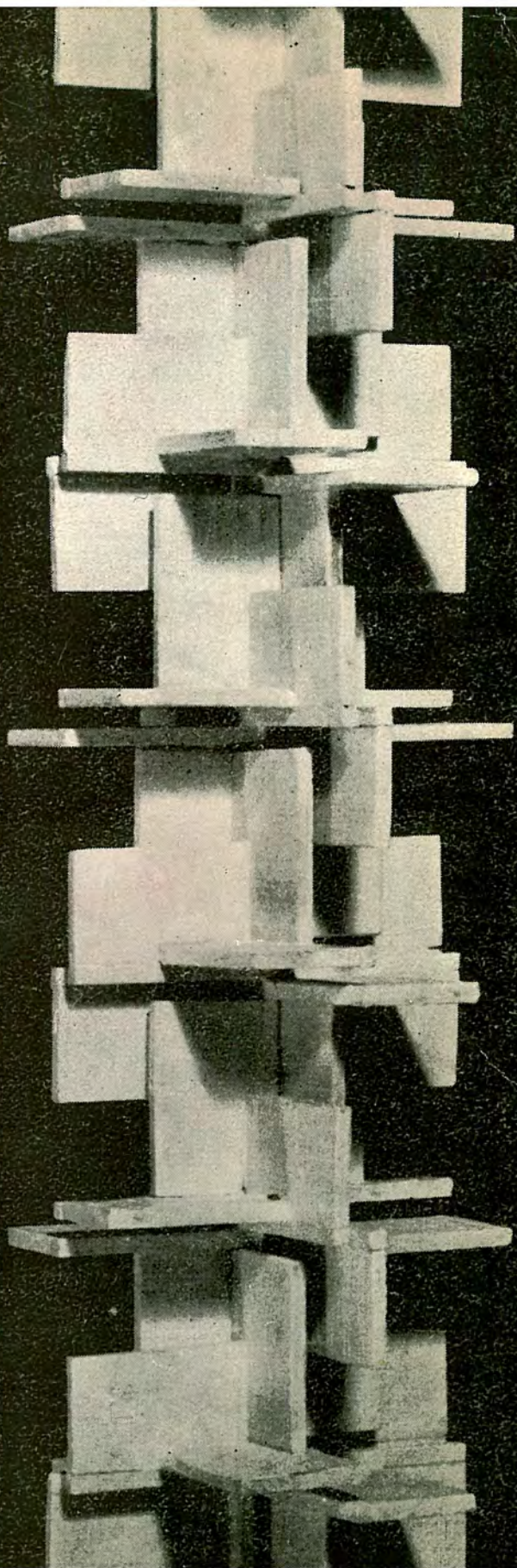


**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

τομος α'

**ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ**
πολ.μηχανικου

αθηνα



**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

τομος α

**ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ
πολ.μηχανικού**

αθηνά 1976

Κάθε γνήσιο αντίτυπο έχει τήν υπογραφή τοῦ συγγραφέα.

Copyright:

Ἀπόστολος Κωνσταντινίδης Σκρᾶ 38 Καλλιθέα Ἀθήνα

Τηλ. 95-66-129

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Λαμβάνοντας υπ' όψη τήν ανεπάρκεια συστηματικῶν βιβλίων στό θέμα τῆς ἐφαρμογῆς τοῦ ὀπλισμένου σκυροδέματος, ἀποφασίστηκε τό γράψιμο αὐτοῦ τοῦ βιβλίου.

Βασική προσπάθεια ἦταν νά καλυφθῇ ἡ ἁρμονία μεταξύ θεωρίας καί ἐφαρμογῆς μέ τρόπο ἀκούραστο καί μέ μεθοδικότητα.

Ἡ ἀνάπτυξη τῶν θεμάτων ἔγινε μέ τόν πιό ἀναλυτικό τρόπο ἐξαντλητικά ἀπό τήν ἀρχή πρός τό τέλος. Γι' αὐτό καί μπορεῖ νά χρησιμοποιηθῇ ἀπό τόν φοιτητή Πολιτικό, Ἀρχιτέκτονα καί Τοπογράφο Μηχανικό μέχρι τόν προχωρημένο Πολιτικό Μηχανικό.

Τό μεγαλύτερο πρόβλημα τῆς σύνθεσης τῆς ὅλης ὕλης ἦταν ἡ προσπάθεια ἐναρμόνισης τῆς μέ τούς ὑπάρχοντες Ἑλληνικούς κανονισμούς.

Σέ διάφορα σημεῖα ὅπου ὑπάρχουν κενά τοῦ κανονισμοῦ ἡ ἀσάφειες ἀναφέρονται οἱ σύγχρονες ἀπόψεις.

Σέ ἰδιαίτερο κεφάλαιο ἀναπτύσσεται ἡ μέθοδος λυγισμοῦ τῶν προσθέτων ροπῶν ΔΜ ἡ ὁποία εἶναι συμπλήρωση τῶν παλιῶν Γερμανικῶν καί τῶν ὑπαρχόντων Ἑλληνικῶν κανονισμῶν.

Ἀκόμη στό τέλος τοῦ 1ου τόμου ἀναλύεται ἡ νέα μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῆς κάμψης μέ τήν μέθοδο τῆς συνολικῆς ἀντοχῆς (πού προβλέπεται ἀπό τό νέο DIN 1045) κυρίως γιά νά γίνῃ ἀντιληπτή ἡ διαφορά τῆς ἐφαρμοζομένης θεωρίας πρός αὐτήν τοῦ νέου κανονισμοῦ.

Ἡ παρουσίαση αὐτοῦ τοῦ βιβλίου στοίχησε πολύ κόπο καί
κούραση καί μπόρεσε νά ολοκληρωθῇ χάρις στή βοήθεια πραγματι-
κά ικανῶν συνεργατῶν.

Σέ ὅλες τίς φάσεις τῆς σύνταξης καί ἐκτύπωσης τοῦ βι-
βλίου βοήθησε ὁ φίλος Πολιτικός Μηχανικός Γεώργιος Κυρατζῆς
πού ἡ βοήθειά του ἦταν πολύτιμη.

Στή σύνταξη καί διόρθωση βοήθησε καί ὁ συνάδελφος Μη-
χανικός Ἡλίας Στάθης.

Τήν σχεδίαση ἔκανε ὁ γραφίστας Ἀντώνης Ρῆγος.

Ὅλους τοὺς παραπάνω συνεργάτες εὐχαριστῶ καί ἀπό αὐ-
τές τίς γραμμές.

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ

ΑΘΗΝΑ 1975

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Σελίδα

1. Γενικά	9
2. Θλιβόμενα στοιχεία	10
2.1. Θλιβόμενα στοιχεία με κοινούς συνδετήρες	10
2.1.1. Μέθοδος υπολογισμού	10
2.1.2. Κανονισμοί υποστυλωμάτων σε κεντρική θλίψη	11
2.1.3. Έμφανιζόμενα προβλήματα	13
2.2. Θλιβόμενα στοιχεία με σπειροειδείς συνδετήρες .	15
2.2.1. Μέθοδος υπολογισμού	15
2.2.2. Κανονισμοί υποστυλωμάτων με σπειροει- δεείς συνδετήρες σε κεντρική θλίψη	16
2.2.3. Έμφανιζόμενα προβλήματα	17
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΤΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

1. Κεντρικός έφελκυσμός	41
1.1. Μέθοδος υπολογισμού	41
1.2. Χωρίς περιορισμό σε ρηγμάτωση	41
1.3. Χωρίς ρηγμάτωση	41
2. Έκκεντρος έφελκυσμός	42
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

ΚΑΜΠΤΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ (ΣΤΑΔΙΟ I)

Σελίδα

1. Γενικά	49
2. Τυχοῦσα διατομή	49
3. Ὁρθογωνική διατομή	51
3.1. Μονοαξονική κάμψη	51
3.2. Διαξονική κάμψη	52
4. Κυκλική διατομή	53
5. Στατικά απαιτούμενη διατομή	54
6. Κανονισμοί	54
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΚΑΜΠΤΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ (ΣΤΑΔΙΟ II)

1. Γενικά	75
2. Ἀναγκαῖος ὀπλισμός κάμψης	75
2.1. Ὁρθογωνική διατομή	75
2.1.1. Κάμψη μέσης ἐκκεντρότητας	75
2.1.2. Κάμψη μεγάλης ἐκκεντρότητας	77
2.2. Πλακοδοκός	78
3. Ὁριακή καταπόνηση διατομῆς	81
3.1. Τυχοῦσα διατομή	81
3.2. Ὁρθογωνική διατομή	83
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΔΙΑΤΜΗΣΗ

1. Γενικά	135
2. Διατμητικές τάσεις	136
2.1. Διατομή μεταβλητοῦ ὕψους	136
2.2. Διατομή σταθεροῦ ὕψους	136

3. Όπλισμός διάτμησης	138
3.1. Δύναμη αναλαμβανόμενη απ' τούς συνδετήρες	138
3.2. Δύναμη αναλαμβανόμενη απ' τόν λοξό όπλισμό	138
4. Κανονισμοί-όδηγίες	139
5. Διάταξη λοξοῦ όπλισμοῦ	140
5.1. Όρθογωνικό διάγραμμα $\{Q-Q_B\}$	141
5.2. Τριγωνικό διάγραμμα $\{Q-Q_B\}$	141
5.3. Τραπεζοειδές διάγραμμα $\{Q-Q_B\}$	142
6. Πορεία έργασίας	143
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	147
ΒΡΑΧΥΣ ΠΡΟΒΟΛΟΣ	162
ΑΛΛΑΓΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ	166

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

ΣΤΡΕΨΗ

1. Γενικά	171
2. Στατική επίλυση άμφίπακτων δοκῶν σέ στρέψη	172
3. Διατμητικές τάσεις λόγω στρέψης	174
4. Διατμητικές τάσεις λόγω στρέψης καί διάτμησης	175
5. Όπλισμός	175
5.1. Συνδετήρες	175
5.2. Διαμήκης όπλισμός	176
6. Έκτίμηση διαστάσεων	176
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	178

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΡΟΠΩΝ (ΔΜ)

1. Γενικά	191
2. Μέθοδος ύπολογισμού	191
3. Διαγράμματα ΔΜ	192
4. Έπιρροή τοῦ έρπουσμοῦ	193
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	194

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VIII

ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Σελίδα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	211
1. Γενικά	212
2. Άναγκαῖος ὀπλισμός κάμψης ὀρθογωνικῆς διατομῆς	213
3. Ὁριακὴ καταπόνηση διατομῆς	216
3.1. Τυχala διατομή	216
3.1.1. Ὑπολογισμός ἐσωτερικῶν δυνάμεων διατομῆς	216
3.1.2. Ὑπολογισμός ροπῆς θραύσης διατομῆς ...	218
3.1.3. Ὑπολογισμός ροπῆς λειτουργίας διατομῆς .	219
3.2. Ὁρθογωνικὴ διατομή	219
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	220
ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΣ	228
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	231
ΠΙΝΑΚΕΣ	249

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Κεντρική θλίψη είναι η έντατική κατάσταση όπου υπάρχει μόνο άξονική δύναμη που ενεργεί στο κέντρο βάρους της διατομής του στοιχείου. Στην πράξη τέτοια κατάσταση δεν παρουσιάζεται, γι' αυτό χρειάζεται όπλισμός που παραλαμβάνει τις καταπονήσεις λόγω των έκκεντροτήτων. Οι έκκεντρότητες αυτές όφείλονται σε δυναμικά αίτια, κυρίως σε σεισμό. Αν εξασφαλισθή τό στοιχείο από την καταπόνηση σε σεισμό π.χ. με την κατασκευή περιμετρικών τοιχείων, σε οίκοδομικά έργα, τότε θεωρείται ότι υπάρχει μόνο κεντρική θλίψη, όποτε και ό υπολογισμός του στοιχείου γίνεται μόνο σ' αυτή. Σε όποιαδήποτε άλλη περίπτωση υπολογίζεται με έκκεντρότητα.

Τά στοιχεΐα που καταπονοΰνται ιδιαίτερα σε θλίψη είναι τά υποστυλώματα. Υποστύλωμα είναι τό κατακόρυφο στοιχείο που μεταφέρει υπερκείμενα φορτία σε υποκείμενα σημεΐα (σ' άλλο στοιχείο ή στό έδαφος).

Στίς παραγράφους που ακολουθοΰν αναπτύσσεται ή μέθοδος υπολογισμού της διατομής του σκυροδέματος και του όπλισμοΰ, που απαιτοΰνται σε μιά κατασκευή.

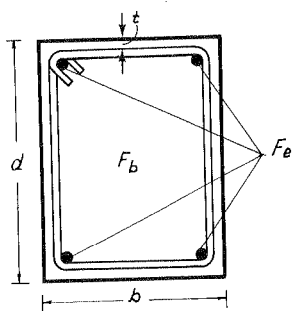
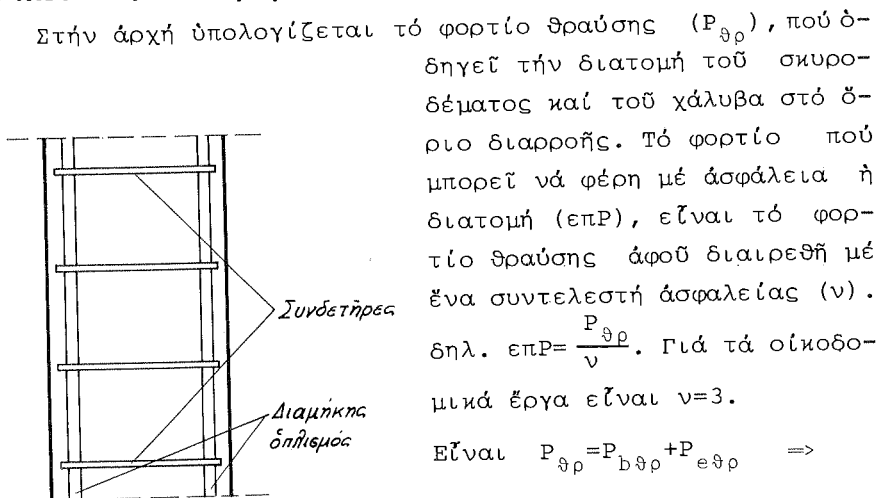
Στούς υπολογισμούς αυτούς αντιμετωπίζονται δυό περιπτώσεις όπλισμοΰ υποστυλωμάτων:

1. Μέ κοινούς συνδετήρες, και
2. Μέ σπειροειδεΐς συνδετήρες.

2. ΘΛΙΒΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1. ΘΛΙΒΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΚΟΙΝΟΥΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

2.1.1. Μέθοδος ύπολογισμού.



Στήν άρχή ύπολογίζεται τό φορτίο θραύσης ($P_{\theta\rho}$), πού ό-
δηγεεί τήν διατομή του σκυρο-
δέματος καί του χάλυβα στό ό-
ριο διαρροής. Τό φορτίο πού
μπορεεί νά φέρη μέ ασφάλεια ή
διατομή (επΡ), είναι τό φορ-
τίο θραύσης άφοϋ διαιρεθεί μέ
ένα συντελεστή ασφαλείας (ν).
δηλ. $\text{επΡ} = \frac{P_{\theta\rho}}{\nu}$. Για τά οίκοδο-
μικά έργα είναι $\nu=3$.

$$\text{Είναι } P_{\theta\rho} = P_{b\theta\rho} + P_{e\theta\rho} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{P_{\theta\rho}}{3} = \frac{P_{b\theta\rho}}{3} + \frac{P_{e\theta\rho}}{3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{επΡ} = \text{επΡ}_b + \text{επΡ}_e$$

$$\text{Ακόμη } P_{\theta\rho} = \beta_p \cdot F_b + \beta_s \cdot F_e \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} P_{\theta\rho} &= F_b \cdot \beta_p \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \cdot \frac{F_e}{F_b} \right) = \\ &= F_b \cdot \beta_p \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \cdot \mu \right) \end{aligned}$$

όπου β_p καί β_s τά όρια διαρροής σκυροδέματος καί χάλυβα άν-
τίστοιχα,

F_b καί F_e οί διατομές σκυροδέματος καί όπλισμού αντί-
στοιχα,

καί μ τό ποσοτό του όπλισμού ($\mu = \frac{F_e}{F_b}$).

$$\text{όπότε } \text{επΡ} = \frac{P_{\theta\rho}}{\nu} = \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu \right)$$

Τό ίσοδύναμο φορτίο πού ένεργεί σ' ένα ύποστύλωμα, άν

ληφθῇ ὑπ' ὄψη καί ὁ λυγισμός εἶναι $\omega_{P_{\lambda_{\epsilon\lambda\tau}}}$. Αὐτό δέν πρέπει νά

$$\xi\epsilon\pi\epsilon\rho\nu\acute{\alpha} \text{ τὸ } \epsilon\pi P, \text{ δηλαδή } \omega \cdot P_{\lambda_{\epsilon\lambda\tau}} \leq \epsilon\pi P = \frac{F_b \cdot \beta_P}{3} \left(1 + \frac{\beta_S}{\beta_P} \cdot \mu\right) \quad (1)$$

$P_{\lambda_{\epsilon\lambda\tau}}$ εἶναι τὸ σύνολο τῶν φορτίων πού ἀσχοῦνται σ' ἓνα ὑποστυλῶμα μαζί μέ τὸ ἴδιο βάρος τοῦ ὑποστυλῶματος, δηλαδή

$$P_{\lambda_{\epsilon\lambda\tau}} = P + G$$

ω εἶναι ὁ συντελεστής λυγισμοῦ.

2.1.2. Κανονισμοὶ ὑποστυλῶμάτων σέ κεντρικὴ δλίψη

α. Συντελεστής λυγισμοῦ ω .

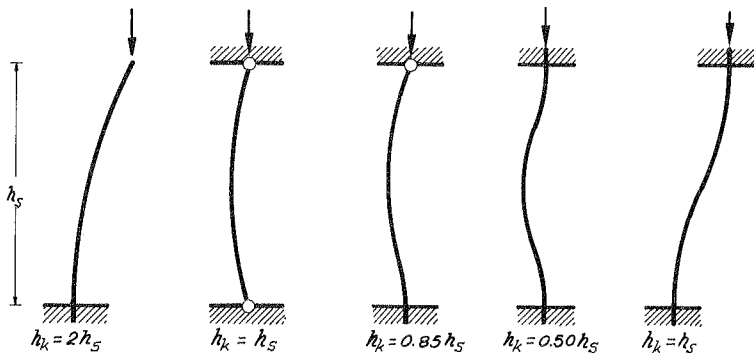
Ὁ συντελεστής λυγισμοῦ ω εἶναι μία συνάρτηση $\omega = \varphi(\lambda)$ ὅπου $\lambda = \frac{h_k}{i_{\min}}$ (λ = λυγηρότητα)

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{\min I}{F}}$$

h_k τὸ μῆκος λυγισμοῦ, καί

h_s τὸ θεωρητικὸ ὕψος ὑποστυλῶματος.

Γιὰ τοὺς διάφορους τύπους ὑποστυλῶμάτων εἶναι:



Οἱ τιμές τῆς συνάρτησης $\omega = \varphi(\lambda)$ δίνονται:

Γιὰ τυχοῦσα διατομή στὸν πίνακα 2: $\lambda = \frac{h_k}{i_{\min}} < 140$

Γιὰ ὀρθογωνική " " " 3: $\lambda' = \frac{h_k}{\min(b, d)} < 40$

Γιὰ κυκλική " " " 4: $\lambda' = \frac{h_k}{D_k} < 25$

Παρατηρήσεις

* Σε οικόδομικά έργα $h_k = h_s$.

* "Αν τό λ είναι μεγαλύτερο από τό επιτρεπόμενο, στην αντίστοιχη περίπτωση χρειάζεται αύξηση τών διαστάσεων τής διατομής.

6. Όρια διαρροής

Ποιότητα Σκυροδέματος	B160	B225	B300	B450	B600
β_p (t/cm ²)	0,144	0,195	0,240	0,340	0,420

Ποιότητα Χάλυβα	StI	StII	StIII, IV
β_s (t/cm ²)	2,4	3,6	4,2

γ. Ποσοστό όπλισμού μ

h_s/D	≥ 10	9	8	7	6	≤ 5
min $\mu\%$	0,80	0,74	0,68	0,62	0,56	0,50

Ποιότητα Σκυροδέματος	B160	B225 καί B300
max μ	3%	6%

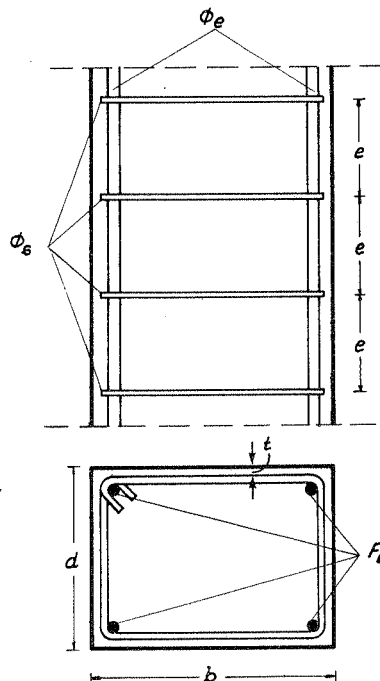
δ. Διαστάσεις υποστυλωμάτων

$$\min(b, d) \geq 25 \text{ cm}$$

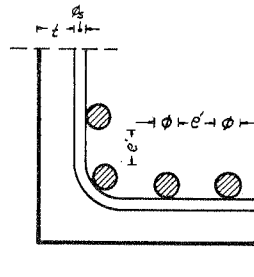
ε. Όπλισμός

ε1. Διαμήκης

- $\min \phi_e = 14 \text{ mm.}$
- $\min F_e = 4\phi 14$ για όποια-δήποτε διατομή.
- Μέγιστη απόσταση τών ράβδων τοῦ διαμήκη όπλισμοῦ 30 cm.
- Είδικά για υποστυλώματα μέχρι 40X40 (cmXcm) είναι δυνατό νά τεθῇ ὁ όπλισμός στις τέσσερις γωνίες.



- Ανάμεσα σε δύο παρακείμενες ράβδους όπλισμού πρέπει να υπάρχει αρκετή απόσταση ώστε να μπορεί να γίνεται άνετα η σκυροδέτηση $e' \geq \max(\phi, 2\text{cm})$.



Σε κάθε γωνία υποστυλώματος επιτρέπεται να μπαίνουν μέχρι 5 ράβδοι.

στ. Έπικάλυψη όπλισμών

$$\text{Είναι} \begin{cases} t=1,5\text{cm} \text{ σε κλειστούς χώρους} \\ t=2,0\text{cm} \text{ σε υπαίθριους χώρους} \end{cases}$$

2.1.3. Έμφανιζόμενα προβλήματα.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ Α'

"Δίνεται η διατομή του θλιβόμενου στοιχείου, ο όπλισμός και το φορτίο λειτουργίας. Ζητείται ο έλεγχος της άντοχής του υποστυλώματος".

Στην περίπτωση αυτή έχουμε δύο τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος.

Πρώτος τρόπος

Ελέγχεται η σχέση

$$\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \cdot \mu \right) \quad (1) \quad \text{αναλυτικά αφού υπολογισθούν}$$

οι ποσότητες $h_k, \lambda, \omega, F_b, F_e, \beta_p, \beta_s, \mu$.

Δεύτερος τρόπος

Ελέγχεται η σχέση $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon P_b + \epsilon P_e$ (2) με πίνακες αφού υπολογισθούν οι ποσότητες h_k, λ, ω και

ϵP_b από τόν πίνακα 5

και ϵP_e " " " 6

Στή συνέχεια ελέγχεται αν ικανοποιούνται οι διάφοροι

περιορισμοί τῶν κανονισμῶν.

Ὁ δεύτερος τρόπος εἶναι προτιμότερος γιατί εἶναι πιά σύντομος, ἀλλά ἐφαρμόζεται μόνο σέ ὀρθογωνικές διατομές.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ Β'

"Δίνονται οἱ διαστάσεις τοῦ ὑποστυλώματος καί τό φορτίο λειτουργίας καί ζητεῖται ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός".

Πρῶτος τρόπος

Λύνεται ἡ σχέση (1) $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} (1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu)$ ὡς πρός τό ποσοστό ὀπλισμοῦ μ τό ὁποῖο εἶναι καί τό ἀναγκαῖο.

Γιά τήν λύση τῆς ἀνισότητος (1) ὑπολογίζονται πρῶτα τά $h_k, \lambda, \omega, F_b, \beta_p, \beta_s$.

Δεύτερος τρόπος

Λύνεται ἡ σχέση (2) $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon P_b + \epsilon P_e$ ὡς πρός τό ϵP_e , ὁπότε βρίσκεται ἀπό τόν πίνακα 6, γιά ϵP_e , ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός. Τό ποσοστό εἶναι $\mu = \frac{F_e}{F_b}$.

Γιά τήν λύση τῆς ἀνισότητος (2) βρίσκονται πρῶτα οἱ ποσότητες h_k, λ, ω καί ἀπό τόν πίνακα 5 τό ϵP_b .

Ἀφοῦ ὑπολογισθῇ μ' ἓνα ἀπό τούς δύο τρόπους ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός, ἐλέγχεται ἂν, ἡ τιμή πού προκύπτει γιά τό μ , δέν ξεπερνᾷ τίς ἐπιτρεπόμενες τιμές. Ἄν $\mu \geq \epsilon P(\max \mu)$ χρειάζεται αὔξηση τῆς διατομῆς τοῦ σκυροδέματος. Ἀκόμη ἐλέγχεται ἂν ικανοποιοῦνται οἱ ἄλλοι περιορισμοί τῶν κανονισμῶν.

Στατικά ἀπαιτούμενη διατομή

Ἄν τό ποσοστό ὀπλισμοῦ (μ) εἶναι μικρότερο τοῦ $\min \mu$ (πρακτικά ἂν ὑπάρχει ἀρνητική τιμή τοῦ μ δηλ. ἂν τό σκυρόδεμα μπορῇ μόνο του νά παραλάβῃ τήν δύναμη) τότε ἡ διατομή τοῦ σκυροδέματος πού ὑπάρχει εἶναι πολύ μεγαλύτερη ἀπό τήν ἀπαιτούμενη γιά νά ἀναλάβῃ τό φορτίο λειτουργίας.

Αφού η διατομή είναι καθορισμένη και δεν είναι δυνατό να μικρύνει, υπολογίζεται η όνομαζόμενη "στατικά απαιτούμενη διατομή" δηλ. η διατομή σκυροδέματος, που με το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό όπλισμού (επί της "στατικά απαιτούμενης διατομής") παραλαμβάνει το φορτίο λειτουργίας. Μ' αυτό τον τρόπο γίνεται οίκονομία στον όπλισμό, αφού ο κανονισμός επιτρέπει να χρησιμοποιείται min μ μικρότερο από το επιμιν για την διατομή που δόθηκε.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ Γ'

Δίνεται το φορτίο λειτουργίας και ζητείται η διατομή του στοιχείου και ο απαιτούμενος όπλισμός".

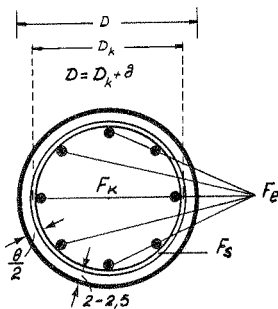
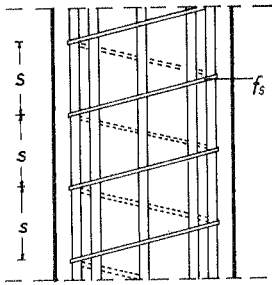
Λύνεται η σχέση (1) $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{F_b \beta_p}{3} (1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu)$ ως προς την διατομή του υποστυλώματος F_b αφού έλεγχοι τό μ.

- "Αν ζητηθεί η ελάχιστη διατομή, λαμβάνεται σαν μ τό max από τους κανονισμούς.
- "Αν ζητηθεί η οίκονομικότερη διατομή, λαμβάνεται σαν μ τό min από τους κανονισμούς.
- "Αν δεν υπάρχει δέσμευση με κάποια σχέση ανάμεσα στις πλευρές της διατομής, διαλέγεται η τετραγωνική διατομή σαν οίκονομικότερη (μικρότερο μήκος συνδετήρων, λιγότερος ξυλό-τυπος).

2.2. ΘΛΙΒΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΙΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

2.2.1. Μέθοδος υπολογισμού

Στά θλιβόμενα στοιχεία με σπειροειδείς συνδετήρες λαμβάνεται υπ' όψη και η συμβολή της σπείρας στην άντοχή του υποστυλώματος. Η συμβολή αυτή είναι η παρεμπόδιση της πλευρικής διόγκωσης του σκυροδέματος, από την οποία αναπτύσσεται τριαξονική έντατική κατάσταση. Αυτή αυξάνει την ικανότητα του υποστυλώματος κατά $\frac{1}{3} \beta'_s \cdot 2,5 \cdot F_s$, όπου β'_s η άντοχή του χάλυβα



s : τό βήμα της σπείρας.

f_e : ή διατομή της σπείρας.

$F_s = \frac{\pi \cdot D_k}{s} f_e$ ή ίσοδύναμη κυλινδρική έπιφάνεια (σάν χαλύβδινος μανδύας) πού αντίστοιχει σε ύποστυλώμα μέ διάμετρο πυρήνα D_k καί σπειροειδή συνδετήρα διατομής f_e καί βήματος s .

2.2.2. Κανονισμοί ύποστυλωμάτων μέ σπειροειδείς συνδετήρες σε κεντρική θλίψη

α. συντελεστής ω .

Ίσχύουν όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.1.2. μέ τόν περιορισμό ότι χρησιμοποιείται ο πίνακας 4 πού ανάφεται στα κυκλικά ύποστυλώματα.

β. Όρια διαρροής

Ίσχύουν τά όρια διαρροής της παραγράφου 2.1.2.

καί F_s τό ποσοστό τοϋ σπειροειδή όπλισμοϋ.

Άρα τό συνολικό έπιτρεπόμενο φορτίο είναι:

$$P_{\text{επ}} = \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu + 2,5 \frac{\beta'_s}{\beta_p} \cdot \mu_s \right)$$

καί ή άνισότητα για ύποστυλώματα μέ σπειροειδείς συνδετήρες γίνεται

$$\omega \cdot P_{\text{λειτ}} \leq \text{επ} = \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu + 2,5 \frac{\beta'_s}{\beta_p} \mu_s \right) \quad (1)$$

όπου είναι:

F_k : ό πυρήνας της διατομής διαμέτρου D_k .

β'_s : τό όριο διαρροής τοϋ σπειροειδή όπλισμοϋ.

μ_s : τό ποσοστό τοϋ σπειροειδή όπλισμοϋ.

Χρειάζεται σκυρόδεμα ποιότητας τουλάχιστον B225.

γ. Ποσοστά όπλισμού

$$\text{Πρέπει } \left. \begin{array}{l} 1\% \leq \mu \leq 6\% \\ \frac{F_s}{F_e} < 3 \end{array} \right\} \text{ όπου } \mu = \frac{F_e}{F_k}, \quad \mu_s = \frac{F_s}{F_k}$$

δ. Σπείρα

$$S \leq \min \left(\frac{D_k}{5}, 8 \right)$$

$$\text{Συνιστάται } S > 4, \quad \phi_s \leq \phi 16$$

$$\theta = \begin{cases} 4,5\text{cm για έσωτερικά υποστυλώματα} \\ 7,5\text{cm για έξωτερικά υποστυλώματα} \end{cases}$$

ε. Πρόσθετος έλεγχος

Έφ' όσον $F_s > 0,03 F_k$ χρειάζεται και ό έλεγχος της ανισότητας: $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq 2 \cdot \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu \right)$

2.2.3. Έμφανιζόμενα προβλήματα.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ Α'

"Δίνονται οι διαστάσεις του υποστυλώματος και τό φορτίο λειτουργίας και ζητούνται οι όπλισμοί".

Χρησιμοποιείται ή σχέση:

$$\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon P = \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu + 2,5 \frac{\beta'_s}{\beta_p} \cdot \mu_s \right) \quad (1)$$

Βρίσκονται οι ποσότητες

$$h_k, \lambda, \frac{h_k}{D_k}, \omega, F_k, \beta_p, \beta_s$$

Έκλέγεται $1\% < \mu < 6\%$ και λύνεται ή (1) ως προς μ_s .

Υπολογίζονται οι όπλισμοί $F_e = \mu \cdot F_k$ και $F_s = \mu_s \cdot F_k$.

Από την σχέση $\frac{f_e}{S} = \frac{F_s}{\pi \cdot D_k}$ εκλέγεται ό ένας από τούς όρους f_e και S και υπολογίζεται ό άλλος.

Γίνεται έλεγχος αν ισχύουν:

$$\frac{F_s}{F_e} \leq 3, \quad S \leq \min \left(\frac{D_k}{5}, 8 \right) \quad \text{και}$$

$$\omega P_{\lambda \epsilon \upsilon \tau} \leq 2 \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p} \right) \quad \text{έαν} \quad \mu_s > 3\%$$

Σε περίπτωση πού δέν έπαληθεύεται ή τελευταία άνισότη-
τα και άφοϋ ή διατομή τοϋ ύποστυλώματος δίνεταί, αύξάνεταί
τό ποσοστό μ τοϋ διαμήκη όπλισμοϋ, χωρίς νά ξεπεραστοϋν βέ-
βαια τά έπιτρεπόμενα όρια.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ Β'

"Δίνεται τό φορτίο λειτουργίας και ζητεΐται ή διατομή
και ό όπλισμός τοϋ ύποστυλώματος"

Ή σχέση $\omega P_{\lambda \epsilon \upsilon \tau} \leq \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p} + 2,5 \mu_s \frac{\beta'_s}{\beta_p} \right)$ (1) λύνεταί
ώς πρός $F_k = \frac{\pi D_k^2}{4}$.

Βρίσκονται τά β_s , β'_s , β_p και έκλέγονται τά μ και μ_s :

α. "Αν ζητηται ή ελάχιστη διατομή έκλέγεται $\mu=6\%$ και μ_s ό-
σο γίνεται μεγαλύτερο.

β. "Αν ζητηται ή οίκονομικώτερη διατομή έκλέγεται $\mu=1\%$ και
 μ_s όσο γίνεται μεγαλύτερο.

Λύνεταί ή (1) ως πρός D_k .

Άκολουθοϋν οί έλεγχοι όπως και στά προηγούμενα.

Παρατήρηση

* Στο $P_{\lambda \epsilon \upsilon \tau}$ συμπεριλαμβάνεταί και τό βάρος τοϋ ύποστυλώματος.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 1

Ζητείται ο έλεγχος σέ κεντρική θλίψη του είκονιζόμενου υποστυλώματος.

Δίνονται:

Φορτία υποστυλώματος:

$$P=14t, \quad G=32t$$

Υλικά: B160 και StI.

Λύση

Γιά τόν έλεγκο του υποστυλώματος έλέγχεται άν ισχύη ή σχέση:

$$\omega P_{\lambda_{\epsilon\upsilon\tau}} \leq \epsilon\pi P \quad (1)$$

$$P_{\lambda_{\epsilon\upsilon\tau}} = P+G = 14+32 = 46t$$

Πρώτος τρόπος

$$\epsilon\pi P = \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p})$$

$$h_k = 1,0 \cdot h_s = 4,15m \Rightarrow$$

$$\lambda' = \frac{h_k}{d} = \frac{4,15}{0,25} = 16,60$$

Καί άπ'τόν πίνακα

$$3 \Rightarrow \omega = 1,026.$$

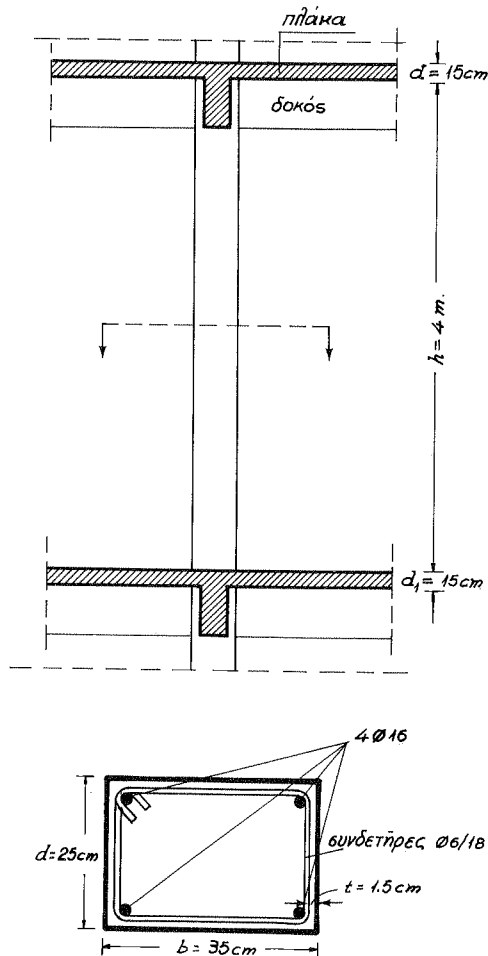
$$F_b = b \times d = 35 \times 25 = 875cm^2,$$

$$F_e = 4 \times 2,01 = 8,04cm^2$$

$$\text{Γιά B160 άπ'τόν πίνακα στή σελίδα 12 : } \beta_p = 0,144t/cm^2$$

$$\text{Γιά StI " " " " " 12 : } \beta_s = 2,40t/cm^2$$

$$\mu = \frac{F_e}{F_b} = \frac{8,04}{875} = 0,0092$$



Άρα η σχέση (1) γίνεται:

$$1,026 \times 46 \leq \frac{875 \times 0,144}{3} (1 + 0,0092 \times \frac{2,4}{0,144})$$

$$47,20 \leq 48,44 \quad \text{ίσχύει}$$

Δεύτερος τρόπος

$$\varepsilon_P = \varepsilon_{P_b} + \varepsilon_{P_e}$$

Από τον πίνακα 5 για B160 και $F_b = 35 \times 25 \Rightarrow \varepsilon_{P_b} = 42,0t$

Από " " 6 " StI και $4\phi 16 \Rightarrow \varepsilon_{P_e} = 6,4t$

Οπότε η σχέση (1) γίνεται:

$$1,026 \times 46 \leq 42,0 + 6,4$$

$$47,2 \leq 48,4t$$

Αφού ισχύει $\omega_{P_{\text{λεντ}}} \leq \varepsilon_P$, γίνεται έλεγχος αν πληρούνται οι κανονισμοί από τα διάφορα στοιχεία της διατομής του υποστυλώματος.

- $\min(b, d) = 25\text{cm} = \min \varepsilon_{pb}$
- Διαμήκης όπλισμός $4\phi 16 > \min \varepsilon_{F_e} = 4\phi 14$
- Απόσταση συνδετήρων $e = 18 < \min(b, d, 12\phi_e) = 19,2\text{cm}$
- Ποσοστό όπλισμού: $0,8\% \leq \mu \leq 3\% \quad (\mu = 0,91\%)$
- Επικάλυψη $t = 1,5\text{cm}$

ΑΣΚΗΣΗ 2

Ζητείται ο υπολογισμός του όπλισμού υποστυλώματος οίκοδομικού έργου σε κεντρική θάλιψη που φέρει φορτίο $P = 128t$ (περιλαμβάνεται και τό βάρος του στύλου) και έχει διαστάσεις $40 \times 40\text{cm}$, $h_s = 3,28\text{m}$. Υλικά B225, StIII.

Λύση

Πρώτος τρόπος

$$\text{Λύνεται η σχέση } \omega_{P_{\text{λεντ}}} \leq \varepsilon_P = \frac{F_b \cdot \beta_P}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_P}) \quad (1) \quad \omega_s$$

πρός τό ποσοστό όπλισμού μ .

$$h_k = h_s = 3,28$$

$$\lambda' = \frac{h_k}{d} = \frac{3,28}{0,40} = 8,20 < 10 \Rightarrow \text{άπ'τόν πίνακα 3: } \omega = 1,00$$

$$F_b = 40 \times 40 = 1600 \text{ cm}^2$$

Γιά B225 από τόν πίνακα στή σελίδα 12 : $\beta_p = 0,195 \text{ t/cm}^2$

Γιά StIII " " " " " 12 : $\beta_s = 4,20 \text{ t/cm}^2$

Όποτε ή (1) γίνεται :

$$1,00 \times 1,28 \leq \frac{1600 \times 0,195}{3} \left(1 + \frac{4,2}{0,195} \mu\right) \Rightarrow$$

$$\mu \geq 0,0107 \quad (0,8\% < \mu = 1,07\% < 6\%)$$

$$F_e = \mu \cdot F_b = 0,0107 \times 1600 = 17,12 \text{ cm}^2$$

Εκλέγονται $4\phi 16 + 4\phi 18$ ($8,04 + 10,16 = 18,20 \text{ cm}^2$)

Συνδετήρες $\phi 6/20$ ($e = 20 \text{ cm} < \min(b, d, 12\phi) = 21,6 \text{ cm}$)

Επικάλυψη $t = 1,5 \text{ cm}$

Δεύτερος τρόπος

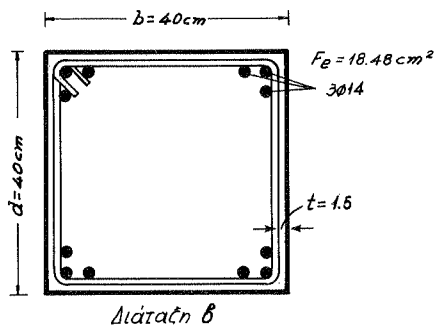
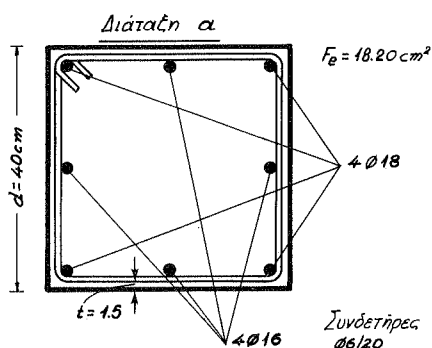
Η σχέση $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon P_b + \epsilon P_e$ λύνεται ως προς ϵP_e :

$$\epsilon P_e \geq \omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} - \epsilon P_b \quad (2)$$

Απ' τόν πίνακα 5 γιά B225 καί $F_b = 40 \times 40 \Rightarrow \epsilon P_b = 104 \text{ t}$ καί
 απ' τήν (2) $\Rightarrow \epsilon P_e \geq 1,0 \times 128 - 104 = 24 \text{ t}$.

Γιά StIII καί $\epsilon P_e = 24 \text{ t}$, απ' τόν πίνακα 6 εκλέγονται :

$4\phi 16 + 4\phi 18$ ($11,3 + 14,3 = 25,6 \text{ t}$) κ.λ.π.



Παρατηρήσεις

* Ό όπλισμός στήν κεντρική θλίψη δέν τοποθετείται όπωσδήποτε στίς γωνίες τής διατομής (διάταξη α). Στήν πράξη πρέπει νά ακολουθήται ή διάταξη β γιατί δυνατόν νά ύπάρχη κάποια έκκεντρότητα λόγω πλαισιακής λει-

τουργίας ή σεισμοῦ, πού μπορεῖ νά ἐμφανίζεται καί στίς δύο διευθύνσεις.

* Στήν διάταξη β, ὅπου ὁ ὀπλισμός εἶναι συγκεντρωμένος μόνο στίς τέσσερις γωνίες, καλό εἶναι νά τοποθετῆται συμμετρικά καί πρὸς τίς δύο διευθύνσεις.

ΑΣΚΗΣΗ 3

Γωνιακός στύλος οἰκοδομῆς κατασκευάζεται γιὰ ἀρχιτεκτονικούς λόγους μέ διαστάσεις 50x50cm καί φέρει φορτίο $P_{\lambda\epsilon\iota\tau} = P+G=85t$. Δίνονται: πλήρες ὕψος ὀρόφου 6,30m. Ὑλικά B160, StI. Ζητεῖται ὁ ὀπλισμός τοῦ στύλου.

Λύση

Γιὰ τὸν ὑπολογισμό τοῦ ὀπλισμοῦ τοῦ στύλου, ἀφοῦ ἡ διατομή δίνεται, βρίσκεται τὸ φορτίο πού ἀναλαμβάνεται ἀπ' τὸν ὀπλισμό, ἀπ' τὴν σχέση: $\omega P_{\lambda\epsilon\iota\tau} \leq \epsilon\pi P = \epsilon\pi P_b + \epsilon\pi P_e$.

$$h_k = h_s = 6,30m \quad \text{καί}$$

$$\lambda' = \frac{h_k}{d} = \frac{6,30}{0,50} = 12,60$$

Ἀπ' τὸν πίνακα 3 βρίσκεται: $\omega = 1,00$.

Γιὰ B160 καί $F_b = 50 \times 50$ ἀπ' τὸν πίνακα 5 $\Rightarrow \epsilon\pi P_b = 120t$.

Ἀφοῦ $\omega P_{\lambda\epsilon\iota\tau} = 1,00 \cdot 85 = 85t < \epsilon\pi P_b = 120t$ φαίνεται ὅτι καί μόνο τὸ φορτίο, πού μπορεῖ νά παραλάβῃ τὸ σκυρόδεμα, εἶναι μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ φορτίο λειτουργίας. Δηλαδή ἡ διατομή εἶναι μεγαλύτερη ἀπ' τὴν ἀπαιτούμενη, ἀλλὰ δέν εἶναι δυνατό νά ἀλλαχθῇ γιὰ ἀρχιτεκτονικούς λόγους.

Πρέπει λοιπὸν νά ὑπολογισθῇ ὁ ἐλάχιστος ἀπαιτούμενος ὀπλισμός, πού δέν εἶναι τὸ $\mu = 0,008$ τῆς διατομῆς 50x50 ἀλλὰ τὸ 0,008 τῆς στατικά ἀπαιτούμενης διατομῆς.

Στατικά ἀπαιτούμενη διατομή

Ἐκλέγεται τετραγωνικὴ διατομὴ πλευρᾶς α.

$$\Deltaύνεται ἡ σχέση $\omega P_{\lambda\epsilon\iota\tau} \leq P_{\epsilon\pi} = \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p}\right) \quad (1) \quad \text{ὡς} \quad \text{πρὸς}$

$$F_b = \alpha^2 \quad \text{μέ} \quad \mu = 0,008.$$$$

Γιά B160 άπ'τόν πίνακα στή σελίδα 12 : $\beta_p = 0,144 \text{ t/cm}^2$

Γιά StI " " " " " 12 : $\beta_s = 2,40 \text{ t/cm}^2$

$$\text{'Η (1) γίνεται: } \omega \times 85 \leq \frac{\alpha^2 \cdot 0,144}{3} (1 + 0,008 \frac{2,4}{0,144}) \Rightarrow$$

$$\alpha^2 \geq 1562,54\omega \Rightarrow$$

$$\alpha \geq 39,53\sqrt{\omega}$$

Γιά $\omega=1,00 \Rightarrow \alpha=39,53$, $\lambda' = \frac{6,30}{0,3953} = 15,94 \Rightarrow \omega=1,02$ (πίνακας 3)

Γιά $\omega=1,02 \Rightarrow \alpha=39,92$, $\lambda' = \frac{6,30}{0,3992} = 15,78 \Rightarrow \omega=1,02$ (" ")

"Αρα ή στατικά άπαιτούμενη διατομή έχει πλευρά 39,92cm.

$$F_e = 0,008 \times 39,92^2 = 12,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 20 (=12,56 \text{ cm}^2)$$

Συνδετήρες $\phi 6/20$

Επικάλυψη $t=2,0 \text{ cm}$

Επειδή ή διατομή έχει πλευρές μεγαλύτερες τών 40 cm, τοποθετείται καί ένδιάμεσος όπλισμός.

ΑΣΚΗΣΗ 4

Ζητούνται οί άναγκαί-
ες διατομές σκυροδέματος καί
σιδήρου ύποστυλώματος όρό-
φου, καθαροῦ ὕψους $h=3,0 \text{ m}$ καί
πάχους πλακῶν $d=12 \text{ cm}$, ὥστε μέ τήν μεγαλύτερη οίκονομία νά φέ-
ρη τό βάρος τών ὑπερκείμενων όρόφων $Q_1=82,0 \text{ t}$ καί τίς φορτί-
σεις τών δοκῶν πάνω σ'αυτό $Q_2=12,4 \text{ t}$.

Υλικά B225, StIII.

Λύση

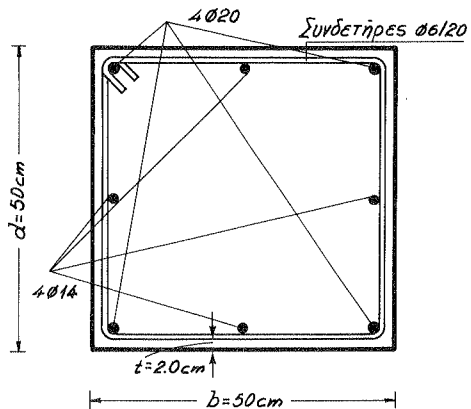
Υπολογίζεται ή στατικά άπαιτούμενη διατομή άπό τήν σχέ-

$$\text{ση } \omega \cdot P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon \pi P = \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p})$$

Γιά οίκονομικώτερη διατομή λαμβάνεται $F_b = \alpha^2$ καί $\mu=0,8\%$.

Γιά B225 $\Rightarrow \beta_p = 0,195 \text{ t/cm}^2$

Γιά StIII $\Rightarrow \beta_s = 4,2 \text{ t/cm}^2$



Τό ίδιο βάρος του στύλου υπολογίζεται κατά προσέγγιση.

$$G \approx 0,40 \times 0,40 \times 3,12 \times 2,4 = 1,20 \text{ t}$$

$$P_{\lambda\epsilon\upsilon\tau} = Q_1 + Q_2 + G = 82,0 + 12,4 + 1,2 = 95,6 \text{ t}$$

$$\text{Οπότε } \omega \cdot 95,6 \leq \alpha^2 \frac{0,195}{3} \left(1 + 0,008 \frac{4,2}{0,195} \right) \Rightarrow$$

$$\alpha^2 \geq 1254,59 \omega \Rightarrow \alpha \geq 35,42 \sqrt{\omega}$$

$$\text{Γιὰ } \omega = 1,00 \Rightarrow \alpha = 35,42, \lambda' = \frac{3,12}{0,3542} = 8,79 \Rightarrow \omega = 1,00$$

Εκλέγεται $b = d = 35 \text{ cm}$ (Η μικρή διαφορά της διατομής θα καλυφθῇ ἀπ' τὸν ὀπλισμό F_e).

$$F_e = 0,008 \times 1225 = 9,80 \text{ cm}^2$$

Εκλέγονται $4\phi 20 = 12,56 \text{ cm}^2$ (ἀντὶ $4\phi 18 = 10,16 \text{ cm}^2$)

Έλεγχος

Γιὰ B225 καὶ $F_b = 35 \times 35$ ἀπ' τὸν πίνακα 5 $\Rightarrow \epsilon \pi P_b = 79,6 \text{ t}$.

Γιὰ StIII καὶ $4\phi 20$ ἀπὸ τὸν πίνακα 6 $\Rightarrow \epsilon \pi P_e = 17,6 \text{ t}$.

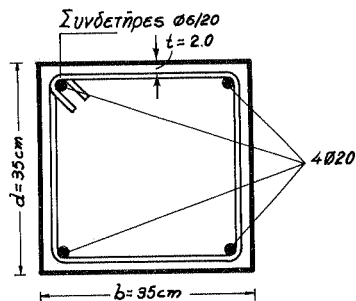
$$\text{Ἄρα } \epsilon \pi P = \epsilon \pi P_b + \epsilon \pi P_e = 79,6 + 17,6 = 97,2 \text{ t}.$$

$P_{\lambda\epsilon\upsilon\tau} = 82,0 + 12,4 + 0,9 = 95,3 \text{ t}$ (0,9 t εἶναι τὸ πραγματικὸ βάρος τοῦ στύλου).

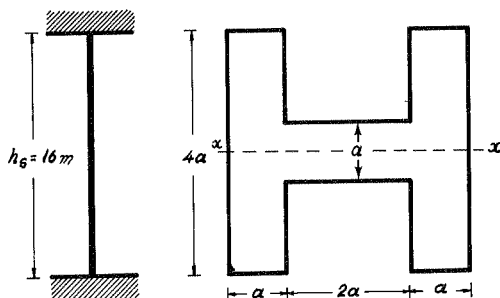
Ἰσχύει λοιπὸν $1,00 \times 95,3 < 97,2$.

Εκλέγονται συνδετήρες $\phi 6/20$.

Επικάλυψη $t = 2,0 \text{ cm}$.



ΑΣΚΗΣΗ 5



Υποστυλώμα πλαισί-
ου, διατομής ὅπως στὸ
σχῆμα, μὲ $h_k = 1,5 h_s$, ἔχει
ὕψος 16,0 m καὶ φέρει φορ-
τίο $P = 330 \text{ t}$ (Δέν περιλαμ-
βάνεται τὸ ἴδιο βάρος τοῦ
στύλου). Νά υπολογισθῇ ὁ
ὀπλισμὸς τοῦ υποστυλώμα-
τος. Δίνονται ὑλικά B225,
StIII.

Λύση

Απ' τήν σχέση $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon \pi P = \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p})$ (1) υπολογίζεται ή στατικά απαιτούμενη διατομή καί ό όπλισμός.

$$h_k = 1,5 h_s = 1,5 \times 16 = 24 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{h_k}{i_{\min}} \quad (\text{τυχοῦσα διατομή})$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{\min I}{F_b}}$$

$$\text{Εδῶ } \min I = I_x = 2 \cdot \frac{\alpha \cdot (4\alpha)^3}{12} + \frac{2\alpha \cdot \alpha^3}{12} = \frac{65}{6} \alpha^4 (\text{m}^4)$$

$$F_b = 4\alpha \times 4\alpha - 2\alpha \times 3\alpha = 10\alpha^2 (\text{m}^2)$$

$$\text{Αρα } i_{\min} = \sqrt{\frac{65\alpha^4}{6 \times 10\alpha^2}} = \alpha \sqrt{\frac{65}{60}} = 1,041\alpha$$

Εκλέγεται ή ελάχιστη έπιτρεπόμενη διάσταση σέ ύποστώ-
λωμα: $\alpha = 25 \text{ cm}$.

$$i_{\min} = 1,041 \times 0,25 = 0,2603 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{24}{0,2603} = 92,2 < 140$$

Απ' τόν πίνακα 2 καί γιά $\lambda = 92,2 \Rightarrow \omega = 1,464$.

$P_{\lambda \epsilon \iota \tau} = 330 \text{ t}$ (τό ίδιο βάρος τοῦ ύποστυλώματος θά τό λάβω-
με ύπ' όψη στόν έλεγχο τής διατομής).

$$F_b = 10\alpha^2 = 6250 \text{ cm}^2$$

$$\beta_p = 0,195 \text{ t/cm}^2 \quad (\text{B225}) \quad \& \quad \beta_s = 4,2 \text{ t/cm}^2 \quad (\text{StIII})$$

Οπότε ή (1) γίνεται:

$$1,464 \times 330 \leq \frac{6250 \times 0,195}{3} (1 + \mu \frac{4,2}{0,195}) \Rightarrow$$

$$\mu \geq 0,0088$$

$$\text{Αρα } F_e = \mu \cdot F_b = 0,0088 \cdot 6250 = 55 \text{ cm}^2$$

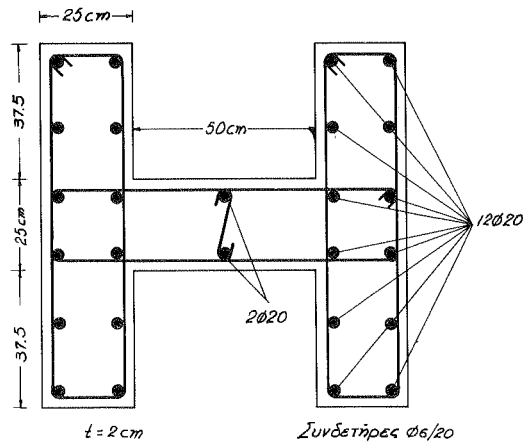
Εκλέγονται 26 $\emptyset$ 20 ($= 81,64 \text{ cm}^2$) γιά νά γίνη ικανοποιητική
τοποθέτηση όπλισμοῦ καί νά παραληφθῇ τό ίδιο βάρος.

Έλεγχος

$$\text{Ιδιο βάρος ύποστυλώματος } G = 16,0 \times 0,625 \times 2,4 = 24 \text{ t.}$$

$$P_{\lambda\epsilon\lambda\tau} = P + G = 330 + 24 = 354,0 \text{ t.}$$

$$\omega P_{\lambda\epsilon\lambda\tau} = 1,464 \times 354 = 518,6 \text{ t.}$$



$$\text{Γιὰ B225 εἶναι } \epsilon\pi P_b = \frac{1}{3} \beta_p \cdot F_b = \frac{1}{3} 0,195 \times 6250 = 406,25 \text{ t.}$$

$$\text{Γιὰ StIII εἶναι } \epsilon\pi P_e = \frac{1}{3} \beta_s F_e = \frac{1}{3} 4,2 \times 81,64 = 114,30 \text{ t.}$$

$$\epsilon\pi P = 406,25 + 114,30 = 520,55 \text{ t.}$$

$$\text{Ἄρα } \omega P_{\lambda\epsilon\lambda\tau} = 518,6 < \epsilon\pi P = 520,55 \text{ t.}$$

Συνδετήρες Ø6/20.

Ἐπικάλυψη $t=2,0 \text{ cm}$.

Ἡ διάταξη τοῦ ὀπλισμοῦ ἱκανοποιεῖ τὸν κανονισμό που δέν ἐπιτρέπει ἀπόσταση μεταξύ τῶν ράβδων τοῦ ὀπλισμοῦ μεγαλύτερη τῶν 30 cm.

ΑΣΚΗΣΗ 6

Νά ἐκλεγοῦν τά οἰκονομικώτερα ὑλικά μεταξύ B160, StI καί B225, StIII γιὰ τήν κατασκευή ὑποστυλώματος μέ τήν ἐλάχιστη δυνατή διατομή. Τό ὑποστύλωμα πρέπει νά φέρῃ συνολικό φορτίο $Q=75,0 \text{ t}$ (δέν περιλαμβάνεται τό ἴδιο βάρος). Δίνεται $h_s=4,0 \text{ m}$.

Τιμές ὑλικῶν (χωρίς ξυλότυπο):

B160: 580 δρχ./m³

StI : 12 δρχ./kgf

B225: 630 δρχ./m³

StIII: 13 δρχ./kgf

2. Υλικό B225, StIII.

Γιὰ B225 $\Rightarrow \beta_p = 0,195 \text{ t/cm}^2$ καί γιὰ StIII $\Rightarrow \beta_s = 4,2 \text{ t/cm}^2$
 $\max \mu = 6\%$ γιὰ B225.

Οπότε ή (1) γίνεται:

$$\omega x 75 \leq \frac{\alpha^2 \times 0,195}{3} (1 + 0,06 \frac{4,2}{0,195}) \Rightarrow$$

$$\alpha^2 \geq 503,36 \omega \Rightarrow \alpha \geq 22,43 \sqrt{\omega}$$

Γιὰ $\omega = 1,00 \Rightarrow \alpha = 22,43$, $\lambda' = \frac{4,0}{0,2243} = 17,83 \Rightarrow \omega = 1,04$

Γιὰ $\omega = 1,04 \Rightarrow \alpha = 22,87$, $\lambda' = \frac{4,0}{0,2287} = 17,49 \Rightarrow \omega = 1,04$

Λαμβάνεται $\alpha = 25 \text{ cm}$.

$$\lambda = \frac{4,0}{0,25} = 16,0 \Rightarrow \omega = 1,02$$

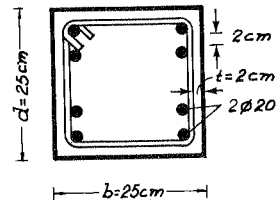
Έλεγχος

Ίδιο βάρος: $G = 0,25^2 \times 4,0 \times 2,4 = 0,6 \text{ t}$.

$$\omega \cdot P_{\lambda \epsilon \iota \tau} = \omega (Q + G) = 1,02 (75,0 + 0,6) = 77,11 \text{ t}.$$

Γιὰ B225 καί $F_b = 25 \times 25$ άπ'τόν πί-
 νακα 5: $\epsilon \pi P_b = 40,7 \text{ t}$.

Ο όπλισμός μένει νά παραλάβη
 $\epsilon \pi P_e = \omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} - \epsilon \pi P_b = 77,11 - 40,70 = 36,41 \Rightarrow$
 $F_e = 8 \phi 20 \text{ (} 35,2 \text{ t)}.$



Έπειδή δέν είναι δυνατό νά χρησι-
 μοποιηθοῦν 9 $\phi 20$ καί ή παράλειψη (1,21) είναι μικρή, τοποθε-
 τούνται 8 $\phi 20$.

Προμέτρηση

B160, StI: $V_B = 0,35 \times 0,35 \times 4,0 = 0,49 \text{ m}^3$, $\Delta_B = 0,49 \times 580 = 284 \text{ δρχ.}$

$B_{Fe} = 4 \times 12 \times 2,0 = 96,0 \text{ kg}$, $\Delta_{Fe} = 96 \times 12 = 1152 \text{ δρχ.}$
 $\Delta_1 = 1436 \text{ δρχ.}$

B225, StIII: $V_B = 0,25 \times 0,25 \times 4,0 = 0,25 \text{ m}^3$, $\Delta_B = 0,25 \times 630 = 158 \text{ δρχ.}$

$B_{Fe} = 4 \times 8 \times 2,47 = 79,0 \text{ kg}$, $\Delta_{Fe} = 79,0 \times 13 = 1027 \text{ δρχ.}$
 $\Delta_2 = 1185 \text{ δρχ.}$

Φτηνότερος λοιπόν ο συνδυασμός B225, StIII εκτός του κέρδους του χώρου και της καλύτερης αισθητικής έσως.

ΑΣΚΗΣΗ 7

Ζητείται ο υπολογισμός κυκλικού υποστυλώματος σε κεντρική θλίψη, ύψους $h_s = 6,0m$, για να φέρη φορτίο $P = 180t$.

Δίνονται υλικά: B300, StIII.

Λύση

Επειδή δεν αναφέρεται τίποτε για την διατομή, θα ζητηθεί η οικονομικότερη διατομή. Αυτή έχει $\mu = \mu_{min} = 0,8\%$.

Απ' την σχέση $\omega P_{\lambda_{\epsilon\lambda\tau}} \leq \epsilon P = \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p})$ (1) υπολογίζεται η διατομή $F_b = \frac{\pi d^2}{4}$.

Για B300: $\beta_p = 0,24t/m^2$

Για StIII: $\beta_s = 4,2t/cm^2$

Η (1) γίνεται: $\omega \cdot 180 \leq \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{0,24}{3} (1 + 0,008 \frac{4,2}{0,24}) \Rightarrow$

$$d^2 \geq 2514,25\omega \Rightarrow$$

$$d \geq 50,14\sqrt{\omega}$$

Για $\omega = 1,00 \Rightarrow d = 50,14$, $\lambda' = \frac{6,0}{0,5014} = 12,0 \Rightarrow \omega = 1,07$

Για $\omega = 1,07 \Rightarrow d = 51,87$, $\lambda' = \frac{6,0}{0,5187} = 11,57 \Rightarrow \omega = 1,06$

Λαμβάνεται $d = 51cm$.

Οπότε $\lambda' = \frac{6,0}{0,51} = 11,8 \Rightarrow \omega = 1,06$

$$F_b = \frac{\pi \cdot 51^2}{4} = 2041,79cm^2$$

$F_e = 0,008 \times 2041,79 = 16,33cm^2 \Rightarrow$ Εκλέγονται $9\phi 16 (=18,09cm^2)$

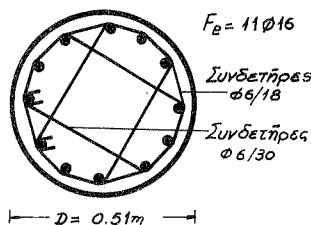
Έλεγχος

Ίδιο βάρος υποστυλώματος:

$$G = 0,20418 \times 6,0 \times 2,4 = 2,94t.$$

$$P_{\lambda_{\epsilon\lambda\tau}} = 180 + 2,94 = 182,94t.$$

$$\epsilon P_b = \frac{1}{3} \times 0,24 \times 2041,79 = 163,3t.$$



$$\text{Γιά StIII και } 9\emptyset 16 \Rightarrow \epsilon \pi P_e = \frac{1}{3} \times 4,2 \times 9 \times 2,01 = 25,3t.$$

$$\epsilon \pi P = \epsilon \pi P_b + \epsilon \pi P_e = 163,3 + 25,3 = 188,6t.$$

$$\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} = 1,06 \times 182,94 = 193,9t > \epsilon \pi P.$$

Γιά νά καλυφθῇ ἡ διαφορά $\Delta P = 193,9 - 188,6 = 5,3t$ (πού ὀφείλεται στήν παράλειψη τοῦ ἑδίου βάρους) λαμβάνονται $2\emptyset 16$ πρόσθετα πού ἀναλαμβάνουν δύναμη: $\frac{1}{3} \times 4,2 \times 2 \times 2,01 = 5,6t$.

Ἐκλέγονται συνδετήρες κυκλικοί: $\emptyset 6/18$ καί ὀρθογωνικοί $\emptyset 6/30$. Ἐπικάλυψη $t = 2,0cm$.

ΑΣΚΗΣΗ 8

Ὑποστύλωμα διαστάσεων $25 \times 50cm$, ὕψους $h_s = 6,0m$ φέρει ὀλινό φορτίο $P = 36t$. Νά ὑπολογισθῇ ὁ ἐλάχιστος ἀπαιτούμενος ὀπλισμός.

Δίνονται ὀλικά: B160, StI.

Λύση

Ἀπό τήν σχέση $\omega \cdot P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon \pi P_b + \epsilon \pi P_e$ (1) βρίσκεται ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός.

$$h_k = h_s = 6,0m$$

$$\lambda' = \frac{h_k}{b} = \frac{6,0}{0,25} = 24 \Rightarrow \omega = 1,27$$

$$\text{Γιά B160 καί } F_b = 25 \times 50 \Rightarrow \epsilon \pi P_b = 60t$$

$$\text{Ὅποτε ἀπό τήν (1) } \Rightarrow 1,27 \times 36 \leq 60 + \epsilon \pi P_e \Rightarrow$$

$$P_e \geq 45,72 - 60$$

δηλαδή ἡ διατομή εἶναι μεγαλύτερη ἀπό τήν ἀπαιτούμενη.

Ὑπολογίζεται λοιπόν ὁ ἐλάχιστος ἀπαιτούμενος ὀπλισμός ἀπό τήν στατικά ἀπαιτούμενη διατομή.

Ἡ σχέση $\omega \cdot P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \epsilon \pi P = \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p})$ λύνεται ὡς πρὸς F_b μέ $\mu = \min \mu = 0,8\%$.

$$\beta_p = 0,144t/cm^2 \text{ καί } \beta_s = 2,4t/cm^2$$

$$\text{Ἄρα } \omega \times 36 \leq \frac{F_b \cdot 0,144}{3} (1 + 0,008 \frac{2,4}{0,144}) \Rightarrow F_b \geq 661,76\omega$$

$$\text{ἢ } b'xd' \geq 661,76\omega \quad (2)$$

Υποτίθεται ότι δουλεύει όλη η διάσταση $b=25\text{cm}$ και ένα τμήμα d' της άλλης διάστασης ($d' < 50\text{cm}$).

Από την (2) $\Rightarrow d' \geq 26,47\omega$.

Γιά $\omega=1,00$, $d'=26,47 \times 1,00=26,47$.

Μικρότερη διάσταση είναι η $b=25\text{cm}$, άρα $\lambda' = \frac{6,00}{0,25} = 24,0 \Rightarrow \omega=1,27$. Άρα $d'=26,47 \times 1,27=33,62\text{cm}$.

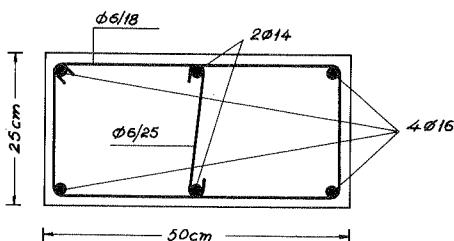
$$F_{b_{στ.}} = 25 \times 33,62 = 840,5\text{cm}^2.$$

$$F_e = 0,008 \times 840,5 = 6,72\text{cm}^2 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ λαμβάνονται $4\phi 16$ ($=8,04\text{cm}^2$).

Συνδετήρες $\phi 6/18$.

Επικάλυψη $1,5\text{cm}$.



Παρατήρηση

* Έπειδή η απόσταση των ράβδων του όπλισμού κατά την μία διάσταση είναι μεγαλύτερη των 30cm , τοποθετούνται στην μέση $2\phi 14$.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΜΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗ ΟΠΛΙΣΜΟ

ΑΣΚΗΣΗ 9

α. Νά υπολογισθούν οι αναγκαίοι όπλισμοί κυκλικού υποστυλώματος, διαμέτρου $D=40\text{cm}$ ώστε νά μπορέ νά φέρη φορτίο $P=120\text{t}$.

β. Νά υπολογισθῇ επίσης τό υποστύλωμα καί γιά φορτίο $P=160\text{t}$. Δίνονται: Ύψος υποστυλώματος $h=6,00\text{m}$. Ύλινά B300, St III.

Λύση

α. Γιά κυκλικό υποστύλωμα μέ σπειροειδείς συνδετήρες πρέ-

$$\omega \cdot P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} \left(1 + \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu + 2,5 \frac{\beta'_s}{\beta_p} \mu_s \right) \quad (1)$$

$$h_k = h_s = 6,00\text{m}.$$

$$D_k = D - \theta = 40 - 4,5 = 35,5\text{cm}.$$

$$\lambda' = \frac{h_k}{D_k} = \frac{6,00}{0,355} = 16,9 \Rightarrow \text{άπ'τόν πίνακα 4: } \omega=1,29.$$

$$F_k = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} = \frac{\pi \cdot 35,5^2}{4} = 989,3 \text{ cm}^2$$

Εκλέγεται ποσοστό διαμήκη όπλισμοῦ $\mu=1\%$ (ἐπειδὴ ἡ συμβολή του εἶναι γενικά περιορισμένη).

$$\text{Εἶναι } \beta_p = 0,24 \text{ t/cm}^2 \text{ (B300) καὶ } \beta_s = \beta'_s = 4,2 \text{ t/cm}^2 \text{ (StIII).}$$

Ἡ (1) γίνεταί:

$$1,29 \times 120 \leq \frac{989,3 \times 0,24}{3} (1 + 0,01 \frac{4,2}{0,24} + 2,5 \frac{4,2}{0,24} \mu_s)$$

$$0,7121 \leq 43,75 \mu_s \Rightarrow \mu_s \geq 0,0179$$

Λαμβάνεται $\mu_s = 1,8\%$.

$$\text{Ἄρα } F_e = \mu \cdot F_k = 0,01 \times 989,3 = 9,89 \text{ cm}^2$$

Λαμβάνονται $7\phi 14$ ($=10,78 \text{ cm}^2$)

$$F_s = \mu_s \cdot F_k = 0,018 \times 989,3 = 17,81 \text{ cm}^2$$

$$\frac{f_e}{s} = \frac{F_s}{\pi \cdot D_k} = \frac{17,81}{\pi \cdot 35,5} = 0,160$$

Εκλέγεται σπειρα $\phi 10$ ($=0,79 \text{ cm}^2$)

$$S = \frac{0,79}{0,160} = 4,94 \text{ cm} \Rightarrow \text{ἐκλέγεται } S = 5,0 \text{ cm} < \min\left(\frac{D_k}{5}, 8\right) = 7,1 \text{ cm.}$$

Επικάλυψη $t=2,0 \text{ cm}$

$$\text{Ἰσχύει ὁ περιορισμὸς } \frac{F_s}{F_e} = \frac{17,81}{10,78} = 1,65 < 3.$$

β. Γιὰ $P=160 \text{ t}$ καὶ $\mu=2\%$ ἡ (1) γίνεταί:

$$1,29 \times 160 \leq \frac{989,3 \times 0,24}{3} (1 + \frac{4,2}{0,24} \times 0,02 + 2,5 \frac{4,2}{0,24} \mu_s) \Rightarrow$$

$$1,258 \leq 43,75 \mu_s \Rightarrow$$

$$\mu_s \geq 0,0288$$

$$F_s = \mu_s F_k = 0,0288 \times 989,3 = 28,49 \text{ cm}^2$$

$$\frac{f_e}{s} = \frac{F_s}{\pi \cdot D_k} = \frac{28,49}{\pi \times 3,55} = 0,256$$

Εκλέγεται σπειρα διατομῆς $\phi 14$ ($=1,54 \text{ cm}^2$).

$$\text{Ἄρα } \frac{1,54}{s} = 0,256 \Rightarrow S = 6,02 \text{ cm}$$

$$\text{Λαμβάνεται } S = 6,0 \text{ cm} < \min\left(\frac{D_k}{5}, 8\right) = 7,1 \text{ cm}$$

$$F_e = \mu \cdot F_k = 0,02 \times 989,3 = 19,80 \text{ cm}^2$$

Εκλέγονται 14Ø14 ($=21,56 \text{ cm}^2$)

Επικάλυψη $t=2,0 \text{ cm}$.

Ίσχύει καί εδώ $\frac{F_s}{F_e} < 3$ διότι $\frac{F_s}{F_e} = \frac{27,16}{21,56} = 1,26$

Παρατήρηση

* Κανονικά για οικονομική λύση λαμβάνεται $\mu=1\%$ καί βρίσκεται τό μ_s . Τότε όμως προκύπτει $\mu_s > 3\%$ όποτε δέν ισχύει ή συνθήκη $\frac{F_s}{F_e} = \frac{\mu_s}{\mu} < 3\%$.

Αν βρισκόταν ή μικρότερη τιμή τοῦ μ ώστε νά ικανοποιήται ή συνθήκη $\frac{\mu_s}{\mu} = 3$ θά βρισκόταν πάλι $\mu_s > 3\%$ καί $\mu < 2\%$ καί θά χρειαζόταν ό έλεγχος ε. τῆς §2.2.2 πού δέν θά έπαληθευόταν.

ΑΣΚΗΣΗ 10

Κυκλικό υποστύλωμα ύψους $h=8,0 \text{ m}$ προορίζεται νά φέρη φορτίο $P=250 \text{ t}$. Για λειτουργικούς καί αίσθητικούς λόγους όφείλει νά έχη τήν μικρότερη δυνατή διάμετρο. Νά υπολογισθῇ τό υποστύλωμα. Υλικά B225, StIII.

Λύση

Γιά νά έχη τό υποστύλωμα τήν έλάχιστη δυνατή διάμετρο πρέπει νά έξαντληθοῦν τά έπιτρεπόμενα ποσοστά όπλισμοῦ.

Γιά τό ποσοστό μ τοῦ διαμήκη όπλισμοῦ δέν υπάρχει κανένας περιορισμός καί γι'αυτό λαμβάνεται $\mu=6\%$.

Τό ποσοστό τοῦ σπειροειδοῦ όπλισμοῦ μ_s έξαρτάται βασικά άπ'τήν συνθήκη ε τῆς §2.2.2. Για νά ικανοποιήται αύτή ή συνθήκη άρκεῖ νά ισχύη ή σχέση.

$$2,5 \frac{\beta'_s}{\beta_p} \cdot \mu_s \leq 1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p} \quad (4)$$

άν βέβαια ή τιμή τοῦ μ_s πού προκύπτει άπό τήν έξίσωση (4) εἶναι $\mu_s > 3\%$, γιατί, για $\mu_s < 3\%$, δέν χρειάζεται νά ισχύη ή συνθήκη (4).

- Η συνθήκη $\frac{F_s}{F_e} = \frac{\mu_s}{\mu} < 3$ για $\mu=6\%$ ικανοποιεῖται πάντα.

$$B225 \Rightarrow \beta_p = 0,195 \text{ t/cm}^2 \text{ και } StIII \Rightarrow \beta_s = \beta'_s = 4,2 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{"Αρα η (4) δίνει } 2,5 \frac{4,2}{0,195} \mu_s \leq 1 + 0,06 \frac{4,2}{0,195} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu_s \leq 0,0426$$

$$\text{Λαμβάνεται } \mu_s = 4,25\% \text{ και } \mu = 6\%.$$

$$\text{"Αρα από την (1) } \Rightarrow \omega \cdot 250 \leq \frac{\pi D_k^2}{4} \times \frac{0,195}{3} (1 + 0,06 \frac{4,2}{0,195} +$$

$$+ 2,5 \frac{4,2}{0,195} \times 0,0425) \Rightarrow D_k^2 \geq 1.069,59 \cdot \omega \Rightarrow D_k \geq 32,70 \cdot \omega$$

$$\text{Γιὰ } \omega = 1,00 \Rightarrow D_k = 32,70, \lambda' = \frac{8,00}{0,327} = 24,5 \Rightarrow \omega = 1,95$$

$$\text{Γιὰ } \omega = \frac{1+1,95}{2} \cong 1,48 \Rightarrow D_k = 39,8 \text{ cm}, \lambda' = \frac{8,00}{0,398} = 20,1 \Rightarrow \omega = 1,51$$

$$\text{Γιὰ } \omega = \frac{1,48+1,51}{2} \cong 1,50 \Rightarrow D_k = 40,0 \text{ cm}, \lambda' = \frac{8,00}{0,400} = 20,0 \Rightarrow \omega = 1,50$$

$$\text{"Αρα } D_k = 40 \text{ cm και } D = D_k + \Theta = 40 + 4,5 = \underline{44,5 \text{ cm}}$$

Όπλισμός

$$F_k = \frac{\pi D_k^2}{4} = 1256 \text{ cm}^2, F_e = \mu \cdot F_k = 0,06 \times 1256 = 75,36 \text{ cm}^2$$

$$\text{Λαμβάνονται } 24\emptyset 20 (=75,36 \text{ cm}^2)$$

$$F_s = \mu_s \cdot F_k = 0,0425 \times 1256 = 53,38 \text{ cm}^2$$

$$\frac{f_e}{S} = \frac{F_s}{\pi \cdot D_k} = \frac{53,38}{\pi \cdot 40} = 0,425$$

$$\text{"Εκλέγεται σπείρα } \emptyset 16 (=2,01 \text{ cm}^2) \text{ οπότε } S = \frac{2,01}{0,425} = 4,73 \text{ cm}$$

$$\text{Λαμβάνονται } f_e = \emptyset 16, S = 4,7 \text{ cm}$$

Έλεγχος

$$\text{Είναι } S = 4,7 \text{ cm} < (\frac{D_k}{5}, 8) = 8 \text{ cm}$$

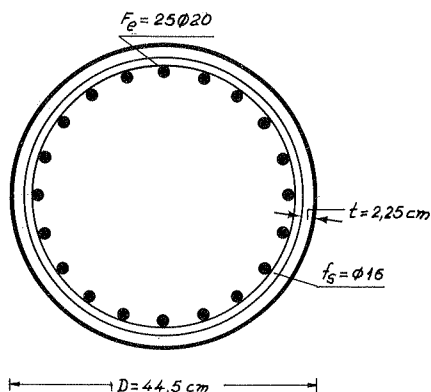
Επειδή στον υπολογισμό δεν λάβαμε υπ' όψη τό ίδιο βάρος του υποστυλώματος και επειδή έχουν εξαντληθεί τα περιθώρια των όπλισμών, θά χρησιμοποιηθεί πρόσθετος διαμήκης όπλισμός.

$$\text{Είναι: } G = 8,0 \cdot \pi \cdot \frac{0,445^2}{4} \times 2,4 = 3,0 \text{ t} \Rightarrow F_e^{\text{προσθ.}} = \frac{3,0}{\frac{4,2}{3}} = 2,14 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e^{\text{προσθ.}} = 1\emptyset 20 (=3,14 \text{ cm}^2).$$

Οπότε συνολικά $F_e = 25\phi 20$.

Φυσικά τό ποσοστό του διαμήκη όπλισμοϋ ξεπερνά τώρα τό επμ=6%, αλλά ή διαφορά είναι πολύ μικρή,ώστε νά μή λαμβάνεται ύπ' όψη.



Παρατήρηση

α

* Η σύγκληση στό ω γίνεται γρηγορώτερα όταν λαμβάνεται $\omega_{i+1} = \frac{\omega_i - 1 + \omega_i}{2}$

ΑΣΚΗΣΗ II

Νά υπολογισθ ή τό μεγαλύτερο δυνατό φορτίο πού μπορεί νά αναλάβη κυκλικό υποστύλωμα ύψους $h=5,0m$ καί διαμέτρου $D=50cm$.

α. Για τήν περίπτωση κοινών συνδετήρων μέ $\mu=6\%$.

β. Για τήν περίπτωση σπειροειδ ή όπλισμοϋ μέ όλικό όπλισμό $(\mu + \mu_s)$ τόσο όσο προκύπτει άπ' τήν (α) περίπτωση.

γ. Για τήν περίπτωση σπειροειδ ή όπλισμοϋ μέ τόν μεγαλύτερο δυνατό έπιτρεπόμενο όπλισμό. Υλικά: B225, StIII.

Λύση

α. Άπ' τήν σχέση $\omega \cdot P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{F_b \cdot \beta_p}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p})$ (1)

Υπολογίζεται τό $P_{\lambda \epsilon \iota \tau}$.

$$h_k = h_s = 5,0, \quad \lambda' = \frac{h_k}{D} = \frac{5,0}{0,50} = 10,0 \Rightarrow \omega = 1,00$$

$$F_b = \frac{\pi D^2}{4} = 1962,5 \text{ cm}^2$$

$$\beta_p = 0,195 \text{ t/cm}^2 \text{ (B225)} \quad \& \quad \beta_s = 4,2 \text{ t/cm}^2 \text{ (stIII)}$$

$$\begin{aligned} \text{Άπ' τήν (1) λοιπόν} \Rightarrow 1,00 P_{\lambda \epsilon \iota \tau} &\leq \frac{1962,5 \times 0,195}{3} (1 + \\ &+ 0,06 \times \frac{4,2}{0,195}) \Rightarrow P_{\lambda \epsilon \iota \tau} = 292 \text{ t.} \end{aligned}$$

$$F_e = 0,06 \times 1962,5 = 117,75 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 38\phi 20 \text{ (119,32 cm}^2\text{)}$$

Συνδετήρες $\phi 6/20$, επικάλυψη $t=1,5 \text{ cm}$.

Παρατήρηση

* Ελέγχεται αν μπορούν να μπουν τὰ 38Ø20 σέ μιά κυκλική σειρά μέ ά- πόσταση 2 cm μεταξύ τους.

Απαιτείται κυκλική περίμετρος: $38 \times 2,0 + 38 \times 2,0 = 152,0 \text{ cm}$.

Η περίμετρος όμως τοῦ κυκλικοῦ υποστυλώματος είναι $\pi(50-2 \times 3)=138,2 \text{ cm} < 152,0$.

Γι' αυτό τοποθετούνται όρισμένες ράβδοι σέ δεύτερη σειρά.

β. Τό μεγαλύτερο δυνατό φορτίο θά υπολογισθῇ άπ' τήν έξι-
σωση $\omega P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{F_k \cdot \beta_p}{3} (1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p} + 2,5 \frac{\beta_s}{\beta_p} \mu_s) \quad (2)$

όπου $D_k = 45 \text{ cm}$, $\lambda' = \frac{5,0}{0,45} = 11,1 \Rightarrow \omega = 1,034$

$$F_k = \frac{\pi \cdot 45^2}{4} = 1589,63 \text{ cm}^2$$

Ό όλικός όπλισμός $(\mu + \mu_s) F_k$ πρέπει νά είναι ἴσος μέ τόν όπλισμό στήν α περίπτωση, δηλαδή $(\mu + \mu_s) F_k = 119,32 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mu + \mu_s = 0,075$.

Γενικά είναι συμφέρον νά λαμβάνεται όσο τό δυνατό με-
γαλύτερο ποσοστό σπειροειδῆ όπλισμοῦ μ_s .

Πρέπει νά ικανοποιούνται καί όρισμένες συνθήκες:

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon. \text{ § 2.2.2 } \Rightarrow 2,5 \frac{\beta_s}{\beta_p} \cdot \mu_s \leq 1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p} \\ \gamma. \text{ § 2.2.2 } \Rightarrow \frac{\mu_s}{\mu} < 3 \\ \text{έπίσης} \quad \mu + \mu_s = 0,075 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \mu_s \leq 0,035 \\ \mu_s \leq 0,56 \\ \mu + \mu_s = 0,075 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ λαμβάνεται $\mu_s = 0,035$ καί $\mu = 0,04$.

Άπ' τήν σχέση (1) $\Rightarrow$

$$1,034 P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{1589,63 \times 0,195}{3} (1 + 0,04 \times \frac{4,2}{0,195} + 2,5 \frac{4,2}{0,195} \times 0,035) \Rightarrow$$

$$P_{\lambda \epsilon \iota \tau} = 374 \text{ t.}$$

$$F_e = \mu \cdot F_k = 0,04 \times 1589,63 = 63,58 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 21 \text{ Ø} 20$$

$$F_s = \mu_s \cdot F_k = 0,035 \times 1589,63 = 55,63 \text{ cm}^2$$

$$\frac{f_e}{S} = \frac{F_s}{\pi \cdot D_k} = \frac{55,63}{3,14 \times 45} = 0,39$$

Λαμβάνεται σπείρα $\emptyset 16$ ($=2,01 \text{ cm}^2$). Άρα $S=5,15 \text{ cm}$

Τελικά σπείρα $\emptyset 16$ και $S=5,20 \text{ cm} \leq \min \left(\frac{D_k}{5}, 8 \right) = 8$.

γ. Όπως προκύπτει από την άσκ. 10 πρέπει $\mu=0,06$ και

$$2,5 \mu_s \frac{4,2}{0,195} \leq 1 + 0,06 \times \frac{4,2}{0,195} \Rightarrow \mu_s \leq 0,0426.$$

Λαμβάνεται $\mu=6\%$ και $\mu_s=4,25\%$.

$$(1) \quad 1,034 P_{\lambda \epsilon \iota \tau} \leq \frac{1589,63 \times 0,195}{3} \left(1 + 0,06 \times \frac{4,2}{0,195} + 0,0425 \times \frac{4,2}{0,195} \times 2,5 \right)$$

$$\Rightarrow P_{\lambda \epsilon \iota \tau} = 458 \text{ t.}$$

$$F = \mu \cdot F_k = 0,06 \times 1589,63 = 95,38 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 31 \emptyset 20 \quad (97,34 \text{ cm}^2)$$

$$F_s = \mu_s \cdot F_k = 0,0425 \times 1589,63 = 67,56 \text{ cm}^2$$

Εκλέγεται σπείρα $\emptyset 16$ ($=2,01 \text{ cm}^2$)

$$\frac{f_e}{S} = \frac{F_s}{\pi \cdot D_k} \Rightarrow S = \frac{2,01 \times \pi \times 45}{67,56} = 4,2 \text{ cm}$$

Σπείρα $\emptyset 16$, $S=4,2 \text{ cm} \leq \min \left(\frac{D_k}{5}, 8 \right) = 8 \text{ cm}$.

Απαιτούμενη περίμετρος για να χωράει ο όπλισμός:

$$2 \times 31 + 2 \times 31 = 124 \text{ cm.}$$

Υπάρχει $\pi(43,4-2,0)=130 > 124$ Άρα μπορούν να μπουν σε μία σειρά.

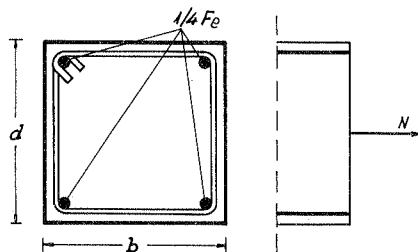
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΤΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

1. ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

1.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Ἡ ἀκολουθοῦμενη μέθοδος δέν εἶναι αὐτή τῆς θραύσης, ἀλλά μιὰ μέθοδος ποῦ στηρίζεται στίς ἐπιτρεπόμενες τάσεις. Δηλαδή γίνεται προσπάθεια ὥστε οἱ τάσεις τῶν ὑλικῶν νά βρίσκωνται κάτω ἀπό ὁρισμένες τιμές, τίς ἐπιτρεπόμενες.



1.2. ΧΩΡΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Προτιμᾶται νά ἀναλαμβάνη ὁ ὀπλισμός τήν ἐφελκυστική δύναμη, ἐνῶ τό σκυρόδεμα θά ἔχη σκοπό νά καλύψη τόν ὀπλισμό. Ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός ὑπολογίζεται ἀπ' τήν σχέση $F_e = \frac{N}{\epsilon \sigma_e}$ (1). Οἱ ἐπιτρεπόμενες τάσεις τῶν διαφόρων ποιότητων χάλυβα εἶναι:

Ποιότητα χάλυβα	St I	St II	StIII & IV
$\epsilon \sigma_e$ (t/cm ²)	1,400	1,800	2,400

1.3. ΧΩΡΙΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Πολλές φορές πρέπει νά περιορίζεται ἡ ρηγμάτωση ὅπως π.χ. σέ δεξαμενές ὑγρῶν. Τότε πρέπει ἡ διατομή νά ἐργάζεται σέ στάδιο I (βλέπε κεφάλαιο III).

Ἡ ἰδεατή διατομή εἶναι $F_i = F_b + (n-1)F_e$ ὅπου $n=10$ (γιά

τόν συμβιβασμό τών παραμορφώσεων). Τό -1 μπαίνει στόν υπολογισμό έπειδή αφαιρείται ο χώρος του όπλισμοϋ από τό F_b .

$$\text{Πρέπει νά είναι } N = \epsilon\sigma_{bz} [F_b + (n-1)F_e] \quad (2) \quad (n=10).$$

Ο όπλισμός F_e υπολογίζεται από τήν σχέση (1) ώστε ή διατομή νά δουλεύη μέ ασφάλεια ακόμη καί στήν περίπτωση πού τό σκυρόδεμα θά ρηγματωθῇ.

Όποτε ή αναγκαία διατομή του σκυροδέματος προκύπτει από τήν έξίσωση (2).

$$F_b = \frac{N}{\epsilon\sigma_{bz}} - (n-1)F_e \quad (3)$$

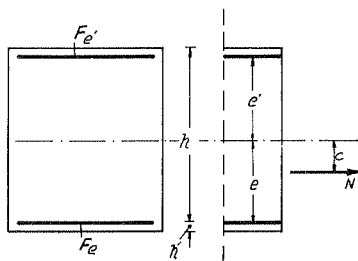
Οι έφελκυστικές άντοχές του σκυροδέματος από τόν κανονισμό είναι $\epsilon\sigma_{bz} = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{12} \right) \beta_{bD}$

Ποιότητα σκυροδέματος	B160	B225	B300
$\epsilon\sigma_{bz}$ (t/cm ²)	0,012	0,016	0,020

Πάντως για νά υπάρχει όσο τό δυνατό μικρότερη ρηγμάτωση πρέπει νά ληφθοϋν υπ'όψη οι πιο κάτω παράγοντες πού εύνοοϋν τήν περιορισμένη ρηγμάτωση.

- α. Μεγάλη άντοχή σκυροδέματος.
- β. Μικρό ποσοστό όπλισμοϋ.
- γ. Μικρή διάμετρος ράβδων όπλισμοϋ.
- δ. Ράβδοι όπλισμοϋ μέ νευρώσεις.

2. ΕΚΚΕΝΤΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ



Γιά νά υπάρχει ίσορροπία τών έφελκυστικών δυνάμεων τών όπλισμών μέ τήν έκκεντρότητα c τῆς έφελκυσουσας δύναμης τοποθετείται όπλισμός:

$$F_e = \frac{N(e' + c)}{\epsilon\sigma_e(h - h')} \quad \text{καί}$$

$$F_e' = \frac{N(e - c)}{\epsilon\sigma_e(h - h')}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

43

ΑΣΚΗΣΗ 12

Άναρτήρας εξώστου στο έσωτερικό καταστήματος πρόκειται να φέρη φορτίο $N=32,0t$. Νά υπολογισθή ο άναρτήρας.

Υλικά: B225, StIII.

Λύση

1. Έπειδή η κατασκευή βρίσκεται στο έσωτερικό ξηρού χώρου δέν ένοχλεί ή ρηγμάτωση του σκυροδέματος άρα έκ της (1) $\Rightarrow$
 $\Rightarrow F_e = \frac{N}{\epsilon\sigma_e} = \frac{32}{2,4} = 13,3cm^2$.

Λαμβάνονται $8\phi 16$ ($=16,08cm^2$).

Λαμβάνεται διατομή σκυροδέματος 15×15 .

Άπ'τόν πίνακα 7 φαίνεται ότι χωρούν άνετα τά σίδερα.

Άν ληφθούν $F_e=4\phi 22$ ($15,21cm^2$) δυνατό νά χρησιμοποιηθή καί διάσταση 10×10 .

2. Άν άπαιτήται διατομή χωρίς ρηγμάτωση:

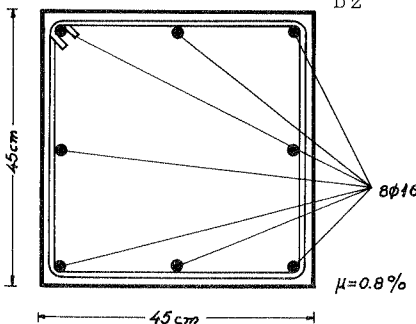
Λαμβάνονται $F_e=8\phi 16$ ($16,08cm^2$).

$$(2) \Rightarrow F_b = \frac{N}{\epsilon\sigma_{bz}} - (n-1)F_e = \frac{32,0}{0,016} - (10-1)16,08 = 1855,28cm^2$$

Γιά τετραγωνική διατομή $b = \sqrt{F_b} = 43,07cm$. Διατομή 45×45 .

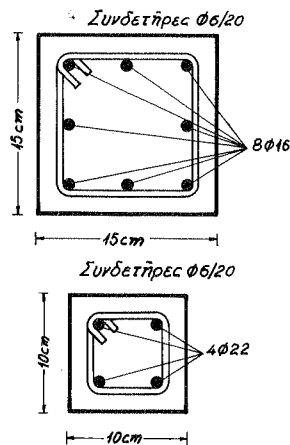
Γιά διατομή χωρίς ρηγμάτωση καί μέ μικρότερες διαστάσεις λαμβάνεται περισσότερος όπλισμός π.χ. $8\phi 20$ ($=25,13cm^2$).

$$(2) \Rightarrow F_b = \frac{32,0}{0,016} - (10-1) \times 25,13 =$$



$$= 1773,8 \Rightarrow b = \sqrt{F_b} = 42,12$$

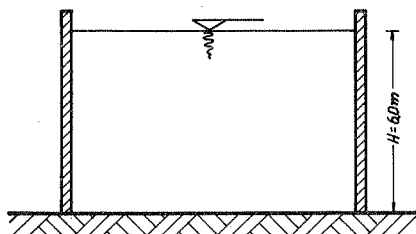
Παρατηρείται λοιπόν ότι μέ την αύξηση του όπλισμού ή άπαιτούμενη διατομή σκυροδέματος μεταβάλλεται πολύ λίγο.



