

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την περάτωση της διπλωματικής μας εργασίας νιώθουμε την υποχρέωση να ευχαριστήσουμε να παρακάτω πρόσωπα για τη σημαντική βοήθειά τους.

Τον κύριο **Γαντέ Ι.Χάρη** και τον κύριο **Σιγάλα Ν.Ιωάννη**, επιβλέποντες της διπλωματικής μας, για την αμέριστη υποστήριξη που μας παρείχαν σε όλες τις φάσεις της εργασίας μας. Την κυρία **Βασιλοπούλου Ισαβέλλα**, τον κύριο **Γιαννέλο Χρήστο** για την πολύτιμη βοήθεια τους σε θέματα λογισμικού και οργάνωσης της εργασίας. Τον κύριο **Νικήτα Αλέξανδρο** για τη βοήθειά του σε ορισμένους τομείς της εργασίας. Τέλος, ευχαριστούμε τη SOFISTIK HELLAS και ιδιαιτέρως τον κύριο **Πρωτοψάλτη Βύρωνα** με την παρέμβαση του οποίο στάθηκε δυνατό να εξασφαλίσουμε τη φοιτητική άδεια χρήσης των στατικών προγραμμάτων της SOFISTIK AG.

Ευχαριστούμε πολύ.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Σύγκριση προεντεταμένης και σύμμικτης λύσης για οδική γέφυρα τριών ανοιγμάτων

Διπλωματική εργασία των:
Πολονύφη Ιωάννη
Στεργιόπουλου Σταύρου

Επιβλέποντες :Γαντές Ι.Χάρης Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Σιγάλας Ν. Ιωάννης Επιστημονικός Συνεργάτης Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξέταση των διατάξεων των ευρωκωδίκων και η εφαρμογή αυτών στη μελέτη οδοφόρων γεφυρών. Η εξέταση γίνεται μέσω της παράλληλης μελέτης μιας προεντεταμένης και μιας σύμμικτης γέφυρας για την ίδια περίπτωση γεφυρώσεως. Συγκεκριμένα εξετάστηκε μια συνήθης διάταξη συνεχούς γέφυρας τριών ανοιγμάτων 32m – 40m – 32m της οποίας ο φορέας του καταστρώματος έχει κιβωτιοειδή διατομή για την περίπτωση της προεντεταμένης γέφυρας, ενώ για την περίπτωση της σύμμικτης ο φορέας μορφώνεται με ζεύγος χαλύβδινων συγκολλητών δοκών σε συνδυασμό με έγχυτη πλάκα καταστρώματος.

Η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τα εξής έξι κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία των ευρωκωδίκων όπως οι δράσεις υπολογισμού και οι συνδυασμοί τους τα οποία είναι κοινά και στις δύο γέφυρες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής παρουσίαση των βασικών διατάξεων των σε ισχύ κανονισμών που αφορούν στην προεντεταμένη γέφυρα και περιλαμβάνουν τους ελέγχους οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας και αστοχίας που απαιτούνται για την εξασφάλιση της επιτελεστικότητας και της αντοχής της κατασκευής.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση της εφαρμογής των ανωτέρω κανονισμών στη μελέτη της προεντεταμένης γέφυρας καθώς και τα αποτελέσματα των σχετικών ελέγχων. Στο τέλος έχει συμπεριληφθεί μια συνοπτική προμέτρηση των βασικών υλικών που θα χρειαστούν για την κατασκευή της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται οι διατάξεις του ευρωκώδικα που αφορούν τη σύμμικτη γέφυρα και στο πέμπτο κεφάλαιο βρίσκονται οι υπολογισμοί, η τελική διαστασιολόγηση της κατασκευής καθώς και η συνοπτική προμέτρηση των υλικών της.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διπλωματική εργασία και το αναμενόμενο κόστος ανά περίπτωση.



National Technical University of Athens
School of Civil Engineering
Department of Structural Engineering

Comparison between a Prestressed concrete and a steel-concrete composite three-span road bridge

Diploma Thesis of:
Polonyfis Ioannis
Stergiopoulos Stavros

Supervisors: Charis J.Gantes, Associate Professor N.T.U.A.
Ioannis N.Sigalas, Scientific Associate N.T.U.A.

Abstract

The present diploma thesis investigates the application of Eurocodes in designing road bridges. For this purpose, two different approaches for a bridge superstructure over the same span are studied. A prestressed concrete bridge with a box girder cross section and a steel-concrete composite bridge with twin girders are chosen, respectively. Both cases have the same span lengths of 32m – 40m – 32m.

This thesis is organized in six chapters.

In the first chapter some general issues of the Eurocodes, such as the combinations of actions and the synopsis of the loads for bridges are presented.

The second chapter contains extended presentation of the basic principles of the Eurocodes for prestressed concrete bridges. More specifically, the serviceability limit state and the ultimate limit state verifications are described.

The third chapter contains the application of these principles in the particular case of the prestressed concrete bridge together with the calculations required to verify the structural adequacy for the verification of the checks in all limit states.

The aim of the fourth chapter is to introduce the principles of the Eurocodes about steel-concrete composite bridges and the fifth chapter includes the modeling as well as the calculations needed for the verification of the checks in all limit states. In the end of this chapter the quantities of the required materials are displayed.

Finally, the sixth chapter contains general conclusions that resulted from this diploma thesis.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ	9
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.2. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	9
1.3. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	10
1.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΚΟΠΩΣΗΣ.....	11
1.5. ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	11
1.5.1. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	12
1.5.2. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ	13
1.5.3. ΟΜΑΔΕΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	13
1.5.4. ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΚΟΠΩΣΗΣ	13
1.6. ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ.....	15
1.7. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	17
2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ.....	21
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.2. ΥΛΙΚΑ	21
2.2.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	21
2.2.2. ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	25
2.2.3. ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ.....	27
2.3. ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ	29
2.3.1. ΕΡΠΥΣΜΟΣ	29
2.3.2. ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	32
2.4. ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ.....	33
2.4.1. ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΑΝΥΣΗ.....	33
2.4.2. ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΑΜΕΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	34
2.4.3. ΑΜΕΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	34
2.4.4. ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΧΡΟΝΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	35
2.4.5. ΧΡΟΝΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ.....	35
2.4.6. ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ	36
2.5. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΕΚΤΟΣ ΚΟΠΩΣΗΣ)	36
2.5.1. ΚΑΜΨΗ ΜΕ Η ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ.....	36
2.5.2. ΑΠΟΦΥΓΗ ΤΗΣ ΨΑΘΥΡΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	37
2.5.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ	39
2.5.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ	41
2.5.5. ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΕΛΜΑΤΩΝ – ΚΟΡΜΟΥ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ.....	42

2.5.6. ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΑΜΨΗ	43
2.5.7. ΣΤΡΕΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ.....	43
2.5.8. ΣΤΡΕΨΗ ΜΕ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗ	44
2.6. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ – ΚΟΠΩΣΗ	44
2.6.1. ΑΠΑΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ	45
2.6.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ (ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΥ)	45
2.6.3. ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ Η ΔΙΑΤΜΗΣΗ	49
2.7. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	49
2.7.1. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ	50
2.7.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ.....	50
2.7.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ.....	54
2.8. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	55
2.8.1. ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ.....	55
2.8.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΙΝΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ	57
2.8.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΤΑΝΥΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΚΗΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	61
3 ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΡΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	63
3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	63
3.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	63
3.3. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	64
3.4. ΔΙΑΤΟΜΕΣ	64
3.5. ΥΛΙΚΑ.....	66
3.6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....	68
3.7. ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ	68
3.8. ΔΡΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....	68
3.8.1. ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	68
3.8.2. ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	72
3.8.3. ΚΟΠΩΣΗ.....	76
3.9. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ.....	76
3.9.1. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΟΚΑ).....	76
3.9.2. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΟΚΛ)	77
3.9.3. ΚΟΠΩΣΗ.....	78
3.10. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ – ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	78
3.10.1. ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	78
3.10.2. ΕΛΕΓΧΟΙ	79
3.11. ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ	97
4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ	99
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	99

4.2.	ΥΛΙΚΑ	99
4.2.1.	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	99
4.2.2.	ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	100
4.2.3.	ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	100
4.3.	ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ	103
4.3.1.	ΕΡΠΥΣΜΟΣ	103
4.3.2.	ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	104
4.4.	ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ	104
4.5.	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ	108
4.6.	ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΕΚΤΟΣ ΚΟΠΩΣΗΣ)	111
4.6.1.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ.....	111
4.6.2.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	112
4.6.3.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ	114
4.6.4.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟ ΛΥΓΙΣΜΟ	115
4.6.5.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	124
4.7.	ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΚΟΠΩΣΗ)	129
4.7.1.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	129
4.7.2.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	129
4.7.3.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	129
4.7.4.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΗΛΩΝ ΚΕΦΑΛΗΣ	135
4.8.	ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	136
4.8.1.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ	136
4.8.2.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	137
4.8.3.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ.....	137
5	ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΡΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ.....	141
5.1.	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	141
5.2.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	141
5.3.	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ	142
5.4.	ΔΙΑΤΟΜΕΣ.....	142
5.5.	ΥΛΙΚΑ	147
5.5.1.	Σκυρόδεμα	147
5.6.	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	149
5.8.	ΔΡΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	152
5.8.1.	ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ.....	152
5.8.2.	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	153
5.9.	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ	155
5.9.1.	ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΟΚΑ)	155
5.9.2.	ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΟΚΛ).....	155
5.10.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	155

5.10.1.	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	155
5.10.2.	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	156
5.10.3.	ΕΛΕΓΧΟΙ	157
5.11.	ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ	179
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	181
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	184
7.1.	ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	184
7.2.	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ, ΕΓΚΥΚΛΙΟΙ, ΟΔΗΓΙΕΣ	186

1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι βασικές αρχές των ευρωκωδίκων που σχετίζονται με την κατασκευή γεφυρών και αφορούν τους συνδυασμούς φορτίσεως σε Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας (ΟΚΑ) και Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας, το προσομοίωμα φόρτισης και φόρτισης κόπωσης, τις ομάδες φόρτισης (groups) στις οποίες χωρίζονται, τις θερμικές φορτίσεις και τις δράσεις του ανέμου. Θα δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στα κομμάτια εκείνα του Ευρωκώδικα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη των δύο γεφυρών.

1.2. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Οι οριακές καταστάσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια των ανθρώπων ή την ασφάλεια του φορέα θεωρείται ότι ανήκουν στις οριακές καταστάσεις αστοχίας. Υπό ορισμένες συνθήκες, οι οριακές καταστάσεις οι οποίες αφορούν την προστασία των περιεχομένων θα πρέπει να καταχωρηθούν ως οριακές καταστάσεις αστοχίας.

Οι έλεγχοι σε οριακή κατάσταση αστοχίας χωρίζονται σε έλεγχο οριακής κατάστασης στατικής ισορροπίας του φορέα (EQU) και έλεγχο οριακής κατάστασης θραύσης ή υπερβολικής παραμόρφωσης μιας διατομής, ενός στοιχείου ή μιας σύνδεσης (STR και / ή GEO). Ο έλεγχος του τελευταίου αποτυπώνεται από τη σχέση (1.1)

$$E_d \leq R_d \quad (1.1)$$

Όπου

E_d είναι η τιμή σχεδιασμού του αποτελέσματος δράσεων όπως για παράδειγμα εσωτερική δύναμη, ροπή ή ένα διάνυσμα που εκφράζει διάφορες εσωτερικές δυνάμεις ή ροπές.

R_d είναι η τιμή σχεδιασμού της αντίστοιχης αντίστασης.

Ο συνδυασμός δράσεων για καταστάσεις σχεδιασμού με διάρκεια ή παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού δίνεται από την (1.2)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,i} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1.2)$$

Όπου:

"+"	υποδηλώνει «προς συνδυασμό με...»
Σ	υποδηλώνει «το συνδυασμένο αποτέλεσμα του...»
ξ	είναι ένας μειωτικός συντελεστής για δυσμενείς μόνιμες δράσεις G
G _{kj}	Χαρακτηριστική τιμή μιας μόνιμης δράσης j
γ _{Gj}	Επιμέρους συντελεστής για τη μόνιμη δράση j
γ _P	Επιμέρους συντελεστής για δράσεις προέντασης
P	Αντιπροσωπευτική δράση μιας δύναμης προέντασης
γ _{Q,i}	Επιμέρους συντελεστής για τη μεταβλητή δράση i
Q _{k,1}	Χαρακτηριστική τιμή της κύριας μεταβλητής δράσης
ψ ₀	Συντελεστής για τιμή συνδυασμού μιας μεταβλητής δράσης
Q _{k,i}	Χαρακτηριστική τιμή της συνοδευτικής μεταβλητής δράσης

Οι συντελεστές γ λαμβάνονται από τον πίνακα A2.4(B) του AnnexA2 του EN1990:2002. 3 Οι χαρακτηριστικές τιμές όλων των μόνιμων δράσεων από μια πηγή πολλαπλασιάζονται με το γ_{G,sup} εάν το συνολικά προκύπτον εντατικό μέγεθος είναι δυσμενές και γ_{G,inf} εάν είναι ευνοϊκό. Οι συντελεστές ψ λαμβάνονται από τον πίνακα A2.1 του AnnexA2 του EN1990:2002.

Οι συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας δίνονται στις σχέσεις (1.3) έως (1.5)

$$\sum_{i > 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \text{Βασικός Συνδυασμός} \quad (1.3)$$

$$\sum_{i > 1} \gamma_{G,k,j} "+" P "+" A_d "+" (\psi_{1,1} \eta \psi_{2,1}) Q_{k,1} "+" \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Τυχηματικός Συνδυασμός} \quad (1.4)$$

$$\sum_{i > 1} \gamma_{G,k,j} "+" P "+" A_{ED} "+" \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Σεισμικός συνδυασμός} \quad (1.5)$$

1.3. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι οριακές καταστάσεις οι οποίες αφορούν τη λειτουργία ενός φορέα ή ενός δομικού μέλους υπό συνθήκες φυσιολογικής χρήσης την άνεση των ανθρώπων την εξωτερική εμφάνιση των κατασκευών θεωρείται ότι ανήκουν στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας. Ο έλεγχος δίνεται στη σχέση (1.6)

$$E_d \leq C_d \quad (1.6)$$

όπου:

C _d	είναι η οριακή τιμή σχεδιασμού του συναφούς κριτηρίου λειτουργικότητας,
E _d	είναι η τιμή σχεδιασμού των αποτελεσμάτων των δράσεων, οι οποίες καθορίζονται στα πλαίσια του κριτηρίου λειτουργικότητας, και η οποία προσδιορίζεται βάσει του συναφούς συνδυασμού.

Οι συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας δίνονται στις σχέσεις (1.7) - (1.9)

$$\sum_{i>1} G_{k,j} P Q_{k,1} \sum_{j \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \text{Χαρακτηριστικός συνδυασμός} \quad (1.7)$$

$$\sum_{i>1} G_{k,j} P \psi_{1,1} Q_{k,1} \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Συχνός συνδυασμός} \quad (1.8)$$

$$\sum_{i>1} G_{k,j} P \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός} \quad (1.9)$$

1.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΚΟΠΩΣΗΣ

Για τον υπολογισμό του εύρους διακύμανσης των τάσεων, η δράση θα διαχωρίζεται σε μη-ανακυκλική και ανακυκλική. Ο συνδυασμός δίνεται από την (1.10)

$$\left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} P \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right) Q_{fat} \quad (1.10)$$

μέσα στην παρένθεση είναι ο βασικός συνδυασμός μη-ανακυκλικών δράσεων που ορίζεται παρόμοια με το συχνό συνδυασμό στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας και Q_{fat} είναι το σχετικό φορτίο που προκαλεί κόπωση.

1.5. ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των προτύπων διατάξεων των φορτίων κυκλοφορίας για τον σχεδιασμό οδογεφυρών. Τα φορτία κυκλοφορίας διαιρούνται σε κατακόρυφα και οριζόντια. Τα κατακόρυφα φορτία πάνω στις οδογέφυρες τα οποία προέρχονται από διάφορες κατηγορίες οχημάτων και από πεζούς προσομοιάζονται από τέσσερις πρότυπες φορτίσεις, LM1 έως LM4. Τα οριζόντια οφείλονται στις δυνάμεις πέδησης-επιτάχυνσης και σε φυγόκεντρες και άλλες δυνάμεις.

Αρχικά γίνεται η διαίρεση του καταστρώματος σε ονομαστικές λωρίδες κυκλοφορίας σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1

Πίνακας 1.1 Διαίρεση πλάτους οδοστρώματος σε ονομαστικές λωρίδες φόρτισης

Πλάτος οδοστρώματος w	Αριθμός ονομαστικών λωρίδων	Πλάτος ονομαστικής λωρίδας w_1	Πλάτος εναπομένουσας επιφάνειας
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_1 = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_1 = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_1 = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_1$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Για παράδειγμα, για πλάτος οδοστρώματος ίσο με 11m, $n_1 = \text{Int}\left(\frac{11}{3}\right) = 3$,

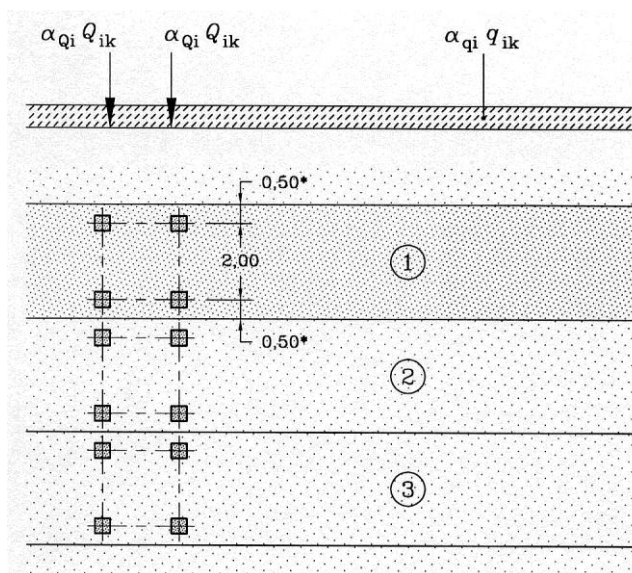
και το πλάτος της εναπομένουσας επιφάνειας είναι $11 - 3 \times 3 = 2\text{m}$.

Η λωρίδα κυκλοφορίας η οποία προκαλεί τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη αριθμείται ως Λωρίδα 1, η λωρίδα κυκλοφορίας που προκαλεί τα δεύτερα λιγότερο δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη αριθμείται ως Λωρίδα 2 κλπ. ο αριθμός των λωρίδων που πρέπει να ληφθούν υπόψη ως φορτιζόμενες, η θέση τους στο οδόστρωμα και η αρίθμησή τους θα πρέπει να επιλέγεται έτσι, ώστε τα εντατικά μεγέθη από τα προσομοιώματα φόρτισης να είναι τα δυσμενέστερα.

1.5.1. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

1.5.1.1. Πρότυπη φόρτιση 1

Το προσομοίωμα φόρτισης αυτό απεικονίζει συγκεντρωμένα και ομοιόμορφα κατανομημένα φορτία, τα οποία καλύπτουν την πλειονότητα των επιδράσεων από την κυκλοφορία βαρέων και επιβατικών οχημάτων. Η προσομοίωση γίνεται σύμφωνα με το Σχήμα 1.1 και τις τιμές του Πίνακα 1.2 . Οι τιμές των συντελεστών δίνονται στον Πίνακα 1.3.



Όπου

(1) Λωρίδα1 : $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$; $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$

(2) Λωρίδα2 : $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$; $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

(3) Λωρίδα3 : $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$; $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

* Για $w_l = 3,00 \text{ m}$

Σχήμα 1.1 Εγκάσια τοποθέτηση των φορτίων του Προσομοιώματος Φόρτισης 1

Πίνακας 1.2 Χαρακτηριστικές τιμές της Πρότυπης Φόρτισης 1

Θέση	Σύστημα δίδυμου άξονα <i>TS</i>	<i>Σύστημα UDL</i>
	Αξονικά Φορτία Q_{ik} (kN)	q_{ik} (kN/m ²)
Λωρίδα 1	300	9
Λωρίδα 2	200	2,5
Λωρίδα 3	100	2,5
Λοιπές λωρίδες	0	2,5
Εναπομένουσα επιφάνεια (q_{ik})	0	2,5

Πίνακας 1.3 Συντελεστές a_{Qi} και a_{qi}

Θέση	Συντελεστής a_{Qi} για τον ΔΑ (TS)	Συντελεστής a_{qi} για το ΟΚΦ (UDL)
Λωρίδα κυκλοφορίας 1	$a_{Q1} = 0,9$	$a_{q1} = 1,0$
Λωρίδα κυκλοφορίας 2	$a_{Q2} = 0,9$	$a_{q2} = 1,0$
Λωρίδα κυκλοφορίας 3	$a_{Q3} = 0,9$	$a_{q3} = 1,0$
Άλλες λωρίδες κυκλοφορίας	-	$a_{qi} = 1,0$
Λοιπή επιφάνεια	-	$a_{qr} = 1,0$

1.5.2. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

1.5.2.1. Δύναμη πέδησης-επιτάχυνσης

Η δύναμη πέδησης Q_{lk} θα λαμβάνεται ως διαμήκης δύναμη ασκούμενη στο επίπεδο της επιφάνειας του οδοστρώματος και θα υπολογίζεται ως ένα κλάσμα των συνολικών μέγιστων κατακόρυφων φορτίων που αντιστοιχούν στην Πρότυπη Φόρτιση 1 που ενδέχεται να εφαρμοστούν στη Λωρίδα 1. Η δύναμη αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως ασκούμενη κατά μήκος του άξονα οποιασδήποτε λωρίδας και υπολογίζεται όπως φαίνεται στη σχέση (1.11)

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k}) + 0,10\alpha_{q1}q_{1k}w_1L$$

$$180\alpha_{Q1} (kN) \leq Q_{lk} \leq 900 (kN) \quad (1.11)$$

όπου:

L είναι το μήκος του καταστρώματος ή το υπό εξέταση μέρος αυτού

Οι δυνάμεις επιτάχυνσης θα θεωρούνται του ίδιου μεγέθους όπως και οι δυνάμεις πέδησης, αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση

1.5.2.2. Φυγόκεντρες και άλλες εγκάρσιες δυνάμεις

Η φυγόκεντρος δύναμη Q_{tk} θα πρέπει να λαμβάνεται ως εγκάρσια δύναμη ασκούμενη στο επίπεδο του αποπερατωμένου οδοστρώματος και ακτινικά ως προς τον άξονα του οδοστρώματος.

1.5.3. ΟΜΑΔΕΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Για το συνδυασμό των παραπάνω συστημάτων φόρτισης χρησιμοποιούνται οι ομάδες φορτίων κυκλοφορίας όπως δίνονται στον πίνακα 4.4a του EN1991-2:2003

1.5.4. ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΚΟΠΩΣΗΣ

Ο ευρωκώδικας EN1991-2 καθορίζει πέντε διαφορετικά προσομοιώματα φόρτισης, ΠΦΚ1 έως ΠΦΚ5. Αυτά αντιστοιχούν σε διάφορες χρήσεις καθώς αποφασίστηκε ότι ο ευρωκώδικας θα έπρεπε να δίνει:

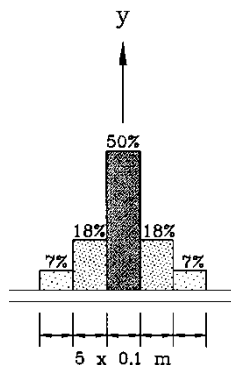
- Ένα μάλλον συντηρητικό προσομοίωμα φόρτισης που γρήγορα να αναδεικνύει σε ποια κομμάτια της κατασκευής πρόκειται να υπάρξει πρόβλημα κόπωσης
- Ένα ή περισσότερα μοντέλα που θα χρησιμοποιούνται για εκτέλεση απλών ελέγχων
- Ένα ή περισσότερα μοντέλα που θα χρησιμοποιούνται για ακριβείς ελέγχους (βασισμένους στον υπολογισμό ισοδύναμων βλαβών)

Έτσι λοιπόν τα ΠΦΚ1 και ΠΦΚ 2 χρησιμοποιούνται για έλεγχο του κατά πόσο η διάρκεια ζωής κόπωσης μπορεί να θεωρηθεί απεριόριστη όταν δίνεται ένα όριο κόπωσης σταθερής διακύμανσης της τάσης, το

ΠΦΚ 3 είναι αυτό που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του φορέα έναντι κόπωσης, όπως και τα ΠΦΚ 4 και ΠΦΚ 5 που όμως χρησιμοποιούνται μόνο όταν υπάρχουν επαρκή δεδομένα (στατιστικά).

Για την αξιολόγηση των γενικών αποτελεσμάτων τα προσομοιώματα τοποθετούνται κεντρικά στις λωρίδες βραδείας κυκλοφορίας .

Για την αξιολόγηση των τοπικών αποτελεσμάτων τοποθετούνται κεντρικά σε όποια λωρίδα δίνει τα δυσμενέστερα αποτελέσματα. Όπου η εγκάρσια τοποθέτηση των οχημάτων για τις Πρότυπες Φορτίσεις Κόπωσης 3, 4 και 5 είναι σημαντική για τα υπό εξέταση εντατικά μεγέθη θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μια στατιστική κατανομή αυτής της εγκάρσιας τοποθέτησης σύμφωνα με το Σχήμα 1.2



Σχήμα 1.2 Κατανομή εγκάρσιας τοποθέτησης οχήματος

Για τον υπολογισμό του εύρους ισοδύναμων τάσεων βλάβης για τον έλεγχο κόπωσης, τα αξονικά φορτία του προσομοιώματος φόρτισης κόπωσης 3 θα πολλαπλασιάζονται με 1.75 για έλεγχο σε ενδιάμεσες στηρίξεις σε συνεχείς γέφυρες και 1.40 για έλεγχο σε άλλες περιοχές.

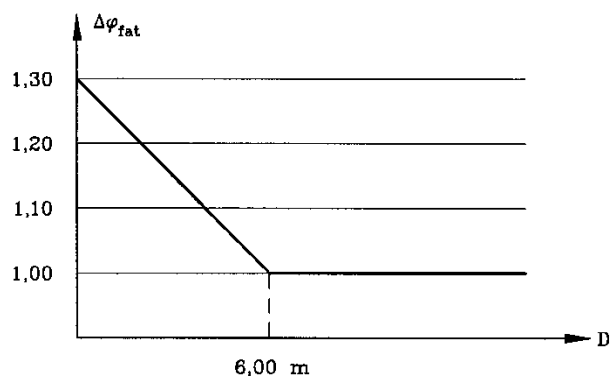
Κοντά στους αρμούς διαστολής πρέπει να εφαρμόζεται σε όλα τα φορτία ο συντελεστής προσαύξησης $\Delta\varphi_{fat}$ που δίνεται από τη σχέση (1.12)

$$\Delta\varphi_{fat} = 1,30 \left(1 - \frac{D}{26} \right) , \quad \Delta\varphi_{fat} \geq 1 \quad (1.12)$$

όπου:

D είναι η απόσταση (m) της εξεταζόμενης διατομής από τον αρμό διαστολής

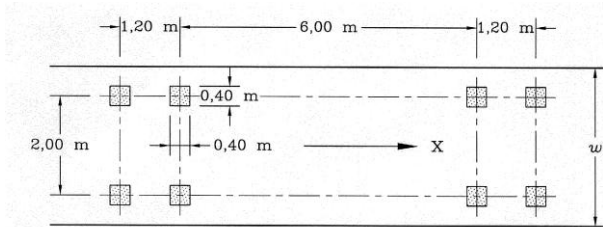
Σχηματικά οι τιμές του συντελεστή συναρτήσει της απόστασης της εξεταζόμενης διατομής από τον αρμό διαστολής φαίνονται στο Σχήμα 1.3



Σχήμα 1.3 Συντελεστής $\Delta\varphi_{fat}$ συναρτήσει της απόστασης D από τον αρμό

Προσομοίωμα Φόρτισης Κόπωσης 3

Αυτό το προσομοίωμα φόρτισης συνίσταται από τέσσερις άξονες, κάθε ένας από τους οποίους έχει δύο όμοιους τροχούς. Το βάρος κάθε άξονα ισούται με 120 kN, και η επιφάνεια επαφής κάθε τροχού είναι ένα τετράγωνο πλευράς 0.40 m όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.4



Όπου

w_1 : Το πλάτος της λωρίδας

X : Ο διαμήκης άξονας της γέφυρας

Σχήμα 1.4 Προσομοίωμα φόρτισης κόπωσης 3

Θα πρέπει να υπολογίζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τάσεις και τα εύρη των τάσεων για κάθε κύκλο διακύμανσης της τάσης, δηλαδή η αλγεβρική τους διαφορά, που προκύπτουν από τη διέλευση του προσομοιώματος κατά μήκος της γέφυρας, $\Delta\sigma_{\text{ΠΦΚ}} = |\max\sigma_{\text{ΠΦΚ}} - \min\sigma_{\text{ΠΦΚ}}|$.

Εάν το άνοιγμα της γέφυρας είναι πάνω από 40 μέτρα τότε θα πρέπει να λαμβάνεται και δεύτερο όχημα στην ίδια λωρίδα κυκλοφορίας με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η γεωμετρία του δεύτερου οχήματος είναι όπως ορίζεται πιο πάνω στο (1) και το βάρος του κάθε άξονα ισούται με 36 kN (αντί των 120 kN),
- Η απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων, η οποία μετριέται από κέντρο σε κέντρο στα οχήματα, δεν είναι μικρότερη από 40 m.

Κάθε τυπικό βαρύ όχημα θεωρείται ότι διασχίζει τη γέφυρα απουσία οποιουδήποτε άλλου οχήματος.

1.6. ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ

Η δράση του ανέμου αναπαρίσταται με ένα απλοποιημένο σύνολο πιέσεων ή δυνάμεων των οποίων οι επιδράσεις είναι ισοδύναμες με τις ακραίες επιδράσεις του στροβιλώδους ανέμου.

Η δύναμη του ανέμου υπολογίζεται από τη σχέση (1.13)

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}} \quad (1.13)$$

όπου:

$c_s c_d$ είναι ο συνδυασμένος δυναμικός συντελεστής

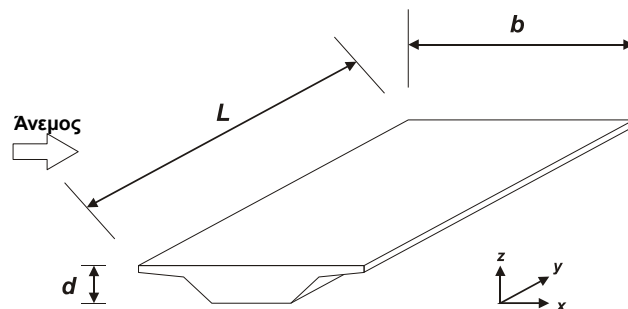
c_f είναι ο συντελεστής δύναμης για την κατασκευή ή το στοιχείο κατασκευής

$q_p(z_e)$ είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος αναφοράς z_e

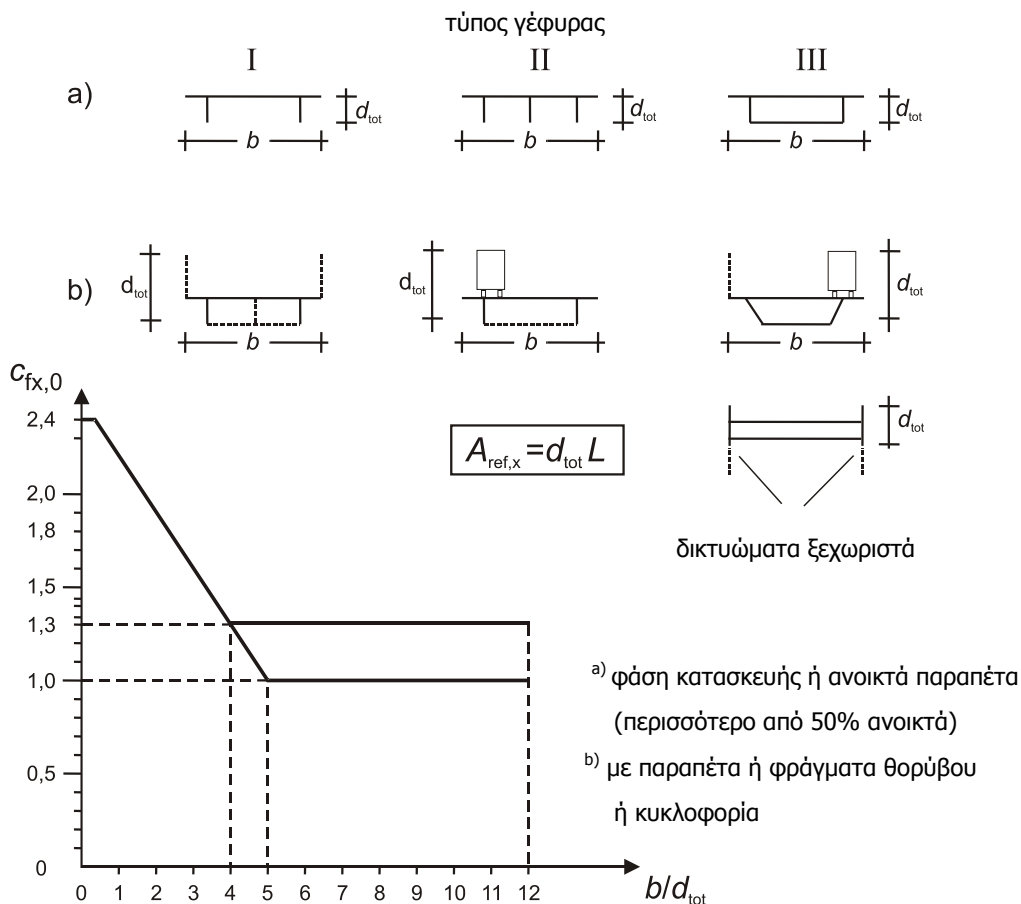
A_{ref} είναι η επιφάνεια αναφοράς της κατασκευής ή στοιχείου της κατασκευής

Εάν δεν απαιτείται διαδικασία δυναμικής απόκρισης, το $c_s c_d$ μπορεί να λαμβάνεται ίσο με 1,0.

Οι συντελεστές δύναμης στη διεύθυνση x , όπου η διεύθυνση όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5 Σύστημα αξόνων που χρησιμοποιείται για τη μελέτη των φορτίων του ανέμου υπολογίζονται όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.6:



Σχήμα 1.6 Συντελεστής $c_{fx,0}$ ανάλογα με τον τύπο της ανωδομής της γέφυρας

Όπου η προσήνεμη πλευρά έχει κλίση ως προς την κατακόρυφο, ο συντελεστής δύναμης $c_{fx,0}$ μπορεί να μειώνεται κατά 0,5 % για κάθε μοίρα της κλίσης, α_1 από την κατακόρυφο, που περιορίζεται σε μια μέγιστη μείωση του 30 %.

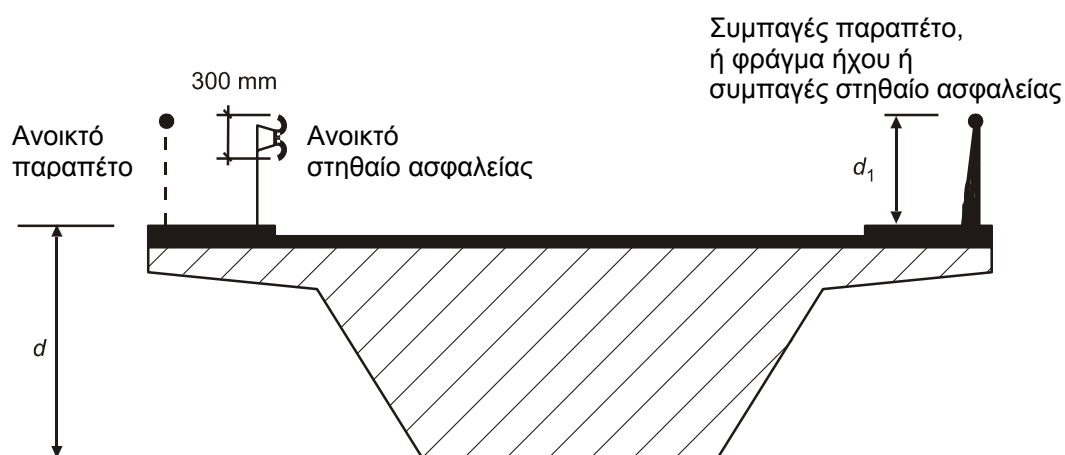
Οι επιφάνειες αναφοράς $A_{ref,x}$ για καταστρώματα με ολόσωμες δοκούς και για συνδυασμούς φορτίων χωρίς φορτίο κυκλοφορίας θα ορίζονται ως το άθροισμα:

- της επιφάνειας της εμπρόσθιας κύριας δοκού
- της επιφάνειας των τμημάτων των άλλων κυρίων δοκών που προεξέχουν κάτω από την πρώτη
- της επιφάνειας του τμήματος του πεζοδρομίου ή του υποστρώματος της οδού που προεξέχει πάνω από την εμπρόσθια κύρια δοκό

- της επιφάνειας των συμπαγών στηθαίων ή φραγμάτων ήχου, όπου υπάρχουν, πάνω από την επιφάνεια που περιγράφεται στο παραπάνω ή, στην περίπτωση απουσίας τέτοιου εξοπλισμού, 0,3 m για κάθε ανοικτό παραπέτο ή κιγκλιδώμα.

Πίνακας 1.4 Πίνακας υπολογισμού ύψους που χρησιμοποιείται για το $A_{ref,x}$

Σύστημα στηθαίων ασφαλείας	σε μια πλευρά	και στις δύο πλευρές
Ανοικτό παραπέτο ή ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Συμπαγές παραπέτο ή συμπαγές στηθαίο ασφαλείας	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

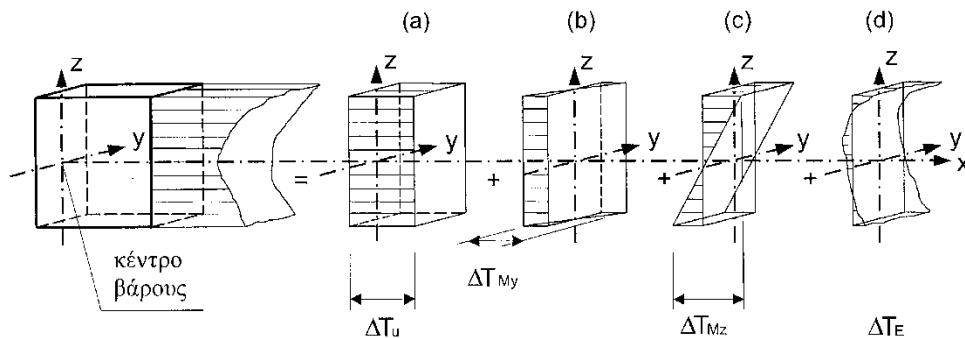


Σχήμα 1.7 Ύψος που χρησιμοποιείται για το $A_{ref,x}$

Οι συντελεστές στη διεύθυνση z , $c_{f,z}$, θα λαμβάνονται από το Σχήμα 8.6 του EN1991-1-4:2005 ενώ η επιφάνεια αναφοράς $A_{ref,z}$ είναι ίση με την επιφάνεια κάτοψης.

1.7. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Η κατανομή θερμοκρασίας σε ένα μεμονωμένο δομικό στοιχείο μπορεί να διακριτοποιηθεί σε τέσσερις βασικές συνιστώσες, όπως αυτές δίνονται στο Σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8 Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών κατανομής θερμοκρασίας

Όπου:

ΔT_U συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασία

ΔT_M γραμμική συνιστώσα θερμοκρασιακής μεταβολής

ΔT_E μη-γραμμικό μέρος συνιστώσας θερμοκρασιακής μεταβολής

Για τη σύγχρονη δράση των συνιστωσών θερμοκρασίας και θερμοκρασιακής διαφοράς χρησιμοποιείται η έκφραση που δίνεται στη σχέση (1.14)

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (ή } \Delta T_{M,cool}) + \omega_N \Delta T_{N,exp} \text{ (ή } \Delta T_{N,con}) \quad (1.14)$$

$$\omega_M \Delta T_{M,heat} \text{ (ή } \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp} \text{ (ή } \Delta T_{N,con})$$

όπου :

$$\omega_N = 0,35 \text{ και } \omega_M = 0,75$$

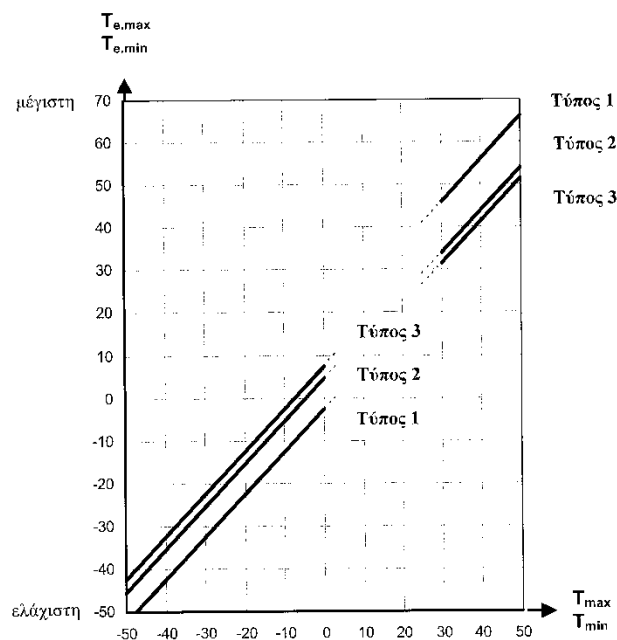
$\Delta T_{N,con}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή του μέγιστου εύρους της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας για συστολή

$\Delta T_{N,exp}$ η χαρακτηριστική τιμή του μέγιστου εύρους της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας για διαστολή

$$\text{> } \Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min}$$

$$\text{> } \Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0$$

Οι τιμές των $T_{e,min}$ και $T_{e,max}$ λαμβάνονται από το Σχήμα 1.9



Σχήμα 1.9 Σχέση μεταξύ ελάχιστης/μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπό σκιά (T_{min}/T_{max}) και ελάχιστης/μέγιστης συνιστώσας ομοιόμορφης θερμοκρασίας γέφυρας ($T_{e,min}/T_{e,max}$)

Το συνολικό εύρος της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας δίνεται από τη σχέση: $\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min}$

Η επίδραση των καθ' ύψος συνιστωσών της θερμοκρασιακής διαφοράς θα πρέπει να εξετάζεται με τη χρήση μιας γραμμικής συνιστώσας της θερμοκρασιακής διαφοράς με τιμές $\Delta T_{M,heat}$ και $\Delta T_{M,cool}$. Οι τιμές αυτές δίνονται στον Πίνακα 1.5.

Πίνακας 1.5 Συνιστώμενες τιμές της γραμμικής συνιστώσας της θερμοκρασιακής διαφοράς για διάφορους τύπους καταστρωμάτων οδογεφυρών, πεζογεφυρών και σιδηροδρομικών γεφυρών

Τύπος καταστρώματος	Άνω επιφάνεια θερμότερη από την κάτω	Κάτω επιφάνεια θερμότερη από την άνω
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Τύπος 2: Σύμμικτο κατάστρωμα	15	18
Τύπος 3: Κατάστρωμα από Ω.Σ.:		
- κιβωτιοειδής διατομή	10	5
- δοκός	15	8
- πλάκα	15	8

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Οι τιμές που δίνονται στον πίνακα αντιπροσωπεύουν άνω οριακές τιμές της γραμμικής συνιστώσας της θερμοκρασιακής διαφοράς για αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις γεωμετρίας γεφυρών.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Οι τιμές που δίνονται στον πίνακα βασίζονται σε πάχος επιφανειακής στρώσης 50mm. Για διαφορετικού πάχους επιφανειακές στρώσεις οι τιμές αυτές θα πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή k_{sur} . Οι συνιστώμενες τιμές του k_{sur} δίνονται στον Πίνακα 1.6.

Πίνακας 1.6 Συνιστώμενες τιμές του k_{sur} για να ληφθεί υπόψη η επιρροή του διαφορετικού πάχους οδοστρώματος

Οδογέφυρες, πεζογέφυρες και σιδηροδρομικές γέφυρες						
Πάχος επιφανειακής στρώσης	Τύπος 1		Τύπος 2		Τύπος 3	
	Άνω θερμότερο από κάτω	Κάτω θερμότερο από άνω	Άνω θερμότερο από κάτω	Κάτω θερμότερο από άνω	Άνω θερμότερο από κάτω	Κάτω θερμότερο από άνω
[mm]	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
χωρίς επιφανειακή στρώση	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
στεγανοποιημένο ¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0

¹⁾ Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν άνω οριακές τιμές για επιφάνειες με σκούρο χρώμα

Η μη γραμμική συνιστώσα της θερμοκρασίας θα αντιμετωπίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 6.1.4.2 του EN1991-1-5:2003.

2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές σχεδιασμού προεντεταμένων γεφυρών κατά τον Ευρωκώδικα. Περισσότερη έμφαση θα δοθεί στα κομμάτια αυτά του Ευρωκώδικα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της μελέτης.

2.2. ΥΛΙΚΑ

Για την κατασκευή ενός έργου από ωπλισμένο σκυρόδεμα, βασική είναι η επιλογή της κατηγορίας του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί.

2.2.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

2.2.1.1. ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Οι κατηγορίες σκυροδέματος υποδηλώνουν τη θλιπτική αντοχή του και αντιστοιχίζονται στη χαρακτηριστική (5%) κυλινδρική f_{ck} ή την κυβική αντοχή $f_{ck,cube}$. Στον ευρωκώδικα βασίζονται στην χαρακτηριστική κυλινδρική αντοχή f_{ck} προσδιοριζόμενη στις 28 ημέρες με μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή την τιμή C90/105. Στον ευρωκώδικα δε δίνεται κάποιο ελάχιστο όσον αφορά την κατηγορία σκυροδέματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προεντεταμένο σκυρόδεμα αλλά το εύρος των κατηγοριών που χρησιμοποιούνται για γέφυρες προεντεταμένου σκυροδέματος είναι C30/37 έως C70/85. Όσον αφορά τις σύμμικτες γέφυρες το αντίστοιχο εύρος που καλύπτεται από τον ευρωκώδικα είναι C20/25 έως C60/75.

Για την περίπτωση που η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος χρειάζεται να υπολογιστεί για χρόνο μικρότερο των 28 ημερών (όπως π.χ. μεταφορά προέντασης) η μέση θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος συναρτήσει του χρόνου δίνεται από τη σχέση (2.1)

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \quad (2.1)$$

όπου

f_{cm} Μέση θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών
 $\beta_{cc}(t)$ Συντελεστής που εξαρτάται από την ηλικία t του σκυροδέματος που δίνεται από τη σχέση (2.2)

$$\beta_{cc}(t) = e^{\left\{ s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right] \right\}} \quad (2.2)$$

όπου

t ηλικία του σκυροδέματος σε ημέρες

S Συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου:

= 0,20 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 42,5 R, CEM 53,5 N και CEM 53,5 R (Κατηγορία R)

= 0,35 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 32,5 R, CEM 42,5 N (Κατηγορία N)

= 0,38 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 32,5 N (Κατηγορία S)

2.2.1.2. ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αναφέρεται στην υψηλότερη τάση η οποία αναπτύσσεται υπό κεντρικό εφελκυσμό. Η ανάπτυξη της με το χρόνο επηρεάζεται πολύ από τις συνθήκες συντήρησης και ξήρανσης καθώς και από το σχήμα των αδρανών και τη σύσταση του σκυροδέματος σε αυτά. Η εφελκυστική αντοχή δίνεται από τη σχέση (2.3)

$$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^a \cdot f_{ctm} \quad (2.3)$$

όπου

f_{ctm} Μέση τιμή αντοχής σκυροδέματος σε καθαρό εφελκυσμό

$\beta_{cc}(t)$ Όπως στην έκφραση για τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

Λόγω του ότι αυτή η σχέση αποτελεί εκτίμηση καθώς η επιρροή των παραπάνω παραγόντων είναι σημαντική στην εφελκυστική αντοχή, προτείνεται να γίνονται δοκιμές για περισσότερη ακρίβεια. Η μέση καμπτική εφελκυστική αντοχή των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα δίνεται από τη σχέση (2.4)

$$f_{ctm,fl} = \max \{ (1,6 - h/1000) f_{ctm}; f_{ctm} \} \quad (2.4)$$

όπου

h είναι το συνολικό ύψος του δομικού στοιχείου σε mm

f_{ctm} είναι η μέση αξονική εφελκυστική αντοχή η οποία προκύπτει από τον Πίνακα 2.1

Τα χαρακτηριστικά της αντοχής και παραμόρφωσης του σκυροδέματος δίνονται στον Πίνακα 2.1

2.2.1.3. ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η τιμή της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού στις γέφυρες από ωπλισμένο σκυρόδεμα δίνεται από τη σχέση (2.5)

$$f_{cd} = a_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (2.5)$$

όπου

γ_c είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα

a_{cc} είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο. Η συνιστώμενη τιμή του για γέφυρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι 0.85.

Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού δίνεται από τη σχέση (2.6)

$$f_{ctd} = a_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_c \quad (2.6)$$

όπου

γ_C είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
 α_{ct} είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην αντοχή σε εφελκυσμό και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο. Η συνιστώμενη τιμή του για γέφυρες είναι 1.

2.2.1.4. ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Στον ευρωκώδικα γίνεται διάκριση στις απαιτήσεις για τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων που χρησιμοποιείται στην καθολική ανάλυση και στον έλεγχο διατομών.

Στη μη-γραμμική ανάλυση η σχέση μεταξύ σ_c και την ε_c δίνεται από τη σχέση (2.7)

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \quad (2.7)$$

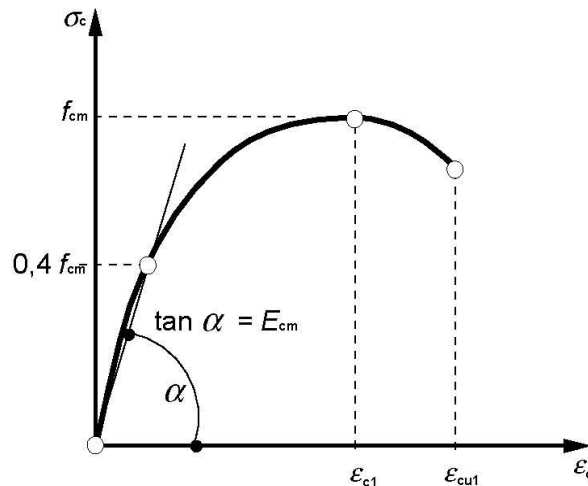
όπου

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

ε_{c1} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην κορυφή της τάσης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1

$k = 1.05 E_{cm} \times |\varepsilon_{c1}| / f_{cm}$ όπου για γέφυρες το f_{cm} αντικαθίσταται από το $\gamma_{cf} \cdot f_{ck}$ όπου $\gamma_{cf} = 1.1 \cdot \gamma_S / \gamma_C$

Η σχηματική παράσταση της σχέσης αυτής φαίνεται στο Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1 Σχηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων για την ανάλυση των κατασκευών.

Στο σχεδιασμό διατομών μπορεί να χρησιμοποιούνται απλοποιημένες σχέσεις τάσεων παραμορφώσεων όπως το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα. Το τελευταίο δίνεται από τις σχέσεις (2.8) και (2.9)

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{για } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (2.8)$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{για } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \quad (2.9)$$

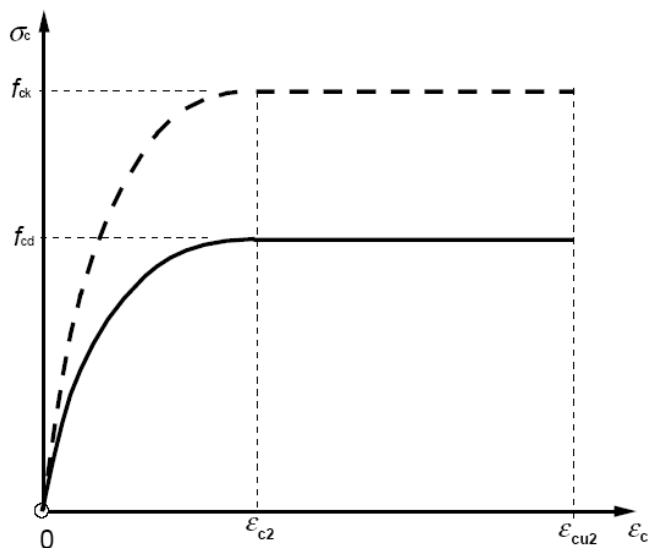
όπου

n είναι ο εκθέτης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1

ε_{c2} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη

ε_{cu2} είναι η παραμόρφωση αστοχίας

Η σχηματική παράσταση της σχέσης αυτής φαίνεται στο Σχήμα 2.2



Σχήμα 2.2 Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα για σκυρόδεμα υπό θλίψη

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης σκυροδέματος

	Αντοχή								Αναλυτική σχέση / Εξήγηση
f_{ck} (MPa)	16	20	25	30	35	40	45	50	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	20	25	30	37	45	50	55	60	
f_{cm} (MPa)	24	28	33	38	43	48	53	58	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}$ ($2/3$) $\leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 f \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% οριακό ποσοστό (fractile)
$F_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% οριακό ποσοστό (fractile)
E_{cm} (GPa)	29	30	31	33	34	35	36	37	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)
ϵ_{c1} (‰)	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	$\epsilon_{c1} (\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0,31} < 28$
ϵ_{cu1} (‰)	3,5								για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu1} (\text{‰}) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
ϵ_{c2} (‰)	2,0								βλ. Σχήμα 3.3 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c2} (\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$
ϵ_{cu2} (‰)	3,5								βλ. Σχήμα 3.3 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu2} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
N	2,0								για $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
ϵ_{c3} (‰)	1,75								βλ. Σχήμα 3.4 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c3} (\text{‰}) = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
ϵ_{cu3} (‰)	3,5								βλ. Σχήμα 3.4 για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu3} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

Όπου:

f_{ck}	Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος στις 28 ημέρες
$f_{ck,cube}$	Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κύβου σκυροδέματος στις 28 ημέρες
f_{cm}	Μέση θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών
f_{ctm}	Μέση τιμή αντοχής σκυροδέματος σε καθαρό εφελκυσμό
f_{ctk}	Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε καθαρό εφελκυσμό
E_{cm}	Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος
ε_{cl}	Θλιπτική παραμόρφωση στο σκυρόδεμα στη μέγιστη τάση f_c
ε_{cu}	Θλιπτική παραμόρφωση αστοχίας στο σκυρόδεμα

Ο λόγος του poisson λαμβάνεται 0.2 για μη-ρηγματωμένο σκυρόδεμα και 0 για ρηγματωμένο.

Ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής λαμβάνεται $10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$.

Η πυκνότητα του ωπλισμένου σκυροδέματος λαμβάνεται $2500 Kg/m^3$

2.2.2. ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο ευρωκώδικας περιέχει κανόνες που αναφέρονται σε οπλισμούς με τη μορφή ράβδων, ράβδων σε κουλούρες, δομικών πλεγμάτων και δικτυωτών δοκών. Στις γέφυρες χρησιμοποιούνται κυρίως ράβδοι οπλισμού.

Η συμπεριφορά του χάλυβα προσδιορίζεται μέσα από μια σειρά από ιδιότητες οι σημαντικότερες από τις οποίες για το μελετητή είναι το όριο διαρροής f_{yk} ή $f_{0,2k}$, η πλαστιμότητα, η συγκολλησιμότητα, η αντοχή σε κόπωση και άλλες.

2.2.2.1. ΑΝΤΟΧΗ

Το όριο διαρροής f_{yk} (ή το όριο 0,2%, $f_{0,2k}$) ορίζεται ως η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής σε άμεσο αξονικό εφελκυσμό και πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα σε 400 και 600 MPa.

2.2.2.2. ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Η πλαστιμότητα του οπλισμού ορίζεται από το λόγο της εφελκυστικής αντοχής προς την τάση διαρροής $(f_t/f_y)_k$ καθώς και την μήκυνση ε_{uk} στη μέγιστη δύναμη. Υπάρχουν 3 κατηγορίες πλαστιμότητας που τα χαρακτηριστικά τους δίνονται στον Πίνακα 2.2

Πίνακας 2.2 Ιδιότητες οπλισμού

Μορφή προϊόντος	Ράβδοι και ράβδοι που προέρχονται από κουλούρες			Απαίτηση ή πιθανότητα μη συμμόρφωσης (%)
	A	B	C	-
Κατηγορία				
Ελάχιστη τιμή του $k = (f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Χαρακτηριστική ανηγμένη παραμόρφωση στην μέγιστη δύναμη, ε_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0

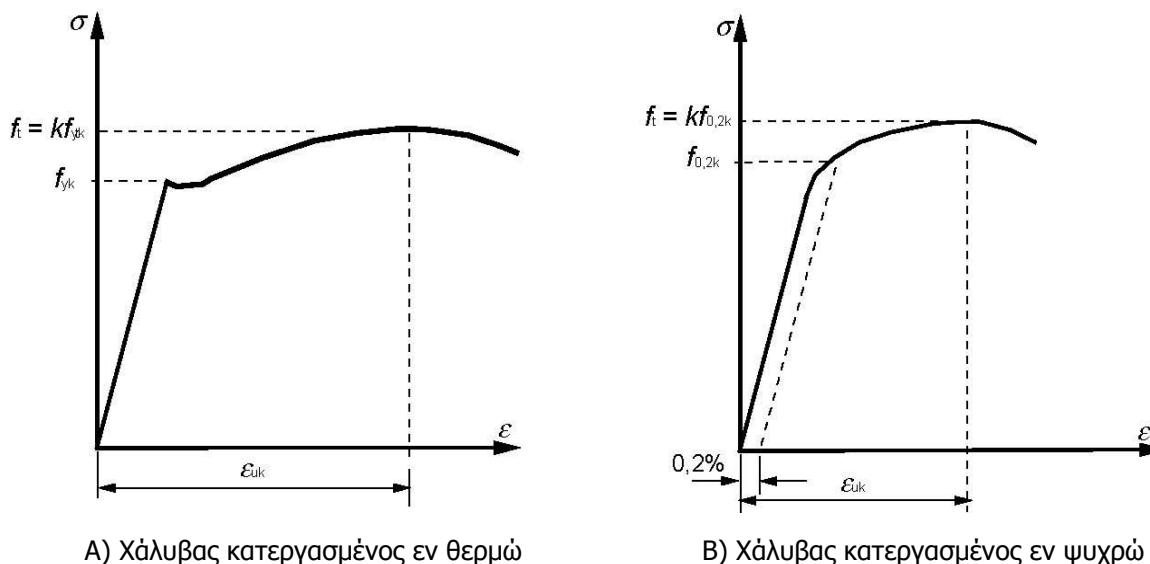
Για γέφυρες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οπλισμοί κατηγορίας πλαστιμότητας B ή C. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι στις γέφυρες μπορεί να απαιτηθούν μεγάλες παραμορφώσεις του οπλισμού πριν το σκυρόδεμα φτάσει στην οριακή παραμόρφωση αστοχίας.

2.2.2.3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

Οι επιτρεπόμενες διαδικασίες συγκόλλησης για ράβδους οπλισμού δίνονται στον πίνακα 3.4 του EN 1992-1-1.

2.2.2.4. ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η σχέση τάσης παραμόρφωσης του χάλυβα δίνεται στο Σχήμα 2.3

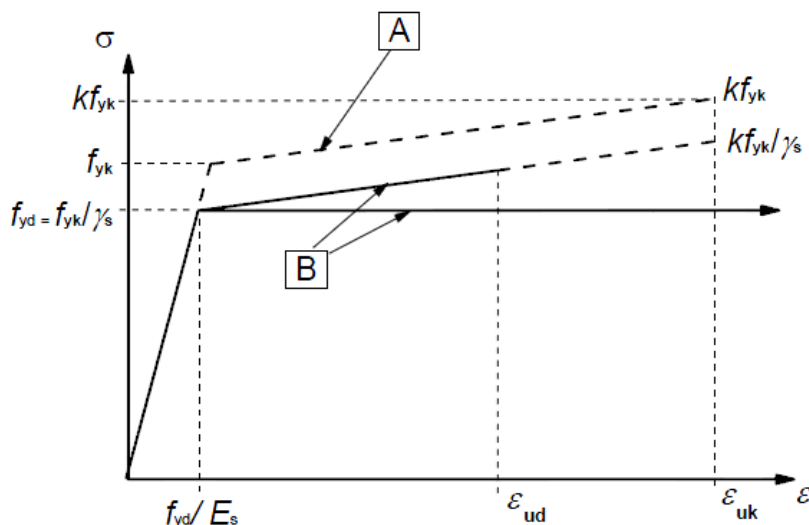


Σχήμα 2.3 Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα οπλισμού (δίνονται οι απόλυτες τιμές της εφελκυστικής τάσης και της παραμόρφωσης)

Για το σχεδιασμό των διατομών ο ευρωκώδικας προτείνει δύο εναλλακτικές σχέσεις τάσης παραμόρφωσης που φαίνονται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κεκλιμένος δεύτερος κλάδος με όριο παραμόρφωσης ϵ_{ud} και μέγιστη τάση $k f_{yk}/\gamma_s$ όπου $k=(f_t/f_y)_k$
- Οριζόντιος δεύτερος κλάδος χωρίς την ανάγκη ελέγχου ορίου παραμόρφωσης.

όπου η συνιστώμενη τιμή για την ϵ_{ud} είναι $0.9 \epsilon_{uk}$



Σχήμα 2.4 Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (για εφελκυσμό και θλίψη)

Όπου

A	το εξιδανικευμένο διάγραμμα
B	το διάγραμμα σχεδιασμού
k	$(f_t/f_y)_k$

Για γέφυρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα:

Ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής λαμβάνεται $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Η πυκνότητα του χάλυβα λαμβάνεται 7850 Kg/m^3

Η τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας E_s μπορεί να θεωρείται ίση προς 200 GPa

2.2.3. ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Ο χάλυβας προέντασης προέντασης που χρησιμοποιείται στους τένοντες προεντάσεως πρέπει κατά τον ευρωκώδικα να έχει τη μορφή συρμάτων, ράβδων ή συρματοσχοίνων και θα πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα του EN 10138. Οι ιδιότητες που προσδιορίζουν ένα χάλυβα προέντασης είναι συνήθως η αντοχή του, η κατηγορία χαλάρωσης, το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς του.

2.2.3.1. ΑΝΤΟΧΗ – ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Η ταξινόμηση γίνεται προσδιορίζοντας την τιμή του συμβατικού ορίου διαρροής 0,1% ($f_{p0,1k}$) καθώς και τον λόγο της αντοχής σε εφελκυσμό προς το συμβατικό όριο αντοχής ($f_{pk} / f_{p0,1k}$) και την μήκυνση στο μέγιστο φορτίο (ϵ_{uk}).

Η συμβατική τάση διαρροής 0,1% ($f_{p0,1k}$) και η προδιαγεγραμμένη τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό (f_{pk}) ορίζονται ως η χαρακτηριστική τιμή του συμβατικού φορτίου 0,1% και το χαρακτηριστικό μέγιστο φορτίο του αξονικού εφελκυσμού αντιστοίχως, διαιρεμένα προς το ονομαστικό εμβαδόν της διατομής. Για λόγους πλαστιμότητας σύμφωνα με το EN 10138 θα πρέπει $f_{pk} / f_{p0,1k} \geq k$ όπου η συνιστώμενη τιμή του k είναι 1.1.

2.2.3.2. ΧΑΛΑΡΩΣΗ

Η χαλάρωση του χάλυβα εξαρτάται από το χρόνο, τη θερμοκρασία και την ένταση. Ο ευρωκώδικας διακρίνει τρεις κατηγορίες χαλάρωσης:

- Κατηγορία 1: για σύρματα και συρματοσχοίνα με υψηλή χαλάρωση
- Κατηγορία 2: για σύρματα και συρματοσχοίνα με χαμηλή χαλάρωση
- Κατηγορία 3: εν θερμώ επεξεργασμένες ράβδους προέντασης

Οι σχέσεις που δίνουν τη χαλάρωση για κάθε κατηγορία δίνονται στην (2.10) έως (2.12).

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 5.39 \cdot \rho \cdot e^{6.7\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} \quad \text{Κατηγορία 1} \quad (2.10)$$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0.66 \cdot \rho \cdot e^{9.1\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} \quad \text{Κατηγορία 2} \quad (2.11)$$

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 1.98 \cdot \rho \cdot e^{8\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} \quad \text{Κατηγορία 3} \quad (2.12)$$

Όπου

$\Delta\sigma_{pr}$ είναι η απόλυτη τιμή των απωλειών χαλάρωσης της προέντασης

σ_{pi} για την προένταση μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος η τιμή σ_{pi} είναι η απόλυτη τιμή της αρχικής προέντασης $\sigma_{pi} = \sigma_{pm0}$

t είναι ο χρόνος μετά την τάνυση (σε ώρες)

- $\mu = \sigma_{pi}/f_{pk}$, όπου f_{pk} είναι η χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής του χάλυβα προέντασης
- ρ_{1000} είναι η απώλεια χαλάρωσης (σε %), 1000 ώρες μετά την τάνυση και σε μέση θερμοκρασία 20°C. Οι τιμές του θα λαμβάνονται από το πιστοποιητικό του χάλυβα προέντασης ή εναλλακτικά ο ευρωκώδικας προτείνει τις τιμές 8%, 2.5% και 4% για τις κατηγορίες χαλάρωσης 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

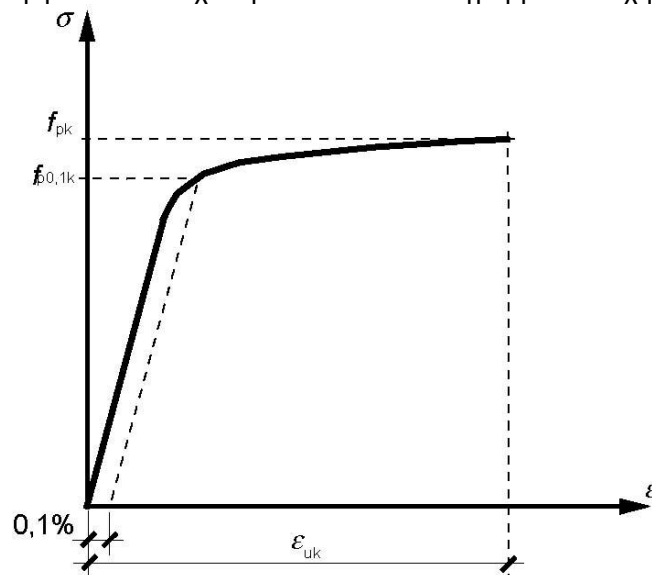
Οι τελικές απώλειες χαλάρωσης υπολογίζονται για χρόνο 500000 ώρες (57 έτη) παρότι οι παραπάνω εξισώσεις προβλέπουν περεταίρω παραμόρφωση μετά από το σημείο αυτό.

2.2.3.3. ΤΙΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Η τιμή σχεδιασμού των τάσεων του χάλυβα f_{pd} , λαμβάνεται ως $f_{p0,1k}/\gamma_s$

2.2.3.4. ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η σχέση τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα δίνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.5



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα προέντασης (δίνονται οι απόλυτες τιμές εφελκυστικής τάσης και παραμόρφωσης)

Για το σχεδιασμό των διατομών ο ευρωκώδικας όπως και στο χάλυβα οπλισμού προτείνει δύο εναλλακτικές παραδοχές σχέσεων τάσεων παραμορφώσεων που φαίνονται στο Σχήμα 2.6 οι οποίες έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- κεκλιμένος δεύτερος κλάδος με οριακή παραμόρφωση ϵ_{ud}
- οριζόντιος δεύτερος κλάδος χωρίς όριο παραμόρφωσης

Δίνεται επίσης και η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η πραγματική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων, εφόσον αυτή είναι γνωστή, με τάση υπεράνω του ελαστικού ορίου μειωμένη αναλογικά με το συντελεστή ασφαλείας γ_s .

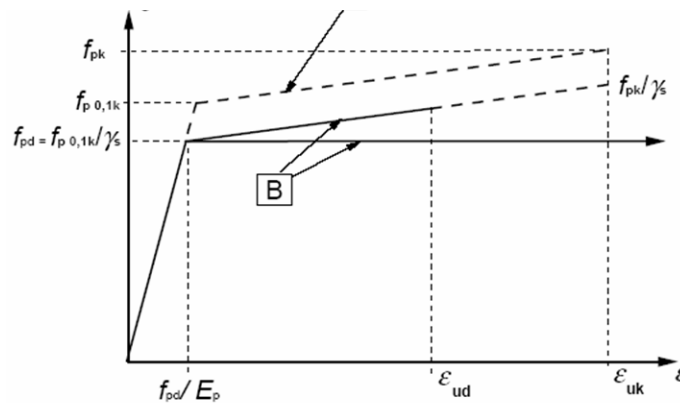
Το μέτρο ελαστικότητας δίνεται στον Πίνακα 2.3.

Η πυκνότητα του χάλυβα λαμβάνεται 7850 Kg/m³

Σημειώνεται ότι οι τιμές που δίνονται παραπάνω θεωρείται ότι ισχύουν για εύρος θερμοκρασίας από +100°C έως -40°C για τον χάλυβα προέντασης στην ολοκληρωμένη κατασκευή.

Πίνακας 2.3 Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα προέντασης

Μέτρο ελαστικότητας E_p	
Συρματόσχοινα	195GPa
Σύρματα και ράβδοι	205GPa



- A** Εξιδανικευμένη
B Σχεδιασμού

Σχήμα 2.6 Εξιδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα προέντασης (δίνονται οι απόλυτες τιμές εφελκυστικής τάσης και παραμόρφωσης)

2.3. ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

2.3.1. ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Ο ερπυσμός προκαλεί την αύξηση των παραμορφώσεων σκυροδέματος που υπόκειται σε σταθερή φόρτιση, πέρα από την αρχική ελαστική του παραμόρφωση ή εναλλακτικά προκαλεί τη μείωση της αρχικής έντασης που προκύπτει από ελαστική ανάλυση όταν μια διατομή υπόκειται σε σταθερή παραμόρφωση. Ο ερπυσμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός στο προεντεταμένο σκυρόδεμα καθώς μειώνει την παραμόρφωση του προεντεταμένου χάλυβα και κατά συνέπεια τη δύναμη προέντασης. Εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως η υγρασία, οι διαστάσεις του στοιχείου, η σύνθεση του σκυροδέματος, ο βαθμός ωρίμανσής του κατά την πρώτη επιβολή του φορτίου καθώς και τη διάρκεια και το μέγεθος της φόρτισης.

Η ερπυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος $\epsilon_{cc}(\infty, t_0)$ κατά τη χρονική στιγμή $t = \infty$ για σταθερή θλιπτική τάση σ_c εφαρμοζόμενη σε σκυρόδεμα ηλικίας t_0 , δίνεται από τη σχέση (2.13)

$$\epsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot (\sigma_c / E_c) \quad (2.13)$$

όπου

$\varphi(\infty, t_0)$ συντελεστής ερπυσμού, που ορίζει τον ερπυσμό μεταξύ των χρόνων t και t_0 , και αναφέρεται σε ελαστική παραμόρφωση στις 28 ημέρες.

