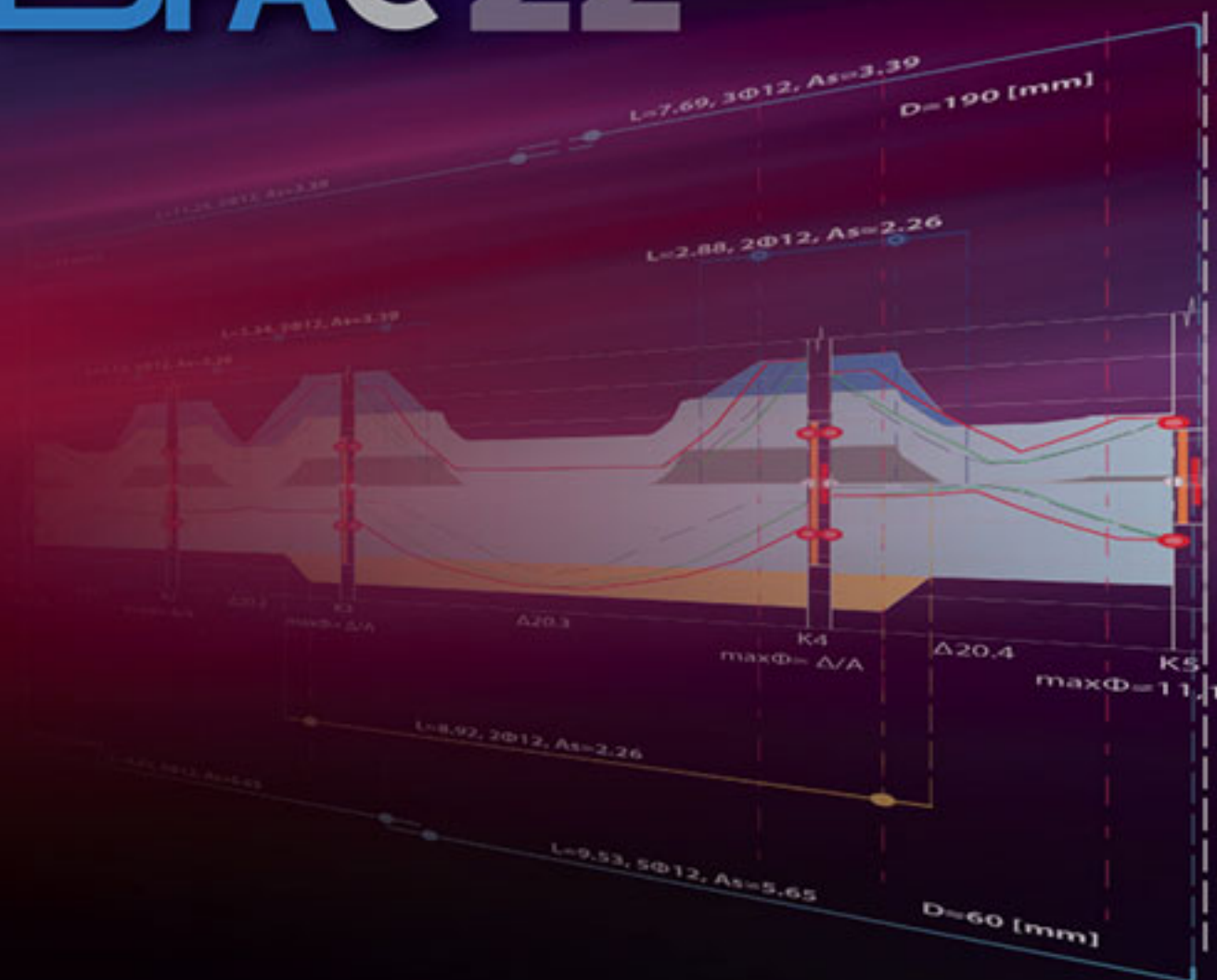


FESPAC 22



B design

Μεθοδολογία όπλισης δοκών στο FespaC

Οδηγός μελέτης

FespaC

B-Design

For Windows

Οδηγός όπλισης δοκών στο FespaC



Αθήνα, Ιούνιος 2022

Version 4.1

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	4
1.1	Αντικείμενο του <i>B-Design</i> στο πρόγραμμα FespaC.....	4
1.2	Λειτουργίες του <i>B-Design</i>	4
2	Απεικόνιση της μεθοδολογίας όπλισης δοκών	6
2.1	Νέες παράμετροι στις καρτέλες «Κτίριο, Όροφος/Δοκός>Όπλισμός»	11
3	Ερωτήματα & επεξηγήσεις	16
3.1	Τι είναι το διάγραμμα κάλυψης εφελκυστικών δυνάμεων και ποια η χρησιμότητά του;	16
3.2	Πώς επιλέγω τύπο όπλισης;	17
3.3	Πώς υπολογίζονται οι θέσεις μάτισης;	22
3.4	Ποια είναι τα κανονιστικά ελάχιστα ρ_{min} & οι απαιτήσεις πλαστιμότητας;	23
3.5	Πώς υπολογίζεται το βασικό απαιτούμενο μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης και μάτισης;	28
3.6	Πώς υπολογίζεται το κρίσιμο μήκος τυμπάνου;	30
3.7	Πώς βοηθάει η επιλογή της παραμέτρου «Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων στα 12m ή 14m» στην απομείωση της φύρας του οπλισμού;.....	33
3.8	Πώς μπορώ να χρησιμοποιήσω το διάγραμμα εφελκυστικών δυνάμεων ώστε να μειώσω τον τοποθετούμενο οπλισμό;....	35

1

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο του *B-Design* στο πρόγραμμα FespaC

Η λειτουργία του *B-Design* στο πρόγραμμα FespaC αποτελεί ένα εξελιγμένο εργαλείο για την όπλιση των δοκών, καθώς βελτιστοποιεί τη διάταξη οπλισμών δοκοσειράς, ανοίγματος και στηρίξεων με κριτήρια που ορίζονται από το μελετητή ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου, π.χ. όπλιση με έμφαση στην οικονομία, την κατασκευασιμότητα, την ομοιομόρφιση, το μικρό μήκος ράβδων κτλ. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται συνήθη προβλήματα όπλισης όπως η τοποθέτηση περιττού οπλισμού στις στηρίξεις λόγω μη συνυπολογισμού του συντρέχοντος οπλισμού από τα διπλανά ανοίγματα, η ακαταλληλότητα της θέσης των ματίσεων κ.α.

Παράλληλα, παρέχει στο μελετητή την πλήρη εποπτεία του τοποθετούμενου διαμήκους οπλισμού ως προς τις θέσεις τοποθέτησης των ράβδων (δοκοσειράς, ανοίγματος & στηρίξεων), τις θέσεις των ματίσεων και των αγκυρώσεων, τις στρώσεις του τοποθετούμενου οπλισμού κτλ.

1.2 Λειτουργίες του *B-Design*

- **Οικονομικότερη όπλιση:** ενοποίηση του συντρέχοντος οπλισμού κόμβου, εύρεση ελάχιστου αριθμού/βάρους οπλισμών
- Εύκολη **εποπτεία** των λεπτομερειών όπλισης των δοκών στο εργοτάξιο
- **Κατασκευάσιμος οπλισμός:** εξασφαλίζει τη δυνατότητα σκυροδέτησης και δόνησης, την ευκολία τοποθέτησης, την απλότητα του συνολικού σχεδίου κτλ.
- **Μείωση φύρας** οπλισμού: ομαδοποίηση τεμαχίων (τυποποιημένα μήκη κοπής), μείωση διαφορετικών διαμέτρων όπλισης & ειδών οπλισμού (δοκοσειράς, ανοίγματος κτλ.)

- Επιλογή από το μελετητή του **τρόπου όπλισης** της δοκού (οικονομία, ομοιομορφία, κ.α.)
- **Ανεξάρτητος** τρόπος όπλισης ανά δοκοσειρά
- Εφαρμογή **αποδοτικών αλγορίθμων** (Branch and bound algorithm) για τη βελτιστοποίηση της όπλισης της δοκού

Οικονομικός οπλισμός δοκών - Βέλτιστη διάταξη ράβδων

Χρησιμοποιούνται ισχυροί αλγόριθμοι ακέραιου προγραμματισμού (Linear Integer Programming), αποσκοπώντας:

- στην ανεύρεση του βέλτιστου αριθμού και είδους των ράβδων (ράβδοι δοκοσειράς κτλ.) ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σχεδιασμού της δοκού
- στην εξασφάλιση της βέλτιστης διάταξης λόγω αλληλεπίδρασης του άνω με τον κάτω οπλισμό κατά τον έλεγχο τοπικής πλαστιμότητας
- στον υπολογισμό των θέσεων μάτισης

Εύκολα επιβλέψιμος οπλισμός δοκών

Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν κατασκευαστικές λεπτομέρειες στον τελικό υπολογισμό του οπλισμού, όπως:

- η αποφυγή της χρήσης πρόσθετων οπλισμών στη στήριξη κάτω (των οποίων η τοποθέτηση είναι δύσκολο να επιβλεφθεί)
- η αποφυγή/απαγόρευση της χρήσης κλιμακούμενου οπλισμού ανοίγματος
- η επιλογή της απλούστερης διάταξης των διαμήκων ράβδων

Ασφαλής οπλισμός δοκών, σε κάθε θέση της δοκού

Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται περιλαμβάνουν:

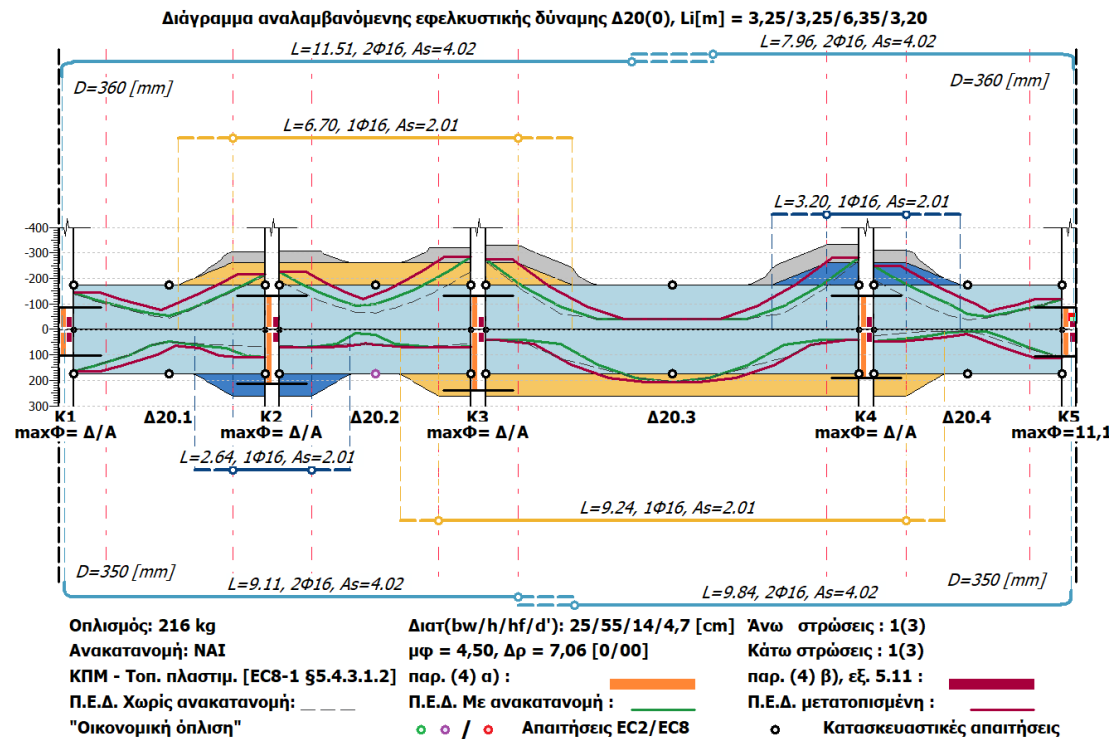
- ελέγχους αντοχής και λειτουργικότητας, EC2, EC8
- κανόνες αγκύρωσης, μάτισης (EC2) και συνάφειας κόμβου (EC8)
- έλεγχοι τοπικής πλαστιμότητας, EC8