ΑΣΚΗΣΗ 13

Νά υπολογισθῇ τὸ ἀναγκαῖο πάχος τοῦ τοιχώματος κυλινδρικής δεξαμενῆς νεροῦ ποῦ ἐδράζεται ἐλεύθερα (βλ. σχῆμα).

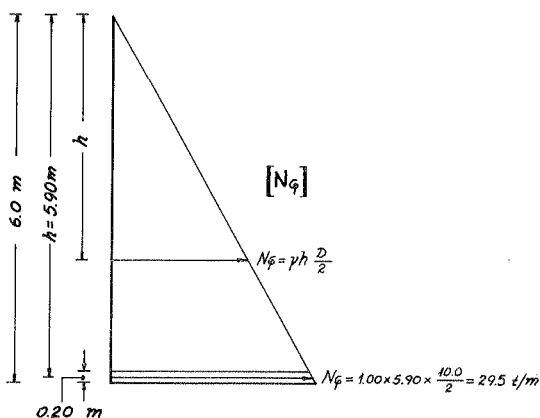
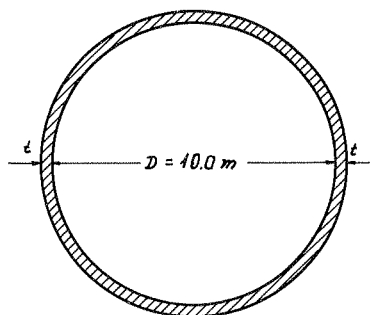
Ὑλικά B160 StI.



Λύση

1. Στατική ἐπίλυση

Εἶναι περίπτωση κυλινδρικοῦ κέλυφους μέ ἐσωτερική πίεση, ὅπου ἡ ἐνταση εἶναι ἓνας περιμετρικός ἐφελκυσμός. Τὸ διάγραμμα τῆς ἀξονικῆς δύναμης N_φ φαίνεται στὸ σχῆμα.



Λαμβάνεται μία ζώνη ὕψους $0,20\text{m}$ πάνω ἀπ'τὸν πυθμένα. Ἡ μέση δύναμη ποῦ ἀσκεῖται στὴν ζώνη διαστάσεων $0,20.\text{t}$ εἶναι $N=29,5 \times 0,20=5,90\text{t}$.

2. 'Απαιτούμενο πάχος

'Επειδή πρόκειται για δεξαμενή δεν πρέπει να υπάρχει ρηγμάτωση στο σκυρόδεμα για να μη διαρρέη το νερό και διαβρώνει τον όπλισμό.

$$(1) \Rightarrow F_e = \frac{N}{\sigma_e} = \frac{5,90}{1,40} = 4,21 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 12 (=4,52 \text{ cm}^2) \text{ που}$$

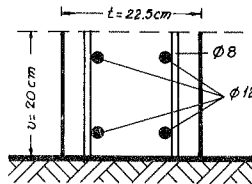
μπαίνουν κυκλικά.

$$(2) \Rightarrow F_b = \frac{N}{\epsilon \sigma_{bz}} - (n-1) F_e = \frac{5,90}{0,012} - (10-1) \times 4,52 = 451,0.$$

$$20 \times t = 451,0 \Rightarrow t = 22,5 \text{ cm}.$$

3. 'Οπλισμός

Είναι φανερό ότι ο απαιτούμενος όπλισμός ελαττώνεται προς τα πάνω. Γι'αυτό θα λαμβάνονται ζώνες κάθε 0,20m ή 0,50 m. Για να μη υπάρχουν μεγάλες αποστάσεις στις ράβδους του όπλισμού, προς τα πάνω θα χρησιμοποιούνται ράβδοι μικρότερης διατομής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

ΚΑΜΠΤΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

(ΣΤΑΔΙΟ Ι)

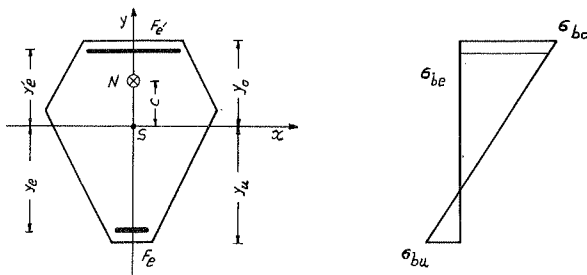
1. ΓΕΝΙΚΑ

Όταν ένα στοιχείο από όπλισμένο σκυρόδεμα κάμπτεται, παρουσιάζονται θλιπτικές ή έφελκυστικές τάσεις τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στον όπλισμό. Όταν οι έμφανιζόμενες έφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα είναι μικρότερες των έπιτρεπομένων για την κάθε μιά ποιότητα του σκυροδέματος ή καμπτόμενη διατομή είναι χωρίς ρηγμάτωση. Σ'αυτή την περίπτωση ισχύουν οι σχέσεις της τεχνικής μηχανικής. Για να κάμπτεται με ασφάλεια ή διατομή σε στάδιο Ι πρέπει να ισχύουν δυό σχέσεις:

1. Η μεγαλύτερη τάση θλίψης να είναι μικρότερη της έπιτρεπόμενης τάσης σε θλίψη.
2. Η τάση έφελκυσμού να είναι μικρότερη από τό $1/4$ της τάσης σε θλίψη που έμφανίζεται σύγχρονα.

Η δεύτερη αυτή συνθήκη εξασφαλίζει την συνθήκη της διατομής χωρίς ρηγμάτωση ανεξάρτητα της ποιότητας του σκυροδέματος.

2. ΤΥΧΟΥΣΑ ΔΙΑΤΟΜΗ



Ἡ διατομή συμπεριφέρεται σάν μιὰ ὁμογενῆς ἰδεατὴ διατομή μέ στοιχεῖα F_i καί I_i .

Πορεία ὑπολογισμοῦ

2.1. Γεωμετρικά στοιχεῖα

Βρίσκονται μέ τή σειρά:

Τά στοιχεῖα F_b , I_b τῆς διατομῆς τοῦ σκυροδέματος.

Τό ἐμβαδὸ $F_i = F_b + \eta F'_e + \eta F''_e$ τῆς ἰδεατῆς διατομῆς. Τό κέντρο βάρους τῆς ἰδεατῆς διατομῆς καί οἱ ἀποστάσεις y_e, y'_e, y_o, y_u .

Ἡ ροπή ἀδρανείας $I_i = I_b + \eta \cdot F_e \cdot y_e^2 + \eta \cdot F'_e \cdot y_e'^2$ τῆς ἰδεατῆς διατομῆς, ὅπου η εἶναι ὁ λόγος τῶν μέτρων ἐλαστικότητος χάλυβα καί σκυροδέματος.

2.2. Τάσεις σκυροδέματος :

Ἄν N εἶναι ἡ θλιπτική δύναμη καί c ἡ ἐκκεντρότητα τῆς, δηλαδή $M = N \cdot c$ τότε εἶναι :

$$\sigma_{bo} = - \frac{N}{F_i} - \frac{M}{I_i} y_o$$

$$\sigma_{bu} = - \frac{N}{F_i} + \frac{M}{I_i} y_u$$

$$\begin{aligned} \text{Γίνεται ἔλεγχος ἂν } |\sigma_{bo}| < \epsilon \sigma_{bD} \\ \text{καί } \sigma_{bu} < \frac{1}{4} |\sigma_{bo}| \end{aligned}$$

Παρατήρηση

★ Ὅταν ἀναφέρεται ροπή M ἐννοεῖται ροπή ὀφειλόμενη σέ κατασκευαστική αἰτία π.χ. ἐκκεντρότητα c ἢ σέ ἄλλη αἰτία π.χ. πλαισιακὴ λειτουργία.

2.3. Τάσεις χάλυβα

Σέ ὁποιαδήποτε θέση τῆς διατομῆς ὑπάρχει ὀπλισμός, ἡ τάση του εἶναι $\sigma_e = \eta \cdot \sigma_{be}$ ὅπου σ_{be} εἶναι ἡ τάση τοῦ σκυροδέματος στήν θέση τοῦ ὀπλισμοῦ.

Εἶναι πάντοτε $\sigma_{be} < \sigma_{bo} \leq \epsilon \sigma_{bD}$ (βλέπε σχῆμα τάσεων).

Ἄρα $\max \sigma_e (= \eta \sigma_{be}) < \eta \cdot \epsilon \sigma_{bD}$

"Αρα εκτός απ'τήν περίπτωση πού χρησιμοποιούνται υλικά B300 καί StI όπου θά γίνεται έλεγχος τής τάσης του θλιβόμενου χάλυβα, δέν θά ελέγχεται ή τάση του χάλυβα.

Γιά τόν έφελκυσμένο χάλυβα δέν υπάρχει κανένα πρόβλημα γιά οποιοδήποτε συνδυασμό υλικών.

2.4. Έμφανιζόμενα προβλήματα

"Αν δίνονται ή διατομή καί ο όπλισμός, ή πορεία είναι αώ-
τή πού αναπτύχθηκε πρίν."Αν δέν δίνεται ή διατομή ή ο όπλι-
σμός ή καί τά δυό ή λύση θά γίνεται δοκιμαστικά, δηλαδή θά
προεκτιμούνται οί διατομές καί θά γίνεται ο έλεγχος, λαμβά-
νοντας υπ'όψη καί τούς κανονισμούς (§6).

3. ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

3.1. ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

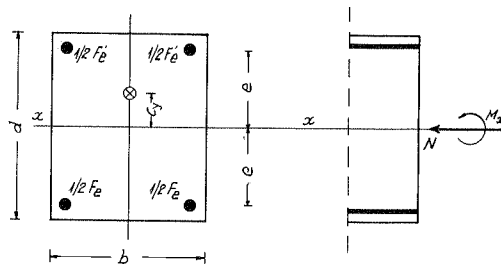
Στήν περίπτωση τής όρθογωνικής διατομής τό πρόβλημα έ-
χει δοθῇ σέ πίνακα καί μάλιστα είναι δυνατό εκτός απ'τόν έ-
λεγχο (όταν δίνονται οί διατομές) νά λυθῇ καί τό πρόβλημα αν-
τίστροφα χωρίς δοκιμές.

Τά παρουσιαζόμενα προβλήματα είναι:

3.1.1. "Δίνονται όλα τά στοιχεία τής διατομής καί ζητεῖται ο
έλεγχος τής διατομής".

1. Υπολογίζεται ή άνη-
γμένη έκκεντρότητα $\gamma = \frac{c_y}{d} =$
 $= \frac{M_x}{N \cdot d}$, πού πρέπει νά εῖ-
ναι $\leq 0,35$ (Γιά νά ισχύη
τό στάδιο I).

2. Υπολογίζεται ο λό-
γος $\frac{e}{d}$ καί απ'αυτόν εκλέ-
γεται ο πίνακας 8 ή πίνα-
κας 9.



3. Υπολογίζονται τά ποσοστά $100\mu_o = \frac{100F_e}{b \cdot d}$ και $100\mu'_o = \frac{100F'_e}{b \cdot d}$.
 "Αν είναι $\mu_o = \mu'_o$ εκλέγεται ο πίνακας 8α ή ο πίνακας 9α..

"Αν είναι $\mu_o = 0,004$ και $\mu'_o > 0,004$ εκλέγεται ο πίνακας 8β ή ο πίνακας 9β.

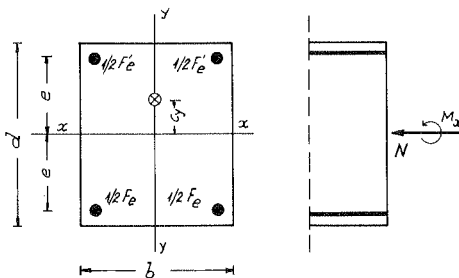
Προσοχή όμως να μή ξεπερασθῇ ἡ κλίμακα $\sigma_{bZ} = -0,256\sigma_{bD}$ (ἡ τό ἕδιο, τιμές τοῦ $1000\gamma \geq 350$).

4. Ἀπ'τόν κατάλληλο πίνακα καί σέ συνάρτηση μέ τό ζευγος $(1000\gamma, 100\mu'_o)$ βρίσκεται ὁ λόγος $\lambda = \frac{\sigma_b}{\sigma_o}$ (ἡ πρώτη ὀριζόντια γραμμή).

Ἡ τάση θλίψης τοῦ σκυροδέματος εἶναι $\sigma_b = \lambda \frac{N}{b \cdot d}$.

Ἐλέγχεται ἂν εἶναι $\sigma_b < \epsilon\sigma_{bD}$. "Αν $\sigma_b > \epsilon\sigma_{bD}$ χρειάζεται ἀλλαγὴ διατομῆς ἢ ὀπλισμοῦ.

3.1.2. "Δίνονται οἱ διαστάσεις τοῦ στοιχείου καί ζητεῖται ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός".



1. Υπολογίζεται ἡ ἀνηγμένη ἐκκεντρότητα $\gamma = \frac{c \cdot y}{d} = \frac{M_x}{N \cdot d}$ (πρέπει $\gamma \leq 0,35$).

2. Ἐκλέγεται ἡ θέση τῶν ὀπλισμῶν καί ὑπολογίζεται ὁ λόγος $\frac{e}{d}$ καί ἀπ'αὐτόν ἐκλέγεται ὁ πίνακας 8 ἢ ὁ πίνακας 9.

3. Υπολογίζεται ὁ λόγος $\lambda = \frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\sigma_o} = \frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\frac{N}{b \cdot d}}$.

Λαμβάνεται $\mu_o = 0,004$ ἂν πρόκειται γιά ροπή μόνιμης φορᾶς καί $\mu_o = \mu'_o$ ἂν πρόκειται γιά ροπή ἐναλλασσόμενης φορᾶς.

Ἀπ'τόν κατάλληλο πίνακα καί γιά τό ζευγος $(1000\gamma, \frac{\epsilon\sigma_b}{\sigma_o})$ βρίσκεται τό ποσοστό $100\mu'_o$ (πρέπει $\mu'_o \geq 0,004$, βλέπε §6.1).

3.2. ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Εἶναι ἡ περίπτωση κάμψης κατά δύο διευθύνσεις.

Τό πρόβλημα λύνεται μέ πίνακες γιά ὀρθογωνική διατομή.

όπως στις δυό προηγούμενες περιπτώσεις μόνο πού $\gamma = \frac{c_y}{d} + \frac{c_x}{b} = \frac{M_x}{N \cdot d} + \frac{M_y}{N \cdot b} \leq 0,450$.

Εκλέγεται ο πίνακας 8α ή ο πίνακας 9α ανάλογα αν $\frac{e}{d} \approx 0,40$ ή $\frac{e}{d} \approx 0,45$ (έδω πάντα $\mu_0 = \mu'_0$).

4. ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Έμφανιζόμενα προβλήματα.

4. 1. "Δίνονται οι διαστάσεις και ο όπλισμός και ζητείται ο έλεγχος της διατομής".

1. Υπολογίζεται η άνηγμένη έκκεντρότητα $\gamma = \frac{c}{r} = \frac{M}{N \cdot r}$ πού όφείλει να είναι $\leq 0,450$ για να ισχύη τό στάδιο I.

2. Υπολογίζεται η ποσότητα $100\mu_0 = \frac{100F_e}{\pi r^2}$ και βρίσκεται ο λόγος r_e/r .

3. Από τον πίνακα 10 και για τό ζεύγος (1000γ, 100μ₀) βρίσκεται ο λόγος $\lambda = \frac{\sigma_b}{\sigma_0}$ (ή πρώτη όριζόντια γραμμή) όποτε $\sigma_b = \lambda \frac{N}{\pi r^2}$. Ελέγχεται αν $\sigma_b < \epsilon\sigma_{bD}$.

Αν είναι $\sigma_b > \epsilon\sigma_{bD}$ χρειάζεται αλλαγή διαστάσεων ή όπλισμού.

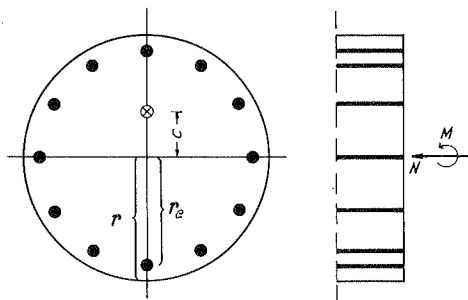
4.2. "Δίνονται οι διαστάσεις της διατομής και ζητείται ο όπλισμός".

1. Υπολογίζεται η άνηγμένη έκκεντρότητα $\gamma = \frac{c}{r} = \frac{M}{N \cdot r}$ ($\leq 0,450$).

2. Υπολογίζεται ο λόγος $\lambda = \frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\sigma_0} = \frac{\pi r^2 \epsilon\sigma_{bD}}{N}$ και ο λόγος $\frac{r_e}{r}$.

3. Από τον πίνακα 10 και για τό ζεύγος ($\frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\sigma_0}$, 1000γ) προκύπτει τό ποσοστό 100μ (πρέπει $\mu \geq 0,008$, όβλέπε §6).

Ο πίνακας 10 έχει συνταχθί για λόγο $\frac{r_e}{r} = 0,90$. Αν ο λόγος $\frac{r_e}{r}$ διαφέρει σημαντικά από τό 0,90 λύνεται τό πρόβλημα σάν της τυχούσας διατομής.



5. ΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

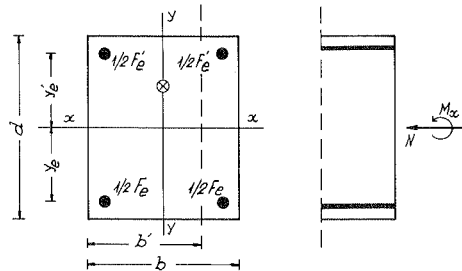
Στήν περίπτωση που προκύπτει κατά μία διεύθυνση ποσοστό όπλισμού $< 0,004$, σημαίνει ότι η διατομή που υπάρχει είναι μεγαλύτερη της απαιτούμενης. Τότε βρίσκεται η "στατικά απαιτούμενη διατομή" όπου και λαμβάνεται το ποσοστό όπλισμού.

Η στατικά απαιτούμενη διατομή (για όρθογωνική διατομή όπως στα προηγούμενα) έχει διαστάσεις $b' \times d$. Το b' υπολογίζεται ως εξής:

1. Υπολογίζεται η άνηγμένη έκκεντρότητα $\gamma = \frac{cy}{d} = \frac{M_x}{N \cdot d} (\leq 0,35)$.

2. Βρίσκεται ο κατάλληλος πίνακας από τον οποίο για το ζεύγος $(1000\gamma, 0,4)$ προκύπτει ο λόγος $\lambda = \frac{\varepsilon\sigma_{bD}}{\sigma_0}$ οπότε:

$$\lambda = \frac{\varepsilon\sigma_{bD}}{\frac{N}{b' \cdot d}} \Rightarrow b' = \frac{\lambda N}{d \varepsilon\sigma_{bD}}$$



6. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

6.1 Ο ελάχιστος αναγκαίος όπλισμός είναι $\mu_0 = \mu'_0 = 0,4\%$ της στατικά απαιτούμενης διατομής.

6.2. Με βάση τον παλιό κανονισμό όπλισμένου σκυροδέματος σε θλιβόμενα στοιχεία εκτός από τον έλεγχο σε κάμψη, χρειάζεται και έλεγχος σε κεντρική θλίψη με λυγισμό.

Με το καινούργιο τμήμα του κανονισμού ο έλεγχος κάμψης θλιβόμενων στοιχείων γίνεται σύγχρονα με τον λυγισμό με την μέθοδο των πρόσθετων ροπών ΔM .

Η μέθοδος αυτή αναλύεται στο τέλος αυτού του βιβλίου.

6.3. Η κατασκευή της μικρής έκκεντρότητας παρουσιάζεται κυρίως σε διατομές υποστυλωμάτων πλαισίων λόγω ήρεμων ή δυ-

ναμικών φορτίσεων και στους στύλους κοινών οικόδομικών έργων λόγω σεισμού.

6.4. Έστω ότι σε υποστύλωμα ύψους h οικόδομικού έργου εξασκεΐται οριζόντια δύναμη H λόγω σεισμού. Τότε η ροπή M_o της κορυφής του υποστυλώματος και η ροπή M_u της βάσης του υποστυλώματος είναι:

Είδος υπο- στυλώματος	Άκραίο			Ενδιάμεσο		
	Τελευταῖος ὄροφος	Ενδιάμεσος ὄροφος	1ος πάνω ἀπὸ τὴν θεμελίω-ση ὄροφος	Τελευταῖος ὄροφος	Ενδιάμε-σος ὄρο-φος	1ος πάνω ἀπὸ τὴν θεμελίω-ση ὄροφος
M_o	$\frac{1}{3} Hh$	$\frac{1}{2} Hh$	$\frac{1}{2} Hh$	$\frac{1}{2} Hh$	$\frac{1}{2} Hh$	$\frac{1}{3} Hh$
M_u	$\frac{2}{3} Hh$	$\frac{1}{2} Hh$	Hh	$\frac{1}{2} Hh$	$\frac{1}{2} Hh$	$\frac{2}{3} Hh$

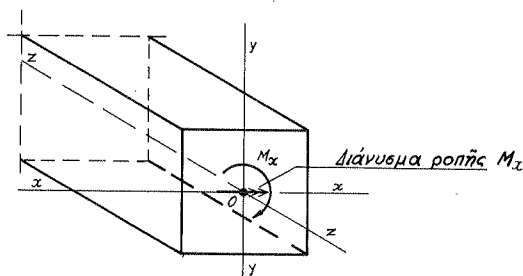
6.5. Ἄν ὅλοι οἱ στύλοι σ' ἓνα ὄροφο εἶναι οἱ ἴδιοι (δηλαδή ἔχουν τὴν ἴδια ἀκαμψία), ἡ οριζόντια δύναμη εἶναι $H = \epsilon \cdot N$ ὅπου ϵ εἶναι ὁ σεισμικός συντελεστής καὶ N ἡ δύναμη πού θλίβει τὸ υποστύλωμα.

6.6. Στὴν περίπτωση σεισμοῦ γίνονται δεκτές ἐπιτρεπόμενες τάσεις χάλυβα καὶ σκυροδέματος μέ αὕξηση κατὰ 20% ἢ τὸ ἴδιο: ἐντατικά μεγέθη μειωμένα κατὰ 20%, ἐφ' ὅσον φυσικά τὸ στατικό μέγεθος πού προκύπτει εἶναι μεγαλύτερο τοῦ συστηματικοῦ (δηλαδή αὐτοῦ πού προκύπτει χωρὶς σεισμό).

(πίνακας 11.Γ.α) .

Παρατήρηση

Ο δείκτης x στην ροπή δείχνει την διεύθυνση του διανύσματος της ροπής M_x , που είναι κάθετο στο επίπεδο της ροπής.



ΑΣΚΗΣΗ 15

Στή διατομή του σχήματος ενεργεί δύναμη $N = -75\text{t}$ και ροπή $M = 10,00\text{tm}$. Νά υπολογισθῇ ὁ απαιτούμενος ὀπλισμός. Ὑλικά B160, StI.

Λύση

- Υπολογισμός της ἀνηγμένης ἐκκεντρότητας.

$$\gamma = \frac{c}{b} = \frac{M}{N \cdot b} = \frac{10}{75 \times 0,50} = 0,267 < 0,35 \text{ (μικρή ἐκκεντρότητα).}$$

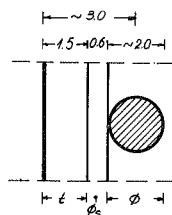
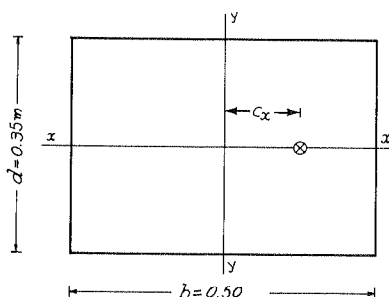
- Λαμβάνεται ἐπικάλυψη $t = 1,5\text{cm}$ καί συνδετήρες $\phi 6$.

Γιά ὀπλισμό διαμέτρου $\phi \cong \cong 20\text{mm}$ προκύπτει:

$$e = \frac{b}{2} - (t + \phi_s + \phi/2) = 0,25 - (1,5 + 0,6 + 1,0) \cong 0,22$$

$$\frac{e}{b} = \frac{0,22}{0,50} = 0,44 \cong 0,45.$$

- Γιά B160 $\Rightarrow \epsilon_{ps_{bD}} = 70\text{kg/cm}^2$ (πίνακας 11.Γ.α).



$$\sigma_o = \frac{N}{b \cdot d} = \frac{75.000}{50 \times 35} = 42,86 \text{ kg/cm}^2 \text{ καί}$$

$$\frac{\epsilon \sigma_b}{\sigma_o} = \frac{70,00}{42,86} = 1,63$$

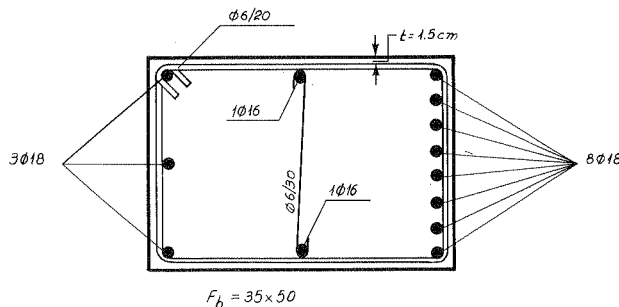
Επειδή πρόκειται για μόνιμη έκκεντρότητα λαμβάνεται $\mu_o = 0,4\%$.

Από τον πίνακα 9β για $\frac{e}{b} = 0,45$, $1000\gamma = 267$ καί $\frac{\epsilon \sigma_b}{\sigma_o} = 1,63$ προκύπτει $100\mu_o' = 1,13$, δηλαδή $\mu_o' = 1,13\% > 0,4\%$.

$$\text{Άρα } F_e = \frac{0,4}{100} \times 35 \times 50 = 7 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{τοποθετούνται } 3\phi 18 (=7,62 \text{ cm}^2)$$

$$F_e' = \frac{1,13}{100} \times 35 \times 50 = 19,78 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{" } 8\phi 18 (=20,32 \text{ cm}^2)$$

Τοποθετούνται συνδετήρες $\phi 6/20$ ($e = 20 \text{ cm} < \min(b, d, 12\phi) = 21,6 \text{ cm}$).



Παρατηρήσεις

★ Στα περισσότερα προβλήματα μικρής έκκεντρότητας ή διατομή του σκυροδέματος δίνεται. Αυτή έχει προκύψει κατά τον υπολογισμό σε κεντρική θλίψη με λυγισμό.

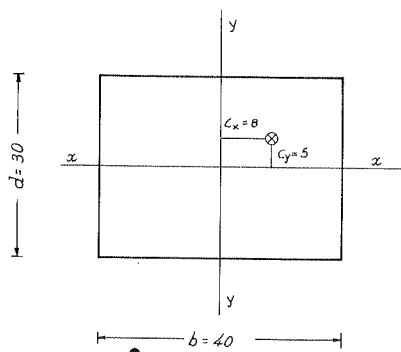
★ Ο όπλισμός των $8\phi 18$ τοποθετείται σε μία σειρά γιατί στην διάσταση των 35 cm χωρούν άνετα όπως φαίνεται στον πίνακα 7.

★ Επειδή το πλάτος της διατομής (50 cm) είναι μεγαλύτερο των 40 cm μπαίνει όπλισμός καί ένδιάμεσα.

★ Στόν υπολογισμό της μονοαξονικής έκκεντρότητας λαμβάνεται υπ' όψη μόνον ο όπλισμός που βρίσκεται στις δύο άκρες.

ΑΣΚΗΣΗ 16

Στήν διατομή του σχήματος ενεργεί δύναμη θλιπτική $N = -60,0 \text{ t}$ με έκκεντρότητα και κατά τις δύο διευθύνσεις $c_x = 8,0 \text{ cm}$, $c_y = 5,0 \text{ cm}$. Ζητείται ο απαιτούμενος όπλισμός. Ύλικά: B225, StIII.



Λύση

1. Υπολογισμός της άνηγμένης έκκεντρότητας γ .

$$\gamma = \frac{c_y}{d} + \frac{c_x}{b} = \frac{5}{30} + \frac{8}{40} = 0,367 < 0,45.$$

2. Υπολογισμός του λόγου e/d .

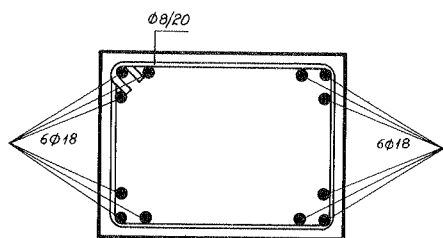
Λαμβάνεται $e = 20 - 3 = 17 \text{ cm}$

$$\frac{e}{b} = \frac{17}{40} = 0,425$$

Εκλέγεται ο πίνακας 8α που αντιστοιχεί σε $\frac{e}{b} = 0,40$ προς την πλευρά της ασφάλειας και γιατί μπορεί να προκύψει πολύς όπλισμός όποτε $e < 17 \text{ cm}$.

3. Υπολογισμός του λόγου $\frac{\epsilon \sigma_{bD}}{\sigma_o}$

$$\sigma_o = \frac{N}{b \cdot d} = \frac{60 \cdot 10^3}{40 \times 30} = 50,0 \text{ kg/cm}^2$$



Απ'τόν πίνακα 11.Γ.β.

$$\epsilon \sigma_{bD} = 100,0 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\frac{\epsilon \sigma_{bD}}{\sigma_o} = \frac{100,00}{50,00} = 2,00$$

Από τον πίνακα 8α για

$$100\gamma = 367 \text{ και } \frac{\epsilon \sigma_b}{\sigma_o} = 2,00$$

$$\text{βρίσκεται } 100\mu_o = 100\mu'_o = 1,27 > 0,4.$$

$$F_e = F'_e = 40 \times 30 \times \frac{1,27}{100} = 15,24 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 6\phi 18 (=15,24 \text{ cm}^2).$$

Συνδετήρες $\phi 8/20$.

Παρατηρήσεις

★ Λόγω της διαξονικής εκκεντρότητας, στην οποία λαμβάνεται υπ' όψη, ο όπλισμός που είναι διατεταγμένος σε κάθε γωνία της ορθογωνικής διατομής, ή διάταξη, του όπλισμού πρέπει να είναι της μορφής του σχήματος.

★ 'Ο όπλισμός που ρεβήθηκε συγκρίνεται μ' αυτόν που προκύπτει από τον έλεγχο σε κεντρική θλίψη με λυγισμό και τοποθετείται ο δυσμενέστερος.

ΑΣΚΗΣΗ 17

Νά υπολογισθῇ υποσύλωμα τετραγωνικής διατομής (διαστάσεις και όπλισμός) οίκοδομῆς έκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα, ύψους $h=4,50\text{m}$ που πρέπει να φέρη φορτίο $P=80\text{t}$. Λαμβάνεται μέγιστη ροπή από σεισμό $M_x=\pm 7,20\text{tm}$ ή $M_y=\pm 7,20\text{tm}$. Υλικά: B160, StI.

Λύση

Υπολογισμός σε κεντρική θλίψη με λυγισμό

Διαστάσεις Όπλισμός

$$B160 \Rightarrow \beta_p = 0,144\text{t/cm}^2, \text{ StI} \Rightarrow \beta_s = 2,4\text{t/cm}^2$$

$$\text{Απ' την σχέση } \omega \cdot P_{\lambda\epsilon\iota\tau} \leq \frac{\beta_p \cdot F_b}{3} \left(1 + \mu \frac{\beta_s}{\beta_p}\right) \Rightarrow$$

$$\omega \times 80 \leq \frac{0,144 \cdot F_b}{3} \left(1 + 0,008 \times \frac{2,4}{0,144}\right) \Rightarrow$$

$$\omega \times 80 \leq 0,054 F_b \Rightarrow F_b \geq 1470,59\omega$$

$$\text{Γιά τετραγωνική διατομή } F_b = \alpha^2 \Rightarrow \alpha \geq 38,35 \cdot \sqrt{\omega} \text{ cm.}$$

$$\text{Λαμβάνεται } \omega = 1,00 \Rightarrow \lambda = \frac{h_k}{d} = \frac{4,50}{0,3835} = 11,73 \Rightarrow \omega = 1,00$$

Λαμβάνεται $\alpha = 40\text{cm}$ και προκύπτει:

$$F_e = F'_e = \frac{\mu}{2} \times F_b = \frac{0,4}{100} \times 38,35^2 = 5,88\text{cm}^2 \Rightarrow F_e = F'_e = 2\emptyset 20 (=6,28\text{cm}^2).$$

Έλεγχος

$$G_{\epsilon\delta} = 0,40 \times 0,40 \times 4,50 \times 2,40 = 1,73\text{t} \quad \text{και} \quad P_{\lambda\epsilon\iota\tau} = 81,73\text{t}$$

$$\text{Γιά B160 και } F_b = 40 \times 40 \Rightarrow \epsilon p P_b = 76,8\text{t.}$$

$$\text{Γιά StI και } 4\emptyset 20 \Rightarrow \epsilon p P_e = 10,0\text{t.}$$

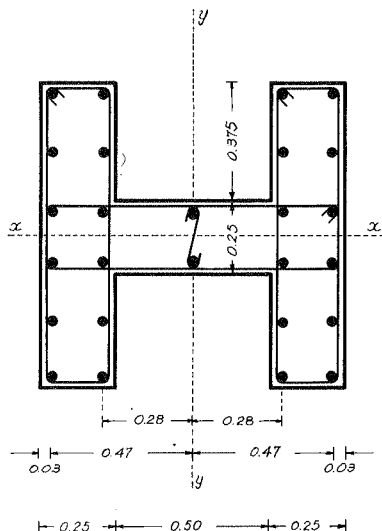
$$\text{"Αρα } \epsilon p P = 76,8 + 10,0 = 86,8\text{t και } \omega \cdot P_{\lambda\epsilon\iota\tau} = 81,73 < \epsilon p P = 86,8\text{t.}$$

★ 'Η απόσταση $e=16,5\text{ cm}$ άλλαξε γιατί το κέντρο βάρους κάθε γωνιακής ομάδας όπλισμῶν απομακρύνθηκε πρὸς τὰ μέσα. Δηλαδή ὁ λόγος $\frac{e}{d}$ μίκρυνε, ἄρα ἀπαιτεῖται περισσότερος όπλισμός ἀπὸ αὐτόν πού ὑπολογίσθηκε.

★ 'Η ἐκλογή αὐτῶν τῶν ράβδων ἔγινε γιὰ νὰ τοποθετηθοῦν οἱ ράβδοι συμμετρικά στίς 4 γωνίες καί γιὰ νὰ γίνη ὅσο γίνεται μεγαλύτερος ὁ λόγος $\frac{e}{d}$ σύγχρονα καί πρὸς τίς δύο διευθύνσεις.

ΑΣΚΗΣΗ 18

Στό ὑποστύλωμα τῆς ἀσκησης 5 (σελίδα 24) καί στήν κορυφή του ἔχει προκύψει ροπή ἀπὸ σεισμό $M_y=110,0\text{ tm}$. Νά ἐλεγχθῇ ἡ διατομή καί νὰ εὐρεθοῦν οἱ μέγιστες καί ἐλάχιστες τάσεις τοῦ σκυροδέματος καί τοῦ χάλυβα.



Λύση

Ὑποτίθεται ὅτι ἡ διατομή ἐργάζεται στό στάδιο I.

1. Γεωμετρικά στοιχεία

$$\text{Εἶναι } F_b = 0,625\text{ cm}^2$$

$$I_b^{y-y} = \frac{100 \times 1,00^3}{12} - 2 \frac{0,375 \times 0,5^3}{12} = 0,075521\text{ m}^4$$

$$F_i = F_b + \eta F_e = 0,625 + 15 \times 81,64 \times 10^{-4} = 0,7475\text{ m}^2$$

$$e_i = 0 \quad \text{καί} \quad y_o = y_u = 0,50\text{ m}$$

$$I_i = I_b + \Sigma (\eta F_{e_i}) y_{e_i}^2 + \Sigma (\eta F_{e_i}) y_{e_i}^2$$

$$\text{Ἀλλά } \Sigma (\eta F_{e_i}) y_{e_i}^2 = \Sigma (\eta F_{e_i}) y_{e_i}^2 \quad \text{καί}$$

$$\Sigma (\eta F_{e_i}) y_{e_i}^2 = \eta \Sigma (F_{e_i}) y_{e_i}^2 = 15 [(6 \times 3,14 \times 0,47^2 + 6 \times 3,14 \times 0,28^2) \cdot 10^{-4}] = 0,008457\text{ m}^4$$

$$\text{Ἀρα } I_i = I_b + 2 \Sigma (\eta F_{e_i}) y_{e_i}^2 = 0,075521 + 0,016914 = 0,092435\text{ m}^4$$

2. Τάσεις σκυροδέματος

Γιὰ $P=-330\text{t}$ καί $M_y=110\text{tm}$ ελέγχονται οί άνιςότητες:

$$\sigma_{bo} = -\frac{P}{F_i} - \frac{M}{I_i} y_o \geq \varepsilon \sigma_{bD} \quad \text{όπου} \quad \varepsilon \sigma_{bD} = 1,20 \times 90 = 108 \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bu} = -\frac{P}{F_i} + \frac{M}{I_i} y_u \leq \frac{1}{4} |\sigma_{bo}| \quad \text{καί} \quad \varepsilon \sigma_e = 1,20 \times 2200 = 2640 \text{kg/cm}^2$$

Άρα
$$\sigma_{bo} = -\frac{330,00}{0,7475} - \frac{110,00}{0,092435} \times 0,50 = -441,47 - 595,01 = -1036,48 \text{t/m}^2 =$$

$$= -103,65 \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bu} = -\frac{330,00}{0,7475} + \frac{110,00}{0,092435} \times 0,50 = -441,47 + 595,01 = 153,54 \text{t/m}^2 =$$

$$= +15,35 \text{kg/cm}^2$$

Εξναι $|\sigma_{bo}| = 103,65 < 108 = \varepsilon \sigma_{bD}$

$$\sigma_{bu} = 15,35 < \frac{103,65}{4} = \frac{|\sigma_{bo}|}{4}$$

Άρα σωστά θεωρήθη λειτουργία σέ στάδιο Ι.

3. Τάσεις κάλυδα

Γιὰ τόν συνδυασμό B225, StIII δέν ύπάρχει πρόβλημα άντοχής.

Υπολογισμός τάσεων

$$x = \frac{103,65}{103,65 + 15,35} \times 1,00 = 0,871 \text{m}$$

$$\sigma_{be} = \frac{0,871 - 0,03}{0,871} \times 103,65 =$$

$$= 100,08 \text{kg/cm}^2$$

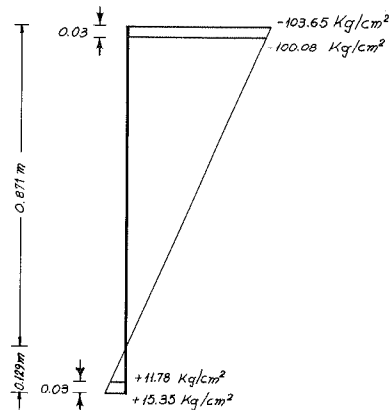
$$\sigma_{be} = \frac{0,129 - 0,03}{0,129} \times 15,35 =$$

$$= 11,78 \text{kg/cm}^2$$

Επειδή $\sigma_e = \eta \sigma_{be} \Rightarrow \sigma'_e =$

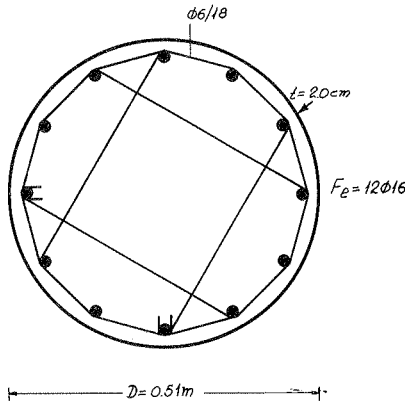
$$= -100,08 \times 15 = -1501,2 \text{kg/cm}^2$$

καί $\sigma_e = +11,78 \times 15 = 176,7 \text{kg/cm}^2$



ΑΣΚΗΣΗ 19

Στό υποστύλωμα στήν άσκηση 7 (σελίδα 29) καί στήν βάση του έχομε συστηματική ροπή $M=4,0\text{tm}$ καί ροπή από σεισμό $M=8\text{tm}$. Νά έλεγχθῇ τό υποστύλωμα.

**Λύση**

Δυσμενέστερη φόρτιση: όταν οί ροπές είναι όμόφορες, δηλαδή $M=4,0+8,0=12,0\text{tm}$.

$$1. \gamma = \frac{M}{N \cdot r} = \frac{12}{182,94 \times 0,255} = 0,257 < 0,450$$

(μικρή έκκεντρότητα)

$$2. 100\mu_o = \frac{100F_e}{\pi r^2} = \frac{100 \times 12 \times 2,01}{3,14 \times 25,5^2} = 1,18$$

$$r_e = 25,5 - 3 = 22,5\text{cm} \quad \frac{r_e}{r} = \frac{22,5}{25,5} = 0,88 \approx 0,90$$

3. Από τόν πίνακα 10 για $1000\gamma=257$ καί $100\mu_o=1,18$

$$\lambda = \frac{\sigma_b}{\sigma_o} = 1,67$$

$$\sigma_o = \frac{N}{\pi r^2} = \frac{182,94 \times 10^3}{3,14 \times 25,5^2} = 89,60\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \lambda \sigma_o = 1,67 \times 89,60 = 149,63\text{kg/cm}^2 > \varepsilon \pi \sigma_{bD} = 1,20 \times 110 = 132\text{kg/cm}^2$$

(αύξηση κατά 20% λόγω σεισμού)

Άρα χρειάζεται αύξηση τοῦ όπλισμοῦ άφοῦ ἡ διατομή παραμένει σταθερή.

Άναγκαῖος όπλισμός

$$1. \gamma = 0,257$$

$$2. \sigma_o = 89,60\text{kg/cm}^2$$

$$\lambda = \frac{\varepsilon \pi \sigma_{bD}}{\sigma_o} = \frac{1,2 \times 110}{89,60} = 1,47$$

3. Από τόν πίνακα 10 καί για $\lambda=1,47$, $\gamma=0,257 \Rightarrow 100\mu_o=2,1$

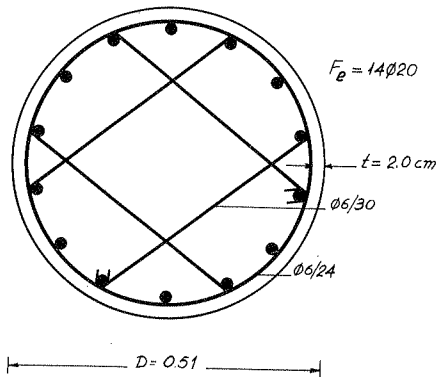
$$F_e = \frac{2,1}{100} \times \pi \times 25,5^2 = 42,88\text{cm}^2 \Rightarrow F_e = 14\phi 20 (=43,96\text{cm}^2)$$

Συνδετήρες $\phi 6/18$ ($e=18 < \min(D, 12\phi)=24\text{cm}$).

Παρατηρήσεις

★ Αν είχε ζητηθεί ή οικονομικότερη διατομή θα λαμβάνονταν εκείνη για την οποία $\mu=0,8\%$.

★ Επειδή ή διάμετρος του υποστυλώματος είναι μεγάλη τοποθετούνται καί μεσαίοι κλειστοί συνδετήρες $\phi 6/30$.



ΑΣΚΗΣΗ 20

Νά υπολογισθή ό ελάχιστος απαιτούμενος όπλισμός ύπο-
στυλώματος διαστάσεων 70x70 πού μπορεϊ νά φέρη άξονική δύνα-
μη $N=-120t$ καί ροπή έναλλασσόμενη $M_y=15,0tm$. Ύλικά: B160, St I.

Λύση

$$1. \quad \gamma = \frac{c_x}{b} = \frac{M_y}{Nb} = \frac{15,00}{120 \times 0,70} = 0,179 < 0,350 \text{ (μικρή έκκεντρό-}$$

$$2. \quad \text{Γιά έπικάλυψη } t=1,5cm \Rightarrow e=35,0-3,0=32,0 \text{ cm καί}$$

$$\frac{e}{b} = \frac{32,00}{70,00} = 0,457 \approx 0,45$$

$$\text{εϊναι } \sigma_o = \frac{N}{bd} = \frac{120,0}{70 \times 70} \times 10^3 = 24,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{καί } \varepsilon \sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{"Αρα } \frac{\varepsilon \sigma_b}{\sigma_o} = \frac{70,0}{24,49} = 2,86$$

Επειδή ή ροπή εϊναι έναλλασσόμενη λαμβάνεται $\mu_o = \mu'_o$.

Από τόν πίνακα 9α για $1000\gamma=179$ και $\frac{\varepsilon\sigma_b}{\sigma_o} = 2,86$ προκύπτει $100\mu_o=100\mu'_o<0,4$. Άρα η διατομή 70×70 είναι μεγαλύτερη απ' τήν απαιτούμενη.

Στατικά απαιτούμενη διατομή

Αυτή έχει διαστάσεις $b\times d'$ όπου $b=70\text{cm}$ και d' η ζητούμενη διάσταση και έχει όπλισμό $\mu_o=\mu'_o=0,004\times b\times d'$.

Για $1000\gamma=179$ και $100\mu_o=100\mu'_o=0,4$ από τόν πίνακα 9α προκύπτει $\lambda = \frac{\varepsilon\sigma_b}{\sigma_o} = 1,724 \Rightarrow \sigma_o = \frac{70}{1,724} = 40,60\text{kg/cm}^2$ και $\sigma_o = \frac{N}{b\times d'} \Rightarrow d' = \frac{N}{\sigma_o \cdot b} = \frac{120,0}{40,60\times 70} \times 10^3 = 42,22\text{cm}$

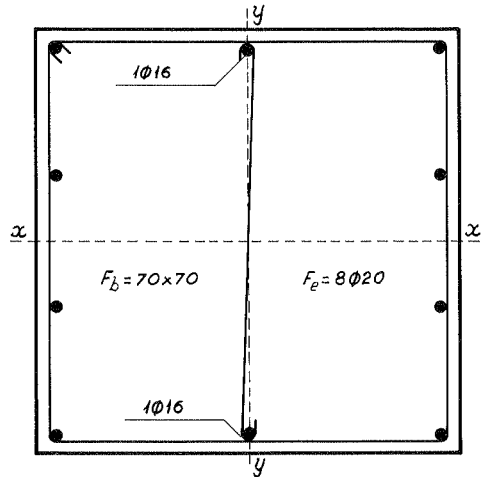
Άρα η στατικά απαιτούμενη διατομή είναι η $b\times d'=70\times 42,22=2955,40\text{cm}^2$, και επομένως

$$F_e = F'_e = \frac{0,4}{100} \times b\times d' = 0,004 \times$$

$$\times 2955,4 = 11,82\text{cm}^2 \Rightarrow$$

$$F_e = F'_e = 4\phi 20 \quad (=12,56\text{cm}^2)$$

Επειδή η απόσταση των ράβδων του όπλισμού κατά τήν διεύθυνση $x-x$ είναι $>30\text{cm}$ τοποθετείται πρόσθετος όπλισμός $2\phi 16$ σάν montage. Συνδετήρες $\phi 6/20$.

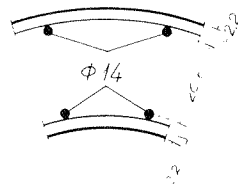
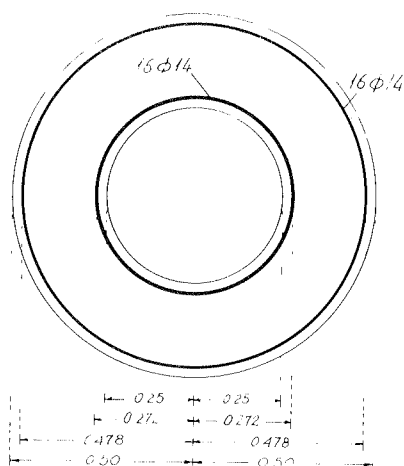


$$(e=20\text{cm} < \min(b, d, 12\phi) = 24\text{cm}).$$

ΑΣΚΗΣΗ 21

Υποστύλωμα μέ δακτυλιοειδή διατομή, όπως στο σχήμα, έχει υπολογισθή ώστε να μπορή να άντέχη σέ κεντρική θλίψη μέ λυγισμό. Για τίς υπάρχουσες διατομές σκυροδέματος και χάλυβα να βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή πού μπορεῖ να ἀναλάβῃ αὐτό ὥστε να ἐργάζεται στό στάδιο Ι. Δίνονται: $N=-280\text{t}$. Ὑλικά: B225, StI.

Αλ (α)



1. Γεωμετρικά στοιχεία

$$F_b = \frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{\pi (1,00^2 - 0,50^2)}{4} = 0,58875 \text{ m}^2$$

$$I_b = \frac{\pi D_1^4}{64} - \frac{\pi D_2^4}{64} = \frac{\pi (1,00^4 - 0,50^4)}{64} = 0,045996 \text{ m}^4$$

$$F_i = F_b + \eta F_c = 0,58875 + 15 \times 49,24 \times 10^{-4} = 0,66261 \text{ m}^2$$

$$e_i = 0 \quad \text{και} \quad y = 0,50 \text{ m}, \quad y_u = 0,50 \text{ m}$$

$$I_i = I_b + \Sigma (\eta F_{c_i}) Y_{c_i}^2 + \Sigma (\eta F_{c_i}) Y_{o_i}^2$$

$$\text{Αλλά } Y_{c_i} = 0,50 - 0,022 = 0,478, \quad Y_{o_i} = 0,25 + 0,022 = 0,272 \quad \text{και} \quad F_{c_i} = F_{c_i}$$

$$\text{Άρα } \Sigma (\eta F_{c_i}) Y_{c_i}^2 + \Sigma (\eta F_{c_i}) Y_{o_i}^2 = 15 [16 \times 1,54 \times (0,478^2 + 0,272^2) \times 10^{-4}] = 0,011162.$$

$$\text{και} \quad I_i = 0,045996 + 0,011162 = 0,057158 \text{ m}^4$$

2. Τάσεις σκυροδέματος

$$\epsilon \sigma_{bD} = 90,0 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Θλιπτική})$$

$$\sigma_{bo} = - \frac{P}{F_i} - \frac{M}{I_i} Y_o \geq - \epsilon \sigma_{bD} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{bo} = - \frac{280,0}{0,66261} - \frac{M \times 0,50}{0,057158} \geq -900 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (1)$$

$$\sigma_{bu} = -\frac{P}{F_i} + \frac{M}{I_i} y_{u \leq \frac{1}{4}} |\sigma_{bo}| \Rightarrow \sigma_{bu} = -\frac{280,0}{0,66261} + \frac{M \cdot 0,50}{0,057158} \leq \frac{1}{4} \left(\frac{280}{0,66261} + \frac{M}{0,114} \right) \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) $\Rightarrow$

$$\sigma_{bo} = -422,57 - \frac{M}{0,114} \geq -900 \Rightarrow M \leq 54,43 \text{ tm}$$

$$\sigma_{bu} = -422,57 + \frac{M}{0,114} \leq \frac{1}{4} \left(422,57 + \frac{M}{0,114} \right) \Rightarrow M \leq 80,28 \text{ tm}$$

Αρα η μέγιστη ροπή που μπορεί να πάρη η διατομή, για να εργάζεται στο στάδιο I, είναι $M=54,43 \text{ tm}$.

3. Τάσεις κάλυβα

Δέν χρειάζεται έλεγχοσ άντοχής του όπλισμοϋ για συνδυασμό ύλικών B225, StI όπως φαίνεται στην §2.2.

ΑΣΚΗΣΗ 22

Όροφος οίκοδομής έχει όλα τά ύποστυλώματα με την ίδια τετραγωνική διατομή. Κάθε έσωτερικό ύποστυλώμα δέχεται φορτίο $P=75,0 \text{ t}$. Νά κατασκευαστοϋν τά ύποστυλώματα με την οίκονομικώτερη λύση.

Δίνονται: Ύψος όρόφου $h=3,20 \text{ m}$, σεισμικός συντελεστής $\epsilon=0,08$. Ύλικά: B160, StI.

Λύση

Έπειδή όλα τά ύποστυλώματα είναι ίδια σημαίνει ότι όλα παρουσιάζουν την ίδια άκαμψία, άρα όλα θά παραλαμβάνουν την ίδια σεισμική καταπόνηση.

Η ροπή στην κορυφή και στην βάση του ύποστυλώματος λόγω σεισμοϋ είναι:

$$M_o = -M_u = \frac{(P \cdot \epsilon) h_s}{2} = \frac{75 \times 0,08 \times 320}{2} = 9,6 \text{ tm} \quad (\S 6.4).$$

Αρχικά γίνεται ό έλεγχοσ σέ κεντρική θλίψη για την διαστασιολόγηση των ύποστυλωμάτων.

Ύπολογισμός σέ κεντρική θλίψη με λυγισμό

1. Απ' την σχέση

$$\omega P_{\lambda \text{ επιτ}} \leq \frac{\beta_p \cdot F_b}{3} \left(1 + \mu \frac{\beta_{\lambda}}{\beta_p}\right), \text{ για } \beta_p = 0,144 \text{ t/cm}^2, \beta_{\lambda} = 2,4 \text{ t/cm}^2 \text{ και } \mu = 0,008.$$

$$> \omega \cdot 75,0 < \frac{0,144 \times F_b}{3} (1 + 0,008 \times \frac{2,4}{0,144}) \Rightarrow F_b \geq 1378,93 \cdot \omega \Rightarrow$$

$$b > 37,13 \sqrt{\omega}$$

$$\text{Λαμβάνεται } \omega = 1,00 \Rightarrow b > 37,13 \text{ και } \lambda' = \frac{3,20}{0,3713} = 8,62 \Rightarrow$$

$$> \omega = 1,00. \text{ Λαμβάνεται λοιπόν διατομή διαστάσεων } b \times d = 40 \times 40 = 1600 \text{ cm}^2. \text{ 'Επομένως}$$

$$F_c = F'_c = 0,004 \times F_b = 0,004 \times 37,13^2 = 5,51 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_c = F'_c = 2\phi 20 (=6,28 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Τίθεται επικάλυψη } t = 1,5 \text{ cm.}$$

"Έλεγχος σέ κάμψη

$$1. \quad \gamma_x \text{ ή } \gamma_y = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{9,6}{75,0 \times 0,40} = 0,32 < 0,35 \text{ (Μικρή έκκεντρότητα).}$$

$$2. \quad e = 20 - 3 = 17 \text{ cm και } \frac{e}{d} = \frac{17}{40} = 0,425.$$

$$\text{Χρησιμοποιείται ο πίνακας για } \frac{e}{d} = 0,40.$$

$$3. \quad \mu_o = \mu'_o = \frac{F_c}{bd} = \frac{6,28}{40 \times 40} = 0,0039 \approx 0,004.$$

Απ'τόν πίνακα 8α για 1000γ=320 και 100μ_ο=100μ'_ο=0,4 βρισκόμαστε δεξιά απ'τήν κλίμακα σ_{bz}=0,25_{bd}. Άρα με αυτές τις διαστάσεις δέν βρισκόμαστε σέ στάδιο Ι. Άλλά και νά βρισκόμασταν $\Rightarrow \frac{\sigma_b}{\sigma_o} > \lambda = 2,38$. Άλλά σ_ο = $\frac{N}{bd} = \frac{75 \times 10^3}{40 \times 40} = 46,88 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Άρα } \sigma_b = \lambda \sigma_o = 2,38 \times 46,88 = 111,57 \text{ kg/cm}^2 > \epsilon \sigma_b = 1,20 \times 70 = 84 \text{ kg/cm}^2$$

Χρειάζεται λοιπόν περισσότερος όπλισμός και μάλιστα σημαντικά περισσότερος. Έπειδή ζητείται ή οίκονομικώτερη διατομή, βρίσκεται αυτή πού μέ όπλισμό μ_ο=μ'_ο=0,4% παραλαμβάνει την ροπή M=9,6tm και την N=-75,0t.

$$\text{Λαμβάνεται διατομή } 45 \times 45 \text{ και } \mu_o = \mu'_o = 0,4\%.$$

"Έλεγχος τής διατομής σέ κάμψη

$$1. \quad \gamma_x \text{ ή } \gamma_y = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{9,6}{75 \times 0,45} = 0,284 < 0,350 \text{ (μικρή έκκεντρότητα).}$$

$$2. \quad e=22,5-3,0=19,5\text{cm} \quad \Rightarrow \quad \frac{e}{d}=0,43\approx 0,45.$$

3. Για τό ζεύγος τιμών $1000\gamma=284$ και $100\mu_o=100\mu'_o=0,4$ απ' τόν πίνακα 9α προκύπτει $\frac{\sigma_b}{\sigma_o}=\lambda=2,21$.

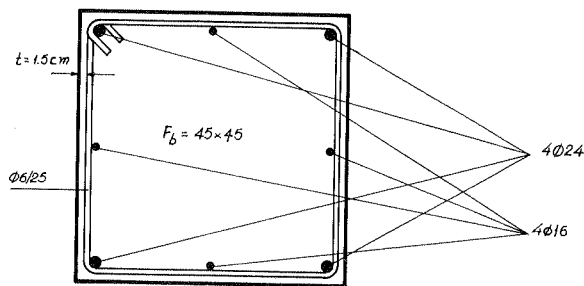
$$\text{Αλλά } \sigma_o = \frac{N}{b \cdot d} = \frac{75 \times 10^3}{45 \times 45} = 37,04 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Αρα } \sigma_b = \lambda \cdot \sigma_o = 2,21 \times 37,04 = 81,86 \text{ kg/cm}^2 < \epsilon \sigma_b = 1,2 \times 70 = 84 \text{ kg/cm}^2$$

Τοποθετείται όπλισμός $F_e = F'_e = 0,004 \times 45 \times 45 = 8,10 \text{ cm}^2$ δηλαδή $F_e = F'_e = 2\phi 24 (=9,04 \text{ cm}^2)$.

Συνδετήρες $\phi 8/25$ ($e=25 \text{ cm} < \min(b, d, 12\phi) = 28,8 \text{ cm}$).

Πρόσθετος όπλισμός $4\phi 16$.



Παρατήρηση

★ Χρησιμοποιείται ή διατομή 45×45 γιατί για την 35×35 υπάρχει μεγάλη διαφορά. Πάντως στην περίπτωση που δεν είχε άμέσως έπιτυχία ή έκλογή διατομής, υπήρχε μόνο μία άκόμη διατομή ή 40×40 , που δεν θά άντεχε σε έλεγχο κάμψης. Όπότε θά καταλήγαμε πάλι στην 45×45 .

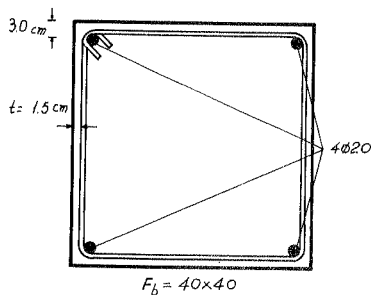
ΑΣΚΗΣΗ 23

Νά έλεγχθώ ή διατομή του ύποστυλώματος (σχήμα) που κάμπτεται κατά την διαγώνιο με ροπή $M=5,50 \text{ tm}$ και θλιπτική δύναμη $N=62 \text{ t}$.

Υλικά B225, StI.

Λύση

Θεωρείται ότι ή διατομή εργάζεται στο στάδιο I.



1. Γεωμετρικά στοιχεία

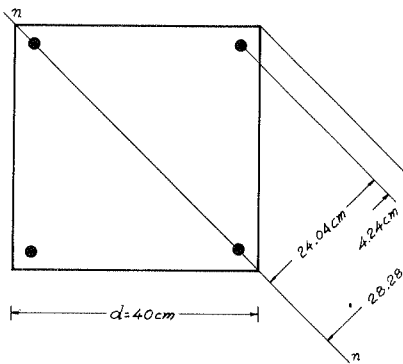
$$F_i = F_b + \eta F_e = 40 \times 40 + 15 \times 4 \times 3,14 = 1788,40 \text{ cm}^2$$

$$y_e = y'_e = 40 \times \frac{\sqrt{2}}{2} - 3,0 \times \frac{2}{\sqrt{2}} = 24,04$$

$$y_o = y_u = 40 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 28,28 \text{ cm}$$

$$I_i = I_b + \Sigma (\eta F_e) y_e^2 = \frac{40^4}{12} + 2 \times 15 \times [3,14 \times 24,04^2] = 267.773,5 \text{ cm}^4.$$

2. Τάσεις σκυροδέματος



$$\sigma_{bo} = - \frac{N}{F_i} - \frac{M}{I_i} y_o = - \frac{62000}{1788,40} - \frac{5,50 \times 10^3 \times 10^2}{267.773,5} \times 28,28 =$$

$$= -34,67 - 58,09 = -92,76 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bu} = - \frac{N}{F_i} + \frac{M}{I_i} y_u = -34,67 + 58,09 = +23,42 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Είναι } |\sigma_{bo}| < \text{επσ}_{bd} = 100 \text{ kg/cm}^2 \text{ και}$$

$$\sigma_{bu} \leq \frac{1}{4} |\sigma_{bo}| = \frac{92,76}{4} = 23,19 \text{ kg/cm}^2,$$

ή διαφορά είναι ασήμαντη.

Άρα πράγματι η διατομή εργάζεται στο στάδιο Ι και με ασφάλεια.

Παρατηρήσεις

★ Λαμβάνεται $\text{επσ}_{bd} = 100 \text{ kg/cm}^2$ απ'τόν πίνακα 11.Γ.β. έπειδή ή τάση είναι κατά γωνία.

★ Η τάση του θλιβόμενου χάλυβα είναι $\sigma'_e < 92,07 \times 15 = 1381 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$.

★ Η άσκηση θά μπορούσε νά αντιμετωπισθῇ καί σάν όρθογωνική διατομή μέ διαξονική κάμψη, αν αναλυθῇ ή έκκεντρότητα κατά τούς άξονες x-x καί y-y.

$$c = \frac{M}{N} = \frac{5,50}{62,0} = 0,0887$$

$$c_x = c_y = c \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,0627$$

$$y_x = y_y = \frac{c_x}{d} = \frac{0,0627}{0,40} = 0,157$$

$$\gamma = \gamma_x + \gamma_y = 0,157 + 0,157 = 0,314$$

$$\frac{y_e}{d} = \frac{20-3,0}{40} = 0,425.$$

$$\text{Λαμβάνεται } \frac{y_e}{d} = 0,40.$$

$$\text{Είναι } \mu = \mu' = \frac{2 \times 3,14}{40 \times 40} = 0,39\% \approx 0,4\%.$$

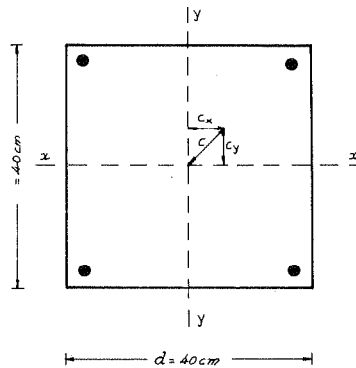
$$\text{Απ' τόν πίνακα 8α} \Rightarrow \lambda = 2,42$$

$$\text{(άριστερά της κλίμακας } \sigma_{bz} = -0,35\sigma_{bD}, \text{ άρα στο στάδιο I).}$$

$$\begin{aligned} &\text{Επομένως } \sigma_b = \lambda \cdot \sigma_o = 2,42 \times \\ &\times \frac{62000}{40 \times 40} = 93,8 \text{ kg/cm}^2 < \text{ε}\sigma_{bD} = 100 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Παρατήρηση

★ Με τόν τρόπο αυτό γιά τήν κάμψη κατά τήν διαγώνιο είναι δυνατό νά υπολογισθῇ καί ὁ ὀπλισμός ὅταν δίνωνται τά ἄλλα στοιχεῖα.

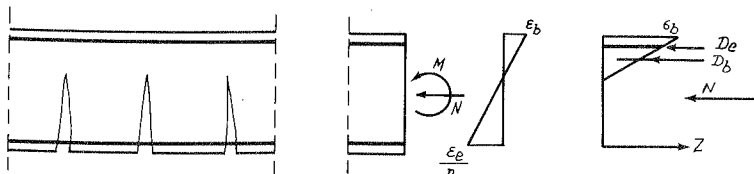


ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΚΑΜΠΤΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

(ΣΤΑΔΙΟ II)

1. ΓΕΝΙΚΑ



Αν η έκκεντρότητα $c = \frac{M}{N}$ είναι μεγάλη οι έφελκυστικές τάσεις του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερες απ'τίς έπιτρεπόμενες καί τό σκυρόδεμα ρηγματώνεται. Η ρηγμάτωση αυτή θεωρείται ότι φτάνει μέχρι τό σημείο μηδενισμού τών παραμορφώσεων.

Γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- 1.1. Υπάρχει αναλογία τάσεων-παραμορφώσεων τόσο στό σκυρόδεμα ($\sigma_b = \epsilon_b \cdot E_b$) όσο καί στόν χάλυβα ($\sigma_s = \epsilon_s \cdot E_s$).
- 1.2. Τά μέτρα έλαστικότητας είναι σταθερά ώστε $\frac{E_s}{E_b} = \eta = 15$.
- 1.3. Οι διατομές διατηρούνται επίπεδες.
- 1.4. Σκυρόδεμα καί χάλυβας συνεργάζονται.

2. ΑΝΑΓΚΑΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΜΨΗΣ

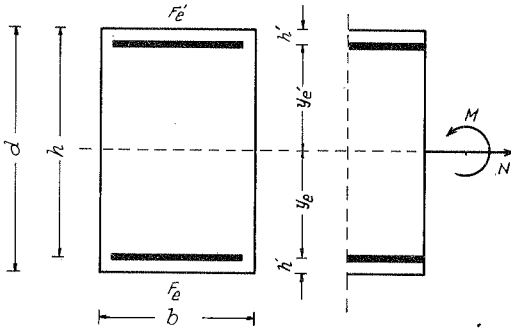
2.1. ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

2.1.1. Κάμψη μέσης έκκεντρότητας

Όταν η άνηγμένη έκκεντρότητα είναι: $0,35 \leq \gamma \leq 0,70$ σημαίνει ότι πρώτα-πρώτα η διατομή "δουλεύει" σέ στάδιο II, δηλαδή ότι η διατομή έχει ρηγμάτωση καί ότι η οίκονομικότητα έπιβάλλει νά "δουλεύει" μέ $\sigma_b = \epsilon_{ps_b}$.

Τό πρόβλημα τότε λύνεται μέ τούς πίνακες του MOERSCH (πίνακες 13, 14, 15) ως έξης:

Πρέπει νά τονιστή ότι σέ όλες τίς περιπτώσεις κάμψης



σέ στάδιο II ένα από τά δύο υλικά "δουλεύει" μέ τήν επιτρεπόμενη τάση του. Δηλαδή οί τάσεις εἶναι $(\sigma_b, \epsilon\sigma_e)$ ἤ $(\epsilon\sigma_b, \sigma_e)$.

1. Βρίσκονται οί επιτρεπόμενες τάσεις $\epsilon\sigma_b$ καί $\epsilon\sigma_e$.

Καθορίζονται οί θέσεις τῶν ὀπλισμῶν καί ὑ-

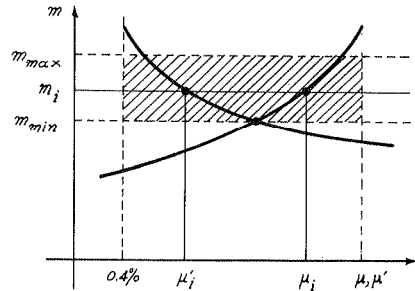
πολογίζονται οί ποσότητες:

$$\left. \begin{aligned} M_e &= M - N \cdot y_e \\ M_e' &= M + N \cdot y_e' \end{aligned} \right\} \text{ γιά } N \text{ θετική}$$

$$\rho = \frac{M_e}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2} \quad \text{καί} \quad \rho' = \frac{M_e'}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2}$$

2. Ὑπολογίζεται ὁ $\frac{h'}{h}$ ἀπ'τόν ὁποῖο καθορίζεται ὁ πίνακας πού θά χρησιμοποιηθῇ.

Ἀπό διάφορες τιμές τοῦ λόγου $m = \frac{\sigma_e}{\epsilon\sigma_b}$ φέρο-
με ὀριζόντιες γραμμές πού τέμνουν τίς καμπύλες ρ καί ρ' στά σημεία i καί i' . Οἱ κατακόρυφες ἀπό τά σημεία i καί i' τέμνουν τόν ἄξονα τῶν (μ, μ') στά



σημεία μ_i καί μ_i' . Γιά διάφορες δοκιμές m_i ὑπολογίζομε τά ἀθροίσματα μ_i καί μ_i' καί προτιμᾶται ἡ λύση πού δίνει τό $\min(\mu_i + \mu_i')$.

Πάντως πρέπει νά ζητοῦνται λύσεις μέ:

- α. $\mu, \mu' > 0,4\%$ δηλαδή δεξιὰ τῆς κατακόρυφης εὐθείας $\mu', \mu = 0,4\%$.
- β. $\mu \geq \mu'$ Δηλαδή πάνω ἀπό τό σημεῖο τομῆς τῶν εὐθειῶν ρ, ρ' .
- γ. Κάτω ἀπό τήν ὀριζόντια εὐθεῖα $m_{\max} = \frac{\epsilon\sigma_e}{\epsilon\sigma_b}$.

3. Τίθεται όπλισμός $F_e = \mu \cdot b \cdot h$ καί $F'_e = \mu' b h$

Έλέγχεται άν ό όπλισμός χωράή σέ μιά στρώση όπως είχαε ύποτεθή όταν έχωμε y_e καί y'_e , διαφορετικά αλλάζονται τά y_e , y'_e καί h' , h .

2.1.2. Κάμψη μεγάλης έκκεντρότητας

Όταν ή άνηγμένη έκκεντρότητα είναι $\gamma = \frac{M}{N \cdot d} > 0,70$ ή οίκονομικότητα έπιβάλλει νά "δουλεύη" ή διατομή μέ $\sigma_e = \epsilon \sigma_e$.

Η πορεία έργασίας είναι:

1. Βρίσκονται οί ποσότητες $\epsilon \sigma_b$ καί $\epsilon \sigma_e$.

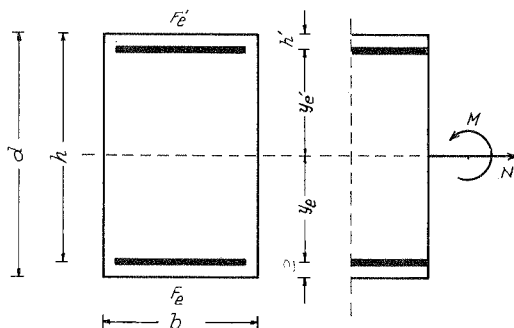
Στόν πίνακα 12 καί στό σημείο ($\epsilon \sigma_b$, $\epsilon \sigma_e$) βρίσκειται τό k_h^* γιά τό όποιο ισχύει:

$$\text{γιά } k_h > k_h^* \Rightarrow \sigma_b < \epsilon \sigma_b.$$

$$\text{γιά } k_h < k_h^* \Rightarrow \sigma_b > \epsilon \sigma_b.$$

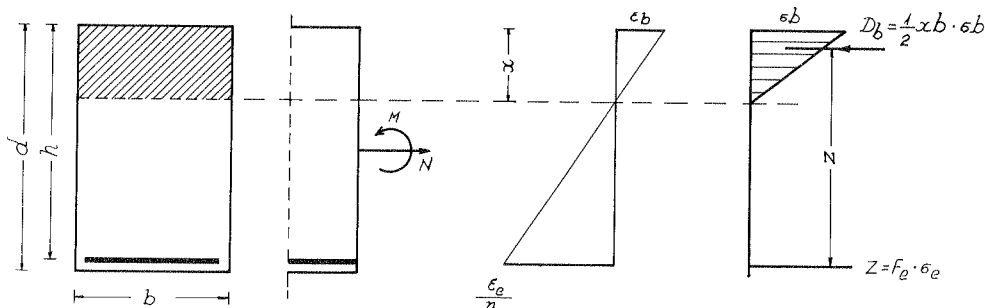
2. Καθορίζονται οί θέσεις τών όπλισμών καί βρίσκειται ή ποσότητα $M_e = M + N \cdot y_e$ (γιά N έφελκυστική). Υπολογίζεται ή ποσότητα

$$k_h = \frac{h \text{ (cm)}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ (tm)}}{b \text{ (m)}}}}$$



3.1. "Αν είναι $k_h > k_h^*$

σημαίνει ότι $\sigma_b < \epsilon \sigma_b$ καί ότι χρειάζεται μόνο έφελκυσμένος όπλισμός.



Στήν στήλη του $\sigma_e = \epsilon \rho \sigma_e$ στον πίνακα 12 έχουμε τό αντίστοιχο k_e .

Τότε ο αναγκαῖος ὀπλισμός είναι

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = k_e \frac{M_e \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}} + \frac{N \text{ (t)}}{\sigma_e \text{ (t/cm}^2\text{)}}$$

Επίσης από τόν ἴδιο πίνακα έχουμε καί τά k_z , k_x , ὁπότε $z = k_z \cdot h$ καί $x = k_x \cdot h$.

3.2. "Αν εἶναι $k_h < k_h^*$ σημαίνει ὅτι χρειάζεται καί θλιβόμενος ὀπλισμός.

Στόν πίνακα τοῦ $\sigma_e = \epsilon \rho \sigma_e$ καί στήν στήλη τοῦ $\sigma_b = \epsilon \rho \sigma_b$ (πίνακες 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23), βρίσκονται τά ἀντίστοιχα k_e καί k'_e , καί οἱ ἀναγκαῖοι ὀπλισμοί εἶναι:

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = k_e \frac{M_e \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}} + \frac{N \text{ (t)}}{\sigma_e \text{ (t/cm}^2\text{)}}$$

$$F'_e \text{ (cm}^2\text{)} = k'_e \frac{M_e \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}} \cdot \rho'$$

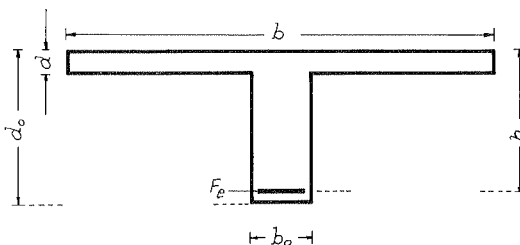
ὅπου $\rho' = 1,00$ γιά $\frac{h'}{h} \leq 0,07$

καί $\rho' = f(\sigma_b, \frac{h'}{h})$ γιά $\frac{h'}{h} > 0,07$

2.2. ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΣ

1. Συνεργαζόμενο πλάτος

Μέ βάση τούς κανονισμούς πού ἰσχύουν εἶναι $b = b_0 + 12d$ σέ περίπτωση πλάκας καί ἀπό τίς δύο πλευρές. καί $b = b_0 + 4,5d$ σέ περίπτωση πλάκας ἀπό τήν μία πλευρά (βλέπε κεφάλαιο VII).



Γιά τόν ὑπολογισμό στατικῶν μεγεθῶν εἶναι:

$b = b_0 + 6d$ καί $b = b_0 + 2,25d$ ἀντίστοιχα γιά δίπλευρη καί μονόπλευρη πλακοδοκία.

Πάντως τό συνεργαζόμενο πλάτος δέν μπορεί νά εἶναι μεγαλύτερο ἀπό τό ἡμιᾶθροισμα τῶν ἀνοιγμάτων τῶν πλακῶν ἀπό τίς δύο πλευρές τῆς δοκοῦ.

2. Ἀναγκαῖος ὀπλισμός

Βρίσκονται οἱ ποσότητες $\epsilon\sigma_b$, $\epsilon\sigma_e$ καί k_h^* .

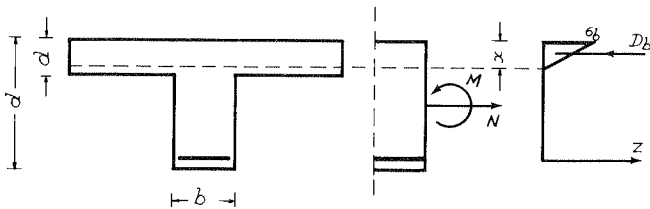
Στήν ἀρχή ἡ δοκός θεωρεῖται ὀρθογωνική ὕψους d_o καί πλάτους b_o . Τότε $k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}}$

"Αν $k_h < k_h^*$ χρειάζεται ἀλλαγὴ διαστάσεων γιατί σέ πλακοδοκό δέν ἐπιτρέπεται ἡ τοποθέτηση θλιβόμενου ὀπλισμοῦ στήν πλάκα.

"Αν $k_h > k_h^*$ βρίσκεται ἡ ποσότητα k_x πού ἀντιστοιχεῖ στό k_h πού βρέθηκε. Τότε $x = k_x \cdot h$, ὅπου x τό ὕψος τῆς θλιβόμενης ζώνης.

Στήν πράξη καί γιά συνηθισμένες περιπτώσεις ὅταν γιά $b = \frac{b}{2}$ εἶναι $k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{2M}{b}}} > k_h^*$ δέν χρειάζεται ἄλλος ἔλεγχος.

2.1. "Αν εἶναι $x \leq d$ σημαίνει ὅτι ἡ θεώρηση ὀρθογωνικῆς διατομῆς ἦταν ὀρθή, ὁπότε ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός εἶναι $F_e = k_e \frac{M_e}{h} + \frac{N}{\sigma_e}$.



2.2. "Αν εἶναι $x > d$

2.2.1 Γιά $\frac{b}{b_o} > 5$ ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός εἶναι :

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{M_e \text{ (tm)}}{(h - \frac{d}{2}) \text{ (m)} \cdot \sigma_e \text{ (t/cm}^2\text{)}} + \frac{N \text{ (t)}}{\sigma_e \text{ (t/cm}^2\text{)}}$$

Τότε ἡ τάση τοῦ σκυροδέματος στήν πάνω ἵνα τῆς πλάκας εἶναι :

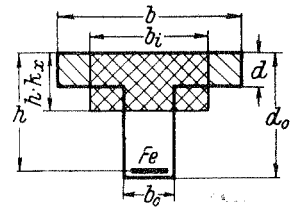
$$\sigma_b = \frac{\sigma_e \text{ (kg/cm}^2\text{)}}{(h - \frac{d}{2}) \text{ (cm)}} \left[\frac{F_e \text{ (cm}^2\text{)} h \text{ (cm)}}{b \cdot d \text{ (cm}^2\text{)}} + \frac{d \text{ (cm)}}{30} \right] - \frac{N \text{ (kg)}}{bd \text{ (cm}^2\text{)}} \left[1 - \frac{d \text{ (cm)}}{2h \text{ (cm)}} \right]$$

2.2.2. Για $b/b_o \leq 5$

Βρίσκεται μία ισοδύναμη ορθογωνική διατομή ύψους d_o και ισοδύναμου πλάτους $b_i = \lambda \cdot b$.

Ο συντελεστής λ είναι συνάρτηση των λόγων b/b_o και d/x . Η συνάρτηση αυτή δίνεται στον πίνακα 24.

Ο συντελεστής λ βρίσκεται με τον παρακάτω τρόπο:



1. Για $\lambda_1 = 1,00 \Rightarrow b_i = 1,00b \Rightarrow$

$$\Rightarrow k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{1,00b}}} \Rightarrow k_x \Rightarrow x = k_x \cdot h \Rightarrow \frac{d}{x}$$

Στό ζεύγος $(\frac{b}{b_o}, \frac{d}{x})$ αντιστοιχεί ο συντελεστής λ_2 .

2. Για $\lambda = \lambda_2 \Rightarrow b_i = \lambda_2 \cdot b \Rightarrow k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{\lambda_2 b}}} \Rightarrow k_x \Rightarrow$

$$\Rightarrow x = k_x \cdot h \Rightarrow \frac{d}{x}$$

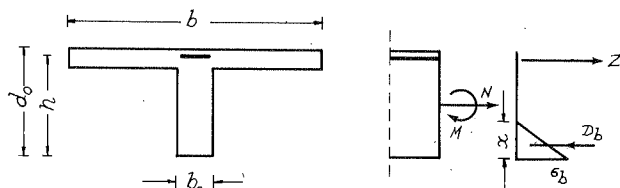
Στό ζεύγος $(\frac{b}{b_o}, \frac{d}{x})$ αντιστοιχεί ένας νέος συντελεστής λ_3 .

Η δουλειά αυτή συνεχίζεται ώσπου νά προκύψει $\lambda_{i+1} \cong \lambda_i$.

Για την τιμή αυτή του λ ελέγχεται αν είναι $k_h > k_h^*$ και από τον πίνακα 12 λαμβάνεται τό k_e και απ' αυτό ο αναγκαίος όπλισμός $F_e = k_e \frac{M_e}{h} + \frac{N}{\sigma_e}$.

Παρατήρηση

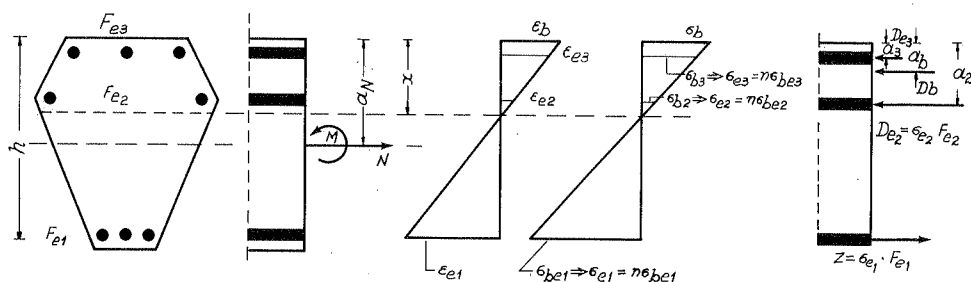
★ Πρέπει νά δίνεται προσοχή στις πλακοδοκούς μήπως ή ροπή κάμψης θλίβει τις κάτω ίνες τής πλακοδοκού, όποτε ή διατομή συμπεριφέρεται σάν όρθογωνική.



3. ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

3.1 ΤΥΧΟΥΣΑ ΔΙΑΤΟΜΗ

Δίνονται οι διαστάσεις και ο όπλισμός διατομής και ζητείται η μεγαλύτερη ροπή που μπορεί να πάρη αυτή.



Είναι $m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b}$, $x = \frac{n}{n+m} \cdot h$ όπου $n=15$.

$$D_b = \int_0^x \sigma_{bi} dF_{bi}, \quad D = D_b + D_{e2} + D_{e3} + N$$

Γενικά πρέπει να είναι $D=Z$ (1)

Η εξίσωση (1) έχει σαν μόνο άγνωστο τό m .

Η λύση του προβλήματος στηρίζεται ακριβώς στον προσδιορισμό του m . Πρέπει πάντως να τονιστή και έδω ότι όπωσδήποτε μιιά από τίς τάσεις σ_e , σ_b εξαντλείται.

1. Βρίσκονται οι ποσότητες ε_{ps_e} και ε_{ps_b} .

1η δοκιμή

Λαμβάνεται $\sigma_e = \varepsilon_{ps_e}$ και $\sigma_b = \varepsilon_{ps_b}$ οπότε $m_1 = \frac{\varepsilon_{ps_e}}{\varepsilon_{ps_b}}$.

Τότε $x_1 = \frac{n}{n+m_1} h$. Υπολογίζονται στην συνέχεια οι ποσότητες D_b, D_{e2}, D_{e3}, Z και συγκρίνονται τά μεγέθη $D = D_b + D_{e2} + D_{e3} + N$

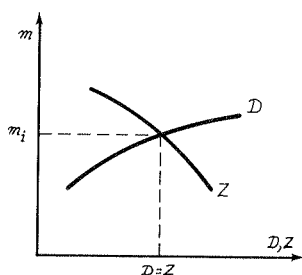
καί Z .

"Αν είναι $D > Z$ σημαίνει ότι είναι $\sigma_e = \varepsilon \sigma_e$ καί $\sigma_b < \varepsilon \sigma_b$.

"Αν είναι $D < Z$ " " " $\sigma_e < \varepsilon \sigma_e$ καί $\sigma_b = \varepsilon \sigma_b$.

2η δοκιμή

Λαμβάνεται τό κρίσιμο μέγεθος καί μία τιμή τοῦ ἄλλου ὅ-
πότε $m_2 = \frac{\sigma_e}{\varepsilon \sigma_b}$ ἢ $m_2 = \frac{\varepsilon \sigma_e}{\sigma_b}$ καί ὑπολογίζονται πάλι τὰ μεγέ-
θη D καί Z . Οἱ δοκιμές συνεχίζονται μέ-
χρι νά προκύψῃ $D=Z$.



Πολλές φορές ἡ λύση δίνεται πιό
γρήγορα γραφικά.

Σέ σύστημα δυό ἀξόνων $[(D, Z), m]$
γράφονται οἱ καμπύλες D, Z . Τό σημεῖο το-
μῆς τους δίνει τήν λύση τοῦ προβλήματος,
δηλαδή τό m_i .

3. Ἀφοῦ βρεθῇ τό σωστό m ὑπολογίζον-
ται οἱ ποσότητες D_b, D_{e_2}, D_{e_3}, Z . Τότε
ἡ ὀριακή ροπή πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ ἡ
διατομή εἶναι:

$$M_{op} = D_b (h - \alpha_b) + D_{e_2} (h - \alpha_2) + D_{e_3} (h - \alpha_3) + N (h - \alpha_N)$$

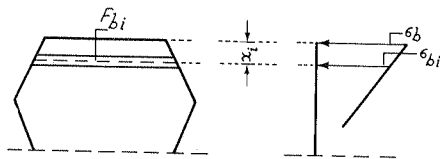
$$\text{ὅπου } \alpha_b = \frac{\int_0^x \sigma_{bi} dF_{bi} x_i}{\int_0^x \sigma_{bi} dF_{bi}}$$

Παρατηρήσεις

★ Στήν πράξη καί γιά πολύπλοκες διατομές τὰ ὁλοκληρώματα $\int_0^x \sigma_{bi} dF_{bi}$
καί $\int_0^x \sigma_{bi} dF_{bi} x_i$ ὑπολογίζονται λαμβάνοντας ζῶνες ἐμβαδοῦ F_{bi} καί μέσης
τάσης σ_{bi} ὅποτε $\int_0^x \sigma_{bi} dF_{bi} = \sum_{i=1}^n F_{bi} \sigma_{bi}$ καί $\int_0^x \sigma_{bi} dF_{bi} x_i = \sum_{i=1}^n F_{bi} \sigma_{bi} x_i$.

★ Σέ περίπτωση ὀρθογωνικῆς θλιβόμενης διατομῆς εἶναι: $D_b = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot \sigma_b$
καί $\alpha = \frac{x}{3}$.

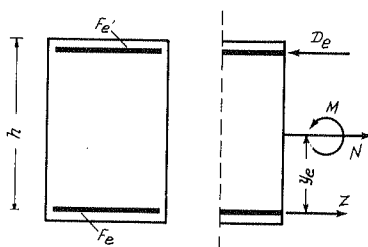
★ Σέ περίπτωση τριγωνικῆς θλιβόμενης διατομῆς εἶναι: $D_b = \frac{1}{6} b \cdot x \cdot \sigma_b$
καί $\alpha = \frac{x}{2}$.



3.2. ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

1. Βρίσκονται οι ποσότητες $\epsilon\sigma_b$ και $\epsilon\sigma_e$.

2α. Όταν $\sigma_e = \epsilon\sigma_e$, τότε η έξι-
σωση (1) που δίνει τό ύψος της
θλιβόμενης ζώνης είναι $\frac{1}{2n} bx^2 +$
 $+(F_e + F'_e - \frac{N}{\epsilon\sigma_e})x + \frac{N}{\epsilon\sigma_e}h - F_e h -$
 $-F'_e h' = 0$ (1). Λύνεται η έξι-
σωση και βρίσκεται τό x .



Από την σχέση $\sigma_b = \frac{x}{h-x} \cdot$
 $\epsilon\sigma_e$ βρίσκεται η τάση του σκυ-

ροδέματος και ελέγχεται αν είναι $\sigma_b < \epsilon\sigma_b$ που σημαίνει ότι
καλά θεωρήθηκε ότι $\sigma_e = \epsilon\sigma_e$.

2β. Αν προκύψει $\sigma_b > \epsilon\sigma_b$ σημαίνει ότι κακώς είχε θεωρηθεί $\sigma_e =$
 $= \epsilon\sigma_e$ και ότι πρέπει νά τεθεί $\sigma_b = \epsilon\sigma_b$. Όταν $\sigma_b = \epsilon\sigma_b$ η έξι-
σωση (2) μάς δίνει τό ύψος της θλιβόμενης ζώνης:

$$\frac{1}{2n} bx^2 + (F_e + F'_e + \frac{N}{n \cdot \epsilon\sigma_b})x - (F_e h + F'_e h') = 0 \quad (2)$$

Λύνεται η έξι-σωση και υπολογίζεται τό x . Η τάση του χάλυβα πρέπει νά είναι:

$$\sigma_e = \frac{h-x}{x} n \cdot \epsilon\sigma_b < \epsilon\sigma_e \quad (\text{τρόπος έλέγχου})$$

3. Αφοϋ βρεθούν οι τάσεις σ_b , σ_e και τό ύψος της θλιβόμε-
νης ζώνης, υπολογίζονται οι έσωτερικές δυνάμεις της διατο-
μής:

$$D_b = \frac{1}{2} b \cdot x \cdot \sigma_b, \quad D_e = \frac{x-h'}{x} n \cdot \sigma_b F_e'; \quad Z = F_e \cdot \sigma_e.$$

Ελέγχεται αν ισχύει $D_b + D_e + N = Z$

Η μέγιστη ροπή που μπορεί να παραλάβει η διατομή είναι

$$M_{op} = N \cdot y_e + D_b \left(h - \frac{x}{3} \right) + D_e (h - h')$$

Όταν η αξονική δύναμη $N=0$, η λύση του προβλήματος δίνεται στον πίνακα 25.

Παρατήρηση

★ Για σωστές εκλογές υλικών (δηλ. όχι B300, StI) δεν υπάρχει πρόβλημα άντοχής του θλιβόμενου όπλισμού όπως έχει αποδειχθή στο Κεφ. III § 2.3.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 23

Σέ δοκό ὀρθογωνικῆς διατομῆς 20×50 (cm^2) ἐνεργεῖ ροπή $M=5,2 \text{ tm}$ καί ἀξονικὴ δύναμη $N=-4 \text{ t}$. Νά ὑπολογισθῇ ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός καί οἱ ἀντίστοιχες τάσεις τοῦ χάλυβα καί τοῦ σκυροδέματος. Ὑλικά B225, StIII.

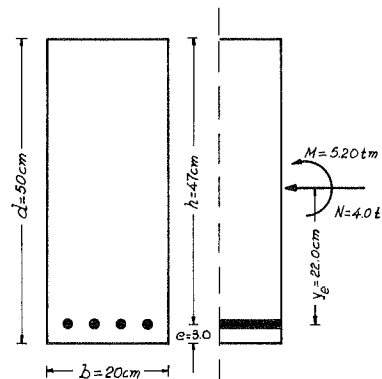
Λύση

1. Ὑπολογισμός ἀνηγμένης ἐκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{5,2}{4 \times 0,50} = 2,6 > 0,70$$

(Μεγάλη ἐκκεντρότητα)

Ἀπ' τὸν πίνακα 11.Γ.α προκύπτουν $\text{επ}_{\text{b}}=90 \text{ kg/cm}^2$ καί $\text{επ}_{\text{e}}=2200 \text{ kg/cm}^2$ ὁπότε $k_h^*=8,2$ (πίνακας 12).



2. Λαμβάνεται ἐπικάλυψη $t=1,5 \text{ cm}$

Γιὰ διάμετρο ὀπλισμοῦ περίπου 20 mm καί διάμετρο συνδετήρων περίπου 6 mm $\Rightarrow$



$$\Rightarrow e \approx 1,5 + 0,6 + \frac{2,0}{2} \approx 3,0 \text{ cm}$$

$$y_e = \frac{d}{2} - e = \frac{50,0}{2} - 3,0 = 22,0 \text{ cm}$$

καί $h=50,0-3,0=47,0 \text{ cm}$

$$M_e = M - N \cdot y_e = 5,2 + 4 \times 0,22 = 6,08 \text{ tm}$$

$$\text{Εἶναι } k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{47}{\sqrt{\frac{6,08}{0,20}}} = 8,5 > k_h^* = 8,2$$

Ἀπ' τὸν πίνακα 12 βρίσκεται $\sigma_b=86 \text{ kg/cm}^2 < \text{επ}_{\text{b}}=90 \text{ kg/cm}^2$

3. Γιὰ $k_h=8,5 \Rightarrow k_e=0,52$ καί ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός:

$$F_e = k_e \frac{M_e}{h} + \frac{N}{\sigma_e} = 0,52 \frac{6,08}{0,47} - \frac{4,0}{2,2} = 4,91 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow$$

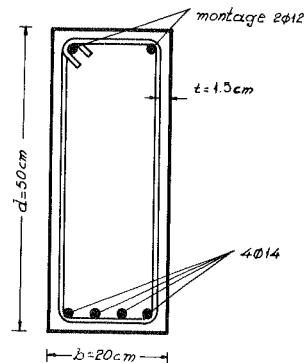
$$\Rightarrow F_e = 4\phi 14 (=6,16 \text{ cm}^2)$$

Οι τάσεις στis οποτες δουλεύουν ο χάλυβας και τό σκυρόδεμα είναι αντίστοιχα:

$$\sigma_e = \epsilon \rho \sigma_e = 2200 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_b = 86 \text{ kg/cm}^2$$

Παρατήρηση

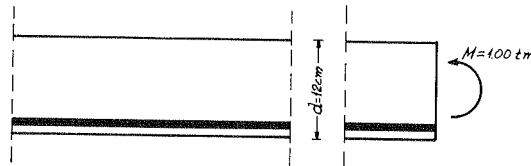
* Για τις διαστάσεις και τούς όπλισμούς τῶν δοκῶν υπάρχουν όρισμένοι κανονισμοί στο κεφάλαιο για δοκούς.



ΑΣΚΗΣΗ 24

Πλάκα με πάχος $d=12 \text{ cm}$ και πλάτος $b=1,00 \text{ m}$ καταπονείται από ροπή $M=1000 \text{ kgm}$. Νά υπολογισθῇ ὁ απαιτούμενος όπλισμός και οι τάσεις τῶν υλικῶν. Υλικά: B160, St I.

Λύση



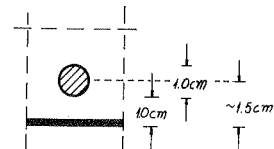
1. Υπολογισμός άνηγμένης έκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \infty \quad \text{γιατί } N=0$$

2. Από τον πίνακα 11.Α

$$\epsilon \rho \sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{και}$$

$$\epsilon \rho \sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{όποτε } k_h^* = 9,9 \quad (\text{πίνακας 12}).$$



Γιά επικάλυψη $t=1,0 \text{ cm}$ και διάμετρο όπλισμοῦ $1,0 \text{ cm}$ είναι (σχῆμα):

$$e = 1,0 + \frac{1,0}{2} = 1,5 \text{ cm} \quad \text{και } h = 12 - 1,5 = 10,5 \text{ cm}$$

$$M_e = M = 1,00 \text{ tm}$$

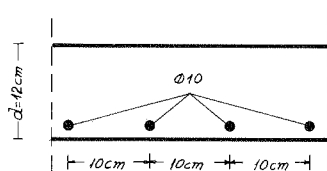
$$3. \quad k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{10,5}{\sqrt{\frac{1,00}{1,00}}} = 10,5 > k_h^* = 9,9$$

Απ' τόν πίνακα 12: $\sigma_b \approx 56 \text{ kg/cm}^2 < \epsilon \sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$ και $k_e = 0,82$
 τότε: $F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,82 \times \frac{1,0}{0,105} = 7,77 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 10\emptyset 10$ ή
 $f_e = \emptyset 10/10 (= 7,9 \text{ cm}^2)$.

