



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Σχεδιασμός Τοξωτής Δικτυωτής Γέφυρας με Σύμμικτο Κατάστρωμα



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΥΡΙΔΩΝ Λ. ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων : Παύλος Θανόπουλος

Αθήνα, Μάρτιος 2019
ΕΜΚ ΔΕ 2019/08

Δημητρόπουλος Λ. Σ. (2019).
Σχεδιασμός τοξωτής δικτυωτής γέφυρας με σύμμικτο κατάστρωμα
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2019/08
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνα

Dimitropoulos L. S. (2019).
Design of arch latticed bridge with composite deck
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2019/08
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	3
Abstract	4
Ευχαριστίες.....	5
1 Εισαγωγή	6
1.1 Γενικά.....	6
1.2 Τοξωτές Γέφυρες.....	6
2 Μόρφωση Φορέα.....	7
2.1 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά.....	9
2.2 Υλικά Κατασκευής-Διατομές Μελών	9
2.2.1 Υλικά	9
2.2.2 Διατομές Μελών	9
2.2.3 Χαλυβδόφυλλο	12
3 Δράσεις Σχεδιασμού	13
3.1 Μόνιμες Δράσεις	13
3.1.1 Ίδια Βάρη.....	13
3.1.2 Πρόσθετα Μόνιμα	13
3.2 Φορτία Κυκλοφορίας.....	13
3.3 Θερμοκρασιακά	14
3.3.1 Συνιστώσα Θερμοκρασίας ΔΤΝ.....	15
3.3.2 Συνιστώσα Θερμοκρασίας ΔΤΜ.....	15
3.3.3 Συνδιασμός ΔΤΝ-ΔΤΜ	15
3.4 Άνεμος	15
3.4.1 Βασική Ταχύτητα Ανέμου v_b	15
3.4.2 Συντελεστής Έκθεσης c_e	16
3.4.3 Συντελεστής δύναμης c_f	17
3.4.4 Υπολογισμός Δύναμης Ανέμου.....	21
3.5 Σεισμικές Δράσεις	22
4 Έλεγχοι σε Ο.Κ.Α.....	24
4.1 Συνδυασμός Φορτίσεων Ο.Κ.Α.....	24
4.2 Διαστασιολόγηση Διαδοκίδας	24
4.3 Διαστασιολόγηση Αναρτήρων	26
4.4 Διαστασιολόγηση Κοίλων Κυκλικών Διατομών	27
4.4.1 Διαστασιολόγηση Τόξων.....	29
4.4.2 Διαστασιολόγηση Δικτυώσεων	30
4.4.3 Διαστασιολόγηση Αντιανέμων.....	31
4.4.4 Διαστασιολόγηση Στύλων	32
4.4.5 Διαστασιολόγηση Δικτυώσεων Στύλων	32
4.5 Καθολικός Λυγισμός Φορέα	34
4.6 Στρεπτοκαμπτικός Λυγισμός Διαδοκίδας.....	36
4.7 Έλεγχος Χαλυβδόφυλλου.....	38
4.8 Έλεγχος Πλάκας	39

5 Έλεγχοι σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας.....	41
5.1 Συνδιασμός φορτίσεων Ο.Κ.Λ.....	41
5.2 Έλεγχος Τάσεων Δομικού Χάλυβα	41
5.2.1 Έλεγχος Τάσεων στη διαδοκίδα.....	41
5.2.2 Έλεγχος Τάσεων στα Τόξα	42
5.2.3 Έλεγχος Τάσεων στις Δικτυώσεις.....	42
5.2.4 Έλεγχος Τάσεων στα Αντιανέμια	43
5.2.5 Έλεγχος Τάσεων στους Στύλους.....	43
5.2.6 Έλεγχος Τάσεων Δικτυώσεων μεταξύ στύλων	44
5.3 Πλάκα Σκυροδέματος.....	44
5.3.1 Έλεγχος Τάσεων στην Πλάκα.....	44
5.3.2 Έλεγχος Ρηγμάτωσης- Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός.....	45
5.4 Έλεγχος Βελών εφαρμογή προπαραμορφώσεων.....	46
6 Διατμητική Σύνδεση.....	47
6.1 Γενικά	47
6.2 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά και Διατάξεις Ήλων	47
6.3 Υπολογισμός Αντοχής Ήλων	48
6.4 Υπολογισμός διαμήκους διάτμησης και απαιτήσεων σε ήλους	49
6.5 Διατμητική Κάλυψη Πλάκας Σκυροδέματος	50
7 Κόπωση.....	53
7.1 Γενικά	53
7.2 Αντοχή σε Κόπωση	53
7.3 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες.....	54
7.4 Πρότυπη Φόρτιση Κόπωσης	55
7.5 Έλεγχοι σε Κόπωση.....	57
7.5.1 Έλεγχος Κόπωσης Διαδοκίδας	57
7.5.2 Έλεγχος Κόπωσης Τόξων.....	58
7.5.3 Έλεγχος Κόπωσης Δικτυώσεων	59
7.5.4 Έλεγχος Κόπωσης Αναρτήρων.....	60
7.5.5 Έλεγχος Κόπωσης Στύλων	61
7.5.6 Έλεγχος Κόπωσης Αντιανέμιων.....	62
7.5.7 Έλεγχος Κόπωσης Διατμητικών Ήλων	63
8 Φάση Κατασκευής-Ανέγερση Φορέα.....	64
8.1 Έλεγχοι στη Φάση Κατασκευής.....	64
8.2 Ανέγερση Φορέα	64
8.3 Ποσότητες-Κοστολόγηση.....	70
9 Βιβλιογραφία	71
Παράρτημα Α: Συνδέσεις.....	73



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2019/08

Σχεδιασμός Τοξωτής Δικτυωτής Γέφυρας με Σύμμικτο Κατάστρωμα

Δημητρόπουλος Λ. Σ. (Επιβλέπων Θανόπουλος Παύλος)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη και το σχεδιασμό οδικής γέφυρας ενός ανοίγματος με τοξωτό χωροδικτύωμα. Το συνολικό μήκος του καταστρώματος είναι 200m και η διατομή της οδοποιίας πλάτους 22.1m περιλαμβάνει 2 βασικές γραμμές κυκλοφορίας, 1 Λ.Ε.Α και 1 διάβαση πεζοδρόμιο σε κάθε κατεύθυνση. Στο πρώτο και το δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια γενική αναφορά για τον τύπο της γέφυρας και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των δράσεων του φορέα κατά το σχεδιασμό και στα ακόλουθα δύο ο έλεγχος των διατομών σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας και Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας. Στη συνέχεια στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διατμητική σύνδεση και στο έβδομο πραγματοποιείται έλεγχος σε κόπωση της γέφυρας. Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον τρόπο ανέγερσης. Τέλος στο Παράρτημα παρουσιάζονται κάποιες συνδέσεις.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
LAB OF STEEL STRUCTURE

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2019/08

Design of arch latticed bridge with composite deck

Dimitropoulos L. S. (supervised by Thanopoulos Pavlos)

ABSTRACT

This diploma thesis discusses the study and the design of a single span bridge with an arch truss element frame. Deck's total length is 200m and its width is 22.1m, containing two basic traffic lines, a road shoulder and one sidewalk to each direction. At the first and second chapter the type and the geometrical characteristics of the bridge are presented. In chapter three all the actions that were taken into consideration in the analysis are described and in the following two the checks of Ultimate Limit State and for the Serviceability Limit State are presented. Shear connection is presented in chapter six. In chapter seven all the members are checked against fatigue and in the final chapter the erection method of the bridge is described, while some structural details are given, In the Appendix few indicative connections are presented.

Ευχαριστίες

Έχοντας ολοκληρώσει με επιτυχία την διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που μου στάθηκαν και με βοήθησαν όλο αυτό το διάστημα. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Παύλο Θανόπουλο επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας , για την τέλεια συνεργασία που είχαμε και την συνεχή διάθεση και προθυμία που είχε να μου παρέχει την σωστή καθοδήγηση προκειμένου να ολοκληρωθεί επιτυχώς. Τέλος δεν θα μπορούσε να λείπει όλη μου η οικογένεια για την στήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια όλης της φοιτητικής μου σταδιοδρομίας.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η μελέτη της παρούσας γέφυρας έγινε έχοντας επηρεαστεί από τον τύπο τοξοτών γεφυρών σαν αυτή που βρίσκεται στο εξώφυλλο (Wushan Yangtze River Bridge China),[12]. Πιο συγκεκριμένα οι ιδιαιτερότητες αυτού τύπου γεφυρών είναι ότι αποτελούνται από δικτυωτά τόξα στα οποία μέσω των καλωδίων το κατάστρωμα αναρτάται απευθείας απ' τις διαδοκίδες χωρίς την χρήση κύριων δοκών. Τέλος ως ακρόβαθρα τις γέφυρας αποτελούν μεταλλικοί στύλοι οι οποίοι θεμελιώνονται στα πρανή τα οποία γεφυρώνονται.

1.2 Τοξωτές Γέφυρες

Οι τοξωτές γέφυρες χρησιμοποιούνται για τη γεφύρωση αρκετά μεγάλων ανοιγμάτων. Διακρίνονται σε δύο είδη φορέων τα καθαρά τόξα και τα τόξα με ελκυστήρα. Η περίπτωση που μελετάται στην παρούσα διπλωματική είναι τα καθαρά τόξα τα οποία είναι αυτόνομοι φορείς με ανεξάρτητη έδραση η οποία μπορεί να αντιστοιχεί σε αρθρώσεις ή πακτώσεις που σημαίνει ότι αυτού του τύπου τόξων απαιτούν και στιβαρό έδαφος για θεμελίωση. Η επιλογή αυτού του τύπου τόξων εφαρμόζεται σε ανοίγματα 150-500m . (Σχήμα 1.1), [1]

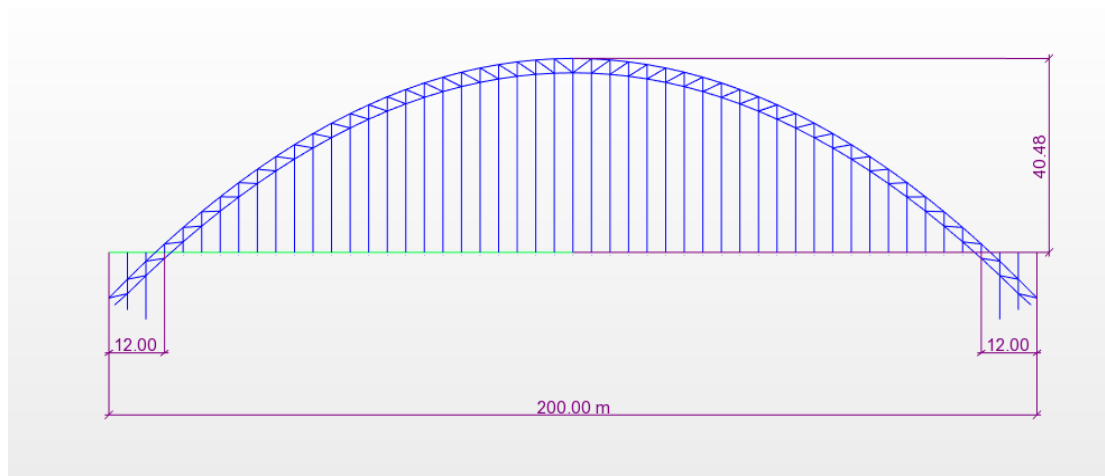


Σχήμα 1.1 : τύποι τοξοτών γεφυρών [1]