2

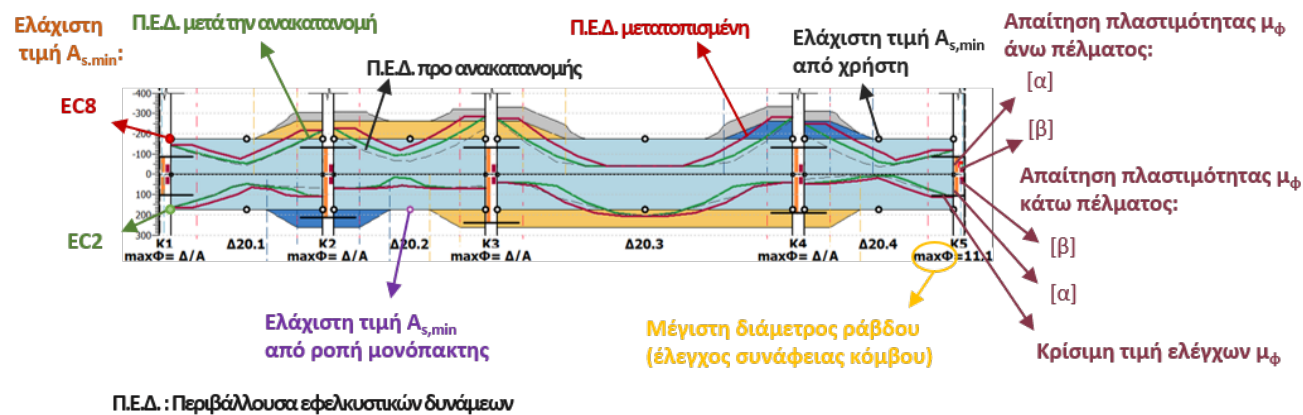
Απεικόνιση της μεθοδολογίας όπλισης δοκών

Στο **Σχήμα 2.1** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της όπλισης μιας χαρακτηριστικής δοκοσειράς, τα οποία έχουν παραχθεί στο Τεύχος στο φάκελο «Τεύχος > Δοκοί > Διαγράμματα αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης». Συνοπτικά παρουσιάζονται:

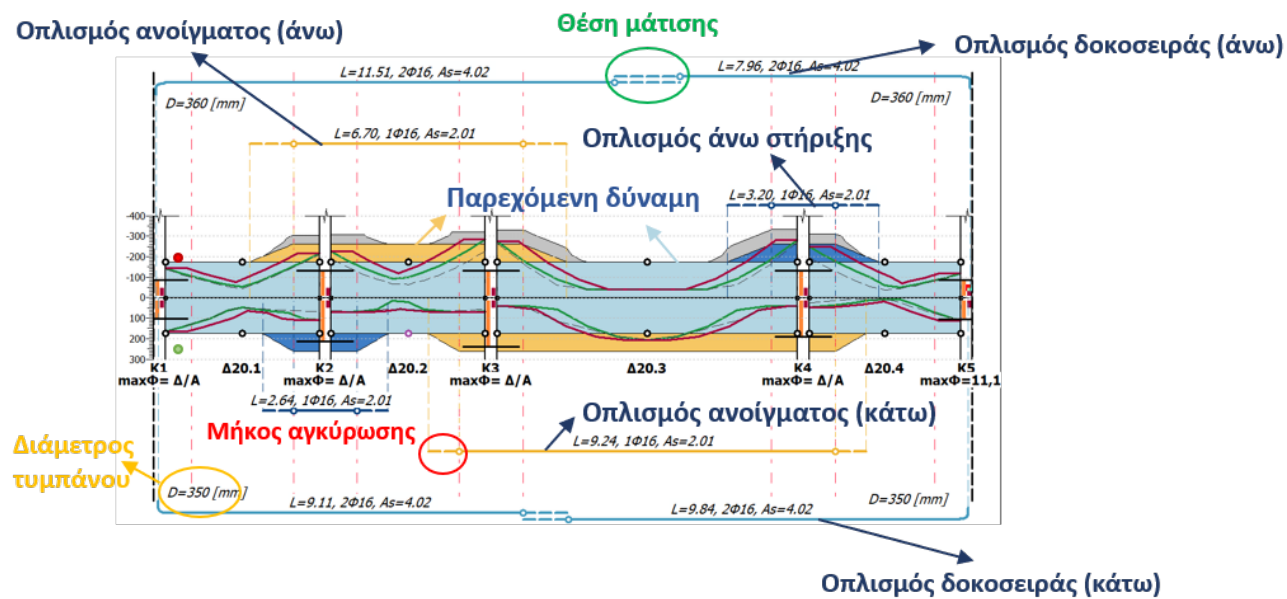
- Οι **ράβδοι του οπλισμού με συνεχείς γραμμές** πάνω και κάτω από τη δοκό για το άνω και κάτω πέλμα, αντίστοιχα, και με διαφορετικά χρώματα ανάλογα με το είδος του οπλισμού.
- Το **διαγράμμα της εφελκυστικής δύναμης** που απαιτείται από το σχεδιασμό (με συνεχείς γραμμές) λόγω κάμψης και αξονικής δύναμης που προκύπτει από την Περιβάλλουσα των Εφελκυστικών Δυνάμεων (Π.Ε.Δ.):
 - πριν την ανακατανομή ροπών ([Δοκός>Σκυρόδεμα>Ανακατανομή ροπών](#))
 - μετά την ανακατανομή ροπών
 - με μετατόπιση της Π.Ε.Δ. λόγω αλληλεπίδρασης κάμψης-διάτμησης και συγκρίνονται με αυτά της αναλαμβανόμενης δύναμης από τον οπλισμό (με σκίαση).
- Οι **κανονιστικές απαιτήσεις** σε οπλισμό σημειώνονται με κατάλληλα σύμβολα (βλ. Υπόμνημα 6-13).



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης και του τοποθετούμενου οπλισμού.



Σχήμα 2.2: Επεξήγηση του διαγράμματος αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης: απαιτήσεις σχεδιασμού και κανονιστικά ελάχιστα.



Σχήμα 2.3: Επεξήγηση του διαγράμματος αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης: τοποθετούμενος οπλισμός.

Υπόμνημα συμβόλων σχήματος:

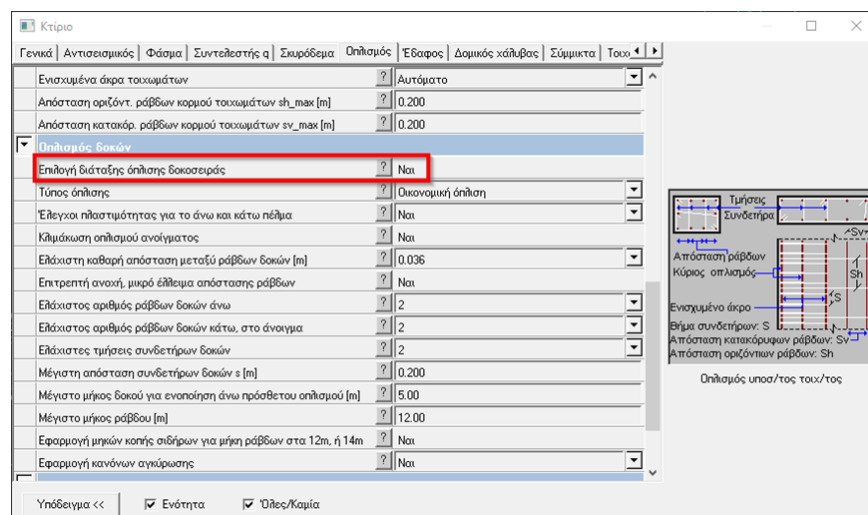
1. Με μπλε χρώμα:	οι οπλισμοί που τρέχουν καθ'όλο το μήκος της δοκοσειράς
2. Με κίτρινο χρώμα:	οι οπλισμοί των επιμέρους ανοιγμάτων
3. Με σκούρο μπλε χρώμα:	οι πρόσθετοι οπλισμοί στις στηρίξεις άνω ή κάτω
4. Με σκούρο κόκκινο χρώμα:	το επιπλέον μήκος της ράβδου (που δεν προκύπτει από απαίτηση) όταν έχει επιλεγεί «Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων στα 12m ή 14m = Na»
5. Με γκρι σκίαση:	τα σίδερα πλακών που προσμετρούνται στον οπλισμό δοκού (παράμετρος στο Κτίριο > Σκυρόδεμα)
6. Με κόκκινες κουκκίδες:	ο ελάχιστος οπλισμός ρ_{min} κατά EC8
7. Με πράσινες κουκκίδες:	ο ελάχιστος οπλισμός ρ_{min} κατά EC2
8. Με άσπρες κουκκίδες	ο ελάχιστος οπλισμός που δίνεται από το χρήστη
9. Με μωβ κουκκίδες	ο ελάχιστος οπλισμός που προκύπτει από τη ροπή της μονόπακτης δοκού για το μέσο της δοκού και από το 65% της ροπής της αμφιάκτου για τη στήριξη
10. Πορτοκαλί μπάρα	κανονιστικές απαιτήσεις για εξασφάλιση τοπικής πλαστιμότητας EC8-1 §5.4.3.1.2(4) [α]
11. Κόκκινη μπάρα	κανονιστικές απαιτήσεις για εξασφάλιση τοπικής πλαστιμότητας EC8-1 §5.4.3.1.2(4) [β]
12. Φ_{max}	η μέγιστη διάμετρος που μπορεί να τοποθετηθεί για να ικανοποιείται ο έλεγχος συνάφειας οπλισμού δοκού σε εσωτερικούς και εξωτερικούς κόμβους κατά EC8-1

13. D η διάμετρος $\Phi_{m,min}$ του τυμπάνου καμπύλωσης της ράβδου ώστε να αποφεύγεται η θραύση του σκυροδέματος εσωτερικά και η ρηγμάτωση του εξωραχίου

2.1 Νέες παράμετροι στις καρτέλες «Κτίριο, Όροφος/Δοκός>Οπλισμός»

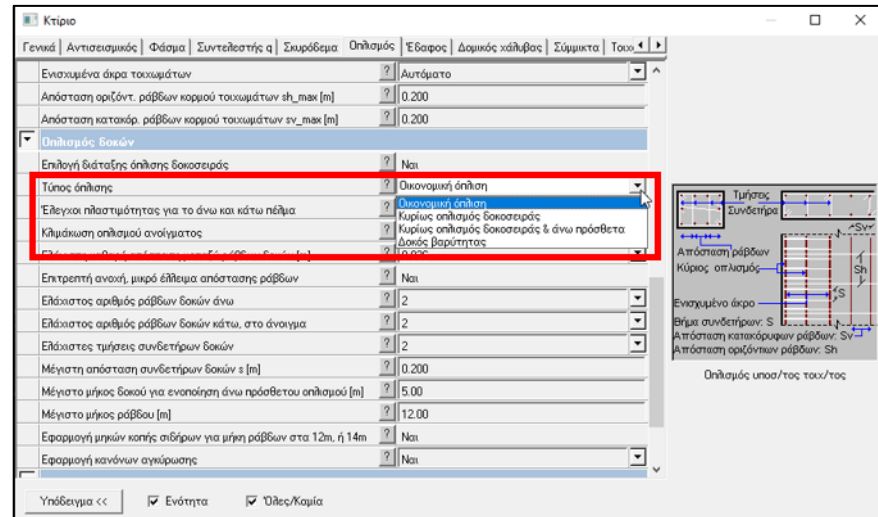
Επιλογή διάταξης όπλισης δοκοσειράς

Όταν η παράμετρος έχει την τιμή «Όχι» η όπλιση θα γίνεται όπως στην έκδοση 8.1.0.22 και τις παλαιότερες.



Εικόνα 2.1: Το παράθυρο παραμέτρων της νέας όπλισης δοκών στην καρτέλα «Κτίριο > Οπλισμός».

