.002bs κατανεμόμενοι:

i. σε μήκος min(0.2h, 0.3l) οι κατακόρυφοι και

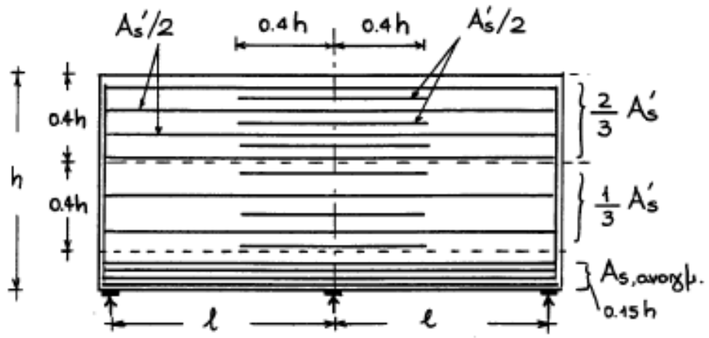
ii. σε ύψος min(0.5h, 0.2l) οι οριζοντιοι



Σχήμα 14.1 Μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων



Σχήμα 14.2 Ενδεικτική κατανομή του οπλισμού σε στήριξη ανάλογα με το λόγο l/h



Σχήμα 14.3 Ενδεικτική διάταξη οπλισμού στηρίξεως συνεχούς υψίκορμης δοκού με l/h=2.0

15. Ικανοτικός Σχεδιασμός

15.1 Ικανοτικός έλεγχος τέμνουσας σε δοκούς (ΚΠΥ-ΚΠΜ)

Σε κύριες σεισμικές δοκούς οι τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού θα καθορίζονται σύμφωνα με τον κανόνα ικανοτικού σχεδιασμού, με βάση την ισορροπία της δοκού υπό: α) το εγκάρσιο (κατακόρυφο) φορτίο που δρα επί της δοκού στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού και β) τις ροπές άκρων $M_{i,d}$ που αντιστοιχούν σε σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων (στις δοκούς ή στα υποστυλώματα, όπου σχηματιστούν πρώτα) για θετικές και αρνητικές διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης. Τα παραπάνω εφαρμόζονται ως εξής:

α) Στην ακραία διατομή i, πρέπει να υπολογίζονται δύο τιμές της δρώσας τέμνουσας δύναμης, η μέγιστη, $V_{Ed,max,i}$ και η ελάχιστη, $V_{Ed,min,i}$ οι οποίες αντιστοιχούν στις μέγιστες θετικές και στις μέγιστες αρνητικές ακραίες ροπές $M_{i,d}$ που μπορεί να αναπτυχθούν στα άκρα 1 και 2 της δοκού:

$$V_{Ed,max,i}=\frac{\gamma_{Rd}\left[M_{Rd,bi}^{-}+M_{Rd,bj}^{+}\right]}{l_{cl}}+V_{g+\psi 2q,0}(x)$$

$$V_{Ed,min,i}=\frac{\gamma_{Rd}\left[M_{Rd,bi}^{+}+M_{Rd,bj}^{-}\right]}{l_{cl}}+V_{g+\psi 2q,0}(x)$$

β) Οι ροπές άκρων $M_{i,d}$ μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

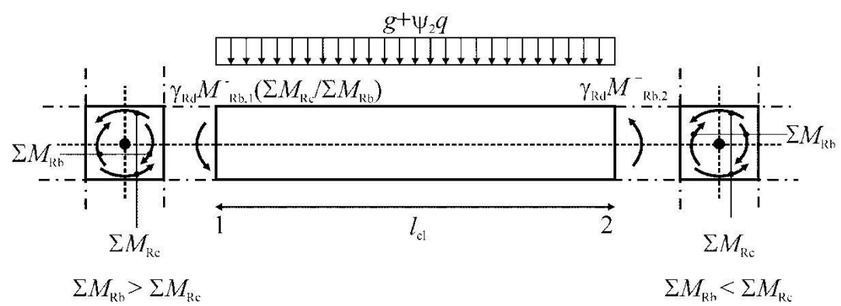
$$M_{i,d}=\gamma_{Rd}M_{Rb,i}\min\left(1,\frac{\sum M_{Rc}}{\sum M_{Rb}}\right)$$

όπου

γ_{Rd} για ΚΠΜ γ_{Rd}=1,0 και για ΚΠΥ γ_{Rd}=1,2

$M_{Rb,i}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής στο άκρο i στην φορά της σεισμικής ροπής κάμψεως που αντιστοιχεί στην εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

ΣM_{Rc} και ΣM_{Rb} είναι το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών που συνδέονται μονολιθικά στον κόμβο, αντίστοιχα. Η τιμή του ΣM_{Rc} πρέπει να αντιστοιχεί στην αξονική δύναμη ή δυνάμεις του υποστυλώματος στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού για την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.



Σχήμα 15.1 Τιμές ικανοτικού σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων σε δοκούς (EC8, Σχ. 5.1)

15.2 Ικανοτικός έλεγχος τέμνουσας σε υποστυλώματα (ΚΠΥ-ΚΠΜ)

Σε κύρια σεισμικά υποστυλώματα οι τιμές σχεδιασμού των τεμνουσών δυνάμεων θα υπολογίζονται σύμφωνα με τον κανόνα ικανοτικού σχεδιασμού, με βάση την ισορροπία του υποστυλώματος υπό ροπές άκρων $M_{i,d}$ που αντιστοιχούν σε σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων (στις δοκούς ή στα υποστυλώματα, όπου σχηματιστούν πρώτα) για θετικές και αρνητικές διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης. Τα παραπάνω εφαρμόζονται ως εξής:

α) Υπολογίζονται οι τιμές της δρώσας τέμνουσας δύναμης στα άκρα του υποστυλώματος:

$$V_{CD,c}^{-}=\frac{\gamma_{Rd}\left[M_{Rd,c1}^{-}+M_{Rd,c2}^{+}\right]}{l_{cl}}$$

$$V_{CD,c}^{+}=\frac{\gamma_{Rd}\left[M_{Rd,c1}^{+}+M_{Rd,c2}^{-}\right]}{l_{cl}}$$

β) Οι ροπές άκρων $M_{i,d}$ μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

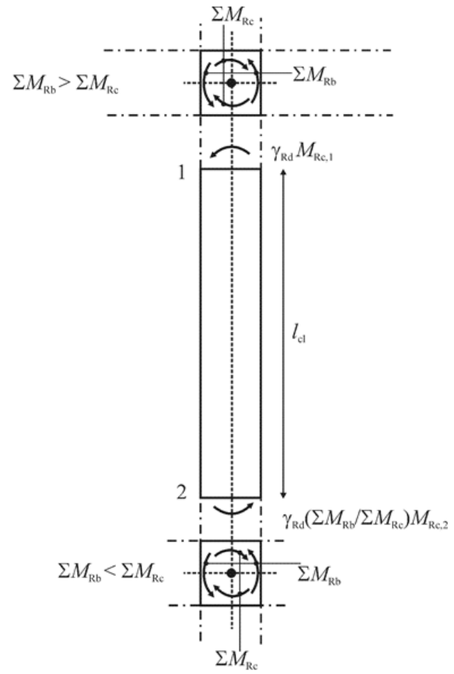
$$M_{i,d}=\gamma_{Rd}M_{Rc,i}\min\left(1,\frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}}\right)$$

όπου

γ_{Rd} για ΚΠΜ γ_{Rd}=1,1 και για ΚΠΥ γ_{Rd}=1,3

$M_{Rc,i}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής του υποστυλώματος στο άκρο i στην φορά της σεισμικής ροπής κάμψεως για την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

ΣM_{Rc} και ΣM_{Rb} όπως στην Παρ. 15.1. Οι τιμές των $M_{Rc,i}$ και ΣM_{Rc} πρέπει να αντιστοιχούν στην αξονική δύναμη η δυνάμεις του υποστυλώματος στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού για την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.



Σχήμα 15.2 Τιμές ικανοτικού σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων σε υποστυλώματα (EC8, Σχ. 5.2)

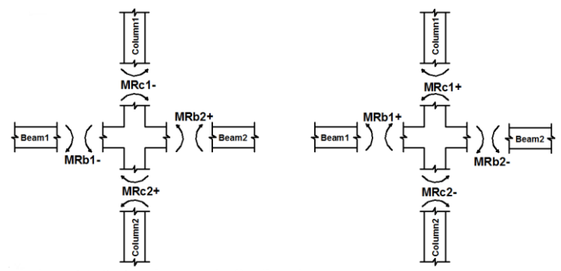
15.3 Ικανοτικός έλεγχος κάμψης υποστυλωμάτων (ικανοτικός έλεγχος κόμβου)

Για κύρια σεισμικά υποστυλώματα πλαισιωτών ή ισοδύναμων προς πλαισιωτά διπλών συστημάτων πρέπει να ικανοποιείται:

$$\sum M_{Rc}\geq 1{,}3\sum M_{Rb}$$

όπου

ΣM_{Rc} και ΣM_{Rb} είναι το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών, αντίστοιχα.



