

Ενότητα **I**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΕΡΕΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ



1. ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΟΡΘΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο στόχος του σχεδιασμού των φορέων σε κατάσταση αστοχίας είναι, όπως εντοπίστηκε στην ενότητα Α και Ζ διττός:

- Να εξασφαλιστεί ότι ο φορέας μπορεί να αντέξει τα φορτία του με επαρκή ασφάλεια.
- Να εξασφαλιστεί ότι σε περίπτωση που εξαντληθούν οι συντελεστές ασφαλείας του, λόγω απρόβλεπτης υπέρβασης των φορτίων του, είτε λόγω μειωμένων αντοχών των υλικών του, και ο φορέας αστοχήσει θα υπάρξουν αρκετές προειδοποιητικές ενδείξεις της αστοχίας ώστε να αποφορτιστεί ο φορέας και να μειωθούν οι συνέπειες.

Ο πρώτος στόχος επιτυγχάνεται με την **ικανοποίηση της ανίσωσης ασφαλείας** στις κρίσιμες θέσεις του φορέα κατά μήκος του, τις θέσεις με τη μεγαλύτερη επιπόνηση που αποτελούν τις **διατομές ελέγχου** και για την κρίσιμη χρονική στιγμή για κάθε θέση, που προκύπτουν με **δυσμενή συνδυασμό των φορτίων** για κάθε θέση, τον συνδυασμό εκείνο που δίνει την μεγαλύτερη επιπόνηση, ενδεχομένως διαφορετικό για κάθε θέση.

Ο δεύτερος στόχος επιτυγχάνεται εξασφαλίζοντας ότι η παραμόρφωση ϵ_{s1} του εφελκυσμένου χάλυβα **στη θέση αστοχίας και τη στιγμή της αστοχίας του φορέα θα είναι σημαντική**, ώστε το συνολικό εύρος των ρωγμών στη θέση αυτή και το βέλος του φορέα να είναι σημαντικά.

2. ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ

2.1 Μορφές Σχεδιασμού

Ο υπολογισμός μπορεί να πάρει τις μορφές που αναφέρονται στην ενότητα Α:

- **Σχεδιασμού**
- **Ανασχεδιασμού, και**
- **Ελέγχου**

Το άγνωστο μέγεθος είναι, αντίστοιχα:

- Η (ελάχιστη) ποσότητα του οπλισμού A_s , ή και οι (ελάχιστες) διαστάσεις, συνήθως το ύψος h (το πλάτος καθορίζεται από κατασκευαστικούς λόγους),
- Το (μέγιστο) φορτίο q ,
- Η φορά της ανίσωσης ασφαλείας ώστε να ελεγχθεί η ασφάλεια του φορέα.
Αν η (μέγιστη) τιμή της δρώσας ροπής είναι μεγαλύτερη από την καμπτική αντοχή του φορέα, ο φορέας δεν είναι ασφαλής.

2.2 Στατικά Μεγέθη Σχεδιασμού

Στην περίπτωση των συνήθων πλακών ο σχεδιασμός βασίζεται στην ανίσωση ασφαλείας των καμπτικών ροπών, μόνον, γιατί :

1. Η επιπόνησή τους είναι καμπτοδιατμητική.

Το φορτίο των ισοδύναμων διαδοκίδων περνά από τον κεντροβαρικό τους άξονα και δεν προκύπτει στρεπτικό φορτίο.

2. Επειδή έχουν μεγάλο πλάτος, η τιμή της διατμητικής αντοχής V_{Rd1} του φορέα χωρίς διατμητικό οπλισμό, η οποία είναι ανάλογη του πλάτους του κορμού του φορέα, είναι σημαντική.

Επειδή το ύψος τους είναι μικρό, η τιμή της καμπτικής αντοχής τους, η οποία είναι ανάλογη του στατικού ύψους του φορέα, είναι μικρή και, γι αυτό, είναι μικρή η τιμή του φορτίου τους και, άρα, είναι μικρή και η τιμή της δρώσας τέμνουσας V_{sd} και μπορεί και αναλαμβάνεται μόνον από την V_{Rd1} .

- ❖ Άρα σε συνήθεις πλάκες δεν απαιτείται εγκάρσιος οπλισμός συνδετήρων και ο σχεδιασμός σε διάτμηση μπορεί να παραλείπεται.

Σε περίπτωση, όμως, πλακών με μεγάλο πάχος και άρα σημαντικό φορτίο και σημαντική V_{sd} (πεζογέφυρες κ.λ.π.) πρέπει να ελέγχεται κατά πόσον επαρκεί η V_{Rd1} για να την παραλάβει.

Στις πλάκες αυτές ενδέχεται να χρειαστεί τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού.

2.3 Διαδοχικά Βήματα Σχεδιασμού

Ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Εντοπίζεται το στατικό σύστημα, προδιαστασιολογούνται και υπολογίζονται τα φορτία
- Υπολογίζονται συναρτήσει των φορτιών οι μέγιστες τιμές της M_{sd} στις δυσμενέστερες θέσεις του φορέα, τις **κρίσιμες διατομές**, και για τις δυσμενέστερες χρονικές στιγμές, τον **δυσμενέστερο συνδυασμό φορτίων** για κάθε θέση.
- Υπολογίζονται συναρτήσει των διαστάσεων της διατομής, της ποσότητας του οπλισμού και των αντοχών σκυροδέματος και οπλισμού οι μέγιστες τιμές της καμπτικής αντοχής M_{Rdu} του φορέα σε κάθε μία από τις παραπάνω θέσεις.

➤ Εξισώνεται σε κάθε θέση η έκφραση της $\max M_{sd}$ με την έκφραση της M_{Rdu} και η εξίσωση που προκύπτει επιλύεται ως προς το άγνωστο μέγεθος.

- Αν το άγνωστο μέγεθος είναι το φορτίο κρατείται η μικρότερη τιμή που προκύπτει από την επίλυση σε κάθε θέση.
- Αν το άγνωστο μέγεθος είναι ο οπλισμός, κρατείται η αντίστοιχη τιμή σε κάθε θέση μέγιστης $\max M_{sd}$.

Στις γειτονικές θέσεις διαμορφώνεται όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Ε και σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο κεφ. 18.

Τα παραπάνω βήματα έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες του βοηθήματος.

Στην ενότητα αυτή συμπληρώνονται σε κάθε βήμα ιδιαιτερότητες που σχετίζονται με το συγκεκριμένο τύπο του φορέα, τις πλάκες και δίνονται οι διάφορες μορφές επίλυσης της ανίσωσης ασφαλείας.

3. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Δ2, ΚΕΦ 1 ΚΑΙ 5

3.1 Σχεδιασμός σε Κατάσταση Αστοχίας

Ο σχεδιασμός των πλακών, όπως και των άλλων φορέων, γίνεται σε κατάσταση ασφαλείας:

$$S = R \leq R_u$$

«Τα μεγέθη των δράσεων, ή εξωτερικά μεγέθη S που είναι ίδια με τα εσωτερικά μεγέθη R πρέπει να είναι μικρότερα ή ίσα με τις αντίστοιχες αντοχές R_u του φορέα».

Για τον προσδιορισμό των δράσεων εντοπίζεται το στατικό σύστημα και ακολουθεί η ανάλυση ή στατική επίλυση του φορέα.

1.1 Έλεγχος σε κατάσταση Λειτουργίας

Για **πλάκες με ειδικές χρήσεις**, όπως πλάκες σε δεξαμενές υγρών και βιολογικών καθαρισμών πρέπει να γίνεται και **έλεγχος βελών και ανοίγματος ρωγμών** σε κατάσταση λειτουργίας, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 1

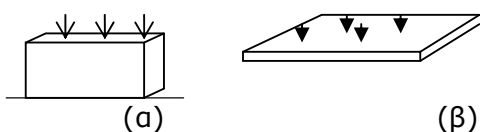
Για πλάκες με συνήθεις χρήσεις ο έλεγχος αυτός παραλείπεται. Θεωρείται ότι καλύπτεται από τις διατάξεις των κανονισμών για τις λεπτομέρειες όπλισης και το ελάχιστο πάχος των πλακών, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 1 στην Ενότητα Δ2.

3.2 Φορτία Πλακών - Η Λειτουργία των Πλακών για τα Σεισμικά Φορτία

Οι πλάκες σχεδιάζονται μόνον για τα κατακόρυφα φορτία που δρουν σ' αυτές.

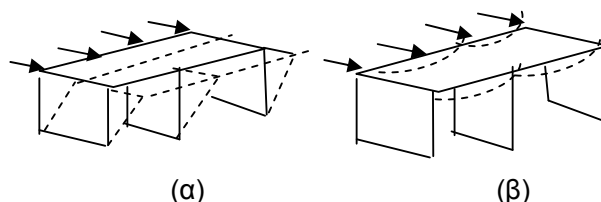
Παραλείπεται η ένταση των πλακών λόγω των στροφών των στηρίξεων τους που προκύπτουν από κατακόρυφα φορτία σε άλλες στάθμες του Φ.Ο.

Για τη σεισμική επιπόνηση οι πλάκες λειτουργούν ως δίσκοι, επιπονούνται κατά το μέσον επιπεδό τους.



Σχ. 3.1 Επιπόνηση (α) δίσκου (β) πλάκας

Δέχονται αξονική επιπόνηση όταν λειτουργούν ως δύσκαμπτα διαφράγματα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α), ή καμπτοδιαμητική επιπόνηση κατά το μέσον επιπεδό τους ως υψίκορμοι δοκοί, όταν λειτουργούν ως εύκαμπτα διαφράγματα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β).



Σχ. 3.1 Λειτουργία πλακών στο σεισμό
(α) Αξονική επιπόνηση
(β) Καμπτοδιαμητική επιπόνηση
κατά το μέσον επίπεδό τους

Οι πλάκες αποτελούν δύσκαμπτα διαφράγματα όταν έχουν περιμετρικές δοκούς, επαρκές πάχος, και δεν έχουν μεγάλα ανοίγματα.

3.3 Διαφοροποιήσεις Στηρίξεων κατά Μήκος τους

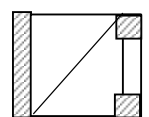
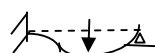
Το στατικό σύστημα των πλακών αποτελείται από το μέσον επίπεδό τους, τις στηρίξεις και τα φορτία.