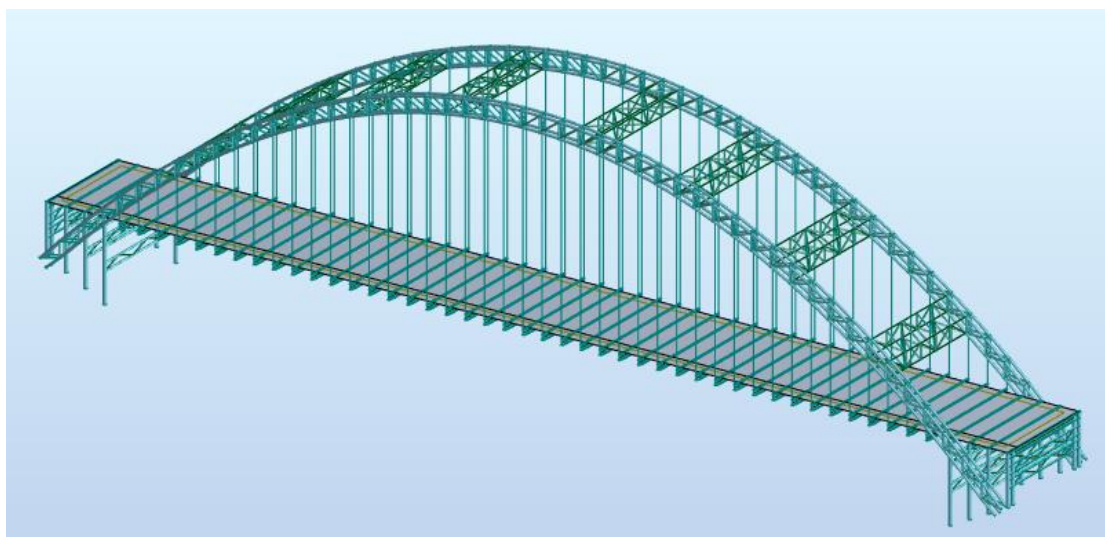
2 Μόρφωση Φορέα

2.1 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά

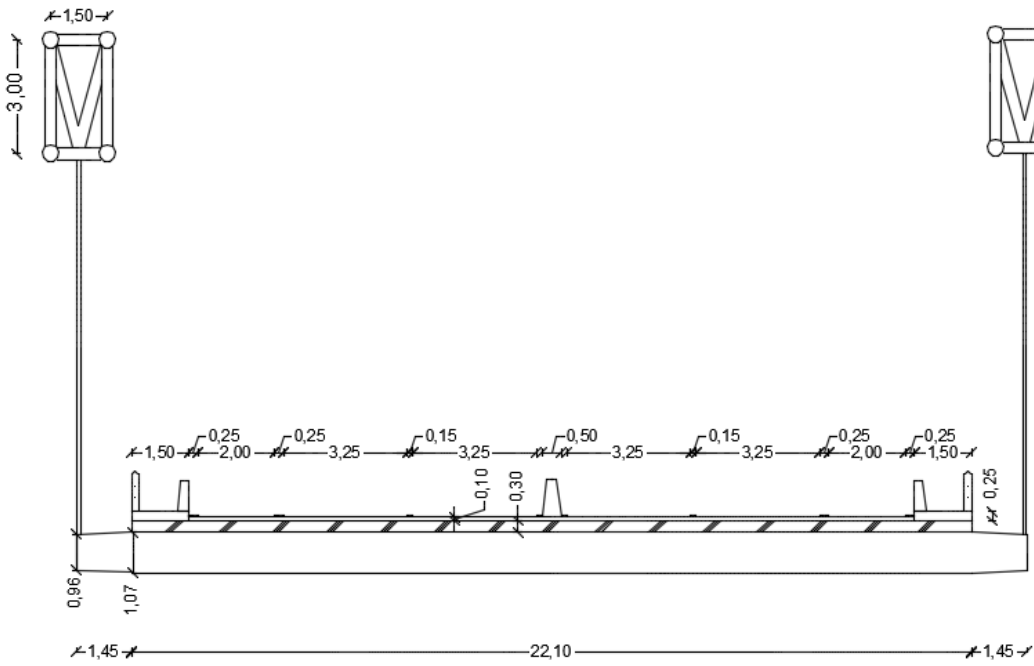
Η γέφυρα έχει μήκος 200m, μέγιστο ύψος τόξου απ' το κατάστρωμα 40.48m, το κατάστρωμα έχει πλάτος 22.1 m και η πλάκα του σκυροδέματος έχει πάχος 30cm η οποία συνδέεται σύμμικτα με τις διαδοκίδες συνολικού μήκους 25m. Τα 176m του καταστρώματος είναι αναρτημένα απ τα τόξα με τη χρήση καλωδίων. Τα υπόλοιπα 24m στηρίζονται σε μεταλλικούς στύλους. Επίσης ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γέφυρας είναι ότι η σύνδεση των αναρτήρων πραγματοποιείται μέσω των διαδοκίδων δίχως ύπαρξη κύριων δοκών. Τα τόξα είναι δικτυωτά ύψος δικτύωσης 3m και πλάτος 1.5m. Ακολουθούν σχήματα της όψης (2.1), του τρισδιάστατου μοντέλου που μελετήθηκε (2.2) και της διατομής της γέφυρας κατά την ανάρτηση του καταστρώματος στα τόξα (2.3) και κατά την στήριξη στους στύλους (2.4) .



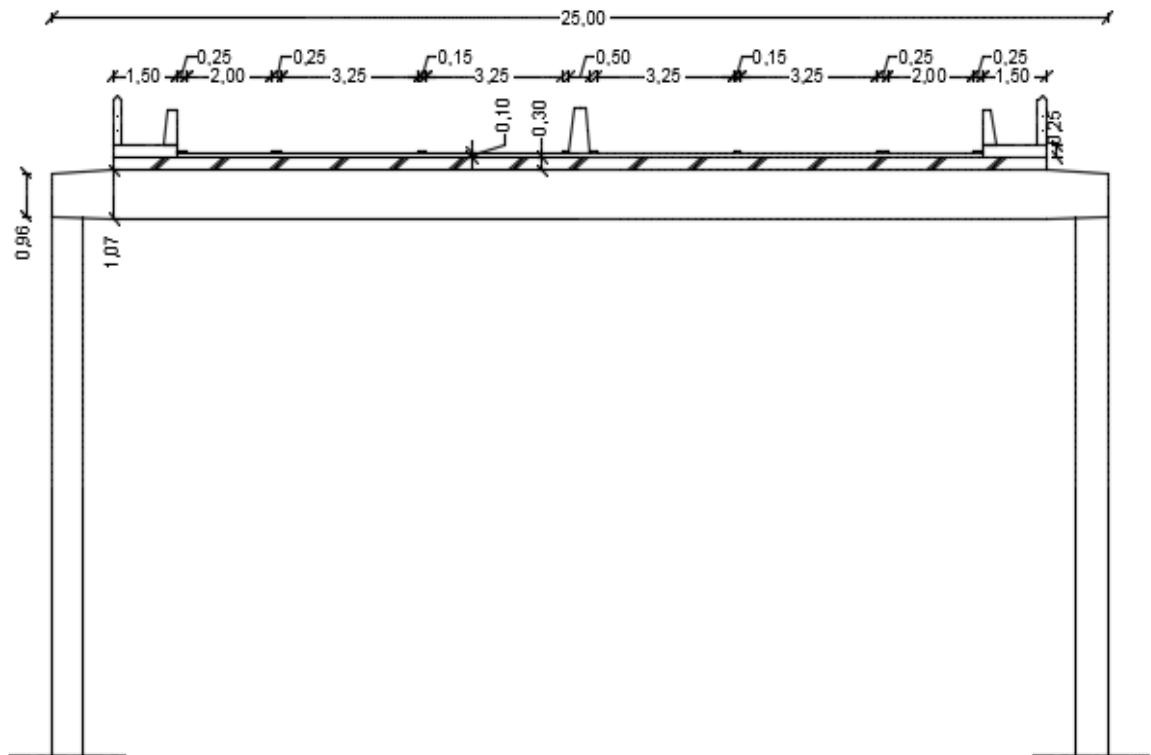
Σχήμα 2.1: όψη γέφυρας



Σχήμα 2.2: τρισδιάστατο μοντέλο



Σχήμα 2.3: διατομή γέφυρας στο μέσο



Σχήμα 2.4: διατομή γέφυρας στο άκρο

2.2 Υλικά κατασκευής - Διατομές μελών

2.2.1 Υλικά

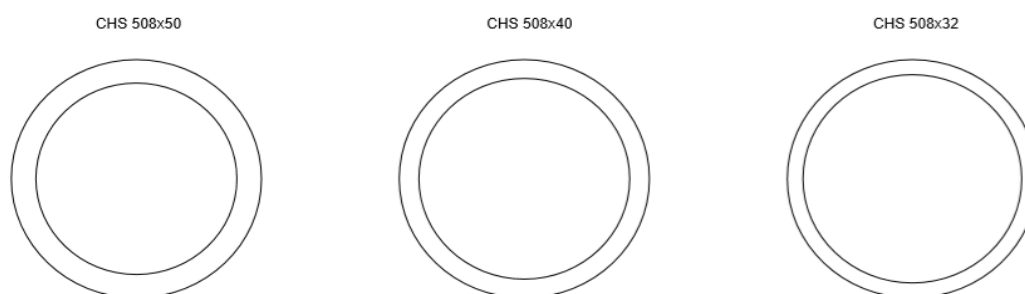
Η επιλογή των υλικών του δομικού χάλυβα έγινε με βάση του κανονισμού EN1993-1-1 3.2.3 ενώ του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού με βάση των κανονισμό EN1992-1-1 .

Πίνακας 2.1 Υλικά

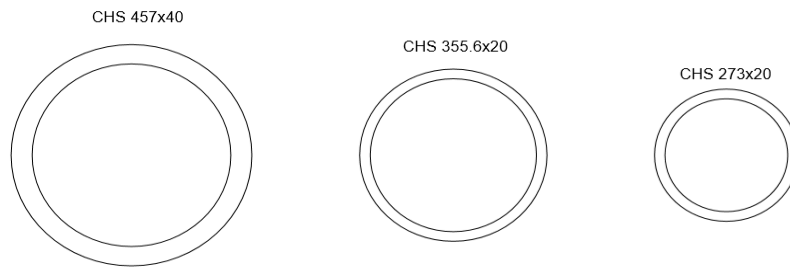
Τύπος	Ποιότητα
Δομικός Χάλυβας	S355
Σκυρόδεμα	C30/37
Χάλυβας οπλισμού	B500C

2.2.2 Διατομές μελών

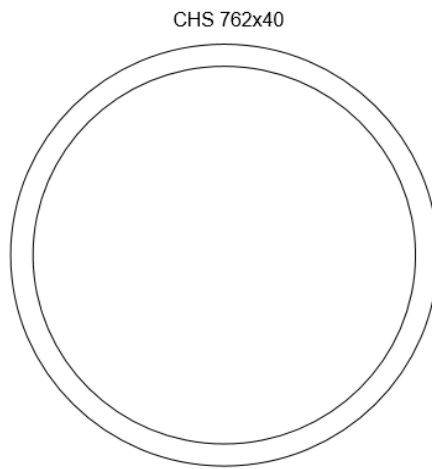
Οι κοίλες κυκλικές διατομές που τοποθετούνται στον φορέα είναι θερμής έλασης. Συγκεκριμένα οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν στο φορέα είναι, για τα τόξα σε τρία τμήματα πρότυπες CHS 508*32, CHS 508*40 και CHS 508*50 σχήμα (2.5). Για τις δικτυώσεις των τόξων τοποθετήθηκαν CHS 355.6*20, και για τα αντιανέμια καθώς και για τις δικτυώσεις μεταξύ των στύλων CHS 273*20 όπως και CHS 457*40 σχήμα (2.6). Οι στύλοι είναι επίσης CHS 762*40 σχήμα (2.7), οι διαδοκίδες είναι συγκολλητές διατομής με ομοιόμορφη μείωση της διατομής τους στα άκρα σχήμα (2.8). Τέλος για τους αναρτήρες χρησιμοποιήθηκαν καλώδια τύπου Full Locked Coil FLC80 τα χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στο σχήμα (2.9). Η προσομοίωση των κοίλων κυκλικών διατομών έγινε με <<beam elements>>, των αναρτήρων με <<cable elements>> και της πλάκας με <<πεπερασμένα στοιχεία>>.