Οι τάσεις του χάλυβα και του σκυροδέματος είναι αντίστοιχα $\sigma_e = \epsilon \sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2$ και $\sigma_b = 56 \text{ kg/cm}^2$.

Παρατήρηση

★ Οι κανονισμοί για όπλισμούς, διαστάσεις κ.ά. υπάρχουν στο κεφάλαιο για πλάκες.



ΑΣΚΗΣΗ 25

Ορθογωνική διατομή 55x20 βρίσκεται έκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα και αναλαμβάνει ροπή $M=10,0 \text{ tm}$.

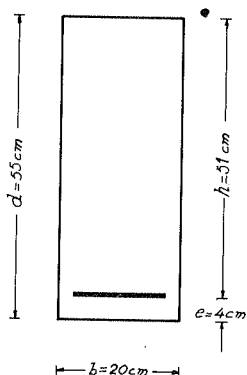
Ζητούνται:

- Οι απαιτούμενοι όπλισμοί.
- Τό πλάτος b' ώστε να μή χρειάζεται θλιβόμενος όπλισμός και να υπολογισθῇ ὁ ἐφελκυσόμενος όπλισμός ὅπως καί οἱ τάσεις τῶν ὑλικῶν. Ὑλικά B225, StII.

Λύση

α. Απαιτούμενοι όπλισμοί:

- Γιά $N=0 \Rightarrow \gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \infty$ (Μεγάλη ἐκκεντρότητα).
- Απ' τόν πίνακα 11.Γ.β λαμβάνεται:



$\epsilon\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$ και $\epsilon\sigma_e = 1800 \text{ kg/cm}^2$ ενώ
 απ'τόν πίνακα 12 προκύπτει $k_h^* = 8,5$. Έ-
 πειδή η διατομή είναι στο ύψαιθρο λαμ-
 βάνεται επικάλυψη $t = 2 \text{ cm}$ και για όπλισμό
 $\phi 20$ περίπου και συνδετήρες $\phi 6$ είναι:

$$e = 2,0 + 0,6 + \frac{2,0}{2} \approx 3,5 \text{ cm. Λαμβάνεται } e = 4,0 \text{ cm. } M_e = M = 10,0 \text{ tm.}$$

$$3. \quad k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{51}{\sqrt{\frac{10,0}{0,20}}} = 7,2 < K_h^* = 8,5$$

Επομένως χρειάζεται θλιβόμενος ό-
 πλισμός.

Απ'τόν πίνακα 18 ($\sigma_e = 1,8 \text{ t/cm}^2$) για $\epsilon\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$, λαμ-
 βάνεται $k_e = 0,63$, $k'_e = 0,31$.

Ο απαιτούμενος όπλισμός είναι:

$$F_e = k_e \frac{M_e}{h} = 0,63 \times \frac{10,0}{0,51} = 12,35 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 20 (=12,56 \text{ cm}^2)$$

$$u = \frac{h'}{h} = \frac{4}{51} = 0,078 > 0,07$$

Στόν πίνακα 18 και στο ζεύγος ($\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$, $u = \frac{h'}{h} = 0,078$)
 αντιστοιχεί $\rho' = 1,04$.

$$\text{Άρα } F'_e = k'_e \frac{M_e}{h} \cdot \rho' = 0,31 \frac{10,0}{0,51} \times 1,04 = 6,32 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F'_e = 2\phi 20 (=6,28 \text{ cm}^2)$$

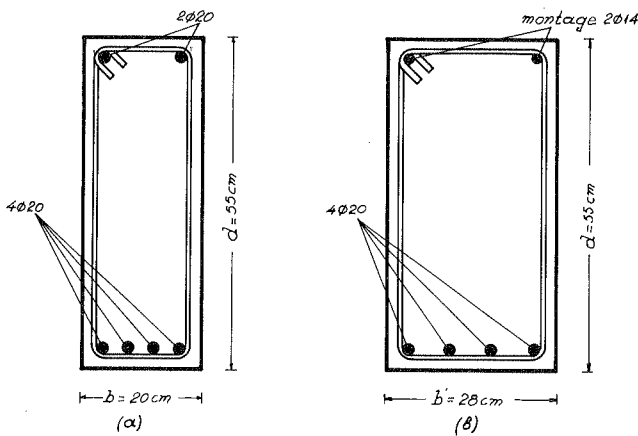
β. Για να μη χρειάζεται θλιβόμενος όπλισμός πρέπει $k_h \geq k_h^* = 8,5$
 $\Rightarrow k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b'}}} \geq 0,85 \Rightarrow \frac{51}{\sqrt{\frac{10,0}{b'}}} \geq 0,85 \Rightarrow b' \geq 0,28 \text{ m}$

Λαμβάνεται $b' = 0,28 \text{ m}$

Απ'τόν πίνακα 12 για $k_h = k_h^* = 8,5$ προκύπτει $k_e = 0,64$ και
 $F_e = k_e \frac{M_e}{h} = 0,64 \frac{10,00}{0,51} = 12,55 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 20 (=12,56 \text{ cm}^2).$

Οι τάσεις του σκυροδέματος και του χάλυβα είναι:

$$\sigma_e = \epsilon\sigma_e = 1800 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{και} \quad \sigma_b = \epsilon\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2.$$



Παρατηρήσεις

★ Τό πλάτος b' , στην β' περίπτωση, στην πράξη και σε συνηθισμένες κατασκευές θα λαμβάνεται 30 cm για να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο των 5 cm.

★ Τό montage μπορεί να ληφθῇ σάν θλιβόμενος όπλισμός. Τότε ἡ διατομή ἀντέχει σέ μεγαλύτερη ροπή.

“Αν εἴχαμε πλάτος $b'=25$ cm καί όπλισμούς $F_e=4\phi 20$ καί montage 2Ø14 $\Rightarrow k_h = \frac{51}{\sqrt{\frac{10}{0,25}}} = 8,0 < k_{h*} \Rightarrow k_e=0,64, k'_e=0,11,$

$\rho'=1,04 \rightarrow F_e=0,64 \times \frac{10,0}{0,51} = 12,55 \text{ cm}^2$ υπάρχουν 4Ø20 ($=12,56 \text{ cm}^2$)

$F'_e=0,11 \times \frac{10,0}{0,51} \times 1,04 = 2,24 \text{ cm}^2$ υπάρχουν 2Ø14 ($=3,08 \text{ cm}^2$)

Γι'αυτό λαμβάνεται τελικά πλάτος $b=25$ cm μέ τούς ἑδious όπλισμούς, ὅπως στή (β) περίπτωση.

ΑΣΚΗΣΗ 26

Ζητεῖται νά ὑπολογισθῇ ἡ ἐλάχιστη ὀρθογωνική διατομή πλάτους $b=25$ cm, πού νά μπορῇ νά παίρνη ροπή $M=18,0 \text{ tm}$.

Ἐπίσης νά βρεθῇ ἡ ροπή πού μπορεῖ νά πάρη ἡ ἑδια διατομή μόνο μέ ἐφελκυσόμενο όπλισμό. Ὑλικά: B300, StIII.

Λύση

α.1. Υπολογισμός άνηγμένης έκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \infty \quad (\text{μεγάλη έκκεντρότητα})$$

Απ'τόν πίνακα 11.Α λαμβάνονται:

$$\text{επσ}_B = 100 \text{ kg/cm}^2 \text{ και } \text{επσ}_e = 2200 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow k_h^* = 7,6 \text{ (πίνακας 12)}$$

2. Έπειδή ζητείται ή ελάχιστη διατομή, πρέπει $F_e = F'_e$ ($k_e = k'_e$)

Απ'τόν πίνακα 20 για $\text{επσ}_e = 2,2 \text{ t/cm}^2$ και $\text{επσ}_B = 100 \text{ kg/cm}^2$ βρίσκεται $k_h = 4,9$ τέτοιο ώστε $k_e = k'_e = 0,50$.

Λαμβάνεται $e = h' = 3,0 \text{ cm}$.

3. Έπειδή $N = 0 \Rightarrow M_e = M = 18 \text{ tm}$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = 4,9 \Rightarrow \frac{h}{\sqrt{\frac{18,0}{0,25}}} = 4,9 \Rightarrow h \approx 41,6 \text{ cm} \text{ και } d = 41,6 + 3,0 = 44,6 \text{ cm}.$$

Λαμβάνεται $d = 45 \text{ cm}$ και $h = 45 - 3,0 = 42,0 \text{ cm}$

$$v = \frac{h'}{h} = \frac{3}{42} = 0,07 \Rightarrow \rho' = 1,00$$

$$\text{Άρα: } F_e = F'_e = k_e \frac{M_e}{h} = 0,50 \times \frac{18,0}{0,42} = 21,43 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e = F'_e = 5\emptyset 24 \text{ (=22,60 cm}^2\text{)}$$

Απ'τόν πίνακα 7 προκύπτει ότι τά $5\emptyset 24$ χωράνε στο πλάτος $b = 25 \text{ cm}$.

Παρατήρηση

* Έπειδή τό στατικό ύψος h είναι μεγαλύτερο άπ' τό απαιτούμενο, θά είναι $k_e \approx 0,50$ και $k'_e < 0,50$, άρα λιγώτερος θλιβόμενος όπλισμός. Η διαφορά όμως είναι μικρή γι'αυτό παραβλέπεται για μεγαλύτερη ασφάλεια.

β. Για την διατομή $b \times d = 25 \times 45$, ζητείται ή ροπή πού μπορεί νά πάρη χωρίς θλιβόμενο όπλισμό.

1. Έχομε $\text{επσ}_e = 2,2 \text{ t/cm}^2$ και $\text{επσ}_B = 100 \text{ kg/cm}^2$, $k_h^* = 7,6$

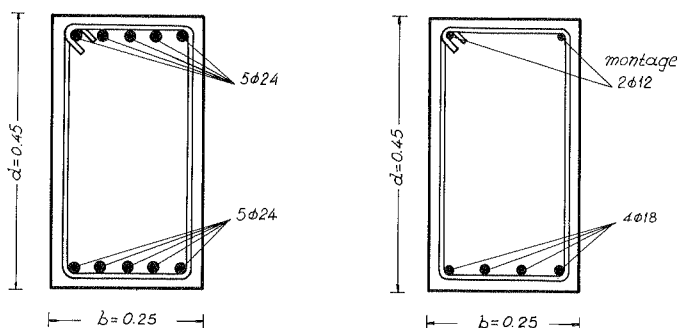
$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = 7,6 \text{ Είναι όμως } h = 45,0 - 3,0 = 42,0 \text{ cm}$$

Άρα: $\frac{42}{\sqrt{\frac{M_e}{0,25}}} = 7,6 \Rightarrow \frac{M_e}{0,25} = 30,54 \Rightarrow M_e = 7,64 \text{ tm}$

Επειδή $N=0 \Rightarrow M=M_e=7,64 \text{ tm}$.

Απ' τον πίνακα 12 $\Rightarrow k_e=0,53$ και

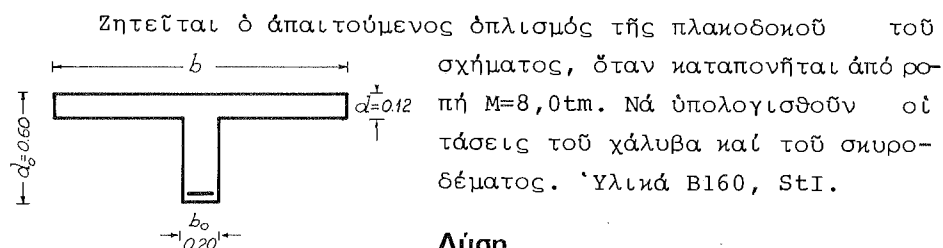
$F_e = k_e \frac{M_e}{h} = 0,53 \times \frac{7,64}{0,42} = 9,64 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 18 (=10,16 \text{ cm}^2)$



Παρατήρηση

Όταν υπάρχει θλιβόμενος όπλισμός, υπάρχει πρόβλημα λυγισμού των θλιβόμενων ράβδων, γι' αυτό πρέπει να μπαίνουν πυκνοί και καλά κλειστοί συνδετήρες.

ΑΣΚΗΣΗ 27



Λύση

1. Συνεργαζόμενο πλάτος

$b = b_o + 12d = 0,20 + 12 \times 0,12 = 1,64 \text{ m}$

2. Για B160, StI άπ'τόν πίνακα 11.Β λαμβάνονται :

$$\text{επ}\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ και } \text{επ}\sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow k_h^* = 11,4 \text{ (πίνακ.12).}$$

$$\text{Λαμβάνεται } h = 60,0 - 3,0 = 57,0 \text{ cm}$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{57}{\sqrt{\frac{8,00}{1,64}}} = 25,8 > k_h^*$$

Άπ'τόν πίνακα 12 (στήλη 1,4t/cm²) έχουμε, για $k_h = 25,8$, $k_x = 0,17$.

$$\text{"Άρα } x = k_x \cdot h = 0,17 \times 57 = 9,7 \text{ cm} < d = 12 \text{ cm}$$

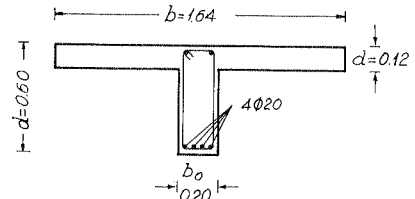
Για $k_h = 25,8$ προκύπτει $\sigma_b \cong 19 \text{ kg/cm}^2$ και $k_e = 0,76$ και

$$F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,76 \times \frac{8,00}{0,57} = 10,67 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e = 4\phi 20 (=12,56 \text{ cm}^2).$$

Οι τάσεις του σκυροδέματος και του χάλυβα είναι :

$$\sigma_b = 19 \text{ kg/cm}^2 \text{ και } \sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2$$



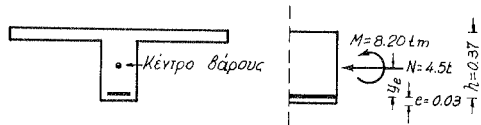
ΑΣΚΗΣΗ 28

Στήν διατομή του σχήματος ενεργούν ροπή $M=8,20 \text{ tm}$ και άξονική δύναμη $N=-4,5 \text{ t}$. Νά υπολογισθῇ ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός και οἱ τάσεις τοῦ σκυροδέματος και τοῦ χάλυβα.

Δίνονται: Συνεργαζόμενο πλάτος $b=1,20 \text{ m}$. Υλικά: B225, StIII.

Λύση

1. Για B225 και StIII άπ'τόν πίνακα 11.Γ.γ. λαμβάνονται $\text{επ}\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$, $\text{επ}\sigma_e = 2200 \text{ kg/cm}^2$, ὁπότε $k_{h1}^* = 9,0$ (πίν.12). Λαμβάνεται $e=3,0 \text{ cm}$.



$$y_e = \frac{\sum F_i y_{iu}}{\sum F_i} = \frac{0,08 \times 1,20 \times 0,33 + 0,20 \times 0,32 \times 0,13}{0,08 \times 1,20 + 0,20 \times 0,32} = 0,25 \text{ m}$$

$$M_e = M - N \cdot y_e = 8,20 + 4,5 \times 0,25 = 9,325 \text{ tm}$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{37}{\sqrt{\frac{9,325}{1,20}}} = 13,3 > k_h^*$$

Απ' τόν πίνακα 12 για $k_h = 13,3 \Rightarrow k_x = 0,25$ και $x = k_x \cdot h = 0,25 \times 37 = 9,25 > d = 8 \text{ cm}$.

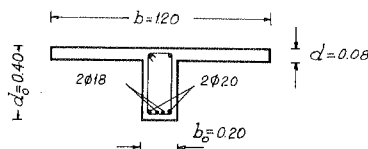
$$2. \quad \frac{b}{b_o} = \frac{1,20}{0,20} = 6 > 5 \quad \text{τότε}$$

$$F_e = \frac{M_e}{(h - \frac{d}{2}) \sigma_e} + \frac{N}{\sigma_e} = \frac{9,325}{(0,37 - 0,04) \times 2,2} - \frac{4,5}{2,2} = 10,80 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$F_e = 2\phi 18 + 2\phi 20 (= 5,08 + 6,28 = 11,36 \text{ cm}^2)$$

Η τάση του σκυροδέματος είναι:

$$\sigma_b = \frac{\sigma_e}{(h - \frac{d}{2})} \left(\frac{F_e \cdot h}{bd} + \frac{d}{30} \right) - \frac{N}{bd(1 - \frac{d}{2h})} = \frac{2200}{33} \left(\frac{11,78 \times 37}{120 \times 8} + \frac{8}{30} \right) + \frac{4.500}{120 \times 8 \times (1 - \frac{8}{2 \times 37})} \Rightarrow \sigma_b \approx 53,30 \text{ kg/cm}^2 < \epsilon \sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$$



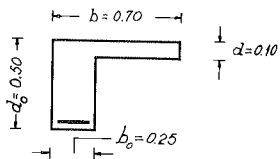
Παρατήρηση

Η τάση σ_b υπολογίστηκε μ' αυτό τον τρόπο επειδή τήν ζητούσε η α-σκηση. Αν όν ενδιαφέρει η τιμή της και πρέπει να ελεγχθῇ αν αντέχει ή διατομή, γίνεται ο έλεγχος: για $b = \frac{1,20}{2} = 0,60 \text{ m}$.

$$k_h = \frac{37}{\sqrt{\frac{9,325}{0,60}}} = 9,4 > k_h^* \quad \text{άρα εν τάξει.}$$

ΑΣΚΗΣΗ 29

Ἡ διατομή τοῦ σχήματος καταπονεῖται ἀπὸ ροπή $M=10,5\text{tm}$.
Οἱ συνθήκες γιὰ τὴν στήριξη εἶναι τέτοιες, ὥστε ἡ οὐδέτερη γραμμὴ νὰ εἶναι ὀριζόντια.



Νά ὑπολογισθῇ ὁ ἀπαιτούμενος ὀπισμός καί οἱ τάσεις τῶν ὑλικῶν. Ὑλικά B160, StI.

Λύση

1. Συνεργαζόμενο πλάτος $b=b_0+4,5d=0,25+4,5\times 0,10=0,70\text{m}$

2. Λαμβάνεται $e=3,0\text{cm} \Rightarrow h=50,0-3,0=47,0\text{cm}$

Γιὰ B160 καί StI ἀπ'τόν πίνακα 11.B $\Rightarrow \varepsilon_{ps}=50\text{kg/cm}^2$,
 $\varepsilon_{pe}=1400\text{kg/cm}^2$. Ὄποτε ἀπ'τόν πίνακα 12 $\Rightarrow k_h^*=11,4$.

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{47}{\sqrt{\frac{10,5}{0,70}}} = 12,1 > k_h^* \Rightarrow k_x=0,33 \text{ καί } x=k_x \cdot h=0,33 \times 0,70=15,51 > d=10\text{cm}$$

3. $\frac{b}{b_0} = \frac{0,70}{0,25} = 2,8 < 5$. Ἀρα ὁ ὑπολογισμός γίνεται γιὰ ὀρθογωνική διατομή πλάτους $b_1=\lambda b$.

I. Γιὰ $\lambda_1=1,00 \Rightarrow b=0,70 \Rightarrow k_h=12,1 \Rightarrow k_x=0,33 \Rightarrow x=15,51 \Rightarrow \frac{d}{x} = \frac{10}{15,51} = 0,64$.

Γιὰ τό ζεύγος $(\frac{b}{b_0} = 2,8, \frac{d}{x} = 0,64)$ ἀπ'τόν πίνακα 24 $\Rightarrow \lambda_2=0,91$.

II. Γιὰ $\lambda_2=0,91 \Rightarrow b_2=\lambda_2 b=0,91 \times 0,70=0,64 \Rightarrow k_h = \frac{47}{\sqrt{\frac{10,5}{0,64}}} = 11,6 \Rightarrow k_x=0,34 \Rightarrow x=0,34 \times 47=15,98 \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{d}{x} = \frac{10}{15,98} = 0,63$.

Γιὰ τό ζεύγος $(\frac{b}{b_0}=2,8, \frac{d}{x}=0,63) \Rightarrow \lambda_3=0,91=\lambda_2$.

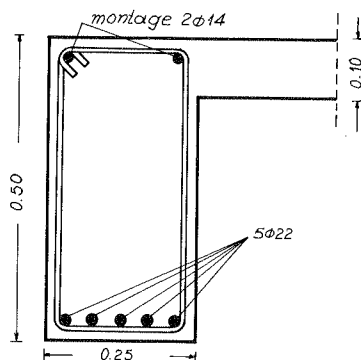
Απ'τό $k_h = 11,6 > k_h^* \Rightarrow \sigma_b \approx 48,0 \text{ kg/cm}^2$ καί $k_e = 0,81$

$$F_e = k_e \times \frac{M}{h} = 0,81 \times \frac{10,5}{0,47} = 18,10 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 5\phi 22 (=19,0 \text{ cm}^2)$$

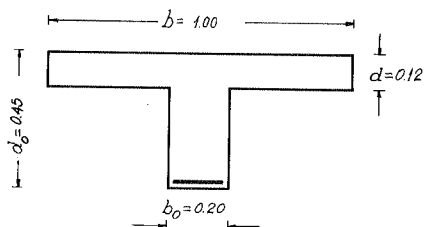
Απ'τόν πίνακα 7 παρατηρείται ότι ο όπλισμός χωράει σε μία στρώση.

ΑΣΚΗΣΗ 30

Στήν διατομή του σχήματος νά υπολογισθῇ ἡ μέγιστη θετική καί ἡ μέγιστη ἀρνητική ροπή, πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ χωρίς θλιβόμε-νο όπλισμό.



Δίνεται συνεργαζόμενο πλάτος $b=1,00\text{m}$. Υλικά: B160, StI.



Λύση

α. Μὲ τὴν μέγιστη θετική ροπή ἡ διατομή δουλεύει σάν πλακοδοκός με $\sigma_e = \text{επσ}_e$ καί $\sigma_b < \text{επσ}_b$.

Γιά B160 καί StII $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \text{επσ}_b = 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ καί } \text{επσ}_e = 1800 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow k_h^* = 12,3.$$

$$\text{Πρέπει } k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{\max M}{b}}} = 12,3 \Rightarrow \max M = \frac{h^2 b}{12,3^2} \quad (1)$$

Ἐπειδὴ προβλέπεται ὅτι θά προκύψῃ πολὺς όπλισμός καί δέν θά χωράῃ σέ μία στρώση, λαμβάνεται $e=5\text{cm}$.

$$\text{Ἄρα } h = 45,0 - 5,0 = 40,0 \text{ cm}.$$

Ἡ (1) λοιπὸν δίνει:

$$\max M = \frac{40^2 \times 1,00}{12,3^2} = 10,58 \text{ tm}$$

Απ'τόν πίνακα 12 γιά $k_h = 12,3 \Rightarrow k_x = 0,29$ καί $x = k_x \cdot h = 0,29 \times 40 = 11,6 \text{ cm} < d = 12 \text{ cm}$. Ἐπίσης $k_e = 0,62$ καί

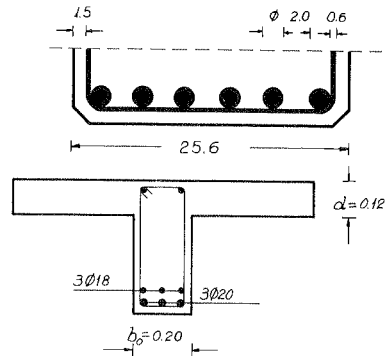
$$F_e = k_e \frac{M_e}{h} = 0,62 \times \frac{10,58}{0,40} = 16,40 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$F_e = 3\phi 18 + 3\phi 20 (=7,62 + 9,42 = 17,04 \text{ cm}^2)$$

Γιά να χωρούν σε μία σειρά χρειάζεται πλάτος:

$$b \geq 3 \times 1,8 + 3 \times 2,0 + 5 \times 2,0 + 2 \times 0,6 + 2 \times 1,5 = 25,6 \text{ cm.}$$

Γι' αυτό μπαίνουν σε δύο σειρές όπως στο διπλανό σχήμα.



β. Μέ την μέγιστη αρνητική ροπή ή διατομή δουλεύει σαν ορθογωνική με διαστάσεις $b \times d = 20 \times 45 \text{ (cm}^2\text{)}$.

Απ'τόν πίνακα 11.B $\Rightarrow \epsilon_{ps_b} = 70 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon_{ps_e} = 1800 \text{ kg/cm}^2$ και $k_h^* = 9,4$ (πίνακας 12).

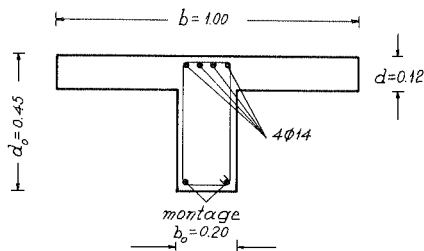
$$\text{Πρέπει } k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = k_h^* \quad (1)$$

Λαμβάνεται $e = 3,0$ γιατί δέν περιμένομε να προκύψη πολύς όπλισμός, άρα $h = 45,0 - 3,0 = 42,0 \text{ cm}$ και

$$(1) \Rightarrow \frac{42}{\sqrt{\frac{\max M}{0,20}}} = 9,4 \Rightarrow \max M = \frac{42^2 \times 0,20}{9,4^2} = 3,99 \text{ tm (άλγεβρικά)}$$

$$\min M = -3,99 \text{ tm}.$$

$$\text{Γιά } k_h = 9,4 \Rightarrow k_e = 0,63 \text{ και } F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,63 \times \frac{3,99}{0,42} = 5,99 \text{ cm}^2 \text{ και } F_e = 4\phi 14 (=6,16 \text{ cm}^2)$$



Παρατηρήσεις

* "Αν συγκριθούν τά αποτελέσματα προκύπτει ότι στην περίπτωση ύπολογισμού σαν πλακοδοκοῦ (μέ μέγιστη θετική ροπή) ή διατομή άντέχει σε μεγαλύτερες ροπές άπ'ότι στην περίπτωση ορθογωνικής διατομής (μέ μέγιστη άρνητική ροπή).

★ "Αρα στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν δίνονται δύο ροπές μία θετική και μία αρνητική, για να υπολογισθῇ τὸ απαιτούμενο ὕψος τῆς διατομῆς, χωρίς θλιβόμενο ὄπλισμό, γίνεται πρῶτα ὁ υπολογισμός (με αρνητική ροπή) τῆς ὀρθογωνικῆς διατομῆς.

★ "Αν τεθῇ θλιβόμενος ὄπλισμός ἡ μέγιστη αρνητική ροπή ποὺ ἀναλαμβάνει ἡ διατομή μεγαλώνει. Σύμφωνα με τὸν κανονισμό, στὸν υπολογισμό σὰν πλακοδοκοῦ δέν πρέπει νὰ χρησιμοποιῆται θλιβόμενος ὄπλισμός.

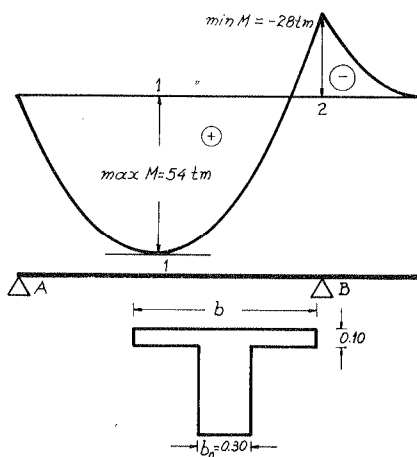
★ Τὰ σίδερα τοῦ montage εἶναι δυνατό νὰ χρησιμοποιοῦνται ἀπ' ἄλλον υπολογισμό π.χ. στὴν περίπτωση μονόπακτης δοκοῦ, ἀπ' τὸν ὄπλισμό κάμψης τοῦ ἀνοίγματος.

ΑΣΚΗΣΗ 31

Στὴν μονοπροέχουσα δοκὸ τοῦ σχήματος ἔχει προκύψει:
 $\max M = 54,0 \text{ tm}$ καὶ $\min M = -28,0 \text{ tm}$. Νά βρεθοῦν:

A. Τὸ απαιτούμενο ὕψος καὶ οἱ απαιτούμενοι ὀπλισμοὶ χωρίς θλιβόμενο ὄπλισμό σ' ὅλα τὰ σημεῖα.

B. Τὸ ελάχιστο ὕψος τῆς δοκοῦ καὶ οἱ απαιτούμενοι ὀπλισμοί. Ὑλικά: B300, StIII_R ($\varepsilon_{ps_e} = 2400 \text{ kg/cm}^2$).



Λύση

A. Ξεκινώντας ἀπ' τὴν προηγούμενη παρατήρηση γίνεται πρῶτα υπολογισμός με τὴν αρνητική ροπή $M_2 = -28,0 \text{ tm}$, ἀν καὶ εἶναι πολὺ μικρότερη ἀπὸ τὴν $M_1 = 54,0 \text{ tm}$. Λαμβάνεται ὀρθογωνικὴ διατομὴ $b_o \times d_o = 0,30 \times d_o$.

Ἀπ' τὸν πίνακα 11.B προκύπτουν $\varepsilon_{ps_b} = 110 \text{ kg/cm}^2$, $\varepsilon_{ps_e} = 2400 \text{ kg/cm}^2$ (βάσει τοῦ νέου κανονισμοῦ γιὰ νευροχάλυβες), ὁπότε $k_h^* = 7,2$.

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = k_h^* = 7,2 \Rightarrow \frac{h}{\sqrt{\frac{28}{0,30}}} = 7,2 \Rightarrow h = 69,6 \text{ cm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_o = 69,6 + 3,0 = 72,6 \text{ cm. Λαμβάνεται } d_o = 75 \text{ cm.}$$

Διατομή «1»

$$1. \text{ 'Απ'τόν πίνακα 11.B } \frac{\varepsilon \pi \sigma_b}{\varepsilon \pi \sigma_e} = \frac{90 \text{ kg/cm}^2}{2400 \text{ kg/cm}^2}, \text{ όποτε } k_h^* = 8,4$$

$$\text{Λαμβάνεται } e = 3,0 \text{ cm} \Rightarrow h = 75,0 - 3,0 = 72,0 \text{ cm}$$

$$\text{Συνεργαζόμενο πλάτος: } b = b_o + 12d = 0,30 + 12 \times 0,10 = 1,50 \text{ m}$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{72}{\sqrt{\frac{54,0}{1,50}}} = 12,0 > k_h^*$$

$$\text{Γιá } k_h = 12,0 \Rightarrow k_x = 0,26 \Rightarrow x = k_x \cdot h = 0,26 \times 72 = 18,72 \text{ cm} > d = 10 \text{ cm}$$

$$2. \frac{b}{b_o} = \frac{1,50}{0,30} = 5$$

Βρίσκεται ίσοδύναμο πλάτος όρθογωνιακής διατομής $b_i = \lambda \cdot b$.

$$\text{I. Γιá } \lambda_1 = 1,00 \Rightarrow b_1 = 1,50 \Rightarrow k_h = 12,0 \Rightarrow k_x = 0,26 \Rightarrow x = 18,72 \Rightarrow \frac{d}{x} = \frac{10}{18,72} = 0,53. \text{ Στο ζεύγος } \left(\frac{b}{b_o} = 5, \frac{d}{x} = 0,53 \right) \text{ áντιστοιχεῖ } \lambda_2 = 0,82 \text{ (πίν. 24).}$$

$$\text{II. Γιá } \lambda_2 = 0,82 \Rightarrow b_2 = 0,82 \times 1,50 = 1,23 \text{ m} \Rightarrow$$

$$k_h = \frac{72}{\sqrt{\frac{54,0}{1,23}}} = 18,9 \Rightarrow k_{x_1} = 0,286 \Rightarrow x_1 = k_{x_1} \cdot h = 0,286 \times 72 = 20,59 \text{ cm}$$

$$\frac{d}{x} = \frac{10}{20,59} = 0,49$$

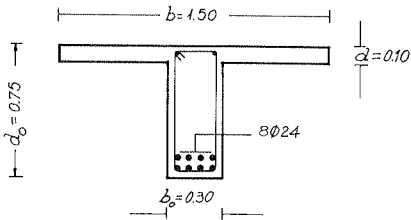
$$\text{Στό ζεύγος } \left(\frac{b}{b_o} = 5, \frac{d}{x} = 0,49 \right) \text{ áντιστοιχεῖ } \lambda_3 = 0,79$$

$$\text{III. Γιá } \lambda_3 = 0,79 \Rightarrow b_3 = 0,79 \times 1,50 = 1,19$$

$$k_h = \frac{72}{\sqrt{\frac{54,00}{1,19}}} = 10,7 \Rightarrow k_{x_2} = 0,29 \approx k_{x_1}$$

Γιά $k_h = 10,7 > k_h^* = 8,4 \Rightarrow k_e = 0,46$ και

$$F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,46 \times \frac{54,0}{0,72} = 34,50 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 8\phi 24 (=36,16 \text{ cm}^2)$$



Τά 8 ϕ 24 μπαίνουν σε δύο σειρές. Έπρεπε λοιπόν να ληφθῇ $e = 5,0 \text{ cm}$. Ἡ διαφορά ὅμως καλύπτεται ἀπ'τόν προηγούμενο ὀπλισμό πού χρησιμοποιήθηκε ($\Delta F_e = 36,13 - 34,50 = 1,66 \text{ cm}^2$)

Ὀπλισμός στή διατομή «Β»

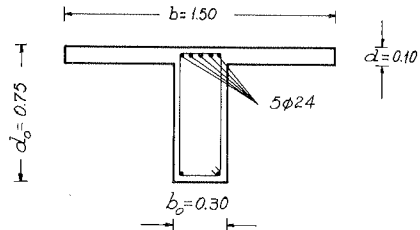
Ἀπ'τόν πίνακα 11.Β $\Rightarrow \frac{\varepsilon_{psb}}{\varepsilon_{pse}} = \frac{110}{2400}$ ὁπότε $k_h^* = 7,2$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{72}{\sqrt{\frac{28,0}{0,30}}} = 7,5 > k_h^*$$

Γιά $k_h = 7,5 \Rightarrow k_e = 0,48$ και

$$F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,48 \times \frac{28,00}{0,72} = 18,67 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$F_e = 5\phi 24 (=22,60 \text{ cm}^2).$$



Β. Γιά νά βρεθῇ τό ἐλάχιστο ὕψος τῆς δοκοῦ θά ὑπολογισθῇ πρῶτα ἡ διατομή "Β" ὅπου ὑπάρχει ἀρνητική ροπή, μέ $k_e = k'_e$.

$$\frac{\varepsilon_{psb}}{\varepsilon_{pse}} = \frac{110}{2400} \text{ και } k_e \cong k'_e \text{ για } k_h = 5,0$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = 5,0 \Rightarrow \frac{h}{\sqrt{\frac{28,0}{0,30}}} = 5,0 \Rightarrow h = 48,30 \text{ cm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_o = 48,3 + 3,0 = 51,3 \text{ cm. Λαμβάνεται } d_o = 55 \text{ cm.}$$

Διατομή «1» (θετική ροπή)

1. "Έχει βρεθῇ $\frac{\varepsilon_{psb}}{\varepsilon_{pse}} = \frac{90}{2400} \Rightarrow k_h^* = 8,4$.

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = k_h^* \Rightarrow \frac{h}{\sqrt{\frac{54,0}{1,50}}} = 8,4 \Rightarrow h = 50,4 \text{ cm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_o = 50,4 + 5,0 = 55,4 \text{ cm. Λαμβάνεται } d_o = 55 \text{ cm.}$$

Τότε για $k_h=8,4 \Rightarrow k_x=0,36 \Rightarrow x=k_x \cdot h=0,36 \times 50=18\text{cm} > d=10\text{cm}$.

$$2. \quad \frac{b}{b_o} = \frac{1,50}{0,30} = 5. \quad \frac{d}{x} = \frac{10}{18} = 0,56.$$

Στό ζεύγος ($\frac{b}{b_o} = 5, \quad \frac{d}{x} = 0,56$) αντιστοιχεί $\lambda_1=0,838 \Rightarrow$
 $\Rightarrow b_1=0,838 \times 1,50=1,26\text{m}$.

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{54,0}{1,26}}} = 7,6 < k_h^*$$

Πρέπει λοιπόν να αύξηθῇ τὸ d_o .

Αρχίζουμε μέ $\sigma_b < \epsilon\sigma_b$ ἢ $k_h > k_h^*$

$$\text{Γιὰ } k_h=10 \Rightarrow k_h = \frac{d_o-5}{\sqrt{\frac{54,0}{1,50}}} = 10,0 \Rightarrow d_o=65,0\text{cm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h=65,0-5,0=60,0\text{cm}$$

I. Για $\lambda_1=1,00 \Rightarrow k_h=10,0 \Rightarrow k_{x_1}=0,306 \Rightarrow x_1=hk_{x_1}=$
 $=60 \times 0,306=18,36 \Rightarrow \frac{d}{x_1} = \frac{10}{18,36} = 0,54$. Στό ζεύγος ($\frac{b}{b_o} = 5,$
 $\frac{d}{x_1} = 0,54$) αντιστοιχεί $\lambda_2=0,83$ (πίν. 24).

II. Για $\lambda_2=0,83 \Rightarrow b_2=0,83 \times 1,50=1,245\text{m} \Rightarrow$

$$k_h = \frac{60}{\sqrt{\frac{54,0}{1,245}}} = 9,1 \Rightarrow k_{x_2}=0,333 \Rightarrow x_2=k_{x_2} \cdot h=$$

$$=0,333 \times 60=19,98 \Rightarrow \frac{d}{x_2} = \frac{10}{19,98} = 0,50.$$

Στό ζεύγος ($\frac{b}{b_o} = 5, \quad \frac{d}{x_2} = 0,50$) αντιστοιχεί $\lambda_3=0,80$.

III. Για $\lambda_3=0,80 \Rightarrow b_3=0,80 \times 1,50=1,20\text{m}$

$$k_h = \frac{60}{\sqrt{\frac{54,0}{1,20}}} = 8,9 \Rightarrow k_{x_3}=0,34 \Rightarrow x_3=k_{x_3} \cdot h=$$

$$=0,34 \times 60=20,4 \Rightarrow \frac{d}{x} = \frac{10}{20,4} = 0,49$$

Στό ζεύγος ($\frac{b}{b_o} = 5, \quad \frac{d}{x_3} = 0,49$) αντιστοιχεί $\lambda_4=0,79 \approx 0,80$.

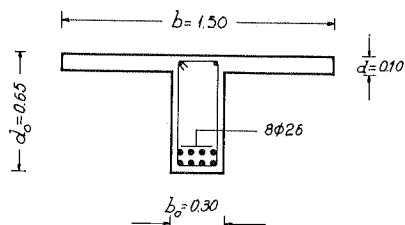
"Αρα τό πραγματικό $k_h=8,9 > k_h^*$ καί θεωρούμε σάν έλάχισι-
στο ύψος $d_o=65\text{cm}$.

Γιά $k_h=8,9 \Rightarrow k_e=0,47$ καί

$$F_e = k_e \frac{M_e}{h} = 0,47 \times \frac{54,0}{0,60} =$$

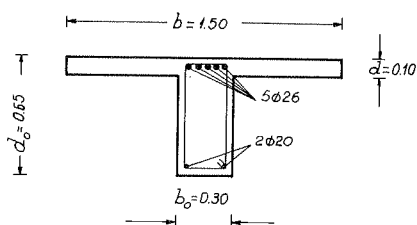
$$= 42,30\text{cm}^2 \Rightarrow F_e = 8\phi 26$$

$$(=42,48\text{cm}^2)$$



Όπλισμός στή διατομή «Β»

$$\frac{\epsilon_{\text{πο}b}}{\epsilon_{\text{πο}e}} = \frac{110}{2400} \Rightarrow k_h^* = 7,2, \quad k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{62}{\sqrt{\frac{28,0}{0,30}}} = 6,5 < k_h^* = 7,2$$



Γιά $k_h=6,5 \Rightarrow k_e=0,48$

$$\frac{h'}{h} = \frac{3}{63} = 0,05 < 0,07 \Rightarrow \rho' = 1$$

καί $k'_e=0,14$.

$$\text{"Αρα } F_e = k_e \frac{M_e}{h} = 0,48 \times \frac{28,0}{0,63} =$$

$$= 21,33\text{cm}^2 \Rightarrow F_e = 5\phi 26 (=26,55\text{cm}^2)$$

$$F'_e = k'_e \frac{M}{h} = 0,14 \times \frac{28,0}{0,63} = 6,22\text{cm}^2 \Rightarrow F'_e = 2\phi 20 (6,28\text{cm}^2)$$

ΑΣΚΗΣΗ 32

Η διατομή τοῦ σχήματος καταπονείται από $N=-30,0\text{t}$ καί
 $M_y=10,0\text{tm}$.

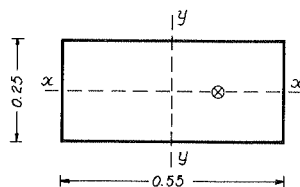
Νά βρεθοῦν:

α. Ὁ οἰκονομικώτερος συνδυα-
σμός ἀναγκαίου ὀπλισμοῦ καί οἱ
ἀντίστοιχες τάσεις σκυροδέματος
καί χάλυβα.

β. Ὁ συνδυασμός συμμετρικοῦ ὀπλισμοῦ καί οἱ ἀντίστοιχες
τάσεις καί

γ. Ὁ συνδυασμός ὀπλισμοῦ ὥστε νά ἐξαντληθοῦν οἱ ἐπιτρεπό-
μενες τάσεις καί τῶν δύο ὑλικῶν.

Υλικά B160, StI.



Λύση

α. Ὑπολογισμός ἀνηγμένης ἐκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{c_x}{d} = \frac{M_y}{N \cdot d} = \frac{10,0}{30 \times 0,55} = 0,606$$

Ἐπειδὴ $0,35 < \gamma = 0,606 < 0,70$ ἡ διατομή "δουλεύει" στό στάδιο II καί πρόκειται γιὰ μέση ἐκκεντρότητα.

1. Ἀπ' τόν πίνακα 11.Γ.α $\Rightarrow \epsilon\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon\sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2$. Λαμβάνεται $e = h' = 3,0 \text{ cm} \Rightarrow h = 55,0 - 3,0 = 52,0 \text{ cm}$.

$$\gamma_e = \frac{0,55}{2} - 0,03 = 0,245.$$

$$M_e = M - N \cdot \gamma_e = 10,0 + 30 \times 0,245 = 17,35 \text{ tm}$$

$$M'_e = M + N \cdot \gamma'_e = 10,0 - 7,35 = 2,65 \text{ tm}$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{3,0}{52,0} = 0,058 \approx 0,05 \Rightarrow \text{χρησιμοποιεῖται ὁ πίνακας 13.}$$

$$\text{Εἶναι: } \rho = \frac{M_e}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{17350}{70 \times 0,25 \times 52^2} = 0,367$$

$$\rho' = \frac{M'_e}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{2650}{70 \times 0,25 \times 52^2} = 0,056$$

2. Γιὰ συμμετρικό ὀπλισμό ἔχουμε $\mu = \mu' = 0,95$ καί $m = 10,5$

$$m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b} \Rightarrow \sigma_e = m \cdot \sigma_b = 10,5 \times 70 = 735 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = F'_e = \mu \cdot b \cdot h = \frac{0,95}{100} \times 25 \times 52 = 12,35 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = F'_e = 4\emptyset 20 (= 12,56 \text{ cm}^2)$$

6. Γιὰ τόν ἐλάχιστο ἀπαιτούμενο ὀπλισμό:

Πρέπει τό ἀναγκαῖο m_i νά ικανοποιῇ τίς συνθήκες:

$$m_i \geq 10,5 \text{ (γιὰ νά εἶναι } \mu \geq \mu') \text{ καί } m < \max m = \frac{\epsilon\sigma_e}{\epsilon\sigma_b} = \frac{1400}{70} = 20$$

I. Γιὰ $m = 10,5 \Rightarrow \mu + \mu' = 0,95 + 0,95 = 1,90$

II. Γιὰ $m = 12 \Rightarrow \mu = 1,03\%$, $\mu' = 0,78\%$ καί $\mu + \mu' = 1,81\%$

III. Γιὰ $m = 15 \Rightarrow \mu = 1,18\%$, $\mu' = 0,55\%$ καί $\mu + \mu' = 1,73\%$

IV. Γιὰ $m = 18 \Rightarrow \mu = 1,32\%$, $\mu' = 0,43\%$ καί $\mu + \mu' = 1,75\%$

Ὁ ἐλάχιστος ὀπλισμός γιὰ $m = 15$.

$$F_e = \mu \cdot b \cdot h = \frac{1,18}{100} \times 25 \times 52 = 15,34 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 5\phi 20 (=15,70 \text{ cm}^2)$$

$$F'_e = \mu' \cdot b \cdot h = \frac{0,55}{100} \times 25 \times 52 = 7,15 \text{ cm}^2 \Rightarrow F'_e = 3\phi 18 (=7,62 \text{ cm}^2)$$

Οι τάσεις των υλικών είναι:

$$\sigma_b = \varepsilon \rho \sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2 \text{ και } \sigma_e = m \sigma_b = 15 \times 70 = 1050 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$$

Υ. Για νά εξαντληθούν οι τάσεις των υλικών πρέπει:

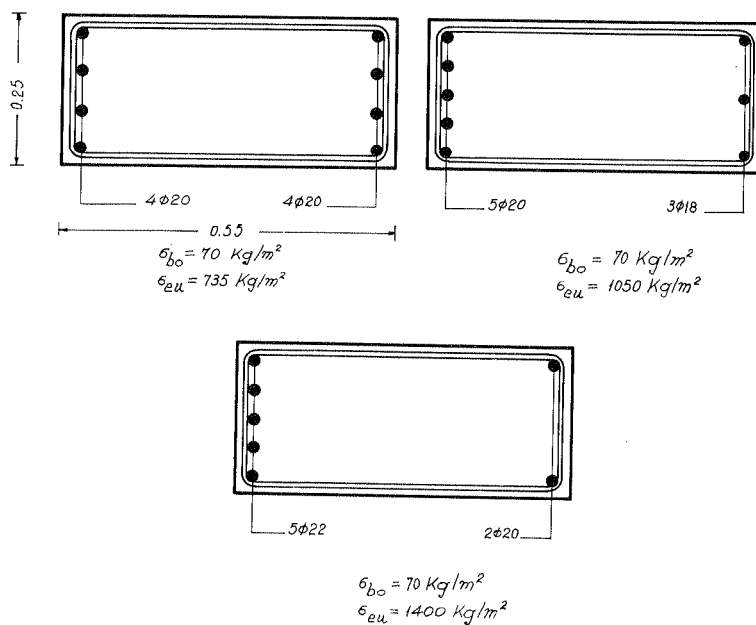
$$m = \frac{\varepsilon \rho \sigma_e}{\varepsilon \rho \sigma_b} = \frac{1400}{70} = 20$$

Για $m=20 \Rightarrow \mu=1,40\%$ και $\mu'=0,38\% < 0,40\%$. Λαμβάνεται $\mu'=0,40\%$.

$$F_e = \mu b h = \frac{1,40}{100} \times 25 \times 52 = 18,20 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 5\phi 22 (=19,0 \text{ cm}^2)$$

$$F'_e = \mu' b h = \frac{0,40}{100} \times 25 \times 52 = 5,20 \text{ cm}^2 \Rightarrow F'_e = 2\phi 20 (=6,28 \text{ cm}^2)$$

Οι τάσεις του θλιβόμενου όπλισμού είναι $\sigma'_e < 15 \times 70 = 1050 \text{ kg/cm}^2$. $\sigma_b = \varepsilon \rho \sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$ και $\sigma_e = m \cdot \sigma_b = 20 \times 70 = 1400 \text{ kg/cm}^2 = \varepsilon \rho \sigma_e$.



ΑΣΚΗΣΗ 33

Ἡ διατομή στύλου πλαισίου (βλ. στό σχῆμα), καταπονεῖται ἀπό $\{\vec{M}_1=10,0\text{tm}, N_1=-50,0\text{t}\}$

ἢ $\{\vec{M}_2=8,0\text{tm}, N_2=-95,0\text{t}\}$

Νά βρεθῇ ὁ ἀπαραίτητος ὀπλισμός. Ὑλικά: B225, StI.

Λύση

- α. Ὑπολογισμός ἀνηγμένης ἐκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{c_x}{d} = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{10,00}{50 \times 0,5} = 0,40$$

$0,35 < \gamma = 0,40 < 0,70$ ἄρα μέση ἐκκεντρότητα

1. Λαμβάνεται $e=h'=4,0\text{cm}$

$$y_e = \frac{d}{2} - 4 = 25 - 4 = 21\text{cm} \quad \text{καί} \quad h = d - h' = 50,0 - 4,0 = 46,0\text{cm}$$

Ἐπειδὴ $\frac{h'}{h} = \frac{4}{46} = 0,087 \approx 0,08$ χρησιμοποιεῖται ὁ πῖνακας 14.

$$M_e = M - N \cdot y_e = 10,0 + 50 \times 0,21 = 20,50\text{tm}$$

$$M'_e = M + N \cdot y'_e = 10,0 - 10,50 = -0,50\text{tm}$$

Ἀπ' τόν πῖνακα 11.Γ.α $\Rightarrow \epsilon\sigma_b = 90\text{kg/cm}^2, \epsilon\sigma_e = 1400\text{kg/cm}^2$

Εἶναι λοιπόν:

$$\rho = \frac{M_e}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{20500}{90 \times 0,30 \times 46^2} = 0,36$$

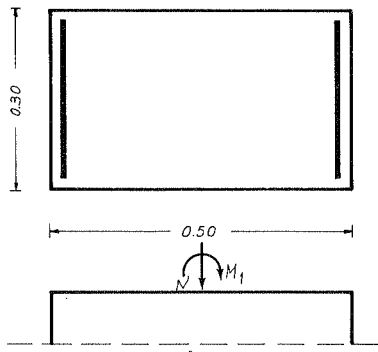
$$\rho' = \frac{M'_e}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{-500}{90 \times 0,30 \times 46^2} = -0,009$$

2. Γιά συμμετρικό ὀπλισμό εἶναι:

$$\mu = \mu' = 0,725\% \quad \text{καί} \quad m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b} = 6,5$$

$$F_e = F'_e = \mu b h = \frac{0,725}{100} \times 30 \times 46 = 10,0\text{cm}^2$$

Οἱ τάσεις εἶναι:



$$\sigma_b = \varepsilon \sigma_b = 90 \text{ kg/cm}^2 \text{ και } \sigma_e = m \sigma_b = 6,5 \times 90 = 585,0 \text{ kg/cm}^2 < \varepsilon \sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

β. Υπολογισμός άνηγμένης έκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{c_x}{d} = \frac{M_y}{N \cdot d} = \frac{8,0}{95 \times 0,5} = 0,168 < 0,35$$

Άρα μικρή έκκεντρότητα

$$e = 25,0 - 4,0 = 21,0 \text{ cm και } \frac{e}{b} = \frac{0,21}{0,50} =$$

$= 0,42 \approx 0,40 \Rightarrow$ χρησιμοποιείται ο πίνακας 8β.

$$\sigma_o = \frac{N}{b \cdot d} = \frac{95000}{30 \times 50} = 63,33$$

$$\frac{\varepsilon \sigma_b}{\sigma_o} = \frac{90,0}{63,33} = 1,42$$

Στόν πίνακα 8β για $\mu = 0,4\%$ και στο ζεύγος ($1000\gamma = 168$, $\frac{\varepsilon \sigma_b}{\sigma_o} = 1,42$) αντιστοιχεί $\mu'_o = 0,93\% > 0,4\%$.

$$\text{Άρα } F_e = \mu_o b h = \frac{0,4}{100} \times 30 \times 50 = 6,0 \text{ cm}^2$$

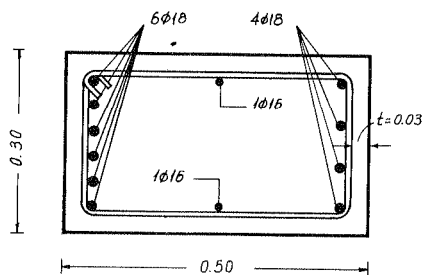
$$F'_e = \mu'_o b h = \frac{0,93}{100} \times 30 \times 50 = 13,95 \text{ cm}^2$$

Τελικά πρέπει να τοποθετηθεί τέτοιος όπλισμός που να καλύπτει και τις δύο περιπτώσεις καταπόνησης.

Η άριστερή άκμή χρειάζεται:

$$F_e = 13,95 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 6\phi 18 \quad (= 15,24 \text{ cm}^2) \text{ ενώ η δεξιά}$$

$$F_e = 10,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 18 (= 10,16 \text{ cm}^2)$$



ΑΣΚΗΣΗ 34

Τετραγωνική διατομή 35×35 υποστυλώματος ύψους $h = 7,50 \text{ m}$, που βρίσκεται στο υπαίθρο, καταπονείται από δύναμη $N = -35,0 \text{ t}$.

Αν στο υποστυλωμα ασκείται ροπή από σεισμό $M = \pm 5,0 \text{ tm}$ να βρεθεί ο απαραίτητος όπλισμός. Υλικά B160, StI.

Λύση**1. Έλεγχος της διατομής σε κάμψη**

Υπολογισμός άνηγμένης έκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{c}{d} = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{5}{35 \times 0,35} = 0,41$$

Επειδή $0,35 < \gamma = 0,41 < 0,70 \Rightarrow$
μέση έκκεντρότητα.

1. Λαμβάνεται $e = 4 \text{ cm} = h'$

$$y_e = \frac{35,0}{2} - 4,0 = 13,5 \text{ cm} \quad \text{καί} \quad h = 35,0 - 4,0 = 31,0 \text{ cm}$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{4}{31} = 0,13 \quad \text{άρα χρησιμοποιείται}$$

ο πίνακας 15.

$$M_e = M - N \cdot y_e = 5,0 + 35 \times 0,135 = 9,725 \text{ tm}$$

$$M'_e = M + N \cdot y'_e = 5,0 - 4,725 = 0,275 \text{ tm}$$

Γιά B160, StI άπ'τόν πίνακα 11.Γ.α $\Rightarrow \epsilon\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$,
 $\epsilon\sigma_e = 1400 \text{ kg/cm}^2$.

Επειδή υπάρχει σεισμός αύξάνονται οι έπιτρεπόμενες τάσεις κατά 20%, άπότε $\epsilon\sigma_b = 1,2 \times 70 = 84 \text{ kg/cm}^2$ καί $\epsilon\sigma_e = 1,2 \times 1400 = 1680 \text{ kg/cm}^2$.

Είναι λοιπόν:

$$\rho = \frac{M_e}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{9725}{84 \times 0,35 \times 31^2} = 0,344$$

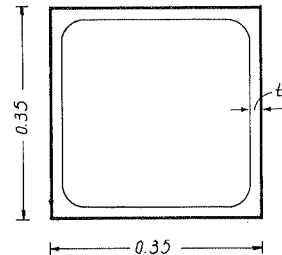
$$\rho' = \frac{M'_e}{\epsilon\sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{275}{84 \times 0,35 \times 31^2} = 0,01$$

2. Γιά συμμετρικό όπλισμό $\Rightarrow$

$$\mu = \mu' = 0,70 \quad \text{καί} \quad m = 4,5$$

άπότε $\sigma_e = m \cdot \sigma_b = 4,5 \times 84 = 378 \text{ kg/cm}^2 < \epsilon\sigma_e = 1680 \text{ kg/cm}^2$.

$$F_e = F'_e = \mu \cdot b \cdot h = \frac{0,70}{100} \times 35 \times 31 = 7,60 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = F'_e = 6\phi 14 (=9,24 \text{ cm}^2)$$



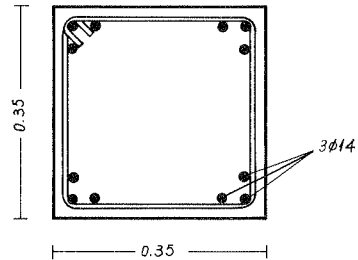
2. Ύπολογισμός σέ κεντρική θλίψη με λυγισμό

$$\begin{aligned} \text{Γιά } h_k = h_s = 7,5\text{m} \Rightarrow \lambda = \frac{h_k}{d} = \\ = \frac{7,5}{0,35} = 21,3 \Rightarrow \omega = 1,15 \end{aligned}$$

$$\text{Γιά B160} \Rightarrow \varepsilon P_b = 58,8\text{t}$$

$$\begin{aligned} \text{Γιά StI καί } 12\phi 14 \Rightarrow \\ \varepsilon P_e = 14,8\text{t καί } \varepsilon P = \varepsilon P_b + \varepsilon P_e = \\ = 73,6\text{t.} \end{aligned}$$

$$\omega P_{\lambda \varepsilon \nu \tau} = 1,15 \times 35 = 40,29 < \varepsilon P = 73,6\text{t}$$



ΑΣΚΗΣΗ 35

Ώρθογωνική διατομή $35 \times 60\text{cm}^2$ καταπονείται από $M = 8,0\text{tm}$ καί $N = -32,0\text{t}$ κατά την διεύθυνση των 60cm .

Νά βρεθθ ό απαιτούμενος όπλισμός. Ύλικά B160, StI.

Λύση

Ύπολογισμός άνηγμένης έκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{8,0}{32 \times 0,60} = 0,417$$

Επειδή $0,35 < \gamma = 0,417 < 0,70 \Rightarrow$ μέση έκκεντρότητα.

1. Λαμβάνεται $e = h' = 3,0\text{cm}$ καί $h = 60,0 - 3,0 = 57,0\text{cm}$

$$y_e = \frac{60}{2} - 3,0 = 27,0\text{cm}$$

$$\text{Γιά } \frac{h'}{h} = \frac{3,0}{57,0} = 0,053 \text{ χρησιμοποιείται ό πίνακας 13.}$$

Είναι λοιπόν:

$$M_e = M - N \cdot y_e = 8,0 + 32,0 \times 0,27 = 16,64\text{tm}$$

$$M'_e = M + N \cdot y'_e = 8,0 - 32,0 \times 0,27 = -8,64\text{tm}$$

Γιά B160, StI άπ'τόν πίνακα 11.Γ.α $\Rightarrow \varepsilon \sigma_b = 70\text{kg/cm}^2$ καί $\varepsilon \sigma_e = 1400\text{kg/cm}^2$.

Άρα:

$$\rho = \frac{M_e}{\varepsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{16640}{70 \times 0,35 \times 57^2} = 0,21$$

$$\rho' = \frac{M'_e}{\varepsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{-640}{70 \times 0,35 \times 57^2} = -0,008.$$

2. 'Απ'τόν πίνακα 13 $\Rightarrow \mu = \mu' = 0,07\% < 0,4\%$.

Πρέπει λοιπόν νά προσδιορισθῇ ἡ στατικά ἀπαιτούμενη διατομή μέ ποσοστό ὀπλισμοῦ $\mu = \mu' = 0,4\%$ καί μέ $b' < 35\text{cm}$, ὥστε νά ἐξαντληται ἡ τάση τοῦ σκυροδέματος $\varepsilon \sigma_b = 70\text{kg/cm}^2$.

$$\left. \begin{aligned} \text{Εἶναι: } \rho &= \frac{M_e}{\varepsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} \\ \rho' &= \frac{M'_e}{\varepsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\rho}{\rho'} = \frac{M_e}{M'_e} = \frac{16640}{-640} = -26$$

'Απ'τόν πίνακα 13 γιά $\mu = \mu' = 0,4\%$ ζητοῦνται νά βρεθοῦν δύο καμπύλες ρ, ρ' πού νά τέμνωνται στήν κατακόρυφη $\mu = \mu' = 0,4\%$ καί νά ἔχουν λόγο $\frac{\rho}{\rho'} = -26$.

$$\text{Γιά } \rho = 0,297 \text{ καί } \rho' = -0,012 \Rightarrow m = 9,8 \text{ καί } \frac{\rho}{\rho'} = -26$$

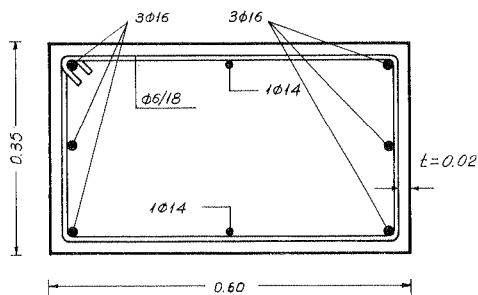
$$\text{'Απ'τήν σχέση } \rho = 0,297 = \frac{16640}{70 \times b' \times 57^2} \Rightarrow b' = 0,246\text{m} < 0,35\text{m} = b$$

"Αρα:

$$\begin{aligned} F_e = F'_e &= \mu b h = \frac{0,4}{100} \times 24,6 \times 57 = \\ &= 5,61\text{cm}^2 \Rightarrow F_e = F'_e = 3\phi 16 \\ & (= 6,03\text{cm}^2). \end{aligned}$$

Οἱ τάσεις τῶν ὑλικῶν εἶναι:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \varepsilon \sigma_b = 70\text{kg/cm}^2 \quad \text{καί} \\ \sigma_e &= m \cdot \sigma_b = 9,8 \times 70 = 686\text{kg/cm}^2 < \\ \varepsilon \sigma_e &= 1400\text{kg/cm}^2. \end{aligned}$$



ΑΣΚΗΣΗ 36

Κυλινδρικό ὑποστύλωμα μέ διάμετρο 40cm καταπονεῖται ἀπό $N = -35,0\text{t}$ καί $M = 4,5\text{tm}$.

Νά βρεθῇ ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός καί οἱ τάσεις σκυροδέματος καί χάλυβα. Ὑλικά: B160, StI.

Λύση

1. Υπολογισμός άνηγμένης έκκεντρότητας

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot r} = \frac{4,5}{35 \times 0,20} = 0,643 > 0,450 \quad \text{άρα δουλεύει στο στά-}$$

διο II.

2. Για B160, StI $\Rightarrow \frac{\varepsilon \sigma_b}{\varepsilon \sigma_e} = \frac{70}{1400}$

Θεωρούμε ότι κρίσιμο υλικό είναι τό σκυρόδεμα δηλ.
 $\sigma_b = \varepsilon \sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$.

Λαμβάνεται $e = 3,0 \text{ cm} \Rightarrow r_e = 20,0 - 3,0 = 17,0 \text{ cm}$ και
 $\frac{r_e}{r} = \frac{17}{20} = 0,85$ (χρησιμοποιείται ο πίνακας 27).

Είναι:

$$\beta_N = \frac{N}{r^2 \varepsilon \sigma_b} = \frac{35000}{20^2 \times 70} = 1,25$$

$$\beta_M = \frac{M}{r^3 \varepsilon \sigma_b} = \frac{4500 \times 10^2}{20^3 \times 70} = 0,80$$

Στόν πίνακα 27 και στο ζεύγος ($\beta_N = 1,25$, $\beta_M = 0,80$) αντι-
 στοιχοῦν $\mu = 2,63\%$ και $m = 5,45$.

"Αρα: $\sigma_e = m \cdot \sigma_b = 5,45 \times 70 = 381 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2 = \varepsilon \sigma_e$

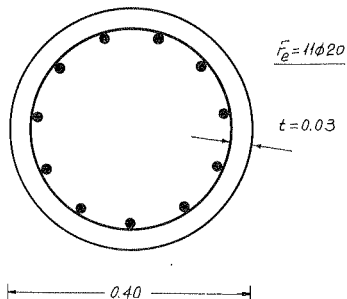
Σωστά λοιπόν είχε τεθῆ

$$\sigma_b = \varepsilon \sigma_b.$$

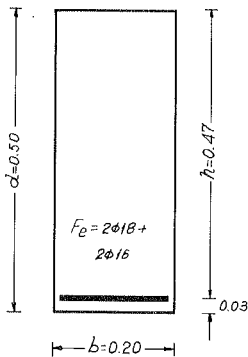
$$F_e = \mu \cdot \pi r^2 = \frac{2,63}{100} \times \pi \times 20^2 = 33,03 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$F_e = 11\emptyset 20 (= 34,54 \text{ cm}^2).$$

Τό υποστύλωμα χρειάζεται
 και έλεγχο σέ κεντρική θλίψη μέ
 λυγισμό.

**ΑΣΚΗΣΗ 37**

Νά βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή
 πού μπορεῖ νά παραλάβῃ ἡ ὀρθογωνική διατομή τοῦ σχήματος, ὅ-
 ταν καταπονῆται ἀπό άξονική δύναμη $N = -8,0 \text{ t}$.



Νά βρεθῇ καί ὁ ἐλάχιστος ὀπλισμός πού χρειάζεται γιὰ τὴν μέγιστη ροπή καί τὴν ἄξονική δύναμη $N=-8,0\text{t}$ ὅπως καί οἱ τάσεις σκυροδέματος καί χάλυβα. Ὑλικά B160, StI.

Λύση

α. Εἶναι γιὰ B160, StI: $\frac{\epsilon\sigma_b}{\epsilon\sigma_e} = \frac{70}{1400}$

1η δοκιμὴ

Θεωροῦμε $\sigma_e = \epsilon\sigma_e = 1400\text{kg/cm}^2$

Τότε ἀπ' τὴν ἐξίσωση (1) σελίδα 83 $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{1}{2\eta}bx^2 + (F_e + F'_e - \frac{N}{\epsilon\sigma_e})x + \frac{N}{\epsilon\sigma_e} \cdot h - F'_e \cdot h' - F_e h = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2\eta}bx^2 + (F_e - \frac{N}{\epsilon\sigma_e})x + \frac{N}{\epsilon\sigma_e} h - F_e h = 0 \quad (\text{διότι } F'_e = 0) \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2 \cdot 15} \cdot 20x^2 + (9,1 + \frac{8}{1,4})x - \frac{8}{1,4} \cdot 47 - 9,1 \cdot 47 = 0 \Rightarrow$$

$$10x^2 + 222,21x - 10444,07 = 0 \Rightarrow x = 23,06\text{cm}$$

$$\sigma_b = \frac{x}{h-x} \frac{\epsilon\sigma_e}{\eta} = \frac{23,06}{47-23,06} \times \frac{1400}{15} = 89,90\text{kg/cm}^2 > \epsilon\sigma_b = 70\text{kg/cm}^2$$

2η δοκιμὴ

Θεωροῦμε $\sigma_b = \epsilon\sigma_b = 70\text{kg/cm}^2$, τότε τό x βρίσκεται ἀπ' τὴν

$$\text{σχέση: } \frac{1}{2\eta}bx^2 + (\frac{N}{\eta \cdot \epsilon\sigma_b} + F_e + F'_e)x - (F_e h + F'_e h') = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2\eta}bx^2 + (\frac{N}{\eta \cdot \epsilon\sigma_b} + F_e)x - F_e h = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2 \cdot 15} \cdot 20x^2 + (\frac{-8}{15 \times 0,07} + 9,1)x - 9,1 \times 47 = 0 \Rightarrow$$

$$0,67x^2 + 1,48x - 427,7 = 0 \Rightarrow x = 24,24\text{cm}$$

καί $\sigma_e = \frac{h-x}{x} \eta \epsilon\sigma_b = \frac{47-24,24}{24,24} \times 15 \times 70 = 985,89\text{kg/cm}^2 < \epsilon\sigma_e = 1400\text{kg/cm}^2$.

$$D_b = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot bx = \frac{1}{2} \times 70 \times 20 \times 24,24 = 16968\text{kg} = 16,97\text{t}$$

$$\text{καί } M_{op} = D_b (h - \frac{x}{3}) + N (h - \frac{d}{2}) = 16,97 \times (47 - \frac{24,24}{3}) \times 10^{-2} - 8 \times (47 - 25) \times 10^{-2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_{op} = 4,84\text{tm}.$$

B. Για $M=4,84\text{tm}$ και $N=-8\text{t}$ $\Rightarrow$

$$1. \quad \gamma = \frac{M}{Nd} = \frac{4,84}{8 \times 0,50} = 1,21 > 0,70 \quad (\text{μεγάλη έκκεντρότητα})$$

$$2. \quad \frac{\varepsilon \sigma_b}{\varepsilon \sigma_e} = \frac{70}{1400} \Rightarrow k_h^* = 8,8$$

$$\text{Λαμβάνεται } e=3,0\text{cm} \Rightarrow y_e = \frac{d}{2} - 3,0 = 25,0 - 3,0 = 22,0\text{cm}$$

$$M_e = M - N \cdot y_e = 4,84 + 8 \times 0,22 = 6,60\text{tm}$$

$$3. \quad k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}} = \frac{47}{\sqrt{\frac{6,60}{0,20}}} = 8,2 < k_h^* \Rightarrow k_e = 0,82, \quad k'_e = 0,17$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{3,0}{47,0} = 0,06 < 0,07$$

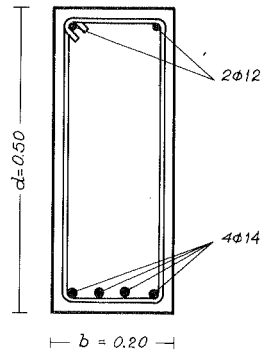
$$\rho' = 1,00.$$

*Αρα:

$$F_e = k_e \frac{M_e}{h} + \frac{N}{\sigma_e} = 0,82 \times \frac{6,60}{0,47} - \frac{8}{1,4} = 5,80\text{cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 14 (=6,16\text{cm}^2).$$

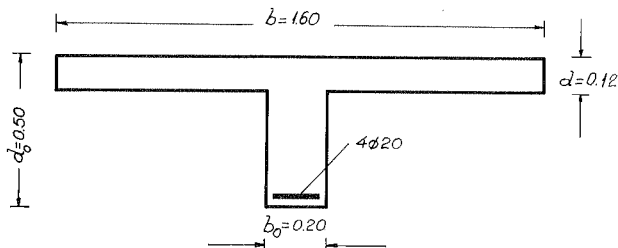
$$F'_e = k'_e \frac{M_e}{h} \rho' = 0,17 \times \frac{6,60}{0,47} \times 1,0 = 2,39\text{cm}^2$$

$$\Rightarrow F'_e = 2\phi 12 (=2,26\text{cm}^2).$$



ΑΣΚΗΣΗ 38

Νά βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ ἡ διατομή τοῦ σχήματος ὅπως καί τό ἀπαιτούμενο σκυρόδεμα (ποιότης B...) ἂν $N=0$. Δίνεται: StII.



Λύση**Πρώτος τρόπος (Αναλυτικά)**

Απ'τόν πίνακα 11.Β για StII $\Rightarrow \epsilon\sigma_e = 1800 \text{ kg/cm}^2$

Υποτίθεται, ότι η διατομή δουλεύει σαν όρθογωνική και πώς κρίσιμη είναι η τάση του χάλυβα.

Τότε από την εξίσωση (1), σελίδα 83

$$\frac{1}{2\eta} bx^2 + F_e x - F_e h = 0 \quad (1)$$

Λαμβάνεται $e = 3,0 \text{ cm} \Rightarrow h = 50,0 - 3,0 = 47,0 \text{ cm}$, και $F_e = 4\phi 20 = 12,56 \text{ cm}^2$, $b = 1,60 \text{ m}$.

Η (1) τότε δίνει:

$$\frac{1}{2 \cdot 15} \cdot 160 \cdot x^2 + 12,56x - 12,56 \cdot 47 = 0 \Rightarrow$$

$$5,33x^2 + 12,56x - 590,32 = 0 \Rightarrow x = 9,41 \text{ cm} < d = 12 \text{ cm}$$

Άρα σωστή η υπόθεση ότι η διατομή δουλεύει σαν όρθογωνική.

$$\sigma_b = \frac{x}{h-x} \cdot \frac{\epsilon\sigma_e}{\eta} = \frac{9,41}{47-9,41} \cdot \frac{1800}{15} = 30,04 \text{ kg/cm}^2$$

Διαλέγεται σκυρόδεμα B160 με $\epsilon\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$.

$$\text{Άρα } D_b = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot x \cdot b = \left(\frac{1}{2} \times 30,04 \times 9,41 \times 160 \right) \times 10^{-3} = 22,61 \text{ t}$$

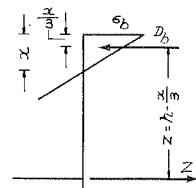
$$M_{op} = D_b \left(h - \frac{x}{3} \right) = 22,61 \times \left(0,47 - \frac{0,0941}{3} \right) = 9,92 \text{ tm}$$

Έλεγχος

$$\text{Πρέπει } D_b = Z_e$$

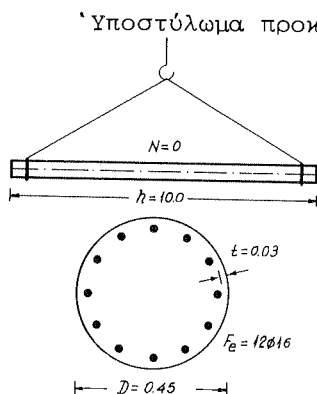
$$D_b = 22,61 \text{ t}$$

$$Z_e = \sigma_e \cdot F_e = 1,8 \times 12,56 = 22,61 \text{ t} = D_b$$

**Δεύτερος τρόπος****Με νομογράφημα****ΑΣΚΗΣΗ 39**

Νά βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή πού μπορεῖ νά παραλάβῃ ἡ δια-

ΑΣΚΗΣΗ 40



Υποστύλωμα προκατασκευάζεται με διαστάσεις και υλικά τέτοια πού νά μπορή νά παραλάβη τά φορτία πού θά έπιβληθοϋν σ'αυτό, άπ' τήν στιγμή πού θά τοποθετηθῇ γιά λειτουργία.

Οι διαστάσεις και ο όπλισμός δίνονται στό σχήμα.

Νά έλεγχθῇ άν άντέχη στήν μεταφορά σάν άμφιαρθρωτή δοκός και νά υπολογισθῇ ο άπαραίτητος όπλισμός.

Υλικά B300, St III.

Λύση

Η δοκός καταπονῆται άπό όμοιόμορφο φορτίο

$$g = \frac{\pi D^2}{4} \gamma_{\sigma\kappa\upsilon\rho} = \frac{\pi \cdot 0,45^2}{4} \times 2,40 = 0,382 \text{ t/m (ίδιο βάρος)}$$

$$M_m = \frac{g l^2}{8} = \frac{0,382 \times 10,0^2}{8} = 4,78 \text{ tm} \quad \text{και} \quad N=0$$

$$1. \quad \text{Εἶναι} \quad \frac{\epsilon\sigma_b}{\epsilon\sigma_e} = \frac{100}{2200}$$

$$r_e = r - e = \frac{45,0}{2} - 3,0 = 19,5 \text{ cm} \quad \text{και} \quad \frac{r_e}{r} = \frac{19,5}{22,5} = 0,87. \quad \text{Άρα χρη-}$$

σιμοποιεῖται ο πίνακας 27.

$$2. \quad \text{Έπειδή } N=0, \sigma_e = \epsilon\sigma_e = 2200 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{και} \quad \beta_M = 0$$

Υπολογίζεται ἡ ποσότητα

$$\frac{m}{\beta_M} = \frac{\frac{\epsilon\sigma_e}{\epsilon\sigma_b}}{\frac{M}{r^3 \epsilon\sigma_b}} = \frac{r^3 \epsilon\sigma_e}{M} = \frac{22,5^3 \times 2200}{4780 \times 100} = 52,43$$

$$I. \quad \text{Γιά} \quad m = \frac{\epsilon\sigma_e}{\epsilon\sigma_b} = 22 \quad \Rightarrow \quad \beta_M = 1,05 \quad \Rightarrow \quad \frac{m}{\beta_M} = 20,95$$

$$II. \quad \text{Γιά} \quad m = 25 \quad \Rightarrow \quad \beta_M = 0,80 \quad \Rightarrow \quad \frac{m}{\beta_M} = 31,25$$

$$III. \quad \text{Γιά} \quad m = 30 \quad \Rightarrow \quad \beta_M = 0,585 \quad \Rightarrow \quad \frac{m}{\beta_M} = 51,28 \approx 52,43$$

Αρα:

$$D_b = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot x_b - \frac{1}{2} \sigma'_b \cdot x_1 = \left(\frac{1}{2} \times 108 \times 36,89 \times 100 - \frac{1}{2} \times 34,81 \times 75 \times 11,89 \right) \cdot 10^{-3} = 183,69 \text{ t.}$$

$$D'_{e1} = \eta \sigma'_{b1} \cdot F'_{e1} = (1488,3 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 28,04 \text{ t}$$

$$D'_{e2} = \eta \sigma'_{b2} \cdot F'_{e2} = (653,85 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 12,32 \text{ t}$$

$$D = D_b + D_e + N = 183,69 + 28,04 + 12,32 - 180 = 44,05 \text{ t}$$

$$Z_e = \sigma_e \cdot F_e = (575,7 \times 6,28) \cdot 10^{-3} = 3,62 \text{ t}$$

$$Z_{e1} = \sigma_{e1} \cdot F_{e1} = (2640 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 49,74 \text{ t}$$

$$Z_{e2} = \sigma_{e2} \cdot F_{e2} = (1805,25 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 34,01 \text{ t}$$

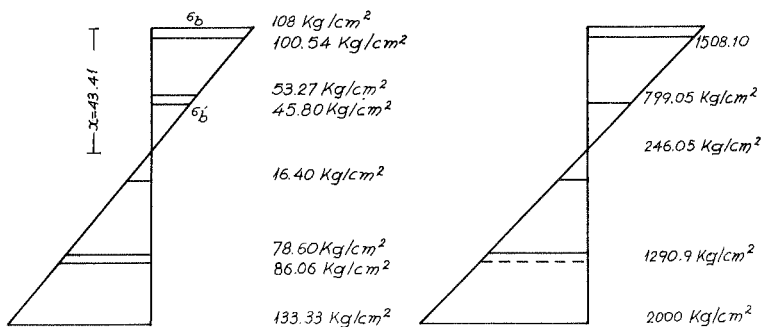
$$Z = \Sigma Z_i = 3,62 + 49,74 + 34,01 = 87,37 \text{ t}$$

$$\text{Άρα} \quad D < Z$$

2η δοκιμή

Θεωρούμε: $\sigma_b = \epsilon \pi \sigma_b = 108 \text{ kg/cm}^2$ και $\sigma_e = 2000 \text{ kg/cm}^2 < \epsilon \pi \sigma_e = 2640 \text{ kg/cm}^2$.

$$m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b} = \frac{2000}{108} = 18,52 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{n}{n+m} h = \frac{15}{15+18,52} \times 97 = 43,41 \text{ cm.}$$



$$D_b = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot x_b - \frac{1}{2} \sigma'_b \cdot x'_1 = \left(\frac{1}{2} \times 108 \times 43,41 \times 100 - \frac{1}{2} 45,80 \times 75 \times 18,41 \right) \cdot 10^{-3} = 202,79 \text{ t}$$

$$D'_{e1} = \eta \sigma'_{b1} \cdot F'_{e1} = (1508,10 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 28,41 \text{ t}$$

$$D'_{e2} = \eta \sigma'_{b2} \cdot F'_{e2} = (799,05 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 15,05 \text{ t}$$

$$D = D_b + D_e + N = 202,79 + 28,41 + 15,05 - 180 = 66,25$$

$$Z_e = \sigma_e \cdot F_e = (246,0 \times 6,28) \cdot 10^{-3} = 1,54 \text{ t}$$

$$Z_{e1} = \sigma_{e1} \cdot F_{e1} = (2000 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 37,68$$

$$Z_{e2} = \sigma_{e2} \cdot F_{e2} = (1290,9 \times 18,84) \cdot 10^{-3} = 24,32 \text{ t}$$

$$Z = \Sigma Z = 63,54 \text{ t}$$

$$\text{Άρα } D = 66,25 \text{ t} \approx Z = 63,54 \text{ t}$$

$$M_{op} = 202,79 \left(97 - \frac{43,41}{3} \right) + 28,41 \times (97 - 3) + 15,05 (97 - 22) - 1,54 (97 - 50) - 37,68 (22 - 3) - 24,32 \times 0 - 180 (97 - 50) = 11287 \text{ tcm}$$

$$\text{καί } M_{op} = 112,87 \text{ tm}$$

ΑΣΚΗΣΗ 42

Νά βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ ἡ διατομή τοῦ σχήματος.

Υλικά: B225, StIII.

Λύση

Γιὰ B225, StIII $\Rightarrow \epsilon \sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$,

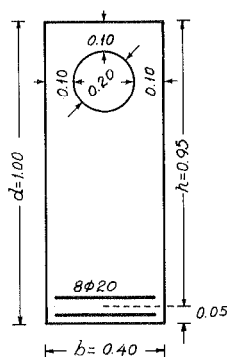
$\epsilon \sigma_e = 2200 \text{ kg/cm}^2$ (πίνακας 11Α).

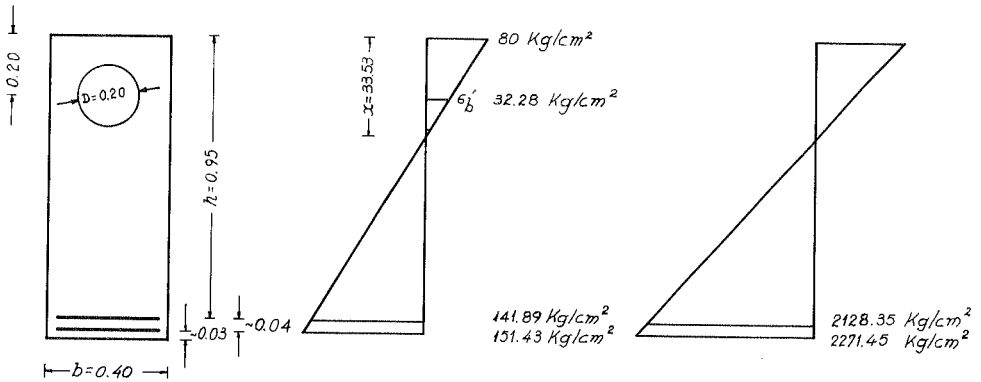
1η δοκιμὴ

Γιὰ $\sigma_b = \epsilon \sigma_b$ καί $\sigma_e = \epsilon \sigma_e$ εἶναι

$$m = \frac{\epsilon \sigma_e}{\epsilon \sigma_b} = \frac{2200}{80} = 27,5 \text{ cm καί } x = \frac{n}{n+m} h = \frac{15}{15+27,5} \times 95 = 33,53 \text{ cm.}$$

Τό κενό βρίσκεται μέσα στήν θλιβόμενη ζώνη.





$$D_b = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot x \cdot b - \sigma'_b \frac{\pi D^2}{4} = \left(\frac{1}{2} \times 80 \times 33.53 \times 40 - 32.28 \frac{\pi \cdot 20^2}{4} \right) \cdot 10^{-3} = 43.51 \text{ t}$$

$$D = D_b = 43.51 \text{ t}$$

$$Z_{e1} = \sigma_{e1} \cdot F_{e1} = (2128.35 \times 12.56) \cdot 10^{-3} = 26.73 \text{ t}$$

$$Z_{e2} = \sigma_{e2} \cdot F_{e2} = (2271.45 \times 12.56) \cdot 10^{-3} = 28.53 \text{ t}$$

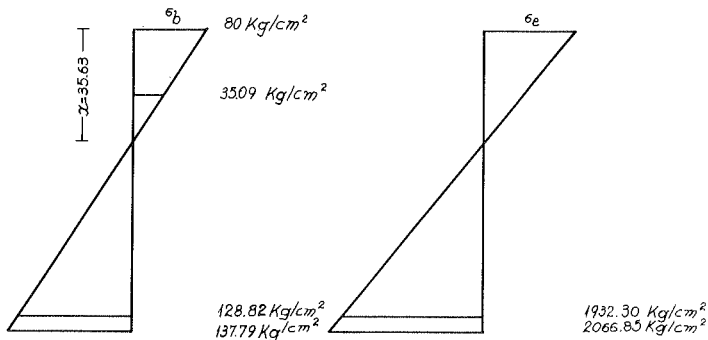
$$Z = Z_{e1} + Z_{e2} = 26.73 + 28.53 = 55.26 \text{ t} > D$$

Κρίσιμη λοιπόν είναι η τάση του σκυροδέματος.

2η δοκιμή

Θεωρούμε $\sigma_b = \epsilon \sigma_{b0} = 80 \text{ kg/cm}^2$ και $\sigma_e = 2000 \text{ kg/cm}^2 < 2200 \text{ kg/cm}^2 = \epsilon \sigma_{e0}$.

$$m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b} = \frac{2000}{80} = 25 \Rightarrow x = \frac{n}{n+m} \cdot h = \frac{15}{15+25} \times 95 = 35.63 \text{ cm}$$



$$D_b = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot x b - \sigma_b' \frac{\pi D^2}{4} = \left(\frac{1}{2} 80 \times 35,63 \times 40 - 35,09 \times \frac{\pi 20^2}{4} \right) \cdot 10^{-3} = 45,98 \text{ t}$$

$$D = D_b = 45,98 \text{ t}$$

$$Z_{e1} = \sigma_{e1} \cdot F_{e1} = (1932,30 \times 12,56) \cdot 10^{-3} = 24,27 \text{ t}$$

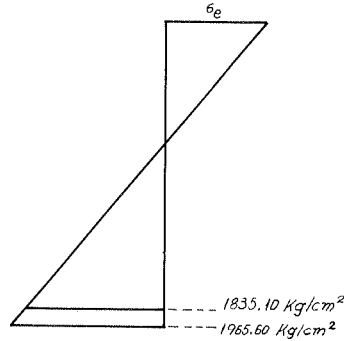
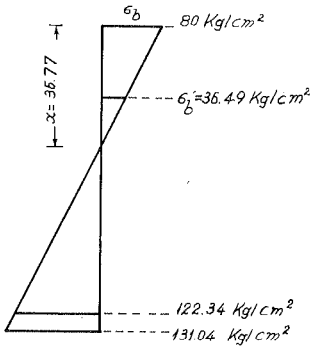
$$Z_{e2} = \sigma_{e2} \cdot F_{e2} = (2066,85 \times 12,56) \cdot 10^{-3} = 25,96 \text{ t}$$

$$Z = Z_{e1} + Z_{e2} = 50,23 \text{ t} > D$$

3η δοκιμή

Θεωρούμε: $\sigma_b = \epsilon \pi \sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_e = 1900 \text{ kg/cm}^2 < 2200 \text{ kg/cm}^2 = \epsilon \pi \sigma_e$.

$$m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b} = \frac{1900}{80} = 23,75 \Rightarrow x = \frac{15}{15+23,75} \times 95 = 36,77 \text{ cm}$$

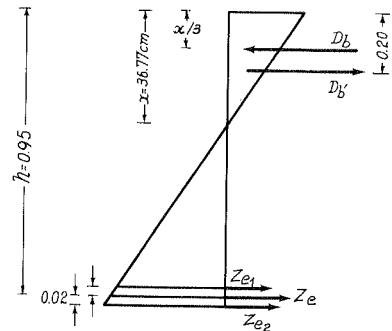


$$D_b = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot b - \sigma_b' \frac{\pi D^2}{4} = \left(\frac{1}{2} 80 \times 36,77 \times 40 - 36,49 \times \frac{\pi 20^2}{4} \right) \cdot 10^{-3} = 58,83 - 11,46 = 47,37 \text{ t}$$

$$D = D_b = 47,37 \text{ t}$$

$$Z_{e1} = \sigma_{e1} \cdot F_{e1} = (1835,10 \times 12,56) \cdot 10^{-3} = 23,05 \text{ t}$$

$$Z_{e2} = \sigma_{e2} \cdot F_{e2} = (1965,6 \times 12,56) \cdot 10^{-3} = 24,69 \text{ t}$$



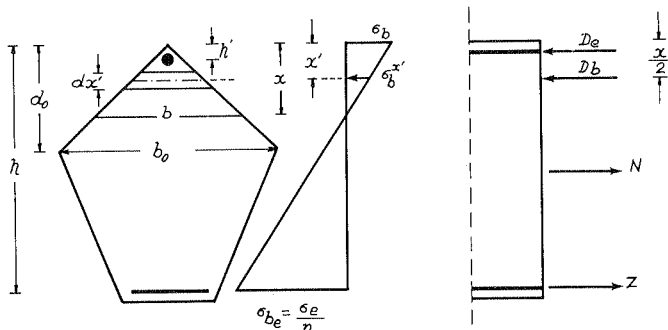
$$Z = Z_{e1} + Z_{e2} = 23,05 + 24,69 = 47,74 \text{ t} \approx D_b$$

$$M_{op} = D_b (97 - a_b) - \Sigma Z_i (h - a_i) = 58,83 (97 - \frac{36,77}{3}) - 11,46 (97 - 20) - 23,05 \times 4,0 = 4985,5 - 882,4 - 92,2 = 4010,9 \text{ tcm} \quad \text{Άρα} \quad M_{op} = 40,11 \text{ tm}$$

ΑΣΚΗΣΗ 43

Νά βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ τυχαία διατομή μέ τριγωνική θλιβόμενη ζώνη.

Λύση



$$D_b = \int_0^x \sigma_b^{x'} dF_b = \int_0^x \frac{x-x'}{x} \sigma_b \frac{x'}{x} b dx' = \sigma_b \frac{b}{x} \int_0^x (1 - \frac{x'}{x}) x' dx' =$$

$$= \sigma_b \frac{b}{x} \left[\frac{x'^2}{2} - \frac{x'^3}{3x} \right]_0^x = \sigma_b \frac{b}{x} \frac{x^2}{6} = \frac{1}{6} b x \sigma_b$$

$$\text{Άλλά} \quad \frac{b}{b_0} = \frac{x}{d_0} \Rightarrow b = \frac{b_0}{d_0} x$$

$$\text{Άρα} \quad D_b = \frac{1}{6} \frac{b_0}{d_0} x^2 \cdot \sigma_b$$

Ἡ δύναμη D_b ἀπέχει, ἀρχίζοντας ἀπὸ τὴν πρώτη ζῆνα, ἀπόστασιν a_b .

$$a_b = \frac{\int_0^x \sigma_b^{x'} dF_b x'}{D_b} = \frac{\sigma_b \cdot b}{\frac{1}{6} b x \sigma_b x} \int_0^x (1 - \frac{x'}{x}) x'^2 dx' =$$

$$= \frac{6}{x^2} \left[\frac{x'^3}{3} - \frac{x'^4}{4x} \right]_0^x = \frac{6}{x^2} \frac{x^3}{12} = \frac{x}{2} \Rightarrow a_b = \frac{x}{2}$$

$$D_b = \frac{1}{6} \frac{b_0}{d_0} x^2 \sigma_b$$

$$D_e = \sigma_e' F_e' = \eta \sigma_b \frac{x-h'}{x} F_e'$$

$$Z_e = \sigma_e F_e = \eta \cdot \sigma_b \frac{h-x}{x} F_e$$

$$\begin{aligned} \text{Πρέπει } D_b + D_e + N = Z_e &\Rightarrow \frac{1}{6} \frac{b_o}{d_o} x^2 \cdot \sigma_b + \eta \sigma_b \frac{x-h'}{x} F'_e + N = \\ = \eta \sigma_b \frac{h-x}{x} F_e &\Rightarrow \frac{1}{6\eta} \frac{b_o}{d_o} x^3 + (F_e + F'_e + \frac{N}{\eta \sigma_b}) x - F_e \cdot h - F'_e h' = 0 \quad (1) \end{aligned}$$

1η δοκιμή

Θεωρούμε $\sigma_b = \epsilon \sigma_b$.

Τότε από την (1) υπολογίζεται τό x και στην συνέχεια ελέγχεται η τάση του χάλυβα $\sigma_e = \frac{h-x}{x} \cdot \eta \cdot \epsilon \sigma_b$.

I. "Αν $\sigma_e < \epsilon \sigma_e$ κρίσιμη είναι η τάση του σκυροδέματος.

II. "Αν $\sigma_e > \epsilon \sigma_e$ κρίσιμη είναι η τάση του χάλυβα.

Στην περίπτωση II τίθεται $\sigma_e = \epsilon \sigma_e$ στην εξίσωση (1) και λαμβάνεται ($\sigma_b = \frac{1}{\eta} \frac{x}{h-x} \cdot \sigma_e$):

$$\frac{1}{6\eta} \frac{b_o}{d_o} x^3 + (F_e + F'_e - \frac{N}{\sigma_e}) x - F_e h - F'_e h' + \frac{N}{\sigma_e} h = 0 \quad (2)$$

"Ελεγχος

$$\text{Πρέπει } \sigma_b = \frac{x}{h-x} \frac{\epsilon \sigma_e}{\eta} < \epsilon \sigma_b$$

Αφοῦ βρεθῇ τό ὕψος τῆς θλιβόμενης ζώνης, βρίσκονται οἱ ἐσωτερικὲς δυνάμεις D καὶ Z καὶ υπολογίζεται ἡ ὀριακὴ ροπή πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ ἡ διατομή.

Ἐφαρμογή

$$\frac{b_o}{d_o} = 2, \quad N = -25,0 \text{ t}, \quad M = 7,2 \text{ tm}, \quad F_e = F'_e = 8,0 \text{ cm}^2, \quad e = h' = 4,0 \text{ cm}$$

$$d = 40 \text{ cm}, \quad \epsilon \sigma_b = 90 \text{ kg/cm}^2, \quad \epsilon \sigma_e = 2200 \text{ kg/cm}^2, \quad h = d\sqrt{2} - 4 = 52,6 \text{ cm}$$

Λύση

1η δοκιμή

Υποτίθεται $\sigma_b = \epsilon \sigma_b$.