Σχήμα 15.3 Ροπές σε κόμβο δοκών-υποστυλωμάτων

16. Περίσφιγξη σκυροδέματος

16.1 Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων περίσφιγξης στις κρίσιμες περιοχές, ω_{wd}

$$\omega_{wd}=\frac{\text{όγκος των βρόχων περίσφιγξης}}{\text{όγκος του σκυροδέματος του πυρήνα}}\frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

μ_ϕ είναι η απαιτούμενη τιμή της πλαστιμότητας καμπυλοτήτων

ν_d είναι η ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού ($\nu_d = N_{Ed}/A_c \cdot f_{cd}$)

$\varepsilon_{sy,d}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης του χάλυβα στην διαρροή

h_c είναι το ύψος της συνολικής διατομής (παράλληλα στην διεύθυνση για την οποία ελέγχονται οι απαιτήσεις τοπικής πλαστιμότητας)

h_o είναι το ύψος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων)

b_c είναι το πλάτος της συνολικής διατομής

b_o είναι το πλάτος του περισφιγμένου πυρήνα (έως τον άξονα των συνδετήρων)

α είναι ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της περίσφιγξης, ίσος με $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$, με:

α) Για ορθογωνικές διατομές:

$$\alpha_n=1-\sum_n b_i^2/6b_0h_0$$

$$\alpha_s=(1-\frac{s}{2b_0})\left(1-\frac{s}{2h_0}\right)$$

όπου

n είναι το συνολικό πλήθος διαμηκών ράβδων που συγκρατούνται από κλειστούς συνδετήρες ή μονοσκελείς συνδετήρες, και

b_i είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ράβδων που συγκρατούνται με συνδετήρες (βλέπε Σχήμα 16.1 - επίσης για b_o, h_o, s).

β) Για κυκλικές διατομές με κυκλικούς συνδετήρες και διάμετρο περισφιγμένου πυρήνα D_o (έως τον άξονα των συνδετήρων):

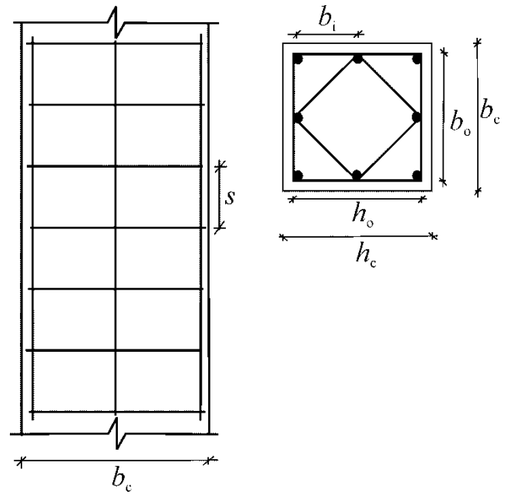
$\alpha_n=1$

$\alpha_s=(1-s/2D_0)^2$

γ) Για κυκλικές διατομές με σπειροειδείς συνδετήρες:

$\alpha_n=1$

$\alpha_s=(1-s/2D_0)$



Σχήμα 16.1: Περίσφιγξη πυρήνα σκυροδέματος (EC8, Σχ. 5.7)

Σημείωση: Ο έλεγχος της διαθέσιμης τοπικής πλαστιμότητας, μ_φ, που πρέπει να ικανοποιείται ανά στοιχείο και εκφράζεται μέσω της ποσότητας $\alpha\omega_d$ περιλαμβάνεται στους πίνακες του Κεφαλαίου 18.

17. Κατασκευαστικές διατάξεις μελών Ο/Σ κατά EC2 (χωρίς αντισεισμικές απαιτήσεις)

17.1 Δοκοί

Διαμήκης οπλισμός	**Οπλισμός διάτμησης**
Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός : $A_{s,min}=0,26[f_{ctm}/f_{yk}]b_t d>0,0013b_t d$ b_t δηλώνει το μέσο πλάτος της εφελκυόμενης ζώνης. Για πλακοδοκό με θλιβόμενο το πέλμα της πλάκας, μόνο το πλάτος του κορμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της τιμής του b_t. f_{ctm} πρέπει να προσδιορίζεται από την αντίστοιχη κατηγορία αντοχής σύμφωνα με το Πίνακα 1.2 Μέγιστος διαμήκης οπλισμός: $A_{s,max}=0,04A_c$	Ελάχιστο ποσοστό : $\rho_{w,min}=\frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}=\frac{A_{sw}}{b_w s_w sin\alpha}$ Μέγιστη διαμήκης απόσταση συνδετήρων: $s_{t,max}=0,75d(1+cot\alpha)$ Μέγιστη εγκάρσια απόσταση σκελών συνδετήρα: $s_{t,max}=0,75d$

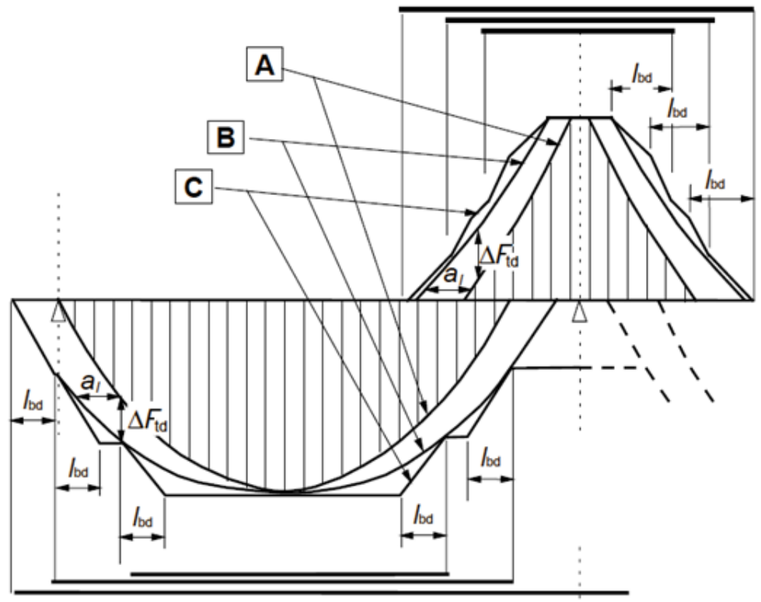
Περάτωση διαμήκους οπλισμού:

Πρόσθετη εφελκυστική δύναμη:

$$\Delta F_{td}= 0,5\ V_{Ed}\ (cot\theta - cot\alpha\ )$$

που αντιστοιχεί σε μετατόπιση:

$$a_l = z(cot\theta - cot\alpha)/2$$



A : Περιβάλλουσα των εφελκυστικών δυνάμεων $M_{Ed}/z + N_{Ed}$
B : Δρώσα εφελκυστική δύναμη F_s
C : Εφελκυστική δύναμη αντοχής F_{Rs}

Σχήμα 17.1 Απεικόνιση της περάτωσης του διαμήκους οπλισμού (EC2, Σχ.9.2)

17.2 Υποστυλώματα

Διαμήκης οπλισμός	**Οπλισμός διάτμησης**
Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός: $A_{s,min}=max\{0,10N_{Ed}/f_{yd};\ 0,002A_c\}$ Μέγιστος διαμήκης οπλισμός: $A_{s,max}=0,04A_c$ (εκτός περιοχών υπερκάλυψης) $A_{s,max}=0,08A_c$ (εντός περιοχών υπερκάλυψης) Ελάχιστη διάμετρος οπλισμού: $\Phi_{L,min}=8mm$	Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρα: $\Phi_{w,min}=max\{6mm;\ 0,25\Phi_{L,max}\}$ Μέγιστη διαμήκης απόσταση συνδετήρων (γενικώς): $s_{l,max}=min\{20\Phi_{L,min};b_{min,υποστ};400mm\}$ Η μέγιστη απόσταση, $s_{l,max}$, που ορίστηκε προηγουμένως πρέπει να μειωθεί στο 60%: (i) σε τμήματα του υποστυλώματος μήκους ίσου με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής πάνω ή κάτω από δοκό ή πλάκα. (ii) σε περιοχές υπερκάλυψης, εφόσον η μέγιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων είναι μεγαλύτερη από 14 mm. Απαιτείται να τοποθετούνται κατ' ελάχιστο 3 συνδετήρες ανά ίσες αποστάσεις εντός του μήκους υπερκάλυψης.

17. Κατασκευαστικές διατάξεις μελών Ο/Σ κατά EC2 (χωρίς αντισεισμικές απαιτήσεις)

17.3 Πλάκες

Κύριος οπλισμός:

Ελάχιστος κύριος οπλισμός: $A_{s,min}=0,26[f_{ctm}/f_{yk}]bd>0,0013bd$

Μέγιστος κύριος οπλισμός: $A_{s,max}=0,04A_c$

Μέγιστη απόσταση κύριων οπλισμών: $s_{slab}=min\{3h; 400mm\}$ (γενικά)

$s_{slab}=min\{2h; 250mm\}$ (περιοχές με συγκεντρωμένα φορτία ή μέγιστες ροπές)

Δευτερεύων οπλισμός:

Εγκάρσιος οπλισμός: $A_{s2}=0,2A_s$

Μέγιστη απόσταση οπλισμών: $s_{slab}=min\{3,5h; 450mm\}$ (γενικά)

$s_{slab}=min\{3h; 400mm\}$ (περιοχές με συγκεντρωμένα φορτία ή μέγιστες ροπές)

Οπλισμός Απόσχισης:

Ικανός να παραλάβει το 25% της $M_{max,ανοιγ.}$

Οπλισμός ελεύθερου άκρου:

Το ελάχιστο εμβαδό των διαμήκων ράβδων είναι $0,0025h^2 \geq 2Ø8$

Ο εγκάρσιος οπλισμός, του οποίου τα ελεύθερα σκέλη έχουν μήκος τουλάχιστον 2h, είναι τουλάχιστον 4Ø6/m