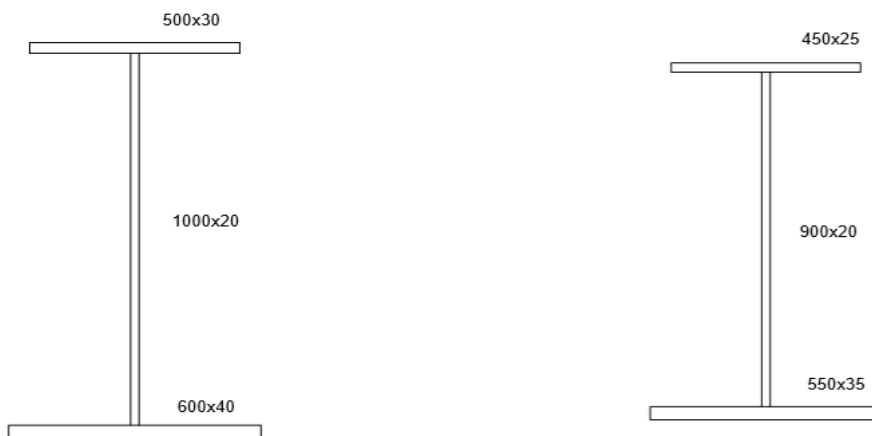
Σχήμα 2.5: διατομές τόξου



Σχήμα 2.6: διατομές αντιανέμων και δικτυώσεις



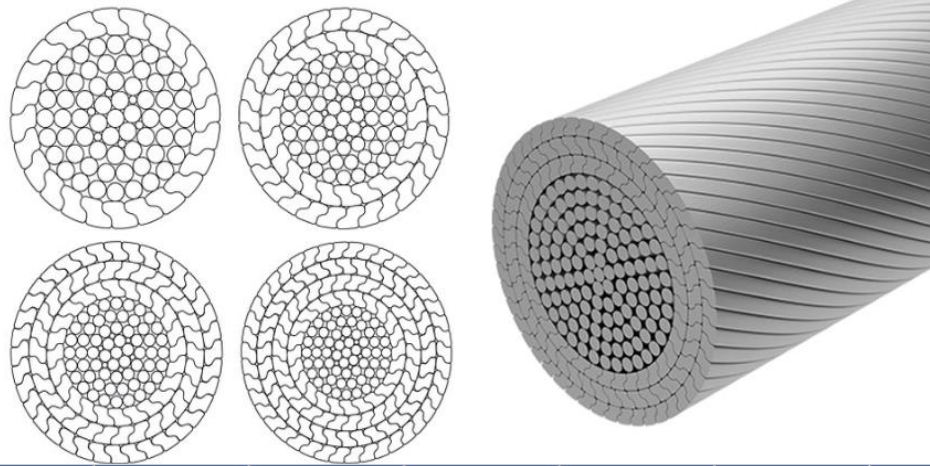
Σχήμα 2.7: διατομή στύλων



Σχήμα 2.8: διατομή διαδοκίδας

FULL LOCKED COIL STRANDS

HOME PAGE > PRODUCTS > ROPES > FULL LOCKED COIL STRANDS > FULL LOCKED COIL STRANDS



Product code	d	$F_{u,k}$	$F_{R,d}$	A	EA	Mass
	mm	kN	kN	mm ²	MN	Kg/m
FLC 16	16	250	152	170	28.1	1.4
FLC 20	20	395	239	266	43.9	2.2
FLC 24	24	570	345	383	63.2	3.2
FLC 28	28	775	470	521	86.0	4.3
FLC 32	32	1015	615	681	112	5.7
FLC 36	36	1285	779	862	142	7.2
FLC 40	40	1605	973	1077	178	9.0
FLC 44	44	1945	1179	1303	215	10.8
FLC 48	48	2315	1403	1551	256	12.9
FLC 52	52	2750	1667	1841	304	15.3
FLC 56	56	3190	1933	2136	352	17.8
FLC 60	60	3660	2218	2452	405	20.4
FLC 64	64	4165	2524	2789	460	23.2
FLC 68	68	4700	2848	3149	513	26.2
FLC 72	72	5210	3158	3530	575	29.4
FLC 76	76	5790	3509	3933	641	32.7
FLC 80	80	6405	3882	4358	710	36.3
FLC 84	84	7045	4270	4805	783	40.0
FLC 88	88	7720	4679	5274	860	43.9
FLC 92	92	8430	5109	5764	940	48.0
FLC 96	96	9165	5555	6276	1023	52.2
FLC 100	100	10050	6091	6890	1123	57.3
FLC 104	104	10860	6582	7452	1215	62.0
FLC 108	108	11700	7091	8037	1310	66.9
FLC 112	112	12720	7709	8744	1425	72.8
FLC 116	116	13635	8264	9379	1529	78.0

Σχήμα 2.9: Τύπος καλωδίων

2.2.3 Χαλυβδόφυλλο Σύμμικτης Διατομής

Τοποθετήθηκε τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο τύπου TATA STEEL D137 1.25mm S320 steel με θετικό προσανατολισμό, σχήμα (2.10), για να ελαχιστοποιηθεί το επιπλέον βάρος. Το συμπαγές τμήμα της πλάκας πάνω απο το χαλυβδόφυλλο είναι 30cm και υπολογίζεται το ισοδύναμο πάχος πλάκας σχέση (2.1).

$$h_{sl,add,0} = \frac{43+165}{2} * \frac{135}{310} = 45\text{mm} \quad (2.1)$$

+0.5cm “ponding effects”

TATA STEEL

RoofDek D137

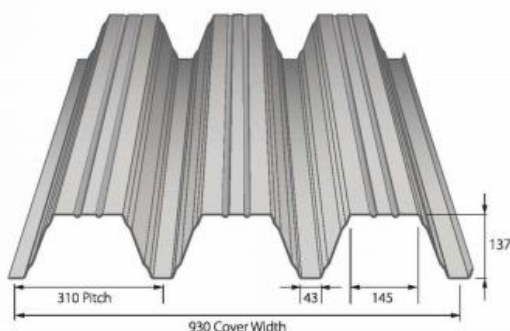
0.75mm S320 Interior liner or galvanised steel

0.90mm S320 Interior liner or galvanised steel

1.25mm S320 Interior liner or galvanised steel

1.20mm R_{p0.2}165 aluminium*

*Available in various coatings and finishes, please enquire.



Ultimate Section Properties to Eurocode

Material specification	Design thickness mm	Weight kg/m ²	Broad flange in compression		Narrow flange in compression		100 mm Bearing on steel beam		
			Moment Capacity kNm/m	Moment of Inertia cm ⁴ /m	Moment Capacity kNm/m	Moment of Inertia cm ⁴ /m	Transverse Resistance		Shear Capacity kN/m
							Internal Rw kN/m	End Rw kN/m	
0.75mm Steel S320	0.71	9.45	9.01	279.81	7.38	268.38	23.00	5.44	47.87
0.90mm Steel S320	0.86	11.35	11.88	345.35	10.01	334.72	33.69	8.17	68.14
1.25mm Steel S320	1.21	15.78	19.20	483.31	16.46	485.63	64.95	16.49	129.04
1.20mm Alu 0.2%165	1.20	5.25	7.91	424.24	7.04	431.40	24.10	6.11	47.91

Safe Loads (kN/m²)

	Span Condition	Imposed load - deflection limit span / 200														Wind suction load - deflection limit span / 150								
		SPAN (metres)																						
		3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00							
0.75mm Steel S320	Imposed	Single	2.17	2.01	1.87	1.75	1.65	1.55	1.47	1.39	1.32	1.26	1.09	0.95	-	-	-	-						
		Double	2.70	2.42	2.19	1.98	1.81	1.66	1.52	1.40	1.30	1.21	1.12	1.04	0.98	0.91	-	-						
		Multi	2.73	2.53	2.36	2.21	2.07	1.95	1.83	1.69	1.56	1.45	1.35	1.26	1.18	1.11	1.04	0.98						
	Suction	Single	3.79	3.27	2.86	2.52	2.24	2.00	1.81	1.64	1.49	1.36	1.25	1.15	-	-	-	-						
		Double	4.61	3.99	3.48	3.07	2.72	2.44	2.19	1.98	1.81	1.65	1.52	1.40	1.29	1.20	-	-						
		Multi	5.75	4.97	4.33	3.82	3.39	3.03	2.72	2.46	2.24	2.05	1.88	1.73	1.60	1.48	1.38	1.29						
0.90mm Steel S320	Imposed	Single	3.28	3.04	2.83	2.65	2.49	2.35	2.22	2.10	1.81	1.56	1.35	1.18	1.03	0.90	-	-						
		Double	3.84	3.44	3.11	2.82	2.57	2.35	2.16	1.99	1.84	1.70	1.58	1.48	1.38	1.29	1.21	1.14						
		Multi	4.12	3.82	3.56	3.33	3.07	2.81	2.59	2.39	2.21	2.06	1.91	1.79	1.67	1.57	1.47	1.38						
	Suction	Single	5.13	4.43	3.87	3.41	3.03	2.71	2.44	2.21	2.01	1.84	1.69	1.56	1.44	1.34	-	-						
		Double	6.07	5.25	4.58	4.03	3.58	3.20	2.88	2.61	2.37	2.17	1.99	1.83	1.70	1.57	1.46	1.37						
		Multi	7.57	6.54	5.70	5.02	4.46	3.98	3.58	3.24	2.95	2.69	2.47	2.27	2.10	1.95	1.81	1.69						
1.25mm Steel S320	Imposed	Single	6.66	6.18	5.76	5.39	4.92	4.12	3.48	2.96	2.54	2.19	1.90	1.65	1.44	1.26	1.11	0.98						
		Double	6.92	6.19	5.57	5.04	4.58	4.19	3.84	3.53	3.26	3.02	2.81	2.61	2.44	2.28	2.14	2.01						
		Multi	8.23	7.38	6.66	6.03	5.50	5.03	4.62	4.26	3.94	3.65	3.40	3.17	2.86	2.52	2.24	1.99						
	Suction	Single	8.42	7.27	6.35	5.59	4.96	4.44	3.99	3.62	3.29	3.01	2.76	2.54	2.29	2.06	1.85	1.68						
		Double	9.80	8.46	7.38	6.50	5.77	5.16	4.64	4.20	3.82	3.49	3.20	2.95	2.72	2.53	2.35	2.19						
		Multi	12.22	10.55	9.20	8.10	7.19	6.42	5.77	5.22	4.75	4.33	3.97	3.66	3.38	3.13	2.91	2.71						

Σχήμα 2.10 : Τύπος Χαλυβδόφυλλου

3 Δράσεις Σχεδιασμού

3.1 Μόνιμες Δράσεις

3.1.1 Ίδια βάρη

Στις μόνιμες δράσεις λαμβάνονται το ίδιο βάρος του δομικού χάλυβα με ειδικό βάρος 78.5 kN/m^3 , το ίδιο βάρος του χαλυβδόφυλλου 0.2 kN/m^2 επαυξημένο για να ληφθούν υπόψη και οι επικαλύψεις και τέλος το ίδιο βάρος της πλάκας του σκυροδέματος με ισοδύναμο πάχος $d = 30 + h_{sl,add,0} = 35 \text{ cm}$. Το ειδικό βάρος του ξηρού σκυροδέματος είναι 25 kN/m^3 , στη φάση σκυροδέτησης κατά την οποία το σκυρόδεμα είναι νωπό λαμβάνεται 26 kN/m^3 και θεωρείται ως μεταβλητή δράση με $\gamma_q = 1.5$ ώστε να ληφθεί υπόψη η δυναμική εφαρμογή του στον χαλύβδινο φορέα. Οι παραπάνω δράσεις εκτός από το ίδιο βάρος του χαλυβδόφυλλου εισάγονται αυτόματα.

3.1.2 Πρόσθετα Μόνιμα

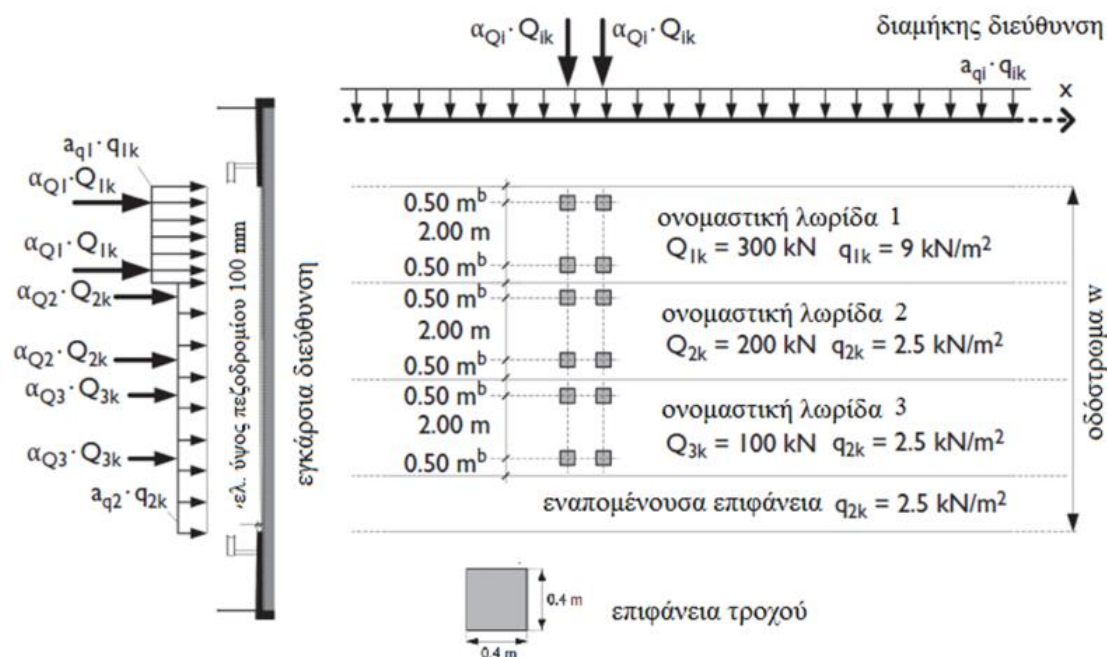
Στα πρόσθετα μόνιμα λαμβάνονται τα πεζοδρόμια πλάτους 1.5 m και πάχους 25 cm τα οποία είναι στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, ασφαλικές στρώσεις πλάτους 19.1 m πάχους 10 cm με ειδικό βάρος 24 kN/m^3 . Το βάρος των συστημάτων αναχαίτισης και διαχωριστικού οχημάτων λαμβάνεται 1.0 kN/m ενώ του κιγκλιδώματος για τους πεζούς 0.5 kN/m . Τέλος λαμβάνεται ένα πρόσθετο φορτίο εξομάλυνσης 0.5 kN/m^2 σε όλη την επιφάνεια της πλάκας.