Τύπος όπλισης



Εικόνα 2.2: *Επιλογή της παραμέτρου «Τύπος όπλισης» στην καρτέλα «Κτίριο > Οπλισμός».*

Μπορούν να πραγματοποιηθούν οι εξής 4 τύποι όπλισης:

- ▶ **Οικονομική όπλιση:** Αναζητείται ο οικονομικότερος τρόπος όπλισης, γίνεται, δηλαδή, η βέλτιστη σύγκλιση ανά θέση της δοκοσειράς μεταξύ της απαιτούμενης εφελκυστικής δύναμης σχεδιασμού και της παρεχόμενης δύναμης από τον οπλισμό. Για το σκοπό αυτό, προτιμάται η αντικατάσταση κάποιων ράβδων δοκοσειράς με επιμέρους ράβδους στηρίξεων ή/και ανοιγμάτων.
- ▶ **Κυρίως οπλισμός δοκοσειράς:** Αναζητείται η πλέον ομοιόμορφη τοποθέτηση οπλισμού στο σύνολο της δοκοσειράς. Προτιμάται, δηλαδή, η τοποθέτηση κοινών ράβδων που εκτείνονται σε όλο το μήκος της δοκοσειράς, περιορίζοντας τον αριθμό των πρόσθετων οπλισμών (στηρίξεων & ανοιγμάτων).
- ▶ **Κυρίως οπλισμός δοκοσειράς και άνω πρόσθετα:** Αναζητείται η ομοιόμορφη τοποθέτηση οπλισμού δοκοσειράς (όπως και στην προηγούμενη λύση) με την προσθήκη άνω οπλισμού στις στηρίξεις, όπου αυτός απαιτείται.
- ▶ **Ανοιγματος και άνω πρόσθετα:** Προτιμάται η τοποθέτηση οπλισμού ανοίγματος και άνω στήριξης. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται τα μεγάλα μήκη ράβδων οδηγώντας, όμως, σε αύξηση του συνολικού εμβαδού οπλισμού.

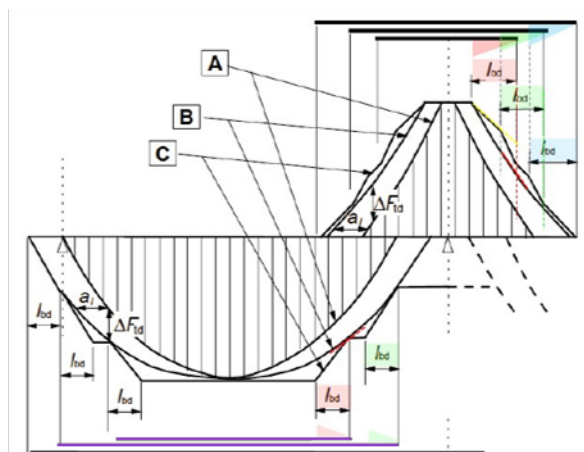
Έλεγχοι πλαστιμότητας για το άνω και κάτω πέλμα

Πραγματοποιούνται οι έλεγχοι του EC8-1 §5.4.3.1.2(4), για τη διαμόρφωση λεπτομερειών για την τοπική πλαστιμότητα.

- ▶ **Ναι:** Οι έλεγχοι τοπικής πλαστιμότητας πραγματοποιούνται θεωρώντας ως εφελκόμενο πέλμα και το άνω και το κάτω.
- ▶ **Όχι:** Οι έλεγχοι τοπικής πλαστιμότητας πραγματοποιούνται θεωρώντας ως εφελκόμενο πέλμα μόνο το άνω, επομένως, προσαυξάνεται, όπου απαιτείται, ο οπλισμός του κάτω θλιβόμενου πέλματος.
- ▶ **Αυτόματο:** Αν υπάρχει κάτω πέλμα που εφελκείται πραγματοποιούνται οι έλεγχοι τοπικής πλαστιμότητας του (αντίθετου) θλιβόμενου πέλματος.

Κλιμάκωση οπλισμού ανοίγματος

Όταν έχει την τιμή «Ναι» παρέχεται η δυνατότητα να τοποθετηθεί πρόσθετος κάτω οπλισμός στο άνοιγμα χωρίς την επέκτασή του στη στήριξη, όταν αυτό δεν είναι απαιτητό.



A – Περιβάλλουσα των εφελκυστικών δυνάμεων $M_{ed}/z+N_{Ed}$

B – Δρώσα εφελκυστική δύναμη F_s C – Εφελκυστική δύναμη αντοχής F_{RS}

Εικόνα 2.3: Κλιμακωτή κάλυψη της περιβάλλουσας των εφελκυστικών δυνάμεων με χρήση οπλισμού κλιμάκωσης (με μωβ χρώμα).

Ελάχιστη καθαρή απόσταση μεταξύ ράβδων

Η ελάχιστη καθαρή απόσταση μεταξύ των διαμήκων ράβδων της δοκού προσδιορίζεται από τον EC2-1 §8.2(2) ως το άθροισμα $d_g+5\text{mm}$ (όπου d_g το

μέγιστο μέγεθος των αδρανών). Η παράμετρος d_g προσδιορίζεται μέσω του ΚΤΣ ως το άνοιγμα του χρησιμοποιούμενου κόσκινου (ΚΤΣ Πίνακας ΠΒ1-1). Η προεπιλεγμένη τιμή του προγράμματος είναι $d_g=31.5\text{mm}$, επομένως, η ελάχιστη απόσταση ράβδων προκύπτει $31.5\text{mm}+5\text{mm}=36.5\text{mm}$.

Επιτρεπτή ανοχή, μικρό έλλειμμα απόστασης ράβδων

Είναι ανεκτό ένα μικρό έλλειμμα στην απόσταση μεταξύ των ράβδων, δηλαδή, $0,9ah \leq ah' \leq ah$, όπου ah η απόσταση μεταξύ των ράβδων (Ιγνατάκης, «Διαμόρφωση και λεπτομέρειες όπλισης στοιχείων από σκυρόδεμα», Πίνακας 2.5).

Μέγιστο μήκος ράβδου

Η παράμετρος θα πρέπει να παίρνει την τιμή 12m ή 14m, εφόσον ο χρήστης επιθυμεί να προκύπτουν τεμάχια με συγκεκριμένα μήκη κοπής. Διαφορετικά, μπορεί να επιλεγεί οποιαδήποτε άλλη τιμή, που επιβάλλουν οι συνθήκες του εργοταξίου.

Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων στα 12m ή 14m

Με επιλογή της συγκεκριμένης παραμέτρου (=Ναι) γίνεται τυποποίηση των μηκών κοπής των ράβδων σε συγκεκριμένες ομάδες με σκοπό τη μείωση της φύρας του χρησιμοποιούμενου οπλισμού.

Τεμαχισμός Ράβδων										
Τμήμα	Ράβδος μήκους L=12m									
1°	1.0	1.09	1.2	1.33	1.5	1.71	2.0	2.4	3.0	4.0
2°	11.0	10.91	10.8	10.67	10.5	10.29	10.0	9.6	9.0	8.0
	Ράβδος μήκους L=14m									
1°	1.4	1.55	1.75	2.0	2.33	2.8	3.5	4.65	7.0	
2°	12.6	12.45	12.25	12.0	11.67	11.2	10.5	9.35	7.0	

Πίνακας 2.1: Προκαθορισμένα μήκη για τον τεμαχισμό των σιδήρων 12m και 14m με χρήση της παραμέτρου «Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων 12m ή 14m».

Εφαρμογή $A_{s,req}$ / $A_{s,prov}$ αγκυρώσεων ακραίων στηρίξεων

Η περίσσεια του τοποθετούμενου οπλισμού ($A_{s,prov}$) σε σχέση με τον απαιτούμενο ($A_{s,req}$) χρησιμοποιείται για την απομείωση της δύναμης την οποία καλείται να παραλάβει η αγκύρωση κατά τον λόγο $A_{s,req}/A_{s,prov}$, με

αποτέλεσμα την απομείωση του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης ή/και της διαμέτρου του απαιτούμενου τυμπάνου σε περίπτωση μη ευθύγραμμης αγκύρωσης.

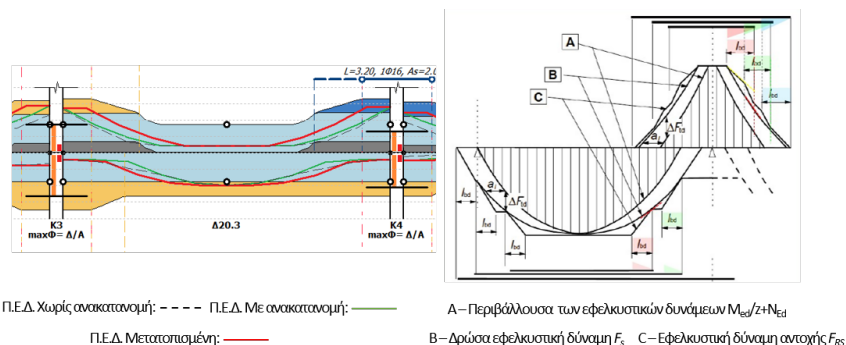
3

Ερωτήματα & επεξηγήσεις

3.1 Τι είναι το διάγραμμα κάλυψης εφελκυστικών δυνάμεων και ποια η χρησιμότητά του;

Η χρησιμότητα του διαγράμματος κάλυψης των εφελκυστικών δυνάμεων συνίσταται στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους των ράβδων οπλισμού. Συγκεκριμένα, τα μήκη των ράβδων προκύπτουν από τη σχεδίαση της περιβάλλουσας των εφελκυστικών δυνάμεων αντοχής (διαγραμμισμένης περιοχής με μπλέ/κίτρινο) η οποία πρέπει να υπερκαλύπτει την περιβάλλουσα των αντίστοιχων δυνάμεων σχεδιασμού (κόκκινη γραμμή).

Επιπλέον, η επιπρόσθετη εφελκυστική δύναμη ΔF_{td} επί του διαμήκους οπλισμού της δοκού που οφείλεται στην διατμητική δύναμη V_{Ed} οδηγεί σε οριζόντια μετάθεση του διαγράμματος εφελκυστικών δυνάμεων κατά a_l (EC2 §9.2.1.3). Στη δεξιά εικόνα παρουσιάζεται το μετατοπισμένο διάγραμμα της δράσας εφελκυστικής δύναμης (B) και η σύγκρισή του με το διάγραμμα δυνάμεων (C) που προκύπτει από τον τοποθετούμενο οπλισμό. Με διαφορετικό χρώμα διακρίνονται τα μήκη αγκύρωσης των διαφορετικών στρώσεων του οπλισμού l_{bd} .



Εικόνα 3.1: Περιβάλλουσα εφελκυστικών δυνάμεων (Π.Ε.Δ.) (α) στο περιβάλλον του Τεύχους και (β) βάσει EN1992-1.

3.2 Πως επιλέγω τύπο όπλισης;

Οι διαφορετικοί τύποι όπλισης δοκοσειράς δίνουν τη δυνατότητα τοποθέτησης όπλισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις είτε του έργου, συνολικά, είτε επιμέρους δοκοσειρών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δοθεί έμφαση σε διαφορετικές παραμέτρους, όπως:

- Οικονομία σε εμβαδόν όπλισμού και κόστος κατασκευασιμότητας - επιβλεψιμότητας
- Ομοιόμορφη τοποθέτηση όπλισμού στο σύνολο της δοκοσειράς
- Εξασφάλιση ελάχιστων τεμαχίων ή μικρού μήκους ράβδων

Προτείνεται η προκαταρκτική όπλιση με την οικονομική επιλογή και εν συνεχεία να γίνεται παρέμβαση σε συγκεκριμένες δοκοσειρές, στις οποίες απαιτείται εξειδικευμένη όπλιση, ανάλογα με τις ανάγκες του έργου.

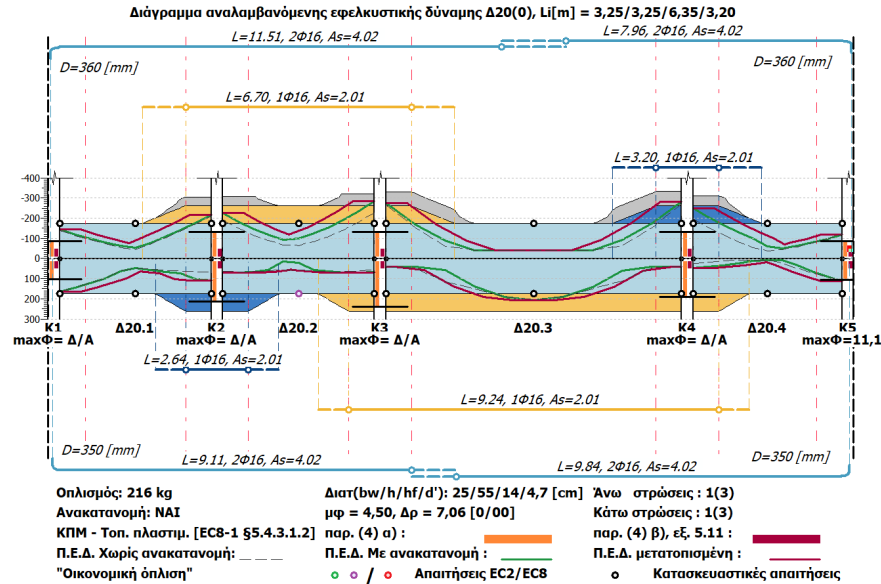
► Οικονομική όπλιση

Στη λύση αυτή η δοκοσειρά όπλιζεται με τα ελάχιστα κοινά σίδερα δοκοσειράς (μπλε χρώμα) και στη συνέχεια προστίθενται οι όπλισμοί επιμέρους ανοιγμάτων και στηρίξεων, όπου αυτοί απαιτούνται. Στόχο της λύσης αυτής αποτελεί η εξασφάλιση της **βέλτιστης ισορροπίας** μεταξύ ελάχιστου εμβαδού όπλισμού, ελάχιστων τεμαχίων και εύκολης τοποθέτησής τους στο εργοτάξιο.