18. Κατασκευαστικές διατάξεις για μέλη Ο/Σ κατά EC8 (με απαιτήσεις αντισεισμικότητας)

18.1 Δοκοί (M.N. Fardis, SEISMIC DESIGN, ASSESSMENT AND RETROFITTING OF CONCRETE BUILDINGS)

Table 1: EC8 rules for detailing and dimensioning of primary beams (secondary beams: as in DCL)

	DC H	DCM	DCL
"critical region" length	$1.5h_w$	h_w	
Longitudinal bars (L):			
ρ_{min}, tension side	$0.5f_{ctm}/f_{yk}$		$0.26f_{ctm}/f_{yk}$, 0.13%(0)
ρ_{max}, critical regions(1)	$\rho'+0.0018f_{cd}/(\mu_\phi\varepsilon_{sy,d}f_{yd})$(1)		0.04
$A_{s,min}$, top & bottom	2Φ14 (328mm^2)	-	
$A_{s,min}$, top-span	$A_{s,top\text{-}supports}/4$	-	
$A_{s,min}$, critical regions bottom	$0.5A_{s,top}$(2)		-
$A_{s,min}$, supports bottom	$A_{s,bottom\text{-}span}/4$(0)		
d_{bL}/h_c - bar crossing interior joint(3)	$\le \frac{6.25(1+0.8\nu_d)}{(1+0.75\frac{\rho'}{\rho_{max}})}\frac{f_{ctm}}{f_{yd}}$	$\le \frac{7.5(1+0.8\nu_d)}{(1+0.5\frac{\rho'}{\rho_{max}})}\frac{f_{ctm}}{f_{yd}}$	-
d_{bL}/h_c - bar anchored at exterior joint(3)	$\le 6.25(1+0.8\nu_d)\frac{f_{ctm}}{f_{yd}}$	$\le 7.5(1+0.8\nu_d)\frac{f_{ctm}}{f_{yd}}$	-
Transverse bars (w):			
(i) outside critical regions			
spacing $s_w\le$	0.75d		
$\rho_w\ge$	$0.08\sqrt{(f_{ck}(MPa)/f_{yk}(MPa)}$(0)		
(ii) in critical regions:			
$d_{bw}\ge$	6mm		
spacing $s_w\le$	$6d_{bL}$, $\frac{h_w}{4}$, $24d_{bw}$, 175mm	$8d_{bL}$, $\frac{h_w}{4}$, $24d_{bw}$, 225mm	-
Shear design:			
V_{Ed}, seismic(4)	$1.2\frac{\sum M_{Rb}}{l_{cl}}\pm V_{o,g+\psi_2 q}$(4)	$\frac{\sum M_{Rb}}{l_{cl}}\pm V_{o,g+\psi_2 q}$(4)	From the analysis for the "seismic design situation"
$V_{Rd,max}$ seismic (5)	As in EC2: $V_{Rd,max}=0.3(1-f_{ck}(MPa)/250)b_{wo}zf_{cd}\sin2\delta$ (5), with $1\le\cot\delta\le2.5$		
$V_{Rd,s}$, outside critical regions(5)	As in EC2: $V_{Rd,s}=b_wz\rho_wf_{ywd}\cot\delta$ (5), with $1\le\cot\delta\le2.5$		
$V_{Rd,s}$, critical regions(5)	$V_{Rd,s}=b_wz\rho_wf_{ywd}$ ($\delta=45^o$)	As in EC2: $V_{Rd,s}=b_wz\rho_wf_{ywd}\cot\delta$, with $1\le\cot\delta\le2.5$	
If $\zeta\equiv V_{Emin}/V_{Emax}$(6) <-0.5: inclined bars at angle ±α to beam axis, with cross-section A_s/direction	If $V_{Emax}/(2+\zeta)f_{ctd}b_wd>1$: $A_s=0.5V_{Emax}/f_{yd}\sin\alpha$ & stirrups for $0.5V_{Emax}$	-	

(0) NDP (Nationally Determined Parameter) according to Eurocode 2. The Table gives the value recommended in Eurocode 2.

(1) μ_ϕ is the value of the curvature ductility factor that corresponds to the basic value, q_o, of the behaviour factor used in the design.

(2) The minimum area of bottom steel, $A_{s,min}$, is in addition to any compression steel that may be needed for the verification of the end section for the ULS in bending under the (absolutely) maximum negative (hogging) moment from the analysis for the "seismic design situation", M_{Ed}.

(3) h_c is the column depth in the direction of the bar, $\nu_d = N_{Ed}/A_cf_{cd}$ is the column axial load ratio, for the algebraically minimum value of the axial load in the "seismic design situation", with compression taken as positive.

(4) At a member end where the moment capacities around the joint satisfy: $\sum M_{Rb}>\sum M_{Rc}$, M_{Rb} is replaced in the calculation of the design shear force, V_{Ed}, by $M_{Rb}(\sum M_{Rc}/\sum M_{Rb})$

(5) z is the internal lever arm, taken equal to 0.9d or to the distance between the tension and the compression reinforcement, $d-d_1$.

(6) V_{Emax}, $V_{E,min}$are the algebraically maximum and minimum values of V_{Ed} resulting from the ± sign; $V_{Emax}$is the absolutely largest of the two values, and is taken positive in the calculation of ζ; the sign of V_{Emin} is determined according to whether it is the same as that of V_{Emax} or not.

18. Κατασκευαστικές διατάξεις για μέλη Ο/Σ κατά EC8 (αντισεισμικές)

18.2 Υποστυλώματα (M.N. Fardis, SEISMIC DESIGN, ASSESSMENT AND RETROFITTING OF CONCRETE BUILDINGS)

Table 2: EC8 rules for detailing and dimensioning of primary columns (secondary columns as in DCL)

	DCH	DCM	DCL
Cross-section sides, h_c, $b_c \geq$	0.25m; $h_v/10$ if $\theta=P\delta/Vh>0.1$ (1)	-	
"critical region" length (1) $\geq$	$1.5h_c$, $1.5b_c$, 0.6m, $l_c/5$	h_c, b_c, 0.45m, $l_c/5$	h_c, b_c
Longitudinal bars (L):			
ρ_{min}	1%		$0.1N_d/A_cf_{yd}$, 0.2% (0)
ρ_{max}	4%		4% (0)
$d_{bL} \geq$	8mm		
bars per side $\geq$	3		2
Spacing between restrained bars	≤150mm	≤200mm	-
distance of unrestrained bar from nearest restrained bar	≤150mm		
Transverse bars (w):			
Outside critical regions:			
$d_{bw} \geq$	6mm, $d_{bL}/4$		
spacing $s_w \leq$	$20d_{bL}$, h_c, b_c, 400mmm		$12d_{bL}$, $0.6h_c$, $0.6b_c$, 240mm
at lap splices, if d_{bL}>14mm: $s_w \leq$	$12d_{bL}$, $0.6h_c$, $0.6b_c$, 240mm		
Within critical regions: (2)			
$d_{bw} \geq$ (3)	6mm, $0.4(f_{yd}/f_{ywd})^{1/2}d_{bL}$	6mm, $d_{bL}/4$	
$s_w \leq$ (3),(4)	$6d_{bL}$, $b_o/3$, 125mm	$8d_{bL}$, $b_o/2$, 175mm	-
$\omega_{wd} \geq$ (5)	0.08	-	
$\alpha\omega_{wd} \geq$ (4),(5),(6),(7)	$30\mu_\phi^* \nu_d \varepsilon_{sy,d} b_c/b_o-0.035$	-	
In critical region at column base:			
$\omega_{wd} \geq$	0.12	0.08	-
$\alpha\omega_{wd} \geq$ (4),(5),(6),(8),(9)	$30\mu_\phi \nu_d \varepsilon_{sy,d} b_c/b_o-0.035$		-
Capacity design check at beam-column joints: (10)	$1.3\sum M_{Rb} \leq \sum M_{Rc}$ No moment in transverse direction of column		-
Verification for M_x-M_y-N:	Truly biaxial, or uniaxial with (M_z/0.7, N), (M_y/0.7, N)		
Axial load ratio $\nu_d=N_{Ed}/A_cf_{cd}$	≤ 0.55	≤ 0.65	-
Shear design:			
V_{Ed} seismic (11)	$1.3\frac{\sum M_{Rc}^{ends}}{l_{cl}}$ (11)	$1.1\frac{\sum M_{Rc}^{ends}}{l_{cl}}$ (11)	From the analysis for the "seismic design situation"
$V_{Rd,max}$ seismic (12), (13)	As in EC2: $V_{Rd,max}=0.3(1-f_{ck}(MPa)/250)b_{wo}zf_{cd}\sin 2\delta$, with $1 \leq \cot\delta \leq 2.5$		
$V_{Rd,s}$ seismic (12), (13), (14)	As in EC2: $V_{Rd,s}=b_wz\rho_wf_{ywd}\cot\delta+N_{Ed}(h-x)/l_{cl}$ (13) with $1 \leq \cot\delta \leq 2.5$		

(0) Note (0) of Table 1 applies.

(1) h_v is the distance of the inflection point to the column end further away, for bending within a plane parallel to the side of interest; l_c is the column clear length.

(2) For DCM: If a value of q not greater than 2 is used for the design, the transverse reinforcement in critical regions of columns with axial load ratio ν_d not greater than 0.2 may just follow the rules applying to DCL columns.