Οι στηρίξεις των πλακών συμβολίζονται με:

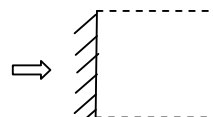
- Διακεκομμένη γραμμή -> οι ελεύθερες πλευρές (χωρίς στηρίξεις)
- Ευθεία γραμμή -> στηρίξεις **αρθρώσεις**. Συνήθως είναι **δοκοί**.
- Διαγραμμισμένη γραμμή -> στηρίξεις **πακτώσεις**.

Σε μεμονωμένες πλάκες είναι **τοιχώματα**.

Σε συστήματα πλακών συνήθως είναι οι **πλευρές συνέχειας** της πλάκας.



Κάτοψη



Στατικό σύστημα

Οι στηρίξεις των δοκών είναι υποστυλώματα ή τοιχώματα και ανάλογα με την ικανότητα καμπτικής στροφής τους προς την διεύθυνση των δοκών αποτελούν αρθρώσεις ή πακτώσεις.

❖ **Αρθρωση** είναι μια στήριξη όταν επιτρέπεται στο φορέα καμπτική στροφή στη θέση της στήριξης.

Πάκτωση είναι μια στήριξη όταν δεν επιτρέπεται το φορέα καμπτική στροφή στη θέση της στήριξης.

Στις πλάκες, όμως, οι **στηρίξεις σε δοκούς** είναι στο μεγαλύτερο μήκος τους **υποχωρούσες** λόγω του βέλους των δοκών.

Μόνον στις **γωνίες των πλακών** οι στηρίξεις τους είναι **ανυποχώρητες**, καθώς στις περιοχές αυτές λόγω των υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων το βέλος των δοκών μηδενίζεται.

Οι στηρίξεις σε δοκούς θεωρούνται **αρθρώσεις** καθώς η καμπτική στροφή της πλάκας είναι (σχεδόν) ελεύθερη (η δοκός μπορεί εύκολα να στρέφεται γύρω από τον άξονά της).

Η ελευθερία, όμως, αυτή της καμπτικής στροφής της πλάκας περιορίζεται σημαντικά στις θέσεις κοντά στα υποστυλώματα ή τοιχώματα, **στις γωνίες των πλακών** και, άρα, στις θέσεις αυτές οι στηρίξεις μπορούν να θεωρηθούν **πακτώσεις**, καθώς στις θέσεις αυτές οι δοκοί δεν μπορούν να στρέφονται ανεμπόδια.

Οι **στηρίξεις σε τοιχώματα** είναι σ' όλο το μήκος τους ανυποχώρητες και μπορούν να θεωρηθούν **πακτώσεις** (σε σχέση με τις στηρίξεις σε δοκούς) καθώς η καμπτική στροφή των τοιχωμάτων (λόγω του μεγάλου πλάτους τους και, άρα, της σχετικά μεγάλης δυσκαμψίας τους) είναι περιορισμένη και, άρα, περιορισμένη είναι και η καμπτική στροφή της πλάκας.

3.4 Απλοποιήσεις για τις Στηρίξεις των Πλακών

Στο σχεδιασμό των πλακών, λαμβάνοντας υπόψη:

- Τις σημαντικές παραδοχές, τόσο ως προς τη μέθοδο της ανάλυσης, όσο και στον προσδιορισμό της αντοχής
- Την απόκλιση των διαστάσεων και του οπλισμού στην κατασκευή απ' αυτές που προκύπτουν από το σχεδιασμό

γίνονται οι παρακάτω απλοποιήσεις:

- Οι διαφοροποιήσεις κατά μήκος των στηρίξεων που εντοπίστηκαν στο 1.1 αμελούνται και οι στηρίξεις σε ακραίες δοκούς θεωρούνται αρθρώσεις.
- Οι συνθήκες πάκτωσης που εντοπίστηκαν στις γωνίες των πλακών αντιμετωπίζονται με κάμψη των μισών οπλισμών του ανοίγματος κοντά στις στηρίξεις.

3.5 Γεωμετρικές Απαιτήσεις Όροι για τα Απαιτούμενα Ύψη Δοκών

Για να θεωρηθεί μια θέση στήριξη της πλάκας θα πρέπει το βέλος στη θέση αυτή να είναι αμελητέο ή πολύ μικρό σε σχέση με το βέλος στο άνοιγμα της πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχ.

Το βέλος είναι αντίστροφα ανάλογο της δυσκαμψίας του στοιχείου η οποία είναι ανάλογη της ροπής αδρανείας του.

Γιαυτό:

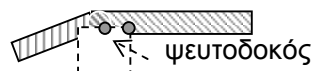
- ❖ Το ύψος των δοκών h πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό της πλάκας,

ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το $1/30$ του βέλους των πλακών.

3.6 Η Προβληματική Λύση των «Ψευδοδοκών»

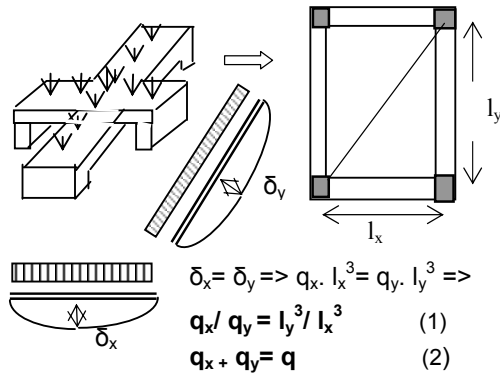
Τοπική πύκνωση του οπλισμού της πλάκας σε μια θέση της ώστε να αποκατασταθεί λειτουργία δοκού στη θέση αυτή, γνωστή ως λύση **ψευδοδοκού** που υιοθετείται μερικές φορές σε σκάλες (θέσεις δύσκολης διαμόρφωσης του ξυλοτύπου), όπως φαίνεται στο σχήμα, ή ενσωμάτωση σιδηροδοκού στα άκρα μεγάλων προβόλων δεν συνιστούν λύσεις

Οι επεμβάσεις αυτές δεν αυξάνουν σημαντικά τη ροπή αδρανείας της πλάκας και οι θέσεις αυτές δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως στηρίξεις.



4. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Μια τετραέρειστη πλάκα μπορεί να είδωθεί ότι προκύπτει από δύο εγκάρσια διασταυρούμενες διαδοκίδες ίδιου ύψους προοδευτικά αυξανόμενου πλάτους μέχρι συνάντησης των στηρίξεων τους, όπως φαίνεται στο Σχ.1.



Σχ. 4.1 Η τετράερειστη πλάκα ως εσχάρα δοκών

Ο επιφανειακός φορέας, η πλάκα που προκύπτει, φορτίζεται με το άθροισμα των φορτίων q_x και q_y των δυο εγκάρσιων διαδοκίδων.

Εκφράζοντας το κοινό βέλος των δύο διαδοκίδων στο σημείο συνάντησής τους συναρτήσει του ανοίγματος και του φορτίου τους υπολογίζεται το ποσοστό του φορτίου που αντιστοιχεί σε κάθε διαδοκίδα.

Από τις σχέσεις στο Σχ.1 προκύπτει:

- Για $l_y / l_x = 1$ (τετράγωνη πλάκα) => $q_x = q_y$
- Για $l_y / l_x = 5$ (στενόμακρη πλάκα) => $q_y = q_x / 125$

Γι' αυτό:

- ❖ Στην περίπτωση στενόμακρων πλακών ($l_{max}/l_{min} > 2$) μπορούμε να δεχθούμε ότι όλο το φορτίο αντιστοιχεί προς τη μικρή διεύθυνση όπως και στην περίπτωση των καθαρά διερεϊστων πλακών.

Για διευκόλυνση ο επιμερισμός των φορτίων προς τις δύο διευθύνσεις των τετραέρειστων πλακών αλλά και κατευθείαν η στατική επίλυσή τους έχει πινακοποιηθεί.

Παρακάτω παρουσιάζεται δομή και η χρήση δύο από τους πίνακες αυτούς.

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ-ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

ΠΙΝΑΚΕΣ MARCUS

- ❖ Είναι κατάλληλοι και για περιπτώσεις πλακών με έντονα άνισα ανοίγματα και συνδυασμού τετραέρειστων και διέρεϊστων πλακών

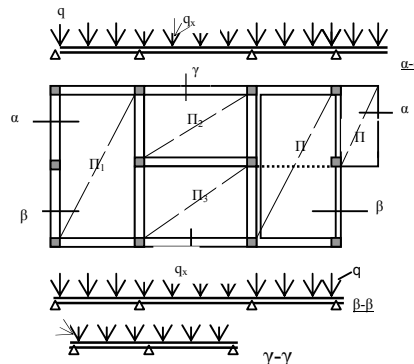
Δίνουν για διάφορα στατικά συστήματα πλακών τους συντελεστές κ , v_x , v_y συναρτήσει του λόγου l_y/l_x των δύο πλευρών τους.

ΜΟΡΦΗ ΠΙΝΑΚΑ : Τιμές κ

l_y / l_x					
1,00	0,500	0,714	0,833	.....	.....
1,05	0,549	0,752	0,859	.....	.....
1,10	0,594	0,785	0,880	.....	.....
.....					

ΜΟΡΦΗ ΠΙΝΑΚΑ : Τιμές v_x, v_y

l_y / l_x					
1,00	0,583	0,665	0,762	0,768	
0,861...	.....	.....	.....	.....	.....
.....					



Σχ. 4.2 Πλακολωρίδες και φορτίο τους

Με βάση τους συντελεστές k κατανέμεται το φορτίο q στις δύο διευθύνσεις :

$$q_x = k \cdot q \quad q_y = (1 - k) \cdot q$$

Στη συνέχεια γίνεται στατική επίλυση των διαδοκίδων-πλακολωρίδων που προκύπτουν προς κάθε διεύθυνση με το αντίστοιχο φορτίο τους προς τη διεύθυνση αυτή, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

Οι τιμές των ροπών που προκύπτουν πολλαπλασιάζονται με τους διορθωτικούς συντελεστές v_x , και v_y .

ΠΙΝΑΚΕΣ CHERNY

Δίνουν για διάφορα στατικά συστήματα πλακών τους συντελεστές m_i συναρτήσει του λόγου I_y/I_x των δύο πλευρών τους.

Σε κάθε στατικό σύστημα αντιστοιχεί ένας πίνακας.

- ❖ Ως I_x λαμβάνεται η μικρότερη πλευρά των πλακών

ΜΟΡΦΗ ΠΙΝΑΚΩΝ

I_y/I_x	1,0	1,10	1,20	1,30	1,40	
$m_{xm} +$						
$m_{ymax} +$						
$m_{xer} -$						
$m_{yer} -$						
$m_{xy} \pm$						
.....						
.....						