Από την εξίσωση (1) $\Rightarrow$

$$\begin{aligned} \frac{1}{6\eta} \frac{b_o}{d_o} x^3 + (F_e + F'_e + \frac{N}{\eta \epsilon \sigma_b}) x - F_e h - F'_e h' &= 0 \Rightarrow \\ \frac{2}{6 \cdot 15} x^3 + (8,0 + 8,0 - \frac{25,0}{15 \times 0,09}) x - 8,0 \cdot 52,6 - 8,0 \cdot 4,0 &= 0 \Rightarrow \end{aligned}$$

122

$$\Rightarrow 0,022x^3 - 2,52x - 452,8 = 0 \Rightarrow$$

$$0,022x^3 = 2,52x + 452,8.$$

Επειδή ο όρος $2,52x$ είναι μικρός παραλείπεται και

$$0,022x^3 = 452,8 \Rightarrow x = 27,4 \text{ cm}$$

$$\text{Γιὰ } x = 27,4 \Rightarrow$$

$$2,52x + 452,8 = 2,52 \times 27,4 + 452,8 =$$

$$= 521,85 \text{ και απ' τήν σχέση}$$

$$0,022x^3 = 521,85 \Rightarrow x = 28,73 \text{ cm}$$

$$\text{Γιὰ } x = 28,73 \Rightarrow$$

$$2,52x + 452,8 = 2,52 \times 28,73 + 452,8 =$$

$$525,20 \text{ και απ' τήν σχέση}$$

$$0,022x^3 = 525,20 \Rightarrow x = 28,78 \text{ cm}$$

$$\approx 28,73 \text{ cm}$$

$$\text{Άρα } x = 28,78 \text{ cm}$$

$$\text{Τότε } \sigma_e = \frac{h-x}{x} \cdot \eta \epsilon \pi \sigma_b = \frac{52,6 - 28,78}{28,78} \times 15 \times 90 = 1117,34 \text{ kg/cm}^2 < \epsilon \pi \sigma_e = 2200.$$

$$D_b = \frac{1}{3} \sigma_b x^2 = \frac{1}{3} \times 0,09 \times 28,78^2 = 24,85 \text{ t}$$

$$D_e = \eta \sigma_b \frac{x-h'}{x} F'_e = 15 \times 0,09 \times \frac{28,78 - 4,0}{28,78} \times 8,0 = 9,30 \text{ t}$$

$$Z_e = \eta \sigma_b \frac{h-x}{x} F_e = 15 \times 0,09 \times \frac{52,6 - 28,78}{28,78} \times 8,0 = 8,94 \text{ t}$$

$$M_{op} = D_b \left(h - \frac{x}{2} \right) + D_e (h - h') + N \cdot y_e =$$

$$= 24,85 \times \left(52,6 - \frac{28,78}{2} \right) + 9,30 (52,6 - 4,0) - 25 \left(52,6 - \frac{40\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$= 830,8 \text{ tcm}$$

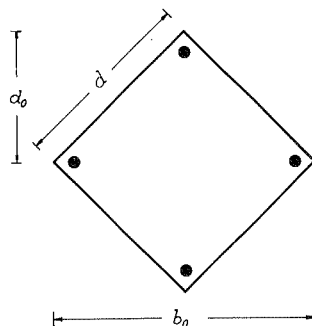
$$\text{Άρα } M_{op} = 8,31 \text{ tm}$$

Έλεγχος

$$D_b + D_e + N = 24,85 + 9,30 - 25 = 9,15 \text{ t} \approx Z_e = 8,94 \text{ t}$$

ΑΣΚΗΣΗ 44

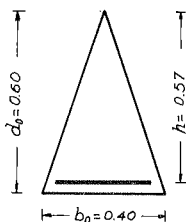
Δοκός με διατομή ίσοσκελές τρίγωνο ύψους $d = 60 \text{ cm}$ και βάσης $b_0 = 40 \text{ cm}$ καταπονείται από $M = 4,0 \text{ tm}$, $N = 0$.



Νά βρεθῇ ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός.

Υλικά: B300, StIII.

Λύση



Θεωρεῖται $\sigma_e = \epsilon \sigma_e$

Γιὰ B300, StIII λαμβάνεται:

$\epsilon \sigma_b = 120 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon \sigma_e = 2200 \text{ kg/cm}^2$.

Ἀπ' τὴν σχέση (2) τῆς ἀσκησης 43 λαμβάνεται:

$$\frac{1}{6\eta} \frac{b_0}{d_0} x^3 + F_e x - F_e \cdot h = 0 \quad \text{καί}$$

$$M_{op} = \frac{1}{6} \sigma_b \frac{b_0}{d_0} x^2 \left(h - \frac{x}{2} \right) = 4,0 \text{ tm}$$

$$\text{Ἀλλὰ} \quad \sigma_b = \frac{x}{h-x} \frac{\epsilon \sigma_e}{\eta} = \frac{x}{h-x} \cdot \frac{2,2}{15} = 0,147 \frac{x}{h-x}$$

$$\text{Ἀρα} \quad M_{op} = \frac{1}{6} 0,147 \frac{x}{h-x} \cdot \frac{40}{60} x^2 \left(57 - \frac{x}{2} \right) = 4 \cdot 10^2 \quad \Rightarrow$$

$$0,016 \frac{x^3}{h-x} \left(57 - \frac{x}{2} \right) = 400 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f(x) = x^4 - 114x^3 - 5 \cdot 10^4 x + 285 \cdot 10^4 = 0$$

$$\text{Γιὰ } x=20 \quad \Rightarrow \quad f(x) = 1.098.000$$

$$\text{Γιὰ } x=30 \quad \Rightarrow \quad f(x) = -918.000$$

$$\text{Γιὰ } x=26 \quad \Rightarrow \quad f(x) = 3.312$$

$$\text{Ἀρα } x=26 \text{ cm καί } \sigma_b = \frac{x}{h-x} \frac{\epsilon \sigma_e}{\eta} = \frac{26}{57-26} \cdot \frac{2200}{15} = 123 \text{ kg/cm}^2 \approx$$

$$\approx \epsilon \sigma_b = 120 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\frac{1}{6\eta} \frac{b_0}{d_0} x^3 = F_e (h-x) \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{6 \cdot 15} \cdot \frac{40}{60} \cdot 26^3 = F_e (57-26) \quad \Rightarrow$$

$$F_e = 4,2 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F_e = 4\phi 12 (= 4,52 \text{ cm}^2)$$

ΑΣΚΗΣΗ 45

Νά βρεθῇ ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός τῆς δοκοῦ τοῦ σχήματος. Υλικά: B225, StII.

Λύση

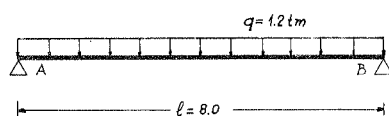
Συνεργαζόμενο πλάτος:

$$b = b_0 + 4,5d = 0,20 + 4,5 \times 0,14 = 0,83 \text{ m}.$$

1. Στατική επίλυση

$$\max M = \frac{q \ell^2}{8} = \frac{1,2 \times 8^2}{8} =$$

$$= 9,6 \text{ tm}$$

**2. Έλεγχος της διατομής σε κάμψη**

$$\frac{\varepsilon_{\sigma_b}}{\varepsilon_{\sigma_e}} = \frac{70}{1800} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k_h^* = 9,4$$

$$\text{Λαμβάνεται } e = 3,0 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow h = 60,0 - 3,0 = 57,0 \text{ cm}$$

$$k_h = \frac{\frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}}}{\frac{9,6}{\sqrt{\frac{9,6}{0,83}}}} = 16,8 >$$

$$> k_h^*$$

$$\text{Γιὰ } k_h = 16,8 \Rightarrow$$

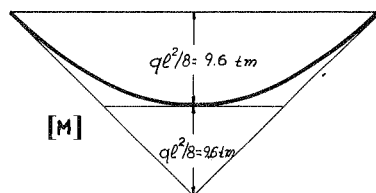
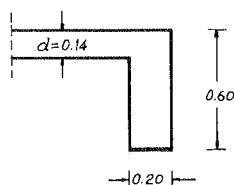
$$k_e = 0,60 \text{ καί } k_x = 0,23 \Rightarrow$$

$$x = k_x h = 0,23 \times 57 = 13,11 \text{ cm} < 14 =$$

$$= d \text{ (όρθογ. διατομή).}$$

Άρα:

$$F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,60 \times \frac{9,6}{0,57} = 10,11 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 18 (=10,16 \text{ cm}^2)$$

**3. Σχεδίαση όπλισμών**

Τά $10,11 \text{ cm}^2$ αναλαμβάνουν $9,6 \text{ tm}$.

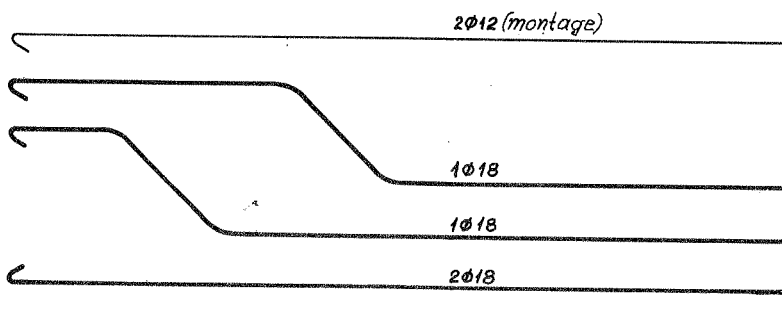
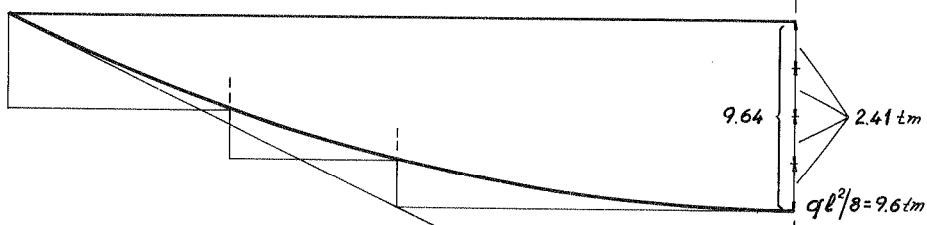
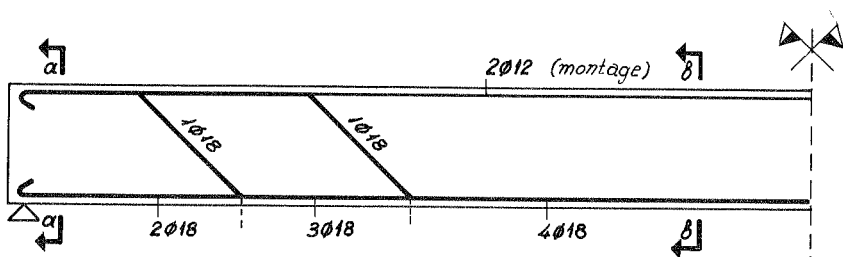
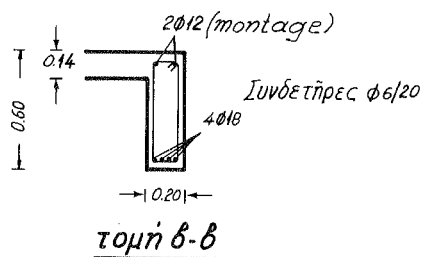
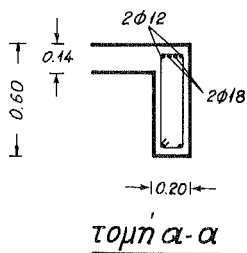
$$\text{Τά } 10,16 \text{ cm}^2 \quad " \quad x = 9,6 \frac{10,16}{10,11} = 9,65 \text{ tm}$$

$$\text{Κάθε σίδερο αναλαμβάνει ροπή κάμψης } \frac{9,65}{4} = 2,41 \text{ tm}$$

Παρατηρήσεις

★ Πρέπει $\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}$ του όπλισμού του ανοίγματος της δοκού να κάμπτεται κοντά στα στηρίγματα (βλέπε κεφάλαιο IX για δοκούς).

★ Όπως θά φανῇ στο κεφάλαιο V για διάτμηση, ο όπλισμός που κάμπτεται μπορεί να είναι απαραίτητος για να παραλάβη λοξές έφελκυστικές τάσεις.



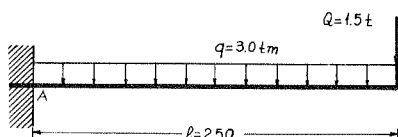
* Έπειδὴ τὰ k_e, h εἶναι περίπου σταθερά καὶ $F_e = k_e \frac{M}{h} \approx f(M)$.

Γι' αὐτὸ ἀναφέρεται ὅτι τὰ $10,11 \text{ cm}^2$ ἀναλαμβάνουν $9,6 \text{ tm}$

τὸ $1018 = 2,54 \text{ cm}^2$ ἀναλαμβάνει $\frac{9,6 \times 2,54}{10,11} = 2,41 \text{ tm}$

ΑΣΚΗΣΗ 46

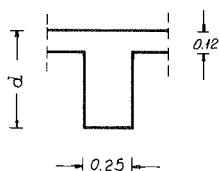
Νά βρεθῇ ἡ ἐλάχιστη διατομὴ τοῦ πρόβολου τοῦ σχήματος,



χωρὶς νά χρειάζεται θλιβόμενος ὀπλισμός.

Τὸ φορτίο q περιλαμβάνει καὶ τὸ ἴδιο βάρος τῆς δοκοῦ.

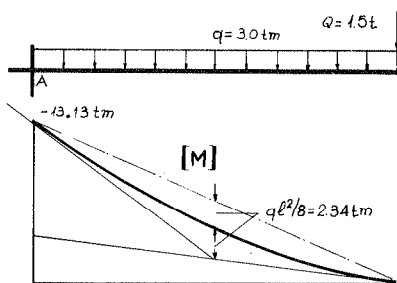
Υλικά: B225, StIII_B.



Λύση

1. Στατική ἐπίλυση

$$\begin{aligned} \max M = M_A &= -\frac{ql^2}{2} - Ql = -\frac{3,0 \times 2,5^2}{2} \\ &= -1,5 \times 2,5 = -9,38 - 3,75 = -13,13 \text{ tm} \end{aligned}$$



2. Έλεγχος σὲ κάμψη

Ὁ ἔλεγχος σὲ κάμψη θὰ γίνῃ στὴν διατομὴ "Α", ὅπου καὶ ἡ μεγαλύτερη ροπή. Στὴν διατομὴ "Α" θλίβονται οἱ κάτω ἴνες καὶ ἐφελκύνονται οἱ πάνω ἴνες.

ποὺ συνεργάζονται μέ τὴν πλάκα.

Ἐπομένως ἡ διατομὴ "Α" δουλεύει σάν ὀρθογωνικὴ καὶ ὄχι σάν πλακοδοκός.

$$\text{Εἶναι } \frac{\varepsilon_{\sigma_b}}{\varepsilon_{\sigma_e}} = \frac{90}{2400} \quad \text{γιὰ B225, StIII}_B \Rightarrow k_h^* = 8,4.$$

Γιὰ νά βρεθῇ ἡ ἐλάχιστη διατομὴ πρέπει $k_h = 8,4$ ἀφοῦ δὲν χρησιμοποιεῖται θλιβόμενος ὀπλισμός (ἂν χρησιμοποιεῖτο θλιβόμενος, ἔπρεπε $k_e = k'_e$).

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b_0}}} = k_h^* \Rightarrow h = k_h^* \sqrt{\frac{M}{b_0}} = 8,4 \sqrt{\frac{13,13}{0,25}} = 60,88 \Rightarrow$$

$$d = h + 3,0 = 63,88 \text{ cm.}$$

Λαμβάνεται $d = 65 \text{ cm}$

$$\text{Τότε } k_h = \frac{62}{\sqrt{\frac{13,13}{0,25}}} = 8,6 > k_h^* \text{ και } k_e = 0,47.$$

$$F_e = k_e \cdot \frac{M}{h} = 0,47 \times \frac{13,13}{0,62} = 9,95 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 18 (=10,16 \text{ cm}^2)$$

Γιὰ τό σπάσιμο τῶν ράβδων:

Τά $9,95 \text{ cm}^2$ ἀναλαμβάνουν $13,13 \text{ tm}$

$$\text{Τό } 1\phi 18 = 2,54 \text{ cm}^2 \quad " \quad = 13,13 \times \frac{2,54}{9,95} = 3,35 \text{ tm}$$

3. Σχεδίαση όπλισμῶν

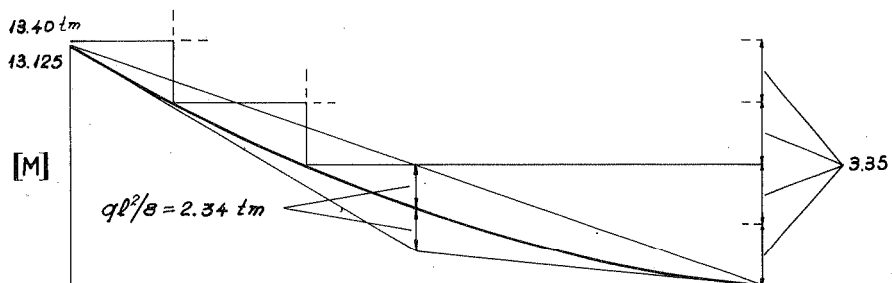
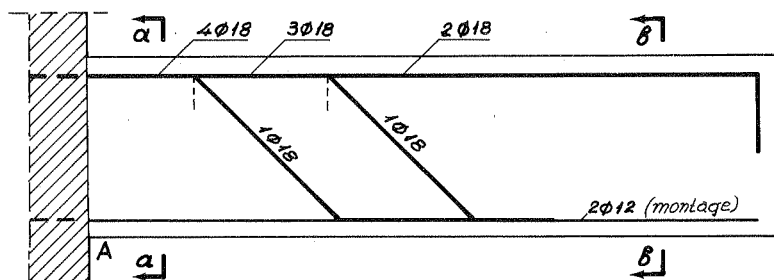
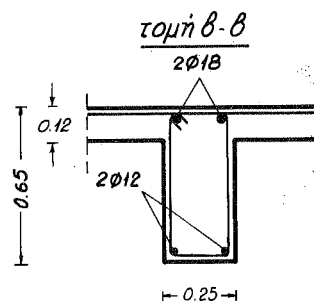
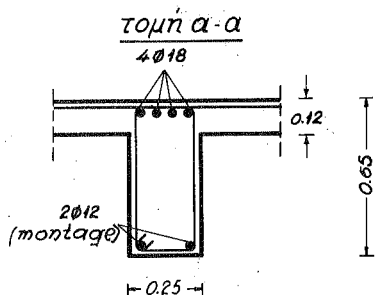
Παρατηρήσεις

*Εἶναι δυνατό νά ἀμφισβητηθῇ ἡ τοποθέτηση τῶν όπλισμῶν (βλέπε τομές β-β, α-α) γιατί δηλ. δέν τοποθετοῦνται καί τά $4\phi 18$ στό πάνω πέλμα τῆς δοκοῦ σ'όλο τό μήκος ἀφοῦ οἱ ροπές εἶναι ἀρνητικές.

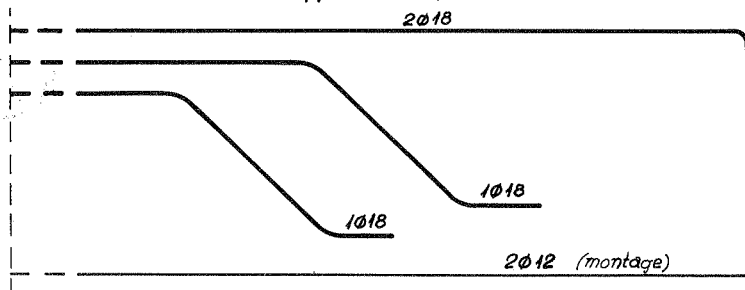
Αὐτό γίνεται:

*Γιὰ οἰκονομία (μικρότερο μήκος ράβδων).

*Γιὰ νά παραλαμβάνωνται οἱ τυχαῖες λοξές ἐφελκυστικές τάσεις, εἴτε μικρότερες εἴτε μεγαλύτερες τῶν ἐπιτρεπομένων (βλέπε κεφάλαιο V: διάτμηση).



Ανάπτυγμα δηλήσιμου



ΑΣΚΗΣΗ 47

Νά υπολογισθῇ ἡ ἀμφίπακτη δοκός τοῦ σχήματος καί νά σχεδιασθῇ ὁ ὀπλισμός της.

Υλικά: B160, StI.

Λύση**1. Στατική ἐπίλυση**

Ἀπό τόν πίνακα 56 (στόν τόμο β) λαμβάνεται:

$$M_A = M_B = -\frac{q l^2}{12} = -\frac{2,5 \times 8,0^2}{12} = -13,33 \text{ tm.}$$

$$M_m = \frac{M_A + M_B}{2} + \frac{q l^2}{8} =$$

$$= -13,33 + 20 = 6,67 \text{ tm}$$

2. Ἐλεγχος σέ κάμψη**2.1. Ἀνοιγμα**

$$\frac{\varepsilon_{\sigma_b}}{\varepsilon_{\sigma_e}} = \frac{50}{1400} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k_h^* = 11,4, \max M = 6,67 \text{ tm}, h = 62 \text{ cm}$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{62}{\sqrt{\frac{6,67}{1,40}}} = 28,4 > k_h^* \Rightarrow k_x \approx 0,16 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = k_x h = 0,16 \times 62 = 9,92 < 10 \text{ cm} = d.$$

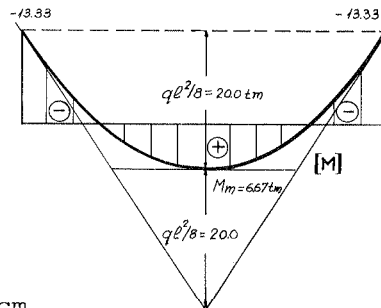
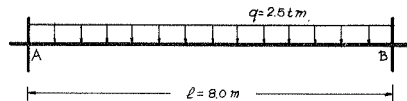
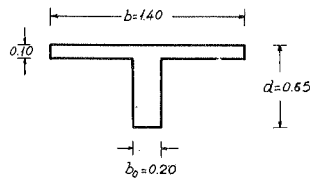
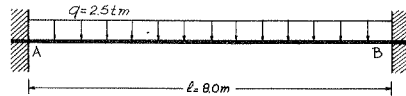
$$k_e = 0,76 \Rightarrow F_e = k_e \cdot \frac{M}{h} = 0,76 \cdot \frac{6,67}{0,62} = 8,18 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e = 2\phi 18 + 2\phi 16 (=9,10 \text{ cm}^2).$$

2.2. Στήριξη

$$\frac{\varepsilon_{\sigma_b}}{\varepsilon_{\sigma_e}} = \frac{70}{1400} \Rightarrow k_h^* = 8,8, M_A = M_B = -13,33 \text{ tm}, h = 60 \text{ cm.}$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b_o}}} = \frac{60}{\sqrt{\frac{13,33}{0,20}}} = 7,4 < k_h^* \text{ ἄρα χρειάζεται θλιβόμε-}$$



νος όπλισμός.

$$k_e = 0,81 \text{ καί } k'_e = 0,38 \text{ καί για } \frac{h'}{h} = \frac{5}{60} = 0,083 > 0,07,$$

$$\sigma_b = 90 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$$

$$\rho' = 1,05$$

$$F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,81 \frac{13,33}{0,60} = 17,99 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$F_e = 2\emptyset 18 \text{ άπ'τό άνοιγμα} + 5\emptyset 18 \text{ πρόσθετα } (=17,78 \text{ cm}^2)$$

$$F'_e = k'_e \rho' \frac{M}{h} = 0,38 \times 1,05 \frac{13,33}{0,60} = 8,86 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$F'_e = 2\emptyset 16 \text{ άπ'τό άνοιγμα} + 2\emptyset 18 \text{ πρόσθετα } (=9,10 \text{ cm}^2)$$

Τά πρόσθετα 2\emptyset 18 μέχρι τό σημείο όπου $k_h = k_h^*$.

3. Σχεδίαση όπλισμών

Τά άγκιστρα είναι τά θεωρητικά πέρατα τών όπλισμών.

Τά άκριβή πέρατα τών όπλισμών επεκτείνονται άπ'τά άγκιστρα κατά τό μήκος άγκύρωσης. Η άγκύρωση έξαρτάται άπ'τό είδος τών όπλισμών καί άπ'τήν ύπαρξη ή όχι άγκιστρου.

Τά $17,99 \text{ cm}^2$ παραλαμβάνουν $13,33 \text{ tm}$

Τό $1\emptyset 18 \Rightarrow 2,54 \text{ cm}^2$ παραλαμβάνει $1,88 \text{ tm}$

Τά $8,12 \text{ cm}^2$ παραλαμβάνουν $6,67 \text{ tm}$

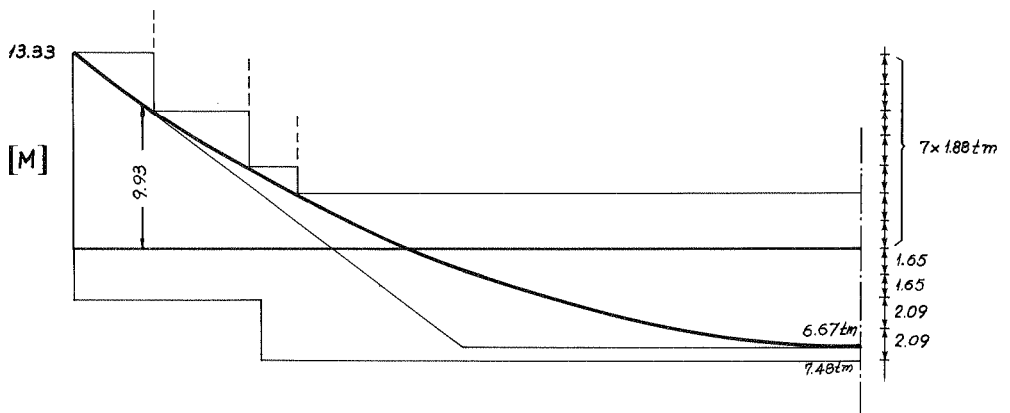
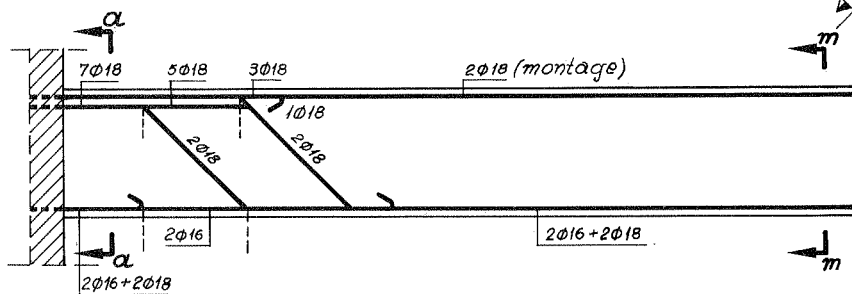
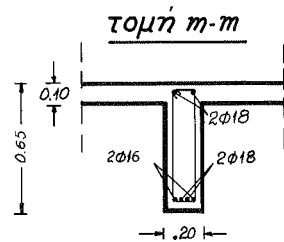
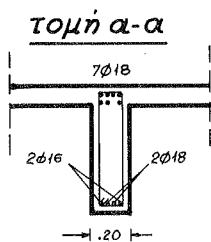
Τό $1\emptyset 16 = 2,01 \text{ cm}^2$ " $1,65 \text{ tm}$

Τό $1\emptyset 18 = 2,54 \text{ cm}^2$ " $2,09 \text{ tm}$

Παρατηρήσεις

* Ό θλιβόμενος όπλισμός τοποθετείται μέχρι τό σημείο όπου $k_h = k_h^*$ πού άντιστοιχεί σέ ροπή $k_h^* = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b_o}}} \Rightarrow M = \frac{h^2}{k_h^{*2}} b_o = \frac{622}{8,8^2} \times 0,20 = 9,93 \text{ tm}$.

* Τά 2\emptyset 18 πού μπαίνουν πρόσθετα στίς στηρίξεις δέν διακόπτονται αλλά επεκτείνονται σ'όλο τό μήκος καί χρησιμοποιούνται σύγχρονα καί σάν montage.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΔΙΑΤΜΗΣΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ

• Μέχρι τώρα οι τάσεις που παρουσιάστηκαν ήταν παράλληλες προς τον διαμήκη άξονα των φορέων.

Οι τάσεις αυτές ήταν έφελκυστικές ή θλιπτικές και όφείλονταν ή σε άξονικές δυνάμεις ή σε ροπές ή σε συνδυασμό τους.

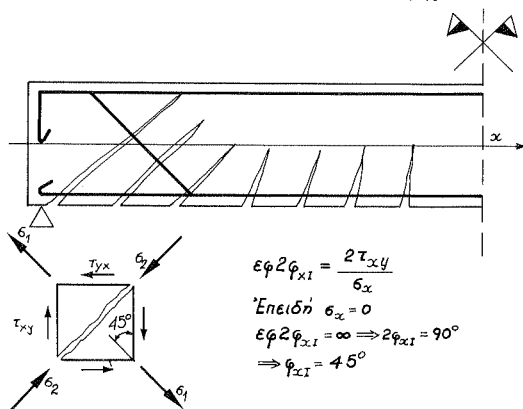
Σ' αυτό τό κεφάλαιο έξετάζονται τάσεις που όφείλονται σε τέμνουσες δυνάμεις και είναι λοξές σχετικά μέ τον διαμήκη άξονα.

Οι διατμητικές τάσεις δέν πρέπει νά είναι μεγαλύτερες άπ' τίς έπιτρεπόμενες, γιατί τότε τό σκυρόδεμα ρηγματώνεται.

Όπως είναι γνωστό σε μιά έντατική κατάσταση υπάρχουν δυό κύριες τάσεις, μιά έφελκυστική και μιά θλιπτική.

Η κύρια έφελκυστική τάση είναι και ή επικίνδυνη, γιατί ή άντοχή του σκυροδέματος σε έφελκυσμό είναι πολύ μικρή.

Έπειδή ή διαμήκης τάση σ_x είναι μηδέν, υπάρχει καθα-



ρή διατίμηση και τόσο η κύρια έφελκυστική τάση όσο και οι ρωγμές έχουν, σε σχέση με τον άξονα x , κλίση 45° .

Η κύρια θλιπτική τάση σ_2 , κάθετη στην σ_1 , δεν δημιουργεί άνησυχίες γιατί το σκυρόδεμα έχει μεγάλη άντοχή σε θλίψη.

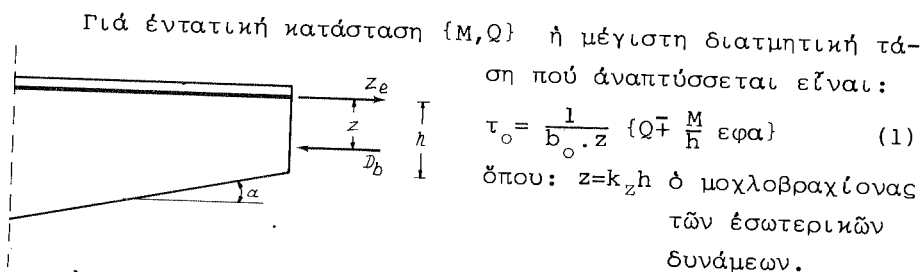
• Αν διαπιστωθεί ότι η κύρια έφελκυστική τάση ξεπερνάει την άντοχή του σκυροδέματος τ_0 , χρησιμοποιείται όπλισμός για να την παραλάβει. Ο όπλισμός αυτός ακολουθεί την διεύθυνση της κύριας έφελκυστικής τάσης, δηλαδή έχει κλίση 45° προς τον άξονα x .

Τις κύριες έφελκυστικές τάσεις μπορούν να παραλάβουν και κατακόρυφοι (ή όριζόντιοι) όπλισμοί, όπως οι συνδετήρες.

Οι συνδετήρες πρέπει να μπαίνουν όπωσδήποτε, με κλίση μεγαλύτερη από 45° , για να παίρνουν τάσεις. Τέτοιες τάσεις εμφανίζονται σε σημεία που η σ_x δεν είναι (πρακτικά) μηδενική.

2. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

2.1. ΔΙΑΤΟΜΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΥΨΟΥΣ



b_o : τό πλάτος της διατομής.

h : τό στατικό ύψος της διατομής.

Τό πρόσημο (-) μπαίνει όταν η ροπή και τό ύψος της διατομής μεταβάλλονται όμόρροπα, ένω τό σημείο (+) όταν η ροπή και τό ύψος της διατομής μεταβάλλονται αντίρροπα.

2.2. ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΥΨΟΥΣ

Τότε είναι: $\tau_o = \frac{Q}{b_o \cdot z}$ (2)

Παρατηρήσεις

★ Μέ ἀρκετή ἀκρίβεια στίς παραπάνω σχέσεις μπαίνει $k_z = \frac{7}{8}$

Τότε $z = k_z h = \frac{7}{8} h$.

Δηλ. ή σχέση (2) γίνεται: $\tau_o = \frac{Q}{\frac{7}{8} b_o h}$ καί έπειδή ή ποσότητα $\frac{7}{8} b_o h$ είναι σταθερή είναι δυνατό νά αναφέρεται παραλαβή τεμνουσών δυνάμεων αντί για παραλαβή τάσεων.

★ Στην περίπτωση πλακοδοκού, ή πλάκα δέν λαμβάνεται ύπ' όψη καί ή διατομή θεωρείται όρθογωνική μέ διαστάσεις $b_o \times d_o$.

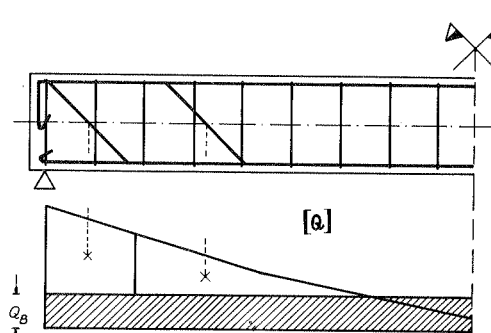
2.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΝ

Γιά κάθε ποιότητα σκυροδέματος υπάρχουν δυό χαρακτηριστικές τιμές τής λοξής έφελκυστικής τάσης τ_{o1} ($\cong \frac{\beta_z}{3}$) καί τ_{o2} ($\cong \frac{2\beta_z}{3}$).

- Όταν ή μέγιστη διατμητική τάση στην διατομή είναι μικρότερη άπ' τήν τ_{o1} τό σκυρόδεμα μπορεί νά παραλάβη άπό μόνο του τήν λοξή έφελκυστική τάση (δέν χρειάζεται όπλισμός).
- Όταν $\tau_{o1} < \max \tau_o < \tau_{o2}$ τό σκυρόδεμα δέν μπορεί νά παραλάβη μόνο του τίς λοξές έφελκυστικές τάσεις καί έπομένως χρειάζεται όπλισμός.
- Όταν $\max \tau_o > \tau_{o2}$ κανένας όπλισμός δέν μπορεί νά άναστείλ η τήν ρηγμάτωση τοϋ σκυροδέματος καί έπομένως άπαιτείται αύξηση τών διαστάσεων τής διατομής

	ΠΛΑΚΕΣ			ΔΟΚΟΙ		
	B160	B225	B300	B160	B225	B300
τ_{o1}	8	9	10	6	7	8
τ_{o2}	16	18	20	16	18	20

3. ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ



Όταν $\tau_{o1} < \max \tau_o < \tau_{o2}$ τοποθετείται σαν όπλισμός διάτμησης λοξός όπλισμός και κατακόρυφοι συνδετήρες. Κάτω από την δοκό κατασκευάζεται τό διάγραμμα τών τεμνουσών δυνάμεων, τίς όποιες θά παραλάβουν οί συνδετήρες και ό λοξός όπλισμός.

3.1. ΔΥΝΑΜΗ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΗ ΝΗ ΑΠ' ΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

Γιά όμοιόμορφα διανεμηνένους συνδετήρες, σέ αποστάσεις e μεταξύ τους, μέ διατομή συνδετηήρα F_{e_B} και έπιτρεπόμενη τάση τοϋ χάλυβα τοϋ συνδετηήρα σ_{e_B} , είναι:

$$Q_B = \frac{z}{e} (\eta F_{e_B}) \cdot \sigma_{e_B} \quad (3)$$

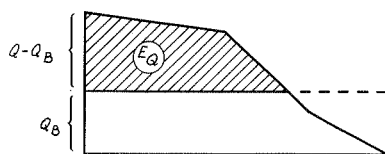
όπου η : ό άριθμός τών κατακόρυφων σκελών κάθε συνδετηήρα π.χ. γιά συνδετηήρες μέ δύο κατακόρυφα σκέλη (δίτμητους) $\square$ τό $\eta=2$.

3.2. ΔΥΝΑΜΗ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΑΠ' ΤΟΝ ΛΟΞΟ ΟΠΛΙΣΜΟ

Ύπολογίζεται τό έμβασδόν E_Q τοϋ διαγράμματος $\{Q\}$, πού παραμένει μετά την άφαίρεση τής δύναμης Q_B , τήν όποιά παραλαμβάνουν οί συνδετηήρες.

Ό άναγκαίος όπλισμός είναι: $F_{e_s} = \frac{E_Q}{\sqrt{2} \cdot z \cdot \sigma_e}$ όπου σ_e : ή

έπιτρεπόμενη τάση^s τοϋ χάλυβα τοϋ λοξοϋ όπλισμοϋ.



4. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ - ΟΔΗΓΙΕΣ

1. Σέ πλάκες συνήθως δέν υπάρχει πρόβλημα διάτμησης.

Πάντως σέ περίπτωση πού χρειάζεται όπλισμός διάτμησης αύξάνεται τό πάχος τής πλάκας τόσο, ώστε νά μή απαιτηται όπλισμός διάτμησης.

2. Οί συνδετήρες πρέπει νά μή παραλαμβάνουν περισσότερο από τό 1/3 περίπου τής λοξής έφελκυστικής δύναμης.

3. Έλάχιστη διάμετρος συνδετήρων.

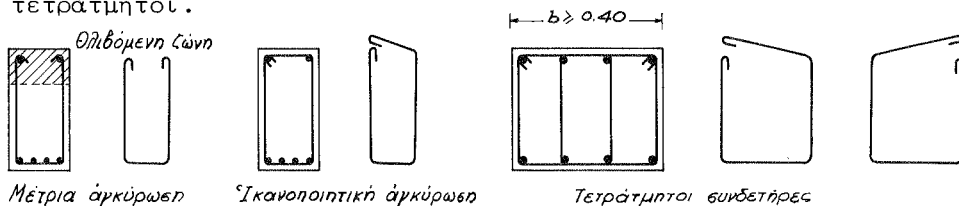
Γιά ύψος δοκών $d < 80\text{cm}$ χρησιμοποιούνται $\phi 6$

Γιά " " $d > 80\text{cm}$ " $\phi 8$

4. Απόσταση συνδετήρων (e).

Πρέπει: $10 \leq e \leq 20\text{cm}$.

5. "Αν τό πλάτος τής δοκού είναι $b_o \leq 40\text{cm}$ χρησιμοποιούνται δίτμητοι συνδετήρες. "Αν $b_o \geq 40\text{cm}$ χρησιμοποιούνται τετράτμητοι.



6. Από τον λοξό όπλισμό πρέπει νά παραλαμβάνεται τό 50÷70% τής λοξής έφελκυστικής δύναμης. Όταν μάλιστα τά φορτία είναι μεγάλα, πρέπει νά παραλαμβάνεται από τον λοξό όπλισμό τουλάχιστον τό 66% τής λοξής έφελκυστικής δύναμης.

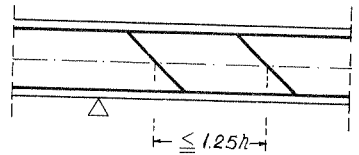
7. Όσο μικρότερη είναι ή διάμετρος του λοξού όπλισμού τόσο μειώνεται ό κίνδυνος νά έμφανισθούν λοξές ρωγμές, γιατί είναι περισσότερες οί ράβδοι καί είναι έπόμενο νά διαταχθούν καλύτερα.

Υπάρχει όμως ό περιορισμός, ό όπλισμός νά τοποθετηται σέ δύο τό πολύ σειρές.

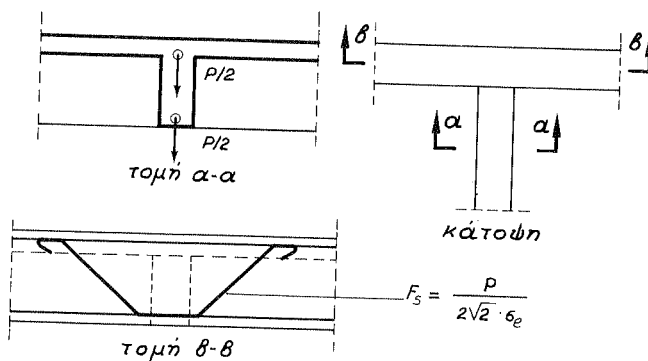
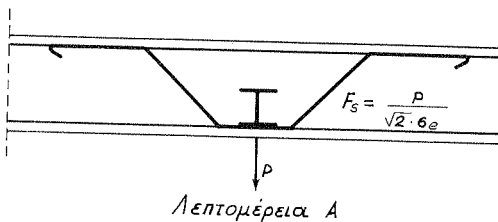
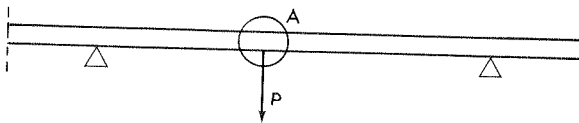
8. Ανάμεσα σέ δύο διαδοχικές θέσεις κάμψης λοξού όπλισμού

ή απόσταση πρέπει να είναι τό πολύ $1,25h$.

9. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αγκύρωση των λοξών ράβδων όπλισμού καί ιδιαίτερα στις πρόσθετες ράβδους. Γενικά ο λοξός όπλισμός πρέπει να αγκυρώνεται στην θλιβόμενη ζώνη.



10. Στην περίπτωση που απ' την έφελκυόμενη ζώνη αναρτώνται



μεγάλα συγκεντρωμένα φορτία, ή έδράζονται έμμεσα άλλα στοιχεία, χρειάζεται λοξός όπλισμός ανάπτυγματος άνοικτου Γ (πάπιες), ώστε η δύναμη να μεταβιβάζεται στην βλιβόμενη ζώνη.

5. ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΛΟΞΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

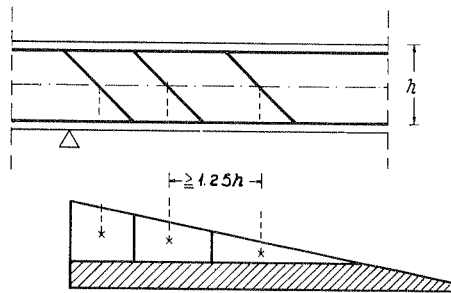
"Αν απ' τον ύπολογισμό σε διάτμηση προκύπτουν -ν- ράβδοι

όπλισμοῦ ἢ -ν- ομάδες ράβδων όπλισμοῦ, τό διάγραμμα $\{Q-Q_B\}$ χωρίζεται σέ -ν- ίσοδύναμα τμήματα.

Όρίζονται τά κέντρα βάρους τῶν ίσοδύναμων τμημάτων καί τά σημεία τομῆς τοῦ μέσου άξονα τῆς δοκοῦ καί τῆς κατακόρυφης άπ'τό κέντρο βάρους κάθε τμήματος.

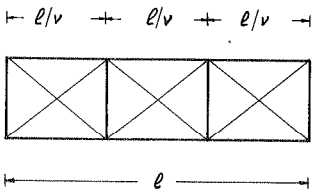
Κάθε ράβδος πρέπει νά περνά άπό ἓνα άπ'τά παραπάνω σημεία καί νά ἔχη κλίση 45° σέ σχέση μέ τόν μέσο άξονα τῆς δοκοῦ.

* Σέ περίπτωση πού, μέ τήν πρώτη έκλογή ράβδων, προκύψει άπόσταση $\geq 1,25h$, ανάμεσα σέ διαδοχικές λοξές ράβδους, αύξάνεται ὁ άριθμός τῶν ράβδων.



5.1. ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ $\{Q-Q_B\}$

Τό χώρισμα σέ ίσοδύναμα τμήματα εἶναι άπλό.



Κάθε τμήμα ἔχει μήκος $\frac{l}{3}$.

Τό κέντρο βάρους κάθε τμήματος εἶναι ἡ τομή τῶν διαγωνίων του.

5.2. ΤΡΙΓΩΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ $\{Q-Q_B\}$

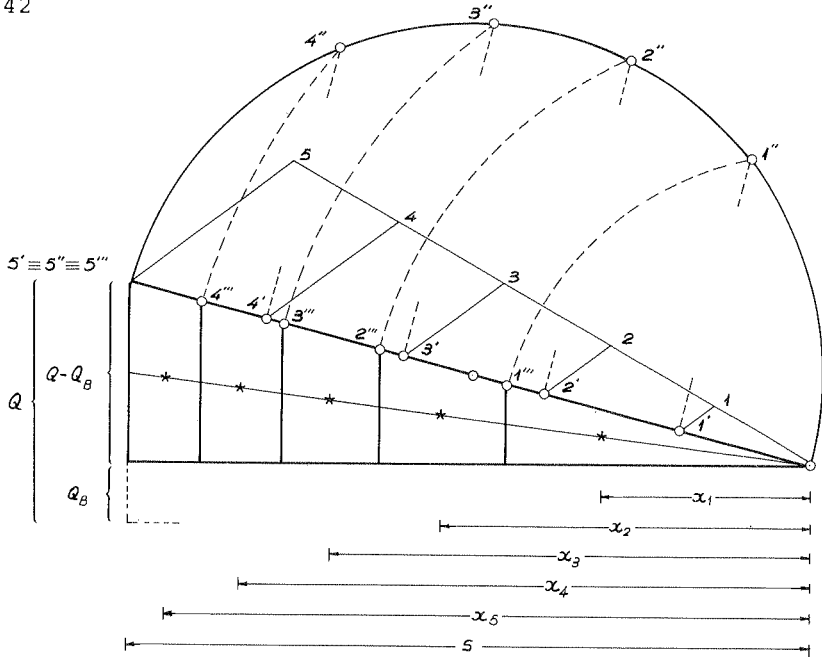
α. Γραφικά

Ἡ σειρά προσδιορισμοῦ τῶν σημείων άκολουθεῖ τήν σειρά τοῦ άριθμοῦ τῶν τόνων δηλαδή:

$$i, i', i'', i''' \dots (i=1, 2, \dots, n)$$

Προσδιορισμός κ.β. τραπέζιου

$\delta\beta' = \alpha\beta$, $\beta\delta' = \gamma\delta$. ε, ζ μέσα τῶν γδ, αβ αντίστοιχα.



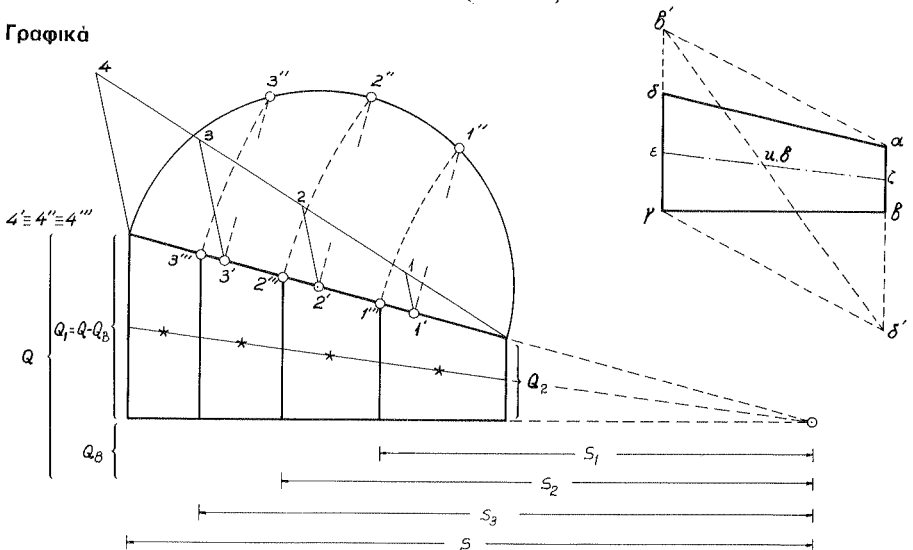
6. Αναλυτικά

$$S = \frac{Q - Q_B}{q}$$

$$x_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{S}{\sqrt{\eta}}, \quad x_2 = \sqrt{1,5} \frac{S}{\sqrt{\eta}}, \quad x_3 = \sqrt{2,5} \frac{S}{\sqrt{\eta}}, \quad \dots \quad x_k = \sqrt{\frac{2k-1}{2}} \cdot \frac{S}{\sqrt{\eta}}$$

5.3. ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ {Q - Q_B}

α. Γραφικά



6. Αναλυτικά

$$S = \frac{Q_1}{q} \quad \mu = \frac{Q_1}{Q_2}$$

$$S_1 = \frac{S}{\mu\sqrt{\eta}} \sqrt{(\mu^2-1)+\eta}, \quad S_2 = \frac{S}{\mu\sqrt{\eta}} \sqrt{2(\mu^2-1)+\eta}, \quad S_3 = \frac{S}{\mu\sqrt{\eta}} \sqrt{3(\mu^2-1)+\eta},$$

$$\dots, \quad S_k = \frac{S}{\mu\sqrt{\eta}} \sqrt{k(\mu^2-1)+\eta}$$

Ἡ ἀναλυτικὴ ἔκφραση τῶν κ.β. τοῦ τραπεζίου εἶναι πολὺ-πλοκή καὶ γι' αὐτό δέν προσφέρεται. Τὰ κ.β. προσδιορίζονται γραφικὰ.

Σέ περίπτωσι τραπεζοειδοῦς διαγράμματος ἡ πορεία εἶναι γραφικὴ ἢ γραφαναλυτικὴ.

6. ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σέ φορέα ἀπὸ ὀπλισμένο σκυρόδεμα ποτέ δέν ὑπάρχει τό πρόβλημα τῆς διάτμησης μόνο του. Ὅπως φορέας καταπονεῖται σέ κάμψη, διάτμηση καὶ πιθανόν σέ στρέψη, ταυτόχρονα.

1. Στατική ἐπίλυση

Βρίσκονται τὰ διαγράμματα $[M]$, $[Q]$ καὶ ἔσως $[N]$.

2. Ἐλεγχος σέ κάμψη

Ὑπολογίζονται οἱ ἀπαραίτητοι ὀπλισμοί.

Γίνεται προσπάθεια νά χρησιμοποιηθῇ περιττός ἀριθμὸς ράβδων (π.χ. 5Ø16) ἢ ράβδοι διαφορετικῆς διαμέτρου (π.χ. 2Ø14+2Ø16).

3. Ἐλεγχος σέ διάτμηση

α. Βρίσκονται οἱ ἐπιτρεπόμενες τάσεις διάτμησης ἀπ' τὸν πίνακα τῆς §2.3, τ_{o1} καὶ τ_{o2} .

6. Πρῶτος τρόπος

Ὑπολογίζεται ἡ $\max \tau_o$ (kg/cm^2) ἀπ' τὴν σχέση

$$\max \tau_o = \frac{Q}{b_o \cdot z}$$

όπου Q : ή μέγιστη τέμνουσα δύναμη (kg)

b_o : τό πλάτος της δοκού (cm)

$z = \frac{7}{8} h$: ο μοχλοβραχίονας των έσωτερικών δυνάμεων (cm)

"Αν προκύπτει $\tau_{o1} < \tau_o < \tau_{o2}$ τοποθετείται όπλισμός διάτμησης.

Δεύτερος τρόπος

"Απ' τούς πίνακες 29α, 29β, 29γ ανάλογα μέ την ποιότητα του σκυροδέματος καί γιά τίς διαστάσεις του προβλήματος (b_o, h) βρίσκονται οί τέμνουσες Q_{o1} καί Q_{o2} . "Αν $Q < Q_{o1}$ δέν χρειάζεται όπλισμός διάτμησης. "Αν $Q_{o1} < Q < Q_{o2}$ χρειάζεται όπλισμός διάτμησης. "Αν $Q > Q_{o2}$ χρειάζεται αλλαγή διαστάσεων.

γ. Όπλισμός διάτμησης

Ι. Συνδετήρες

"Ανάλογα, άν είναι μεγάλα ή μικρά τά φορτία, διαλέγονται συνδετήρες δίτμητοι $\varnothing 8$ καί $\varnothing 6$ αντίστοιχα.

Οί συνδετήρες πρέπει νά παίρνουν τέμνουσα $Q_B \cong \frac{1}{3} Q$.

"Υπολογίζεται ή ποσότητα $\frac{F_{eB}}{e} = \frac{Q_B}{2 \cdot z \cdot \sigma_{eB}}$

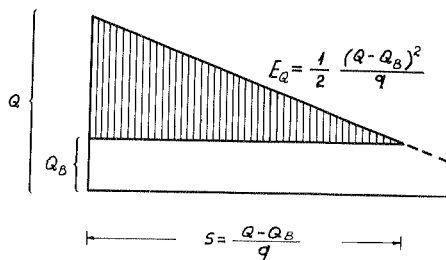
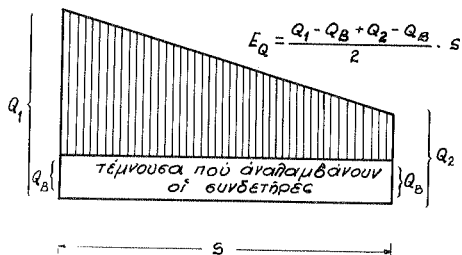
όπου $Q_B(t)$, $z = \frac{7}{8} h$ (cm), F_{eB} (cm²), σ_{eB} (t/cm²).

Πρέπει $10 < e < 20$ cm.

"Από τόν πίνακα 30 προκύπτει ό κατάλληλος συνδυασμός $\frac{F_{eB}}{e}$.

"Η τέμνουσα πού αναλαμβάνουν οί συνδετήρες είναι σταθερή σ' όλο τό μήκος του φορέα.

II. Λοξός όπλισμός



Ο αναγκαῖος λοξός όπλισμός είναι:

$$F_{e_s} = \frac{E_Q}{\sqrt{2} \cdot z \cdot \sigma_{e_s}}$$

όπου: E_Q (tm) : τό έμβαδό τοῦ διαγράμματος Q πού θά παραλάβη ό λοξός όπλισμός.

z (m), σ_{e_s} (t/cm²).

4. Τοποθέτηση όπλισμών

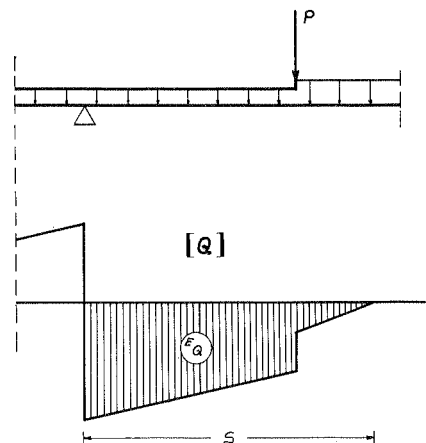
Πρώτα τοποθετοῦνται οἱ ράβδοι τῆς διάτμησης καί μετά έλέγχεται άν καλύπτεται τό διάγραμμα τῶν ροπῶν κάμψης.

Ἡ τοποθέτηση τοῦ όπλισμοῦ διάτμησης γίνεται μέ βάση τόν χωρισμό τοῦ διαγράμματος $\{Q-Q_B\}$ σέ τόσα ίσοδύναμα τμήματα, όσος είναι ό αριθμός τῶν αναγκαίων ράβδων ἢ ομάδων ράβδων.

Σέ περίπτωση τριγωνικοῦ διαγράμματος $\{Q-Q_B\}$ είναι προτιμότερο τά κ.β. τῶν ίσοδύναμων τμημάτων νά υπολογίζονται αναλυτικά, ενώ σέ περίπτωση τραπεζοειδοῦς διαγράμματος $\{Q-Q_B\}$ νά υπολογίζωνται γραφικά.

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Οἱ αναγκαῖοι συνδετήρες F_{e_B} καί οἱ αναγκαῖοι λοξοί όπλισμοί ικανοποιοῦν τήν σχέση $\sqrt{2}F_{e_s} + F_{e_B} = \frac{E_Q}{z \cdot \sigma_{e_s}}$ όπου ό όπλισμός $\sqrt{2}F_{e_s}$ αντιπροσωπεύει τήν τέμνουσα πού παίρνει ό λοξός όπλισμός καί ό όπλισμός F_{e_B} αντιπροσωπεύει τήν τέμνουσα πού παίρνουν οἱ συνδετήρες.



Πορεία υπολογισμού

1. Υπολογίζονται τό έμβαδό E_Q (tm), τό $z = \frac{7}{8} h$ (m) καί $\epsilon\sigma_e$ (t/cm²).
2. Έκλέγεται διατομή συνδετήρων f_{e_B} καί απόσταση e .
Βρίσκεται ό άριθμός -η- τών συνδετήρων στό μήκος S ($\eta = \frac{S}{e}$) όπότε ό όπλισμός F_{e_B} υπολογίζεται άπ'τόν πίνακα 31.
3. Βρίσκεται ή ποσότητα $\sqrt{2}F_{e_s} = \frac{E_Q}{z \cdot \sigma_e} - F_{e_B} = k$ όπότε βρίσκονται οί άπαιτούμενες ράβδοι άπ'τόν πίνακα 32.

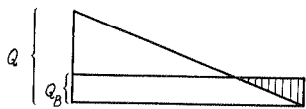
Παρατηρήσεις

★ Έπειδή οί συνδετήρες πρέπει συνήθως νά παίρνουν τό $\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}$ τής $E_Q \Rightarrow \sqrt{2}F_{e_s} \approx 2F_{e_B}$ όπότε $3F_{e_B} = \frac{E_Q}{z \cdot \sigma_e}$.

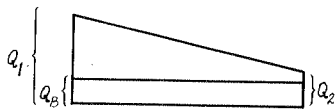
"Αρα $F_{e_B} = \frac{E_Q}{3z \cdot \sigma_e}$ καί $\sqrt{2}F_{e_s} = 2F_{e_B}$.

Άπό τούς πίνακες 31 καί 32 διαλέγονται οί κατάλληλοι όπλισμοί.

★ Τό σφάλμα τής μεθόδου όφείλεται στόν συνυπολογισμό τοῦ διαγράμματος τών συνδετήρων πού βρίσκεται έξω άπ' τό διάγραμμα [Q].



Άντίθετα είναι άκριβής όταν τό διάγραμμα τών συνδετήρων βρίσκεται όλο μέσα στό διάγραμμα τών [Q]. Αυτό συμβαίνει όταν $Q_1 \geq 3Q_2$.



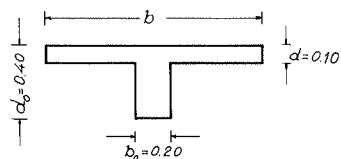
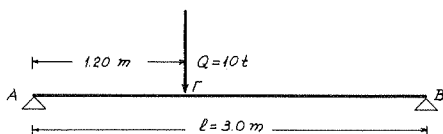
★ Η μέθοδος αυτή καί όταν άκόμη μᾶς δίνει άκρίβεια στόν όπλισμό, δέν μᾶς δίνει τό διάγραμμα τής τέμνουσας πού πρέπει νά άναλάβη ό λοξός όπλισμός.

Γι'αυτό συνιστάται ή χρησιμοποίηση αυτής τής μεθόδου σέ περιπτώσεις τραπεζοειδών διαγραμμάτων [Q] καί σέ περιπτώσεις πού δέν χρειάζεται άκριβής σχεδίαση τών όπλισμών.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

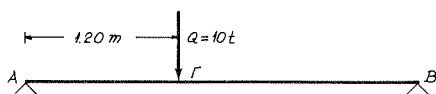
ΑΣΚΗΣΗ 48

Νά γίνει έλεγχος σέ κάμψη καί διάτμηση τής άμφιαρθρωτής δοκού τοῦ σχήματος. Τό ίδιο βάρος θεωρεῖται άμελητέο. Υ-
λικά: B225, StIII_R.



Λύση

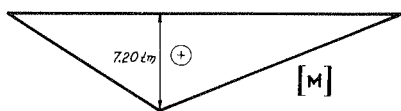
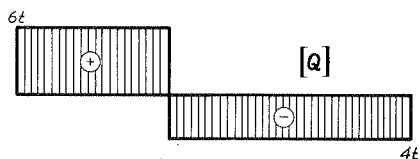
1. Στατική επίλυση



$$Q_A = V_A = 10 \times \frac{1,80}{3,0} = 6,0 \text{ t}$$

$$Q_B = -V_B = -10 \times \frac{1,20}{3,0} = -4,0 \text{ t}$$

$$\max M = 6,00 \times 1,20 = 7,20 \text{ tm}$$



2. Έλεγχος σέ κάμψη

$$\frac{\varepsilon_{\sigma_b}}{\varepsilon_{\sigma_e}} = \frac{70}{2400} \Rightarrow k_h^* = 10,2$$

$$b = b_o + 12d = 0,20 + 12 \times 0,10 = 1,40 \text{ m}$$

$$k_h = \frac{37}{\sqrt{\frac{7,20}{1,40}}} = 16,3 > k_h^* \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k_e = 0,45, k_x = 0,20 \text{ καί}$$

$$x = k_x \cdot h = 0,20 \times 37 = 7,40 \text{ cm} < d = 10 \text{ cm}$$

$$F_e = 0,45 \times \frac{7,20}{0,37} = 8,76 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 5\emptyset 16 (=10,05 \text{ cm}^2)$$

* Προτιμῶνται τά 5 $\emptyset$ 16 από τά 4 $\emptyset$ 18 γιά νά χρησιμοποιηθῇ περισσότερος όπλισμός γιά τήν κάμψη ἢ διάτμηση (3 $\emptyset$ 16).

3. Έλεγχος σέ διάτμηση

α. Ἀπ'τόν πίνακα τής §2.3 (σελίδα 137) γιά δοκούς καί

γιά ποιότητα σκυροδέματος B225:

Προκύπτουν:

$\tau_{o1} = 7 \text{ kg/cm}^2$ και $\tau_{o2} = 18 \text{ kg/cm}^2$. Επίσης είναι $\varepsilon_{ps_e} = 2400 \text{ kg/cm}^2$.

β. Υπολογισμός της $\max \tau_o$

I. Τμήμα ΑΓ:

$$Q = 6,0 \times 10^3 \text{ kg}, \quad b_o = 20 \text{ cm}, \quad z = \frac{7}{8} \times (40,0 - 3,0) = 32,38 \text{ cm}$$

$$\tau_o = \frac{Q}{b_o z} = \frac{6,0 \times 10^3}{20 \times 32,38} = 9,26 \text{ kg/cm}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} > 7,0 \text{ kg/cm}^2 \\ < 18,0 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$$

II. Τμήμα ΓΒ

$$Q = 4,0 \times 10^3 \text{ kg}, \quad b = 20 \text{ cm}, \quad z = 32,38 \text{ cm}$$

$$\tau_o = \frac{Q}{b_o z} = \frac{4 \times 10^3}{20 \times 32,38} = 6,18 \text{ kg/cm}^2 < 7,0 \text{ kg/cm}^2 \text{ δέν χρειάζεται-}$$

ται λοιπόν όπλισμός διάτμησης.

*Άλλος τρόπος

Απ'τόν πίνακα 29β (B225) $Q_{o1} = 4,35 \text{ t}$ και $Q_{o2} = 11,66 \text{ t}$

Τμήμα ΑΓ

$4,53 < Q = 6,0 \text{ t} < 11,66 \text{ t}$, χρειάζεται όπλισμός διάτμησης.

Τμήμα ΓΒ

$Q = 4,0 \text{ t} < 4,53 \text{ t}$ δέν χρειάζεται όπλισμός διάτμησης.

γ. Όπλισμός διάτμησης

I. Συνδετήρες

Διαλέγονται συνδετήρες δέτμητοι $\phi 6$ (γιατί $d < 80 \text{ cm}$).

Οί συνδετήρες πρέπει νά παίρνουν τέμνουσα $Q_B = \frac{1}{3} Q_A$
 $= \frac{1}{3} 6,0 = 2,0 \text{ t}$, $z = \frac{7}{8} \times 37 = 32,38 \text{ cm}$, $\sigma_{e_B} = 2,4 \text{ t/cm}^2$.

$$\frac{F_{e_B}}{e} = \frac{Q_B}{2 \cdot z \cdot \sigma_{e_B}} = \frac{2,0}{2 \times 32,38 \times 2,40} = 0,0129. \text{ Απ'τόν πίνακα}$$

30 διαλέγονται συνδετήρες $\phi 6/20$.

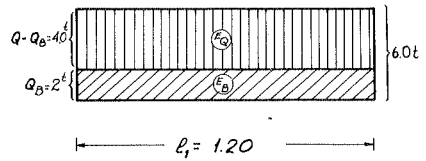
II. Λοξός όπλισμός

$$E_Q = (Q - Q_B) l_1 = 4,0 \times 1,20 = 4,8 \text{ tm}$$

$$z = 0,3238 \text{ m}$$

$$\sigma_{e_s} = 2,4 \text{ t/cm}^2$$

$$F_{e_s} = \frac{E_Q}{\sqrt{2} \cdot z \cdot \sigma_{e_s}} = \frac{4,80}{\sqrt{2} \times 0,324 \times 2,4} = 4,37 \text{ cm}$$



Υπάρχουν 3Ø16 (=6,03cm²) άπ'τήν κάμψη.

Η άπόσταση άνάμεσα σέ δύο διαδοχικές λοξές ράβδους είναι:

$$\frac{1,20}{3} = 0,40 \text{ m} < 1,25h = 0,46 \text{ m}$$

Άλλος τρόπος

$$\sqrt{2}F_{e_s} + F_{e_B} = \frac{E_Q}{z \cdot \sigma_e} = \frac{6,0 \times 1,20}{\frac{7}{8} \times 0,37 \times 2,4} = 9,27 \text{ cm}^2 \quad (1)$$

Οί συνδετήρες F_{e_B} πρέπει νά παραλαμβάνουν τό $\frac{1}{3}$ περίπου τής Q ή τό ίδιο: τό $\frac{1}{2}$ τής Q_s . Άηλαδή $\sqrt{2}F_{e_s} = 2F_{e_B}$

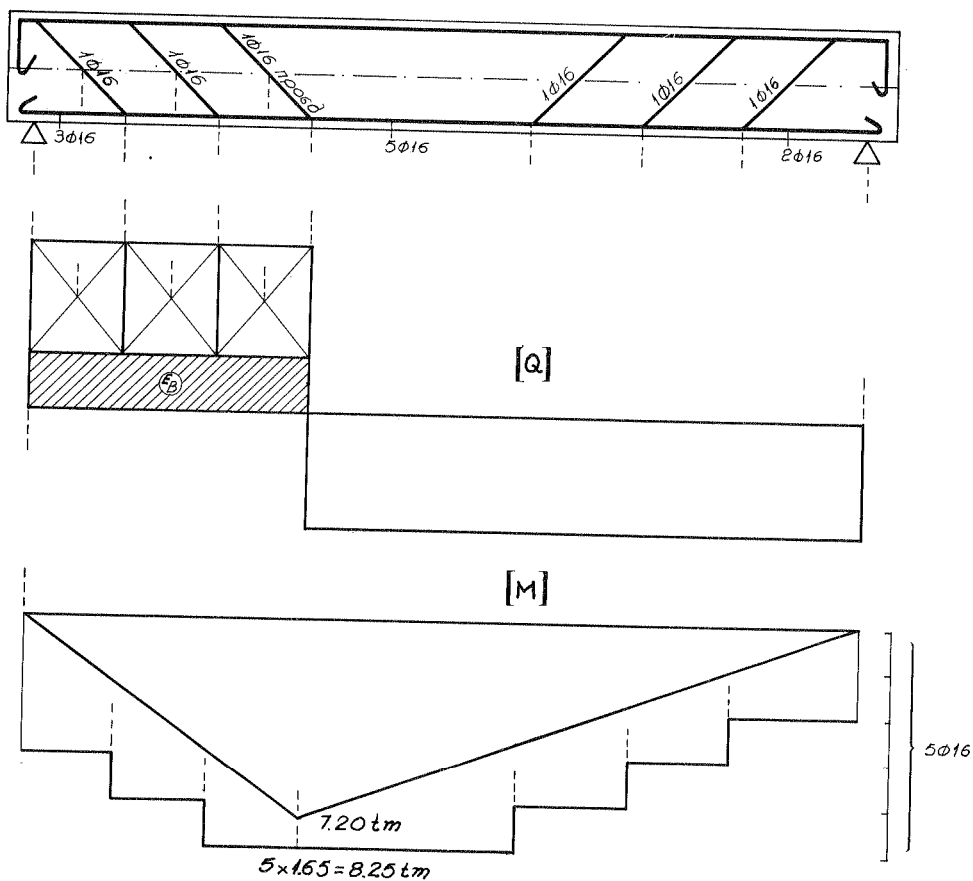
Όπότε άπ'τήν (1) $\Rightarrow 3F_{e_B} = 9,27 \text{ cm}^2$ καί $F_{e_B} = 3,09 \text{ cm}^2$ καί άπ'τόν πίνακα 31 $\Rightarrow$ 6 συνδετήρες τών Ø6 στό 1,20m ή Ø6/20 $\sqrt{2}F_{e_s} = 2 \times 3,09 \Rightarrow \sqrt{2}F_{e_s} = 6,18 \text{ cm}^2$ καί άπ'τόν πίνακα 32 $\Rightarrow F_{e_s} = 3\text{Ø}16$.

$$F_{e_s} = \frac{6,18}{\sqrt{2}} = 4,37 \text{ cm}^2 \text{ τό ίδιο μέ τήν άλλη μέθοδο.}$$

4. Τοποθέτηση όπλισμών

Πρώτα σχεδιάζεται ό όπλισμός διάτμησης σύμφωνα μ' όσα έχουν άναπτυχθί στήν θεωρία (χωρισμός του διαγράμματος $Q - Q_B$ σέ τρία ίσοδύναμα μέρη, κ.λ.π.) καί μετά γίνεται ό έλεγχος του όπλισμού κάμψης (δηλ. άν καλύπτεται τό διάγραμμα ροπών κάμψης).

5. Σχεδίαση όπλισμών

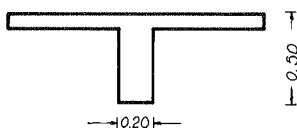
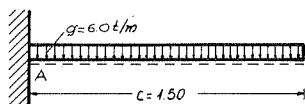


Παρατήρηση

Στὸ ἀριστερὸ σκέλος τῆς δοκοῦ ἡ τοποθέτηση τοῦ ὀπλισμοῦ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ διάγραμμα τῶν [Q] καὶ [M] ἐνῶ στὸ δεξιὰ σκέλος ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὸ διάγραμμα τῶν [M] ἐπεὶ ἐκεῖ δὲν ὑπάρχει πρόβλημα διάτμησης.

ΑΣΚΗΣΗ 49

Νά βρεθούν οι απαραίτητοι όπλισμοί του πρόβολου σχήματος καί νά γίνουν τά σχέδια τών όπλισμών.
Υλικά: B160, StI.

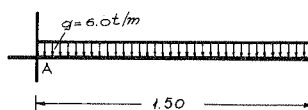


Λύση

1. Στατική επίλυση

$$Q_A = q \cdot c = 6,0 \times 1,50 = 9,0 \text{ t}$$

$$M_A = -\frac{qc^2}{2} = -6,0 \frac{1,50^2}{2} = -6,75 \text{ tm}$$



2. Έλεγχος σε κάμψη

Θλίβονται οι κάτω ίνες καί έπομένως ή διατομή δουλεύει σάν όρθογωνική μέ διαστάσεις 20x50.

$$\frac{\epsilon_{ps_b}}{\epsilon_{ps_e}} = \frac{70}{1400}, \quad k_h^* = 8,8$$

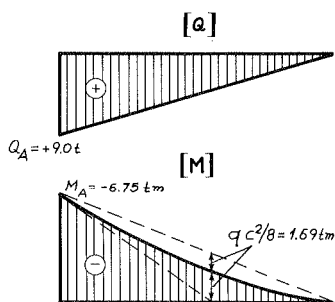
$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{47}{\sqrt{\frac{6,75}{0,20}}} = 8,1 < k_h^*,$$

$k_e = 0,82$ καί $k'_e = 0,19$ καί έπειδή $\frac{h'}{h} = 0,06 < 0,07$ είναι:

$$F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,82 \times \frac{6,75}{0,47} = 11,78 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F_e = 5\emptyset 18 (=12,70 \text{ cm}^2)$$

$$F'_e = k'_e \frac{M}{h} = 0,19 \times \frac{6,75}{0,47} = 2,73 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F'_e = 2\emptyset 14 (= 3,08 \text{ cm}^2)$$

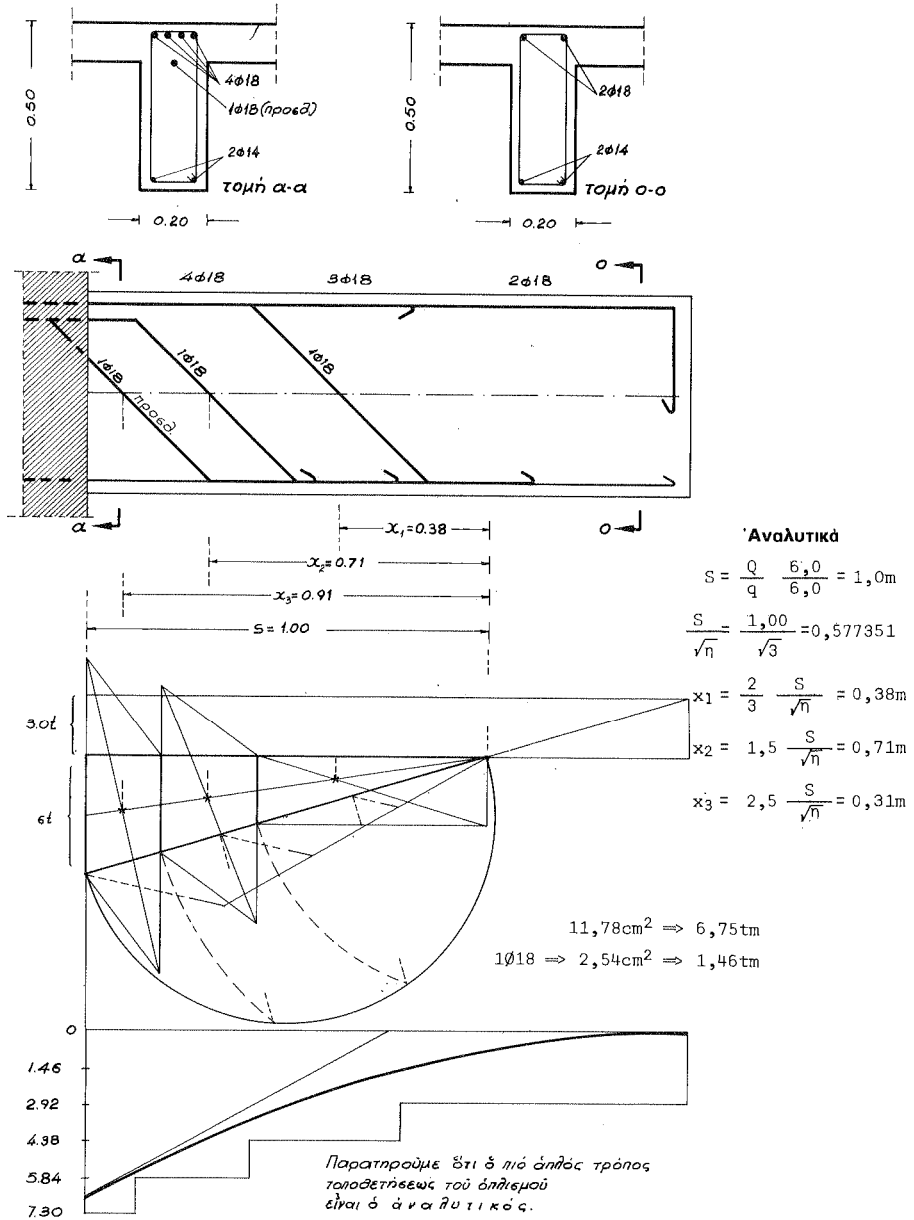
Τά 2 $\emptyset$ 14 χρησιμεύουν καί σάν montage.



$$\text{Άρα } F_{e_s} = \frac{E_Q}{\sqrt{2} \cdot z \cdot \sigma_{e_s}} = \frac{3,0}{\sqrt{2} \times 0,4113 \times 1,4} = 3,68 \text{ cm}^2$$

$\Rightarrow F_{e_s} = 3\phi 18$ ($=7,62 \text{ cm}^2$) διαθέτονται απ' την κάμψη.

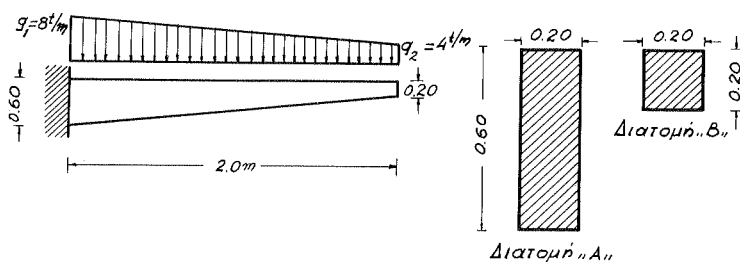
5. Σχεδίαση όπλισμών



ΑΣΚΗΣΗ 50

Πρόβολος ορθογωνικής διατομής έχει μεταβλητό ύψος κατά μήκος και φορτίζεται με τραπεζοειδές φορτίο.

Νά βρεθῇ ὁ ἀπαραίτητος ὅπλισμός. Ὑλικά B160, StI.



Λύση

1. Στατική επίλυση

$$Q_B = 0$$

$$Q_1 = \frac{4+5}{2} \times 0,50 = 2,25 \text{ t}$$

$$Q_2 = \frac{4+6}{2} \times 1,00 = 5,0 \text{ t}$$

$$Q_3 = \frac{4+7}{2} \times 1,50 = 8,25 \text{ t}$$

$$Q_A = \frac{4+8}{2} \times 2,0 = 12,0 \text{ t}$$

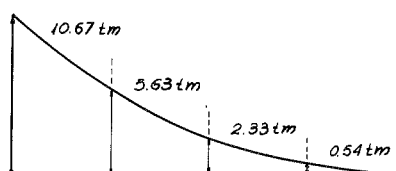
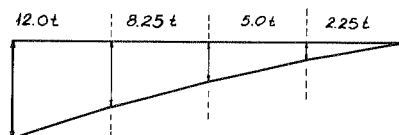
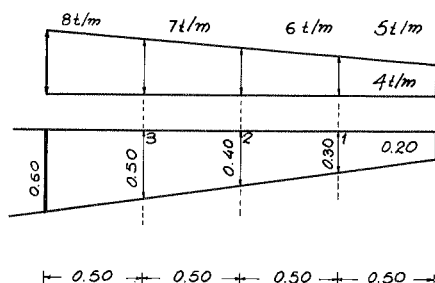
$$M_B = 0$$

$$M_1 = -4,0 \times \frac{0,50^2}{2} - 1,0 \times \frac{0,50^2}{5} = -0,54 \text{ tm}$$

$$M_2 = -4,0 \times \frac{1,00^2}{2} - 2,0 \times \frac{1,0^2}{6} = -2,33 \text{ tm}$$

$$M_3 = -4,0 \times \frac{1,5^2}{2} - 3,0 \times \frac{1,50^2}{6} = -5,63 \text{ tm}$$

$$M_A = -4,0 \times \frac{2,0^2}{2} - 4,0 \times \frac{2,0^2}{6} = -10,67 \text{ cm}$$



2. Έλεγχος σε κάμψη

$$\frac{\epsilon_{\text{πο}_b}}{\epsilon_{\text{πο}_e}} = \frac{70}{1400}, \quad k_h^* = 8,8.$$

Διατομή Α

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{55}{\sqrt{\frac{10,67}{0,20}}} = 7,5 < k_h^*, \quad k_e = 0,82, \quad k'_e = 0,33$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{5}{55} = 0,09 > 0,07 \quad \Rightarrow \quad \rho' = 1,08$$

$$F_e = k_e \frac{M}{h} = 0,82 \times \frac{10,67}{0,55} = 15,91 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F_e = 8\emptyset 16 \quad (=16,08 \text{ cm}^2)$$

$$F'_e = \rho' k'_e \frac{M}{h} = 1,08 \times 0,33 \times \frac{10,67}{0,55} = 6,91 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad F'_e = 4\emptyset 16 \quad (=8,04 \text{ cm}^2)$$

Διατομή 3

$$k_h = \frac{h_3}{\sqrt{\frac{M_3}{b}}} = \frac{45}{\sqrt{\frac{5,63}{0,20}}} = 8,5 < k_h^*, \quad k_e = 0,83, \quad k'_e = 0,08, \quad \frac{h'}{h} = \frac{5}{45} =$$

$$= 0,11 > 0,07 \quad \Rightarrow \quad \rho' = 1,18$$

$$F_e = k_e \frac{M_3}{h_3} = 0,83 \times \frac{5,63}{0,45} = 10,38 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F_e = 6\emptyset 16 \quad (=12,06 \text{ cm}^2)$$

$$F'_e = \rho' k'_e \frac{M_3}{h_3} = 1,18 \times 0,08 \times \frac{5,63}{0,45} = 1,18 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F'_e = 2\emptyset 16 \quad (=4,02 \text{ cm}^2)$$

Διατομή 2

$$k_h = \frac{h_2}{\sqrt{\frac{M_2}{b}}} = \frac{37}{\sqrt{\frac{2,33}{0,20}}} = 10,8 > k_h^*, \quad k_e = 0,81$$

$$F_e = k_e \frac{M_2}{h_2} = 0,81 \times \frac{2,33}{0,37} = 5,10 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F_e = 3\emptyset 16 \quad (=6,28 \text{ cm}^2)$$

Διατομή 1

$$k_h = \frac{h_1}{\sqrt{\frac{M_1}{b}}} = \frac{27}{\sqrt{\frac{0,54}{0,20}}} = 16,4 > k_h^*, \quad k_e = 0,78$$

$$F_e = k_e \cdot \frac{M_1}{h_1} = 0,78 \times \frac{0,54}{0,27} = 1,56 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F_e = 2\emptyset 16 \quad (=4,02 \text{ cm}^2)$$

3. Έλεγχος σέ διάτμηση

α. Για δοκούς καί ποιότητα σκυροδέματος B160 άπό τον πίνακα της §2.3 προκύπτει:

$$\tau_{o1} = 6 \text{ kg/cm}^2, \quad \tau_{o2} = 16 \text{ kg/cm}^2. \quad \text{Είναι } \varepsilon_{\sigma_e} = 1400 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\beta. \quad \epsilon\phi\alpha = \frac{0,60-0,20}{2,0} = 0,20$$

Διατομή Α

$$\tau_o^A = \frac{1}{b_o z_A} (Q_A - \frac{M_A}{h_A} \epsilon\phi\alpha) = \frac{1}{20 \times \frac{7}{8} \times 55} (12 - \frac{10,67}{0,55} \times 0,20) \times 10^3 = 8,4 \text{ kg/cm}^2$$

Διατομή 3

$$\tau_o^3 = \frac{1}{b_o z_3} (Q_3 - \frac{M_3}{h_3} \epsilon\phi\alpha) = \frac{1}{20 \times \frac{7}{8} \times 45} (8,25 - \frac{5,63}{0,45} \times 0,20) \times 10^3 = 7,3 \text{ kg/cm}^2$$

Διατομή 2

$$\tau_o^2 = \frac{1}{b_o z_2} (Q_2 - \frac{M_2}{h_2} \epsilon\phi\alpha) = \frac{1}{20 \times \frac{7}{8} \times 37} (5,0 - \frac{2,33}{0,37} \times 0,20) \times 10^3 = 5,8 \text{ kg/cm}^2$$

Διατομή 1

$$\tau_o^1 = \frac{1}{b_o z_1} (Q_1 - \frac{M_1}{h_1} \epsilon\phi\alpha) = \frac{1}{20 \times \frac{7}{8} \times 27} (2,25 - \frac{0,54}{0,27} \times 0,20) \times 10^3 = 3,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\max \tau_o = \tau_o^A = 8,4 \text{ kg/cm}^2 \quad \left. \begin{array}{l} > 6 \text{ kg/cm}^2 \\ < 16 \quad " \end{array} \right\}$$

*Αρα χρειάζεται οπλισμός διάτμησης

Παρατήρηση

Βρέθηκαν οι διατμητικές τάσεις σ'όλες τις διατομές γιατί είναι πιθανό ή μέγιστη διατμητική τάση να μην εμφανίζεται μαζί με την μέγιστη τρέφουσα.

γ. Οπλισμός διάτμησης

Βρίσκεται τό διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων, πού ανάγεται στην αρχική διατομή της δοκού, άπ'τήν σχέση:

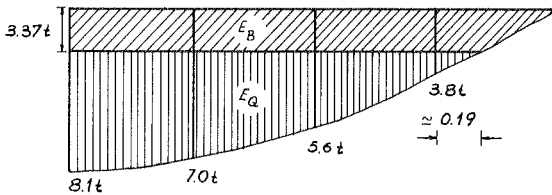
$$Q'_i = (Q_i - \frac{M_i}{h_i} \epsilon\phi\alpha) \frac{h_{\alpha\rho\chi}}{h_i}, \quad \epsilon\phi\alpha = 0,20$$

$$Q'_A = (12 - \frac{10,67}{0,55} \times 0,20) \frac{0,55}{0,55} = 8,1 \text{ t}$$

$$Q'_3 = (8,25 - \frac{5,63}{0,45} \times 0,20) \frac{0,55}{0,45} = 7,0 \text{ t}$$

$$Q'_2 = (5,0 - \frac{2,53}{0,37} \times 0,20) \frac{0,55}{0,37} = 5,6t$$

$$Q'_1 = (2,25 - \frac{0,54}{0,27} \times 0,20) \frac{0,55}{0,27} = 3,8t$$



I. Συνδετήρες

Διαλέγονται δέιμητοι συνδετήρες $\varnothing 8/20$.

$$Q_B = \frac{z_A}{e} \cdot 2F_{eB} \cdot \sigma_{eB} = \frac{\frac{7}{8} \times 55 \times 2 \times 0,50 \times 1,4}{20} = 3,37t$$

II. Λοξός όπλισμός

Τά τμήματα του διαγράμματος $[Q']$ που μένουν μετά την αφαίρεση της Q_B είναι περίπου τραπέζια.

$$E_Q = \frac{8,1+7,0}{2} \times 0,50 + \frac{7,0+5,6}{2} \times 0,50 + \frac{5,6+3,8}{2} \times 0,50 + \frac{3,8}{2} \times 0,50 -$$

$$- (3,37 \times 1,50 + \frac{0,50+0,19}{2} \times 3,37) = 10,23 - 6,05 = 4,18tm$$

$$F_{eS} = \frac{E_Q}{\sqrt{2} z_A \cdot \sigma_{eS}} = \frac{4,18}{\sqrt{2} \times \frac{7}{8} \times 0,55 \times 1,4} = 4,39cm^2$$

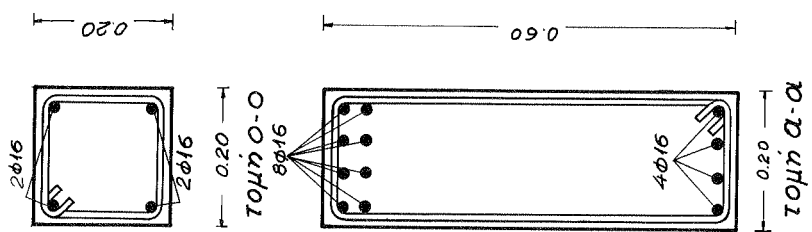
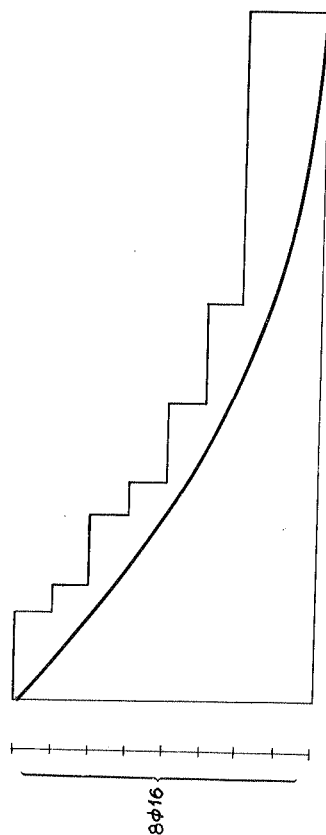
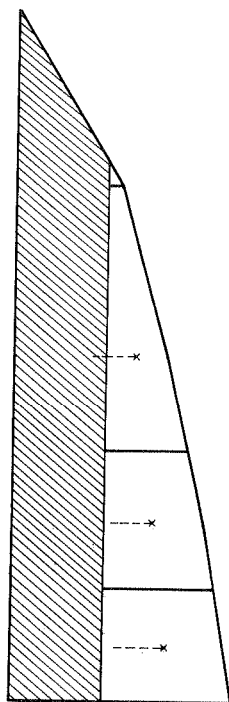
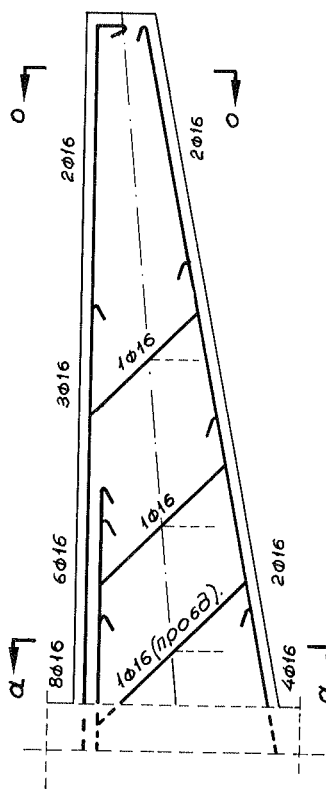
Διαθέτονται απ' την κάμψη $4\varnothing 16$ ($=8,04cm^2$).

Παρατήρηση

Τό διάγραμμα της Q_B είναι όρθογωνικό, έπειδή έχει ανάχθι στό $h_{αρχ}$:

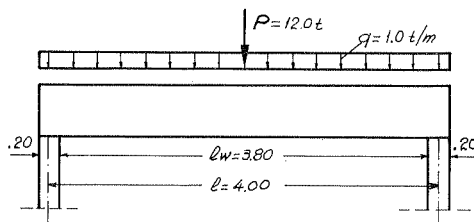
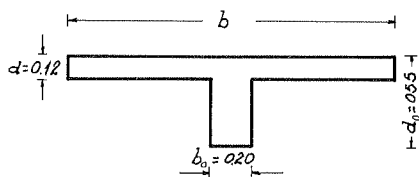
$$Q_B = \frac{\frac{7}{8} h_i}{e} F_{eB} \cdot \sigma_{eB} \cdot \frac{h_{αρχ}}{h_i} = \frac{\frac{7}{8} h_{αρχ}}{e} F_{eB} \cdot \sigma_{eB}$$

4. Σχεδίαση όπλισμών



ΑΣΚΗΣΗ 51

Νά βρεθούν οι απαραίτητοι όπλισμοί της δοκού του σχήματος. Υλικά: B160, StI.



Λύση

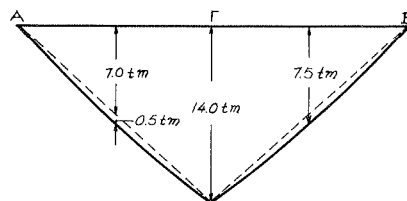
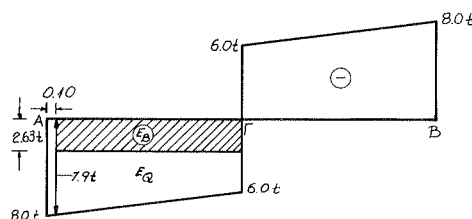
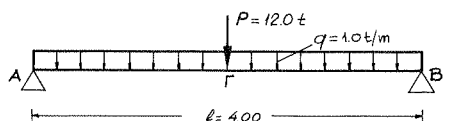
1. Στατική επίλυση

$$A=B=-\frac{ql_1}{2} + \frac{P}{2} = \frac{1,0 \times 4,0}{2} + \frac{12}{2} = 8 \text{ t}$$

$$Q_A = 8 \text{ t} = -Q_B$$

$$Q_F^{\alpha\rho} = Q_A - q \frac{l_1}{2} = 8 - 1,0 \times \frac{4,0}{2} = 6 \text{ t}$$

$$\max M = \frac{ql_1^2}{8} + \frac{Pl_1}{4} = 14,0 \text{ tm}$$



2. Έλεγχος σέ κάμψη

$$\frac{\epsilon_{\sigma_b}}{\epsilon_{\sigma_e}} = \frac{50}{1400}$$

$$b = b_0 + 12d = 0,20 + 12 \times 0,12 = 1,64 \text{ m}$$

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{50}{\sqrt{\frac{14}{1,64}}} = 17,1 > k_h^* = 11,4$$

$$k_x = 0,24 \Rightarrow x = 0,24 \times 50 = 12 \text{ cm} = d$$

$$k_e = 0,78 \text{ και } F_e = 0,78 \times \frac{14,0}{0,50} = 21,84 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e = 8\emptyset 20 (=25,12 \text{ cm}^2) \text{ σέ δύο σειρές.}$$

3. Έλεγχος σέ διάτμηση

Ο έλεγχος θά γίνη μέ τήν τέμνουσα στήν παρειά γιατί έ-
κεϊ εΐναι έπικίνδυνη ή διατομή.

$$Q_{\pi\alpha\rho} = Q_A - q \frac{0,20}{2} = 8,0 - 1,0 \cdot 0,10 = 7,90 \text{ t.}$$

Άπ'τόν πίνακα 29α γιά $b_o = 20$ καί $h = 50 \Rightarrow Q_{o_1} = 5,25 \text{ t}$ καί
 $Q_{o_2} = 14,0 \text{ t.}$

Άρα χρειάζεται όπλισμός διάτμησης ($5,25 < Q = 7,90 < 14 \text{ t}$).

Όπλισμός διάτμησης

I. Συνδετήρες

$$Q_B = \frac{1}{3} Q_{\pi\alpha\rho} = \frac{1}{3} 7,90 = 2,63 \text{ t, } z = \frac{7}{8} 50 = 43,8 \text{ m, } \sigma_{e_B} = 1,4 \text{ t/cm}^2.$$

Εκλέγονται συνδετήρες $\emptyset 6$. Άρα $F_{e_B} = 0,28 \text{ cm}^2$

$$\text{Άπ'τήν 3.γ.Ι} \Rightarrow \frac{F_{e_B}}{e} = \frac{Q_B}{2 \cdot z \cdot \sigma_{e_B}} = \frac{2,63}{2 \times 43,8 \times 1,40} = 0,0214$$

Άπ'τόν πίνακα 30 διαλέγονται συνδετήρες $\emptyset 6/13$.

II. Λοξός όπλισμός

$$E_Q = \frac{7,9 + 6,0}{2} \times 1,90 - 2,63 \times 1,90 = 8,21 \text{ tm}$$

$$F_{e_s} = \frac{8,21}{\sqrt{2} \times 0,438 \times 1,4} = 9,47 \text{ cm}^2$$

Υπάρχει άπ'τόν όπλισμό κάμψης ($\frac{1}{2} \cdot 25,12 = 12,56 \text{ cm}^2$).