(3) For DCH: In the two lower storeys of the building, the requirements on d_{bw}, s_w apply over a distance from the end section not less than 1.5 times the critical region length.

(4) Index c denotes the full concrete section and index o the confined core to the centreline of the hoops; $b_o$is the smaller side of this core.

(5) ω_{wd} is the ratio of the volume of confining hoops to that of the confined core to the centreline of the hoops, times f_{yd}/f_{cd}.

(6) α is the "confinement effectiveness" factor, computed as $\alpha = \alpha_s\alpha_n$; where: $\alpha_s = (1-s/2b_o)(1-s/2h_o)$ for hoops and $\alpha_s = (1-s/2b_o)$ for spirals; $\alpha_n = 1$ for circular hoops and $\alpha_n=1-\{b_o/((n_h-1)h_o)+h_o/((n_b-1)b_o)\}/3$ for rectangular hoops with n_b legs parallel to the side of the core with length b_o and n_h legs parallel to the one with length h_o.

(7) For DCH: at column ends protected from plastic hinging through the capacity design check at beam-column joints, $\mu_\phi^*$is the value of the curvature ductility factor that corresponds to 2/3 of the basic value, q_o, of the behaviour factor used in the design; at the ends of columns where plastic hinging is not prevented because of the exemptions listed in Note (10) below, μ_ϕ^* is taken equal to μ_ϕ defined in Note (1) of Table 1 (see also Note (9) below); $\varepsilon_{sy,d}= f_{yd}/E_s$.

(8) Note (1) of Table 1 applies.

(9) For DCH: The requirement applies also in the critical regions at the ends of columns where plastic hinging is not prevented, because of the waivers listed in Note (10) below.

(10) The capacity design check does not need to be fulfilled at beam-column joints: (a) of the top floor, (b) of the ground storey in two-storey buildings with axial load ratio ν_d not greater than 0.3 in all columns, (c) if shear walls resist at least 50% of the base shear parallel to the plane of the frame (wall buildings or wall-equivalent dual buildings), and (d) in one-out-of-four columns of plane frames with columns of similar size.

(11) At a member end where the moment capacities around the joint satisfy: $\sum M_{Rb}<\sum M_{Rc}$, M_{Rc} is replaced by $M_{Rc}(\sum M_{Rb}/\sum M_{Rc})$.

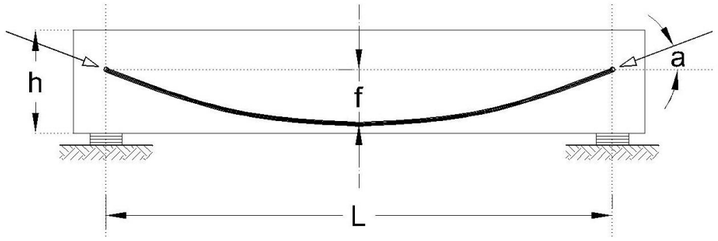
(12) z is the internal lever arm, taken equal to 0.9d or to the distance between the tension and the compression reinforcement, $d-d_1$.

(13) The axial load, N_{Ed}, and its normalized value, ν_d, are taken with their most unfavourable value in the seismic design situation for the shear verification (considering both the demand, V_{Ed}, and the capacity, V_{Rd}).

(14) x is the compression zone depth at the end section in the ULS of bending with axial load.

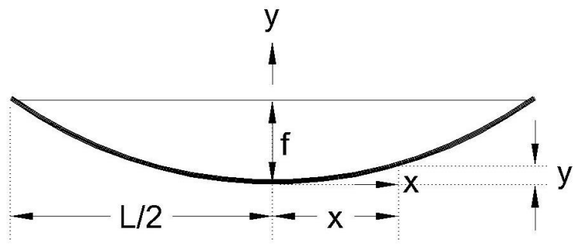
19. Γεωμετρία καμπύλων τενόντων

h: συνήθως L/15 έως L/25
f: L/30 έως L/50
ΠΑΡΑΒΟΛΗ:



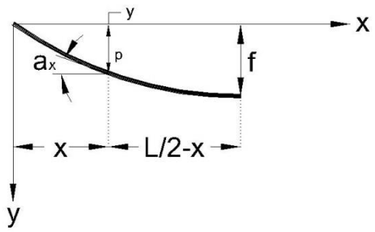
ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ:

(α) Με αφετηρία το μέσον:



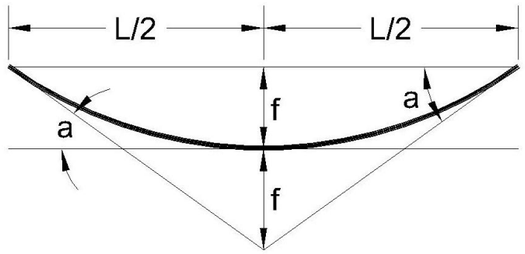
$$y = \frac{4f}{L^2}\,x^2$$

(β) Με αφετηρία τη στήριξη (δηλ. το πέρας)



$$y_p = 4f\,\frac{x}{L}\left(1-\frac{x}{L}\right)$$

Κλίση της ακραίας εφαπτόμενης της παραβολής:

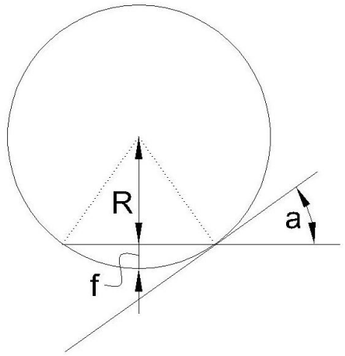


$$\tan(a) = \frac{dy_p}{dx} = \frac{4f}{L} - \frac{8f}{L^2}\,x \begin{cases} x = 0 \rightarrow \tan(a) = 4f/L \\ x = L/2 \rightarrow \tan(a) = 4f/L - 4f/L = 0 \end{cases}$$

Ακτίνα καμπυλότητας:

$$\left.\begin{aligned} y'' &\approx 1/R \\ y'' &= 8f/L^2 \end{aligned}\right\} R = \frac{L^2}{8f}$$

ΚΥΚΛΟΣ: Η ακτίνα του κύκλου είναι (δύναμη σημείου ως προς κύκλο):



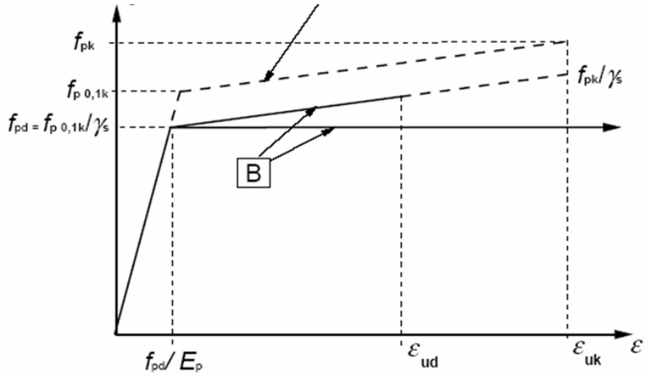
$$f(2R-f) = \left(\frac{L}{2}\right)^2 \rightarrow R = \frac{\frac{L^2}{4}+f^2}{2f} \approx \frac{L^2}{8f}$$

Γωνία ακραίας εφαπτομένης: $\sin(a) = \frac{L/2}{R}$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:
Με την παραδοχή μικρού f σε σχέση με το L (π.χ. f≤L/30), η παραβολή ταυτίζεται πρακτικώς με κύκλο ακτίνας $R=L^2/8f$

20. **Παραδοχές σχεδιασμού χάλυβα προεντάσεως (**Προσοχή: διαφορές από τους «χαλαρούς» οπλισμούς B500C)

Για τον σχεδιασμό των διατομών, μπορεί να γίνει οποιαδήποτε από τις παρακάτω παραδοχές: (Βλ. Σχήμα 3.10):
- κεκλιμένος δεύτερος κλάδος με οριακή παραμόρφωση ε_{ud}. Ο σχεδιασμός μπορεί ακόμα να βασίζεται στην πραγματική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων, εφόσον αυτή είναι γνωστή, με τάση υπεράνω του ελαστικού ορίου μειωμένη αναλογικά προς το Σχ. 3.10, ή
- οριζόντιος δεύτερος κλάδος χωρίς όριο παραμόρφωσης



Σημείωση: Η τιμή της ε_{ud} για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να ληφθεί από το αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή είναι $0.9\varepsilon_{uk}$. Εαν δεν είναι γνωστές περισσότερο ακριβείς τιμές, οι συνιστώμενες τιμές είναι ε_{ud} = 0.02 και $f_{p0,1k}/f_{pk}$ = 0.9

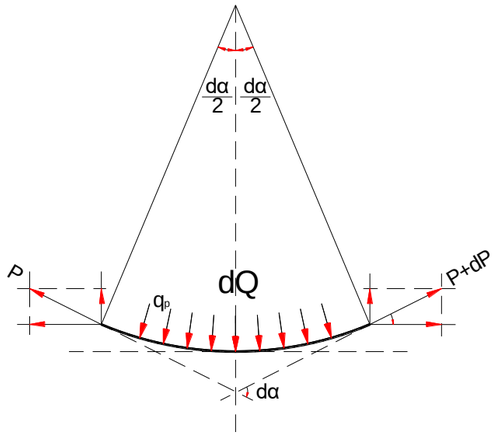
A	Εξιδανικευμένη
B	Σχεδιασμού

Σχήμα 3.10: Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα προέντασης (δίνονται οι απόλυτες τιμές εφελκυστικής τάσης και παραμόρφωσης)

Η τιμή σχεδιασμού των τάσεων του χάλυβα f_{pd}, λαμβάνεται ως $f_{p0,1k}/\gamma_S$ (βλ. Σχήμα 3.10).
Η τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας E_p μπορεί να λαμβάνεται ίση προς:
- 205GPa για σύρματα και ράβδους.
- 195 GPa για τα συρματόσχοινα.