Υπολογίζονται οι ροπές στο άνοιγμα κατά τις δύο διευθύνσεις και οι ροπές για κάθε στήριξη από τη σχέση :

$$M_{sd} = \rho_d \cdot I_{min}^2 / m_i \quad (1)$$

όπου: $\rho_d = 1,35g + 1,5q$,

I_{min} : η μικρότερη διάσταση της πλάκας,

m_i : συντελεστές που προκύπτουν από τους πίνακες

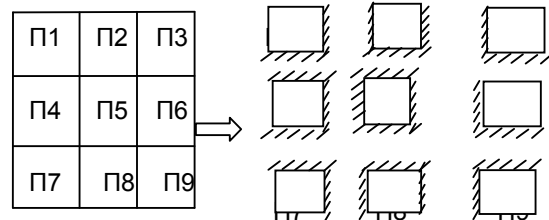
Εύρεση Συντελεστών m_i

- Εντοπίζεται ο αντίστοιχος πίνακας με βάση το είδος των στηρίξεων, άρθρωση ή πάκτωση και σε ποιά πλευρά, μικρή ή μεγάλη. (για το είδος των στηρίξεων βλ. 3.1).

- Υπολογίζεται ο λόγος των δύο ανοιγμάτων της πλάκας (μεγαλύτερο προς μικρότερο) και εντοπίζεται η στήλη των συντελεστών.
- Σημειώνονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε σύμβολο $m +$ (ροπές στα ανοίγματα) και $m -$ (ροπές στις στηρίξεις). Οι τιμές που αντιστοιχούν σε σύμβολο $m \pm$ (αναφέρονται στις γωνίες) δεν απαιτούνται (όπως αναφέρθηκε παραπάνω στις γωνίες υπάρχει σπλισμός τόσο κάτω όσο και επάνω (οι μισές κεκαμμένες ράβδοι του ανοίγματος). Οι συντελεστές f , q αντιστοιχούν σε βέλη και τέμνουσες και δεν χρειάζονται.

Υπολογισμός Ροπών Συστήματος Πλακών (Καθολική Φόρτιση)

Το σύστημα πλακών ανάγεται σε μεμονωμένες πλάκες με πακτώσεις στις πλευρές συνέχειας, όπως φαίνεται στο σχήμα, με φορτίο το $\rho_d = 1,35g + 1,5q$



Λαμβάνονται:

- Ως ροπές στα ανοίγματα των πλακών => οι ροπές ανοιγμάτων των μεμονωμένων πλακών
- Ως ροπές στις στηρίξεις => ο μέσος όρος των ροπών στην υπόψη στήριξη των εκατέρωθεν της στήριξης μεμονωμένων πλακών.

Περίπτωση Κοινής Στήριξης Τετραέρειστης και Προβόλου

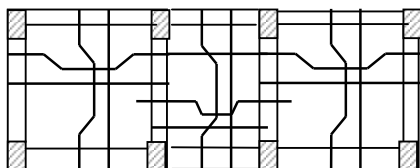
- Ως ροπή στήριξης κρατείται προφανώς η ακριβής τιμή του προβόλου και όχι ο μέσος όρος ροπής προβόλου και τετραέρειστης.
- ❖ **Αν η ροπή προβόλου είναι μικρή** (πρόβολος με μικρό (ισοδύναμο) άνοιγμα (σε σχέση με το άνοιγμα της γειτονικής

- ❖ τετραέρειστης*) η κοινή στήριξη τετραέρειστης και προβόλου θεωρείται έδραση για την τετραέρειστη.

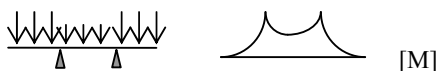
*Ο πρόβολος ισοδυναμεί με ανάποδη αμφιερείστη διπλασίου ανοίγματος

Περίπτώσεις ανάπτυξης αρνητικής ροπής σε άνοιγμα πλάκας (ο οπλισμός των στηρίξεων πρέπει να συνεχίζεται και στο άνοιγμα μιας πλάκας).

- Περίπτωση πλακών έντονα άνισων ανοιγμάτων. Στο άνοιγμα της μικρότερης τοποθετείται οπλισμός άνω (βλ. σχήμα)



- Περίπτωση μεγάλου λόγου q/g (πλάκες δεξαμενών, αποθηκών, κ.λ.π). Τοποθετείται άνω οπλισμός στα ανοίγματα και των δύο πλακών.
- Περίπτωση προβόλου με μεγάλη ροπή είτε γιατί έχει μεγάλο άνοιγμα (περίπου ίδιο ή και μεγαλύτερο από το άνοιγμα της γειτονικής πλάκας) ή έχει μεγάλο φορτίο. Τοποθετείται οπλισμός άνω στο γειτονικό άνοιγμα.



ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Με Πίνακες Marcus

Ισχύουν οι δυσμενείς φορτίσεις των γραμμικών φορέων, βλ. Ενότητα Δ2, κεφ.3.

Με Πίνακες Czerny

Ισχύει για την περίπτωση ίσων ή περίπου ίσων ανοιγμάτων

Ανακρίβειες απλής μεθόδου :

- Οι ενδιάμεσες στηρίξεις των πλακών είναι μερικές πακτώσεις και όχι απόλυτες πακτώσεις.

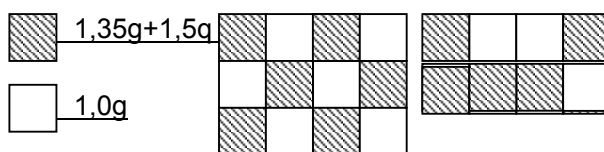
Οι τιμές m_i των πινάκων ισχύουν για απόλυτες πακτώσεις και απόλυτες αρθρωσεις. Γι αυτό, οι τιμές για την ίδια στήριξη προκύπτουν, εν γένει, διαφορετικές από την επίλυση των εκατέρωθεν πλακών.

- Δεν Υπολογίζονται οι ροπές με δυσμενή φόρτιση. Το κινητό φορτίο λαμβάνεται ταυτόχρονα σ' όλα τα ανοίγματα (καθολική φόρτιση).

Για την άρση των ανακρίβειών αυτών ακολουθεί η παρακάτω διαδικασία:

Α) ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ (κατ αναλογία με τα ισχύοντα για δοκούς)

Φορτίο εκατέρωθεν ενός ανοίγματος το αποφορτίζει αφού το ανασηκώνει ενώ το επόμενο το επιφορτίζει



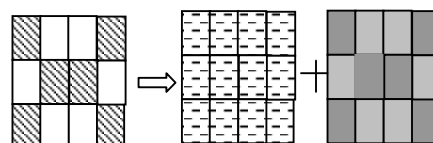
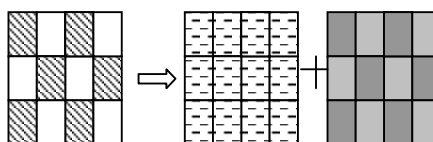
Μέγιστα Στα Ανοίγματα Στη στήριξη

- για μέγιστες τιμές στο άνοιγμα το κινητό στο υπόψη άνοιγμα και στα υπόλοιπα πεσσοειδώς
- για μέγιστη τιμή στη στήριξη το κινητό στα εκατέρωθεν της στήριξης ανοίγματα και στα υπόλοιπα πεσσοειδώς

Β) ΑΚΡΙΒΗΣ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Επιμερίζεται το συνολικό φορτίο p σε δυο φορτία p_1 και p_2 έτσι ώστε:

$$\left. \begin{aligned} p_1 + p_2 &= 1,35 g + 1,5 q \\ p_1 - p_2 &= 1,0 g \end{aligned} \right\} \begin{aligned} p_1 &= 1,175 g + 0,75 q \\ p_2 &= 0,175 g + 0,75 q \end{aligned}$$



(A) (B)
 ρ_1 ρ_2 $+\rho_2$ $-\rho_2$

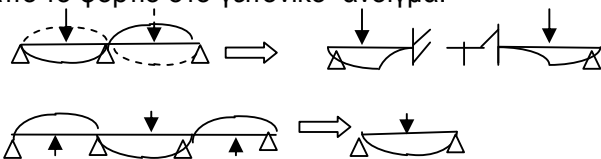
Οι παραπάνω εικόνες φόρτισης για μέγιστη ροπή στο άνοιγμα και στη στήριξη θεωρούνται

επαλληλία δυο εικόνων φόρτισης:

- το φορτίο ρ_1 δρα παντού
- το φορτίο ρ_2 δρα πεσσοειδώς όπως στο σχήμα

Στη φόρτιση (Α) οι ενδιάμεσες στηρίξεις είναι πακτώσεις αφού το φορτίο εκατέρωθεν είναι

ίδιο, στη φόρτιση (Β) οι ενδιάμεσες στηρίξεις είναι αρθρώσεις (αφού η στροφή διευκολύνεται από το φορτίο στο γειτονικό άνοιγμα).



5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

5.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην ενότητα Η, κεφ. 4 προέκυψαν οι παρακάτω σχέσεις που διέπουν τον καμπτικό σχεδιασμό σε κατάσταση αστοχίας:

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.67b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1)$$

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2)$$

$$\epsilon_{s1} / 3.5\% = (d - x) / x \quad (3)$$

Οι σχέσεις (1), (2) και (3) μαζί με τη σχέση (4) της ανίσωσης ασφαλείας αποτελούν τις βασικές σχέσεις για την ικανοποίηση των δύο στόχων-κριτηρίων του ορθού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν στο κεφ.2..

$$M_{sd} = M_{Rdu} \leq M_{Rdu} \quad (4)$$

Με βάση τις σχέσεις (1), (2) και (3) υπολογίζεται η M_{Rdu} και με βάση την (4) εξασφαλίζεται ο πρώτος στόχος-κριτήριο του σχεδιασμού.

Στην περίπτωση που ζητείται είτε το ελάχιστο A_{s1} , είτε το ελάχιστο d (ύψος h) του φορέα η ανίσωση (4) γίνεται εξίσωση και η σχέση (2) γράφεται:

$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2a)$$

Με βάση την τιμή της ϵ_{s1} που προκύπτει από τη σχέση (3) της επιπεδότητας των διατομών ελέγχεται κατά πόσον εξασφαλίζεται και ο δεύτερος στόχος-κριτήριο καλού σχεδιασμού.