3.2 Φορτία κυκλοφορίας

Τα φορτία κυκλοφορίας οδικών γεφυρών βασίζονται στην πρότυπη φόρτιση LMI (Load Models-LM) όπως προδιαγράφεται απ τον EN 1991-2. Η εφαρμογή αυτών των φορτίων γίνεται βάση των ονομαστικών λωρίδων κυκλοφορίας (πίνακας 3.1). Συγκεκριμένα η φόρτιση LMI αποτελείται από διαξονικά συγκεντρωμένα φορτία TS (tandem system) μεγέθους $\alpha_{Qi} \cdot Q_k$ ($\alpha_{Qi} = 0.9$) ανά άξονα και ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία UDL μεγέθους $\alpha_{qi} \cdot q_k$ ($\alpha_{qi} = 1$), (σχήμα 3.1). Λαμβάνεται επίσης οριζόντια δύναμη πέδησης επιτάχυνσης η οποία μεταφέρεται στους στύλους $Q_{lk,exp} = 0.6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}$.

Πίνακας 3.1 : Αριθμός και πλάτος ονομαστικών λωρίδων

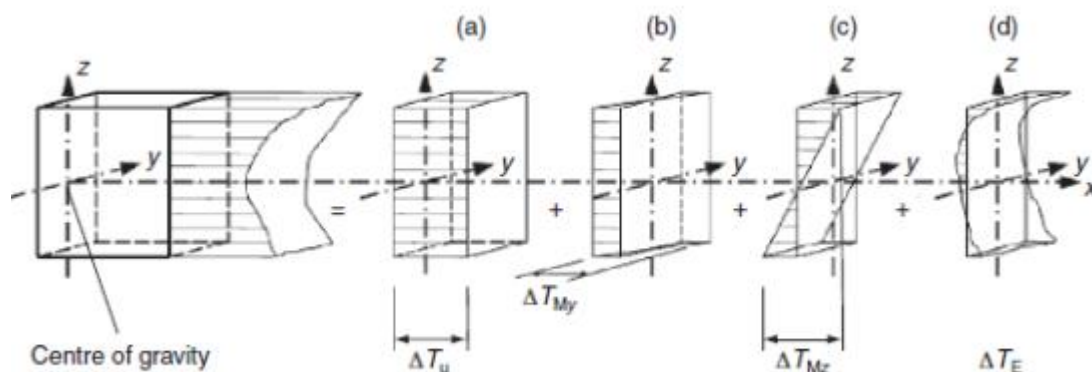
Πλάτος οδοστρώματος w	Αριθμός ονομαστικών λωρίδων	Πλάτος ονομαστικής λωρίδας w_l	Πλάτος εναπομένουσας επιφάνειας
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_l = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_l = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w -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



Σχήμα 3.1 : Χαρακτηριστικές τιμές και διάταξη οχημάτων (LMI)

3.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασιακές μεταβολές προκαλούν σημαντική ένταση σε έναν υπερστατικό φορέα ο οποίος παρεμποδίζεται να διασταλεί και να συσταλεί λόγω των συνθηκών στήριξης. Σύμφωνα με τον EN1991-1-5 οι θερμοκρασιακές μεταβολές θεωρούνται έμμεσες και κατατάσσονται στις μεταβλητές δράσεις. Ο κανονισμός αντιμετωπίζει την πραγματική θερμική δράση ως την επαλληλία 4 συνιστωσών : μια συνιστώσα ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας καθ' ύψος της διατομής (ΔT_N) , μια γραμμικώς μεταβαλλόμενη συνιστώσα καθ' ύψος της διατομής περί τον άξονα z (ΔT_{MY}) και περί τον άξονα y (ΔT_{MZ}) και τέλος μια μη γραμμικώς μεταβαλλόμενη συνιστώσα (ΔT_E) (σχήμα 3.2). Η θεώρηση θερμοκρασιακών μεταβολών (ΔT_N) και (ΔT_{MY}) μπορεί να θεωρηθεί για την πλειονότητα των γεφυρών με χαλύβδινες δοκούς τύπου "I" σύνθετης διατομής ως επαρκής.



Σχήμα 3.2 : Συνιστώσες θερμοκρασιακών μεταβολών

3.3.1 Συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας ΔT_N

Η ΔT_N εκφράζει μια καθολική αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας, που οφείλεται σε αυξομειώσεις του περιβάλλοντος. Οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα του EN1991-1-5 στην επιφάνεια της θάλασσας και θεωρώντας ότι η γέφυρα βρίσκεται στον Ελλαδικό χώρο με $T_{\max} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\min} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ και υιοθετείται μια ρεαλιστική τιμή της θερμοκρασίας της γέφυρας στη φάση μελέτης $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Επίσης για γέφυρες κατηγορίας 2 στην οποία ανήκουν οι σύμμικτες οι θερμοκρασίες της γέφυρας είναι $5 \text{ }^\circ\text{C}$ πάνω απ τη θερμοκρασία του αέρα. Άρα σύμφωνα με τα παραπάνω οι ομοιόμορφες μεταβολές προκύπτουν :

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\text{min}} = 15 - (-15) = 30 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.1)$$

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\text{max}} - T_0 = 50 - 15 = 35 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

3.3.2 Συνιστώσα θερμοκρασιακής διαφοράς ΔT_M

Η ΔT_M εκφράζει την γραμμική διαφορά μεταξύ της άνω και κάτω επιφάνειας του φορέα. Στο μοντέλο σύμφωνα με τον κανονισμό μας επιτρέπεται να εφαρμόσουμε μια ομοιόμορφη θερμοκρασιακή μεταβολή $+10$ και -10 στην πλάκα του σκυροδέματος που θα προκαλέσει την κάμψη της σύμμικτης δοκού. Η περίπτωση αυτή ενδείκνυται ειδικά στην περίπτωση μας, που η πλάκα έχει προσομοιωθεί με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία, που συνδέονται με τη χαλύβδινη διαδοκίδα.

3.3.3 Συνδυασμός $\Delta T_N, \Delta T_M$

$$\Delta T_{M,\text{heat}} \text{ (or } \Delta T_{M,\text{cool}}) + \omega_N \Delta T_{N,\text{exp}} \text{ (or } \Delta T_{N,\text{con}}) \quad \omega_N = 0.35 \quad (3.3)$$

$$\omega_M \Delta T_{M,\text{heat}} \text{ (or } \Delta T_{M,\text{cool}}) + \Delta T_{N,\text{exp}} \text{ (or } \Delta T_{N,\text{con}}) \quad \omega_M = 0.75 \quad (3.4)$$

3.4 Άνεμος

Η ανεμοφόρτιση επί της γέφυρας έγινε βάση των κανονισμών EN1991-1-4 και DIN1055-4 προκειμένου να γίνει ο ακριβής υπολογισμός των δράσεων των ανέμων στα δικτυωτά τόξα. Η δύναμη του ανέμου προσδιορίζεται ως συνάρτηση της βασικής ταχύτητας ανέμου v_b , του συντελεστή έκθεσης c_e , του συντελεστή δύναμης c_f ($C = c_e * c_f$) και της επιφάνειας αναφοράς A_{ref} *. Η πυκνότητα του αέρα λαμβάνεται $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$.

$$F_{W_{yk}} = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{\text{ref}} \text{ (kN)} \quad (3.5)$$

3.4.1 Βασική ταχύτητα ανέμου v_b

Η βασική ταχύτητα του ανέμου δίνεται απ' τη σχέση $v_b = c_{\text{dir}} * c_{\text{season}} * v_{b,0}$, επειδή οι τιμές των συντελεστών διεύθυνσης c_{dir} και c_{season} αντίστοιχα, λαμβάνονται ίσοι με 1.0, η βασική ταχύτητα ανέμου λαμβάνεται συνήθως ίση με τη θεμελιώδη. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα για οδικές γέφυρες και για απόσταση μεγαλύτερη των 10km ορίζεται 27 m/s για αφόρτιστη γέφυρα και 23 m/s για φορτισμένη. Κατά τη

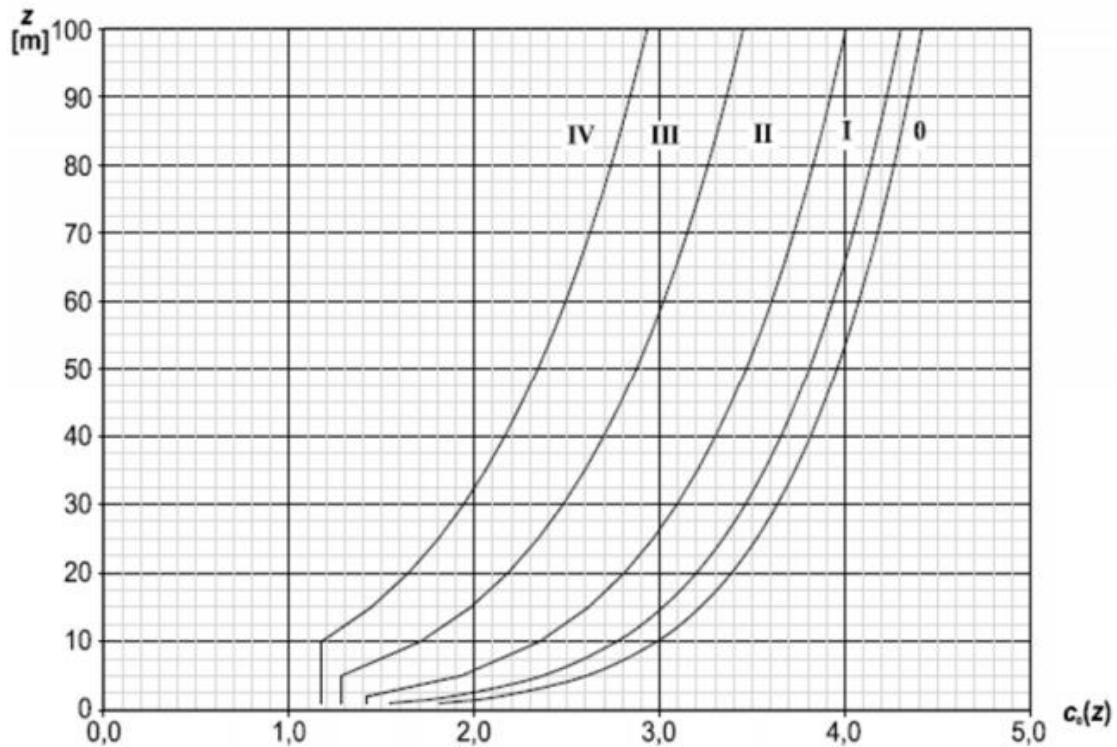
φάση κατασκευής σύμφωνα με τον EN1991-1-6 η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να ληφθεί 20 m/s.

3.4.2 Συντελεστής έκθεσης c_e

Ο συντελεστής έκθεσης c_e είναι συνάρτηση : της κατηγορίας του εδάφους οι οποίες είναι πέντε 0, I, II, III, IV οι οποίες εκφράζουν την διαφορετική τραχύτητα εδάφους, της απόστασης z μεταξύ του άξονα του καταστρώματος ή των τόξων από το έδαφος (πίνακας 3.2, σχήμα 3.3). Υπολογίζεται συντελεστής έκθεσης λαμβάνοντας κατηγορία εδάφους I και με τη χρήση του διαγράμματος (σχήμα 3.3), $c_e = 3.24$ για το κατάστρωμα θεωρώντας υψόμετρο $z=20m$ και $c_e = 4$ για τα τόξα θεωρώντας υψόμετρο το μέγιστο ύψος των τόξων $z=60m$.