4. Τοποθέτηση όπλισμών

$$S = \frac{Q_1}{q} = \frac{7,9 - 2,63}{1,0} = 5,27 \text{ m, } \mu = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{7,9 - 2,63}{6 - 2,63} = 1,56, \eta = 4$$

$$S' = 5,27 - 1,90 = 3,37 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{S}{\mu \sqrt{\eta}} \sqrt{(\mu^2 - 1) + \eta} = \frac{5,27}{1,56 \times \sqrt{4}} \sqrt{(1,56^2 - 1) + 4} = 3,94 \text{ m} \Rightarrow$$

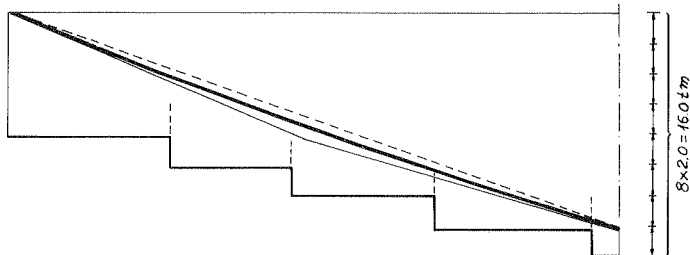
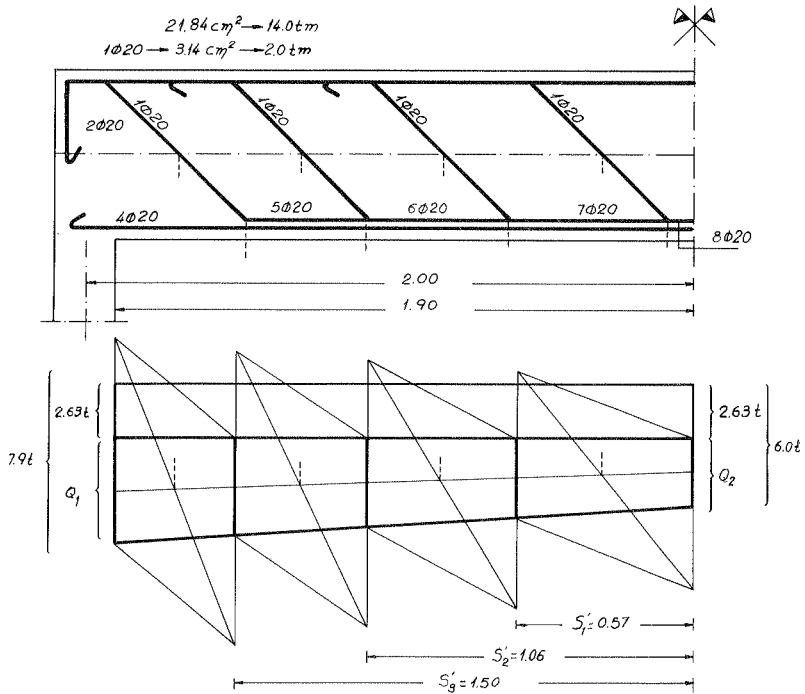
$$\Rightarrow S'_1 = 3,94 - 3,37 = 0,57 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{S}{\mu \sqrt{\eta}} \sqrt{2(\mu^2 - 1) + \eta} = \frac{5,27}{1,56 \sqrt{4}} \sqrt{2(1,56^2 - 1) + 4} = 4,43 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S'_2 = 4,43 - 3,37 = 1,06\text{m}$$

$$S_3 = \frac{S}{\mu\sqrt{\eta}} \sqrt{3(\mu^2 - 1) + \eta} = \frac{5,27}{1,56\sqrt{4}} \sqrt{3(1,56^2 - 1) + 4} = 4,87\text{m}$$

$$\Rightarrow S'_3 = 4,87 - 3,37 = 1,50\text{m}$$



ΒΡΑΧΥΣ ΠΡΟΒΟΛΟΣ

1. ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΠΑΝΩ ΙΝΑ

Όταν $\frac{\alpha}{Z} < 1$ είναι περίπτωση βραχέος προβόλου και τότε υπάρχει μιά κατάσταση φαλιδισμού.

Τό πλάτος κατανομής της θλίβουσας δύναμης D είναι περίπου $\frac{h}{5}$.

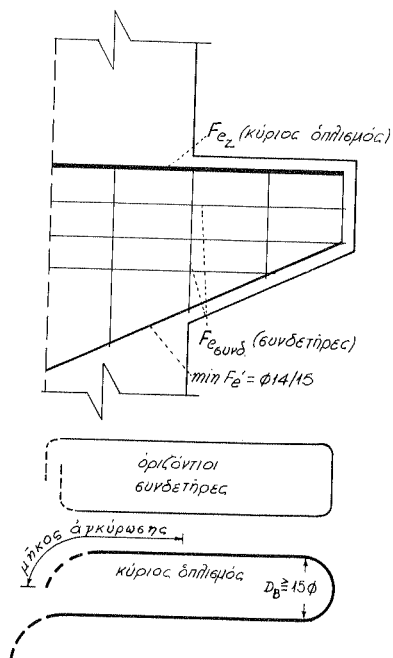
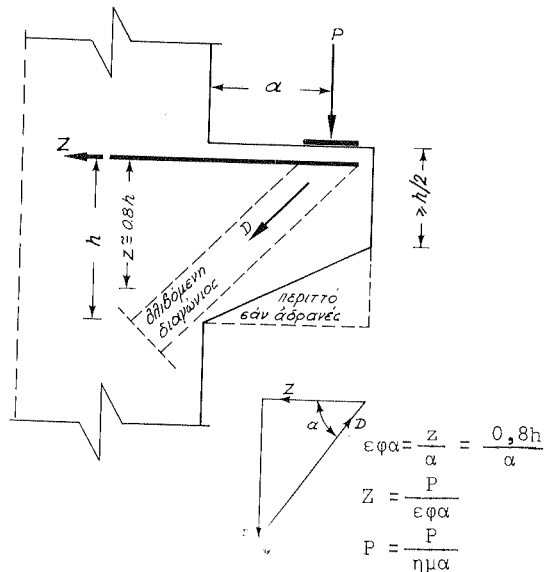
Από τήν συνθήκη αυτή προκύπτει καί τό αναγκαίο πλάτος τοῦ προβόλου ἀφοῦ φυσικά ἔχει ἐκλεγεί τό ὕψος h :

$$\frac{D}{b} \frac{h}{5} \leq \varepsilon \sigma_{bD}$$

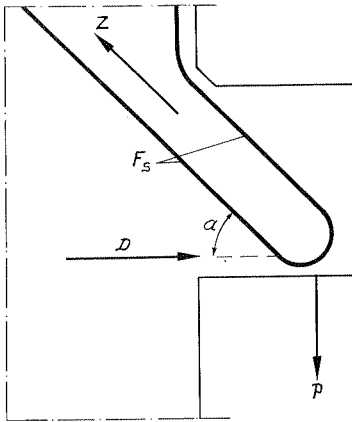
ὀπλισμός

$$\text{Εἶναι } F_{eZ} = \frac{Z}{\varepsilon \sigma_e}$$

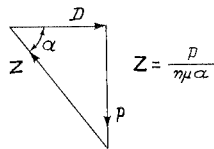
$$F_{e\text{ συνδ}} \approx \frac{1}{3} F_{eZ}$$



2. ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΚΑΤΩ ΙΝΑ



$$F_s = \frac{Z}{\sigma_e}$$

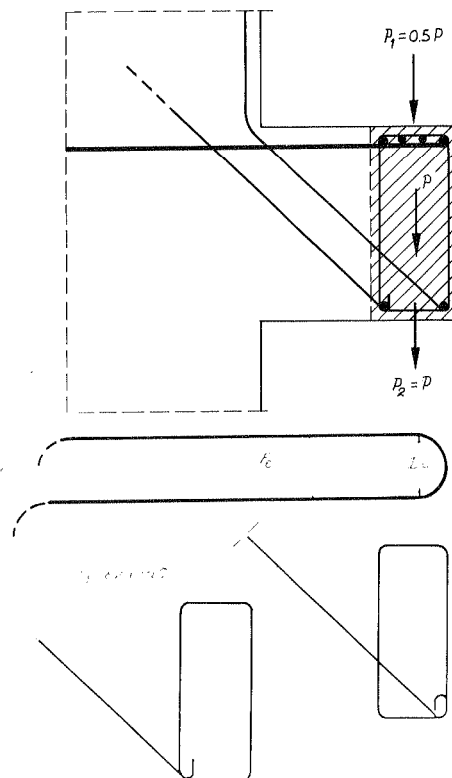


3. ΦΟΡΤΙΟ ΕΜΜΕΣΑ ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΟ

Ἡ κατάσταση εἶναι ἐνδιάμεση τῶν περιπτώσεων 1 καὶ 2, ὑπερισχύει ὅμως ἡ περίπτωση 2.

Στὴν περίπτωση αὐτὴ λαμβάνεται $P_2 = P$ (γιά λόγους ἀσφαλείας),

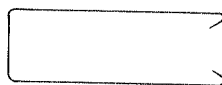
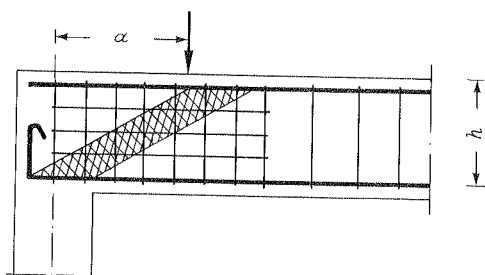
$$P_1 = 0,50P$$



ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ Ρ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΣΤΗΡΙΞΗ

Όταν $a < h$ ή δο-
κός δουλεύει σαν θλιβό-
μενο τόξο στην περιοχή
"α" με έλκυστήρα. Εάν
καμφθούν οι ράβδοι του
κάτω πέλματος για την
δημιουργία λοξού όπλι-
σμού έξασθενεί ο έφελ-
κυσμένος έλκυστήρας. Κα-
ταλληλότερη διάταξη εί-
ναι να παραμείνουν οι
ράβδοι του κάτω πέλμα-
τος εύθύγραμμοι και να
γίνη καλή άγκύρωση αυ-
τών σε συνδυασμό με πυ-
κνούς κατακόρυφους συν-
δετήρες.

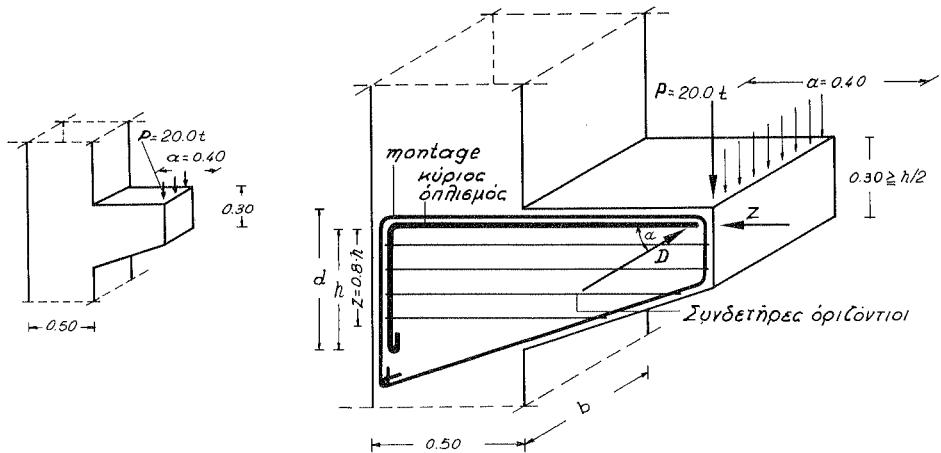
Σε περίπτωση με-
γάλων φορτίων ο όπλισμός
μπορεί να ένισχυθῇ με
όριζόντιους συνδετήρες
μέ μορφή φουρκέτας.



συνδετήρες
όριζόντιοι
(φουρκέτες)

ΑΣΚΗΣΗ 52

Νά γίνει υπολογισμός καί σχεδίαση τοῦ ἀπαιτούμενου δ-πλισμοῦ γιά τόν πρόβολο τοῦ σχήματος. Ὑλικά B225, StIII_B.



Λύση

Παίρνω $d = 50 \text{ cm}$.

$$\text{Ἐπειδὴ } \frac{\alpha}{z} = \frac{0,40}{0,8h} = \frac{0,40}{0,8 \times 0,47} \approx 1,0$$

Ὁ πρόβολος εἶναι βραχύς ($\frac{\alpha}{z} \leq 1$)

$$\varepsilon_{\phi\alpha} = \frac{z}{\alpha} = \frac{0,376}{0,40} = 0,94$$

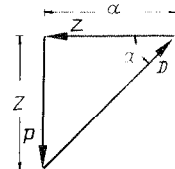
$$\eta_{\mu\alpha} = \frac{0,94}{\sqrt{1+0,94^2}} = 0,685$$

$$Z = R \varepsilon_{\phi\alpha} = \frac{P}{\varepsilon_{\phi\alpha}} = \frac{20,0}{0,94} = 21,28 \text{ t}$$

$$D = \frac{P}{\eta_{\mu\alpha}} = \frac{20,0}{0,685} = 29,20 \text{ t}$$

$$\text{Ἀπαιτούμενο } F_{e_z} = \frac{Z}{\sigma_e} = \frac{21,28}{2,4} = 8,87 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_{e_z} = 4\phi 18 (=10,16 \text{ cm}^2)$$

$$F_{e_{\text{συνδ}}} = \frac{1}{3} F_{e_z} = \frac{1}{3} \times 8,87 = 2,95 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{δίτιμητοι } 4\phi 8 (=4,0 \text{ cm}^2)$$



Πλάτος προβόλου

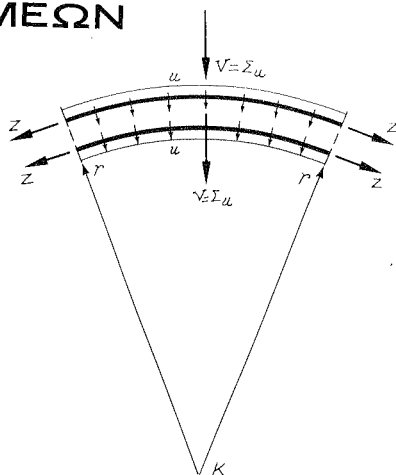
Τό ὕψος κατανομῆς τῆς θλιπτικῆς δύναμης D εἶναι περίπου $h/5$.

$$\text{Ἄρα: } \frac{D}{b \cdot h/5} \leq \varepsilon_{\text{ps}_b} \Rightarrow b \geq \frac{D}{\varepsilon_{\text{ps}_b} \cdot \frac{h}{5}} = \frac{29,20}{80 \times 10^{-3} \times \frac{47}{5}} = 38,83 \text{ cm}$$

Διαλέγεται: $b = 40,0 \text{ cm}$

ΑΛΛΑΓΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Όταν ο έφελκυσμένος όπλισμός είναι τοποθετημένος σέ μορφή καμπύλης τότε οί όπλισμοί τείνουν νά έκτιναχθοϋν πρός τό κέντρο καμπυλότητας. Ό όπλισμός πού βρίσκεται στό πάνω μέρος δέν κινδυνεύει άφοϋ τίς έγκάρσιες δυνάμεις τίς μεταβιάζει στό σκυρόδεμα πού μπορεί πλέον (έπειδή έχει καμπύλη διατομή) νά τίς άναλάβη υπό μορφή έξωτερικης πίεσης.



Αντίθετα ο όπλισμός πού βρίσκεται στό κάτω μέρος μεταβιάζει δυνάμεις V σέ πολύ μικρή διατομή σκυροδέματος έτσι ώστε νά χρειάζονται συνδετήρες γιά νά μεταβιάζουν τίς δυνάμεις V στόν πάνω όπλισμό.

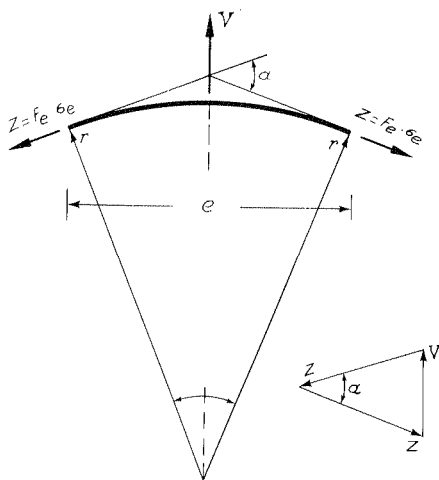
Κάθε συνδετήρας πού άπέχει από τούς γειτονικούς άπόσταση e χρειάζεται διατομή:

$$F_{eB} = F_e \cdot \frac{e}{r}$$

$$V = Z \cdot \alpha = Z \cdot \frac{e}{r}$$

$$V = F_{eB} \cdot \epsilon \pi \sigma_e \quad \text{καί} \quad Z = F_e \cdot \epsilon \pi \sigma_e$$

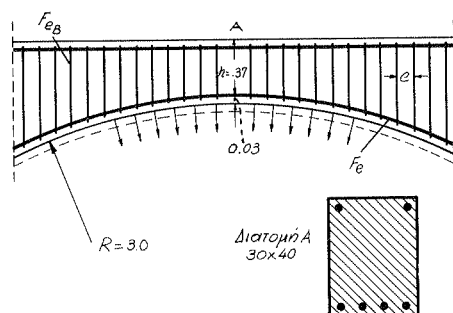
$$\Rightarrow F_{eB} = F_e \cdot \frac{e}{r}$$



ΑΣΚΗΣΗ 53

Στόν φορέα του σχήματος και στην διατομή "Α" υπάρχει ροπή $M = +3 \text{ tm}$ και άξονική δύναμη $N = -5,0 \text{ t}$.

Νά υπολογισθῇ ὁ ἀπαιτούμενος ὀπλισμός. Ὑλικά: B160, StI.



Λύση

1. Έλεγχος τῆς διατομῆς σὲ κάμψη

$$\frac{\varepsilon_{\sigma_b}}{\varepsilon_{\sigma_e}} = \frac{70}{1400}, \quad k_h^* = 8,8$$

$$M_e = M - N \cdot y_e = 3,0 + 5,0(0,20 - 0,03) = 3,85 \text{ tm}$$

$$k_h = \frac{37}{\sqrt{\frac{3,85}{0,30}}} = 10,3 > k_h^* \Rightarrow k_e = 0,82$$

$$F_e = k_e \cdot \frac{M_e}{h} + \frac{N}{\sigma_e} = 0,82 \times \frac{3,85}{0,30} - \frac{5,0}{1,4} = 4,96 \text{ cm}^2$$

$$\text{Άρα } F_e = 4\phi 14 (=6,16 \text{ cm}^2).$$

2. Δυνάμεις ἐκτροπῆς

Τίς δυνάμεις ἐκτροπῆς πού δημιουργεῖ ὁ ἐφελκυσμένος ὀπλισμός τῆς κάμψης θά παίρνουν κατακόρυφοι συνδετήρες μέ $e = 10 \text{ cm}$.

$$f_{\phi_B} = F_e \cdot \frac{e}{r} = 4,96 \times \frac{0,10}{3,0} = 0,17 \text{ cm}^2 \Rightarrow \phi 6 (=0,28 \text{ cm}^2)$$

Τοποθετοῦνται λοιπόν συνδετήρες $\phi 6/10$.

Παρατήρηση

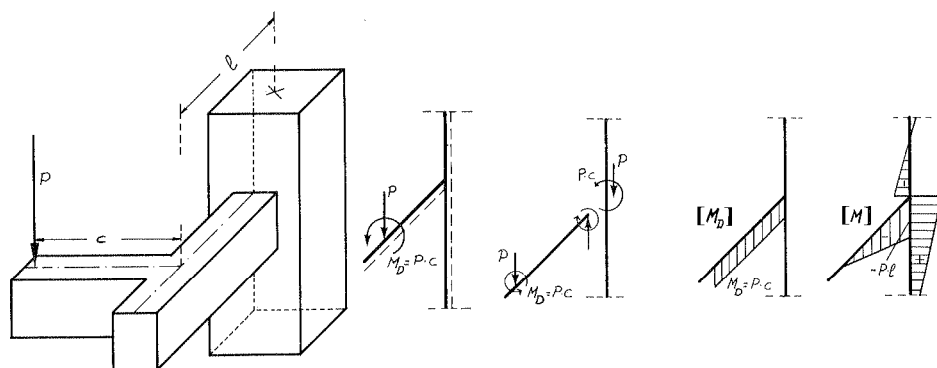
* Χρησιμοποιήθηκε $F_e = 4,96 \text{ cm}^2$ και όχι $6,16$ γιατί η $\epsilon\psi_e$ αντιστοιχεί σε διατομή σιδήρου $4,96 \text{ cm}^2$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

ΣΤΡΕΨΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Ἡ στρέψη δημιουργεῖται ἀπὸ φορτία πού ἀσκοῦνται ἐκκεντρα σέ σχέση μέ τόν ἄξονα τῆς δοκοῦ καί γι'αὐτό δημιουργοῦν ροπή σέ ἐπίπεδο κάθετο στόν ἄξονα τῆς δοκοῦ.



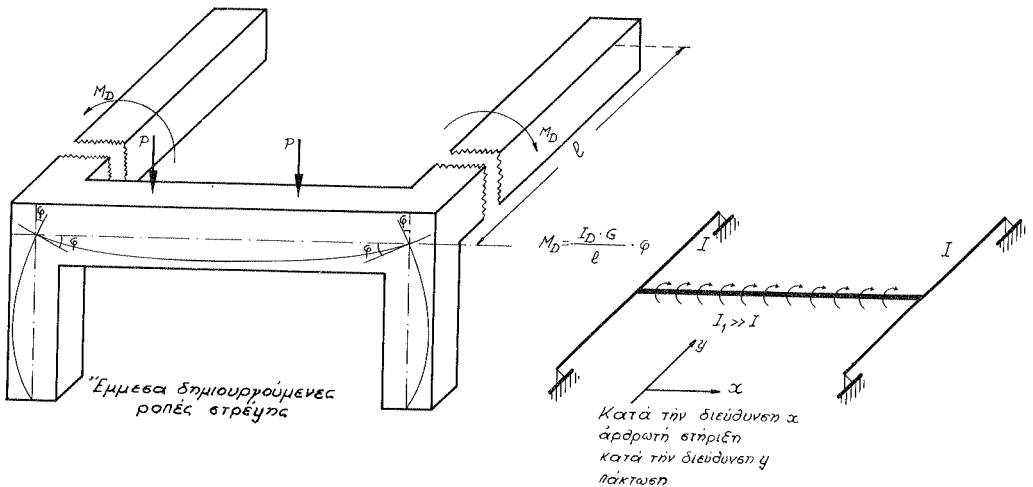
Γιά νά ἀναπτυχθῇ στρεπτική ροπή εἶναι ἀπαραίτητο νά ὑπάρχῃ ἀντίσταση στήν στρέψη, δηλαδή πρέπει ἡ δοκός πού στρέφεται νά εἶναι πακτωμένη σέ ἄλλο στοιχεῖο. Αὐτό μπορεῖ νά συμβαίνει κατὰ τήν διεύθυνση τῆς στρέψης, ἐνῶ κατὰ τήν διεύθυνση τῆς κάμψης νά στηρίζεται ἄρθρωτά.

Πρέπει νά δίνεται προσοχή στήν ἀντίδραση τῆς ροπῆς στρέψης, πού εἶναι ροπή κάμψης γιά τό ἄλλο στοιχεῖο (βλ. σχῆμα).

Απ' τήν δυσμενέστερη ροπή στρέψης προκύπτουν για τήν δοκό αντίστοιχες τάσεις, πού πρέπει νά βρίσκωνται μέσα σέ όρισμένα όρια.

Προσοχή επίσης πρέπει νά δίνεται σέ περιπτώσεις έμμεσης στρέψης, πού δημιουργείται από παραμορφώσεις φορέων στόν χώρο (βλ. σχήμα).

Πάντως πρέπει νά τονισθῇ ὅτι οἱ ροπές στρέψης, πού δημιουργοῦνται έμμεσα, ἀμβλύνονται σημαντικά μέ τόν χρόνο ἀπ' τόν έρπυσμό.

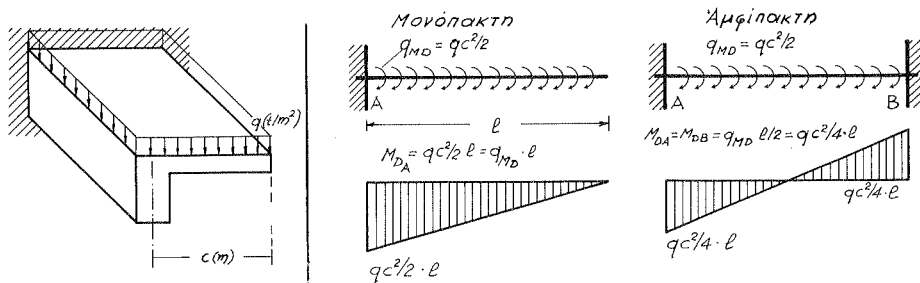


2. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΜΦΙΠΑΚΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ

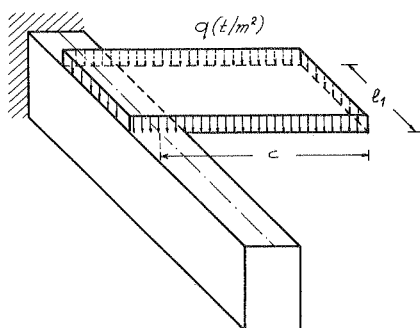
Ἡ επίλυση τῶν δοκῶν αὐτῶν εἶναι ἀνάλογη τῆς επίλυσης ἀμφιαρθρωτῆς δοκοῦ.

Τά διαγράμματα ροπῶν στρέψης σέ ἀμφίπακτη (σέ στρέψη) δοκό εἶναι ἀνάλογα μέ τά διαγράμματα τεμνουσῶν δυνάμεων σέ ἀμφιαρθρωτή δοκό.

Παράδειγμα : Φόρτιση ὅπως στό προοπτικό σχῆμα.

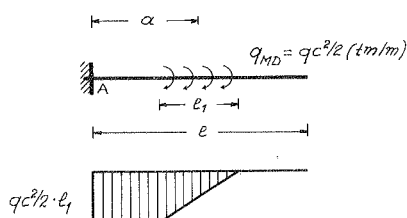


Για φόρτιση δοκού όπως στο προοπτικό σχήμα:



Πρόβολος

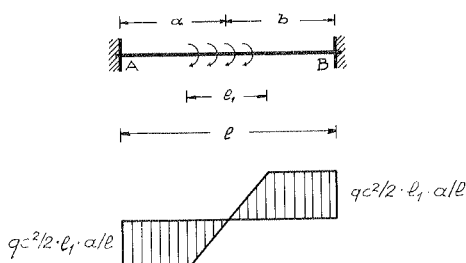
$$M_{DA} = \frac{qc^2}{2} l_1 \text{ (tm)}$$



Αμφίπακτη δοκός

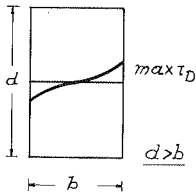
$$M_{DA} = q \frac{c^2}{2} l_1 \frac{b}{l}$$

$$M_{DB} = q \frac{c^2}{2} l_1 \frac{\alpha}{l}$$



3. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΣΤΡΕΨΗΣ

3.1. ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

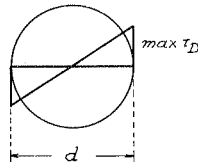


	B160	B225	B300
$\tau_{D1} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	5	6	7
$\tau_{D2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	16	18	20

$$\max \tau_D = \frac{\eta M_D}{b^2 d} \quad \text{όπου} \quad \eta = 3 + \frac{2,60}{0,45 + \frac{d}{b}}$$

3.2. ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

$$\max \tau_D = \frac{16 M_D}{\pi d^3}$$



3.3. ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗ (α, β μεγάλος και μικρός άξονας αντίστοιχα)

$$\max \tau_D = \frac{5,12 M_D}{\alpha \beta^2}$$

3.4. Τίς τάσεις στρέψης τυχαίας διατομής δίνει, κατά προσέγγιση, η έγγεγραμμένη σ'αυτή έλλειψη.

Η τάση τ_D που προκύπτει έλέγχεται σέ ποιά περιοχή βρίσκεται.

"Αν $\tau_D < \tau_{D1}$ δέν χρειάζεται έλεγχος σέ στρέψη.

"Αν $\tau_{D1} < \tau_D < \tau_{D2}$ χρειάζεται έλεγχος σέ στρέψη.

"Αν $\tau_D > \tau_{D2}$ χρειάζεται αλλαγή διαστάσεων τής διατομής.

$\frac{d}{b}$	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
η	4,81	4,33	4,07	3,34	3,55	3,35	3,30	3,2

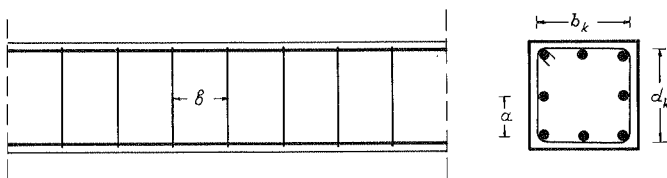
4. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΣΤΡΕΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Έλέγχεται παρόμοια σέ ποιά περιοχή άνήκει ή τάση

$$\tau = \tau_D + \tau_O.$$

	B160	B225	B300
$\tau_1 (\text{kg/cm}^2)$	8	9	10
$\tau_2 (\text{kg/cm}^2)$	20	23	26

5. ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΡΕΨΗΣ



5.1. ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

$$\frac{f_{eB} (\text{cm}^2)}{\beta (\text{cm})} \quad \frac{M_D (\text{tcm})}{2\sigma_e (\text{t/cm}^2) b_k (\text{cm}) d_k (\text{cm})}$$

όπου: f_{eB} : ή διατομή του συνδετήρα

M_D : ή ροπή στρέψης

β : ή απόσταση των συνδετήρων

σ_e : ή έπιτρεπόμενη τάση του χάλυβα

b_k, d_k : οι διαστάσεις των πλευρών του συνδετήρα

Έπειδή οι συνδετήρες δροϋν μέ τόν ίδιο τρόπο πού δρᾶ καί ο διαμήκης όπλισμός, πρέπει νά κλείνουν μέ άρκετό μήκος άγκύρωσης πού νά έξασφαλίζει την συνάφεια.

5.2. ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

$$f_e = \frac{M_D \cdot \alpha}{2\sigma_e b_k d_k} \quad (f_e: \text{ή διατομή μιᾶς ράβδου}).$$

όπου: M_D, σ_e, b_k, d_k ὅπως προηγούμενα.

α : ἡ ἀπόσταση τῶν ράβδων τοῦ διαμήκη ὀπλισμοῦ σ' ὅλη τὴν περίμετρο.

Στὴν περίπτωση πού ἡ ἀπόσταση α δέν εἶναι σταθερή λαμβάνεται ἡ μέση ἀπόσταση:

$$\alpha = \frac{2(b_k + d_k)}{v}$$

όπου v : ὁ ἀριθμὸς τῶν διαμήκων ράβδων.

Γενικά λοιπόν:

$$v \cdot f_e \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{M_D \text{ (tcm)} (b_k + d_k) \text{ (cm)}}{\sigma_e \text{ (t/cm}^2\text{)} b_k \text{ (cm)} d_k \text{ (cm)}}$$

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

B160,

dc bcm	40	45	50	60	70	80	100
20	0,59	0,68	0,77	0,96	1,16	1,35	1,75
25	0,87	1,03	1,15	1,44	1,74	2,03	2,64
30	1,21	1,40	1,59	1,99	2,39	2,82	3,68
35	1,59	1,84	2,10	2,62	3,16	3,71	4,86
40	2,00	2,32	2,66	3,33	4,02	4,72	6,19

Αναλαμβανόμενη
ροπή στρέψης (tm)

Γιὰ ποιότητα B225 ἡ ἀναλαμβανόμενη ροπή πολλαπλασιάζεται ἐπὶ 1,13.

Γιὰ ποιότητα B300 ἡ ἀναλαμβανόμενη ροπή πολλαπλασιάζεται ἐπὶ 1,27.

Οι διαστάσεις αυτές λαμβάνονται ανάλογα με την ροπή στρέψης $M_D(t_m)$ από τον πιο πάνω πίνακα και δίνουν τάσεις στρέψης $\tau_D = 15 \text{ kg/cm}^2$ για B160, $\tau_D = 16 \text{ kg/cm}^2$ για B225 και $\tau_D = 19 \text{ kg/cm}^2$ για B300.

Γενικά πρέπει να προτιμώνται διατομές με μεγάλο b .

Οι διαστάσεις μιας διατομής που καταπονείται σε στρέψη εξαρτώνται τις περισσότερες φορές απ'τίς τάσεις στρέψης.

Για τον υπολογισμό φορέα, που καταπονείται σε στρέψη, ακολουθείται η παρακάτω σειρά:

A. Προεκτίμηση

B. Έλεγχοι στα διάφορα στοιχεία

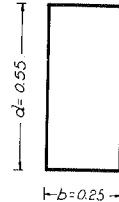
Είδικά σε δοκό που καταπονείται σε στρέψη ή σειρά εζ-
ναι:

1. Στατική επίλυση
2. Έλεγχος σε κάμψη
3. " σε διάτμηση
4. " σε στρέψη
5. " σε στρέψη και διάτμηση σύγχρονα
6. Σχεδίαση όπλισμών

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 54

Νά ελεγχθῇ σέ στρέψη ἡ διατομή τοῦ σχήματος πού φέρει ροπή στρέψης $M_D = 1,30 \text{ tm}$. Ἐπίσης ἔχει προκύψει τάση διάτμησης $\tau_o = 4,50 \text{ kg/cm}^2$. Ὑλινά: B160, StI.



Λύση

$$\text{Εἶναι } \frac{d}{b} = \frac{55}{25} = 2,20 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta = 3 + \frac{2,60}{0,45 + 2,20} = 3,98$$

$$\tau_D = \frac{\eta M_D}{b^2 d} = \frac{3,98 \times 1,30}{0,25^2 \times 0,55} = 151,0 \text{ t/m}^2 \Rightarrow \tau_D = 15,1 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_{D1} = 5,0 < \tau_D = 15,1 < \tau_{D2} = 16,0 \text{ kg/cm}^2$ ἄρα χρειάζεται ὀπλισμός στρέψης.

Λαμβάνονται $b_k = 20 \text{ cm}$ καί $d_k = 50 \text{ cm}$.

I. Συνδετήρες

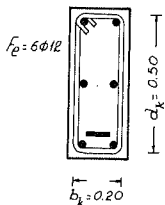
$$\frac{F_{eB}}{\beta} = \frac{M_D}{2 \cdot \sigma_e \cdot b_k \cdot d_k} = \frac{1,30 \times 10^2}{2 \times 1,4 \times 20 \times 50} = 0,046 \text{ cm}$$

Ἐκλέγεται διατομή $\emptyset 8$ ($F_{eB} = 0,50 \text{ cm}^2$), ὁπότε $\beta = \frac{0,50}{0,046} = 10,87 \text{ cm}$.

Τοποθετοῦνται συνδετήρες  $\emptyset 8/10$.

II. Διαμήκης ὀπλισμός

$$\nu F_e = \frac{M_D (b_k + d_k)}{\sigma_e \cdot b_k \cdot d_k} = \frac{1,30 \times 10^2 (50 + 20)}{1,40 \times 50 \times 20} = 6,5 \text{ cm}^2$$



Λαμβάνονται 6 ράβδοι ὅπως στό σχῆμα.

$$\text{Τότε } 6 \cdot F_e = 6,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 1,08 \text{ cm}^2$$

$$\text{καί } F_e = 1\emptyset 12 (= 1,13 \text{ cm}^2)$$

Δηλαδή τελικά $F_e = 6\emptyset 12$.

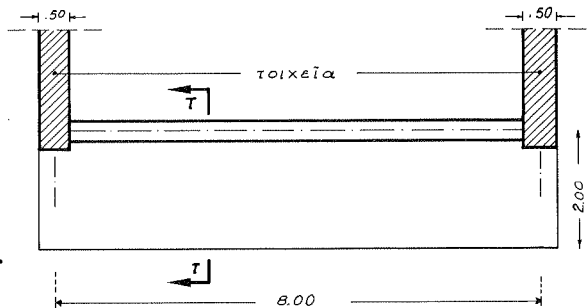
"Έλεγχος τάσης στρέψης και διάτμησης σύγχρονα

$$\tau = \tau_o + \tau_D = 4,50 + 15,1 = 19,6 \text{ kg/cm}^2 < 20,0 \text{ kg/cm}^2 = \tau_2$$

ΑΣΚΗΣΗ 55

Νά υπολογισθῇ ἡ κα-
τασκευὴ τοῦ σχήματος. Δί-
νεται κινητὸ φορτίο πάνω
στὴν πλάκα $p = 0,200 \text{ t/m}^2$.

Υλικά: B300, StIII_R.



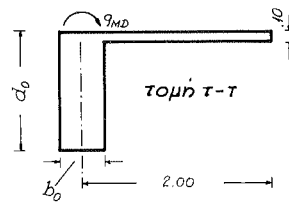
Λύση

Προεκτίμηση διατομῶν

Πλάκα

Λαμβάνεται $d = 0,10 \text{ m}$
(βλ. κεφάλαιο πλακῶν).

Ίδιο βάρος πλάκας $g_{\pi} = 0,10 \times 2,4 = 0,24 \text{ t/m}^2$.



Δοκός :

Στρέψη

Στρεπτική ροπή ανά μέτρο: $q_{MD} = (0,240 + 0,200) \times \frac{2,0^2}{2} = 0,88 \text{ tm/m}$

$$\text{καί } M_D = 0,88 \times \frac{8,0}{2} = 3,52 \text{ tm.}$$

Γιὰ νά ἀναχθῇ στὸν πίνακα τῆς σελίδας 176 διαιρεῖται μέ-
τό $1,27 \Rightarrow M'_D = 2,77 \text{ tm.}$

Ἐκλέγεται διατομὴ 35/70.

Κάμψη

$$q_{\pi} = (0,24 + 0,200) \times 2,00 = 0,88 \text{ t/m}$$

$$g_{\omega\delta} = 0,35 \times 0,70 \times 2,40 = 0,60 \text{ t/m}$$

$$q = 1,44 \text{ t/m}$$

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{1,44 \times 8,0^2}{8} = 11,52 \text{ tm}$$

$$\frac{\varepsilon\sigma_b}{\varepsilon\sigma_e} = \frac{90}{2400} \Rightarrow k_h^* = 8,4, \quad k_h = \frac{65}{\sqrt{\frac{11,52}{0,80}}} = 17,1 > k_h^*$$

($b = b_o + 4,5d = 0,80\text{m}$).

Διάτμηση

Δέν υπάρχει πρόβλημα

Α. ΠΛΑΚΑ

Φορτία

"Ιδιο βάρος $g = 0,240\text{t/m}$

Κινητό φορτίο $p = 0,200\text{t/m}$

$q = 0,440\text{t/m}$

$$M_A = -0,440 \frac{2,0^2}{2} = -0,88\text{tm}$$

$$M_{\pi\alpha\rho} = -0,440 \frac{(2,0 - 0,175)^2}{2} =$$

$$= 0,73\text{tm}$$

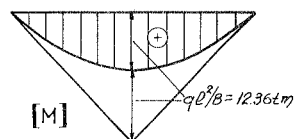
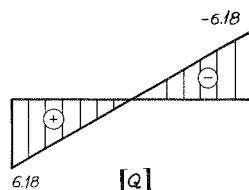
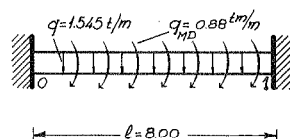
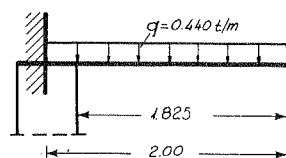
$$k_h = \frac{8,5}{\sqrt{\frac{0,73}{1,00}}} = 9,9 > k_h^* = 7,7$$

$$\left(\frac{\varepsilon\sigma_b}{\varepsilon\sigma_e} = \frac{100}{2400} \right)$$

$$k_e = 0,47 \Rightarrow F_e = 0,47 \frac{0,73}{0,085} =$$

$$= 4,04\text{cm}^2 \Rightarrow F_e = 9\phi 8 (=4,50\text{cm}^2)$$

$$\eta f_e = \phi 8/11.$$



Β. ΔΟΚΟΣ

1. Στατική επίλυση

Φορτία

Φορτίο πλάκας: $2,175 \times 0,44 = 0,957\text{t/m}$

"Ιδιο βάρος δοκ.: $0,35 \times 0,70 \times 2,40 = 0,588$ "

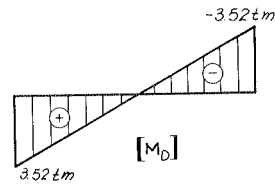
$$q = 1,545\text{t/m}$$

Επίσης $q_{MD} = 0,88\text{t/m}$.

$$Q_o = Q_1 = 1,545 \times \frac{8,0}{2} = 6,18\text{t}$$

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{1,545 \times 8,0^2}{8} = 12,36 \text{ tm}$$

$$M_D^0 = M_D^1 = 0,88 \times \frac{8,0}{2} = 3,52 \text{ tm}$$



2. Έλεγχος σέ κάμψη

Ανοιγμα

1. Συνεργαζόμενο πλάτος $b = b_0 + 4,5d = 0,35 + 4,5 \times 0,10 = 0,80 \text{ m}$

2. $\frac{\epsilon_{ps_b}}{\epsilon_{ps_e}} = \frac{90}{2400}, \quad k_h = \frac{65}{\sqrt{\frac{12,36}{0,80}}} = 16,5 > k_h^* = 8,4$

$\Rightarrow k_x = 0,20 \Rightarrow x = 0,13 > 0,10 \text{ m}$

3. $\frac{b}{b_0} = \frac{0,80}{0,35} = 2,29 < 5$. Άρα ο υπολογισμός γίνεται για όρθογ. διατομή πλάτους $b_1 = \lambda b$.

I. Για $\lambda_1 = 1,00 \Rightarrow b_1 = 0,80 \Rightarrow k_h = 16,5 \Rightarrow k_x = 0,20 \Rightarrow$

$\Rightarrow x = 13 \Rightarrow \frac{d}{x} = \frac{10}{13} = 0,77$.

Για τό ζεύγος ($\frac{b}{b_0} = 2,29, \frac{d}{x} = 0,77$) απ'τόν πίνακα 24
 $\Rightarrow \lambda_2 = 0,97$.

II. Για $\lambda_2 = 0,97 \Rightarrow b_2 = 0,97 \times 0,80 = 0,78 \Rightarrow k_h = \frac{65}{\sqrt{\frac{12,36}{0,78}}} =$

$= 16,3 \Rightarrow k_x = 0,20 \Rightarrow x = 0,20 \times 65 = 13,0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{d}{x} = \frac{10}{13} = 0,77$.

Στό ζεύγος ($b/b_0 = 2,29, d/x = 0,77$) αντιστοιχεί $\lambda_3 = 0,97 = \lambda_2$.

Λοιπόν $k_h = 16,3$ και $k_e = 0,45$

Άρα $F_e = 0,45 \times \frac{12,36}{0,65} = 8,56 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 6\phi 14 (=9,24 \text{ cm}^2)$

3. Έλεγχος σέ διάτμηση

$$\max \tau_o = \frac{Q}{b_o z} = \frac{6,18 \times 10^3}{35 \times \frac{7}{8} \times 65} = 3,10 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{o1} = 8,0 \text{ kg/cm}^2$$

4. Έλεγχος οέ στρέψη

$$\frac{d}{b} = \frac{70}{35} = 2,0 \quad \Rightarrow \quad \eta = 4,06$$

$$\text{καί } \max \tau_D = \frac{\eta M_D}{b^2 h} = \frac{4,06 \times 3,52}{0,35^2 \times 0,70} = 167,1 \text{ t/m}^2 = 16,71 \text{ kg/cm}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} > \tau_{D1} = 7,0 \text{ kg/cm} \\ < \tau_{D2} = 20,0 \quad " \end{array} \right.$$

Όπλισμός

Λαμβάνεται $b_k = 30 \text{ cm}$, $d_k = 65 \text{ cm}$.

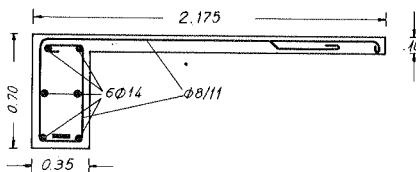
I. Συνδετήρες

$$\frac{F_{eB}}{\beta} = \frac{3,52 \times 10^2}{2 \times 2,4 \times 30 \times 65} = 0,0376$$

Διαλέγονται συνδετήρες $\varnothing 8 \Rightarrow \beta = \frac{0,50}{0,0376} = 13,30 \text{ cm}$

Θά χρησιμοποιηθούν οι ράβδοι της πλάκας $\varnothing 8/11$.

II. Διαμήκης όπλισμός



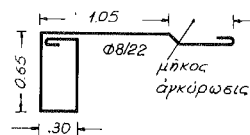
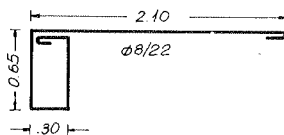
$$\nu F_e = \frac{M_D (b_k + d_k)}{\sigma_e b_k d_k} = \frac{3,52 \times 10^2 (30 + 65)}{2,4 \times 30 \times 65} = 7,15 \text{ cm}^2.$$

Γιά $\nu = 6 \Rightarrow F_e = \frac{7,15}{6} = 1,19 \text{ cm}^2$ καί
συνολικά $F_e = 6\varnothing 14 (= 9,24 \text{ cm}^2)$.

5. Έλεγχος σέ διάτμηση καί στρέψη σύγχρονα

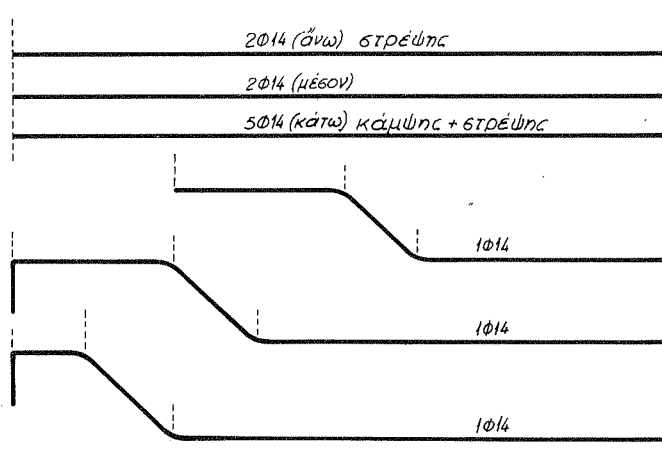
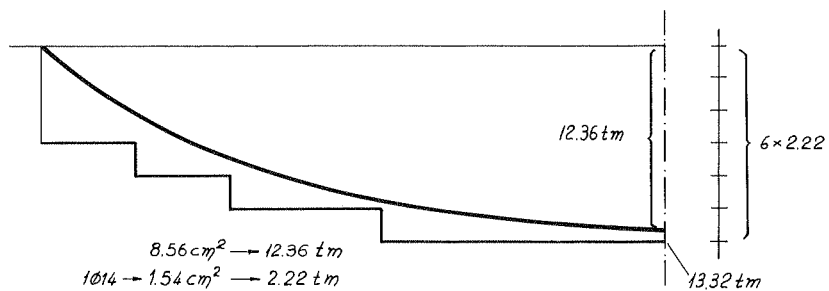
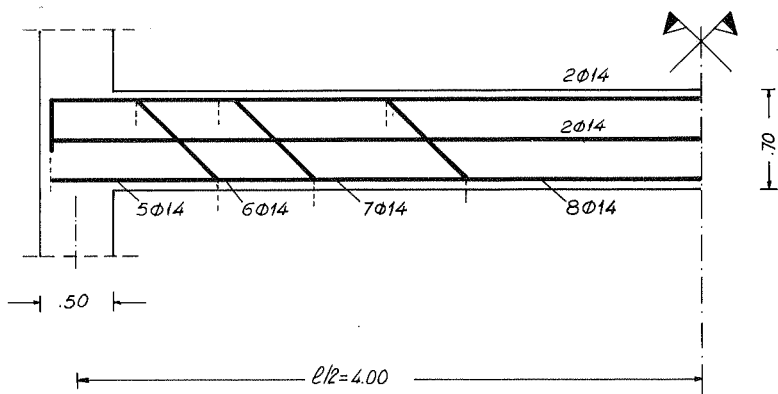
$$\tau = \tau_o + \tau_D = 16,71 + 3,10 = 19,81 \text{ kg/cm}^2 < 26 \text{ kg/cm}^2 = \tau_2.$$

6. Σχεδίαση όπλισμών



Παρατήρηση

★ Οί συνδετήρες έχουν αυτή την μορφή, δηλαδή τό διπλό σκέλος πάνω, γιατί δέν είναι δυνατό νά έμπιστευθῇ κανείς την άνάληψη πρόσθετων δυνάμεων στό πάνω σκέλος μι καί αυτό βρίσκεται κιόλας μέ τάση. Μεταβιβάζει έτσι την δύναμη έφελκυσμον της κάμψης στό σκυρόδεμα, σ'ένα αρκετό μήκος.



ΑΣΚΗΣΗ 56

Νά υπολογισθοῦν οἱ ἀναγκαῖες διατομές καί οἱ ἀναγκαῖοι ὀπλισμοί στὸν φορέα τοῦ σχήματος.

Δίνονται: Συγκεντρωμένο φορτίο: $P=3,0\text{t}$.

Φορτίο ἀπὸ ὀπτοπλινθοδομή: $g_{\text{οπ}}=0,60\text{t/m}$.

Υλικά: B160, StI.

Λύση**Προεκτίμηση διατομῶν**

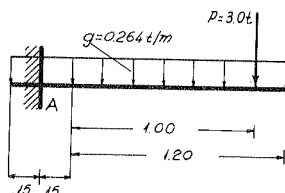
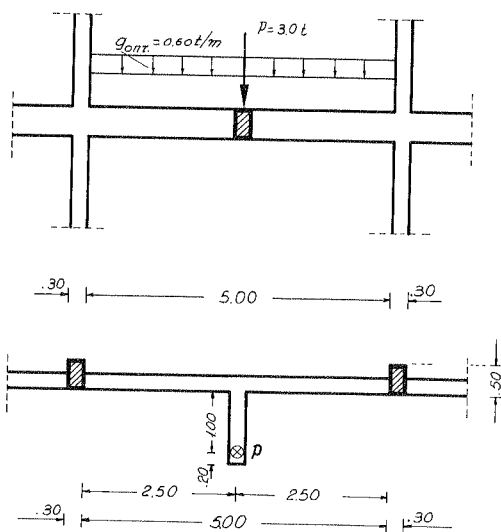
Δοκός:

Στρέψη

$$M_D \approx 3,0 \times 1,10 = 3,30\text{tm}$$

$$\text{Κάθε πάκτωση ἀντιδρᾷ μὲ στρεπτική ροπή } M_D = 3,30 \times \frac{2,50}{5,0} = 1,65\text{tm}.$$

Ἀπ' τὸν πίνακα τῆς σελίδας 176 ἐκλέγεται διατομή 30/55.

**Κάμψη**

$$g_{\text{υδ}} = 0,30 \times 0,55 \times 2,40 = 0,40\text{t/m}$$

$$g = g_{\text{υδ}} + g_{\text{οπ}} = 0,40 + 0,60 = 1,00\text{t/m}$$

$$M_{\text{στηρ}} = -1,00 \cdot \frac{5,0^2}{12} = -2,08\text{tm}$$

$$\frac{\varepsilon_{\text{πσ}_b}}{\varepsilon_{\text{πσ}_e}} = \frac{60}{1400} \Rightarrow k_h^* = 8,8$$

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{2,08}{0,30}}} = 19,0 > k_h^*$$

Διάτμηση

Δέν ὑπάρχει πρόβλημα.

Πρόβολος

$$M \approx 3,0 \times 1,0 = 3,00 \text{ tm}, k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{3,0}{0,20}}} = 12,9 > 8,8$$

Υπολογισμός**A. ΠΡΟΒΟΛΟΣ 20/55**

$$\frac{\varepsilon \pi \sigma_b}{\varepsilon \pi \sigma_e} = \frac{60}{1400} \quad k_h^* = 9,9$$

Φορτία

$$\text{"Ιδιο βάρος: } g = 0,20 \times 0,55 \times 2,40 = 0,264 \text{ t/m}$$

$$Q_A = 3,0 + 0,264 \times 1,35 = 3,36 \text{ t}$$

$$M_A = -0,264 \frac{1,35^2}{2} - 3,0 \times 1,15 = -3,69 \text{ tm}$$

$$M_{\pi \alpha \rho} = -0,264 \frac{1,20^2}{2} - 3,0 \times 1,00 = -3,19 \text{ tm}$$

$$k_h = \frac{52}{\sqrt{\frac{3,19}{0,20}}} = 13,0 \quad \Rightarrow \quad k_e = 0,80$$

$$\text{και } F_e = 0,80 \times \frac{3,19}{0,52} = 4,91 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad F_e = 4\phi 14 \quad (=6,16 \text{ cm}^2)$$

Διάτμηση

$$\text{Είναι } Q = 3,36 \text{ t} < Q_{o1} = 5,46 \text{ t} \text{ (πίνακας 29α).}$$

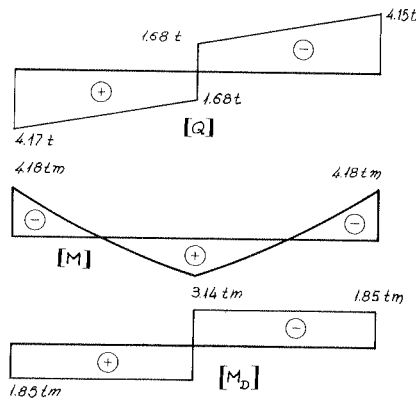
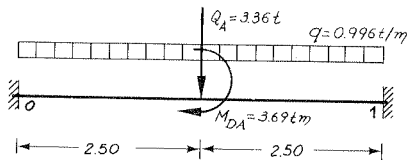
"Αρα δεν χρειάζεται όπλισμός διάτμησης.

B. ΔΟΚΟΣ 30/55**1. Στατική επίλυση****Φορτία**

$$g_{\text{ιδ}} = 0,30 \times 0,55 \times 2,40 = 0,396 \text{ t/m}$$

$$g_{o\pi} = 0,60 \text{ t/m}$$

$$q = 0,996 \text{ t/m}$$



$$Q_0 = Q_1 = 0,996 \frac{5,0}{2} + \frac{3,36}{2} = 2,49 + 1,68 = 4,17 \text{ t.}$$

$$M_0 = M_1 = - \frac{ql^2}{12} - \frac{pl}{8} = - \frac{0,996 \times 5,0^2}{12} - \frac{3,36 \times 5,0}{8} = -2,08 - 2,10 = -4,18 \text{ tm.}$$

$$\max M_{01} = \frac{ql^2}{24} + \frac{pl}{8} = \frac{0,996 \times 5,0^2}{24} + \frac{3,36 \times 5,0}{8} = 1,04 + 2,10 = 3,14 \text{ tm.}$$

$$M_D = \frac{3,69}{2} = 1,85 \text{ tm (σταθερή σ' ὄλο τό μήκος τῆς δοκοῦ).}$$

2. Έλεγχος σέ κάμψη

Άνοιγμα

$$\frac{\varepsilon_{\pi\sigma_b}}{\varepsilon_{\pi\sigma_e}} = \frac{60}{1400} \quad k_h^* = 9,9$$

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{3,14}{0,30}}} = 15,5 > k_h^* \Rightarrow k_e = 0,79 \quad \text{καί}$$

$$F_e = 0,79 \frac{3,14}{0,50} = 4,96 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\emptyset 14 (=6,16 \text{ cm}^2).$$

Στήριξη

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{4,18}{0,30}}} = 13,4 > k_h^* \Rightarrow k_e = 0,79 \quad \text{καί}$$

$$F_e = 0,79 \frac{4,18}{0,50} = 6,60 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 2\emptyset 14 \text{ άπ' τό άνοιγμα} + 3\emptyset 14 \text{ πρόσθ. } (=7,7 \text{ cm}^2).$$

3. Έλεγχος σέ διάτμηση

Εἶναι $Q = 4,15 \text{ t} < Q_{01} = 7,88 \text{ t}$ (πίνακας 29α).

Δέν χρειάζεται ὀπλισμός διάτμησης.

4. Έλεγχος οε στρέψη

$$\text{Είναι } \frac{d}{b} = \frac{55}{30} = 1,83 \quad \Rightarrow \quad \eta = 4,14$$

$$\text{"Αρα } \max \tau_D = \frac{\eta \cdot M_D}{b^2 d} = \frac{4,14 \times 1,85}{0,30^2 \times 0,55} = 154,7 \text{ t/m}^2 = 15,47 \text{ kg/cm}^2 \left. \begin{array}{l} > 5 \text{ kg/cm}^2 = \tau_{D1} \\ < 16 \text{ kg/cm}^2 = \tau_{D2} \end{array} \right\}$$

Όπλισμός

Λαμβάνεται $b_k = 25 \text{ cm}$ και $d_k = 50 \text{ cm}$.

I. Συνδετήρες

$$\frac{F_{eB}}{\beta} = \frac{1,85 \times 10^2}{2 \times 1,4 \times 25 \times 50} = 0,0529$$

$$\text{Διαλέγονται συνδετήρες } \emptyset 10 \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{0,79}{0,0529} = 14,93$$

"Αρα θά χρησιμοποιηθούν συνδετήρες $\emptyset 10/14$.

II. Διαμήκης όπλισμός

$$\nu F_e = \frac{M_D (b_k + d_k)}{\sigma_e b_k d_k} = \frac{1,18 (25 + 50) \times 10^2}{1,4 \times 25 \times 50} = 5,06 \text{ cm}^2$$

$$\text{Γιὰ } \nu = 6 \Rightarrow F_e = \frac{5,06}{6} = 0,84 \text{ cm}^2 \Rightarrow 1\emptyset 12 \text{ και συνολικά}$$

$$F_e = 6\emptyset 12 (=6,78 \text{ cm}^2).$$

5. Έλεγχος σε διάτμηση και στρέψη σύγχρονα

$$\tau = \tau_o + \tau_D = 3,18 + 15,47 = 18,65 \text{ kg/cm}^2 < 20 \text{ kg/cm}^2 = \tau_2.$$

6. Σχεδίαση όπλισμών

"Ανοίγμα

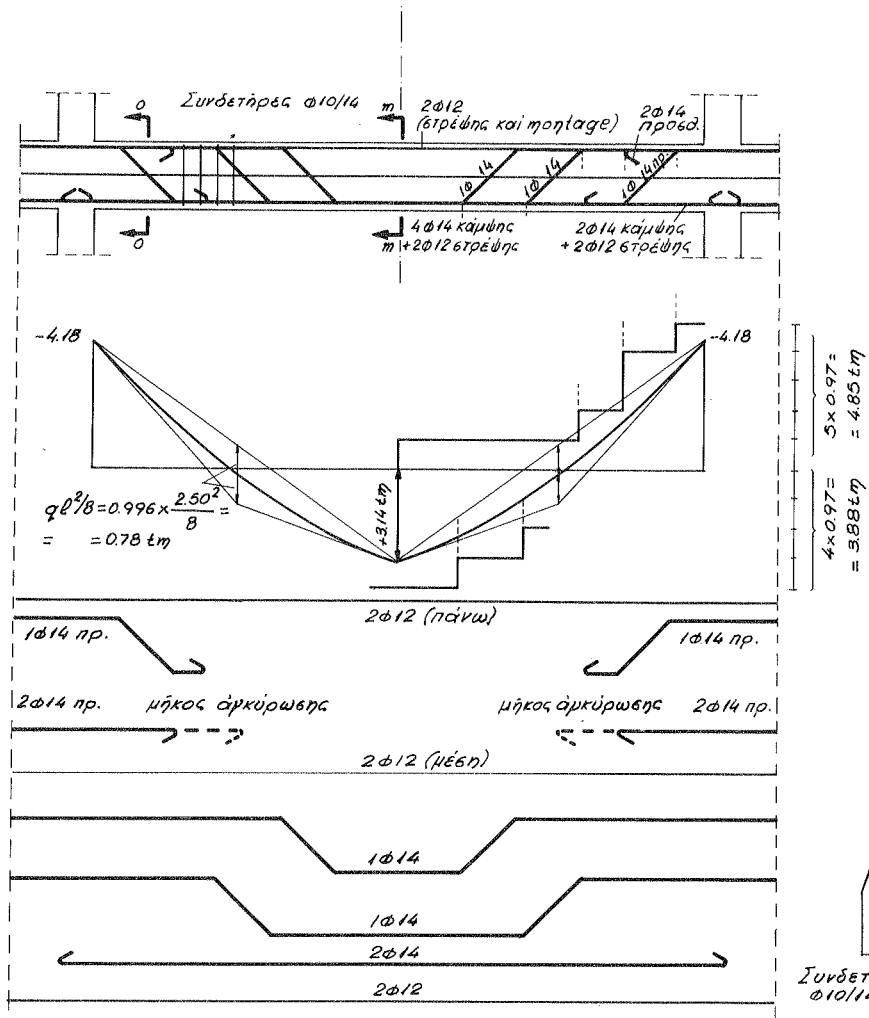
$$4,96 \text{ cm}^2 \rightarrow 3,14 \text{ tm}$$

$$1\emptyset 14 \rightarrow 1,54 \text{ cm}^2 \rightarrow 0,97 \text{ tm}$$

Στήριξη

$$6,60 \text{ cm}^2 \rightarrow 4,18 \text{ tm}$$

$$1\emptyset 14 \rightarrow 1,54 \text{ cm}^2 \rightarrow 0,97 \text{ tm}$$



ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΡΟΠΩΝ ΔΜ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Στό κεφάλαιο I καί III ο έλεγχος σέ λυγισμό στήν περίπτωσθ θλιβόμενων στοιχείων γινόταν μέ παραδοχή κεντρικῆς θλίψῃς άνεξάρτητα άπό τόν έλεγχο σέ κάμψη. Λαμβανόταν ένας συντελεστής λυγισμού ω πού αύξανε τό φορτίο θλίψῃς. Μέ τήν νέα μέθοδο ΔΜ ο έλεγχος σέ λυγισμό θά γίνεται σέ συνδυασμό μέ τήν κάμψη σάν έλεγχος τάσεων.

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Ο ύπολογισμός θά γίνεται μέ τήν θλιπτική δύναμη N καί τήν μέγιστη ροπή κάμψῃς στό μεσαίο τρίτο τοῦ μήκους λυγισμού πού θά αύξάνεται κατά τό μέγεθος $\Delta M = N \cdot \Delta_m \cdot k_D$ δηλαδή μέ (N, $M + N \cdot \Delta_m \cdot k_D$) όπου είναι:

M = ή μέγιστη ροπή κάμψῃς στό μεσαίο τρίτο τοῦ μήκους λυγισμού

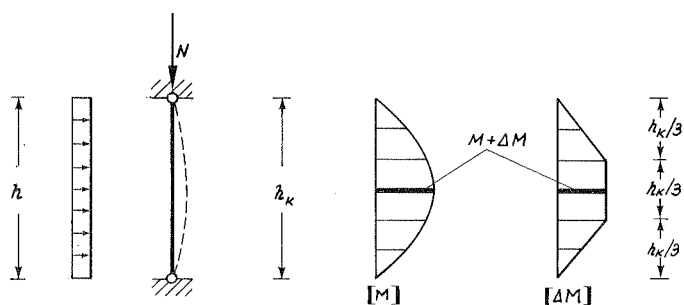
N = ή αντίστοιχη όρθή δύναμη

$C = \frac{M}{N}$ ή έκκεντρότητα τῃς δύναμῃς N

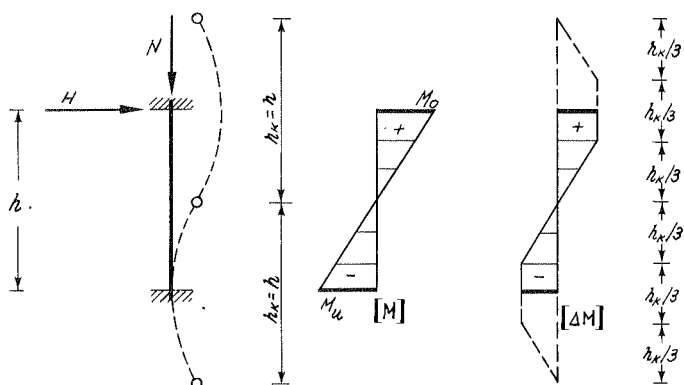
$k_D = \frac{W_D}{F_b}$ ή ήμιδιάσταση τοῦ πυρήνα τῃς διατομῃς
(σέ περίπτωση όρθογωνικῃς διατομῃς $k_D = \frac{d}{6}$)

Δ_m = Συντελεστής πού έξαρτάται άπ' τήν λυγηρότητα λ, άπ' τήν άναλογία όπλισμοῦ $\mu_z = \frac{100 F_{ez}}{F_b}$ (%), καί τήν τάση τοῦ χάλυβα πού βρίσκεται στήν λόγω κάμψῃς έφελκυόμενη πλευρά τοῦ στοιχείου. Ο συντελεστής αύτός δίνεται στόν πίνακα 33.

3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΜ

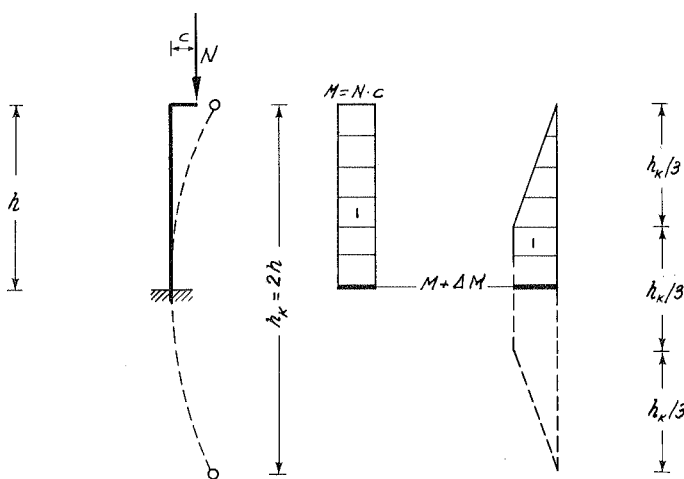


"Ελεγχος με
 $N, (M + \Delta M)_m$



"Ελεγχος με
 $N, (M_0 + \Delta M_0)$
 $N, (M_u + \Delta M_u)$

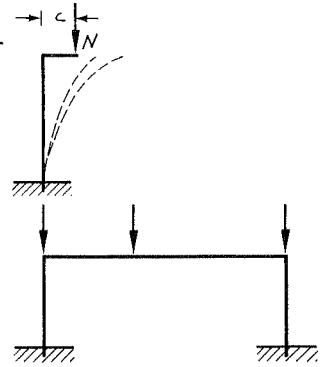
$$|\Delta M_0| = |\Delta M_u|$$



"Ελεγχος με
 $[N, M + \Delta M]$

4. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΕΡΠΥΣΜΟΥ

Στήν περίπτωση έκκεντρης δράσης φορτίων σέ φορείς μέ δυνατότητα μετακίνησης ὅπως στό σχῆμα, ὁ ρόλος τοῦ έρπυσμοῦ εἶναι σημαντικός γιατί αὐξάνει τήν έκκεντρότητα τοῦ φορτίου μέ τήν πάροδο τοῦ χρόνου. Ἀντίθετα στήν περίπτωση ὑπερστατικών φορέων ὁ ρόλος τοῦ έρπυσμοῦ εἶναι μάλλον εὐνοϊκός γιατί ἀμβλύνει τά στατικά μεγέθη.



Ἀριθμητικά ἡ έπιρροή τοῦ έρπυσμοῦ λαμβάνεται μέ τήν σχέση

$$\Delta M = (N\Delta m + N_g \cdot \Delta m_\varphi) \cdot k_D$$

ὅπου N_g = τό μόνιμο φορτίο πού προκαλεῖ τίς έρπυστικές παραμορφώσεις

$$\text{καί } \Delta m_\varphi = \begin{cases} 0 & \text{ὅταν } \lambda \leq 30 \\ \frac{\lambda - 30}{100} \sqrt{\varphi_\infty} \cdot \alpha & \text{ὅταν } \lambda > 30 \end{cases}$$

$$\alpha = 1,00 \quad \text{ὅταν } m_0 \leq 2,0 \quad \left(m_0 = \frac{M}{N \cdot k_D} \right)$$

$$\alpha = \frac{2}{1 + \frac{m_0}{2}} \quad \text{ὅταν } m_0 > 2,0$$

φ_∞ = ὁ τελικός έρπυστικός συντελεστής πού δίνεται στόν πίνακα 34.

Παρατήρηση

★ Ἡ πρόσθετη ροπή ΔM δέν λαμβάνεται ὑπ' ὄψη στήν περίπτωση μετάδοσης έντατικών μεγεθών.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 57

Κατά τον υπολογισμό στύλου, οίκοδομικού έργου, με πλαισιανή λειτουργία, προέκυψε το διάγραμμα ροπών του σχήματος. Νά υπολογισθούν οι άναγκαῖοι ό.σμοί.

Υλικά: B225, StIII_R.

Λύση

Διεύθυνση x-x

Ο στύλος είναι άμφι-αρθρωτός, άρα $h_{kx} = h_s = 9,0m$.

$$\lambda_x = \frac{h_{kx}}{i_x} \quad \text{όπου } i_x = \sqrt{\frac{I_{yy}}{F_b}} = \sqrt{\frac{d \cdot b^3}{12 \cdot d \cdot b}} = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{0,50}{\sqrt{12}} = 0,144m.$$

$$\text{Άρα } \lambda_x = \frac{9,0}{0,144} = 62,5 \quad [M]$$

Λαμβάνεται $\mu_o = \mu_o' = 0,4\%$ (τότε $\mu_z = 0,4\%$).

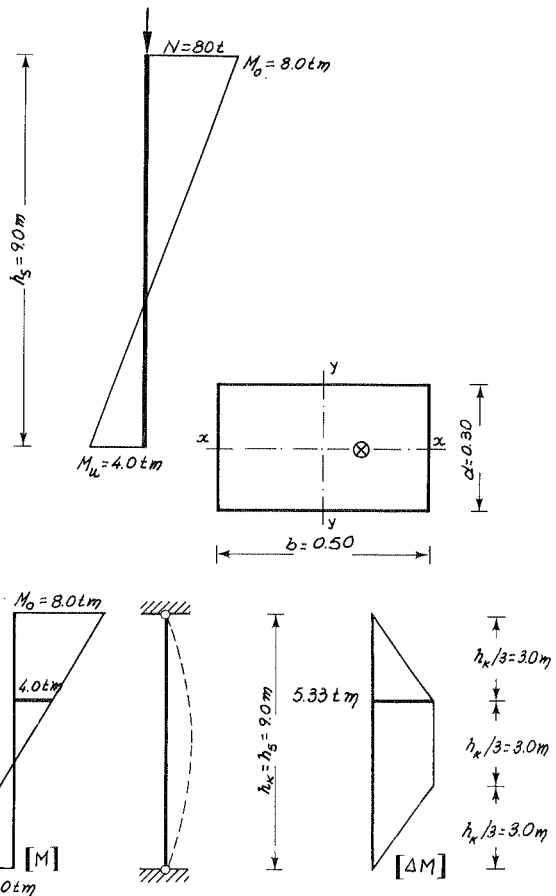
Δυσμενέστερη είναι ή περίπτωση πού ό χάλυβας εργάζεται με την μεγαλύτερη δυνατή τάση: $\sigma_{ez} = 2400kg/cm^2$, γιατί τό Δm αύξάνει άνάλογα με την σ_{ez} .

Άπ'τόν πίνακα 33 στην στήλη $\sigma_{ez} = 2400kg/cm^2$ για $\mu_z = 0,4\%$ καί $\lambda = 62,5$ λαμβάνεται $\Delta m = 0,8$.

$$\text{Επίσης } k_D = \frac{b}{6} = \frac{0,50}{6} = 0,0833m$$

$$\text{Άρα } \Delta M = N \cdot \Delta m \cdot k_D = 80 \times 0,8 \times 0,0833 = 5,33tm.$$

Ροπή υπολογισμού: $M = 4,0 + 5,33 = 9,33tm > 8,0tm.$



Υπολογισμός με $N = 80,0t$ και $M = 9,33tm$:

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot b} = \frac{9,33}{80,0 \times 0,50} = 0,233 < 0,350$$

$$\frac{e}{b} = \frac{25-3}{50} = 0,44 \approx 0,45$$

$$\left. \begin{aligned} \epsilon\sigma_{bD} &= 90 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_o &= \frac{N}{b \cdot d} = \frac{80,0 \times 10^3}{30 \times 50} = 53,33 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\sigma_o} = \frac{90,0}{53,33} = 1,69$$

Γιά $\mu_o = 0,4\%$, απ'τόν πίνακα 9β και για τό ζεύγος $\{1000\gamma = 233, \frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\sigma_o} = 1,69\}$, λαμβάνεται $\mu'_o = 0,8\%$.

Αυτός είναι ο όπλισμός που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη διατομή. "Αν δέν χρησιμοποιηθῇ ο όπλισμός αυτός σέ ὄλο τό ὕψος τοῦ στύλου (για λόγους οίκονομίας) ἀλλά τοποθετηθῇ μόνο ο ἀναγκαῖος σέ κάθε διατομή πρέπει νά γίνῃ ο ἔλεγχος καί σέ ἄλλες διατομές π.χ. στήν κεφαλή καί τόν πόδα.

Διεύθυνση γ-γ

$$M = 0, \quad \lambda_y = \frac{h_{ky}}{i_y}$$

$$h_{ky} = h_s = 9,0m$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{xx}}{F_b}} = \sqrt{\frac{bd^3}{12bd}} = \frac{d}{\sqrt{12}} = \frac{0,30}{\sqrt{12}} = 0,087$$

$$\text{"Αρα } \lambda_y = \frac{9,0}{0,087} = 103$$

$$\mu_z = 0,4\%$$

$$\text{"Απ'τόν πίνακα 33} \Rightarrow \Delta_m = 1,9, \quad k_D = \frac{d}{6} = \frac{0,30}{6} = 0,05$$

$$\Delta M = N \cdot \Delta m \cdot k_D = 80 \times 1,9 \times 0,05 = 7,6tm$$

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{7,6}{80 \times 0,30} = 0,317 < 0,350$$

$$\frac{e}{d} = \frac{15-3}{30} = 0,40, \quad \frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\sigma_o} = 1,69$$

"Απ'τόν πίνακα 8α καί για τό ζεύγος $\{1000\gamma = 317, \frac{\epsilon\sigma_{bD}}{\sigma_o} = 1,69\}$ λαμβάνεται $\mu_o = \mu'_o = 1,55\%$.

Κατά τήν διεύθυνση γ-γ λαμβάνεται $\mu_o = \mu'_o$ γιατί υπάρχει

μόνον ή ΔΜ πού εἶναι δυνατό νά ἐνεργή καί κατά τίς δύο διευ-
θύνσεις.

Παρατήρηση

★ Σέ ὀρθογωνική διατομή εἶναι $i = \frac{d}{\sqrt{12}} = 0,289d$ καί $k_d = \frac{d}{6}$ ὅπου d
εἶναι ἡ διάσταση τῆς διατομῆς κατά τήν διεύθυνση πού γίνεται ὁ ἔλεγχος
λυγισμοῦ.

ΑΣΚΗΣΗ 58

Ζητεῖται ὁ ὑπολογισμός στύλου οἰκοδομικοῦ ἔργου σέ
κεντρική θλίψη πού φέρει φορτίο $P=128t$ (περιλαμβάνεται καί
τό βάρος τοῦ στύλου). Δίνονται: διαστάσεις 40×40 , $h_s=3,28m$.
Υλικά B225, StIII (βλέπε ΚΕΦ. I, "Άσκηση 2).

Λύση

Λαμβάνεται $\mu_o = \mu'_o = 0,4\%$.

$$h_k = h_s = 3,28m$$

$$i_x = 0,289b = 0,289 \times 0,40 = 0,116$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h_k}{i_x} = \frac{3,28}{0,116} = 28,3$$

Δέν ὑπάρχει πρόβλημα λυγισμοῦ, γιατί προκύπτει $\Delta m = 0$.

Παρ' ὅλα αὐτά χρειάζεται ἔλεγχος τοῦ στύλου σέ κεντρική
θλίψη (χωρίς ὅμως τόν συντελεστή ω).

$$P_{\lambda_{\text{ελτ}}} \leq \epsilon P_b + \epsilon P_e \Rightarrow \epsilon P_e \geq P_{\lambda_{\text{ελτ}}} - \epsilon P_b \Rightarrow$$

$$\epsilon P_e \geq 128 - 104 = 24t \Rightarrow 12\emptyset 14 (=18,48\text{cm}^2)$$

$$\mu = \frac{18,48}{1600} = 1,16\% \Rightarrow \mu_o = \mu'_o = 0,58\% > 0,4\%$$

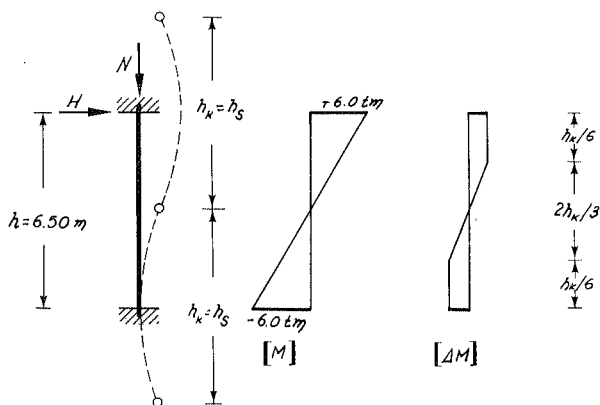
Παρατήρηση

★ 'Ο ἔλεγχος στύλου σέ κεντρική θλίψη (χωρίς τό ω), περιπετεύει ὅταν
 $\frac{m}{k_D} \geq 1,0$ ἢ ὅταν $\lambda > 50$.

ΑΣΚΗΣΗ 59

Νά υπολογισθῇ τετραγωνικό ὑποστύλωμα διαστάσεων 35×35 ὕψους $h=6,50\text{m}$ πού φέρει φορτίο $P=46,0\text{t}$. Στόν πόδα καί στήν κεφαλή τοῦ στύλου ἔχει προκύψει ροπή λόγω σεισμοῦ $M_O = -M_U = \pm 6,0\text{tm}$. Ὑλικά B225, StI.

Λύση



Ἡ πρόσθετη ροπή ΔM ἐξαρτᾶται ἀπ'τὴν λυγηρότητα λ , ἀπ'τὴν τάση τοῦ χάλυβα σ_{e_z} καί ἀπ'τό ποσοστό τοῦ χάλυβα μ_z .

$$\text{Εἶναι } \lambda = \frac{h_k}{i} = \frac{6,5}{0,289 \times 0,35} = 64 \quad \text{καί} \quad k_D = \frac{d}{6} = 0,0583$$

Λαμβάνεται $\sigma_{e_z} = 1,2 \times 1400 = 1680 \text{ kg/cm}^2$ (Αὔξηση ἐπιτρεπόμενης τάσης κατὰ 20% λόγω σεισμοῦ).

1. Ὑποτίθεται $\mu_z = 0,4\%$.

Ἀπ'τόν πίνακα 33 γιὰ $\sigma_{e_z} = 1680 \text{ kg/cm}^2$ (≈ 1600), $\lambda = 64$ καί $\mu_z = 0,4\%$, λαμβάνεται $\Delta m \approx 0,8$.

$$\text{Ἄρα } \Delta M = N \cdot \Delta m \cdot k_D = 46,0 \times 0,8 \times 0,0583 = 2,15 \text{ tm} \quad \text{καί}$$

$$M = 6,0 + 2,15 = 8,15 \text{ tm}$$

$$\gamma = \frac{M}{Nd} = \frac{8,15}{46,0 \times 0,35} = 0,506 \quad \left. \begin{array}{l} > 0,35 \\ < 0,70 \end{array} \right\} \quad (\text{μέση ἐκκεντρότητα})$$

Εἶναι λοιπόν

$$M_e = M - N \cdot y_e = 8,15 + 46,0 \times \left(\frac{0,35}{2} - 0,05 \right) = 8,15 + 5,75 = 13,9 \text{ tm}$$

$$M'_e = M + N \cdot y'_e = \text{ " } - \text{ " } = \text{ " } - \text{ " } = 2,40 \text{ tm}$$

$$\rho = \frac{M_e}{\epsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{13,90}{1,20 \times 900 \times 0,35 \times 0,30^2} = 0,41 \quad (\epsilon \sigma_{bD} = 1,20 \times 90 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\rho' = \frac{M'_e}{\epsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{2,40}{1,20 \times 900 \times 0,35 \times 0,30^2} = 0,07 \quad (\text{λόγω σεισμού})$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{5}{30} = 0,17$$

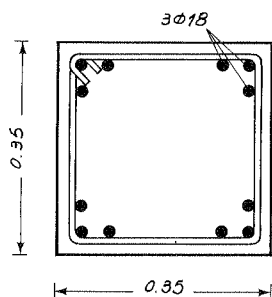
Απ' τόν πίνακα 15 $\Rightarrow \mu = \mu' = 1,44\%$ και $m = 7,0$.

Λαμβάνεται $\mu = \mu'$ γιατί ή ροπή από σεισμό έχει έναλλασ-
σόμενη φορά.

2. Για $\mu_z = 1,44\%$ λαμβάνεται $\Delta m \approx 0,8$ δηλαδή τό ίδιο.

$$\text{"Αρα } F_e = F'_e = \mu \cdot b \cdot h = \frac{1,44}{100} \times 35 \times 30 = 15,12 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e = F'_e = 6\phi 18 (=15,24 \text{ cm}^2).$$



ΑΣΚΗΣΗ 60

Νά υπολογισθῇ ὁ περιμετρικὸς στῦλος βιομηχανικοῦ χώρου ποὺ κατὰ τὴν διεύθυνση $x-x$ λειτουργεῖ σάν πρόβολος καὶ κατὰ τὴν διεύθυνση $y-y$ σάν ἀμφιαρθρωτός. Τὰ φορτία ἀπὸ τὴν στέγη εἶναι:

$$G_1 = 8,0t$$

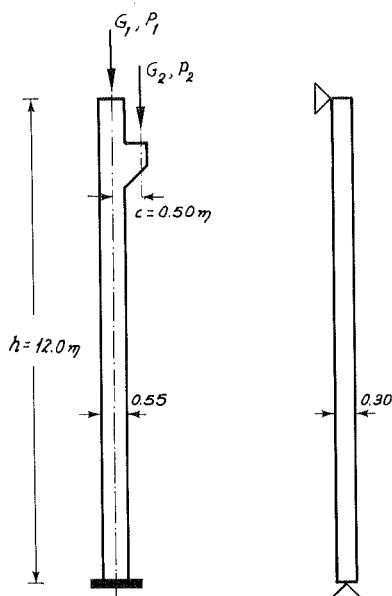
$$P_1 = 1,5t$$

καὶ ἀπὸ τὴν γερανογέφυρα

$$G_2 = 1,5t$$

$$P_2 = 10,0t$$

Ὑλικά B300, StIII_R.



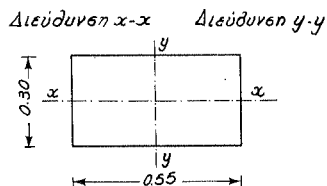
Λύση

Ἰδιο βάρος

$$G'_{\text{υδ}} = 0,55 \times 0,30 \times 12,0 \times 2,40 = 4,75t$$

$$G_{\text{υδ}} \text{ κοντοῦ προβόλου} \approx 0,25t$$

$$G_{\text{υδ}} = 5,00t$$

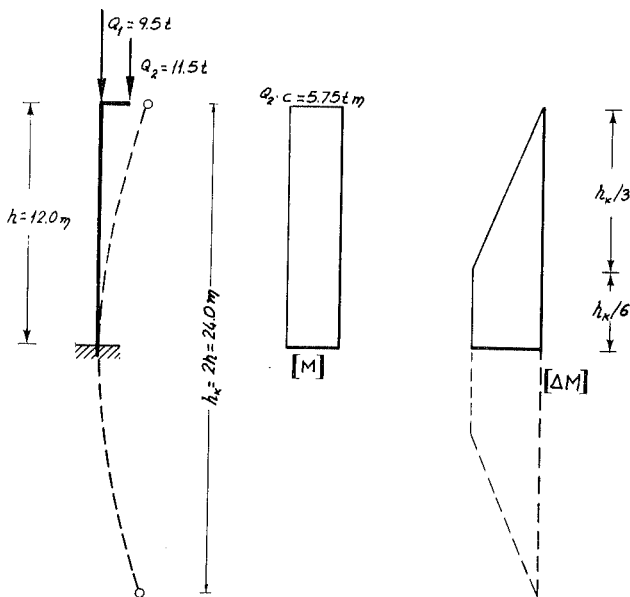


Δυσμενέστερη εἶναι ἡ κατάσταση στὸν πόδα.

$$\lambda = \frac{h_{kx}}{i_y} = \frac{24,0}{0,289 \times 0,55} = 151$$

Λαμβάνεται τάση χάλυβα $\sigma_{e_z} = 2400 \text{ kg/cm}^2$.

Ἐπειδὴ πρόκειται γιὰ πρόβολο ἢ ἐπίδραση τοῦ ἔρπουσμοῦ εἶναι σημαντική.



Έπιρροή του έρπυσμού

$$\text{Έπειδή } \lambda > 30 \Rightarrow \Delta m_{\varphi} = \frac{\lambda - 30}{100} \sqrt{\varphi_{\infty} \cdot \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Είναι } m_0 &= \frac{M}{N \cdot k_D} = \frac{5,75}{Q_{0\lambda} \times \frac{0,55}{6}} = \frac{5,75}{(9,5 + 11,5) \times \frac{0,55}{6}} = \\ &= 2,987 > 2. \end{aligned}$$

- Στο N δέν περιλαμβάνεται τό $G_{\lambda 6}$ γιατί η έκκεντρότητα αναφέρεται στην κεφαλή του στύλου.

$$\alpha = \frac{2}{1 + \frac{m_0}{2}} = \frac{2}{1 + \frac{2,987}{2}} = 0,802$$

$$\text{Άπ' τόν πίνακα 34} \Rightarrow \varphi_{\infty} = 2,50k$$

$$\text{Λαμβάνεται } k = 0,75, \text{ άρα } \varphi_{\infty} = 2,50 \times 0,75 = 1,875 \text{ και}$$

$$\Delta m_{\varphi} = \frac{151 - 30}{100} \sqrt{1,875 \cdot 0,802} = 1,33.$$

$$1. \text{ Υποτίθεται } \mu_z = 0,4\% \Rightarrow \Delta m = 3,5$$

$$\Delta M = N \cdot \Delta m \cdot k_D + N_g \cdot \Delta m \varphi \cdot k_D =$$

$$= (8,0 + 1,5 + 1,5 + 10,0 + 5,0) \times 3,5 \times \frac{0,55}{6} + (8,0 + 1,5 + 5,0) \times 1,33 \times \frac{0,55}{6} =$$

$$= 26,0 \times 3,5 \times \frac{0,55}{6} + 14,5 \times 1,33 \times \frac{0,55}{6} = 8,34 + 1,77 = 10,11 \text{ tm.}$$

"Αρα $M_{O\lambda} = 5,75 + 10,11 = 15,86 \text{ tm}$

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{15,86}{26,0 \times 0,55} = 1,11 > 0,70 \quad (\text{μεγάλη έκκεντρότητα})$$

Ροπή υπολογισμού

$$M_e = 15,86 - N \cdot \gamma_e = 15,86 + 26,0 \times \left(\frac{0,55}{2} - 0,05 \right) = 15,86 + 5,85 = 21,71 \text{ tm}$$

$$\frac{\varepsilon \pi \sigma_b}{\varepsilon \pi \sigma_e} = \frac{110}{2400} \Rightarrow k_h^* = 7,2$$

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{21,71}{0,30}}} = 5,9 < 7,2 \Rightarrow k_e = 0,47, \quad k'_e = 0,26$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{5}{50} = 0,10 \Rightarrow \rho' = 1,14$$

"Αρα $F_e = \frac{M_e}{h} \cdot k_e + \frac{N}{\sigma_e} = \frac{21,71}{0,50} \times 0,47 - \frac{26,0}{2,4} = 20,41 - 10,83 = 9,57 \text{ cm}^2$

$$F'_e = \frac{M_e}{h} \cdot k'_e \cdot \rho' = \frac{21,71}{0,50} \times 0,26 \times 1,14 = 12,87 \text{ cm}^2$$

$$\mu_z = \frac{F_e}{b \cdot d} = \frac{9,57}{30 \times 55} = 0,58\%$$

2. Για $\mu_z = 0,58\% \Rightarrow \Delta m = 3,7$

$$\text{Τότε } \Delta M = 8,34 \times \frac{3,7}{3,5} + 1,77 = 8,82 + 1,77 = 10,59 \text{ tm}$$

$$\text{καί } M_{O\lambda} = 5,75 + 10,59 = 16,34 \text{ tm}$$

Ροπή υπολογισμού

$$M_e = 16,34 - N \cdot \gamma_e = 16,34 + 5,85 = 22,19 \text{ tm}$$

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{22,19}{0,30}}} = 5,8 < 7,2 \Rightarrow k_e = 0,47, \quad k'_e = 0,27, \quad \rho' = 1,14$$

"Αρα $F_e = \frac{22,19}{0,50} \times 0,47 - \frac{26,0}{2,4} = 20,86 - 10,83 = 10,03 \text{ cm}^2$

$$F'_e = \frac{22,19}{0,50} \times 0,27 \times 1,14 = 13,66 \text{ cm}^2$$

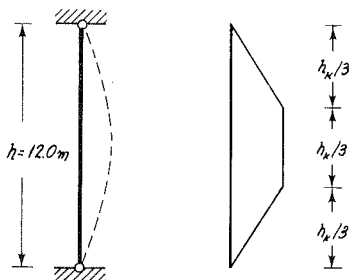
$$\mu_z = \frac{10,03}{30 \times 55} = 0,61\%$$

3. Για $\mu_z = 0,61\% \Rightarrow \Delta m = 3,7$ (ίδιο με τό προηγούμενο)

Είναι λοιπόν $F_e = 10,03 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 4\phi 20 (=12,56 \text{ cm}^2)$

$F'_e = 13,66 \text{ cm}^2 \Rightarrow F'_e = 5\phi 20 (=15,70 \text{ cm}^2)$

Διεύθυνση γ-γ



$$\lambda = \frac{h_{ky}}{i_x} = \frac{12,0}{0,289 \times 0,30} = 138$$

Λαμβάνεται τάση χάλυβα $\sigma_{e_z} = 2400 \text{ kg/cm}^2$.

Εδῶ πρόκειται για κατάσταση πού πλησιάζει τήν πραγματική αμφιαρθρωτή ράβδο (σέ αντίθεση μέ στύλους κοινῶν οἰκοδομικῶν ἔργων) γι'αυτό λαμβάνεται ὑπ'ὄψη ὁ ἔρπυσμός.

$$m_0 = \frac{M}{N \cdot k_D} = 0 \Rightarrow \alpha = 1,0$$

$$\varphi_\infty = 1,875, \text{ ἄρα } \Delta m_\varphi = \frac{138-30}{100} \sqrt{1,875} = 1,48$$

1. Ὑποτίθεται $\mu_z = 0,4\% \Rightarrow \Delta m = 3,1$

$$\Delta M = 26,0 \times 3,1 \times \frac{0,30}{6} + 14,5 \times 1,48 \times \frac{0,30}{6} = 4,03 + 1,07 = 5,10 \text{ tm}$$

$$\gamma = \frac{\Delta M}{N \cdot b} = \frac{5,10}{26,0 \times 0,30} = 0,65 \left\{ \begin{array}{l} > 0,35 \\ < 0,70 \end{array} \right. \quad (\text{μέση ἐκκεντρότητα})$$

$$M_e = \Delta M - N y_e = 5,10 + 26,0 \times \left(\frac{0,30}{2} - 0,03 \right) = 5,10 + 3,12 = 8,22 \text{ tm}$$

$$M'_e = \Delta M + N y'_e = \quad - \quad \quad \quad = \quad - \quad \quad = 1,98 \text{ tm}$$

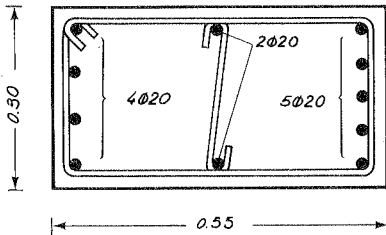
$$\rho = \frac{M_e}{\epsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{8,22}{1100 \times 0,55 \times 0,27^2} = 0,19$$

$$\rho' = \frac{M'_e}{\epsilon \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{1,98}{1100 \times 0,55 \times 0,27^2} = 0,05$$

Εἶναι $\frac{h'}{h} = \frac{3}{27} = 0,11$ Ἄρα $\mu = \mu' = 0,4\%$ (πίν. 15)

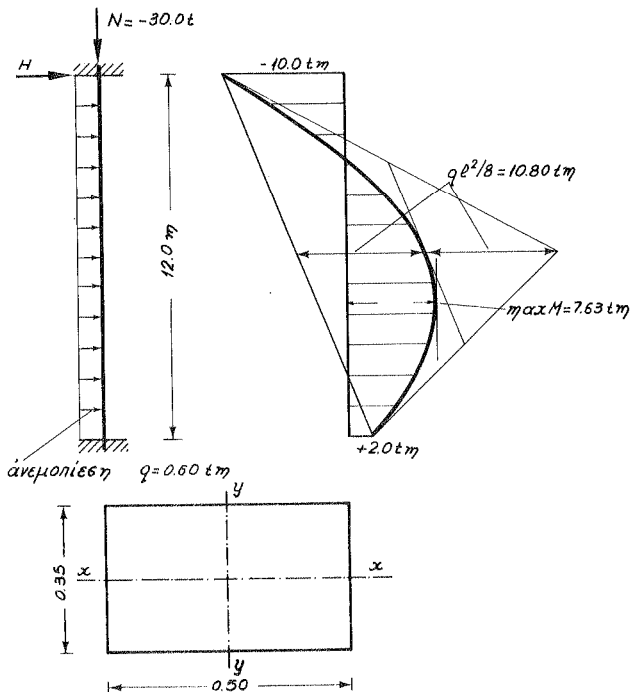
Ἐπομένως $F_e = F'_e = \frac{0,4}{100} \times 30 \times 55 = 6,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow$

$F_e = F'_e = 3\phi 20 (=9,42 \text{ cm}^2)$



ΑΣΚΗΣΗ 61

Στόν στύλο τοῦ πλαισίου προέκυψε, ἀπὸ κατακόρυφα καὶ ὀριζόντια φορτία, τὸ διάγραμμα ροπῶν τοῦ σχήματος. Νά ὑπολογισθοῦν καὶ νά σχεδιασθοῦν οἱ ἀναγκαῖοι ὀπλισμοί. Ὑλικά: B300 καὶ StII.