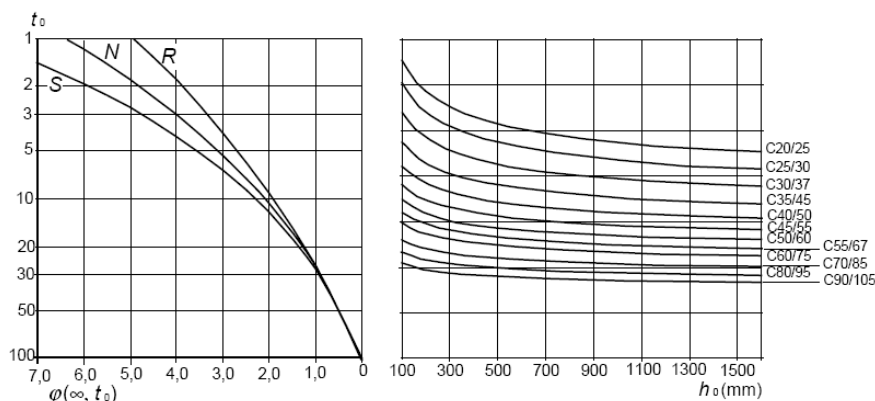
E_c εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που μπορεί να λαμβάνεται ως $1.05E_{cm}$

Ανάλογα με την θλιπτική τάση του σκυροδέματος την ηλικία της φόρτισης t_0 προκύπτει η ανάγκη να ληφθεί υπ' όψη η εξ ερπυσμού μη γραμμικότητα.

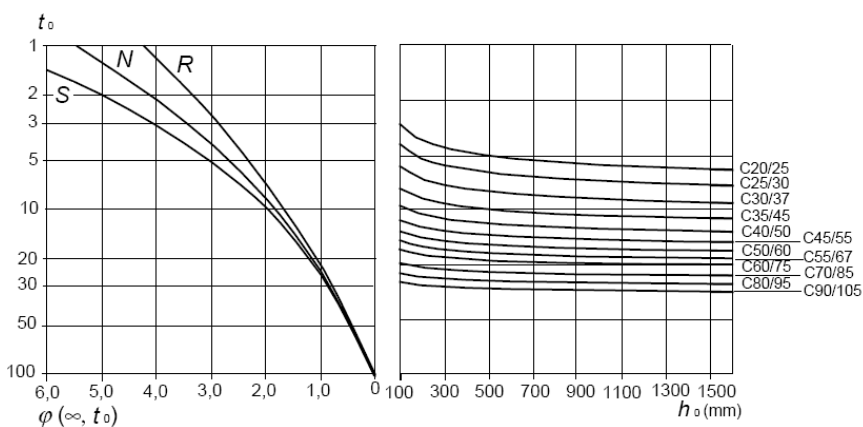
Για $\sigma_c \leq 0.45f_{ck}(t_0)$

Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια, για τον υπολογισμό του ερπυστικού συντελεστή $\varphi(\infty, t_0)$ μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε τα διαγράμματα του 3.1.4 του EN 1992-1-1 είτε οι τύποι του παραρτήματος Β του ίδιου ευρωκώδικα.

- Με χρήση των διαγραμμάτων του σχήματος 3.1 που φαίνονται παρακάτω, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεταξύ -40°C και $+40^\circ\text{C}$ και η σχετική υγρασία είναι μεταξύ $\text{RH} = 40\%$ και $\text{RH} = 100\%$. Στις περιπτώσεις όπου η σχετική υγρασία είναι μεταξύ των παραπάνω τιμών ο ερπυστικός συντελεστής προκύπτει με γραμμική παρεμβολή ή παρεκβολή μεταξύ του Σχήματος 2.7 και του Σχήματος 2.8 που αναφέρονται σε σχετική υγρασία $\text{RH} = 50\%$ και $\text{RH} = 80\%$ αντίστοιχα.

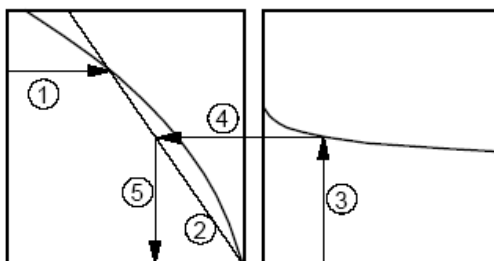


Σχήμα 2.7 Συνθήκες εσωτερικού χώρου – $\text{RH} = 50\%$



Σχήμα 2.8 Συνθήκες υπαίθρου – $\text{RH} = 80\%$

Η πορεία υπολογισμού είναι όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9



Σχήμα 2.9 Πορεία υπολογισμού του ερπυσμού με τη χρήση του Σχήματος 2.7 και του Σχήματος 2.8

- Με χρήση του Παραρτήματος Β

Ο συντελεστής ερπυσμού μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (2.14)

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad (2.14)$$

Όπου

$$\phi_0 = \phi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

ϕ_{RH} είναι συντελεστής για την επιρροή της σχετικής υγρασίας στον ιδεατό συντελεστή ερπυσμού

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{για } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (2.15)$$

$$\phi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{για } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \quad (2.16)$$

RH είναι η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος σε %

$\beta(f_{cm})$ είναι συντελεστής για την επίδραση της αντοχής σκυροδέματος στον ιδεατό συντελεστή ερπυσμού:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (2.17)$$

f_{cm} είναι η μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε MPa, σε ηλικία 28 ημερών

$\beta(t_0)$ είναι συντελεστής για την επίδραση της ηλικίας σκυροδέματος κατά την επιβολή της φόρτισης στον ιδεατό συντελεστή ερπυσμού:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,2})} \quad (2.18)$$

h_0 είναι το ιδεατό πάχος του στοιχείου σε mm, όπου:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} \quad (2.19)$$

A_c είναι η επιφάνεια της διατομής

u είναι η περίμετρος του στοιχείου σε επαφή με την ατμόσφαιρα

$\beta_c(t, t_0)$ είναι συντελεστής που ορίζει την ανάπτυξη του ερπυσμού με την πάροδο του χρόνου μετά την φόρτιση, και μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{-0,3} \quad (2.20)$$

t είναι η ηλικία του σκυροδέματος σε ημέρες, κατά την στιγμή που εξετάζεται

t_0 είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά την επιβολή της φόρτισης σε ημέρες

$t - t_0$ είναι η μη-τροποποιημένη χρονική διάρκεια της φόρτισης σε ημέρες

β_H είναι συντελεστής που εξαρτάται από την σχετική υγρασία (RH σε %) και το ιδεατό πάχος του στοιχείου (h_0 σε mm). Μπορεί να υπολογιστεί από τις:

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{για } f_{cm} \leq 35 \quad (2.21)$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 \quad \text{για } f_{cm} \geq 35 \quad (2.22)$$

$\alpha_{1/2/3}$ είναι συντελεστές για την επιρροή της αντοχής του σκυροδέματος:

$$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad \alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad \alpha_3 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5}$$

Για την επιρροή της κατηγορίας του τύπου του τσιμέντου και την επίδραση των αυξημένων ή μειωμένων θερμοκρασιών στην ωρίμανση του σκυροδέματος δίνονται πληροφορίες στις παραγράφους 2 και 3 του Παραρτήματος Β του EN 1992-1-1.

Για $\sigma_c > 0.45f_{ck}(t_0)$

Ο συντελεστής $\phi(\infty, t_0)$ στον τύπο αντικαθίσταται από τον $\phi_k(\infty, t_0)$ που δίνεται από τη σχέση (2.23)

$$\phi_k(\infty, t_0) = \phi(\infty, t_0) \exp(1,5 (k_\sigma - 0,45)) \quad (2.23)$$

όπου

$\phi_k(\infty, t_0)$ είναι ο συντελεστής ερπυσμού υπό τη θεώρηση της μη-γραμμικότητας, ο οποίος αντικαθιστά τον συντελεστή $\phi(\infty, t_0)$.

k_σ είναι η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων $\sigma_c/f_{cm}(t_0)$, όπου σ_c είναι η θλιπτική τάση και $f_{cm}(t_0)$ η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος τη στιγμή της φόρτισης.

2.3.2. ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Η συνολική συρρίκνωση ε_{cs} , συντίθεται από δύο μέρη: την παραμόρφωση λόγω συστολής ξήρανσης ε_{cd} , και την παραμόρφωση λόγω αυτογενούς συστολής συρρίκνωσης ε_{ca} (Σχέση (2.24))

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad (2.24)$$

Η ανάπτυξη της παραμόρφωσης συστολής ξήρανσης με το χρόνο ακολουθεί τη σχέση (2.25)

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad (2.25)$$

όπου

k_h είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το ονομαστικό μέγεθος h_0 και δίνεται στον Πίνακα 2.4.

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \quad (2.26)$$

Όπου

t είναι η ηλικία του σκυροδέματος τη δεδομένη στιγμή, σε ημέρες

t_s είναι η ηλικία του σκυροδέματος (ημέρες) στην αρχή της συστολής ξήρανσης (ή διόγκωσης). Κανονικά αυτό συμβαίνει στο τέλος του χρόνου συντήρησης.

h_0 είναι το ονομαστικό μέγεθος (mm) της διατομής = $2A_c/u$ όπου

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής

u είναι η περίμετρος του μέρους της διατομής το οποίο είναι εκτεθειμένο κατά την ξήρανση (σε επαφή με την ατμόσφαιρα). Στις προεντεταμένες κιβωτιοειδείς διατομές το u υπολογίζεται ως το κομμάτι της εξωτερικής περιμέτρου που υπόκειται σε ξήρανση συν τη μισή εσωτερική περίμετρο

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp \left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \quad (2.27)$$

$$\mu \epsilon \beta_{RH} = 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] \quad (2.28)$$

όπου:

f_{cm} είναι η μέση θλιπτική αντοχή (MPa)

$f_{cm0} = 10$ MPa

α_{ds1} είναι συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου
 = 3 για Κατηγορία τσιμέντου *S*
 = 4 για Κατηγορία τσιμέντου *N*
 = 6 για Κατηγορία τσιμέντου *R*

α_{ds2} είναι συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου
 = 0,13 για Κατηγορία τσιμέντου *S*
 = 0,12 για Κατηγορία τσιμέντου *N*
 = 0,11 για Κατηγορία τσιμέντου *R*

RH είναι η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος (%)

$RH_0 = 100\%$.

Πίνακας 2.4 Τιμές k_h για την έκφραση (2.25)

h_0	k_h
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

Η αυτογενής παραμόρφωση συστολής συρρίκνωσης προκύπτει από τη σχέση (2.29)

$$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \epsilon_{ca}(\infty) \quad (2.29)$$

όπου:

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

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$$

όπου t σε ημέρες.

2.4. ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ

Στον ευρωκώδικα EN 1992-1-1 το προεντεταμένο σκυρόδεμα αντιμετωπίζεται ως κομμάτι του ωπλισμένου σκυροδέματος που καλύπτει το κανονικά οπλισμένο, το μερικά προεντεταμένο και το πλήρες προεντεταμένο σκυρόδεμα. Η προένταση που εξετάζεται είναι αυτή που εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα μέσω προεντεταμένων τενόντων. Οι τένοντες μπορεί να είναι εσωτερικά του σκυροδέματος ή εξωτερικά. Οι εσωτερικοί τένοντες χωρίζονται σε ταυούμενους πριν τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, με συνάφεια και ταυούμενους μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, με ή χωρίς συνάφεια.

Γενικά οι συνέπειες της προέντασης μπορεί να θεωρούνται είτε ως δράσεις είτε ως αντοχή αλλά στους υπερστατικούς φορείς λαμβάνονται πάντα ως δράσεις.

2.4.1. ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΑΝΥΣΗ

Η μέγιστη δύναμη που εφαρμόζεται σε ένα τένοντα τη στιγμή της τάνυσης δε θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή της σχέσης (2.30)

$$P_{\max} = A_p \cdot \sigma_{p,\max} \quad (2.30)$$

Όπου

A_p είναι το εμβαδό της διατομής του τένοντα

$\sigma_{p,max}$ είναι η μέγιστη τάση που εφαρμόζεται στον τένοντα ίση με $\min \{ 0.8f_{pk}, 0.9f_{p0,1k} \}$

2.4.2. ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΑΜΕΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Οι άμεσες απώλειες περιλαμβάνουν:

- Απώλειες λόγω ελαστικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος ΔP_{el}
- Απώλειες λόγω τριβών $\Delta P_{\mu}(x)$
- Απώλειες λόγω ολίσθησης της αγκύρωσης ΔP_{sl}
- Απώλειες λόγω βραχυχρόνιας χαλάρωσης ΔP_r

Η τιμή της αρχικής δύναμης προέντασης $P_{m0}(x)$ (τη χρονική στιγμή $t = t_0$) η οποία εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα αμέσως μετά την τάνυση και αγκύρωση δίνεται από τη σχέση (2.31)

$$P_{m0}(x) = P_{max} - \Delta P_{el} - \Delta P_{\mu}(x) - \Delta P_{sl} - \Delta P_r \leq A_p \cdot \sigma_{p0}(x) \quad (2.31)$$

Όπου

A_p Είναι το εμβαδό της διατομής του τένοντα

$\sigma_{p0}(x)$ είναι η τάση στον τένοντα αμέσως μετά την τάνυση ή τη μεταφορά της δύναμης και ισούται με $\min \{ 0.75f_{pk}; 0.8f_{p0,1k} \}$

2.4.3. ΑΜΕΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

2.4.3.1. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι απώλειες μπορούν να θεωρηθούν ως μια μέση απώλεια σε κάθε τένοντα όπως φαίνεται στη σχέση (2.32)

$$\Delta P_{el} = A_p \cdot E_p \cdot \sum \left[\frac{j \cdot \Delta \sigma_c(t)}{E_{cm}(t)} \right] \quad (2.32)$$

Όπου

$\Delta \sigma_c(t)$ είναι η μεταβολή της τάσης στο κέντρο βάρους της διατομής των τενόντων κατά τη χρονική στιγμή t

j είναι ένας συντελεστής ίσος προς

$(n-1)/2n$ όπου n είναι ο αριθμός των ομοειδών τενόντων οι οποίοι διαδοχικά προεντείνονται. Ως απλοποίηση, ο όρος j μπορεί να ληφθεί ως $1/2$.

1 για μεταβολές εξαιτίας μόνιμων δράσεων που επιβάλλονται μετά την προένταση.

2.4.3.2. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΤΡΙΒΩΝ

Οι απώλειες λόγω τριβών $\Delta P_{\mu}(x)$ σε τένοντες προέντασης μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος μπορούν να εκτιμηθούν από τη σχέση (2.33)

$$\Delta P_{\mu}(x) = P_{max} (1 - e^{-\mu(\theta+Kx)}) \quad (2.33)$$

Όπου:

θ είναι το άθροισμα των γωνιακών εκτροπών από τη θέση 0 μέχρι τη θέση x (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση ή το πρόσημό τους)

μ είναι ο συντελεστής τριβής μεταξύ τένοντα και σωλήνα και όταν δεν δίνονται δεδομένα σε κάποια ευρωπαϊκή τεχνική έγκριση μπορούν να χρησιμοποιούνται οι τιμές που δίνονται στον πίνακα 5.1 του EN 1992-1-1.

K είναι η αθέλητη γωνιακή εκτροπή (ανά μονάδα μήκους) από την ακριβή χάραξη των τενόντων για εσωτερικούς τένοντες

x είναι η απόσταση του τένοντα από τη θέση όπου η δύναμη προέντασης είναι ίση προς P_{\max} (δύναμη στο ενεργό άκρο κατά την τάνυση)

2.4.3.3. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη απώλειες μετά την τάνυση λόγω ολίσθησης των σφηνών στις αγκυρώσεις κατά τη διαδικασία της αγκύρωσης καθώς και λόγω των παραμορφώσεων της ίδιας της αγκύρωσης.

2.4.4. ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΧΡΟΝΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής της δύναμης προέντασης σε κάποιο χρόνο $t > t_0$ θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη οι χρόνιες απώλειες προεντάσεως οι οποίες οφείλονται:

- Στον ερπυσμό
- Στη συστολή ξήρανσης
- Στη μακροχρόνια χαλάρωση του χάλυβα προεντάσεως

Η τιμή της δίνεται από τη σχέση (2.34)

$$P_{m,t}(x) = P_{m0}(x) - \Delta P_{c+s+r}(x) \quad (2.34)$$

2.4.5. ΧΡΟΝΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Μια απλοποιημένη μέθοδος για την εκτίμηση των χρόνιων απωλειών λόγω ερπυσμού, συρρίκνωσης και χαλαρώσεως στη θέση x , $\Delta P_{c+s+r}(x)$ δίνεται από τη σχέση (2.35)

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta \sigma_{p,c+s+r} = A_p \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0,8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2\right) [1 + 0,8 \varphi(t, t_0)]} \quad (2.35)$$

Όπου:

$\Delta \sigma_{p,c+s+r}$ είναι η απόλυτη τιμή της μείωσης της τάσης στους χάλυβες λόγω ερπυσμού, συρρίκνωσης και χαλαρώσεως στη θέση x , τη χρονική στιγμή t

ε_{cs} είναι η εκτιμώμενη βράχυνση σκυροδέματος λόγω ανεμπόδιστης συστολής συρρίκνωσης (Σχέση (2.27)) του σε απόλυτες τιμές

E_p είναι το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα προέντασης

E_{cm} είναι το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος (

Πίνακας 2.1)

$\Delta \sigma_{pr}$ είναι η απόλυτη τιμή της μείωσης των τάσεων στους τένοντες στη θέση x , τη χρονική στιγμή t , εξαιτίας της χαλαρώσεως του προεντεταμένου χάλυβα. Θεωρείται πως για τάση ίση προς $\sigma_p = \sigma_p(G + P_{m0} + \psi_2 Q)$ όπου $\sigma_p = \sigma_p(G + P_{m0} + \psi_2 Q)$ είναι η αρχική τάση στους τένοντες λόγω της αρχικής προέντασης και των οιονεί-μόνιμων δράσεων.

$\varphi(t, t_0)$ είναι ο συντελεστής ερπυσμού τη χρονική στιγμή t δεδομένης της εφαρμογής του φορτίου τη χρονική στιγμή t_0

$\sigma_{c,QP}$ είναι η τάση του σκυροδέματος πλησίον των τενόντων, εξαιτίας του ίδιου βάρους και της αρχικής προέντασης καθώς και άλλων οιονεί-μόνιμων δράσεων, όπου απαιτείται. Η τιμή $\sigma_{c,QP}$ είναι δυνατό να οφείλεται σε μέρος του ειδικού βάρους και στην αρχική προένταση ή στον πλήρη συνδυασμό των οιονεί-μόνιμων δράσεων ($\sigma_c(G + P_{m0} + \psi_2 Q)$), ανάλογα με την θεωρούμενη φάση της κατασκευής.

A_p είναι το εμβαδόν του συνόλου των τενόντων στη θέση x

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος

I_c είναι η ροπή αδράνειας της διατομής σκυροδέματος

z_{cp} είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους της διατομής σκυροδέματος και των τενόντων.

2.4.6. ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ

Οι διατάξεις αγκύρωσης των τενόντων θα πρέπει να έχουν χαρακτηριστικά αντοχής επιμήκυνσης και κόπωσης επαρκή ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του σχεδιασμού. Ειδικότερες οδηγίες όσον αφορά τις περιοχές της αγκύρωσης δίνονται στο Παράρτημα J του EN1992-2.

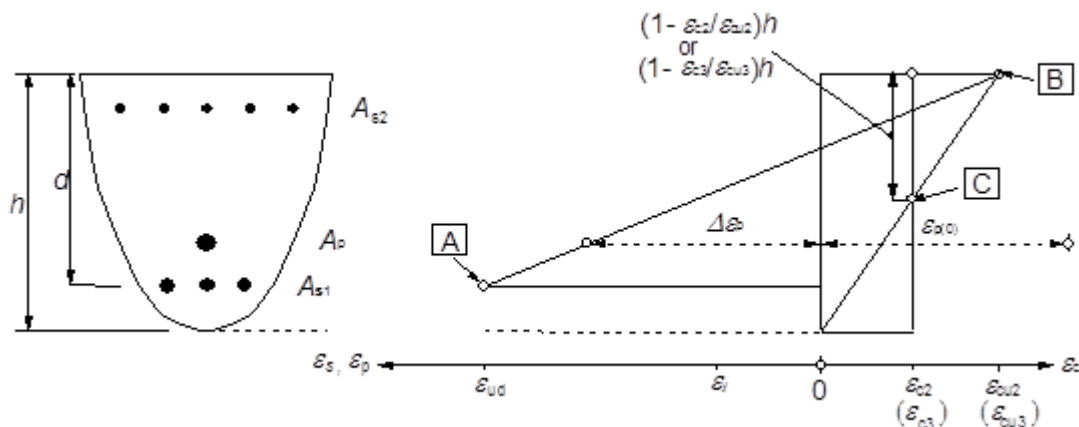
2.5. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΕΚΤΟΣ ΚΟΠΩΣΗΣ)

2.5.1. ΚΑΜΨΗ ΜΕ Η ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

Κατά τον προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής οπλισμένων ή προεντεταμένων διατομών γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- οι επίπεδες διατομές παραμένουν επίπεδες (και μετά τη φόρτιση).
- η παραμόρφωση χαλαρών οπλισμών με συνάφεια ή τενόντων με συνάφεια, υπό εφελκυσμό ή θλίψη, είναι η ίδια με εκείνη του περιβάλλοντος σκυροδέματος.
- η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται.
- οι τάσεις του θλιβόμενου σκυροδέματος υπολογίζονται βάσει της σχέσης τάσης-παραμόρφωσης που δόθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- οι τάσεις του χαλαρού ή προεντεταμένου οπλισμού υπολογίζονται βάσει των καμπλών σχεδιασμού που δόθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο
- η αρχική παραμόρφωση τενόντων προέντασης λαμβάνεται υπόψη κατά τον προσδιορισμό των τάσεων των τενόντων.

Οι τιμές των ϵ_{c2} , ϵ_{cu2} , ϵ_{c3} , ϵ_{cu3} δίνονται στον Πίνακα 2.1 και η ϵ_{ud} για το χαλαρό οπλισμό και το χάλυβα προέντασης δίνονται στα κεφάλαια 2.2.2 και 2.2.3. Σε τμήματα διατομών υπό σχεδόν κεντρική σύνθλιψη ($e/h < 0,1$), όπως είναι τα θλιβόμενα πέλματα κιβωτιοειδών διατομών, η μέση θλιπτική παραμόρφωση στο τμήμα αυτό της διατομής δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την τιμή ϵ_{c2} (ή ϵ_{c3} όταν χρησιμοποιείται η διγραμμική σχέση τάσεων παραμορφώσεων)



- A - όριο παραμόρφωσης εφελκυσμένου χάλυβα
 B - όριο παραμόρφωσης θλιβόμενου σκυροδέματος
 C - όριο παραμόρφωσης σκυροδέματος υπό καθαρή θλίψη

Σχήμα 2.10 Επιτρεπόμενες κατανομές παραμορφώσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας

2.5.2. ΑΠΟΦΥΓΗ ΤΗΣ ΨΑΘΥΡΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Γενικά είναι επιθυμητό για μία δοκό να εμφανίσει ρηγματώση σαν προειδοποίηση του ότι λαμβάνει χώρα διάβρωση στους οπλισμούς στο εσωτερικό της. Το πρόβλημα αρχίζει να υφίσταται από τη στιγμή που παρότι οι τένοντες διαβρώνονται το σκυρόδεμα παραμένει αρηγματώτο. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει καμία ένδειξη για την απώλεια της προέντασης καθώς το σκυρόδεμα αρχίζει και λειτουργεί σε εφελκυσμό. Όταν όμως φτάσει στην οριακή εφελκυστική του τάση και ρηγματωθεί, όλη η εφελκυστική δύναμη μεταφέρεται ξαφνικά στους τένοντες με αποτέλεσμα να υπάρξει αδυναμία ανάλυσης της δύναμης αυτής και ξαφνική αστοχία.

Ο ευρωκώδικας δίνει τρεις εναλλακτικές μεθόδους για την αποφυγή της ψαθυρής αστοχίας:

- Έλεγχος της φέρουσας ικανότητας χρησιμοποιώντας μειωμένο εμβαδόν χάλυβα προέντασης
- Χρήση ενός ελάχιστου ποσοστού χαλύβδινου οπλισμού
- Εφαρμογή, κατόπιν συμφωνίας με την αρμόδια Εθνική Αρχή, ενός κατάλληλου συστήματος επιθεωρήσεων που θα βασίζεται στη συλλογή ικανοποιητικού αποδεικτικού υλικού

2.5.2.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΜΕΙΩΜΕΝΟ ΕΜΒΑΔΟ ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Για να γίνει αυτός ο έλεγχος, η επιφάνεια του τένοντα υποθετικά μειώνεται έτσι ώστε η υπολογιζόμενη, με βάση το μειωμένο εμβαδό τενόντων, ροπή ρηγματώσεως να είναι μικρότερη ή ίση από τη ροπή του συχνού συνδυασμού δράσεων όπως αυτός ορίζεται από τον EN1990 για τις Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας. Η ροπή ρηγματώσεως θα πρέπει να υπολογίζεται για ανάπτυξη, στην πλέον εφελκυσόμενη ίνα της διατομής του σκυροδέματος, τάσης ίση με f_{ctm} όπως αυτό δίνεται στον Πίνακα 2.1. Σε μία διατομή με εφελκυστική τάση f_{ctm} στην ακραία ίνα της και με ροπή αντίστασης W , η ροπή ρηγματώσεως M και η δύναμη προέντασης P συνδέονται με τη σχέση (2.36)

$$\frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{W} - \frac{M}{W} = -f_{ctm} \quad (2.36)$$

Όπου

e η εκκεντρότητα της δύναμης προέντασης

A το εμβαδό της διατομής

Επομένως η δύναμη προέντασης που εξασφαλίζει ότι η διατομή θα ρηγματωθεί όταν υπόκειται σε ροπή M δίνεται από τη σχέση (2.37)

$$P = \frac{\frac{M}{W} - f_{ctm}}{\frac{1}{A} + \frac{e}{W}} \quad (2.37)$$

Η οριακή αντοχή της διατομής με μειωμένο εμβαδό τενόντων, αλλά χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφαλείας υλικών του τυχηματικού συνδυασμού της Οριακής Κατάστασης Αστοχίας, ελέγχεται ξανά με τη ροπή που δημιουργεί ο συχνός συνδυασμός δράσεων της ΟΚΛ. Όταν υπολογίζεται η ροπή αντοχής της διατομής χρησιμοποιώντας το μειωμένο εμβαδό τενόντων, η συνεισφορά του χαλαρού οπλισμού μπορεί να λαμβάνεται υπ' όψη. Επίσης επιτρέπεται η ανακατανομή ροπών εντός του φορέα.

Η ανάγκη να μειωθεί ο αριθμός των τενόντων έως ότου κάτω από το συχνό συνδυασμό δράσεων η διατομή να ρηγματώνεται προκύπτει από την ανάγκη να διασφαλιστεί ότι η ρηγματώση θα γίνει ορατή κάτω από κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας και έτσι θα κινητοποιηθεί άμεσα μηχανισμός ελέγχου και επιδιόρθωσης. Είναι ελαφρώς περίεργο ότι ο συχνός συνδυασμός δράσεων χρησιμοποιείται και για να προσδιορίσει το μειωμένο εμβαδό των τενόντων αλλά και στη συνέχεια για να ελεγχθεί η ροπή

αντοχής μετά τη ρηγμάτωση, καθώς το φορτίο μπορεί να αυξηθεί στην ενδιάμεση περίοδο ανάμεσα στη ρηγμάτωση και τον εντοπισμό του προβλήματος και την επιδιόρθωσή του.

Από τον Ευρωκώδικα δε γίνεται σαφές εάν ο έλεγχος αυτός πρέπει να ικανοποιείται πριν ή μετά την ολοκλήρωση των μακροχρόνιων απωλειών προέντασης. Η κατάσταση πριν την ολοκλήρωση των απωλειών είναι δυσμενέστερη καθώς η δύναμη και άρα και η μείωση της προέντασης θα είναι μεγαλύτερη. Παρόλα αυτά επειδή είναι απίθανο η διάβρωση να συμβεί πριν την ολοκλήρωση των απωλειών προέντασης το λογικό είναι ο έλεγχος να γίνει όταν αυτές θα έχουν ολοκληρωθεί.

Εάν χρησιμοποιηθεί η σχέση (2.37) για να υπολογιστεί η δύναμη προέντασης που θα προκαλέσει ρηγμάτωση σε επιβαλλόμενη ροπή M , τότε το μειωμένο εμβαδό των τενόντων $A_{p,Red}$ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (2.38)

$$A_{p,Red} = \frac{\frac{M}{W} - f_{ctm}}{\sigma_p \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{e}{W} \right)} \quad (2.38)$$

Όπου

σ_p είναι η τάση των τενόντων ακριβώς πριν τη ρηγμάτωση

Εάν δε ληφθεί υπ' όψη ο χαλαρός οπλισμός τότε η ροπή αντοχής πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση (2.39)

$$A_{p,Red} \cdot z_s \cdot f_{p0.1k} \geq M \quad (2.39)$$

Από τις εξισώσεις (2.38) και (2.39) προκύπτει ότι η ροπή υπό το συχνό συνδυασμό M , πρέπει να υπερβαίνει ένα ελάχιστο όριο προκειμένου να αποφευχθεί η ψαθυρή αστοχία, απουσία χαλαρού οπλισμού, που είναι:

$$M \geq \frac{f_{ctm} \cdot z_s}{\frac{z_s}{W} - \frac{\sigma_p}{f_{p0.1k}} \left(\frac{1}{A} + \frac{e}{W} \right)} \quad (2.40)$$

Σημειώνεται ότι οι παραπάνω σχέσεις αφορούν ισοστατικούς φορείς ενώ για τους υπερστατικούς θα πρέπει τα μεγέθη να τροποποιούνται κατάλληλα.

2.5.2.2. ΧΡΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Η αποφυγή της ψαθυρής αστοχίας μπορεί επίσης να αποφευχθεί με τη διασφάλιση ότι υπάρχει αρκετός διαμήκης οπλισμός για να αντισταθμίσει την απώλεια προέντασης όταν η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος χαθεί. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ενός ελάχιστου οπλισμού σύμφωνα με τη (2.41). Ο οπλισμός αυτός δεν είναι πρόσθετος σε αυτούς που έχουν τοποθετηθεί για άλλους σκοπούς, δηλαδή οπλισμοί που έχουν τοποθετηθεί λόγω άλλων απαιτήσεων συνυπολογίζονται στο $A_{s,min}$ και μπορεί να συνεκτιμάται στους ελέγχους σε κάμψη. Αυτός ο τρόπος αποφυγής της ψαθυρής αστοχίας θα οδηγεί πάντα στην ανάγκη τοποθέτησης οπλισμού, σε αντίθεση με αυτόν που περιγράφηκε προηγουμένως, όμως αποφεύγει την ανάγκη για προσδιορισμό της ακριβούς απώλειας προέντασης λόγω της διάβρωσης.

$$A_{s,min} = \frac{M_{rep}}{z_s f_{yk}} \quad (2.41)$$

M_{rep} είναι η ροπή ρηγματώσεως που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας κατάλληλη εφελκυστική αντοχή, f_{ctm} στην ακραία εφελκυσόμενη ίνα της διατομής, αγνοώντας οποιαδήποτε επιρροή της προέντασης.

z_s είναι ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας που αναφέρεται στον χαλύβδινο οπλισμό.

Δε γίνεται σαφές εάν κατά τον υπολογισμό του μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων, το σημείο όπου ασκείται η θλιπτική δύναμη, στην κάμψη, προκύπτει λαμβάνοντας υπ όψη την προένταση ή αγνοώντας τη. Το τελευταίο είναι πιο συντηρητικό, καθώς θα οδηγήσει σε μικρότερο μοχλοβραχίονα, και είναι συνεπές με την ιδέα του οπλισμού που αντισταθμίζει την απώλεια προέντασης.

Ο οπλισμός που προκύπτει θα πρέπει να τοποθετείται σε όλες τις περιοχές στις οποίες προκύπτει εφελκυσμός υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων της ΟΚΛ, λαμβάνοντας υπ όψη τις δευτερογενείς επιρροές της προέντασης αλλά αγνοώντας τις πρωτογενείς (ισοστατικές). Η απώλεια προέντασης σε μία διατομή, λόγω διάβρωσης, θεωρείται ότι δε μεταβάλλει την κατανομή των δευτερογενών επιρροών της προέντασης.

Για να εξασφαλιστεί η απαραίτητη πλαστιμότητα σε μια γέφυρα όταν μία διατομή ρηγματώνεται θα πρέπει ο οπλισμός $A_{s,min}$ που τοποθετείται στα ανοίγματα συνεχών δοκών να πρέπει να εκτείνεται ως την ενδιάμεση στήριξη του θεωρούμενου ανοίγματος.

Αυτή η επέκταση μπορεί να αποφευχθεί στην οριακή κατάσταση αστοχίας, η ικανότητα σε εφελκυσμό του χαλαρού οπλισμού και του χάλυβα προέντασης πάνω από τη στήριξη, υπολογιζόμενη βάσει των χαρακτηριστικών αντοχών f_{yk} και $f_{p0,1k}$, αντιστοίχως, είναι μικρότερη από την ικανότητα σε θλίψη του κάτω πέλματος, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι πιθανό να αστοχήσει η θλιβόμενη ζώνη. Αυτό περιγράφεται από τη σχέση (2.42)

$$A_s f_{yk} + k_p A_p f_{p0,1k} < \xi_{inf} b_0 \alpha_{cc} f_{ck} \quad (2.42)$$

Όπου:

ξ_{inf} , b_0 είναι, αντιστοίχως, το πάχος και το πλάτος του κάτω πέλματος της διατομής. Σε περίπτωση διατομών μορφής T, το ξ_{inf} λαμβάνεται ίσο προς το b_0 .

A_s , A_p συμβολίζουν, αντιστοίχως, το εμβαδόν του χαλαρού οπλισμού και του χάλυβα προέντασης στην εφελκυσμένη ζώνη, στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

2.5.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Για τον έλεγχο της αντοχής σε τέμνουσα ορίζονται τα εξής σύμβολα:

V_{Ed} Τιμή σχεδιασμού της δρώσας τέμνουσας (δύναμης)

$V_{Rd,c}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα στοιχείων χωρίς οπλισμό διάτμησης.

$V_{Rd,s}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από τον οπλισμό διάτμησης τη στιγμή της διαρροής του.

$V_{Rd,max}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο, όπως καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων.

Καθ' ότι ο έλεγχος σε διάτμηση συνήθως έπεται του ελέγχου κάμψης τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής έχουν ήδη επιλεγεί. Κατά συνέπεια η $V_{Rd,max}$ της διατομής είναι γνωστή και θα πρέπει να ελεγχθεί ότι είναι μεγαλύτερη της V_{Ed} γιατί διαφορετικά η διατομή δεν επαρκεί και χρειάζεται επαναδιαστασιολόγηση.

Εαν $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ απαιτείται τοποθέτηση μόνο του ελάχιστου διατμητικού οπλισμού.

Η $V_{Rd,c}$ δίνεται από τη σχέση (2.43)

$$V_{Rd,c} = [(0.18/\gamma_c) \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] b_w d \leq (0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) b_w d \quad (2.43)$$

όπου:

f_{ck} σε MPa

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

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$$

A_{sl} είναι το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού που εκτείνεται σε απόσταση $\geq (l_{bd} + d)$ πέρα από τη θεωρούμενη διατομή. το εμβαδόν προεντεταμένου οπλισμού με συνάφεια μπορεί να προσμετράται στον υπολογισμό του A_{sl} . Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιείται μια σταθμισμένη τιμή του d .

b_w είναι το ελάχιστο πλάτος της διατομής στην εφελκυόμενη περιοχή [mm]

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd} \text{ [MPa]}$$

N_{Ed} είναι η αξονική δύναμη στη διατομή λόγω φορτίων ή της δράσης της προέντασης, σε Newton ($N_{Ed} > 0$ για θλίψη). Η επίδραση των επιβεβλημένων παραμορφώσεων στο N_{Ed} μπορεί να αγνοείται.

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος [mm²]

$V_{Rd,c}$ σε Newton

Εάν $V_{Ed} > V_{Rd,c}$

Αγνοείται τελείως η συμβολή του σκυροδέματος στην ανάληψη τέμνουσας, $V_{Rd,c}$, και θα πρέπει $V_{Ed} < V_{Rd}$ όπου η V_{Rd} για στοιχεία με κατακόρυφο οπλισμό διατήρησης είναι η μικρότερη από τις τιμές που δίνουν οι σχέσεις

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta \quad (2.44)$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad (2.45)$$

όπου:

A_{sw} είναι το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης

s είναι η απόσταση των συνδετήρων

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

$$v_1 = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

α_{cw} είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη χορδή που παίρνει τις παρακάτω τιμές:

1 Για μη προεντεταμένες κατασκευές:

$(1 + \sigma_{cp}/f_{cd})$	για $0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 f_{cd}$
1,25	για $0,25 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
$2,5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	για $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < 1,0 f_{cd}$

όπου:

σ_{cp} είναι η μέση θλιπτική τάση του σκυροδέματος, λαμβανόμενη με θετικό πρόσημο, λόγω του αξονικού φορτίου σχεδιασμού. Η τιμή αυτή πρέπει να υπολογίζεται παίρνοντας τη μέση τιμή της τάσης στη διατομή του σκυροδέματος, λαμβανομένου υπόψη και του οπλισμού. Δεν απαιτείται υπολογισμός της σ_{cp} σε αποστάσεις μικρότερες από $0.5d \cot \theta$ από την παρεία μιας στήριξης.

θ Θα πρέπει $1 < \cot \theta < 2,5$

Όπου ο κορμός περιέχει περιβλήματα τενόντων με ενσωμάτωση διαμέτρου $\Phi > b_w/8$ η αντοχή σε τέμνουσα $V_{Rd,max}$ πρέπει να υπολογίζεται βάσει ενός ονομαστικού πάχους κορμού ίσου προς:

$$b_{w,nom} = b_w - 0,5\Sigma\varphi \quad (2.46)$$

όπου:

φ είναι η εξωτερική διάμετρος του περιβλήματος και το $\Sigma\varphi$ υπολογίζεται στη δυσμενέστερη στάθμη της διατομής.

Το μέγιστο ενεργό εμβαδόν του οπλισμού διάτμησης $A_{sw,max}$ για $\cot \theta = 1$ δίνεται από τη σχέση (2.47)

$$\frac{A_{sw,max} f_{ywd}}{b_w s} \leq \frac{1}{2} \alpha_{cw} \nu_1 f_{cd} \quad (2.47)$$

Η πρόσθετη εφελκυστική δύναμη, ΔF_{td} , στο διαμήκη οπλισμό λόγω της τέμνουσας V_{Ed} μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (2.48)

$$\Delta F_{td} = 0,5 V_{Ed} (\cot \theta - \cot \alpha) \quad (2.48)$$

Η $(M_{Ed}/z) + \Delta F_{td}$ δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από $M_{Ed,max}/z$

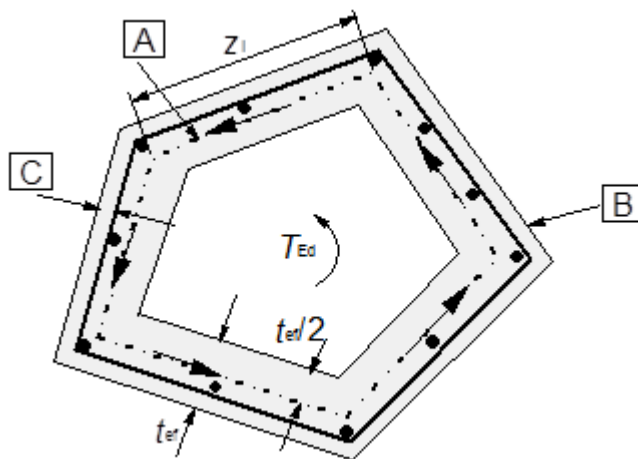
2.5.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ

Η διατμητική τάση στο τοίχωμα μιας διατομής που υπόκειται σε καθαρή ροπή στρέψης μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση (2.49)

$$\tau_{t,i} t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \quad (2.49)$$

Η τέμνουσα $V_{Ed,i}$ στο τοίχωμα i λόγω στρέψης δίνεται από τη σχέση (2.50)

$$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} t_{ef,i} z_i \quad (2.50)$$



- A - μέση γραμμή
- B - εξωτερικό άκρο της ισοδύναμης διατομής, με περίμετρο u
- C - επικάλυψη

Σχήμα 2.11 Σύμβολα και ορισμοί που χρησιμοποιούνται στην ενότητα 2.5.4

Όπου:

T_{Ed} είναι η δρώσα στρεπτική ροπή σχεδιασμού

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

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

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

- A είναι το συνολικό εμβαδόν της διατομής που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο, συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών
- u_k είναι η εξωτερική περίμετρος της διατομής
- z_i είναι το μήκος του επιμέρους τοιχώματος i οριζόμενο από την απόσταση των σημείων τομής του με τα γειτονικά τοιχώματα και ισχύουν οι σχέσεις που ισχύουν και για τη διάτμηση.

Θα πρέπει να ικανοποιείται αρχικά η σχέση (2.51) Όπου η γωνία θ είναι η ίδια που επιλέχτηκε και στη διάτμηση.

$$T_{Ed} < T_{Rd,max} = 2\nu \alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{ef,i} \sin \theta \cos \theta \quad (2.51)$$

Ο απαιτούμενος εγκάρσιος οπλισμός υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (2.52)

$$\frac{A_{sw}}{s} = T_{Ed} / 2A_k f_{yw,d} \cot \theta \quad (2.52)$$

Ο απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός υπολογίζεται από τη σχέση (2.53)

$$\sum A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k}{2A_k f_{yd}} \cot \theta \quad (2.53)$$

Τένοντες προέντασης με συνάφεια μπορεί να λαμβάνονται υπόψη, περιορίζοντας την αύξηση της τάσεώς τους σε $\Delta \sigma_p \leq 500$ MPa. Στην περίπτωση αυτή, ο όρος $\sum A_{sl} f_{yd}$ στην παραπάνω σχέση αντικαθίσταται από τον $\sum A_{sl} f_{yd} + A_p \Delta \sigma_p$.

2.5.5. ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΕΛΜΑΤΩΝ – ΚΟΡΜΟΥ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ

Η διαμήκης διατμητική τάση, v_{Ed} , στην ένωση μεταξύ πέλματος και κορμού υπολογίζεται από τη μεταβολή της ορθής (διαμήκους) δύναμης στο θεωρούμενο τμήμα του πέλματος, σύμφωνα με τη σχέση (2.54)

$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \cdot \Delta x) \quad (2.54)$$

όπου:

- h_f είναι το πάχος του πέλματος στην ένωση
- Δx είναι το μήκος του θεωρούμενου τμήματος και λαμβάνεται είτε το μισό της απόστασης μεταξύ της διατομής όπου μηδενίζεται η ροπή και αυτής που μεγιστοποιείται, είτε σε περίπτωση συγκεντρωμένων φορτίων η απόστασή τους.
- ΔF_d είναι η μεταβολή της ορθής δύναμης στο θεωρούμενο τμήμα του πέλματος Δx

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση (2.55)

$$(A_{sf} f_{yd} / s_f) \geq v_{Ed} \geq h_f / \cot \theta_f \quad (2.55)$$

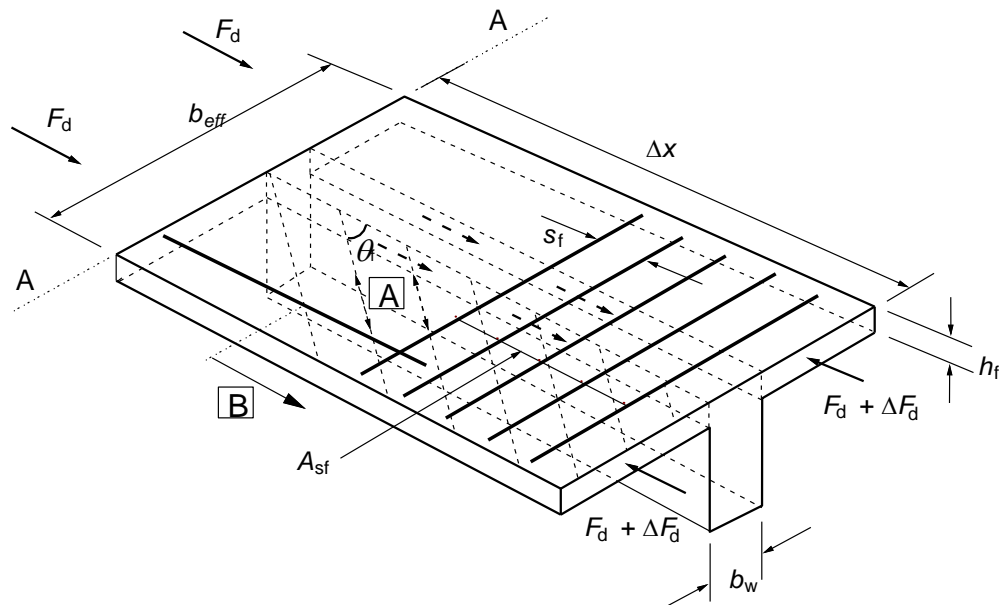
Για να αποφευχθεί η συντριβή των θλιπτήρων του πέλματος, θα πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη που δίνεται στη σχέση (2.56)

$$v_{Ed} \leq \nu f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f \quad (2.56)$$

Όπου

- $1,0 \geq \cot \theta_f \geq 2,0$ για θλιβόμενα πέλματα $(45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ)$
- $1,0 \geq \cot \theta_f \geq 1,25$ για εφελκυσόμενα πέλματα $(45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ)$

Εάν $v_{Ed} \leq 0,4f_{ctd}$ δεν απαιτείται οπλισμός πέραν εκείνου λόγω κάμψης (εκτός του ελάχιστου). Σε αντίθετη περίπτωση αμελείται όπως και στην κάμψη η συνεισφορά του σκυροδέματος και η ένταση αναλαμβάνεται από τον οπλισμό.



A – θλιπτήρες **B** – διαμήκης ράβδος αγκυρούμενη πέρα από το θεωρητικό σημείο τομής της με το θλιπτήρα (βλέπε 6.2.4 (7))

Σχήμα 2.12 Συμβολισμοί κεφαλαίου 2.5.5

2.5.6. ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΑΜΨΗ

Λόγω της παρουσίας θλιπτικών πεδίων τάσεων που προέρχονται από διάτμηση ή κάμψη, η αλληλεπίδραση μεταξύ διαμήκους διάτμησης και εγκάρσιας κάμψης στους κορμούς κιβωτισειδών διατομών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό.

Η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να αγνοείται όταν ικανοποιείται η συνθήκη της σχέσης (2.57)

$$V_{Ed}/V_{Rd,max} < 0,2 \text{ ή } M_{Ed}/M_{Rd,max} < 0,1 \quad (2.57)$$

Όπου:

$V_{Rd,max}$ είναι η μέγιστη ικανότητα του κορμού σε διαμήκη διάτμηση

$M_{Rd,max}$ είναι η μέγιστη ικανότητα του κορμού σε εγκάρσια κάμψη, αντιστοίχως.

Σε περίπτωση που χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψη δίνονται οδηγίες στο παράρτημα MM του EN1992-2.

2.5.7. ΣΤΡΕΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η μέγιστη αντίσταση ενός στοιχείου υπό ταυτόχρονη στρέψη και διάτμηση περιορίζεται από την αντοχή των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος. Για να διασφαλιστεί η απαίτηση αυτή, στις συμπαγείς διατομές πρέπει να πληρούνται η συνθήκη της σχέσης (2.58)

$$T_{Ed} / T_{Rd,max} + v_{Ed} / V_{Rd,max} \leq 1,0 \quad (2.58)$$

όπου:

T_{Ed} είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής στρέψης

V_{Ed} είναι η τέμνουσα σχεδιασμού

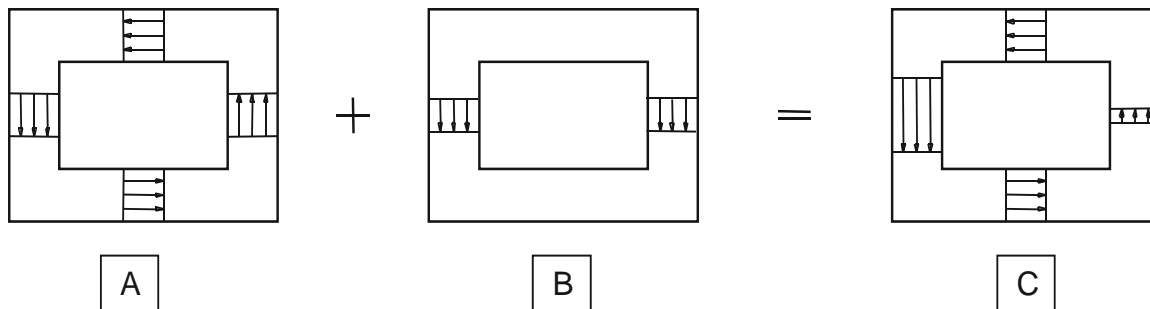
$T_{Rd,max}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε στρέψη σύμφωνα με την

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

a_c όπως ορίστηκε στη διάτμηση

$V_{Rd,max}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα

Στις κιβωτιοειδείς διατομές κάθε τοίχωμα πρέπει να ελέγχεται ανεξάρτητα, για τη συνδυασμένη δράση των τεμνουσών που προέρχονται από διάτμηση και από στρέψη.



- A** Στρέψη
B Διάτμηση
C Συνδυασμός

Σχήμα 2.13 Συνδυασμός εντατικών μεγεθών σε διαφορετικά τοιχώματα κιβωτιοειδούς διατομής

Κάθε τοίχωμα της διατομής θα σχεδιάζεται ξεχωριστά για τη συνδυασμένη επιρροή της διάτμησης και της στρέψης. Θα προστίθεται η τέμνουσα δύναμη η οποία προκύπτει από τη στρέψη με αυτή η οποία προκύπτει απευθείας από διάτμηση. Η οριακή κατάσταση αστοχίας για το σκυρόδεμα θα ελέγχεται σε σχέση με τη διατμητική αντοχή σχεδιασμού $V_{Rd,max}$.

2.5.8. ΣΤΡΕΨΗ ΜΕ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗ

Ο ευρωκώδικας δίνει τη δυνατότητα στις κλειστές λεπτότοιχες και τις συμπαγείς διατομές η στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση να αγνοείται στις οριακές καταστάσεις αστοχίας.

2.6. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ – ΚΟΠΩΣΗ

Στη διάρκεια ζωής μιας γέφυρας η συνεχής κυκλοφορία οχημάτων παράγει ένα μεγάλο αριθμό από επαναλαμβανόμενους κύκλους φόρτισης στα στοιχεία της γέφυρας. Γι αυτό το λόγο ο χάλυβας (προεντεταμένος και μη) και το σκυρόδεμα είναι επιρρεπή σε φαινόμενα κόπωσης. Για το λόγο αυτό ο ευρωκώδικας απαιτεί να ελέγχεται η κόπωση σε τέτοιου είδους στοιχεία που υποβάλλονται τακτικά σε κύκλους φόρτισης. Εξαίρεση σε αυτό αποτελούν οι παρακάτω κατασκευές:

- πεζογέφυρες, με εξαίρεση τα δομικά στοιχεία που είναι πολύ ευαίσθητα στη δράση του ανέμου
- επιχωμένους τοξωτούς και πλαίσιακούς φορείς, με ελάχιστη επικάλυψη γαιών 1.00 m
- θεμελιώσεις
- βάρθρα και στύλους που δεν είναι μονολιθικά συνδεδεμένοι με την ανωδομή
- τοίχοι αντιστήριξης σε επιχώματα οδών και σιδηροδρομικών γραμμών
- ακρόβαθρα οδικών και σιδηροδρομικών γεφυρών που δεν είναι μονολιθικά συνδεδεμένα με την ανωδομή, με εξαίρεση τις πλάκες σε κοίλα ακρόβαθρα
- χάλυβας προέντασης ή χαλαρός σε περιοχές όπου, υπό το συχνό συνδυασμό δράσεων και την R_k , αναπτύσσονται μόνο θλιπτικές τάσεις στην ακρότατη ίνα σκυροδέματος.

Ο υπολογισμός των τάσεων θα βασίζεται στην παραδοχή ρηγματωμένων διατομών, αγνοώντας την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, αλλά ικανοποιώντας τη συνθήκη του συμβιβαστού των παραμορφώσεων.

2.6.1. ΑΠΑΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Η αντοχή σε κόπωση μη-συγκολλημένων εφελκυσόμενων ράβδων μπορεί να θεωρηθεί επαρκής αν το εύρος διακύμανσης των τάσεων υπό συχνά ανακυκλικά φορτία σε συνδυασμό με εκείνα του βασικού συνδυασμού είναι $\Delta\sigma_s \leq 70\text{MPa}$. Η αντίστοιχη τιμή για συγκολλημένες εφελκυσόμενες ράβδους είναι 35MPa.

Όταν χρησιμοποιούνται συνδέσεις με συγκόλληση ή άλλες διατάξεις επιμήκυνσης των οπλισμών στο προεντεταμένο σκυρόδεμα, τότε δεν επιτρέπεται να αναπτύσσεται εφελκυσμός στη διατομή του σκυροδέματος σε απόσταση 200mm από τους τένοντες προέντασης ή τους χαλαρούς οπλισμούς υπό το συχνό συνδυασμό δράσεων, λαμβάνοντας ένα μειωτικό συντελεστή 0.9 για τη μέση τιμή της προέντασης P_m .

Ως απλοποίηση του παραπάνω ο έλεγχος μπορεί να γίνεται χρησιμοποιώντας το συχνό συνδυασμό δράσεων. Σε περίπτωση που ικανοποιείται τότε δεν απαιτείται περαιτέρω έλεγχος.

2.6.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ (ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΥ)

Λόγω της διαφορετικής συνάφειας του χαλαρού οπλισμού και του οπλισμού προέντασης το εύρος διακύμανσης της τάσης του χαλαρού οπλισμού αυξάνεται κατά η όπου το η δίνεται από τη σχέση (2.59)

$$\eta = \frac{A_s + A_p}{A_s + A_p \sqrt{\xi} (\varphi_s / \varphi_p)} \quad (2.59)$$

όπου:

A_s είναι το εμβαδόν του χαλαρού οπλισμού

A_p είναι το εμβαδόν του τένοντα (ή των τενόντων) προέντασης

φ_s είναι η μέγιστη διάμετρος του χαλαρού οπλισμού

φ_p είναι η διάμετρος, ή η ισοδύναμη διάμετρος, του χάλυβα προέντασης

$\varphi_p = 1,6 \sqrt{A_p}$ για δέσμες

$\varphi_p = 1,75 \varphi_{\text{wire}}$ για μεμονωμένα επτάκλινα συρματόσχοινα όπου φ_{wire} είναι η διάμετρος του σύρματος

$\varphi_p = 1,20 \varphi_{\text{wire}}$ για μεμονωμένα τρίκλινα συρματόσχοινα όπου φ_{wire} είναι η διάμετρος του σύρματος

ξ είναι ο λόγος της αντοχής σε συνάφεια τενόντων με ενσωμάτωση προς εκείνη του νευροχάλυβα. Η τιμή του καθορίζεται από αντίστοιχο Ευρωπαϊκό Τεχνικό Πιστοποιητικό Αποδοχής ή διαφορετικά ο ευρωκώδικας EN1992-1-1 δίνει κάποιες τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5 Λόγος, ξ , αντοχής σε συνάφεια τενόντων προς εκείνη του χαλαρού οπλισμού

		ξ	
χάλυβας προέντασης	τάνυση πριν την έγχυση	με συνάφεια, τάνυση μετά τη σκλήρυνση	
		$\leq C50/60$	$\geq C70/85$
λείες ράβδοι και σύρματα	Δεν ισχύει	0,3	0,15
συρματοσχοίνα	0,6	0,5	0,25
σύρματα με οδόντωση	0,7	0,6	0,3
ράβδοι με νευρώσεις	0,8	0,7	0,35

Σημείωση: Για τιμές ενδιάμεσες των C50/60 και C70/85 μπορεί να γίνεται παρεμβολή

Κατά το σχεδιασμό του οπλισμού διάτμησης, η κλίση των θλιπτήρων θ_{fat} δίνεται από τη σχέση (2.60)

$$\tan \theta_{fat} = \sqrt{\tan \theta} \leq 1,0 \quad (2.60)$$

όπου:

θ είναι η γωνία ως προς τον άξονα της δοκού που θεωρείται ότι σχηματίζουν οι θλιπτήρες σκυροδέματος κατά τον έλεγχο της Οριακής Κατάστασης Αστοχίας

Το εύρος διακύμανσης της τάσης στο χάλυβα δίνεται από τη σχέση (2.61)

$$\Delta \sigma_s = \frac{\Delta V \cdot s}{A_{sw} z (\cot \theta_{fat} + \cot \alpha) \sin \alpha} \quad (2.61)$$

όπου ΔV είναι το εύρος της τέμνουσας

Για τους υπολογισμούς έναντι φορτίων κόπωσης θα λαμβάνεται υπόψη το ακόλουθο πλήθος λωρίδων με βαρέα οχήματα, ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Δ διατομής :

- Για τις διατομές $\alpha 6\nu\sigma$ και $\beta 6\nu\sigma$ και γενικότερα (λ.χ. σε περιπτώσεις μεταβλητού πλάτους κ.ά.) για διατομές συνολικού πλάτους οδοστρώματος από 26,00 m μέχρι 33,00 m, 2 λωρίδες ανά κατεύθυνση.
- Για τις διατομές $\alpha 4\nu\sigma$, $\beta 4\nu\sigma$, $\beta 4\nu^*\sigma$, $\gamma 4\nu\sigma$ και $\gamma 4\nu^*$ και γενικότερα (λ.χ. σε περιπτώσεις μεταβλητού πλάτους κ.ά.) για διατομές συνολικού πλάτους οδοστρώματος από 15,50 m μέχρι 26,00 m, 1 λωρίδα ανά κατεύθυνση.
- Για τις διατομές $\beta 2+1$, $\beta 2\sigma$, $\beta 2$, $\gamma 2$, $\delta 2$, $\epsilon 2$ και $\zeta 2$ και γενικότερα (λ.χ. σε περιπτώσεις μεταβλητού πλάτους κ.ά.) για διατομές συνολικού πλάτους οδοστρώματος μέχρι 15,50 m, 2 λωρίδες συνολικά.

Σύμφωνα με το παραπάνω επιλέγεται από τον πίνακα που ακολουθεί ο κατάλληλος αριθμός N_{obs} ανά έτος και ανά λωρίδα βραδείας κυκλοφορίας.

Πίνακας 2.6 Ενδεικτικός αναμενόμενος αριθμός βαρέων οχημάτων ανά χρόνο και ανά λωρίδα βραδείας κυκλοφορίας

Κατηγορίες Κυκλοφορίας	N_{obs} ανά έτος και ανά λωρίδα βραδείας κυκλοφορίας
1 Οδοί και αυτοκινητόδρομοι με 2 ή περισσότερες λωρίδες ανά κατεύθυνση και με υψηλό ποσοστό ροής βαρέων οχημάτων.	$2,0 \times 10^6$
2 Οδοί και αυτοκινητόδρομοι με μέτριο ποσοστό ροής βαρέων οχημάτων	$0,5 \times 10^6$
3 Κύριες οδοί με χαμηλό ποσοστό ροής βαρέων οχημάτων	$0,125 \times 10^6$
4 Τοπικές οδοί με χαμηλό ποσοστό ροής βαρέων οχημάτων	$0,05 \times 10^6$

Το εύρος ισοδύναμων τάσεων βλάβης για έλεγχο χάλυβα θα υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (2.62)

$$\Delta\sigma_{s,equ} = \Delta\sigma_{s,Ec} \cdot \lambda_s \quad (2.62)$$

όπου

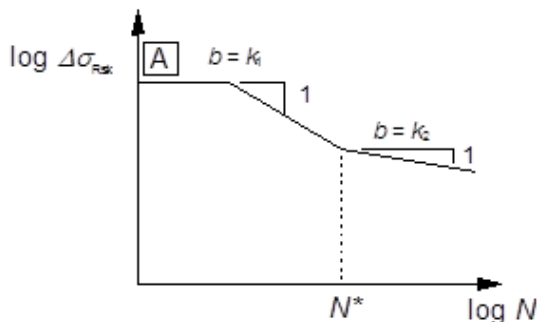
$\Delta\sigma_{s,Ec}$ είναι το εύρος τάσεων που προκαλείται από το προσομοίωμα φόρτισης κόπωσης 3
 λ_s είναι ο συντελεστής ισοδύναμης βλάβης για κόπωση, που λαμβάνει υπόψη ειδικές τοπικές συνθήκες που περιλαμβάνουν τον όγκο κυκλοφορίας της γέφυρας, την ζωή σχεδιασμού και το άνοιγμα του μέλους.

Ο συντελεστής λ_s δίνεται από τον τύπο (2.63)

$$\lambda_s = \varphi_{fat} \cdot \lambda_{s,1} \cdot \lambda_{s,2} \cdot \lambda_{s,3} \cdot \lambda_{s,4} \quad (2.63)$$

όπου για τον υπολογισμό καθενός από τους επιμέρους συντελεστές δίνονται αναλυτικές πληροφορίες στο παράρτημα NN του EN1992-2.

Η βλάβη λόγω ενός κύκλου τάσης εύρους διακύμανσης $\Delta\sigma$ μπορεί να προσδιορίζεται με χρήση των αντίστοιχων καμπυλών S-N (η οποία φαίνεται στο Σχήμα 2.14) για χαλαρό οπλισμό και για χάλυβα προέντασης. Το ασκούμενο φορτίο πρέπει να πολλαπλασιάζεται επί $\gamma_{f,fat}$. Η προκύπτουσα αντίσταση σε N^* κύκλους εύρους $\Delta\sigma_{Rsk}$ πρέπει να διαιρείται με το συντελεστή ασφαλείας $\gamma_{s,fat}$.



Σχήμα 2.14 Σχήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης αντοχής σε κόπωση (καμπύλες S-N για χαλαρό οπλισμό και για χάλυβα προέντασης)

Τα χαρακτηριστικά των καμπυλών S-N για χαλαρό και προεντεταμένο χάλυβα λαμβάνονται από τον Πίνακα 2.7 και τον Πίνακα 2.8 αντίστοιχα.

Πίνακας 2.7 Παράμετροι των καμπυλών S-N για χαλαρούς χάλυβες

Τύπος οπλισμού	εκθέτης της τάσης			$\Delta\sigma_{Rsk}$ (MPa) σε N^* κύκλους
	N^*	k_1	k_2	
Ευθύγραμμες και κεκαμμένες ράβδοι ¹	10^6	5	9	162,5
Συγκολλημένες ράβδοι και πλέγματα	10^7	3	5	58,5
Στοιχεία ενώσεων	10^7	3	5	35

Οι τιμές για τη $\Delta\sigma_{Rsk}$ αναφέρονται σε ευθύγραμμες ράβδους. Οι τιμές για κεκαμμένες ράβδους προκύπτουν χρησιμοποιώντας τον μειωτικό συντελεστή $\zeta = 0,35 + 0,026 D/\phi$ όπου:

D διάμετρος τυμπάνου

ϕ διάμετρος ράβδου

Πίνακας 2.8 Παράμετροι των καμπυλών S-N για χάλυβες προέντασης

καμπύλη S-N για χάλυβα προέντασης που χρησιμοποιείται για:	N^*	εκθέτης της τάσης		$\Delta\sigma_{Rsk}$ (MPa) σε N^* κύκλους
		k_1	k_2	
προένταση πριν την έγχυση	10^6	5	9	185
προένταση μετά τη σκλήρυνση				
μεμονωμένα συρματόσχοινα σε πλαστικό περίβλημα	10^6	5	9	185
ευθύγραμμοι ή καμπύλοι τένοντες σε πλαστικό περίβλημα	10^6	5	10	150
καμπύλοι τένοντες σε μεταλλικό περίβλημα	10^6	5	7	120
στοιχεία ενώσεων	10^6	5	5	80

Ο έλεγχος γίνεται χρησιμοποιώντας τη σχέση (2.64)

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{S,eq}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{S,fat}} \quad (2.64)$$

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ είναι το εύρος διακύμανσης τάσεων για N^* κύκλους, από την κατάλληλη καμπύλη S-N που δίνεται στο Σχήμα 2.14.

Σημείωση: Βλέπε επίσης τους Πίνακες 6.3N και 6.4N.

$\Delta\sigma_{S,eq}(N^*)$ είναι το ισοδύναμο εύρος διακύμανσης τάσεων για διάφορους τύπους οπλισμού και λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των κύκλων N^* . Σε οικοδομικά έργα το $\Delta\sigma_{S,eq}(N^*)$ μπορεί να λαμβάνεται κατά προσέγγιση ίσο προς το $\Delta\sigma_{S,max}$.

$\Delta\sigma_{S,max}$ είναι το μέγιστο εύρος διακύμανσης των τάσεων του χάλυβα υπό τον κατάλληλο συνδυασμό δράσεων

$\gamma_{F,fat} = 1$

$\gamma_{S,fat} = 1.15$

2.6.3. ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ Η ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Για τις οδικές γέφυρες χρησιμοποιείται η απλοποιημένη μέθοδος που παρουσιάζεται εδώ.

Ο έλεγχος σε κόπωση του σκυροδέματος υπό θλίψη μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται όταν πληροῦται η απαίτηση της σχέσης (2.65)

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \text{ και επίσης πρέπει να είναι μικρότερο από } \begin{cases} 0,9 \text{ για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ 0,8 \text{ για } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \end{cases} \quad (2.65)$$

όπου:

$\sigma_{c,max}$ είναι η μέγιστη θλιπτική τάση σε μια ίνα, υπό το συχνό συνδυασμό δράσεων (θετικό πρόσημο για θλίψη)

$\sigma_{c,min}$ είναι η ελάχιστη θλιπτική τάση στην ίδια ίνα όπου αναπτύσσεται και η $\sigma_{c,max}$. Αν η $\sigma_{c,min}$ είναι εφελκυστική, τότε η $\sigma_{c,min}$ πρέπει να λαμβάνεται μηδενική.

Το $f_{cd,fat}$ δίνεται από τη σχέση (2.66)

$$f_{cd,fat} = k_1 \beta_{cc}(t_0) f_{cd} \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (2.66)$$

Όπου

$\beta_{cc}(t_0)$ όπως δίνεται στη σχέση (2.2)

t_0 είναι ο χρόνος (σε μέρες) από την έναρξη της επιβολής του ανακυκλικού φορτίου στο σκυρόδεμα

$$f_{cd} = a_{cc} f_{ck} / \gamma_c$$

όπου:

γ_c είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα και είναι ίσος με 1.5 για παροδικές και μόνιμες καταστάσεις σχεδιασμού και 1.2 για τυχηματικές

a_{cc} είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο και είναι ίσο με 1

Εφόσον στους λοξούς θλιπτήρες του σκυροδέματος υπάρχει εγκάρσιος εφελκυσμός το $f_{cd,fat}$ θα πρέπει να μειώνεται με $v=0.6$

2.7. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η λειτουργικότητα αναφέρεται στην συμπεριφορά της κατασκευής υπό τα συνήθη φορτία λειτουργίας της. Με εξαίρεση την στιγμή της αστοχίας, όπου κάποιος μηχανισμός συμπεριφοράς έχει υπερβεί την αντοχή του, το μεγαλύτερο τμήμα της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του κτίσματος αντιστοιχεί σε στάδιο λειτουργικότητας. Σε κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα αυτή η κατάσταση είναι συνήθως η κρίσιμη και κατά συνέπεια η διαστασιολόγηση ξεκινά από την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας για να ελεγχθεί στη συνέχεια εάν απαιτούνται οι απαιτήσεις των Οριακών Καταστάσεων Αστοχίας.

Ο ευρωκώδικας καλύπτει τρεις βασικές κατηγορίες ελέγχων σε ΟΚΛ οι οποίες είναι:

- Περιορισμός των τάσεων
- Περιορισμός της ρηγμάτωσης
- Περιορισμός των παραμορφώσεων

Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες αναφέρεται ότι και κάποιες άλλες καταστάσεις (όπως η ταλάντωση) μπορεί να είναι σημαντικές σε ορισμένες κατασκευές. Στο παράρτημα A2.4 του EN1990 καλύπτονται κάποιες από αυτές όπως παραμόρφωση και δονήσεις σε οδογέφυρες και πεζογέφυρες, κριτήρια άνεσης πεζών σε πεζογέφυρες, κυκλοφοριακής ασφάλειας σε σιδηροδρομικές γέφυρες κλπ.

Κατά τον υπολογισμό των τάσεων και των παραμορφώσεων οι διατομές επιτρέπεται να θεωρούνται αρηγμάτωτες κατά τον υπολογισμό των τάσεων και των παραμορφώσεων όταν η εφελκυστική τάση λόγω κάμψης δεν ξεπερνά την τιμή f_{ctm} όπως αυτή δίνεται στον Πίνακα 2.1, με την απαίτηση όμως ο ελάχιστος οπλισμός να υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ίδια τιμή.

2.7.1. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Οι τάσεις στις γέφυρες περιορίζονται για να διασφαλιστεί ότι τις συνήθεις συνθήκες λειτουργίας οι παραδοχές που έχουν γίνει στο σχεδιασμό (όπως η γραμμική-ελαστική συμπεριφορά) ισχύουν και επίσης για να αποφύγουν καταστάσεις όπως η αποφλοιώση του σκυροδέματος και οι υπερβολικές ρηγματώσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μείωση της ανθεκτικότητας. Για μόνιμες καταστάσεις σχεδιασμού είναι σύνηθες να ελέγχονται οι τάσεις σε δύο φάσεις. Η πρώτη είναι κατά την έναρξη της κυκλοφορίας στη γέφυρα όπου ένα μικρό κομμάτι του ερπυσμού έχει συμβεί, και σε μεταγενέστερο χρόνο όπου τα φαινόμενα ερπυσμού και συστολής ξήρανσης έχουν στην ουσία συντελεστεί πλήρως. Στις προεντεταμένες κατασκευές αυτό τα φαινόμενα αυτά οδηγούν σε απώλεια δύναμης προέντασης. Πολλές φορές είναι καλό στον πρώτο έλεγχο να συμπεριλαμβάνεται ένα τμήμα της συνολικής συστολής ξήρανσης καθώς περίπου η μισή έχει συντελεστεί μέσα στους τρεις πρώτους μήνες από τη σκυροδέτηση. Οι έλεγχοι του ευρωκώδικα στις ΟΚΛ είναι οι εξής:

2.7.1.1. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Η θλιπτική τάση του σκυροδέματος που προκαλείται από τη δύναμη προέντασης καθώς και τα υπόλοιπα φορτία που δρουν τη στιγμή της τάνυσης ή της χαλάρωσης της προέντασης πρέπει να μην υπερβαίνει το $0,6 f_{ck}(t)$.