21. Μειώσεις λόγω τριβών

21.1 Μειώσεις λόγω τριβών σε καμπύλη και ευθύγραμμη χάραξη



Η σχέση των μειώσεων λόγω τριβών έχει ως εξής:

$$P(x) = P(0)\, e^{-\mu(\alpha_x+\beta x)} \quad \text{ή} \quad P(x) = P(0)\,[1-\mu(\alpha_x+\beta x)]$$

όπου:

μ = συντελεστής τριβής ανάλογα με το υλικό και την επεξεργασία (0,15~0,25).

α_x= συνολική γωνιακή μεταβολή (δηλαδή άθροισμα των διαδοχικών μεταβολών) (rad) των εφαπτομένων της χαράξεως μεταξύ των εξεταζομένων θέσεων.

β= αθέλητη γωνία εκτροπής σε ευθυγραμμία ≈(5~10)*10^{-3} (rad/m)

Οι σχέσεις αυτές μπορούν να πάρουν και την εξής μορφή:

$$P(x) = P(0)\, e^{-(\mu\alpha_x+Kx)} \quad \text{ή} \quad P(x) = P(0)\,[1-(\mu\alpha_x+Kx)]$$

όπου

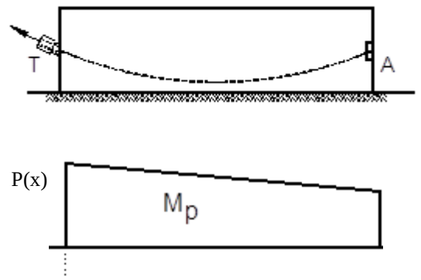
K=βμ=συντελεστής μειώσεων της προεντάσεως σε ευθυγραμμία ανά μέτρο μήκους (0.5 ~ 2.0)*10^{-3} [rad/m]

Στο ίδιο πνεύμα οι ίδιες σχέσεις μπορούν να έχουν ακόμη και τη μορφή:

$$P(x) = P(0)\, e^{-xk_x} \quad \text{ή} \quad P(x) = P(0)\,[1-k_x \cdot x)]$$

όπου $k_x = \dfrac{\mu\alpha_x}{x} + K$ ο συντελεστής που εκφράζει τις, ανά μέτρο μήκους, συνολικές μειώσεις προεντάσεως (σε καμπύλη και σε ευθυγραμμία) (ως ποσοστό της αρχικής δυνάμεως προεντάσεως).

22. Επιμήκυνση τενόντων



T: τάνυση (ενεργή αγκύρωση)

A: παθητική (νεκρή) αγκύρωση

$$\Delta\ell p = \int_0^{\ell} \varepsilon_P(x)dx = \int_0^{\ell} \frac{\sigma_p(x)}{Ep}dx = \int_0^{\ell} \frac{P(x)}{EpAp}dx = \frac{Mp}{EpAp}$$

όπου Mp = εμβαδόν του διαγράμματος μεταβολής της δυνάμεως προεντάσεως κατά μήκος του φορέα (ακριβέστερα κατά μήκος του τένοντα)

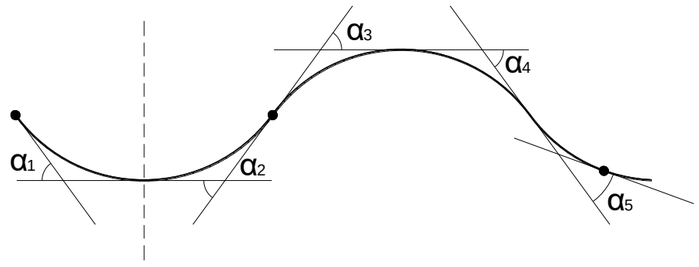
23. Σωστή εφαρμογή σε τένοντες μεγάλου μήκους

Αν ο τένοντας είναι καμπύλη στο χώρο: $\alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}$

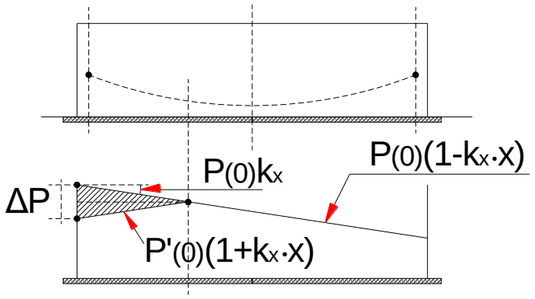
Όπου: α_x, α_y: οι γωνίες στις καμπύλες των προβολών της χαράξεως στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο αντιστοίχως.

Σε τένοντες πολλαπλών μεταβολών γωνιών χαράξεως οι γωνίες υπεισέρχονται όλες με θετικό πρόσημο. Προσοχή όμως, σε μια τέτοια περίπτωση και ιδίως για μεγάλου μήκους τένοντες η παράσταση μ(Σα_i+kx) ενδέχεται να έχει αρκετά μεγάλη τιμή, τόση ώστε η ανάπτυξη κατά Taylor με δύο μόνον όρους να μην είναι ακριβής. Σε μια τέτοια περίπτωση θα χρησιμοποιείται η ακριβής εκθετική έκφραση.

$$P(x) = P(0)\, e^{-\mu\left(\left(\sum_{i=1}^{5}\alpha_i\right)+\beta x\right)} \approx P(0)\left[1-\mu\left(\left(\sum_{i=1}^{5}\alpha_i\right)+\beta x\right)\right]$$



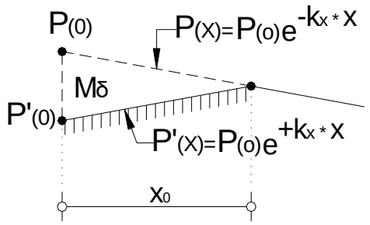
24. Ολίσθηση σφηνών



$$\delta = \int_0^{x_0} \Delta\varepsilon_p \, dx = \int_0^{x_0} \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} dx = \int_0^{x_0} \frac{\Delta P}{E_p A_p} dx = \frac{M_\delta}{E_p A_p}$$

M_δ = εμβαδόν γραμμοσκιασμένου σχήματος

24.1 *Ολίσθηση σφηνών* (εκθετικές σχέσεις)



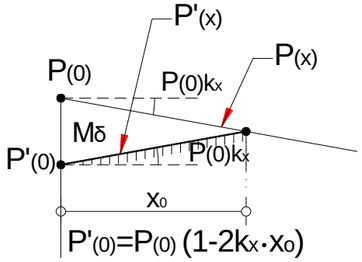
$$k_x = \mu \frac{\alpha_x}{x} + K$$

x_0 = πέρας επιρροής ολισθήσεως

$$x_0 = -\frac{1}{k_x} \ell n \left(1 - \sqrt{\frac{\delta k_x}{\varepsilon_{po}}} \right)$$

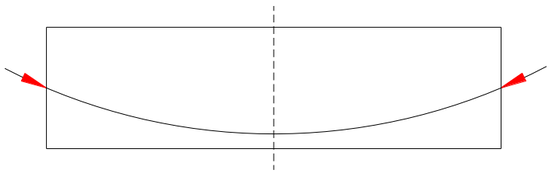
24.2 *Ολίσθηση σφηνών* (με χρήση γραμμικών σχέσεων)

$$x_0 = \sqrt{\frac{\delta}{k_x * \varepsilon_{po}}}$$



Υπενθύμιση: Στις περιπτώσεις όπου η χάραξη των τενόντων ακολουθεί διαφορετικές καμπύλες κατά μήκος του φορέα πρέπει να ελέγχεται ότι η τιμή του x_0 όπως υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση ευρίσκεται εντός της καμπύλης με το k_x που χρησιμοποιήθηκε, άλλως ο υπολογισμός του x_0 θα γίνεται δοκιμαστικά.