Στο παράδειγμα που εξετάζεται τοποθετείται ενιαία όπλιση **2Φ16** σε άνω και κάτω πέλμα της δοκοσειράς. Προστίθενται όπλισμοί ανοίγματος (κίτρινο χρώμα) στο άνω πέλμα του υποανοίγματος Δ20.2 (**1Φ16**) και στο κάτω πέλμα του υποανοίγματος Δ20.3 (**1Φ16**). Τέλος, προστίθεται όπλισμός άνω και κάτω πέλμα των στηρίξεων των υποστυλωμάτων K4 και K2, αντίστοιχα (**1Φ16**).

Τύπος όπλισμού	Όπλισμός άνω πέλματος	Όπλισμός κάτω πέλματος
Κύριος δοκοσειράς	2Φ16	2Φ16
Ανοίγματος	1Φ16	1Φ16
Στήριξης	1Φ16	1Φ16
Συνολικό Βάρος: 216kg		

Πίνακας 3.1 Εμβαδόν όπλισμού ανά είδος όπλισης για την «Οικονομική όπλιση».



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης στο Τεύχος για τύπο όπλισης «Οικονομική όπλιση».

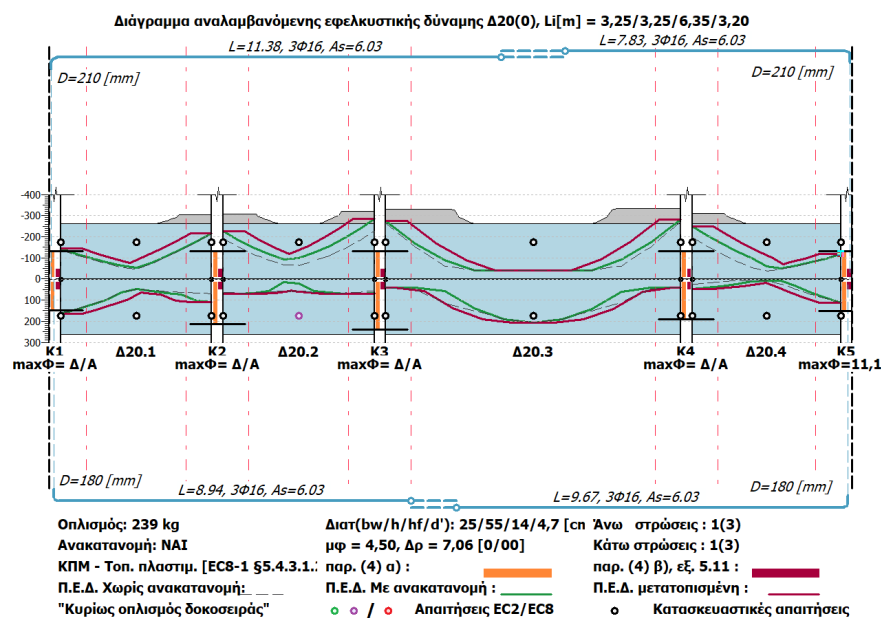
► Κυρίως όπλισμός δοκοσειράς

Αναζητείται η πλέον ομοιόμορφη τοποθέτηση οπλισμού στο σύνολο της δοκοσειράς. Προτιμάται, δηλαδή, η τοποθέτηση ενιαίων ράβδων που εκτείνονται σε όλο το μήκος της δοκοσειράς, περιορίζοντας τον αριθμό των πρόσθετων οπλισμών (στηρίξεων & ανοιγμάτων).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, παρατηρείται ότι αυξάνεται η ενιαία όπλιση της δοκοσειράς σε **3Φ16** άνω και κάτω. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η τοποθέτηση άνω οπλισμού στα επιμέρους ανοίγματα.

Τύπος οπλισμού	Οπλισμός άνω πέλματος	Οπλισμός κάτω πέλματος
Κύριος δοκοσειράς	3Φ16	3Φ16
Ανοίγματος	-	-
Στήριξης	-	-
Συνολικό Βάρος: 239kg		

Πίνακας 3.2 Εμβαδόν οπλισμού ανά είδος όπλισης για «Κυρίως οπλισμός δοκοσειράς».



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης στο Τέχος για τύπο όπλισης «Κυρίως οπλισμός δοκοσειράς».

► Κυρίως οπλισμός δοκοσειράς και άνω πρόσθετα

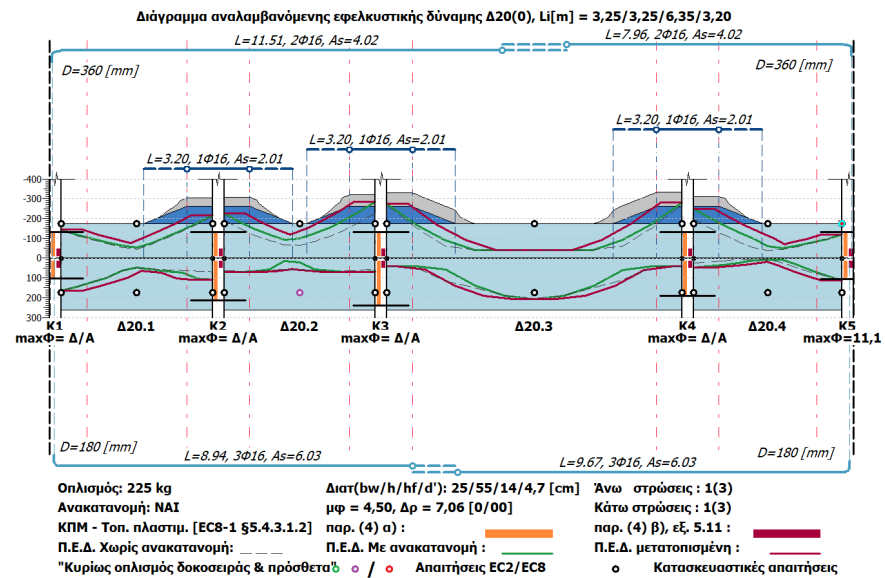
Αναζητείται η ομοιόμορφη τοποθέτηση οπλισμού δοκοσειράς (όπως και στην προηγούμενη λύση) με την ταυτόχρονη όπλιση του κρίσιμου, ως επί το πλείστον, άνω πέλματος των στηρίξεων. Η λύση αυτή, συνεπώς, παρέχει τη βέλτιστη

ισορροπία μεταξύ της ομοιόμορφης τοποθέτησης του οπλισμού και της οικονομικής όπλισης.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, παρατηρείται ότι μειώνεται η ενιαία όπλιση άνω πέλματος της δοκοσειράς σε **2Φ16** άνω και κάτω. Για να εξασφαλιστεί η οικονομικότερη όπλιση τοποθετούνται πρόσθετα σίδερα **1Φ16** στις στηρίξεις Κ2, Κ3 & Κ4.

Τύπος οπλισμού	Οπλισμός άνω πέλματος	Οπλισμός κάτω πέλματος
Κύριος δοκοσειράς	2Φ16	3Φ16
Ανοίγματος	-	-
Στήριξης	1Φ16 (3)	-
Συνολικό Βάρος: 225kg		

Πίνακας 3.3 Εμβადόν οπλισμού ανά είδος όπλισης για «Κυρίως οπλισμός δοκοσειράς και άνω πρόσθετα».



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης στο Τεύχος για τύπο όπλισης «Κυρίως οπλισμός δοκοσειράς και άνω πρόσθετα».

► **Ανοίγματος και άνω πρόσθετα**

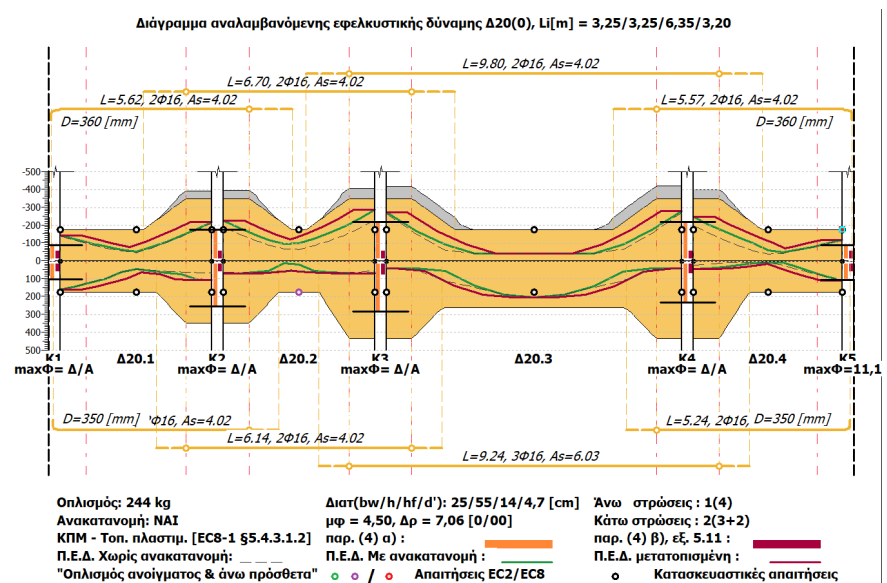
Προτιμάται η τοποθέτηση οπλισμού ανοίγματος και άνω στήριξης. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται τα μεγάλα μήκη ράβδων οδηγώντας, όμως, σε αύξηση του συνολικού εμβαδού οπλισμού.

Στο εξεταζόμενο παράδειγμα, διακρίνεται ότι επιμερίζεται ο οπλισμός της δοκοσειράς στα διαφορετικά ανοίγματα. Με τη λύση αυτή προκύπτει η πλέον αντιοικονομική όπλιση με το συνολικό βάρος του οπλισμού να είναι 244kg.

Τύπος οπλισμού	Οπλισμός άνω πέλματος	Οπλισμός κάτω πέλματος
Κύριος δοκοσειράς	-	-
Ανοίγματος	2Φ16	2Φ16/3Φ16
Στήριξης	-	-

Συνολικό Βάρος: 244kg

Πίνακας 3.4 Εμβαδόν οπλισμού ανά είδος όπλισης για «Ανοίγματος και άνω πρόσθετα».



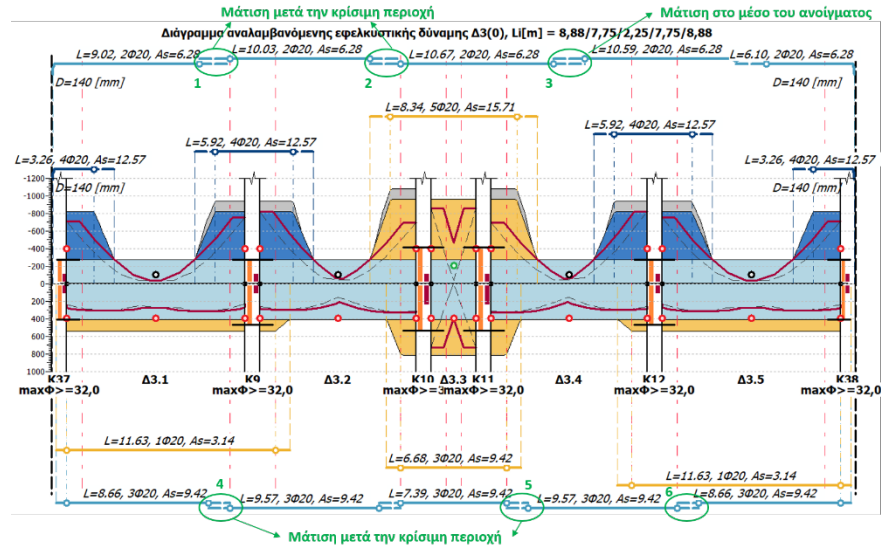
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα αναλαμβανόμενης εφελκυστικής δύναμης στο Τεύχος για τύπο όπλισης «Ανοίγματος και άνω πρόσθετα».