Η εφελκυστική τάση του τένοντα προέντασης πριν τις μειώσεις (στιγμιαίες απώλειες) προέντασης δεν πρέπει να ξεπερνά το $\min\{0,8f_{pk}, 0,9f_{p0,1k}\}$ και αφού συμβούν το $\min\{0,75f_{pk}; 0,8f_{p0,1k}\}$

2.7.1.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ

Η ρηγμάτωση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ανθεκτικότητας. Γι αυτό το λόγο εφόσον δε λαμβάνονται μέτρα όπως η αύξηση της επικάλυψης ή η περίσφιξη με εγκάρσιους οπλισμούς θα πρέπει υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων ή θλιπτική τάση του σκυροδέματος να μην ξεπερνά την τιμή $0,6 f_{ck}$ όταν η κατηγορία περιβάλλοντος είναι XD, XF και XS.

2.7.1.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ

Η ρηγμάτωση θεωρείται ότι αποφεύγεται εφόσον υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό τάσεων

- Η εφελκυστική τάση στον οπλισμό δεν υπερβαίνει τη $0,8f_{yk}$
- Η εφελκυστική τάση στους τένοντες προεντάσεως δεν υπερβαίνει τη $0,75f_{pk}$

2.7.1.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΔΟΧΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΡΠΥΣΜΟΥ

Υπό τον οιονει-μόνιμο συνδυασμό θα πρέπει η τάση του σκυροδέματος να μην υπερβαίνει την τιμή $0,45f_{ck}$. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να γίνεται παραδοχή μη-γραμμικού ερπυσμού.

2.7.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ

Ο ευρωκώδικας αναφέρει ότι η ρηγμάτωση θα πρέπει να περιορίζεται σε σημείο έτσι ώστε να μην παρεμποδίζεται η ομαλή λειτουργία, η ανθεκτικότητα σε διάρκεια και να μην οδηγεί σε μη-αποδεκτό αισθητικό αποτέλεσμα. Η ρηγμάτωση μπορεί να προκαλείται είτε από φορτία που δρουν απ' ευθείας στην κατασκευή, όπως τα φορτία κυκλοφορίας, είτε από περιορισμό των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων, όπως είναι η συστολή ξήρανσης και η θερμοκρασία, είτε από άλλες αιτίες όπως οι χημικές αντιδράσεις και η πλαστική συστολή ξήρανσης που όμως δεν εξετάζονται από τον ευρωκώδικα παρότι μπορεί να οδηγήσουν σε μη ανεκτά επίπεδα ρηγμάτωσης.

Κατά τον καθορισμού του ανεκτού εύρους ρηγμάτωσης ο μελετητής θα πρέπει να λάβει υπ' όψη του αφενός μεν την προτεινόμενη λειτουργία και τη φύση της κατασκευής και αφετέρου το ανεκτό κόστος για να επιτευχθεί αυτό.

Η ρηγμάτωση συνήθως μειώνει τη λειτουργικότητα της κατασκευής είτε αλλοιώνοντας την εμφάνισή της είτε βοηθώντας την έναρξη της διάβρωσης. Το τελευταίο γίνεται καταστρέφοντας την αλκαλική προστασία που προσφέρει το σκυρόδεμα καθώς προσφέρουν δίοδο στο διοξείδιο του άνθρακα και στα ιόντα χλωρίου επιταχύνοντας έτσι την ενανθράκωση και την προσβολή από χλωριόντα. Οι μελέτες πάνω σε αυτόν τον τομέα οδήγησαν στη δημιουργία του Πίνακα 2.9 με τα ανεκτά εύρη ρηγμάτωσης ανάλογα με την κατηγορία περιβάλλοντος.

Πίνακας 2.9 Συνιστώμενες τιμές του w_{max} και σχετικοί συνδυασμοί δράσεων

Κατηγορία περιβαλλοντικών συνθηκών	Οπλισμένα και προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες χωρίς συνάφεια	Προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες με συνάφεια
	Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός δράσεων	Συχνός συνδυασμός δράσεων
X0, XC1	0,3 ^a	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ^b
XD1, XD2, XD3 XS1, XS2, XS3		Απόθλιψη ^c

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

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

c Το σκυρόδεμα σε απόθλιψη θα πρέπει για συγκεκριμένο συνδυασμό δράσεων να τελεί υπό θλίψη σε απόσταση 100mm από τους τένοντες με συνάφεια ή τους σωλήνες

Ο ευρωκώδικας δίνει δύο εναλλακτικές μεθόδους για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης

- Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς
- Υπολογισμός του εύρους ρηγμάτωσης

2.7.2.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ

Δίνονται από τον ευρωκώδικα δύο πίνακες (Πίνακας 2.10 και Πίνακας 2.11) οι οποίοι συνδυαστικά δίνουν ανάλογα με το ανεκτό εύρος ρηγμάτωσης και την τάση στον οπλισμό τη μέγιστη διάμετρο και τη μέγιστη απόσταση των ράβδων.

Πίνακας 2.10 Μέγιστες διαμέτροι ράβδων Φ5 για περιορισμό της ρηγμάτωσης¹

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

1. Οι τιμές το πίνακα βασίζονται στις παρακάτω παραδοχές:

$c = 25\text{mm}$; $f_{ct,eff} = 2,9\text{MPa}$; $h_{cr} = 0,5$; $(h-d) = 0,1h$; $k_1 = 0,8$;

$k_2 = 0,5$; $k_c = 0,4$; $k = 1,0$; $k_t = 0,4$ και $k' = 1,0$

2. Υπό τους κατάλληλους συνδυασμούς δράσεων

Πίνακας 2.11 Μέγιστη απόσταση ράβδων για περιορισμό της ρηγμάτωσης

Τάση χάλυβα ² [MPa]	Μέγιστη απόσταση ράβδων [mm]		
	w _k = 0,4 mm	w _k = 0,3 mm	w _k = 0,2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων πρέπει για διατομές υπό κάμψη να τροποποιείται από τη σχέση (2.67)

$$\varphi_s = \varphi_s^* \left(f_{ct,eff} / 2,9 \right) \frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)} \quad (2.67)$$

Όπου

φ_s είναι η ανηγμένη μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων

φ_s^* είναι η μέγιστη διάμετρος ράβδων που δίνεται στον Πίνακα 7.2N

h είναι το ολικό ύψος της διατομής

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

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

Για προεντεταμένο μετά τη σκλήρυνση σκυρόδεμα, όπου ο περιορισμός της ρηγμάτωσης εξασφαλίζεται κυρίως με συνθήκη οπλισμό, οι πίνακες μπορεί να χρησιμοποιηθούν συνεκτιμώντας την επιρροή της προέντασης στην υπολογιζόμενη για τον οπλισμό αυτόν τάση.

Σε δοκούς συνολικού ύψους 1000 mm ή περισσότερο πρέπει να τοποθετείται πρόσθετος επιδερμικός οπλισμός για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης στις πλευρικές παρειές της δοκού. Ο οπλισμός αυτός πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα μεταξύ της στάθμης του εφελκόμενου οπλισμού και του ουδέτερου άξονα, και να βρίσκεται στο εσωτερικό των συνδετήρων. Το εμβαδόν του επιδερμικού οπλισμού δεν πρέπει να είναι μικρότερο από την τιμή που προκύπτει από τη σχέση που δίνει τον ελάχιστο οπλισμό θέτοντας $k = 0,5$ και $\sigma_s = f_{yk}$. Η απόσταση και η διάμετρος των ράβδων μπορεί να υπολογίζεται από τις σχέσεις που χρησιμοποιούνται κατά τον προσδιορισμό της ρηγμάτωσης με υπολογισμό του εύρους ρωγμής κάνοντας την παραδοχή καθαρού εφελκυσμού και τάσης του χάλυβα ίσης προς το ήμισυ της τιμής που εκτιμήθηκε για τον κύριο εφελκόμενο οπλισμό.

2.7.2.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΡΩΓΜΗΣ

Το εύρος ρωγμής, w_k , μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (2.68)

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (2.68)$$

όπου:

$s_{r,max}$ είναι η μέγιστη απόσταση των ρωγμών

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

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

Η $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (2.69)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (2.69)$$

όπου:

ε_s είναι η τάση στον εφελκόμενο οπλισμό, που προκύπτει με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής. Σε στοιχεία με προένταση πριν τη διάστρωση, η σ_s μπορεί να αντικαθιστάται από την $\Delta\sigma_{pr}$ τη μεταβολή της τάσης στους τένοντες προέντασης σε σχέση με την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη.

α_e είναι ο λόγος E_s/E_{cm}

$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi_1^2 A_p')/A_{c,eff}$

A_p' είναι το εμβαδόν των τενόντων (με τάνυση πριν ή μετά τη σκλήρυνση) εντός του $A_{c,eff}$.

$A_{c,eff}$ είναι η ενεργός επιφάνεια του εφελκόμενου σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό ή τους τένοντες προέντασης, ύψους $h_{c,ef}$, όπου $h_{c,ef}$ είναι η μικρότερη από τις τιμές $2,5(h-d)$, $(h-x)/3$ και $h/2$

ξ_1 όπως ορίζεται για τον ελάχιστο οπλισμό ρηγμάτωσης

k_t είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τη διάρκεια της φόρτισης
= 0,6 για βραχυχρόνια φόρτιση

= 0,4 για μακροχρόνια φόρτιση

Η μέγιστη τελική απόσταση των ρωγμών υπολογίζεται ως εξής

- Για αποστάσεις οπλισμών με συνάφεια μικρότερη από $5(c+\phi/2)$ σύμφωνα με τη σχέση (2.70)

$$s_{r,max} = 3,4c + 0,425k_1k_2\phi / \rho_{p,eff} \quad (2.70)$$

όπου:

ϕ είναι η διάμετρος της ράβδου. Όταν χρησιμοποιείται ποικιλία διαμέτρων, πρέπει να εισάγεται στη σχέση μια ισοδύναμη διάμετρος, ϕ_{eq} . Για μια διατομή με n_1 ράβδους διαμέτρου ϕ_1 και n_2 ράβδους διαμέτρου ϕ_2 , χρησιμοποιείται η σχέση (2.71)

$$\phi_{eq} = \frac{n_1\phi_1^2 + n_2\phi_2^2}{n_1\phi_1 + n_2\phi_2} \quad (2.71)$$

c είναι η επικάλυψη του διαμήκους οπλισμού

k_1 είναι ένας συντελεστής για να ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες συνάφειας του οπλισμού με συνάφεια:

= 0,8 για ράβδους υψηλής συνάφειας

= 1,6 για ράβδους με πρακτικώς λεία επιφάνεια (π.χ. τένοντες προέντασης)

k_2 είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η κατανομή των παραμορφώσεων:

= 0,5 για κάμψη

= 1,0 για καθαρό εφελκυσμό

Σε περιπτώσεις έκκεντρου εφελκυσμού ή για τμήματα μιας διατομής, χρησιμοποιούνται ενδιάμεσες τιμές του k_2 που μπορεί να υπολογιστούν από τη σχέση:

$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/2\varepsilon_1$$

Όπου ε_1 είναι η μεγαλύτερη και ε_2 η μικρότερη εφελκυστική παραμόρφωση στα άκρα της θεωρούμενης διατομής, που υπολογίζονται με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής

- Για αποστάσεις οπλισμού με συνάφεια μεγαλύτερη από $5(c+\phi/2)$ σύμφωνα με τη σχέση (2.72)

$$s_{r,max} = 1,3 (h - x) \quad (2.72)$$

2.7.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Ο ευρωκώδικας απαιτεί οι παραμορφώσεις ενός μέλος ή της κατασκευής σε σύνολο να μην είναι τέτοιες έτσι ώστε να επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία και εμφάνιση της. Υπερβολικές παραμορφώσεις υπό τα μόνιμα φορτία μπορεί να δώσουν στον παρατηρητή την οπτική εντύπωση ανεπαρκούς αντοχής ή να προκαλέσουν προβλήματα στη σωστή απορροή των υδάτων. Υπερβολικές παραμορφώσεις υπό τα κινητά φορτία ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβες στην υδατοστεγανότητα της γέφυρας και να οδηγήσουν σε προβλήματα δυναμικής συμπεριφοράς όπως η δυσφορία λόγω δυναμικής κίνησης του καταστρώματος καθώς και ζημιές στα δομικά στοιχεία. Στην πράξη συνήθως είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των παραμορφώσεων στις γέφυρες από σκυρόδεμα για να υπολογιστούν, για παράδειγμα, οι στροφές που μεταφράζονται σε μεγέθη σχεδιασμού για τις στηρίξεις. Στον ευρωκώδικα EN1992-1-1 δίνονται στην παράγραφο 7.4.3 κάποιες οδηγίες για τον υπολογιστικό έλεγχο των παραμορφώσεων αυτών.

2.8. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

2.8.1. ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ

Μία γέφυρα θα πρέπει να είναι επαρκώς ανθεκτική έτσι ώστε να παραμείνει λειτουργική για όλη τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού της. Κάτι τέτοιο απαιτείται και από τον ευρωκώδικα, που χαρακτηριστικά αναφέρει πως μια κατασκευή ανθεκτική σε διάρκεια πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις λειτουργικότητας, αντοχής, ευστάθειας και αποδεκτής εμφάνισης καθ' όλη τη διάρκεια του επιδιωκόμενου χρόνου ζωής σχεδιασμού, χωρίς σημαντικές απώλειες χρηστικότητας ούτε υπερβολική και απρόβλεπτη συντήρηση. Λόγω των παραπάνω θα πρέπει ο χάλυβας οπλισμών και προεντάσεως να προστατεύεται. Αυτό γίνεται μέσω της πρόβλεψης μιας ελάχιστης επικάλυψης c_{min} προκειμένου να διασφαλιστεί:

- η προστασία του χάλυβα έναντι διάβρωσης
- η ασφαλής μεταφορά των δυνάμεων συνάφειας
- επαρκής πυροπροστασία

Πρέπει να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή c_{min} που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις τόσο για τις συνθήκες συνάφειας όσο και για τις περιβαλλοντικές.

Για να μπορέσει να σχεδιαστεί ικανοποιητικά η γέφυρα σε ανθεκτικότητα θα πρέπει να ταξινομηθούν πρώτα οι περιβαλλοντικές συνθήκες σύμφωνα με τον Πίνακα 2.12

Πίνακας 2.12 Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαντολογικές συνθήκες σύμφωνα με το EN 206-1

Χαρακτηρισμός Κατηγορίας	Περιγραφή περιβάλλοντος	Πληροφοριακά παραδείγματα όπου οι κατηγορίες έκθεσης θα μπορούσαν να συμβούν
1 Χωρίς διακινδύνευση διάβρωσης ή προσβολής		
X0	Για άοπλο σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα χωρίς ενσωματωμένο μέταλλο: όλες οι συνθήκες έκθεσης εκτός περιπτώσεων όπου υπάρχουν ψύξη/απόψυξη, επιφανειακή τριβή ή χημική προσβολή. Για οπλισμένο σκυρόδεμα: πολύ ξηρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος
2 Διάβρωση από ενανθράκωση		
XC1	Ξηρό ή μόνιμα υγρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με μέτρια ή υψηλή υγρασία αέρος Σκυρόδεμα μόνιμα βυθισμένο στο νερό
XC2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος υπό μακροχρόνια επαφή με το νερό. Πληθώρα θεμελιώσεων.
XC3	Μέτρια υγρασία	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος Εξωτερικό σκυρόδεμα προσβαλλόμενο από τη βροχή

XC4	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος σε επαφή με το νερό, εκτός της κατηγορίας έκθεσης XC2
3 Διάβρωση από χλωριούχα		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε αερομεταφερόμενα χλωριούχα.
XD2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Πισίνες. Στοιχεία σκυροδέματος εκτεθειμένα σε βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν χλωριούχα.
XD3	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Τμήματα γεφυρών εκτεθειμένα σε ψεκάσμο χλωριούχων. Πεζοδρόμια. Πλάκες χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων.
4 Διάβρωση από χλωριούχα θαλασσινού νερού		
XS1	Εκτεθειμένο σε άλατα θαλάσσης αερομεταφερόμενα αλλά χωρίς άμεση επαφή με το θαλασσινό νερό.	Κατασκευές κοντά ή επί της ακτής
XS2	Μόνιμα βυθισμένο σε θαλασσινό νερό	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Ζώνες παλίρροιας, παφλασμού και πιτσιλισματος.	Τμήματα λιμενικών έργων
5. Προσβολή ψύξης / απόψυξης		
XF1	Μέτριας κλίμακας υδρεμπότισμός χωρίς, παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF2	Μέτριας κλίμακας υδρεμπότισμός με παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος κατασκευών οδοποιίας εκτεθειμένες σε ψύξη και παράγοντες απόψυξης που μεταφέρονται με τον αέρα.
XF3	Εκτεταμένος υδρεμπότισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF4	Εκτεταμένος υδρεμπότισμός με παράγοντα απόψυξης ή θαλασσινό νερό	Καταστρώματα οδών ή γεφυρών εκτεθειμένα σε παράγοντες απόψυξης. Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε άμεσο ψεκάσμο με παράγοντες απόψυξης. Ζώνες παφλασμού σε λιμενικά έργα εκτεθειμένα σε πάγο.
6. Χημική προσβολή		
XA1	Ελαφρώς επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA2	Μετρίως επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA3	Ιδιαίτερος επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα

Η ονομαστική επικάλυψη, c_{nom} ορίζεται ως η ελάχιστη επικάλυψη c_{min} , συν την σχεδιαστική ανοχή για την αντιμετώπιση αποκλίσεων, Δc_{dev} όπως φαίνεται από τη σχέση (2.73)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (2.73)$$

Θα πρέπει να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή c_{min} που προκύπτει από απαιτήσεις τόσο για τις συνθήκες συνάφειας όσο και για τις περιβαλλοντικές.

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \} \quad (2.74)$$

όπου

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

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

$\Delta c_{dur,y}$ πρόσθετη ασφάλεια στοιχείου

$\Delta c_{dur,st}$ απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση χρήσης ανοξειδωτού χάλυβα

Δc_{dur} απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση πρόσθετης προστασίας

Αναλυτικές οδηγίες για τον υπολογισμό των παραπάνω μεγεθών δίνονται στην παράγραφο 4.4.1.2 του EN1992-1-1.

2.8.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΙΝΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

2.8.2.1. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Η καθαρή απόσταση μεταξύ μεμονωμένων παράλληλων ράβδων ή οριζόντιων στρώσεων από παράλληλες ράβδους πρέπει να μην είναι μικρότερη από το μέγιστο των:

- Διάμετρος ράβδου
- $d_g + 5\text{mm}$, όπου d_g η μέγιστη διάσταση κόκκου του αδρανούς
- 20mm

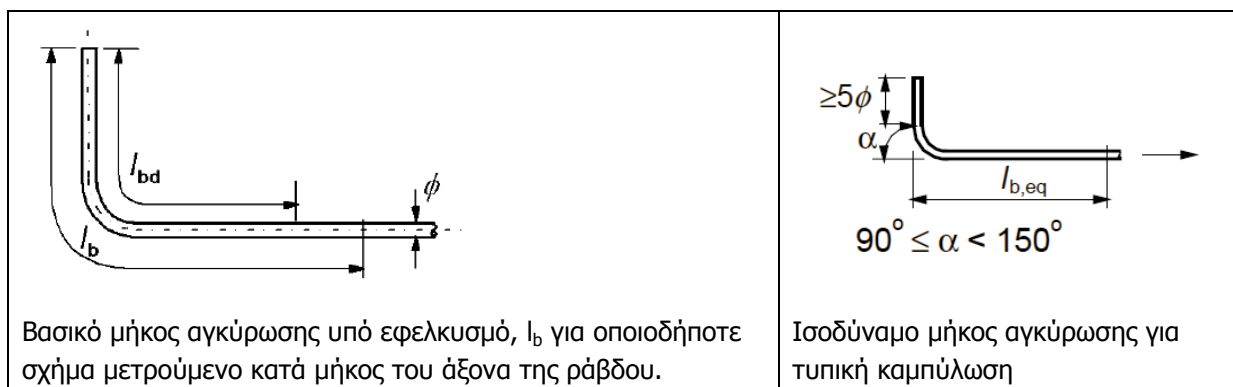
Όταν οι ράβδοι διατάσσονται σε οριζόντιες στρώσεις θα πρέπει οι επάλληλες ράβδοι ξεχωριστών στρώσεων να τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη και να υπάρχει επαρκές διάστημα έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση του δονητή.

2.8.2.2. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΟΥΜΕΝΕΣ ΡΑΒΔΟΥΣ

Προς αποφυγή βλάβης των οπλισμών η διάμετρος καμπύλωσης της ράβδου (διάμετρος τυμπάνου) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $\phi_{m,min}$ το οποίο δίνεται στον Πίνακα 2.13.

Πίνακας 2.13 Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου συναρτήσει της διαμέτρου της ράβδου οπλισμού

Διάμετρος ράβδου	Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου για καμπυλώσεις, άγκιστρα και βρόχους (βλέπε Σχήμα 2.15)
$\phi \leq 16 \text{ mm}$	4ϕ
$\phi > 16 \text{ mm}$	7ϕ



<p>Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό άγκιστρο</p>	<p>Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό βρόχο</p>	<p>Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης με συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο</p>

Σχήμα 2.15 Μέθοδοι αγκύρωσης μη ευθυγράμμων ράβδων

2.8.2.3. ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

Η οριακή τάση συνάφειας f_{bd} για ράβδους με νευρώσεις μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση (2.75)

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \tag{2.75}$$

όπου

f_{ctd} είναι η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος. Λόγω της αυξημένης ψαθυρότητας των σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής, το $f_{ctk,0,05}$ πρέπει να περιοριστεί στη τιμή που αντιστοιχεί στο C60/75, εκτός αν μπορεί να τεκμηριωθεί ότι η μέση τάση συνάφειας υπερβαίνει αυτό το όριο.

η_1 $\eta_1 = 1,0$ όταν εξασφαλίζονται 'ευνοϊκές' συνθήκες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.16

$\eta_1 = 0,7$ για όλες τις άλλες περιπτώσεις

η_2 $\eta_2 = 1,0$ για $\varnothing \leq 32$ mm

<p>a) $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$</p>	<p>c) $h > 250$ mm</p>	<p>A Διεύθυνση σκυροδέτησης</p>
<p>b) $h \leq 250$ mm</p>	<p>d) $h \geq 600$ mm</p>	
<p>a) και b) 'ευνοϊκές' συνθήκες συνάφειας για όλες τις ράβδους</p> <p>c) και d) μη γραμμοσκιασμένη περιοχή – 'ευνοϊκές' συνθήκες συνάφειας γραμμοσκιασμένη περιοχή – 'δυσμενείς' συνθήκες συνάφειας</p>		

Σχήμα 2.16 Διάκριση συνθηκών συνάφειας

2.8.2.4. ΒΑΣΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

Το απαιτούμενο βασικό μήκος αγκύρωσης δίνεται από τη σχέση (2.76)

$$l_{b,rd} = (\sigma_{sd}/f_{td}) \cdot (\varnothing/4) \quad (2.76)$$

όπου

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

2.8.2.5. ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

Το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης, $l_{b,min}$, ορίζεται στις σχέσεις (2.77) και (2.78)

$$\text{Για αγκυρώσεις υπό εφελκυσμό} \quad l_{b,min} > \max\{0,3l_{b,rd}; 10\varnothing; 100 \text{ mm}\} \quad (2.77)$$

$$\text{Για αγκυρώσεις υπό θλίψη} \quad l_{b,min} > \max\{0,6l_{b,rd}; 10\varnothing; 100 \text{ mm}\} \quad (2.78)$$

2.8.2.6. ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού, l_{bd} δίδεται από τη σχέση (2.79)

$$l_{bd} = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 l_{b,rd} \geq l_{b,min} \quad (2.79)$$

όπου a_1, a_2, a_3, a_4 και a_5 είναι συντελεστές που δίνονται στον Πίνακα 2.14

Απαιτείται $(a_2 a_3 a_5) \geq 0,7$

a) Ευθύγραμμες ράβδοι $c_d = \min(a/2, c_1, c)$	b) Καμπτόμενες ράβδοι ή άγκιστρα $c_d = \min(a/2, c_1)$	c) Βρόχοι $c_d = c$

Σχήμα 2.17 Τιμές του c_d για δοκούς και πλάκες

Πίνακας 2.14 Τιμές των συντελεστών a_1, a_2, a_3, a_4 και a_5

Παράγοντας επιρροής	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$a_1 = 1,0$	$a_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 2.15 (b), (c) και (d))	$a_1 = 0,7$ εάν $c_d > 3\varnothing$ αλλιώς $a_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 2.17 για τιμές του c_d)	$a_1 = 1,0$
	Ευθύγραμμη	$a_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$a_2 = 1,0$
Επικάλυψη σκυροδέματος	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 2.15(b), (c) και (d))	$a_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3\varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (βλέπε Σχήμα 2.17 για τιμές του c_d)	$a_2 = 1,0$

Περίσφιξη με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$a_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$a_3 = 1,0$
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό*	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 2.15 (ε)	$a_4 = 0,7$	$a_4 = 0,7$
Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$a_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

όπου :

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

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

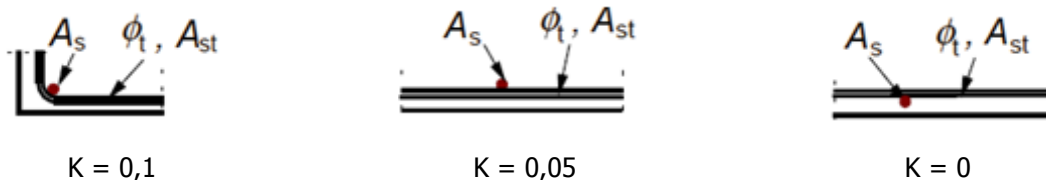
$\Sigma A_{st,min}$ εμβαδόν διατομής του ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού (0,25 A_s για δοκούς και μηδενικό για πλάκες)

A_s εμβαδόν διατομής της αγκυρούμενης ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο

K συντελεστής με τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 2.18

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

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



Σχήμα 2.18 Τιμές του K για δοκούς και πλάκες

2.8.2.7. ΜΗΚΟΣ ΥΠΕΡΚΑΛΥΨΗΣ

Το μήκος υπερκάλυψης σχεδιασμού δίνεται από τη σχέση (2.80)

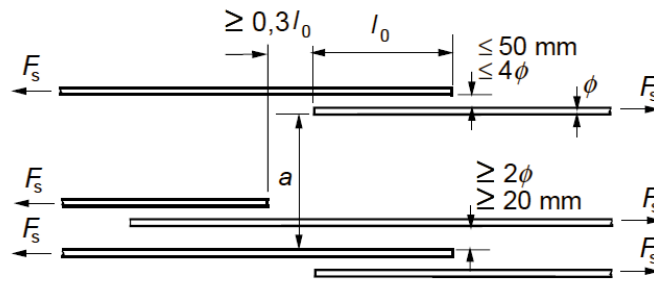
$$l_o = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 l_{b,reqd} \geq l_{o,min} \quad (2.80)$$

όπου :

$$l_{o,min} > \max\{0,3 a_6 l_{b,reqd}, 15\phi, 200 \text{ mm}\}$$

a_1, a_2, a_3 και a_5 Όπως υπολογίστηκαν για το μήκος αγκύρωσης. Κατά τον υπολογισμό του a_3 , το $\Sigma A_{st,min}$ λαμβάνεται ίσο προς $1.0A_s(\sigma_{sd}/f_{yd})$ με A_s το εμβαδόν διατομής της μίας υπό ένωση ράβδου.

$a_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$ αλλά όχι μεγαλύτερο από 1.5 ούτε μικρότερο από 1.0, όπου ρ_1 είναι το ποσοστό των υπό ένωση ράβδων σε αποστάσεις $0.65l_o$ εκατέρωθεν του θεωρούμενου μέσου του μήκους υπερκάλυψης όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.19



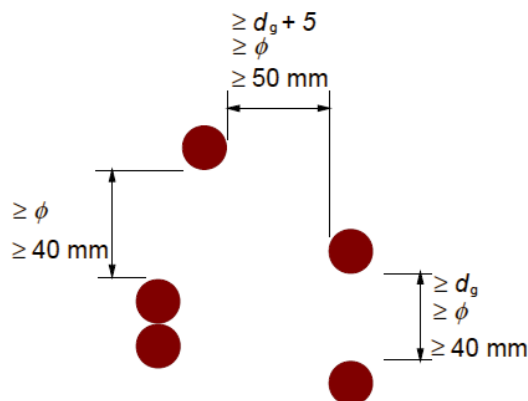
Σχήμα 2.19 Γειτονικές ενώσεις με υπερκάλυψη

2.8.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΤΑΝΥΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα περιβλήματα (σωλήνες) για τένοντες που προεντίνονται μετά τη σκυροδέτηση πρέπει να κατασκευάζονται και να τοποθετούνται έτσι ώστε:

- Το σκυρόδεμα να μπορεί να διαστρωθεί με ασφάλεια χωρίς βλάβη των σωλήνων.
- Το σκυρόδεμα να μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις εκτροπής στις καμπυλωμένες περιοχές των σωλήνων τόσο κατά όσο και μετά την τάνυση.
- Να μην διαρρεύσει ένεμα σε γειτονικούς σωλήνες κατά τη διάρκεια της πλήρωσης με ένεμα.

Οι ελάχιστες καθαρές αποστάσεις μεταξύ σωλήνων πρέπει να πληρούν τους περιορισμούς που φαίνονται στο Σχήμα 2.20



ΣΗΜΕΙΩΣΗ Όπου ϕ είναι η διάμετρος των σωλήνων και d_g είναι το μέγιστο μέγεθος αδρανούς.

Σχήμα 2.20 Ελάχιστες καθαρές αποστάσεις μεταξύ σωλήνων

3 ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΡΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Εξετάζεται μια τυπική γέφυρα άνω διαβάσεως συνολικού μήκους 104.0m το οποίο περιλαμβάνει τρία (3) ανοίγματα 32m+40m+32m. Το μήκος των ακραίων ανοιγμάτων είναι το 0.8 του τυπικού ανοίγματος έτσι ώστε να υπάρχει ευνοϊκότερη κατανομή ροπών. Το οδόστρωμα έχει συνολικό πλάτος 9.5m, και προβλέπονται εκατέρωθεν πεζοδρόμια πλάτους 2m με στηθαίο ασφαλείας και κιγκλίδωμα όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.8. Το συνολικό πλάτος της γέφυρας είναι 13.5m. Η επιφάνεια της οδού έχει αμφικλινή επίκλιση 4%. Ο φορέας της γέφυρας είναι συνεχής, κιβωτιοειδούς διατομής και στηρίζεται στα ακρόβαθρα και στα μεσόβαθρα μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

Το πάχος των ασφαλτικών θεωρείται ίσο με 10cm (5cm ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση και 5cm αντιολισθηρή στρώση). Η μόρφωση της εγκάρσιας κλίσης του οδοστρώματος επιτυγχάνεται μέσω του σκυροδέματος προστασίας μόνωσης, που έχει ελάχιστο πάχος 5cm. Το κράσπεδο έχει ύψος 15cm πάνω από την επιφάνεια κύλισης, και η άνω επιφάνεια του πεζοδρομίου παρουσιάζει επίκλιση 4%.

3.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Άνοιγμα 1	= 32 m
Άνοιγμα 2	= 40 m
Άνοιγμα 3	= 32 m
Οδόστρωμα	= 9.50 m πλάτος, δύο λωρίδες κυκλοφορίες και δύο βοηθητικές
Πεζοδρόμια	= 0.75 m
Θέση	= Αττική σε απόσταση από την ακτή > 10km
Στάθμη	= 10 m από τη στάθμη του εδάφους
Θερμοκρασίες	= Η θερμοκρασία μελέτης λήφθηκε από τις "Εκπαιδευτικές Σημειώσεις για χρήση των ευρωκωδίκων EN1991-1-5: Γενικές Δράσεις – Θερμικές δράσεις, Νίκος Μαλακάτας – Κώστας Τρέζος".

3.3. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη της γέφυρας γίνεται σύμφωνα με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω κανονισμοί και τα αντίστοιχα εθνικά προσαρτήματα:

EN 1990:2002	Βάσεις σχεδιασμού
EN 1990:2002/A1	Παράρτημα A2
EN 1991-1-1:2002	Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια
EN 1991-1-4:2005	Δράσεις ανέμου
EN 1991-1-5:2003	Θερμικές δράσεις
EN 1991-2:2003	Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες
EN 1992-1-1:2004	Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια
EN 1992-2:2005	Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα - Γέφυρες από σκυρόδεμα - Σχεδιασμός και κανόνες διαμόρφωσης

3.4. ΔΙΑΤΟΜΕΣ

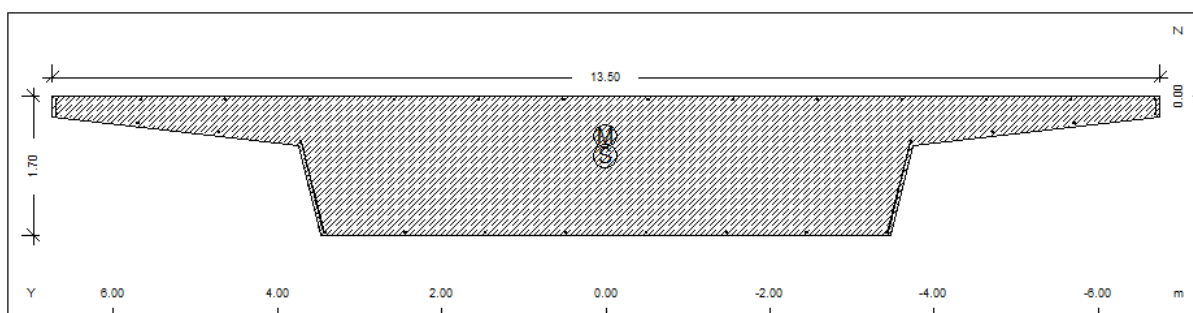
Κατά την προμελέτη ορίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν τρεις διατομές κιβωτιοειδούς μορφής. Για την προκαταρκτική επιλογή των μεγεθών της διατομής χρησιμοποιήθηκε το Σχήμα 43 του Concrete Box-Girder Bridges των Jorg Schlaich και Hartmut Scheef.

ΔΙΑΤΟΜΗ 1

Η διατομή έχει πλάτος 13.50m και ύψος 1.70m. Η διατομή χρησιμοποιήθηκε στις θέσεις των στηρίξεων. Το σχέδιο της διατομής φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και τα βασικά χαρακτηριστικά της διατομής στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.1 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 1

A [m ²]	I _t [m ⁴]	I _y /I _z [m ⁴]	γ _s /z _s [m]	γ-s _c /z-s _c [m]	Gam [kN/m]
14.998	6.392	3.826/1.224E+02	0.000/0.734	0.000/0.491	374.94



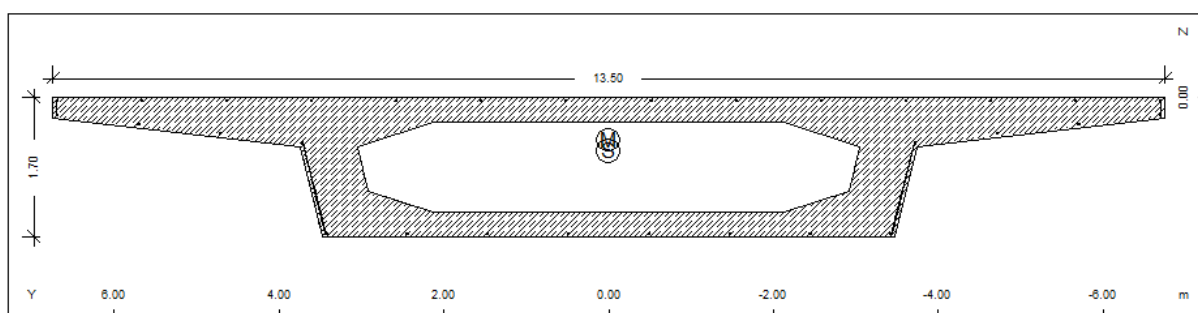
Σχήμα 3.1 Διατομή 1

ΔΙΑΤΟΜΗ 2

Η διατομή 2 έχει όμοια εξωτερικά χαρακτηριστικά με τη διατομή 1 στο εσωτερικό της όμως είναι κοίλη και όχι ολόσωμη. Χρησιμοποιήθηκε ως διατομή μετάβασης από τη διατομή τύπου 1 που είναι συμπαγής στη διατομή τύπου 3 που είναι κοίλη με μεγαλύτερο εσωτερικό κενό. Έχει αυξημένο πάχος κορμών σε σχέση με τη διατομή τύπου 3 λόγω της αυξημένης διατμητικής εντάσεως που αναμένεται κοντά στις στηρίξεις όπου και τοποθετείται.

Πίνακας 3.2 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 2

A [m ²]	I _t [m ⁴]	I _y /I _z [m ⁴]	y _s /z _s [m]	y-s _d /z-s _c [m]	Gam [kN/m]
8.8975	4.892	3.128/1.063E+02	0.000/0.655	0.000/0.524	222.44



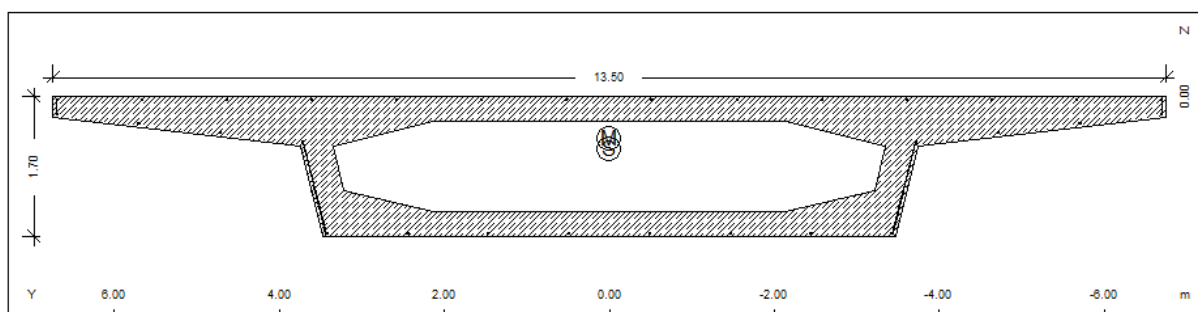
Σχήμα 3.2 Διατομή 2

ΔΙΑΤΟΜΗ 3

Η διατομή 3 έχει επίσης όμοια εξωτερικά χαρακτηριστικά με τις δύο προηγούμενες. Εσωτερικά είναι κοίλη. Εφαρμόζεται στις υπόλοιπες περιοχές των ανοιγμάτων.

Πίνακας 3.3 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 3

A [m ²]	I _t [m ⁴]	I _y /I _z [m ⁴]	y _s /z _s [m]	y-s _d /z-s _c [m]	Gam [kN/m]
8.3995	4.811	3.074/1.017E+02	0.000/0.642	0.000/0.515	209.99



Σχήμα 3.3 Διατομή 3

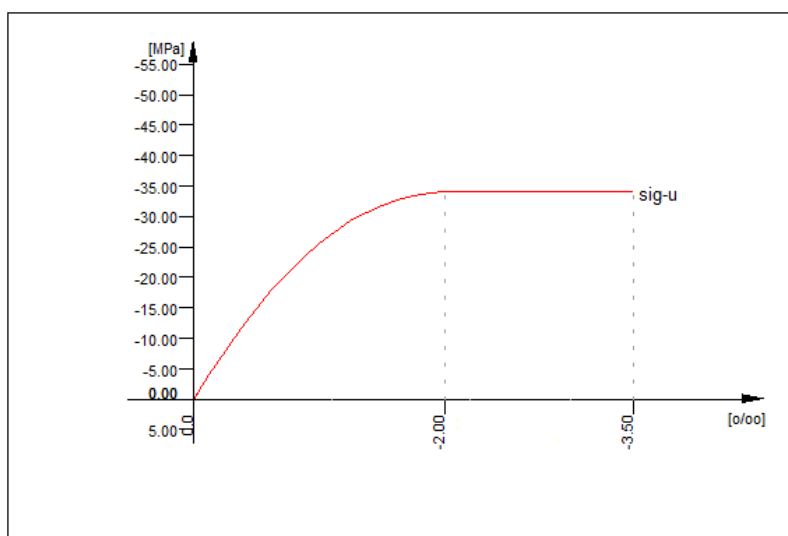
3.5. ΥΛΙΚΑ

3.5.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Κατηγορία C40/50 με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 3.4 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων του Σχήματος 3.4

Πίνακας 3.4 Ιδιότητες σκυροδέματος C40/50

fck [MPa]	fctm [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	ϵ_{c2} (‰)	ϵ_{cu2} (‰)	$f_{cd,fat}$ [MPa]	α [1/°K]	Λόγος Poisson
40	3.51	34525	14386	25	2	3.5	16.47	1.00E-0.5	0.2



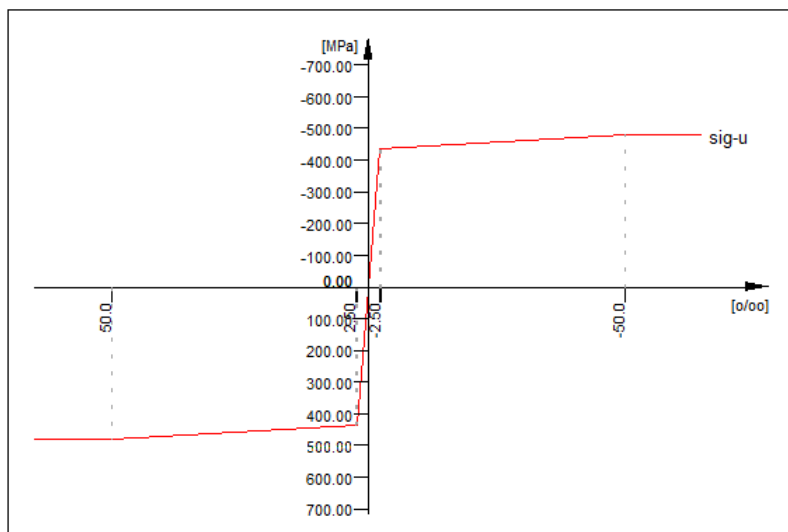
Σχήμα 3.4 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκε για σκυρόδεμα κατηγορίας C40/50.

Χάλυβας Οπλισμού

Κατηγορία B500c με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 3.5 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων του Σχήματος 3.5

Πίνακας 3.5 Ιδιότητες χάλυβα B500C

f _{yk} [MPa]	f _t [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	ϵ_{uk} (‰)	k ₁	α [1/°K]	Λόγος Poisson
500	550	200000	76923	78.5	50	0.8	1.20E-0.5	0.3



Σχήμα 3.5 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκε για χάλυβα B500c.

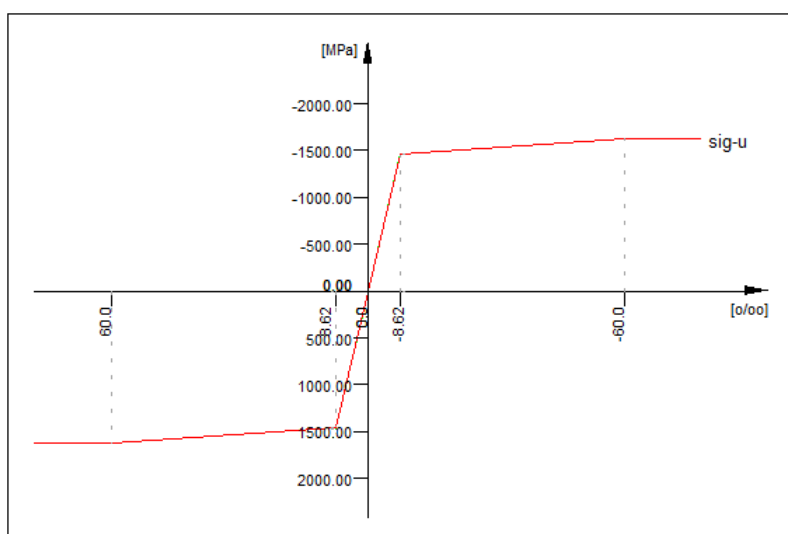
Χάλυβας προέντασης

Κατηγορία Y1680/1860 με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 3.6 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων του Σχήματος 3.6.

Ο κάθε τένοντας αποτελείται από 27 επτάκλιωνα συρματόσχοινα το κάθε ένα από τα οποία έχει ονομαστική διάμετρο 15.2mm, ονομαστική επιφάνεια χάλυβα 139 mm² και ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας 9000mm. Ενδεικτικό είναι το σύστημα Alga cable της εταιρίας ALGA με τένοντες 27T15.

Πίνακας 3.6 Ιδιότητες χάλυβα Y1680/1860

fyk [MPa]	ft [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	εuk (‰)	k1	α [1/°K]	Λόγος Poisson	Κατηγορία Χαλάρωσης
1680	1860	195000	75000	78.5	60	1.60	1.20E-05	0.3	1



Σχήμα 3.6 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκε για χάλυβα προέντασης Y1680/1860.

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας - ΟΚΑ

Σκυρόδεμα $\gamma_c = 1.5$

Χάλυβας οπλισμού $\gamma_s = 1.15$

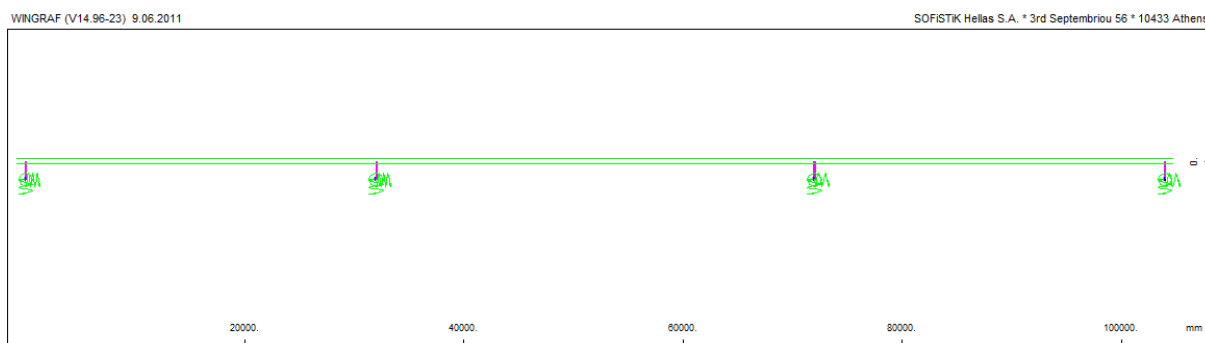
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας - ΟΚΛ

Σκυρόδεμα $\gamma_c = 1$

Χάλυβας οπλισμού $\gamma_s = 1$

3.6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Ο φορέας προσομοιώνεται με τη βοήθεια ραβδόμορφων στοιχείων. Η σύνδεση της ανωδομής με τα βάθρα γίνεται παντού μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων τα οποία έχουν προσομοιωθεί με ελατήρια κατά τις 3 κύριες διευθύνσεις. Η διαφορά στάθμης μεταξύ των αξόνων των κυρίων δοκών και των εφεδράνων εισάγεται με τη βοήθεια άκαμπτων στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η αποτύπωση των διαμήκων μετατοπίσεων στα εφέδρανα που προκαλούνται λόγω στροφής θ



Σχήμα 3.7 Στατικό προσομοίωμα φορέα, πλάγια όψη

3.7. ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ

Χαλαρός οπλισμός

Η ονομαστική επικάλυψη των οπλισμών η οποία ικανοποιεί τις απαιτήσεις συνάφειας και περιβαλλοντικών συνθηκών δίνεται από τη σχέση 3.1.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (3.1)$$

Για τον υπολογισμό έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- Οπλισμός διαμέτρου 28mm
- Κατασκευή κατηγορίας 4
- Κατηγορία εκθέσεως XC3

$$c_{nom} = 30\text{mm} + 10\text{mm} = 40\text{mm}$$

Προεντεταμένος οπλισμός

$$c_{nom} = 80\text{mm} + 10\text{mm} = 90\text{mm}$$

3.8. ΔΡΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

3.8.1. ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Τις μόνιμες δράσεις συνιστούν τα φορτία τα οποία δρουν στο φορέα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Αυτά είναι το ίδιο βάρος, τα πρόσθετα μόνιμα και η δύναμη της προέντασης.

3.8.1.1. ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

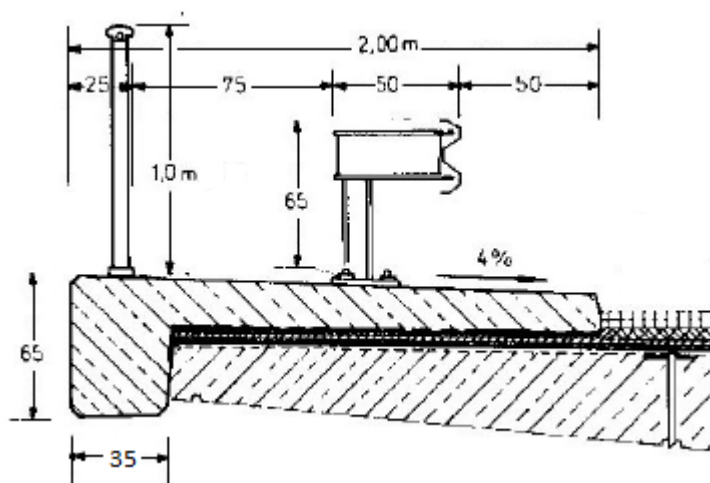
Το ίδιο βάρος, που συμβολίζεται με $G_{k,1}$, θεωρείται ότι ασκείται στο κέντρο βάρους της κάθε διατομής και υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Αυτό για τις τρεις διαφορετικές διατομές που έχουν χρησιμοποιηθεί δίνει τις τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7 Ίδια βάρη ανά μέτρο μήκους των τριών διατομών

Διατομή	Ίδιο βάρος, $G_{k,1}$ [kN/m _{μήκους}]
1	374.94
2	222.44
3	209.99

3.8.1.2. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΟΝΙΜΑ

Τα πρόσθετα μόνιμα, που συμβολίζονται με $G_{k,2}$ περιλαμβάνουν το βάρος των ασφαλτικών στρώσεων, τα φορτία του εξοπλισμού της γέφυρας όπως πχ το σύστημα συγκράτησης οχημάτων, κιγκλιδώματα, φωτισμός κλπ, τα φορτία του πεζοδρομίου και του στηθαίου ασφαλείας κλπ. Τα φορτία αυτά λόγω του ότι είναι συμμετρική ως προς τον άξονα z-z δεν προκαλούν στρεπτική καταπόνηση στη γέφυρα. Στο προσομοίωμα θεωρείται ότι δρουν στο κέντρο βάρους της διατομής. Το πεζοδρόμιο διαμορφώνεται όπως φαίνεται στη λεπτομέρεια του Σχήματος 3.8 παρακάτω.



Σχήμα 3.8 Λεπτομέρεια διαμόρφωσης του ακραίου τμήματος του προβόλου που περιλαμβάνει το σύστημα συγκράτησης, τις μετωπίδες και το κιγκλιδώμα των πεζών. Το σχήμα αυτό λήφθηκε από το Prestressed Box-Girder Bridges των Jorg Schlaich και Hartmut Scheef και στη συνέχεια τροποποιήθηκε

Οι τελικές τιμές που προκύπτουν για τα πρόσθετα μόνιμα φορτία συνοψίζονται στον

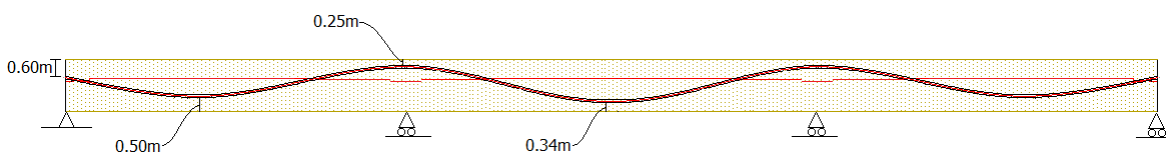
Πίνακας 3.8 Πίνακα 3.8 που δίνεται παρακάτω.

Πίνακας 3.8 Πρόσθετα μόνιμα φορτία που οφείλονται στον εξοπλισμό της γέφυρας

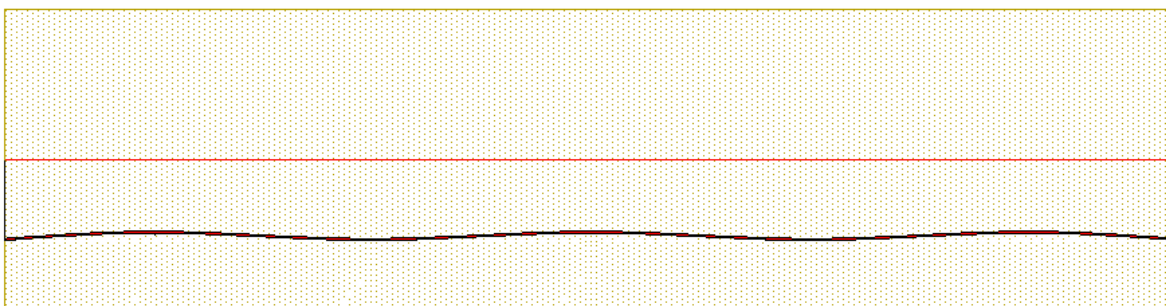
Λεπτομέρεια	Φορτίο ανά μέτρο μήκους [kN/m _{μήκους}]
Υλικά οδοποιίας	35.15
Σύστημα συγκράτησης	0.6
Σκυρόδεμα μετωπίδας και πεζοδρομίου	34.25
Συνολο $G_{k,2}$	70

3.8.1.3. ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ

Το μέγεθος της προέντασης και η γεωμετρία της χάραξης εκτιμήθηκαν με προκαταρκτικούς ελέγχους. Τελικώς η επιβολή της προέντασης γίνεται μέσω 12 τενόντων κάθε ένας από τους οποίους αποτελείται από 27 επτάκλινα συρματόσχοινα με ονομαστική διάμετρο 15.2mm και εμβαδό χάλυβα 139mm². Οι τένοντες τοποθετούνται σε δύο ομάδες των έξι τενόντων συμμετρικά ως προς τον άξονα z-z και κινούνται καθ' ύψος των κορμών της διατομής καθώς η χάραξη θα ακολουθεί το διάγραμμα ροπών κάμψης των μόνιμων φορτίων. Στα άκρα θα "ανοίγουν" καθ' ύψος και κατά πλάτος της διατομής έτσι ώστε να είναι δυνατή η αγκύρωσή τους με τη συνισταμένη δύναμη να διέρχεται από το κέντρο βάρους της διατομής. Στο προσομοίωμα ορίστηκε ένας κεντροβαρικός τένοντας για κάθε ομάδα τενόντων του οποίου η χάραξη φαίνεται στο Σχήμα 3.9 και Σχήμα 3.10 του οποίου η χάραξη ικανοποιεί την παραπάνω απαίτηση.

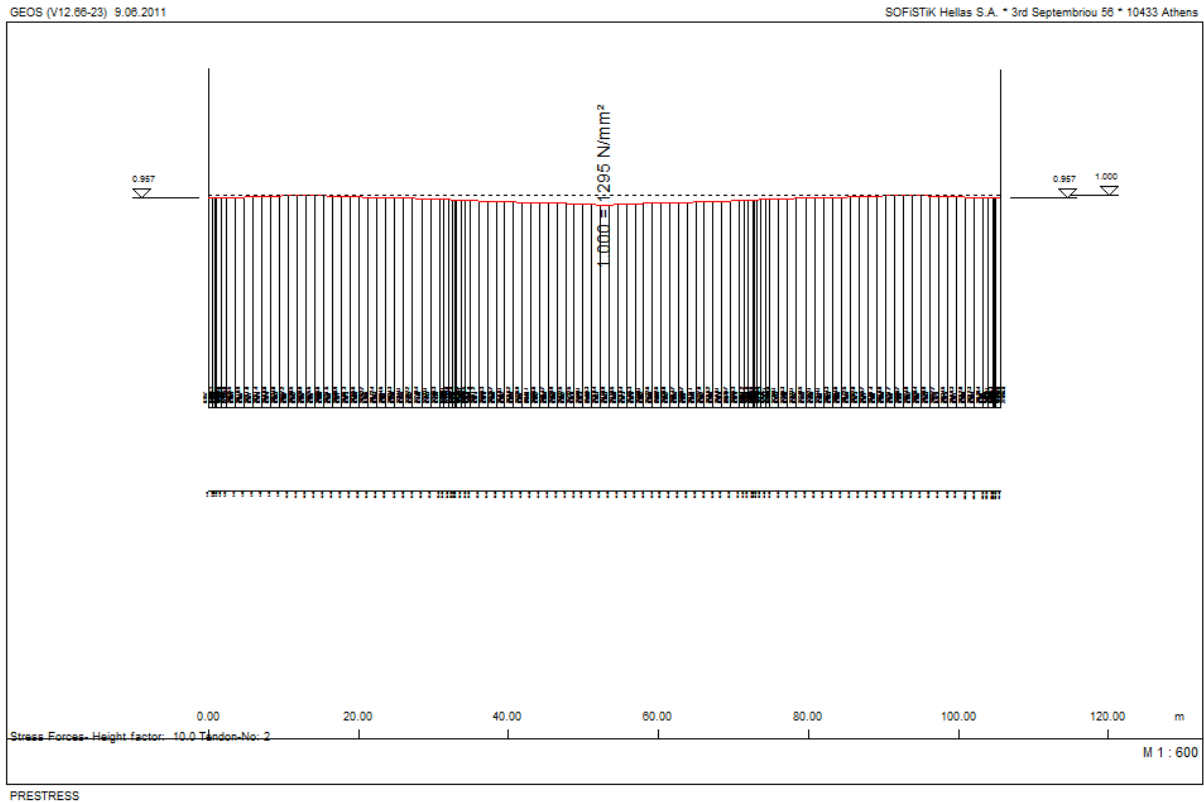


Σχήμα 3.9 Οριζόντια τομή όπου εμφανίζεται η καθ' ύψος θέση του τένοντα. Η κλίμακα υψών/μηκών είναι 3/1 για λόγους καλύτερης ευκρίνειας

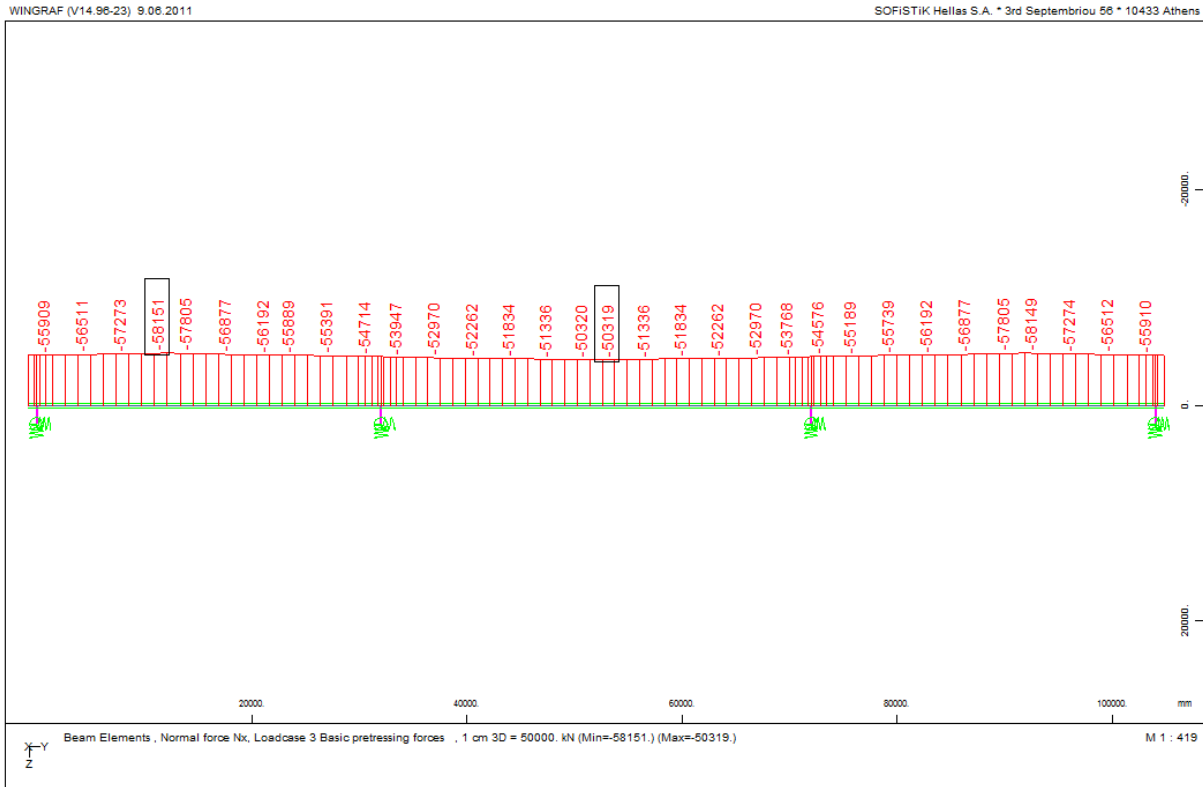


Σχήμα 3.10 Κάτοψη όπου εμφανίζεται η κατά πλάτος θέση του τένοντα. Η χάραξη δεν είναι ευθύγραμμη λόγω του ότι οι κορμοί της διατομής είναι κεκλιμένοι και συνεπώς η χάραξη έπρεπε να ακολουθήσει αυτή τη διαδρομή για να μείνουν οι τένοντες εντός διατομής

Οι τένοντες τανύονται με τάση 1295MPa. Για τον υπολογισμό των μειώσεων θεωρήθηκε τιμή συντελεστή τριβής $\mu = 0.2$, $\beta = 0.573$ και ολίσθηση κατά τη σφήνωση ίση με 2mm. Το διάγραμμα των μειώσεων προέντασης φαίνεται στο Σχήμα 3.11 ενώ στο Σχήμα 3.12 φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα δύναμης προέντασης.



Σχήμα 3.11 Διάγραμμα μειώσεων προέντασης κατά μήκος της γέφυρας. Ελάχιστη τιμή 0.862.



Σχήμα 3.12 Διάγραμμα δύναμης προέντασης κατά μήκος της γέφυρας. Σε περίγραμμα δίνεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή.

3.8.2. ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

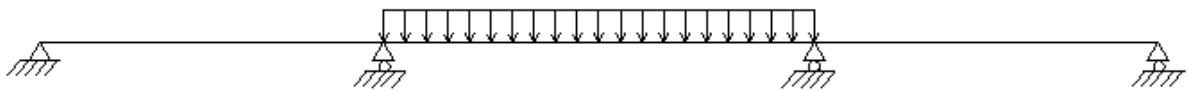
3.8.2.1. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Το κατάστρωμα έχει πλάτος $w = 11\text{m}$ και χωρίζεται σύμφωνα με τον EN1991-2 σε 3 ονομαστικές λωρίδες κυκλοφορίας και 0.5m απομένουσα λωρίδα κυκλοφορίας. Η φόρτιση με την Πρότυπη Φόρτιση 1 (ΠΦ1 ή LM1) που προκύπτει είναι όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.9 και προκύπτει από τη χρήση των τιμών που βρίσκονται στον παραπάνω Ευρωκώδικα σε συνδυασμό με τους τροποποιητικούς συντελεστές για τα συστήματα διδύμου άξονα (TS) που δίνονται στο Εθνικό προσάρτημα της Ελλάδας. Στη μελέτη λήφθηκαν συντελεστές α_q για τα TS της ΠΦ1 ίσοι με 1 καθ' ότι σύμφωνα με το παράρτημα του Ευρωκώδικα EN1991-2 θεωρείται ότι με αυτόν τον τρόπο καλύπτονται οι επιδράσεις του τυποποιημένου πρότυπου 600/150 της ΠΦ3.

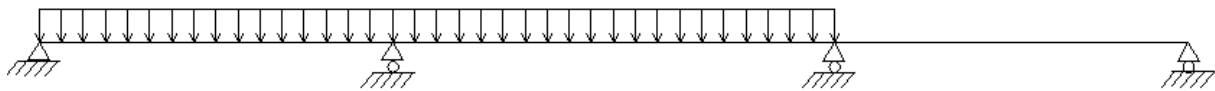
Πίνακας 3.9 Κατακόρυφα φορτία που οφείλονται στην ΠΦ1 (LM1) τροποποιημένα με τους συντελεστές του εθνικού προσαρτήματος της Ελλάδας

Ονομαστική Λωρίδα	Συγκεντρωμένα Φορτία [kN/άξονα]	Καταναμημένα Φορτία [kN/m ²]
1	270	9
2	180	2.5
3	90	2.5
Απομένουσα	–	2.5
Πεζοδρόμια	–	3 (τιμή που δίνεται για τα

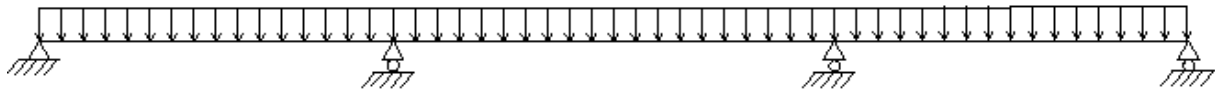
Τα φορτία τοποθετούνται με τη μέγιστη εκκεντρότητα κατά την εγκάρσια έννοια στο κατάστρωμα έτσι ώστε να προκύψει η μέγιστη καταπόνηση όσον αφορά τις στρεπτικές ροπές (βλ. Σχήμα 3.16 και Σχήμα 3.17). Για να ληφθεί υπόψη η εκκεντρότητα της κύριας λωρίδας κατά την εγκάρσια έννοια της γέφυρας, εφαρμόζεται στρεπτική κατανεμημένη ροπή στο φορέα ίση με $2*3*2+9*3*3.25+2.5*3*0.25 = 44.125\text{kN/m}_{\text{μήκους}}$. Στη συνέχεια τα φορτία τοποθετούνται με διάφορους τρόπους κατά τη διαμήκη έννοια και λαμβάνεται η περιβάλλουσα των φορτίσεων (τα κατανεμημένα φαίνονται στο Σχήμα 3.13 έως Σχήμα 3.15 ενώ τα συγκεντρωμένα τοποθετούνται με βήμα 1 μέτρο καθ' όλο το μήκος της γέφυρας).. Ο ευρωκώδικας επιτρέπει να φορτίζεται το ένα πεζοδρόμιο σε περίπτωση που αυτό δίνει δυσμενέστερα αποτελέσματα κάτι που λήφθηκε υπ' όψη.



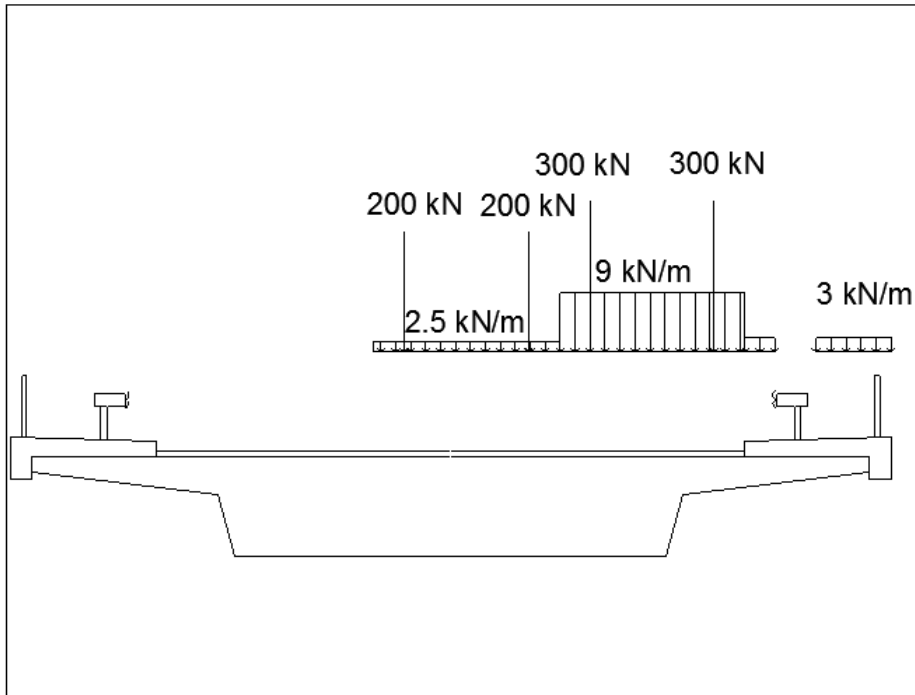
Σχήμα 3.13 Διαμήκης φόρτιση για μέγιστη θετική ροπή στο άνοιγμα



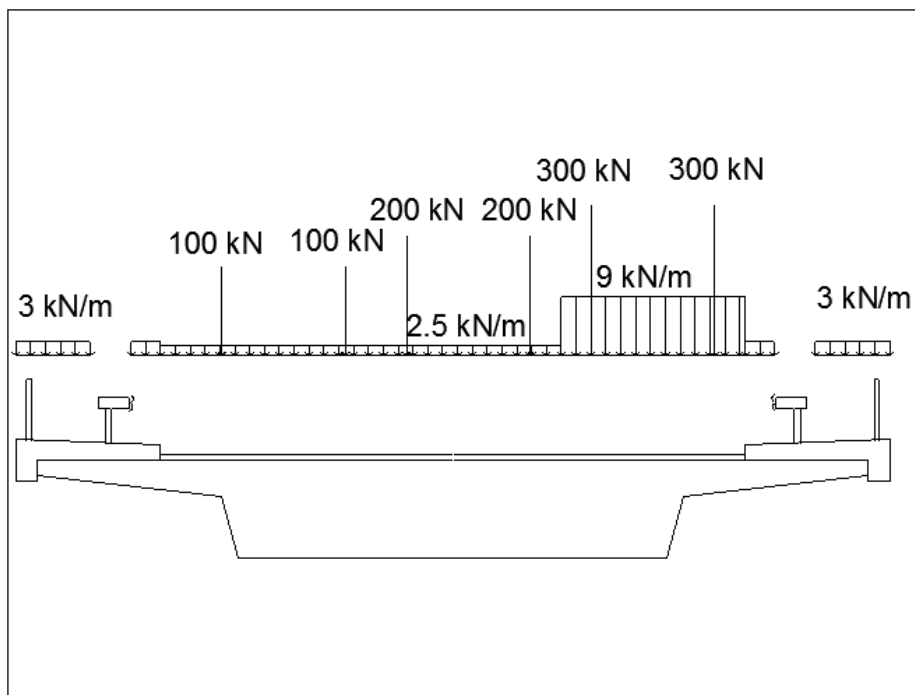
Σχήμα 3.14 Διαμήκης φόρτιση για μέγιστη αρνητική ροπή στη στήριξη



Σχήμα 3.15 Διαμήκης καθολική φόρτιση



Σχήμα 3.16 Εγκάρσια διάταξη φορτίων για μέγιστη στρέψη



Σχήμα 3.17 Εγκάρσια διάταξη φορτίων για μέγιστη κάμψη

3.8.2.2. ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΕΔΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

Οι δυνάμεις πέδησης-επιτάχυνσης δίνονται από τη σχέση 3.2 και σύμφωνα με τον κανονισμό μπορούν να λαμβάνονται με θετικό ή αρνητικό πρόσημο ασκούμενη κατά μήκος του άξονα οποιασδήποτε λωρίδας. Στην παρούσα μελέτη η δύναμη λήφθηκε ομοιόμορφα κατανεμημένη κατά μήκος του άξονα συμμετρίας της γέφυρας και προς τις δύο κατευθύνσεις.

$$Q_{Ik} = 0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k}) + 0,10\alpha_{q1}q_{1k}w_1L$$

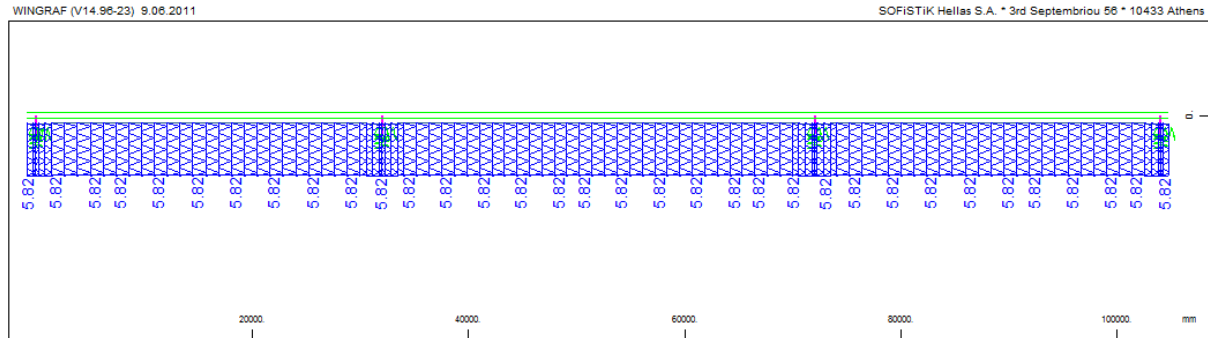
$$180\alpha_{Q1} \text{ (kN)} \leq Q_{Ik} \leq 900 \text{ (kN)}$$

(3.2)

$Q_{Ik} = 0.6 \cdot 0.9 \cdot (2 \cdot 300) + 0.10 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 104 = 604.8 \text{ kN}$ ή $Q_{Ik} = 604.8 / 104 = 5.82 \text{ kN/m}_{\text{μήκους}}$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.19.