25. Ελαστική βράχυνση



Απλουστευτική παραδοχή:
Προεντείνονται και αγκυρώνονται διαδοχικώς ένας - ένας «n» όμοιοι τένοντες.
Η «μέση» παραμόρφωση κάθε τέντοντα θα μειωθεί κατά:

$$\Delta\varepsilon_\rho = \varepsilon_{c0} \sum_i^n \frac{n-i}{n} = \varepsilon_{c0} \frac{n-1}{2n}$$

όπου ε_{c0} η στιγμιαία βράχυνση του σκυροδέματος του φορέα υπό την συνολική επιβαλλόμενη P_o στην στάθμη του ΚΒ των τενόντων

26. Ερπυσμός

Η τελική ερπυστική παραμόρφωση $\varepsilon_{cc}(\infty,t_0)$ για σταθερή αρχική τάση σ_c η οποία επιβάλλεται την χρονική στιγμή t_0 (συνήθως η στιγμή επιβολής της προεντάσεως ή αφαψίδωσης (ξεκαλούπωμα)) προκύπτει από τη σχέση:

$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0).(\sigma_c / E_c)$

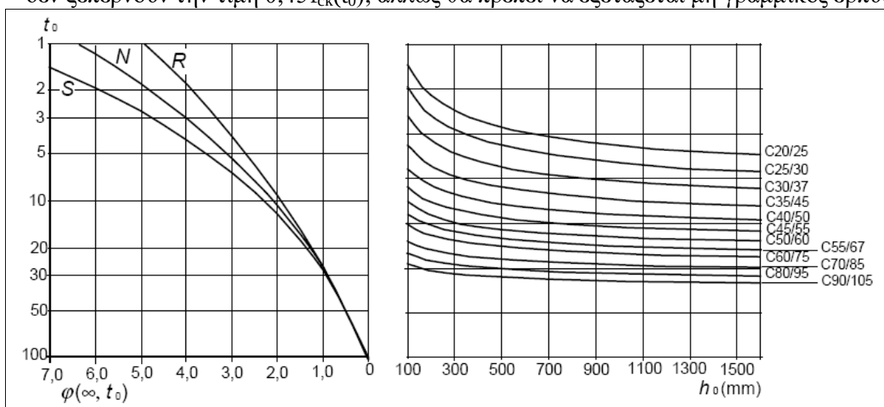
όπου:

E_c το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας ($\approx 1.05E_{cm}$)

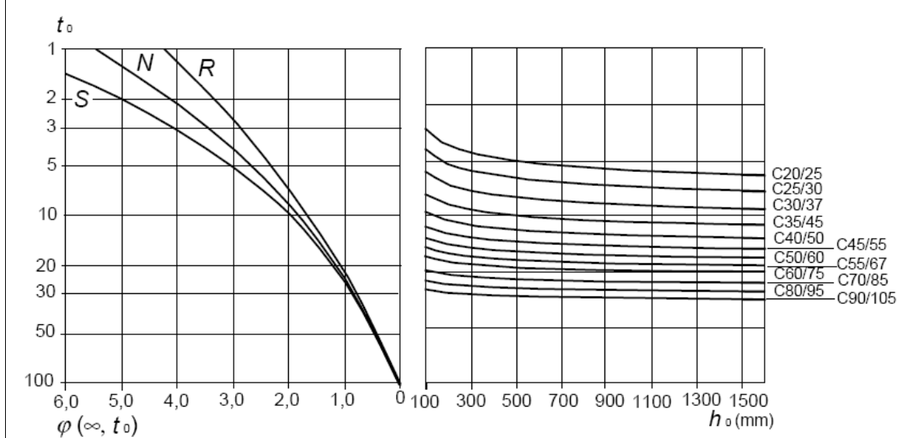
$\varphi(t,t_0)$ ο συντελεστής ερπυσμού ο οποίος εξαρτάται από:

- Σχετική υγρασία περιβάλλοντος RH (διακρίνονται δύο τιμές: a) συνθήκες εσωτερικού χώρου RH=50% και b) συνθήκες εξωτερικού χώρου RH=80%)
- Ονομαστική διάσταση του στοιχείου $h_0=2A_c/u$ (A_c: εμβαδόν διατομής, u : περίμετρος της διατομής που είναι εκτεθειμένη σε ξήρανση)
- Ηλικία σκυροδέματος κατά την έναρξη φορτίσεως t_0 (π.χ. επιβολή προεντάσεως, ξεκαλούπωμα)

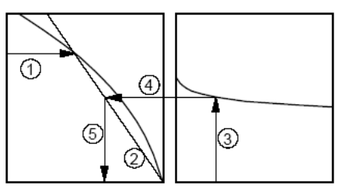
Ο ερμπυστικός συντελεστής δίνεται από τα επόμενα σχήματα και ισχύει όταν οι αρχικώς επιβαλλόμενες τάσεις δεν ξεπερνούν την τιμή $0,45f_{ck}(t_0)$, άλλως θα πρέπει να εξετάζεται μη γραμμικός ερπυσμός.



a) Συνθήκες εσωτερικού χώρου RH=50%



b) Συνθήκες εξωτερικού χώρου RH=80%



Κλειδί χρήσεως των διαγραμμάτων.

27. Συστολή

Η συνολική συστολή λαμβάνεται ως το άθροισμα:

$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd}$

όπου:

ε_{ca}: Αυτογενής συστολή: έχει σχέση με την εν εξελίξει αντίδραση ενυδατώσεως του σκυροδέματος (συνήθως μικρή για συνήθη σκυροδέματα. Το μεγαλύτερο μέρος-της ολοκληρώνεται τους πρώτους μήνες από την σκυροδέτηση. Εξελίσσεται εκθετικά με τον χρόνο, είναι γραμμική συνάρτηση της αντοχής του σκυροδέματος. *Προσοχή:* Πρέπει να εξετάζεται απαραιτήτως στις περιπτώσεις νέας σκυροδετήσεως επί ήδη σκληρυνθέντος σκυροδέματος (διατομές 2 φάσεων).

Η συνολική (σε άπειρο χρόνο) αυτογενής συστολή είναι:

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5\,(f_{ck}-10)\,10^{-6}$ (f_{ck} σε MPa)

Το τμήμα της αυτογενούς συστολής που υπολείπεται μετά από t ημέρες δίνεται από την σχέση:

$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t)\varepsilon_{ca}(\infty)$

$\beta_{as}(t) = 1-\exp(-0{,}2t^{0.5})$ (t σε ημέρες)

ε_{cd}: Συστολή ξηράνσεως: είναι η σημαντικότερη. Η χρονική εξέλιξη υπολογίζεται από τη σχέση:

$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$

όπου:

$\varepsilon_{cd,0}$: η ονομαστική τιμή ανεμπόδιστης συστολής ξηράνσεως η οποία μπορεί να λαμβάνεται από τον πίνακα 1

k_h : συντελεστής που εξαρτάται από την ονομαστική διάσταση $h_0 = 2A_c/u$ (mm) σύμφωνα με τον Πίνακα 2

$$\beta_{ds}(t,t_s) = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s)+0.04\sqrt{h_0^3}}$$

t η ηλικία του σκυροδέματος (ημέρες)

t_s η ηλικία του σκυροδέματος (ημέρες) κατά την έναρξη της συστολής ξηράνσεως. Γενικώς λαμβάνεται το τέλος της υγρής συντήρησης.

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής

u: η περίμετρος της διατομής που εκτίθεται σε ξήρανση

Πίνακας 1 - Τιμές ονομαστικής ανεμπόδιστης συστολής ξήρανσης $\varepsilon_{cd,0}$ (σε ‰) για το σκυρόδεμα με τσιμέντο CEM κατηγορίας N						
$f_{ck}/f_{ck,cube}$	Σχετική Υγρασία (σε ποσοστό %)					
(MPa)	20	40	60	80	90	100
20/25	0.62	0.58	0.49	0.30	0.17	0.00
40/50	0.48	0.46	0.38	0.24	0.13	0.00
60/75	0.38	0.36	0.30	0.19	0.10	0.00
80/95	0.30	0.28	0.24	0.15	0.08	0.00
90/105	0.27	0.25	0.21	0.13	0.07	0.00

Πίνακας 2 - Τιμές	
h_0	k_h
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥500	0.70

28. Χαλαρωση χαλυβα προεντάσεως

Το μέγεθος της χαλαρώσεως καθορίζεται μέσω του ποσοστού ρ_{1000} της απώλειας χαλαρώσεως (επί τοις %) σε 1000 ώρες υπό τάση $0.7f_{pk}$ σε σταθερή θερμοκρασία 20°C. Τιμές του ποσοστού ρ_{1000} δίνονται στον Πίνακα 3

Πίνακας 3: απώλειες προεντάσεως σε 1000h, ρ_{1000}.		
Κατηγορία	Περιγραφή	ρ_{1000} (%)
1	Σύρματα και συρματόσχοινα κανονικής χαλάρωσης	8.0
2	Σύρματα και συρματόσχοινα χαμηλής χαλάρωσης	2.5
3	ράβδοι θερμικής επεξεργασίας	4.0

Οι απώλειες προεντάσεως σε χρόνο t υπολογίζονται ως εξής:

Κατηγορία 1: $$\frac{\Delta\sigma_{pr,t}}{\sigma_{pi}} = 5.39\cdot\rho\cdot e^{6.7\mu}\left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)}\cdot 10^{-5}$$

Κατηγορία 2: $$\frac{\Delta\sigma_{pr,t}}{\sigma_{pi}} = 0.66\cdot\rho\cdot e^{9.1\mu}\left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)}\cdot 10^{-5}$$

Κατηγορία 3: $$\frac{\Delta\sigma_{pr,t}}{\sigma_{pi}} = 1.98\cdot\rho\cdot e^{8\mu}\left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)}\cdot 10^{-5}$$

όπου:

$\Delta\sigma_{pr,\tau}$	είναι η απόλυτη τιμή της μείωσης της τάσεως του τένοντα λόγω χαλάρωσης σε χρονο t
σ_{pi}	για την προένταση μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος η τιμή σpi είναι η απόλυτη τιμή της αρχικής προένταση $\sigma_{pi}=\sigma_{pm0}$, δηλαδή μετά τις μειώσεις για την προένταση πριν την έγχυση του σκυροδέματος σ_{pi} είναι η μέγιστη εφελκυστική τάση που επιβάλλεται στον τένοντα μείον τις άμεσες μειώσεις που συμβαίνουν μέχρι αλλά και κατά τη διαδικασία τάνυσης (τριβές και απώλειες λόγω ολισθήσεως κατά την σφήνωση)
t	είναι ο χρόνος μετά την τάνυση (σε ώρες)
μ	$= \sigma_{pi}/f_{pk}$, όπου f_{pk} είναι η χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής του χάλυβα προέντασης
ρ_{1000}	είναι η απώλεια χαλάρωσης 1000 ώρες μετά την τάνυση και σε μέση θερμοκρασία 20°C (Πίνακας 3).