Λύση

Διεύθυνση x-x

Επειδή είναι περίπτωση αμφίπακτης ράβδου με μετακινούμενα άκρα ή ΔM είναι δυσμενέστερη στην κεφαλή και στον πόδα. Άρα η δυσμενέστερη κατάσταση είναι στην κεφαλή του στύλου.

$$\lambda_x = \frac{h_{kx}}{i_y} = \frac{12,0}{0,289 \times 0,50} = 83$$

1. Υποτίθεται $\mu_z = 0,4\%$. Για τάση $\sigma_{e_z} = \epsilon \rho \sigma_e = 1800 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$

$$\Delta m = 1,3$$

$$\Delta M = N \cdot \Delta m \cdot k_D = 30 \times 1,3 \times \frac{0,50}{6} = 3,25 \text{ tm}$$

$$M_{o\lambda} = M + \Delta M = 10,0 + 3,25 = 13,25 \text{ tm}$$

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{13,25}{30 \times 0,50} = 0,88 > 0,70$$

$$M_e = M - N \cdot y_e = 13,25 + 30 \times \left(\frac{0,50}{2} - 0,05 \right) = 19,25 \text{ tm}$$

$$\frac{\epsilon \rho \sigma_b}{\epsilon \rho \sigma_e} = \frac{110}{1800} \Rightarrow k_h^* = 6,7$$

$$k_h = \frac{45}{\sqrt{\frac{19,25}{0,35}}} = 6,1 \Rightarrow k_e = 0,65, k'_e = 0,14 \left(\frac{h'}{h} = \frac{5}{45} = 0,11 \Rightarrow \rho' = 1,16 \right)$$

$$F_e = 0,65 \times \frac{19,25}{0,45} - \frac{30}{1,80} = 27,81 - 16,67 = 11,14 \text{ cm}^2$$

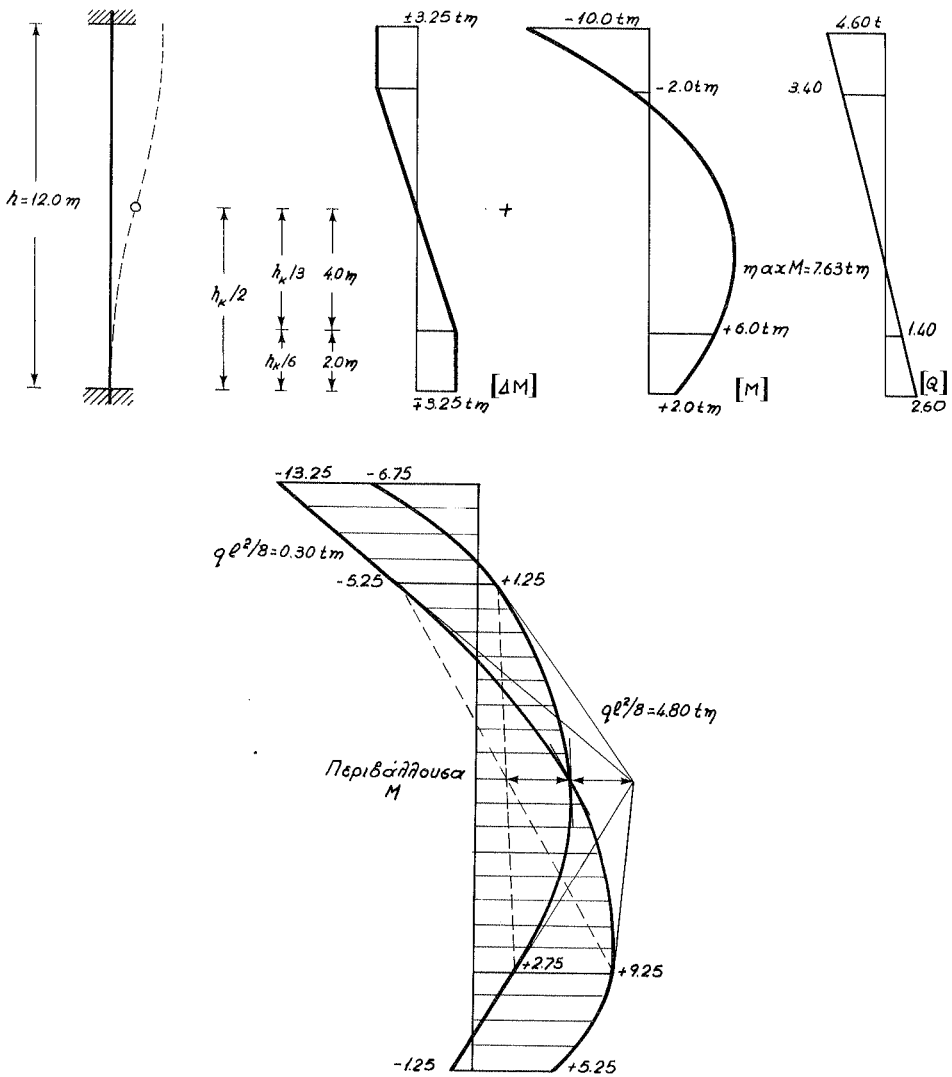
$$F'_e = 0,14 \times \frac{19,25}{0,45} \times 1,16 = 6,95 \text{ cm}^2$$

$$\mu_z = \frac{11,14}{35 \times 50} = 0,64\%$$

2. Για $\mu_z = 0,64\% \Rightarrow \Delta m \approx 1,3$ (δηλ. ίδιο με τό προηγούμενο).

Τοποθετούνται λοιπόν $F_e = 4\emptyset 20$ ($= 12,56 \text{ cm}^2$), $F'_e = 3\emptyset 20$ ($9,42 \text{ cm}^2$).

Η συνολική έντατική κατάσταση προκύπτει από τό άθροισμα της πλαισιακής λειτουργίας και τών έναλλασσόμενων πρόσθετων ροπών.



Έλεγχος στην διατομή που έχει $M_{o\lambda} = +9,25 \text{ tm}$.

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{9,25}{30 \times 0,50} = 0,617 \left. \begin{array}{l} > 0,35 \\ < 0,70 \end{array} \right\}$$

$$M_e = M - N \cdot y_e = 9,25 + 30,0 \times 0,20 = 15,25 \text{ tm}$$

$$M'_e = M + N \cdot y_e = 9,25 - 30,0 \times 0,20 = 3,25 \text{ tm}$$

$$\rho = \frac{M_e}{\varepsilon \pi \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{15,25}{1100 \times 0,35 \times 0,45^2} = 0,20$$

$$\rho' = \frac{M'_e}{\varepsilon \pi \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{3,25}{1100 \times 0,35 \times 0,45^2} = 0,04$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{5}{45} = 0,11 \quad \text{'Απ'τόν πίνακα 15} \Rightarrow \mu = \mu' = 0,4\%$$

Ο ελάχιστος όπλισμός είναι $\mu_o = \mu'_o = 0,4\%$.

$$F_e = F'_e = \frac{0,4}{100} \times 35 \times 50 = 7,00 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = F'_e = 3\phi 20 \quad (9,42 \text{ cm}^2)$$

Αυτός ο όπλισμός πρέπει να υπάρχει σ'όλο το ύψος του στύλου γιατί είναι ο ελάχιστος αναγκαίος.

Διεύθυνση γ-γ

$$\lambda = \frac{h_{ky}}{1_x} = \frac{12,0}{0,289 \times 0,35} = 119$$

1. Υποτίθεται $\mu_z = 0,4\%$.

$$\text{Γιά τάση } \sigma_{e_z} = 1800 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta m = 2,3$$

$$\Delta M = N \cdot \Delta m \cdot k_D = 30 \times 2,3 \times \frac{0,35}{6} = 4,03 \text{ tm}$$

$$M_{o\lambda} = \Delta M = 4,03 \text{ tm}$$

$$\gamma = \frac{M}{N \cdot d} = \frac{4,03}{30 \times 0,35} = 0,38 \quad \left. \begin{array}{l} > 0,35 \\ < 0,70 \end{array} \right\}$$

$$M_e = M - N \cdot y_e = 4,03 + 30,0 \times 0,145 = 8,38 \text{ tm}$$

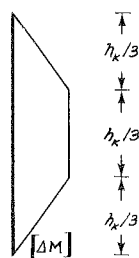
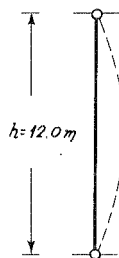
$$M'_e = M + N \cdot y'_e = 4,03 - 30,0 \times 0,145 = -0,32 \text{ tm}$$

$$\rho = \frac{M_e}{\varepsilon \pi \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{8,38}{1100 \times 0,50 \times 0,32^2} = 0,15$$

$$\rho' = \frac{M'_e}{\varepsilon \pi \sigma_b \cdot b \cdot h^2} = \frac{-0,32}{1100 \times 0,50 \times 0,32^2} = -0,006$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{3}{32} = 0,09$$

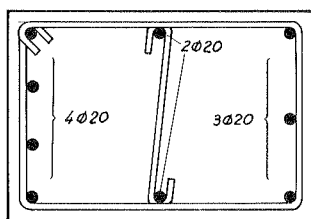
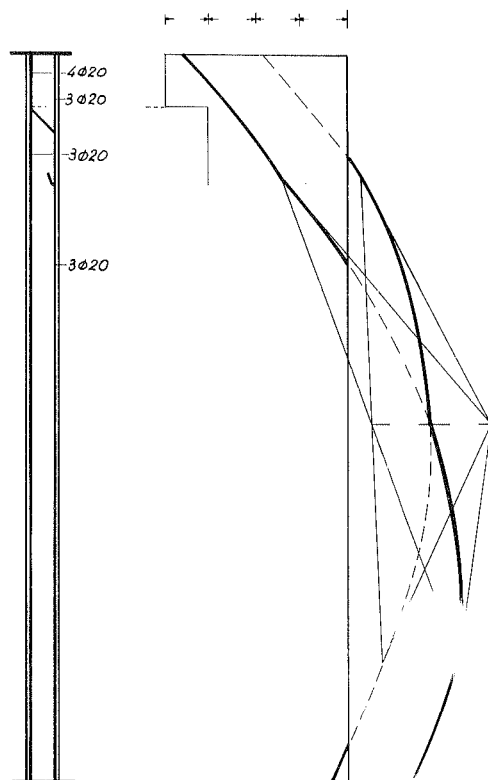
Απ'τόν πίνακα 15 $\Rightarrow \mu = \mu' = 0,4\%$. Ο όπλισμός αυτός υπάρχει.



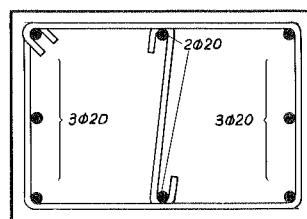
Σχεδίαση όπλισμῶν

Τά $11,14\text{cm}^2$ παίρνουν ροπή $13,25\text{tm}$

Τό $1\phi 20 \Rightarrow 3,14\text{cm}^2$ παίρνει ροπή $3,73\text{tm}$



Διατομή κεφαλής



Διατομή ποδός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VIII

ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στή μέθοδο τών επιτρεπόμενων τάσεων είχε γίνει θεώρηση τριγωνικού διαγράμματος τάσεων σκυροδέματος. Στή μέθοδο συνολικής άντοχής γίνεται ή θεώρηση όρθογωνιικού καί παραβολιικού διαγράμματος τάσεων σκυροδέματος.



Η θεώρηση του διαγράμματος τάσεων στην μέθοδο της συνολικής άντοχής σημαίνει ότι ή έξάντληση της άντοχής του σκυροδέματος είναι δυνατό νά συνεχίζεται καί πέρα από την πάνω ζνα. Μέ την θεώρηση αυτή τό σκυρόδεμα έχει μεγαλύτερη δυνατότητα νά αναλάβη θλίψη άπ'ότι μέ την θεώρηση τριγωνικού διαγράμματος τάσεων.

Στήν μέθοδο συνολικής άντοχής συγκρίνεται ή κατάσταση λειτουργίας πρός την κατάσταση θραύσης, γι'αυτό καί ύπάρχει ένας ένιαϊος συντελεστής άσφαλείας.

Αντίθετα στην μέθοδο τών επιτρεπόμενων τάσεων δέν γίνεται καμμιά σύγκριση μεταξύ καταστάσεων λειτουργίας καί θραύσης, γι'αυτό καί δέν είναι δυνατό νά αναφέρεται ένιαϊος συν-

τελεστής ασφαλείας.

Στήν επίλυση τών διάφορων προβλημάτων ή μέθοδος τής συνολικής άντοχής είναι πλεονεκτική γιατί είναι κοινή γιά όλα τά προβλήματα σέ αντίθεση μέ τήν μέθοδο τών έπιτρεπόμενων τάσεων όπου τά διάφορα προβλήματα (κεντρική θλίψη, μικρή, μεσαία, μεγάλη έκκεντρότητα) αντιμετωπίζονταν μέ διαφορετικό τρόπο.

1. ΓΕΝΙΚΑ

1.1. Μέ τήν μέθοδο αύτή υπολογίζεται ή μέγιστη ροπή M_u πού μπορεί νά παραλάβη ή διατομή άκριβώς πριν άστοχήση. Η ροπή M_u λέγεται "ροπή θραύσης".

1.2. Η θραύση προκαλείται είτε από έξάντληση τής κρίσιμης παραμόρφωσης τοϋ σκυροδέματος είτε από έξάντληση τής κρίσιμης παραμόρφωσης τοϋ χάλυβα.

1.3. Η κρίσιμη παραμόρφωση, γιά τό σκυρόδεμα είναι, $\epsilon_b = 2\div 3,5\%$ ανάλογα άν υπερισχύη ή θλίψη ή ή κάμψη (βλέπε πίνακα 35) καί γιά τόν χάλυβα $\epsilon_e = 5\%$.

1.4.1. Γιά τό σκυρόδεμα ή σχέση τάσεων-παραμορφώσεων, δίνε-ται στό διάγραμμα ($\epsilon_b, \frac{\sigma_b}{\beta_R}$) γιά όλες τίς ποιότητες σκυροδέματος (πίνακας 36). Η τάση β_R όνομάζεται υπολογιστική άντοχή καί είναι σταθερή γιά κάθε ποιότητα σκυροδέματος. Η υπολογιστική άντοχή κάθε ποιότητας σκυροδέματος είναι ένα ποσοστό τής συμβατικής (B) ή όνομαστικής (B_n), άντοχής του.

$$\beta_R = \begin{cases} k_R \cdot B \\ k_R^* \cdot B_n \end{cases}$$

Συμβατική άντοχή B	160	225	300	450	600
k_R	0,6	0,6	0,6	0,55	
Όνομαστική άντοχή B_n	150	250	350	450	550
k_R^*	0,7	0,7	0,65	0,6	0,55

• Στούς Γερμανικούς κανονισμούς είναι:

για $B_{\eta 350}$: $\beta_R = 230 \text{ kg/cm}^2$ ($k_R^* = 0,657$)
 και για $B_{\eta 550}$: $\beta_R = 300 \text{ kg/cm}^2$ ($k_R^* = 0,545$)

1.4.2. Για τόν χάλυβα ή σχέση τάσεων-παραμορφώσεων δίνεται από δυό εύθετες για κάθε ποιότητα.

Η μία εύθετα έχει κλίση ίση με τό μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα $E_e = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ και τελειώνει στο σημείο σ_B , όπου σ_B ή άντοχή του κάθε χάλυβα σε διαρροή. (Από τόν πιό πάνω όρισμό προκύπτει ότι τό τέλος της πρώτης εύθείας άντιστοιχεί σε παραμόρφωση $\epsilon_e = \frac{\sigma_B}{2,1 \times 10^6}$).

Η δεύτερη εύθετα είναι όριζόντια και τελειώνει στο σημείο πού άντιστοιχεί σε παραμόρφωση $\epsilon_e = 5\%$ (βλέπε πίνακα 38).

1.5. Οι έσωτερικές δυνάμεις διατομής όπλισμένου σκυροδέματος είναι:

D_b : ή δύναμη πού όφείλεται στο σκυρόδεμα

D_e : " " " " στον θλιβόμενο όπλισμό

Z : " " " " έφελκόμενο όπλισμό

2. ΑΝΑΓΚΑΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΜΨΗΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Πορεία έργασίας:

1. Γίνεται άρχή με τήν προϋπόθεση ότι θά προκύψη έφελκόμενος όπλισμός περισσότερος από θλιβόμενο.

Πρώτος τρόπος: Με τό γενικό νομογράφημα (πίνακας 39)

$$\text{Υπολογίζεται ή ποσότητα } 100m_e = \frac{100M_e (tm)}{b(m)h^2(m^2) \cdot \beta_R (t/m^2)}$$

όπου $M_e = M - N \cdot y_e$.

Όταν $100m_e \leq 19,2$ χρησιμοποιείται μόνο έφελκόμενος όπλισμός.

Στό σημείο $100m_e$ χαράζεται μία κατακόρυφη εύθετα, πού τέμνει τίς καμπύλες $\epsilon_1(\epsilon_b)$, $\epsilon'_e, \nu, k_b, k_x, \epsilon_e$ και k_z σε σημεία

πού προβάλλονται στον άξονα τών τετμημένων και μάς δίνουν τίσ αντίστοιχες τιμές. Από αυτές τίσ τιμές μάς ενδιαφέρουν ό συντελεστής άσφαλείας ν, ό συντελεστής τοϋ μοχλοβραχίονα z, k_z ώστε z=k_z.h, και ή παραμόρφωση τοϋ χάλυβα ε_e άπ'τήν όποία υπολογίζεται ή τάση τοϋ χάλυβα σ_{eu}. Ο άναγκαϊός όπλισμός είναι:

$$F_e (cm^2) = \frac{\nu}{\sigma_{eu} (t/cm^2)} \left(\frac{M_e (tm)}{z (m)} + N(t) \right)$$

Όταν 100m_e > 19,2 χρησιμοποιεΐται έφελκυσόμενος και θλιβόμενος όπλισμός.

Βρίσκεται ή ροπή M_{eb} πού άντιστοιχεΐ στήν τιμή

$$100m_e^* = 19,2 \text{ δηλαδή } M_{eb} = m_e^* \cdot b \cdot h^2 \cdot \beta_R \Rightarrow \Delta M_e = M_e - M_{eb}$$

Στήν τιμή 100m_e^{*} άντιστοιχοϋν και οι τιμές ν=1,75, ε_e=3‰ και k_z=0,78. Άρα:

$$F_e = \frac{\nu}{\sigma_{eu}} \cdot \left(\frac{M_{eb}}{z} + \frac{\Delta M_e}{h-h'} + N \right)$$

$$F'_e = \frac{\nu}{\sigma'_{eu}} \cdot \frac{\Delta M_e}{h-h'}$$

Παρατηρήσεις

★ Η τιμή 100m_e^{*} = 19,2 είναι ή όριακή τιμή οίκονομικης χρησιμοποίησης μόνο έφελκυσόμενου όπλισμοϋ. Για μεγαλύτερες τιμές 100m_e είναι οίκονομικότερο νά χρησιμοποιοϋμε και θλιβόμενο όπλισμό.

★ Έπειδή χρησιμοποιοϋμε τιμές 100m_e ≤ 19,2 είναι πάντοτε ν=1,75 και ε_e ≥ 3‰ ⇒ σ_{eu} = σ_β για όλες τίσ ποιότητες χάλυβα.

★ Η τάση τοϋ θλιβόμενου όπλισμοϋ έξαρτάται άπό τόν λόγο $\frac{h'}{h}$ αλλά για ποιότητα χάλυβα BSt 42/50 και κατώτερη, είναι σ' _{eu} = σ_β

Δεύτερος τρόπος: Μέθοδος k_h (πίνακες 40, 41, 42)

$$\text{Υπολογίζεται ή ποσότητα } k_h = \frac{h \text{ (cm)}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ (tm)}}{b \text{ (m)}}}}$$

όπου $M_e = M - N \cdot y_e$

Όταν $k_h \geq k_h^*$ χρησιμοποιείται μόνο έφελκόμενος όπλισμός.

Γιά τήν συγκεκριμένη ποιότητα χάλυβα καί σκυροδέματος προκύπτει μία τιμή k_e καί μία τιμή $\sigma_e = \frac{\sigma_{eu}}{v}$

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = k_e \cdot \frac{M_e \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}} + \frac{N \text{ (t)}}{\sigma_e \text{ (t/cm}^2\text{)}}$$

Σύγχρονα στόν αντίστοιχο πίνακα υπάρχει καί ή τιμή μιᾶς όριακῆς διαμέτρου d_e πού έξασφαλίζει περιορισμένη ρηγμάτωση τοῦ σκυροδέματος.

Όταν $k_h < k_h^*$ χρησιμοποιείται έφελκόμενος καί θλιβόμενος όπλισμός.

Γιά τήν συγκεκριμένη ποιότητα χάλυβα καί σκυροδέματος προκύπτουν οἱ τιμές k_e καί k'_e καί $\sigma_e = \frac{\sigma_{eu}}{v}$.

$$F_e = k_e \frac{M_e}{h} \cdot \rho + \frac{N}{\sigma_e} \quad \text{όπου } \rho, \rho' = f \left(\frac{h'}{h}, k_e \right)$$

$$F'_e = k'_e \frac{M_e}{h} \cdot \rho'$$

Αν προκύψη έφελκόμενος όπλισμός μικρότερος τοῦ θλιβόμενου ή λύση δέν γίνεται δεκτή, αλλά χρησιμοποιείται συμμετρικός όπλισμός.

Συμμετρικός όπλισμός (πίνακες 43÷51).

Εκλέγεται ό πίνακας πού αντιστοιχεῖ στήν ποιότητα τοῦ χάλυβα καί στόν λόγο $\frac{h'}{h}$.

Υπολογίζονται οἱ ποσότητες $\eta = \frac{N}{b \cdot d \cdot \beta_R}$ καί $m = \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot \beta_R}$.
Στό σημείο (η, m) διαβάζεται ή τιμή $\bar{\mu}_o = \bar{\mu}'_o$.

Ο άναγκαῖος όπλισμός εἶναι:

$$\mu_o = \mu'_o = \bar{\mu}_o \cdot \frac{\beta_R}{\beta_s} \quad (F_e = F'_e = \mu_o \cdot b \cdot d)$$

Παρατηρήσεις

* "Αν υπάρχει μεγάλη άξονική δύναμη σε σχέση με μικρή ροπή κάμψης, προβλέπεται απ' την αρχή ότι χρειάζεται συμμετρικός όπλισμός.

* Οι πλάκες που υπάρχουν στα Beton-Kalender για $\mu_0 \neq \mu_0'$ (ανάλογοι με τους πλάκες Moersch στην μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων) δεν έχουν πρακτική σημασία μια και η οίκονομία εξασφαλίζεται με όσα έχουν αναπτυχθεί ως εδώ.

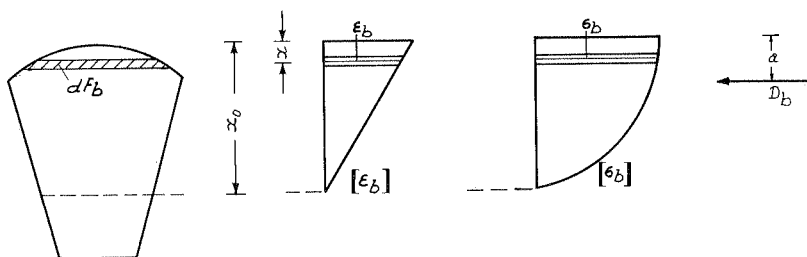
3. ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΤΟΝΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Δίνονται οι διαστάσεις και ο όπλισμός μιας διατομής και ζητείται η μεγαλύτερη ροπή που μπορεί να αναλάβει αυτή.

3.1. ΤΥΧΑΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ

3.1.1 Υπολογισμός έσωτερικών δυνάμεων της διατομής

α. Δύναμη αναλαμβανόμενη από το σκυρόδεμα



Έστω το διάγραμμα των παραμορφώσεων του σκυροδέματος, που αντιστοιχεί σε ένα τμήμα της διατομής ύψους x_0 .

Στο διάγραμμα αυτό αντιστοιχεί ένα διάγραμμα τάσεων του σκυροδέματος. Η αναλαμβανόμενη από το σκυρόδεμα δύναμη είναι:

$$D_b = \int \sigma_b \cdot dF_b.$$

Στην πράξη, για τυχαία διατομή, το πιο πάνω ολοκλήρωμα υπολογίζεται αφού διαιρεθώ η διατομή ύψους x_0 σε ζώνες έμβαστων F_{bi} . Αν σ_{bi} οι τάσεις του σκυροδέματος, που αντιστοιχούν στα κέντρα βάρους των ζωνών είναι:

$$D_b = \sum_i \sigma_{bi} \cdot F_{bi}$$

Ἡ ἀπόσταση a τῆς συνιστάμενης δύναμης D_b ἀπὸ τὴν πάνω ἴνα εἶναι:

$$a = \frac{\sum_i F_i \cdot \sigma_{bi} \cdot x_i}{\sum_i F_i \cdot \sigma_{bi}}$$

Στὴν περίπτωση ὀρθογωνικῆς διατομῆς ὁ ὑπολογισμὸς τῶν D_b καὶ a ἔχει πινακοποιηθῇ (πίνακας 37).

$$D_b = \alpha \cdot \beta_R \cdot x_o \cdot b$$

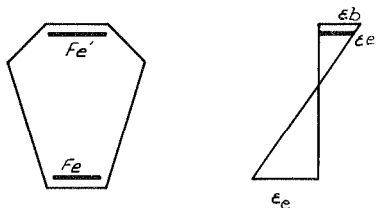
$$a = k_\alpha \cdot x_o$$

β. Δύναμη ἀναλαμβανόμενη ἀπὸ τὸν ὀπλισμό

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων προκύπτει ἡ ἀντίστοιχη τάση τοῦ χάλυβα.

$$\sigma_e = \sigma_{\beta} \quad \text{ἀν} \quad \epsilon_e > \frac{\sigma_{\beta}}{2,1 \times 10^6}$$

$$\sigma_e = \epsilon_e \times 2,1 \times 10^6 \quad \text{ἀν} \quad \epsilon_e < \frac{\sigma_{\beta}}{2,1 \times 10^6}$$



Ἡ δύναμη ποὺ ἀναλαμβάνουν οἱ ὀπλισμοί εἶναι:

$$D_e = \sigma_e' \cdot F_e'$$

$$Z_e = \sigma_e \cdot F_e$$

3.1.2 Ὑπολογισμός τῆς ροπῆς θραύσης διατομῆς

(μέ δοκιμές)

1η Δοκιμή

Λαμβάνονται $\epsilon_b = 3,5\%$, $\epsilon_e = 5\%$.

Μέ βάση αὐτές τίς παραμορφώσεις ὑπολογίζομε τίς δυνάμεις D_b, Z καί D_e (ἂν ὑπάρχη). Στήν συνέχεια ὑπολογίζεται ἡ δύναμη.

$$D = D_b + D_e + \nu \cdot N$$

ὅπου $N =$ ἡ ἑξωτερική δύναμη μέ θετικό πρόσημο γιά τόν ἐφελκυσμό καί $\nu = 0$ συντελεστής ἀσφαλείας.

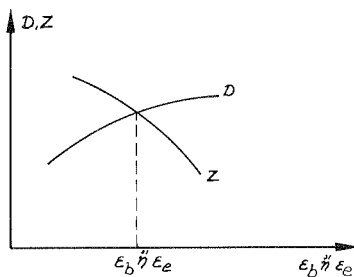
Γιά νά ὑπάρχη ἰσορροπία πρέπει $D = Z$.

Ἄν $D > Z$ σημαίνει ὅτι κρίσιμο ὕλικό εἶναι ὁ χάλυβας, ὁ ὁποῖος ἐξαντλεῖ τήν παραμόρφωση του πρίν ἀπ'τό σκυρόδεμα. Στήν περίπτωση αὐτή, οἱ ἐπόμενες δοκιμές γίνονται μέ μεταβολές τῆς παραμόρφωσης ϵ_b , ἐνῶ ἡ ϵ_e παραμένει σταθερή, ἴση μέ 5% .

Ἄν $D < Z$ σημαίνει ὅτι κρίσιμο ὕλικό εἶναι τό σκυρόδεμα τό ὁποῖο ἐξαντλεῖ τήν παραμόρφωσή του πρίν ἀπ'τόν χάλυβα. Στήν περίπτωση αὐτή, οἱ ἐπόμενες δοκιμές γίνονται μέ μεταβολές τῆς παραμόρφωσης ϵ_e , ἐνῶ ἡ ϵ_b παραμένει σταθερή ἴση μέ $3,5\%$.

Καί στίς δύο περιπτώσεις μέ τίς διαδοχικές δοκιμές βρίσκονται διάφορες τιμές D καί Z .

Οἱ δοκιμές τελειώνουν ὅταν προκύψῃ $D = Z$. Ὅταν ἡ ἰσότητα $D = Z$ δέν ἔχει βρεθῇ μέ τρεῖς δοκιμές, ἡ λύση βρίσκεται γραφικά.



3.1.3. Υπολογισμός της ροπής λειτουργίας της διατομής

Από την ροπή θραύσης και απ'τόν συντελεστή ασφαλείας βρίσκεται ή "ροπή λειτουργίας".

$$M = \frac{M_u}{\nu}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας ν προκύπτει από τον πίνακα 35 ανάλογα με την παραμόρφωση ϵ_e .

3.2 ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Τό πρόβλημα λύνεται ή με τόν προηγούμενο τρόπο δηλαδή δοκιμαστικά ή με τό γενικό νομογράφημα.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 62

Νά υπολογισθῇ ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός ὀρθογωνικῆς διατομῆς 40x40 πού καταπονεῖται μέ ροπή

$M = 10,0 \text{ tm}$ καί ἀξονική δύναμη $N = 0$.

Υλικά: Bη150, Bst 42/50.

Λύση

Εἶναι $\beta_R = 0,7 \times 150 = 105 \text{ kg/cm}^2 = 1050 \text{ t/m}^2$, $\sigma_{eu} = \beta_s = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 4,2 \text{ t/cm}^2$.

1ος τρόπος (Μέ τό γενικό νομογράφημα, πίνακας 39)

$$\text{Υπολογίζεται ἡ ποσότητα } 100m_e = \frac{100M_e}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R}$$

ὅπου $M_e = M - N \cdot y_e = 10,0 \text{ tm}$, $b = 0,40 \text{ m}$, $h = 0,37$, $\beta_R = 1050 \text{ t/m}^2$.

$$\text{Άρα } 100m_e = \frac{100 \times 10,0}{0,40 \times 0,37^2 \times 1050} = 17,4 \quad (< 19,2 = 100m_e^*) \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \nu = 1,75 \\ \epsilon_e = 3,8\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu} = 4,20 \text{ t/cm}^2 \quad (\text{πίν. 38}) \\ k_Z = 0,80 \Rightarrow Z = k_Z \cdot h = 0,80 \times 0,37 = 0,296 \text{ m} \end{cases}$$

Ο αναγκαῖος ὀπλισμός είναι:

$$F_e = \frac{v}{\sigma_{eu}} \cdot \left(\frac{M_e}{b} + N \right) = \frac{1,75}{4,20} \times \frac{10,0}{0,296} = 14,08 \text{ cm}^2$$

2ος τρόπος (μέθοδος k_h , πίνακας 41).

$$\text{Υπολογίζεται ἡ ποσότητα } k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}}$$

ὅπου $M_e = 10,0 \text{ tm}$, $h = 37 \text{ cm}$, $b = 0,40 \text{ m}$

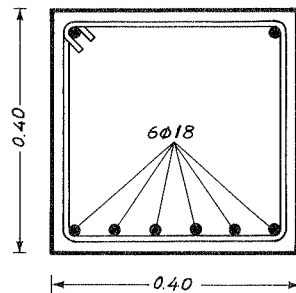
$$k_h = \frac{37}{\sqrt{\frac{10,0}{0,40}}} = 7,4 \quad (> 7,02 = k_h^*) \Rightarrow k_e = 0,52$$

$$F_e = k_e \cdot \frac{M_e}{h} + \frac{N}{\frac{\sigma_{eu}}{v}} = 0,52 \times \frac{10,0}{0,37} = 14,05 \text{ cm}^2$$

Βλέπουμε ὅτι καί μέ τούς δύο τρόπους προκύπτει ὁ ἴδιος ὀπλισμός $F_e = 14,05 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 6\phi 18 (= 15,24 \text{ cm}^2)$

Παρατήρηση

★ Καί οἱ δύο μέθοδοι εἶναι τό ἴδιο ἀπλές. Τό μειονέκτημα τῆς 1ης μεθόδου εἶναι ἡ ἀνακρίβεια στίς ἀναγνώσεις τῶν τιμῶν ϵ_e , k_h . Ἰσχύει ὅμως γιά ὅλες τίς ποιότητες ὑλικῶν καί γιά ὀνομαστικές (B_h) καί γιά συμβατικές (B) ἀντοχές σκυροδέματος. Ἀντίθετα μέ τήν 2η μέθοδο λαμβάνονται λύσεις μόνο γιά ὀνομαστικές ἀντοχές σκυροδέματος (B_h).



ΑΣΚΗΣΗ 63

Νά ὑπολογισθῇ ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός ὀρθογωνικῆς διατομῆς 40x40 πού καταπονεῖται μέ ροπή $M = 10,0 \text{ tm}$ καί ἀξονική δύναμη $N = -30,0 \text{ t}$.

Υλικά: B_h150, B_{st} 42/50.

Λύση

1ος τρόπος (Μέ τό γενικό νομογράφημα , πίνακας 39).

$$\text{Υπολογίζεται ή ποσότητα } 100m_e = \frac{100M_e}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R}$$

$$\text{όπου } M_e = M - N \cdot Y_e = 10,0 + 30,0 \left(\frac{0,40}{2} - 0,03 \right) = 15,10 \text{ tm}$$

$$b = 0,40, \quad h = 0,37, \quad \beta_R = 0,7 \times 1500 = 1050 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Άρα } 100m_e = \frac{100 \times 15,10}{0,40 \times 0,37^2 \times 1050} = 26,3 \quad (> 19,2 = 100m_e^*)$$

$$\begin{aligned} \text{Στήν τιμή } 100m_e^* &= 19,2 \text{ αντιστοιχεῖ ροπή } 100M_{e_b} = 100m_e^* \cdot b \cdot h^2 \cdot \beta_R \\ \Rightarrow M_{e_b} &= 0,192 \times 0,40 \times 0,37^2 \times 1050 = 11,04 \text{ tm,} \quad \text{άκόμη για} \\ 100m_e^* &= 19,2 \text{ έχω } v = 1,75, \quad \sigma_{eu} = 4,20 \text{ t/cm}^2, \quad k_z = 0,78 \Rightarrow (z = 0,78 \times 0,37 = \\ &= 0,289 \text{ m}). \end{aligned}$$

$$\Delta M_e = M_e - M_{e_b} = 15,10 - 11,04 = 4,06 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{v}{\sigma_{eu}} \cdot \left(\frac{M_{e_b}}{z} + \frac{\Delta M_e}{h-h'} + N \right) = \frac{1,75}{4,20} \left(\frac{11,04}{0,289} + \frac{4,06}{0,37-0,03} - 30,0 \right) = \\ &= 8,39 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$F'_e = \frac{v}{\sigma'_{eu}} \frac{\Delta M_e}{h-h'} = \frac{1,75}{4,20} \frac{4,06}{0,37-0,03} = 4,98 \text{ cm}^2$$

(Στό νομογράφημα για $100m_e^* = 19,2$ καί για όποιονδήποτε λόγο $\frac{h'}{h}$ είναι $e'_e > 2\%$ $\Rightarrow \sigma'_{eu} = 4,20 \text{ t/cm}^2$).

2ος τρόπος (Μέθοδος k_h , πίνακας 41)

$$\text{Υπολογίζεται ή ποσότητα } k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_e}{b}}}$$

$$\text{όπου } M_e = 15,10 \text{ tm, } h = 37 \text{ cm, } b = 0,40 \text{ m.}$$

$$k_h = \frac{37}{\sqrt{\frac{15,10}{0,40 \text{ m}}}} = 6,02 \quad (< 7,02 = k_h^*) \Rightarrow k_e = 0,51, \quad k'_e = 0,12,$$

$$\frac{\sigma_{eu}}{v} = 2,40, \quad \frac{h'}{h} = \frac{3}{37} = 0,08 \Rightarrow \rho = 1,00, \quad \rho' = 1,01$$

$$\text{Άρα } F_e = k_e \frac{M_e}{h} \rho + \frac{N}{\frac{\sigma_{eu}}{v}} = 0,51 \times \frac{15,10}{0,37} \times 1,00 - \frac{30,0}{2,40} = 8,31 \text{ cm}^2$$

$$F'_e = k'_e \frac{M}{h} \rho' = 0,12 \times \frac{15,10}{0,37} \times 1,01 = 4,95 \text{ cm}^2$$

Παρατηρείται ότι προκύπτουν οι ίδιοι όπλισμοί με τον προηγούμετρο τρόπο.

3ος τρόπος (περίπτωση συμμετρικού όπλισμού)

Διαλέγεται ο πίνακας 48 που αντιστοιχεί σε $\frac{h'}{h} = \frac{3}{37} = 0,08 \approx 0,10$ και ποιότητα χάλυβα BSt 42/50 (άσχετα απ' την ποιότητα του σκυροδέματος).

Υπολογίζονται οι ποσότητες $\eta = \frac{N}{bd \cdot \beta_R}$ και $m = \frac{M}{bd^2 \beta_R}$ όπου $N = -30,0 \text{ t}$, $M = 10,0 \text{ tm}$, $b = 0,40 \text{ m}$, $d = 0,40 \text{ m}$, $\beta_R = 1050 \text{ t/m}^2$.

$$\begin{aligned} \text{Άρα } \eta &= \frac{-30,0}{0,40 \times 0,40 \times 1050} = -0,18 \\ \text{και } m &= \frac{10,0}{0,40 \times 0,40^2 \times 1050} = 0,15 \end{aligned} \quad \left\{ \Rightarrow \bar{\mu}_o = \bar{\mu}'_o = 0,19 \right.$$

$$\text{Αλλά } \bar{\mu}_o = \mu_o \frac{\beta_s}{\beta_R} \Rightarrow \mu_o = \bar{\mu}_o \frac{\beta_R}{\beta_s} = 0,19 \frac{105,0}{4200} = 0,48\%$$

$$\text{Άρα } F_e = F'_e = \frac{0,48}{100} \times 40 \times 40 = 7,68 \text{ cm}^2$$

Οι δύο πρώτοι τρόποι δίνουν τό ίδιο ποσοστό όπλισμού:

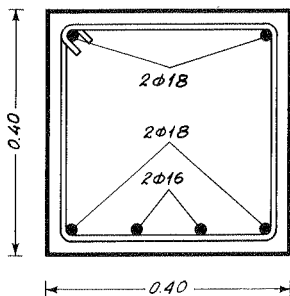
$$F_{e1} + F'_{e1} \approx F_{e2} + F'_{e2} = 8,31 + 4,95 = 13,26$$

Ο τρίτος τρόπος δίνει αρκετά περισσότερο όπλισμό:

$$F_{e3} + F'_{e3} = 7,68 + 7,68 = 15,36 \text{ cm}^2$$

$$\text{Άρα } F_e = 8,31 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 2\emptyset 16 + 2\emptyset 18 (=9,10 \text{ cm}^2)$$

$$F'_e = 4,95 \text{ cm}^2 \Rightarrow F'_e = 2\emptyset 18 (=5,08 \text{ cm}^2)$$



Παρατήρηση

* 'Ο 1ος (ή ο 2ος) τρόπος χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ροπή σταθερής διεύθυνσης και προκύπτει $F_e > F'_e$.

* 'Ο 3ος τρόπος (συμμετρικός όπλισμός) χρησιμοποιείται όταν προκύπτει $F_e < F'_e$ ή όταν υπάρχει ροπή εναλλασσόμενης διεύθυνσης.

ΑΣΚΗΣΗ 64

Νά υπολογισθῇ ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός ὀρθογωνικῆς διατομῆς 40×40 πού καταπονεῖται μέ ροπή $M=10,0 \text{ tm}$ καί ἀξονική δύναμη $N=-60,0 \text{ t}$.

Υλικά Βη 150, BSt 42/50.

Λύση

Μέθοδος k_h

Εἶναι $h=37 \text{ cm}$, $b=0,40 \text{ m}$ καί

$$M_e = M - N \cdot y_e = 10,0 + 60,0 \times \left(\frac{0,40}{2} - 0,03 \right) = 10,0 + 10,2 = 20,2 \text{ tm}$$

$$\text{"Αρά } k_h = \frac{37}{\sqrt{\frac{20,2}{0,40}}} = 5,2 < 7,02 = k_h^* \Rightarrow k_e = 0,50,$$

$$k'_e = 0,20 \text{ (πίνακας 41β)}, \frac{h'}{h} = \frac{3}{37} = 0,08 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho = 1,00, \quad \rho' = 1,01$$

Εἶναι λοιπόν:

$$F_e = k_e \frac{M_e}{h} \rho + \frac{N}{\sigma_e} = 0,50 \times \frac{20,2}{0,37} \cdot 1,0 - \frac{60,0}{2,40} = 2,30 \text{ cm}^2$$

$$F'_e = k'_e \frac{M_e}{h} \rho' = 0,20 \times \frac{20,2}{0,37} \times 1,01 = 11,03 \text{ cm}^2 > F_e$$

Ἡ λύση αὐτή δέν εἶναι δεκτή.

Πρέπει νά χρησιμοποιηθῇ συμμετρικός ὀπλισμός.

$$\frac{h'}{h} = 0,08 \approx 0,10 \text{ καί BSt 42/50}$$

Υπολογίζονται οἱ ποσότητες $\eta = \frac{N}{b \cdot d \cdot \beta_R}$ καί $m = \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot \beta_R}$
 $N = -60,0 \text{ t}$, $M = 10,0 \text{ tm}$, $b = 0,40 \text{ m}$, $d = 0,40 \text{ m}$, $B = 0,7 \times 1500 = 1050 \text{ t/m}^2$.

"Αρα $\eta = \frac{-60,0}{0,40 \times 0,40 \times 1050} = -0,36$ και $m = \frac{10,0}{0,40 \times 0,40^2 \times 1050} = 0,15$

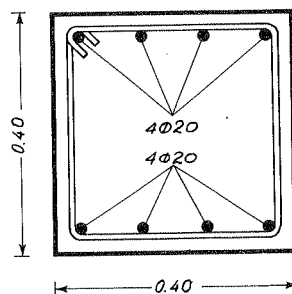
Γιὰ $\eta = -0,36, m = 0,15 \Rightarrow \bar{\mu}_o = \bar{\mu}'_o = 0,3$ (πίνακας 48)

Επειδή $\bar{\mu}_o = \mu_o \frac{\beta_s}{\beta_R} \Rightarrow \mu_o = \bar{\mu}_o \frac{\beta_R}{\beta_s} =$

$= 0,3 \times \frac{105,0}{4200} = 0,75\%$.

"Αρα $F_e = F'_e = \frac{0,75}{100} \times 40 \times 40 = 12,0 \text{ cm}^2$

$\Rightarrow F_e = F'_e = 4\phi 20 (=12,56 \text{ cm}^2)$



ΑΣΚΗΣΗ 65

Νά λυθῇ ἡ άσκησι 25 μέ τήν μέθοδο τῆς συνολικῆς άντοχῆς. Δίνεται: $\sigma_{eu} = 3,60 \text{ t/cm}^2$, γιὰ StII.

Λύση

Επειδή δίνεται συμβατική άντοχή σκυροδέματος (B225) και ποιότητα χάλυβα (StII) δέν είναι δυνατό νά χρησιμοποιηθῇ ἡ μέθοδος k_h , μιὰ και δέν ύπάρχει άνάλογος πίνακας. Χρησιμοποιεῖται λοιπόν τό γενικό νομογράφημα. Εῖναι:

Γιὰ B225: $\beta_R = 0,6 \times 225 = 135 \text{ kg/cm}^2 = 1350 \text{ t/m}^2$

Γιὰ StII: $\sigma_{eu} = \beta_s = 3,60 \text{ t/cm}^2$

α. $100m_e = \frac{100M_e}{bh^2\beta_R} = \frac{100 \times 10,0}{0,20 \times 0,51^2 \times 0,6 \times 2250} = 14,2 < 19,2$

Απ'τόν πίνακα 39 $\Rightarrow \begin{cases} \nu = 1,75 \\ \sigma_{eu} = 3,60 \text{ t/cm}^2 \\ k_z = 0,85 \Rightarrow z = 0,85 \times 0,51 = 0,434 \end{cases}$

"Αρα $F_e = \frac{\nu}{\sigma_{eu}} \left(\frac{M_e}{z} + N \right) = \frac{1,75}{3,60} \cdot \frac{10,0}{0,434} = 11,20 \text{ cm}^2$

$\Rightarrow F_e = 2\phi 18 + 2\phi 20 = 11,36 \text{ cm}^2$

β. θλιβόμενος όπλισμός δέν χρειάζεται.

Σύγκριση τών δύο μεθόδων

Παρατηρεῖται ότι:

1. Μέ την μέθοδο της συνολικής άντοχης δέν χρειάζεται θλιβόμενος όπλισμός για την ίδια ροπή και μάλιστα ή διατομή είναι σέ θέση νά παραλάβη σημαντικά μεγαλύτερη ροπή χωρίς νά χρησιμοποιηθί θλιβόμενος όπλισμός ($M_{op}=0,192 \times 0,20 \times 0,51^2 \times 0,6 \times 2250=13,5tm$).

2. Μέ την μέθοδο της συνολικής άντοχης προκύπτει λιγώτερος, όχι σημαντικά βέβαια, έφελκνόμενος όπλισμός.

Έπομένως ή μέθοδος της συνολικής άντοχης έκμεταλλεύεται πολύ περισσότερο την θλιπτική άντοχή τοῦ σκυροδέματος άπ' ότι ή μέθοδος έπιτρεπόμενων τάσεων.

ΑΣΚΗΣΗ 66

Νά υπολογισθί ό άναγκαίος όπλισμός όρθογωνικοῦ ὑποστυλώματος 30×40 στίς περιπτώσεις φορτίσεων:

1. $M = 0$, $N = -110,0t$
2. $M = \pm 8,0tm$, $N = -110,0t$ (κατά την διεύθυνση τῶν $40cm$)
Υλικά B300, StIII_R.

Λύση

1. Χρησιμοποιεῖται ό πίνακας 48

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \frac{N}{b \times d \times \beta_R} = \frac{-110,0}{0,30 \times 0,40 \times 0,6 \times 3000} = -0,51 \\ m &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \bar{\mu}_o = \bar{\mu}'_o = 0,03$$

Άρα $\mu_o = \mu'_o = \bar{\mu}_o \frac{\beta_R}{\beta_s} = 0,003 \times \frac{0,6 \cdot 300}{4200} = 0,001 < 0,004$

Λαμβάνεται $\mu_o = \mu'_o = 0,004$ και

$$F_e = F'_e = 0,004 \times 30 \times 40 = 4,80cm^2 \Rightarrow F_e = F'_e = 2\phi 18 (=5,08cm^2)$$

$$2. \text{ Λαμβάνεται } h' = 4,0cm \Rightarrow \frac{h'}{h} = \frac{4,0}{40,0 - 4,0} = 0,11$$

Χρησιμοποιεῖται ό πίνακας 48.

$$\eta = -0,51$$

$$m = \frac{M}{b \times d^2 \cdot \beta_R} = \frac{8,0}{0,30 \times 0,40^2 \times 0,6 \times 3000} = 0,09 \left. \vphantom{\frac{M}{b \times d^2 \cdot \beta_R}} \right\} \Rightarrow \bar{\mu}_o = \bar{\mu}'_o = 0,28$$

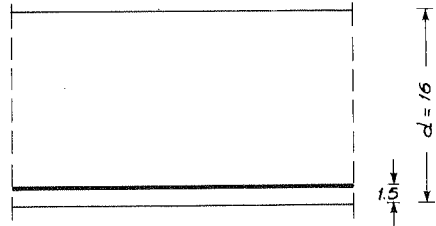
$$\text{"Αρα } \mu_o = \mu'_o = \bar{\mu}_o \frac{\beta_R}{\beta_s} = 0,28 \times \frac{0,6 \times 300}{4200} = 0,012$$

$$\text{καί } F_e = F'_e = 0,012 \times 30 \times 40 = 14,4 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e = F'_e = 4\emptyset 22 (=15,20 \text{ cm}^2)$$

ΑΣΚΗΣΗ 67

Ζητείται ο αναγκαῖος ὀπλισμὸς κάμψης τῆς πλάκας τοῦ σχήματος, ποὺ φέρει ροπή $M = 1,20 \text{ t/m}$. Ὑλικά: Βη250, BSt 42/50.



Λύση

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{14,5}{\sqrt{\frac{1,20}{1,00}}} = 13,2 \Rightarrow k_e = 0,44, \quad d_e \leq 8 \text{ mm}$$

(πίνακας 41α).

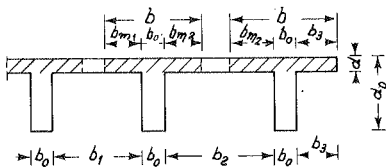
$$F_e = k_e \cdot \frac{M}{h} = 0,44 \times \frac{1,20}{0,145} = 3,64 \text{ cm}^2 \Rightarrow F_e = 8\emptyset 8 \text{ στό μέτρο } \eta$$

$$f_e = \emptyset 8 / 12,5$$

Ἐλήφθη διάμετρος $\emptyset 8 \leq 8 \text{ mm}$

ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΣ

1. ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ



Έξωτερική δοκός

$$b = b_o + b_{m1} + b_{m2}$$

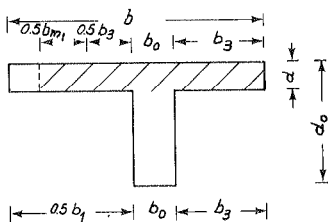
Άκραία δοκός

$$b = b_o + b_{m2} + b_3 \leq b_o + 2b_{m2}$$

Μόνη δοκός

$$b = b_o + 1.5b_3 + 0.5b_{m1} \quad \text{όταν } b_{m1} > b_3$$

$$b = b_o + 2b_{m1} \quad \text{όταν } b_{m1} < b_3$$



$$\frac{bm_i}{b_i} = f \left(\frac{d}{d_o}, \frac{b_i}{l_o} \right)$$

όπου $l_o = 1$ σε άμφιέρειστη δοκό

$l_o = 0,81$ σε άκραιο άνοιγμα συνεχούς δοκού

$l_o = 0,61$ σε μεσαίο " " "

Τιμές των λόγων $\frac{bm_1}{b_1}$ ή $\frac{bm_2}{b_2}$

	b_1/l_0 καί b_2/l_0						
d/d_0	2,0	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1
0,05	0,08	0,15	0,20	0,28	0,35	0,46	0,50
0,10	0,10	0,19	0,23	0,30	0,37	0,46	0,50
0,15	0,11	0,20	0,25	0,33	0,39	0,46	0,50
0,20	0,13	0,23	0,29	0,36	0,41	0,47	0,50
0,30	0,13	0,25	0,31	0,39	0,43	0,47	0,50
0,50	0,13	0,25	0,31	0,40	0,45	0,48	0,50
1,00	0,13	0,25	0,31	0,40	0,45	0,48	0,50

- Εάν πάνω στην δοκό υπάρχουν καί συγκεντρωμένα φορτία Q πού δίνουν ροπή M_Q καί όμοιόμορφα φορτία q πού δίνουν ροπή M_q , τό συνεργαζόμενο πλάτος πρέπει νά λαμβάνεται

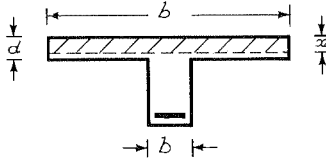
$$b_{\text{μειωμ.}} = \frac{M_q + 0,6M_Q}{M_q + M_Q} \cdot b$$

- Σέ πλακοδοκούς μέ πλάκα στό κάτω μέρος καί στην περιοχή τής στήριξης $b_{\text{μειωμ.}} = 0,60 \cdot b$.
- Σέ όλες τίς περιπτώσεις μπορεί νά λαμβάνεται κατά προσέγγιση bm_1 (ή bm_2) = $\frac{1}{6}$
- Στόν πίνακα 53 δίνεται μέ μεγαλύτερη ακρίβεια τό συνεργαζόμενο πλάτος σέ συνάρτηση μέ τούς λόγους

$$\frac{d}{d_0}, \frac{l}{b_0} \quad \text{καί} \quad \frac{b_1}{l}, \frac{b_2}{l}, \frac{b_3}{l}$$

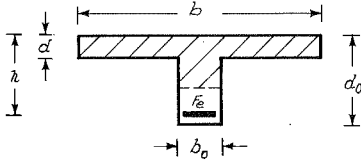
2. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ

2.1.



Όταν $x < d$ είναι σαν να υπάρχει ορθογωνική διατομή.

2.2.



Όταν $x > d$ και $\frac{b}{b_0} \geq 5$.

Ο αναγκαίος όπλισμός είναι:

$$F_e = \frac{M_e}{(h - \frac{d}{2}) \cdot \sigma_e} + \frac{N}{\sigma_e}$$

$$\text{όπου } \sigma_e = \frac{\sigma_{eu}}{\nu} = \begin{cases} 1,26 \text{ για BS}t22/34 \\ 2,40 \text{ για BS}t42/50 \\ 2,86 \text{ για BS}t50/55 \end{cases}$$

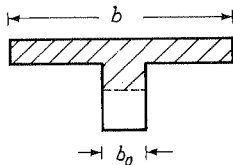
Ο έλεγχος άντοχής του σκυροδέματος είναι:

$$\alpha. \quad \text{Όταν } \frac{d}{h} \leq 0,23: \quad \sigma_m = \frac{M_e}{(h - \frac{d}{2}) \cdot b \cdot d} \leq \frac{\beta_R}{1,75}$$

$$\beta. \quad \text{Όταν } \frac{d}{h} > 0,23: \quad \sigma_m = \frac{M_e}{(h - \frac{d}{2}) \cdot b \cdot d \cdot \alpha} \leq \frac{\beta_R}{1,75}$$

Ο συντελεστής μείωσης α δίνεται στον πίνακα 54.

2.3.



Όταν $x > d$ και $b/b_0 < 5$

Βρίσκεται ένα ισοδύναμο πλάτος $b_i = \lambda \cdot b$ όπου

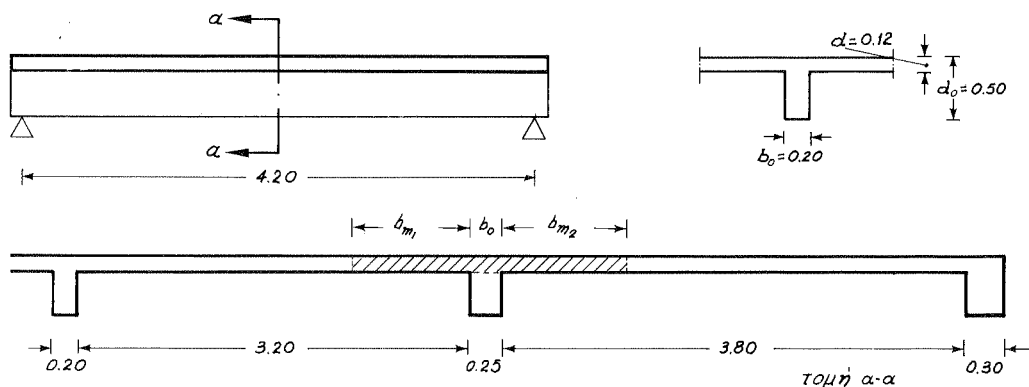
$\lambda = \varphi \left(\frac{d}{h}, k_x, \frac{b}{b_0} \right)$. Η συνάρτηση φ δίνεται στον πίνακα 55.

Η πορεία εργασίας είναι ίδια με αυτή που ακολουθήθηκε στη μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων.

ΑΣΚΗΣΗ 68

Νά βρεθῇ ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός κάμψης τῆς πλακοδοκοῦ τοῦ σχήματος (βλέπε τὴν ἀσκηση 1 τῶν δοκῶν).

Δίνονται: Φορτίο ὁμοιόμορφο $q=3,22\text{t/m}$. Ὑλικά B160, StI.



Λύση

Συνεργαζόμενο πλάτος

$$\Gamma\acute{\iota}\acute{\alpha}\quad \frac{d}{d_0} = \frac{0,12}{0,50} = 0,24 \quad \text{καί} \quad \frac{b_1}{l} = \frac{3,20}{4,20} = 0,76$$

$$\Rightarrow \quad \frac{bm_1}{b_1} = 0,31 \quad \text{ἄρα} \quad bm_1 = 0,31 \times 3,20 = 0,99\text{m} \quad (\text{πίνακας σελ. 229}).$$

$$\Gamma\acute{\iota}\acute{\alpha}\quad \frac{d}{d_0} = \frac{0,12}{0,50} = 0,24 \quad \text{καί} \quad \frac{b_2}{l} = \frac{3,80}{4,20} = 0,90$$

$$\Rightarrow \quad \frac{bm_2}{b_2} = 0,27 \quad \text{ἄρα} \quad bm_2 = 0,27 \times 3,80 = 1,03\text{m} \quad (\text{πίν.σελ.229}).$$

$$b = b_0 + bm_1 + bm_2 = 0,25 + 0,99 + 1,03 = 2,27\text{m} \quad , \text{ἄρα} \quad b = 2,27\text{m}$$

$$\text{Κατὰ προσέγγιση: } bm_1 = bm_2 \approx \frac{1}{6} = \frac{4,20}{6} = 0,70\text{m} < \frac{b_1}{2}, \quad \frac{b_2}{2}$$

$$b = b_0 + bm_1 + bm_2 = b_0 + \frac{1}{3} = 0,25 + 1,40 = 1,65\text{m}, \text{ἄρα} \quad b = 1,65\text{m}$$

Έλεγχος σὲ κάμψη

$$\max M_{o_1} = 3,22 \times \frac{4,20^2}{8} = 7,10\text{tm}$$

Υποτίθεται ὅτι ἡ θλιβόμενη ζώνη βρίσκεται μέσα στὴν πλάκα. Χρησιμοποιεῖται τὸ γενικό νομογράφημα ἐπειδὴ δίνεται συμβατικὴ ἀντοχή B160.

$$100m_e = \frac{100M_e}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R} = \frac{100 \times 7,10}{2,27 \times 0,47^2 \times 0,6 \times 1600} = 1,47 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} k_x = 0,11 \Rightarrow x = 0,11 \times 0,47 = 0,05 < 0,12 \text{ (καλά ξγινε ή υπόθεση)} \\ v = 1,75 \\ \sigma_{eu} = 2,40 \text{ t/cm}^2 \end{cases}$$

$$k_z = 0,97 \Rightarrow z = 0,97 \times 0,47 = 0,46 \text{ m}$$

$$F_e = \frac{v}{\sigma_{eu}} \left(\frac{M_e}{z} + N \right) = \frac{1,75}{2,40} \times \frac{7,10}{0,46} = 11,25 \text{ cm}^2$$

$$F_e = 2\emptyset 18 + 2\emptyset 20 \text{ (} = 11,36 \text{ cm}^2 \text{)}$$

ΑΣΚΗΣΗ 69

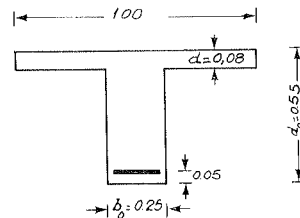
Νά βρεθῇ ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός στὴν πλακοδοιοῦ τοῦ σχήματος γιὰ ροπή.

α. $M = 5,0 \text{ tm}$

β. $M = 12,0 \text{ tm}$

γ. $M = 16,0 \text{ tm}$

Υλικά Βη150, BSt22/34.



Λύση

α. $k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{5,0}{1,0}}} = 22,4 > 7,02 = k_h^* \text{ (πίνακας 40)} \Rightarrow$

$$k_x \approx 0,12 \Rightarrow x = 0,12 \times 0,50 = 0,06 < 0,08, \quad k_e = 0,83 \Rightarrow$$

$$F_e = 0,83 \times \frac{5,0}{0,50} = 8,30 \text{ cm}^2$$

β. $k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{12}{1,00}}} = 14,4 > 7,02 = k_h^* \text{ (πίνακας 40)} \Rightarrow$

$$k_x = 0,19 \Rightarrow x = 0,19 \times 0,50 = 0,095 > 0,08$$

$$\frac{b}{b_o} = \frac{1,0}{0,25} = 4,0 < 5$$

Απ' τὸν πίνακα 55.

$$\Gammaιὰ \quad \frac{d}{h} = \frac{0,08}{0,50} = 0,16, \quad k_x = 0,19 \quad καί \quad \frac{b}{b_o} = 4,0 \Rightarrow \lambda = 0,96$$

$$b_i = \lambda \cdot b = 0,96 \times 1,00 = 0,96 \text{ m}$$

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{12,0}{0,96}}} = 14,1 \Rightarrow k_x = 0,19 \text{ τό } \xi_{\text{δίο}}$$

$$k_e = 0,86 \Rightarrow F_e = 0,86 \times \frac{12,0}{0,50} = 20,64 \text{ cm}^2$$

$$\gamma. \quad k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{16,0}{1,0}}} = 12,5 \Rightarrow k_x = 0,22 \Rightarrow x = 0,22 \times 0,50 = 0,11 > 0,08$$

Απ' τόν πίνακα 55.

$$\Gamma ιά \frac{d}{h} = \frac{0,08}{0,50} = 0,16, \quad k_x = 0,22 \text{ καί } \frac{b}{b_o} = 4,0 \Rightarrow \lambda = 0,88$$

$$b_i = \lambda \cdot b = 0,88 \times 1,0 = 0,88 \text{ m}$$

$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{16,0}{0,88}}} = 11,7 \Rightarrow k_x = 0,24$$

$$\Gamma ιά \frac{d}{h} = 0,16, \quad k_x = 0,24 \text{ καί } \frac{b}{b_o} = 4,0 \Rightarrow \lambda = 0,85$$

$$b_i = \lambda \cdot b = 0,85 \times 1,00 = 0,85 \text{ m} \Rightarrow$$

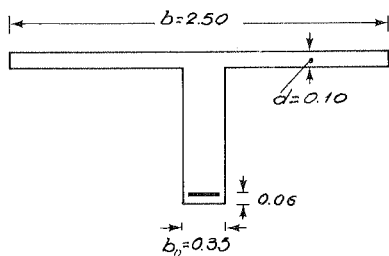
$$k_h = \frac{50}{\sqrt{\frac{16,0}{0,85}}} = 11,5 \Rightarrow k_x \approx 0,24, \quad k_e = 0,87$$

$$F_e = 0,87 \times \frac{16,0}{0,50} = 27,84 \text{ cm}^2$$

Παρατήρηση

★ Για οικονομικά ύψη πλακοδοκῶν σέ κοινά ἔργα θά προκύπτει σχεδόν πάντοτε ὕψος θλιβόμενης ζώνης μέσα στήν πλάκα, ὁπότε ὁ ἔλεγχος θά γίνεται σάν σέ ὀρθογωνική διατομή. Ἀρα θά εἶναι δυνατός ὁ ὑπολογισμός πλακοδοκῶν καί μέ συμβατικές ἀντοχές R.

ΑΣΚΗΣΗ 70



Νά βρεθῇ ὁ ἀναγκαῖος ὁ-
πλισμός στήν πλακοδοκό τοῦ σχή-
ματος γιά ροπή $M = 120,0 \text{ tm}$.

Υλικά: Βη250, ΒSt50/55.

Λύση

$$k_h = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{95}{\sqrt{\frac{120,0}{2,50}}} = 13,7 > 5,4 = k_h^* \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k_x = 0,15 \Rightarrow x = 0,15 \times 0,94 = 0,141 > 0,10 \quad (\text{πίνακας } 42\alpha)$$

$$\frac{b}{b_0} = \frac{2,50}{0,35} = 7,14 > 5$$

$$\frac{d}{h} = \frac{0,10}{0,94} = 0,106 < 0,23$$

"Ελεγχος της άντοχής του σκυροδέματος.

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \frac{M_e}{(h - \frac{d}{2}) \cdot b \cdot d} = \frac{120,0}{(0,94 - \frac{0,10}{2}) \cdot 2,50 \times 0,10} = 539,3 \text{ t/m}^2 = \\ &= 53,93 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\beta_R}{1,75} = \frac{0,7 \times 250}{1,75} = 100 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{"Αρα } F_e = \frac{M_e}{(h - \frac{d}{2}) \cdot \sigma_e} = \frac{120,0}{(0,94 - \frac{0,10}{2}) \cdot 2,86} = 47,14 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow F_e = 11\emptyset 24 \quad (=49,72 \text{ cm}^2).$$

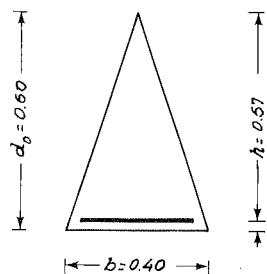
ΑΣΚΗΣΗ 71

Νά λυθῇ ἡ άσκηση 44 μέ τήν μέθοδο τῆς συνολικῆς άντο-
χῆς.

Λύση

Χρησιμοποιεῖται τό νομογράφημα τοῦ
Beton Kalender, έκδοση 1971 καί νεώτερη
γιά τριγωνική διατομή.

Ἡ πορεία έργασίας εἶναι ἴδια μέ
αυτή τῆς όρθογωνικῆς διατομῆς.



$$100m_e = \frac{100M_e}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R} = \frac{100 \times 4,0}{0,40 \times 0,57^2 \times 0,60 \times 3000} = 1,71 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v = 1,75 \\ \sigma_{eu} = 4,20 \text{ t/cm}^2 \\ k_z = 0,82 \Rightarrow z = 0,82 \times 0,57 = 0,467 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$F_e = \frac{v}{\sigma_{eu}} \left(\frac{M_e}{z} + N \right) = \frac{1,75}{4,20} \times \frac{4,0}{0,467} = 3,57 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_e = 2\emptyset 10 + 2\emptyset 12 \quad (=3,84 \text{ cm}^2)$$

ΑΣΚΗΣΗ 72

Κυκλικό ύποστύλωμα διαμέτρου 40cm φέρει ροπή $M=8,0 \text{ tm}$

καί φορτίο $N = -45,0 \text{ t}$.

Νά υπολογισθῇ ὁ ἀναγκαῖος ὀπλισμός. Δίνονται ὕλικά Bη150, BSt42/50.

Λύση

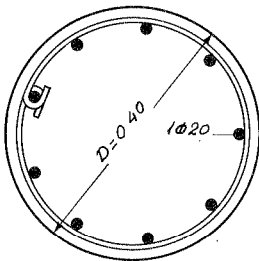
$$\text{Λαμβάνεται } h' = 3,0 \text{ cm} \Rightarrow \frac{h'}{r} = \frac{3}{20} = 0,15$$

Χρησιμοποιεῖται τὸ νομογράφημα Beton Kalender, ἔκδοση 1971 καί νεώτερη γιὰ κυκλική διατομή.

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \frac{N}{r^2 \cdot \beta_R} = \frac{-45,0}{0,2^2 \times 0,7 \times 1500} = -1,07 \\ m &= \frac{M}{r^3 \cdot \beta_R} = \frac{8,0}{0,2^3 \times 0,7 \times 1500} = 0,95 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \bar{\mu}_O = 0,87$$

$$\text{"Αρα } F_e = \bar{\mu}_O \frac{\beta_R}{\beta_S} \cdot r^2 \cdot \pi = 0,87 \times \frac{1}{40} \times 20^2 \times 3,14 = 27,32 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow F_e = 9\phi 20 \quad (= 28,26 \text{ cm}^2)$$

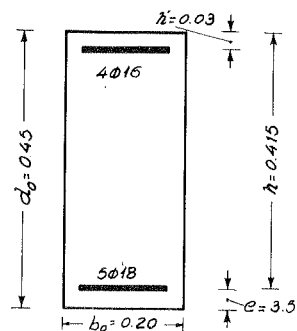


ΑΣΚΗΣΗ 73

Νά βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ ἡ διατομή τοῦ σχήματος πού καταπονεῖται καί ἀπὸ ἀξονική δύναμη $N = +5,0 \text{ t}$.

Ὑλικά B225, StIII. (Βλέπε ἀσκήση 39).

Λύση

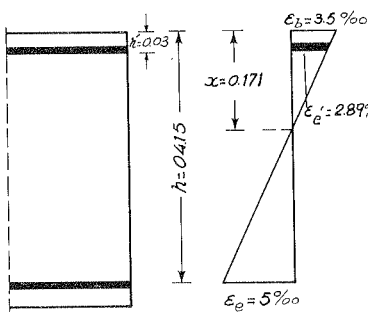


Γιά B225: $\beta_R = 0,6 \times 2250 = 1350 \text{ t/m}^2$

Γιά StIII: $\sigma_{eu} = 4,20 \text{ t/cm}^2$

Χρησιμοποιείται η μέθοδος των δοκιμών.

1η δοκιμή ($\epsilon_b = 3,5\text{‰}$, $\epsilon_e = 5\text{‰}$).



$$x = \frac{3,5}{3,5+5} \times 0,415 = 0,171 \text{ m}$$

Γιά $\epsilon_e = 5\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu} = 4,2 \text{ t/cm}^2$

Αρα $Z = \sigma_{eu} \cdot F_e = 4,2 \times (5 \times 2,54) = 53,3 \text{ t}$

$$\epsilon'_e = \frac{x-h'}{x} \cdot \epsilon_b = \frac{0,171-0,03}{0,171} \times 3,5\text{‰} = 2,89\text{‰}$$

Γιά $\frac{h'}{h} = \frac{3}{41,5} = 0,072$ και $\epsilon'_e = 2,89\text{‰} \Rightarrow$

$$\sigma'_{eu} = 4,20 \text{ t/cm}^2 \Rightarrow D_e = \sigma'_{eu} \cdot F'_e = 4,20 \times (4 \times 2,01) = 33,8 \text{ t}$$

Γιά $\epsilon_b = 3,5\text{‰} \Rightarrow \alpha = 0,81$ (πίνακας 37)

$$\Rightarrow D_b = \alpha \cdot \beta_R \cdot x \cdot b = 0,81 \times 1350 \times 0,171 \times 0,20 = 37,4 \text{ t}$$

Αρα $D = D_b + D_e + N_u = 37,4 + 33,8 + 1,75 \times 5,0 = 80,0 \text{ t} > 53,3$

Κρίσιμο υλικό λοιπόν είναι ο χάλυβας.

2η δοκιμή ($\epsilon_b = 2\text{‰}$, $\epsilon_e = 5\text{‰}$)

$$x = \frac{2}{2+5} \cdot 0,415 = 0,119 \text{ m}$$

$$\epsilon'_e = \frac{x-h'}{x} \cdot \epsilon_b = \frac{0,119-0,03}{0,119} \times 2\text{‰} = 1,5\text{‰}$$

Είναι $\epsilon_e = 5\text{‰} \Rightarrow Z = 53,3 \text{ t}$

Γιά $\epsilon'_e = 1,5\text{‰} \Rightarrow \sigma'_{eu} = 1,5\text{‰} \times 2,1 \times 10^3 =$

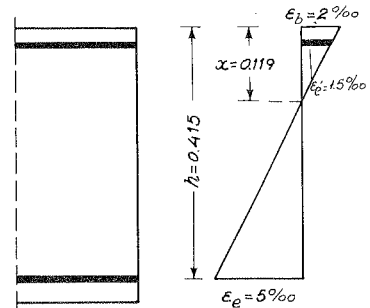
$$= 3,15 \text{ t/cm}^2 \Rightarrow D_e = 3,15 \times (4 \times 2,01) =$$

$$= 25,3 \text{ t}$$

Γιά $\epsilon_b = 2\text{‰} \Rightarrow \alpha = 0,67$ (πίνακας 37)

$$D_b = \alpha \cdot \beta_R \cdot x \cdot b = 0,67 \times 1350 \times 0,119 \times 0,20 = 21,5 \text{ t}$$

Αρα $D = 25,3 + 21,5 + 1,75 \times 5 = 55,6 \text{ t} \approx Z$



Για $\epsilon_b = 2\text{‰} \Rightarrow k_a = 0,375$ (πίνακας 37) $\Rightarrow a = k_a \cdot x = 0,375 \times 0,119 = 0,045$.

Λαμβάνονται ροπές ως προς τον άξονα της D_b .

$$\begin{aligned} M_u &= Z(h-a) - N_u(h-y_e) + D_e(a-h') = \\ &= 53,3 \times (0,415 - 0,045) - 5,0 \times 1,75 \\ &\quad (0,415 - 0,19) + 25,3(0,045 - 0,03) = \\ &= 19,72 - 1,98 + 0,38 = 18,12 \text{ tm} \end{aligned}$$

Επειδή $\epsilon_e = 5\text{‰} \Rightarrow v = 1,75$

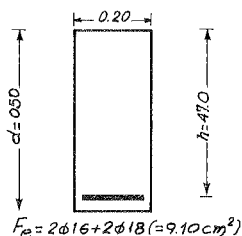
Άρα η μέγιστη ροπή που μπορεί να αναλάβει η διατομή είναι:

$$M = \frac{M_u}{1,75} = \frac{18,12}{1,75} = 10,35 \text{ tm}$$

Παρατήρηση

★ Η πραγματική παραμόρφωση του σκυροδέματος που δίνει την ακριβή ισορροπία των εσωτερικών δυνάμεων διαφέρει πολύ λίγο από την τελευταία δοκιμή. Η δύναμη D_b είναι πολύ "εύαισθητη" ακόμη και στην μικρότερη μεταβολή της ϵ_b ενώ η απόσταση a είναι "άναίσθητη" και η δύναμη Z αμετάβλητη. Γι' αυτό και λαμβάνονται ροπές ως προς τον άξονα της D_b ώστε να μη χρησιμοποιηθεί η τιμή της D_b .

ΑΣΚΗΣΗ 74



Νά βρεθεί η μέγιστη ροπή που μπορεί να αναλάβει η ορθογωνική διατομή του σχήματος, που καταπονείται από άξονική δύναμη $N = -8,0 \text{ t}$.

Υλικά: B160, StI (βλέπε άσκ. 37).

Λύση

Είναι: Γιά B160: $\beta_R = 0,6 \times 160 = 96,0 \text{ kg/cm}^2 = 960,0 \text{ t/m}^2$

Γιά StI : $\sigma_{eu} = 2400 \text{ kg/cm}^2 = 2,40 \text{ t/cm}^2$

1ος τρόπος (Μέ δοκιμές)

1η δοκιμή

$$\epsilon_b = 3,5\text{‰}, \epsilon_e = 5,0\text{‰}$$

$$x = \frac{3,5}{3,5+5} \times 0,47 = 0,194 \text{ m}$$

Γιά $\epsilon_e = 5,0\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu} = 2,4 \text{ t/cm}^2$ (πίνακας 38).

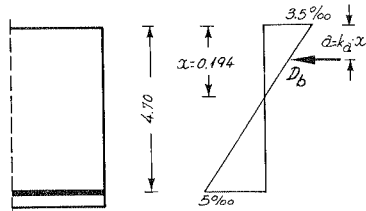
$$Z = \sigma_{eu} \cdot F_e = 2,4 \times 9,10 = 21,8 \text{ t}$$

Γιά $\epsilon_b = 3,5\text{‰} \Rightarrow \alpha = 0,81$ (πίν.37).

$$D_b = \alpha \cdot \beta_R \cdot x \cdot b = 0,81 \times 960,0 \times 0,194 \times 0,20 = 30,2 \text{ t}$$

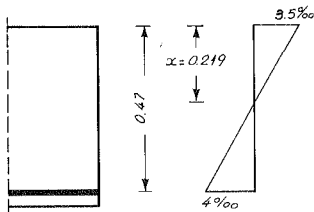
$D = D_b + N_u = 30,2 - 1,75 \cdot 8,0 = 16,2 \text{ t} < 21,8 \text{ t}$ ($N_u = v \cdot N$, έδω λήφθηκε $v = 1,75$ άπ'τόν πίν.35).

"Αρα κρίσιμο ύλικό είναι τό σκυρόδεμα.



2η δοκιμή

Λαμβάνεται $\epsilon_b = 3,5\text{‰}$, $\epsilon_e = 4\text{‰}$.



$$x = \frac{3,5}{3,5+4} \times 0,47 = 0,219 \text{ m}$$

Γιά $\epsilon_e = 4\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu} = 2,4 \text{ t/cm}^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow Z = 21,8 \text{ t}$$

Γιά $\epsilon_b = 3,5\text{‰} \Rightarrow \alpha = 0,81$

$$\text{"Αρα } D_b = \alpha \cdot \beta_R \cdot x \cdot b = 0,81 \times 960,0 \times 0,219 \times 0,20 =$$

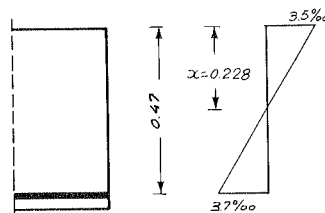
$$= 34,1 \text{ t} \text{ καί } D = D_b + N_u = 34,1 - 1,75 \cdot 8,0 = 20,1 \text{ t} < Z$$

3η δοκιμή

Λαμβάνεται $\epsilon_b = 3,5\text{‰}$ καί $\epsilon_e = 3,7\text{‰}$.

$$x = \frac{3,5}{3,5+3,7} \times 0,47 = 0,228 \text{ m}$$

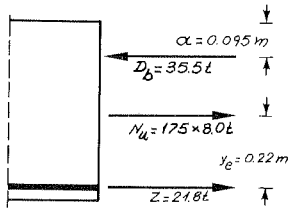
Γιά $\epsilon_e = 3,7\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu} = 2,4 \text{ t/cm}^2 \Rightarrow$
 $\Rightarrow Z = 21,8 \text{ t}.$



Γιὰ $\epsilon_b = 3,5\text{‰} \Rightarrow \alpha = 0,81$

$$D_b = 0,81 \times 960,0 \times 0,228 \times 0,20 = 35,5t$$

καί $D = D_b + N_u = 35,5 - 1,75 \times 8,0 = 21,5t \approx Z = 21,8t$



Γιὰ $\epsilon_b = 3,5\text{‰} \Rightarrow k_a = 0,416$ (πίν.37).

$$a = k_a \cdot x = 0,416 \times 0,228 = 0,095$$

Λαμβάνονται ροπές ως προς τόν
 άξονα της Z: $M_u = D_b(h-a) - N_u \cdot y_e =$
 $= 35,5(0,47 - 0,095) - 1,75 \times 8,0 \cdot 0,22 =$
 $= 13,31 - 3,08 = 10,23tm$

Η ροπή πού μπορεί νά παραλάβη

ή διατομή είναι:

$$M = \frac{M_u}{1,75} = \frac{10,23}{1,75} = 5,85tm$$

2ος τρόπος (Μέ τό γενικό νομογράφημα, πίνακας 39)

1η δοκιμή ($\epsilon_b = 3,5\text{‰}$ καί $\epsilon_e = 5\text{‰}$)

Είναι $\epsilon_e = 5\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu} = 2,40t/cm^2 \Rightarrow Z = \sigma_{eu} \cdot F_e =$
 $= 2,40 \times 9,10 = 21,8t.$

Χαράζεται ή κατακόρυφη εύθεϊα πού ένώννει τά σημεία
 $\epsilon_e = 5\text{‰}$ καί $\epsilon_b = 3,5\text{‰}$. Η εύθεϊα αύτή τέμνει τήν καμπύλη k_b στό
 σημείο $k_b = 0,33$, άρα:

$$D_b = k_b \cdot b \cdot h \cdot \beta_R = 0,33 \times 0,20 \times 0,47 \times 960,0 = 29,8t$$

$$D = D_b + N_u = 29,8 - 1,75 \times 8,0 = 15,8t < Z$$

Άρα κρίσιμο ύλικό είναι τό σκυρόδεμα.

2η δοκιμή

Λαμβάνεται $\epsilon_b = 3,5\text{‰}$ καί $\epsilon_e = 4\text{‰}$.

Η κατακόρυφη εύθεϊα $\epsilon_e = 4\text{‰}$ τέμνει τήν καμπύλη k_b στό
 σημείο $k_b = 0,37$, άρα:

$$D_b = k_b \cdot b \cdot h \cdot \beta_R = 0,37 \times 0,20 \times 0,47 \times 960,0 = 33,4t$$

καί $D = D_b + N_u = 33,4 - 1,75 \times 8,0 = 33,4 - 14 = 19,4 < Z = 21,8t$

$$(Z=21,8 \text{ διότι } \varepsilon_e=4\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu}=2,40 \text{ t/cm}^2)$$

3η δοκιμή

$$\text{Χαράζεται ή κατακόρυφη } \varepsilon_e=3,7\text{‰} \Rightarrow k_b=0,39 \Rightarrow \\ \Rightarrow D_b=0,39 \times 0,20 \times 0,47 \times 960,0 = 35,2 \text{ t}$$

$$\text{καί } D = D_b + N_u = 35,2 - 14,0 = 21,2 \text{ t} \approx Z = 21,8 \text{ t}$$

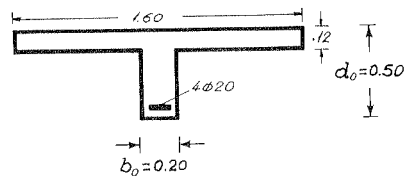
$$\text{Η κατακόρυφη εύθεια } \varepsilon_e=3,7\text{‰} \text{ στέμνει τον άξονα } 100m_e \text{ στο} \\ \text{σημείο } 100m_e=17,7 \Rightarrow M_e=0,177 \times 0,20 \times 0,47^2 \times 960 = 7,51 \text{ tm}$$

$$\text{Αλλά } M_e = M - N \cdot y_e \Rightarrow M = M_e + N \cdot y_e \Rightarrow M = 7,51 - 8 \times 0,22 = 5,75 \text{ tm}$$

ΑΣΚΗΣΗ 75

Νά βρεθῇ ἡ μέγιστη ροπή πού μπορεῖ νά ἀναλάβῃ ἡ διατομή τοῦ σχήματος, ἂν $N=0$.

Υλικά: B160, StII (βλέπε άσκηση 38).

**Λύση**

$$\text{Γιὰ B160: } \beta_R = 0,6 \times 1600 = 960,0 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Γιὰ StII: } \sigma_{eu} = 3,60 \text{ t/cm}^2 \\ (\text{πίνακας 38}).$$

Επειδὴ τὸ συνεργαζόμενο πλάτος εἶναι μεγάλο, ἡ πλάκα παίρνει μεγάλη θλιπτική δύναμη D_b ἔστω καί μέ μικρὸ ὕψος θλιβόμενης ζώνης. Γι' αὐτὸ κρίσιμο ὑλικὸ θὰ εἶναι μάλλον ὁ χάλυβας, δηλ. $\varepsilon_e=5\text{‰}$ καί $\varepsilon_b < 3,5\text{‰}$.

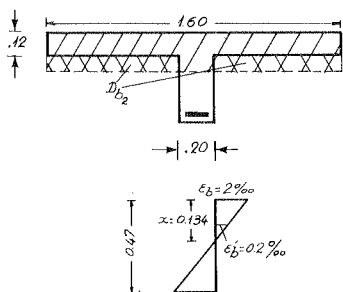
$$\text{Ἄρα } Z = \sigma_{eu} \cdot F_e = 3,60 \times (4 \times 3,14) = 45,2 \text{ t.}$$

1ος τρόπος (Μέ δοκιμῆς)

$$1\eta \text{ δοκιμῆ } (\varepsilon_b=2\text{‰}, \varepsilon_e=5\text{‰})$$

$$x = \frac{2}{2+5} \times 0,47 = 0,134 \text{ m}$$

$$\varepsilon'_b = \frac{x-d}{x} \varepsilon_b = \frac{0,134-0,120}{0,134} \times 2\text{‰} = 0,2\text{‰}$$



Για $\varepsilon_b = 2/1000$ απ' τον πίνακα 37 $\Rightarrow$

$$\alpha = 0,67 \Rightarrow D_{b1} = \alpha \cdot \beta_R \cdot x \cdot b = 0,67 \times 960,0 \times 0,134 \times 1,60 = 137,9 \text{ t}$$

Για $\varepsilon_b = 0,2/1000 \Rightarrow \alpha = 0,10 \Rightarrow$

$$D_{b2} = 0,10 \times 960,0 \times 0,014 \times 1,40 = 1,9 \text{ t}$$

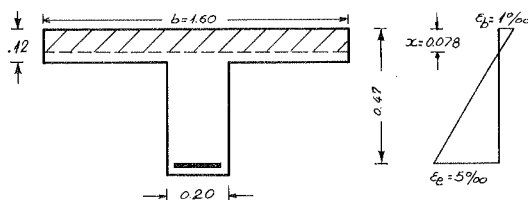
$$\text{Άρα } D_b = D_{b1} - D_{b2} = 137,9 - 1,9 = 136,0 \text{ t} > 45,2 \text{ t} = Z$$

2η δοκιμή ($\varepsilon_b = 1/1000$, $\varepsilon_s = 5/1000$)

$$x = \frac{1}{1+5} \times 0,47 = 0,078 \text{ m}$$

Για $\varepsilon_b = 1/1000 \Rightarrow \alpha = 0,42 \Rightarrow$

$$D_b = \alpha \cdot \beta_R \cdot x \cdot b = 0,42 \times 960,0 \times 0,078 \times 1,60 = 50,3 \text{ t} > 45,2 \text{ t}$$



3η δοκιμή ($\varepsilon_b = 0,9/1000$, $\varepsilon_s = 5/1000$)

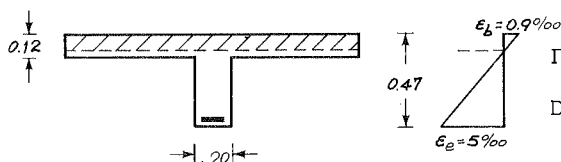
$$x = \frac{0,9}{0,9+5} \times 0,47 = 0,072 \text{ m}$$

Για $\varepsilon_b = 0,9/1000 \Rightarrow \alpha = 0,39 \Rightarrow$

$$D_b = 0,39 \times 960,0 \times 0,072 \times 1,60 = 43,10 \approx Z = 45,2 \text{ t}$$

Για $\varepsilon_b = 0,9/1000 \Rightarrow k_a = 0,348 \Rightarrow$

$$a = 0,348 \times 0,072 = 0,025 \text{ m}$$

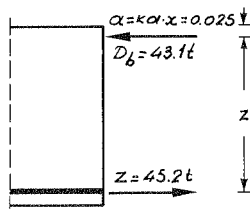


Επειδή $\varepsilon_s = 5/1000 \Rightarrow$

$$v = 1,75.$$

$$\text{Άρα } M_{\lambda \epsilon \iota \tau} = \frac{M_u}{v} =$$

$$= \frac{20,11}{1,75} = 11,49 \text{ tm}$$



$$M_u = Z \cdot z = 45,2 (0,47 - 0,025) = 20,11 \text{ tm}$$

2ος τρόπος (μέ τό γε-
νικό νομογράφημα, πί-
νακας 39).

Επειδή αναμένεται $\varepsilon_s = 5/1000$ και $\varepsilon_b < 3,5/1000$ θα είναι

$$Z = \sigma_{eu} \cdot F_e = 3,60 \times (4 \times 3,14) = 45,2t$$

Η άξονική δύναμη είναι $N = 0$, άρα πρέπει $D_b = Z \Rightarrow$

$$\Rightarrow k_b \cdot b \cdot h \cdot \beta_R = Z \Rightarrow k_b = \frac{45,2}{1,60 \times 0,47 \times 960,0} = 0,063$$

Χαράζεται η κατακόρυφη εϋθεία που τέμνει την καμπύλη k_b στο σημείο $k_b = 0,063$.

Αυτή πράγματι τέμνει την καμπύλη ϵ_e στο σημείο $\epsilon_e = 5\text{‰}$.

Ακόμη τέμνει τον άξονα των $100m_e$ στο σημείο $100m_e = 3,1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{100M_e}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R} = 3,1 \Rightarrow M_e = 0,031 \times 1,60 \times 0,47^2 \times 960,0 = 10,52tm$$

Παρατηρήσεις

★ Η μέθοδος με τό γενικό νομογράφημα είναι πιά σύντομη και δίνει μεγάλη έποπτεία, γιατί έχει σύγχρονα και όλα τά μεγέθη z, v, x, ϵ_D άσχετα άν δέν χρησιμοποιούνται στην λύση με νόυμερα.

★ Και άλλη ποιότητα σκυροδέματος νά είχαμε, τό αποτέλεσμα δέν θά άλλαζε σημαντικά, έπειδή έπρεπε νά προκύψη $D_b = Z = 45,2t$. Δηλ. τό μόνο πού θά άλλαζε θά ήταν τό ύφος τής θλιβόμενης ζώνης. Αλλά οί μεταβολές αυτές θά ήταν πολύ μικρές άρα και ή μεταβολή τής Z ακόμη μικρότερη.

ΑΣΚΗΣΗ 76

Νά βρεθί ή μέγιστη ροπή πού μπορεί νά ανάλάβη ή διατομή τοϋ σχήματος.

Υλικά: B225, StIII.

Λύση

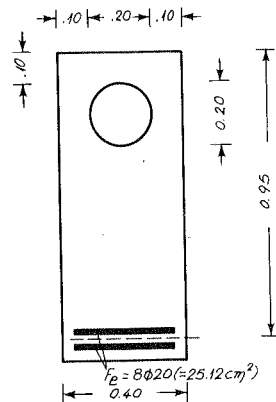
$$\text{Γιά B225: } \beta_R = 0,6 \times 2250 = 1350t/m^2$$

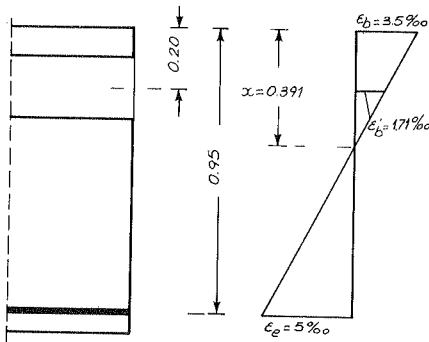
$$\text{Γιά StIII: } \sigma_{eu} = \beta_s = 4,20t/cm^2$$

Χρησιμοποιείται ή μέθοδος των δοκιμών.

In δοκιμή ($\epsilon_b = 3,5\text{‰}$, $\epsilon_e = 5\text{‰}$)

$$\text{Γιά } \epsilon_e = 5\text{‰} \Rightarrow \sigma_{eu} = 4,20t/cm^2 \Rightarrow$$





$$Z = 4,20 \times 25,12 = 105,5t$$

$$x = \frac{3,5}{3,5+5} \times 0,95 = 0,391m$$

$$\epsilon'_b = \frac{0,391-0,20}{0,391} \times 3,5\text{‰} = 1,71\text{‰}$$

$$\text{Γιὰ } \epsilon_b = 3,5\text{‰} \Rightarrow \alpha = 0,81 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_b = 0,81 \times 0,40 \times 0,391 \times 1350 = 171,0t$$

$$\text{Γιὰ } \epsilon'_b = 1,71\text{‰} \text{ ἀπ' τὸν πίνα-}$$

$$\text{κα 36: } \frac{\sigma_b}{\beta_R} = 0,98 \Rightarrow \sigma_b = 0,98 \times 1350 = 1323t/m^2$$

$$D_{b, \text{όπῆς}} = \sigma_b \cdot F_{\text{όπῆς}} = 1323 \frac{\pi \times 0,20^2}{4} = 41,6t$$

$$\text{Ἄρα } D = D_b - D_{b, \text{όπῆς}} = 171,0 - 41,6 = 129,4t > 105,5t = Z$$

Κρίσιμο ὑλικό εἶναι τὸ σκυρόδεμα.

2η δοκιμὴ ($\epsilon_b = 3\text{‰}$, $\epsilon_e = 5\text{‰}$)

$$Z = 105,5t$$

$$x = \frac{3}{3+5} \times 0,95 = 0,356m$$

$$\epsilon'_b = \frac{0,356-0,20}{0,356} \times 3\text{‰} = 1,31\text{‰}$$

$$\text{Γιὰ } \epsilon_b = 3\text{‰} \Rightarrow \alpha = 0,78 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_b = 0,78 \times 0,40 \times 0,356 \times 1350 = 149,9t$$

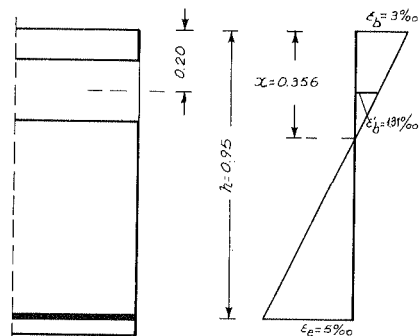
$$\text{Γιὰ } \epsilon'_b = 1,31\text{‰} \text{ ἀπ' τὸν πίνακα}$$

$$36: \frac{\sigma_b}{\beta_R} = 0,88 \Rightarrow \sigma_b = 0,88 \times 1350 = 1188t/m^2$$

$$D_{b, \text{όπῆς}} = 1188 \cdot \frac{\pi \cdot 0,20^2}{4} = 37,3t$$

$$\text{Ἄρα } D = D_b - D_{b, \text{όπῆς}} = 149,9 - 37,3 = 112,6t \approx Z$$

$$\text{Γιὰ } \epsilon_b = 3\text{‰} \Rightarrow k_a = 0,405 \text{ ἄρα } a = k_a \cdot x = 0,405 \times 0,356 = 0,144m.$$



Δύναμη σκυροδέματος

Οι διάφορες αποστάσεις λαμβάνονται γραφικά.

Η θλιβόμενη ζώνη χωρίζεται σε δύο ζώνες.

Ζώνη I

Ο κυκλικός τομέας έχει έμβαδόν $F_b \approx 1,10 \times \frac{1}{2} \times 0,15 \times 0,80 = 0,066 \text{ m}^2$ (1,10=προσεγγιστικός συντελεστής για τον υπολογισμό του κυκλικού τομέα) και μέση τάση (στο $\frac{1}{3}$ απ' την βάση του) που αντιστοιχεί σε παραμόρφωση $\epsilon_{b1} = \frac{0,18-0,10}{0,18} \times 1000 = 0,4400$.

Απ' τον πίνακα 36 για $\epsilon_{b1} = 0,4400 \Rightarrow \frac{\sigma_{b1}}{\beta_R} = 0,40 \Rightarrow$
 $\Rightarrow \sigma_{b1} = 0,40 \times 2300 = 920 \text{ t/m}^2$ (βλέπε § 1.4.1)

και $D_{b1} = F_b \cdot \sigma_{b1} = 0,066 \times 920 = 60,7 \text{ t}$

Ζώνη II

Τα δύο τμήματα της ζώνης έχουν έμβαδό

$$F_b \approx 2 \times \frac{\frac{0,80}{2} + 0,27}{2} \times 0,03 = 0,0201 \text{ m}^2$$

και μέση τάση (στο μέσο του ψους τους) που αντιστοιχεί σε παραμόρφωση $\epsilon_{b2} = \frac{0,015}{0,18} \times 1000 = 0,0800 \Rightarrow \frac{\sigma_{b2}}{\beta_R} = 0,08$ (πίνακας 36).

Άρα $\sigma_{b2} = 0,08 \times 2300 = 184 \text{ t/m}^2$ και $D_{b2} = F_b \cdot \sigma_{b2} = 0,0201 \times 184 = 3,7 \text{ t}$.