3.8.2.3. ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Λόγω του ότι ο φορέας είναι ευθύγραμμος δε λήφθηκαν υπ όψη φυγόκεντρες δυνάμεις



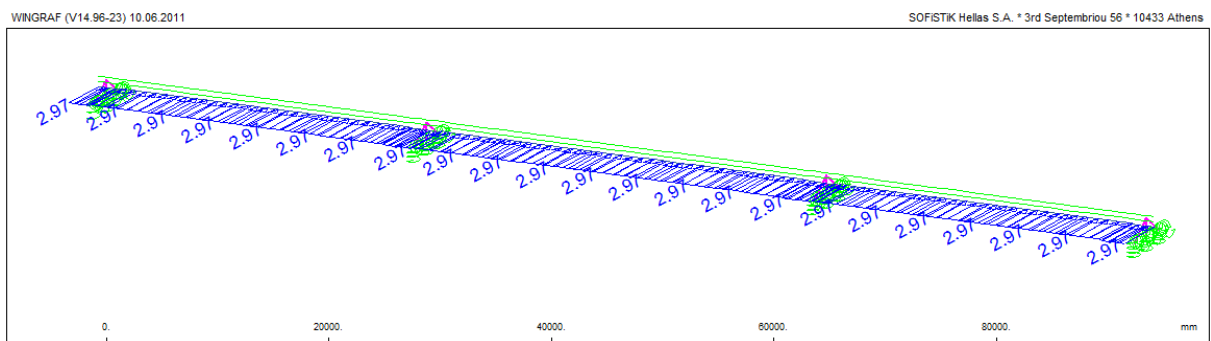
Σχήμα 3.18 Καταμεμημένη οριζόντια δύναμη τροχοπέδησης-επιτάχυνσης

3.8.2.4. ΑΝΕΜΟΣ

Κατά τον υπολογισμό του ανέμου σύμφωνα με τον EN1991-1-4 έγιναν οι παρακάτω παραδοχές,

- θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, $v_{b,0}$ ίση με 33m/sec καθώς η κατασκευή βρίσκεται σε απόσταση από τα παράλια $>10\text{km}$
- Ύψος κατασκευής από το έδαφος ίση με 10m.
- Κατηγορία εδάφους IV (Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.)

Η τελική τιμή του της φόρτισης είναι $F_w = 2.97 \text{ kN/m}_{\text{μήκους}}$ της γέφυρας. Αυτή η τιμή προκύπτει ως η δυσμενέστερη εκ των περιπτώσεων ανέμου με κυκλοφορία και χωρίς. Σημειώνεται ότι για αυτόν τον τύπο γέφυρας δεν απαιτείται να εξεταστούν δυναμικές επιρροές ανέμου.



Σχήμα 3.19 Φόρτιση ανέμου

3.8.2.5. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τον EN1991-1-5 η κατανομή θερμοκρασίας σε ένα μεμονωμένο δομικό στοιχείο μπορεί να διακριτοποιηθεί σε τέσσερις συνιστώσες, μια συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας, μία γραμμική συνιστώσα κατά τον άξονα z-z και μία κατά τον γ-γ και μία μη γραμμική συνιστώσα. Στην παρούσα μελέτη λήφθηκε υπ' όψη η συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας και η γραμμική συνιστώσα κατά τον άξονα z-z.

Οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες υπό σκιάν με περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια, δηλαδή οι $T_{\min,50}$, $T_{\max,50}$, λήφθηκαν από τις "Εκπαιδευτικές Σημειώσεις για χρήση των ευρωκωδίκων EN1991-1-5: Γενικές Δράσεις – Θερμικές δράσεις, Νίκος Μαλακάτας – Κώστας Τρέζος".

Παραδοχές:

- Η αρχική θερμοκρασία δομικού στοιχείου, T_0 ελλείπει άλλων στοιχείων λαμβάνεται 10°C .
- $T_{\min,50} = -10^\circ\text{C}$ και $T_{\max,50} = 45^\circ\text{C}$ τα οποία στη συνέχεια τροποποιούνται σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα έτσι ώστε να αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 100 χρόνων.
- Πάχος επιφανειακής στρώσης 150mm

Πίνακας 3.10 Θερμοκρασιακές δράσεις

$T_{\max,50}$	$T_{\min,50}$	$T_{\max,100}$	$T_{\min,100}$	$T_{e,\max}$	$T_{e,\min}$	$\Delta T_{N,\text{exp}}/\Delta T_{N,\text{con}}$	$\Delta T_{M,\text{heat}}/\Delta T_{M,\text{cool}}$	ω_N/ω_M
45	-10	46.7	-11.1	47	-4	37/14	5/5	0.35/0.75

Προκύπτουν οχτώ συνδυασμοί φόρτισης οι οποίοι δίνονται από τις σχέσεις 3.3 και 3.4

$$\Delta T_{M,\text{heat}} \text{ (ή } \Delta T_{M,\text{cool}}) + \omega_N \Delta T_{N,\text{exp}} \text{ (ή } \Delta T_{N,\text{con}}) \quad (3.3)$$

$$\omega_M \Delta T_{M,\text{heat}} \text{ (ή } \Delta T_{M,\text{cool}}) + \Delta T_{N,\text{exp}} \text{ (ή } \Delta T_{N,\text{con}}) \quad (3.4)$$

3.8.3. ΚΟΠΩΣΗ

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Χρησιμοποιείται η πρότυπη διάταξη φόρτισης κόπωσης 3 (ΠΦΚ3 ή FLM3) με τα φορτία του επαυξημένα σε απόσταση μικρότερη των έξι μέτρων από τους αρμούς, θέση $Y=0$ και $Y = 104$, με το συντελεστή δυναμικής προσαύξησης $\Delta\varphi_{\text{fat}}$. Για έλεγχο του οπλισμού στις θέσεις των στηρίξεων τα αξονικά φορτία του ΠΦΚ3 προσαυξάνονται με το συντελεστή 1.75 και για τον έλεγχο του οπλισμού στις θέσεις των ανοιγμάτων με το συντελεστή 1.4. Το όχημα της κόπωσης ορίστηκε να κινείται στο κατάστρωμα της γέφυρας με τη μέγιστη εκκεντρότητα κατά την εγκάρσια έννοια. Σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα λαμβάνονται υπ' όψη 2 λωρίδες με βαρέα οχήματα με αναμενόμενο αριθμό βαρέων οχημάτων ανά λωρίδα και ανά έτος ίσο με 0.5×10^6 .

3.9. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

3.9.1. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΟΚΑ)

Ο συνδυασμός για την Οριακή Κατάσταση αστοχίας για στατικά φορτία είναι αυτός που φαίνεται στη σχέση 3.5 ο οποίος μετασχηματίζεται στη σχέση 3.6 χρησιμοποιώντας τους συντελεστές γ_G , γ_Q και ψ που δίνονται στον Πίνακα 3.11 και Πίνακα 3.12.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.5)$$

$$1.35 \cdot G_{k,\text{sup}} \text{ (ή } 1.0 \cdot G_{k,\text{inf}}) + (1.0 \text{ ή } 0.0) \cdot S + \begin{cases} +1.35\{UDL_k + TS_k + q_{fk,comb}\} + 1.5 \cdot \min\{F_{wi}^*; 0.6 \cdot F_{wk,T}\} \\ +1.35\{UDL_k + TS_k + 1.5 \cdot \{0.6 \cdot T_k\}\} \\ +1.5 F_{wk} \\ +1.5 \cdot T_k + 1.35 \cdot \{0.4 \cdot UDL_k + 0.75 \cdot TS_k + 0.4 \cdot q_{fk,comb}\} \end{cases} \quad (3.6)$$

Πίνακας 3.11 Συντελεστής ψ για οδογέφυρες

Δράση	Σύμβολο		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Φορτία κυκλοφορίας	gr1a	TS	0,75	0,75	0
	(LM1+φορτία πεζοδρόμων)	UDL	0,40	0,40	0
		Φορτία πεζοδρόμων	0,40	0,40	0
	Gr2 (οριζόντιες δυνάμεις)		0	0	0
Δράσεις ανέμου	F_{Wk}				
	Καταστάσεις σχεδιασμού με διάρκεια Εκτέλεση		0,6	0,2	0
			0,8	-	0
	F_W^*		1,0	-	-
Θερμικές δράσεις	T_k		0,6	0,6	0,5

Πίνακας 3.12 Συντελεστές γ για Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας σε οδογέφυρες

Παροδικές και με διάρκεια καταστάσεις σχεδιασμού	Μόνιμες Δράσεις		Προένταση	Κυρίαρχη μεταβλητή δράση	Συνοδευτική μεταβλητή δράση (*)
	Δυσμενείς	Ευνοϊκές			Κύρια (εάν υφίσταται)
Έξισωση 3.5	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

$$\gamma_{G,sup} = 1.35$$

$$\gamma_{G,inf} = 1.00$$

$Q = 1.35$ όταν το Q αντιπροσωπεύει δυσμενείς δράσεις οφειλόμενες σε οδική κυκλοφορίας ή κυκλοφορία πεζών (0 όταν είναι ευνοϊκές)

$Q = 1.50$ για λοιπές δράσεις κυκλοφορίας και άλλες μεταβλητές δράσεις

$$p = 1.0$$

3.9.2. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΟΚΛ)

Οι τρεις συνδυασμοί των Οριακών Καταστάσεων Λειτουργικότητας δίνονται στις σχέσεις 3.7 έως 3.9 που για την παρούσα μελέτη και με χρήση των συντελεστών του Πίνακα 3.11 μετασχηματίζονται σε αυτούς που δίνονται στις σχέσεις 3.10 έως 3.12 αντίστοιχα.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \text{Χαρακτηριστικός συνδυασμός} \quad (3.7)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Συχνός συνδυασμός} \quad (3.8)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός} \quad (3.9)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} (G_{kj, \text{sup}} + G_{k, \text{inf}}) \right\} + P_k + \begin{cases} (TS + UDL + q_{fk}^*) + \min \{ 0.6 \cdot F_{wk, \text{traffic}}; F_{wk}^* \} \\ T_k + (0.75 \cdot TS + 0.4 \cdot UDL + 0.4 \cdot q_{fk}^*) \\ F_{wk} \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} (G_{kj, \text{sup}} + G_{k, \text{inf}}) \right\} + P_k + \begin{cases} (0.75TS + 0.4UDL) + 0.5 \cdot T_k \\ 0.6 \cdot T_k \\ 0.2 \cdot F_{wk} \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} (G_{kj, \text{sup}} + G_{k, \text{inf}}) \right\} + P_k + 0.5 \cdot T_k \quad (3.12)$$

Κατά τον έλεγχο των καταστάσεων λειτουργικότητας λαμβάνονται υπόψη ανοχές λόγω πιθανών μεταβολών της προέντασης. Λαμβάνονται υπόψη δύο χαρακτηριστικές τιμές δύναμης προέντασης $P_{k, \text{sup}} = r_{\text{sup}} P_{m, t}$ και $P_{k, \text{inf}} = r_{\text{inf}} P_{m, t}$ με $r_{\text{sup}} = 1.10$ και $r_{\text{inf}} = 0.90$.

3.9.3. ΚΟΠΩΣΗ

Ο συνδυασμός της κόπωσης δίνεται από τη σχέση 3.13 και σε συνδυασμό με τους συντελεστές του Πίνακα 3.11 μετασχηματίζεται για τη μελέτη σε αυτόν που δίνεται με τη σχέση 3.14. Ως επαναλαμβανόμενο φορτίο κόπωσης χρησιμοποιήθηκε η πρότυπη διάταξη φόρτισης 3 (ΠΦΚ3) όπως αυτή περιγράφηκε προηγουμένως.

$$\left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right) + Q_{\text{fat}} \quad \text{Συνδυασμός Κόπωσης} \quad (3.13)$$

$$\left(\left\{ \sum_{j \geq 1} (G_{kj, \text{sup}} + G_{k, \text{inf}}) \right\} + P_k + \begin{cases} (0.75TS + 0.4UDL) + 0.5 \cdot T_k \\ 0.6 \cdot T_k \\ 0.2 \cdot F_{wk} \end{cases} \right) + Q_{\text{fat}} \quad (3.14)$$

3.10. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ – ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.10.1. ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Επιλύσεις γίνονται για τις παρακάτω φορτίσεις

LC1	Ίδιο βάρος
LC2	Πρόσθετα μόνιμα
LC3	Προένταση
LC4	Τροχοπέδηση
LC5	Άνεμος

LC20-27	8 συνδυασμοί θερμικών δράσεων
LC30	Ερπυσμός
LC651,653,655,657	Κατανομημένη φόρτιση (UDL) του ΠΦ1 με διαφορετικές κατανομές κατά τη διαμήκη έννοια του φορέα
LC101-205,301-405	Σύστημα διδύμων αξόνων (TS) του ΠΦ1 για διάφορες θέσεις κατά μήκος του φορέα
LC501-605	Όχημα της πρότυπης διάταξης φόρτισης κόπωσης 3, ΠΦΚ3
LC701-805	Όχημα της ΠΦΚ3 με αυξήσεις για έλεγχο οπλισμού στις στηρίξεις
LC901-1005	Όχημα της ΠΦΚ3 με αυξήσεις για έλεγχο οπλισμού στα ανοίγματα

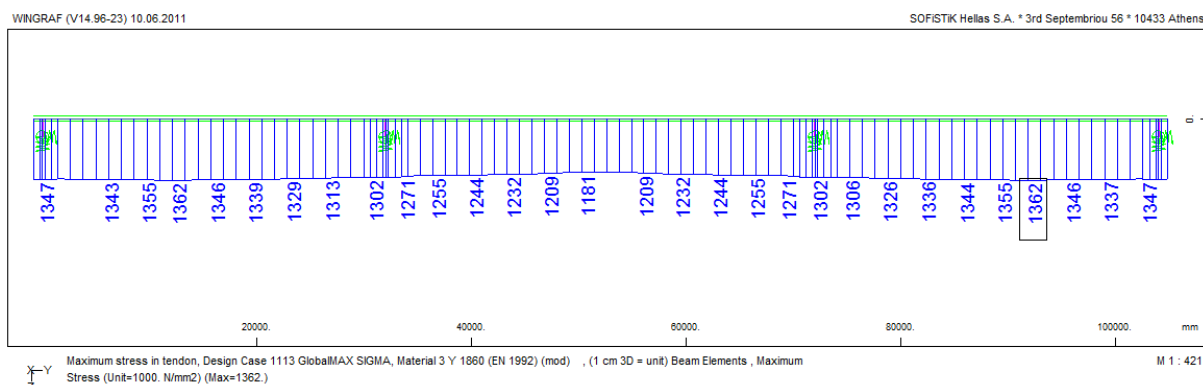
3.10.2. ΕΛΕΓΧΟΙ

3.10.2.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ (ΦΑΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ)

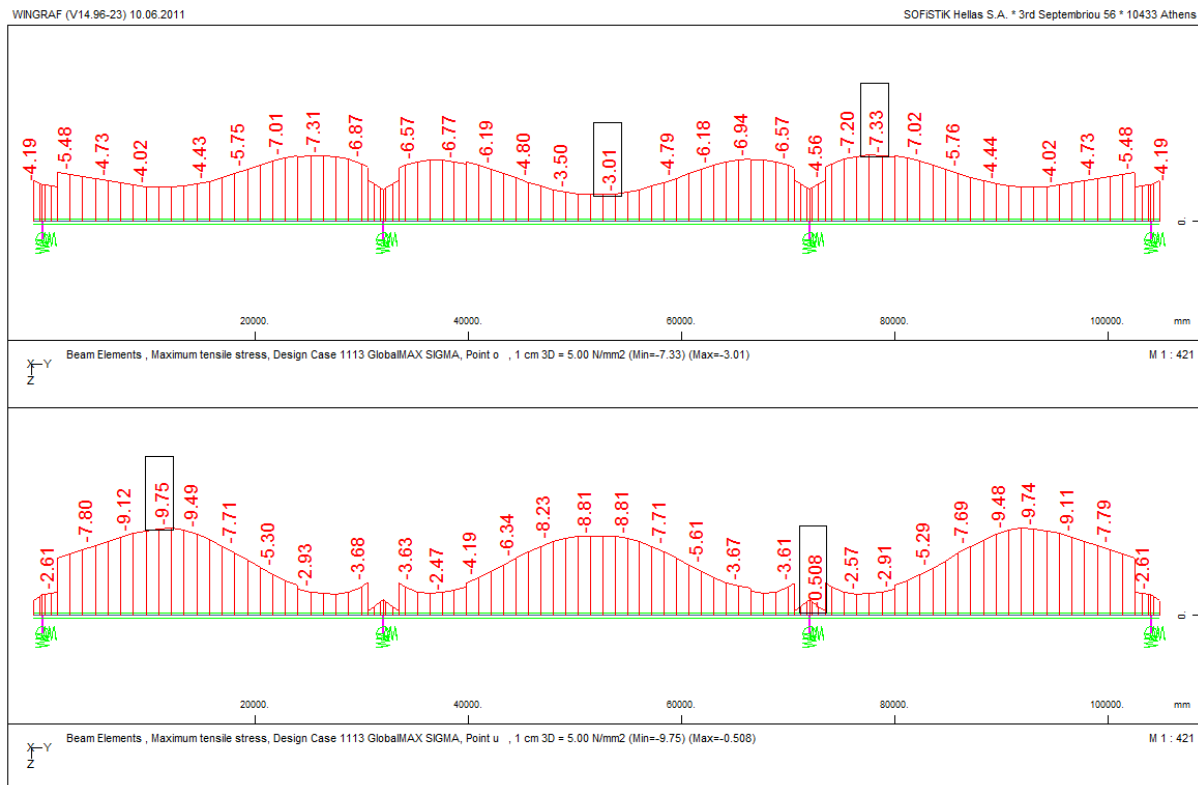
Η εφελκυστική τάση του σκυροδέματος στη φάση προέντασης, υπό τα φορτία που εμφανίζονται εκείνη τη χρονική στιγμή δε θα πρέπει να ξεπερνάει το $0,85 \cdot f_{ctk,0.05}$ και του χάλυβα προέντασης το $\min\{0,8f_{ptk}; 0,9f_{p0,1k}\}$.

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ 1101 – 1113

LC1	Ίδιο βάρος
LC3*(0.9 ή 1.1)	Προένταση



Σχήμα 3.20 Μέγιστη εφελκυστική τάση του χάλυβα προέντασης στη φάση προέντασης. Μέγιστη εφελκυστική τάση 1362MPa



Σχήμα 3.21 Μέγιστες εφελκυστικές τάσεις άνω και κάτω ίνας της διατομής στη φάση προέντασης. Μέγιστη εφελκυστική τάση -0.508Μρα

Τα αποτελέσματα συγκρινόμενα με τους αντίστοιχους περιορισμούς δίνονται στον Πίνακα 3.13

Πίνακας 3.13 Έλεγχος εφεκλυστικής τάσης σκυροδέματος και χάλυβα προέντασης στη φάση προέντασης

	Αποτελέσματα [MPa]	Επιτρεπόμενες τιμές κανονισμού [MPa]
Εφελκυστική τάση σκυροδέματος	-0.508	2.125
Εφελκυστική τάση χάλυβα προέντασης	1362	1488

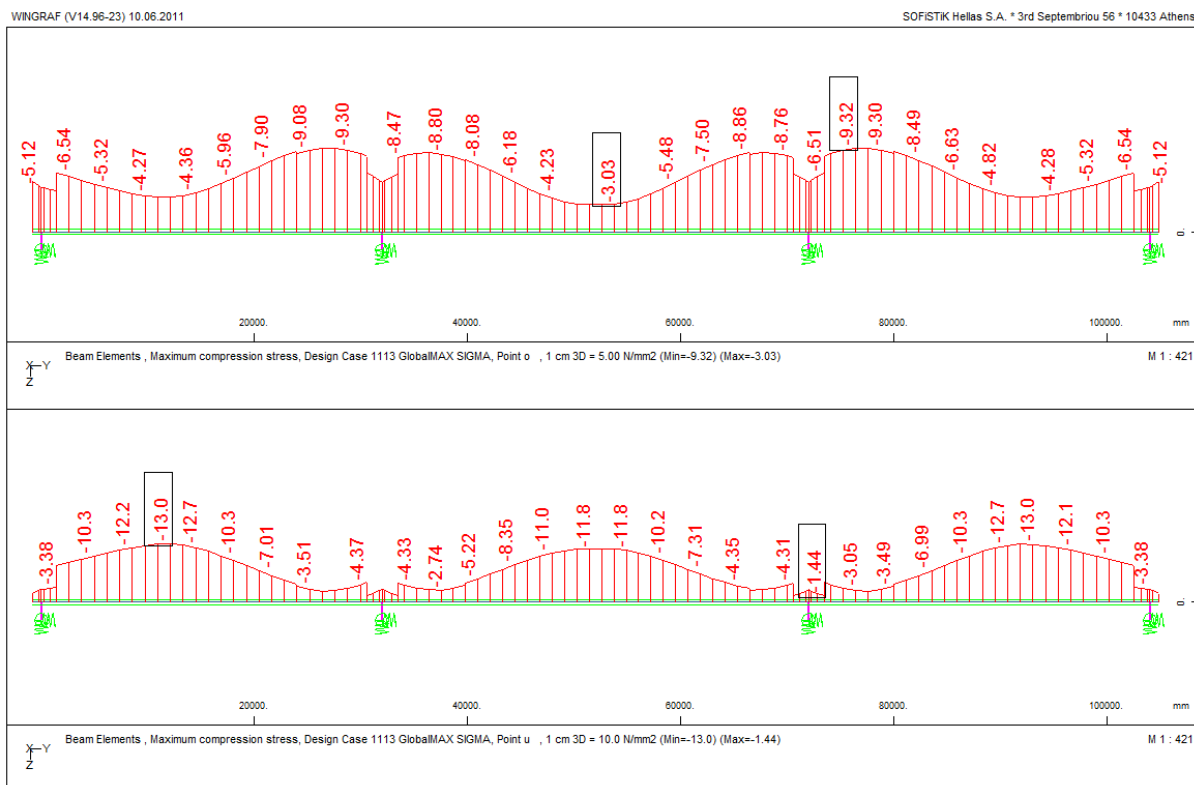
3.10.2.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (ΦΑΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ)

Η θλιπτική τάση του σκυροδέματος κατά τη φάση προέντασης, υπό τα φορτία που εμφανίζονται εκείνη τη στιγμή στο φορέα δε θα πρέπει να ξεπερνά το $0.6f_{ck}(t)$. Επίσης εάν η θλιπτική τάση του σκυροδέματος ξεπερνά το $0.45f_{ck}(t)$ θα πρέπει να εκτιμάται η εξ' ερπυσμού μη γραμμικότητα.

Θεωρείται ως χρόνος επιβολής της προέντασης ο $t=14$ ημέρες. Με βάση τις σχέσεις που προτείνει το EN1992-1-1 προκύπτει τελικά $f_{ck}(14) = 33.52\text{MPa}$.

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ 1121 – 1133

- LC1 Ίδιο βάρος
- LC3*(0.9 ή 1.1) Προένταση



Σχήμα 3.22 Μέγιστες θλιπτικές τάσεις άνω και κάτω ίνας της διατομής του σκυροδέματος στη φάση προέντασης. Μέγιστη θλιπτική τάση -13MPa

Τα αποτελέσματα συγκρινόμενα με τους αντίστοιχους περιορισμούς δίνονται στον Πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14 Έλεγχος θλιπτικής τάσης σκυροδέματος στη φάση προέντασης

	Αποτελέσματα [MPa]	Επιτρεπόμενες τιμές κανονισμού [MPa]
Θλιπτική τάση σκυροδέματος	-13	-20.112
Έλεγχος παραδοχής ερπυσμού	-13	-15.084

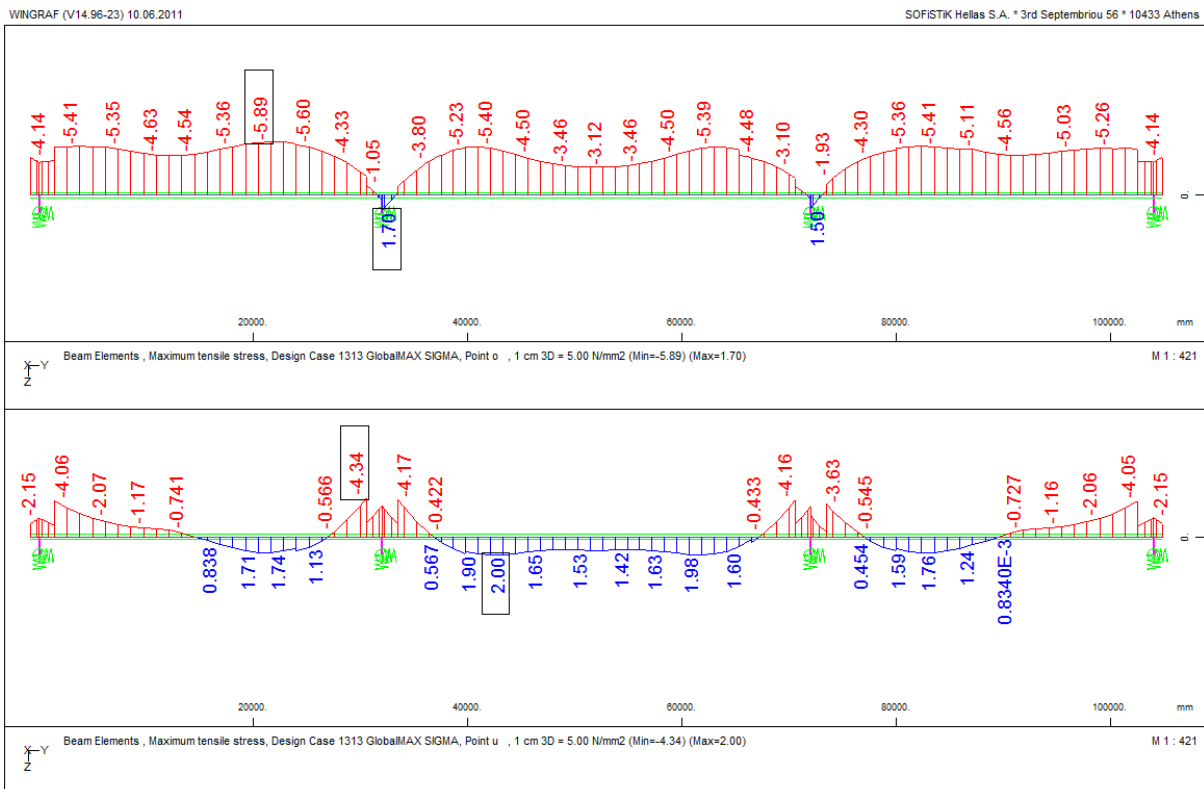
3.10.2.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ/ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ – ΤΑΣΗΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ

Η εφελκυστική τάση του σκυροδέματος υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει την τιμή F_{ctm} . Η θλιπτική τάση του σκυροδέματος δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει την τιμή $0.6f_{ck}$. Η εφελκυστική τάση του χάλυβα προέντασης δεν πρέπει να υπερβαίνει το $0.75*f_{ptk}$. Η τάση του χαλαρού οπλισμού δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει την τιμή $0.8f_{yk}$

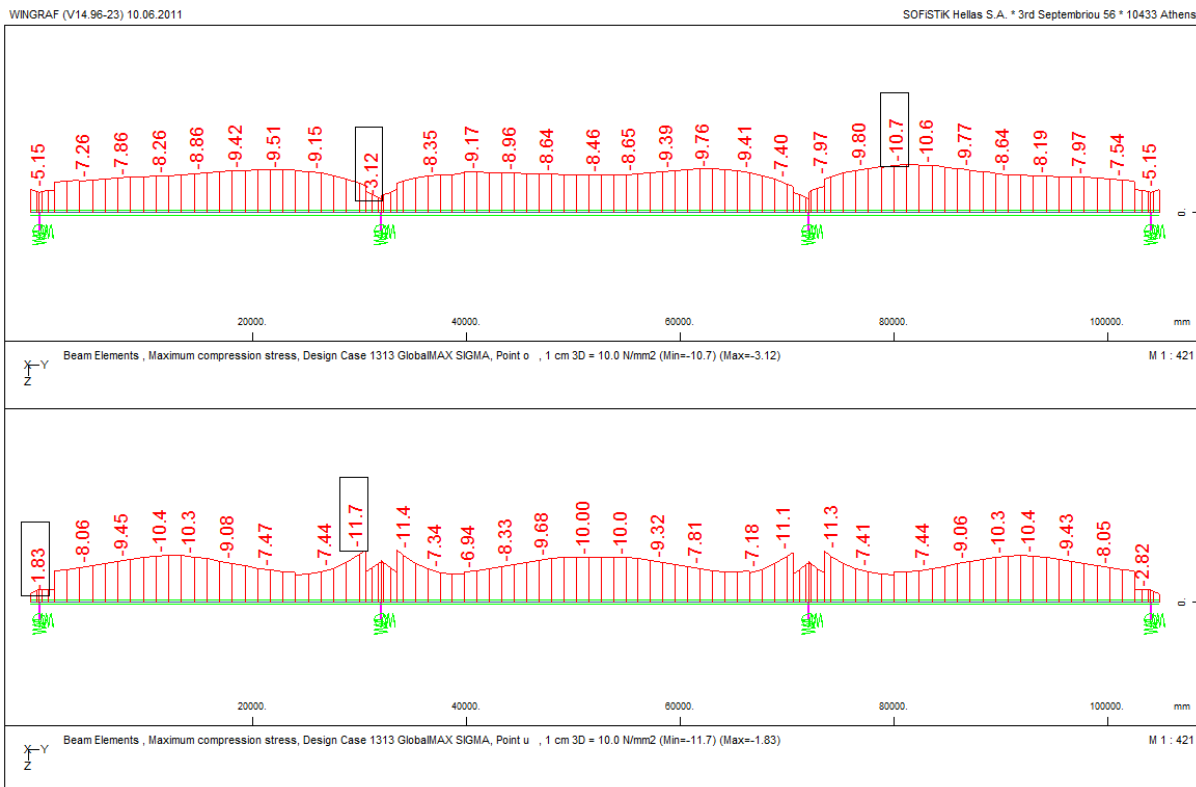
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ 1301-1313

LC1	Ίδιο βάρος
LC2	Πρόσθετα μόνιμα
LC3*(0.9 ή 1.1)	Προένταση

LC4	Τροχοπέδηση	6061-6072
LC5*(1.0 ή 0.6 ή 0)	Άνεμος	
LC30	Ερπυσμός	
LC20-27*(1.0 ή 0)	Θερμοκρασία	
LC651 ή 653 ή 655 ή 657*(1.0 ή 0.4)	Ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ΠΦ1 (UDL)	
LC101-205 ή 301-405*(1.0 ή 0.75)	Σύστημα διδύμων αξόνων ΠΦ1 (TS)	



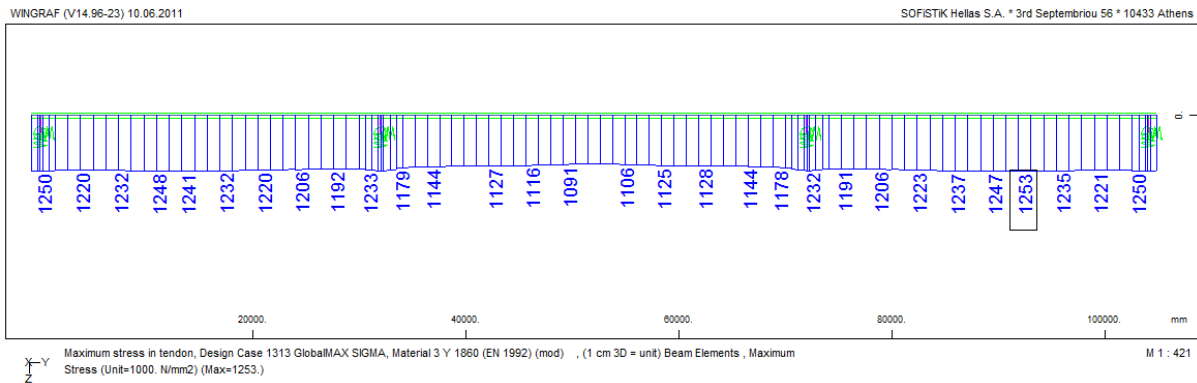
Σχήμα 3.23 Μέγιστη εφελκυστική τάση άνω και κάτω ίνας της διατομής σκυροδέματος υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό. Μέγιστη εφελκυστική τάση 2.00MPa



Σχήμα 3.24 Μέγιστη θλιπτική τάση άνω και κάτω ίνας της διατομής του σκυροδέματος υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό. Μέγιστη θλιπτική τάση -11.7MPa



Σχήμα 3.25 Μέγιστη τάση χάλυβα διαμήκη οπλισμού υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό. Μέγιστη τιμή 75.8MPa. Ελάχιστη τιμή -72.7MPa



Σχήμα 3.26 Μέγιστη εφελκυστική τάση τένοντα υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό. Μέγιστη τιμή 1254 MPa

Τα αποτελέσματα συγκρινόμενα με τους αντίστοιχους περιορισμούς δίνονται στον Πίνακα 3.15.

Πίνακας 3.15 Έλεγχος θλιπτικής τάσης σκυροδέματος στη φάση προέντασης

	Αποτελέσματα [MPa]	Επιτρεπόμενες τιμές κανονισμού [MPa]
Εφελκυστική τάση σκυροδέματος	2.00	3.5
Θλιπτική τάση σκυροδέματος	-11.7	-24
Εφελκυστική τάση χάλυβα προέντασης	1253	1395
Τάση χαλαρού οπλισμού	75.8/-72.7	400

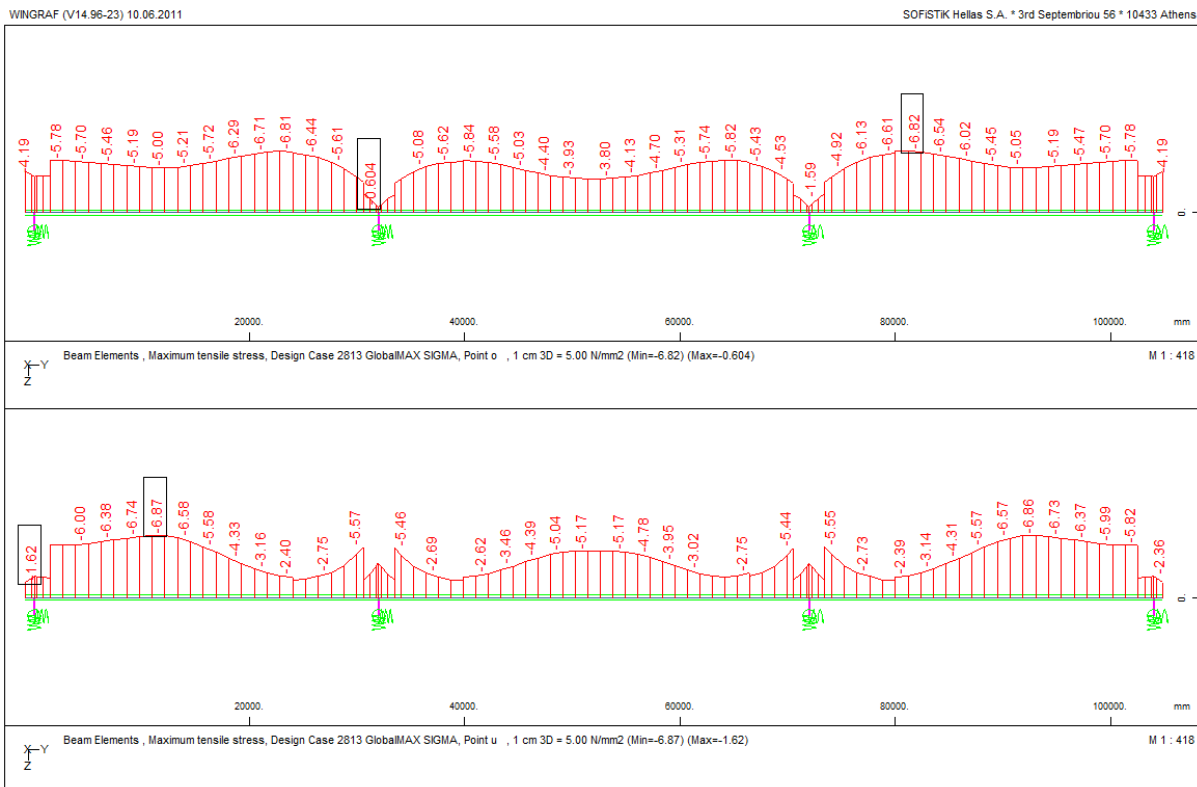
3.10.2.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΘΛΙΨΗΣ – ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΡΠΥΣΜΟ – ΟΙΟΝΕΙ ΜΟΝΙΜΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ

Από τον έλεγχο του εύρους ρηγμάτωσης για κατηγορία περιβαλλοντικών συνθηκών XC3 και προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες με συνάφεια προκύπτει η απαίτηση για έλεγχο απόθλιψης. Το όριο απόθλιψης απαιτεί η τάση του σκυροδέματος υπό τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό να μην είναι εφελκυστική σε απόσταση μικρότερη από 100mm από τον τένοντα προέντασης.

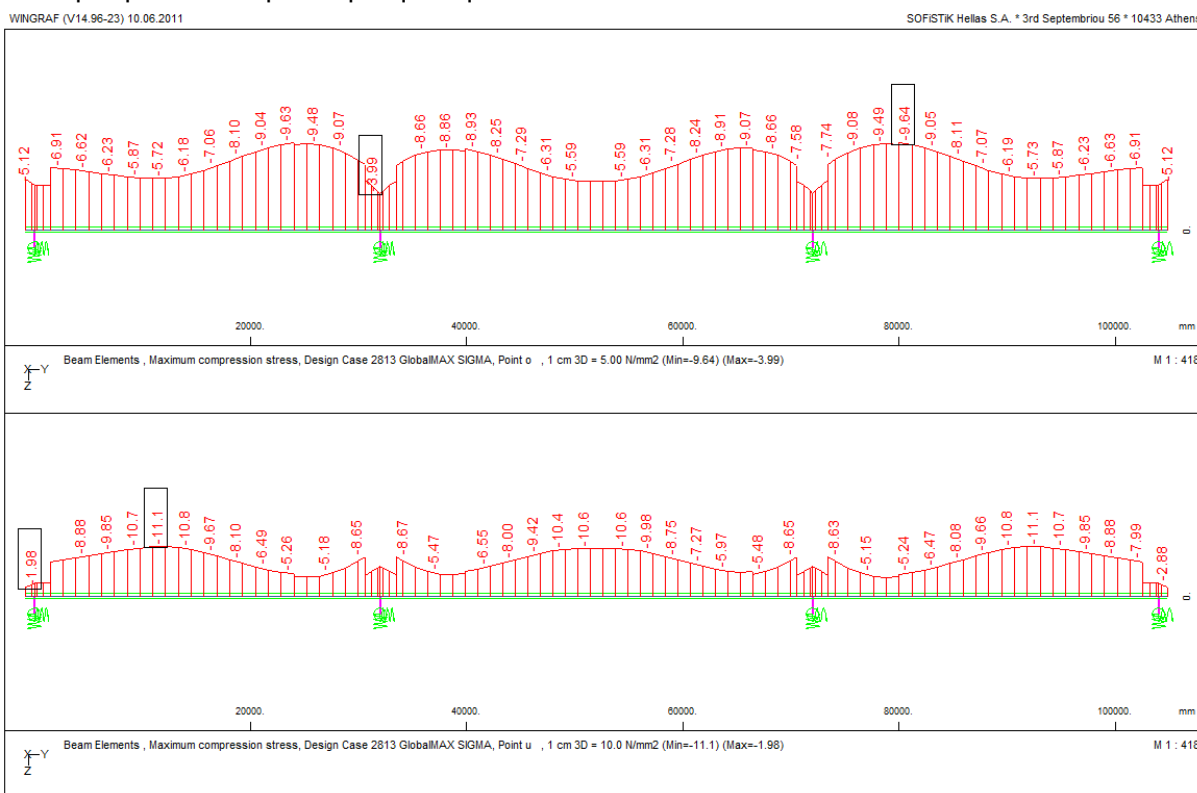
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ 2801-2813

LC1	Ίδιο βάρος
LC2	Πρόσθετα μόνιμα
LC3*(0.9 ή 1.1)	Προένταση
LC30	Ερπυσμός

LC20-27*(0.5 ή 0)	Θερμοκρασία	4061-4072
-------------------	-------------	-----------



Σχήμα 3.27 Μέγιστες εφελκυστικές τάσεις άνω και κάτω ίνας της διατομής σκυροδέματος υπό τον οιοinei μόνιμο συνδυασμό. Μέγιστη τάση -0.604MPa



Σχήμα 3.28 Μέγιστες θλιπτικές τάσεις άνω και κάτω ίνας της διατομής σκυροδέματος υπό τον οιοinei μόνιμο συνδυασμό. Μέγιστη τάση -11.1MPa

Τα αποτελέσματα συγκρινόμενα με τους αντίστοιχους περιορισμούς δίνονται στον Πίνακα 3.16.

Πίνακας 3.16 Έλεγχος θλιπτικής τάσης σκυροδέματος στη φάση προέντασης

	Αποτελέσματα [MPa]	Επιτρεπόμενες τιμές κανονισμού [MPa]
Εφελκυστική τάση σκυροδέματος	-0.604	0.00
Θλιπτική τάση σκυροδέματος	-11.1	18

3.10.2.5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ – ΣΥΧΝΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ

Με παραδοχή κατηγορίας περιβαλλοντικών συνθηκών ΧC3, και προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες με συνάφεια ο πίνακας 7.101 του EN1992-2 ορίζει συνιστώμενο εύρος ρωγμής υπό το συχνό συνδυασμό δράσεων $w_{max} = 0.2\text{mm}$.

LC1	Ίδιο βάρος	
LC2	Πρόσθετα μόνιμα	
LC3*(0.9 ή 1.1)	Προένταση	
LC30	Ερπυσμός	
LC4	Τροχοπέδηση	5061-5072
LC5*(0.2)	Άνεμος	
LC20-27*(0.5 ή 0.6)	Θερμοκρασία	
LC651 ή 653 ή 655 ή 657*(0.4)	Ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ΠΦ1 (UDL)	
LC101-205 ή 301-405*(0.75)	Σύστημα διδύμων αξόνων ΠΦ1 (TS)	

Ο έλεγχος ικανοποιείται χωρίς την απαίτηση επιπλέον οπλισμού από αυτόν ο οποίος έχει τοποθετηθεί για τις ανάγκες των υπόλοιπων ελέγχων.

3.10.2.6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΨΑΘΥΡΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Ο έλεγχος παρουσιάζεται για τις θέσεις $Y = 32\text{m}$ και $Y = 52\text{m}$ οι οποίες είναι και οι δυσμενέστερες. Ακολουθείται η μέθοδος που περιγράφεται στη 2.5.2.1 – Έλεγχος της φέρουσας ικανότητας χρησιμοποιώντας μειωμένο εμβαδόν χάλυβα προέντασης. Για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις, καθότι ο φορέας είναι υπερστατικός, θα πρέπει η σχέση $M = P \cdot \gamma_p$ που συνδέει τη δύναμη με τη ροπή της προέντασης να αντικατασταθεί από την $M = P \cdot \gamma'_p$ όπου γ'_p είναι το ισοδύναμο μέγεθος που υπολογίζεται από τα δεδομένα που δίνονται από το πρόγραμμα.

$$Y = 32\text{m}$$

Ροπή συχνού συνδυασμού: 37393kNm

$$\gamma'_p = 0,6291$$

Το μειωμένο εμβαδό χάλυβα προκύπτει από τη σχέση 2.38 και είναι $A_{p,red} = 17249\text{mm}^2$

Με υπόθεση ότι η τένοντες φτάνουν στην τάση διαρροής τους, η μέγιστη δύναμη που δίνουν είναι:

$$F_s = 28978\text{kN}$$

Για την παραπάνω δύναμη το βάθος της θλιβόμενης ζώνης προκύπτει 147mm και κατά συνέπεια το βάθος του ουδέτερου άξονα 184mm. Η παράγραφος 6.1(5) του EN1992-1-1 αναφέρει ότι εάν $e/h < 0,1$ θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως ακραία παραμόρφωση του σκυροδέματος η ϵ_{c2} , εδώ όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει οπότε ως ακραία παραμόρφωση χρησιμοποιείται το 3.5‰.

Από τα παραπάνω προκύπτει παραμόρφωση τενόντων ίση με 24.1‰ και κατά συνέπεια επιβεβαιώνεται ότι οι τένοντες διαρρέουν.

Η ροπή αντοχής με χρήση των συντελεστών των υλικών που χρησιμοποιούνται στις τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού, $\gamma_c = 1.2$ και $\gamma_s = 1.0$, προκύπτει:

$$M_{Rd} = 39886kNm > 37393kNm$$

$$Y = 52m$$

Ροπή συχνού συνδυασμού: 37508kNm

Το μειωμένο εμβαδό χάλυβα προκύπτει από τη σχέση 2.38 και είναι $A_{p,red} = 29656mm^2$

Με υπόθεση ότι η τένοντες φτάνουν στην τάση διαρροής τους, η μέγιστη δύναμη που δίνουν είναι:

$$F_s = 49823kN$$

Για την παραπάνω δύναμη το βάθος της θλιβόμενης ζώνης προκύπτει 130mm και κατά συνέπεια το βάθος του ουδέτερου άξονα 163mm. Η παράγραφος 6.1(5) του EN1992-1-1 δεν ισχύει οπότε ως ακραία παραμόρφωση χρησιμοποιείται το 3.5‰.

Από τα παραπάνω προκύπτει παραμόρφωση τενόντων ίση με 30.7‰ και κατά συνέπεια επιβεβαιώνεται ότι οι τένοντες διαρρέουν.

Η ροπή αντοχής με χρήση των συντελεστών των υλικών που χρησιμοποιούνται στις τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού, $\gamma_c = 1.2$ και $\gamma_s = 1.0$, προκύπτει:

$$M_{Rd} = 64514kNm > 37508kNm$$

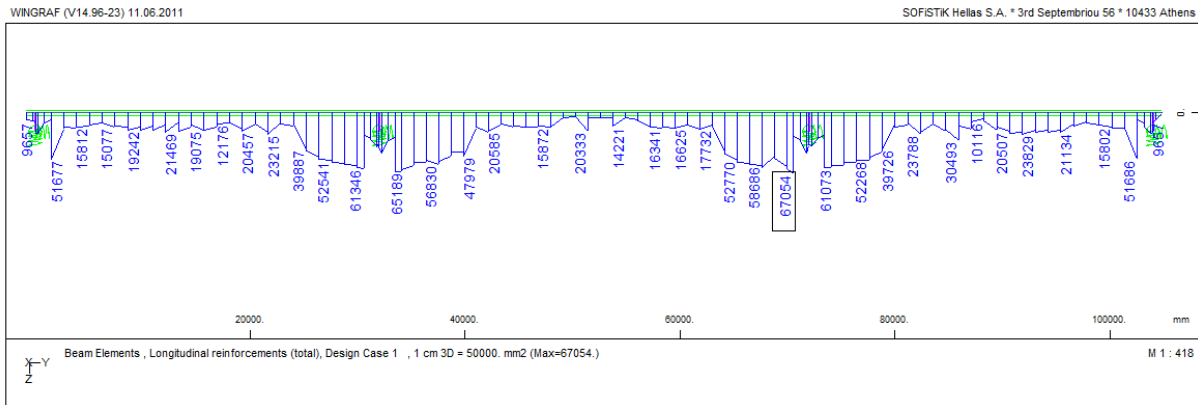
3.10.2.7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Ο έλεγχος γίνεται με τους οπλισμούς που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα και είναι οι τελικοί οπλισμοί οι οποίοι έχουν προκύψει από την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας.

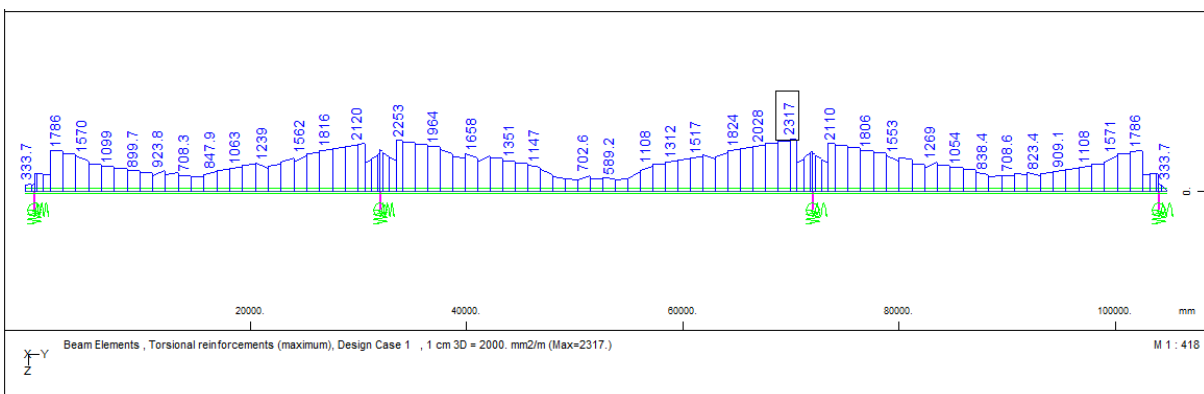
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ 2100-2111

LC1*(1.35 ή 1.00)	Ίδιο βάρος
LC2*(1.35 ή 1.00)	Πρόσθετα μόνιμα
LC3	Προένταση
LC30	Ερπυσμός

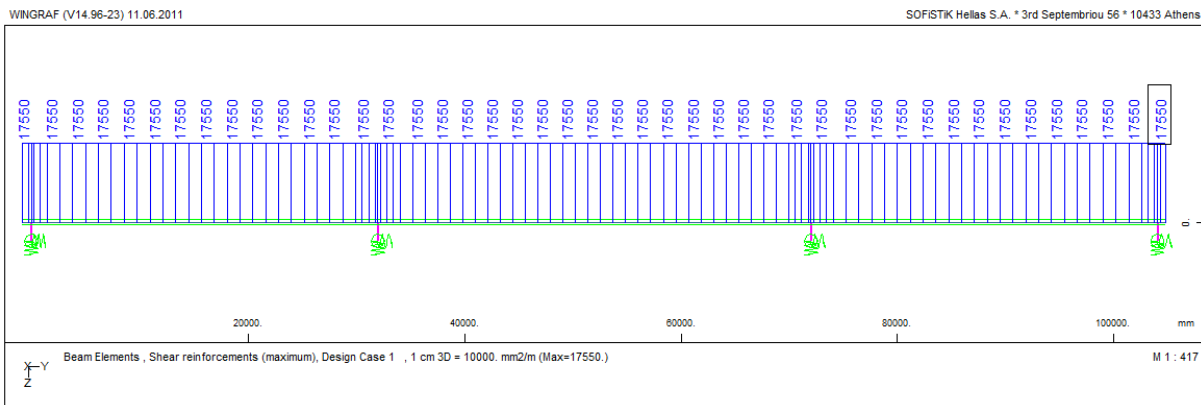
LC4	Τροχοπέδηση	7061-7072
LC5*(1.5 ή 0.6 ή 0)	Άνεμος	
LC30	Ερπυσμός	
LC20-27*(1.5 ή 1.5*0.6)	Θερμοκρασία	
LC651 ή 653 ή 655 ή 657*(1.35 ή 1.0)	Ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ΠΦ1 (UDL)	
LC101-205 ή 301-405*(1.35 ή 1.0)	Σύστημα διδύμων αξόνων ΠΦ1 (TS)	



Σχήμα 3.29 Σύνολο διαμήκων οπλισμών



Σχήμα 3.30 Διαμήκεις οπλισμοί για παραλαβή στρέψης

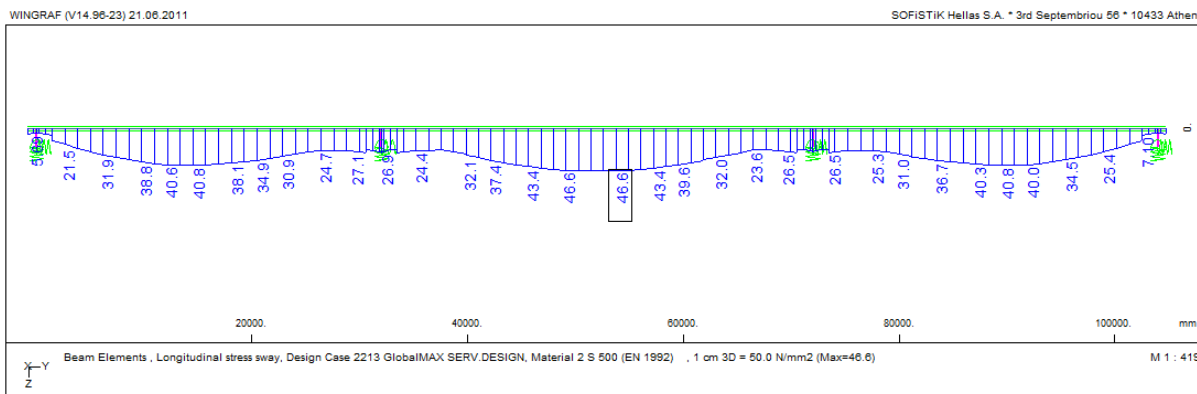


Σχήμα 3.31 Εγκάρσιοι οπλισμοί διατμήσεως (συνδετήρες)

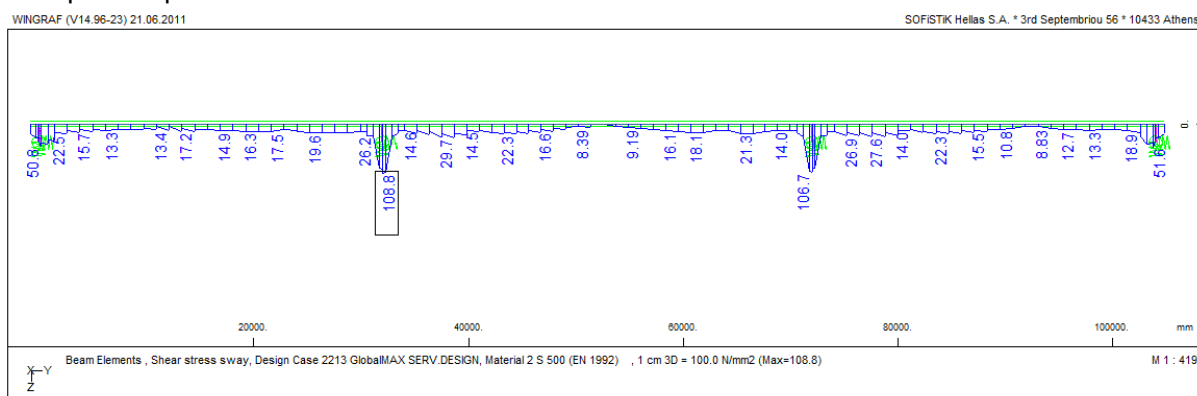
3.10.2.8. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΟΠΩΣΗΣ

Αρχικά γίνεται έλεγχος των απαλλακτικών διατάξεων.

Η διακύμανση, υπό το Συχνό συνδυασμό δράσεων, της τάσης στο χάλυβα του διαμήκου οπλισμού φαίνεται στο Σχήμα 3.32 και του εγκάρσιου οπλισμού στο Σχήμα 3.33. Από αυτά προκύπτει ότι το εύρος τάσεων είναι $> 35\text{MPa}$.



Σχήμα 3.32 Διακύμανση της τάσης υπό το Συχνό συνδυασμό δράσεων για το χάλυβα του διαμήκουσ οπλισμού. Μέγιστο: 46.6MPa



Σχήμα 3.33 Διακύμανση της τάσης υπό το Συχνό συνδυασμό δράσεων για το χάλυβα του εγκάρσιου οπλισμού. Μέγιστο: 108.8MPa

Τα δεδομένα του προγράμματος είναι τα ακόλουθα:

LC1	Ίδιο βάρος
LC2	Πρόσθετα μόνιμα
LC3*(0.9 ή 1.1)	Προένταση
LC30	Ερπυσμός

LC4	Τροχοπέδηση	
LC5*(0.2)	Άνεμος	9361-9372
LC20-27*(0.5 ή 0.6)	Θερμοκρασία	

Και ένα εκ των κατωτέρω τριών ανάλογα με τον έλεγχο

Για έλεγχο του σκυροδέματος

LC501-605	ΠΦΚ3 κατάλληλα προσαυξημένο	8061-8072
-----------	-----------------------------	-----------

Για έλεγχο του χάλυβα στις θέσεις των στηρίξεων

LC701-805	ΠΦΚ3 κατάλληλα προσαυξημένο	8261-8272
-----------	-----------------------------	-----------

Για έλεγχο του χάλυβα στις θέσεις των ανοιγμάτων

LC901-1005	ΠΦΚ3 κατάλληλα προσαυξημένο	8361-8372
------------	-----------------------------	-----------

ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Ως στήριξη θεωρείται μήκος 0.15L εκατέρωθεν της θεωρητικής στήριξης. Στο Σχήμα 3.34 και Σχήμα 3.35 δίνεται το εύρος τάσεων του διαμήκου και του εγκάρσιου οπλισμού αντίστοιχα για τις περιοχές των στηρίξεων.

Υπολογίζεται το $\Delta\sigma_{s,eq} = \Delta\sigma_{s,Ec} \cdot \lambda_s$ όπου το $\Delta\sigma_{s,Ec}$ είναι αυτό που λαμβάνεται από τα διαγράμματα και το $\lambda_s = \varphi_{fat} \cdot \lambda_{s,1} \cdot \lambda_{s,2} \cdot \lambda_{s,3} \cdot \lambda_{s,4}$.

- Γίνονται οι παρακάτω παραδοχές για τον υπολογισμό του λ_s

$\varphi_{fat} = 1.4$ (επιφάνεια μέτριας τραχύτητας)
 $\lambda_{s,1} = 1,12$ στις στηρίξεις (παραδοχή: το μήκος της γραμμής επιρροής είναι ίσο με το ημιάθροισμα των εκατέρωθεν ανοιγμάτων)

$$\lambda_{s,2} = \bar{Q}^{k_2} \sqrt{\frac{N_{obs}}{2,0}} = 1,0^9 \sqrt{\frac{1,05}{2}} = 0,931$$

όπου

$N_{obs} = 2 \cdot 0,5 + 0,1 \cdot 0,5 = 1,05$ (σε εκατομμύρια) με παραδοχή μέτριας κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων

$k_2 = 9$ για ευθύγραμμες και κεκαμμένες ράβδους

$\bar{Q} = 1,0$ με παραδοχή για τύπο κυκλοφορίας, «μεγάλης απόστασης»

$\lambda_{s,3} = 1$ για ζωή σχεδιασμού 100 χρόνια

$$\lambda_{s,4} = \sqrt[k_2]{\frac{\sum N_{obs,i}}{N_{obs,1}}} = \sqrt[9]{\frac{1,05 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 10^6}} = 1,086$$

Από τα παραπάνω τελικώς προκύπτει $\lambda_s = 1,59$

(Συντελεστής η διαφορετικής συνάφειας ίσος με 1.457)

Για συγκολλημένες ράβδους προκύπτει ο συντελεστής $\lambda_s = 1,38$

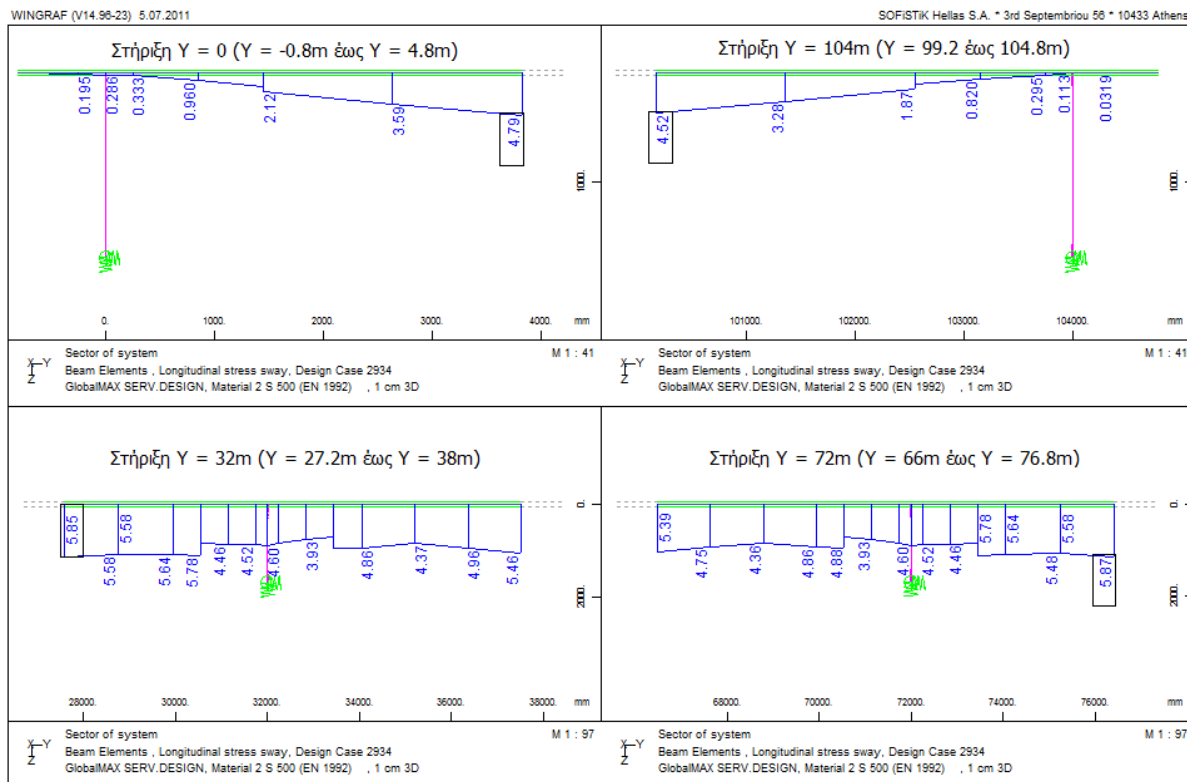
Ο έλεγχος δίνεται από τη σχέση

$$\Delta\sigma_{s,eq}(N^*) \cdot \gamma_{F,fat} \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}} \quad (3.15)$$

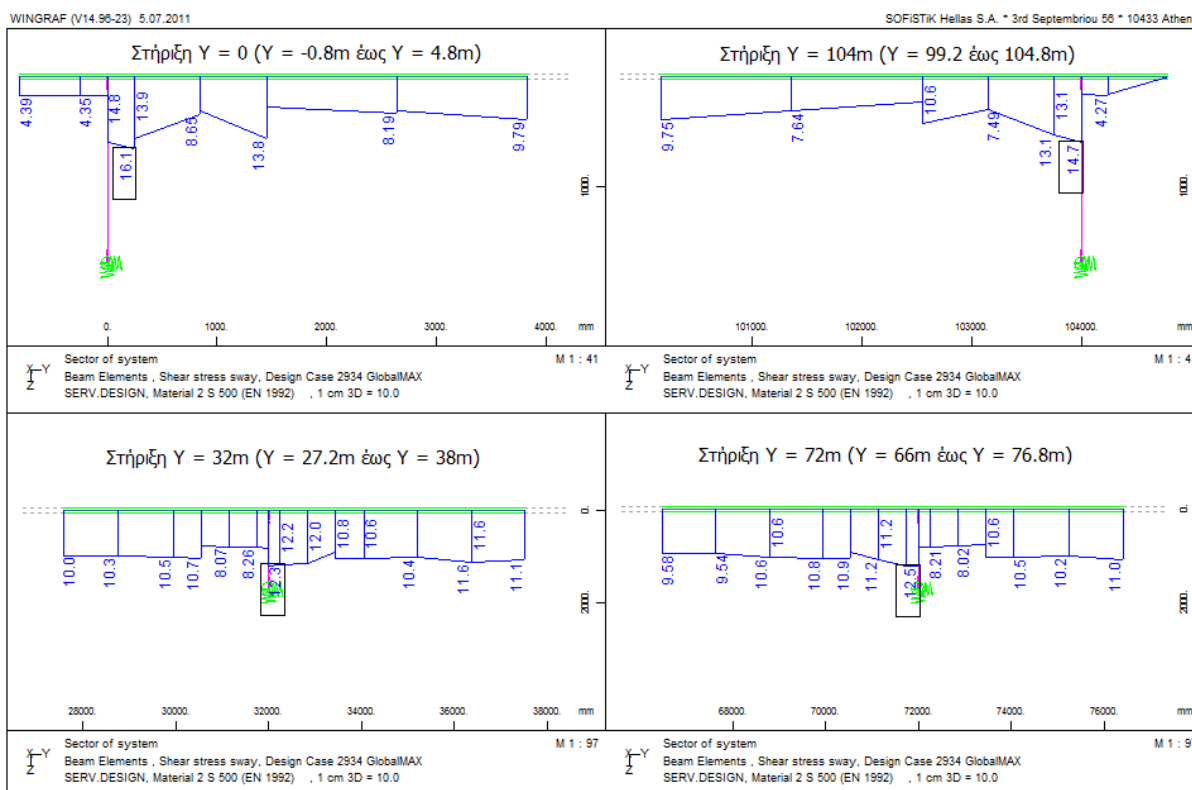
Και κατά συνέπεια προκύπτουν τα παρακάτω όρια για το $\Delta\sigma_{s,Ed}$:

$\Delta\sigma_{s,Ed} \leq 88,87 \text{Μρα}$ Για ευθύγραμμες ράβδους διαμήκη οπλισμού

$\Delta\sigma_{s,Ed} \leq 31,99 \text{Μρα}$ Για συγκολλημένες ευθύγραμμες ράβδους



Σχήμα 3.34 Εύρος τάσεων του χάλυβα του διαμήκου οπλισμού στην περιοχή των στηρίξεων



Σχήμα 3.35 Εύρος τάσεων του χάλυβα του εγκάρσιου οπλισμού στην περιοχή των στηρίξεων

ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

Ως άνοιγμα θεωρούνται οι περιοχές που δεν θεωρούνται περιοχές στηρίξεων. Στο Σχήμα 3.36 και στο Σχήμα 3.37 δίνεται το εύρος τάσεων του διαμήκου και του εγκάρσιου οπλισμού αντίστοιχα για τις περιοχές των ανοιγμάτων.