- Συμβατικά, ως t_∞ ορίζονται οι 500000 ώρες (57 έτη)
- Προσοχή: Οι παραπάνω σχέσεις είναι προσεγγιστικές: η εφαρμογή των σχέσεωνγια t = 1000ώρες δεν δίνει τα αποτελέσματα του πίνακα, ούτε και για 500000ώρες οι καμπύλες έχουν ασύμπτωτο.

29. Υπολογισμός χρόνιων απωλειών προεντάσεως

Για τένοντες με «συνάφεια» σύμφωνα με EN 1992-1 (5.10.6), η συνολική απώλεια λόγω ερπυσμού (c), συστολής ξηράνσεως (s) και χαλαρώσεως (r) υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p\Delta\sigma_{p,c+s+r} = A_p\frac{\varepsilon_{cs}E_p + 0{,}8\Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}}\varphi(t,t_o).\sigma_{c,QP}}{1+\frac{E_p}{E_{cm}}\frac{A_p}{A_c}\left(1+\frac{A_c}{I_c}y_{cp}^2\right)\left[1+0{,}8\,\varphi(t,t_o)\right]}$$

όπου:

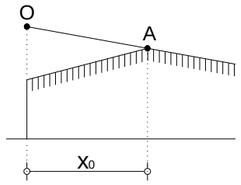
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	:	Μείωση τάσεως τενόντων (απόλυτη τιμή), συσχετίζεται με την αρχική τάση των τενόντων λόγω $G+P_{m0}+\psi_2 Q$ (τα κινητά φορτία λαμβάνονται υπ' όψιν κατά περίπτωση)
ε_{cs}	:	Μέτρο συστολής ξηράνσεως (απόλυτη τιμή)
E_p, E_{cm}	:	Μέτρα ελαστικότητας χάλυβα και σκυροδέματος
$\Delta\sigma_{pr}$	:	Μείωση τάσεως τενόντων λόγω χαλαρώσεως (για αρχική τάση λόγω $G+P_{m0}+\psi_2 Q$, απόλυτη τιμή)
$\varphi(t,t_o)$	:	συντελεστής ερπυσμού στο χρόνο t για ηλικία φορτίσεως t_0
$\sigma_{c,QP}$	:	Τάση σκυροδέματος στη στάθμη ΚΒ των τενόντων λόγω $G+P_{m0}+\psi_2 Q$, (θετική για θλίψη)
A_p	:	Συνολική διατομή τενόντων
A_c	:	Διατομή σκυροδέματος
I_c	:	Ροπή αδράνειας διατομής
y_{cp}	:	εκκεντρότητα του «μέσου» τένοντα

30. Επιτρεπόμενες τάσεις (ΟΚΛ)

Επιτρεπόμενες τάσεις τανύσεως χάλυβα (EN 1992-1 παρ. 5.10.2.1 και 5.10.3):

Τανυόμενο άκρο 0: $\sigma^*_{P0} = \min\{0.80 f_{Pk}, 0.90 f_{P0,1k}\}$

Πέρας ολισθήσεως Α: $\sigma^*_{PA} = \min\{0.75 f_{Pk}, 0.85 f_{P0,1k}\}$



Επιτρεπόμενες τάσεις σκυροδέματος

Κατά τον υπολογισμό των τάσεων και των παραμορφώσεων, οι διατομές θεωρούνται ως αρηγμάτωτες, με την προϋπόθεση ότι η εφελκυστική τάση λόγω κάμψης δεν υπερβαίνει την $f_{ct,eff}$.

Οι επιτρεπόμενες τάσεις θλίψεως

- $\sigma_{cc} \leq 0.65\ f_{ck}$ (υπό όρους)
- $\sigma_{cc} \leq 0.45\ f_{ck}$ (δεν απαιτείται μη γραμμική θεώρηση ερπυσμού)

31. Η θεώρηση της προέντασης στην οριακή κατάσταση αστοχίας

Γενικά, η τιμή σχεδιασμού της δύναμης προέντασης μπορεί να καθοριστεί από τον όρο $P_{d,t}(x) = \gamma_P P_{m,t}(x)$.

Για τους ελέγχους ΟΚΑ $\gamma_p = \gamma_{p,fav} = 1.0$ (EN 1992-1-1, 2.4.2.9)

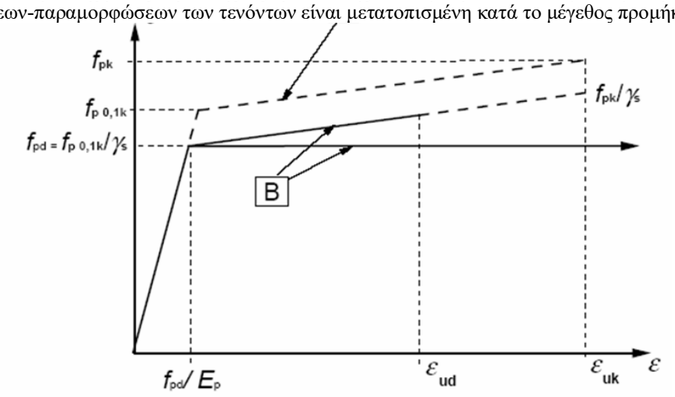
Η προένταση μπορεί να θεωρηθεί είτε ως δράση η οποία προκαλείται από την προτάνυση και προκαμπύλωση του τένοντα είτε ως αντοχή.

Η φέρουσα ικανότητα πρέπει να υπολογίζεται αντίστοιχα.

Η προένταση μπορεί να θεωρηθεί ως μέρος των εξωτερικών δράσεων για το τμήμα της δυνάμεως και της προμηκύνσεως δηλ. της παραμορφώσεως $\varepsilon_{Pm}^{(0)}$ που αντιστοιχεί σην Ο.Κ. Αποθλίψεως (στη στάθμη του μέσου τένοντα).

$$\varepsilon_{pm}^{(0)} = \frac{P_\infty}{A_p E_p}\left[1 + \frac{E_p}{E_c}\frac{A_p}{A_c}\left(1 + \frac{A_c}{J} y_p^2\right)\right]$$

Με βάση τις παραδοχές ανωτέρω, η συμβολή των τενόντων προέντασης στην αντοχή των διατομών πρέπει να περιορίζεται στην πρόσθετη αντοχή τους πέραν της ως προέντασης. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί με την παραδοχή ότι η αρχή των αξόνων στο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων των τενόντων είναι μετατοπισμένη κατά το μέγεθος προμήκυνσης – προέντασης του τένοντα.



Πρέπει να αποφεύγεται η ψαθυρή αστοχία των δομικών στοιχείων εξαιτίας της αστοχίας των τενόντων προέντασης.

Η μέγιστη συνολική παραμόρφωση του χάλυβα προεντάσεως θα είναι σύμφωνη με το διάγραμμα σ_p - ε_p

32. Υπολογισμός της αντοχής σε τέμνουσα του άοπλου σκυροδέματος, $V_{Rd,c}$ προεντεταμένων φορέων

Ο υπολογισμός της $V_{Rd,c}$ στην ειδική περίπτωση προεντεταμένων φορέων που δεν έχουν ρηγματωθεί από κάμψη: $\sigma_t \leq f_{ctd} = f_{ctk,0.05}/\gamma_c$, ($\gamma_c$=1.50) και υπό τις δράσεις σχεδιασμού, γίνεται με τη μεθοδολογία και τη λογική του ελέγχου του «λοξού» εφελκυσμού.

Συγκεκριμένως από τη σχέση: $\sigma_I = -\frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau^2}$ και θέτοντας $\sigma_I = f_{ctd}$ υπολογίζεται συναρτήσει της αντίστοιχης (στην εξεταζόμενη στάθμη ελέγχου) ορθής τάσεως σ_x η διατμητική τάση «τ» που οδηγεί σε υπέρβαση της f_{ctd} και ακολούθως η αντίστοιχη τέμνουσα δύναμη. Ως $V_{Rd,c}$ ορίζεται η ελάχιστη από τις τέμνουσες που υπολογίσθηκαν κατ' αυτόν τον τρόπο (στις διάφορες στάθμες που ελέγχθηκαν καθύψος της διατομής)

$$V_{Rd,c} = \frac{Jb_w}{S}\tau = \frac{Jb_w}{S}\sqrt{(f_{ct,d})^2 + \alpha\sigma_x f_{ct,d}}$$

όπου:

σ_X η απόλυτη τιμή ορθής τάσεως, λόγω M_{Ed}, P_d

α διορθωτικός συντελεστής. Για τάνυση μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος (μετένταση, posttensioning): α=1

33. Εμβαδόν ράβδων οπλισμού σκυροδέματος

Εμβαδόν κυκλικών ράβδων (cm^2)										
Φ mm	Βάρος Kg/m	Πλήθος ράβδων								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0,15	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77
6	0,22	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54
8	0,39	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52
10	0,62	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07
12	0,89	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18
14	1,21	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85
16	1,58	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10
18	2,00	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90
20	2,47	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27
22	2,98	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21
25	3,85	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18
32	6,31	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38