5.2 ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για τις διάφορες μορφές προβλημάτων σχεδιασμού που αναφέρονται στο κεφ. 2 ακολουθούν τα παρακάτω βήματα:

1. ΑΠΟ ΤΗ ΣΧΕΣΗ (1) ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ ΤΩΝ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ Χ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ A_{s1} .

Η διαδικασία συνεχίζεται ανάλογα με τη μορφή του προβλήματος. Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Η τιμή του M_{sd} και A_{s1} είναι γνωστή. Ζητείται αν είναι ασφαλής ο φορέας - Περίπτωση Ελέγχου του Φορέα:

Στην περίπτωση αυτή από τη σχέση (1) προκύπτει αριθμητική τιμή για το x , π.χ.: $x=0.03m$.

Αντικαθιστώντας τις τιμές του A_{s1} και x στη σχέση (2) προκύπτει η τιμή της M_{Rdu} .

Θέτοντας την τιμή της M_{Rdu} στην ανίσωση (4) ελέγχεται η ασφάλεια του φορέα.

$$(1) \Rightarrow x = \dots \Rightarrow (2) \Rightarrow M_{Rdu}$$

- Η τιμή του A_{s1} είναι γνωστή. Ζητείται η M_{sd} - Περίπτωση Ανασχεδιασμού του Φορέα:

Υπολογίζεται η M_{Rdu} , όπως παραπάνω και τίθεται στην ανίσωση ασφαλείας (4) από την οποία προκύπτει η τιμή της M_{sd} (και απ' αυτήν προκύπτει η τιμή του ωφέλιμου φορτίου q που μπορεί να αντέξει με ασφάλεια ο φορέας).

$$(1) \Rightarrow x = \dots \Rightarrow (2) \Rightarrow M_{Rdu}, M_{Rdu}, M_{sd}$$

- Η τιμή του M_{sd} και h είναι γνωστή. Ζητείται το A_{s1} - Περίπτωση Σχεδιασμού του Φορέα A :

Η τιμή του x προκύπτει από τη σχέση (1) ως συνάρτηση του A_{s1} . Τίθεται στη σχέση (2a) και προκύπτει εξίσωση δεύτερου βαθμού ως προς το A_{s1} , π.χ. $30 = 3A_{s1} - 5A_{s1}^2$.

Επιλύοντάς την προκύπτει η τιμή του A_{s1} . Θέτοντας την τιμή του A_{s1} στη σχέση (1) προκύπτει η αριθμητική τιμή του x .

$$(1) \Rightarrow x = \varphi(A_s), (2) \Rightarrow A_s = \dots (1) \Rightarrow x = \dots$$

(Βλέπε εναλλακτικό τρόπο στο κεφ. 5.6)

2. ΘΕΤΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ Χ ΣΤΗ ΣΧΕΣΗ (3) ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ Η ΤΙΜΗ ΤΗΣ ϵ_{s1} ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΕΤΑΙ:

- ❖ η καταλληλότητα του σχεδιασμού από πλευράς πλαστιμότητας του φορέα, (εμφάνισης προειδοποιητικών ενδείξεων και διάρκειας αστοχίας), κατά πόσον είναι επιτυχής η επιλογή του d , και
- ❖ κατά πόσον η παραμόρφωση του χάλυβα πληροί το κριτήριο : $\epsilon_y < \epsilon_{s1} < 20\%$.

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- $\epsilon_y < \epsilon_{s1} < 20\%$ ο : ο σχεδιασμός είναι κατάλληλος.

Όσο πιο μεγάλη η τιμή, τόσο πιο πλάσιμη η αστοχία του φορέα. Οι τιμές της τάξεως του 10%ο κρίνονται ικανοποιητικές. Η επιλογή του d είναι επιτυχής

- $\epsilon_y > \epsilon_{s1}$: ο σχεδιασμός δεν είναι κατάλληλος,

Η αστοχία του φορέα είναι ψαθυρή. Η τιμή του d είναι μικρή.

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Είναι περίπτωση ελέγχου ή ανασχεδιασμού (ο φορέας υπάρχει και δεν μπορεί να αλλάξει η διαστασιολόγησή του).

5.3 ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΑΛΛΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Η τιμή του M_{sd} και A_{s1} είναι γνωστή. Ζητείται το $\min d$ - Περίπτωση Σχεδιασμού Β:

Η τιμή του A_{s1} τίθεται στην (1) και προκύπτει η τιμή του x . Αντικαθίσταται στην (3) το x με την τιμή αυτή και το ϵ_{s1} με την τιμή ϵ_y και λύνεται ως προς το d .

Η τιμή αυτή είναι η ελάχιστη τιμή του d .

$$(1) A_s \Rightarrow x = \dots \Rightarrow \epsilon_s = \epsilon_y (3) \Rightarrow \min d$$

- Η τιμή του M_{sd} είναι γνωστή. Ζητείται το A_{s1} και το d - Περίπτωση Σχεδιασμού Γ:

Το πρόβλημα έχει πολλές λύσεις.

Διορθώνεται στο πρώτο βήμα η σχέση (1) και (2).

Αντί για f_{sd} τίθεται $\sigma_{sd} = E_s \cdot \epsilon_s / 1.15$ και επαναλαμβάνεται η αντίστοιχη διαδικασία υπολογισμού στο βήμα 1.

- Αν είναι περίπτωση σχεδιασμού

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία υπολογισμού στο αντίστοιχο πρώτο βήμα με αυξημένο ύψος του φορέα.

Όπως εντοπίζεται στην ενότητα Η, κεφ. 5, η τιμή του ϵ_{s1} αστοχίας αυξάνει με την αύξηση του d .

Η τιμή του ελάχιστου απαιτούμενου ύψους υπολογίζεται παρακάτω.

- $\epsilon_{s1} > 20\%$ ο: ο φορέας είναι πολύ πλάστιμος. Η τιμή του d είναι μεγάλη.

Αν η τιμή του ϵ_{s1} είναι πολύ μεγάλη, π.χ. μεγαλύτερη από 60% μικραίνει το περιθώριο ασφάλειας για το ενδεχόμενο να θραυστεί ο οπλισμός, ενδεχόμενο το οποίο θα οδηγούσε το φορέα σε ακαριαία αστοχία, αφού θα παρέμενε άοπλος.

Αν είναι περίπτωση σχεδιασμού και θέλουμε να τηρηθεί οπωσδήποτε το 20%ο, τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία με μικρότερο d ,

Ανάγεται συνήθως στην προπροηγούμενη περίπτωση. Επιλέγεται το d και ζητείται το A_{s1} .

Η λύση συγκεκριμενοποιείται αν απαιτηθεί συγκεκριμένη τιμή του ϵ_{s1} . Θα μπορούσε να τεθεί $\epsilon_{s1} = 10\%$ ο (καλοσχεδιασμένος φορέας). Στην περίπτωση αυτή από την (3) προκύπτει η τιμή του x συναρτήσει του d .

Αντικαθιστώντας την στην (1) προκύπτει η τιμή του A_{s1} συναρτήσει του d .

Αντικαθιστώντας τις τιμές του x και A_{s1} στην (2) προκύπτει εξίσωση δεύτερου βαθμού ως προς το d . Επιλύοντάς την προκύπτει η τιμή του d και από την (1) και η τιμή του A_{s1} .

$$\epsilon_s = 10\% \text{ο} (3) \Rightarrow x = \varphi(d) (2) \Rightarrow d = \dots\dots$$

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ A_s ΚΑΙ M_{sd} ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΟ ΥΨΟΣ ΦΟΡΕΑ

➤ Υπολογισμός $\min A_s$ και $\min M_{sd}$ για Υποοπλισμένους Φορείς

Για την περίπτωση υποοπλισμένων φορέων, φορέων με μεγάλο ύψος και μικρή ροπή, περίπτωση προβόλων πλακών με μικρό q , στις οποίες το πάχος προεπιλέγεται μεγάλο για τον περιορισμό των βελών (βλ. 55.3), για να τηρηθεί το κριτήριο αστοχίας του χάλυβα, τίθεται ελάχιστος οπλισμός.

Ο οπλισμός αυτός και η αντίστοιχη ελάχιστη ροπή για μικρότερη της οποίας πρέπει να υιοθετείται ο οπλισμός αυτός προκύπτει ως εξής (βλ. κεφ. 46):

$$\varepsilon_s = 20\text{‰} \quad (3) \Rightarrow x = \dots (1) \Rightarrow \min A_s, \min M_{rd}$$

Στη σχέση (3) τίθεται $\varepsilon_{s1} = 20\text{‰}$ και προκύπτει η τιμή του x . Η τιμή αυτή τίθεται στην (1) και προκύπτει η τιμή του $\min A_{s1}$. Θέτοντας την τιμή αυτή του x και A_{s1} στην (2α) προκύπτει η τιμή του $\min M_{sd}$.

➤ Υπολογισμός $\max A_s$ και $\max M_{sd}$ για Υπεροοπλισμένους Φορείς

Για την περίπτωση υπεροοπλισμένων φορέων, φορέων με μικρό ύψος και μεγάλη ροπή, περίπτωση φορέων βιομηχανικών κτιρίων, για να τηρηθεί το κριτήριο αστοχίας του χάλυβα, ο οπλισμός που θα τοποθετηθεί δεν πρέπει να ξεπεράσει μια τιμή της ροπής.

Για μεγαλύτερη τιμή της ροπής πρέπει να αυξηθεί το ύψος του (ή στην περίπτωση δοκών και να αυξηθεί ο θλιβόμενος οπλισμός).

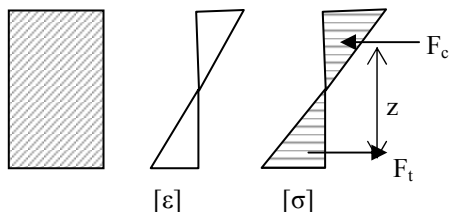
Ο οπλισμός αυτός και η αντίστοιχη μέγιστη ροπή για μεγαλύτερη της οποίας πρέπει να υιοθετείται ο οπλισμός αυτός και να αυξάνει το ύψος του προκύπτει ως εξής:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_y \quad (3) \Rightarrow x = \dots (1) \Rightarrow \max A_s \quad (2) \Rightarrow \max M_{Rdu}$$

Στη σχέση (3) τίθεται $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_y$ (για S500 $\varepsilon_y = 2.5\text{‰}$) και προκύπτει η τιμή του x . Η τιμή αυτή τίθεται στην (1) και προκύπτει η τιμή του $\max A_{s1}$. Θέτοντας την τιμή αυτή του x και A_{s1} στην (2α) προκύπτει η τιμή του $\max M_{sd}$.