Πίνακας 3.2 : κατηγορίες εδάφους

	<p>Κατηγορία εδάφους 0 Θάλασσα, παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα.</p>
	<p>Κατηγορία εδάφους I Λίμνες ή περιοχή με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια.</p>
	<p>Κατηγορία εδάφους II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων.</p>
	<p>Κατηγορία εδάφους III Περιοχή με κανονική κάλυψη από βλάστηση ή από κτίρια ή από μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (χωριά, προάστια, μόνιμα δάση).</p>
	<p>Κατηγορία εδάφους IV Περιοχή στην οποία τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.</p>



Σχήμα 3.3: Συντελεστής έκθεσης c_e

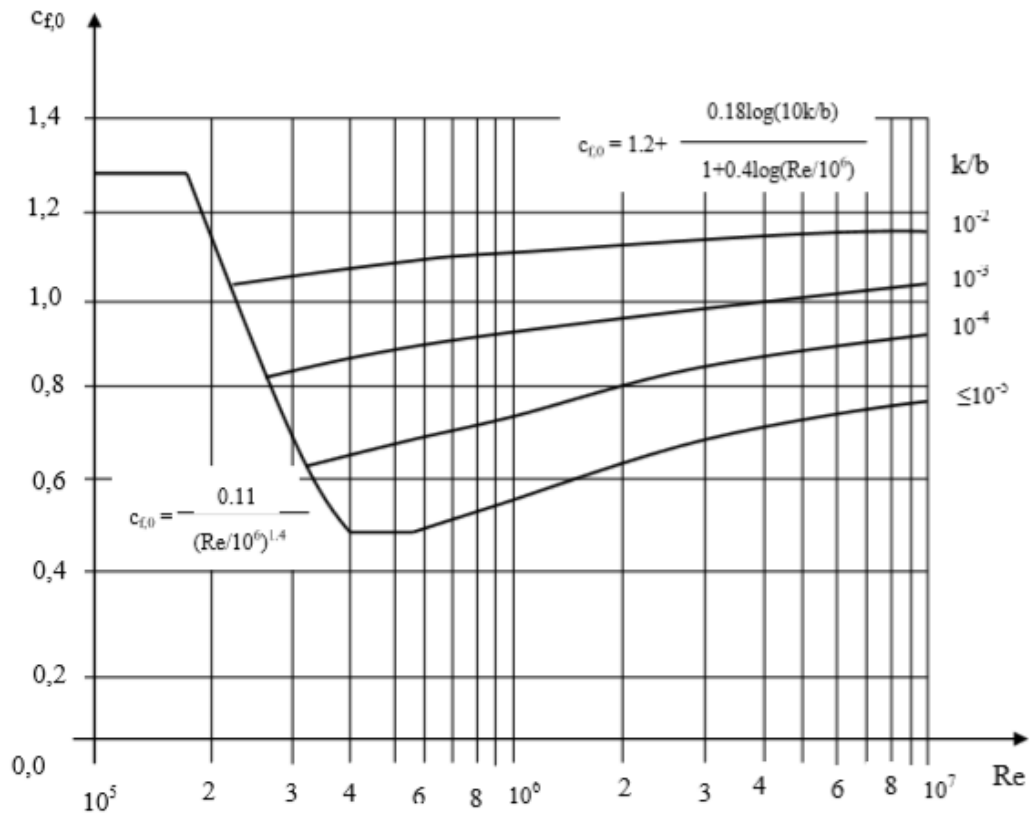
3.4.3 Συντελεστής δύναμης c_f

3.4.3.1 Συντελεστής δύναμης για το κατάστρωμα

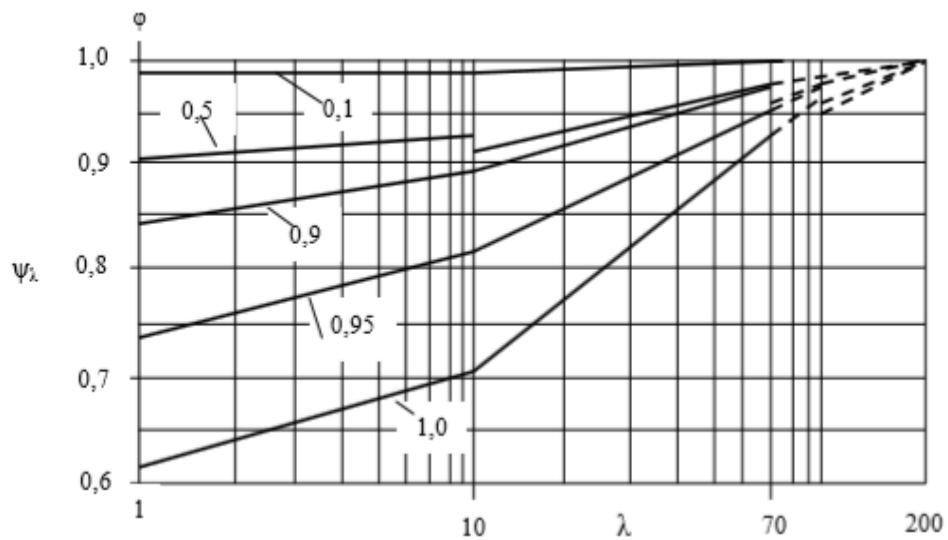
Για συνήθεις γέφυρες λαμβάνεται $c_f = 1.3$ για $b/d_{tot} \geq 4$, $b = 22.1$ m (πλάτος καταστρώματος) και $d = 1.15$ m αφόρτιστη γέφυρα, φορτισμένη γέφυρα $d_{tot} = 3.15$ m (όπου d προκύπτει απ' το πάχος της πλάκας των πεζοδρομίων και των ανοιχτών στηθαίων = +0.6m, d_{tot} περιέχει και το μέγιστο ύψος των οχημάτων +2m). Ενώ για τον κατακόρυφο άνεμο λαμβάνεται $c_f = 0.9$.

3.4.3.2 Συντελεστής δύναμης για τα τόξα

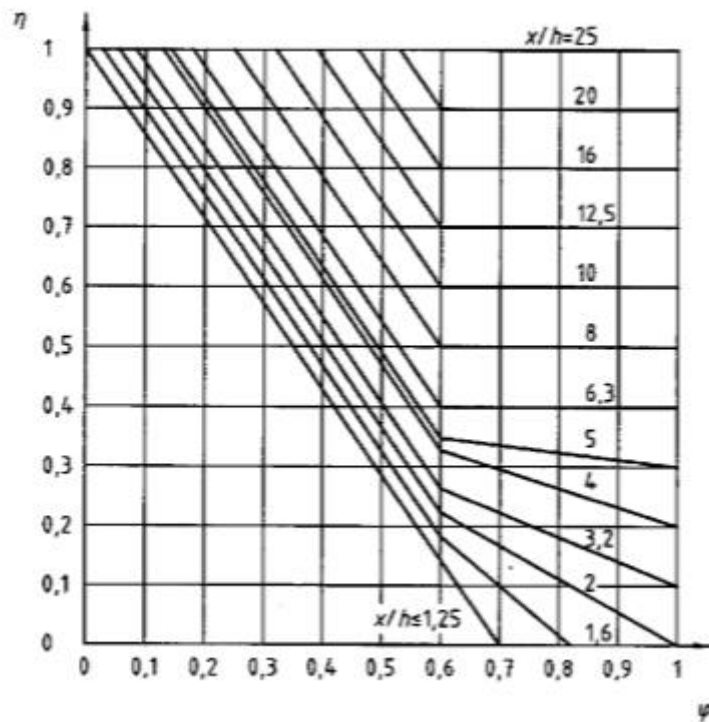
Για κοίλες κυκλικές διατομές ο συντελεστής δύναμης εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds (σχήμα 3.4) και απ' τον συντελεστή ψ_λ (συντελεστής επίδρασης άκρων σχήμα 3.5) $c_f = c_{f0} * \psi_\lambda$. Τέλος υπολογίζεται ένας συντελεστής απομείωσης του συντελεστή δύναμης λόγω φαινομένων σκίασης-διάταξης χωροδικτυωμάτων εν σειρά (σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.4 : Συντελεστής δύναμης για κυκλικούς κυλίνδρους



Σχήμα 3.5 : Συντελεστής επίδρασης άκρων ψ_λ



Σχήμα 3.6 : Συντελεστής απομείωσης λόγω σκίασης

Υπολογισμός παραμέτρων :

$$Re = \frac{b \cdot u}{\nu} = \frac{0.508 \cdot 27}{1.5 \cdot 10^{-6}} = 9.14 \cdot 10^5 \quad (3.6)$$

- $b = 0.508 \text{ m}$ (διάμετρος κυλίνδρου)
- $u = 27 \text{ m/s}$ (ταχύτητα ανέμου)
- $\nu = 1.5 \cdot 10^{-6}$ (κινηματικό ιξώδες του αέρα)

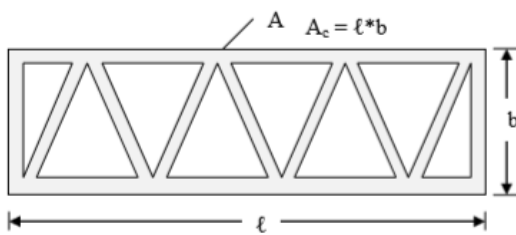
$$\frac{k}{b} = \frac{0.2}{508} = 3.94 \cdot 10^{-4} \quad (3.7)$$

- $k = 0.2 \text{ mm}$ (ισοδύναμη τραχύτητα γαλβανισμένου χάλυβα)
- $b = 508 \text{ mm}$ (διάμετρος διατομής)

$$c_{f,o} = 1.2 + \frac{0.18 \log\left(\frac{10k}{b}\right)}{1 + 0.4 \log\left(\frac{Re}{10^6}\right)} = 0.76 \quad (3.8)$$

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{409.54}{688.52} = 0.594 \quad (3.9)$$

- $A = 409.54 \text{ m}^2$ (το άθροισμα των προβολών των επιφανειών των μελών)
- $A_c = 688.52 \text{ m}^2$ (η συνολική επιφάνεια εντός του περιγράμματος και ισούται με)



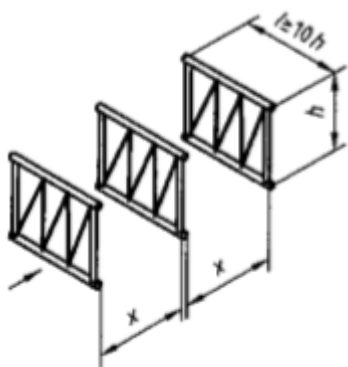
Σχήμα 3.7 : ορισμός συντελεστή πληρότητας

$\psi_\lambda = 1$ (λόγω μεγάλων λυγιρότητων τόξου λαμβάνεται 1 απ' το σχήμα 3.5)

$\eta = 0.15$ (για $x/h = 0.50$ από σχήμα 3.6)

$\eta = 0.52$ (για $x/h = 8.33$ από σχήμα 3.6)

όπου x εγκάρσια απόσταση δικτύωσης, h ύψος δικτύωσης (σχήμα 3.8)



Σχήμα 3.8 : Ορισμός παραμέτρων x, h

3.4.4 Υπολογισμός δύναμης ανέμου (Σχέση 3.5)

Κατάστρωμα Αφόρτιστη Γέφυρα

- Εγκάρσιος: $F = \frac{1}{1600} * 27^2 * 3.24 * 1.3 * 1.15 = 2.2 \text{ kN/m}$
- Κατακόρυφος: $w = \frac{1}{1600} * 27^2 * 3.24 * 0.9 = 1.33 \text{ kN/m}^2$

Κατάστρωμα Φορτισμένη Γέφυρα

- Εγκάρσιος: $F = \frac{1}{1600} * 23^2 * 3.24 * 1.3 * 3.15 = 4.38 \text{ kN/m}$
- Κατακόρυφος: $w = \frac{1}{1600} * 23^2 * 3.24 * 0.9 = 0.96 \text{ kN/m}^2$

Τόξα Αφόρτιστη Γέφυρα

- $F_1 = \frac{1}{1600} * 27^2 * 4 * 0.76 * 0.508 = 0.70 \text{ kN/m}$
- $F_2 = \frac{1}{1600} * 27^2 * 4 * (0.76 * 0.15) * 0.508 = 0.11 \text{ kN/m}$
- $F_3 = \frac{1}{1600} * 27^2 * 4 * (0.76 * 0.52) * 0.508 = 0.36 \text{ kN/m}$
- $F_4 = \frac{1}{1600} * 27^2 * 4 * (0.76 * 0.52 * 0.15) * 0.508 = 0.06 \text{ kN/m}$