- Γίνονται οι παρακάτω παραδοχές για τον υπολογισμό του λ_s

$$\varphi_{fat} = 1.4 \text{ (επιφάνεια μέτριας τραχύτητας)}$$

$$\lambda_{s,1} = 1.21 \text{ στο άνοιγμα (παραδοχή: το μήκος της γραμμής επιρροής είναι ίσο με πραγματικό άνοιγμα και όχι το θεωρητικό άνοιγμα)}$$

$$\lambda_{s,2} = \bar{Q} \sqrt{\frac{N_{obs}}{2,0}} = 1.0 \sqrt{\frac{1.05}{2}} = 0.931$$

όπου

$$N_{obs} = 2 \cdot 0.5 + 0.1 \cdot 0.5 = 1.05 \text{ (σε εκατομμύρια) με παραδοχή μέτριας κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων}$$

$$k_2 = 9 \text{ για ευθύγραμμες και κεκαμμένες ράβδους}$$

$$\bar{Q} = 1.0 \text{ με παραδοχή για τύπο κυκλοφορίας, «μεγάλης απόστασης»}$$

$$\lambda_{s,3} = 1 \text{ για ζωή σχεδιασμού 100 χρόνια}$$

$$\lambda_{s,4} = \sqrt{\frac{\sum N_{obs,i}}{N_{obs,1}}} = \sqrt{\frac{1.05 \cdot 10^6}{0.5 \cdot 10^6}} = 1.086$$

Από τα παραπάνω τελικώς προκύπτει $\lambda_s = 1.71$

Συντελεστής η διαφορετικής συνάφειας ίσος με 1.658

Για συγκολλημένες ράβδους προκύπτει ο συντελεστής $\lambda_s = 1.62$

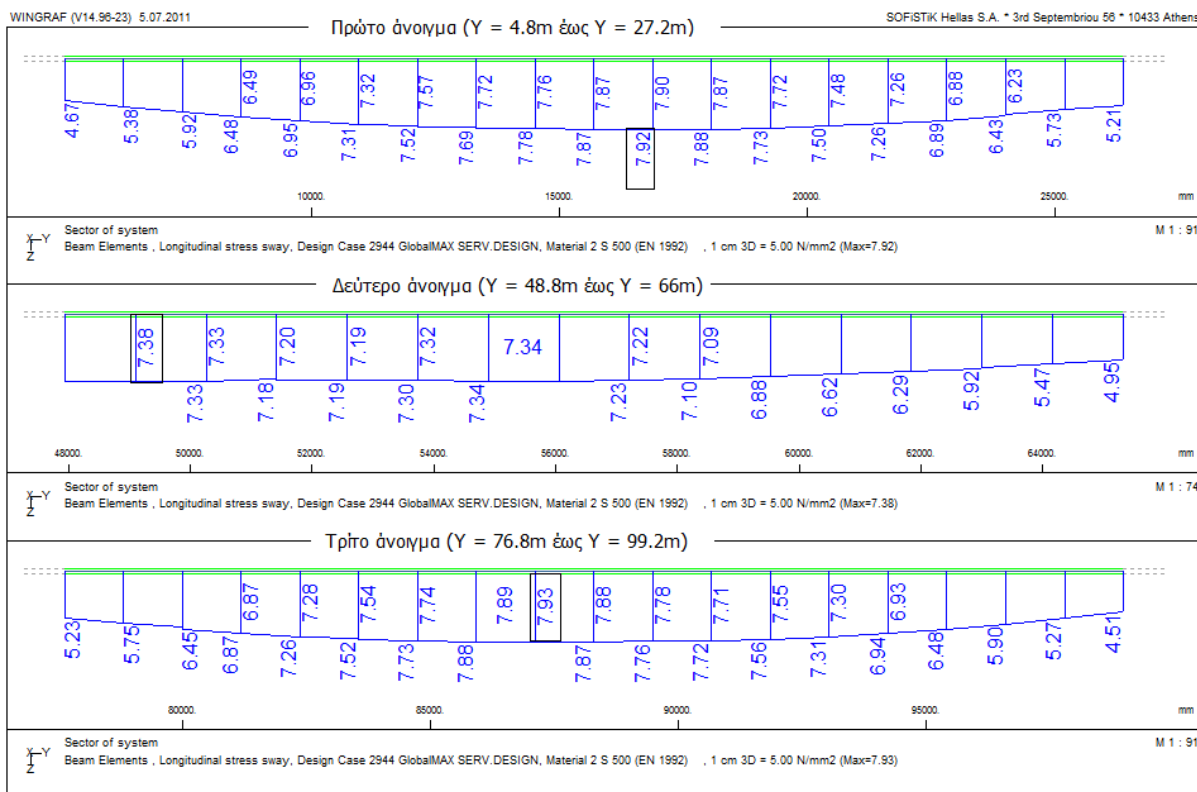
Ο έλεγχος δίνεται από τη σχέση

$$\Delta\sigma_{s,eq}(N^*) \cdot \gamma_{F,fat} \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}} \quad (3.16)$$

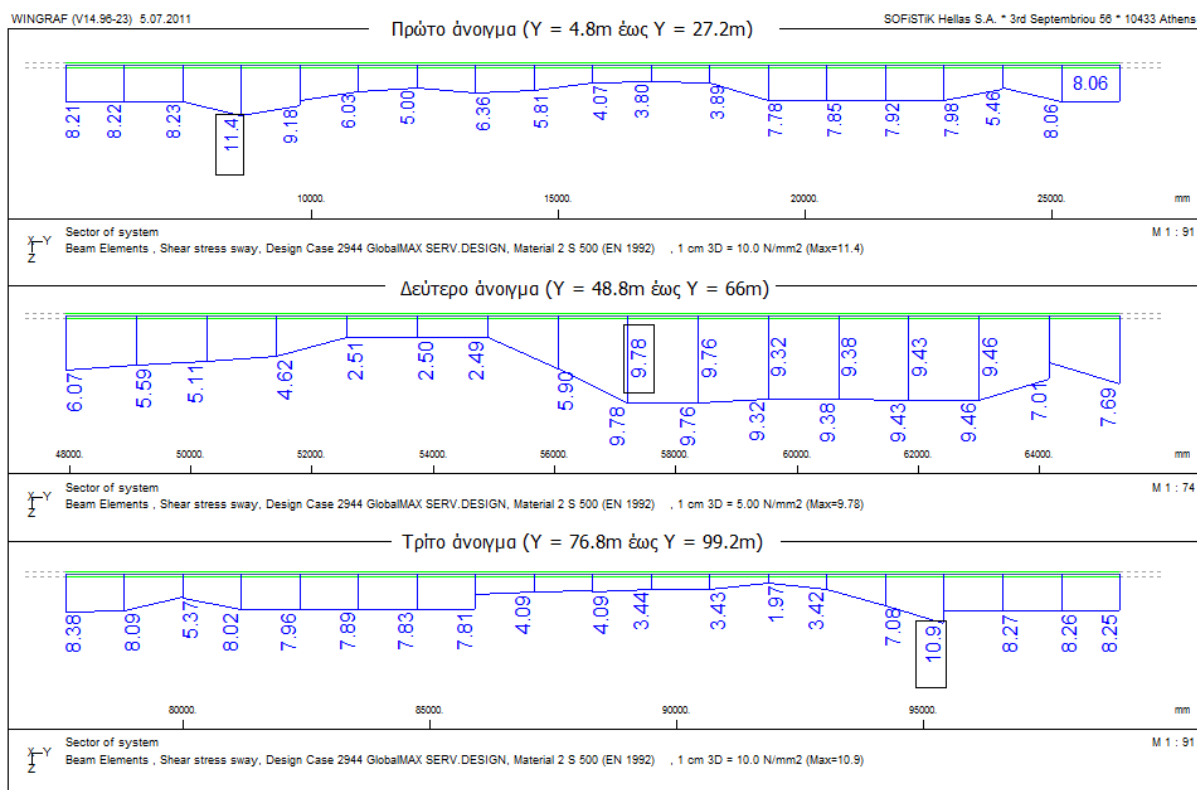
Και κατά συνέπεια προκύπτουν τα παρακάτω όρια για το $\Delta\sigma_{s,Ed}$:

$$\Delta\sigma_{s,Ed} \leq 82.63 \text{Μρα} \quad \text{Για ευθύγραμμες ράβδους διαμήκη οπλισμού}$$

$$\Delta\sigma_{s,Ed} \leq 29.75 \text{Μρα} \quad \text{Για συγκολλημένες ευθύγραμμες ράβδους}$$



Σχήμα 3.36 Εύρος τάσεων του χάλυβα του διαμήκη οπλισμού στην περιοχή των ανοιγμάτων



Σχήμα 3.37 Εύρος τάσεων του χάλυβα του εγκάρσιου οπλισμού στην περιοχή των ανοιγμάτων

ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Παραδοχές για τον υπολογισμό του λ_s

$$\varphi_{fat} = 1.4 \text{ (επιφάνεια μέτριας τραχύτητας)}$$

$$\lambda_{s,1} = 1.2 \text{ στη στήριξη (παραδοχή: το μήκος της γραμμής επιρροής είναι ίσο με το ημιάθροισμα των εκατέρωθεν ανοιγμάτων)}$$

$$\lambda_{s,2} = \bar{Q} k_2 \sqrt{\frac{N_{obs}}{2,0}} = 1.07 \sqrt{\frac{1.05}{2}} = 0.912$$

όπου

$$N_{obs} = 2 \cdot 0.5 + 0.1 \cdot 0.5 = 1.05 \text{ (σε εκατομμύρια) με παραδοχή μέτριας κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων}$$

$$k_2 = 7 \text{ για καμπύλους τένοντες με μεταλλικό περίβλημα}$$

$$\bar{Q} = 1.0 \text{ με παραδοχή για τύπο κυκλοφορίας, «μεγάλης απόστασης»}$$

$$\lambda_{s,3} = 1 \text{ για ζωή σχεδιασμού 100 χρόνια}$$

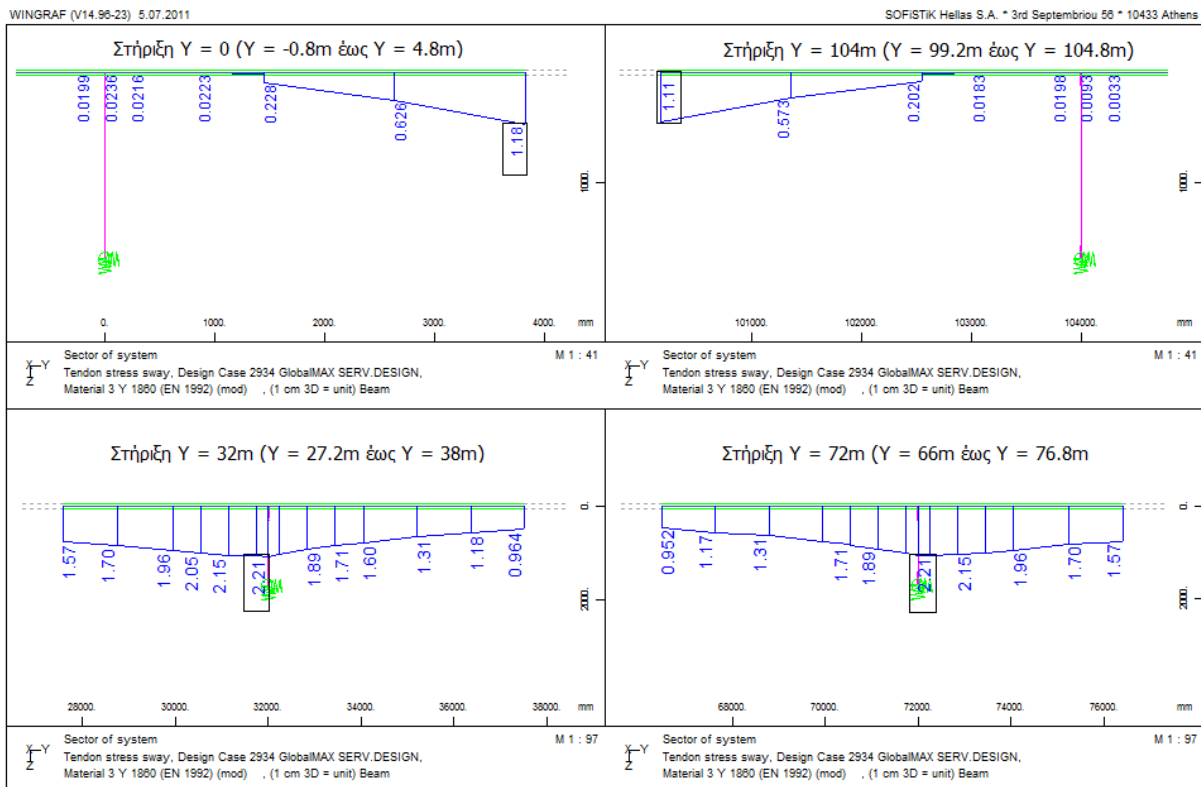
$$\lambda_{s,4} = k_2 \sqrt{\frac{\sum N_{obs,i}}{N_{obs,1}}} = 7 \sqrt{\frac{1.05 \cdot 10^6}{0.5 \cdot 10^6}} = 1.112$$

Από τα παραπάνω τελικώς προκύπτει $\lambda_s = 1.70$

Και κατά συνέπεια προκύπτουν τα παρακάτω όρια για το $\Delta\sigma_{s,Ec}$:

$$\Delta\sigma_{s,Ec} \leq 61.24 \text{ Mpa}$$

για καμπύλους τένοντες με μεταλλικό περίβλημα



Σχήμα 3.38 Εύρος τάσεων του χάλυβα προέντασης στην περιοχή των στηρίξεων

ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

Παραδοχές για τον υπολογισμό του λ_s

$$\varphi_{fat} = 1.4 \text{ (επιφάνεια μέτριας τραχύτητας)}$$

$$\lambda_{s,1} = 1.39 \text{ στη στήριξη (παραδοχή: το μήκος της γραμμής επιρροής είναι ίσο με πραγματικό άνοιγμα και όχι το θεωρητικό άνοιγμα)}$$

$$\lambda_{s,2} = \bar{Q}^{k_2} \sqrt{\frac{N_{obs}}{2,0}} = 1.07 \sqrt{\frac{1.05}{2}} = 0.912$$

όπου

$$N_{obs} = 2 \cdot 0.5 + 0.1 \cdot 0.5 = 1.05 \text{ (σε εκατομμύρια) με παραδοχή μέτριας κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων}$$

$$k_2 = 7 \text{ για καμπύλους τένοντες με μεταλλικό περίβλημα}$$

$$\bar{Q} = 1.0 \text{ με παραδοχή για τύπο κυκλοφορίας, «μεγάλης απόστασης»}$$

$$\lambda_{s,3} = 1 \text{ για ζωή σχεδιασμού 100 χρόνια}$$

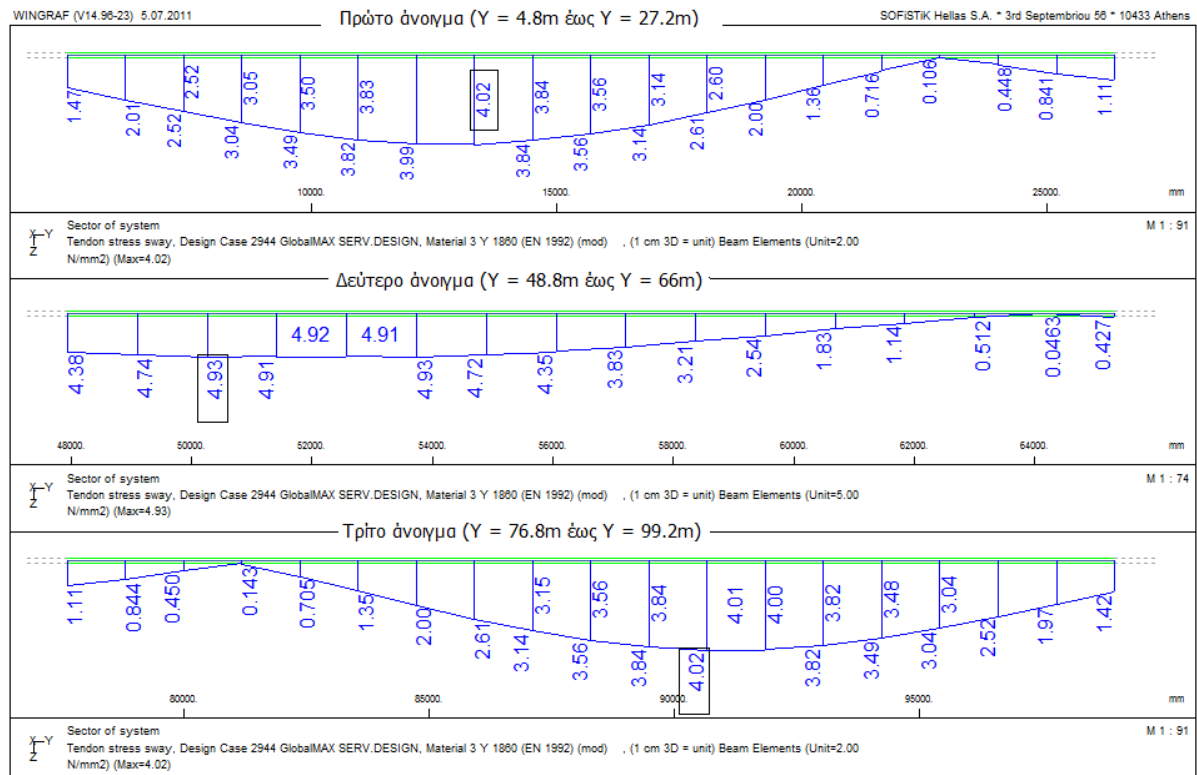
$$\lambda_{s,4} = \sqrt[k_2]{\frac{\sum N_{obs,i}}{N_{obs,1}}} = \sqrt[7]{\frac{1.05 \cdot 10^6}{0.5 \cdot 10^6}} = 1.112$$

Από τα παραπάνω τελικώς προκύπτει $\lambda_s = 1.97$

Και κατά συνέπεια προκύπτουν τα παρακάτω όρια για το $\Delta\sigma_{s,EC}$:

$$\Delta\sigma_{s,EC} \leq 52.87 \text{Μρα}$$

για καμπύλους τένοντες με μεταλλικό περίβλημα



Σχήμα 3.39 Εύρος τάσεων του χάλυβα προέντασης στην περιοχή των ανοιγμάτων

Πίνακας 3.17 Εύρος τάσεων για χάλυβα οπλισμών

Περιοχές στηρίξεων				Περιοχές ανοιγμάτων			
Διαμήκης οπλισμός		Εγκάρσιος οπλισμός		Διαμήκης οπλισμός		Εγκάρσιος οπλισμός	
Εύρος [MPa]	Επιτρεπόμενο [MPa]	Εύρος [MPa]	Επιτρεπόμενο [MPa]	Εύρος [MPa]	Επιτρεπόμενο [MPa]	Εύρος [MPa]	Επιτρεπόμενο [MPa]
5.87	88.87	16.1	88.87	7.93	82.63	11.4	82.63

Πίνακας 3.18 Εύρος τάσεων για χάλυβα προέντασης

Περιοχές στηρίξεων		Περιοχές ανοιγμάτων	
Εύρος [MPa]	Επιτρεπόμενο [MPa]	Εύρος [MPa]	Επιτρεπόμενο [MPa]
2.21	61.24	4.93	52.87

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το $f_{cd,fat}$ το οποίο δίνεται από τη σχέση 2.66 υπολογίζεται ίσο με 21.27MPa (με παραδοχή πρώτης εμφάνισης του ανακυκλικού φορτίου τις 60 μέρες) για έλεγχο του σκυροδέματος υπό θλίψη και 10.7 MPa για έλεγχο κόπωσης σε λοξούς θλιπτήρες σε στοιχεία υπό διάτμηση.

Έλεγχος σκυροδέματος υπό θλίψη

Από το συχνό συνδυασμό προκύπτουν τα εξής μεγέθη:

$$\sigma_{c,max} = -9,86\text{MPa}$$

$$\sigma_{c,min} = -5.48\text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} = \frac{9.86}{21.27} = 0.463 < 0.5 + 0.45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} = 0.62$$

Επομένως ο έλεγχος ικανοποιείται

Έλεγχος λοξών θλιπτήρων υπό διάτμηση

Διατομή 2

$$V_{max} = 5291\text{kN}$$

$$V_{min} = 4496\text{kN}$$

Από τις τιμές αυτές προκύπτουν οι εξής τάσεις στο σκυρόδεμα:

$$\sigma_{c,max} = \frac{V_{Ed,max}}{b_w \cdot z} \cdot \left(\frac{1 + \cot^2 \theta}{\cot \theta + \cot \alpha} \right) = 4.61\text{MPa} \text{ και αντίστοιχα } \sigma_{c,min} = 3.92\text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} = \frac{4.61}{10.7} = 0.431 < 0.5 + 0.45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} = 0.665 \text{ Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.}$$

3.11. ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Από τους ανωτέρω ελέγχους προκύπτουν οι παρακάτω ποσότητες δομικών υλικών ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης καταστρώματος:

Σκυρόδεμα	1451kg/m ²
Χάλυβας προεντεταμένου οπλισμού	26.14kg/m ²
Χάλυβας χαλαρού οπλισμού	69kg/m ²

4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές σχεδιασμού συμμικτων γεφυρών κατά τον Ευρωκώδικα. Περισσότερη έμφαση θα δοθεί στα κομμάτια αυτά του Ευρωκώδικα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της μελέτης.

4.2. ΥΛΙΚΑ

4.2.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

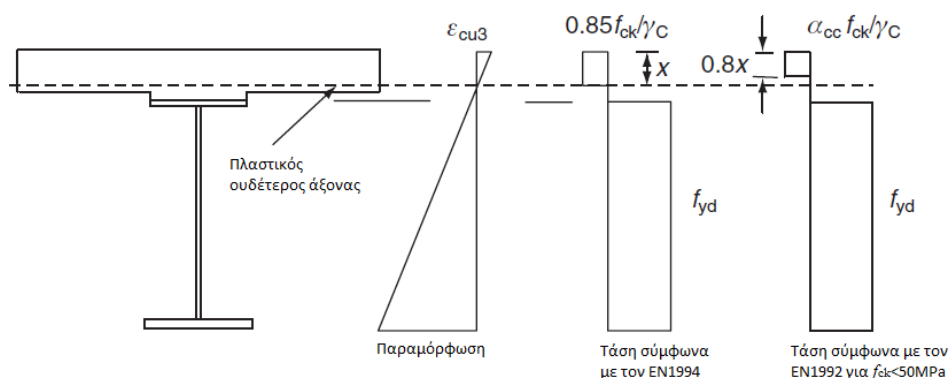
4.2.1.1. ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος δίνεται από τη σχέση (2.5) η οποία δίνεται αλγεβρικά επειδή είναι διαφορετική από αυτή που δίνεται για γέφυρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα (Σχέση 2.5).

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_C \quad (4.1)$$

όπου η χαρακτηριστική τιμή f_{ck} θα λαμβάνεται από τον Πίνακα 2.1.

Η διαφορά στην τάση σχεδιασμού μεταξύ του EN1992 και EN1994 φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Απεικόνιση των διαφορών στην τάση σχεδιασμού όπως δίνονται στον EN1992 και στον EN1994

Τα υπόλοιπα στοιχεία που αφορούν το σκυρόδεμα είναι όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο 2.2.1.

4.2.2. ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τα στοιχεία που αφορούν το χάλυβα οπλισμού είναι όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο 2.2.2

4.2.3. ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ

Ο δομικός χάλυβας που θα χρησιμοποιείται σε σύμμικτες κατασκευές πρέπει σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 1994-2 να έχει ονομαστική αντοχή που δεν υπερβαίνει τα 460 N/mm². Παρόλα αυτά ο ευρωκώδικας EN 1993-1-12 καλύπτει χάλυβες έως την κατηγορία S700.

4.2.3.1. ΑΝΤΟΧΗ

Η ονομαστική αντοχή θα πρέπει είτε να λαμβάνεται απ' ευθείας από το πρότυπο του προϊόντος είτε να χρησιμοποιούνται οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 4.1.

Το υλικό πρέπει να διαθέτει την απαιτούμενη αντοχή ώστε να αποφεύγεται η ψαθυρή θραύση κατά τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού της κατασκευής. Για το λόγο αυτό καθορίζονται το μέγιστο πάχος των ελασμάτων ανάλογα με την ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας και η ελάχιστη ποιότητα χάλυβα για το μέγιστο αυτό πάχος. Ο ευρωκώδικας αναφέρει ένα παράδειγμα πρόσθετων απαιτήσεων στον παρακάτω πίνακα:

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές πάχους στοιχείου δίνονται στον Πίνακα 4.1 όπου:

- Για εφελκυσόμενα στοιχεία δίνεται συνάρτηση της τάσης λειτουργίας
- Για θλιβόμενα μέλη χρησιμοποιείται ο παραπάνω πίνακας για $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$.

Πίνακας 4.1 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές πάχους στοιχείου t σε mm

Ποιότητα χάλυβα	Επιμέρους ποιότητα	Ενέργεια Charpy CVN σε T [°C] J _{min}	Θερμοκρασία αναφοράς T _{Ed} [°C]																					
			10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	
			$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$						$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$						$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$									
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130

Πίνακας 4.2 Ονομαστικές τιμές της αντοχής διαρροής f_y και της οριακής εφελκυστικής αντοχής f_u για εν θερμώ ελατούς χάλυβες

Πρότυπο και ποιότητα χάλυβα	Ονομαστικό πάχος του στοιχείου t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		40 mm < $t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]

EN 10025-2

S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550

EN 10025-3

S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540

EN 10025-4

S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530

EN 10025-5

S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

EN 10025-6

S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
----------------	-----	-----	-----	-----

EN 10210-1

S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

EN 10219-1

S 235 H	235	360
S 275 H	275	430
S 355 H	355	510
S 275 NH/NLH	275	370
S 355 NH/NLH	355	470
S 460 NH/NLH	460	550
S 275 MH/MLH	275	360
S 355 MH/MLH	355	470

S 420 MH/MLH	420	500
S 460 MH/MLH	460	530

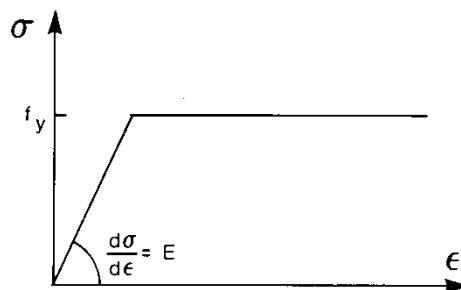
4.2.3.2. ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Η πλαστιμότητα του δομικού χάλυβα εκφράζεται υπό τη μορφή ορίων για:

- το λόγο f_u / f_y της προδιαγεγραμμένης ελάχιστης οριακής αντοχής σε εφελκυσμό f_u ως προς την προδιαγεγραμμένη ελάχιστη αντοχή διαρροής f_y όπου θα πρέπει $f_u / f_y \geq 1,15$.
- επιμήκυνση στην αστοχία δοκιμίου μήκους $5,65 \sqrt{A_0}$ (όπου A_0 είναι η αρχική επιφάνεια της διατομής) η οποία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 15%
- την οριακή παραμόρφωση ε_u , όπου η ε_u αντιστοιχεί στην οριακή αντοχή f_u , για την οποία πρέπει να ισχύει $\varepsilon_u \geq 15\varepsilon_y$, όπου ε_y είναι η παραμόρφωση διαρροής.

4.2.3.3. ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η σχέση τάσης παραμόρφωσης του χάλυβα δίνεται στο Σχήμα 4.2



Σχήμα 4.2 Διγραμμική σχέση τάσης παραμόρφωσης

Το μέτρο ελαστικότητας E λαμβάνεται ίσο με $210\,000\text{ N/mm}^2$

Το μέτρο διάτμησης δίνεται από τη σχέση (4.2)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000\text{ N/mm}^2 \quad (4.2)$$

Ο λόγος του Poisson στην ελαστική περιοχή $\nu = 0.3$

Ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ ανά°C (για $T \leq 100$ °C)

Ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων λόγω ανομοιόμορφων θερμοκρασιών σε σύμμικτες κατασκευές χάλυβα σκυροδέματος λαμβάνεται ως $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ ανά °C (για $T \leq 100$ °C).

Οι τιμές των συντελεστών του δομικού χάλυβα για τις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας συνοψίζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Συντελεστές δομικού χάλυβα για τις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας

Τύπος Αντοχής	Συντελεστής	Προτεινόμενη Τιμή
Αντοχή μελών και διατομών		
• Αντοχή της διατομής σε κάμψη συμπεριλαμβανόμενου του τοπικού λυγισμού	γ_{M0}	1,00
• Αντοχή μελών σε ελαστική ευστάθεια	γ_{M1}	1,10
• Αντοχή σε θραύση διατομών σε εφελκυσμό	γ_{M2}	1,25
Αντοχή Κόμβων		
• Αντοχή κοχλιών, πύρων, συγκολλήσεων	γ_{M2}	1,25

4.3. ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

4.3.1. ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Εκτός της περίπτωσης που και τα δύο πέλαματά είναι σύμμικτα, η επιρροή του ερπυσμού μπορεί να λαμβάνεται υπόψη χρησιμοποιώντας συντελεστές ισοδυναμίας n_L για το σκυρόδεμα. Οι συντελεστές ισοδυναμίας εξαρτώνται από το είδος της φόρτισης (δείκτης L) δίνονται από τη σχέση (4.3)

$$n_L = n_0 (1 + \psi_L \varphi_t) \quad (4.3)$$

όπου:

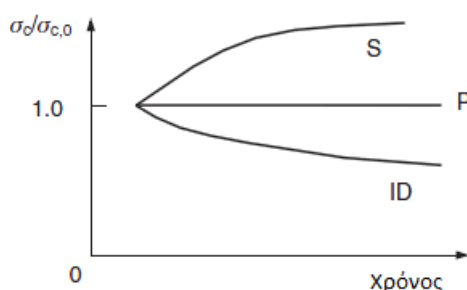
n_0 είναι ο συντελεστής ισοδυναμίας E_a / E_{cm} για φόρτιση βραχείας διάρκειας.

E_{cm} είναι το επιβατικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος για φόρτιση βραχείας διάρκειας σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1

φ_t είναι ο συντελεστής ερπυσμού $\varphi(t, t_0)$ σύμφωνα με τη σχέση 2.14, εξαρτώμενος από την ηλικία (t) του σκυροδέματος τη θεωρούμενη στιγμή και την ηλικία (t_0) του σκυροδέματος κατά την φόρτιση,

ψ_L είναι ο ερπυστικός πολλαπλασιαστής εξαρτώμενος από το είδος της φόρτισης, ο οποίος θα λαμβάνεται 1.1 για μόνιμα φορτία, 0.55 για πρωτογενείς και δευτερογενείς επιρροές της συστολής ξήρανσης και 1.5 για προένταση λόγω επιβαλλόμενων παραμορφώσεων.

Το Σχήμα 4.3 δείχνει τους λόγους που επιλέγονται αυτές οι τιμές του ερπυστικού πολλαπλασιαστικού συντελεστή. Απεικονίζει τρεις καμπύλες μεταβολής της θλιπτικής δύναμης με το χρόνο για συστολή ξήρανσης S, μόνιμα φορτία P και προένταση λόγω επιβαλλόμενων παραμορφώσεων ID.



Σχήμα 4.3 μεταβολής της θλιπτικής δύναμης με το χρόνο για συστολή ξήρανσης S, μόνιμα φορτία P και προένταση λόγω επιβαλλόμενων παραμορφώσεων ID.

Για μόνιμα φορτία σε σύμμικτες κατασκευές που έχουν διαστρωθεί σε διάφορες φάσεις, μπορεί να χρησιμοποιείται μία μέση τιμή t_0 για τον προσδιορισμό του συντελεστή ερπυσμού.

4.3.2. ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Η συστολή ξήρανσης υπολογίζεται με βάση τις σχέσεις του κεφαλαίου 2.3.2. Ο συνιστώμενος μερικός συντελεστής ασφαλείας είναι $\gamma_{sh}=1$. Ο EN1994 απαιτεί κατάλληλη μέριμνα να λαμβάνεται για τις πρωτογενείς και δευτερογενείς επιδράσεις που προκαλούνται από συστολή ξήρανσης και ερπυσμό του πέλματος σκυροδέματος.

Για σύμμικτα μέλη των οποίων όλες οι διατομές είναι Κατηγορίας 1 ή 2, και για τα οποία δεν είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη στρεπτοκαμπτικός λυγισμός στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας οι επιδράσεις του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος μπορούν να αγνοούνται κατά την ανάλυση για ελέγχους οριακών καταστάσεων αστοχίας εκτός της κόπωσης,

Για τις περιοχές όπου η πλάκα σκυροδέματος υποτίθεται ότι έχει ρηγματωθεί κατά τον υπολογισμό των δευτερογενών επιδράσεων οι πρωτογενείς επιδράσεις της συστολής ξήρανσης μπορούν να αγνοούνται.

4.4. ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ

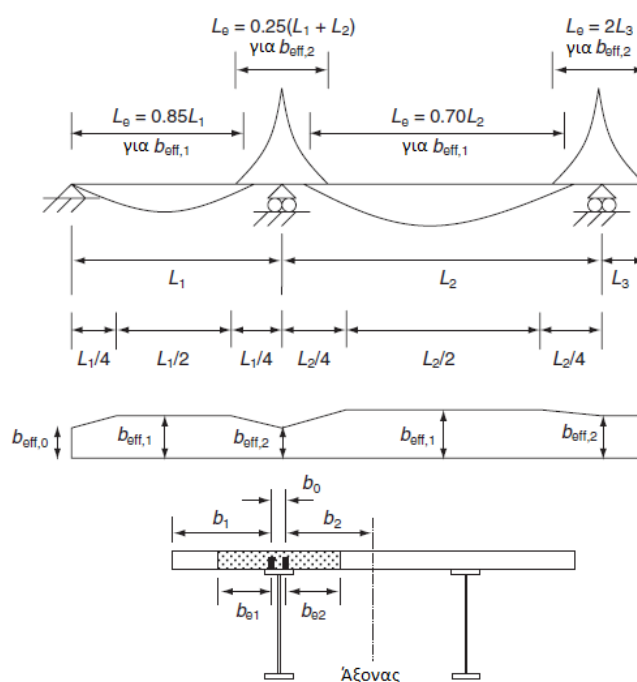
Το συνεργαζόμενο πλάτος, b_{eff} , στο άνοιγμα ή σε μια εσωτερική στήριξη προσδιορίζεται από τη σχέση (4.4)

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei} \quad (4.4)$$

όπου:

b_0 είναι η απόσταση μεταξύ των κέντρων των εξωτερικών διατμητικών συνδέσμων

b_{ei} είναι η τιμή του ενεργού πλάτους του πέλματος σκυροδέματος εκατέρωθεν του κορμού το οποίο λαμβάνεται ίσο με $L_e / 8$ αλλά όχι μεγαλύτερο από το γεωμετρικό πλάτος b_i . Η τιμή b_i θα λαμβάνεται ως η απόσταση από τον εξωτερικό διατμητικό σύνδεσμο έως το μέσον μεταξύ παράλληλων κορμών, μετρούμενη στο μέσο-πάχος του πέλματος σκυροδέματος, εκτός της περίπτωσης ελεύθερου άκρου οπότε b_i είναι η απόσταση μέχρι το ελεύθερο άκρο. Το μήκος L_e θα λαμβάνεται ως η προσεγγιστική απόσταση μεταξύ των σημείων μηδενικής καμπτικής ροπής. Για τυπικές συνεχείς σύμμικτες δοκούς, όπου κρίσιμη είναι η περιβάλλουσα των ροπών από τους διάφορους συνδυασμούς φόρτισης, όπως και για προβόλους, το L_e μπορεί να υποτεθεί όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4 Προσδιορισμός του b_{eff}

Το συνεργαζόμενο πλάτος σε μία ακραία στήριξη μπορεί να προσδιορίζεται από τη σχέση

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum \beta_i b_{ei} \quad (4.5)$$

όπου:

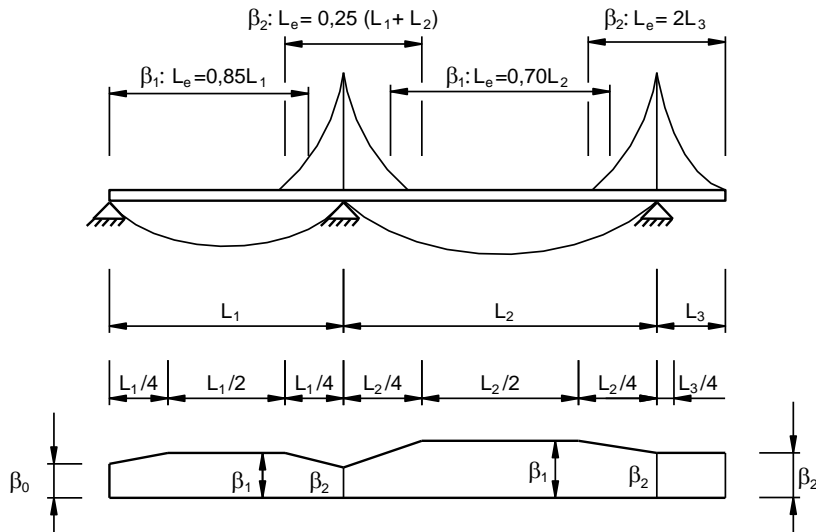
$$\beta_i = (0,55 + 0,025 L_e / b_{ei}) \leq 1,0$$

όπου:

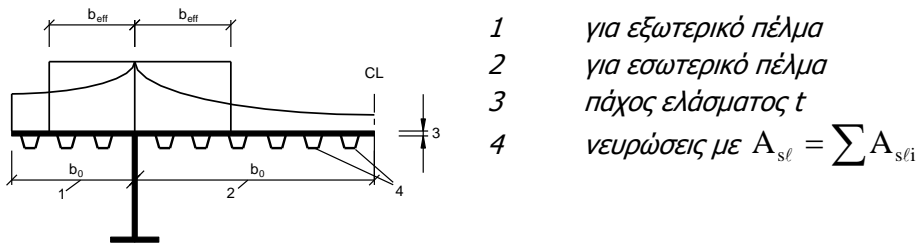
b_0, b_{ei} όπως ορίστηκε προηγουμένως

Κατά τον υπολογισμό του ενεργού πλάτους θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη τα φαινόμενα διατμητικής υστέρησης. Σε πλατιά πέλματα η διατμητική υστέρηση έχει ως αποτέλεσμα η τάση λόγω διαμήκους κάμψης αμέσως δίπλα από τον κορμό να υπερβαίνει αυτή που προκύπτει από την ανάλυση της πλήρους διατομής, ενώ η τάση στο πέλμα μακριά από τον κορμό να είναι πολύ χαμηλότερη απ' ό τι αναμένεται. Επίσης οδηγεί σε απώλεια δυσκαμψίας σε μια διατομή που υπόκειται σε κάμψη που μπορεί να είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό την ακριβούς ανακατανομής των ροπών στην ανάλυση. Ο ευρωκώδικας αντιμετωπίζει και τα δυο παραπάνω προβλήματα με τη θεώρηση ενός ενεργού συνεργαζόμενου πλάτους μικρότερου από το διαθέσιμο. Αυτό γίνεται με τη μέθοδο που περιγράφεται παρακάτω:

Αρχικά υπολογίζεται το L_e χρησιμοποιώντας το Σχήμα 4.5. Αυτό ισχύει για γειτονικά ανοίγματα που δε διαφέρουν παραπάνω από 50% και οποιοδήποτε άνοιγμα προβόλου δεν είναι μεγαλύτερο από το μισό του γειτονικού ανοίγματος



Σχήμα 4.5 Ενεργό μήκος L_e σε συνεχή δοκό και κατανομή του ενεργού^s πλάτους (για διατμητική υστέρηση)



Σχήμα 4.6 Συμβολισμοί για τη διατμητική υστέρηση

Η διατμητική υστέρηση στα πέλματα μπορεί να αγνοείται εάν $b_0 < L_e/50$ όπου το b_0 όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6

Η επιρροή της διατμητικής υστέρησης είναι μεγαλύτερη σε περιοχές που καταπονούνται από μεγάλη διατμητική δύναμη. Κατά συνέπεια, το ενεργό πλάτος λόγω διατμητικής υστέρησης στις ενδιάμεσες στηρίξεις θα είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο στις περιοχές των ανοιγμάτων. Οι επιρροή της θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη τόσο κατά τους ελέγχους σε ΟΚΛ όσο και σε ΟΚΑ. Παρόλα αυτά επειδή κατά τις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας επιτρέπεται ανακατανομή ροπών η απομείωση του ενεργού πλάτους θα είναι μικρότερη απ' ότι στις Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας.

Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας

Αρχικά υπολογίζεται η ενεργός, λόγω κύρτωσης, επιφάνεια του θλιβόμενου στοιχείου από τη σχέση (4.6)

$$A_{c,eff} = \rho A_c \tag{4.6}$$

Όπου:

- ρ μειωτικός συντελεστής για την κύρτωση
- A_c Πλήρης επιφάνεια του στοιχείου

Ο μειωτικός συντελεστής ρ μπορεί να λαμβάνεται ως εξής:

εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία:

$$\rho = 1,0 \quad \text{για} \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,673 \tag{4.7}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{για} \quad \bar{\lambda}_p > 0,673 \quad \text{με} \quad (3 + \psi) \geq 0 \quad (4.8)$$

εξωτερικά θλιβόμενα στοιχεία:

$$\rho = 1,0 \quad \text{για} \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \quad (4.9)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{για} \quad \bar{\lambda}_p > 0,748 \quad (4.10)$$

Όπου:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad (4.11)$$

ψ είναι ο λόγος τάσεων που προσδιορίζεται σύμφωνα με 4.4.(3) και 4.4.(4) του EN1993-1-5

\bar{b} είναι το κατάλληλο πλάτος, ως ακολούθως (για ορισμούς, βλέπε Πίνακα 5.2 του EN 1993-1-1)

b_w για κορμούς

b για εσωτερικά πέλματα (εκτός των RHS)

$b - 3t$ για πέλματα των RHS

c για εξωτερικά πέλματα

h για ισοσκελή γωνιακά

h για ανισοσκελή γωνιακά

k_σ είναι ο συντελεστής κύρτωσης που αντιστοιχεί στο λόγο τάσεων ψ και στις συνοριακές συνθήκες. Για μακρά ελάσματα το k_σ δίνεται από τον Πίνακα 4.1 ή τον Πίνακα 4.2 του EN1993-1-5

t είναι το πάχος

σ_{cr} είναι η ελαστική κρίσιμη τάση κύρτωσης όπου

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [N/mm^2]}} \quad (4.12)$$

Υπολογίζεται ο συντελεστής ενεργού πλάτους για την επίδραση της διατμητικής υστέρησης β_{ult} από τον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4 Συντελεστής ενεργού^s πλάτους β

κ	θέση ελέγχου	τιμές του β
$\kappa \leq 0,02$		$\beta = 1,0$
	θετική ροπή	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \kappa^2}$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	αρνητική ροπή	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \left(\kappa - \frac{1}{2500 \kappa} \right) + 1,6 \kappa^2}$
	θετική ροπή	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9 \kappa}$
$> 0,70$	αρνητική ροπή	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6 \kappa}$
όλα τα κ	ακραία στήριξη	$\beta_0 = (0,55 + 0,025 / \kappa) \beta_1$, αλλά $\beta_0 < \beta_1$

όλα τα κ	Πρόβολος	$\beta = \beta_2$ στη στήριξη και στο άκρο
$\kappa = \alpha_0^* \beta_0 / L_e$ με $\alpha_0^* = \sqrt{\frac{A_{c,eff}}{b_0 t_f}}$		
όπου $A_{s\ell}$ είναι η επιφάνεια όλων των διαμήκων νευρώσεων μέσα στο πλάτος b_0 και τα υπόλοιπα σύμβολα όπως ορίζονται στα πιο πάνω σχήματα.		

Η τελική ενεργός επιφάνεια που προκύπτει έχοντας λάβει υπ' όψη τις επιδράσεις της κύρτωσης και της διατμητικής υστέρησης προκύπτει από τη σχέση (4.13)

$$A_{eff} = A_{c,eff} \beta^{\kappa} \geq A_{c,eff} \beta \quad (4.13)$$

Με αυτόν τον τρόπο έχει ληφθεί υπ' όψη και η πλαστική κατανομή λόγω της ελαστο-πλαστικής διατμητικής υστέρησης που συμβαίνει στις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας. Η ισότητα είναι πιο συντηρητική. Ακόμα συντηρητικότερο θα ήταν να ληφθεί το ενεργό πλάτος ίσο με αυτό που προκύπτει για τις Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας και υπολογίζεται ως ακολούθως:

Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας

Δε χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψη η κύρτωση. Το ενεργό πλάτος για τη διατμητική υστέρηση υπό ελαστικές συνθήκες προσδιορίζεται από :

$$b_{eff} = \beta b_0 \quad (4.14)$$

όπου το β υπολογίζεται από τον ίδιο πίνακα που χρησιμοποιείται και στις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας με τη διαφορά όμως ότι:

$$\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{s\ell}}{b_0 t}} \quad (4.15)$$

4.5. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Για την κατάταξη των σύμμικτων διατομών ισχύει το ίδιο σύστημα κατάταξης που ισχύει και για τις χαλύβδινες. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες διατομών. Η διατομή θα κατατάσσεται σύμφωνα με τη δυσμενέστερη κατηγορία των θλιβόμενων στοιχείων της. Για το λόγο αυτό και η κατηγορία της σύμμικτης διατομής εξαρτάται από τη διεύθυνση της καμπτικής ροπής.

Επιπλέον για τις σύμμικτες ισχύουν τα εξής:

- Το θλιβόμενο πέλμα της χαλύβδινης δοκού το οποίο είναι εξασφαλισμένο από λυγισμό λόγω της σύνδεσής του με την πλάκα σκυροδέματος μέσω διατμητικών συνδέσμων, μπορεί να υποτεθεί ότι ανήκει στην Κατηγορία 1 εφόσον οι αποστάσεις των διατμητικών συνδέσμων είναι σύμφωνα με τις αντίστοιχες διατάξεις του ευρωκώδικα.
- Για την κατάταξη, θα χρησιμοποιείται η πλαστική κατανομή τάσεων εκτός της περίπτωσης στο όριο μεταξύ των Κατηγοριών 3 και 4, όπου πρέπει να χρησιμοποιείται η ελαστική κατανομή τάσεων λαμβανομένων υπόψη των φάσεων κατασκευής και των επιδράσεων του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης. Για την κατάταξη θα χρησιμοποιούνται οι τιμές σχεδιασμού των αντοχών των υλικών. Το σκυρόδεμα σε εφελκυσμό θα αγνοείται. Η κατανομή των τάσεων θα καθορίζεται με βάση την διατομή του χαλύβδινου κορμού και την ισοδύναμη διατομή των πελμάτων.
- Για διατομές Κατηγορίας 1 και 2 με ράβδους σε εφελκυσμό, ο οπλισμός που χρησιμοποιείται μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος θα πρέπει να είναι κατηγορίας πλαστιμότητας B ή C. Επιπροσθέτως, για διατομή της οποίας η πλαστική ροπή αντοχής υπολογίζεται σύμφωνα με τις παραδοχές της 6.2 του EN1994-2 θα προβλέπεται μία ελάχιστη επιφάνεια οπλισμού A_s μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος από σκυρόδεμα που να ικανοποιεί την ακόλουθη σχέση:

$$A_s \geq \rho_s A_c$$

με

$$\rho_s = \delta \frac{f_y}{235} \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} \sqrt{k_c}$$

όπου:

A_c είναι η ισοδύναμη επιφάνεια του πέλματος από σκυρόδεμα

f_y είναι η ονομαστική τιμή της αντοχής διαρροής του δομικού χάλυβα σε N/mm^2 ;

f_{sk} είναι η χαρακτηριστική αντοχή διαρροής του οπλισμού

f_{ctm} είναι η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος

k_c είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την κατανομή των τάσεων μέσα στη διατομή αμέσως πριν τη ρηγμάτωση και δίνεται από τη σχέση:

$$k_c = \frac{1}{1 + h_c / (2 z_0)} + 0,3 \leq 1,0 \delta$$

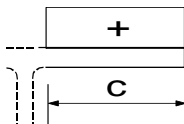
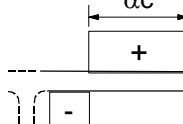
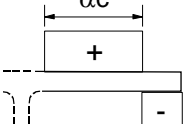
είναι ίσο με:

1,0 για διατομές Κατηγορίας 2

1,1 για διατομές Κατηγορίας 1

- Όταν υπάρχουν σε ένα χαλύβδινο στοιχείο διαμήκεις νευρώσεις τότε θα πρέπει να τοποθετείται στην κατηγορία 4 εκτός από την περίπτωση που μπορεί να καταταγεί σε ευμενέστερη κατηγορία αγνοώντας τις νευρώσεις
- Κατά την καθολική ανάλυση για τις φάσεις κατασκευής, θα λαμβάνεται υπόψη η κατηγορία της χαλύβδινης διατομής κατά τη θεωρούμενη φάση.

Πίνακας 4.5 Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα

Προεξέχοντα πέλατα			
	Ελατές διατομές		Συγκολλητές διατομές
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$

2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Για k_σ βλέπε EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Πίνακας 4.6 Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα				
			Άξονας κάμψης	Άξονας Κάμψης
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη	
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)				
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$	

2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	$\text{όταν } \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\text{όταν } \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	$\text{όταν } \psi > -1: c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ $\text{όταν } \psi \leq -1^*: c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

4.6. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΕΚΤΟΣ ΚΟΠΩΣΗΣ)

4.6.1. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

4.6.1.1. ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η αντοχή σε κατακόρυφη διάτμηση $V_{pl,Rd}$ θα λαμβάνεται ίση με την αντοχή σε κατακόρυφη διάτμηση της χαλύβδινης διατομής $V_{pl,a,Rd}$ εκτός εάν έχει παγιωθεί τιμή της συμβολής του μέρους του ωπλισμένου σκυροδέματος της δοκού.

Η $V_{pl,a,Rd}$ για απουσία στρέψης δίνεται από τη σχέση (4.16)

$$V_{pl,a,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (4.16)$$

Όπου:

A_v είναι η επιφάνεια διάτμησης που για συγκολλητές διατομές I, H, U και κιβωτιοειδείς, με φορτίο παράλληλο στα πέλματα $A = \sum (h_w t_w)$

4.6.1.2. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΥΡΤΩΣΗ

Ελάσματα με λόγο h_w/t μεγαλύτερο από $72/\eta^* \varepsilon$ για μη ενισχυμένο κορμό, ή $31/\eta^* \varepsilon \sqrt{k_\tau}$ για ενισχυμένο κορμό, πρέπει να ελέγχονται για αντοχή σε κύρτωση λόγω διατμητικών τάσεων και πρέπει να ενισχύονται με εγκάρσιες νευρώσεις στις στηρίξεις, όπου το ε όπως δίνεται στη σχέση (4.12)

Για μη ενισχυμένους ή ενισχυμένους κορμούς η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα πρέπει να λαμβάνεται όπως φαίνεται στην (4.17)

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (4.17)$$

Όπου:

$V_{bw,Rd}$ Η συνεισφορά του κορμού

$V_{bf,Rd}$ Η συνεισφορά των πελμάτων

η 1,2 για χάλυβα ποιότητας έως και S460

Η $V_{bw,Rd}$ υπολογίζεται από τη σχέση

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (4.18)$$

4.6.1.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΡΕΨΗ

Για συνδυασμένη διατμητική δύναμη και στρεπτική ροπή, η πλαστική αντοχή σε διάτμηση που λαμβάνει υπόψη τη στρεπτική επιρροή πρέπει να μειώνεται από $V_{pl,Rd}$ σε $V_{pl,T,Rd}$ και η διατμητική δύναμη σχεδιασμού πρέπει να ικανοποιεί την (4.19)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad (4.19)$$

στην οποία η $V_{pl,TEd,Rd}$ μπορεί να λαμβάνεται για I ή H διατομή ως εξής:

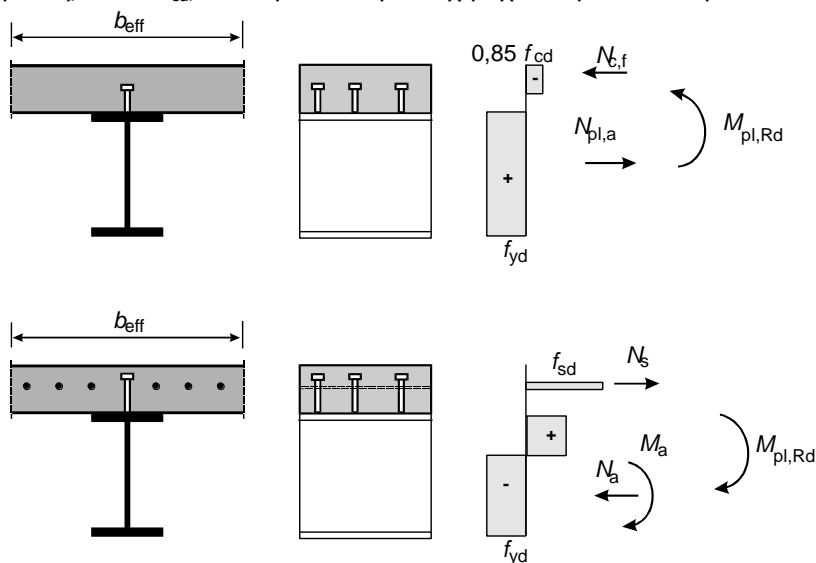
$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 (f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} \quad (4.20)$$

Όπου η $V_{pl,Rd}$ είναι η μικρότερη εκ των $V_{pl,a,Rd}$ και $V_{b,Rd}$

4.6.2. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Στην περίπτωση που η σύμμικτη διατομή είναι κατηγορίας 1 ή 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί η στερεοπλαστική θεωρία για τον υπολογισμό της καμπτικής αντοχής σχεδιασμού, $M_{pl,Rd}$. Για τον υπολογισμό της θα γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές :

- Υπάρχει πλήρης αλληλεπίδραση μεταξύ δομικού χάλυβα, χάλυβα οπλισμού, και σκυροδέματος.
- Η ενεργός διατομή της χαλύβδινης δοκού εντείνεται στην αντοχή διαρροής σχεδιασμού f_{yd} σε εφελκυσμό ή σε θλίψη.
- Η ενεργός διατομή του εφελκυσμένου ή του θλιβόμενου διαμήκους οπλισμού εντείνεται στο αντίστοιχο όριο διαρροής σχεδιασμού f_{sd} σε εφελκυσμό ή θλίψη. Εναλλακτικά, θλιβόμενος οπλισμός στην πλάκα σκυροδέματος μπορεί να αγνοείται.
- Η ενεργός διατομή του σκυροδέματος σε θλίψη εντείνεται σε τάση $0,85 \cdot f_{cd}$, σταθερή σε όλο το ύψος μεταξύ του πλαστικού ουδέτερου άξονα και της πλέον θλιβόμενης ίνας του σκυροδέματος, όπου f_{cd} είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού κυλίνδρου του σκυροδέματος.



Σχήμα 4.7 Υπολογισμός του $M_{pl,Rd}$

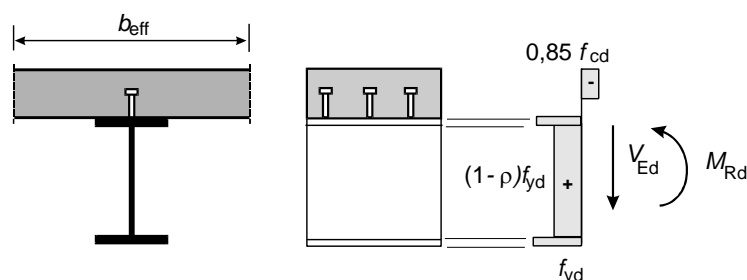
Πρέπει να ικανοποιείται η σχέση (4.21)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1 \quad (4.21)$$

4.6.2.1. ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Στην περίπτωση όπου η κατακόρυφη δύναμη διάτμησης V_{Ed} υπερβαίνει το ήμισυ της αντοχής σε διάτμηση V_{Rd} που δίνεται με την $V_{pl,T,Rd}$ θα πρέπει να γίνεται απομείωση της αντοχής σε κάμψη.

Για διατομές Κατηγορίας 1 ή 2, η επιρροή της κατακόρυφης διάτμησης στην καμπτική αντοχή μπορεί να λαμβάνεται υπόψη μέσω μιας μειωμένης αντοχής σχεδιασμού του χάλυβα στην επιφάνεια διάτμησης $(1 - \rho) f_{yd}$ όπου $\rho = (2 V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6



Σχήμα 4.8 Μείωση της αντοχής σχεδιασμού του χάλυβα στην επιφάνεια διάτμησης λόγω ταυτόχρονης κάμψης και κατακόρυφης διάτμησης

4.6.2.2. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Μια ιδιαιτερότητα των σύμμικτων κατασκευών είναι ότι όταν χρησιμοποιείται κάποια μέθοδος κατασκευής όπου κατά της φάση κατασκευής ο ξυλότυπος είναι ανυποστήρικτος η ελαστική καμπτική αντοχή εξαρτάται από την αναλογία των φορτίων που ασκούνται στη διατομή πριν αυτή γίνει σύμμικτη.

Η ελαστική ροπή αντοχής μιας διατομής δίνεται από τη σχέση (4.22)

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + k M_{c,Ed} \quad (4.22)$$

Όπου:

$M_{a,Ed}$ είναι η καμπτική ροπή σχεδιασμού που εφαρμόζεται στη διατομή της χαλύβδινης δοκού προ της σύμμικτης συμπεριφοράς;

$M_{c,Ed}$ είναι η καμπτική ροπή σχεδιασμού που εφαρμόζεται στη σύμμικτη διατομή

k είναι ο μικρότερος πολλαπλασιαστής έτσι ώστε να επιτυγχάνονται οι οριακές τάσεις οι οποίες είναι:

- f_{cd} σε θλίψη στο σκυρόδεμα
- f_{yd} σε εφελκυσμό ή θλίψη στο δομικό χάλυβα
- f_{sd} σε εφελκυσμό ή θλίψη στο χάλυβα οπλισμού. Εναλλακτικά ο θλιβόμενος οπλισμός στην πλάκα σκυροδέματος μπορεί να αγνοείται.

Εκτός κι αν χρησιμοποιείται πιο ακριβής μέθοδος η επιρροή του ερπυσμού θα λαμβάνεται υπ' όψη μέσω συντελεστών ισοδυναμίας.

Οι φάσεις κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη στον προσδιορισμό των τάσεων εφόσον δε χρησιμοποιείται υποστήριξη στη φάση κατασκευής. Το βάρος του μεταφερόμενου ξυλότυπου στην πραγματικότητα ασκείται στη χαλύβδινη διατομή και αφαιρείται από τη σύμμικτη. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση παραμενουσών αυτό-ισορροπούμενων τάσεων στη σύμμικτη διατομή. Το αν αυτές θα ληφθούν ή όχι υπ' όψη στην τελική κατάσταση είναι στην κρίση του μελετητή ανάλογα με το βάρος του ξυλότυπου.

4.6.2.3. ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Για κατηγορία 1 και 2 σύμμικτων διατομών με το πέγμα του σκυροδέματος σε θλίψη η μη γραμμική αντοχή σε κάμψη M_{Rd} μπορεί να υπολογίζεται συναρτήσει της θλιπτικής δύναμης στο σκυρόδεμα N_c χρησιμοποιώντας τις παρακάτω απλοποιημένες σχέσεις όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9:

$$M_{Rd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \frac{N_c}{N_{c,el}} \quad \text{για } N_c \leq N_{c,el} \quad (4.23)$$

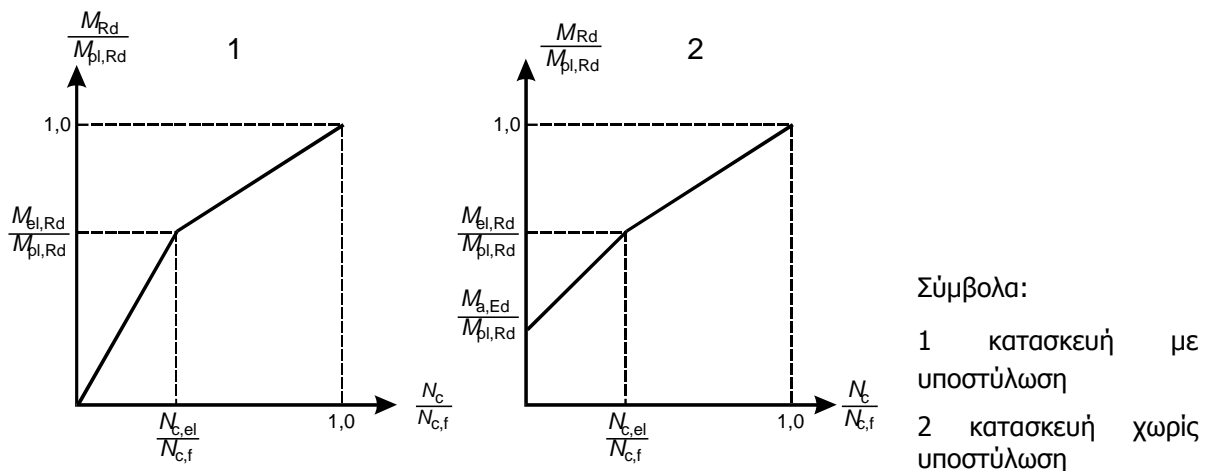
$$M_{Rd} = M_{el,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{el,Rd}) \frac{N_c - N_{c,el}}{N_{c,f} - N_{c,el}} \quad \text{για } N_{c,el} \leq N_c \leq N_{c,f} \quad (4.24)$$

Όπου:

$N_{c,el}$ είναι η θλιπτική δύναμη στο πέγμα σκυροδέματος που αντιστοιχεί στη ροπή $M_{el,Rd}$

$N_{c,f}$ είναι η θλιπτική δύναμη στο πέγμα σκυροδέματος που αντιστοιχεί στη ροπή $M_{pl,Rd}$

Οι τάσεις στο σκυρόδεμα θα πρέπει να λαμβάνονται από τις καμπύλες τάσεων παραμορφώσεων που δίνονται στο κεφάλαιο 2.2.1.4, του χάλυβα οπλισμού από το 2.2.2.4, και του δομικού χάλυβα από το 4.2.3.3.



Σχήμα 4.9 Απλοποιημένη σχέση μεταξύ M_{Rd} και N_c για διατομές με την πλάκα σκυροδέματος σε θλίψη

4.6.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ

Η τιμή σχεδιασμού της στρεπτικής ροπής T_{Ed} σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί την (4.25)

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0 \quad (4.25)$$

όπου

T_{Rd} είναι η αντοχή της διατομής σε στρέψη

Η ολική στρεπτική ροπή T_{Ed} σε κάθε διατομή προκύπτει ως το άθροισμα δύο εσωτερικών ροπών όπως φαίνεται στη σχέση (4.26)

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed} \quad (4.26)$$

όπου

$T_{t,Ed}$ είναι η εσωτερική ροπή στρέψης κατά Saint Venant

$T_{w,Ed}$ είναι η εσωτερική ροπή στρέψης λόγω στρέβλωσης.

Ως μια απλοποίηση, στην περίπτωση ενός μέλους με ανοιχτή διατομή, όπως η I ή H , μπορεί να υποθεθεί ότι οι επιδράσεις της στρέψης κατά St. Venant μπορούν να αγνοηθούν.

4.6.4. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟ ΛΥΓΙΣΜΟ

Απαιτήση ελέγχου έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού υφίσταται τόσο στη φάση κατασκευής όσο και στη φάση λειτουργικότητας. Πιο συγκεκριμένα στη φάση κατασκευής ελέγχεται το θλιβόμενο άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής και στη φάση λειτουργίας το κάτω πέλμα στις περιοχές των αρνητικών ροπών συνεχών δοκών. Όταν υπάρχει σύμμικτη λειτουργία, δηλαδή ύπαρξη διατμητικής σύνδεσης χαλύβδινης διατομής και σκυροδέματος μέσω των ήλων κεφαλής, το άνω πέλμα της χαλύβδινης δοκού εξασφαλίζεται πλήρως έναντι πλευρικής εκτροπής.

4.6.4.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (ΣΕ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ)

Μια πλευρικά μη προστατευμένη δοκός που υπόκειται σε κάμψη περί τον ισχυρό άξονα πρέπει να ελέγχεται έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού όπως φαίνεται στη σχέση (4.27)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (4.27)$$

όπου

M_{Ed} είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής

$M_{b,Rd}$ είναι η ροπή αντοχής σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό και υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.28)$$

όπου

W_y είναι η κατάλληλη ροπή αντίστασης της διατομής ως εξής:

$W_y = W_{pl,y}$ για διατομές κατηγορίας 1 ή 2

$W_y = W_{el,y}$ για διατομές κατηγορίας 3

$W_y = W_{eff,y}$ για διατομές κατηγορίας 4

χ_{LT} είναι ο μειωτικός συντελεστής για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Για τον υπολογισμό του χ_{LT} ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία

Για ελατές διατομές ή ισοδύναμες συγκολλητές διατομές υπό κάμψη, οι τιμές του χ_{LT} για την αντίστοιχη ανηγμένη λυγηρότητα μπορεί να καθορίζονται από τη σχέση (4.29)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{αλλά} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}} \end{cases} \quad (4.29)$$

όπου

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (4.30)$$

α_{LT} είναι συντελεστής ατελειών που αντιστοιχεί στην κατάλληλη καμπύλη λυγισμού και μπορεί να λαμβάνεται από το εθνικό προσάρτημα. Οι προτεινόμενες τιμές θα δίνονται από τον Πίνακα 4.8.

Οι παράμετροι $\bar{\lambda}_{LT,0}$ και β και κάθε περιορισμός ισχύος σχετικός με το ύψος της δοκού ή το λόγο h/b μπορεί να δίνεται στο Εθνικό Προσάρτημα. Για ελατές διατομές προτείνονται οι παρακάτω τιμές:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad (\text{μέγιστη τιμή})$$

$$\beta = 0,75 \quad (\text{ελάχιστη τιμή})$$

λ_{LT} ανηγμένη λυγηρότητα και δίνεται από τη σχέση (4.31)

Η καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού για ελατές ή ισοδύναμες συγκολλητές διατομής επιλέγεται με βάση τον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7 Επιλογή της καμπύλης στρεπτοκαμπτικού λυγισμού για διατομές χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.29)

Διατομή	Όρια	Καμπύλη λυγισμού
Ελατές διατομές I	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Συγκολλητές διατομές I	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Άλλες διατομές	-	d

Πίνακας 4.8 Συντελεστές ατελειών για καμπύλες στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Καμπύλη λυγισμού	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (4.31)$$

Για να ληφθεί υπόψη η κατανομή της ροπής μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων των μελών, ο μειωτικός συντελεστής χ_{LT} μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής:


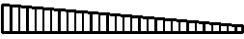


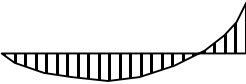


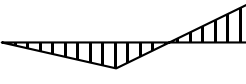
$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{αλλά} \quad \chi_{LT,mod} \leq 1 \quad (4.32)$$

Οι τιμές του f μπορούν να ορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα. Συνιστώνται οι ελάχιστες τιμές που δίνονται στη σχέση (4.33)

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c)[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \quad \text{αλλά} \quad f \leq 1,0 \quad (4.33)$$

k_c είναι διορθωτικός συντελεστής σύμφωνα με τον Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9 Διορθωτικοί Συντελεστές k_c

Κατανομή ροπήs	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Όπου M_{cr} είναι η ελαστική κρίσιμη ροπή λυγισμού στρεπτοκαμπτικού λυγισμού και δίνεται από τη σχέση (4.34)

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\} \quad (4.34)$$

Όπου

C_1, C_2, C_3	συντελεστές εξαρτώμενοι από τις συνθήκες φόρτισης και στρεπτικής στήριξης
I_t	σταθερά στρέψης
I_w	σταθερά στρέβλωσης
I_z	ροπή αδράνειας ως προς τον ασθενή άξονα
L	το μήκος της δοκού μεταξύ σημείων πλευρικά εξασφαλισμένων
k, k_w	συντελεστές εξαρτώμενοι από το είδος των στηρίξεων ως προς την ελευθερία στροφής και στρέβλωσης των άκρων του εξεταζόμενου πλευρικά μη προστατευμένου τμήματος
z_g	= $z_a - z_s$ Η απόσταση του κέντρου διάτμησης από το σημείο εφαρμογής του φορτίου
z_a	η τεταγμένη του σημείου εφαρμογής του φορτίου ως προς τον κεντροβαρικό άξονα $y-y$

z_s η τεταγμένη του κέντρου διάτμησης ως προς τον κεντροβαρικό άξονα $y-y$ και δίνεται από τη σχέση

$$z_j = z_s - \left[0.5 \cdot \int_A z(y^2 + z^2) dA \right] / I_y \quad (4.35)$$

Οι τεταγμένες z_a και z_s μετρώνται με αφετηρία το κέντρο βάρους της διατομής και είναι προσημασμένες με θετική φορά προς το θλιβόμενο πέλμα της διατομής. Σε δοκούς σταθερής μονοσυμμετρικής διατομής διπλού ταυ με άνισα πέλματα, για τον προσδιορισμό του z_j μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες προσεγγιστικές σχέσεις:

$$z_j = 0.8 \cdot (2\beta_f - 1) \cdot h_s / 2 \quad \beta_f > 0.5 \quad (4.36)$$

$$z_j = 1.0 \cdot (2\beta_f - 1) \cdot h_s / 2 \quad \beta_f < 0.5 \quad (4.37)$$

Όπου

$$\beta_f = \frac{I_{fc}}{I_{fc} + I_{ft}} \quad (4.38)$$

I_{fc} η ροπή αδράνειας του θλιβόμενου πέλματος ως προς τον ασθενή άξονα αδρανείας της διατομής

I_{ft} η ροπή αδράνειας του εφελκυόμενου πέλματος ως προς τον ασθενή άξονα αδρανείας της διατομής

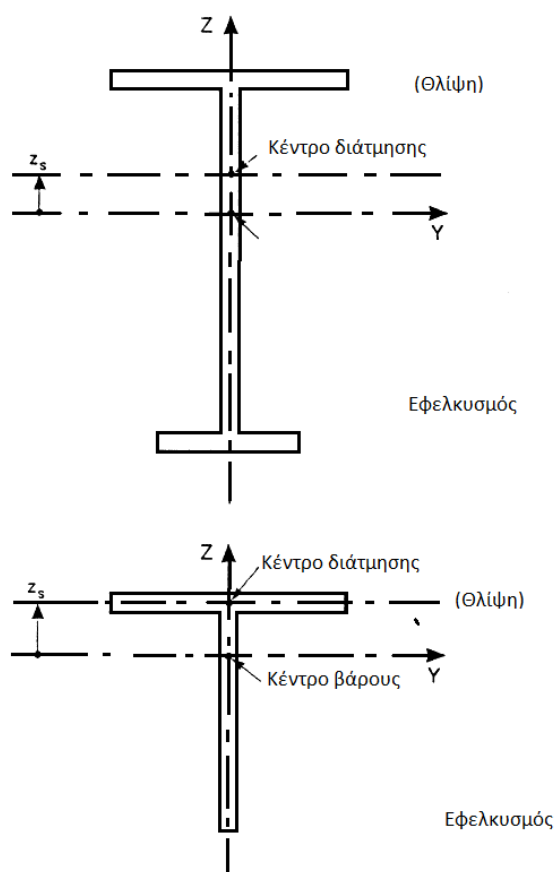
h_s η απόσταση μεταξύ των κέντρων διάτμησης των πελμάτων

Η σταθερά στρεβλώσεως μονοσυμμετρικών διατομών διπλού ταυ (με άνισα πέλματα) μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση (4.70)

$$I_w = \beta_f(1 - \beta_f) \cdot I_z \cdot h_s^2 \quad (4.39)$$

Ο συντελεστής k λαμβάνεται ίσος προς τη μονάδα όταν και τα δύο άκρα του πλευρικά μη προστατευμένου τμήματος μπορούν να προσομοιωθούν με απλές στρεπτικές στηρίξεις. Εάν και τα δύο άκρα είναι πακτωμένα αντιστοιχεί τιμή $k = 0.5$ ενώ για την περίπτωση ενός άκρου πακτωμένου και ενός με απλή στρεπτική στήριξη, $k = 0.7$. Ο συντελεστής K αφορά τη στροφή του άκρου στο οριζόντιο επίπεδο, είναι δε ανάλογος του συντελεστή ισοδύναμου μήκους λυγισμού L_{cr}/L ενός θλιβόμενου στοιχείου, για λυγισμό περί τον ασθενή άξονα, σε συνδυασμό με την ελευθερία στρωφών λόγω κάμψης στα άκρα. Όταν οι δοκοί έχουν ανά διαστήματα πλευρικές στηρίξεις, κάθε άνοιγμα μπορεί να μελετηθεί μεμονωμένα, και για το σχεδιασμό να ληφθεί υπ' όψη το πλέον κρίσιμο άνοιγμα. Τα μήκη των ανοιγμάτων πρέπει να λαμβάνονται με συντελεστή $k = 1.0$ και όχι 0.7 διότι στην περίπτωση αυτή τα παρακείμενα τμήματα της δοκού λυγίζουν εναλλάξ. Οι συνεχείς δοκοί με πολλά ανοίγματα μπορούν να μελετηθούν εξετάζοντας κάθε άνοιγμα ξεχωριστά και λαμβάνοντας υπ' όψη τη μορφή του διαγράμματος ροπών κάθε ανοίγματος λόγω της συνέχειας, με τη χρήση του συντελεστή C_1 .