Δυνάμεις όπλισμών

Θλιβόμενος όπλισμός

$$\text{Είναι } \epsilon'_e = \frac{0,18-0,12}{0,18} \times 1000 = 0,3300 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma'_{eu} = 0,3300 \times 2,1 \times 10^3 = 0,699 \text{ t/cm}^2.$$

$$\text{Άρα } D_e = 0,669 \times (2 \times 2,01) = 2,7 \text{ t}$$

Εφελκυστικός όπλισμός

$$\alpha. \quad \epsilon_{e1} = \frac{0,90-0,68}{0,90} \times 5000 = 1,2200 \Rightarrow \sigma_{eu1} = 1,2200 \times 2,1 \times 10^3 = 2,56 \text{ t/cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{b_1} = 0,32 \times 2300 = 736 \text{ t/m}^2 \text{ και } D_{b_1} = F_b \cdot \sigma_b = 0,066 \times 736 = 48,6 \text{ t}$$

Ζώνη II

$$F_b \approx 2 \times \frac{\frac{0,80}{2} + 0,30}{2} \times 0,015 = 0,0105 \text{ m}^2$$

$$\epsilon_{b_2} = \frac{0,0075}{0,165} \times 0,9\text{‰} = 0,04\text{‰} \Rightarrow \frac{\sigma_{b_2}}{\beta_R} = 0,025$$

$$\text{"Αρα } \sigma_{b_2} = 0,025 \times 2300 = 57,5 \text{ t/m}^2$$

$$\text{και } D_{b_2} = F_b \cdot \sigma_b = 0,0105 \times 57,5 = 0,6 \text{ t}$$

Δυνάμεις όπλισμών

Θλιβόμενος όπλισμός

$$\epsilon'_e = \frac{0,165 - 0,12}{0,165} \times 0,9\text{‰} = 0,25\text{‰} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma'_{eu} = 0,25\text{‰} \times 2,1 \times 10^3 = 0,525 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{"Αρα } D_e = 0,525 \times (2 \times 2,01) = 2,1 \text{ t}$$

Έφελκυσμένος όπλισμός

$$\alpha. \quad \epsilon_{e_1} = \frac{0,915 - 0,68}{0,915} \times 5\text{‰} = 1,28\text{‰} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_{eu_1} = 1,28\text{‰} \times 2,1 \times 10^3 = 2,69 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{και } Z_{e_1} = 2,69 \times (2 \times 2,01) = 10,8 \text{ t}$$

$$\beta. \quad \epsilon_{e_2} = \frac{0,915 - 0,28}{0,915} \times 5\text{‰} = 3,47\text{‰} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_{eu_2} = 4,20 \text{ t/cm}^2 \quad (3,47\text{‰} > 2\text{‰})$$

$$\text{και } Z_{e_2} = 4,20 \times (2 \times 2,01) = 16,9 \text{ t}$$

$$\gamma. \quad Z_e = 16,9 \text{ t} \quad (\sigma_{eu} = 4,20 \text{ t/cm}^2)$$

$$\text{"Αρα } D = D_{b_1} + D_{b_2} + D_e = 48,6 + 0,6 + 2,1 = 51,3 \text{ t}$$

$$Z = Z_{e_1} + Z_{e_2} + Z_e = 10,8 + 16,9 + 16,9 = 44,6 \text{ t}$$

Γιά νά βρεθῇ ἡ ἀκριβὴς κατάσταση πρέπει νά γίνημιά μι-
κρή μεταβολή τοῦ ϵ_b , πού θά ἐπηρεάσῃ πολὺ λίγο τό σημεῖο ἐξ-
άσκησης τῆς D_b , καί ἐλάχιστα τὴν Z .

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Χάλυθας για όπλισμένο ακυρόδεμα θάρη και διατομές

d mm	Βάρος ²⁾ kg/m	Έμβασδόν διατομής εις cm ² διά								
		1 τεμ.	2 τεμ.	3 τεμ.	4 τεμ.	5 τεμ.	6 τεμ.	7 τεμ.	8 τεμ.	9 τεμ.
5	0,154	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,76
6	0,222	0,28	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55
7	0,302	0,39	0,77	1,16	1,54	1,93	2,31	2,70	3,08	3,47
8	0,395	0,50	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,02	4,53
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,78	7,91	9,04	10,17
14	1,21	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,86
16	1,58	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,09
18	2,00	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70	15,24	17,78	20,32	22,86
20	2,47	3,14	6,28	9,42	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26
22	2,98	3,80	7,60	11,40	15,20	19,00	22,80	26,60	30,40	34,20
24	3,55	4,52	9,04	13,56	18,08	22,60	27,12	31,64	36,16	40,68
26	4,17	5,31	10,62	15,93	21,24	26,55	31,86	37,17	42,48	47,79
28	4,83	6,16	12,32	18,48	24,64	30,80	36,96	43,12	49,28	55,44
30	5,55	7,07	14,14	21,21	28,28	35,35	42,42	49,49	56,56	63,63
32	6,31	8,04	16,08	24,12	32,16	40,40	48,24	56,28	64,32	72,36
34	7,13	9,08	18,16	27,24	36,32	45,40	54,48	63,56	72,64	81,72
36	7,99	10,2	20,4	30,6	40,8	51,0	61,2	71,4	81,6	91,8
38	8,90	11,3	22,6	33,9	45,6	56,5	67,8	79,1	90,4	101,7
40	9,87	12,6	25,2	37,8	50,4	63,0	75,6	88,2	100,8	113,4
45	12,5	15,9	31,8	47,7	63,6	79,5	95,4	111,3	127,2	143,1
50	15,4	19,6	39,2	58,8	78,4	98,0	117,6	137,2	156,8	176,4

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Συντελεστές λυγισμού ω για τυχαία διατομή

$$\omega = \frac{\sigma_b \epsilon \pi}{\sigma_K \epsilon \pi}, i = \sqrt{\frac{\min J}{F}}$$

(κατά τόν ύπολογισμόν τοῦ «i» οἱ όπλισμοί δέν λαμβάνονται ύπ' όψιν).

$\lambda = \frac{h_K}{i}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
50	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	} ω
60	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	
70	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16	1,18	1,19	1,21	1,22	
80	1,24	1,26	1,27	1,29	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40	
90	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60	
100	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72	1,76	1,79	1,83	1,87	
110	1,91	1,94	1,98	2,02	2,06	2,09	2,13	2,17	2,21	2,24	
120	2,28	2,32	2,35	2,39	2,42	2,46	2,50	2,53	2,57	2,60	
130	2,64	2,68	2,71	2,75	2,78	2,82	2,86	2,89	2,93	2,96	
140	3,00										

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Συντελεστές λυγισμού ω για όρθογωνική διατομή

$\frac{h_K}{d}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10						1,00	1,02	1,03	1,05	1,06	} ω
20	1,08	1,13	1,18	1,22	1,27	1,32	1,40	1,48	1,56	1,64	
30	1,72	1,83	1,94	2,06	2,17	2,28	2,42	2,57	2,71	2,86	
40	3,00										

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Συντελεστές λυγισμού ω για κυκλική διατομή

h_K / d_K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	1,00	1,03	1,07	1,10	1,14	1,17	1,24	1,30	1,37	1,48	} ω
20	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00					

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Έπιτρεπόμενο φορτίο $P_b(t)$ για διατομή σκυροδέματος bd

Κατηγορ. σκυροδέμ.	b	d								
		20	25	30	35	40	45	50	60	70
B 160 $\frac{1}{3} K_b =$ 48 kp/cm ²	20	19,2								
	25	24,0	30,0							
	30	28,8	36,0	43,2						
	35	33,6	42,0	50,4	58,8					
	40	38,4	48,0	57,6	67,2	76,8				
	45	43,2	54,0	64,8	75,6	86,4	97,2			
	50	48,0	60,0	72,0	84,0	96,0	108,0	120,0		
	60	57,6	72,0	86,4	100,8	115,2	129,6	144,0	172,8	
	70	67,2	84,0	100,8	117,6	134,4	151,2	168,0	201,6	235,2
	80	76,8	96,0	115,2	134,4	153,6	172,8	192,0	230,4	268,8
B 225 $\frac{1}{3} K_b =$ 65 kp/cm ²	20	26,0								
	25	32,5	40,7							
	30	39,0	48,8	58,5						
	35	45,5	56,9	68,3	79,6					
	40	52,0	65,0	78,0	91,0	104,0				
	45	58,5	73,1	87,8	102,4	117,0	131,6			
	50	65,0	81,3	97,5	113,8	130,0	146,3	162,0		
	60	78,0	97,5	117,0	136,6	156,0	175,5	195,0	234,0	
	70	91,0	113,8	136,5	159,3	182,0	204,8	227,5	273,0	318,5
	80	104,0	130,0	156,0	182,0	208,0	234,0	260,0	312,0	364,0
B 300 $\frac{1}{3} K_b =$ 80 kp/cm ²	20	32,0								
	25	40,0	50,0							
	30	48,0	60,0	72,0						
	35	56,0	70,0	84,0	98,0					
	40	64,0	80,0	96,0	112,0	128,0				
	45	72,0	90,0	108,0	126,0	144,0	162,0			
	50	80,0	100,0	120,0	140,0	160,0	180,0	200,0		
	60	96,0	120,0	144,0	168,0	192,0	216,0	240,0	288,0	
	70	112,0	140,0	168,0	196,0	224,0	252,0	280,0	336,0	382,0
	80	128,0	160,0	192,0	224,0	256,0	288,0	320,0	384,0	448,0

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

Έπιτρεπόμενο φορτίο P_e (t) αναλαμβανόμενο από τον
διαμήκη όπλισμό Fe

Χάλυψ σκυροδέματος	n	Ø 14	Ø 16	Ø 18	Ø 20	Ø 22	Ø 24	Ø 26	Ø 30
I $\frac{1}{3} \sigma_s =$ 0,8 Mp/cm ²	4	4,9	6,4	8,1	10,0	12,2	14,5	17,0	22,6
	6	7,4	9,6	12,2	15,1	18,4	21,7	25,0	34,9
	8	9,6	12,9	16,3	20,1	24,3	29,0	34,5	45,3
	10	12,8	16,1	20,4	25,2	30,4	36,2	42,5	56,6
	12	14,8	19,3	24,4	30,2	36,5	43,4	51,0	67,9
II $\frac{1}{3} \sigma_s =$ 1,2 Mp/cm ²	4	7,4	9,7	12,2	15,1	18,3	21,7	25,5	33,9
	6	11,1	14,4	18,3	22,6	27,4	32,6	38,6	50,8
	8	14,8	19,3	24,4	30,2	36,5	43,4	51,0	67,9
	10	18,4	24,1	30,6	36,6	45,5	53,3	63,7	84,9
	12	22,2	29,0	36,6	45,2	54,7	65,1	76,4	101,8
III & IV $\frac{1}{3} \sigma_s =$ 1,4 Mp/cm ²	4	8,6	11,3	14,3	17,6	21,3	25,3	29,7	39,6
	6	12,9	16,9	21,4	26,4	32,0	38,0	44,6	58,3
	8	17,3	22,5	28,5	35,2	42,6	50,7	59,5	79,2
	10	21,5	28,2	35,6	44,0	53,3	63,4	74,5	99,0
	12	25,9	33,8	42,8	52,8	63,9	76,0	89,2	118,8

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Μέγιστος αριθμός ράβδων όπλισμού εις μίαν σειράν

Πλάτος δοκού (cm)	Διάμετρος ράβδων (mm)											
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
10	2	2	2	2	(2)	1	1	1	1	1	1	1
15	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
20	(6)	5	5	(5)	4	4	4	3	3	3	3	2
25	7	7	6	6	(6)	5	5	4	4	4	3	3
30	9	8	(8)	7	7	6	6	5	5	(5)	4	4
35	(11)	10	9	9	8	8	7	6	6	5	5	5
40	12	11	(11)	10	9	9	8	7	7	6	6	(6)
45	14	12	12	(12)	11	10	9	8	8	7	7	6
50	(16)	(15)	13	13	12	11	10	9	9	8	8	7
60	19	18	16	16	15	14	13	(12)	11	10	9	9

ΠΙΝΑΚΑΣ 8α

Εκκεντρη δαλψη μικρης εκκεντροτητας

$\frac{e}{d} = 0,40$
$\mu_0 = \mu_0'$

Συντελεσται: $\frac{\sigma_b \epsilon \pi}{\sigma_0}$ με $\sigma_0 = \frac{N}{b d}$

Οπλισμός: $F_e = \frac{b d}{100} \mu_0$

$$\gamma = \frac{c y}{d} + \frac{c x}{b} = \frac{M_x}{N d} + \frac{M_y}{N b}$$

$F_e' = \frac{b d}{100} \mu_0'$

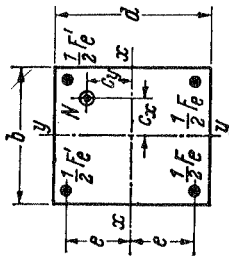
		$\frac{\sigma_b}{\sigma_0}$
		↓
μ_0'	←	γ

$100 \mu_0 =$ $100 \mu_0'$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	$\frac{\sigma_b \epsilon \pi}{\sigma_0}$
0,4	001	022	043	063	084	104	125	146	166	187	207	228	249	269	290	310	331		
0,5	007	028	049	071	092	114	135	157	178	200	221	243	264	286	307	329	350		
0,6	012	034	056	079	101	124	146	168	191	213	236	258	280	303	325	348	370		
0,7	017	040	063	087	110	134	157	180	204	227	251	274	297	321	344	368	391		
0,8	023	047	071	096	120	144	167	193	217	242	266	290	315	339	363	388	412		
0,9	003	029	054	079	105	130	155	180	206	231	256	281	307	332	357	382	408		
1,0	007	034	060	086	113	139	165	191	218	244	270	296	323	349	375	401	428		
1,1	013	040	067	094	121	149	176	203	230	257	285	312	339	366	393	421			
1,2	018	046	074	102	130	158	187	215	243	271	299	327	355	383	412	440			
1,3	023	052	081	110	139	168	197	226	255	284	314	343	372	401	430				
1,4	029	059	089	119	149	179	209	239	269	299	329	359	389	419	449				
1,5	034	065	096	127	156	189	220	251	282	313	344	375	406	437					
1,6	039	071	103	135	167	199	231	263	295	327	359	391	423	455					
1,7	045	078	111	144	177	210	242	275	308	341	374	407	440						
1,8	050	084	118	152	186	219	253	287	321	355	388	422	456						
1,9	057	091	126	161	195	230	265	300	334	369	404	439							
2,0	064	099	134	169	204	240	275	310	345	380	416	451							
2,1	068	104	141	178	214	251	288	324	361	398	434								
2,2	074	111	149	187	224	262	299	337	375	412	450								
2,3	080	118	157	196	234	273	311	350	388	427	465								
2,4	086	126	165	204	244	283	323	362	402	441									
2,5	092	133	173	213	254	294	335	375	416	456									

$$\sigma_{bz} = 0$$

$$\sigma_{bz} = -0,25 \sigma_b d$$

$$\sigma_{bz} = -0,35 \sigma_b d$$



1000 γ

FINAKAZ 9^α

ΕΚΚΕΝΤΡΗ ΔΑΪΨΗ ΜΙΚΡΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ

$\mu_0 = \mu'$
$\frac{e}{d} = 0,45$

$$\frac{N}{b d} = \frac{M_x}{N d} + \frac{M_y}{N b}$$

$$F_e = \frac{b d}{100} 100 \mu_0$$

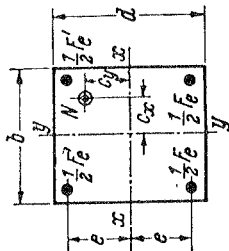
		$\rightarrow$	μ_0'
	$\downarrow$		
$\frac{\sigma_b}{\sigma_o}$			

$\frac{100 \mu_0}{100 \mu_0'}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
0,4			023	045	066	088	109	131	152	174	195	217	238	260	282	303	325	346
0,5		008	030	052	073	097	118	142	164	187	209	232	254	276	299	321	344	366
0,6		014	037	061	085	109	133	157	181	205	229	249	277	301	325	349	373	397
0,7		019	044	069	094	120	145	170	195	220	246	271	296	321	346	372	397	422
0,8		025	051	077	104	130	157	183	209	236	262	289	315	341	368	394	421	
0,9	002	030	058	086	113	141	168	196	223	251	279	306	334	362	389	417	444	
1,0	008	037	066	095	124	152	181	210	239	268	296	325	354	383	412	440		
1,1	015	045	075	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	475		
1,2	021	052	083	114	145	177	208	239	270	301	333	364	395	426	458			
1,3	027	059	091	123	155	186	218	252	283	316	347	380	412	444	477			
1,4	033	067	100	133	166	201	234	268	301	335	369	402	436	470				
1,5	039	074	109	144	178	214	249	284	318	353	388	432	458	493				
1,6	045	081	117	153	189	225	261	298	334	370	406	442	478					
1,7	052	089	126	163	200	238	275	313	350	387	424	462	499					
1,8	058	097	136	175	213	252	290	329	367	406	444	493						
1,9	065	105	145	185	225	264	304	344	384	424	463	503						
2,0	072	113	154	195	236	277	318	359	400	441	482	523						
2,1	080	122	164	206	248	290	333	375	417	460	502							
2,2	087	130	173	216	260	303	347	390	433	477	520							
2,3	093	138	183	228	272	317	361	406	450	495	540							
2,4	100	146	192	238	284	329	375	421	467	513								
2,5	107	154	201	248	295	342	389	436	483	530								

$\sigma_b \varepsilon \pi$
 σ_0

1000γ

$\sigma_{bz} = -0,35 \sigma_b d$
 $\sigma_{bz} = -0,25 \sigma_b e$
 $\sigma_{bz} = 0$



$\frac{e}{d} = 0,40$
$\mu_0 = 0,004$

Συντελεσταί: $\frac{\sigma_b \varepsilon \pi}{\sigma_o} \mu \dot{\epsilon} \sigma_o = \frac{N}{bd}$

$$\frac{p_N}{x_M} = \frac{p}{x_J} = \lambda$$

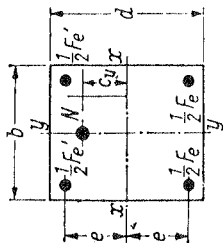
•Οπλισμός: $F_e = \frac{bd}{100} 0,4$

$$F_e' = \frac{bd}{100} \mu_o'$$

		μ_0'	
	$\rightarrow$		
$\frac{\sigma_D}{\sigma_0}$	$\uparrow$		

$100 \mu_0'$ =	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
0,4		002	022	043	063	084	104	125	145	166	186	207	227	248	268	289
0,5		009	030	051	073	094	115	136	158	179	200	222	243	264	286	307
0,6		017	039	061	083	105	126	148	170	192	214	236	258	280	301	
0,7	002	024	047	070	092	115	137	160	183	205	228	250	273	296		
0,8	009	033	056	079	103	126	149	172	196	219	242	265	289	312		
0,9	016	040	064	088	112	136	160	184	208	232	256	280	304			
1,0	023	047	072	097	121	146	171	195	220	245	269	294	319			
1,1	029	055	080	105	131	156	182	207	232	258	283	309				
1,2	037	063	089	115	141	167	193	219	245	271	297	324				
1,3	044	070	097	124	150	177	203	230	256	283	309					
1,4	050	078	105	132	160	187	215	242	269	297	324					
1,5	057	085	113	141	169	197	225	253	281	309						
1,6	064	092	121	150	178	207	236	265	293	322						
1,7	070	100	129	158	188	217	247	276	305							
1,8	077	107	137	167	197	227	257	287	317							
1,9	084	114	145	176	206	237	268	298	329							
2,0	090	122	153	184	216	247	278	310								
2,1	097	129	161	193	225	257	289	321								
2,2	104	136	169	202	234	267	299	332								
2,3	110	144	177	210	244	277	310									
2,4	116	150	184	218	252	286	320									
2,5	123	157	192	227	261	296	330									

Διά μεγαλύτερας τιμής
του γ υπολογισμός κατά
τὸ Στάδιον II



Διὰ μεγαλύτερας τιμᾶς
τοῦ γ ὑπολογισμός κατὰ
τὸ Στάδιον II

$$\sigma_b z = -0.25 \sigma_b d$$

$$\sigma_{bz} = 0$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 96

Έκκεντρα δαλψη μικρης εκκεντροτητας

$\frac{e}{d} = 0.45$
$\mu_0 = 0.004$

Συντελεσται: $\frac{\sigma_b \epsilon \pi}{\sigma_0}$ με $\sigma_0 = \frac{N}{b d}$

Όπλισμός: $F_e = \frac{b d}{100} 0.4$

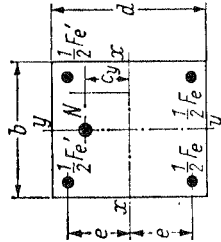
$F_e' = \frac{b d}{100} 100 \mu_0'$

$\gamma = \frac{c y}{d} = \frac{M x}{N d}$

$\frac{\sigma_b}{\sigma_0}$		
$\downarrow$		
μ_0'	$\leftarrow$	γ

$100 \mu_0' =$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	$\frac{\sigma_b \epsilon \pi}{\sigma_0} =$
0,4		002	023	045	066	088	109	131	152	174	195	217	239	261	282	304	1000 γ
0,5		011	033	055	078	100	122	145	167	190	212	235	257	279	301	324	
0,6		019	042	065	089	112	135	159	182	205	228	258	275	298	321		
0,7	001	026	051	076	100	124	148	172	196	220	244	269	293	317			
0,8	010	035	061	086	111	136	161	186	211	236	261	286	311	336			
0,9	018	044	070	096	122	148	173	199	225	251	277	302	328				
1,0	026	053	080	107	134	160	187	214	240	267	294	320					
1,1	033	061	089	117	144	172	200	227	255	282	310	334					
1,2	041	070	099	127	156	184	212	241	269	298	326						
1,3	049	078	107	136	166	195	224	254	283	312	341						
1,4	057	087	117	147	177	208	236	268	298	328							
1,5	065	096	127	158	188	220	250	282	312	343							
1,6	072	104	136	168	199	231	263	295	326								
1,7	079	112	145	178	210	243	275	308	341								
1,8	086	120	154	188	221	255	288	322	355								
1,9	093	128	163	197	232	266	301	335									
2,0	100	136	172	207	243	277	313	348									
2,1	108	144	182	218	254	289	326	362									
2,2	116	153	191	228	264	301	338										
2,3	124	162	200	238	275	313	350										
2,4	132	171	209	247	286	324	362										
2,5	140	180	218	257	296	335	374										

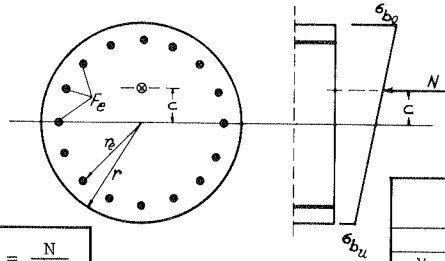
Διά μεγαλυτεραι τιμιάς του γ υπολογισμός κατά τὸ Στάδιον II



$$\sigma_{bz} = - 0,25 \sigma_b d$$

$$\sigma_{bz} = 0$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 10
Κυκλική Διατομή σε μικρή έκκεντρότητα



$$\frac{r_e}{r} = 0,9 \quad \gamma = \frac{c}{r} \quad \sigma_o = \frac{N}{\pi r^2}$$

		σ_b/σ_o	
		$\downarrow$	
μ	$\leftarrow$	γ	

$\frac{\epsilon \sigma_b}{\sigma_o}$ 100μ	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
0,4		015	069	124	178	233	287	342	396	451	505
0,6		022	079	136	192	249	306	363	420	476	533
0,8		030	089	148	207	266	325	384	443	502	561
1,0		038	099	160	221	283	344	406	467	528	590
1,2		046	109	173	236	300	364	427	491	554	618
1,4		054	120	186	252	317	383	449	515	581	646
1,6		066	134	202	270	338	406	475	543	611	
1,8		071	141	212	282	352	423	493	564	634	
2,0	007	079	152	225	298	370	443	516	588	661	
2,2	013	088	163	238	313	388	463	538	613		
2,4	020	097	174	251	329	406	483	560	638		
2,6	027	106	186	265	344	424	503	583	662		
2,8	033	115	197	279	360	442	524	606	687		
3,0	040	124	208	292	376	460	544	628			
n=15					$\sigma_{bz} = 0$	$\sigma_{bz} = -0,25\sigma_{bD}$	$\sigma_{bz} = 0,35\sigma_{bD}$				

1000γ

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

Έπιτρεπόμενες τάσεις

Στοιχεῖα κατασκευῆς καὶ εἶδος καταπόνησως	Ὑλικὸν κατασκευῆς καὶ περιοχὴ ἐφαρμογῆς	Ἐπιτρεπόμεναι τάσεις					
		Κατηγορίαι ποιότητος σκυροδέμ.					
			B 120	) B 160 ¹⁾	) B 225 ¹⁾	) B 300 ¹⁾	
1	2	3	4	5	6	7	8
Α Πλάκες καὶ δοκοὶ ὀρθογωνικῆς διατομῆς εἰς κάμπιν	Σκυρόδεμα εἰς πλάκας καὶ δοκοὺς ὀρθο- γωνικῆς διατομῆς (ἐπίσης εἰς σταυροειδῶς ὠπλισμένας πλάκας ⁵²⁾ καὶ μυκητοειδῆ πα- τώματα) $d \leq 8 \text{ cm}$ $d > 8 \text{ cm}^2$)	σ_b σ_b	40 40	50 60	70 80	90 100	1 2
	Χάλυψ εἰς πλάκας: Σκυροδέματος Ι.....	σ_e	1200	1400	1400	1400	3
	Σκυροδέματος ΙΙ.....	σ_e	—	2000	2000	2000	4
	Σκυροδέματος ΙΙΙ*)...	σ_e	—	2200	2200 ³⁾	2200 ³⁾	5
	Σκυροδέματος ΙV*) ..	σ_e	—	2200	2400	2400	6
	Χάλυψ εἰς δοκοὺς: Σκυροδέματος Ι.....	σ_e	1200	1400	1400	1400	7
	Σκυροδέματος ΙΙ.....	σ_e	—	1800	1800	1800	8
	Σκυροδέματος ΙΙΙ&ΙV*)	σ_e	—	—	2000 ⁴⁾	2000 ⁴⁾	9
	Σκυρόδεμα λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν τῶν τάσεων εἰς τὴν πλάκα		40	50	70	90	10
	Ἐὰν αἱ τάσεις εἰς τὴν πλάκα δὲν ληφθοῦν ὑπ' ὄψιν, τότε ἰσχύουν αἱ ὑπὸ Α ἀναφε- ρόμεναι τιμαὶ						
Β Πλακοδοκοὶ καὶ πατώματα (πλάκες) μετὰ νευρώσεων εἰς κάμπιν	Σκυρόδεμα εἰς τοὺς κορμούς πλακοδοκῶν καὶ πατωμάτων (πλακῶν) μετὰ νευρώσεων εἰς τὴν περιοχὴν τῶν ἀρνητικῶν ροπῶν..	σ_b	50	70	90	110	11
	Χάλυψ σκυροδέματος Ι	σ_e	1200	1400	1400	1400	12
	Χάλυψ σκυροδέματος ΙΙ	σ_e	—	1800	1800	1800	13
	Χάλυψ σκυροδέματος ΙΙΙ καὶ ΙV	σ_e	—	—	2000 ⁴⁾	2000 ⁴⁾	14

Στοιχεία κατασκευής καὶ εἶδος καταπόνησεως	Υλικὸν κατασκευής καὶ περιοχὴ ἐφαρμογῆς	Ἐπιτρεπόμεναι τάσεις Κατηγορίαι ποιότητος σκυροδέμ.					
		B 120)	B 160 1)	B 225 1)	B 300 1)		
Γ Κάμψις μετ' ὀρθῆς δυνάμε- ως εἰς περιπτώσιν πλακῶν, δοκῶν ὀρθογωνικῆς διατο- μῆς, πλακοδοκῶν, πλαισι- σίων, τόξων (ὡς πρὸς τὸν ἐλάχιστον ὀπλισμὸν ἰδὲ § 16.3) καὶ στύλων (ἐπίσης μυκητοειδῶν πατωμάτων) ὡς τμημάτων πλαισιωτῶν κα- τασκευῶν, ὅταν ταῦτα διεξο- δικῶς υπολογίζωνται κατὰ τὴν θεωρίαν τῶν πλαισίων, καὶ δι' εἰς περιπτώσιν συ- νήθων δομικῶν ἔργων ὑπὸ τὴν παραδοχὴν μᾶλλον δυσ- μενοῦς θέσεως φορτίσεως, εἰς περιπτώσιν ἑτέρων κα- τασκευῶν ἐκτὸς τοῦτου λαμ- βανομένης ὑπ' ὅσιν τῆς θερ- μικῆς ἐπιρροῆς, τῆς συστο- λῆς ἐκ πῆξεως καὶ ἐνδεχο- μένων δυνάμεων τριβῆς καὶ πεδήσεως	Σκυροδεμα εἰς περιπτώσιν α) ὀρθογωνικῶν διατομῶν εἰς μονοαξο- νικὴν κάμψιν	σ_b	—	70	90	110	15
	β) ὀρθογωνικῶν διατομῶν εἰς διαξονικὴν κάμψιν (γωνιακὴ τάσις)	σ_b	—	80	100	120	16
	γ) διατομῶν πλακοδοκῶν εἰς περιπτώσιν καθ' ἣν λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν αἱ τάσεις θλίψεως εἰς τὴν πλάκα	σ_b	—	60	80	100	17
	Ἐάν δὲν ληφθοῦν ὑπ' ὄψιν αἱ τάσεις εἰς τὴν πλάκα ἢ ἡ πλάξ εὐρίσκηται εἰς τὴν ἐφελκυομένην ζώνην, τότε ἰσχύουν αἱ ὑπὸ α) καὶ β) δι' ὀρθογωνικάς δια- τομὰς ἀναφερόμεναι τάσεις σκυροδέ- ματος						
	Χάλυψ εἰς πλάκας: Κατηγορίας I	σ_e	—	1400	1400	1400	18
	Κατηγορίας II	σ_e	—	2000	2000	2000	19
	Κατηγορίας III *)	σ_e	—	2200	2200 ³⁾	2200 ³⁾	20
	Κατηγορίας IV *)	σ_e	—	2200	2400	2400	21
	Χάλυψ εἰς ἑτερα στοι- χεῖα κατασκευῆς: Σκυροδέματος I	σ_e	—	1400	1400	1400	22
	Σκυροδέματος II	σ_e	—	1800	1800	1800	23
	Σκυροδέματος III & IV *)	σ_e	—	—	2000 ⁴⁾	2000 ⁴⁾	24
	Δ Διατμήσις λόγω κάμψεως	* Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀσφαλείας εἰς διάτμη- σιν: εἰς πλάκας	τ_o	6	8	9	10
εἰς ἑτερα στοιχεία κατασκευῆς		τ_o	4	6	7	8	26
Μέγισταί τιμαὶ ἄνευ συνήθους λογισμοῦ τοῦ ὀπλισμοῦ διατμήσεως		$\max \tau_o$	14	16	18	20	27
Ε Στρέψις εἰς ὀρθογωνικάς διατομὰς	* Ἄνευ ἐλέγχου τοῦ ὀπλισμοῦ εἰς στρέ- ψιν	τ_o	4	5	6	7	28
	Μέγισταί τιμαὶ ἄνευ συνυπολογισμοῦ τοῦ ὀπλισμοῦ στρέψεως	$\max \tau_o$	14	16	18	20	29
Ζ Στρέψις καὶ διάτμησις ἐκ κάμψεως εἰς περιπτώσιν ὀρθογωνικῶν διατομῶν	* Ἄνευ ἐλέγχου τοῦ ὀπλισμοῦ στρέ- ψεως	τ_o	6	8	9	10	30
	Μέγισταί τιμαὶ ἄνευ συνυπολογισμοῦ τοῦ ὀπλισμοῦ διατμήσεως καὶ στρέψεως	$\max \tau_o$	17	20	23	26	31
Η Συνάφεια τῶν ἐκ χάλυβος ὀπλισμῶν εἰς στοιχεῖα κατα- σκευῆς, τὰ ὁποῖα πρόκειται νὰ καταπονηθοῦν εἰς κάμψιν	Τάσεις συναφείας	τ_1	4	5	6	8	32

¹⁾ Αἱ ἀναφερόμεναι τάσεις χάλυβος ἰσχύουν

εἰς περιπτώσιν κατηγορίας ποιότητος σκυροδέματος B 160 διὰ χάλυβας μὲ $\varnothing \leq 30 \text{ mm}$ (7,07 cm²)

εἰς περιπτώσιν κατηγορίας ποιότητος σκυροδέματος B 225 διὰ χάλυβας μὲ $\varnothing \leq 40 \text{ mm}$ (12,57 cm²)

εἰς περιπτώσιν κατηγορίας ποιότητος σκυροδέματος B 300 διὰ χάλυβας μὲ $\varnothing \leq 50 \text{ mm}$ (19,64 cm²).

Εἰς περιπτώσιν μεγαλυτέρων διαμέτρων αἱ ἀναφερόμεναι τάσεις χάλυβος δεόν ὅπως μειώνονται κατὰ 200 kp/cm².
Ἐπιτρέπεται ὅπως αἱ ἐπιτρεπόμεναι τάσεις σκυροδέματος λαμβάνονται μεγαλύτεραι κατὰ 10 kp/cm².

²⁾ Μέχρι νωτέρων δύνανται εἰς πλάκας μὲ πάχος μεγαλύτερον τῶν 8 cm εἰς περιπτώσιν χρησιμοποίησεως σκυροδέματος κατηγορίας ποιότητος B 225 ἢ B 300 αἱ διὰ τῆς ὑποσημειώσεως ταύτης ἐπιτρεπόμεναι τάσεις χάλυβος (σειραὶ 5 καὶ 20), ὅπως ἐπ α υ ξ ἄ ν ω ν τ αἰ κατὰ 200 kp/cm².

³⁾ Αἱ ἐπιτρεπόμεναι τάσεις χάλυβος εἶναι μεγαλύτεραι διὰ νευροχάλυβα σκυροδέματος

⁴⁾ Αἱ ἐπιτρεπόμεναι τάσεις χάλυβος διὰ νευροχάλυβα σκυροδέματος καὶ πλέγματα δομικῶν χαλύβων ρυθμίζονται συμφώνως πρὸς τὰς ἐκάστοτε ἰσχυοῦσας ἐγκρίσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

Συντελεστές K_h, K_x, K_z, K_e

$M_e = M - N \cdot e$ (N αρνητικό σέ θλίψη. Για απλή κάμψη $M_e = M$)

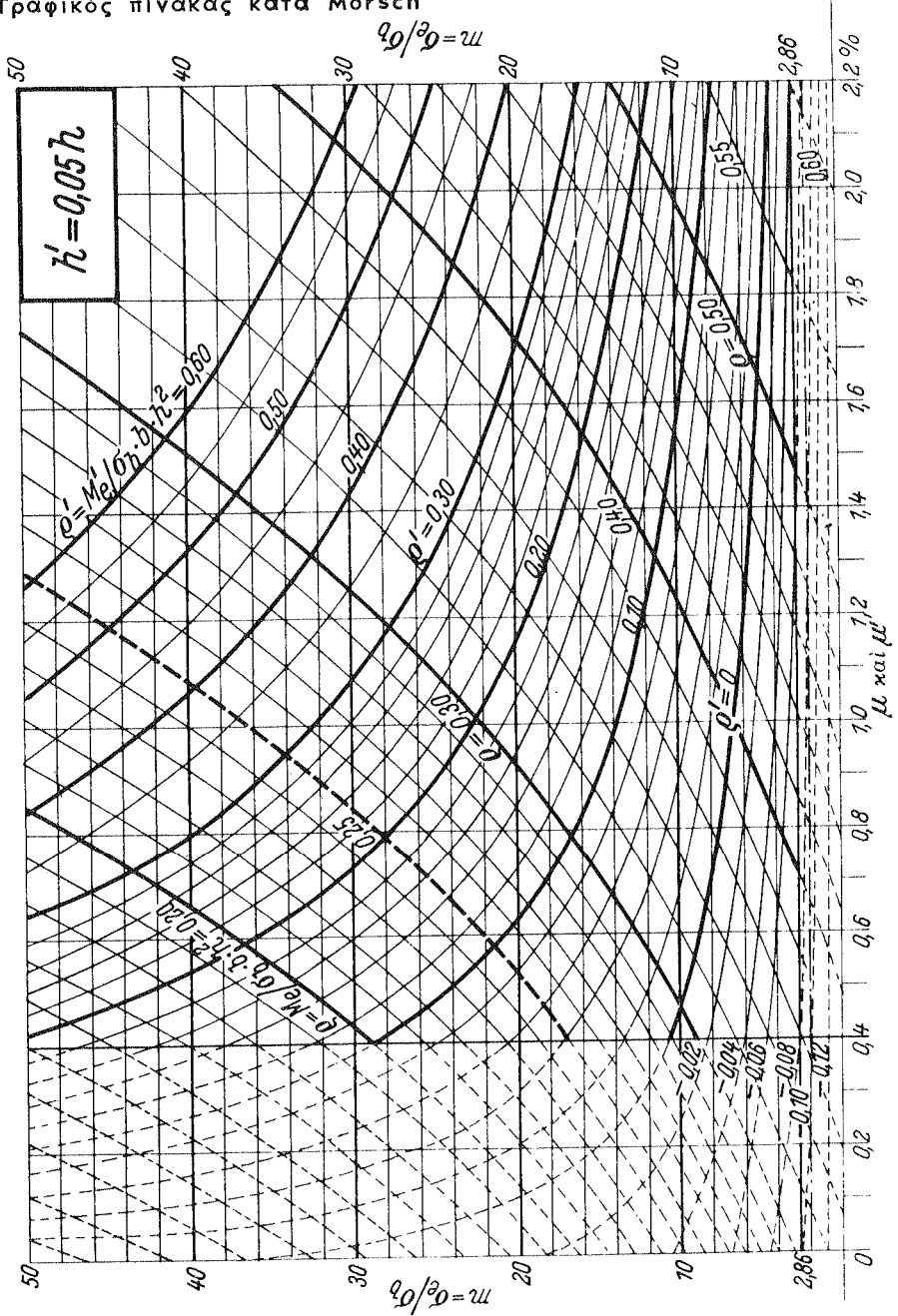
$$z = K_z \cdot h, \quad x = K_x \cdot h, \quad h(\text{cm}) = K_h \cdot \sqrt{\frac{M_e(\text{tm})}{b(\text{m})}}, \quad F_e(\text{cm}^2) = \frac{M_e(\text{tm})}{h(\text{m})} \cdot K_e + \frac{N(\text{t})}{\sigma_e(\text{t/cm}^2)}$$

$\sigma_b \backslash \sigma_e$		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
10	K_h	40.0	43.3	46.3	49.0	51.7	54.1				
	K_e	1.05	0.86	0.74	0.64	0.57	0.51				
	K_z	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98				
	K_x	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07				
15	K_h	27.81	29.9	31.7	33.7	35.3	36.9	38.5	40.0	41.4	42.8
	K_e	1.06	0.88	0.75	0.65	0.58	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37
	K_z	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98
	K_x	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07
20	K_h	21.6	23.1	24.6	25.9	27.1	28.3	29.4	30.6	31.5	32.5
	K_e	1.08	0.90	0.76	0.66	0.58	0.52	0.47	0.43	0.40	0.37
	K_z	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97
	K_x	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10
30	K_h	15.5	16.4	17.3	18.1	18.9	19.7	20.4	21.2	21.7	22.5
	K_e	1.11	0.92	0.78	0.67	0.60	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37
	K_z	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95
	K_x	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14
40	K_h	12.3	13.0	13.6	14.2	14.8	15.3	15.9	16.4	16.9	17.3
	K_e	1.14	0.94	0.79	0.69	0.61	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38
	K_z	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94
	K_x	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18
50	K_h	10.4	10.9	11.4	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3
	K_e	1.17	0.96	0.81	0.70	0.62	0.55	0.50	0.45	0.42	0.38
	K_z	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93
	K_x	0.43	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21

$\sigma_b \backslash \sigma_e$		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
60	K_h			9.9	10.3	10.6	11.0	11.3	11.6	11.9	12.2
	K_e			0.82	0.71	0.63	0.56	0.50	0.46	0.42	0.39
	K_z			0.87	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92
	K_x			0.39	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24
70	K_h			8.8	9.1	9.4	9.7	10.0	10.2	10.5	10.7
	K_e			0.83	0.72	0.63	0.57	0.51	0.46	0.43	0.39
	K_z			0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91
	K_x			0.43	0.40	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27
80	K_h			8.0	8.3	8.5	8.7	9.0	9.2	9.4	9.6
	K_e			0.84	0.73	0.64	0.57	0.52	0.47	0.43	0.40
	K_z			0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.90
	K_x			0.46	0.43	0.40	0.38	0.35	0.33	0.32	0.30
90	K_h			7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8
	K_e			0.85	0.74	0.65	0.58	0.52	0.47	0.43	0.40
	K_z			0.84	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89
	K_x			0.49	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33
100	K_h			6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.7	7.9	8.1
	K_e			0.86	0.75	0.66	0.58	0.53	0.48	0.44	0.40
	K_z			0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88
	K_x			0.52	0.48	0.46	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35
110	K_h			6.4	6.6	6.7	6.9	7.0	7.2	7.3	7.5
	K_e			0.87	0.75	0.66	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41
	K_z			0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88
	K_x			0.54	0.51	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37
120	K_h			6.0	6.2	6.3	6.5	6.6	6.7	6.9	7.0
	K_e			0.88	0.76	0.67	0.59	0.54	0.49	0.45	0.41
	K_z			0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87
	K_x			0.56	0.53	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39

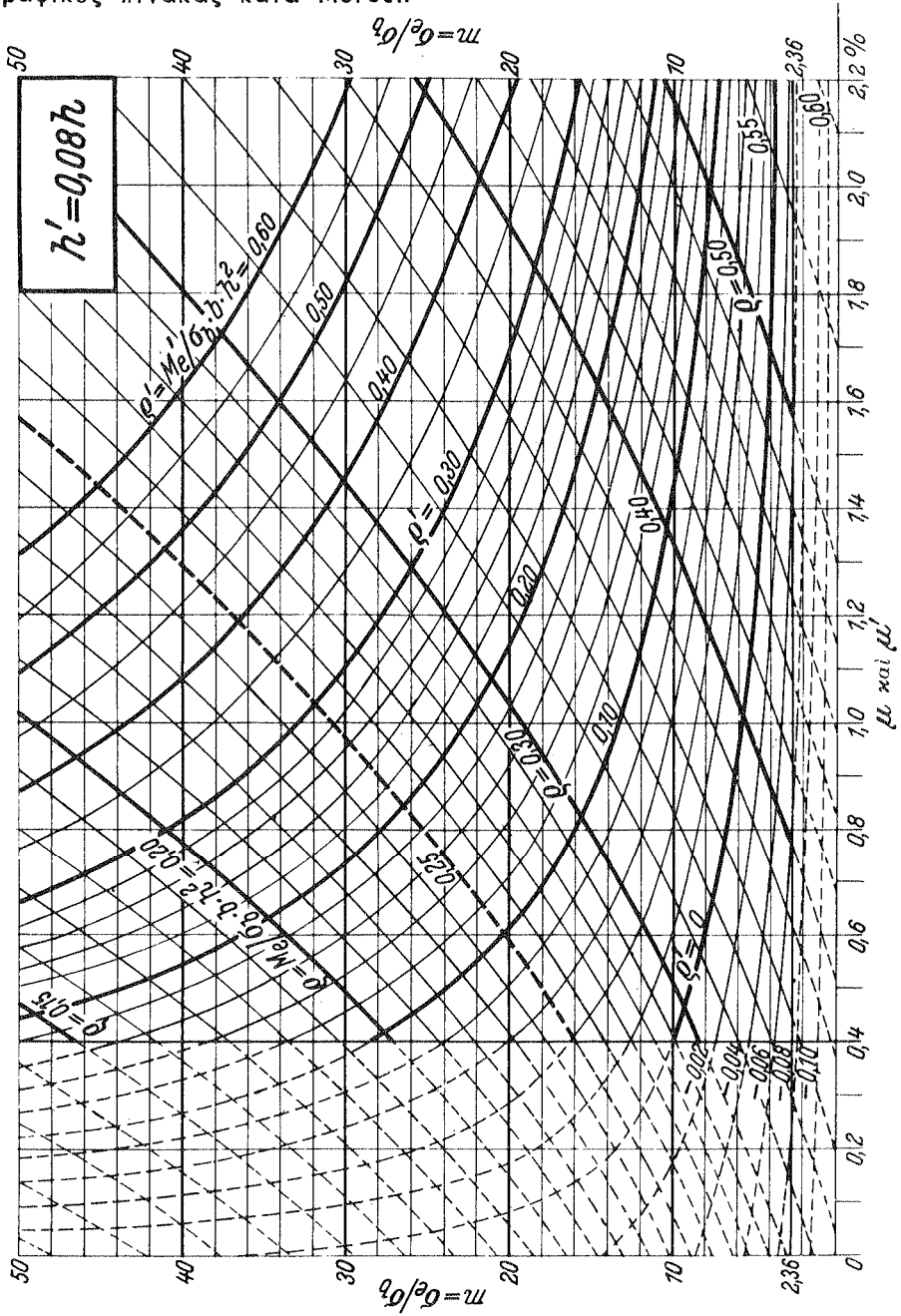
ΠΙΝΑΚΑΣ 13

Γραφικός πίνακας κατά Mörsch



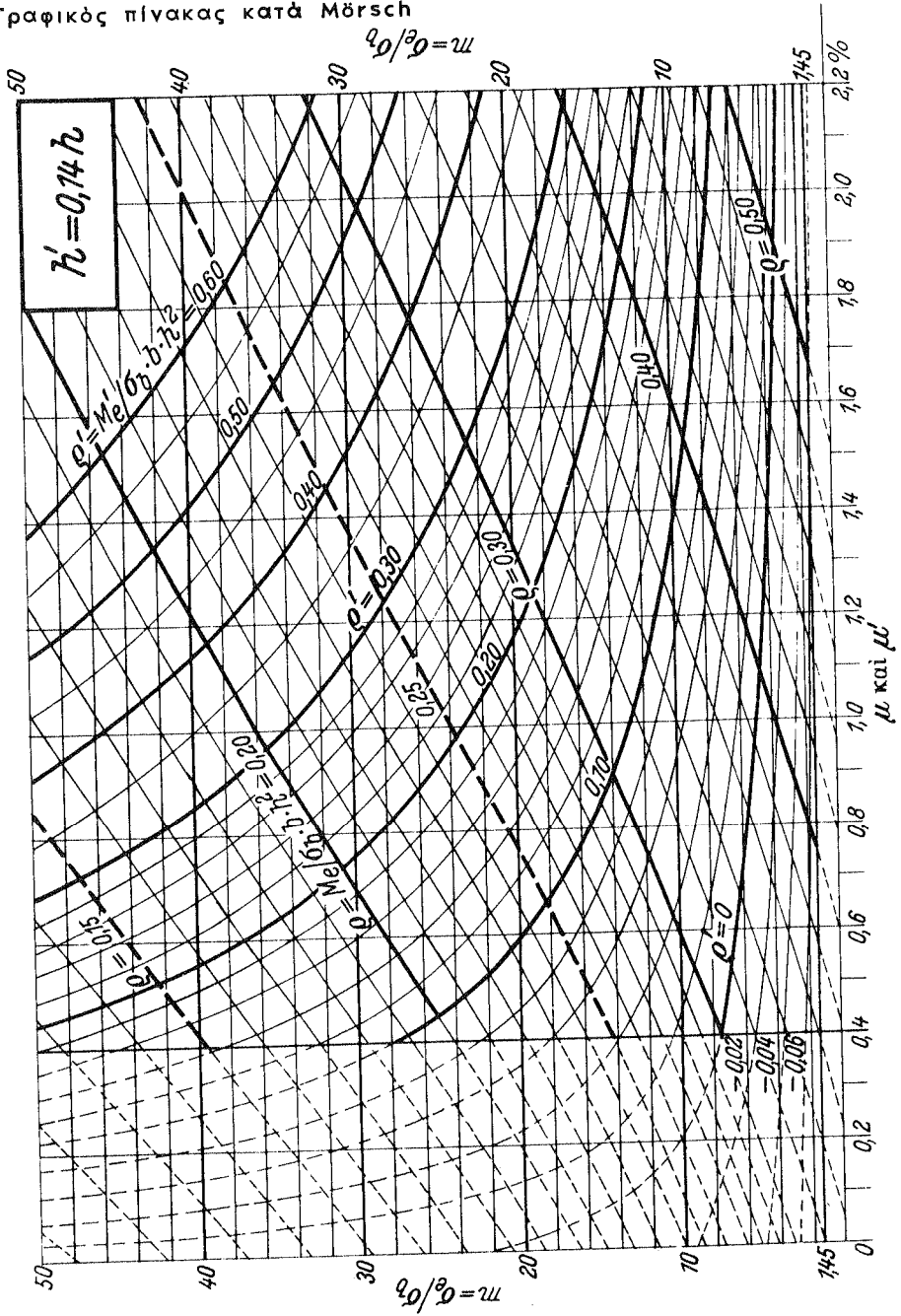
ΠΙΝΑΚΑΣ 14

Γραφικός πίνακας κατά Mörsch



ΠΙΝΑΚΑΣ 15

Γραφικός πίνακας κατά Mörsch



ΠΙΝΑΚΑΣ 15'

Στάδιον II, Διάταξις ύπολογισμού

$$\sigma_e = 1,2 \text{ Mp/cm}^2$$

Δίδεται: (6) $M_e = M - N \cdot e$

Ἡ N ὡς θλιπτικὴ δύναμις τίθεται ἀρνητικὴ. Εἰς περίπτωσιν καθαρῶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$
ὁ συντελεστὴς k_h ἐκ τῆς σχέσεως

$$h [\text{cm}] = k_h \sqrt{\frac{M_e [\text{Mpm}]}{b [\text{m}]}} \quad (16)$$

Προσδιορισμὸς τοῦ ὀπλισμοῦ

$k_h \geq k_h^*$ α) ἀπλοῦς ὀπλισμὸς

$$F_e [\text{cm}^2] = \frac{M_e [\text{Mpm}]}{h [\text{m}]} k_e + \frac{N [\text{Mp}]}{\sigma_e [\text{cm}^2]} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* ,

Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

$\sigma_b [\text{kp/cm}^2]$	20	30	35	40	45	50
k_h & k_h^*	23,1	16,4	14,5	13,0	11,8	10,9
k_e	0,89	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96
k_z	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87
k_x	0,20	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38

$k_h < k_h^*$ β) διπλοῦς ὀπλισμὸς

$$F_e = \frac{M_e}{h} k_e = \frac{N}{\sigma_e} \quad (17)$$

$$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$$

$$F_e' = \frac{M}{h} k_e' q' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$$

Συντελεσταὶ q'

β	40	50	$= \sigma_b$
0,08	1,05	1,04	} $= q'$
0,09	1,11	1,09	
0,10	1,17	1,14	
0,11	1,23	1,20	
0,12	1,30	1,26	
0,14	1,47	1,39	
0,16	1,68	1,53	
0,20	2,30	1,98	

Συντελεσταὶ k_e καὶ k_e'

$\sigma_b =$					
40			50		
k_h	τοῖς %		k_h	τοῖς %	
	k_e'	k_e		k_e'	k_e
13,0	—	94	11,0	—	96
12,9	03		10,9	01	
12,8	07		10,8	04	
12,7	10	94	10,7	07	95
12,6	13		10,6	10	
12,5	17		10,5	13	
12,4	20		10,4	16	
12,3	24		10,3	19	
12,2	27	93	10,2	22	95
12,1	30		10,1	25	
12,0	33		10,0	28	
11,9	37		9,9	31	
11,8	40		9,8	34	
11,7	43	93	9,7	37	94
11,6	46		9,6	40	
11,5	49		9,5	43	
11,4	52		9,4	46	
11,3	55		9,3	48	
11,2	58	93	9,2	51	94
11,1	61		9,1	54	
11,0	64		9,0	56	
10,9	67		8,9	59	
10,8	70		8,8	62	
10,7	73	92	8,7	64	93
10,6	76		8,6	67	
10,5	79		8,5	69	
10,4	82		8,4	72	
10,3	84		8,3	74	
10,2	87	92	8,2	77	93
10,1	89		8,1	79	
10,0	92		8,0	81	
			7,9	84	
			7,8	86	
			7,7	88	93
			7,6	90	
			7,5	93	

ΠΙΝΑΚΑΣ 16

Στάδιον II, Διάταξις ύπολογισμοῦ

Δίδεται: $M_e = M - N \cdot e$ (6)

Ἡ N ὡς θλιπτικὴ δόναμις τίθεται ἀρνητικὴ. Εἰς περιπτώσιν καθαρῆς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστὴς

k_h ἐκ τῆς σχέσεως (16)

$$h \text{ [cm]} = k_h \sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}$$

Προσδιορισμὸς τοῦ ὀπλισμοῦ

α) $k_h \geq k_h^*$, ἀπλοῦς ὀπλισμὸς

Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{\sigma_e \text{ [Mp/cm}^2\text{]}}$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

σ_b [kp/cm ²]	30	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h & k_h^*	17,3	13,6	12,4	11,4	9,9	8,8	8,0	7,4	6,8	6,4	6,0
k_e	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
k_z	0,92	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81
k_x	0,24	0,30	0,33	0,35	0,39	0,43	0,46	0,49	0,52	0,54	0,56

β) $k_h < k_h^*$, διπλοῦς ὀπλισμὸς

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοὺς συντελεστάς k_e καὶ k_e' .

(17) $F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{M}{\sigma_e}$

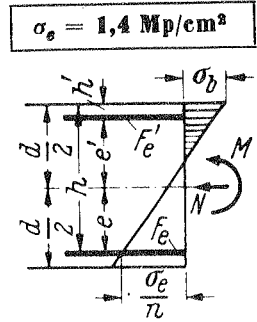
$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' \text{ (διὰ } \beta \leq 0,07\text{)}$

$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' \varrho' \text{ (διὰ } \beta > 0,07\text{)}$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν ϱ' .
Συντελεσταὶ ϱ'

β	50	60	70	80	90	100	$= \sigma_b$
0,08	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	} $= \varrho'$
0,09	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07	
0,10	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11	1,11	
0,11	1,22	1,19	1,18	1,16	1,15	1,15	
0,12	1,29	1,25	1,23	1,21	1,20	1,19	
0,14	1,44	1,38	1,34	1,32	1,30	1,28	
0,16	1,64	1,54	1,46	1,42	1,41	1,37	
0,20	2,18	1,95	1,82	1,74	1,68	1,64	



Συντελεσται k_e και k_e'

$$\sigma_e = 1,4 \text{ Mp/cm}^2$$

$\sigma_b =$																	
50			60			70			80			90			100		
k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %	
k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e	
11,5	—	81	10,0	—	82	9,0	—	83	8,0	—	84	7,5	—	85	7,0	—	86
11,4	—		9,9	—		8,9	—		7,9	03		7,4	—		6,9	—	
11,3	03		9,8	03		8,8	01		7,8	05		7,3	01		6,8	01	
11,2	06	81	9,7	06	82	8,7	03	83	7,7	08	84	7,2	04	85	6,7	03	86
11,1	09		9,6	09		8,6	06		7,6	10		7,1	06		6,6	06	
11,0	12		9,5	12		8,5	08		7,5	13		7,0	09		6,5	08	
10,9	15		9,4	14		8,4	11		7,4	15		6,9	11		6,4	10	
10,8	18		9,3	17		8,3	14		7,3	17		6,8	14		6,3	13	
10,7	21	80	9,2	20	81	8,2	17	82	7,2	20	83	6,7	16	84	6,2	15	85
10,6	24		9,1	23		8,1	19		7,1	22		6,6	18		6,1	17	
10,5	27		9,0	25		8,0	22		7,0	25		6,5	20		6,0	19	
10,4	30		8,9	28		7,9	24		6,9	27		6,4	23		5,9	21	
10,3	33		8,8	31		7,8	27		6,8	29		6,3	25		5,8	23	
10,2	36	80	8,7	33	81	7,7	29	82	6,7	32	82	6,2	27	83	5,7	25	83
10,1	38		8,6	36		7,6	32		6,6	34		6,1	29		5,6	27	
10,0	41		8,5	38		7,5	34		6,5	36		6,0	31		5,5	29	
9,9	44		8,4	41		7,4	36		6,4	38		5,9	33		5,4	31	
9,8	47		8,3	43		7,3	39		6,3	40		5,8	35		5,3	33	
9,7	49	80	8,2	46	80	7,2	41	81	6,2	42	82	5,7	37	82	5,2	35	82
9,6	52		8,1	48		7,1	43		6,1	44		5,6	39		5,1	37	
9,5	55		8,0	50		7,0	45		6,0	46		5,5	41		5,0	39	
9,4	57		7,9	53		6,9	48		5,9	48		5,4	43		4,9	40	
9,3	60		7,8	55		6,8	50		5,8	50		5,3	44		4,8	42	
9,2	62	79	7,7	57	80	6,7	52	81	5,7	52	81	5,2	47	81	4,7	44	81
9,1	65		7,6	60		6,6	54		5,6	54		5,1	48		4,6	45	
9,0	67		7,5	62		6,5	56		5,5	56		5,0	50		4,5	47	
8,9	70		7,4	64		6,4	58		5,4	58		4,9	52		4,4	49	
8,8	72		7,3	66		6,3	60		5,3	59		4,8	53		4,3	50	
8,7	75	79	7,2	69	80	6,2	62	80	5,2	51	80	4,7	55	80	4,2	52	80
8,6	77		7,1	71		6,1	64		5,1	63		4,6	57		4,1	53	
8,5	80		7,0	73		6,0	66		5,0	64		4,5	58		4,0	55	
			6,9	75		5,9	68		4,9	66		4,4	60		3,9	56	
			6,8	77		5,8	70		4,8	68		4,3	61		3,8	57	
			6,7	79	79	5,7	71	80	4,7	69	80	4,2	63	80	3,7	59	80
			6,6	81		5,6	73		4,6	71		4,1	64		3,6	60	
			6,5	83		5,5	75		4,5	72		4,0	65		3,5	61	
						5,4	77		4,4	74		3,9	67		3,4	62	
						5,3	78		4,3	75		3,8	68		3,3	64	
						5,2	80	79	4,2	77	79	3,7	69	79	3,2	65	79
						5,1	81		4,1	78		3,6	71		3,1	66	
						5,0	83		4,0	79		3,5	72		3,0	67	

Παρατήρησις: Διά $\sigma_b > 100$ ο ολιγόμενος όπλισμός δέν επιτρέπεται, καθ' όσον τότε θά είναι $\sigma_e' > \sigma_e$ επ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17

Στάδιον II, Διάταξις ύπολογισμού

Δίδεται: $M_e = M - N \cdot e$ (6)

Ἡ N ὡς θλιπτική δύναμις τίθεται ἀρνητική. Εἰς περιπτώσιν καθαρᾶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστής

k_h ἐκ τῆς σχέσεως (16)

$$h \text{ [cm]} = k_h \sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}$$

Προσδιορισμός τοῦ ὀπλισμοῦ

α) $k_h \geq k_h^*$, ἀπλοῦς ὀπλισμός

Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{\sigma_e \text{ [Mp/cm}^2\text{]}} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

σ_b [kp/cm ²]	30	40	50	60	70	80	90	100
k_h & k_h^*	18,1	14,2	11,8	10,3	9,1	8,2	7,6	7,0
k_e	0,67	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75
k_z	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84
k_x	0,22	0,27	0,32	0,36	0,40	0,43	0,46	0,48

β) $k_h < k_h^*$, διπλοῦς ὀπλισμός

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοὺς συντελεστάς k_e καὶ k_e' .

$$(17) \quad F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{\sigma_e}$$

$$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$$

(18)

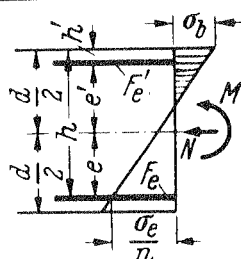
$$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' e' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν e' .

β	50	60	70	80	90	100	$= \sigma_b$
0,08	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	} $= e'$
0,09	1,11	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	
0,10	1,18	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	
0,11	1,24	1,21	1,20	1,18	1,16	1,15	
0,12	1,32	1,27	1,26	1,23	1,21	1,20	
0,14	1,51	1,43	1,38	1,34	1,33	1,31	
0,16	1,74	1,60	1,52	1,48	1,43	1,41	
0,20	2,45	2,12	1,95	1,82	1,76	1,70	

$$\sigma_e = 1,6 \text{ Mp/cm}^2$$



Συντελεσται k_e και k'_e

$\sigma_e = 1,6 \text{ Mp/cm}^2$

$\sigma_b =$																	
50			60			70			80			90			100		
k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %	
k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e	
12,0	—	70	10,5	—	71	9,0	03	72	8,5	—	73	7,5	02	74	7,0	01	74
11,9	—		10,4	—		8,9	06		8,4	—		7,4	04		6,9	03	
11,8	01		10,3	—		8,8	09		8,3	—		7,3	07		6,8	05	
11,7	05	70	10,2	02	71	8,7	11	72	8,2	01	73	7,2	09	73	6,7	07	74
11,6	08		10,1	05		8,6	14		8,1	04		7,1	11		6,6	10	
11,5	10		10,0	07		8,5	16		8,0	06		7,0	14		6,5	12	
11,4	14		9,9	10		8,4	19		7,9	09		6,9	16		6,4	14	
11,3	17		9,8	13		8,3	21		7,8	11		6,8	18		6,3	16	
11,2	20	70	9,7	16	71	8,2	24	71	7,7	14	72	6,7	20	72	6,2	18	73
11,1	22		9,6	18		8,1	26		7,6	16		6,6	23		6,1	21	
11,0	25		9,5	21		8,0	29		7,5	19		6,5	25		6,0	23	
10,9	28		9,4	24		7,9	31		7,4	21		6,4	27		5,9	25	
10,8	31		9,3	27		7,8	33		7,3	23		6,3	29		5,8	27	
10,7	34	69	9,2	29	70	7,7	36	71	7,2	26	72	6,2	31	72	5,7	29	72
10,6	37		9,1	32		7,6	38		7,1	28		6,1	33		5,6	31	
10,5	39		9,0	34		7,5	40		7,0	30		6,0	35		5,5	32	
10,4	42		8,9	37		7,4	42		6,9	32		5,9	37		5,4	34	
10,3	45		8,8	39		7,3	45		6,8	34		5,8	39		5,3	36	
10,2	48	69	8,7	42	70	7,2	47	70	6,7	37	71	5,7	41	71	5,2	38	71
10,1	50		8,6	44		7,1	49		6,6	39		5,6	43		5,1	40	
10,0	53		8,5	46		7,0	51		6,5	41		5,5	44		5,0	41	
9,9	55		8,4	49		6,9	53		6,4	43		5,4	46		4,9	43	
9,8	58		8,3	51		6,8	55		6,3	45		5,3	48		4,8	45	
9,7	61	69	8,2	54	70	6,7	57	70	6,2	47	70	5,2	50	70	4,7	46	70
9,6	63		8,1	56		6,6	59		6,1	49		5,1	51		4,6	48	
9,5	66		8,0	58		6,5	61		6,0	51		5,0	53		4,5	49	
			7,9	60		6,4	63		5,9	52		4,9	55		4,4	51	
			7,8	63		6,3	65		5,8	54		4,8	56		4,3	52	
			7,7	65	69	6,2	67	69	5,7	56	70	4,7	58	70	4,2	54	70
			7,6	67		6,1	69		5,6	58		4,6	59		4,1	55	
			7,5	69		6,0	71		5,5	60		4,5	61		4,0	57	
									5,4	61		4,4	62		3,9	58	
									5,3	63		4,3	64		3,8	59	
									5,2	65	69	4,2	65	69	3,7	61	69
									5,1	66		4,1	66		3,6	62	
									5,0	68		4,0	68		3,5	63	

ΠΙΝΑΚΑΣ 18

Στάδιον II, Διάταξις ύπολογισμού

Δίδεται: $M_e = M - N \cdot e$ (6)

Ἡ N ὡς θλιπτικὴ δύναμις τίθεται ἀρνητικὴ. Εἰς περιπτώσιν καθαρῶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστὴς

k_h ἐκ τῆς σχέσεως (16)

$$h \text{ [cm]} = k_h \sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}$$

Προσδιορισμὸς τοῦ ὀπλισμοῦ

α) $k_h \geq k_h^*$, ἀπλοῦς ὀπλισμὸς

Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{\sigma_e \text{ [Mp/cm}^2\text{]}} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

σ_b [kp/cm ²]	30	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h & k_h^*	18,9	14,8	13,4	12,3	10,6	9,4	8,5	7,8	7,2	6,7	6,3
k_e	0,60	0,61	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66	0,67
k_z	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83
k_x	0,20	0,25	0,27	0,29	0,33	0,37	0,40	0,43	0,45	0,48	0,50

β) $k_h < k_h^*$, διπλοῦς ὀπλισμὸς

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοὺς συντελεστὰς k_e καὶ k_e' .

(17) $F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{\sigma_e}$ (18)

$$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$$

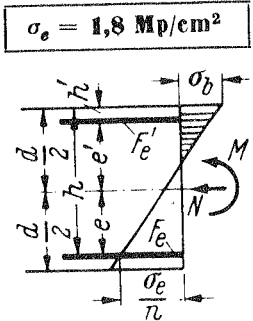
$$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' \varrho' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν ϱ' .

Συντελεσταὶ ϱ'

β	60	70	80	90	100	110	$= \sigma_b$
0,08	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	} $= \varrho'$
0,09	1,11	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	
0,10	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,12	
0,11	1,23	1,21	1,19	1,18	1,17	1,16	
0,12	1,30	1,27	1,25	1,23	1,21	1,21	
0,14	1,47	1,41	1,37	1,34	1,32	1,31	
0,16	1,68	1,57	1,50	1,48	1,43	1,41	
0,20	2,30	2,06	1,92	1,82	1,76	1,70	



Συντελεσται k_e και k'_e

$$\sigma_e = 1,8 \text{ Mp/cm}^2$$

$\sigma_b =$																	
60			70			80			90			100			110		
k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %		k_h	τοίς %	
k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e	
10,5	03	62	9,5	—	63	8,5	—	64	8,0	—	65	7,5	—	66	7,0	—	66
10,4	06		9,4	—		8,4	02		7,9	—		7,4	—		6,9	—	
10,3	09		9,3	03		8,3	05		7,8	—		7,3	—		6,8	—	
10,2	11	62	9,2	05	63	8,2	07	64	7,7	02	65	7,2	—	65	6,7	01	66
10,1	14		9,1	08		8,1	10		7,6	04		7,1	02		6,6	03	
10,0	17		9,0	11		8,0	12		7,5	07		7,0	05		6,5	05	
9,9	20		8,9	13		7,9	15		7,4	09		6,9	07		6,4	07	
9,8	22		8,8	16		7,8	17		7,3	11		6,8	09		6,3	09	
9,7	25	62	8,7	18	63	7,7	19	63	7,2	14	64	6,7	11	64	6,2	12	65
9,6	27		8,6	21		7,6	22		7,1	16		6,6	14		6,1	14	
9,5	30		8,5	23		7,5	24		7,0	18		6,5	16		6,0	16	
9,4	33		8,4	26		7,4	26		6,9	20		6,4	18		5,9	18	
9,3	35		8,3	28		7,3	28		6,8	22		6,3	20		5,8	20	
9,2	38	62	8,2	30	62	7,2	31	63	6,7	25	64	6,2	22	64	5,7	22	64
9,1	40		8,1	33		7,1	33		6,6	27		6,1	24		5,6	23	
9,0	42		8,0	35		7,0	35		6,5	29		6,0	26		5,5	25	
8,9	45		7,9	37		6,9	37		6,4	31		5,9	28		5,4	27	
8,8	47		7,8	39		6,8	39		6,3	33		5,8	30		5,3	29	
8,7	50	62	7,7	42	62	6,7	41	62	6,2	35	63	5,7	32	63	5,2	31	64
8,6	52		7,6	44		6,6	43		6,1	37		5,6	34		5,1	32	
8,5	54		7,5	46		6,5	45		6,0	39		5,5	35		5,0	34	
8,4	56		7,4	48		6,4	47		5,9	40		5,4	37		4,9	36	
8,3	59		7,3	50		6,3	49		5,8	42		5,3	39		4,8	38	
8,2	61	61	7,2	52	62	6,2	51	62	5,7	44	62	5,2	41	62	4,7	39	63
8,1	63		7,1	54		6,1	53		5,6	46		5,1	42		4,6	41	
8,0	65		7,0	56		6,0	54		5,5	47		5,0	44		4,5	42	
			6,9	58		5,9	56		5,4	49		4,9	46		4,4	44	
			6,8	60		5,8	58		5,3	51		4,8	47		4,3	45	
			6,7	62	62	5,7	60	62	5,2	53	62	4,7	49	62	4,2	47	62
			6,6	64		5,6	61		5,1	54		4,6	50		4,1	48	
			6,5	66		5,5	63		5,0	56		4,5	52		4,0	49	
									4,9	57		4,4	53		3,9	51	
									4,8	59		4,3	55		3,8	52	
									4,7	60	62	4,2	56	62	3,7	53	62
									4,6	62		4,1	57		3,6	55	
									4,5	63		4,0	59		3,5	56	
												3,9	60		3,4	57	
												3,8	61		3,3	58	
												3,7	62	61	3,2	59	61
												3,6	64		3,1	60	
												3,5	65		3,0	61	

ΠΙΝΑΚΑΣ 19

Στάδιον II, Διάταξις υπολογισμού

$$\Delta \text{ίδεται: } M_e = M - N \cdot e \quad (6)$$

Ἡ N ὡς θλιπτική δύναμις τίθεται ἀρνητική. Εἰς περιπτώσιν καθαρᾶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστής

k_h ἐκ τῆς σχέσεως (16)

$$h [\text{cm}] = k_h \sqrt{\frac{M_e [\text{Mpm}]}{b [\text{m}]}}$$

Προσδιορισμός τοῦ ὀπλισμοῦ

$$\alpha) \quad k_h \geq k_h^*, \quad \text{ἀπλοῦς ὀπλισμὸς}$$

Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e [\text{cm}^2] = \frac{M_e [\text{Mpm}]}{h [\text{m}]} k_e + \frac{N [\text{Mp}]}{\sigma_e [\text{Mp/cm}^2]} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

$\sigma_b [\text{kp/cm}^2]$	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$k_h \text{ \& } k_h^*$	19,7	15,3	12,7	10,9	9,7	8,7	8,0	7,4	6,9	6,5
k_e	0,53	0,54	0,55	0,56	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,59
k_z	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84
k_x	0,18	0,23	0,27	0,31	0,34	0,38	0,40	0,43	0,45	0,47

$$\beta) \quad k_h < k_h^*, \quad \text{διπλοῦς ὀπλισμὸς}$$

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοῦς συντελεστὰς k_e καὶ k'_e .

$$(17) \quad F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{\sigma_e}$$

$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$$

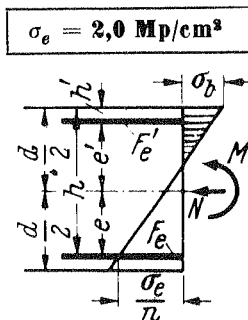
(18)

$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e q' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν q' .
Συντελεσταὶ q'

β	60	70	80	90	100	110	$= \sigma_b$
0,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	} = q'
0,09	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08	
0,10	1,18	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	
0,11	1,25	1,22	1,20	1,19	1,18	1,17	
0,12	1,33	1,29	1,26	1,24	1,23	1,22	
0,14	1,53	1,45	1,40	1,37	1,34	1,33	
0,16	1,77	1,65	1,57	1,50	1,48	1,44	
0,20	2,53	2,21	2,03	1,91	1,82	1,76	



Συντελεσται k_e καὶ k'_e

$$\sigma_e = 2,0 \text{ Mp/cm}^2$$

$\sigma_b =$

60			70			80			90			100			110		
k_h	$\tau o\acute{\iota}\varsigma \%$		k_h	$\tau o\acute{\iota}\varsigma \%$		k_h	$\tau o\acute{\iota}\varsigma \%$		k_h	$\tau o\acute{\iota}\varsigma \%$		k_h	$\tau o\acute{\iota}\varsigma \%$		k_h	$\tau o\acute{\iota}\varsigma \%$	
	k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e
11,0	—	56	10,0	—	57	9,0	—	57	8,0	—	58	7,5	—	58	7,0	—	59
10,9	01		9,9	—		8,9	—		7,9	02		7,4	—		6,9	—	
10,8	04		9,8	—		8,8	—		7,8	04		7,3	02		6,8	02	
10,7	07	56	9,7	—	56	8,7	01	57	7,7	07	57	7,2	04	58	6,7	04	59
10,6	10		9,6	02		8,6	03		7,6	09		7,1	06		6,6	06	
10,5	12		9,5	05		8,5	06		7,5	11		7,0	09		6,5	08	
10,4	15		9,4	07		8,4	08		7,4	14		6,9	11		6,4	10	
10,3	18		9,3	10		8,3	11		7,3	16		6,8	13		6,3	13	
10,2	20	56	9,2	13	56	8,2	13	57	7,2	18	57	6,7	15	58	6,2	15	58
10,1	23		9,1	15		8,1	15		7,1	20		6,6	17		6,1	17	
10,0	26		9,0	18		8,0	18		7,0	22		6,5	19		6,0	19	
9,9	28		8,9	20		7,9	20		6,9	24		6,4	21		5,9	20	
9,8	31		8,8	22		7,8	22		6,8	27		6,3	23		5,8	22	
9,7	33	55	8,7	25	56	7,7	24	56	6,7	29	57	6,2	25	57	5,7	24	58
9,6	36		8,6	27		7,6	27		6,6	31		6,1	27		5,6	26	
9,5	38		8,5	30		7,5	29		6,5	33		6,0	29		5,5	28	
9,4	41		8,4	32		7,4	31		6,4	34		5,9	31		5,4	30	
9,3	43		8,3	34		7,3	33		6,3	36		5,8	33		5,3	31	
9,2	45	56	8,2	36	56	7,2	35	56	6,2	38	56	5,7	35	56	5,2	33	57
9,1	48		8,1	39		7,1	37		6,1	40		5,6	36		5,1	35	
9,0	50		8,0	41		7,0	39		6,0	42		5,5	38		5,0	36	
			7,9	43		6,9	41		5,9	44		5,4	40		4,9	38	
			7,8	45		6,8	43		5,8	46		5,3	42		4,8	40	
			7,7	47	55	6,7	45	56	5,7	47	56	5,2	43	56	4,7	41	56
			7,6	49		6,6	47		5,6	49		5,1	45		4,6	43	
			7,5	51		6,5	49		5,5	51		5,0	46		4,5	44	
			7,4	54		6,4	51		5,4	52		4,9	48		4,4	46	
			7,3	56		6,3	53		5,3	54		4,8	49		4,3	47	
			7,2	58	55	6,2	55	55	5,2	56	55	4,7	51	56	4,2	48	56
						6,1	56		5,1	57		4,6	52		4,1	50	
						6,0	58		5,0	59		4,5	54		4,0	51	
															3,9	52	
															3,8	54	
															3,7	55	55
															3,6	56	
															3,5	57	

ΠΙΝΑΚΑΣ 20

Στάδιον II, Διάταξις ὑπολογισμοῦ

Δίδεται: $M_e = M - N \cdot e$ (6)

Ἡ N ὡς θλιπτικὴ δύναμις τίθεται ἀσφαλτική. Εἰς περίπτωσιν καθαρᾶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστὴς

k_h ἐκ τῆς σχεσεως (16)

$$h \text{ [cm]} = k_h \sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}$$

Προσδιορισμὸς τοῦ ὀπλισμοῦ

α) $k_h \geq k_h^*$, ἀπλοῦς ὀπλισμὸς

Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{\sigma_e \text{ [Mp/cm}^2\text{]}} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

σ_b [kp/cm ²]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h & k_h^*	20,4	15,9	13,1	11,3	10,0	9,0	8,2	7,6	7,0	6,6
k_e	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53
k_z	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85
k_x	0,17	0,21	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45

β) $k_h < k_h^*$, διπλοῦς ὀπλισμὸς

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοὺς συντελεστὰς k_e καὶ k_e' .

(17) $F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{\sigma_e}$

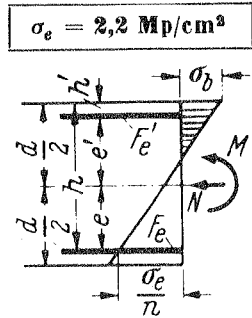
(18) $F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$

$F_e' = \frac{M_e}{h} k_e' e' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν e' .
Συντελεσταὶ e'

β	60	70	80	90	100	110	$= \sigma_b$
0,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	} = e'
0,09	1,12	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08	
0,10	1,20	1,17	1,15	1,14	1,14	1,13	
0,11	1,28	1,24	1,22	1,20	1,19	1,18	
0,12	1,37	1,32	1,28	1,26	1,24	1,23	
0,14	1,59	1,49	1,44	1,40	1,37	1,34	
0,16	1,87	1,72	1,62	1,56	1,51	1,48	
0,20	2,84	2,39	2,15	2,00	1,90	1,82	



Συντελεστές k_e και k'_e

$$\sigma_e = 2,2 \text{ ΜΡ/CM}^2$$

60			70			80			90			100			110		
k_h	τοις %		k_h	τοις %		k_h	τοις %		k_h	τοις %		k_h	τοις %		k_h	τοις %	
k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e	
11,5	—	50	10,0	—		9,0	—	52	8,5	—	52	7,5	01	52	7,0	01	53
11,4	—		9,9	01		8,9	01		8,4	—		7,4	03		6,9	03	
11,3	—		9,8	04		8,8	04		8,3	—		7,3	06		6,8	05	
11,2	02	50	9,7	07	51	8,7	06	51	8,2	—	52	7,2	08	52	6,7	07	53
11,1	05		9,6	09		8,6	09		8,1	02		7,1	10		6,6	09	
11,0	08		9,5	12		8,5	11		8,0	05		7,0	12		6,5	12	
10,9	10		9,4	14		8,4	13		7,9	07		6,9	14		6,4	14	
10,8	13		9,3	17		8,3	16		7,8	09		6,8	16		6,3	16	
10,7	16	50	9,2	19	51	8,2	18	51	6,7	12	52	7,7	18	52	6,2	17	52
10,6	18		9,1	21		8,1	20		7,6	14		6,6	20		6,1	19	
10,5	21		9,0	24		8,0	23		7,5	16		6,5	22		6,0	21	
10,4	24		8,9	26		7,9	25		7,4	18		6,4	24		5,9	23	
10,3	26		8,8	29		7,8	27		7,3	20		6,3	26		5,8	25	
10,2	29	50	8,7	31	50	7,7	29	51	7,2	22	52	6,2	28	51	5,7	27	52
10,1	31		8,6	33		7,6	31		7,1	24		6,1	30		5,6	29	
10,0	34		8,5	34		7,5	33		7,0	26		6,0	32		5,5	30	
9,9	36		8,4	38		7,4	35		6,9	28		5,9	34		5,4	32	
9,8	39		8,3	40		7,3	37		6,8	30		5,8	36		5,3	34	
9,7	41	50	8,2	42	50	7,2	39	51	6,7	32	51	5,7	37	51	5,2	35	51
9,6	43		8,1	44		7,1	41		6,6	34		5,6	39		5,1	37	
9,5	46		8,0	46		7,0	43		6,5	36		5,5	41		5,0	39	
9,4	49		7,9	48		6,9	45		6,4	38		5,4	42		4,9	40	
9,3	51		7,8	50		6,8	47		6,3	40		5,3	44		4,8	42	
9,2	53	50	7,7	52	50	6,7	49	50	6,2	42	51	5,2	46	51	4,7	43	51
9,1	55		7,6	54		6,6	51		6,1	44		5,1	47		4,6	45	
9,0	57		7,5	56		6,5	53		6,0	45		5,0	49		4,5	46	
									5,9	47		4,9	50		4,4	48	
									5,8	49		4,8	52		4,3	49	
									5,7	50	51	4,7	53	50	4,2	51	50
									5,6	52		4,6	54		4,1	52	
									5,5	54		4,5	56		4,0	53	

ΠΙΝΑΚΑΣ 21

Στάδιον II, Διάταξις ύπολογισμού

Δίδεται: $M_e = M - N \cdot e$ (6)

Ἡ N ὡς θλιπτική δύναμις τίθεται ἀρνητική. Εἰς περίπτωσιν καθαρῶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστής

k_h ἐκ τῆς σχέσεως (16)

$$h \text{ [cm]} = k_h \sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}$$

Προσδιορισμός τοῦ ὀπλισμοῦ

α) $k_h \geq k_h^*$, ἀπλοῦς ὀπλισμός

Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{\sigma_e \text{ [Mp/cm}^2\text{]}} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

$\sigma_b \text{ [kp/cm}^2\text{]}$	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$k_h \text{ \& } k_h^*$	21,1	16,4	13,5	11,6	10,2	9,2	8,4	7,7	7,2	6,7
k_e	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49
k_z	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86
k_x	0,16	0,20	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43

β) $k_h < k_h^*$, διπλοῦς ὀπλισμός

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοῦς συντελεστάς k_e καὶ k'_e .

$$(17) \quad F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{\sigma_e} \quad (18)$$

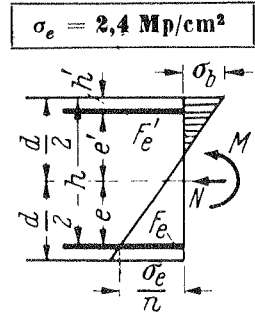
$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$$

$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e q' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν q' .

β	70	80	90	100	110	$= \sigma_b$
0,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	} = q'
0,09	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	
0,10	1,18	1,17	1,15	1,14	1,14	
0,11	1,26	1,23	1,21	1,20	1,19	
0,12	1,34	1,30	1,28	1,26	1,25	
0,14	1,54	1,47	1,42	1,39	1,37	
0,16	1,80	1,68	1,60	1,53	1,49	
0,20	2,61	2,30	2,10	1,98	1,90	



Συντελεσται k_e και k'_e

$$\sigma_e = 2,4 \text{ Mp/cm}^2$$

$\sigma_b =$														
70			80			90			100			110		
k_h	$\tau\omega\iota\varsigma \%$		k_h	$\tau\omega\iota\varsigma \%$		k_h	$\tau\omega\iota\varsigma \%$		k_h	$\tau\omega\iota\varsigma \%$		k_h	$\tau\omega\iota\varsigma \%$	
	k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e
10,5	—	46	9,5	—	47	8,5	—	47	8,0	—	48	7,5	—	48
10,4	—		9,4	—		8,4	—		7,9	—		7,4	—	
10,3	—		9,3	—		8,3	02		7,8	—		7,3	—	
10,2	—	46	9,2	—	47	8,2	04	47	7,7	01	48	7,2	—	48
10,1	03		9,1	02		8,1	06		7,6	03		7,1	02	
10,0	06		9,0	05		8,0	09		7,5	05		7,0	04	
9,9	08		8,9	07		7,9	11		7,4	07		6,9	06	
9,8	11		8,8	09		7,8	13		7,3	09		6,8	08	
9,7	13	46	8,7	12	47	7,7	15	47	7,2	12	47	6,7	10	48
9,6	16		8,6	14		7,6	18		7,1	14		6,6	12	
9,5	18		8,5	16		7,5	20		7,0	16		6,5	14	
9,4	21		8,4	19		7,4	22		6,9	18		6,4	16	
9,3	23		8,3	21		7,3	24		6,8	20		6,3	18	
9,2	25	46	8,2	23	46	7,2	26	47	6,7	22	47	6,2	20	47
9,1	28		8,1	25		7,1	28		6,6	24		6,1	22	
9,0	30		8,0	27		7,0	30		6,5	26		6,0	24	
8,9	32		7,9	30		6,9	32		6,4	28		5,9	26	
8,8	34		7,8	32		6,8	34		6,3	29		5,8	27	
8,7	37	46	7,7	34	46	6,7	36	46	6,2	31	47	5,7	29	47
8,6	39		7,6	36		6,6	38		6,1	33		5,6	31	
8,5	41		7,5	38		6,5	39		6,0	35		5,5	33	
8,4	43		7,4	40		6,4	41		5,9	37		5,4	34	
8,3	45		7,3	42		6,3	43		5,8	38		5,3	36	
8,2	47	46	7,2	44	46	6,2	45	46	5,7	40	46	5,2	38	47
8,1	50		7,1	46		6,1	46		5,6	42		5,1	39	
8,0	52		7,0	48		6,0	48		5,5	43		5,0	41	

ΠΙΝΑΚΑΣ 22

Στάδιον II, Διάταξις υπολογισμού

Δίδεται: $M_e = M - N \cdot e$ (6)

Ἡ N ὡς θλιπτική δύναμις τίθεται ἀρνητική. Εἰς περιπτώσιν καθαρᾶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστής

k_h ἐκ τῆς σχέσεως (16)

$$h \text{ [cm]} = k_h \sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}$$

Προσδιορισμός τοῦ ὀπλισμοῦ

α) $k_h \geq k_h^*$, ἀπλοῦς ὀπλισμός

Ἐνεῦ ἐλέγχου πῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{\sigma_e \text{ [Mp/cm}^2\text{]}} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

σ_b [kp/cm ²]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h^*	21,8	16,9	13,9	11,9	10,5	9,4	8,6	7,9	7,3	6,9
k_e	0,40	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45
k_z	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86
k_x	0,15	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41

β) $k_h < k_h^*$, διπλοῦς ὀπλισμός

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοὺς συντελεστὰς k_e καὶ k'_e .

$$(17) \quad F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{\sigma_e}$$

$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$$

(18)

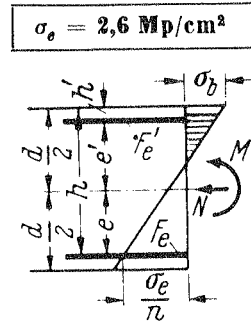
$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e \varrho' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν ϱ' .

Συντελεσταὶ ϱ'

β	70	80	90	100	110	$= \sigma_b$
0,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	} = \varrho'
0,09	1,13	1,11	1,10	1,10	1,09	
0,10	1,20	1,18	1,16	1,15	1,14	
0,11	1,28	1,25	1,23	1,21	1,20	
0,12	1,38	1,33	1,30	1,27	1,26	
0,14	1,60	1,51	1,46	1,42	1,39	
0,16	1,89	1,75	1,65	1,59	1,55	
0,20	2,89	2,37	2,23	2,07	1,97	



Συντελεσται k_e και k'_e

$$\sigma_e = 2,6 \text{ Mp/cm}^2$$

$\sigma_b =$														
70			80			90			100			110		
k_h	τοις %		k_h	τοις %		k_h	τοις %		k_h	τοις %		k_h	τοις %	
	k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e
10,5	—	42	9,5	—	43	8,5	02	43	8,0	—	44	7,5	—	44
10,4	02		9,4	—		8,4	04		7,9	—		7,4	—	
10,3	05		9,3	03		8,3	06		7,8	02		7,3	01	
10,2	07	42	9,2	05	43	8,2	08	43	7,7	04	44	7,2	03	44
10,1	10		9,1	07		8,1	11		7,6	06		7,1	05	
10,0	12		9,0	10		8,0	13		7,5	09		7,0	07	
9,9	15		8,9	12		7,9	15		7,4	11		6,9	09	
9,8	17		8,8	14		7,8	17		7,3	13		6,8	11	
9,7	19	42	8,7	17	43	7,7	19	43	7,2	15	43	6,7	13	44
9,6	22		8,6	19		7,6	21		7,1	17		6,6	15	
9,5	24		8,5	21		7,5	23		7,0	19		6,5	17	
9,4	26		8,4	23		7,4	25		6,9	21		6,4	19	
9,3	29		8,3	25		7,3	27		6,8	23		6,3	21	
9,2	31	42	8,2	28	43	7,2	29	43	6,7	25	43	6,2	23	43
9,1	33		8,1	30		7,1	31		6,6	27		6,1	25	
9,0	35		8,0	32		7,0	33		6,5	29		6,0	26	
8,9	38		7,9	34		6,9	35		6,4	30		5,9	28	
8,8	40		7,8	36		6,8	37		6,3	32		5,8	30	
8,7	42	42	7,7	38	42	6,7	39	43	6,2	34	43	5,7	31	43
8,6	44		7,6	40		6,6	41		6,1	36		5,6	33	
8,5	46		7,5	42		6,5	42		6,0	37		5,5	35	
										5,9	39		5,4	36
										5,8	41		5,3	38
										5,7	42		5,2	40
										5,6	44		5,1	41
										5,5	46		5,0	43

ΠΙΝΑΚΑΣ 23

Στάδιον II, Διάταξις ύπολογισμού

$$\Delta\text{ίδεται: } M_e = M - N \cdot e \quad (6)$$

Ἡ N ὡς θλιπτική δύναμις τίθεται ἀρνητική. Εἰς περίπτωσιν καθαρῶς κάμψεως εἶναι $M_e = M$

Συντελεστής

k_h ἐκ τῆς σχέσεως (16)

$$h \text{ [cm]} = k_h \sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}$$

Προσδιορισμός τοῦ ὀπλισμοῦ

α) $k_h \geq k_h^*$, ἀπλοῦς ὀπλισμός

Ἄνευ ἐλέγχου τῆς ἀκραίας τάσεως τοῦ σκυροδέματος λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὴν τιμὴν k_e , ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν ἀμέσως μικρότερον συντελεστὴν k_h .

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{\sigma_e \text{ [Mp/cm}^2\text{]}} \quad (17)$$

Συντελεσταὶ k_h καὶ k_h^* , Συντελεσταὶ k_e , k_z καὶ k_x

σ_b [kp/cm ²]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h^*	22,5	17,4	14,3	12,2	10,7	9,6	8,8	8,1	7,5	7,0
k_e	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41
k_z	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87
k_x	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,37	0,39

β) $k_h < k_h^*$, διπλοῦς ὀπλισμός

Εἰς τὸν Πίνακα ἀναζητοῦμεν εἰς τὴν στήλην, ἥτις ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἐκλεγείσαν τάσιν τοῦ σκυροδέματος, παρὰ τὸν προσδιορισθέντα συντελεστὴν k_h τοὺς συντελεστὰς k_e καὶ k'_e .

$$(17) \quad F_e = \frac{M_e}{h} k_e = \frac{N}{\sigma_e}$$

$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e \quad (\text{διὰ } \beta \leq 0,07)$$

(18)

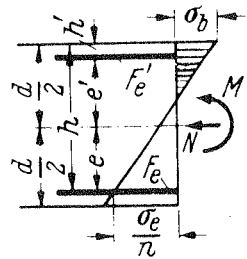
$$F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e e' \quad (\text{διὰ } \beta > 0,07)$$

Διαστάσεις ὡς εἰς α).

Διὰ $h'/h = \beta > 0,07$ λαμβάνομεν ἐκ τοῦ Πίνακος τὸν πρόσθετον συντελεστὴν e' .

β	70	80	90	100	110	$= \sigma_b$
0,08	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	} = e'
0,09	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	
0,10	1,21	1,19	1,17	1,16	1,15	
0,11	1,30	1,26	1,24	1,22	1,21	
0,12	1,40	1,35	1,31	1,29	1,27	
0,14	1,65	1,55	1,49	1,44	1,41	
0,16	1,99	1,82	1,71	1,63	1,58	
0,20	3,24	2,67	2,37	2,18	2,05	

$$\sigma_e = 2,8 \text{ Mp/cm}^2$$



Συντελεσται k_e και k'_e

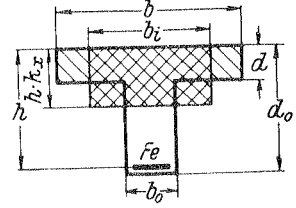
$$\sigma_e = 2,8 \text{ Mp/cm}^2$$

$\sigma_b =$														
70			80			90			100			110		
k_h	$\tau\omega\zeta$ %		k_h	$\tau\omega\zeta$ %		k_h	$\tau\omega\zeta$ %		k_h	$\tau\omega\zeta$ %		k_h	$\tau\omega\zeta$ %	
	k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e
11,0	—	39	10,0	—	40	9,0	—	40	8,5	—	40	7,5	—	41
10,9	—		9,9	—		8,9	—		8,4	—		7,4	02	
10,8	—		9,8	—		8,8	—		8,3	—		7,3	04	
10,7	—	39	9,7	—	40	8,7	01	40	8,2	—	40	7,2	06	41
10,6	03		9,6	—		8,6	04		8,1	—		7,1	08	
10,5	06		9,5	03		8,5	06		8,0	01		7,0	10	
10,4	08		9,4	05		8,4	08		7,9	03		6,9	12	
10,3	11		9,3			8,3	10		7,8	06		6,8	14	
10,2	13	39	9,2	10	40	8,2	12	40	7,7	08	40	6,7	16	40
10,1	16		9,1	12		8,1	15		7,6	10		6,6	18	
10,0	18		9,0	15		8,0	17		7,5	12		6,5	20	
9,9	21		8,9	17		7,9	19		7,4	14		6,4	22	
9,8	23		8,8	19		7,8	21		7,3	16		6,3	23	
9,7	25	39	8,7	21	39	7,7	23	40	7,2	18	40	6,2	25	40
9,6	28		8,6	24		7,6	25		7,1	20		6,1	27	
9,5	30		8,5	26		7,5	27		7,0	22		6,0	29	
9,4	32		8,4	28		7,4	29		6,9	24		5,9	30	
9,3	34		8,3	30		7,3	31		6,8	26		5,8	32	
9,2	36	39	8,2	32	39	7,2	33	40	6,7	28	40	5,7	34	40
9,1	39		8,1	34		7,1	35		6,6	29		5,6	35	
9,0	41		8,0	36		7,0	37		6,5	31		5,5	37	
			7,9	38		6,9	38		6,4	33		5,4	38	
			7,8	40		6,8	40		6,3	35		5,3	40	
			7,7	42	39	6,7	42	39	6,2	37	40	5,2	42	40
			7,6	44		6,6	44		6,1	38		5,1	43	
			7,5	46		6,5	46		6,0	40		5,0	44	

ΠΙΝΑΚΑΣ 24

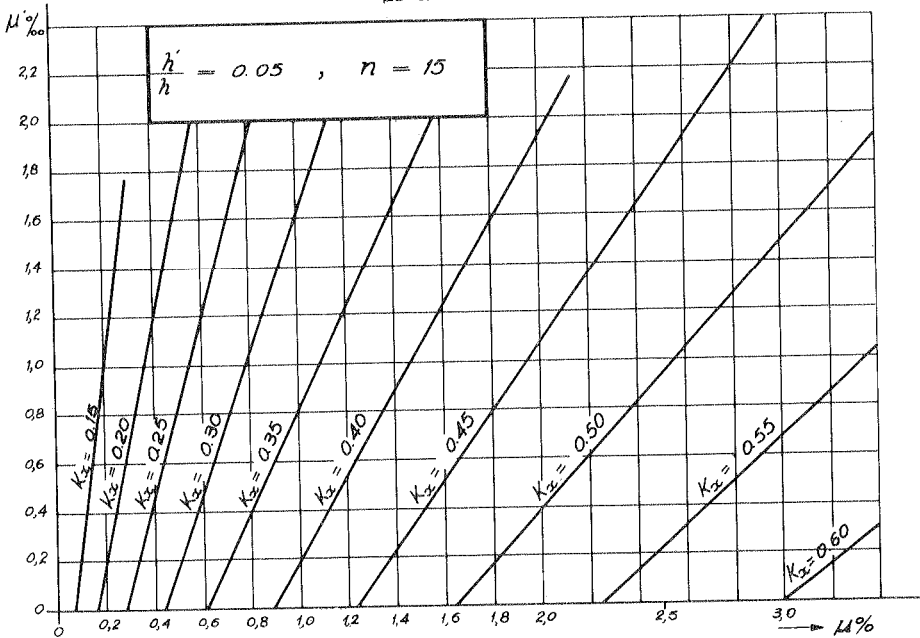
Ίσοδύναμο πλάτος πλακοδοκού
 $b_i = b\lambda$

$\frac{d}{h \cdot k_x}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	$= \frac{b}{b_o}$
1,0	100	100	100	100	100	100	100	100 λ
0,9	100	100	99	99	99	99	99	
0,8	99	98	98	97	97	97	97	
0,7	97	96	95	94	94	93	93	
0,6	95	92	90	89	89	88	87	
0,5	92	88	85	83	82	81	80	
0,4	88	82	78	76	74	73	71	
0,3	84	76	70	67	65	63	61	
0,2	79	68	62	57	54	52	49	



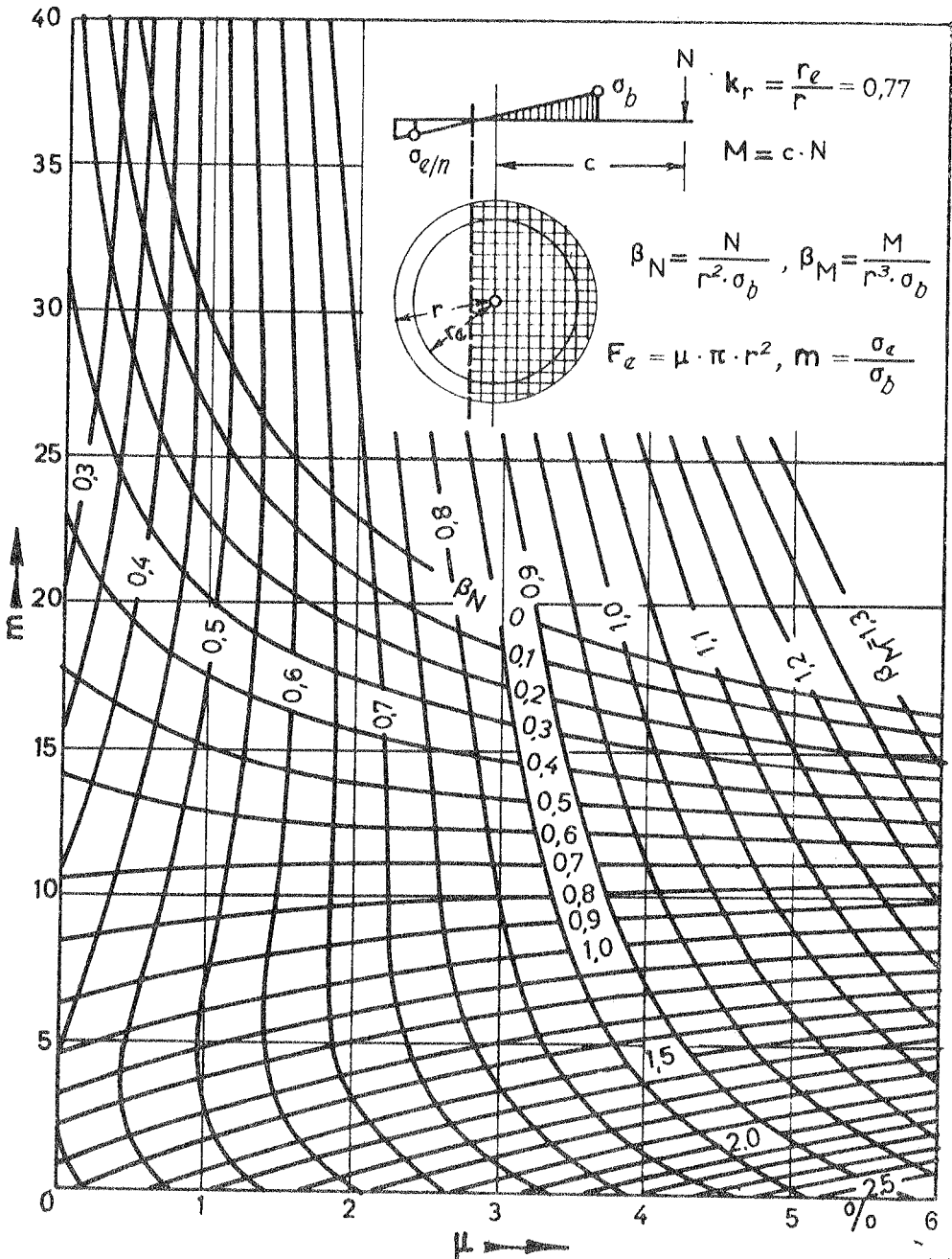
ΠΙΝΑΞ 25

Νομογράφημα έλέγχου ὀρθογωνικής διατομής
 μέ $N = 0$.