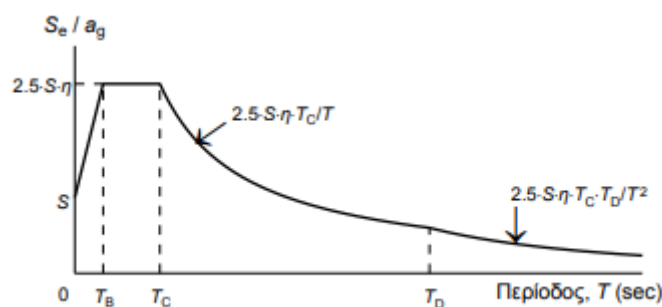
Τόξα Φορτισμένη Γέφυρα

- $F_1 = \frac{1}{1600} * 23^2 * 4 * 0.76 * 0.508 = 0.51 \text{ kN/m}$
- $F_2 = \frac{1}{1600} * 23^2 * 4 * (0.76 * 0.15) * 0.508 = 0.08 \text{ kN/m}$
- $F_3 = \frac{1}{1600} * 23^2 * 4 * (0.76 * 0.52) * 0.508 = 0.27 \text{ kN/m}$
- $F_4 = \frac{1}{1600} * 23^2 * 4 * (0.76 * 0.52 * 0.15) * 0.508 = 0.04 \text{ kN/m}$

* A_{ref} : προβολή διατομής για τα τόξα και εγκάρσια προβολή καταστρώματος για κατάστρωμα

3.5 Σεισμικές Δράσεις

Οι σεισμικές δράσεις προσδιορίζονται βάση του κανονισμού EN1998-1. Με την εφαρμογή του ελαστικού φάσματος του ευρωκώδικα υπολογίζονται οι σεισμικές δράσεις (δύο οριζόντιες και μια κατακόρυφη) στο κατάστρωμα. Το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού περιγράφεται απ' το σχήμα 3.9 και τις σχέσεις 3.10. Οι χαρακτηριστικές περιοχές του περιγράφονται απ' τις σχέσεις και τους πίνακες που ακολουθούν. Λαμβάνεται ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2, κατηγορία σπουδαιότητας I, κατηγορία εδάφους B και $\xi=2\%$ για μεταλλική κατασκευή χωρίς εφέδρανα.



Σχήμα 3.9 : Ελαστικό Φάσμα Σχεδιασμού

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0.55$$

$$Se(T) = \alpha_g * S * \left[1 + \frac{T}{T_B} * (\eta * 2.5 - 1)\right] \quad 0 \leq T \leq T_B \quad (3.10a)$$

$$Se(T) = \alpha_g * S * \eta * 2.5 \quad T_B \leq T \leq T_C \quad (3.10b)$$

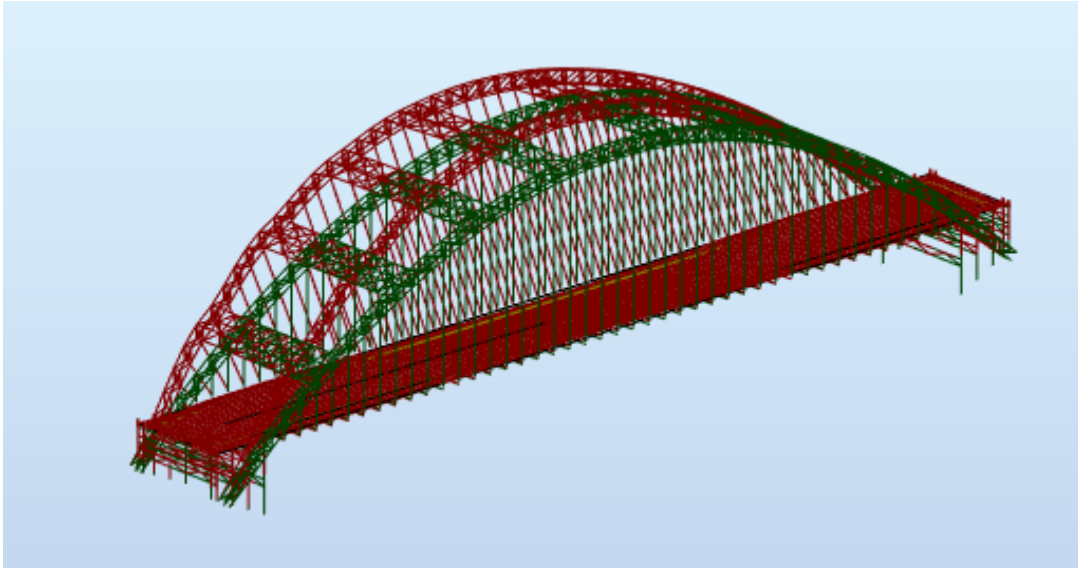
$$Se(T) = \alpha_g * S * \eta * 2.5 * \frac{T_C}{T} \quad T_C \leq T \leq T_D \quad (3.10c)$$

$$Se(T) = \alpha_g * S * \eta * 2.5 * \frac{T_C * T_D}{T} \quad T_D \leq T \leq 4 \text{sec} \quad (3.10d)$$

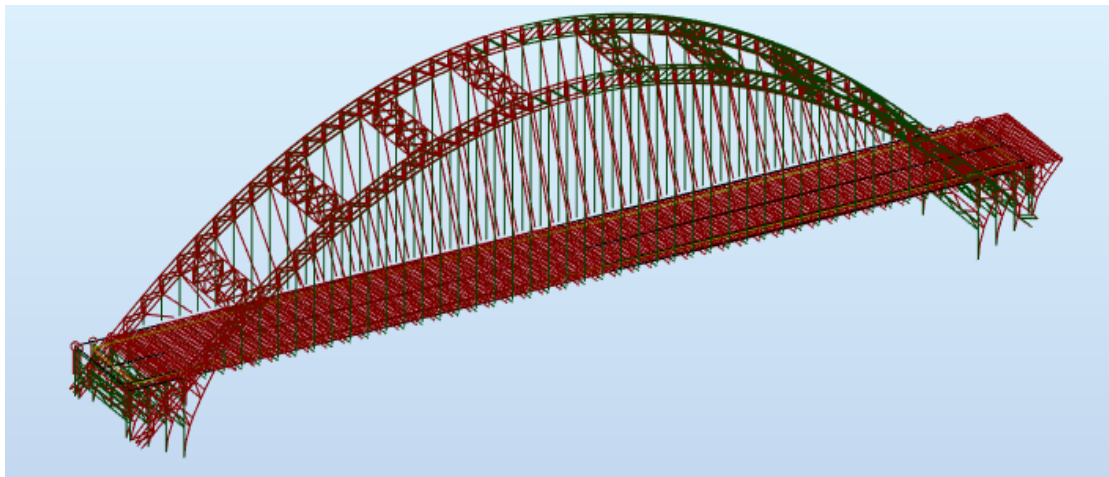
Όπου $\alpha_g = \gamma_I * \alpha_{gR}$, $\alpha_{gR} = 0.16$ για Z1, $\alpha_{gR} = 0.24$ για Z2, $\alpha_{gR} = 0.36$ για Z3

Κατηγορία Εδάφους	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)	S	Κατηγορία Σπουδαιότητας	γ_I
A	0.15	0.40	2.50	1.00	I	0.80
B	0.15	0.50	2.50	1.20	II	1.00
C	0.20	0.60	2.50	1.15	III	1.20
D	0.20	0.80	2.50	1.35	IV	1.40
E	0.15	0.50	2.50	1.40		

Απ' την ιδιομορφική ανάλυση προκειμένου να υπάρξει ικανοποιητική προσέγγιση της μάζας (σχεδόν το 90% της μάζας) που διεγείρεται λαμβάνονται 15 ιδιομορφές οι οποίες βάση του EN1998-1 συνδυάζονται με τη μέθοδο *S.R.S.S* και *C.Q.C.*. Παρουσιάζονται οι δύο πρώτες ιδιομορφές για τις οποίες η 1^η αφορά την εγκάρσια διεύθυνση και η 2^η την διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας.



Σχήμα 310a: 1^η ιδιομορφή κατά Y



Σχήμα 310b: 2^η ιδιομορφή κατά X

4 Έλεγχος σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

4.1 Συνδυασμός Φορτίσεων Ο.Κ.Α

Οι βασικοί συνδυασμοί σύμφωνα με τον EN1990 που γίνεται έλεγχος των μελών και των διατομών στην Ο.Κ.Α είναι οι ακόλουθοι (από τον κάθε βασικό συνδυασμό προκύπτουν και οι επιμέρους με δυσμενείς φορτίσεις) :

- $1.35G + 1.35Q + 1.5*0.6W_{tr}$
- $1.35G + 1.35 (0.75TS + 0.4UDL) + 1.5T$
- $1.35G + 1.35 (0.75TS + 0.4UDL) + 1.5W_{tr}$
- $1.35G + 1.5W$
- $1.0G + 1.0A_{ED} + 0.2Q_{UDL} + 0.5T$ (σεισμικός συνδυασμός ο.κ.α)

G : ίδιο βάρος και πρόσθετα μόνιμα φορτία κατασκευής

Q : φορτία κυκλοφορίας με UDL ομοιόμορφα φορτία και TS βαριά οχήματα

T : δράσεις θερμοκρασίας οι οποίες εισάγονται με τους συνδυασμούς όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3.3.3

W : φορτία ανέμου σε αφόρτιστη γέφυρα

W_{tr} : φορτία ανέμου σε φορτισμένη γέφυρα

A_{ED} : σεισμικές δράσεις όπου προκύπτουν δύο περιπτώσεις με $A_{ED}=0.3A_{EDx}+1.0A_{EDy}$ και $A_{ED}=1.0A_{EDx}+0.3A_{EDy}$

4.2 Διαστασιολόγηση Διαδοκίδας

Το συνεργαζόμενο Πλάτος της σύμμικτης διατομής υπολογίζεται σύμφωνα με τον EN1994-1. Υπολογίζονται τα αδρανειακά της σύμμικτης διατομής καθώς και κάθε διατομής ξεχωριστά. Επίσης γίνεται η παρουσίαση των τάσεων για τον έλεγχο της διατομής σε κάμψη σε δυο φάσεις, την πρώτη φάση όπου η διαδοκίδα αναλαμβάνει τα ίδια βάρη χωρίς υποστήριξη (Σχήμα 4.1) και την φάση λειτουργίας όπου έχουμε την συνεργασία των δύο διατομών (Σχήμα 4.2, 4.3). Τέλος ελέγχεται η διαδοκίδα σε διάτμηση (Σχήμα 4.4 , 4.5). Ο δυσμενέστερος συνδυασμός για τη διαδοκίδα είναι ο $1.35G + 1.35Q + 1.5*0.6W_{tr}$ με δυσμενείς φορτίσεις στο άνοιγμα (έλεγχος σε κάμψη) και στο άκρο της διαδοκίδας (έλεγχος σε διάτμηση).

$$\bullet \quad b_{ei} = \frac{Le}{8} = \frac{25}{8} = 3.125\text{m} > b_i = 2\text{m} \quad (4.1)$$

$$\bullet \quad b_{eff} = b_0 + 2 b_{ei} = 0 + 2*2 = 4\text{m} \quad (4.2)$$

$b_0 = 0$ στη φάση προδιαστασιολόγησης

Le = απόσταση σημείου μηδενισμού των ροπών

b_i = απόσταση μεταξύ των μέσων παραλλήλων κορμών

Κατηγορία διατομής : κορμός $c/t = 100/2 < 72*0.81$ κατηγορία 1 (για τμήμα που υπόκειται σε κάμψη), άνω πέλμα $c/t = 24/3 < 10*0.81$ κατηγορία 2 άρα η διατομή κατατάσσεται σε κατηγορία 2. Άλλωστε γίνεται έλεγχος τάσεων στη διατομή.