3.3 Πως υπολογίζονται οι θέσεις μάτισης;

Ο αλγόριθμος όπλισης δοκών διαλέγει τις βέλτιστες θέσεις μάτισης των διαμήκων ράβδων συνυπολογίζοντας τους εξής περιορισμούς:

- Εξασφαλίζεται το μέγιστο μήκος οπλισμού που έχει επιλεγεί από το χρήστη μέσω της παραμέτρου «[Οπλισμός > Μέγιστο μήκος ράβδου](#)».
- Αποφεύγονται ματίσεις σε διαδοχικές θέσεις, εντός του ίδιου ανοίγματος
- Προτιμάται η μάτιση του οπλισμού στα σημεία μηδενικών (ή ελάχιστων) ροπών: στο μέσο του ανοίγματος για τον άνω οπλισμό και στο τέλος του κρίσιμου άκρου για τον κάτω οπλισμό
- Αποφεύγονται ματίσεις σε ανοίγματα με μικρό μήκος
- Αποφεύγεται η μάτιση οπλισμού δοκοσειράς και ανοίγματος στην ίδια θέση
- Προκύπτουν – κατά το δυνατόν – ομοιόμορφα μήκη τεμαχίων (π.χ. δοκοσειρά μήκους 16μ. προτιμάται να οπλιστεί με δύο τμήματα ράβδων μήκους 8μ.)

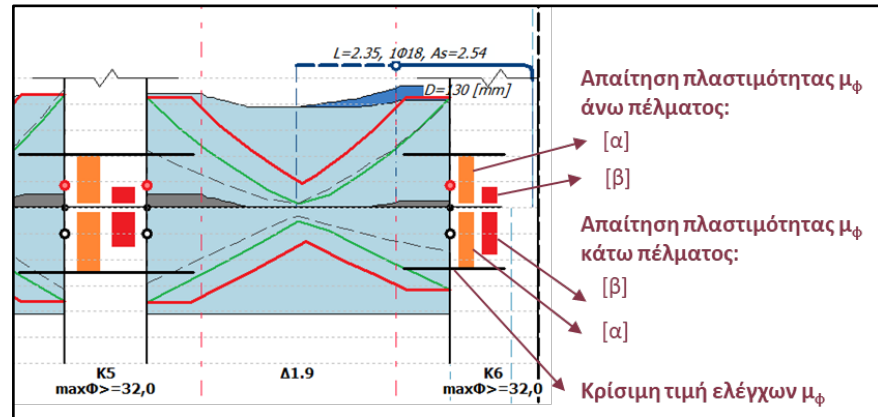
Στο **Σχήμα 3.5** που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των θέσεων μάτισης του οπλισμού της δοκοσειράς. Συγκεκριμένα, για τον οπλισμό του άνω πέλματος επιλέγονται για την 1^η & 2^η μάτιση οι θέσεις στο τέλος του κρίσιμου άκρου, καθώς το επιλεγμένο μήκος οπλισμού (12μ.) δεν επιτρέπει τη μάτιση στο κέντρο του ανοίγματος. Αντίθετα, η 3^η μάτιση είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί στο κέντρο του ανοίγματος. Ο οπλισμός του κάτω πέλματος είναι δυνατόν να ματίσει στις επιθυμητές θέσεις των άκρων των ανοιγμάτων (4, 5 & 6).



Σχήμα 3.5: Θέσεις μάτσης του οπλισμού δοκοσειράς

3.4 Ποια είναι τα κανονιστικά ελάχιστα ρ_{min} & οι απαιτήσεις πλαστιμότητας;

Η διαμόρφωση λεπτομερειών για την εξασφάλιση της τοπική πλαστιμότητας των κρίσιμων άκρων δοκών πραγματοποιείται βάσει των ελέγχων του EC8-1 §5.4.3.1.2(4). Οι απαιτήσεις αυτές εμφανίζονται στο διάγραμμα εφελκυστικών δυνάμεων των δοκών ως κατακόρυφες μπάρες (πορτοκαλί/κόκκινες) όπως διακρίνεται στην **Εικόνα 3.2**.



Εικόνα 3.2: Απαιτήσεις πλαστιμότητας άκρου βάσει EC8-1 και κατασκευαστικά ελάχιστα ρ_{min} .

Συγκεκριμένα, βάσει του EC8-1 απαιτείται η εξασφάλιση επαρκούς θλιβόμενου οπλισμού $A_{s,2}$ και στα δύο πέλματα της δοκού (άνω & κάτω), θεωρώντας δρώσα ροπή αμφοτέρων προσήμων (θετική & αρνητική). Το εμβαδόν του θλιβόμενου οπλισμού πρέπει να ικανοποιεί τις εξής προϋποθέσεις:

$$A_{s,2} \geq 0.5(A_{s,1} + A_{s,slab}) + A_{s,2,ca} \quad [\S 5.4.3.1.2(4)\alpha]$$

$$\rho \leq \rho_{max} = \rho' + \Delta\rho \quad [\S 5.4.3.1.2(4)\beta]$$

$$\Rightarrow A_{s,2} \geq A_{s,1} - b \cdot d \cdot \Delta\rho + A_{s,slab}$$

όπου

$A_{s,2}$ το εμβαδόν του τοποθετούμενου οπλισμού του θλιβόμενου πέλματος

$A_{s,1}$ το εμβαδόν του τοποθετούμενου οπλισμού του εφελκυσμένου πέλματος

$A_{s,slab}$ το εμβαδόν του τοποθετούμενου οπλισμού της πλάκας εντός του συνεργαζόμενου πλάτους b_{eff} (στην περίπτωση που συνεισφέρει ως εφελκυσμένος οπλισμός)

$A_{s,2,ca}$ το εμβαδόν του υπολογιζόμενου οπλισμού του θλιβόμενου πέλματος που απαιτείται από τον έλεγχο της Ο.Κ.Α. στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού

$$\rho \quad \text{το ποσοστό όπλιςμού του εφελκυόμενου πέλματος}$$

$$\rho' \quad \text{το ποσοστό όπλιςμού του θλιβόμενου πέλματος}$$

$$A_\rho = \frac{0.0018 f_{cd}}{\mu_\phi \varepsilon_{sy,d} f_{yd}}$$

Επιπλέον, εφαρμόζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις όπλισης μελών ως εξής:

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d \geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d \quad [\text{EC2-1 §9.2.1.1}]$$

$A_{s,min}$ που προκύπτει από τη ροπή της μονόπακτης δοκού για το μέσο της δοκού (Βλ. παράμετρο στο «Κτίριο, Δοκό > Σκυρόδεμα > [Έλεγχος ροπής ανοίγματος με τη ροπή της μονοπάκτου](#)») και από το 65% της ροπής της αμφιπάκτου για τη στήριξη (Βλ. παράμετρο στη «Δοκό > Σκυρόδεμα > [Έλεγχος ροπής στήριξης με το 65% της ροπής της αμφιπάκτου](#)»)

$$\rho_{min} = 0.5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad [\text{EC8-1 §5.4.3.1.2}]$$

Παράδειγμα υπολογισμού ελάχιστου θλιβόμενου όπλιςμού

Στο **Σχήμα 3.6** και στον **Πίνακα 3.5** καταδεικνύονται τα κανονιστικά ελάχιστα του θλιβόμενου όπλιςμού του κάτω πέλματος στη στήριξη του υποστυλώματος K3 (δηλαδή για: *A20.2, Κόμβος 152, Ροπή M-*). Με μετακίνηση του κέρσορα πάνω από τις μπάρες του κάτω πέλματος (πορτοκαλί/κόκκινη) διακρίνουμε τους εξής επιμέρους υπολογισμούς:

A. *Έλεγχος §5.4.3.1.2(4)α*

I. Εφελκυόμενος όπλιςμός $A_{s,l}$ άνω πέλματος (εδώ συμβολίζεται ως $A_{s,\alpha}$) προκύπτει ως το άθροισμα του τοποθετούμενου (provided) όπλιςμού του δυσμενέστερου άκρου (εδώ του τέλους της Δ20.2):

$$A_{s,\alpha} = 4.02cm^3 + 2.01cm^3 = 6.03cm^3$$

II. Εμβαδόν του τοποθετούμενου όπλιςμού της πλάκας $A_{s,πλ}$ εντός του συνεργαζόμενου πλάτους b_{eff} . Σημειώνεται ότι στους εν λόγω ελέγχους των

κανονιστικών απαιτήσεων πλαστιμότητας απαιτείται – υπέρ της ασφαλείας – ο συνυπολογισμός του συνόλου του οπλισμού πλάκας $A_{s,πλ}$, σε αντίθεση με τους ελέγχους Ο.Κ.Α. όπου και συνυπολογίζεται μέρος του οπλισμού πλάκας (βλ. παράμετρο «Σκυρόδεμα>Μέγιστος συνεργαζόμενος οπλισμός πλάκας [% απαιτούμενου]»)

III. Ο υπολογιζόμενος οπλισμός του θλιβόμενου πέλματος που απαιτείται από τον έλεγχο της Ο.Κ.Α. στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού:

$$A_{s,κ.cal} = 1.35cm^3$$

IV. Τελική τιμή του ελάχιστου θλιβόμενου οπλισμού κάτω πέλματος:

$$A_{s,κ} \geq 0.5(A_{s,α} + A_{s,πλ}) + A_{s,κ.cal} = 0.5(6.03 + 3.35) + 1.35 = 6.04cm^3$$

B. Έλεγχος §5.4.3.1.2(4)β

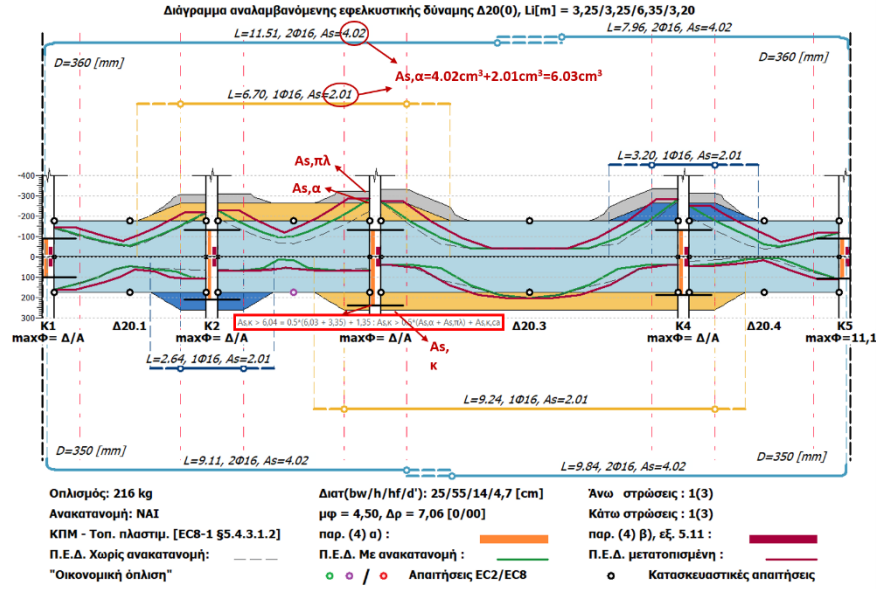
I. Επανάληψη των βημάτων I-II για τον υπολογισμό των οπλισμών $A_{s,α}$ και $A_{s,πλ}$.

II. Υπολογισμός του συντελεστή $\Delta\rho$

$$\Delta\rho = \frac{0.0018}{\mu\phi\epsilon_{sy,d}} \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 7.06\%$$

III. Τελική τιμή του ελάχιστου θλιβόμενου οπλισμού κάτω πέλματος:

$$A_{s,κ} \geq A_{s,α} + A_{s,πλ} - b \cdot d \cdot \Delta\rho = 6.03 + 3.35 - 25 \cdot 50 \cdot 7.06\% = 0.50cm^3$$



Σχήμα 3.6: Προβολή αποτελεσμάτων των κανονιστικών ελέγχων πλαστιμότητας με μετακίνηση του «κέρσορα» και επεξήγηση υπολογισμών.