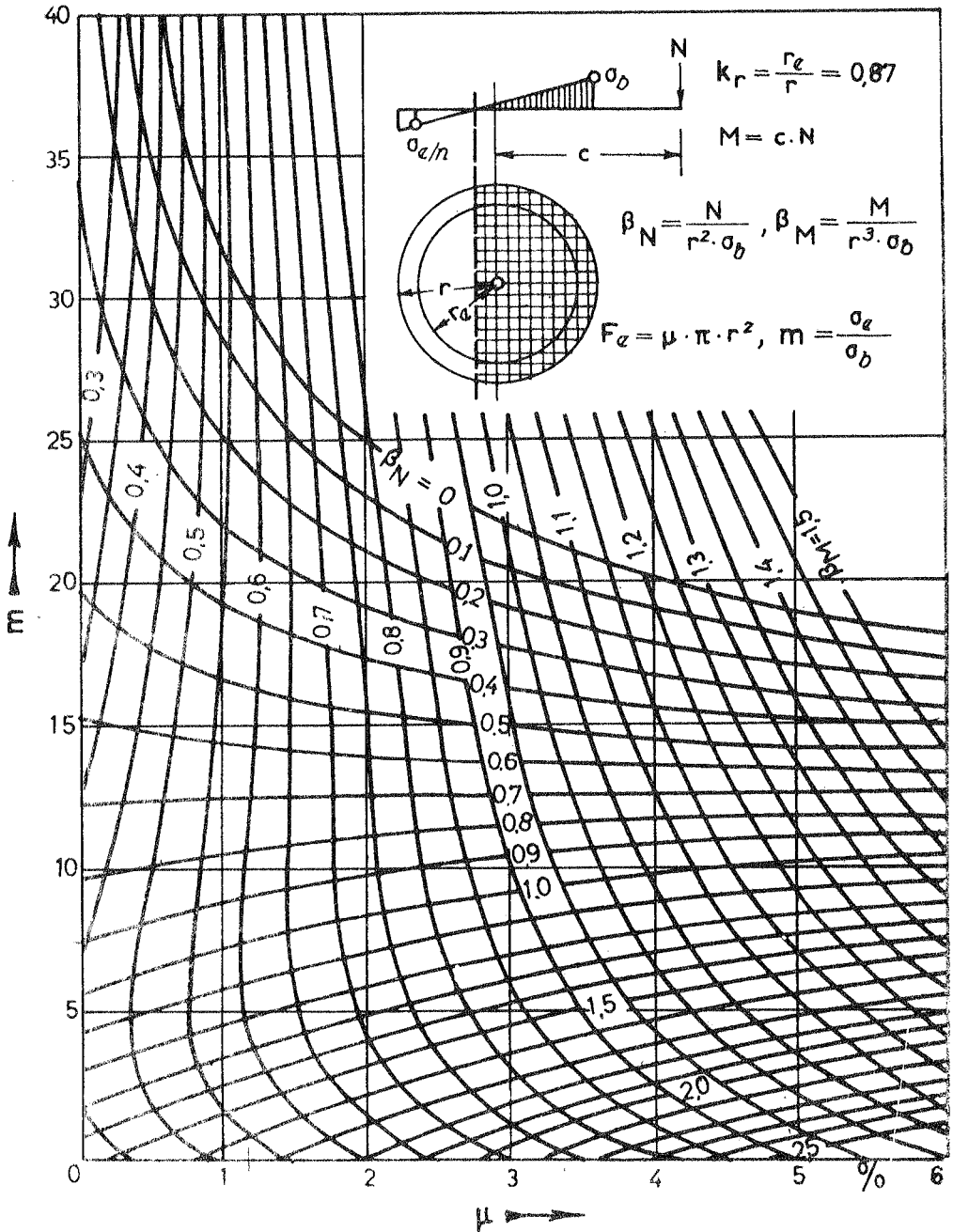
ΠΙΝΑΚΑΣ 26

Κάμψη κυκλικής διατομής σέ στάδιο ΙΙ



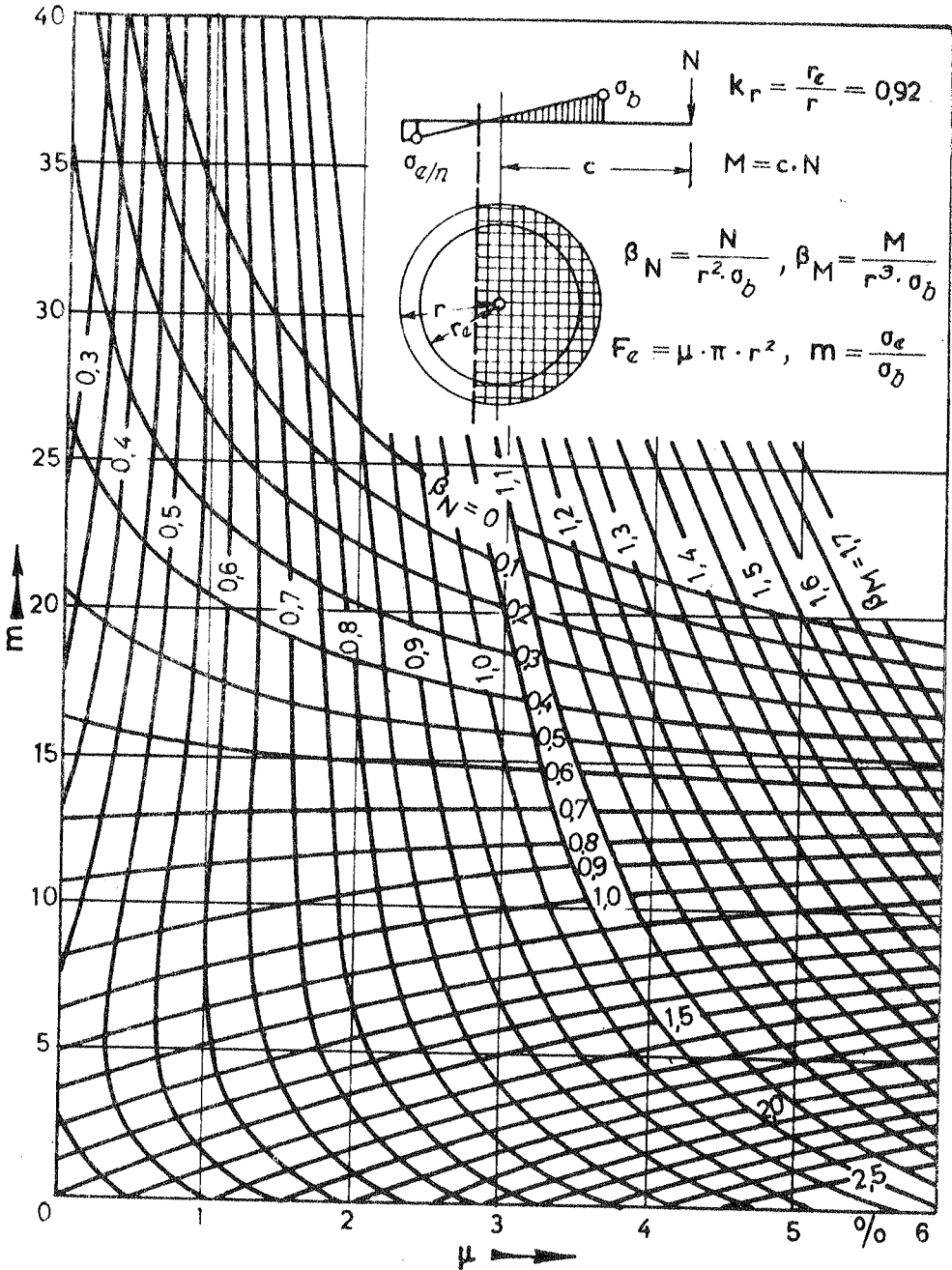
ΠΙΝΑΚΑΣ 27

Κάμψη κυκλικής διατομής σέ στάδιο ΙΙ



ΠΙΝΑΚΑΣ 28

Κάμψη κυκλικής διατομής σέ στάδιο ΙΙ



ΠΙΝΑΚΑΣ 29α

Όριακές τέμνουσες δυνάμεις Q_{01} , Q_{02}

B 160

$h \backslash b_0$	15		20		25		30		35		40	
25	1,97	5,25	2,63	7,00	3,28	8,75	3,94	10,50	4,59	12,25	5,25	14,00
27	2,13	5,67	2,84	7,56	3,54	9,45	4,25	11,34	4,96	13,23	5,67	15,12
30	2,36	6,30	3,15	8,40	3,94	10,50	4,73	12,60	5,51	14,70	6,30	16,80
32	2,52	6,72	3,36	8,96	4,20	11,20	5,04	13,44	5,88	15,68	6,72	17,92
35	2,76	7,35	3,68	9,80	4,59	12,25	5,51	14,70	6,43	17,15	7,35	19,60
37	2,91	7,77	3,89	10,36	4,86	12,95	5,83	15,54	6,80	18,13	7,77	20,72
40	3,15	8,40	4,20	11,20	5,25	14,00	6,30	16,80	7,35	19,60	8,40	22,40
42	3,31	8,82	4,41	11,76	5,51	14,70	6,62	17,64	7,72	20,58	8,82	23,52
45	3,54	9,45	4,73	12,60	5,91	15,75	7,09	18,90	8,27	22,05	9,45	25,20
47	3,70	9,87	4,94	13,16	6,17	16,45	7,40	19,74	8,64	23,03	9,87	26,32
50	3,94	10,50	5,25	14,00	6,56	17,50	7,88	21,00	9,19	24,50	10,50	28,00
52	4,10	10,92	5,46	14,56	6,83	18,20	8,19	21,84	9,56	25,48	10,92	29,12
55	4,33	11,55	5,78	15,40	7,22	19,25	8,66	23,10	10,11	26,95	11,55	30,80
57	4,49	11,97	5,99	15,96	7,48	19,95	8,98	23,94	10,47	27,93	11,97	31,92
60	4,73	12,60	6,30	16,80	7,88	21,00	9,45	25,20	11,03	29,40	12,60	33,60
62	4,88	13,02	6,51	17,36	8,14	21,70	9,77	26,04	11,39	30,38	13,02	34,72
65	5,12	13,65	6,83	18,20	8,53	22,75	10,24	27,30	11,94	31,85	13,65	36,40
67	5,28	14,07	7,04	18,76	8,79	23,45	10,55	28,14	12,31	32,83	14,07	37,52
70	5,51	14,70	7,35	19,60	9,19	24,50	11,03	29,40	12,86	34,30	14,70	39,20
72	5,67	15,12	7,56	20,16	9,45	25,20	11,34	30,24	13,23	35,28	15,12	40,32
75	5,91	15,75	7,88	21,00	9,84	26,25	11,81	31,50	13,78	36,75	15,75	42,00
77	6,06	16,17	8,09	21,56	10,11	26,95	12,13	32,34	14,15	37,73	16,17	43,12

ΠΙΝΑΚΑΣ 29β

Όριζόντιες τέμνουσες δυνάμεις Q_{01} , Q_{02} **B 225**

$\frac{b_o}{h}$	15		20		25		30		35		40	
25	2,30	5,91	3,06	7,88	3,83	9,84	4,59	11,81	5,36	13,78	6,13	15,75
27	2,48	6,38	3,31	8,51	4,13	10,63	4,96	12,76	5,79	14,88	6,62	17,01
30	2,76	7,09	3,68	9,45	4,59	11,81	5,51	14,18	6,43	16,54	7,35	18,90
32	2,94	7,56	3,92	10,08	4,90	12,60	5,88	15,12	6,86	17,64	7,84	20,16
35	3,22	8,27	4,29	11,03	5,36	13,78	6,43	16,54	7,50	19,29	8,58	22,05
37	3,40	8,74	4,53	11,66	5,67	14,57	6,80	17,48	7,93	20,40	9,07	23,31
40	3,68	9,45	4,90	12,60	6,13	15,75	7,35	18,90	8,58	22,05	9,80	25,20
42	3,86	9,92	5,15	13,23	6,43	16,54	7,72	19,85	9,00	23,15	10,29	26,46
45	4,13	10,63	5,51	14,18	6,89	17,72	8,27	21,26	9,65	24,81	11,03	28,35
47	4,32	11,10	5,76	14,81	7,20	18,51	8,64	22,21	10,08	25,91	11,52	29,61
50	4,59	11,81	6,13	15,75	7,66	19,69	9,19	23,63	10,72	27,56	12,25	31,50
52	4,78	12,29	6,37	16,38	7,96	20,48	9,56	24,57	11,15	28,67	12,74	32,76
55	5,05	12,99	6,74	17,33	8,42	21,66	10,11	25,99	11,79	30,32	13,48	34,65
57	5,24	13,47	6,98	17,96	8,73	22,44	10,47	26,93	12,22	31,42	13,97	35,91
60	5,51	14,18	7,35	18,90	9,19	23,63	11,03	28,35	12,86	33,08	14,70	37,80
62	5,70	14,65	7,60	19,53	9,49	24,41	11,39	29,30	13,29	34,18	15,19	39,06
65	5,97	15,36	7,96	20,48	9,95	25,59	11,94	30,71	13,93	35,83	15,93	40,95
67	6,16	15,83	8,21	21,11	10,26	26,38	12,31	31,66	14,36	36,93	16,42	42,21
70	6,43	16,54	8,58	22,05	10,72	27,56	12,86	33,08	15,01	38,59	17,15	44,10
72	6,62	17,01	8,82	22,68	11,03	28,35	13,23	34,02	15,44	39,69	17,64	45,36
75	6,89	17,72	9,19	23,63	11,48	29,53	13,78	35,44	16,08	41,34	18,38	47,25
77	7,07	18,19	9,43	24,26	11,79	30,32	14,15	36,38	16,51	42,45	18,87	48,51

ΠΙΝΑΚΑΣ 29γ
 Όριακές τέμνουσες δυνάμεις Q_{01} , Q_{02}

B 300

$\frac{b_o}{h}$	15		20		25		30		35		40	
25	2,63	6,56	3,50	8,75	4,38	10,94	5,25	13,13	6,13	15,31	7,00	17,50
27	2,84	7,09	3,78	9,45	4,73	11,81	5,67	14,18	6,62	16,54	7,56	18,90
30	3,15	7,88	4,20	10,50	5,25	13,13	6,30	15,75	7,35	18,38	8,40	21,00
32	3,36	8,40	4,48	11,20	5,60	14,00	6,72	16,80	7,84	19,60	8,96	22,40
35	3,68	9,19	4,90	12,25	6,13	15,31	7,35	18,38	8,58	21,44	9,80	24,50
37	3,89	9,71	5,18	12,95	6,48	16,19	7,77	19,43	9,07	22,66	10,36	25,90
40	4,20	10,50	5,60	14,00	7,00	17,50	8,40	21,00	9,80	24,50	11,20	28,00
42	4,41	11,03	5,88	14,70	7,35	18,38	8,82	22,05	10,29	25,73	11,76	29,40
45	4,73	11,81	6,30	15,75	7,88	19,69	9,45	23,63	11,03	27,56	12,60	31,50
47	4,94	12,34	6,58	16,45	8,23	20,56	9,87	24,68	11,52	28,79	13,16	32,90
50	5,25	13,13	7,00	17,50	8,75	21,88	10,50	26,25	12,25	30,63	14,00	35,00
52	5,46	13,65	7,28	18,20	9,10	22,75	10,92	27,30	12,74	31,85	14,56	36,40
55	5,78	14,44	7,70	19,25	9,63	24,06	11,55	28,88	13,48	33,69	15,40	38,50
57	5,99	14,96	7,98	19,95	9,98	24,94	11,97	29,93	13,97	34,91	15,96	39,90
60	6,30	15,75	8,40	21,00	10,50	26,25	12,60	31,50	14,70	36,75	16,80	42,00
62	6,51	16,28	8,68	21,70	10,85	27,13	13,02	32,55	15,19	37,98	17,36	43,40
65	6,83	17,06	9,10	22,75	11,38	28,44	13,65	34,13	15,93	39,81	18,20	45,50
67	7,04	17,59	9,38	23,45	11,73	29,31	14,07	35,18	16,42	41,04	18,76	46,90
70	7,35	18,38	9,80	24,50	12,25	30,63	14,70	36,75	17,15	42,88	19,60	49,00
72	7,56	18,90	10,08	25,20	12,60	31,50	15,12	37,80	17,64	44,10	20,16	50,40
75	7,88	19,69	10,50	26,25	13,13	32,81	15,75	39,38	18,38	45,94	21,00	52,50
77	8,09	20,21	10,78	26,95	13,48	33,69	16,17	40,43	18,87	47,16	21,56	53,90

$\frac{A_{sw}}{s}$ Συνδιασμός Σιτημάτων
 ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 30

$\frac{F_{eB}}{e} \left(\frac{cm^2}{cm} \right)$, Συνδετήρες $\emptyset$ 6,8,10 σε αποστάσεις e (cm)											
e (cm) $\emptyset$	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
6	0,0140	0,0147	0,0156	0,0165	0,0175	0,0187	0,0200	0,0215	0,0233	0,0255	0,0280
8	0,0250	0,0263	0,0278	0,0294	0,0313	0,0333	0,0357	0,0385	0,0417	0,0455	0,0500
10	0,0395	0,0416	0,0439	0,0465	0,0494	0,0527	0,0564	0,0608	0,0658	0,0718	0,0790

ΠΙΝΑΚΑΣ 31

Διατομή όπλισμών F_{eB} για δίτηρητους συνδετήρες

$\emptyset$ mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,9
6	0,6	1,1	1,7	2,3	2,8	3,4	4,0	4,5	5,1	5,7	6,2	6,8	7,4	7,9	8,5
7	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10,0	10,8	11,5
8	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1
10	1,6	3,1	4,7	6,3	7,9	9,4	11,0	12,6	14,1	15,7	17,3	18,8	20,4	22,0	23,6
12	2,3	4,5	6,8	9,0	11,3	13,6	15,8	18,1	20,4	22,6	24,9	27,1	29,4	31,7	33,9
14	3,1	6,2	9,2	12,3	15,4	18,5	21,6	24,4	27,7	30,8	33,9	36,9	40,0	43,1	46,2
16	4,0	8,0	12,1	16,1	20,1	24,1	28,1	32,2	36,2	40,2	44,2	48,3	52,3	56,3	60,3

ΠΙΝΑΚΑΣ 32

Διατομή όπλισμών $F_{eS} \sqrt{2}$ για λοξούς όπλισμούς κατά 45°

$\emptyset$ mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	1,1	2,2	3,3	4,4	5,6	6,7	7,8	8,9	10,0	11,1
12	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4	16,0
14	2,2	4,4	6,5	8,7	10,9	13,1	15,2	17,4	19,6	21,8
16	2,8	5,7	8,5	11,4	14,2	17,1	19,9	22,8	25,6	28,4
18	3,6	7,2	10,8	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4	36,0
20	4,4	8,9	13,3	17,8	22,2	26,7	31,1	35,5	40,0	44,4
22	5,4	10,8	16,1	21,5	26,9	32,3	37,6	43,0	48,4	53,8
24	6,4	12,8	19,2	25,6	32,0	38,4	44,8	51,2	57,6	64,0
26	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5	45,1	52,6	60,1	67,6	75,1
28	8,7	17,4	26,1	34,8	43,5	52,3	61,0	69,7	78,4	87,1
30	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
36	14,4	28,8	43,2	57,6	72,0	86,4	100,8	115,2	129,6	144,0
40	17,8	35,5	53,3	71,1	88,9	106,6	124,4	142,2	159,9	177,7

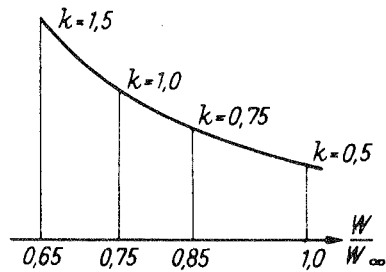
Διά κάμψιν υπό γωνίαν 60° δέον να πολλαπλασιάζονται αι τιμαί του Πίνακος επί συν $15^\circ = 0,966$.

$R/\mu_z =$	St I/St II					St III/St IV				
	$\sigma_{ez} = 1000 \text{ kp/cm}^2$					$\sigma_{ez} = 1400 \text{ kp/cm}^2$				
	0,4	1,0	2,0	3,0	4,0	0,4	1,0	2,0	3,0	4,0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
30	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
35	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
40	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
45	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
50	0,4	0,4	0,6	0,7	0,9	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
55	0,5	0,5	0,7	0,9	1,1	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
60	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9
65	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
70	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	0,9	0,9	1,1	1,1	1,2
75	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2
80	0,9	1,2	1,5	1,7	1,9	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4
85	1,0	1,3	1,6	1,9	2,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5
90	1,1	1,4	1,8	2,1	2,3	1,3	1,5	1,6	1,6	1,7
100	1,3	1,7	2,1	2,4	2,7	1,5	1,9	2,2	2,2	2,3
110	1,5	2,0	2,5	2,8	3,0	1,8	2,2	2,7	2,7	2,9
120	1,7	2,3	2,8	3,2	3,5	2,0	2,5	3,1	3,1	3,2
130	1,9	2,6	3,1	3,6	3,9	2,3	2,9	3,4	3,4	3,7
140	2,1	2,9	3,5	4,0	4,3	2,5	3,2	3,9	3,8	4,1
150	2,3	3,2	3,9	4,4	4,8	2,8	3,6	4,3	4,2	4,6
160	2,5	3,6	4,3	4,9	5,3	3,0	4,0	4,8	4,7	5,1
170	2,8	3,9	4,8	5,4	5,8	3,3	4,3	5,2	5,1	5,5
180	3,0	4,3	5,3	5,9	6,3	3,6	4,7	5,7	5,6	6,2
190	3,2	4,7	5,8	6,4	6,8	3,9	5,1	6,2	6,1	6,8
200	3,5	5,1	6,3	7,0	7,4	4,1	5,5	6,7	6,6	7,4
210	3,8	5,5	6,9	7,5	8,0	4,4	6,0	7,2	7,1	8,1
220	4,0	5,9	7,4	8,1	8,6	4,7	6,4	7,7	7,6	8,8
230	4,3	6,3	8,0	8,7	9,2	4,9	6,8	8,2	8,1	9,5
240	4,5	6,7	8,5	9,3	9,8	5,2	7,2	8,6	8,5	10,3
250	4,8	7,2	9,0	9,9	10,4	5,5	7,6	9,3	9,2	11,0
260	5,1	7,6	9,6	10,5	11,0	5,7	8,1	9,9	9,8	11,8
270	5,3	8,0	10,1	11,1	11,7	6,0	8,5	10,4	10,3	12,5

ΠΙΝΑΚΑΣ 34

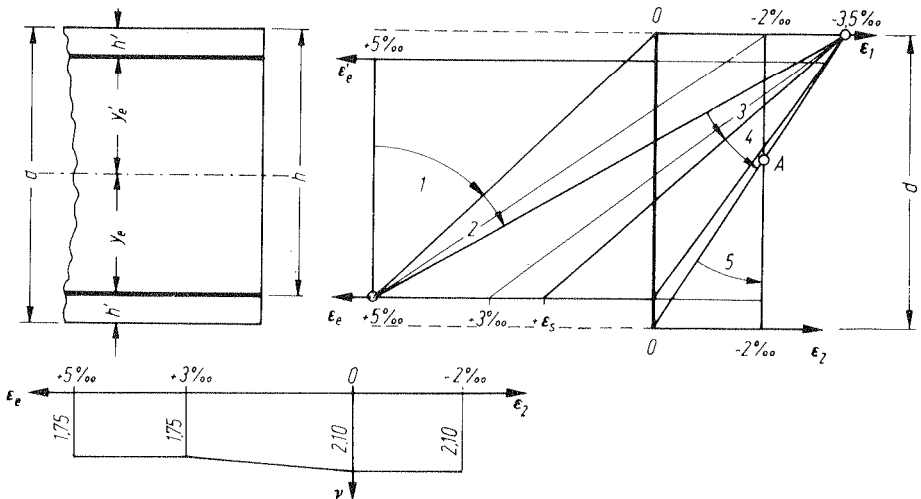
Παραδοχές για τὸν ὑπολογισμό τοῦ ἔρπουσμοῦ

Σειρά	Θέσις	Τελικὸν μέτρον ἔρπουσμοῦ φ_{∞}	Τελικὸν μέτρον συστολῆς ἐκ πήξεως $\epsilon_s \cdot 10^{-5}$ (βασικὴ τιμὴ)
1	ἐν ὕδατι	0,50 h ἕως 1,00 h	0
2	εἰς πολὺ ὑγρὸν ἀέρα, π.χ. ἀμέσως ὑπὲρ τὸ ὕδωρ	1,50 h ἕως 2,00 h	10
3	γενικῶς ἐν ὑπαίθρῳ	2,00 h ἕως 3,00 h	20
4	εἰς ξηρὸν ἀέρα, π.χ. εἰς κλειστοῦς ξηροῦς χώρους	2,50 h ἕως 4,00 h	30



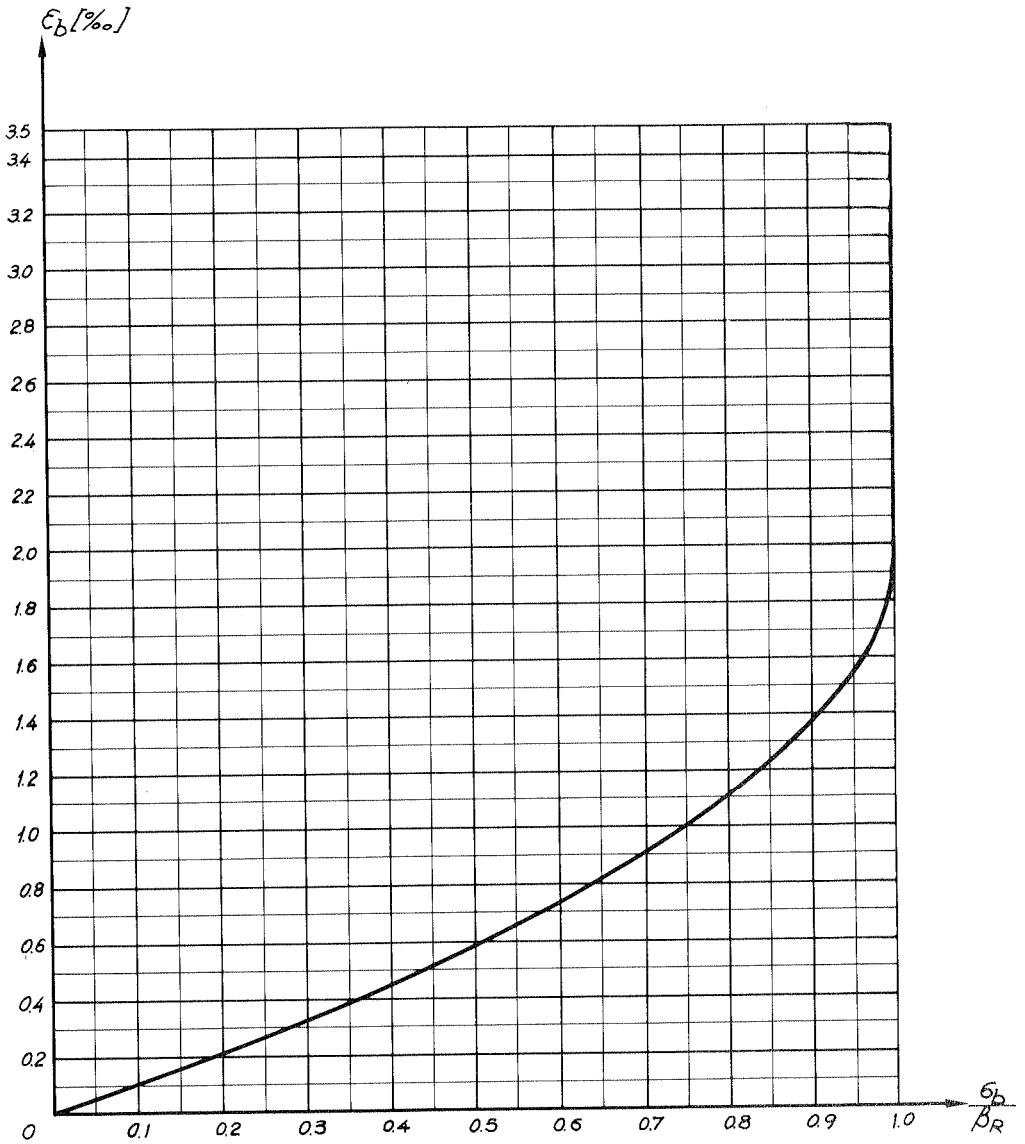
ΠΙΝΑΚΑΣ 35

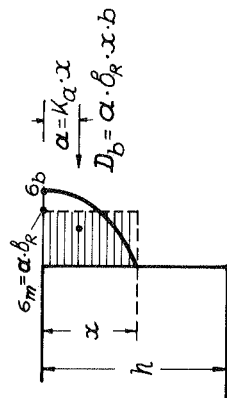
Ἐπιτρεπόμενες παραμορφώσεις καὶ συντελεστὲς ἀσφαλείας



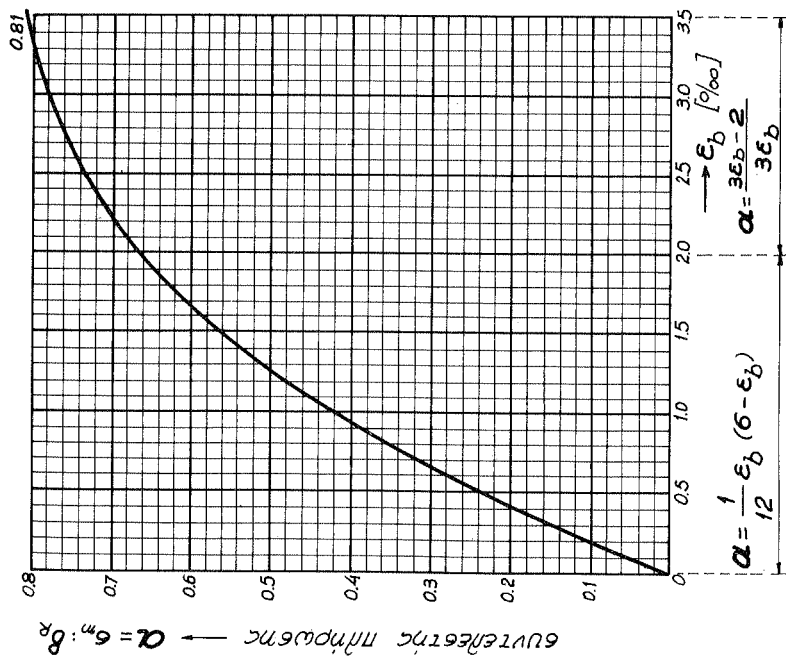
ΠΙΝΑΚΑΣ 36

Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος

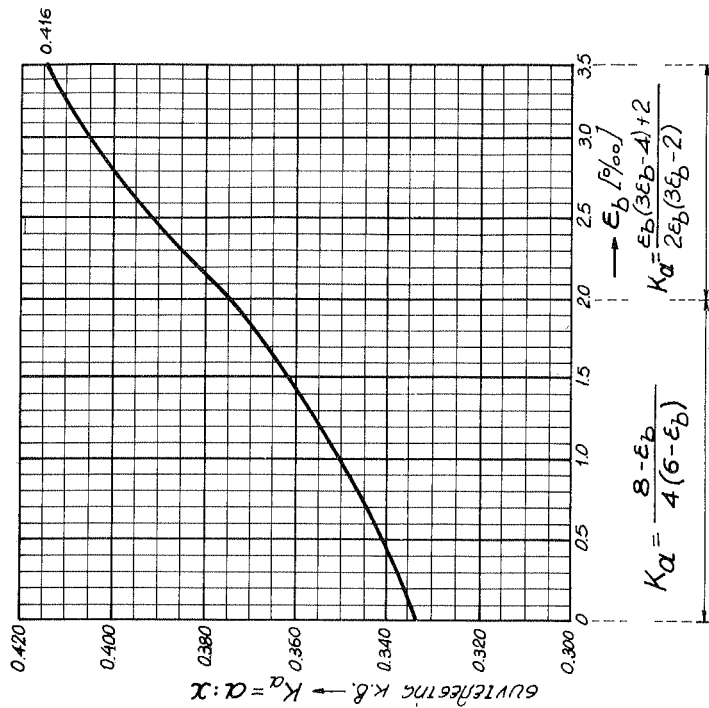




Συντελεστής πλήρωσης α

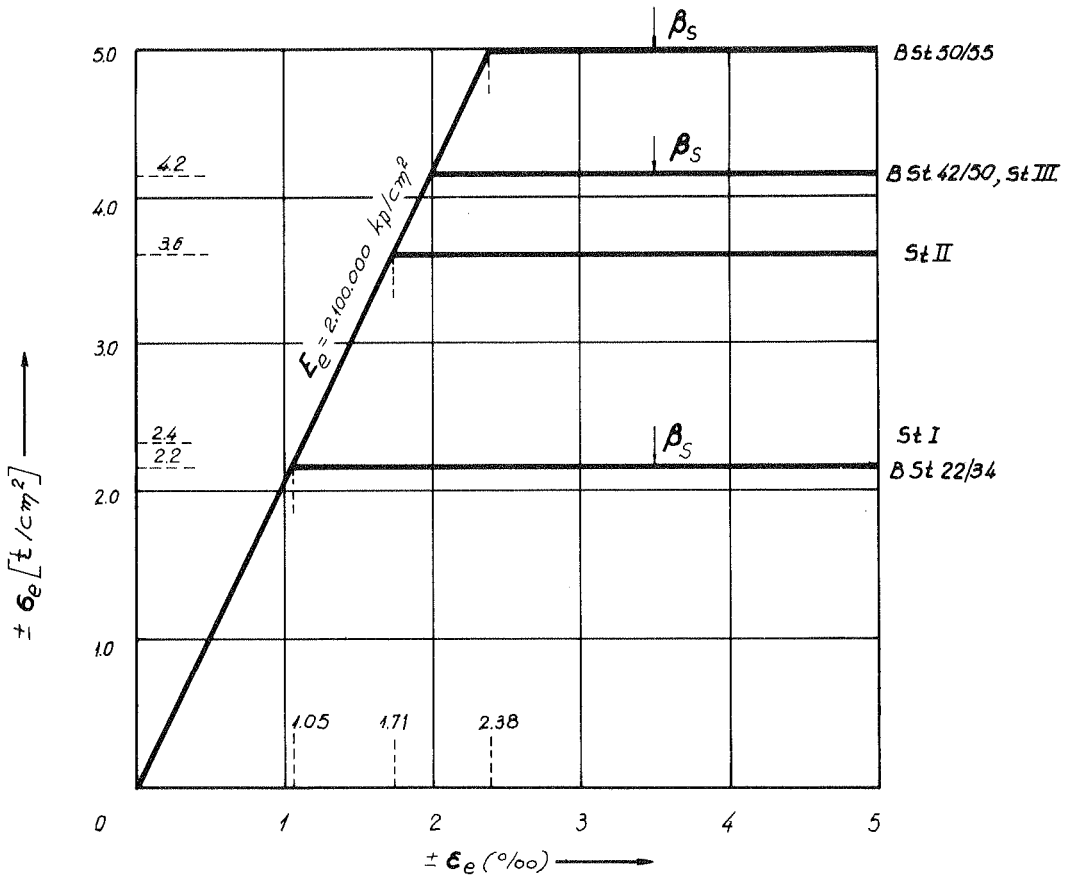


Συντελεστής κ.β. K_a



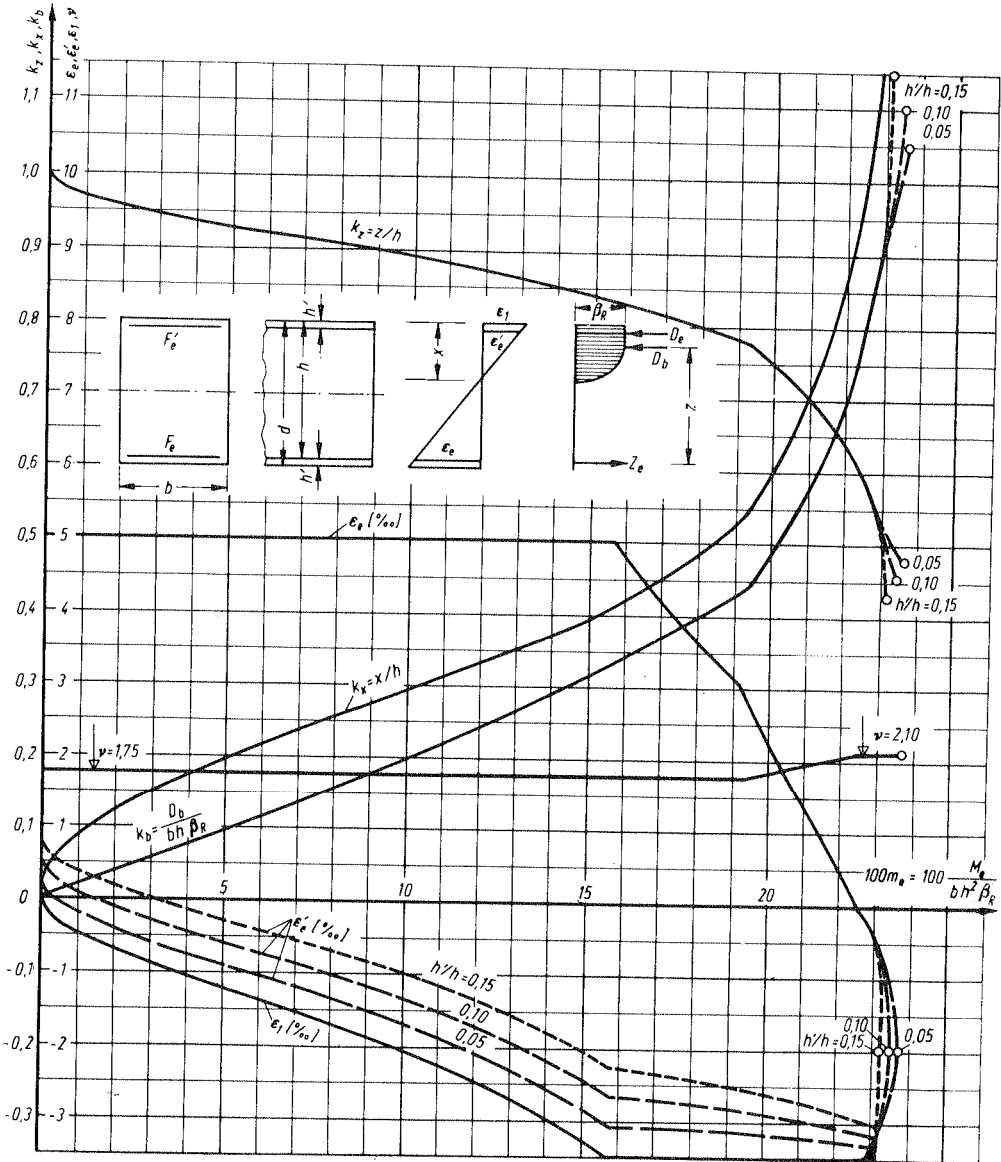
ΠΙΝΑΚΑΣ 38

Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων χάλυβα



ΠΙΝΑΚΑΣ 39

Γενικό διάγραμμα διαστασιολόγησης ορθογωνικών διατομών στην κατάσταση λειτουργίας.

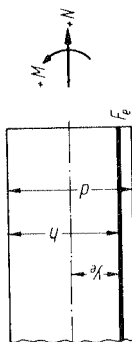
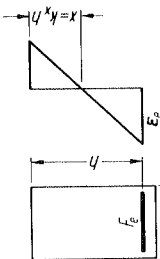


ΠΙΝΑΚΑΣ 40α

Διαστασιολόγησης ὀρθογωνικῶν διατομῶν χωρὶς
δωδόμενο ὀπλισμό

$$M_e = M - N \cdot y_e$$

$$k_h = \frac{h \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}}$$



$$k_h \geq k_h^*$$

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{1,26 \text{ [Mp/cm}^2\text{]}}$$

$$d_e \text{ [mm]} \leq r \frac{\mu_z}{\sigma_{ed}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r = 40 \\ \sigma_{ed} = 0,7 \cdot \max \sigma_e \end{array} \right.$$

BSt 22/34

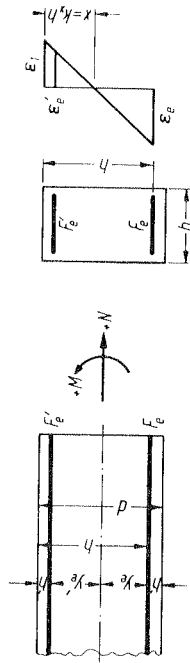
Bn 150		Bn 250		Bn 350		Bn 450		Bn 550		100 k_e	k_z	k_z	$-\varepsilon_1$ [‰]	ε_e [‰]
k_h	d_e	k_h	d_e	k_h	d_e	k_h	d_e	k_h	d_e					
49	2	38	3	33	4	31	5	29	5	81	0,05	0,98	0,28	5,00
30	5	24	8	21	11	19	13	18	14	82	0,09	0,97	0,48	5,00
22	10	17	17	15	22	14	25	13	29	83	0,13	0,96	0,74	5,00
18	16	14	26	12	35	11	42	10,5	46	84	0,15	0,95	0,90	5,00
15	24	12	37	10	54	9,5	59	9	66	85	0,18	0,94	1,12	5,00
13	33	10	56	9	69	8,5	77	8	87	86	0,21	0,92	1,33	5,00
12	41	9	73	8	91	7,5	104	7	119	87	0,24	0,91	1,55	5,00
11	50	8,5	85	7,5	108	7,0		6,5		88	0,26	0,90	1,77	5,00
10	64	8,0	99	7,0		6,5		6,0		89	0,28	0,89	1,99	5,00
9,5	74	7,5	118	6,5		6,0		5,6		90	0,30	0,88	2,19	5,00
9,1	83	7,1		6,1		5,7		5,4		91	0,32	0,87	2,40	5,00
8,7	95	6,8		5,9		5,5		5,2		92	0,34	0,86	2,61	5,00
8,4	105	6,6		5,7		5,3		5,0		93	0,36	0,86	2,83	5,00
8,2		6,4		5,5		5,1		4,8		94	0,38	0,85	3,05	5,00
8,0		6,2		5,4		5,0		4,7		95	0,40	0,84	3,27	5,00
7,8		6,0		5,3		4,9		4,6		96	0,41	0,83	3,50	4,99
7,6		5,9		5,2		4,8		4,53		97	0,43	0,82	3,50	4,59
7,5		5,8		5,1		4,7		4,46		98	0,45	0,81	3,50	4,23
7,4		5,7		5,0		4,6		4,39		99	0,47	0,80	3,50	3,91
7,3		5,63		4,93		4,53		4,32		100	0,49	0,80	3,50	3,62
7,2		5,56		4,86		4,46		4,25		101	0,51	0,79	3,50	3,35
7,1		5,49		4,79		4,41		4,20		102	0,53	0,78	3,50	3,11
7,02		5,44		4,74		4,38		4,15		103	0,538	0,776	3,50	3,00

$k_h^* = 7,02$

ΠΙΝΑΚΑΣ 40 6

Διαστασιολόγησης ορθογωνικών διατομών
με δλιγμένο όπλισμό

BSt 22/34



$$M_e = M - N \cdot y_e$$

$$k_h = \frac{h \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}}$$

$$[k_h < k_h^*]$$

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} \cdot k_e \varrho + \frac{N \text{ [Mp]}}{1,26}$$

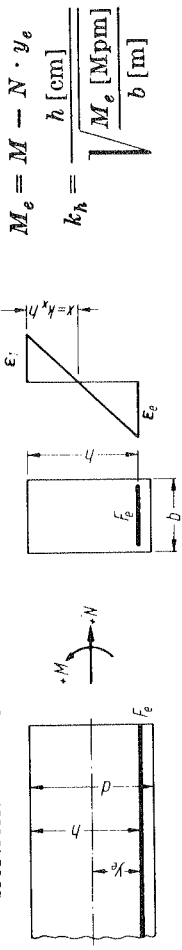
$$F_e' \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} \cdot k_e' \varrho'$$

h/h	für 100 k _e = $\frac{\varrho}{100}$										ϱ' für alle k _e
	103	101	99	97	95	93	100	100	100	100	
0,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01
0,10	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,03	1,03
0,12	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,06	1,06
0,14	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,08	1,08
0,16	1,00	1,00	1,01	1,02	1,04	1,05	1,04	1,05	1,05	1,11	1,11
0,18	1,00	1,01	1,02	1,04	1,05	1,07	1,04	1,05	1,07	1,13	1,13
0,20	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,08	1,04	1,06	1,08	1,16	1,16
0,22	1,00	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09	1,05	1,07	1,09	1,19	1,19

k_h^*	k _h										100 k _e	100 k _e '
	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550	100 k _e	100 k _e '	100 k _e	100 k _e '	100 k _e		
7,02	5,44	4,74	4,38	4,15	103	0	0	103	0	103	0	0
6,98	5,41	4,71	4,35	4,13	102	1	1	102	1	102	1	1
6,90	5,34	4,66	4,30	4,08	102	3	3	102	3	102	3	3
6,81	5,28	4,60	4,25	4,03	102	5	5	102	5	102	5	5
6,73	5,21	4,54	4,19	3,98	101	7	7	101	7	101	7	7
6,64	5,14	4,49	4,14	3,93	101	9	9	101	9	101	9	9
6,55	5,08	4,43	4,09	3,88	100	11	11	100	11	100	11	11
6,46	5,01	4,37	4,03	3,82	100	13	13	100	13	100	13	13
6,37	4,94	4,31	3,98	3,77	100	15	15	100	15	100	15	15
6,28	4,87	4,25	3,92	3,72	99	17	17	99	17	99	17	17
6,19	4,80	4,18	3,86	3,66	99	19	19	99	19	99	19	19
6,10	4,72	4,12	3,80	3,61	98	21	21	98	21	98	21	21
6,00	4,65	4,06	3,74	3,55	98	23	23	98	23	98	23	23
5,91	4,57	3,99	3,68	3,49	98	25	25	98	25	98	25	25
5,81	4,50	3,92	3,62	3,44	97	27	27	97	27	97	27	27
5,71	4,42	3,86	3,56	3,38	97	29	29	97	29	97	29	29
5,60	4,34	3,79	3,50	3,32	96	31	31	96	31	96	31	31
5,50	4,26	3,72	3,43	3,25	96	33	33	96	33	96	33	33
5,40	4,18	3,65	3,36	3,19	96	35	35	96	35	96	35	35
5,29	4,10	3,57	3,30	3,13	95	37	37	95	37	95	37	37
5,18	4,01	3,50	3,23	3,06	95	39	39	95	39	95	39	39
5,06	3,92	3,42	3,16	3,00	94	41	41	94	41	94	41	41
4,95	3,83	3,34	3,09	2,93	94	43	43	94	43	94	43	43
4,83	3,74	3,26	3,01	2,86	94	45	45	94	45	94	45	45
4,71	3,65	3,18	2,94	2,79	93	47	47	93	47	93	47	47

ΠΙΝΑΚΑΣ 41 α

Διαστασιολόγησης ὀρθογωνικῶν
διατομῶν χωρὶς διιδόμενο
ὀπλισμό



$$M_e = M - N \cdot y_e$$

$$k_h = \frac{h \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}}$$

BSt 42/50

$$k_h \geq k_h^*$$

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{2,40 \text{ [Mp/cm}^2\text{]}}$$

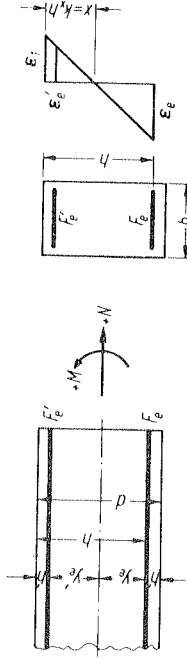
$$d_e \text{ [mm]} \leq r \frac{\mu_z}{\sigma_{ed}^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} r = 80 \\ \sigma_{ed} = 0,7 \cdot \max \sigma_e \end{array} \right\}$$

Bn 150		Bn 250		Bn 350		Bn 450		Bn 550		100 k _e	k _z	k _z	-ε ₁ [°/∞]	ε _e [°/∞]
k _h	d _e	k _h	d _e	k _h	d _e	k _h	d _e	k _h	d _e					
29	2	23	3	20	3	18	4	17	5	43	0,09	0,97	0,50	5,00
17,4	5	13,5	8	11,8	11	10,9	12	10,3	14	44	0,15	0,95	0,90	5,00
13,1	9	10,1	16	8,8	21	8,2	24	7,7	27	45	0,21	0,93	1,32	5,00
10,8	15	8,4	25	7,3	33	6,8	38	6,4	43	46	0,26	0,91	1,73	5,00
9,6	21	7,4	35	6,5	45	6,0	53	5,7	57	47	0,30	0,89	2,14	5,00
8,8	26	6,9	42	6,0	57	5,5		5,2		48	0,34	0,87	2,54	5,00
8,3	32	6,4	54	5,6		5,2		4,9		49	0,37	0,85	2,95	5,00
7,9	38	6,1		5,3		4,9		4,7		50	0,40	0,83	3,38	5,00
7,6	44	5,9		5,1		4,7		4,5		51	0,44	0,82	3,50	4,45
7,4	50	5,7		5,0		4,6		4,4		52	0,48	0,80	3,50	3,83
7,2	58	5,6		4,9		4,5		4,3		53	0,51	0,79	3,50	3,31
k _h [*] = 7,02		5,44		4,74		4,38		4,15		54	0,538	0,776	3,50	3,00

Διαστασιολόγησης όρθωνικών διατομών
με θλιδόμενο όπλισμό

BSt 42/50



k_h					$100 k_s$	$100 k'_e$
Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550		
$k_h^* = 7,02$	5,44	4,74	4,38	4,15	54	0
6,94	5,38	4,69	4,33	4,11	53	1
6,86	5,31	4,64	4,28	4,06	53	2
6,78	5,25	4,58	4,23	4,01	53	3
6,70	5,19	4,53	4,18	3,96	53	4
6,62	5,12	4,47	4,13	3,91	53	5
6,53	5,06	4,41	4,07	3,86	53	6
6,45	4,99	4,36	4,02	3,81	52	7
6,36	4,93	4,30	3,97	3,76	52	8
6,27	4,86	4,24	3,91	3,71	52	9
6,19	4,79	4,18	3,86	3,66	52	10
6,10	4,72	4,12	3,80	3,61	52	11
6,01	4,65	4,06	3,75	3,55	51	12
5,91	4,58	4,00	3,69	3,50	51	13
5,82	4,51	3,93	3,63	3,44	51	14
5,72	4,43	3,87	3,57	3,39	51	15
5,63	4,36	3,80	3,51	3,33	51	16
5,53	4,28	3,74	3,45	3,27	50	17
5,43	4,21	3,67	3,39	3,21	50	18
5,33	4,13	3,60	3,32	3,15	50	19
5,22	4,05	3,53	3,26	3,09	50	20
5,12	3,96	3,46	3,19	3,03	50	21
5,01	3,88	3,38	3,12	2,96	49	22
4,90	3,79	3,31	3,05	2,90	49	23
4,78	3,70	3,23	2,98	2,83	49	24
4,67	3,61	3,15	2,91	2,76	49	25

$$M_e = M - N \cdot y_e$$

$$k_h = \frac{h \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}}$$

$$k_h < k_h^*$$

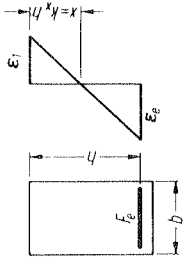
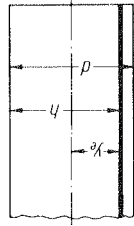
$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} \cdot k_e \cdot \varrho + \frac{N \text{ [Mp]}}{2,40}$$

$$F'_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} \cdot k'_e \cdot \varrho'$$

h'/h	ϱ für $100 k_e =$								ϱ' für alle k_e
	54	53	52	51	50	49			
0,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00
0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,01
0,10	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01			1,03
0,12	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03			1,06
0,14	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04			1,08
0,16	1,00	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05			1,11
0,18	1,00	1,00	1,02	1,03	1,05	1,06			1,13
0,20	1,00	1,00	1,02	1,04	1,05	1,07			1,16
0,22	1,00	1,00	1,03	1,04	1,06	1,09			1,19

ΠΙΝΑΚΑΣ 42α

Διαστασιολογήσεις ορθογωνικών
διατομών χωρίς ελιγμένο
όπλισμό



$$M_e = M - N \cdot y_e$$

$$k_h = \frac{h \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}}$$

BSt 50/55

$$k_h \geq k_h^*$$

$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e + \frac{N \text{ [Mp]}}{2,86 \text{ [Mp/cm}^2\text{]}}$$

$$d_e \text{ [mm]} \leq r \frac{\mu_z}{\sigma_{ed}^2}$$

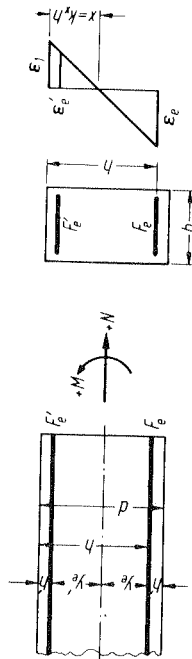
$$\left\{ \begin{array}{l} r = 80 \\ \sigma_{ed} = 0,7 \cdot \max \sigma_e \end{array} \right.$$

Bn 150		Bn 250		Bn 350		Bn 450		Bn 550		$100 k_e$	k_z	k_z	$-\epsilon_1$ [°/∞]	ϵ_e [°/∞]
k_h	d_e	k_h	d_e	k_h	d_e	k_h	d_e	k_h	d_e					
32	1	25	1	22	2	20	2	19	2	36	0,08	0,97	0,44	5,00
17,1	3	13,3	5	11,6	7	10,7	8	10,2	8	37	0,16	0,95	0,92	5,00
12,4	6	9,6	11	8,4	14	7,7	17	7,4	18	38	0,22	0,92	1,41	5,00
10,2	10	7,9	17	6,9	22	6,4	27	6,1	29	39	0,28	0,90	1,91	5,00
9,1	14	7,1	23	6,2	30	5,7	36	5,4	41	40	0,32	0,87	2,39	5,00
8,4	18	6,5	31	5,7		5,2		5,0		41	0,36	0,85	2,87	5,00
7,9	23	6,1		5,4		4,9		4,7		42	0,40	0,83	3,38	5,00
7,6	26	5,9		5,1		4,7		4,5		43	0,45	0,81	3,50	4,32
7,3	32	5,65		4,9		4,5		4,3		44	0,49	0,80	3,50	3,62
$k_h^* = 7,02$		5,44		4,74		4,38		4,15		45	0,538	0,776	3,50	3,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 42B

Διαστασιολόγησης ορθογωνικών διατομών
με δλιγόμενο όπλισμό

BSt 50/55



k_h^*	k_h					100 k_e	100 k'_e
	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550		
7,02	5,44	4,74	4,38	4,15	4,15	45	0
6,93	5,36	4,68	4,32	4,10	4,10	45	1
6,83	5,29	4,61	4,26	4,04	4,04	45	2
6,73	5,22	4,55	4,20	3,98	3,98	45	3
6,64	5,14	4,48	4,14	3,93	3,93	44	4
6,54	5,06	4,42	4,08	3,87	3,87	44	5
6,44	4,98	4,35	4,01	3,81	3,81	44	6
6,33	4,91	4,28	3,95	3,75	3,75	44	7
6,23	4,82	4,21	3,88	3,69	3,69	44	8
6,12	4,74	4,14	3,82	3,62	3,62	43	9
6,01	4,66	4,06	3,75	3,56	3,56	43	10
5,91	4,57	3,99	3,68	3,49	3,49	43	11
5,79	4,49	3,91	3,61	3,43	3,43	43	12
5,68	4,40	3,84	3,54	3,36	3,36	43	13
5,56	4,31	3,76	3,47	3,29	3,29	42	14
5,44	4,21	3,68	3,39	3,22	3,22	42	15
5,32	4,12	3,60	3,32	3,15	3,15	42	16
5,20	4,03	3,51	3,24	3,07	3,07	42	17
5,07	3,93	3,43	3,16	3,00	3,00	42	18
4,94	3,83	3,34	3,08	2,92	2,92	41	19
4,80	3,72	3,25	3,00	2,84	2,84	41	20
4,67	3,61	3,15	2,91	2,76	2,76	41	21

$$M_e = M - N \cdot y_e$$

$$k_h = \frac{h \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_e \text{ [Mpm]}}{b \text{ [m]}}}}$$

$$k_h < k_h^*$$

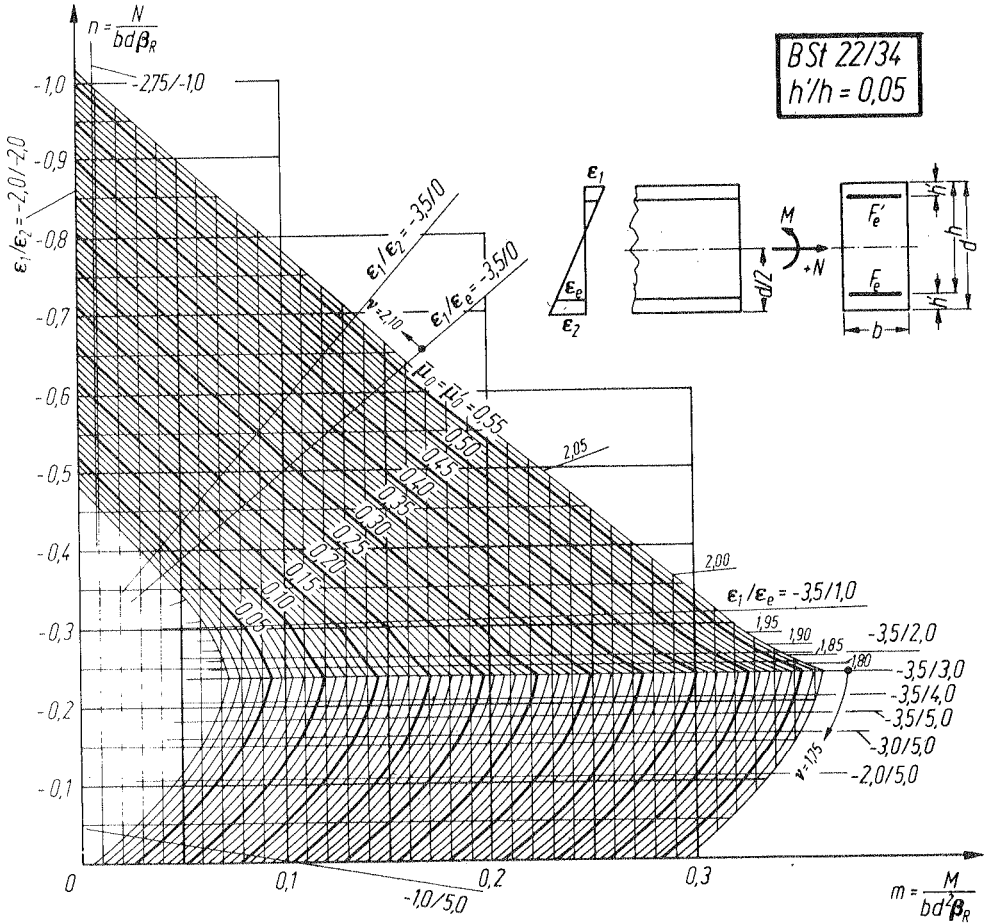
$$F_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k_e \varrho + \frac{N \text{ [Mp]}}{2,86}$$

$$F'_e \text{ [cm}^2\text{]} = \frac{M_e \text{ [Mpm]}}{h \text{ [m]}} k'_e \varrho'$$

h'/h	für 100 $k_e =$								für alle k_e
	45	44	43	42	41	41	41	41	
0,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01
0,10	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
0,12	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,06
0,14	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,08
0,16	1,00	1,01	1,02	1,02	1,04	1,04	1,05	1,05	1,11
0,18	1,00	1,01	1,03	1,03	1,04	1,04	1,06	1,06	1,15
0,20	1,00	1,01	1,03	1,03	1,05	1,05	1,07	1,07	1,25
0,22	1,00	1,02	1,04	1,04	1,06	1,06	1,09	1,09	1,37

ΠΙΝΑΚΑΣ 44

Συμμετρικός όπλισμός



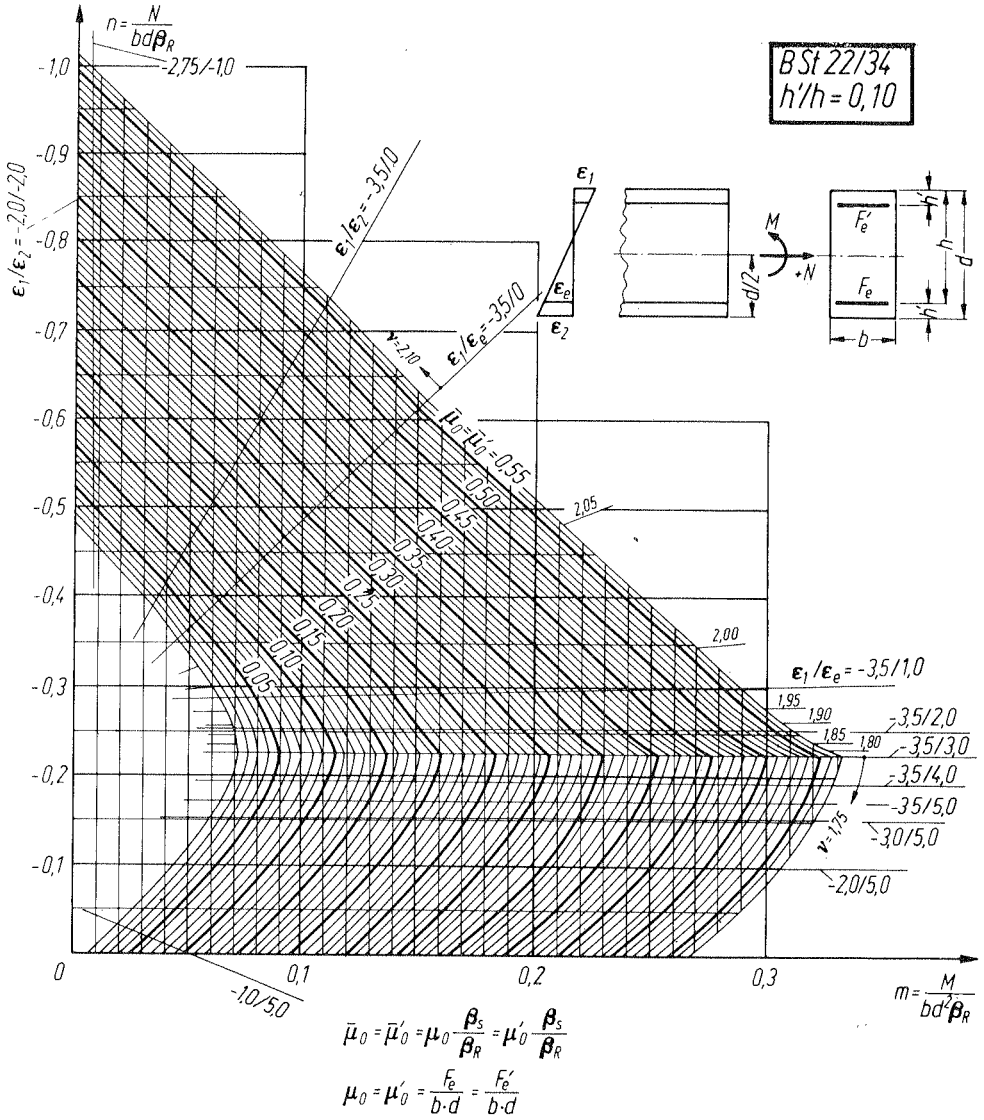
$$\bar{\mu}_0 = \bar{\mu}'_0 = \mu_0 \frac{\beta_s}{\beta_R} = \mu'_0 \frac{\beta_s}{\beta_R}$$

$$\mu_0 = \mu'_0 = \frac{F_e}{b \cdot d} = \frac{F'_e}{b \cdot d}$$

	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550
$\beta_R [kpc/cm^2]$	105	175	230	270	300
β_s/β_R	21,0	12,6	9,6	8,1	7,3

ΠΙΝΑΚΑΣ 45

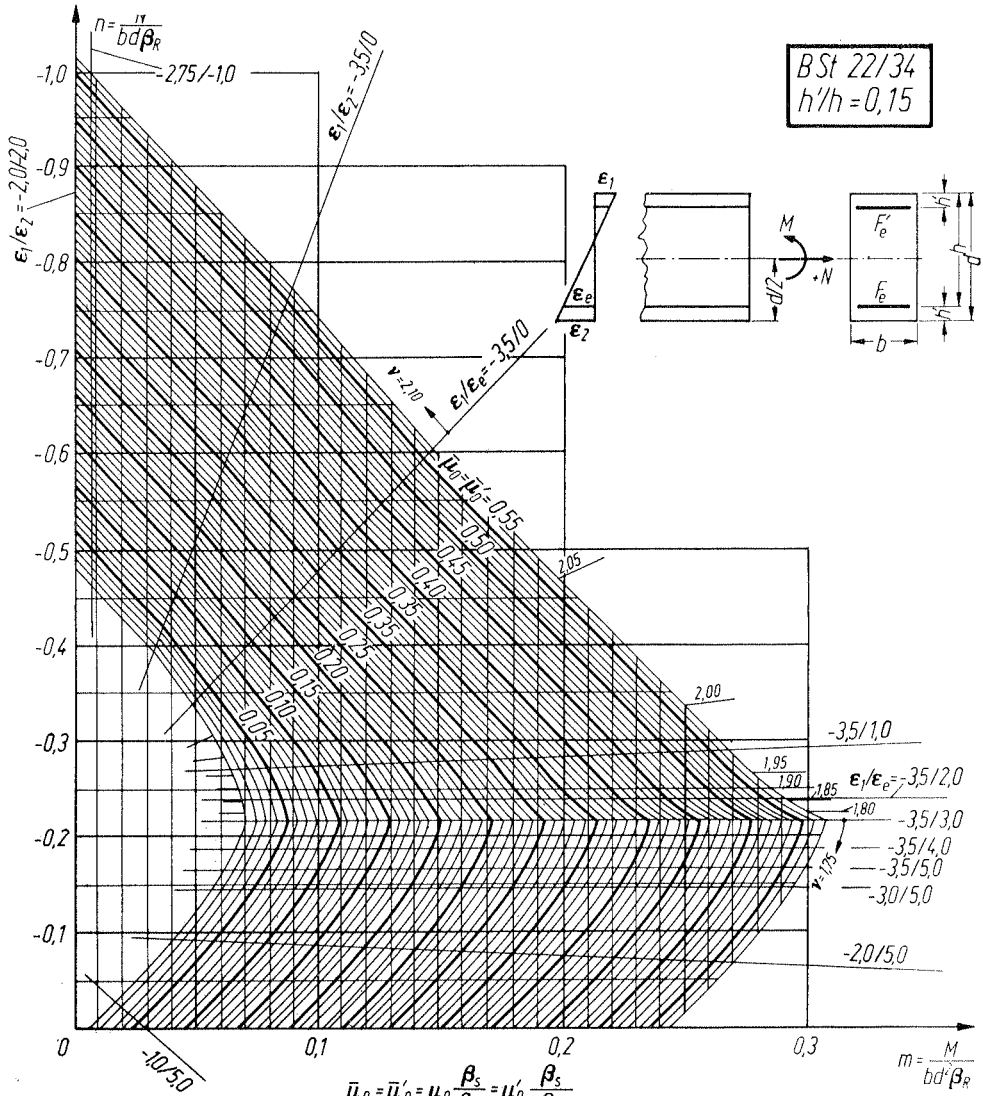
Συμμετρικός όπλισμός



	<i>Bn 150</i>	<i>Bn 250</i>	<i>Bn 350</i>	<i>Bn 450</i>	<i>Bn 550</i>
β_R (кПа·см ²)	105	175	230	270	300
β_3/β_R	21,0	12,6	9,6	8,1	7,3

ΠΙΝΑΚΑΣ 46

Συμμετρικός όπλισμός

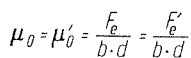


$$\bar{\mu}_0 = \bar{\mu}'_0 = \mu_0 \frac{\beta_s}{\beta_R} = \mu'_0 \frac{\beta_s}{\beta_R}$$

$$\mu_0 = \mu'_0 = \frac{F_e}{b \cdot d} = \frac{F'_e}{b \cdot d}$$

	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550
$\beta_R [kp/cm^2]$	105	175	230	270	300
β_s/β_R	21,0	12,6	9,6	8,1	7,3

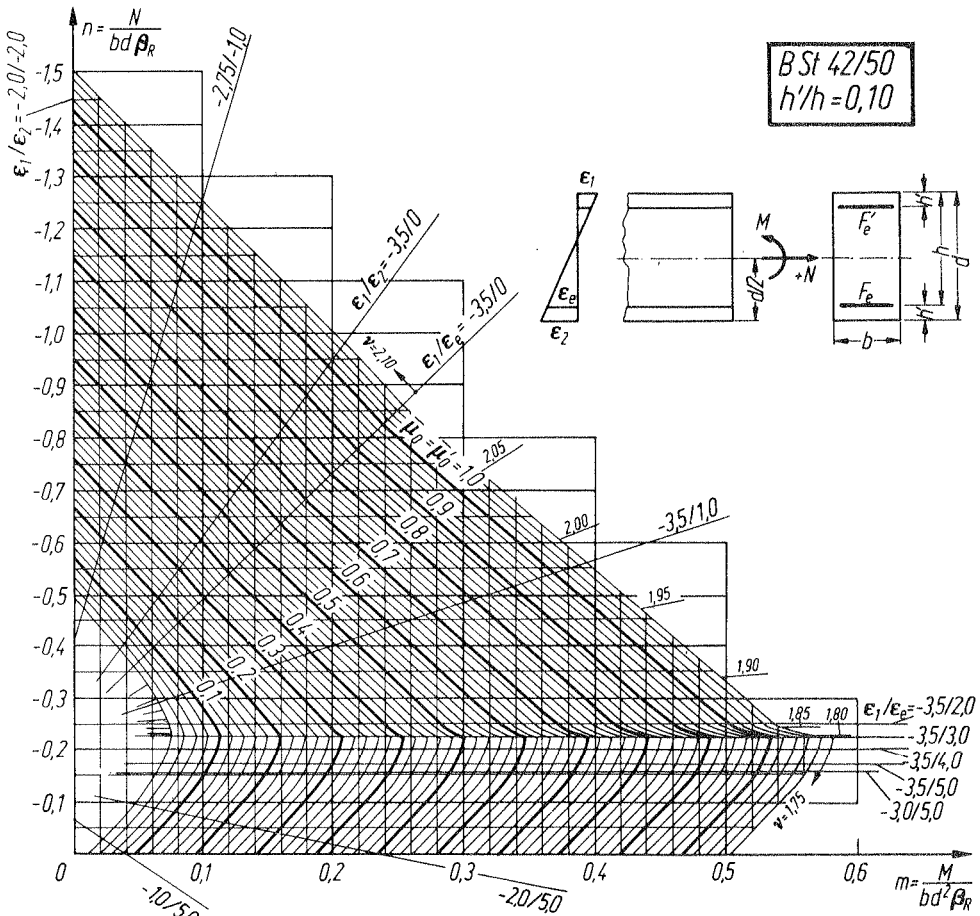
Συμμετρικός όπλισμός



	$B_n 150$	$B_n 250$	$B_n 350$	$B_n 450$	$B_n 550$
$\beta_R [kp/cm^2]$	105	175	230	270	300
β_s/β_R	40,0	24,0	18,3	15,6	14,0

ΠΙΝΑΚΑΣ 48

Συμμετρικός όπλισμός



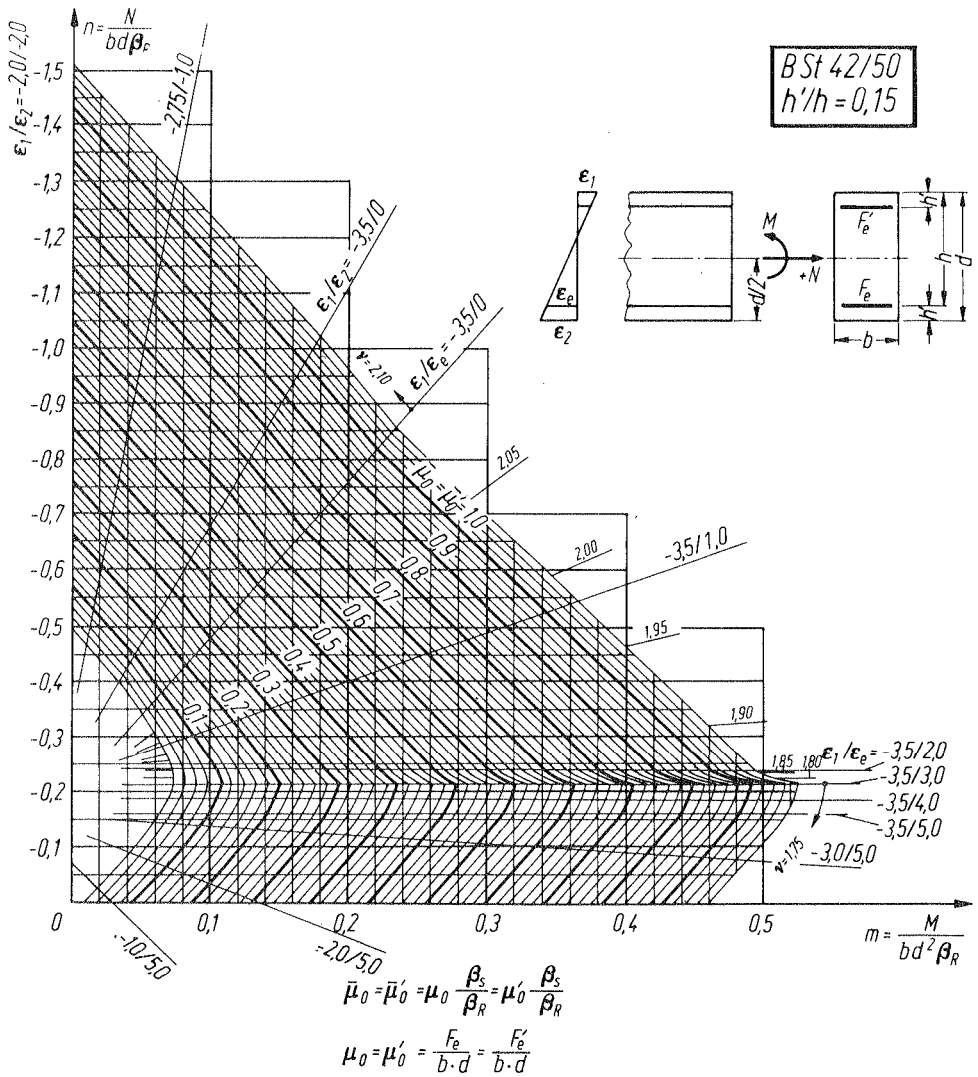
$$\bar{\mu}_0 = \bar{\mu}'_0 = \mu_0 \frac{\beta_s}{\beta_R} = \mu'_0 \frac{\beta_s}{\beta_R}$$

$$\mu_0 = \mu'_0 = \frac{F_e}{b \cdot d} = \frac{F'_e}{b \cdot d}$$

	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550
β_R (kp/cm ²)	105	175	230	270	300
β_s / β_R	40,0	24,0	18,3	15,6	14,0

ΠΙΝΑΚΑΣ 49

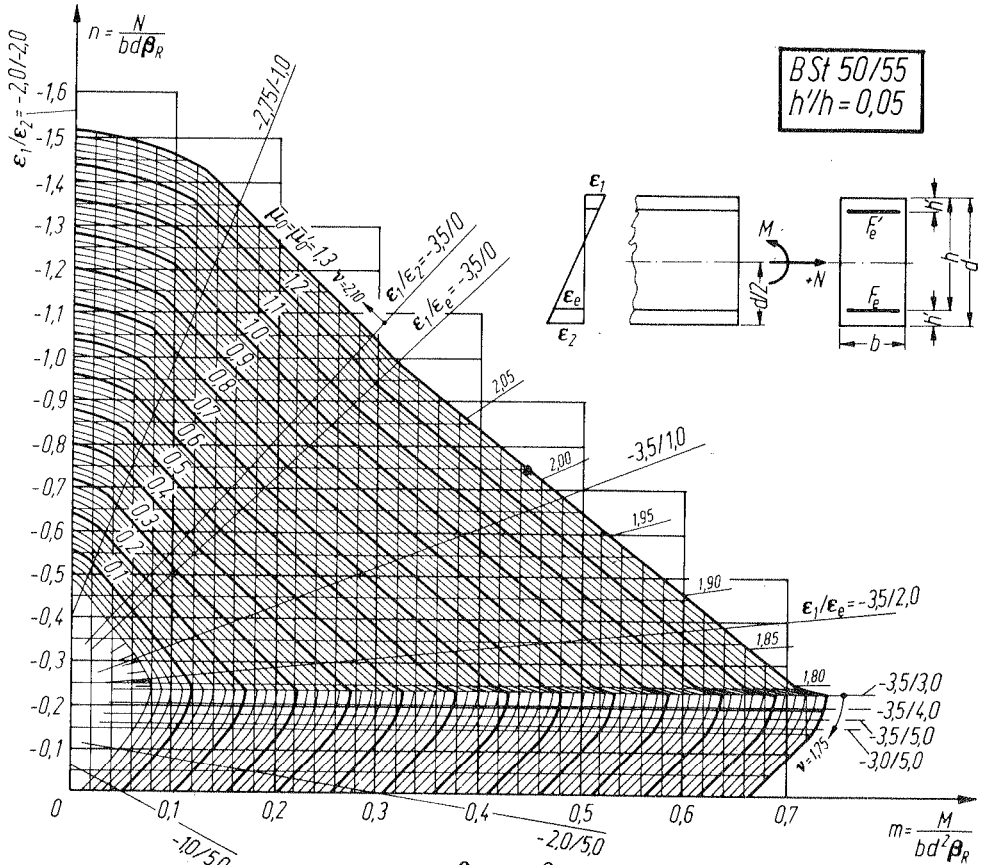
Συμμετρικός όπλισμός



	B_n 150	B_n 250	B_n 350	B_n 450	B_n 550
ρ_R [kp/cm ²]	105	175	230	270	300
β_s/β_R	40,0	24,0	18,3	15,6	14,0

ΠΙΝΑΚΑΣ 50

Συμμετρικός όπλισμός



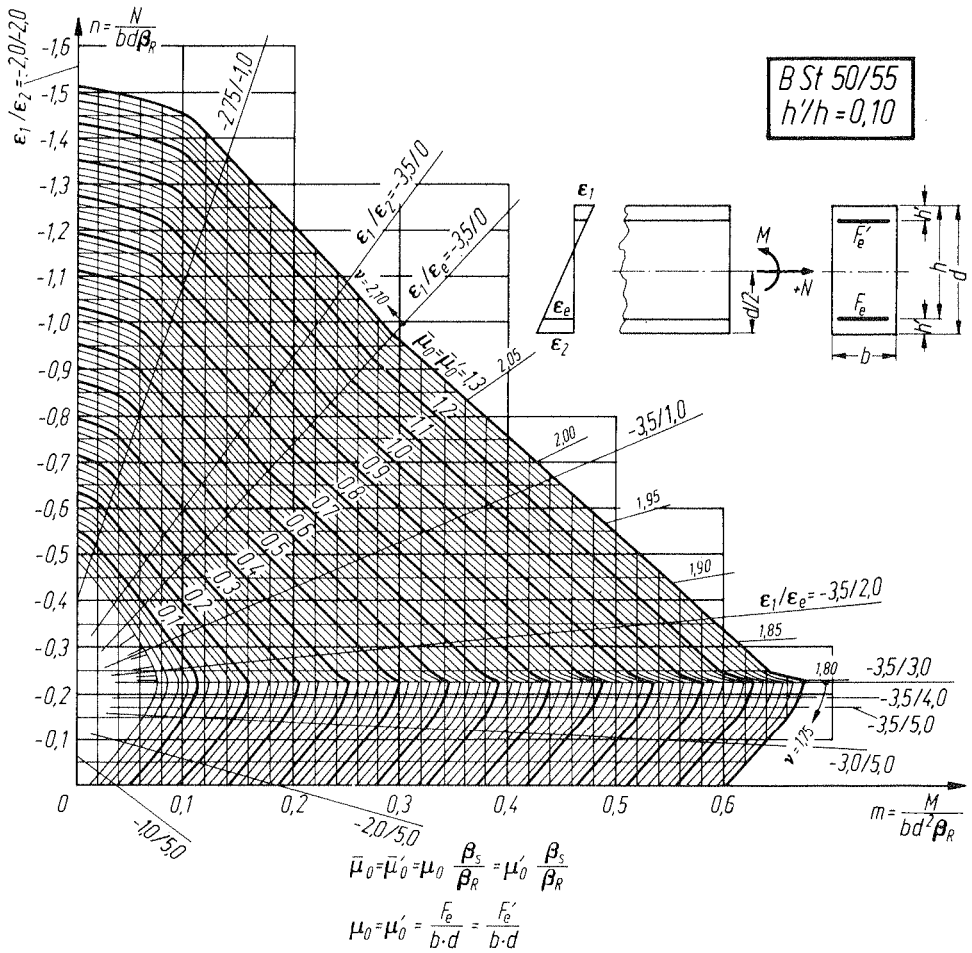
$$\bar{\mu}_0 = \bar{\mu}'_0 = \mu_0 \frac{\beta_s}{\beta_R} = \mu'_0 \frac{\beta_s}{\beta_R}$$

$$\mu_0 = \mu'_0 = \frac{F_e}{b \cdot d} = \frac{F'_e}{b \cdot d}$$

	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550
$\beta_R [kp/cm^2]$	105	175	230	270	300
β_s / β_R	47,6	28,6	21,7	18,5	16,7

ΠΙΝΑΚΑΣ 51

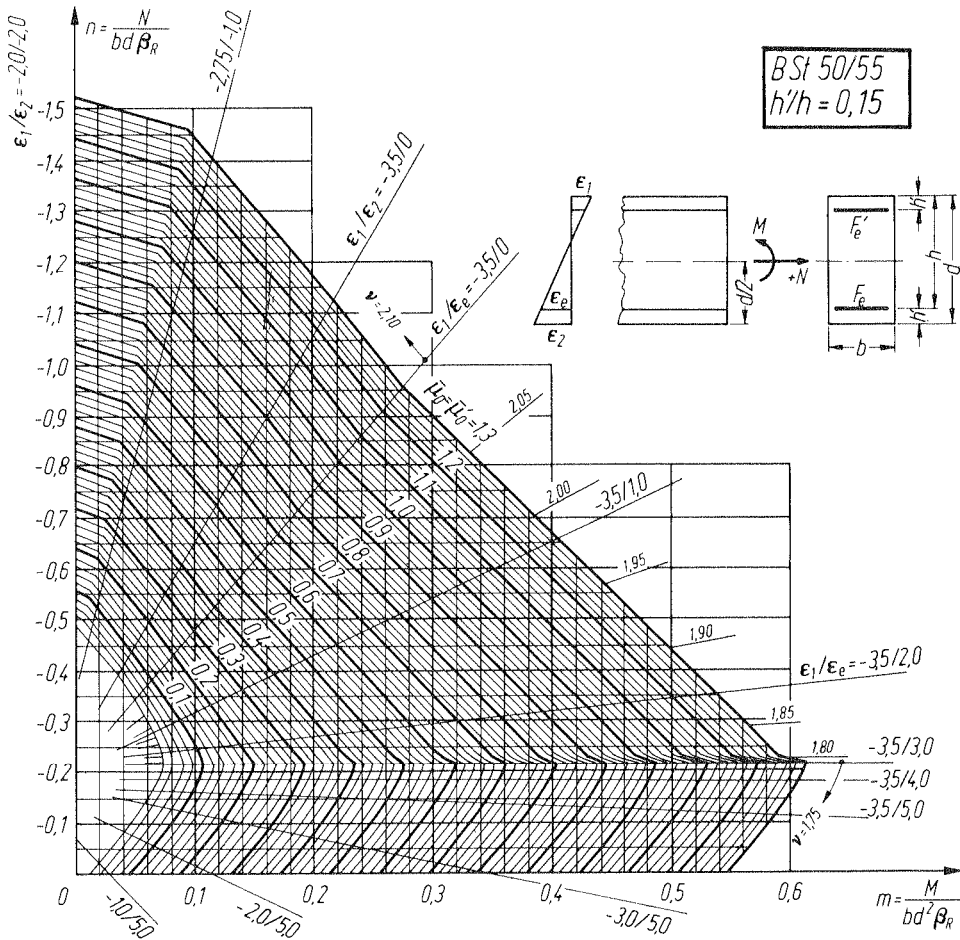
Συμμετρικός όπλισμός



	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550
β_R (kp/cm ²)	105	175	230	270	300
β_s / β_R	47,6	28,6	21,7	18,5	16,7

ΠΙΝΑΚΑΣ 52

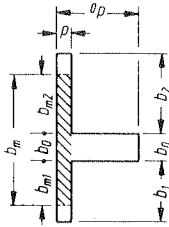
Συμμετρικός όπλισμός



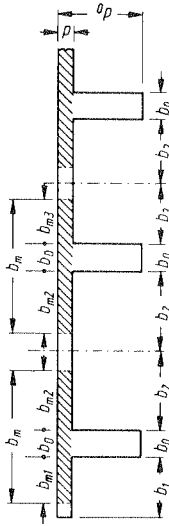
$$\bar{\mu}_0 = \bar{\mu}'_0 = \mu_0 \frac{\beta_s}{\beta_R} = \mu'_0 \frac{\beta_s}{\beta_R}$$

$$\mu_0 = \mu'_0 = \frac{F_e}{b \cdot d} = \frac{F'_e}{b \cdot d}$$

	Bn 150	Bn 250	Bn 350	Bn 450	Bn 550
β_R (kp/cm ²)	105	175	230	270	300
β_s / β_R	47,6	28,6	21,7	18,5	16,7



$$b_m = b_0 + b_{m1} + b_{m2}$$

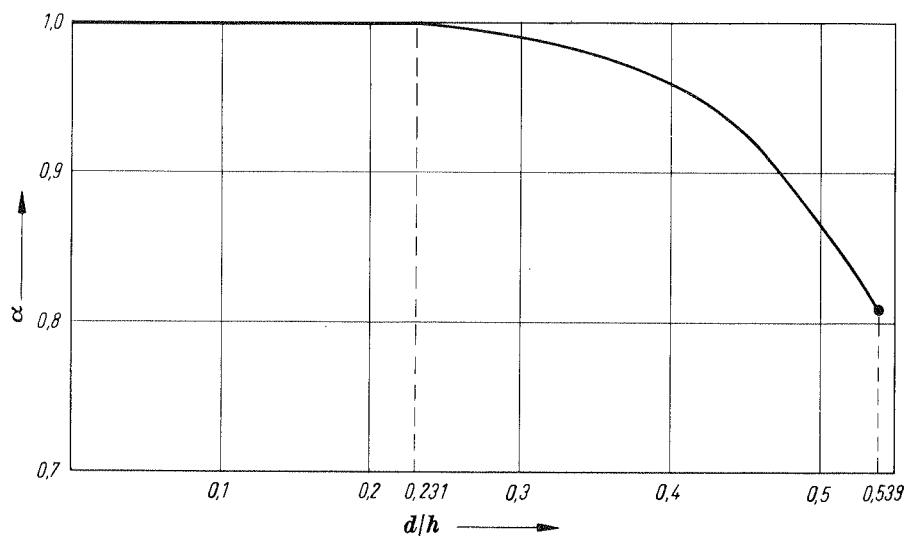


$$b_m = b_0 + b_{m2} + b_{m3}$$

d/d_0	l/b_0	b_1/l bzw. b_2/l bzw. b_3/l										b_{m1}/b_1	bzw.	b_{m2}/b_2	bzw.	b_{m3}/b_3
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1					
0,10	≤ 10	0,18	0,20	0,22	0,26	0,31	0,38	0,48	0,62	0,82	1,00	1,00		1,00		1,00
	20	0,18	0,20	0,22	0,26	0,31	0,38	0,48	0,62	0,82	1,00					
	50	0,19	0,22	0,25	0,28	0,33	0,39	0,48	0,62	0,82	1,00					
0,15	≤ 10	0,19	0,21	0,24	0,28	0,32	0,39	0,49	0,63	0,82	1,00	1,00		1,00		1,00
	20	0,20	0,22	0,25	0,28	0,33	0,40	0,50	0,64	0,83	1,00					
	50	0,23	0,26	0,28	0,32	0,37	0,44	0,53	0,67	0,84	1,00					
0,20	≤ 10	0,21	0,23	0,26	0,30	0,35	0,42	0,52	0,66	0,84	1,00	1,00		1,00		1,00
	20	0,23	0,26	0,30	0,34	0,38	0,45	0,55	0,68	0,85	1,00					
	50	0,30	0,33	0,36	0,41	0,47	0,54	0,63	0,75	0,88	1,00					
0,30	≤ 10	0,28	0,31	0,35	0,39	0,44	0,50	0,58	0,70	0,86	1,00	1,00		1,00		1,00
	20	0,32	0,36	0,40	0,44	0,50	0,56	0,63	0,74	0,87	1,00					
	50	0,42	0,46	0,50	0,55	0,62	0,69	0,78	0,85	0,91	1,00					

ΠΙΝΑΚΑΣ 54

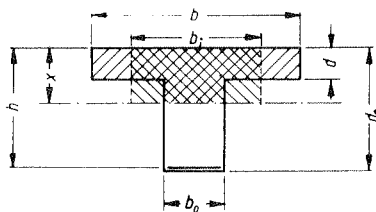
Συντελεστής μείωσης α για πλακοδοκό



ΠΙΝΑΚΑΣ 55

Ίσοδύναμο πλάτος πλακοδοκού

$d/h =$										$b/b_0 =$						
0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
$k_x =$										$100 \cdot \lambda_b =$						
0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	100	100	100	100	100	100	100
	0,50	0,44	0,39	0,33	0,28	0,22	0,17	0,11	0,06	99	99	99	99	99	99	98
		0,50	0,44	0,38	0,31	0,25	0,19	0,13	0,06	97	96	95	95	95	94	94
			0,50	0,43	0,36	0,29	0,21	0,14	0,07	95	92	90	89	89	88	87
				0,50	0,42	0,33	0,25	0,17	0,08	91	87	84	82	81	80	79
					0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	87	81	77	75	73	71	70
						0,50	0,38	0,25	0,13	83	75	70	66	64	62	60
							0,50	0,33	0,17	79	69	62	58	55	53	50
								0,50	0,25	75	62	55	50	46	44	40
									0,50	71	56	47	42	37	34	30



ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΑΛΛΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ

- 1. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδεματος "τομος α"**
- 2. εφαρμογές απλισμένου σκυροδεματος "τομος β"**
- 3. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδεματος "τομος γ"**
- 4. ασκήσεις προεντεταμένου σκυροδεματος**