Χαλύβδινη διατομή : $A_a = 590\text{cm}^2$, $I_a = 1175574.6\text{cm}^4$, $z_a = 61.06\text{cm}$, $W_{au} = 25590\text{cm}^3$, $W_{ao} = 19253\text{cm}^3$

Πλάκα σκυροδέματος : $A_c = 12000\text{cm}^2$, $I_c = 900000\text{cm}^4$, $z_c = 15\text{cm}$

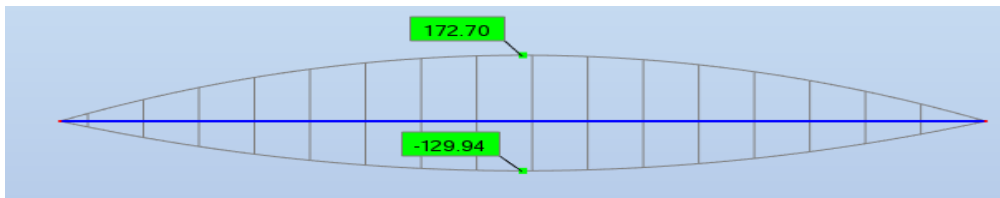
Σύμμικτη διατομή : $\eta = 210/33$ 6.36

$$\bullet \quad A_e = A_a + A_c/\eta = 590 + 12000/6.36 = 2476.8\text{ cm}^2 \quad (4.3)$$

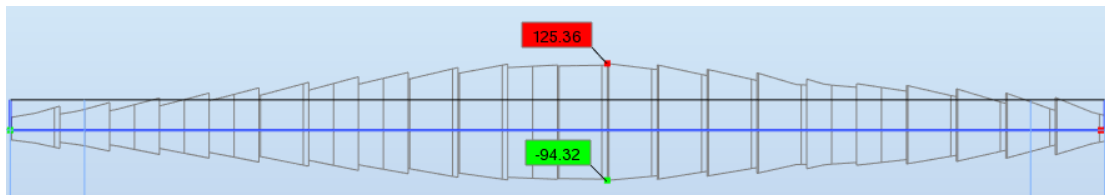
$$\bullet \quad z_e = (A_a \cdot z_a + A_c \cdot z_c/\eta)/A_e = 33.12\text{ cm} \quad (4.4)$$

$$\bullet \quad I_e = I_a + A_a(z_a - z_e)^2 + \frac{I_c}{\eta} + \frac{A_c}{\eta}(z_c - z_e)^2 = 3917240\text{ cm}^4 \quad (4.5)$$

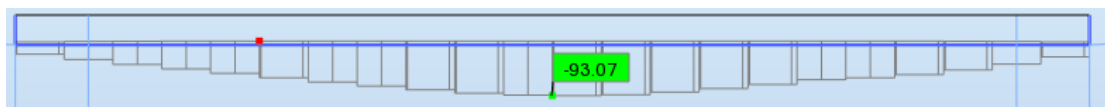
Έλεγχος σε ορθές τάσεις :



Σχήμα 4.1 : Τάσεις στη χαλύβδινη διατομή πρώτη φάση μόνο από 1.35G



Σχήμα 4.2 : Καμπτικές τάσεις στη σύμμικτη διατομή 1.35G' + 1.35Q + 1.5*0.6W



Σχήμα 4.3: Αξονικές τάσεις στη σύμμικτη διατομή 1.35G' + 1.35Q + 1.5*0.6W

Έλεγχος χαλύβδινης διατομής 1η φάση:

$$\sigma_o = 172.70\text{ MPa} < f_{yd} = 355\text{ MPa} \quad (4.6a)$$

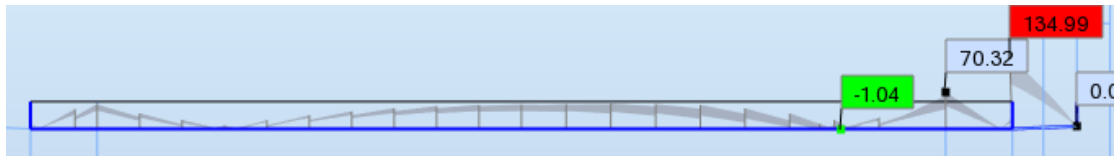
$$\sigma_u = 129.94\text{ MPa} < f_{yd} = 355\text{ MPa} \quad (4.6b)$$

Έλεγχος σύμμικτης διατομής 2η φάση:

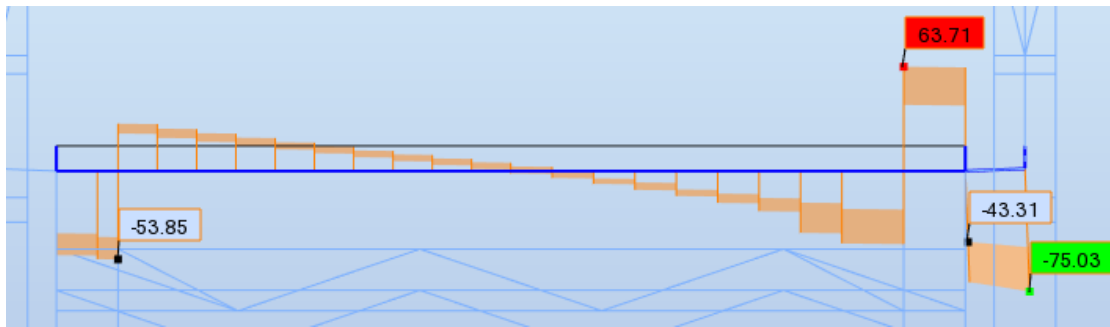
$$\sigma_o = 172.70 + 125 - 93.07 = 204.99\text{ MPa} < f_{yd} = 355\text{ MPa} \quad (4.6c)$$

$$\sigma_u = 129.94 + 94.32 + 93.07 = 317.26\text{ MPa} < f_{yd} = 355\text{ MPa} \quad (4.6d)$$

Έλεγχος διαδοκίδας σε διάτμηση :



Σχήμα 4.4 : Ορθές τάσεις που προκύπτουν για μέγιστες διατμητικές τάσεις



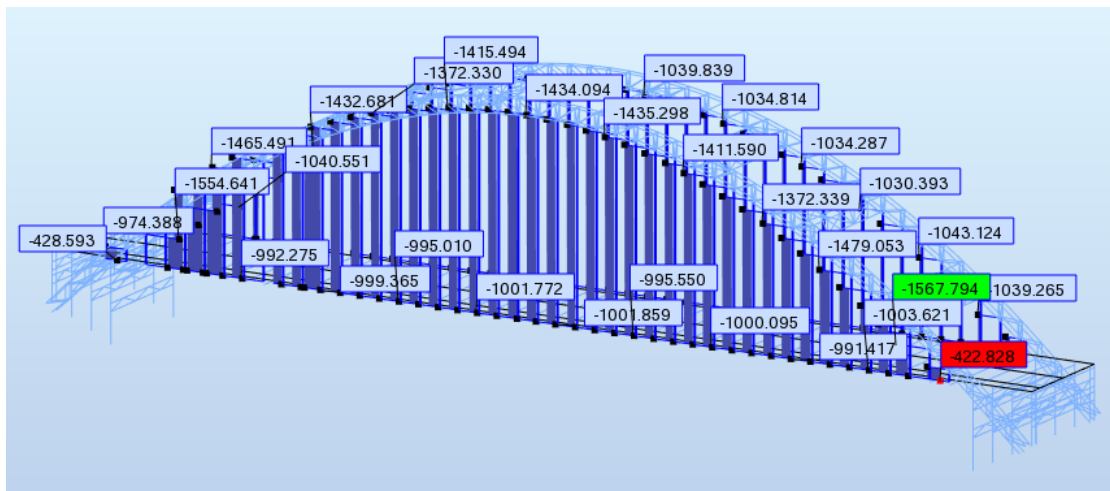
Σχήμα 4.5 : Μέγιστες διατμητικές τάσεις $1.35G + 1.35Q + 1.5 \cdot 0.6W$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} / (f_y / g_{m0}) = 0.50 < 1 \quad (4.7)$$

$f_y = 355 \text{ MPa}$, $g_{m0} = 1$ σύμφωνα με τον EN1993-1

4.3 Διαστασιολόγηση Αναρτήρων

Οι αναρτήρες προσομοιώθηκαν ως cable elements που μπορούν να παραλάβουν μόνο αξονικό εφελκυσμό. Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζονται οι δυσμενέστερες δράσεις. Ο δυσμενέστερος συνδυασμός που προκύπτει είναι με κύρια τα φορτία κυκλοφορίας τοποθετημένα στην άκρη ώστε να προκαλούν τις μέγιστες δράσεις. Ο προσδιορισμός της αντοχής τους έγινε με βάση τους πίνακες κατασκευαστών.




Σχήμα 4.6 : δράσεις αναρτήρων

$$\text{Έλεγχος } N_{Ed} = 1567.8 \text{ kN} < N_{Rd} = 3882 \text{ kN} \quad (4.8)$$

4.4 Διαστασιολόγηση Κοίλων Κυκλικών Διατομών

Οι παράμετροι για τον έλεγχο των μελών και των διατομών έγινε σύμφωνα με τον EN1993-1-1. Ακολουθούν τα σχήματα 4.7 που παρουσιάζονται αναλυτικά:

Σωληνωτές διατομές						
						
Κατηγορία	Διατομή σε κάμψη και/ή θλίψη					
1	$d/t \leq 50 \cdot \epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70 \cdot \epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90 \cdot \epsilon^2$					
ΣΗΜΕΙΩΣΗ Για $d/t > 90 \cdot \epsilon^2$ βλέπε EN 1993-1-6.						
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Σχήμα 4.7a : Κατάταξη διατομών

Ελάσματα χωρίς σπές κοχλιών:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2 \right]$$

Διατομές διπλής συμμετρίας σχήματος I και H, ή άλλες διατομές με πέλματα:

$$\text{Αν } N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} \text{ και } N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \text{ (δε χρειάζεται απομείωση)}$$

$$\text{Αν } N_{Ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \text{ (δε χρειάζεται απομείωση)}$$

όπου $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$ και $a = \min\{(A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A ; 0,5\}$

$$M_{N,y,Rd} = \min\{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a) ; M_{pl,y,Rd}\}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \frac{(n - a)^2}{1 - a} \right] \text{ για } n > a \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \text{ για } n \leq a$$

Ορθογωνικές διατομές, ελατές ή συγκολλητές:

$a_w = \min\{(A - 2 \cdot b \cdot t) / A ; 0,5\}$ $a_f = \min\{(A - 2 \cdot h \cdot t) / A ; 0,5\}$	για κοίλες διατομές
$a_w = \min\{(A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A ; 0,5\}$ $a_f = \min\{(A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A ; 0,5\}$	για συγκολλητές κιβωτοειδείς διατομές με ίσα πέλματα και ίσους κορμούς

$$M_{N,y,Rd} = \min\{M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_w) ; M_{pl,y,Rd}\}$$

$$M_{N,z,Rd} = \min\{M_{pl,z,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_f) ; M_{pl,z,Rd}\}$$

Διαξονική κάμψη:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$


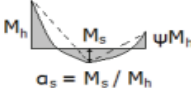
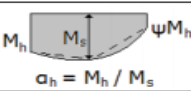
- I και H διατομές: $\alpha = 2 \quad \beta = \max\{5 \cdot n ; 1\}$
- Κοίλες κυκλικές διατομές: $\alpha = 2 \quad \beta = 2$
- Κοίλες ορθογωνικές διατομές: $\alpha = \beta = \min\{1,66 / (1 - 1,13 \cdot n^2) ; 6\}$
- Συμπαγείς ορθογωνικές διατομές και ελάσματα: $\alpha = \beta = 1,73 + 1,8 \cdot n^3$
- Συντηρητικά μπορεί να ληφθεί: $\alpha = \beta = 1$

Σχήμα 4.7b : Έλεγχος επάρκειας διατομών

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{Y_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{Y_{M1}}} \leq 1,0$$

Σχήμα 4.7c : Έλεγχος μελών (όπου $g_{M1} = 1.1$)

Διάγραμμα ροής	Περιοχή	C_{my} και C_{mz} και C_{mLT}	
		Ομοιόμορφο φορτίο	Συγκεντρωμένο φορτίο
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \cdot (1 + 2 \cdot \psi)$
Για μέλη με λυγισμό από μετάθεση ο συντελεστής ισοδύναμης ομοιόμορφης ροής πρέπει να λαμβάνεται $C_{my} = 0,9$ ή $C_{mz} = 0,9$ αντίστοιχα.			
Τα C_{my} , C_{mz} και C_{mLT} πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με το διάγραμμα ροών μεταξύ των αντίστοιχων πλευρικά στηριζόμενων σημείων ως εξής:			
συντελεστής ροής	άξονας κάμψης	σημεία εξασφαλιζόμενα κατά τη διεύθυνση	
C_{my}	y-y	z-z	
C_{mz}	z-z	y-y	
C_{mLT}	y-y	y-y	