5.5 Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ $\min A_s$ ΣΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

Σε φορείς με μικρό φορτίο οι οποίοι για αρχιτεκτονικούς, επιβλητικούς-ψυχολογικούς λόγους σχεδιάζονται με ιδιαίτερα μεγάλο ύψος, περίπτωση εκκλησιών, κ.λ.π., ο οπλισμός προκύπτει ιδιαίτερα μικρός.



Σχ. 5.1 Τάσεις και εσωτερικές δυνάμεις πριν τη ρηγμάτωση και την αστοχία

Ενδέχεται η ροπή αστοχίας του να προκύψει μικρότερη από τη φέρουσα ικανότητα του άοπλου φορέα, η οποία στην περίπτωση αυτή, λόγω του μεγάλου ύψους του φορέα είναι σημαντική ίση με $M_l = f_{ct} \cdot W = f_{ct} \cdot b \cdot h^2 / 6$, (βλ. Ενότητα Z, κεφ. 1.2), όπου f_{ct} είναι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος).

Στην περίπτωση αυτή ο φορέας αστοχεί χωρίς καν να έχει ρηγματωθεί. Η αστοχία με τη μορφή θραύσεως του οπλισμού είναι ακαριαία.

Για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο αυτό τίθεται ένας ελάχιστος οπλισμός ο οποίος προκύπτει εξισώνοντας την ροπή αστοχίας $M_{rd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot z = A_s \cdot f_{sd} \cdot h$ (τίθεται προσεγγιστικά $z = h$) με τη ροπή ρηγμάτωσης M_l .

$$M_l = f_{ct} \cdot b \cdot h^2 / 6 = A_s \cdot f_{sd} \cdot h = M_{rd} \quad (\alpha)$$

Από τη σχέση (α) προκύπτει η ελάχιστη τιμή του οπλισμού:

$$\min A_s = (f_{ct} / f_{sd}) \cdot b \cdot h / 6$$

✚ Ο έλεγχος ως προς την ικανοποίηση του ελάχιστου αυτού οπλισμού έχει νόημα για ιδιαίτερα υποοπλισμένους φορείς, φορείς με μεγάλο ύψος και ο υιοθετούμενος συστηματικός έλεγχός του σε όλους τους φορείς, είναι περιττός.

Η τιμή αυτή του $\min A_s$ είναι, εν γένει, αρκετά μικρότερη από την τιμή του που προκύπτει στο 5.3 για να τηρηθεί το κριτήριο αστοχίας του χάλυβα.

Η γνώση του «πώς και του γιατί» εκτός από προστασία, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα Ζ, εξασφαλίζει και από ταλαιπωρία.

Ο δαπανούμενος χρόνος για τον άνευ νοήματος υπολογισμό του ελάχιστου αυτού οπλισμού για συνήθεις φορείς είναι αρκετές φορές αιτία για ανεπαρκή απόδοση στις φοιτητικές εξετάσεις.

5.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Εναλλακτικός τρόπος εύρεσης του οπλισμού (χωρίς επίλυση εξίσωσης δεύτερου βαθμού) είναι ο παρακάτω τρόπος με δοκιμές.

(Α) Υπολογίζεται ο οπλισμός θεωρώντας ότι ο φορέας είναι καλοσχεδιασμένος και οι παραμορφώσεις είναι:

$\varepsilon_c = 3,5\%$ και $\varepsilon_s^* = 10\%$, οπότε προκύπτει:

$$x^* = 3,5 / (3,5 + 10) d = 0,25 d, \quad z^* = (d - 0,4x) = 0,9d$$

Από τη σχέση (2) προκύπτει $A_s' = M_{sd} / (0,9 \cdot d \cdot f_{sd})$ και από τη σχέση (1) $x' = \dots$

(Β) Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή του A_s' και του x' στη σχέση (1) προκύπτει η τιμή της ροπής M_{sd}'

(Γ) Η τιμή της M_{sd}' θα είναι, εν γένει, διαφορετική από την τιμή της M_{sd} . Θεωρώντας ότι το z παραμένει σταθερό οι ροπές M_{sd}' και M_{sd} θα είναι

ανάλογες των οπλισμών A_{sd}' και A_{sd} , αντίστοιχα. οπότε το A_{sd} θα προκύπτει από τη σχέση :

$$A_s = A_s' \cdot M_{sd} / M_{sd}'$$

(Δ) Γνωρίζοντας το A_s υπολογίζεται από την (1) το x και από την (3) το ε_{s1} .

✚ Όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Η κεφ. 6, **ο υπολογισμός θα μπορούσε να σταματήσει στο βήμα (α)**, καθώς για καλοσχεδιασμένους φορείς η τιμή A_s' απέχει λίγο από την (ακριβέστερη) A_s και **η διαφορά αυτή δεν έχει επίπτωση ούτε στην οικονομία, ούτε στην ασφάλεια της κατασκευής.**

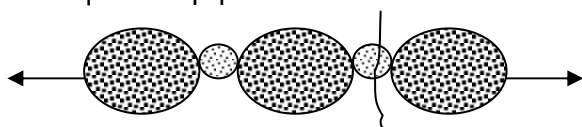
6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΗ (ΦΥΣΙΚΗ) ΛΟΓΙΚΗ

Η παραπάνω περιπτωσιολογική αντιμετώπιση των επί μέρους μορφών του σχεδιασμού μπορεί εύκολα να κατανοηθεί και ενοποιηθεί θεωρώντας τον φορέα του σκυροδέματος ως ένα σύστημα, **μία αλυσίδα με δύο κρίκους:**

- το ψαθυρό σκυρόδεμα και
- τον πλάστιμο χάλυβα

και συσχετίζοντας τη συμπεριφορά του φορέα με τη συμπεριφορά της αλυσίδας, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Η φυσική εμπειρία και η λογική που απορρέει απ αυτήν* υπαγορεύουν ότι:



Σχ. 6.1 Ο ασθενής κρίκος της αλυσίδας καθορίζει τη συμπεριφορά της

- ✚ Ο αποφασιστικός παράγοντας για τη συμπεριφορά της αλυσίδας θα είναι η συμπεριφορά του αδύναμου κρίκου, αναδεικνύοντας τη **δύναμη του αδύνατου να εντείνεται περισσότερο και να καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα.**

Σε φορέα με λίγο χάλυβα και πολύ σκυρόδεμα, με μικρό A_s και μεγάλο h , υποοπλισμένο φορέα, θα ενταθεί πολύ ο χάλυβας, θα είναι μεγάλη η παραμόρφωσή του και η συμπεριφορά του φορέα θα είναι η συμπεριφορά του χάλυβα, πλάστιμη

Σε φορέα με πολύ χάλυβα και λίγο σκυρόδεμα, με μεγάλο A_s και μικρό h , υπεροπλισμένο φορέα, θα ενταθεί πολύ το σκυρόδεμα, θα είναι μεγάλο το x και γιαυτό μικρή η παραμόρφωση

του χάλυβα. Η συμπεριφορά του φορέα θα είναι αυτή του σκυροδέματος, ψαθυρή. Άρα:

- ❖ Για μεγαλύτερη πλαστιμότητα, ο φορέας σχεδιάζεται υποοπλισμένος

Αν ισχυροποιηθεί υπέρμετρα ο ένας κρίκος το αποτέλεσμα θα είναι εκρηκτικό για όλη την αλυσίδα, αναδεικνύοντας **τις δυσμενείς συνέπειες της υπερδύναμης του ενός, καθώς υπερεντείνεται ο ασθενέστερος και μηδενίζεται η δική του συμβολή.**

Σε φορέα με πάρα πολύ χάλυβα, με πολύ μεγάλο A_s και μικρό h , ιδιαίτερα υπεροπλισμένο φορέα, θα ενταθεί πάρα πολύ το σκυρόδεμα, θα είναι πολύ μεγάλο το x , η παραμόρφωση του χάλυβα πολύ μικρή, και ο φορέας θα αστοχήσει απότομα χωρίς προηγούμενη ρηγμάτωση.

Σε φορέα με πάρα πολύ σκυρόδεμα και πολύ λίγο χάλυβα, με πολύ μεγάλο h και με πολύ μικρό A_s , ιδιαίτερα υποοπλισμένο φορέα, θα ενταθεί ιδιαίτερα πολύ ο χάλυβας και θα θραυστεί απότομα. Ο φορέας θα αστοχήσει ακαριαία, χωρίς προηγούμενη ρηγμάτωση, ενώ η θλιπτική τάση του σκυροδέματος θα είναι πολύ μικρή. Άρα:

- ✚ **Οι συνέπειες της υπερδύναμης του ενός, δεν διαφοροποιούνται από το ποιός είναι αυτός.**

Είτε υπερισχυροποιηθεί ο πλάστιμος κρίκος, είτε ο ψαθυρός κρίκος, η αλυσίδα αστοχεί ακαριαία, γιατί:

- ✚ ο αποφασιστικός παράγοντας δεν είναι ποιός είναι ο ένας και ποιός είναι ο άλλος, αλλά η σχέση τους, η αναλογία τους.

Είτε ο φορέας είναι ιδιαίτερα υπεροπλισμένος, ή είναι ιδιαίτερα υποοπλισμένος, ο φορέας θα αστοχήσει ακαριαία.

* Διαφοροποιείται από την κατεστημένη λογική, η οποία τις περισσότερες φορές αποτελεί αντιστροφή της φυσικής λογικής, όπως εύκολα μπορεί να συμπεράνει κανείς από την επικρατούσα ατομική και συλλογική αντίληψη περί δύναμης, και από τις ατομικές και συλλογικές προσπάθειες για υπερπλουτισμό, υπερπληροφόρηση, κ.λ.π.

7. ΘΕΣΕΙΣ ΚΑΜΨΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΙΣΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφ. 5 υπολογίζεται το εμβαδόν του οπλισμού στις κρίσιμες θέσεις του φορέα.

Για τις υπόλοιπες θέσεις ή κρατείται ο ίδιος οπλισμός (υπέρ της ασφάλειας), ή μειώνεται ανάλογα με τη μείωση της ροπής για λόγους (κακώς εννοούμενης*) οικονομίας (και με προβλήματα ανάπτυξης έντονων τάσεων συνάφειας, βλ. ενότητα Θ, κεφ. 2.5), ή, όπως σχολιάζεται στην ενότητα Ε, στην περίπτωση των πλακών για κατασκευαστικούς λόγους.