Έλεγχος διαμόρφωσης λεπτομερειών για τοπική πλαστιμότητα [EC8-1 §5.4.3.1.2]

Αν. [I]	Μορ [J]	Κατ. [J]	As1_pr [cm²]	As1_sl [cm²]	As2_pr [cm²]	As2_sl [cm²]	As2_ca [cm²]	As2_pr+As2_ca [cm²]	(γ) α)	(As1_pr+As1_sl)/2 [cm²]	ρ1_pr+ρ1_sl [‰]	(γ) β) εφ. 5.11	ρmax [‰]	ρ2_pr [‰]
1	148	M	4,02	1,91	6,03	0,90	4,02	>	2,51	4,00	<	12,26	2,23	
1	148	M+	4,02	0,90	4,02	0,90	4,02	>	2,51	1,23	<	9,29	1,23	
1	150	M-	6,03	2,01	6,03	0,90	5,44	>	4,82	6,40	<	11,86	4,80	
1	130	M+	6,03	0,90	6,03	0,90	6,03	>	3,82	1,14	<	8,20	1,14	
2	130	M-	6,03	3,01	6,03	1,20	4,78	>	4,82	6,40	<	11,86	4,80	
2	150	M+	6,03	0,90	6,03	0,90	6,03	>	3,82	6,67	<	7,73	6,67	
2	152	M-	6,03	0,90	6,03	0,90	6,03	>	4,69	7,46	<	13,40	6,40	
2	132	M+	6,03	0,90	6,03	0,90	6,03	>	4,82	6,89	<	7,73	6,89	
3	132	M-	6,03	3,35	6,03	0,90	6,03	>	4,69	7,46	<	13,40	6,40	
3	152	M+	6,03	0,90	6,03	0,90	6,03	>	4,69	6,89	<	7,73	6,89	
3	154	M-	6,03	3,35	6,03	0,90	6,03	>	4,69	7,46	<	11,86	4,80	
3	154	M+	6,03	0,90	6,03	0,90	6,03	>	3,82	6,67	<	7,73	6,67	
4	154	M-	6,03	3,35	6,03	0,17	5,86	>	4,69	7,46	<	11,86	4,80	
4	154	M+	6,03	0,90	6,03	0,90	6,03	>	3,82	1,14	<	8,20	1,14	
4	5	M-	4,02	1,91	4,02	0,90	4,02	>	2,44	4,20	<	10,20	3,20	
4	5	M+	4,02	0,90	4,02	0,90	4,02	>	2,51	1,23	<	8,29	1,23	

$\rho_{\text{max}} = \rho + \Delta \rho = 0.0018 \cdot \frac{f_{yk}}{f_{yk} - f_{td}} = 7,06\% \Rightarrow \mu_p = 4,50$

Πίνακας 3.5 Σύνοψη υπολογισμών για τους ελέγχους διαμόρφωσης λεπτομερειών για τοπική πλαστιμότητα στο Τεύχος.

3.5 Πώς υπολογίζεται το βασικό απαιτούμενο μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης και μάτισης;

Το απαιτούμενο μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης και μάτισης του διαμήκους οπλισμού των δοκών υπολογίζεται στο Τεύχος στην καρτέλα «[Δοκοί > Διαστασιολόγηση Δοκών > Δοκοί ορ. X > Δοκός ΔX.X](#)», επιλέγοντας εκτεταμένη εκτύπωση αποτελεσμάτων του τεύχους.

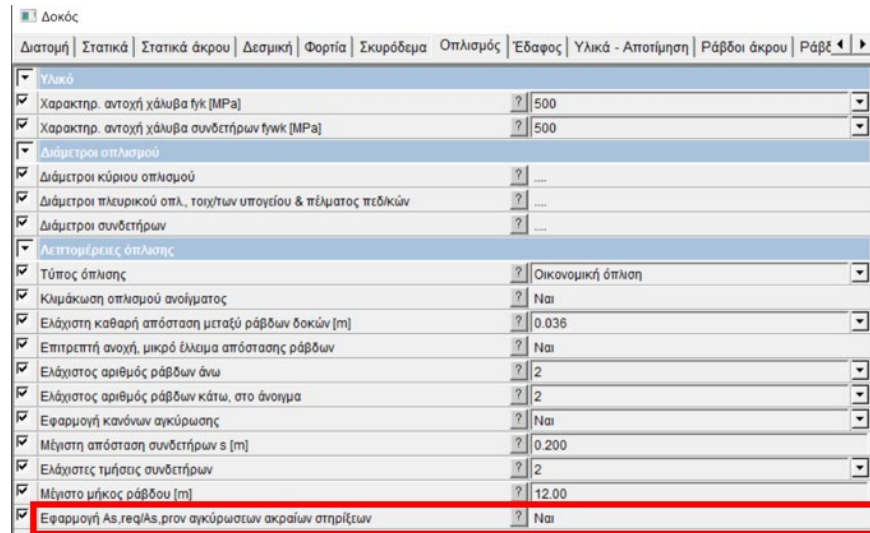
Βάσει των διατάξεων του EN1992-1 πραγματοποιούνται οι εξής υπολογισμοί:

- Βασικό μήκος αγκύρωσης: $l_{b,rqd} = \frac{\Phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$ [EC2-1 §8.4.3]
- Μήκος υπερκάλυψης (μάτισης): $l_0 = a_6 \cdot l_{b,rqd}$ [EC2-1 §8.7.3]

όπου f_{bd} η τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας.

Τα υπολογιζόμενα μήκη $l_{b,rqd}$ και l_0 , συνεπώς, εξαρτώνται από τις ποιότητες σκυροδέματος και χάλυβα καθώς και από τις διαμέτρους του οπλισμού. Δεδομένου ότι επιλέγεται από το πρόγραμμα κοινή διάμετρος των επιμέρους ράβδων (δοκοσειράς, ανοίγματος κτλ.) ανά πέλμα της δοκού, στο Τεύχος παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι υπολογισμοί ανά πέλμα/διάμετρο.

Επιπλέον, στις ακραίες στηρίξεις παρέχεται η δυνατότητα απομείωσης της δύναμης την οποία καλείται να παραλάβει η αγκύρωση και συνεπώς του μήκους αγκύρωσης και της διαμέτρου του τυμπάνου σε περίπτωση μη ευθύγραμμης αγκύρωσης σύμφωνα με τον λόγο του πλεονάζοντος τοποθετούμενου οπλισμού ($A_{s,prov}$) προς τον απαιτούμενο ($A_{s,req}$), μέσω της παραμέτρου της **Εικόνα 3.3**. Η απομείωση προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τα υπολογιζόμενα μήκη $l_{b,rqd}$ και l_0 , με το συντελεστή $A_{s,req} / A_{s,prov}$ (≥ 0.6) και εφαρμόζεται για τις ακραίες στηρίξεις, όπου η εξοικονόμηση μηκών αγκύρωσης είναι σημαντική, και για Κατηγορία Πλαστιμότητας ΚΠΧ & ΚΠΜ.



Εικόνα 3.3: Επιλογή της παραμέτρου «Εφαρμογή $A_{s,req} / A_{s,prov}$ αγκυρώσεων στηρίξεων από την καρτέλα «Δοκός > Οπλισμός δοκών».

Υπολογισμός βασικού απαιτούμενου μήκους
ευθύγραμμης αγκύρωσης

$$l_{b,reqd} = (\Phi/4) f_{yd}/f_{bd} (A_{s,cal}/A_{s,eff})$$

=1.0 για DCH

Συνθήκες συνάφειας	Χάλυβας	Σκυρόδεμα								
		C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Ευνοϊκές (I)	Ράβδοι υψηλής συνάφειας S500 ($\Phi < 32\text{mm}$)	66	54	47	40	36	32	29	27	25
Μη ευνοϊκές (II)	Ράβδοι υψηλής συνάφειας S500 ($\Phi < 32\text{mm}$)	94	78	68	58	52	46	42	39	36

$$A_{s,cal} = \frac{1}{f_{yd}} \left(\frac{M_{Ed} + a_l V_{Ed}}{z} + N_{Ed} \right)$$

Εικόνα 3.4: Συνοπτικός υπολογισμός του μήκους ευθύγραμμης αγκύρωσης («Συνάφεια – αγκυρώσεις - ματίσεις, Σχεδιασμός Επιπέδων Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος», Ε. Μπούσιας, 2016).

3.6 Πώς υπολογίζεται το κρίσιμο μήκος τυμπάνου;

Το κρίσιμο μήκος τυμπάνου ορίζεται ως DC στην **Εικόνα 3.6**, με την αντίστοιχη ακτίνα του τυμπάνου να είναι $\Phi_m/2$, και είναι το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος που εξασφαλίζει την ασφαλή μεταφορά των δυνάμεων αγκύρωσης του σπλισμού. Ο υπολογισμός του πραγματοποιείται στο Τεύχος στην καρτέλα «[Δοκοί > Διαστασιολόγηση Δοκών > Δοκοί op. X > Δοκός ΔΧ.Χ](#)», έχοντας επιλέξει εκτεταμένη εκτύπωση των αποτελεσμάτων του Τεύχους (**Εικόνα 3.5**).

Διαδικασία υπολογισμού κρίσιμου (δεξιού) τυμπάνου άνω: Δ2(0), [K21]

Διάμετρος ράβδου : $\varnothing \cdot d_{bc} = 18$ [mm]
 Διάμετρος τυμπάνου : $\varnothing_m = D = 150$ [mm]

διαθέσιμο μήκος εντός του στοιχείου για το τύμπανο:

$$l_{av} = h_c - c - d_{su} - \frac{d_{bc}}{2} = 0,400 - 0,035 - 0,008 - \frac{0,018}{2} = 0,348$$
 [m]

όπου:
 h_c : πλάτος υποστρώματος, c : επικάλυψη
 d_{su} : διάμετρος συνδετήρα, d_{bc} : διάμετρος ράβδου

1. Επιλογή της προς έλεγχο διαμέτρου του τυμπάνου

2. Διαθέσιμο μήκος l_{av}

$$l_{(BC)} = l_{av} - \frac{\varnothing_m}{2} = 0,348 - \frac{0,150}{2} = 0,273$$
 [m]

όπου:
 $l_{(BC)}$: μήκος ευθύγραμμου τμήματος αγκύρωσης
 τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας [EN1992 8.4.2(1)]:

$$f_{td} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \xi_{td} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1498,0 = 2359,4$$
 [kPa]

συντελεστής απομείωσης εφελκυστικής δύναμης στην αρχή της καμπύλωσης:

$$\alpha_0 = \max\left(\frac{A_{s,min}}{A_{s,prov}}, 0,60\right) = \max\left(\frac{4,31}{5,09}, 0,60\right) = 0,85$$

εφελκυστική δύναμη στην αρχή της καμπύλωσης:

$$F_{tk} = f_{td} \cdot \frac{n \cdot d_{bc}^2}{4} \cdot \alpha_0 - n \cdot d_{av} \cdot f_{(BC)} = 434782,6 \cdot \frac{n \cdot 0,018^2}{4} \cdot 0,85 - n \cdot 0,018 \cdot 2359,4 \cdot 0,273 = 57,36$$
 [kN]

4. Αναλαμβανόμενη δύναμη από το τύμπανο F_{bt}

$$a_0 = \min\left(\frac{\delta}{2}, c + d_{su} + \frac{d_{bc}}{2}\right) = \min\left(\frac{0,065}{2}, 0,035 + 0,008 + \frac{0,018}{2}\right) = 0,033$$
 [m]

όπου:
 δ : απόσταση από κέντρο σε κέντρο μεταξύ των ράβδων

5. Έλεγχος ελάχιστου Φ_m

ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου [EN1992 8.3 (3) εξ. (8.1)]:

$$\Phi_{m,min} = 1000 \cdot F_{bt} \cdot \frac{1}{f_{td}} \cdot \frac{1}{\alpha_0} + \frac{1}{2 \cdot \varnothing} = 1000 \cdot 57,36 \cdot \frac{1}{23333,3} + \frac{1}{2 \cdot 0,018} = 144$$
 [mm] $\leq \varnothing_m = 150$ [mm] **OK**

ελάχιστο πάχος στοιχείου:

6. Ελάχιστο πάχος στοιχείου για αγκύρωση

$$h_{c,min} = \frac{1}{2} \cdot \left(f_{td} \cdot \frac{n \cdot d_{bc}^2}{4} \cdot \alpha_0 \right) \cdot \frac{1}{f_{td}} + \frac{1}{2 \cdot \varnothing} + \left(c + d_{su} + \frac{d_{bc}}{2} \right) =$$

$$\frac{1}{2} \cdot \left(434782,6 \cdot \frac{n \cdot 0,018^2}{4} \cdot 0,85 \right) \cdot \frac{1}{23333,3} + \frac{1}{2 \cdot 0,018} + \left(0,035 + 0,008 + \frac{0,018}{2} \right) = 0,17$$
 [m]

Εικόνα 3.5: Αποτελέσματα υπολογισμού κρίσιμου μήκους τυμπάνου και ελάχιστου πάχους υποστρώματος.