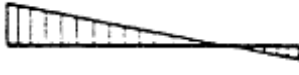

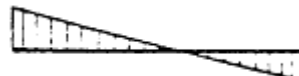
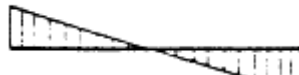
Οι τιμές των C_1, C_2, C_3 δίνονται στον Πίνακα 4.10. και Πίνακα 4.11.



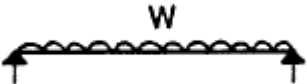

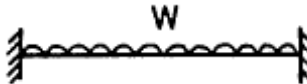

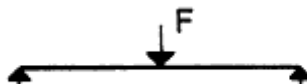

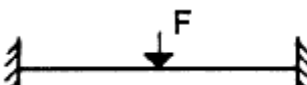

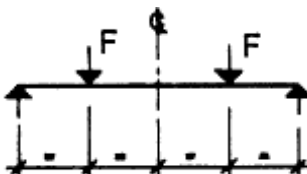

Σχήμα 4.10 Σύμβαση σήμανσης για τον προσδιορισμό των z_a και z_s

Πίνακας 4.10 Συντελεστές C_1, C_2, C_3 για τιμές του k σε περίπτωση φόρτισης μόνο με ακραίες ροπές

Φόρτιση και συνθήκες στήριξης	ψ	Διάγραμμα καμπτικών ροπών	Τιμή του k	Συντελεστές		
				C_1	C_2	C_3
	+1		1.0	1.000	-	1.000
			0.7	1.000	-	1.113
			0.5	1.000	-	1.114
	+3/4		1.141	-	0.998	
			1.270	-	1.565	
			1.305	-	2.283	
	+1/2		1.0	1.323	-	0.992
			0.7	1.473	-	1.556
			0.5	1.514	-	2.271
	+1/4		1.0	1.563	-	0.977
			0.7	1.739	-	1.531
			0.5	1.788	-	2.235

0		1.0	1.879	-	0.939
		0.7	2.092	-	1.473
		0.5	2.150	-	2.150
-1/4		1.0	2.281	-	0.855
		0.7	2.538	-	1.340
		0.5	2.609	-	1.957
-1/2		1.0	2.704	-	0.676
		0.7	3.009	-	1.059
		0.5	3.093	-	1.546
-3/4		1.0	2.927	-	0.366
		0.7	3.258	-	0.575
		0.5	3.348	-	0.837
-1		1.0	2.752	-	0.000
		0.7	3.063	-	0.000
		0.5	3.149	-	0.000

Πίνακας 4.11 Συντελεστές C_1 , C_2 , C_3 για διάφορες τιμές του k , σε περίπτωση εγκάρσιων φορτίων

Φόρτιση και συνθήκες στήριξης	Διάγραμμα καμπτικών ροπών	Τιμή του k	Συντελεστές		
			C_1	C_2	C_3
		1.0	1.132	0.459	0.525
		0.5	0.972	0.304	0.980
		1.0	1.285	1.562	0.753
		0.5	0.712	0.652	1.070
		1.0	1.365	0.553	1.730
		0.5	1.070	0.432	3.050
		1.0	1.565	1.267	2.640
		0.5	0.938	0.715	4.800
		1.0	1.046	0.430	1.120
		0.5	1.010	0.410	1.890

4.6.4.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (ΣΕ ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ)

Για δοκούς με σταθερή διατομή κατηγορίας 1,2,3 η αντοχή σχεδιασμού σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό θα πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * M_{Rd} \quad (4.40)$$

όπου :

χ_{LT} είναι ο συντελεστής μείωσης για στρεπτο-καμπτικό λυγισμό, εξαρτώμενος από την σχετική λυγηρότητα $\bar{\lambda}_{LT}$, και

M_{Rd} είναι η ροπή αντοχής σχεδιασμού της διατομής

Οι τιμές του χ_{LT} υπολογίζονται όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.6.4.1

Η σχετική λυγηρότητα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} \quad (4.41)$$

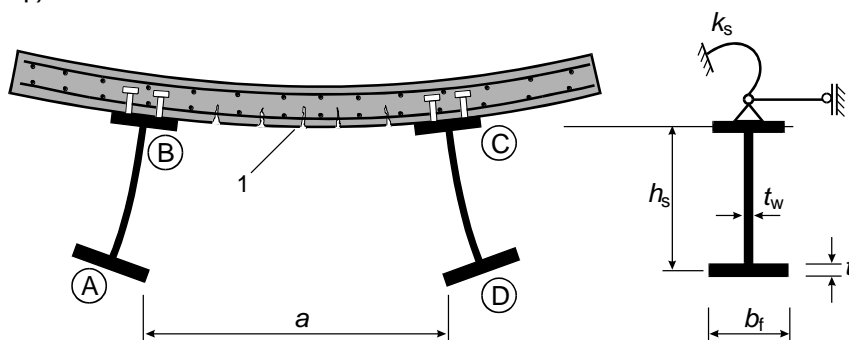
όπου:

M_{Rk} είναι η ροπή αντοχής της σύμμικτης διατομής με χρήση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων υλικού και της μεθόδου που καθορίζεται για τον υπολογισμό της M_{Rd}

M_{cr} είναι η ελαστική κρίσιμη ροπή σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, που υπολογίζεται στην σχετική διατομή.

ο υπολογισμός της ελαστικής κρίσιμης ροής, M_{cr} , μπορεί να βασιστεί σε προσομοίωμα "συνεχούς πλαισίου μορφή Π" ("ανεστραμμένου" U). Το προσομοίωμα αυτό λαμβάνει υπόψη την πλευρική μετακίνηση του κάτω πέλματος που προκαλεί κάμψη του χαλύβδινου κορμού, καθώς και την στροφή του άνω πέλματος όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11

- Το άνω πέγμα του χαλύβδινου μέλους συνδέεται με πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος με διατμητικούς συνδέσμους σύμφωνα με το 4.6.5
- Σε κάθε στήριξη του χαλύβδινου μέλους, το κάτω πέγμα διαθέτει πλευρική έδραση και ο κορμός διαθέτει τοπικά λάμες ενίσχυσης. Στις άλλες περιοχές ο κορμός δεν χρειάζεται λάμες ενίσχυσης.



Σχήμα 4.11 Προσομοίωμα πλαισίου U

Στο επίπεδο του άνω χαλύβδινου πέλματος, μπορεί να ληφθεί υπόψη στρεπτική δυσκαμψία k_s ανά μονάδα μήκους της χαλύβδινης ράβδου, ώστε το προσομοίωμα πλαισίου Π να αντικατασταθεί από μία μόνον δοκό:

$$k_s = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \quad (4.42)$$

όπου:

k_1 είναι η καμπτική δυσκαμψία της ρηγματωμένης πλάκας σκυροδέματος σε διεύθυνση εγκάρσια προς την χαλύβδινη ράβδο, η οποία μπορεί να ληφθεί ως:

$$k_1 = \alpha E_a I_2 / a \quad (4.43)$$

όπου $\alpha = 2$ για ακραία δοκό, με ή χωρίς πρόβολο, και $\alpha = 3$ για εσωτερική δοκό. Για εσωτερικές δοκούς σε φορέα γέφυρας με τέσσερις ή περισσότερες παρόμοιες δοκούς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί $\alpha = 4$.

a είναι η ισαπόσταση μεταξύ των παραλλήλων δοκών

$E_a I_2$ είναι η «ρηγματωμένη» καμπτική δυσκαμψία ανά μονάδα μήκους της σύμμικτης ή από σκυρόδεμα πλάκας, όπου ως I_2 πρέπει να λαμβάνεται η ελάχιστη μεταξύ της τιμής σε κεντρικό άνοιγμα για κάμψη υπό θετικές ροπές και των τιμών των χαλύβδινων στοιχείων για κάμψη υπό αρνητικές ροπές

k_2 είναι η καμπτική δυσκαμψία του χαλύβδινου κορμού, που θα λαμβάνεται ως:

$$k_2 = \frac{E_a t_w^3}{4(1 - \nu_a^2) h_s} \quad (4.44)$$

όπου ν_a είναι ο λόγος του Poisson για χάλυβα και τα h_s και t_w ορίζονται στο Σχήμα 4.11

Στο προσομοίωμα πλαισίου μορφής Π, το ευνοϊκό αποτέλεσμα της στρεπτικής δυσκαμψίας κατά St. Venant, $G_a I_{at}$, της χαλύβδινης διατομής μπορεί να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του M_{cr} .

Η σχέση υπολογισμού του M_{cr} λαμβάνοντας υπ' όψη το προσομοίωμα πλαισίου μορφής Π δίνεται από τη σχέση

$$M_{cr} = \frac{k_c \cdot C_4}{L} \sqrt{\left[G \cdot I_{at} + c_\theta \cdot \left(\frac{L}{\pi} \right)^2 \right]} \cdot E_a \cdot I_{afz} \quad (4.45)$$

Όπου

L η απόσταση πλευρικών στηριξεων του κάτω πέλματος

I_{afz} Η ροπή αδράνειας του κάτω πέλματος και δίνεται από τη σχέση (4.46)

$$I_{afz} = \frac{b_{fu}^3 \cdot t_{fu}}{12} \quad (4.46)$$

$$k_c = \frac{h_s \cdot I_y / I_{ay}}{\frac{(z_f - z_s)^2 + i_{ax}^2}{e} + 2 \cdot (z_f - z_j)} \quad (4.47)$$

Όπου

$$z_f = h_w \cdot I_{afz} / I_{az} \quad (4.48)$$

$$z_j = 0.4 \cdot h_w \cdot (2 \cdot I_{afz} / I_{az} - 1) \text{ αν } I_{afz} \geq 0.5 \cdot I_{az} \quad (4.49)$$

I_y ροπή αδράνειας της σύμμικτης δοκού

$$i_{ax} = \left(\frac{I_{ay} + I_{az}}{A_a} \right)^{1/2} \quad (4.50)$$

z_s απόσταση του κέντρου διατμήσεως από το κέντρο βάρους της δοκού

$$e = \frac{A_e \cdot I_{ay}}{A_a(z_a - z_e) \cdot (A_e - A_a)} \quad (4.51)$$

A_e ισοδύναμο εμβαδό σύμμικτης δοκού αγνοώντας το σκυρόδεμα υπό εφελκυσμό

$z_a - z_c$ απόσταση κέντρου βάρους σιδηροδοκού και πλάκας

C_4 συντελεστής μορφής διαγράμματος ροπών εντός του μήκους L από τους παρακάτω πίνακες

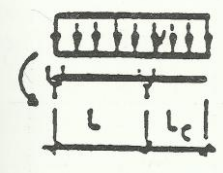

Πίνακας 4.12 Τιμές συντελεστή C_4 για εγκάρσια φορτία

Συνθήκες φόρτισης και στήριξης	Διάγραμμα ροπών κάμψης	C_4						
		$\psi=0.5$	$\psi=0.75$	$\psi=1$	$\psi=1.25$	$\psi=1.5$	$\psi=1.75$	$\psi=2$
		41.5	30.2	24.5	21.1	19	17.5	16.5
		33.9	22.7	17.3	14.1	13	12	11.4
		28.2	18	13.7	11.7	10.6	10	9.5
		21.9	13.9	11	9.6	8.8	8.3	8
		28.4	21.8	18.6	16.7	15.6	14.8	14.2
		12.7	9.8	8.6	8	7.7	7.4	7.2

Πίνακας 4.13 Τιμές συντελεστή C_4 για ακραίες ροπές

Συνθήκες φόρτισης και στήριξης	Διάγραμμα ροπών κάμψης	C_4				
		$\psi=0$	$\psi=0.25$	$\psi=0.5$	$\psi=0.75$	$\psi=1$
		11.1	9.5	8.2	7.1	6.2
		11.1	12.8	14.6	16.3	18.1

Πίνακας 4.14 Τιμές συντελεστή C_4 για προβόλους

Συνθήκες φόρτισης και στήριξης	Διάγραμμα ροπών κάμψης	L_d/L	C_4			
			$\psi=0$	$\psi=0.5$	$\psi=0.75$	$\psi=1$
		0.25	47.6	33.8	26.6	22.1
		0.5	12.5	11	10.2	9.3
		0.75	9.2	8.8	8.6	8.4
		1	7.9	7.8	7.7	7.6

4.6.5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Βασική προϋπόθεση της σύμμικτης λειτουργίας είναι η παραλαβή της διάτμησης που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια μεταξύ χαλύβδινης διατομής και σκυροδέματος. Η παραλαβή αυτή στις σύμμικτες κατασκευές γίνεται με μηχανικά μέσα, τα οποία ονομάζονται διατμητικοί σύνδεσμοι. Οι διατμητικοί σύνδεσμοι παραλαμβάνουν τη διατμητική ροή μεταξύ της χαλύβδινης διατομής και του σκυροδέματος, εμποδίζουν της ολίσθηση μεταξύ των δύο στοιχείων και εξασφαλίζουν την κοινή σύμμικτη λειτουργία.

Προβλέπεται διατμητική σύνδεση και εγκάρσιος οπλισμός για τη μεταβίβαση της διαμήκουσ διατμητικής δύναμης μεταξύ του σκυροδέματος και του δομικού χάλυβα αγνοώντας την επιρροή της φυσικής συνάφειας μεταξύ των δύο.

Οι διατμητικοί σύνδεσμοι πρέπει να έχουν επαρκή ικανότητα παραμόρφωσης ώστε να δικαιολογείται οποιαδήποτε ανελαστική ανακατανομή της διάτμησης που υποτίθεται κατά το σχεδιασμό.

Όλκιμοι διατμητικοί σύνδεσμοι είναι αυτοί που διαθέτουν επαρκή ικανότητα παραμόρφωσης ώστε να δικαιολογείται η παραδοχή της ιδεατής πλαστικής συμπεριφοράς της διατμητικής σύνδεσης στη θεωρούμενη κατασκευή.

Ένας διατμητικός σύνδεσμος θεωρείται όλκιμος αν η χαρακτηριστική ικανότητα ολίσθησης d_{uk} είναι τουλάχιστον 6mm.

Διατμητικοί σύνδεσμοι μορφής ήλου με κεφαλή μπορούν να θεωρούνται ότι παρέχουν επαρκή αντίσταση σε ανύψωση, εκτός αν η διατμητική σύνδεση υπόκειται σε καθαρό εφελκυσμό

Κατά τη διαστασιολόγηση, για να αποφευχθεί η ανάγκη συνεχούς αλλαγής του μεγέθους και των αποστάσεων των διαμήκων διατμητικών συνδέσμων, ο ευρωκώδικας επιτρέπει η διατμητική αντοχή σχεδιασμού ανά μονάδα μήκους σε ένα διάστημα να καθορίζεται από το μέσο όρο της ασκούμενης διατμητικής ροής στο διάστημα αυτό αρκεί η μέγιστη διατμητική ροή να μην ξεπερνά την αντοχή περισσότερο από 10% και η συνολική διατμητική δύναμη να μην ξεπερνά την αντίστοιχη που προκύπτει από το μέσο όρο.

4.6.5.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

ΔΟΚΟΙ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΕΛΑΣΤΙΚΗ Η ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Για οποιονδήποτε συνδυασμό φορτίων και διάταξη δράσεων σχεδιασμού, η διαμήκης διατμητική δύναμη ανά μονάδα μήκους στην διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος ενός σύμμικτου στοιχείου, $V_{l,Ed}$, πρέπει να καθορίζεται από την μεταβολή της διαμήκουσ δύναμης είτε στο τμήμα από σκυρόδεμα είτε στο χαλύβδινο τμήμα της σύμμικτης διατομής. Όπου χρησιμοποιείται ελαστική θεωρία για τον έλεγχο της αντοχής διατομών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η περιβάλλουσα της εγκάρσιας διατμητικής δύναμης στην αντίστοιχη διεύθυνση.

Εν γένει, για τον καθορισμό της διαμήκου διατμητικής δύναμης πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ελαστικές ιδιότητες της μη-ρηγματωμένης διατομής, ακόμα και όταν η ρηγμάτωση του σκυροδέματος περιλαμβάνεται στην γενική ανάλυση. Οι επιδράσεις της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος στην διαμήκη διατμητική δύναμη επιτρέπεται να ληφθούν υπόψη εφόσον έχουν ληφθεί υπόψη οι επιδράσεις της αύξησης της δυσκαμψίας λόγω συνεργασίας του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών και της πιθανής υπεραντοχής του σκυροδέματος στην γενική ανάλυση και στον καθορισμό της διαμήκου διατμητικής δύναμης.

Όπου εμφανίζονται συγκεντρωμένες διαμήκεις διατμητικές δυνάμεις πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τοπική επίδραση της διαμήκου ολίσθησης.

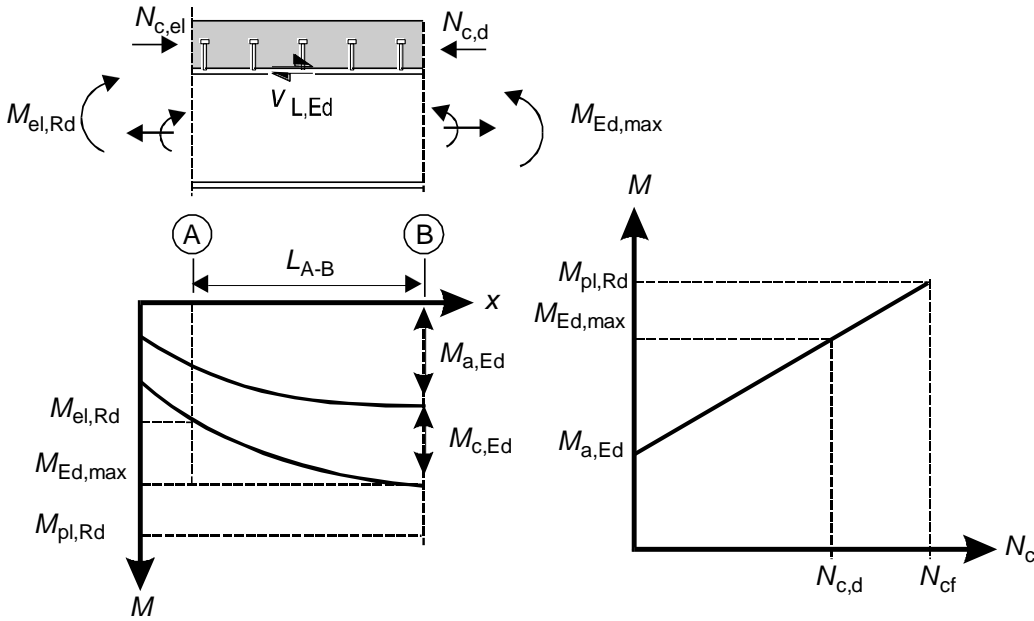
ΔΟΚΟΙ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ 1 Η 2

Σε στοιχεία με διατομές Κατηγορίας 1 ή 2, εάν η συνολική ροπή κάμψεως σχεδιασμού $M_{Ed,max} = M_{a,Ed} + M_{c,Ed}$, υπερβαίνει την ελαστική καμπτική αντοχή $M_{el,Rd}$, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μη-γραμμική σχέση μεταξύ εγκάρσιας και διαμήκου διάτμησης εντός των μη ελαστικών μηκών του στοιχείου.

Σε περιοχές όπου η πλάκα σκυροδέματος βρίσκεται υπό θλίψη πρέπει να προβλέπονται διατμητικοί σύνδεσμοι εντός του μη-ελαστικού μήκους ώστε να αναλαμβάνεται η διαμήκης διατμητική δύναμη $V_{l,Ed}$, που προκαλείται από την διαφορά μεταξύ των ορθών δυνάμεων N_{cd} και $N_{c,el}$ στην πλάκα σκυροδέματος στις διατομές Β και Α, αντίστοιχα. Η καμπτική αντοχή $M_{el,Rd}$ ορίζεται στην 4.6.2.2. Εάν η μέγιστη καμπτική ροπή $M_{Ed,max}$ στην διατομή Β είναι μικρότερη από την πλαστική καμπτική αντοχή $M_{pl,Rd}$, η ορθή δύναμη N_{cd} στην διατομή Β μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την 4.6.2.3 και το Σχήμα 4.9, ή εναλλακτικά με χρήση της απλουστευμένης γραμμικής σχέσης σύμφωνα με το Σχήμα 4.12.

Όταν λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα μη-ελαστικής συμπεριφοράς μιας διατομής με την πλάκα σκυροδέματος σε εφελκυσμό, οι διαμήκεις διατμητικές δυνάμεις και η κατανομή τους πρέπει να καθορίζονται από τις διαφορές των δυνάμεων στην πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος μέσα στο μη-ελαστικό μήκος της δοκού, λαμβάνοντας υπόψη επιδράσεις από την εφελκυστική συνεργασία του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών καθώς και την πιθανή υπεραντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό. Για τον καθορισμό της $M_{el,Rd}$ ισχύει η 4.6.2.2.

Εκτός εάν χρησιμοποιείται η μέθοδος που περιγράφεται παραπάνω, οι διαμήκεις διατμητικές δυνάμεις πρέπει να καθορίζονται από ελαστική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις της σειράς εργασιών κατασκευής στις ιδιότητες διατομών του μη-ρηγματωμένου τμήματος.



Σχήμα 4.12 Καθορισμός της διαμήκουσ διάτμησης σε δοκούς με μη-ελαστική συμπεριφορά διατομών

4.6.5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Η διατμητική αντοχή σχεδιασμού ενός ήλου κεφαλής που συγκολλείται αυτόματα σύμφωνα με το EN 14555 θα καθορίζεται από:

$$P_{Rd} = \min \begin{cases} P_{Rd} = \frac{0.8 f_u \pi d^2 / 4}{\gamma_V} \\ P_{Rd} = \frac{0.29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_V} \end{cases} \quad (4.52)$$

όπου

$$\alpha = 0.2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{για } 3 \leq h_{sc} / d \leq 4 \quad (4.53)$$

$$\alpha = 1 \quad \text{για } h_{sc} / d > 4 \quad (4.54)$$

γ_V μερικός συντελεστής ασφαλείας ίσος με 1.25

d η διάμετρος κορμού του ήλου, $16 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$;

f_u η προδιαγεγραμμένη οριακή εφελκυστική αντοχή του υλικού του ήλου όχι όμως μεγαλύτερη από 500 N/mm^2 ;

f_{ck} η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου του σκυροδέματος στη θεωρούμενη ηλικία, πυκνότητας όχι μικρότερης από 1750 kg/m^3 ;

h_{sc} το ολικό ονομαστικό ύψος του ήλου.

4.6.5.3. ΤΟΠΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΕ ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Πρέπει να διερευνάται και να λαμβάνεται υπόψη όπου απαιτείται η συγκεντρωμένη διαμήκης διατμητική δύναμη στο άκρο πλάκας από σκυροδέμα, πχ. λόγω πρωτογενών επιδράσεων συστολής ξήρανσης και θερμικών δράσεων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13 (α). Αυτό ισχύει επίσης και για τα ενδιάμεσα στάδια κατασκευής μιας πλάκας σκυροδέματος (Σχήμα 4.13 (β)).

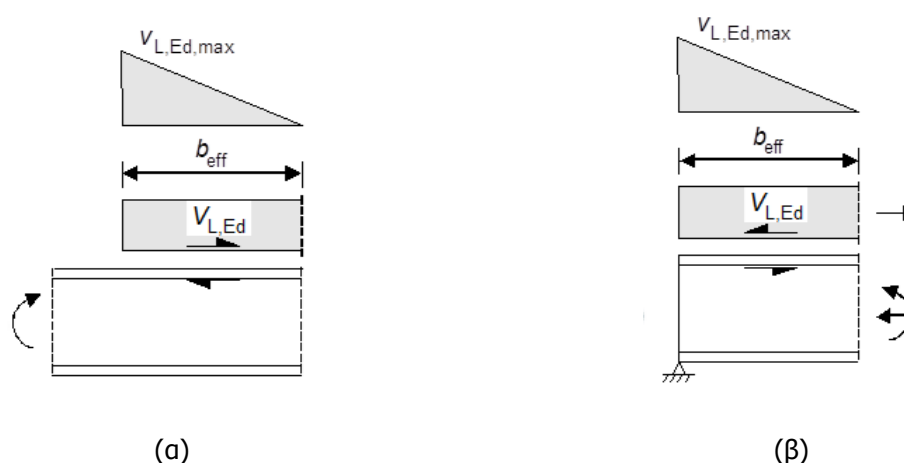
Όπου οι πρωτογενείς επιδράσεις θερμοκρασίας και συστολής ξήρανσης προκαλούν την μεταφορά διαμήκουσ διατμητικής δύναμης σχεδιασμού $V_{L,Ed}$ μέσω της διεπιφάνειας χάλυβα-σκυροδέματος σε

ελεύθερο άκρο του μέλους που εξετάζεται, η κατανομή της μπορεί να υποτεθεί ως τριγωνική, με μέγιστη διατμητική δύναμη ανά μονάδα μήκους (όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13 α και β) στο ελεύθερο άκρο της πλάκας,

$$V_{L,Ed,max} = 2 V_{L,Ed} / b_{eff} \quad (4.55)$$

όπου b_{eff} είναι το συνεργαζόμενο πλάτος για γενική ανάλυση, που δίνεται από την 4.4. Όπου χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι διατμητικών ήλων για την οριακή κατάσταση αστοχίας, η κατανομή μπορεί εναλλακτικά να θεωρηθεί ορθογωνική σε μήκος b_{eff} από το ελεύθερο άκρο της πλάκας.

Οι δυνάμεις που μεταφέρονται από διατμητικούς συνδέσμους μπορεί να υποτεθεί ότι διανέμονται μέσα στην πλάκα σκυροδέματος υπό γωνία διανομής 2β , όπου $\beta = \arctan 2/3$.



Σχήμα 4.13 Κατανομή διαμήκου διατμητικής δύναμης κατά μήκος της διεπιφάνειας

4.6.5.4. ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΠΛΑΚΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΡΩΣΑΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Εγκάρσιος οπλισμός στη πλάκα θα υπολογίζεται για την οριακή κατάσταση αντοχής έτσι ώστε να αποφεύγεται η πρόωρη αστοχία από διαμήκη διάτμηση ή η διαμήκης απόσχιση.

Η διαμήκης διατμητική τάση σχεδιασμού για κάθε δυνατή επιφάνεια διαμήκου διατμητικής αστοχίας μέσα στην πλάκα V_{Ed} δεν θα υπερβαίνει τη διαμήκη διατμητική αντοχή σχεδιασμού της θεωρούμενης διατμητικής επιφάνειας.

Το μήκος της διατμητικής επιφάνειας a-a που φαίνεται στο Σχήμα 4.14 θα λαμβάνεται ίσο με το ύψος της πλάκας σκυροδέματος.

Το μήκος της διατμητικής επιφάνειας b-b που φαίνεται στο Σχήμα 4.14 θα πρέπει να λαμβάνεται ίσο με $2h_{sc}$ πλέον τη διάμετρο κεφαλής για την περίπτωση μονής σειράς ή τεθλασμένης σειράς διατμητικών ήλων, ή ίσο με $(2h_{sc} + \xi)$ πλέον τη διάμετρο κεφαλής για την περίπτωση διάταξης κατά ζεύγη των ήλων, όπου h_{sc} είναι το ύψος των ήλων και ξ η εγκάρσια απόσταση κέντρο – με – κέντρο των ήλων.

Η διαμήκης διατμητική τάση σχεδιασμού V_{Ed} όσον αφορά την επιφάνεια αστοχίας a-a θα λαμβάνεται ίση με ένα ποσοστό της διαμήκου διάτμησης σχεδιασμού ανά μονάδα μήκους δοκού, το οποίο προκύπτει από τις σχέσεις (4.56) και (4.57), δια του μήκους h_f της θεωρούμενης επιφάνειας διάτμησης.

$$V_{Ed} = V_{L,Ed} \cdot \frac{A_{cp,eff}}{A_{c,tot,eff}} \quad \text{για θλιβόμενο πέλμα} \quad (4.56)$$

$$V_{Ed} = V_{L,Ed} \cdot \frac{A_{sp}}{A_{s,tot}} \quad \text{για εφελκούμενο πέλμα} \quad (4.57)$$

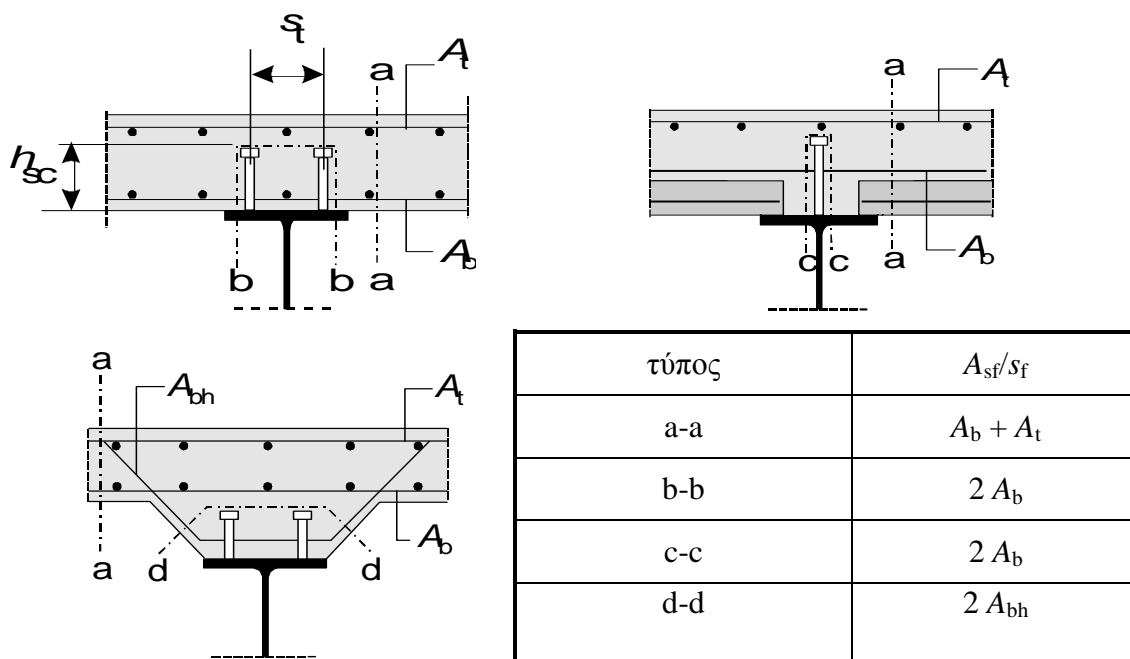
Όπου

$A_{cp,eff}$ όπως φαίνεται στο σχήμα Σχήμα 4.15

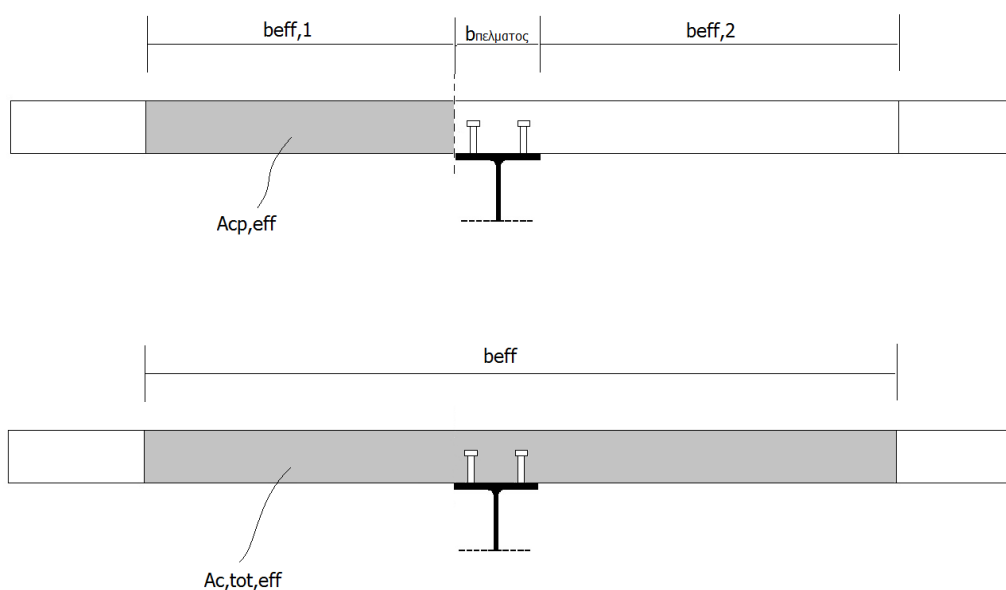
$A_{c,tot,eff}$ όπως φαίνεται στο σχήμα Σχήμα 4.15

A_{sp} εμβαδό οπλισμών στο $A_{cp,eff}$

$A_{s,tot}$ εμβαδό οπλισμών στο $A_{c,tot,eff}$



Σχήμα 4.14 Τυπικές δυνατές επιφάνειες διατμητικής αστοχίας



Σχήμα 4.15 Ενεργό και ολικό εμβαδό για τον υπολογισμό της διατμητικής ροής

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΔΙΑΜΗΚΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f μπορεί να υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} \quad (4.58)$$

Για να αποφευχθεί η συντριβή των θλιπτήρων του πέλματος, πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη:

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f \quad (4.59)$$

Η επιτρεπόμενη περιοχή τιμών για την $\cot \theta_f$ που θα χρησιμοποιείται σε μια χώρα δίνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Οι συνιστώμενες τιμές, όταν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός είναι:

$$\begin{aligned} 1.0 \leq \cot \theta_f \leq 2.0 & \quad \text{για θλιβόμενα πέλματα} \\ 1.0 \leq \cot \theta_f \leq 1.25 & \quad \text{για εφελκυόμενα πέλματα} \end{aligned}$$

Στην περίπτωση ταυτόχρονης λειτουργίας διάτμησης μεταξύ πελμάτων – κορμού πλακοδοκών και εγκάρσιας κάμψης, το εμβαδόν του οπλισμού πρέπει να είναι ίσο με τη μεγαλύτερη από τις τιμές που προκύπτουν από τη Σχέση (4.58) και το μισό εκείνης από τη Σχέση (4.59) συν αυτό που απαιτείται λόγω εγκάρσιας κάμψης.

Εάν $v_{Ed} \leq 0.4 f_{ctd}$ δεν απαιτείται οπλισμός πέραν εκείνου λόγω κάμψης

Ο ενεργός εγκάρσιος οπλισμός ανά μονάδα μήκους, A_{sf}/s_f , θα πρέπει να είναι όπως στο Σχήμα 4.14, στο οποίο A_b , A_t and A_{bh} είναι οι επιφάνειες οπλισμού ανά μονάδα μήκους δοκού αγκυρωμένου σύμφωνα με τη 2.8.2.

4.7. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΥΧΟΧΙΑΣ (ΚΟΠΩΣΗ)

Ο σχεδιασμός για την οριακή κατάσταση κόπωσης, θα εξασφαλίζει με ένα αποδεκτό επίπεδο πιθανότητας, ότι κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ζωής σχεδιασμού της η κατασκευή είναι απίθανο να αστοχήσει λόγω κόπωσης ή να απαιτήσει επισκευές ζημιών που προκλήθηκαν από κόπωση.

Στη σύμμικτη γέφυρα ο έλεγχος σε κόπωση διεξάγεται στο δομικό χάλυβα, στους χάλυβες οπλισμού, στο σκυρόδεμα, στους διατμητικούς συνδέσμους και στις διάφορες λεπτομέρειες σύνδεσης.

Για τους διατμητικούς συνδέσμους ήλων κεφαλής σε γέφυρες, υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων η μέγιστη διαμήκης διατμητική δύναμη ανά σύνδεσμο δεν πρέπει να υπερβαίνει το $k_s P_{Rd}$ όπου:

$$k_s = 0.75$$

$$P_{Rd} \text{ αντοχή ήλου όπως δίνεται στην 4.6.5.2}$$

Οι συνιστώμενες τιμές των συντελεστών γ_{FF} και $\gamma_{Mf,s}$ είναι 1.0 και του γ_{Mf} 1.35.

4.7.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος σε κόπωση του χάλυβα οπλισμού γίνεται σύμφωνα με την παράγραφο 2.6.1

4.7.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ο έλεγχος σε κόπωση του σκυροδέματος γίνεται σύμφωνα με την παράγραφο 2.6.2.

4.7.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Ο έλεγχος σε κόπωση του δομικού χάλυβα γίνεται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\gamma_{FF} \Delta \sigma_{E2} \leq \frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad (4.60)$$

και

$$\gamma_{FF} \Delta\tau_{E2} \leq \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} \tag{4.61}$$

4.7.3.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ Δσ_c ΚΑΙ Δτ_c:

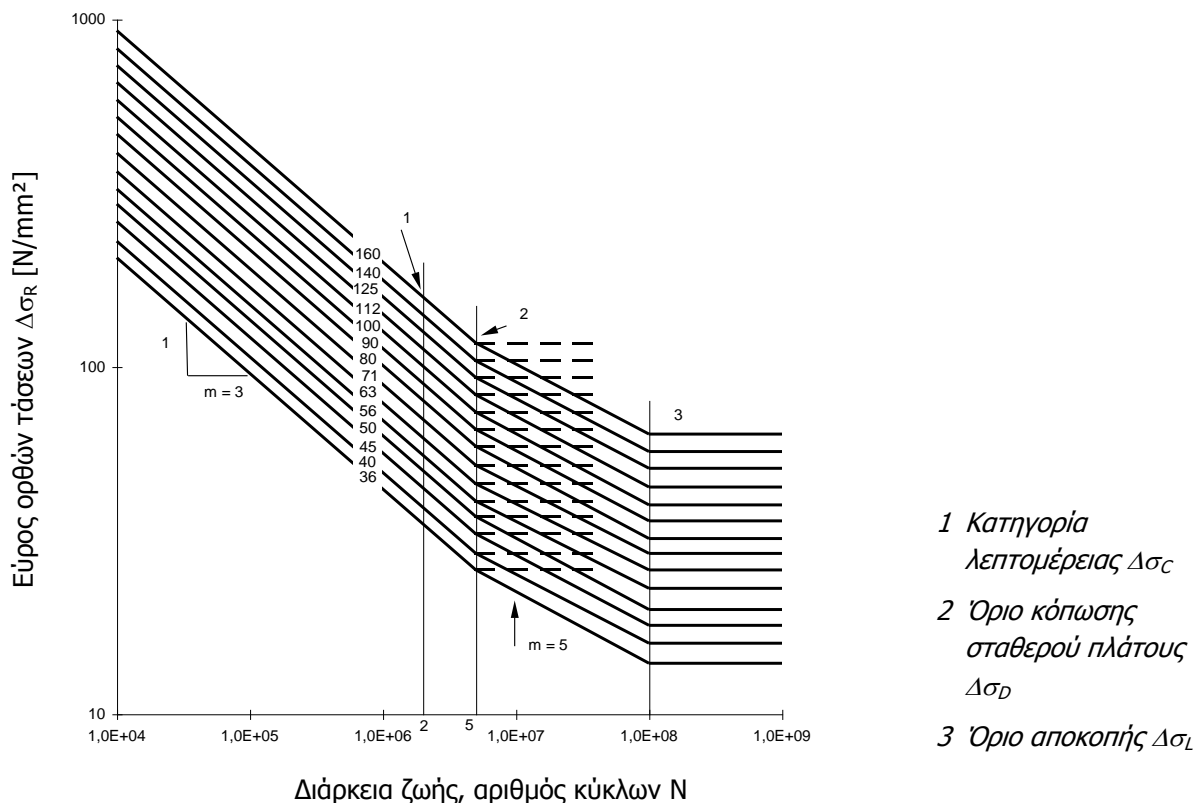
Η αντοχή σε κόπωση για ονομαστικές τάσεις εκφράζεται με σειρά καμπυλών (logΔσ_R)-(logN) και καμπυλών (logΔτ_R)-(logN), όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.16 και Σχήμα 4.17, που αντιστοιχούν σε τυπικές κατηγορίες λεπτομερειών. Κάθε κατηγορία λεπτομερειών χαρακτηρίζεται από ένα αριθμό σε N/mm² ο οποίος αντιπροσωπεύει τις τιμές αναφοράς Δσ_c και Δτ_c σε κόπωση για 2 εκατομμύρια κύκλους.

Οι πίνακες κατηγορίας λεπτομερειών δίνονται στον Ευρωκώδικα EN1993-1-9.

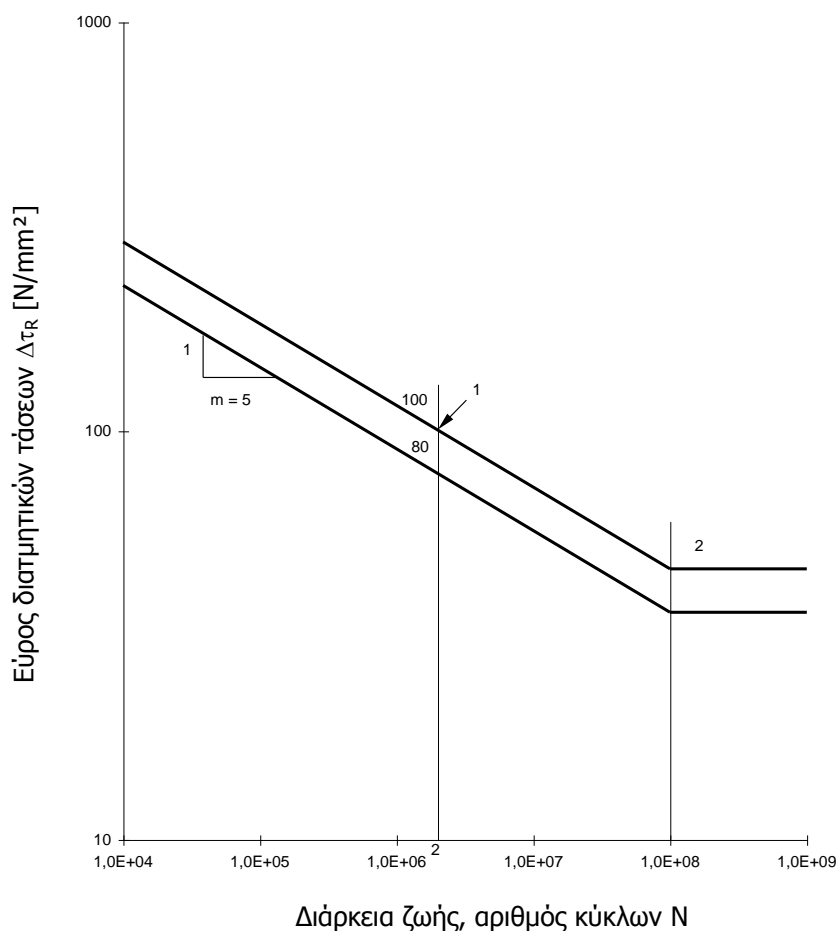
Για σταθερού πλάτους ονομαστικές τάσεις οι αντοχές σε κόπωση μπορούν να προσδιοριστούν ως ακολούθως:

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \times 10^6 \mu\epsilon \quad m = 3 \quad \text{για } N \leq 5 \times 10^6 \tag{4.62}$$

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_D^m 5 \times 10^6 \mu\epsilon \quad m = 5 \quad \text{για } 5 \times 10^6 \leq N_R \leq 10^8 \tag{4.63}$$



Σχήμα 4.16 Καμπύλες αντοχής σε κόπωση για εύρη ορθών τάσεων



1 Κατηγορία
λεπτομέρειας $\Delta\tau_C$
2 Όριο αποκοπής $\Delta\tau_L$

Σχήμα 4.17 Καμπύλες αντοχής σε κόπωση για εύρη διασμηθικϊών τϊσεων

4.7.3.2. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Όπου ο έλεγχος κόπωσης βασίζεται σε ισοδύναμες διακυμάνσεις τϊσεων βλάβης τότε γενικά η διακύμανση $\Delta\sigma_E$ προσδιορίζεται από τη σχέση (4.64)

$$\Delta\sigma_E = \lambda \varphi \left| \sigma_{\max,f} - \sigma_{\min,f} \right| \quad (4.64)$$

όπου:

$\sigma_{\max,f}$ και $\sigma_{\min,f}$ είναι οι μέγιστες και ελάχιστες τϊσεις κοπϊσεως

λ είναι ένας ισοδύναμος συντελεστής βλάβης

φ είναι ένας ισοδύναμος κρουστικός συντελεστής βλάβης ο οποίο σε οδικές γέφυρες μπορεί να ληφθεί ίσος με 1.0

Ο συντελεστής ισοδύναμης βλάβης λ για οδογέφυρες ανοίγματος έως 90 μέτρα θα λαμβάνεται από τη σχέση (4.65)

$$\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4 \quad \text{αλλά} \quad \lambda \leq \lambda_{\max} \quad (4.65)$$

όπου λ_1 είναι ο συντελεστής βλάβης λόγω κυκλοφορίας και εξαρτάται από το μήκος της κρίσιμης γραμμής επιρροής ή ζώνης,

λ_2 είναι ο συντελεστής όγκου κυκλοφορίας,

λ_3 είναι ο συντελεστής για τη διάρκεια ζωής της γέφυρας,

λ_4 είναι ο συντελεστής για κυκλοφορία σε άλλες λωρίδες,

λ_{\max} είναι η μέγιστη τιμή του λ , λαμβανομένου υπόψη του ορίου κόπωσης, βλέπε (8).

Για τον καθορισμό του λ_1 το κρίσιμο μήκος της γραμμής ή ζώνης επιρροής μπορεί να λαμβάνεται ως εξής:

a) για ροπές:

- σε ένα αμφιέριστο άνοιγμα, το μήκος ανοίγματος L_i ,
- σε συνεχή ανοίγματα σε ενδιάμεσες θέσεις, βλέπε Σχήμα 4.20, το μήκος L_i του θεωρούμενου ανοίγματος,
- σε συνεχή ανοίγματα σε θέσεις στηρίξεων, βλέπε Σχήμα 4.20, ο μέσος όρος των δύο ανοιγμάτων L_i και L_j γειτονικών στη στήριξη,
- σε διαδοκίδες που στηρίζουν συνδέσμους, το άθροισμα των δύο γειτονικών ανοιγμάτων των ενισχύσεων που φέρονται από τη διαδοκίδα.

b) για τέμνουσα σε αμφιέριστο άνοιγμα και σε συνεχή ανοίγματα:

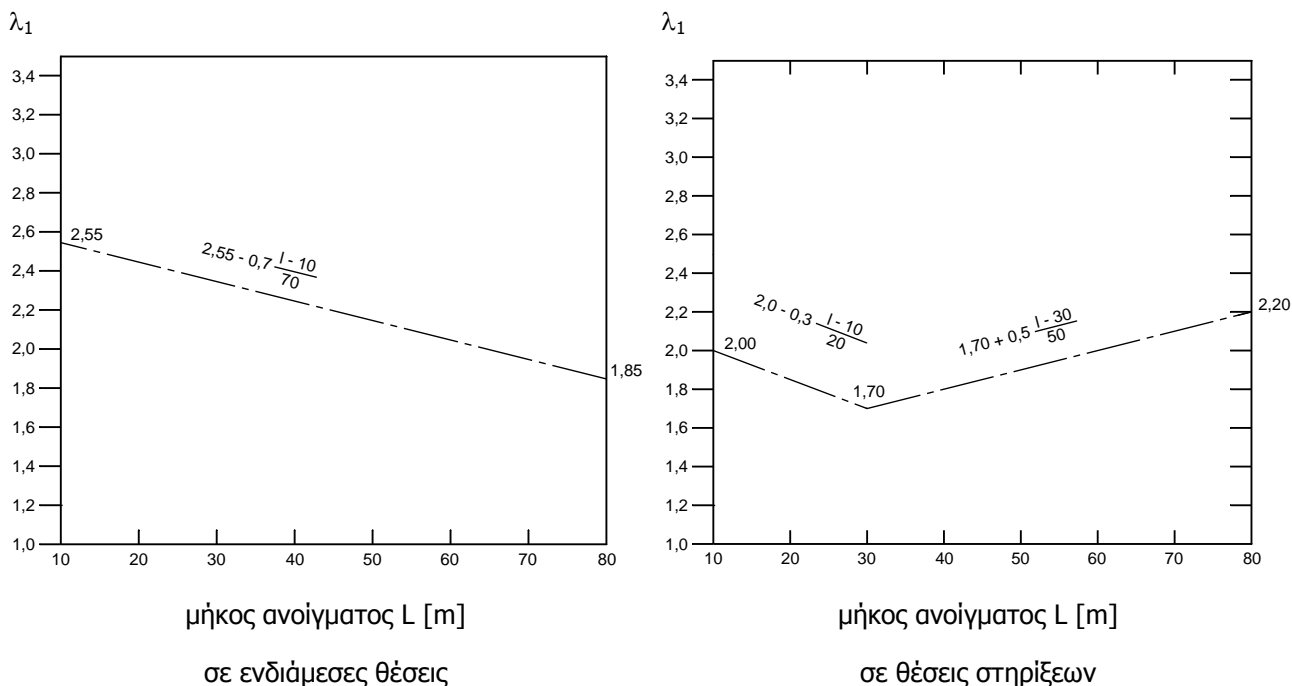
- σε θέσεις στηρίξεων, βλέπε Σχήμα 4.20, το θεωρούμενο άνοιγμα L_i ,
- σε ενδιάμεσες θέσεις, βλέπε Σχήμα 4.20, το $0,4 \times$ το θεωρούμενο άνοιγμα L_i .

c) για αντιδράσεις:

- σε θέσεις άκρων, το θεωρούμενο άνοιγμα L_i ,
- σε ενδιάμεσες στηρίξεις, το άθροισμα των δύο γειτονικών ανοιγμάτων $L_i + L_j$.

d) για τοξωτές γέφυρες:

- σε αναρτήσεις, το διπλάσιο του μήκους των αναρτήρων,
- σε τόξα, το μισό του ανοίγματος του τόξου.



Σχήμα 4.18 Συντελεστής λ_1 για ροπές σε οδογέφυρες

Ο συντελεστής λ_2 προσδιορίζεται ως εξής:

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left(\frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5} \quad (4.66)$$

όπου Q_{m1} είναι το μέσο συνολικό βάρος (kN) των φορτηγών στην αργή λωρίδα, που λαμβάνεται από:

$$Q_{m1} = \left(\frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5} \quad (4.67)$$

$Q_0 = 480$ kN

$N_0 = 0,5 \times 10^6$

N_{Obs} είναι ο συνολικός αριθμός των φορτηγών ανά έτος στην αργή λωρίδα

Q_i είναι το ολικό βάρος σε kN του φορτηγού i στην αργή λωρίδα, όπως καθορίζεται από την αρμόδια υπηρεσία,

n_i είναι ο αριθμός των φορτηγών με βάρος Q_i στην αργή λωρίδα, όπως καθορίζεται από την αρμόδια υπηρεσία.

Για δεδομένες τιμές των Q_{m1} και N_{Obs} , ο λ_2 μπορεί να λαμβάνεται από τον Πίνακα 4.15.

Πίνακας 4.15 Συντελεστής λ_2

Q_{m1}	N_{Obs}							
	$0,25 \times 10^6$	$0,50 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$	$1,25 \times 10^6$	$1,50 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,500	0,519	0,535	0,550
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,100
500	0,907	1,042	1,130	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,250	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Ο λ_3 υπολογίζεται ως εξής:

$$\lambda_3 = \left(\frac{t_{Ld}}{100} \right)^{1/5} \quad (4.68)$$

όπου t_{Ld} είναι η διάρκεια ζωής σχεδιασμού της γέφυρας σε έτη.

Πίνακας 4.16 Συντελεστής λ_3

Ζωή σχεδιασμού (έτη)	50	60	70	80	90	100	120
Συντελεστής λ_3	0,871	0,903	0,931	0,956	0,979	1,00	1,037

ΣΗΜ Συνιστάται να επιλέγεται $t_{Ld} = 100$ έτη.

Ο λ_4 υπολογίζεται ως εξής:

$$\lambda_4 = \left[1 + \frac{N_2}{N_1} \left(\frac{\eta_2 Q_{m2}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 + \frac{N_3}{N_1} \left(\frac{\eta_3 Q_{m3}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 + \dots + \frac{N_k}{N_1} \left(\frac{\eta_k Q_{mk}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 \right]^{1/5} \quad (4.69)$$

όπου k είναι ο αριθμός λωρίδων βαρείας κυκλοφορίας,

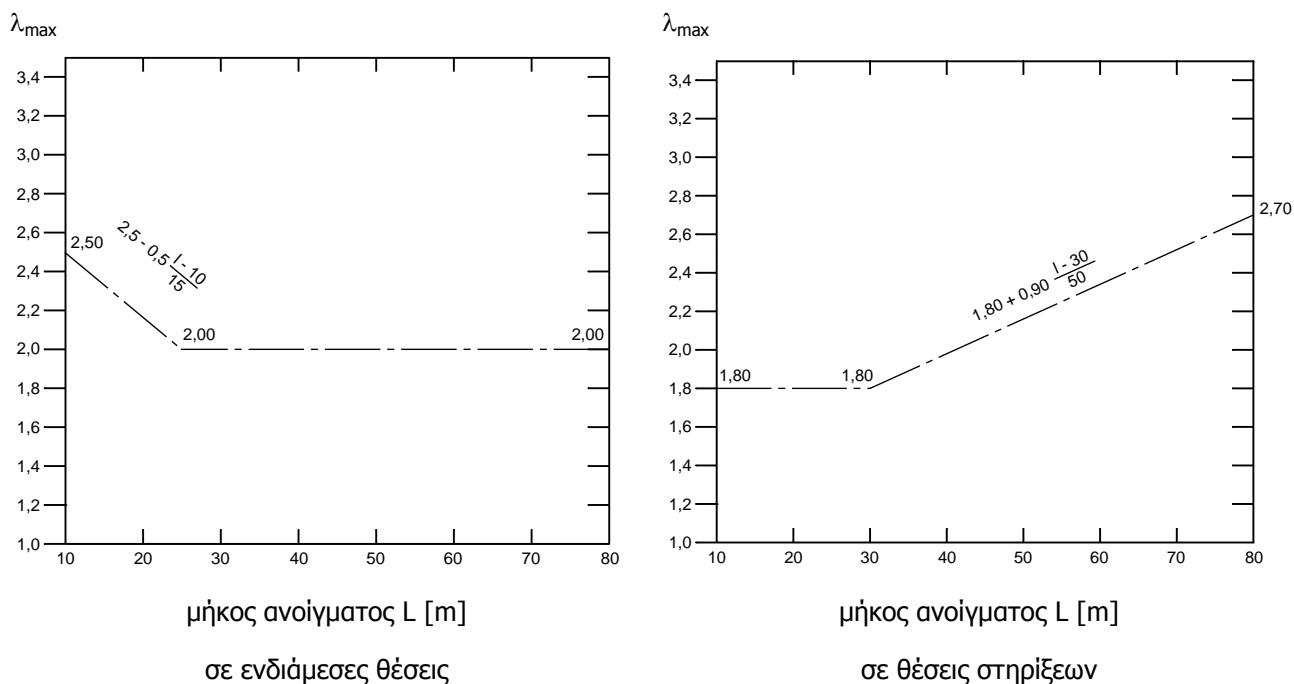
N_j είναι ο αριθμός φορτηγών ανά έτος στη λωρίδα j ,

Q_{mj} είναι το μέσο βάρος των φορτηγών στη λωρίδα j ,

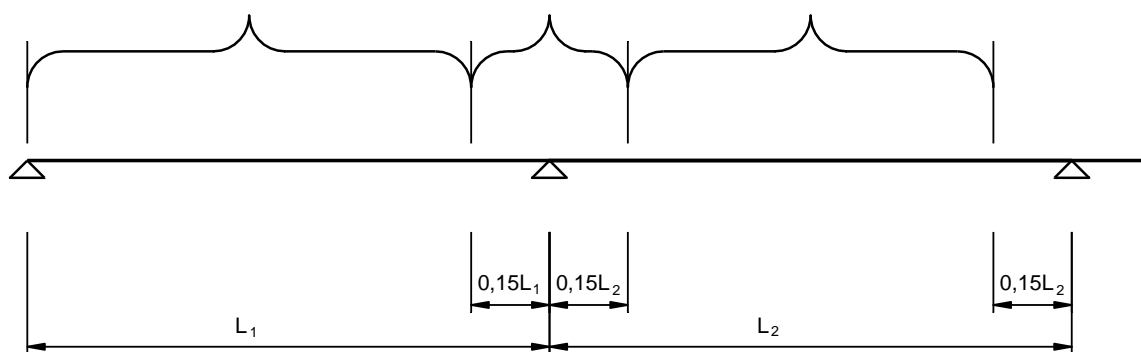
η_j είναι η τιμή της γραμμής επιρροής για την εσωτερική δράση που προκαλεί το εύρος τάσεων στο μέσον της λωρίδας j που θα εισαχθεί στη σχέση (9.12) με θετικό πρόσημο.

Ο συντελεστής λ_{max} θα λαμβάνεται από τα σχετικά φάσματα κόπωσης

ΣΗΜ Το Εθνικό Προσάρτημα μπορεί να δίνει τους σχετικούς συντελεστές λ_{max} . Συνιστάται η χρήση των συντελεστών λ_{max} που φαίνονται στο Σχήμα 4.19



Σχήμα 4.19 Συντελεστής λ_{max} για ροπές σε οδογέφυρες



Σχήμα 4.20 Ενδιάμεσες θέσεις και θέσεις στηρίξεων

4.7.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΗΛΩΝ ΚΕΦΑΛΗΣ

4.7.4.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

Για τους διατμητικούς ήλους η καμπύλη αντοχής σε κόπωση ενός ήλου που έχει συγκολληθεί με αυτόματη τεχνική και για σκυρόδεμα κανονικού βάρους δίνεται από τη σχέση (4.70) και φαίνεται στο Σχήμα 4.21

$$(\Delta\tau_R)^m N_R = (\Delta\tau_c)^m N_c \quad (4.70)$$

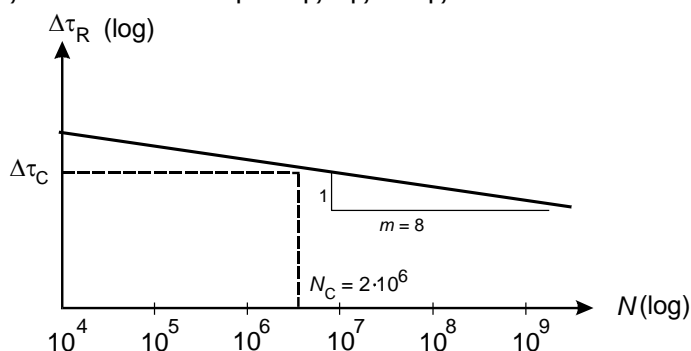
όπου:

$\Delta\tau_R$ είναι η αντοχή κόπωσης;

$\Delta\tau_c$ είναι η τιμή αναφοράς στους 2 εκατομμύρια κύκλους με την $\Delta\tau_c$ ίση με 90 N/mm^2 ;

m είναι η κλίση της καμπύλης κόπωσης με την τιμή $m = 8$;

N_R είναι ο αριθμός των κύκλων διακύμανσης της τάσης



Σχήμα 4.21 Καμπύλη αντοχής κόπωσης για ήλους κεφαλής σε συμπαγείς πλάκες

4.7.4.2. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Για τον έλεγχο της διατμητικών ήλων με βάση τις ονομαστικές διακυμάνσεις τάσεων η ισοδύναμη σταθερή διακύμανση τάσης $\Delta\tau_{E,2}$ για 2 εκατομμύρια κύκλους δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\tau_{E,2} = \lambda_v \Delta\tau \quad (4.71)$$

όπου:

λ_v είναι ο ισοδύναμος συντελεστής βλάβης εξαρτώμενος από τα φάσματα και την κλίση m της καμπύλης αντοχής κόπωσης

$\Delta\tau$ είναι η διακύμανση τάσης λόγω της φόρτισης κόπωσης

Σε γέφυρες, ο συντελεστής ισοδύναμης ζημίας για ήλους κεφαλής σε διάτμηση, λ_v , θα καθορίζεται από $\lambda_v = \lambda_{v,1} \lambda_{v,2} \lambda_{v,3} \lambda_{v,4}$

Για οδικές γέφυρες με άνοιγμα μέχρι 100 m πρέπει να χρησιμοποιείται ο συντελεστής $\lambda_{v,1}=1,55$. Οι συντελεστές $\lambda_{v,2}$ έως $\lambda_{v,4}$ καθορίζονται όπως οι $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ αλλά με χρήση εκθετών 8 και 1/8 αντί αυτών που ορίζονται για δομικό χάλυβα ώστε να ληφθεί υπ' όψη η αντίστοιχη κλίση $m = 8$ της καμπύλης αντοχής κόπωσης για ήλους κεφαλής.

4.8. ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο έλεγχος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας γίνεται για να δειχθεί ότι το έργο πληρεί τις απαιτήσεις χρήσης, η εμφάνιση του παραμένει ικανοποιητική και η ανθεκτικότητά του δεν υποβαθμίζεται με το χρόνο. Ορισμένες απαιτήσεις λειτουργικότητας μπορούν να τεθούν από τον κύριο του έργου σε σχέση με την προβλεπόμενη χρήση. Για το λόγο αυτό δεν υπάρχουν πάντα γενικά όρια λειτουργικότητας που πρέπει να ικανοποιούνται, αλλά αυτά μεταβάλλονται συχνά ανάλογα με τη φύση του έργου.

Ο ευρωκώδικας καλύπτει τέσσερις βασικές κατηγορίες ελέγχων σε ΟΚΛ οι οποίες είναι:

- Περιορισμός των τάσεων
- Κύρτωση κορμού
- Παραμορφώσεις και ταλαντώσεις
- Έλεγχος ρηγματώσεως σκυροδέματος

Η σύμμικτη γέφυρα (ή μεμονωμένα στοιχεία της) πρέπει να κατατάσσεται σε περιβαλλοντικές κατηγορίες σύμφωνα με τον πίνακα 2.12 και επίσης οι φάσεις κατασκευής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τους ελέγχους.

4.8.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Κατά των υπολογισμό των τάσεων για δοκούς στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες επιρροές:

- Διατμητική υστέρηση.
- Ερπυσμό και συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος.
- Ρηγματώση και αύξηση της δυσκαμψίας λόγω συνεργασίας του σκυροδέματος μεταξύ ρωγμών.
- Διαδοχικές φάσεις κατασκευής .
- Αυξημένη ευκαμψία οφειλόμενη σε σημαντική ατελή αλληλεπίδραση λόγω ολίσθησης της διατμητικής σύνδεσης.
- Ανελαστική συμπεριφορά του χάλυβα και του οπλισμού, εφόσον υπάρχει.
- Στρεπτική και παραμορφωτική στρέβλωση, εάν υπάρχει.
- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται στην ανάλυση της διατομής

4.8.1.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Για τις τάσεις στο σκυρόδεμα και στο χάλυβα οπλισμού ισχύουν οι 2.7.1.2 και 2.7.1.3.

4.8.1.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Οι ονομαστικές τάσεις $\sigma_{Ed,ser}$ και $\tau_{Ed,ser}$ στο δομικό χάλυβα που απορρέουν από χαρακτηριστικούς συνδυασμούς φορτίων λαμβάνοντας υπόψη επιδράσεις λόγω διατμητικής υστέρησης σε πέλματα και δευτερογενείς επιρροές λόγω μετατοπίσεων (πχ. δευτερογενείς ροπές σε δικτυώματα) πρέπει να περιορίζονται ως ακολούθως:

$$\sigma_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \quad (4.72)$$

$$\tau_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M,ser}} \quad (4.73)$$

$$\sqrt{\sigma_{Ed,ser}^2 + 3\tau_{Ed,ser}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \quad (4.74)$$

Όπου

$$\gamma_{Mser} = 1,00$$

Το εύρος ονομαστικής τάσης $\Delta\sigma_{f_{rer}}$ λόγω συχνού συνδυασμού φορτίων πρέπει να περιορίζεται στο $1,5f_y/\gamma_{M,ser}$

4.8.1.3. ΚΥΡΤΩΣΗ ΚΟΡΜΟΥ

Η λυγηρότητα της πλάκας κορμού πρέπει να περιορίζεται ώστε να αποφεύγεται εκτεταμένη ύβωση, που μπορεί να προκαλέσει αστοχία σε κόπωση στη θέση ή κοντά στη σύνδεση κορμού-πέλματος.

Η ύβωση κορμού μπορεί να αγνοηθεί σε φατνώματα κορμών χωρίς διαμήκεις ενισχύσεις ή σε υποφατνώματα κορμών με ενισχύσεις, για τα οποία ισχύουν τα ακόλουθα κριτήρια:

$$b/t \leq 30 + 4,0 L \leq 300 \quad \text{για οδογέφυρες} \quad (4.75)$$

όπου L είναι το μήκος ανοίγματος σε m, αλλά όχι μικρότερο των 20 m.

Εάν δεν ικανοποιείται η απαλακτική σχέση (4.75) η ύβωση κορμού θα ελέγχεται ως εξής:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_\sigma \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1,1 \tau_{x,Ed,ser}}{k_\tau \sigma_E}\right)^2} \leq 1,1 \quad (4.76)$$

όπου

$\sigma_{x,Ed,ser}$, $\tau_{x,Ed,ser}$ είναι οι τάσεις για το συχνό συνδυασμό φορτίων. Αν οι τάσεις δεν είναι ομοιόμορφες κατά μήκος του φατνώματος ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με την 4.6(3) του EN 1993-1-5

k_σ , k_τ είναι οι γραμμικοί συντελεστές ελαστικού λυγισμού για απλή στήριξη άκρων του φατνώματος, βλέπε EN 1993-1-5

$\sigma_E = 190000 \cdot (t/b)^2$ [N/mm²]

b_p είναι η ελάχιστη εκ των διαστάσεων a και b

4.8.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

4.8.2.1. ΒΕΛΗ

Τα βέλη θα υπολογίζονται με χρήση ελαστικής ανάλυσης και συχνού συνδυασμού δράσεων. Οι παραμορφώσεις κατά την κατασκευή θα ελέγχονται ούτως ώστε το σκυρόδεμα να μην υφίσταται ζημιές κατά την σκυροδέτηση και σκλήρυνση από μη ελέγξιμες μετακινήσεις και για να επιτυγχάνεται η επιδιωκόμενη τελική γεωμετρία.

Γενικά θα πρέπει να αποφεύγονται υπερβολικά βέλη όπου είναι δυνατόν να:

- Θέσουν σε κίνδυνο την κυκλοφορία λόγω εγκάρσιας κλίσης όταν η επιφάνεια είναι παγωμένη.
- Επηρεάσουν τη δυναμική συμπεριφορά προκαλώντας αίσθημα ανασφάλειας στους χρήστες
- Οδηγήσουν σε ρηγμάτωση της ασφαλτόστρωσης
- Επηρεάσουν δυσμενώς την αποστράγγιση νερού από το κατάστρωμα.

4.8.2.2. ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Για την οριακή κατάσταση ταλαντώσεως πρέπει να γίνει υπολογισμός κατά περίπτωση για φορτία ανέμου και κυκλοφορίας

4.8.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ

Ο περιορισμός του εύρους των ρωγμών εξαρτάται από την κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον πίνακα 2.9.

Οι επιδράσεις της θερμότητας ενυδάτωσης του τσιμέντου και της αντίστοιχης θερμικής συστολής ξήρανσης λαμβάνονται υπόψη μόνο κατά τη φάση κατασκευής ώστε η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας να ορίζει τις περιοχές όπου αναμένεται να εμφανιστεί εφελκυσμός.

Για τον περιορισμό των επιδράσεων της θερμότητας ενυδάτωσης του τσιμέντου, και για λόγους απλούστευσης, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του τμήματος σκυροδέματος και του τμήματος χάλυβα, θα λαμβάνεται ως σταθερή για τον καθορισμό των ρηγματωμένων περιοχών και για τον περιορισμό του εύρους ρηγμάτωσης και ίση με 20K.

Ως απλοποιητική και συντηρητική εναλλακτική λύση ο περιορισμός των ρωγμών σε αποδεκτό εύρος μπορεί να επιτευχθεί εξασφαλίζοντας έναν ελάχιστο οπλισμό A_s ο οποίος δίνεται από τη σχέση (4.77)

$$A_s = k_s k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s \quad (4.77)$$

όπου:

$f_{ct,eff}$ είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος τον χρόνο όπου αναμένεται για πρώτη φορά η εμφάνιση των ρωγμών. Οι τιμές της $f_{ct,eff}$ μπορούν να ληφθούν ως εκείνες της f_{ctm} , βλέπε EN 1992-1-1, Πίνακα 3.1, ή ως f_{ctm} , βλέπε Πίνακα 11.3.1, όποια ισχύει, λαμβάνοντας ως κατηγορία την αντοχή κατά τον χρόνο που αναμένεται να συμβεί η ρηγμάτωση. Όταν η ηλικία του σκυροδέματος κατά τη ρηγμάτωση δεν μπορεί να προσδιορισθεί με εμπιστοσύνη όντας μικρότερη των 28 ημερών, μπορεί να λαμβάνεται μία ελάχιστη εφελκυστική αντοχή ίση με 3 N/mm².

k είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή των μή-ομοιόμορφων αυτο-ισορροπούμενων τάσεων, ο οποίος μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 0,8.

k_s είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή της μείωσης της ορθής δύναμης στην πλάκα σκυροδέματος λόγω της αρχικής ρηγμάτωσης και της τοπικής ολίσθησης της διατμητικής σύνδεσης, ο οποίος μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 0,9.

k_c είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την κατανομή των τάσεων μέσα στη διατομή αμέσως πριν τη ρηγμάτωση και δίνεται από τη σχέση:

$$k_c = \frac{1}{1 + h_c / (2 z_0)} + 0,3 \leq 1,0 \quad (4.78)$$

h_c είναι το πάχος του πέλματος σκυροδέματος, εκτός αυλακώσεων ή τυχόν ενισχυτικών διογκώσεων.

z_0 είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ μεταξύ των κέντρων βάρους του μή-ρηγματομένου πέλματος σκυροδέματος και της μή-ρηγματομένης σύμμικτης διατομής, υπολογιζόμενη χρησιμοποιώντας τον συντελεστή ισοδυναμίας η_0 για βραχυπρόθεσμη φόρτιση.

σ_s είναι η μέγιστη τάση που επιτρέπεται στον οπλισμό αμέσως μετά τη ρηγμάτωση. Αυτή μπορεί να λαμβάνεται ως η χαρακτηριστική αντοχή διαρροής f_{sk} . Χαμηλότερη τιμή, εξαρτώμενη από το μέγεθος των ράβδων, μπορεί όμως να απαιτείται ώστε να ικανοποιεί τα απαιτούμενα όρια εύρους των ρωγμών. Η τιμή αυτή δίνεται στον Πίνακα 4.17.

A_{ct} είναι η επιφάνεια της εφελκυστικής ζώνης (προκαλούμενη από την άμεση φόρτιση και τις κύριες επιρροές της συστολής ξήρανσης) αμέσως πριν τη ρηγμάτωση της διατομής. Για απλούστευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επιφάνεια της διατομής του σκυροδέματος μέσα στο ενεργό πλάτος.