Στην δεύτερη περίπτωση οι θέσεις μείωσης του οπλισμού αποτελούν νέες κρίσιμες διατομές, γιατί είναι μεν μικρότερες οι τιμές της M_{sd} , αλλά επειδή μειώνεται σ' αυτές ο οπλισμός, είναι επίσης μικρότερες και οι τιμές της M_{rd} .

Πρέπει, λοιπόν, να εξασφαλιστεί και στις θέσεις αυτές ότι ισχύει η ανίσωση ασφαλείας. Αυτό επιτυγχάνεται ευκολότερα έμμεσα μέσω της γραφικής παράστασης της ανίσωσης ασφαλείας κατά μήκος του φορέα, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Γραφική Παράσταση της M_{sd} -Χάραξη Περιβάλλουσας των Ροπών

Τα επί μέρους διαγράμματα ροπών για τις δυσμενείς φορτίσεις στις κρίσιμες διατομές του φορέα σχεδιάζονται με κοινή κλίμακα και κοινούς άξονες.

Η κλίμακα του άξονα αναφοράς των διαγραμμάτων είναι ίδια με αυτήν του ξυλοτύπου (ή στην περίπτωση δοκών ίδια με αυτήν της κατά μήκος τομής τους).

Οι εξωτερικές γραμμές των διαγραμμάτων δίνουν τις μεγαλύτερες (κατ' απόλυτο τιμή) θετικές και αρνητικές τιμές της M_{sd} στις διατομές κατά μήκος του φορέα.

Αν έχει γίνει μόνο καθολική φόρτιση, το διάγραμμα των ροπών αποτελεί και την περιβάλλουσα.

Η σχεδίαση της περιβάλλουσας βασίζεται στις τιμές της ροπής στις κρίσιμες διατομές, τις διατομές με τις μέγιστες ροπές στα ανοίγματα (θέσεις μηδενικής τέμνουσας) και στις στηρίξεις του φορέα.

Στην περίπτωση των πλακών η μορφή της είναι παραβολική (2ου βαθμού και η σχεδίαση διευκολύνεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, με τη χάραξη (οριζόντιων) φαπτόμενων στις θέσεις των μέγιστων ροπών των ανοιγμάτων και εφαπτόμενων στα σημεία μηδενισμού των ροπών οι οποίες τέμνουν τη μεσοκάθετο του ενδιαμέσου τμήματος σε απόσταση διπλάσια της $\max M$.

Τα σημεία μηδενισμού των ροπών αντιστοιχούν σε θέσεις στις οποίες το αλγεβρικό άθροισμα του διαγράμματος των τεμνουσών αριστερά ή δεξιά είναι μηδενικό.

2. Υπολογισμός και Γραφική Παράσταση της M_{Rdu} Όλων των Κρίσιμων Διατομών

Η M_{Rdu} αντιστοιχεί στον οπλισμό $A_{s,ef}$ (effective) που τοποθετείται και το M_{sd} αντιστοιχεί στον οπλισμό $A_{s,cal}$ (calculated) που προκύπτει από τον υπολογισμό.

Θεωρώντας αμελητέα τη μεταβολή του z για μικρή μεταβολή της ροπής, οι τιμές της M_{Rdu} και της M_{sd} είναι ανάλογες των αντίστοιχων A_s και η M_{Rdu} θα προκύπτει από τη σχέση:

$$M_{Rdu} = M_{sd} \cdot A_{s,ef} / A_{s,cal}$$

ή από την προσεγγιστική σχέση :

$$M_{Rdu} = A_s \cdot f_{sd} \cdot 0,9d$$

Υπολογίζεται η τιμή της M_{Rdu} σε όλες τις κρίσιμες θέσεις του φορέα, και σ' αυτές που μειώνεται ο οπλισμός.

Στην περιοχή των ανοιγμάτων των πλακών υπολογίζεται η M_{Rdu} και η $M_{Rdu}/2$.

Στην περιοχή των στηρίξεων υπολογίζεται η M_{Rdu}^* που αντιστοιχεί στον πρόσθετο οπλισμό αν υπάρχει.

Αφού υπολογιστούν οι παραπάνω τιμές, γίνεται γραφική παράσταση της M_{Rdu} θεωρώντας ότι το A_s που αντιστοιχεί σε κάθε τιμή της M_{Rdu} είναι σταθερό σ' όλο το μήκος του φορέα, δηλαδή χαράσσονται ευθείες παράλληλες με τον άξονα αναφοράς στην περιοχή των ανοιγμάτων σε απόσταση M_{Rdu} και $M_{Rdu}/2$ και στην περιοχή των στηρίξεων κατά σειράν η M_{Rdu}^* και η $M_{Rdu}/2$ του γειτονικού ανοίγματος, ή αν υπάρχει και άλλο άνοιγμα και η $M_{Rdu}/2$ του άλλου ανοίγματος.

 Το διάγραμμα αυτό, αφού $M_{sd} = M_{Rdu}$, αποτελεί και το ποιοτικό διάγραμμα των τάσεων του εφελκυσμένου οπλισμού σε περίπτωση σταθερού οπλισμού κατά μήκος του φορέα, αφού είναι:

$$M_{sd} \equiv M_{Rdu} = A_s \sigma_{sd} \cdot z.$$

Με την παραδοχή ότι ο μοχλοβραχίονας z είναι περίπου σταθερός κατά μήκος του φορέα, η M_{sd} είναι ανάλογη του σ_{sd} .

3. Θέσεις Κλιμάκωσης του Οπλισμού ως οι Θέσεις Τομής των Διαγραμμάτων M_{sd} και M_{Rdu}

Τα σημεία τομής των διαγραμμάτων M_{sd} και επί μέρους M_{Rdu} είναι τα σημεία στα οποία πληρούται η ανίσωση ασφαλείας όταν μειωθεί εκεί ο οπλισμός.

Με βοηθητικές γραμμές κάθετες στον άξονα αναφοράς εντοπίζονται στον ξυλότυπο τα σημεία κάμψης ή διακοπής των ράβδων του οπλισμού, όπως φαίνεται στο Σχ.1, και στην αριθμητική εφαρμογή στο κεφ. 9

Αν στην περιοχή της ακραίας στήριξης η κάμψη του οπλισμού προκύπτει πολύ κοντά στη στήριξη, ο οπλισμός του ανοίγματος δεν κάμπτεται προς τα πάνω αλλά τοποθετείται τοπικά πρόσθετος οπλισμός άνω.

4. Αναπτύγματα Ράβδων

Με τον παραπάνω τρόπο προκύπτουν τα αναπτύγματα του οπλισμού, η εικόνα του, τα οποία συγκεντρωτικά δίνονται σε ειδικό πίνακα όπως φαίνεται παρακάτω.

Με βάση τα αναπτύγματα διαμορφώνονται οι ράβδοι του οπλισμού και με βάση τον ξυλότυπο (ή την κατά μήκος τομή στην περίπτωση των δοκών) τοποθετούνται στη θέση τους.

Τα μήκη των ράβδων προεκτείνονται στις άκρες τους κατά τα μήκη αγκύρωσης, όπως σχολιάζεται παρακάτω.

8. ΔΙΑΤΑΞΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ - ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ

ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Ε και Θ

1.1 Διάταξη Οπλισμού

Ο καμπτικός οπλισμός διατάσσεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1

Στο άνοιγμα: ο διαμήκης οπλισμός που προέκυψε στη διατομή με τη μέγιστη ροπή εκτείνεται:

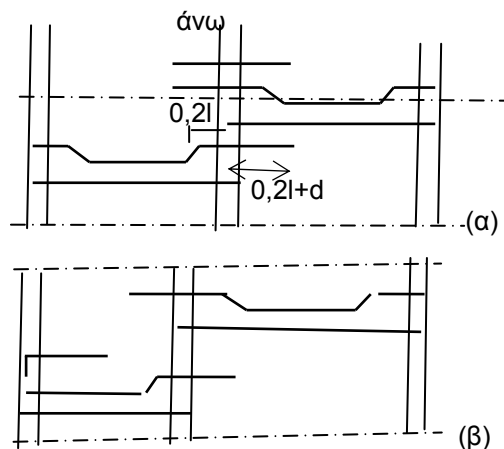
- ο μισός σ' όλο το άνοιγμα μέχρι το μέσον του πλάτους των στηρίξεων και
- ο μισός κάμπτεται προς τα πάνω σ' απόσταση $0,20l$ από τη στήριξη (ή όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 7).

Στη στήριξη: ο οπλισμός αποτελείται από:

- το μισό κεκαμμένο του ανοίγματος που προεκτείνεται στη γειτονική πλάκα (μέχρι τη θέση που μηδενίζεται η μετατοπισμένη ροπή) περίπου κατά $0,20l+d$ από την παρειά της στήριξης, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α) και,
- (αν απαιτείται), πρόσθετο οπλισμό εκτεινόμενο επίσης μέχρι την ίδια θέση.

Σε συνεχείς πλάκες με το άνοιγμα της ακραίας πλάκας μικρότερο από την γειτονική ενδιάμεση η μέγιστη ροπή είναι κοντά στην ακραία στήριξη και, γ' αυτό, ο κάτω οπλισμός παραμένει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), ευθύγραμμος μέχρι την ακραία στήριξη.

Στην περιοχή αυτή προστίθεται οπλισμός επάνω.



Σχ. 8.1 Διάταξη οπλισμού σε πλάκες

1.2 Έλεγχος της Αγκύρωσης του Οπλισμού

Ελέγχεται κατά πόσον:

$$l > l_{bnet} = \alpha(\Phi/4) \cdot f_{sd}/f_{b,d} \cdot (A_{sreq}/A_{seff}) \quad (1)$$

l : διαθέσιμο μήκος από τη θέση ελέγχου μέχρι το πλησιέστερο άκρο της ράβδου

l_{bnet} : απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης στην κρίσιμη διατομή

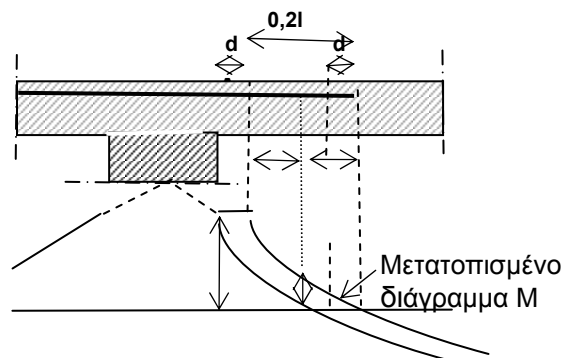
Θέσεις Ελέγχου:

Άνω Οπλισμός Σ' απόσταση d από την παρειά της στήριξης

Κάτω οπλισμός Σ' απόσταση $0,2l$ από τη στήριξη

ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ

Οπλισμός άνω: Επειδή το διάγραμμα έχει μορφή υπερβολής, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, αρκεί, όπως σχολιάζεται στην Ενότητα Θ, κεφ 3.2.1, ο έλεγχος στην κρίσιμη διατομή που είναι σ' απόσταση d από την παρειά της στήριξης.