Συγκεκριμένα, η εξασφάλιση της επάρκειας του μήκους τυμπάνου για την αγκύρωση του σπλισμού περιλαμβάνει τα εξής στάδια υπολογισμών:

- Εκτίμηση της **ελάχιστης διαμέτρου τυμπάνου Φ_m** η οποία πληροί τις ελάχιστες κανονιστικές απαιτήσεις

- ▶ Υπολογισμός του **διαθέσιμου μήκους** l_{av} εντός του υποστυλώματος για την τοποθέτηση του τυμπάνου

$$l_{av} = h_c - c - d_{συνδ.} - d_{bl}/2 - l_0$$

όπου h_c το πλάτος του υποστυλώματος

$d_{συνδ.}$ η διάμετρος του συνδετήρα

d_{bl} η διάμετρος του διαμήκους οπλισμού

l_0 σε φορείς Υψηλής Κατηγορίας Πλαστιμότητας, το μήκος αγκύρωσης της ράβδου μετράται από σημείο σε απόσταση $l_0=5d_{bl}$ εσωτερικά της παρειάς του κόμβου.

- ▶ Υπολογισμός του **ευθύγραμμου τμήματος της αγκύρωσης** $l_{(BC)}$.

$$l_{(BC)} = l_{av} - \Phi_m/2$$

- ▶ Υπολογισμός της **αναλαμβανόμενης δύναμης από το τύμπανο** F_{bt} :

$$F_{bt}^{τυμπάνου} = F_{yd} \cdot \alpha_0 - F_{bt}^{IBC}$$

όπου F_{yd} η δύναμη διαρροής του οπλισμού

$$\alpha_0 = \max (A_{s,req}/A_{s,prov} ; 1\}$$

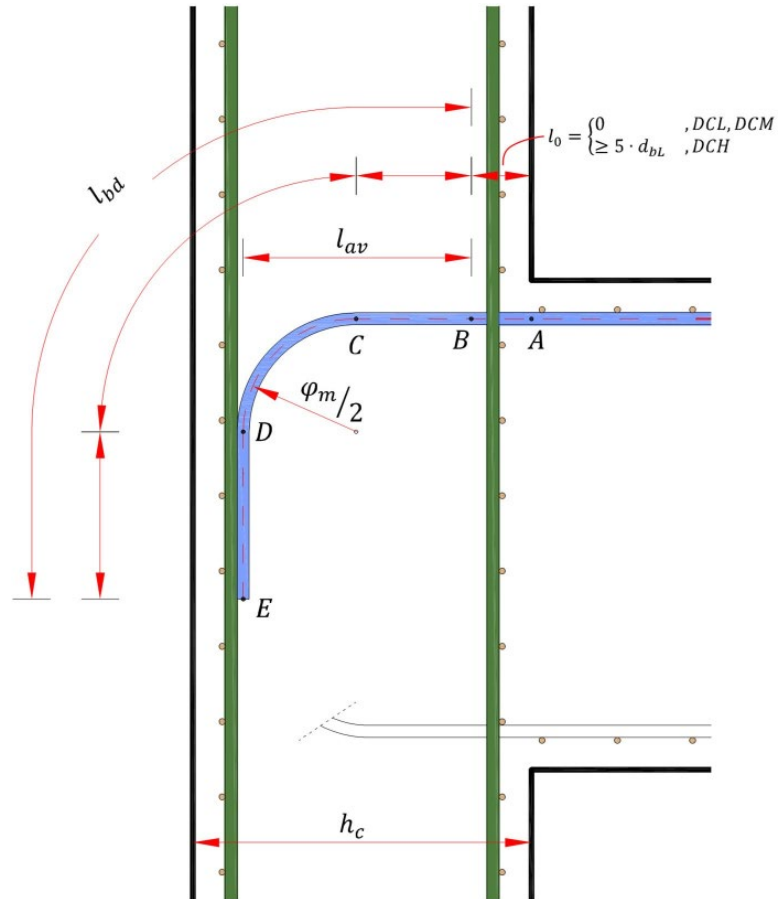
F_{bt}^{IBC} η αναλαμβανόμενη δύναμη από το ευθύγραμμο τμήμα της αγκύρωσης BC.

- ▶ Έλεγχος της **ελάχιστης διαμέτρου τυμπάνου** $\Phi_{m,min}$ βάσει EN1992-1:

$$\Phi_m \geq \Phi_{m,min} = F_{bt} \frac{1/\alpha_b + 1/\Phi}{f_{cd}}$$

- ▶ Υπολογισμός του **ελάχιστου πάχους του στοιχείου** $h_{c,min}$ που εξασφαλίζει την αγκύρωση του τυμπάνου

$$h_{c,min} = F_{yd} \cdot \alpha_0 \cdot \Phi_{m,min} + (c + d_{συνδ.} + d_{bl}/2)$$



Εικόνα 3.6: Συνοπτική επεξήγηση των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στο Τεύχος για τον υπολογισμό του κρίσιμου μήκους τυμπάνου.

3.7 Πώς βοηθάει η επιλογή της παραμέτρου «Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων στα 12m ή 14m» στην απομείωση της φύρας του οπλισμού;

Με ενεργοποίηση της παραμέτρου «[Οπλισμός > Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων στα 12m ή 14m](#)» τα σίδερα που τοποθετούνται κατά την όπλιση δεν έχουν τυχαίο μήκος (αυτό που προκύπτει από την ανάλυση) αλλά ομαδοποιούνται σε συγκεκριμένες κατηγορίες μηκών με αποτέλεσμα τη μείωση των αναξιοποίητων ράβδων, δηλαδή, της φύρας από τα «ρετάλια». Το επιπρόσθετο – και περίσσειο για την ανάλυση – μήκος της ράβδου σχεδιάζεται στο διάγραμμα εφελκυστικών δυνάμεων με βυσσινί χρώμα (**Σχήμα 3.7**). Η μεθοδολογία ομαδοποίησης μηκών που ακολουθείται στο πρόγραμμα βασίζεται στη συνήθη πρακτική τεμαχισμού των ράβδων στα προκαθορισμένα μήκη του **Πίνακα 3.6**.

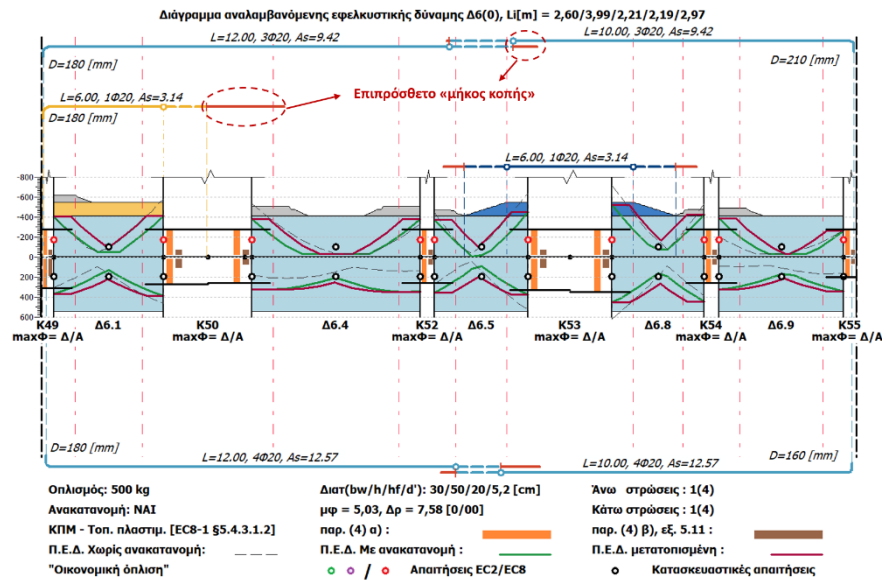
Συνολικά, το πρόγραμμα επιτυγχάνει τη μείωση της φύρας του οπλισμού μέσω:

- Της εφαρμογής των προκαθορισμένων μηκών κοπής
- Της χρήσης του ελάχιστου δυνατού αριθμού διαμέτρων των ράβδων (κοινή διάμετρος για τα επιμέρους πέλματα, άνω & κάτω)
- Της μείωσης των διαφορετικών τύπων οπλισμού (δοκοσειράς, ανοίγματος, πρόσθετα, κλιμάκωσης κτλ.)

Στην εξεταζόμενη δοκό του **Σχήματος 3.7**, καθώς και στα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των οπλισμών του **Πίνακα 3.6**, διακρίνεται ότι η εφαρμογή των «μηκών κοπής» οδηγεί σε ομαδοποίηση των μηκών των ράβδων σε 3 κατηγορίες (6μ., 10μ, 12μ). Αντίθετα, χωρίς τη χρήση της παραμέτρου αυτής, προκύπτουν 6 διαφορετικές κατηγορίες μηκών των ράβδων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ανάλυσης.

Τεμαχισμός Ράβδων										
Τμήμα	Ράβδος μήκους L=12m									
1 ^ο	1.0	1.09	1.2	1.33	1.5	1.71	2.0	2.4	3.0	4.0
2 ^ο	11.0	10.91	10.8	10.67	10.5	10.29	10.0	9.6	9.0	8.0
	Ράβδος μήκους L=14m									
1 ^ο	1.4	1.55	1.75	2.0	2.33	2.8	3.5	4.65	7.0	
2 ^ο	12.6	12.45	12.25	12.0	11.67	11.2	10.5	9.35	7.0	

Πίνακας 3.6: Προκαθορισμένα μήκη για τον τεμαχισμό των σιδήρων 12m και 14m με χρήση της παραμέτρου «Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων 12m ή 14m».



Σχήμα 3.7: Παράδειγμα όπλισης δοκού με ενεργοποίηση της παραμέτρου «Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων 12m ή 14m».

Με «μήκη κοπής»				Χωρίς «μήκη κοπής»			
A.A.	No Τεμαχίων	Φ (mm)	L(m)	A.A.	No Τεμαχίων	Φ (mm)	L(m)
1	2	18	6.00	1	1	18	4.15
2	7		10.00	2	1		5.04
3	7		12.00	3	4		9.64
			4	3	9.96		
				5	4		11.09
				6	3		11.45

Πίνακας 3.7: Συγκεντρωτικοί πίνακες όπλισμών της εξεταζόμενης δοκοσειράς Δ6(0) με και χωρίς εφαρμογή της παραμέτρου «Εφαρμογή μηκών κοπής σιδήρων για μήκη ράβδων 12m ή 14m».

3.8 Πως μπορώ να χρησιμοποιήσω το διάγραμμα εφελκυστικών δυνάμεων ώστε να μειώσω τον τοποθετούμενο όπλισμό;

Το διάγραμμα εφελκυστικών δυνάμεων παρέχει τη δυνατότητα εποπτείας τόσο των *απαιτήσεων όπλισης* (περιβάλλουσα εφελκυστικών δυνάμεων & κανονιστικά ελάχιστα) όσο και του *τοποθετούμενου όπλισμού* σε όλο το μήκος της δοκοσειράς. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ύπαρξη υπερβολικών απαιτήσεων ή περιττού όπλισμού ανά θέση της δοκού. Ο **Πίνακας 3.8** παρουσιάζει έναν ενδεικτικό οδηγό των σημαντικότερων πληροφοριών του διαγράμματος καθώς και των παραμέτρων που, συνήθως, επιδρούν στην όπλιση της δοκού.

Έλεγχος της όπλισης δοκού			
Εποπτεία μέσω διαγράμματος		Επιλέξιμες παράμετροι	
Απαίτηση	— Περιβάλλουσα εφελκυστικών δυνάμεων	Σεισμική ένταση	• Συντελεστής συμπεριφοράς η
Κανονιστικά όρια	<ul style="list-style-type: none"> • Πλαστιμότητα άκρου ■ Έλεγχος (α) ■ Έλεγχος (β) • ρ_{min} EC/EC8 • ανακατανομή ροπών • κατασκευαστικές απαιτήσεις 	Διαστάσεις	<ul style="list-style-type: none"> • Πάχος πλάκας h_f • Δοκού b, d
Όπλιση	<ul style="list-style-type: none"> • Αριθμός & είδος ράβδων ανά θέση • Διάμετρος Φ 	Ποιότητα σκυροδέματος	• Αντοχή f_{cd}
		Όπλιση	• Διάμετρος Φ

Πίνακας 3.8: Συγκεντρωτικά στοιχεία για την εποπτεία και την παρέμβαση από το μελετητή στα αποτελέσματα όπλισης.