Πίνακας 4.17 Μέγιστες διαμέτροι ράβδων για ράβδους υψηλής συνάφειας

Τάσεις χάλυβα σ_s (N/mm ²)	Μέγιστη διάμετρος ράβδου ϕ^* (mm) για εύρος σχεδιασμού ρωγμής w_k		
	$w_k=0,4\text{mm}$	$w_k=0,3\text{mm}$	$w_k=0,2\text{mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Η μέγιστη διάμετρος ράβδων για τον ελάχιστο οπλισμό μπορεί να τροποποιηθεί στην τιμή ϕ που δίνεται από τη σχέση (4.79)

$$\phi = \phi^* f_{ct,eff} / f_{ct,0} \quad (4.79)$$

όπου:

ϕ^* είναι η μέγιστη διάμετρος ράβδου που δίνεται στον Πίνακα 4.17

$f_{ct,0}$ είναι μία αντοχή αναφοράς ίση με 2,9 N/mm².

Τουλάχιστον το ήμισυ του απαιτούμενου ελάχιστου οπλισμού θα πρέπει να τοποθετείται μεταξύ του μέσου πάχους της πλάκας και της επιφάνειας που υπόκειται στη μεγαλύτερη εφελκυστική μήκυνση.

Όπου προβλέπεται τουλάχιστον ο ελάχιστος οπλισμός, ο περιορισμός του εύρους των ρωγμών σε αποδεκτές τιμές μπορεί γενικώς να επιτευχθεί περιορίζοντας τις αποστάσεις των ράβδων ή τις διαμέτρους των ράβδων. Η μέγιστη διάμετρος ράβδων και η μέγιστη απόσταση ράβδων εξαρτώνται από την τάση σ_s στον οπλισμό και το εύρος σχεδιασμού της ρωγμής. Μέγιστοι διαμέτροι ράβδων δίνονται στον Πίνακα 4.17 και μέγιστες αποστάσεις ράβδων στον Πίνακα 4.18.

Πίνακας 4.18 Μέγιστες αποστάσεις ράβδων υψηλής συνάφειας

Τάση χάλυβα σ_s (N/mm ²)	Μέγιστη απόσταση ράβδων (mm) για εύρος σχεδιασμού ρωγμής w_k		
	$w_k=0,4\text{mm}$	$w_k=0,3\text{mm}$	$w_k=0,2\text{mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Οι εσωτερικές δυνάμεις θα προσδιορίζονται με ελαστική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της ρηγματώσης του σκυροδέματος. Οι τάσεις στον οπλισμό θα προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της αύξησης της δυσκαμψίας λόγω συνεργασίας του σκυροδέματος μεταξύ ρωγμών.

5 ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΡΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Εξετάζεται μια τυπική γέφυρα άνω διαβάσεως συνολικού μήκους 104.0m το οποίο περιλαμβάνει τρία (3) ανοίγματα 32m+40m+32m. Το οδόστρωμα έχει συνολικό πλάτος 9.5m, και προβλέπονται εκατέρωθεν πεζοδρόμια πλάτους 2m με σπηθαίο ασφαλείας και κιγκλίδωμα. Το συνολικό πλάτος της γέφυρας είναι 13.5m. Η επιφάνεια της οδού έχει αμφικλινή επίκλιση 4%. Ο φορέας της γέφυρας προβλέπεται συνεχής, σύμμικτος μορφής ανεστραμμένου U με δύο παράλληλες χαλύβδινες δοκούς μορφής I παράλληλα τοποθετημένες ως προς τον άξονα συμμετρίας της διατομής και με απόσταση 7.5 μέτρων. Οι διαδοκίδες είναι αμφιπροέχουσες από τις κύριες δοκούς και εκτείνονται καθ' όλο το πλάτος του φορέα ενώ κατά τη διαμήκη κατεύθυνση τοποθετούνται ανά 4 μέτρα. Ο φορέας στηρίζεται στα ακρόβαθρα και στα μεσόβαθρα μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

Το πάχος των ασφαλτικών θεωρείται ίσο με 10cm (5cm ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση και 5cm αντιολισθηρή στρώση). Η μόρφωση της εγκάρσιας κλίσης του οδοστρώματος επιτυγχάνεται μέσω του σκυροδέματος προστασίας μόνωσης, που έχει ελάχιστο πάχος 5cm. Το κράσπεδο έχει ύψος 15cm.

5.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Άνοιγμα 1	= 32 m
Άνοιγμα 2	= 40 m
Άνοιγμα 3	= 32 m
Οδόστρωμα	= 9.50 m πλάτος, δύο λωρίδες κυκλοφορίες και δύο βοηθητικές
Πεζοδρόμια	= 0.75 m
Θέση	= Αττική σε απόσταση από την ακτή > 10km
Στάθμη	= 10 m από τη στάθμη του εδάφους
Θερμοκρασίες	= Η θερμοκρασία μελέτης λήφθηκε από τις "Εκπαιδευτικές Σημειώσεις για χρήση των ευρωκωδίκων EN1991-1-5: Γενικές Δράσεις – Θερμικές δράσεις, Νίκος Μαλακάτας – Κώστας Τρέζος".

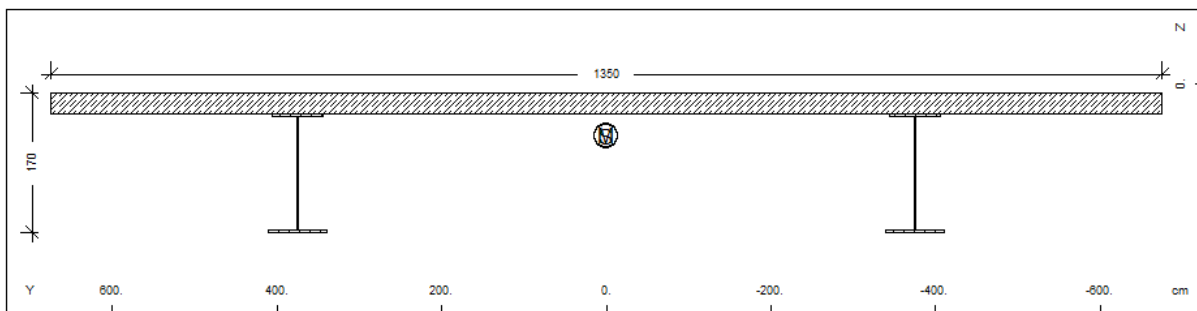
5.3. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη της γέφυρας γίνεται σύμφωνα με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω κανονισμοί και τα αντίστοιχα εθνικά προσαρτήματα:

EN 1990:2002	Βάσεις σχεδιασμού
EN 1990:2002/A1	Παράρτημα A2
EN 1991-1-1:2002	Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια
EN 1991-1-4:2005	Δράσεις ανέμου
EN 1991-1-5:2003	Θερμικές δράσεις
EN 1991-2:2003	Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες
EN 1992-1-1:2004	Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια
EN 1992-2:2005	Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα - Γέφυρες από σκυρόδεμα - Σχεδιασμός και κανόνες διαμόρφωσης
EN 1993-1-1:2005	Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
EN 1993-1-5:2006	Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Μέλη από επίπεδα ελάσματα
EN 1993-1-9:2005	Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Κόπωση
EN 1993-1-10:2005	Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Αντοχή σε ψαθυρή θραύση και ιδιότητες κατά την έννοια του πάχους
EN 1993-2:2006	Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Χαλύβδινες γέφυρες
EN 1994-1-1:2004	Σχεδιασμός συμμίκτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα – Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
prEN 1994-2:2005	Σχεδιασμός συμμίκτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα – Γενικοί κανόνες και κανόνες για γέφυρες

5.4. ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Κατά την προμελέτη ορίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν τρεις χαλύβδινες διατομές. Για την προκαταρκτική επιλογή των μεγεθών της διατομής χρησιμοποιήθηκαν οι οδηγίες που και οι σχέσεις που δίνονται στα κεφάλαια 2.2.4 και 3.2.1 του «Steel-Concrete Composite Bridges – Sustainable Design Guide» του Setra. Οι χαλύβδινες διατομές απέχουν 7.5m και είναι τοποθετημένες συμμετρικά ως προς τον άξονα συμμετρίας της γέφυρας όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.



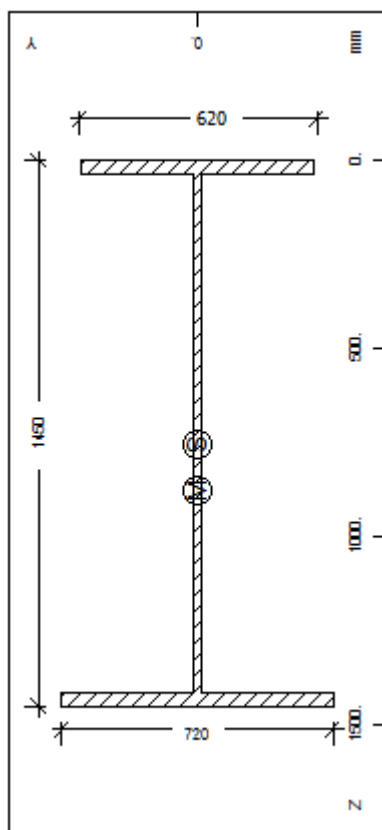
Σχήμα 5.1 Τυπική διατομή μορφής ανεστραμμένου U

ΔΙΑΤΟΜΗ 1

Η διατομή 1 χρησιμοποιήθηκε στις θέσεις των ανοιγμάτων (Αναλυτικά: $Y = 0$ έως $Y = 23\text{m}$, $Y = 41.5\text{m}$ έως $Y = 62.5\text{m}$, $Y = 81\text{m}$ έως $Y = 104\text{m}$). Το σχέδιο της χαλύβδινης διατομής φαίνεται στο Σχήμα 5.2 και τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 1

A [cm^2]	I_t [cm^4]	I_y/I_z [cm^4]	y_s/z_s [cm]	$y-s_c/z-s_c$ [cm]	Gam [kN/m]
772.6	2404.9	2821963.5 178498.7	0.000 75.71	0.000 88.09	6.06



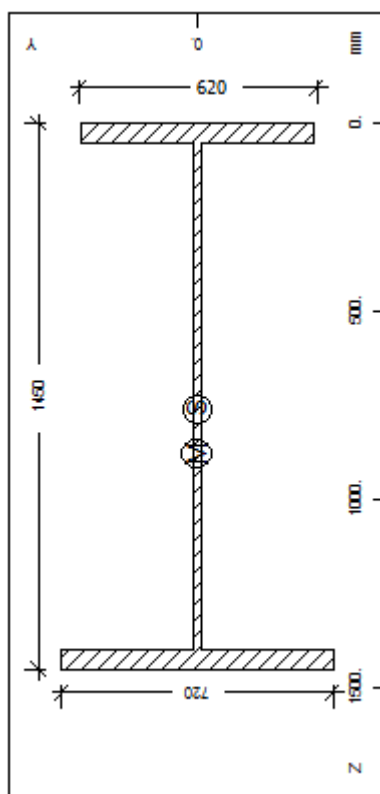
Σχήμα 5.2 Χαλύβδινη διατομή που χρησιμοποιείται στη Διατομή 1

ΔΙΑΤΟΜΗ 2

Η διατομή 2 χρησιμοποιήθηκε ως μεταβατική ανάμεσα στη διατομή 3 των στηρίξεων και τη διατομή 1 των ανοιγμάτων (Αναλυτικά: $Y = 23$ έως $Y = 28\text{m}$, $Y = 36\text{m}$ έως $Y = 41.5\text{m}$, $Y = 62.5\text{m}$ έως $Y = 68\text{m}$, $Y = 76\text{m}$ έως $Y = 81\text{m}$). Το σχέδιο της χαλύβδινης διατομής φαίνεται στο Σχήμα 5.3 και τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 2

A [cm^2]	I_t [cm^4]	I_y/I_z [cm^4]	y_s/z_s [cm]	$y-s_c/z-s_c$ [cm]	Gam [kN/m]
994	6205.4	3764145.8 254978.7	0.000 76.02	0.000 87.92	7.8



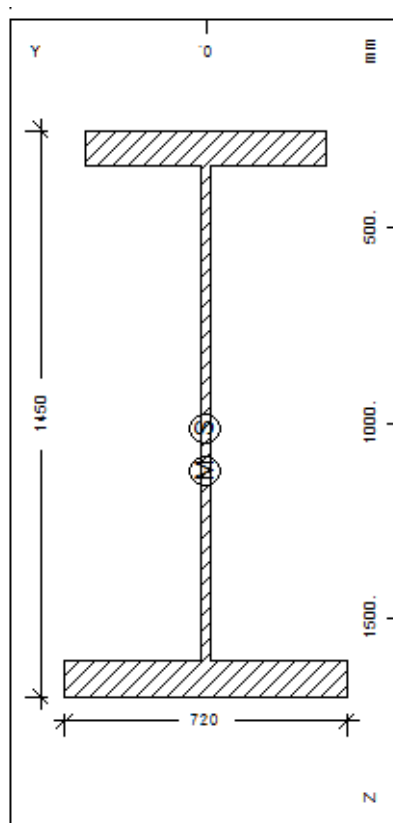
Σχήμα 5.3 Χαλύβδινη διατομή που χρησιμοποιείται στη διατομή 2

ΔΙΑΤΟΜΗ 3

Η διατομή 3 χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή των στηρίξεων (Αναλυτικά: $Y = 28$ έως $Y = 36\text{m}$, $Y = 68\text{m}$ έως $Y = 76\text{m}$). Το σχέδιο της χαλύβδινης διατομής φαίνεται στο Σχήμα 5.3 και τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 3

A [cm^2]	I_t [cm^4]	I_y/I_z [cm^4]	y_s/z_s [cm]	$y-s_c/z-s_c$ [cm]	Gam [kN/m]
1536	33306	6004121 458868	0.000 76.48	0.000 87.58	12.06



Σχήμα 5.4 Χαλύβδινη διατομή που χρησιμοποιείται στη διατομή 3

ΔΙΑΤΟΜΗ 4

Η διατομή 4 είναι IPE 450 και χρησιμοποιήθηκε στις διαδοκίδες εκτός από αυτές των στηρίξεων. Τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον Πίνακα 5.4. Η διατομή στα άκρα των προβόλων μεταβάλλεται γραμμικά μέχρι IPE 270.

Πίνακας 5.4 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 4

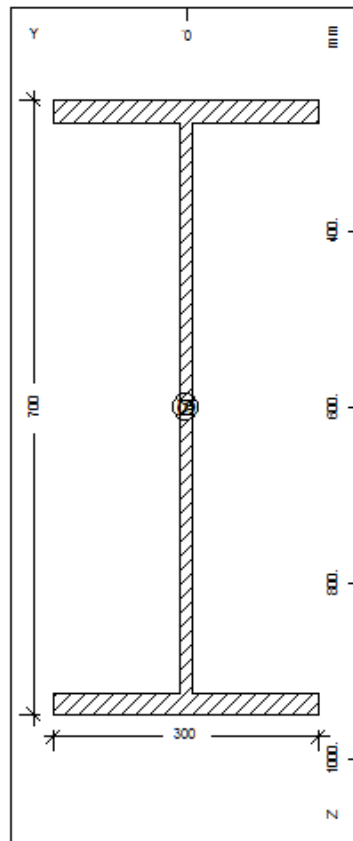
A [cm ²]	I _t [cm ⁴]	I _y /I _z [cm ⁴]	γ _s /z _s [cm]	γ-s _d /z-s _c [cm]	Gam [kN/m]
98.82	66.87	33740 1676	0.000 22.5	0.000 22.5	0.776

ΔΙΑΤΟΜΗ 5

Η διατομή 5 και χρησιμοποιήθηκε στις διαδοκίδες των στηρίξεων. Το σχέδιο της διατομής φαίνεται στο Σχήμα 5.5 και τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 5

A [cm ²]	I _t [cm ⁴]	I _y /I _z [cm ⁴]	γ _s /z _s [cm]	γ-s _d /z-s _c [cm]	Gam [kN/m]
247.5	385.6	205265.5 11268.3	0.000 35	0.000 35	1.94



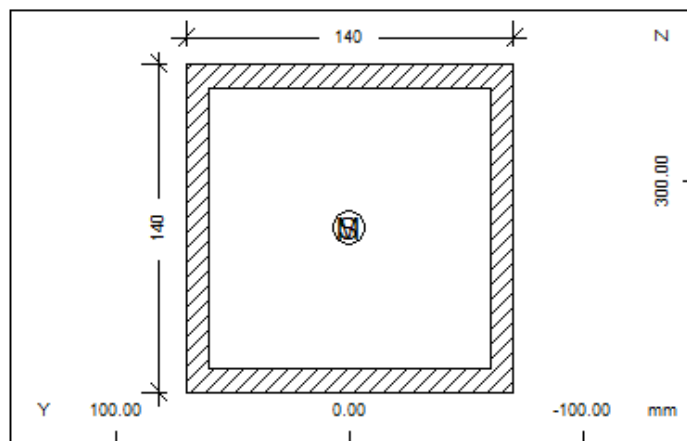
Σχήμα 5.5 Διατομή 5

ΔΙΑΤΟΜΗ 6

Η διατομή 6 και χρησιμοποιήθηκε στους συνδέσμους δυσκαμψίας. Το σχέδιο της διατομής φαίνεται στο και τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6 Βασικά χαρακτηριστικά διατομής 4

A [cm^2]	I_t [cm^4]	I_y/I_z [cm^4]	γ_s/z_s [cm]	$\gamma-s_c/z-s_c$ [cm]	Gam [kN/m]
16	222	123.8	0.000	0.000	0.13
		218.8	35	35	



Σχήμα 5.6 Διατομή 6 - διατομή συνδέσμου δυσκαμψίας

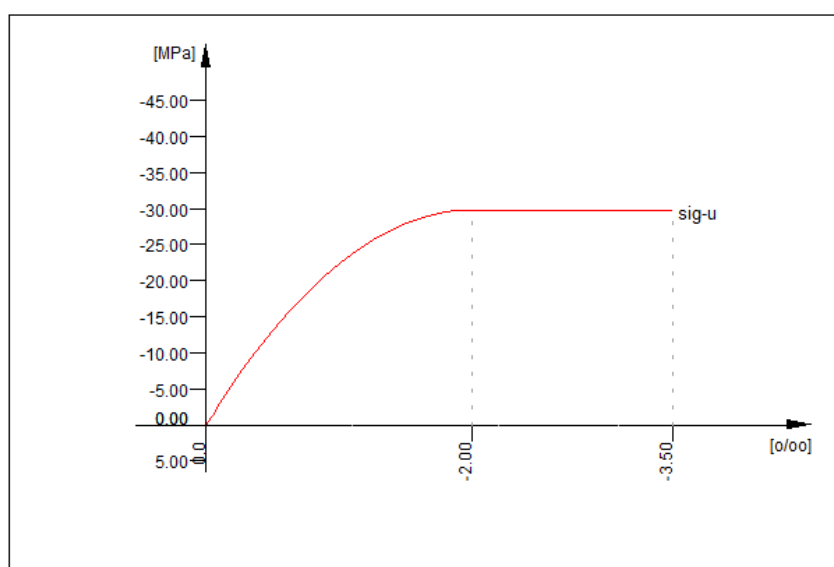
5.5. ΥΛΙΚΑ

5.5.1. Σκυρόδεμα

Κατηγορία C35/45 με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 5.7 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων που φαίνεται στο Σχήμα 5.7

Πίνακας 5.7 Ιδιότητες σκυροδέματος C35/45

fck [MPa]	fctm [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	ϵ_{c2} (‰)	ϵ_{cu2} (‰)	$f_{cd,fat}$ [MPa]	α [1/°K]	Λόγος Poisson
35	3.2	33282	13868	25	2	3.5		1.00E-05	0.2



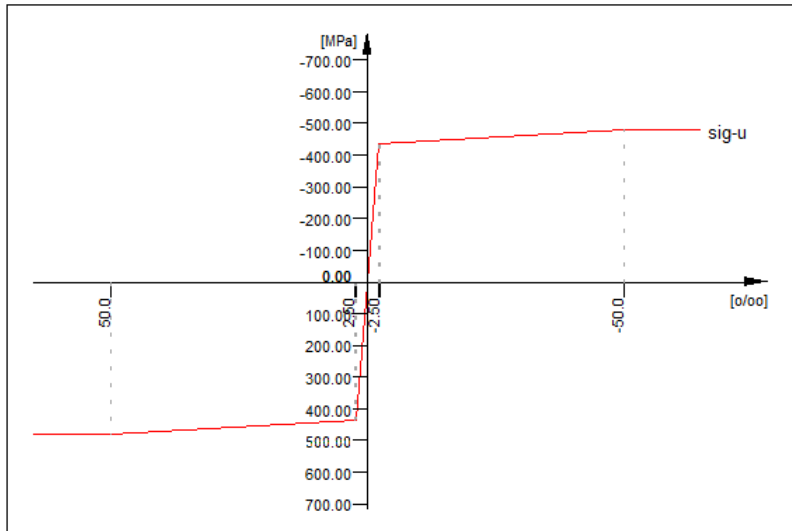
Σχήμα 5.7 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκε για σκυρόδεμα κατηγορίας C40/50

Χάλυβας Οπλισμού

Κατηγορίας B500c με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 5.8 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων που φαίνεται στο Σχήμα 5.8

Πίνακας 5.8 Ιδιότητες χάλυβα B500C

f_{yk} [MPa]	f_t [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	ϵ_{uk} (‰)	k_1	α [1/°K]	Λόγος Poisson
500	550	200000	76923	78.5	50	0.8	1.20E-05	0.3



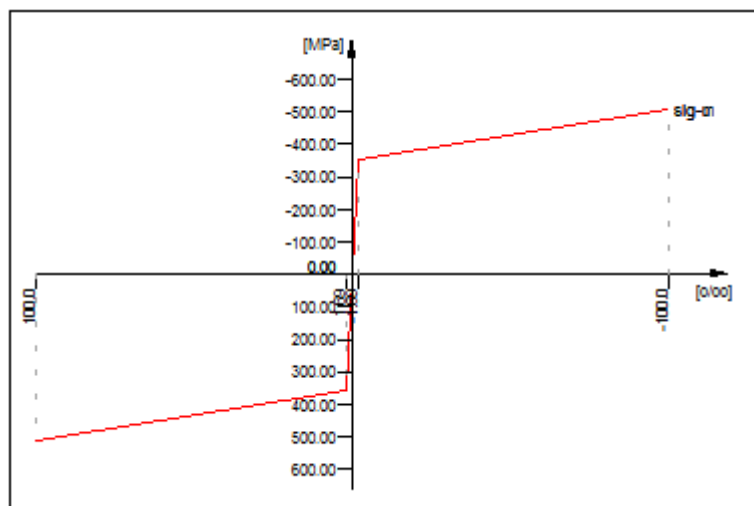
Σχήμα 5.8 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκε για χάλυβα B500c

Δομικός χάλυβας

Κατηγορίας S355NL/ML με τις ιδιότητες που φαίνονται στον Πίνακα 5.9 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων που φαίνεται στο Σχήμα 5.9.

Πίνακας 5.9 Ιδιότητες δομικού χάλυβα S355

f_{yk} [MPa]	f_t [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	ϵ_{uk} (‰)	k_1	α [1/°K]	Λόγος Poisson
355	510	210000	80769	78.5	100	-	1.20E-0.5	0.3



Σχήμα 5.9 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκε για δομικό χάλυβα S355

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας - ΟΚΑ

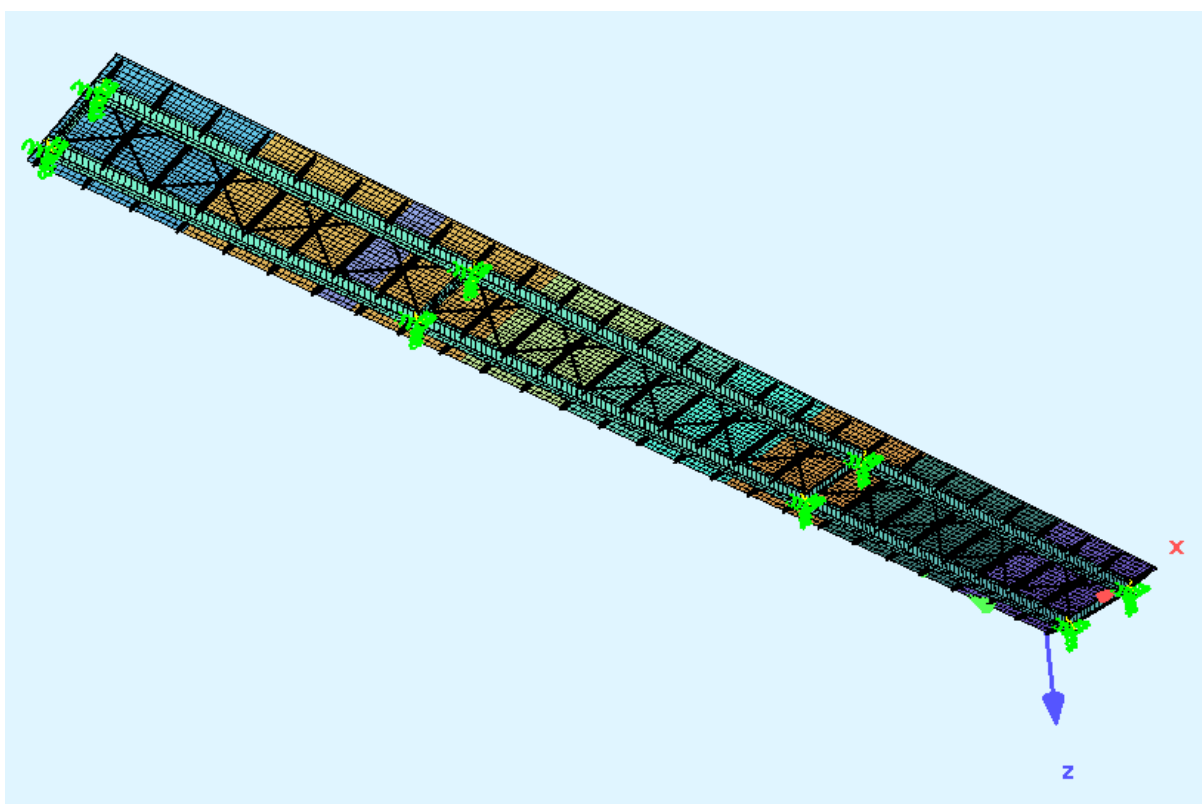
Σκυρόδεμα	$\gamma_c = 1.5$
Χάλυβας οπλισμού	$\gamma_s = 1.15$
Δομικός χάλυβας	$\gamma_{M0} = 1.00$
	$\gamma_{M1} = 1.10$
	$\gamma_{M2} = 1.25$

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας - ΟΚΛ

Σκυρόδεμα	$\gamma_c = 1$
Χάλυβας οπλισμού	$\gamma_s = 1$
Δομικός χάλυβας	$\gamma_M = 1$

5.6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Το κατάστρωμα του φορέα προσομοιάζεται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία ενώ οι δοκοί, διαδοκίδες και οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας με στοιχεία δοκού. Η σύνδεση της ανωδομής με τα βάθρα γίνεται παντού μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων τα οποία έχουν προσομοιωθεί με ελατήρια κατά τις 3 κύριες διευθύνσεις. Η διαφορά στάθμης μεταξύ των αξόνων των κυρίων δοκών και των εφεδράνων εισάγεται με τη βοήθεια άκαμπτων στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η αποτύπωση των διαμήκων μετατοπίσεων στα εφέδρανα που προκαλούνται λόγω στροφής θ .



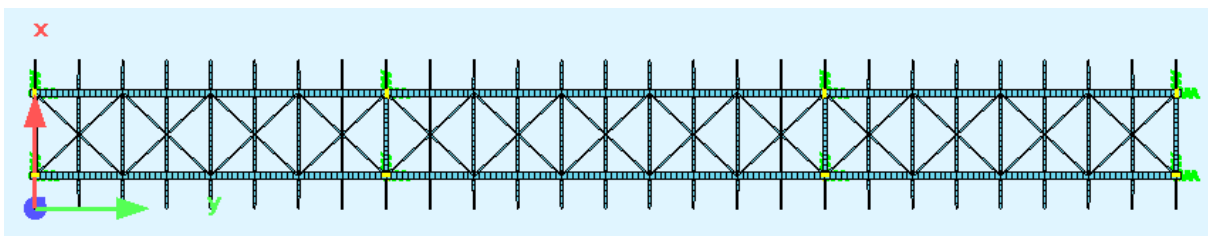
Σχήμα 5.10 Προοπτική απεικόνιση

Η κατασκευή του καταστρώματος έγινε σε εννιά φάσεις οι οποίες προσομοιάστηκαν (όπως φαίνονται στα παρακάτω σχήματα) και οι οποίες λήφθηκαν υπ' όψη στο σχεδιασμό. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται το μήκος της φάσης κατασκευής καθώς και το πότε γίνεται η σκυροδέτησή της.

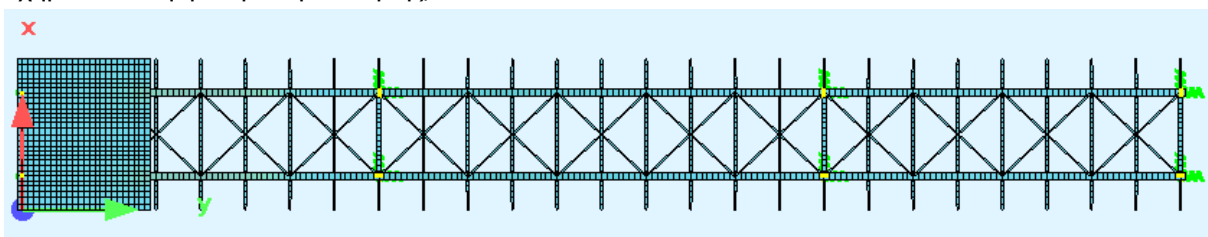
Πίνακας 5.10 Φάσεις κατασκευής

Φάση κατασκευής	Υ αρχής [m]	Υ τέλους [m]	Ημέρα σκυροδέτησης
1 ^η	0	12	0
2 ^η	12	24	3
3 ^η	36	48	8
4 ^η	48	56	11
5 ^η	56	68	16
6 ^η	92	104	21
7 ^η	80	92	24
8 ^η	68	80	29
9 ^η	24	36	32

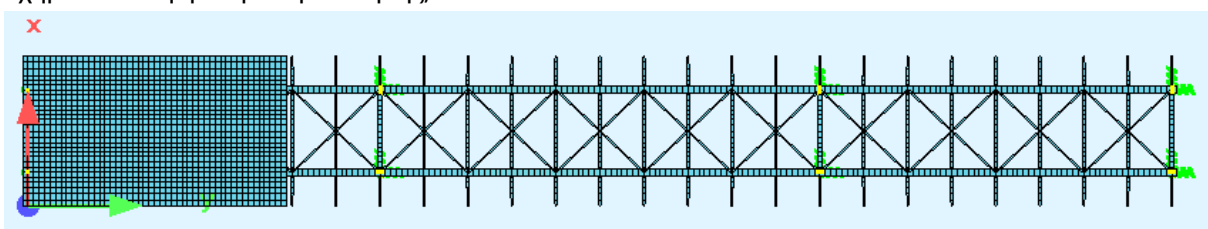
Στα σχήματα φαίνονται τα quads που είναι ενεργά στην ανάλυση σε κάθε φάση σκυροδέτησης (δηλαδή το σκυρόδεμα που είναι σκληρυνμένο και αναλαμβάνει τάσεις).



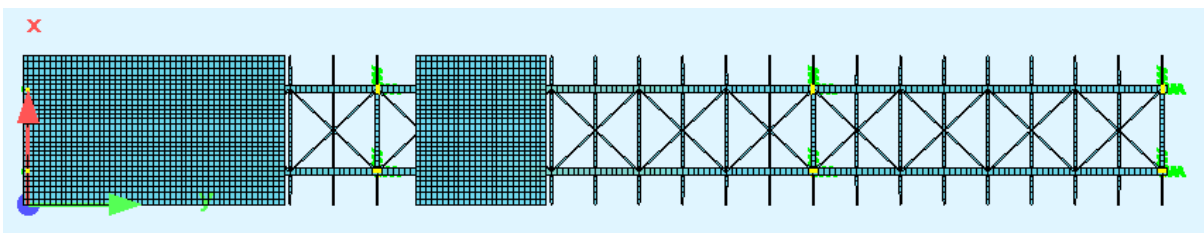
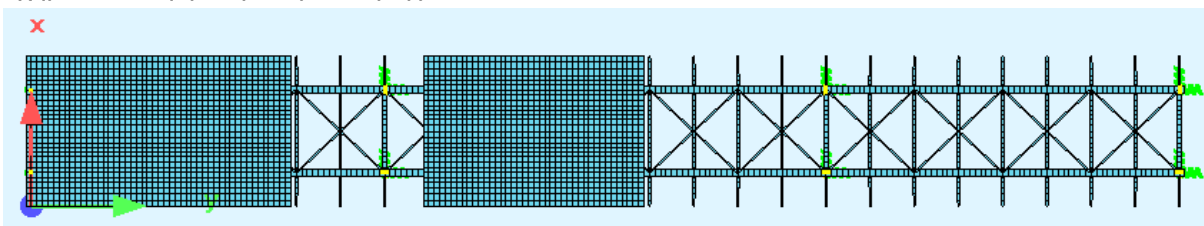
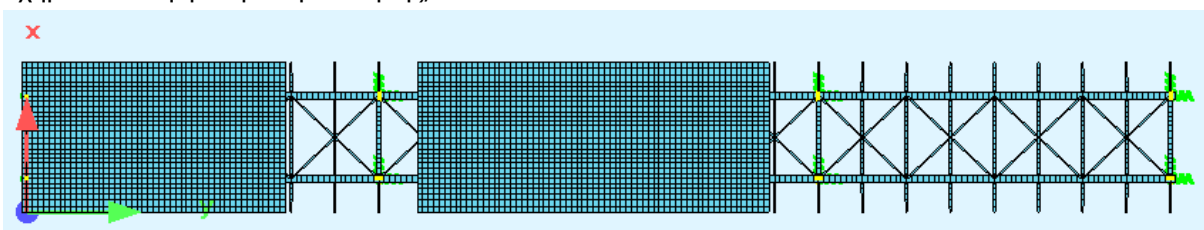
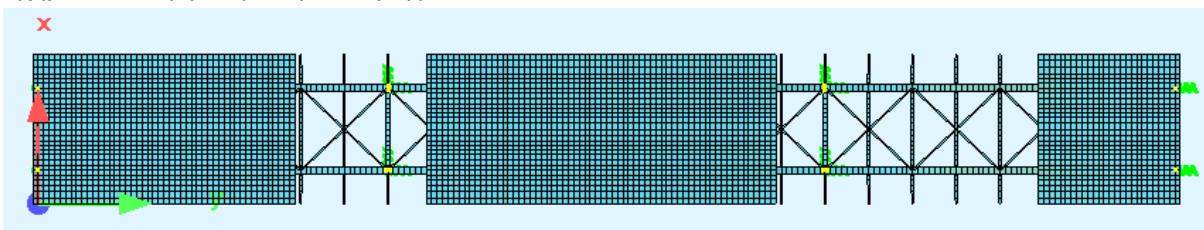
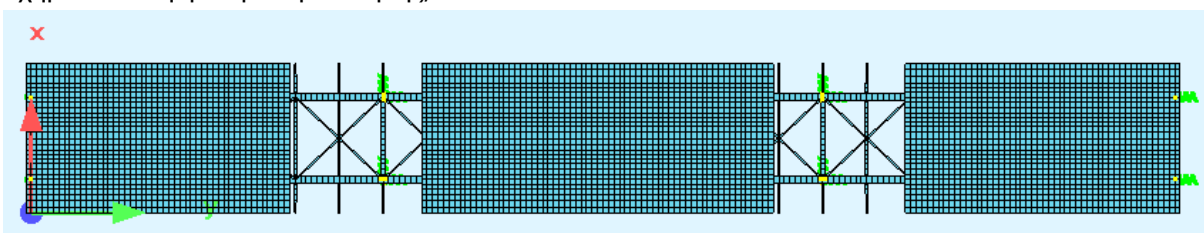
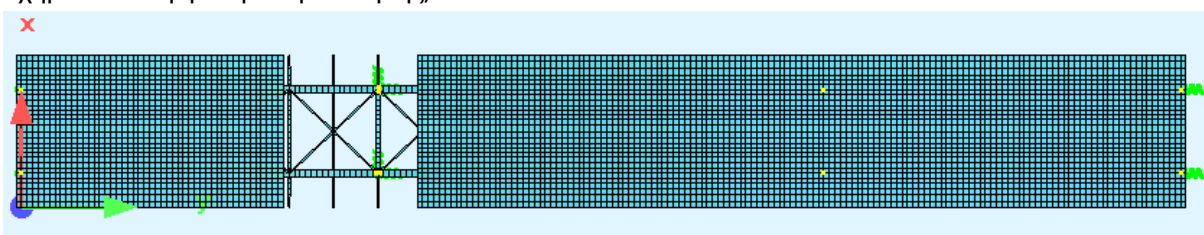
Σχήμα 5.11 1η φάση σκυροδέτησης, $0 \leq Y \leq 12$



Σχήμα 5.12 2η φάση σκυροδέτησης, $12 \leq Y \leq 24$



Σχήμα 5.13 3η φάση σκυροδέτησης, $36 \leq Y \leq 48$

Σχήμα 5.14 4η φάση σκυροδέτησης, $48 \leq Y \leq 56$ Σχήμα 5.15 5η φάση σκυροδέτησης, $56 \leq Y \leq 68$ Σχήμα 5.16 6η φάση σκυροδέτησης, $92 \leq Y \leq 104$ Σχήμα 5.17 7η φάση σκυροδέτησης, $80 \leq Y \leq 92$ Σχήμα 5.18 8η φάση σκυροδέτησης, $68 \leq Y \leq 80$ Σχήμα 5.19 9η φάση σκυροδέτησης, $24 \leq Y \leq 36$

5.7. ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ

Η ονομαστική επικάλυψη των οπλισμών η οποία ικανοποιεί τις απαιτήσεις συνάφειας και περιβαλλοντικών συνθηκών δίνεται από τη σχέση 5.1.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (5.1)$$

Για τον υπολογισμό έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- Οπλισμός διαμέτρου 28mm
- Κατασκευή κατηγορίας 4
- Κατηγορία εκθέσεως XC3

$$c_{nom} = 30\text{mm} + 10\text{mm} = 40\text{mm}$$

5.8. ΔΡΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

5.8.1. ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Τις μόνιμες δράσεις συνιστούν τα φορτία τα οποία δρουν στο φορέα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Αυτά είναι το ίδιο βάρος, τα πρόσθετα μόνιμα και η δύναμη της προέντασης.

5.8.1.1. ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το ίδιο βάρος, που συμβολίζεται με $G_{k,1}$, θεωρείται ότι ασκείται στο κέντρο βάρους της κάθε διατομής και υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Αυτό για τις τρεις διαφορετικές διατομές που έχουν χρησιμοποιηθεί δίνει τις τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11 Ίδια βάρη διατομών φορέα

Διατομή	Ίδιο βάρος, $G_{k,1}$ [kN/m _{μήκους}]
Σκυρόδεμα	84.375
Χαλύβδινη διατομή 1	6.06*2=12.2
Χαλύβδινη διατομή 2	7.8*2=15.6
Χαλύβδινη διατομή 3	12.06*2=24.12
Διαδοκίδα στηρίξεως	1.94
HE 400A	1.25
HE 360A	1.12
HE 300B	1.17
HE 260B	0.93
Διατομή συνδέσμων δυσκαμψίας	0.41

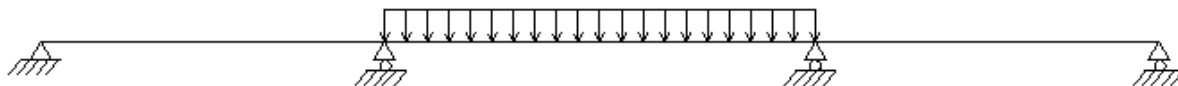
5.8.1.2. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΟΝΙΜΑ

Τα πρόσθετα μόνιμα φορτία είναι όμοια με αυτά που περιγράφηκαν για την προεντεταμένη γέφυρα στην ενότητα 3.8.1.2. Οπότε λαμβάνεται απ' ευθείας η τιμή $G_{k,2} = 70\text{kN/m}_{\text{μήκους}}$

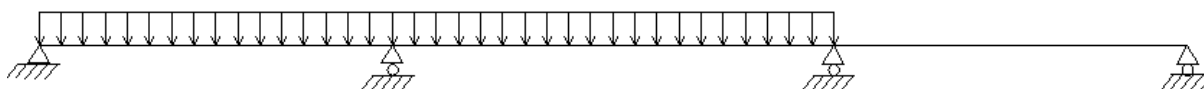
5.8.2. ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

5.8.2.1. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

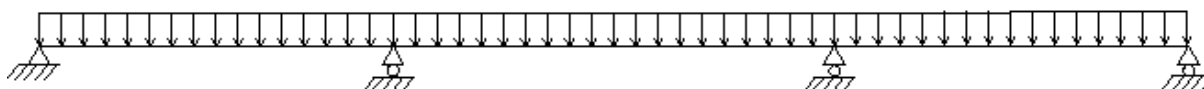
Τα κατακόρυφα φορτία κυκλοφορίας είναι όπως περιγράφηκαν στην ενότητα 3.8.2.1 καθώς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού είναι ίδια. Τα φορτία τοποθετήθηκαν αρχικά με τη μέγιστη δυνατή εκκεντρότητα έτσι ώστε να προκύψει η μέγιστη στρεπτική ροπή για τις κύριες δοκούς, και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν κεντρικά έτσι ώστε να προκύψει το δυσμενέστερο αποτέλεσμα για την πλάκα του καταστρώματος. Η εγκάρσια διάταξη που φαίνεται στο Σχήμα 5.24 τελικώς δίνει ευμενέστερα αποτελέσματα από αυτήν στο Σχήμα 5.25



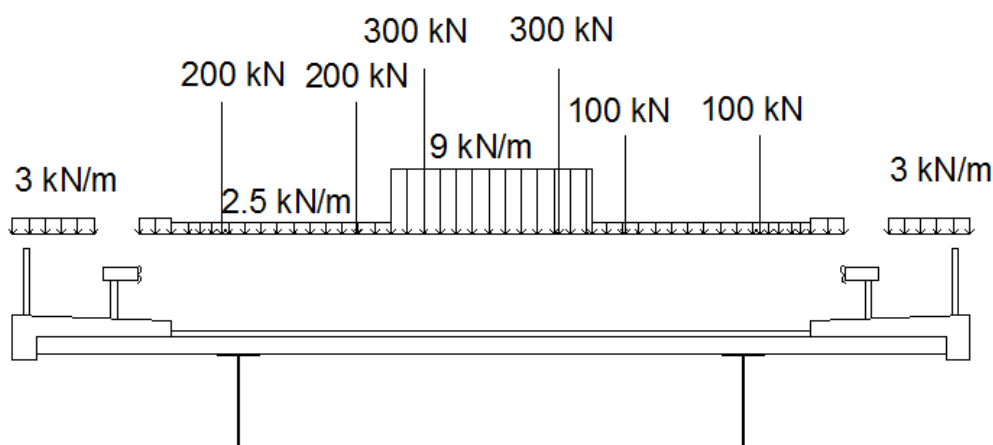
Σχήμα 5.20 Διαμήκης φόρτιση για μέγιστη θετική ροπή στο άνοιγμα



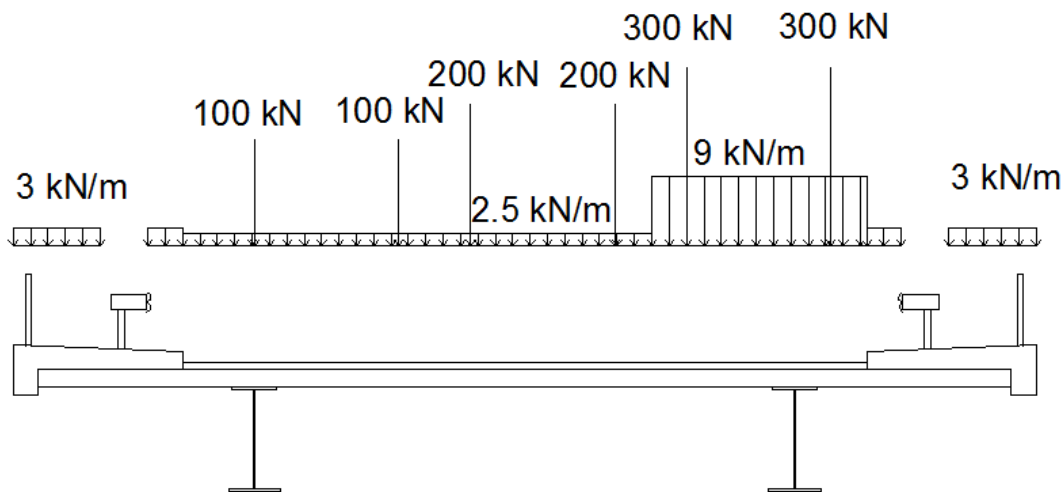
Σχήμα 5.21 Διαμήκης φόρτιση για μέγιστη αρνητική ροπή στη στήριξη



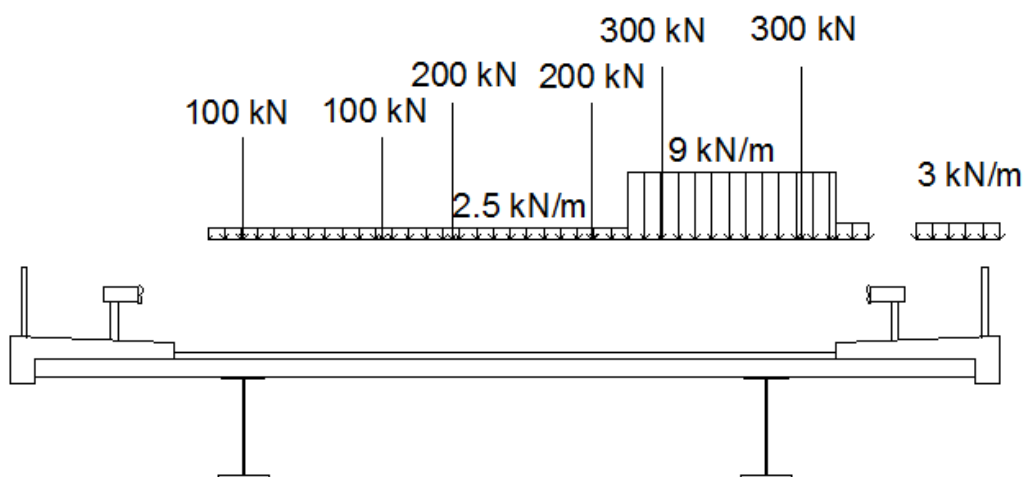
Σχήμα 5.22 Διαμήκης καθολική φόρτιση



Σχήμα 5.23 Εγκάρσια διάταξη φορτίων για μέγιστη θετική κάμψη στην πλάκα του καταστρώματος ανάμεσα στις σιδηροδοκούς



Σχήμα 5.24 Εγκάρσια διάταξη φορτίων για μέγιστη κάμψη



Σχήμα 5.25 Εγκάρσια διάταξη φορτίων για μέγιστη ένταση στη σιδηροδοκό

5.8.2.2. ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΕΔΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

Όμοια με την 3.8.2.2

5.8.2.3. ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Όμοια με την 3.8.2.3

5.8.2.4. ΑΝΕΜΟΣ

Η τελική τιμή του της φόρτισης είναι $F_w = 2.98 \text{ kN/m}_{\text{μήκους}}$ της γέφυρας. Αυτή η τιμή προκύπτει ως η δυσμενέστερη εκ των περιπτώσεων ανέμου με κυκλοφορία και χωρίς.

5.8.2.5. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίας υπό σκιάν με περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια, δηλαδή οι $T_{\min,50}$ $T_{\max,50}$, λήφθηκαν από τις "Εκπαιδευτικές Σημειώσεις για χρήση των ευρωκωδίκων EN1991-1-5: Γενικές Δράσεις – Θερμικές δράσεις, Νίκος Μαλακάτας – Κώστας Τρέζος".

Παραδοχές:

- Η αρχική θερμοκρασία δομικού στοιχείου, T_0 ελλείπει άλλων στοιχείων λαμβάνεται 10°C .
- $T_{\min,50} = -10^\circ\text{C}$ και $T_{\max,50} = 45^\circ\text{C}$ τα οποία στη συνέχεια τροποποιούνται σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα έτσι ώστε να αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 100 χρόνων.
- Πάχος επιφανειακής στρώσης 150mm

Πίνακας 5.12 Θερμοκρασιακές δράσεις

$T_{\max,50}$	$T_{\min,50}$	$T_{\max,100}$	$T_{\min,100}$	$T_{e,\max}$	$T_{e,\min}$	$\Delta T_{N,\text{exp}}/\Delta T_{N,\text{con}}$	$\Delta T_{M,\text{heat}}/\Delta T_{M,\text{cool}}$	ω_N/ω_M
45	-10	47.2	-11.1	50	-7	40/14	15.5/16.2	0.35/0.75

Προκύπτουν οχτώ συνδυασμοί φόρτισης οι οποίοι δίνονται από τις σχέσεις 5.2 και 5.3

$$\Delta T_{M,\text{heat}} \text{ (ή } \Delta T_{M,\text{cool}}) + \omega_N \Delta T_{N,\text{exp}} \text{ (ή } \Delta T_{N,\text{con}}) \quad (5.2)$$

$$\omega_M \Delta T_{M,\text{heat}} \text{ (ή } \Delta T_{M,\text{cool}}) + \Delta T_{N,\text{exp}} \text{ (ή } \Delta T_{N,\text{con}}) \quad (5.3)$$

5.9. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

5.9.1. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΟΚΑ)

Όμοια με την 3.9.1

5.9.2. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΟΚΛ)

Όμοια με την 3.9.2

5.10. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

5.10.1. ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Οι ομάδες των στοιχείων που χρησιμοποιούνται στο προσομοίωμα είναι:

Group 0	Κύριες δοκοί
Group 1	Διαδοκίδες
Group 2	Ελατήρια
Group 4	Σύνδεσμοι δυσκαμψίας
Group 10	Σκυρόδεμα 1 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 11	Σκυρόδεμα 2 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 12	Σκυρόδεμα 3 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 13	Σκυρόδεμα 4 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 14	Σκυρόδεμα 5 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 15	Σκυρόδεμα 6 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 16	Σκυρόδεμα 7 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 17	Σκυρόδεμα 8 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης
Group 18	Σκυρόδεμα 9 ^{ης} φάσης σκυροδέτησης

Επιλύσεις γίνονται για τις παρακάτω φορτίσεις

LC 1	Ίδιο βάρος πρώτης φάσης κατασκευής
LC 2	Ίδιο βάρος δεύτερης φάσης κατασκευής

LC 3	Ίδιο βάρος τρίτης φάσης κατασκευής
LC 4	Ίδιο βάρος τέταρτης φάσης κατασκευής
LC 5	Ίδιο βάρος πέμπτης φάσης κατασκευής
LC 6	Ίδιο βάρος έκτης φάσης κατασκευής
LC 7	Ίδιο βάρος έβδομης φάσης κατασκευής
LC 8	Ίδιο βάρος όγδοης φάσης κατασκευής
LC 9	Ίδιο βάρος ένατης φάσης κατασκευής
LC 20-27	Θερμοκρασιακές δράσεις
LC 30	Ερπυσμός
LC 51-59	Συστολή ξήρανσης κάθε φάσης σκυροδέτησης
LC 60	Συστολή ξήρανσης από το τέλος της κατασκευής έως $t = \infty$
LC 107-109,114-119,127-129	Κατανεμημένα κατακόρυφα φορτία της ΠΦ1
LC 200-303,400-503	Σύστημα διδύμων αξόνων της ΠΦ1
LC 600	Άνεμος
LC 601	Τροχοπέδηση
LC 602	Πρόσθετα μόνιμα
LC 1000	Ίδιο βάρος σιδηροδοκών

5.10.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

5.10.2.1. ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Ο ερπυσμός λήφθηκε υπ' όψη με την παραδοχή ισοδύναμης γραμμικής καθ' ύψος θερμοκρασιακής μεταβολής ΔT η οποία υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση . («Σύμμικτες Γέφυρες», Ιωάννης Βάγιας, Άρης Ηλιόπουλος). Η διαφορά θερμοκρασίας επιβάλλεται μόνο στις αρηγμάτωτες περιοχές του φορέα.

$$\Delta T_t = \frac{M}{E_a} \cdot \frac{h}{\alpha_t} \cdot \left(\frac{1}{I_{i,p}(t_1)} - \frac{1}{I_{i,0}} \right) \quad (5.4)$$

Όπου

M η ροπή η οποία προκαλεί ερπυσμό

h ύψος διατομής

α_t συντελεστής θερμικής διαστολής

E_a μέτρο ελαστικότητας χάλυβα

$I_{i,p}(t_1)$ Ροπή αδράνειας σύμμικτης διατομής σε χρόνο t_1 (χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ισοδυναμίας)

$I_{i,0}$ Ροπή αδράνειας σύμμικτης διατομής σε χρόνο 0

5.10.2.2. ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Ο EN1994-2 επιτρέπει όπου οι λόγοι μήκους γειτονικών ανοιγμάτων (μικρότερο/μεγαλύτερο) μεταξύ στηρίξεων είναι τουλάχιστον ίσοι με 0.6 η επίδραση της ρηγμάτωσης μπορεί να ληφθεί υπ' όψη χρησιμοποιώντας τη ρηγματωμένη δυσκαμψία η οποία στην μελέτη αυτή προκύπτει το 0,5 της αρηγμάτωσης δυσκαμψίας.

5.10.3. ΕΛΕΓΧΟΙ

5.10.3.1. ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Διατομή 1

Κορμός : $c/t = 62.73 < 83 \cdot \varepsilon = 66.42$ Άρα κατηγορία 2

Πέλματα : Το πάνω πέλμα λόγω της διατμητικής σύνδεσης με την πλάκα του καταστρώματος κατατάσσεται στην κατηγορία 1 το ίδιο και το κάτω λόγω του ότι βρίσκεται μόνο σε περιοχές θετικών ροπών.

Άρα η διατομή συνολικά κατατάσσεται στην κατηγορία 2

Διατομή 2

Κορμός : $c/t = 56.25 < 72 \cdot \varepsilon = 58.32$ Άρα κατηγορία 1

Πέλματα : Το πάνω πέλμα λόγω της διατμητικής σύνδεσης με την πλάκα του καταστρώματος κατατάσσεται στην κατηγορία 1. Για το κάτω πέλμα $c/t = 6.96 < 9 \cdot \varepsilon = 7.29$ Άρα κατηγορία 1

Άρα η διατομή συνολικά κατατάσσεται στην κατηγορία 1

Διατομή 3

Κορμός : $c/t = 48.85 < 72 \cdot \varepsilon = 58.32$ Άρα κατηγορία 1

Πέλματα : Το πάνω πέλμα λόγω της διατμητικής σύνδεσης με την πλάκα του καταστρώματος κατατάσσεται στην κατηγορία 1. Για το κάτω πέλμα $c/t = 3.86 < 9 \cdot \varepsilon = 7.29$ Άρα κατηγορία 1

Άρα η διατομή συνολικά κατατάσσεται στην κατηγορία 1

Διατομή 4

Κατηγορία 2

Διατομή 5

Κορμός : $c/t = 43.33 < 72 \cdot \varepsilon = 58.32$ Άρα κατηγορία 1

Πέλματα : Το πάνω πέλμα λόγω της διατμητικής σύνδεσης με την πλάκα του καταστρώματος κατατάσσεται στην κατηγορία 1. Για το κάτω πέλμα $c/t = 5.7 < 9 \cdot \varepsilon = 7.29$ Άρα κατηγορία 1

Άρα η διατομή συνολικά κατατάσσεται στην κατηγορία 1

Διατομή 6

$c/t = 12 < 33 \cdot \varepsilon = 26.73$ Άρα κατηγορία 1

5.10.3.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ

Πίνακας 5.13 Συνεργαζόμενο πλάτος

	Ακραιο άνοιγμα ($Y=0$ έως $Y = 24m$)	Στήριξη ($Y = 24m$ έως $Y = 42m$)	Μεσαίο άνοιγμα ($Y = 42m$ έως $Y = 62m$)
b_{eff} [cm]	518	505	650

5.10.3.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΦΟΡΕΑ

(LC 1-9 και LC 1000)*(1.35 ή 1.00)	Ίδιο βάρος	3101-3112 (beams) 3121-3132 (quads)
LC 602*(1.35 ή 1.00)	Πρόσθετα μόνιμα	
(LC 51-60)*(1.00 ή 0.0)	Συστολή ξήρανσης	
LC30	Ερπυσμός	
LC601	Τροχοπέδηση	
LC600*(1.5 ή 0.6 ή 0)	Άνεμος	
LC20-27*(1.5 ή 1.5*0.6)	Θερμοκρασία	
(LC 107-109,114-119,127-129)*(1.35 ή 1.0)	Ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ΠΦ1 (UDL)	
(LC 200-303,400-503)*(1.35 ή 1.0)	Σύστημα διδύμων αξόνων ΠΦ1 (TS)	

5.10.3.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Τα βασικά μεγέθη που αφορούν τις κύριες δοκούς δίνονται στον Πίνακα 5.14

Πίνακας 5.14 Βασικά μεγέθη ελέγχου διάτμησης κυρίων δοκών

Θέση ελέγχου [m]	Διατομή	V_{Ed} [kN]	$V_{pl,Rd}$ [kN]	h_w/t	Όριο h_w/t
23	1	2780	3956.84	62.73	48.6
28	2	3602	5515.61	56.25	48.6
32	3	4385	8793.9	49.61	48.6

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα όλες οι διατομές πρέπει να ελεγχθούν σε κύρτωση κορμού και στις στηρίξεις θα πρέπει να ενισχυθούν με εγκάρσιες νευρώσεις.

Στην αντοχή σε κύρτωση λαμβάνεται υπ' όψη μόνο η συνεισφορά του κορμού ενώ αγνοείται αυτή των πελμάτων.

Διατομή 1

$$\lambda_w = \frac{h_w}{86.4 \cdot t \cdot \varepsilon} = 0,896 \text{ άρα } \chi_w = 0.9$$

Από αυτά το $V_{bw,Rd}$ προκύπτει $5091 > 3956.84$ άρα τελικώς $V_{pl,Rd} = 3956.84 > 2780 = V_{Ed}$

Διατομή 2

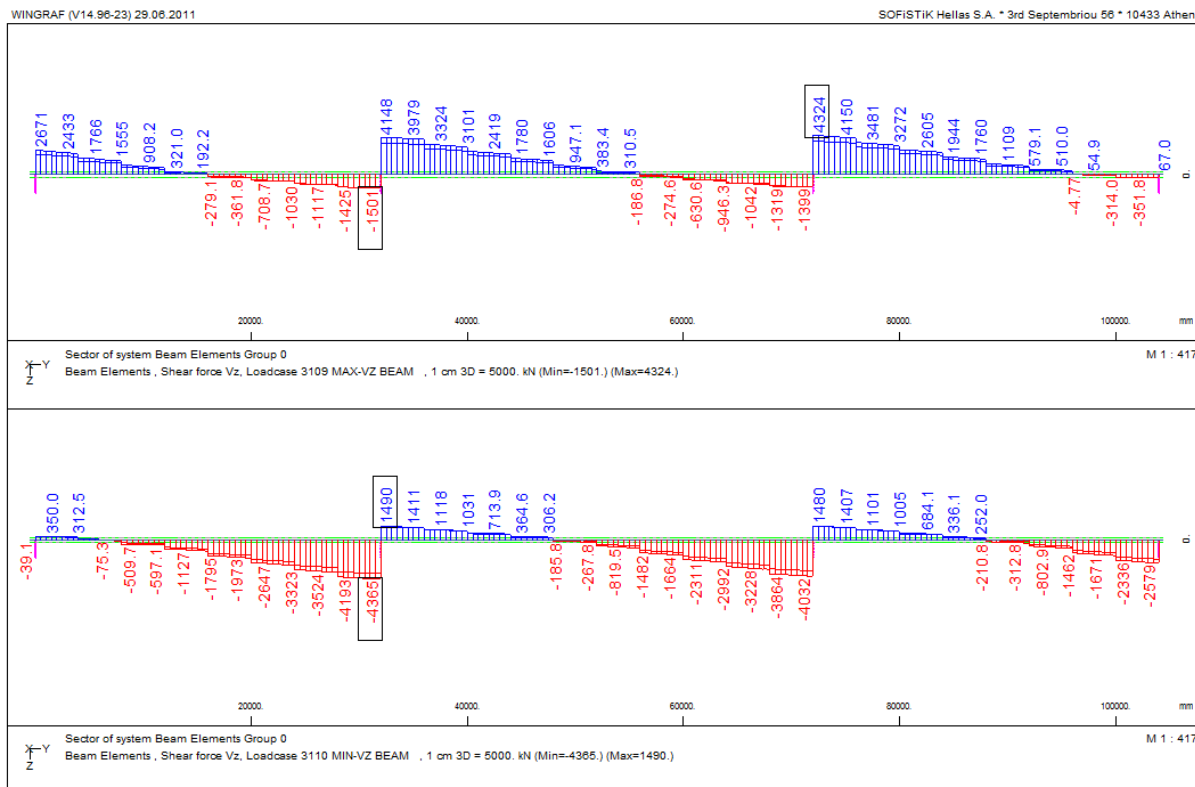
$$\lambda_w = \frac{h_w}{86.4 \cdot t \cdot \varepsilon} = 0,804 \text{ άρα } \chi_w = 1$$

Από αυτά το $V_{bw,Rd}$ προκύπτει $6036 > 5515.61$ άρα τελικώς $V_{pl,Rd} = 5515.61 > 3602 = V_{Ed}$

Διατομή 3

$$\lambda_w = \frac{h_w}{86.4 \cdot t \cdot \varepsilon} = 0,709 \text{ άρα } \chi_w = 1.0$$

Από αυτά το $V_{bw,Rd}$ προκύπτει $6249.4 < 8793.9$ άρα τελικώς $V_{pl,Rd} = 6249.4 > 4385 = V_{Ed}$

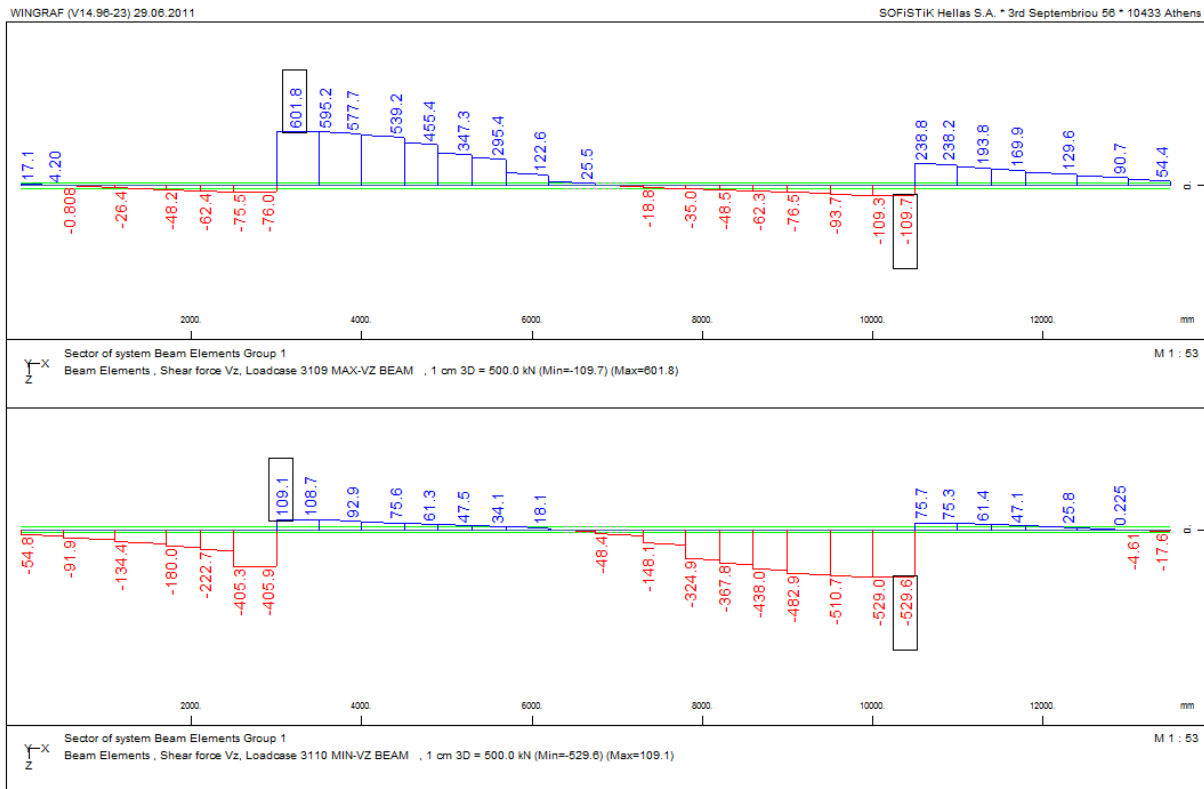


Τα βασικά μεγέθη που αφορούν τις διαδοκίδες δίνονται στον Πίνακα 5.15

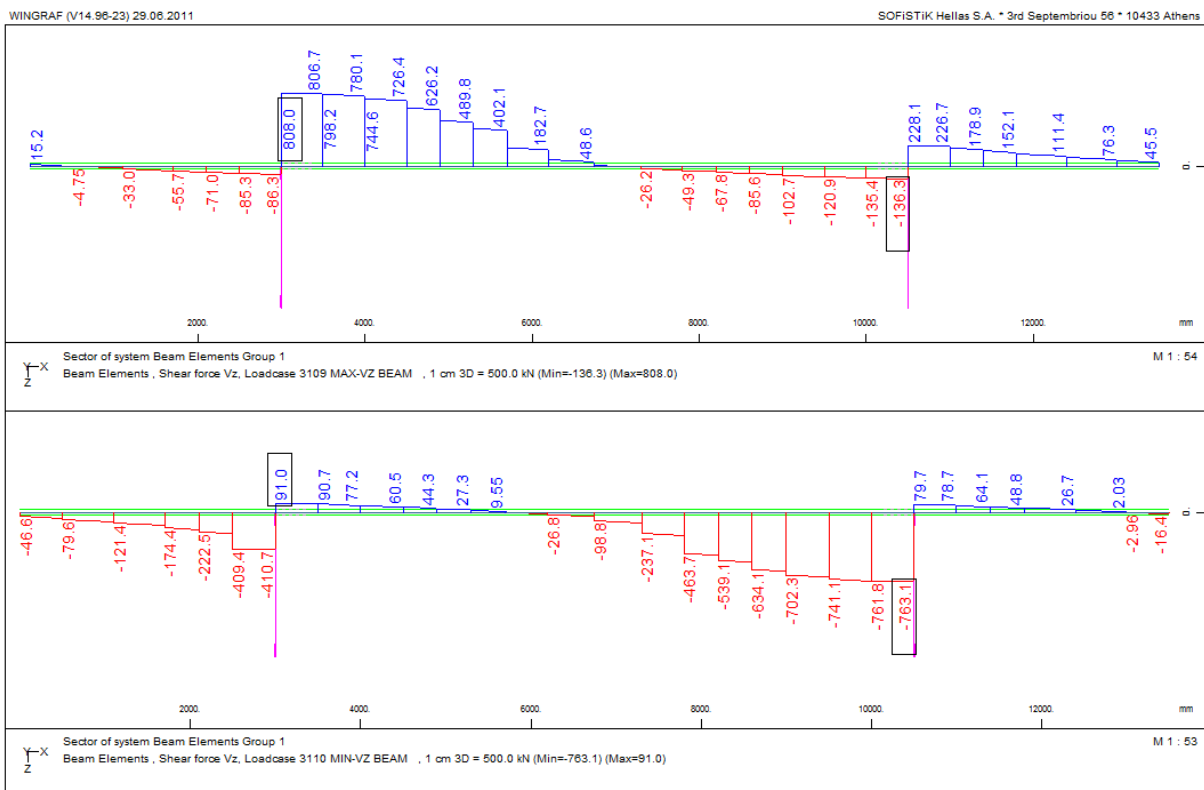
Πίνακας 5.15 Βασικά μεγέθη ελέγχου διάτμησης διαδοκίδων

Θέση ελέγχου [m]	Διατομή	V_{Ed} [kN]	$V_{pl,Rd}$ [kN]	h_w/t	Όριο h_w/t
32	5	808	1189.68	43.33	48.6
68	4	601.8	774.69	27.09	48.6

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα οι διατομές δε χρειάζεται να ελεγχθούν σε κύρτωση κορμού και ο έλεγχος ικανοποιείται.



Σχήμα 5.26 Κατακόρυφη διάτμηση στη δυσμενέστερη διαδοκίδα του ανοίγματος



Σχήμα 5.27 Κατακόρυφη διάτμηση στη δυσμενέστερη διαδοκίδα στηρίξεως

5.10.3.5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

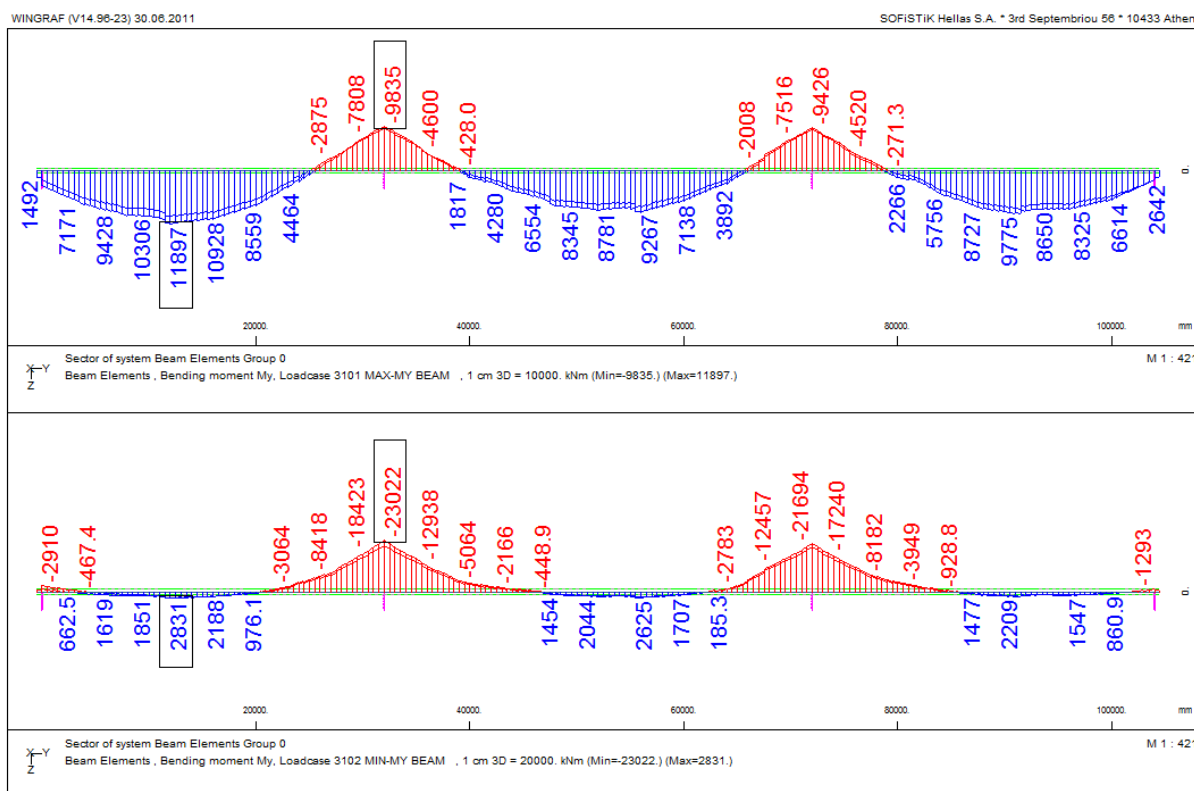
Κύριες δοκοί

Από τον Πίνακα 5.14 προκύπτει ότι η επιρροή της κατακόρυφης διάτμησης στην καμπτική αντοχή θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη σε όλες τις διατομές μέσω του συντελεστή ρ όμως η καμπτική αντοχή των διατομών στην παρούσα μελέτη προκύπτει μόνο από τη συνεισφορά των πελμάτων και συνεπώς δε χρειάζεται να γίνει κάποιος υπολογισμός απομείωσης της αντοχής σχεδιασμού του χάλυβα του κορμού.