Εμβαδόν διατομών ράβδων σε 1.0m πλάτος πλάκας (cm^2/m)											
Απόσταση Ράβδων (cm)	Διάμετρος ράβδων (mm)										
	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25
8,0	2,45	3,53	6,28	9,82	14,14	19,24	25,13	31,81	39,27	47,52	61,36
8,5	2,31	3,33	5,91	9,24	13,31	18,11	23,65	29,94	36,96	44,72	57,75
9,0	2,18	3,14	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	28,27	34,91	42,24	54,54
9,5	2,07	2,98	5,29	8,27	11,90	16,20	21,16	26,79	33,07	40,01	51,67
10,0	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	25,45	31,42	38,01	49,09
10,5	1,87	2,69	4,79	7,48	10,77	14,66	19,15	24,24	29,92	36,20	46,75
11,0	1,78	2,57	4,57	7,14	10,28	13,99	18,28	23,13	28,56	34,56	44,62
11,5	1,71	2,46	4,37	6,83	9,83	13,39	17,48	22,13	27,32	33,06	42,68
12,0	1,64	2,36	4,19	6,54	9,42	12,83	16,76	21,21	26,18	31,68	40,91
12,5	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	20,36	25,13	30,41	39,27
13,0	1,51	2,17	3,87	6,04	8,70	11,84	15,47	19,57	24,17	29,24	37,76
13,5	1,45	2,09	3,72	5,82	8,38	11,40	14,89	18,85	23,27	28,16	36,36
14,0	1,40	2,02	3,59	5,61	8,08	11,00	14,36	18,18	22,44	27,15	35,06
14,5	1,35	1,95	3,47	5,42	7,80	10,62	13,87	17,55	21,67	26,22	33,85
15,0	1,31	1,88	3,35	5,24	7,54	10,26	13,40	16,96	20,94	25,34	32,72
15,5	1,27	1,82	3,24	5,07	7,30	9,93	12,97	16,42	20,27	24,52	31,67
16,0	1,23	1,77	3,14	4,91	7,07	9,62	12,57	15,90	19,63	23,76	30,68
16,5	1,19	1,71	3,05	4,76	6,85	9,33	12,19	15,42	19,04	23,04	29,75
17,0	1,15	1,66	2,96	4,62	6,65	9,06	11,83	14,97	18,48	22,36	28,87
17,5	1,12	1,62	2,87	4,49	6,46	8,80	11,49	14,54	17,95	21,72	28,05
18,0	1,09	1,57	2,79	4,36	6,28	8,55	11,17	14,14	17,45	21,12	27,27
18,5	1,06	1,53	2,72	4,25	6,11	8,32	10,87	13,76	16,98	20,55	26,53
19,0	1,03	1,49	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	13,39	16,53	20,01	25,84
19,5	1,01	1,45	2,58	4,03	5,80	7,89	10,31	13,05	16,11	19,49	25,17
20,0	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	12,72	15,71	19,01	24,54

Μέγιστο πλήθος ράβδων, διαμέτρου Φ, που χωρούν σε μια σειρά σε δοκό πλάτους b (d_{aggr} η μέγιστη διάμετρος των χρησιμοποιούμενων αδρανών, c η επικάλυψη του συνδετήρα, Φ_w η διάμετρος του συνδετήρα) Οι τιμές έχουν προκύψει από την απαίτηση: $n\Phi+(n-1)\max[\Phi;(d_{aggr}+5)]+2c+2\Phi_w \leq b$

1: daggr=18mm, c=20mm, Φw=10mm

b (m)	Φ (mm) 10	12	14	16	18	20	22	25	32
0,20	4	4	4	4	3	3	3	3	2
0,25	6	6	5	5	5	4	4	4	3
0,30	7	7	7	6	6	6	5	5	4
0,35	9	8	8	8	7	7	6	6	5
0,40	11	10	9	9	8	8	8	7	5
0,45	12	11	11	10	10	9	9	8	6
0,50	14	13	12	11	11	10	10	9	7
0,55	15	14	13	13	12	11	11	10	8
0,60	17	16	15	14	13	13	12	11	8
0,65	18	17	16	15	14	14	13	12	9
0,70	20	18	17	17	16	15	14	13	10
0,75	21	20	19	18	17	16	15	14	11
0,80	23	21	20	19	18	17	16	15	12
0,85	24	23	21	20	19	18	18	16	12
0,90	26	24	23	22	21	20	19	17	13
0,95	27	26	24	23	22	21	20	18	14
1,00	29	27	26	24	23	22	21	19	15

4: daggr=35mm, c=20mm, Φw=10mm

b (m)	Φ (mm) 10	12	14	16	18	20	22	25	32
0,20	3	3	3	3	3	3	2	2	2
0,25	4	4	4	4	3	3	3	3	3
0,30	5	5	5	5	4	4	4	4	3
0,35	6	6	6	5	5	5	5	5	4
0,40	7	7	7	6	6	6	6	5	5
0,45	8	8	7	7	7	7	6	6	5
0,50	9	9	8	8	8	8	7	7	6
0,55	10	10	9	9	9	8	8	8	7
0,60	11	11	10	10	10	9	9	8	8
0,65	12	12	11	11	10	10	10	9	8
0,70	13	13	12	12	11	11	10	10	9
0,75	14	14	13	13	12	12	11	11	10
0,80	15	15	14	13	13	13	12	12	10
0,85	16	15	15	14	14	13	13	12	11
0,90	17	16	16	15	15	14	14	13	12
0,95	18	17	17	16	16	15	15	14	12
1,00	19	18	18	17	16	16	15	15	13

2: daggr=18mm, c=40mm,Φw=10mm

b (m)	Φ (mm) 10	12	14	16	18	20	22	25	32
0,20	3	3	3	3	3	2	2	2	2
0,25	5	4	4	4	4	4	3	3	2
0,30	6	6	6	5	5	5	4	4	3
0,35	8	7	7	7	6	6	6	5	4
0,40	9	9	8	8	7	7	7	6	5
0,45	11	10	10	9	9	8	8	7	5
0,50	12	12	11	10	10	9	9	8	6
0,55	14	13	12	12	11	11	10	9	7
0,60	15	14	14	13	12	12	11	10	8
0,65	17	16	15	14	13	13	12	11	9
0,70	18	17	16	15	15	14	13	12	9
0,75	20	19	18	17	16	15	14	13	10
0,80	21	20	19	18	17	16	16	14	11
0,85	23	22	20	19	18	17	17	15	12
0,90	24	23	22	21	20	19	18	16	13
0,95	26	24	23	22	21	20	19	17	13
1,00	27	26	24	23	22	21	20	18	14

5: daggr=35mm, c=40mm, Φw=10mm

b (m)	Φ (mm) 10	12	14	16	18	20	22	25	32
0,20	2	2	2	2	2	2	2	2	1
0,25	3	3	3	3	3	3	3	2	2
0,30	4	4	4	4	4	4	3	3	3
0,35	5	5	5	5	5	4	4	4	4
0,40	6	6	6	6	5	5	5	5	4
0,45	7	7	7	6	6	6	6	6	5
0,50	8	8	8	7	7	7	7	6	6
0,55	9	9	9	8	8	8	7	7	6
0,60	10	10	10	9	9	9	8	8	7
0,65	11	11	10	10	10	9	9	9	8
0,70	12	12	11	11	11	10	10	9	8
0,75	13	13	12	12	11	11	11	10	9
0,80	14	14	13	13	12	12	11	11	10
0,85	15	15	14	14	13	13	12	12	10
0,90	16	16	15	15	14	14	13	12	11
0,95	17	17	16	15	15	14	14	13	12
1,00	18	18	17	16	16	15	15	14	13

3: daggr=18mm, c=60mm, Φw=10mm

b (m)	Φ (mm) 10	12	14	16	18	20	22	25	32
0,20	2	2	2	2	2	1	1	1	1
0,25	4	3	3	3	3	3	2	2	2
0,30	5	5	4	4	4	4	4	3	3
0,35	7	6	6	5	5	5	5	4	3
0,40	8	8	7	7	6	6	6	5	4
0,45	10	9	9	8	8	7	7	6	5
0,50	11	10	10	9	9	8	8	7	6
0,55	13	12	11	11	10	10	9	8	6
0,60	14	13	13	12	11	11	10	9	7
0,65	16	15	14	13	13	12	11	10	8
0,70	17	16	15	14	14	13	12	11	9
0,75	19	18	17	16	15	14	14	12	10
0,80	20	19	18	17	16	15	15	13	10
0,85	22	20	19	18	17	17	16	14	11
0,90	23	22	21	20	19	18	17	15	12
0,95	25	23	22	21	20	19	18	16	13
1,00	26	25	23	22	21	20	19	17	13

6: daggr=35mm, c=60mm, Φw=10mm

b (m)	Φ (mm) 10	12	14	16	18	20	22	25	32
0,20	2	1	1	1	1	1	1	1	1
0,25	3	2	2	2	2	2	2	2	2
0,30	4	3	3	3	3	3	3	3	2
0,35	5	4	4	4	4	4	4	3	3
0,40	6	5	5	5	5	5	4	4	4
0,45	7	6	6	6	6	5	5	5	4
0,50	8	7	7	7	6	6	6	6	5
0,55	9	8	8	8	7	7	7	6	6
0,60	10	9	9	8	8	8	8	7	6
0,65	11	10	10	9	9	9	8	8	7
0,70	12	11	11	10	10	10	9	9	8
0,75	13	12	12	11	11	10	10	10	9
0,80	14	13	12	12	12	11	11	10	9
0,85	15	14	13	13	12	12	12	11	10
0,90	16	15	14	14	13	13	12	12	11
0,95	17	16	15	15	14	14	13	13	11
1,00	18	17	16	16	15	15	14	13	12