Παράδειγμα μείωσης κάτω όπλισμού στηρίξεων

Ένα συνηθισμένο πρόβλημα υπερβολικής απαίτησης όπλισμού προκύπτει από την ικανοποίηση των κριτηρίων πλαστιμότητας στα κάτω πέλματα των δοκών στις θέσεις των στηρίξεων. Οι απαιτήσεις αυτές προκύπτουν, ως επί το πλείστον, από την ύπαρξη μεγάλου εμβαδού όπλισμού άνω πέλματος δοκού και πλάκας και, δευτερευόντως, από την απομειωμένη τιμή της παραμέτρου $\Delta\rho$ (βλ. προηγούμενη Ερώτηση).

Σχεδιασμός	$A_{s,min}^a$	$A_{s,min}^b$	Πρόσθετα λόγω $A_{s,min}$
I: $h_f=20\text{cm}$, $f_{cd}=25\text{MPa}$	12.8	17.9	3Φ16
II: $h_f=14\text{cm}$, $f_{cd}=25\text{MPa}$	10.7	13.8	1Φ16
II: $h_f=14\text{cm}$, $f_{cd}=35\text{MPa}$	9.2	7.9	-

$A_{s,min}^a, A_{s,min}^b$: Απαιτούμενος θλιβόμενος όπλισμός κάτω πέλματος βάσει EC8-1 §5.4.3.1.2(4) (α) και (β), αντίστοιχα.

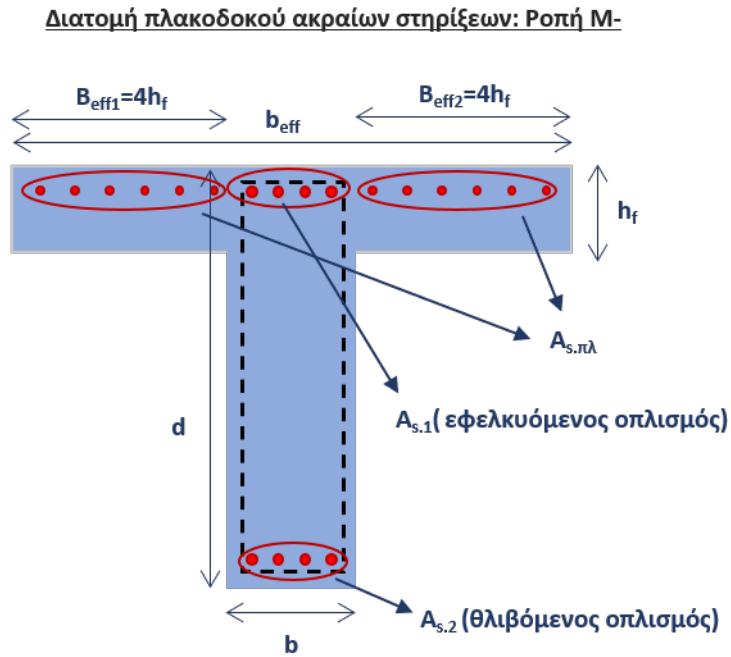
Πίνακας 3.9: Απαιτήσεις όπλισμού κάτω άκρου στήριξης λόγω κανόνων πλαστιμότητας ($A_{s,min}^a, A_{s,min}^b$) και πρόσθετα σίδερα που προκύπτουν.

Στο παράδειγμα αυτό εξετάζεται η περίπτωση μιας δοκοσειράς με διαστάσεις $b=25\text{cm}$ και $d=55\text{cm}$, η οποία στηρίζει εκατέρωθεν πλάκες πάχους h_f . Στις ακραίες στηρίξεις της δοκοσειράς προκύπτουν υπερβολικές απαιτήσεις πλαστιμότητας βάσει EC8-1 με αποτέλεσμα να προστίθενται επιπλέον σίδερα κάτω πέλματος στις θέσεις αυτές. Εν συνεχεία εξετάζονται δύο εναλλακτικοί τρόποι σχεδιασμού αποσκοπώντας στην εξισορρόπηση των απαιτήσεων αυτών.

Σχεδιασμός I: Με το σχεδιασμό αυτό απαιτείται σημαντικός οπλισμός άνω πέλματος ($A_{s1}=12.3\text{cm}^2$), ενώ, ταυτόχρονα, το μεγάλο πάχος πλάκας ($h_f=20\text{cm}$) οδηγεί σε μεγάλα συνεργαζόμενα πλάτη b_{eff} κι επομένως σε αύξηση του συνεργαζόμενου οπλισμού πλάκας ($A_{s,\pi\lambda} =13.3\text{cm}^2$). Τελικά, από τους κανονιστικούς ελέγχους πλαστιμότητας απαιτούνται πρόσθετα 3Φ16 κάτω πέλματος (Σχήμα 3.8).

Σχεδιασμός II: Με μια πιο ορθολογική σχεδίαση μειώνεται το πάχος της πλάκας ($h_f=15\text{cm}$) με αποτέλεσμα την ταυτόχρονη μείωση των οπλισμών άνω πέλματος και πλάκας. Το γεγονός αυτό οδηγεί, τελικά, σε μείωση του πρόσθετου οπλισμού κάτω σε 1Φ16 (Σχήμα 3.9).

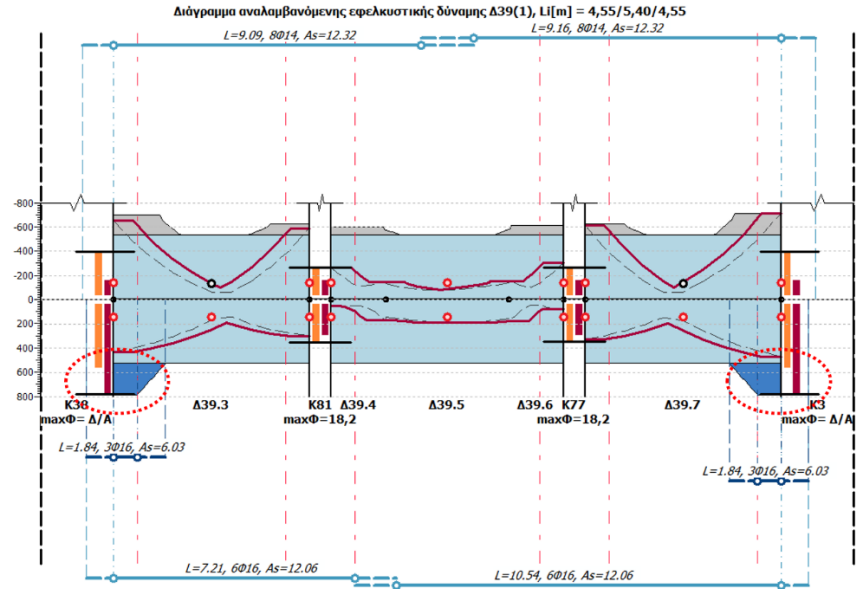
Σχεδιασμός III: Τέλος δοκιμάζεται ο προηγούμενος σχεδιασμός με τη μεγαλύτερη ποιότητα σκυροδέματος C35/40. Η αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος f_{cd} αποτελεί τον πιο άμεσο τρόπο για την αύξηση του συντελεστή $\Delta\rho$ η οποία οδηγεί σε μείωση του $A_{s,min}^b$ (κόκκινη μπάρα στο Σχήμα 3.10).



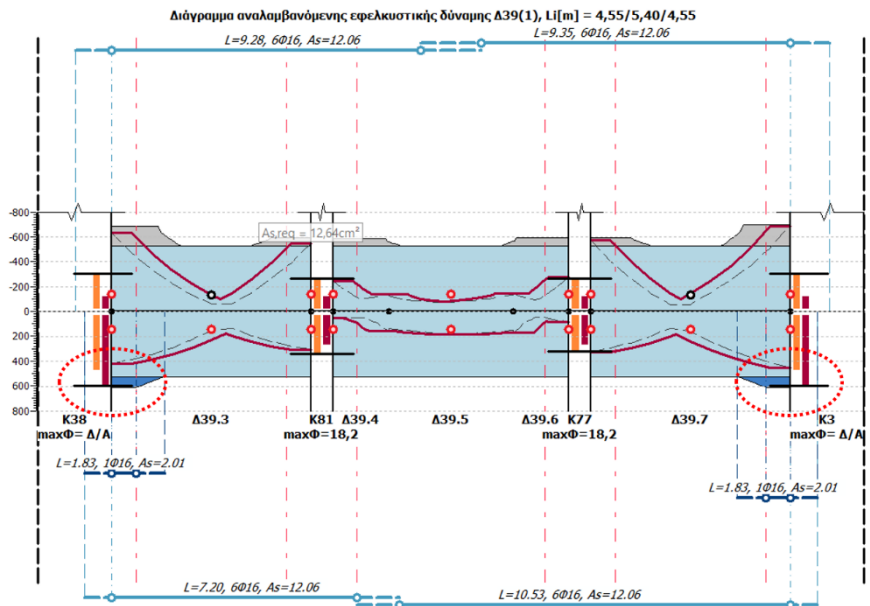
Εικόνα 3.7: Σχηματική απεικόνιση της διατομής πλακοδοκού και των συμβολισμών των επιμέρους οπλισμών.

Εμβαδόν οπλισμού	I	II	III
A_{s1} (οπλισμός άνω πέλματος)	12.3	12.0	12.0
$A_{s,pl}$ (οπλισμός πλάκας)	13.3	8.3	8.3
$b \cdot d \cdot \Delta\rho$	7.5	7.5	10.1
$A_{s,min}^a \geq 0.5(A_{s,1} + A_{s,slab}) + A_{s,2.ca}$	12.8	8.7	9.2
$A_{s,min}^b \geq A_{s,1} + A_{s,slab} - b \cdot d \cdot \Delta\rho$	18.0	9.7	8.1

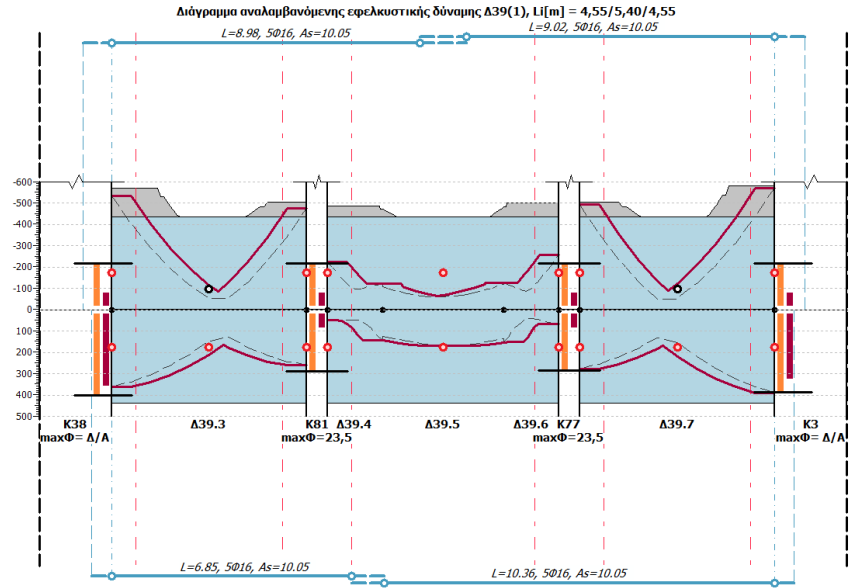
Πίνακας 3.10: Υπολογισμός απαιτήσεων οπλισμού (σε cm²) κάτω αριστερά άκρου στήριξης.



Σχήμα 3.8: Πρόσθετες απαιτήσεις πλαστιμότητας (κάτω) άκρου για το «Σχεδιασμό I».



Σχήμα 3.9: Πρόσθετες απαιτήσεις πλαστιμότητας (κάτω) άκρου για το «Σχεδιασμό II».



Σχήμα 3.10: Πρόσθετες απαιτήσεις πλαστιμότητας (κάτω) άκρου για το «Σχεδιασμό III».