Πίνακας 5.16 Βασικά μεγέθη κάμψης για κύριες δοκούς

Θέση ελέγχου [m]	Διατομή	M_{Ed} [kNm]	$M_{pl,Rd}$ [kNm]
12	1	11897	14044
68	2	-11441	18580
32	3	-23022	29747

Άρα ο έλεγχος σε απλή κάμψη ικανοποιείται



Σχήμα 5.28 Διάγραμμα ροπών κάμψης σε ΟΚΑ

5.10.3.6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΚΑΜΨΗΣ ΚΑΙ ΘΛΙΨΗΣ

Θέση ελέγχου [m]	Διατομή	M_{Ed} [kNm]	$M_{pl,Rd}$ [kNm]	N_{Ed} [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]
36	2	-11190	18580	12806	32079
32	3	-23022	29747	14877	49577

$$\eta_{\text{Διατομης2}} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,4$$

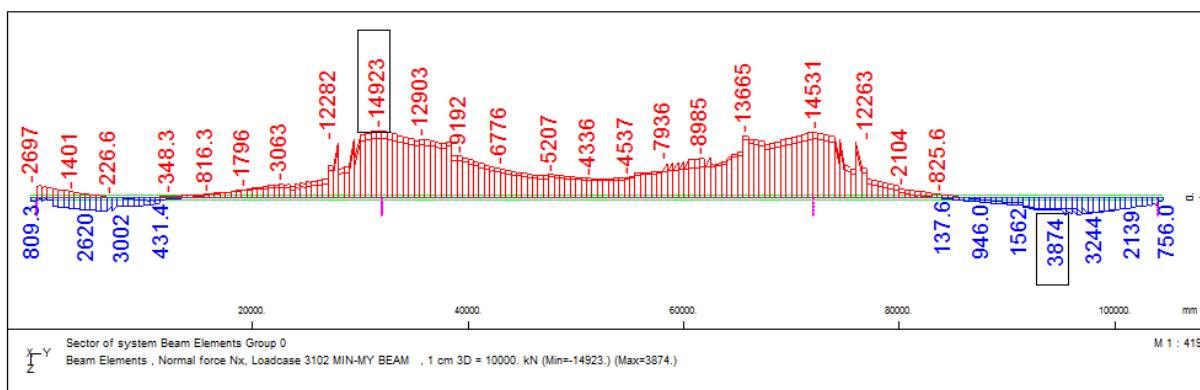
$$\eta_{\text{Διατομης3}} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,3$$

$$a_{\text{Διατομης2}} = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = 0.326$$

$$a_{\text{Διατομης3}} = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = 0.215$$

$$M_{N,Rd}^{\text{Διατομης2}} = M_{pl,Rd} \cdot \frac{1 - \eta}{1 - 0.5 \cdot a} = 13319 \text{ kNm} > M_{Ed} = -11190 \text{ kNm}$$

$$M_{N,Rd}^{\text{Διατομης3}} = M_{pl,Rd} \cdot \frac{1 - \eta}{1 - 0.5 \cdot a} = -23331 \text{ kNm} > M_{Ed} = -23022 \text{ kNm}$$



Σχήμα 5.29 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων που αντιστοιχεί στο διάγραμμα ροπών του Σχήματος 5.22

Διαδοκίδες

Από τον Πίνακα 5.15 προκύπτει ότι η επιρροή της κατακόρυφης διάτμησης στην καμπτική αντοχή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε όλες τις διατομές μέσω του συντελεστή ρ .

Πίνακας 5.17 Βασικά μεγέθη κάμψης για διαδοκίδες

Θέση ελέγχου [m]	Διατομή	M_{Ed} [kNm]	$M_{pl,Rd}$ [kNm]	N_{Ed} [kN]	$N_{pl,Rd}$ [kN]
32	5	867.9	2145	-1306	7987.5
68	4	-420.3	826.73	-1219	5130

Διατομή 4

Προκύπτει $\rho = 0.307$ οπότε η ροπή αντοχής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τάση κορμού ίση με $0,693 \cdot f_y$. Η ροπή αντοχής της διατομής προκύπτει 762.45kNm.

Εξετάζεται αν υπάρχει ανάγκη απομείωσης λόγω αξονικής:

$$N_{ed} = 1219 \leq 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 1282.5kN$$

$$N_{ed} = 1219 \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} = 1522.95$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν υπάρχει ανάγκη να γίνει απομείωση της ροπής κάμψης λόγω της παρουσίας αξονικής και συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.

Διατομή 5

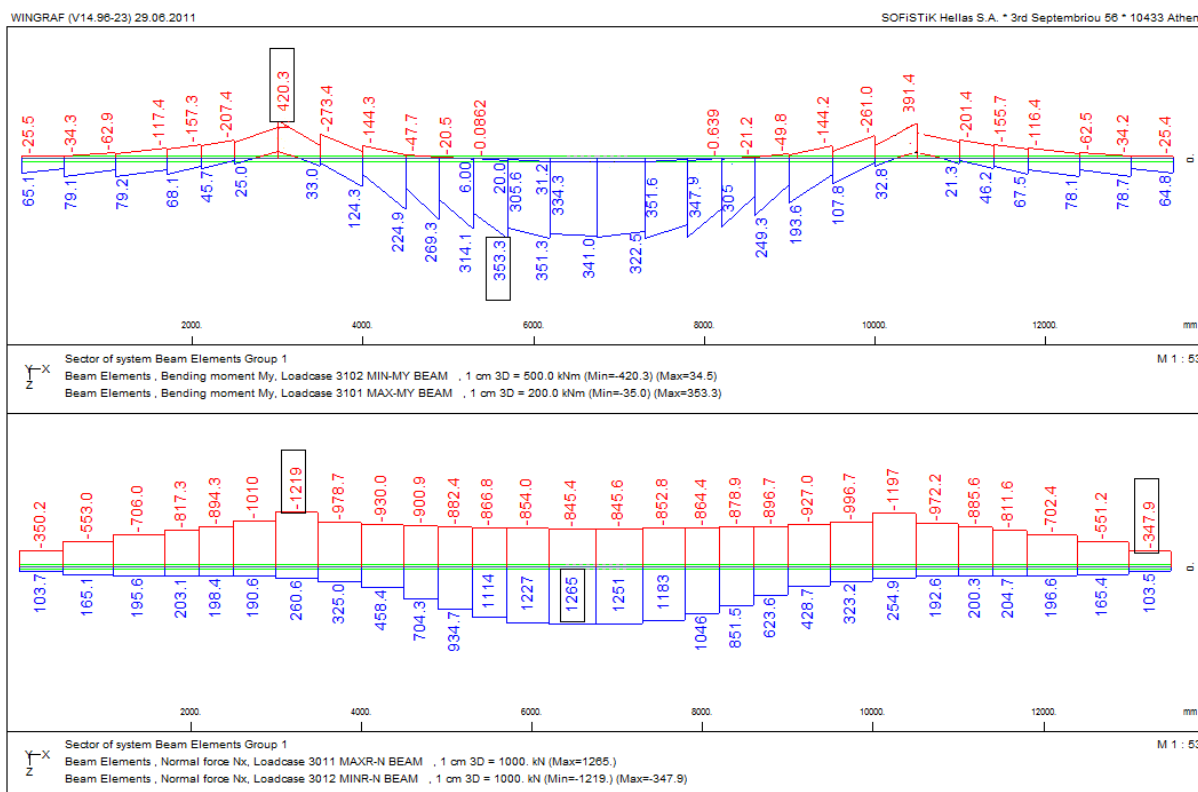
Προκύπτει $\rho = 0.128$ οπότε η ροπή αντοχής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τάση κορμού ίση με $0.872 \cdot f_y$. Η ροπή αντοχής της διατομής προκύπτει 2078kNm.

Εξετάζεται αν υπάρχει ανάγκη απομείωσης λόγω αξονικής:

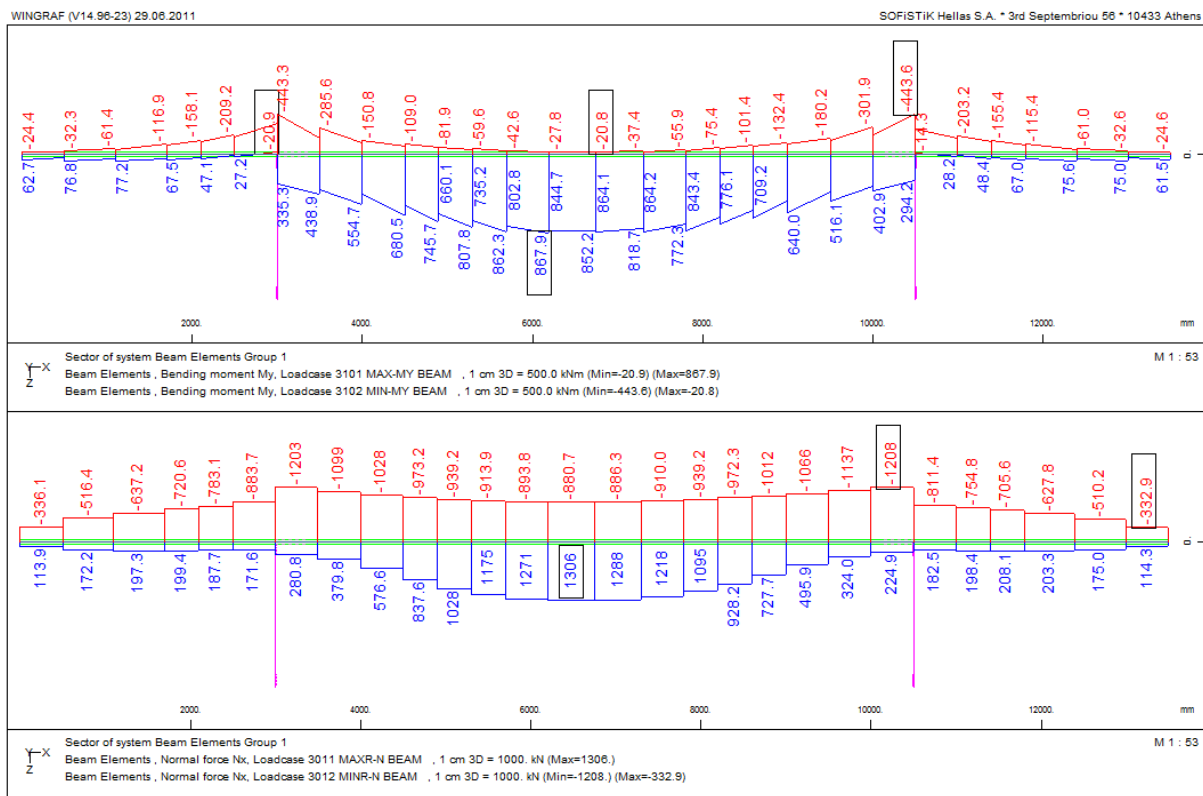
$$N_{ed} = 1306 \leq 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 1996.87kN$$

$$N_{ed} = 1306 \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} = 3461kN$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν υπάρχει ανάγκη να γίνει απομείωση της ροπής κάμψης λόγω της παρουσίας αξονικής και συνεπώς ο έλεγχος ικανοποιείται.



Σχήμα 5.30 Διάγραμμα καμπτικών ροπών και αντίστοιχων αξονικών δυνάμεων στη δυσμενέστερη διαδοκίδα του ανοίγματος



Σχήμα 5.31 Διάγραμμα καμπτικών ροών και αντίστοιχων αξονικών δυνάμεων στη δυσμενέστερη διαδοκίδα στηριξέως

5.10.3.7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟ ΛΥΓΙΣΜΟ

Κύριες δοκοί

ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

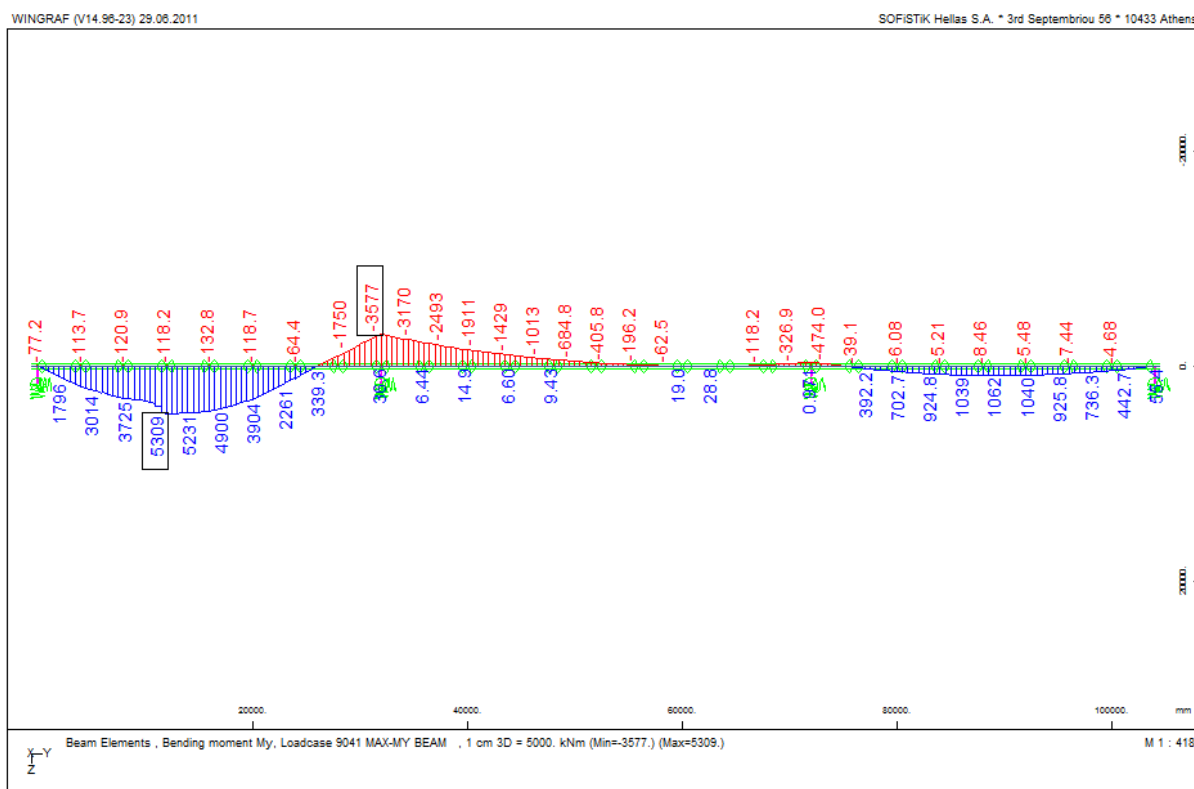
Η μέγιστη ροπή προκύπτει στη θέση $Y = 12\text{m}$ όπου $M_{Ed} = 5330\text{kNm}$. Η διατομή σε εκείνη τη θέση η διατομή του φορέα είναι η Διατομή 1.

Κατά τον υπολογισμό του $M_{b,Rd}$ έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- $C_1 = 1$
- $C_2 = 0$
- $C_3 = 1$
- $k = 1$
- $k_w = 1$
- Μήκος λυγισμού 4m
- Καμπύλη λυγισμού d

Από τα παραπάνω προκύπτει $M_{cr} = 192403\text{kNm}$. Το $\lambda_{LT} = 0.27$ και το $\chi_{LT} = 0.946$.

Οπότε τελικώς προκύπτει $M_{b,Rd} = \chi_{LT}^* M_{pl,Rd} = 12076\text{kNm} > M_{Ed} = 5309\text{kNm}$



Σχήμα 5.32 Ροπή κάμψης στη φάση κατασκευής

ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η μέγιστη ροπή προκύπτει στη θέση $Y = 32\text{m}$ όπου $M_{Ed} = -23022\text{kNm}$. Η διατομή σε εκείνη τη θέση η διατομή του φορέα είναι η Διατομή 3.

Κατά τον υπολογισμό του $M_{b,Rd}$ έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- $C_4 = 8.2$
- Μήκος λυγισμού 4m
- Καμπύλη λυγισμού d

Από τα παραπάνω προκύπτει $c_\theta = 708.897$, $M_{cr} = 44377162\text{kNm}$ και τελικά $\lambda_{LT} = 0.26$.

Προκύπτει $\chi_{LT} = 0.95$.

Οπότε τελικώς προκύπτει $M_{b,Rd} = \chi_{LT} * M_{pl,Rd} = -28259.65\text{kNm} > M_{Ed} = -23022\text{kNm}$

Διαδοκίδες

ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

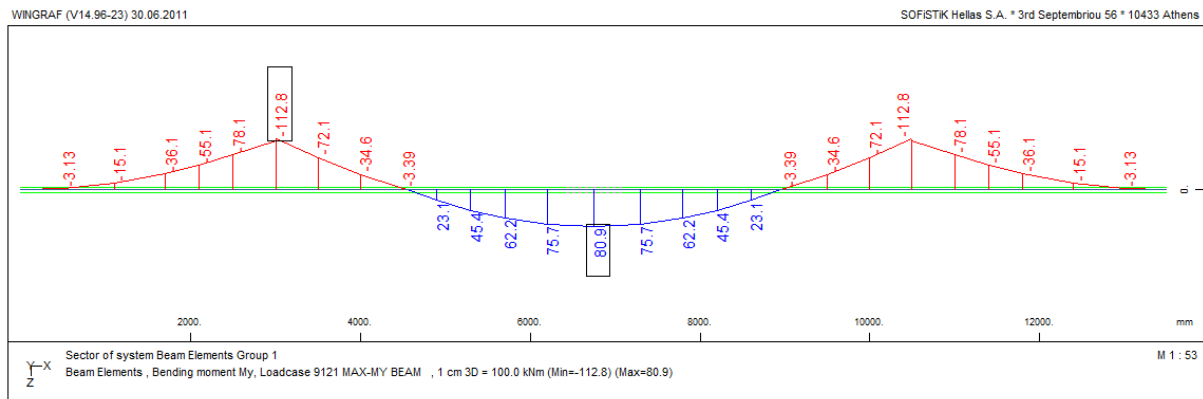
Η μέγιστη ροπή προκύπτει στη διαδοκίδα που βρίσκεται στη θέση $Y = 15\text{m}$ και είναι $M_{Ed} = 80.9\text{kNm}$. Η διατομή σε εκείνη τη θέση είναι HE 400A.

Κατά τον υπολογισμό του $M_{b,Rd}$ έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- $C_1 = 1$
- $C_2 = 0$
- $C_3 = 1$
- $k = 1$
- $k_w = 1$
- Μήκος λυγισμού 7.5m
- Καμπύλη λυγισμού a .

Από τα παραπάνω προκύπτει $M_{cr} = 867.13\text{kNm}$. Το $\lambda_{LT} = 0.98$ και το $\chi_{LT} = 0.68$.

Οπότε τελικώς προκύπτει $M_{b,Rd} = \chi_{LT} * M_{pl,Rd} = 512.6\text{kNm} > M_{Ed} = 80.9\text{kNm}$



Σχήμα 5.33 Ροπή κάμψης στη δυσμενέστερη διαδοκίδα στη φάση κατασκευής

5.10.3.8. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΠΤΙΚΟ ΛΥΓΙΣΜΟ ΛΟΓΩ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

Ο έλεγχος αυτός θα πραγματοποιηθεί για τους χιαστί συνδέσμους. Η μέγιστη θλιπτική καταπόνηση στους συνδέσμους δυσκαμψίας είναι 562kN.

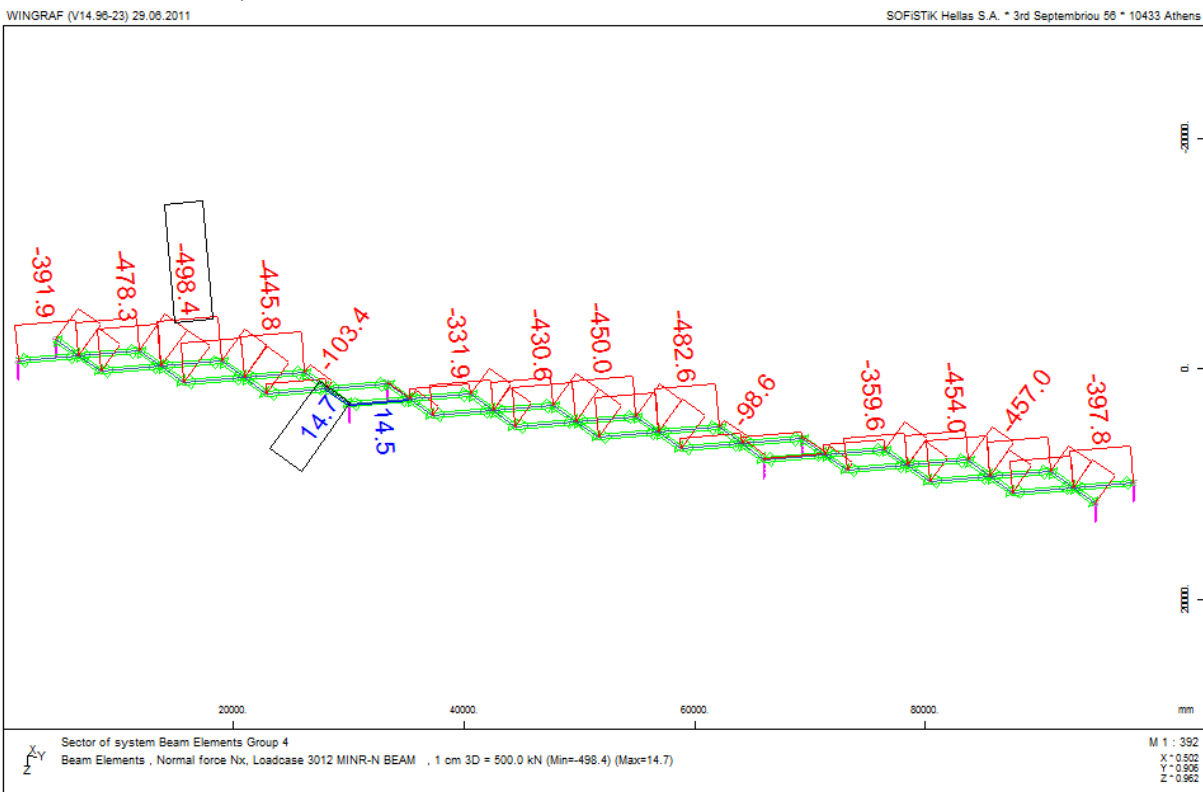
Κατά τον υπολογισμό του $N_{b,Rd}$ έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- Καμπύλη λυγισμού c
- Το ισοδύναμο μήκος λυγισμού του συνδέσμου είναι 5.48m όσο και το πραγματικό μήκος

Προκύπτει

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = 1.354 \text{ το οποίο δίνει } \phi = 1.538 \text{ και } \chi = 0.44$$

Τελικά η $N_{b,Rd} = \chi * N_{pl,Rd} = -740\text{kN} > -498 = N_{Ed}$



5.10.3.9. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

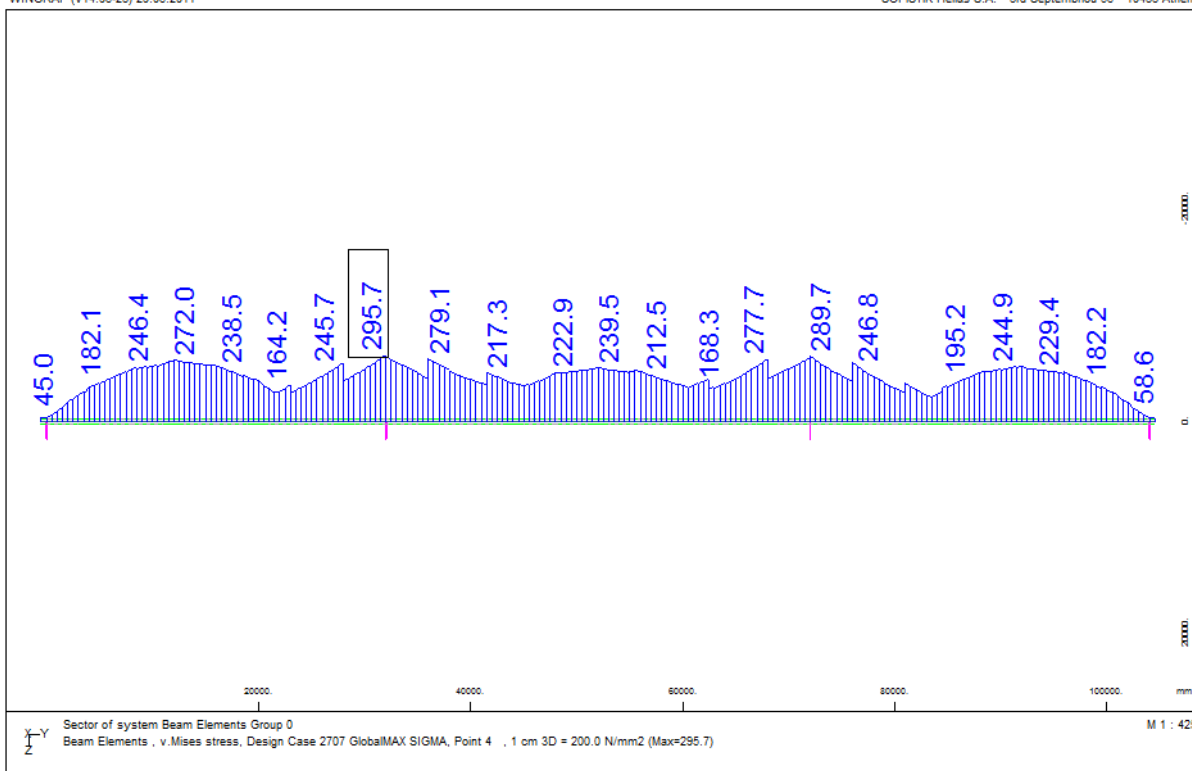
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΥΠΟ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ

Υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό θα πρέπει η τάση του σκυροδέματος να μην υπερβαίνει το $0.6f_{ck}$ και η τάση Von Mises του δομικού χάλυβα να μην ξεπερνά την τιμή $f_y/\gamma_{M,ser}$. Η τάση f_y για τους κορμούς καθώς και για τα πέλματα όλων των διατομών εκτός της 2 και της 3 να μην ξεπερνά τα 355MPa. Η τάση των πελμάτων των Διατομών 2 και 3 να μην ξεπερνά τα 335MPa. Η τάση του χαλαρού οπλισμού να μην υπερβαίνει το $0.8*f_{yk} = 400\text{MPa}$.

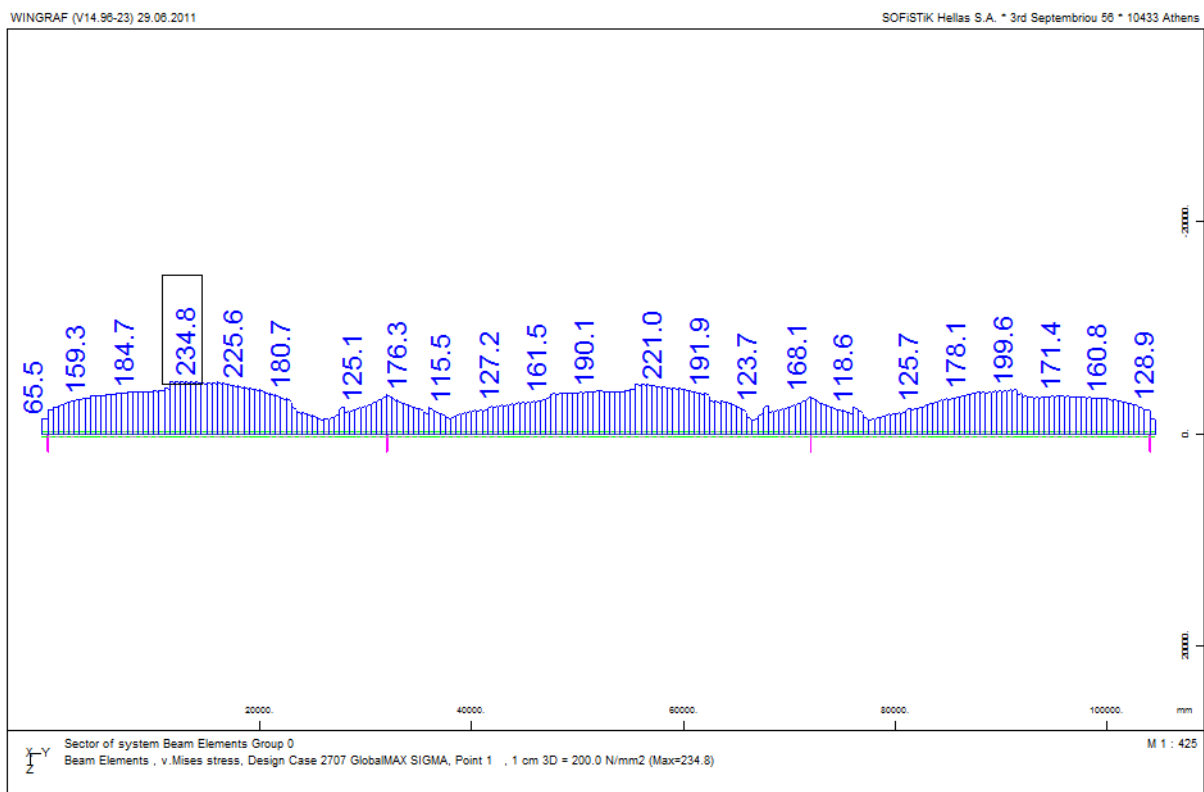
LC 1-9 και LC 1000	Ίδιο βάρος	
LC 602	Πρόσθετα μόνιμα	
(LC 51-60)*(1.00 ή 0.0)	Συστολή ξήρανσης	
LC30	Ερπυσμός	
LC601	Τροχοπέδηση	3001-3012 (beams)
LC600*(1.0 ή 0.6 ή 0)	Άνεμος	3021-3032 (quads)
LC20-27*(1.0 ή 0)	Θερμοκρασία	
(LC107-109,114-119,127-129)*(1.0 ή 0.4)	Ομοιόμορφα καταμεμημένο φορτίο ΠΦ1 (UDL)	
(LC 200-303,400-503)*(1.0 ή 0.75)	Σύστημα διδύμων αξόνων ΠΦ1 (TS)	

WINGRAF (V14.98-23) 29.06.2011

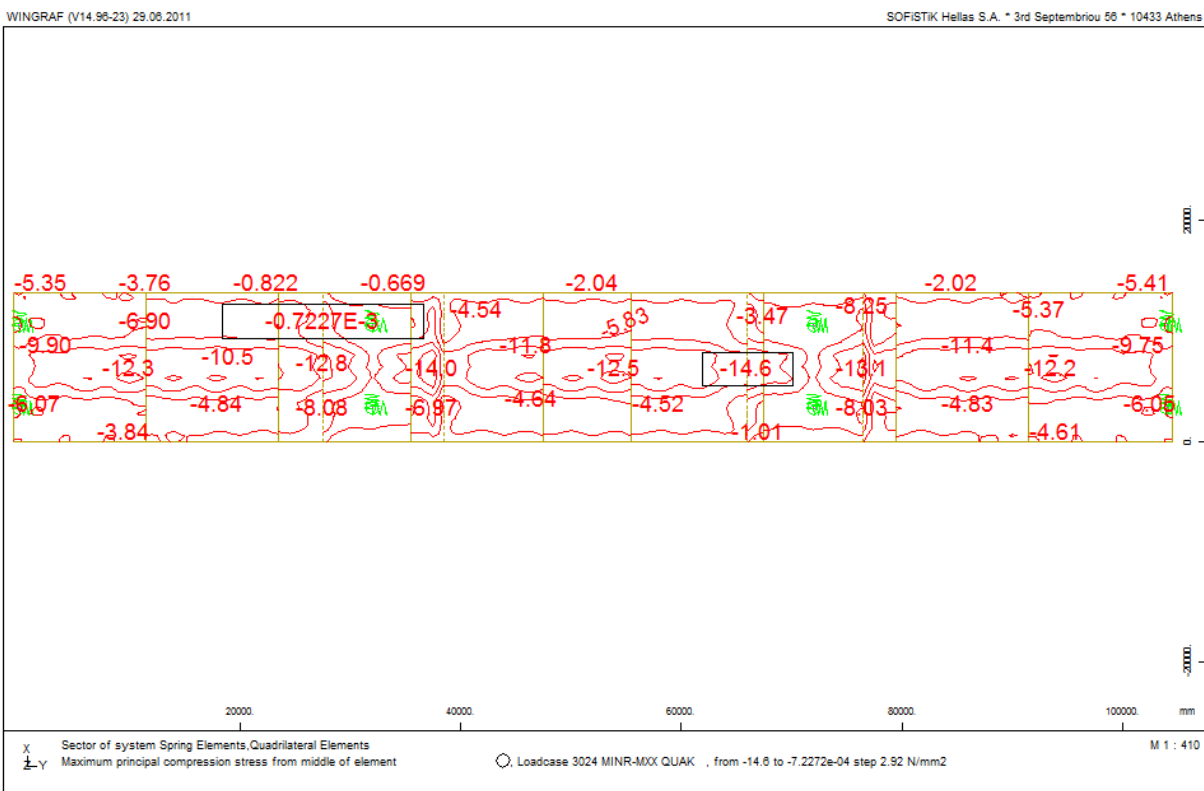
SOFISTIK Hellas S.A. * 3rd Septemvriou 56 * 10433 Athens



Σχήμα 5.34 Τάση Von Mises στο κάτω πέλμα της δυσμενέστερης κύριας δοκού



Σχήμα 5.35 Τάση Von Misses στο άνω πέλαμα της δυσμενέστερης κύριας δοκού



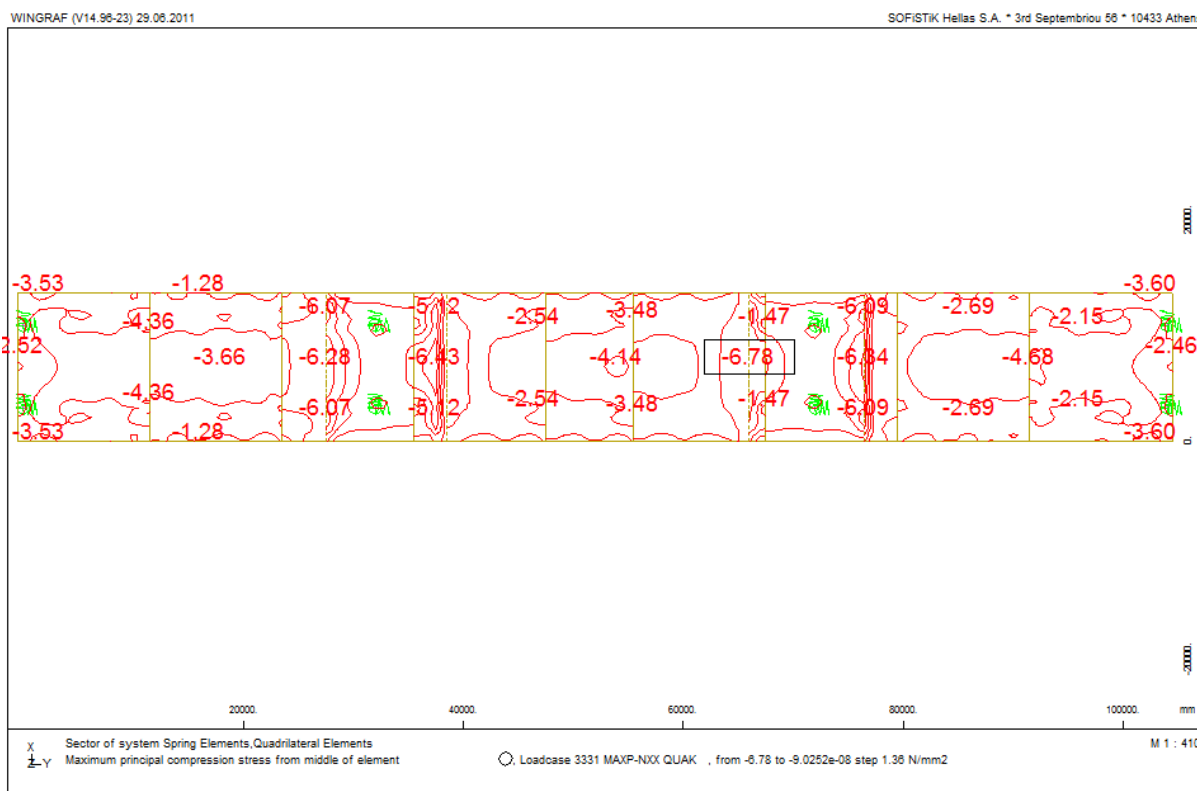
Σχήμα 5.36 Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό

Ο χαλαρός οπλισμός υπολογίστηκε και προσαυξήθηκε κατάλληλα έτσι ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός της τάσης.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΤΟΝ ΟΙΟΝΕΙ ΜΟΝΙΜΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ-ΠΑΡΑΔΟΧΗ ΕΡΠΥΣΜΟΥ

Υπό τον οιονεί μόνιμο συνδυασμό η τάση του σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει το $0.45f_{ck}$ για να ισχύει η παραδοχή του γραμμικού ερπυσμού.

LC 1-9 και LC 1000	Ίδιο βάρος	3301-3312 (beams) 3321-3332 (quads)
LC 602	Πρόσθετα μόνιμα	
(LC 51-60)*(1.00 ή 0.0)	Συστολή ξήρανσης	
LC30	Ερπυσμός	
LC20-27*(0.5)	Θερμοκρασία	



Σχήμα 5.37 Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος υπό τον οιονεί μόνιμο συνδυασμό

5.10.3.10. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ – ΣΥΧΝΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ

Με παραδοχή κατηγορίας περιβαλλοντικών συνθηκών ΧC3, ορίζεται συνιστώμενο εύρος ρωγμής υπό το συχνό συνδυασμό δράσεων $w_{\max} = 0.3\text{mm}$.

LC 1-9 και LC 1000	Ίδιο βάρος	3201-3212 (beams) 3221-3232 (quads)
LC 602	Πρόσθετα μόνιμα	
(LC 51-60)*(1.00 ή 0.0)	Συστολή ξήρανσης	
LC30	Ερπυσμός	
LC601	Τροχοπέδηση	
LC600*(0.2)	Άνεμος	
LC20-27*(0.5 ή 0.6)	Θερμοκρασία	
(LC 107-109,114-119,127-129)*0.4	Ομοιόμορφα καταναμεμημένο φορτίο ΠΦ1 (UDL)	
(LC 200-303,400-503)*(0.75)	Σύστημα διδύμων αξόνων ΠΦ1	

Ελέγχεται το εύρος ρηγμάτωσης στη διατομή της στήριξης

Ροπή υπό το συχνό συνδυασμό	:14595kNm
Άνω οπλισμός	:26.95cm ² /m _{πλάτους}
Κάτω οπλισμός	:21.64cm ² /m _{πλάτους}
Ροπή αδράνειας χαλύβδινης	: 6004121 cm ⁴
Ροπή αδράνειας χαλύβδινης+οπλισμών	: 7825792.2 cm ⁴
Επαύξηση της τάσης του χάλυβα λόγω συμμετοχής του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών	:42 MPa
ελαστική τάση σε άνω οπλισμό	:166 MPa
Συνολο	:208 MPa

Άπό τους πίνακες λαμβάνεται μέγιστη διάμετρος οπλισμου $\Phi = 16\text{mm}$

5.10.3.11. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΔΟΚΩΝ

Η διαστασιολόγηση της διατμητικής σύνδεσης του φορέα προέκυψε ως το δυσμενέστερο από τους ελέγχους σε οριακή κατάσταση αστοχίας και οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Ο φορέας χωρίζεται σε 13 τμήματα, μήκους 8 μέτρων το κάθε ένα, μέσα στα οποία οι αποστάσεις των ύλων θα διατηρηθούν σταθερές.

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Έγιναν οι παρακάτω παραδοχές

- Στις περιοχές των θετικών ροπών η M_{Ed} είναι μικρότερη από τη $M_{el,Rd}$ και συνεπώς επιτρέπεται να γίνει ελαστική ανάλυση για τη διαστασιολόγηση.
- Οι πρωτογενείς επιρροές της συστολής ξήρανσης που λαμβάνει χώρα πριν την ολοκλήρωση των φάσεων σκυροδέτησης αγκυρώθηκαν στα άκρα κάθε τμήματος σκυροδέτησης. Η

συγκεντρωμένη δύναμη λόγω πρωτογενών επιρροών της συστολής ξήρανσης, που έλαβε χώρα από το τέλος της σκυροδέτησης έως χρόνο $t = \infty$, αγκυρώθηκε στα άκρα της γέφυρας.

Οι τέμνουσες δυνάμεις και οι αντίστοιχες διατμητικές ροές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.18 Διατμητική ροή σε ΟΚΑ

Συντεταγμένες	Κατακόρυφη διατμητική δύναμη [kN]			Συνολική διατμητική ροή λόγω κατακόρυφης διατμητικής δύναμης [kN/cm]	Διατμητική ροή λόγω συστολής ξηράνσης στις φάσεις κατασκευής [kN/cm]	Συνολική διατμητική ροή [kN/cm]
	Μόνιμα	Συστολή ξηράνσης	Κινητά			
0 έως 8	1070	0	1667	18,25	1,84	20,09
8 έως 16	-353	-103	-829	7,99	0,65	8,64
16 έως 24	-1237	-103	-1528	17,81	1,78	19,59
24 έως 32	-2083	-104	-2220	25,21	0	25,21
32 έως 40	2014	2	2162	25,96	0	25,96
40 έως 48	1140	2	1473	17,35	1,67	19,02
48 έως 56	286	3	806	7,41	0,82	8,23
56 έως 64	-1140	7	-1473	17,35	1,48	18,83
64 έως 72	-2014	-6	-2162	25,96	1,48	27,44
72 έως 80	2083	106	2220	25,21	0	25,21
80 έως 88	1237	106	1528	17,81	1,22	19,03
88 έως 96	353	106	829	7,99	0,65	8,64
96 έως 104	-1070	0	-1667	18,25	1,33	19,58

Η αξονική που προκύπτει από τις πρωτογενείς επιδράσεις της συστολής ξήρανσης που συμβαίνει από $t=37$ που είναι το τέλος σκυροδέτησης έως $t = \infty$, αγκυρώνεται στο πρώτο και στο τελευταίο κομμάτι της γέφυρας σε μήκος $b_{eff} = 5.18m$ και προκαλεί μια πρόσθετη διατμητική ροή ίση με $8.88kN/cm$.

Επιλέχθηκαν ήλοι κεφαλής, συνολικού ύψους $h = 14cm$ και διαμέτρου $d = 2.5cm$ από χάλυβα S355 ($f_u = 500 MPa$). Τελικά προκύπτει $P_{Rd} = 156,49kN$. Οι ήλοι θα τοποθετηθούν σε τριάδες στις αποστάσεις που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.19 Αποστάσεις ήλων που προέκυψαν από τις οριακές καταστάσεις αστοχίας

Συντεταγμένες	Αποστάσεις μεταξύ ήλων
0 έως 8	16
8 έως 16	54
16 έως 24	24
24 έως 32	18
32 έως 40	18
40 έως 48	27
48 έως 56	57
56 έως 64	24
64 έως 72	17
72 έως 80	18
80 έως 88	24
88 έως 96	54
96 έως 104	16

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Από τον κανονισμό απαιτείται υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό η αντοχή P_{Rd} των ήλων να μην ξεπερνά το $0,75 \cdot P_{Rd}$ της οριακής κατάστασης αστοχίας. Οπότε τελικά $P_{Rd} = 117.37 \text{ kN}$. Με τη μειωμένη αυτή αντοχή και κατά τα παραπάνω προκύπτουν οι ακόλουθες αποστάσεις ήλων:

Πίνακας 5.20 Διατμητική ροή σε ΟΚΛ

Συντεταγμένες	Κατακόρυφη διατμητική δύναμη [kN]			Συνολική διατμητική ροή λόγω κατακόρυφης διατμητικής δύναμης [kN/cm]	Διατμητική ροή λόγω συστολής ξήρασης στις φάσεις κατασκευής [kN/cm]	Συνολική διατμητική ροή [kN/cm]
	Μόνιμα	Συστολή ξήρασης	Κινητά			
0 έως 8	787	0	1264	13,68	1,84	15,52
8 έως 16	-268	-103	-678	6,55	0,65	7,20
16 έως 24	-923	-103	-1198	13,85	1,78	15,63
24 έως 32	-1549	-104	-1696	19,19	0	19,19
32 έως 40	1492	2	1592	19,16	0	19,16
40 έως 48	846	2	1098	12,91	1,67	14,58
48 έως 56	212	3	602	5,53	0,82	6,35
56 έως 64	846	7	1098	12,91	1,48	14,39

64 εως 72	1492	-6	1592	19,16	1,48	20,64
72 εως 80	-1549	106	-1696	19,19	0	19,19
80 εως 88	-923	106	-1198	13,85	1,22	15,07
88 εως 96	-268	106	-678	6,55	0,65	7,20
96 εως 104	787	0	1264	13,68	1,33	15,01

Οι τελικές αποστάσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 5.21

Η αξονική που προκύπτει από τις πρωτογενείς επιδράσεις της συστολής ξήρανσης που συμβαίνει από $t=37$ που είναι το τέλος σκυροδέτησης έως $t = \infty$, αγκυρώνεται στο πρώτο και στο τελευταίο κομμάτι της γέφυρας σε μήκος $b_{eff} = 5.18m$ και προκαλεί μια πρόσθετη διατμητική ροή ίση με $8.88kN/cm$.

Πίνακας 5.21 Αποστάσεις ήλων που προέκυψαν από τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Συντεταγμένες	Αποστάσεις μεταξύ ήλων
0 εως 8	14
8 εως 16	48
16 εως 24	22
24 εως 32	18
32 εως 40	18
40 εως 48	27
48 εως 56	55
56 εως 64	24
64 εως 72	17
72 εως 80	18
80 εως 88	23
88 εως 96	48
96 εως 104	14

Τελικά επιλέγονται οι αποστάσεις που δίνονται στον Πίνακα 5.22

Πίνακας 5.22 Αποστάσεις ήλων στις κύριες δοκούς

Συντεταγμένες	Αποστάσεις μεταξύ ήλων
0 εως 8	14,0
8 εως 16	48,0
16 εως 24	22,0
24 εως 32	18,0
32 εως 40	18,0

40 έως 48	27,0
48 έως 56	55,0
56 έως 64	24,0
64 έως 72	17,0
72 έως 80	18,0
80 έως 88	23,0
88 έως 96	48,0
96 έως 104	14,0

5.10.3.12. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΑΔΟΚΙΔΩΝ

Για την αποκατάσταση της διατμητικής σύνδεσης των διαδοκίδων ελέγχθηκαν τα εξής σημεία και τελικά τοποθετήθηκαν οι ήλοι στην μικρότερη των αποστάσεων που προκύπτουν, για έλεγχο σε οριακές καταστάσεις αστοχίας και οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας, από:

- τη διατμητική ροή των διαδοκίδων των στηρίξεων που υπόκεινται στη μέγιστη καταπόνηση
- τη διατμητική ροή σε απόσταση b_{eff} από την άκρη του προβόλου όπου οι αποστάσεις των ήλων θα προκύψουν από επαλληλία της διατμητικής ροής λόγω κατακόρυφης διάτμησης και λόγω αγκύρωσης της συγκεντρωμένης αξονικής που προκαλείται από τις πρωτογενείς επιδράσεις της συστολής ξήρανσης.
- τη διατμητική ροή στο υπόλοιπο τμήμα των διαδοκίδων

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Πίνακας 5.23 Διατμητική ροή σε ΟΚΑ

Συντεταγμένες [m]	Κατακόρυφη διατμητική δύναμη [kN]			Συνολική διατμητική ροή [kN/cm]
	Μόνιμα	Συστολή ξήρανσης	Κινητά	
Διαδοκίδες ανοίγματος X = 0 έως X = 1.7 και X = 11.8 έως X = 13.5	-91	-41.9	-72	15.18
Διαδοκίδες ανοίγματος X = 1.7 έως X = 11.8	168	14.4	385.2	28.91
Διαδοκίδες στηρίξεως	199	13.9	608.8	19.31

Η αξονική που προκύπτει από τις πρωτογενείς επιδράσεις της συστολής ξήρανσης που συμβαίνει από $t=0$ έως $t = \infty$, αγκυρώνεται στα άκρα των διαδοκίδων σε μήκος $b_{\text{eff}} = 1.7\text{m}$ και προκαλεί μια πρόσθετη διατμητική ροή ίση με 9.95kN/cm .

Πίνακας 5.24 Αποστάσεις ήλων που προέκυψαν από τις οριακές καταστάσεις αστοχίας

Συντεταγμένες	Αποστάσεις μεταξύ ήλων
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 0$ έως $X = 1.7$ και $X = 11.8$ έως $X = 13.5$	18.0
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 1.7$ έως $X = 11.8$	19.0
Διαδοκίδες στηρίξεως	22.0

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Πίνακας 5.25 Διατμητική ροή σε οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Συντεταγμένες [m]	Κατακόρυφη διατμητική δύναμη [kN]			Συνολική διατμητική ροή [kN/cm]
	Μόνιμα	Συστολή ξήρανσης	Κινητά	
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 0$ έως $X = 1.7$ και $X = 11.8$ έως $X = 13.5$	-65.6	-39.2	-71.4	14.27
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 1.7$ έως $X = 11.8$	125	14.4	285	21.54
Διαδοκίδες στηρίξεως	147	14.4	482	15.16

Πίνακας 5.26 Αποστάσεις ήλων που προέκυψαν από τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Συντεταγμένες	Αποστάσεις μεταξύ ήλων
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 0$ έως $X = 1.7$ και $X = 11.8$ έως $X = 13.5$	18.0
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 1.7$ έως $X = 11.8$	19.0
Διαδοκίδες στηρίξεως	22.0

Τελικά προκύπτουν οι αποστάσεις που δίνονται στον Πίνακα 5.27.

Πίνακας 5.27 Αποστάσεις ήλων στις διαδοκίδες

Συντεταγμένες	Αποστάσεις μεταξύ ήλων
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 0$ έως $X = 1.7$ και $X = 11.8$ έως $X = 13.5$	14
Διαδοκίδες ανοίγματος $X = 1.7$ έως $X = 11.8$	16
Διαδοκίδες στηρίξεως	16

5.10.3.13. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΕ ΠΛΑΚΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΑΝΟΙΓΜΑ

Κύριες δοκοί

Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί για τη μέγιστη διατμητική ροή η οποία έχει τιμή $v_{L,Ed} = 2897 \text{ kN/m}$.

Θα γίνει έλεγχος για τις διατμητικές επιφάνειες a-a και b-b όπως αυτές φαίνονται στο Σχήμα 4.14.

Υπολογισμός της v_{Ed}

$$v_{Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{A_{cp,eff}}{A_{c,tot,eff}} \cdot \frac{1}{L_{a-a}} = 2897 \cdot \frac{218 \cdot 25}{518 \cdot 25} \cdot \frac{1}{0.25} = 4876 \text{ kN/m}^2 \quad \text{a-a από τη πλευρά του προβόλου}$$

$$v_{Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{A_{cp,eff}}{A_{c,tot,eff}} \cdot \frac{1}{L_{a-a}} = 2897 \cdot \frac{245 \cdot 25}{518 \cdot 25} \cdot \frac{1}{0.25} = 5480 \text{ kN/m}^2 \quad \text{a-a από την εσωτερική πλευρά}$$

$$v_{Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{1}{L_{b-b}} = 2897 \cdot \frac{1}{0.868} = 3337 \text{ kN/m}^2 \quad \text{b-b}$$

Για να αποφευχθεί η συντριβή των λοξών θλιπτήρων θα πρέπει:

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f = 6.02 \text{ MPa}$$

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f για την a-a είναι:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = 31.51 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f για την b-b είναι:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = 66.61 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Από το Σχήμα 4.14 ο οπλισμός για την επιφάνεια b-b είναι ίσος με $2 A_{bottom}$ κατά συνέπεια θα πρέπει

$$A_{bottom} = 33.3 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Ο A_{top} προκύπτει ως το μέγιστο του ελάχιστου οπλισμού και αυτού που τοποθετείται για άλλους λόγους.

ΣΤΗΡΙΞΗ

Κύριες δοκοί

Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί για τη μέγιστη διατμητική ροή η οποία έχει τιμή $v_{L,Ed} = 2744 \text{ kN/m}$.

Θα γίνει έλεγχος θα γίνει για τις διατμητικές επιφάνειες a-a και b-b όπως αυτές φαίνονται στο Σχήμα 4.14.

Υπολογισμός της v_{Ed}

$$v_{Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{A_{sp}}{A_{s,tot}} \cdot \frac{1}{L_{a-a}} = 4890 \text{ kN / m}^2 \quad \text{a-a από τη πλευρά του προβόλου}$$

Το συνεργαζόμενο πλάτος είναι ίσο και από τις 2 πλευρές του κορμού

$$v_{Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{1}{L_{b-b}} = 2744 \cdot \frac{1}{0.868} = 3161 \text{ kN / m}^2 \quad \text{b-b}$$

Για να αποφευχθεί η συντριβή των λοξών θλιπτήρων θα πρέπει:

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f = 6.02 \text{ MPa}$$

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f για την a-a είναι:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = 28 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f για την b-b είναι:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = 63 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Από το Σχήμα 4.14 ο οπλισμός για την επιφάνεια b-b είναι ίσος με 2 A_{bottom} κατά συνέπεια θα πρέπει

$$A_{bottom} = 31.5 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Ο A_{top} προκύπτει ως το μέγιστο του ελάχιστου οπλισμού και αυτού που τοποθετείται για άλλους λόγους.

Διαδοκίδες

Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί για τη μέγιστη διατμητική ροή η οποία έχει τιμή $v_{L,Ed} = 2891 \text{ kN/m}$.

Θα γίνει έλεγχος θα γίνει για τις διατμητικές επιφάνειες a-a και b-b όπως αυτές φαίνονται στο Σχήμα 4.14.

Υπολογισμός της v_{Ed}

$$v_{Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{A_{cp,eff}}{A_{c,tot,eff}} \cdot \frac{1}{L_{a-a}} = 2891 \cdot \frac{75 \cdot 25}{170 \cdot 25} \cdot \frac{1}{0.25} = 5101 \text{ kN / m}^2 \quad \text{a-a από τη πλευρά του προβόλου}$$

Το συνεργαζόμενο πλάτος είναι ίσο και από τις 2 πλευρές του κορμού

$$v_{Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{1}{L_{b-b}} = 2891 \cdot \frac{1}{0.518} = 5581 \text{ kN / m}^2 \quad \text{b-b}$$

Για να αποφευχθεί η συντριβή των λοξών θλιπτήρων θα πρέπει:

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f = 6.02 \text{ MPa}$$

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f για την a-a είναι:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = 31.51 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f για την b-b είναι:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = 66.49 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Από το Σχήμα 4.14 ο οπλισμός για την επιφάνεια b-b είναι ίσος με $2 A_{\text{bottom}}$ κατά συνέπεια θα πρέπει $A_{\text{bottom}} = 33.3 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Ο A_{top} προκύπτει ως το μέγιστο του ελάχιστου οπλισμού και αυτού που τοποθετείται για άλλους λόγους.

5.10.3.14. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

Ο έλεγχος σε κόπωση θα πραγματοποιηθεί για το δομικό χάλυβα, στις λεπτομέρειες συγκόλλησης του κορμού με το άνω και το κάτω πέλμα. Από τον Πίνακα 8.2 του EN1993-1-9 για διακοπόμενες διαμήκεις εξωραφές η κατηγορία λεπτομέρειας είναι 80.

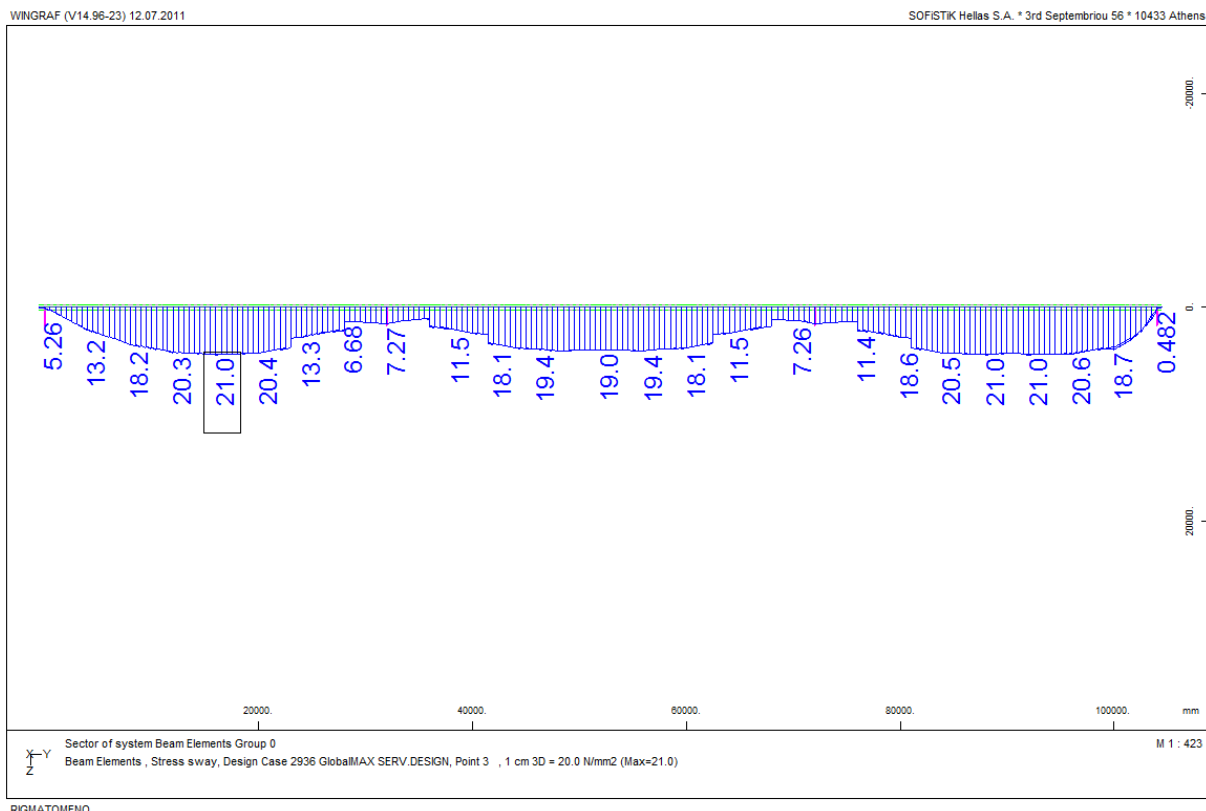
Υπολογισμός αντοχής σε κόπωση

Ο έλεγχος θα γίνει να 2×10^6 κύκλους φόρτισης οπότε από Σχήμα 4.16 η αντοχή $\Delta\sigma_c = 80 \text{ N/mm}^2$.

Το εύρος κάτω από το οποίο ένα ανακυκλικό φορτίο δεν προκαλεί κόπωση είναι $\Delta\sigma_D = 58.96 \text{ N/mm}^2$.

Υπολογισμός εύρους τάσεων που προκαλείται από την ΠΦΚ3 με βάση το συχνό συνδυασμό

Το μέγιστο εύρος τάσεων παρατηρείται στη συγκόλληση του κορμού με το κάτω πέλμα και φαίνεται στο Σχήμα 5.38. Ο έλεγχος θα γίνει για το σημείο του πρώτου ανοιγματος όπου υπάρχει το μέγιστο εύρος.



Σχήμα 5.38 Εύρος ορθών τάσεων στο σημείο συγκόλλησης του κάτω πέλματος με τον κορμό

Υπολογισμός συντελεστή ισοδύναμης βλάβης λ

$$\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4$$

όπου

$$\lambda_1 = 2.33 \text{ με παραδοχή μήκους επιρροής ίσου με } 32\text{m.}$$

$$\lambda_2 = 1.16 \text{ λαμβάνοντας } N_{obs} = 1.05 \times 10^6$$

$$\lambda_3 = 1 \text{ για } t_{id} = 100 \text{ χρόνια}$$

$$\lambda_4 = 1$$

$$\lambda_{max} = 2 \text{ για } L = 32 \text{ και θέση ανοίγματος}$$

$$\text{Άρα τελικά } \lambda = 2.7 > \lambda_{max} \text{ και συνεπώς } \lambda = \lambda_{max} = 2$$

$$\text{Άρα τελικά το εύρος } \Delta\sigma_E = \lambda \cdot \Delta\sigma = 42 \text{ N/mm}^2$$

Το εύρος είναι μικρότερο από το $\Delta\sigma_D$ και συνεπώς δε χρειάζεται να γίνει περαιτέρω έλεγχος.

5.11. ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Από τους ανωτέρω ελέγχους προκύπτουν οι παρακάτω ποσότητες δομικών υλικών ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης καταστρώματος:

Σκυρόδεμα		625kg/m ²
Χάλυβας χαλαρού οπλισμού		42.75kg/m ²
	Κύριες δοκοί	108.5kg/m ²
Δομικός χάλυβας	Διαδοκίδες	33.46kg/m ²
	Σύνδεσμοι δυσκαμψίας	4.17kg/m ²

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η παράλληλη μελέτη και σύγκριση δύο διαφορετικών λύσεων για τη γεφύρωση του ίδιου ανοίγματος. Μετά τη διεκπεραίωση όλων των ελέγχων διαπιστώθηκε ότι η προεπιλογή των συγκεκριμένων διατομών ήταν επιτυχής καθώς οι περισσότεροι έλεγχοι ικανοποιήθηκαν οριακά.

Η συγκεκριμένη εργασία είχε τη χαρακτήρα προχωρημένης προμελέτης που τελικά οδήγησε στις παρακάτω ποσότητες υλικών για κάθε λύση.

ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗ ΓΕΦΥΡΑ

Σκυρόδεμα	0.5804m ³ /m ²
Χάλυβας προεντεταμένου οπλισμού	26.14kg/m ²
Χάλυβας χαλαρού οπλισμού	69kg/m ²

ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΓΕΦΥΡΑ

Σκυρόδεμα	0.25m ³ /m ²	
Χάλυβας χαλαρού οπλισμού	42.75kg/m ²	
	Κύριες δοκοί	108.5kg/m ²
Δομικός χάλυβας	Διαδοκίδες	33.46kg/m ²
	Σύνδεσμοι δυσκαμψίας	4.17kg/m ²

Οι τιμές των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση του τελικού κόστους ανά m² κάτοψης καταστρώματος δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Υλικό	Τιμή
Σκυρόδεμα	175 €/m ³
Μη-προεντεταμένος χάλυβας	0.875 €/kg
Προεντεταμενος χάλυβας	3.125 €/kg
Δομικός χάλυβας	1.1 €/kg

Από τα ανωτέρω προκύπτει συνολικό κόστος:

Προεντεταμένη γέφυρα 244€/m²

Σύμμικτη γέφυρα 242€/m²

Είναι προφανές ότι η επιλογή της προσφορότερης κατά περίπτωση λύσης δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το άμεσο κόστος των βασικών εργασιών καθώς υπεισέρχονται στα κριτήρια της επιλογής και ένας αριθμός άλλων παραμέτρων όπως οι τοπικές συνθήκες, η διαθέσιμη εμπειρία, το κόστος συντήρησης και άλλα. Τέλος σημειώνεται ότι στις ανωτέρω εκτιμήσεις κόστους δεν έχει συμπεριληφθεί το κόστος της υποδομής (βάθρα, ακρόβαθρα) και θεμελιώσεως.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1. ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A.W.Beeby & R.S.Narayan : "Designers' Guide to EN1992-1-1 and EN1992-1-2. Eurocode 2: Design of concrete structures.General rules and rules for buildings and structural fire design" , © Thomas Telford,2005
- [2] C.Menn : "Stahlbetonbrücken", © Springer – Verlag, Wien, 1986
- [3] C.R.Hendy and C.J.Murphy : "Designers' Guide to EN 1993-2 Eurocode 3: Design of steel structures/Part 2: Steel bridges" , © Thomas Telford, 2007
- [4] C.R.Hendy and C.J.Murphy : "Designers' Guide to EN1994-1-1 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures/General rules and rules for bridges", © Thomas Telford, 2006
- [5] C.R.Hendy and D.A.Smith : "Designers' guide to EN 1992-2 Eurocode 2: Design of concrete structures/Part 2: Concrete Bridges" , © Thomas Telford, 2007
- [6] D.C.Iles – The steel construction Institute : "Design Guide for composite highway bridges", © Spon Press, 2006
- [7] D.C.Iles : "Composite highway bridge design: In accordance with Eurocodes and the UK National Annexes", © The Steel Construction Institute, 2010
- [8] D.C.Iles : "Composite highway bridge design: Worked examples, In accordance with Eurocodes and the UK National Annexes", © The Steel Construction Institute, 2010
- [9] D.Collings : "Steel – Concrete Composite Bridges", Thomas Telford, 2005
- [10] D.E.Tonias, J.J.Zhao : "Bridge Engineering: Design Rehabilitation and maintainance of Modern Highway Bridges" , © The McGraw-Hill Companies, 2006
- [11] F.Leonhardt : "Vorlesungen über Massivbau, Sechster Teil, Grundlagen des Massivbrückenbaues, Berichtinger Nachdruck" Copyright © by Springer – Verlag, Berlin/Heidelberg, 1979
- [12] J.-A. Calgaro, M.Tschumi and H.Gulvanessian : "Designers' Guide to Eurocode I:Actions on bridges EN 1991-2, EN 1991-1-1,-1-3 to -1-7 and EN 1990 Annex A2" , © Thomas Telford,2010
- [13] J.Raoul and M.O.Cornejo : "Overview of Eurocode 4 part 2", Dissemination of information of training – Vienna, 4-6 October 2010
- [14] J.Raoul, L.Davaine : "EN 1994 Part 2, Composite Bridges", © Eurocodes – Backround and applications, Dissemination of information workshop, Brussels, 18-20 February, 2008

-
- [15] J.Schlaich and H.Scheef : "Concrete Box Girder Bridges", © International Association for Bridge and Structural Engineering, 1982
- [16] L.Davaine, F.Imberty and J.Raoul – SETRA : "Guidance book, Eurocodes 3 and 4, Application to steel-concrete composite road bridges", © Setra, 2007
- [17] L.Gardner and D.A.Nethercot : "Designers' Guide to EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures/General rules and rules for buildings", © Thomas Telford, 2005
- [18] N.Cook : "Designers' Guide to EN 1991-1-4, Eurocode I: Actions on structures, general actions/Part 1-4 Wind Actions" , © Thomas Telford,2007
- [19] R.P.Johnson and D.Anderson : "Designers' Guide to EN1994-1-1 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures/Part I.I:General rules and rules for buildings" , © Thomas Telford, 2004
- [20] Setra : "Steel-Concrete Composite Bridges, Sustainable Design Guide", © Setra, 2010
- [21] Θ.Π.Τάσσιος, Π.Ι.Γιαννόπουλος, Κ.Γ.Τρέζος, Σ.Γ.Τσουκαντάς : "Προεντεταμένο Σκυρόδεμα, Με βάση το νέο κανονισμό σκυροδέματος",© Συμμετρία, 1995
- [22] Θ.Π.Τάσσιος, Π.Χ.Πλαϊνής, Ι.Ν.Σιγάλας : "Εισαγωγή στη Γεφυροποιία, Προχειρες Σημειώσεις του Μαθήματος 8^{ου} Εξαμήνου",© Εκδόσεις Πολυτεχνείου, 1997
- [23] Ι.Βάγιας : "Σύμμικτες Κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, 2^η Έκδοση", © Κλειδάριθμος, 2001
- [24] Ι.Βαγιας, Α.Ηλιόπουλος : «Σύμμικτες Γέφυρες, Οδηγός Σχεδιασμού με βάση τα Din-Fachberichte και τους Ευρωκώδικες», © Κλειδάριθμος, 2006
- [25] Ι.Βαγιας, Ι.Ερμόπουλος, Γ.Ιωαννίδης : "Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, Με βάση τα τελικά κείμενα των Ευρωκωδίκων",© Κλειδάριθμος, 2005
- [26] Ι.Ερμόπουλος : "Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες, Ανάλυση και διαστασιολόγηση με τους Ευρωκώδικες 1 έως 8",© Κλειδάριθμος, 2008
- [27] Λ.Θ.Σταυρίδης : "Στατική των δομικών φορέων, Μέρος Α'",© Κλειδάριθμος, 2006
- [28] Λ.Θ.Σταυρίδης : "Στατική των δομικών φορέων, Μέρος Β'",© Κλειδάριθμος, 2006
- [29] Ν.Αλέξανδρος, Ι.Τσάσας : "Σχεδιασμός γεφυρών σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς Din-Fachberichte" Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων: Ι.Σιγάλας, 2006

7.2. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ, ΕΓΚΥΚΛΙΟΙ, ΟΔΗΓΙΕΣ

- [30] EN 1990 :2002 : Βάσεις σχεδιασμού
- [31] EN 1990 :2002/A1: Παράρτημα A2
- [32] EN 1991-1-1:2002: Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια
- [33] EN 1991-1-4:2005: Δράσεις ανέμου
- [34] EN 1991-1-5:2003: Θερμικές δράσεις
- [35] EN 1991-2:2003 : Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες
- [36] EN 1992-1-1:2004: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια
- [37] EN 1992-2:2005: Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα – Γέφυρες από σκυρόδεμα – Σχεδιασμός και κανόνες διαμόρφωσης
- [38] EN 1993-1-1:2005: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
- [39] EN 1993-1-5:2006: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Μέλη από επίπεδα ελάσματα
- [40] EN 1993-1-9:2005: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Κόπωση
- [41] EN 1993-1-10:2005: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Αντοχή σε ψαθυρή θραύση και ιδιότητες κατά την έννοια του πάχους
- [42] EN 1993-2:2006: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Χαλύβδινες γέφυρες
- [43] EN 1994-1-1:2004: Σχεδιασμός συμμίκτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα – Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
- [44] prEN 1994-2:2005: Σχεδιασμός συμμίκτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα – Γενικοί κανόνες και κανόνες για γέφυρες
- [45] ENV 1993-1-1:1992:Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
- [46] Οδηγίες για την εφαρμογή των κανονισμών Din-Fachberichte στην Ελλάδα, Ιούλιος 2007