Σχ. 8.2 Οπλισμός στις στηρίξεις

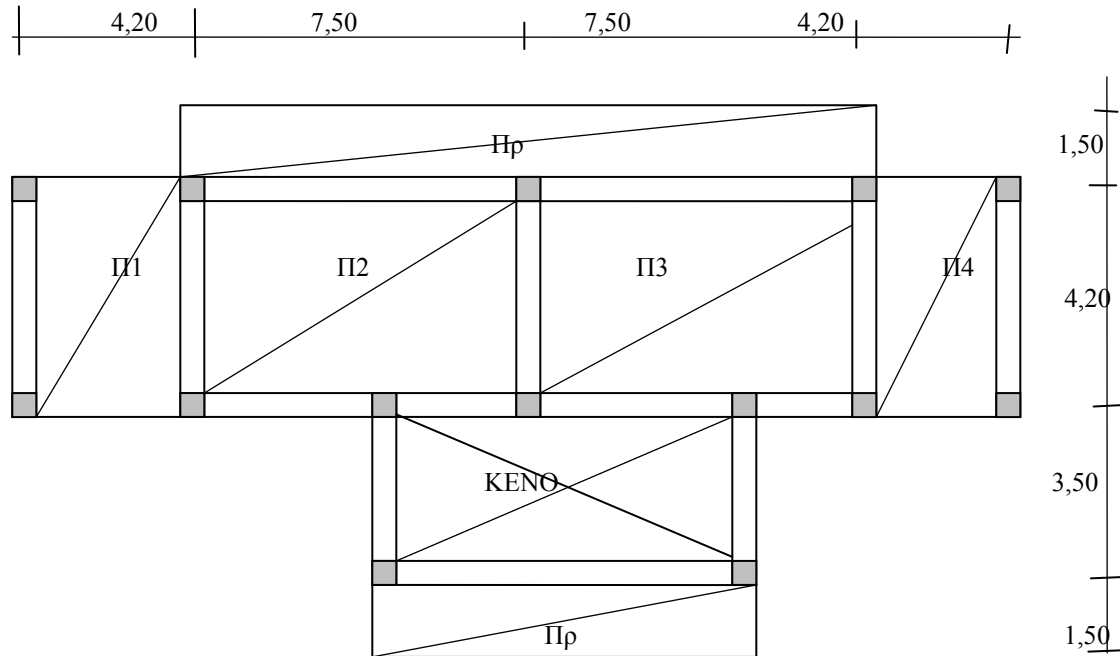
Οπλισμός Κάτω: Οι θέσεις που κάμπτονται οι μισές ράβδοι είναι σ' απόσταση περίπου $0,20l$. Στα σημεία που κάμπτονται οι μισές ράβδοι, οι ράβδοι που παραμένουν εντείνονται όσο και στην κρίσιμη διατομή αφού μειώνεται η ροπή στο μισό αλλά μειώνεται και ο οπλισμός A_s στο μισό και άρα η τάση σ_s παραμένει όση και στην κρίσιμη διατομή.

Άρα στις θέσεις αυτές πρέπει το διαθέσιμο μήκος l να είναι τουλάχιστον όσο το l_{bnet} στην κρίσιμη διατομή.

9. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

9.1 Παράδειγμα Σχεδιασμού Πλακών σε Κατάσταση Αστοχίας

Ζητείται ο σχεδιασμός (πάχος και οπλισμός) του συστήματος πλακών που φαίνεται στο Σχ. 1. Φορτία: $g_{\text{κεπ}} = 1,0 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$, στους προβόλους $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ Υλικά: C20, S500



1. Επιλογή πάχους πλακών

Εντοπισμός $\max l_o$

$$\Pi 1: l_o = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ m} \quad \Pi \rho: l_o = 2,4 \cdot 1,6 = 3,8 \text{ m}$$

$$\Pi 2: l_o = 0,8 \cdot 4,0 = 3,2 \text{ m}$$

$$d \geq \max l_o / 30 = 3,8 / 30 = 0,13 \text{ m}$$

$$h = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ m}$$

Εκλεγεται $h = 0,15 \text{ m}$

2. Φορτία Πρόβολοι

$$g_{\text{κλ.β}} = 25 \times 0,15 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\underline{g_{\text{κεπ}}} = 1,0 \text{ «}$$

$$g_k = 4,8 \text{ «} \quad 4,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\underline{q_k} = 2,0 \quad 5,0$$

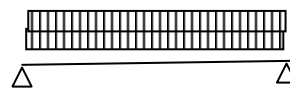
$$g_d = 1,35 \times 4,8 = 6,5 \text{ kN/m}^2 \quad 6,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 1,50 \times 2,0 = 3,0 \text{ kN/m}^2 \quad 7,5$$

$$\rho_d = 9,5 \text{ kN/m}^2 \quad 14,0$$

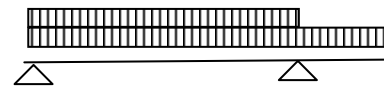
3. Στατική Επίλυση

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 1}$, $\max M_{\Pi 4}$



$$\max M_{\Pi 1} = 9,5 \cdot 4,0^2 / 8 = 19,0 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 2}$

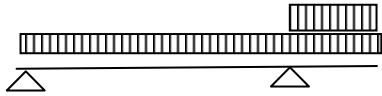


$$M_{\Pi 2} - M_{\Pi \rho 1} = -9,5 \cdot 1,6^2 / 2 = 12,7 \text{ kN/m}$$

$$V = 9,5 \cdot 4,0 / 2 - 12,7 / 4,0 = 15,8 \text{ kN}$$

$$\max M_{\Pi 2} = 15,8^2 / (2 \cdot 9,5) = 18,2 \text{ kN/m}$$

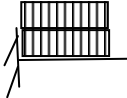
Δυσμενής φόρτιση min $M_{\Pi 2}$



$$\min [M_{\Pi 2} - M_{\Pi \rho 1}] = 14,0 \cdot 1,6^2 / 2 = 18,2 \text{ kN/m}$$

$$\min M_{\Pi 2} = 4,8 \cdot 4,0^2 / 8 - 18,2 / 2 = +9,9 \text{ kN/m} > 0$$

Δυσμενής φόρτιση max $M_{\Pi \rho 3}$



$$\min M_{\Pi \rho}^{\text{παρεία}} = 14,0 \cdot 1,5^2 / 2 = \mathbf{15,8 \text{ kNm}}$$

4. Εύρεση Κύριου Οπλισμού A_s - Ελεγχος h

➤ Στοιχεία Διατομής:

$$b = 1.0 \text{ [m]}, \quad d = h - c - \Phi / 2 = h - 0.02 \text{ [m]} \text{ (για τιμή της επικάλυψης } c = 0.015 \text{ m)} \Rightarrow$$

$$d = 0.15 - 0.02 = 0.13 \text{ m}$$

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1.50 = 13.3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1.15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\epsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^6 = 2.2 \text{ ‰}$$

➤ Βασικές Σχέσεις Σχεδιασμού

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \quad \Rightarrow \quad 435 \cdot 10^3 A_{s1} = 0.68 \cdot 1.0 \cdot x \cdot 13.3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 50 A_{s1} \quad (1^*)$$

$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2a) \quad \Rightarrow \quad M_{sd} = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0.14 - 0.4x) \quad (2a^*)$$

$$\epsilon_{s1} / 3.5 \text{ ‰} = (d - x) / x \quad (3) \quad \Rightarrow \quad \epsilon_{s1} = 3.5 \text{ ‰} \cdot (0.14 - x) / x \quad (3^*)$$

➤ Ανοιγμα $\Pi 1, \Pi 4$: $M_{sd} = 19,0 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 19,0 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0.14 - 0.4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 8/13} \quad (3,83 \text{ cm}^2)$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,83 \cdot 10^{-4} = 0,019 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3.5 \text{ ‰} \cdot (0.14 - 0,019) / 0,019 = 11 \text{ ‰} > \epsilon_y \Rightarrow d \text{ δεκτό}$$

➤ Ανοιγμα $\Pi 2, \Pi 3$: $M_{sd} = 18,20 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 18,2 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0.14 - 0.4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 8/13} \quad (3,83 \text{ cm}^2)$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,83 \cdot 10^{-4} = 0,019 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3.5 \text{ ‰} \cdot (0.14 - 0,019) / 0,019 = 11 \text{ ‰} > \epsilon_y \Rightarrow d \text{ δεκτό}$$

➤ Στήριξη Πρ3 : $M_{sd} = - 15,8 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 15,8 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \underline{\Phi 8/15} \\ (3,50 \text{ cm}^2)$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,50 \cdot 10^{-4} = 0,018 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3,5\% \cdot (0,14 - 0,018) / 0,018 = 13\% > \varepsilon_y \Rightarrow \text{d δεκτό}$$

➤ Στήριξη Π2-Πρ1 και Π3-Πρ2 : $M_{sd} = - 15,8 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 15,8 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \text{υπάρχοντα Π2 } \Phi 8/26 = \underline{1,9} \\ \text{πρόσθετα } 1,1 \Rightarrow \underline{\Phi 8/40}$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,25 \cdot 10^{-4} = 0,017 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3,5\% \cdot (0,14 - 0,017) / 0,017 = 15\% > \varepsilon_y \Rightarrow \text{d δεκτό}$$

Δευτερεύοντες Οπλισμοί

$$\text{Οπλισμός διανομής : } 3,83 \cdot 0,2 = 0,80 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/30$$

$$\text{Οπλισμός Αποσχίσης: } 3,83 \cdot 0,5 = 1,90 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/25$$

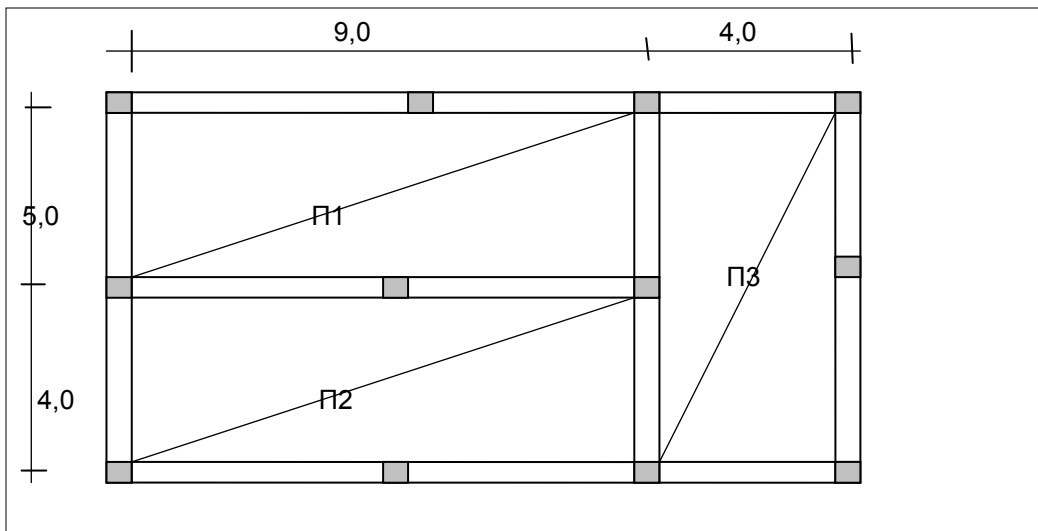
9.2 Παράδειγμα Ελέγχου Πλακών σε Κατάσταση Αστοχίας

Ζητείται να ελεγχθεί το παρακάτω το σύστημα πλακών στο Σχ. 1.

Κύριος οπλισμός πλακών: Π1 και Π2: $\Phi 10/20$, Π3: $\Phi 10/10$

Πρόσθετα σίδηρα στη στήριξη Π1-Π2: $\Phi 10/20$.

Φορτία: $g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ kN/m}^2$ $q = 6,0 \text{ kN/m}^2$ Υλικά: C20, S500



➤ Φορτία

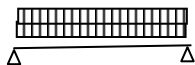
$$g_{l,\beta} = 25 \times 0,16 = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ «}$$

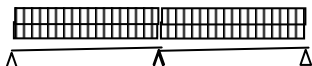
$$g = 5,5 \text{ «}$$

$$p_d = 1,35 \times 5,5 + 1,5 \times 6,0 = 16,4 \text{ kN/m}^2$$

➤ Δυσμενείς Φορτίσεις- Στατική επίλυση



$$\max M_{\Pi 3} = 16,4 \cdot 4,0^2 / 8 = \underline{32,8 \text{ kNm}}$$



$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 5,5 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = 33,5 \text{ kNm}$$

$$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 - 33,5 / 5,0 = 34,3 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 33,5 / 4,0 = 2,6 \text{ kN} > 0, \underline{\min} M_{\Pi 2} > 0$$

$$\max M_{\Pi 1} = 34,3^2 / (2 \cdot 16,4) = \underline{35,6 \text{ kNm}}$$

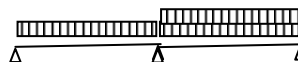


$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (5,5 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = 24,1 \text{ kNm}$$

$$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 - 24,1 / 4,0 = 26,8 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 24,1 / 4,0 = 5,0 \text{ kN} > 0 \underline{\min} M_{\Pi 1} > 0$$

$$\max M_{\Pi 2} = 26,8^2 / (2 \cdot 16,4) = \underline{21,9 \text{ kNm}}$$



$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = -43 \text{ kNm}$$

$$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{\pi \alpha \rho} = 0,9 \cdot 43 = \underline{38,7 \text{ kNm}}$$

Ακριβέστερος υπολογισμός ροπής παρειάς:

$$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{\alpha \rho} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 + 43,0 / 5,0 = 49,6 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{\delta \epsilon \xi} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 + 43,0 / 4,0 = 51,8 \text{ kN}$$

$$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{\pi \alpha \rho} = 43 - (49,6 + 51,8) / 2 \cdot 0,20 / 2 = 37,9 \text{ kNm}$$

➤ Υπολογισμός Mrdu Κρίσιμων Διατομών- Ελεγχος Ανίσωσης Ασφαλείας

➤ Στοιχεία Διατομής:

$$b = 1,0 \text{ [m]}, \quad d = h - c - \Phi / 2 = h - 0,02 \text{ [m]} \text{ (για τιμή της επικάλυψης } c = 0,015 \text{ m)} \Rightarrow$$

$$d = 0,15 - 0,02 = 0,13 \text{ m}$$

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\epsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^6 = 2,2 \text{ ‰}$$

➤ Βασικές Σχέσεις Ελέγχου

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0,68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \Rightarrow$$

$$435 \cdot 10^3 A_{s1} = 0,68 \cdot 1,0 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow A_{s1} = 0,021 \cdot x \quad (1^*)$$

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4x) \quad (2) \Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,14 - 0,4x) \quad (2^*)$$

$$\epsilon_{s1} / 3,5 \text{ ‰} = (d - x) / x \quad (3) \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3,5 \text{ ‰} \cdot (0,14 - x) / x \quad (3^*)$$

➤ Άνοιγμα Π3:

Οπλισμός : $\Phi 10/10 \Rightarrow A_s = 8,0 \text{ cm}^2 = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (μία ράβδος $\Phi 10$ έχει εμβαδόν $0,8 \text{ cm}^2$) Στο πλάτος του φορέα ίσο με $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ υπάρχουν $100/10 = 10$ ράβδοι με εμβαδόν $0,8 \cdot 10 = 8,0 \text{ cm}^2$

$$(1^*) \Rightarrow x = 8,0 / 0,021 = 0,036 \text{ m}$$

$$(2^*) \Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 0,036) = 40,0 \text{ kNm}$$

Έλεγχος επάρκειας: $M_{sd} = 32,8 < 40,0 = M_{Rdu}$, φορέας ασφαλής

➤ Άνοιγμα Π1:

Οπλισμός : $\Phi 10/10 \Rightarrow M_{Rdu} = 40,0 \text{ kNm}$ (ίδιο οπλισμό και πάχος με Π3)

Έλεγχος επάρκειας: $M_{sd} = 35,6 < 40,0 = M_{Rdu}$, φορέας ασφαλής

➤ Ανοιγμα Π2:

Οπλισμός: $\Phi 10/20 \Rightarrow A_s = 4,0 \text{ cm}^2 = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (1*) $\Rightarrow x = 4,0/0,021 = 0,018 \text{ m}$

(2*) $\Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 0,018) = 20,0 \text{ kNm}$

Έλεγχος: $M_{sd} = 21,9 > 20,0 = M_{Rdu}$, φορέας ανασφαλής (η διαφορά μικρή, δεν τίθεται θέμα)

➤ Στηριξη Π1-Π2:

Οπλισμός: κεκαμμένα από Π1 : $\Phi 10/20 = 8,0/2 = 4,0$ -

κεκαμμένα από Π2 : $\Phi 10/40 = 4,0/2 = 2,0$

προσθετα: $\Phi 10/20 = \underline{4,0}$

$$A_s = 10,0 \text{ cm}^2 = 10,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

(1*) $\Rightarrow x = 10,0/0,021 = 0,045 \text{ m}$

(2*) $\Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 0,045) = 58,0 \text{ kNm}$

Έλεγχος επάρκειας: $M_{sd} = 38,7 < 58,0 = M_{Rdu}$, φορέας ασφαλής

9.3 Παράδειγμα Σχεδιασμού Πλακών με τους Πίνακες CEB

Υπολογίζεται ο οπλισμός για το σύστημα πλακών του προηγούμενου παραδείγματος

Εκλογή παχους (για περιορισμό των βελών)

Π1: $l_o = 0,8 \cdot 5,0 = 4,0 \text{ m}$.

Π2: $l_o = 0,8 \cdot 4,0 = 3,2 \text{ m}$.

Π3 : $l_o = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ m}$.

$d \geq \max l_o/30 = 4,0/30 = 0,13 \text{ m}$ $h = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ m}$ Εκλεγεται $h = 0,16 \text{ m}$

Φορτια

$$g_{i,\beta} = 25 \times 0,16 = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ «}$$

$$g = 5,5 \text{ «}$$

$$p_d = 1,35 \times 5,5 + 1,5 \times 6,0 = 16,4 \text{ kN/m}^2$$

Στατική επιλυση: Βλέπε προηγούμενο παράδειγμα

Οπλισμος

Ανοιγμα Π1 : $M = 35,6 \text{ kNm}$ $\mu_{sd} = 35,6/(1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3/1,5) = 0,17 \Rightarrow \omega = 0,19$

$$A_s = 0,19 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 8,17 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/9 (8,72)$$

$$\text{Διανομές : } 8,72 \cdot 0,2 = 1,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/16$$

$$\text{Απόσχιση: } 8,72 \cdot 0,5 = 4,36 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/11$$

Ανοιγμα Π2 : $M = 21,9 \text{ kNm} \Rightarrow \mu_{sd} = 21,9/(1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3/1,5) = 0,10 \Rightarrow \omega = 0,11$

$$A_s = 0,11 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 4,73 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/16 (4,91)$$

$$\text{Διανομές : } 4,91 \cdot 0,2 = 0,98 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/30$$

$$\text{Απόσχιση: } 4,91 \cdot 0,5 = 2,46 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/11$$

Ανοιγμα Π3 : $M = 32,8 \text{ kNm} \Rightarrow \mu_{sd} = 32,8/(1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3/1,5) = 0,16 \Rightarrow \omega = 0,18$

$$A_s = 0,18 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 7,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/10 (7,85)$$

$$\text{Διανομές : } 7,85 \cdot 0,2 = 1,57 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/18$$

$$\text{Απόσχιση: } 7,85 \cdot 0,5 = 3,92 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/12$$

Στηριξη Π1-Π2: $M = 37,9 \text{ kNm}$ $\mu_{sd} = 37,9 / (1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,18 \Rightarrow \omega = 0,21$

$A_s = 0,21 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 9,03 \text{ cm}^2$

κεκαμμενα από Π1 : $\Phi 10/18 = 8,72/2 = 2,86$ -

κεκαμμενα από Π2 : $\Phi 19/32 = 4,91/2 = 2,46 + 5,32$

προσθετα: $3,71 \Rightarrow \Phi 10/20(3,93)$