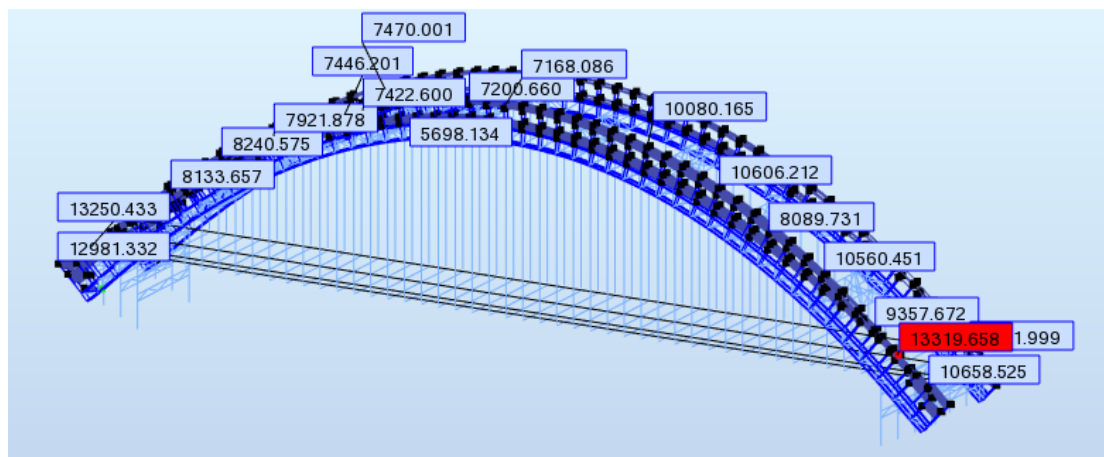
Σχήμα 4.7d : Υπολογισμός παραμέτρων

Συντελεστής αλληλεπίδρασης	Τύπος διατομών	Παραδοχή σχεδιασμού	
		ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
k_{yy}	διατομές I και RHS	$C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
k_{yz}	διατομές I και RHS	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	διατομές I και RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	διατομές I	$C_{mz} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
	διατομές RHS		$C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
Για διατομές I και H και ορθγωνικές κοίλες διατομές με αξονική θλίψη και μονοαξονική κάμψη $M_{y,Ed}$ ο συντελεστής k_{zy} μπορεί να είναι $k_{zy} = 0$.			

Σχήμα 4.7e : Υπολογισμός παραμέτρων

4.4.1 Διαστασιολόγηση Τόξων

Γίνεται έλεγχος των μελών των τόξων ως μέλη με μήκος λυγισμού όσο το μήκος που γίνεται η δικτύωση και έλεγχος της διατομής σύμφωνα με τον EN1993-1-1. Στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η περιβάλλουσα των αξονικών δυνάμεων που ασκούνται στα τόξα και ο δυσμενέστερος έλεγχος για κάθε μέλος. Ο δυσμενέστερος συνδυασμός που προκύπτει είναι με κύρια τα φορτία κυκλοφορίας τοποθετημένα στην άκρη ώστε να προκαλούν τις μέγιστες δράσεις και συνδυασμό με συντελεστή $\psi = 0.6$ ο άνεμος "1.35G+1.35Q+1.5*0.6W".



Σχήμα 4.8 : Περιβάλλουσα αξονικών

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 508_x32

Έλεγχος διατομής:

$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = 0.62 < 1.00 \quad (4.9a)$$

Έλεγχος μέλους:

$$\frac{N_{ed}}{\frac{X_{y^*} N_{Rk}}{g_{m1}}} + k_{yy} * \frac{M_{yEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{y,Rk}}{g_{m1}}} + k_{yz} * \frac{M_{zEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{z,Rk}}{g_{m1}}} = 0.77 < 1.00 \quad (4.9b)$$

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 508_x40

Έλεγχος διατομής:

$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = 0.53 < 1.00 \quad (4.9c)$$

Έλεγχος μέλους:

$$\frac{N_{ed}}{\frac{X_{y^*} N_{Rk}}{g_{m1}}} + k_{zy} * \frac{M_{yEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{y,Rk}}{g_{m1}}} + k_{zz} * \frac{M_{zEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{z,Rk}}{g_{m1}}} = 0.66 < 1.00 \quad (4.9d)$$

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 508_x50

Έλεγχος διατομής:

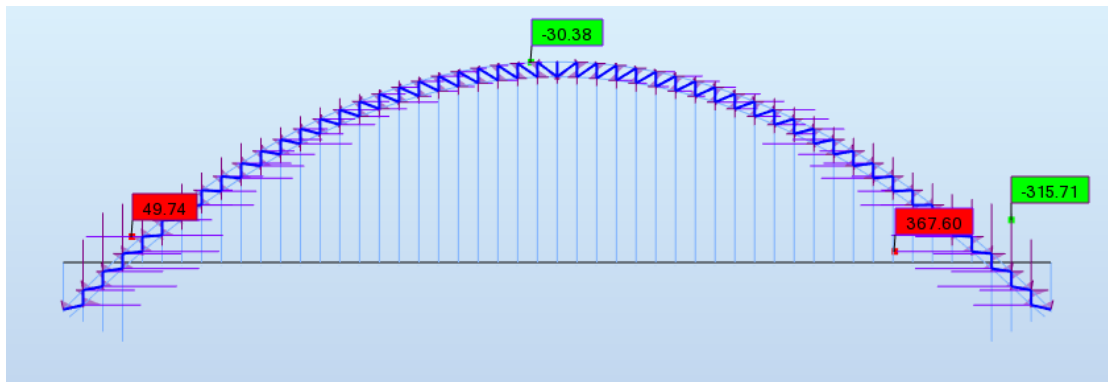
$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = 0.55 < 1. \quad (4.9e)$$

Έλεγχος μέλους:

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_{\gamma} * N_{Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma\gamma} * \frac{M_{yEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{y,Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma z} * \frac{M_{zEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{z,Rk}}{g_{m1}}} = 0.69 < 1.00 \quad (4.9f)$$

4.4.2 Διαστασιολόγηση Δικτυώσεων

Όμοια όπως και τα τόξα γίνεται η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος των δικτυώσεων. Στο σχήμα 4.9 παρουσιάζονται οι μέγιστες δράσεις που αναπτύσσονται οι οποίες είναι οι M_y και M_z . Ο δυσμενέστερος συνδυασμός ο οποίος προκύπτει είναι ο σεισμικός συνδυασμός με μέγιστη τη δράση του σεισμού στην εγκάρσια διεύθυνση “1.0G + 1.0A_{ED} + 0.2Q_{UDL} + 0.5T”.



Σχήμα 4.9 : Περιβάλλουσα ροπών

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 355.6x20

Έλεγχος διατομής:

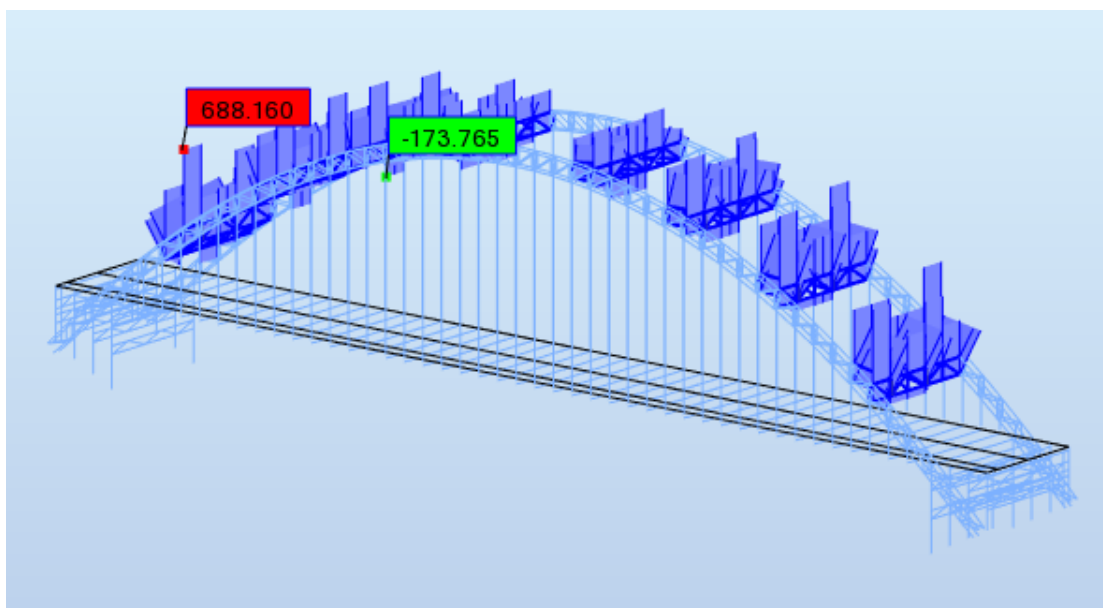
$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N z,Rd}}\right)^2 = 0.35 < 1.00 \quad (4.10a)$$

Έλεγχος μέλους:

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_{\gamma} * N_{Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma\gamma} * \frac{M_{yEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{y,Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma z} * \frac{M_{zEd,max}}{\frac{X_{LT} * M_{z,Rk}}{g_{m1}}} = 0.75 < 1.00 \quad (4.10b)$$

4.4.3 Διαστασιολόγηση αντιανέμων δικτυωμάτων

Τα αντιανέμια δικτυώματα συνεισφέροντας με την δυσκαμψία τους στην εγκάρσια διεύθυνση βοηθούν ώστε να παραληφθούν ομαλά οι δράσεις του ανέμου απ' τα τόξα αλλά και του σεισμού στην εγκάρσια διεύθυνση. Επίσης συμβάλουν στην προστασία έναντι καθολικού λυγισμού των τόξων. Παρουσιάζονται οι μέγιστες αξονικές στο σχήμα 4.10 και ο δυσμενέστερος έλεγχος προκύπτει απ' τον σεισμικό συνδυασμό με μέγιστη τη δράση του σεισμού στην εγκάρσια διεύθυνση “1.0G + 1.0A_{ED} + 0.2Q_{UDL} + 0.5T”.



Σχήμα 4.10 : Περιβάλλουσα αξονικών

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 273x20

Έλεγχος διατομής:

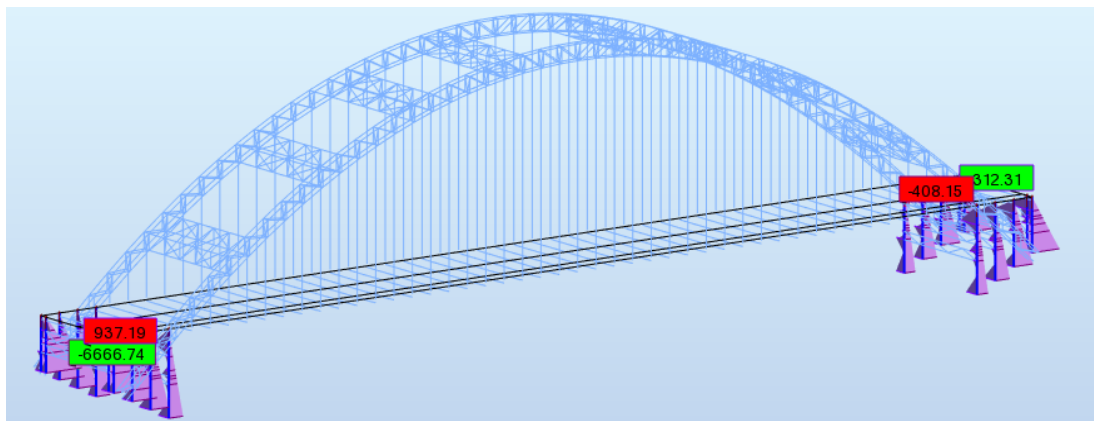
$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = 0.12 < 1.00 \quad (4.11a)$$

Έλεγχος μέλους:

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi\gamma^*NRk}{gm1}} + k_{yy} * \frac{My_{Ed,max}}{\frac{XLT*My,Rk}{gm1}} + k_{yz} * \frac{Mz_{Ed,max}}{\frac{XLT*Mz,Rk}{gm1}} = 0.31 < 1 \quad (4.11b)$$

4.4.4 Διαστασιολόγηση Στύλων

Οι μεταλλικοί στύλοι συνεισφέρουν με την δυσκαμψία τους στην παραλαβή του σεισμού κυρίως κατά τη διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας. Ακολουθεί σχήμα 4.11 με τις μέγιστες ροπές που προκύπτουν απ τον σεισμικό συνδυασμό “1.0G + 1.0A_{ED} + 0.2Q_{UDL} + 0.5T” με κύρια τη σεισμική δράση στη διαμήκη διεύθυνση.



Σχήμα 4.11 : Περιβάλλουσα ροπών

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 762x40

Έλεγχος διατομής:

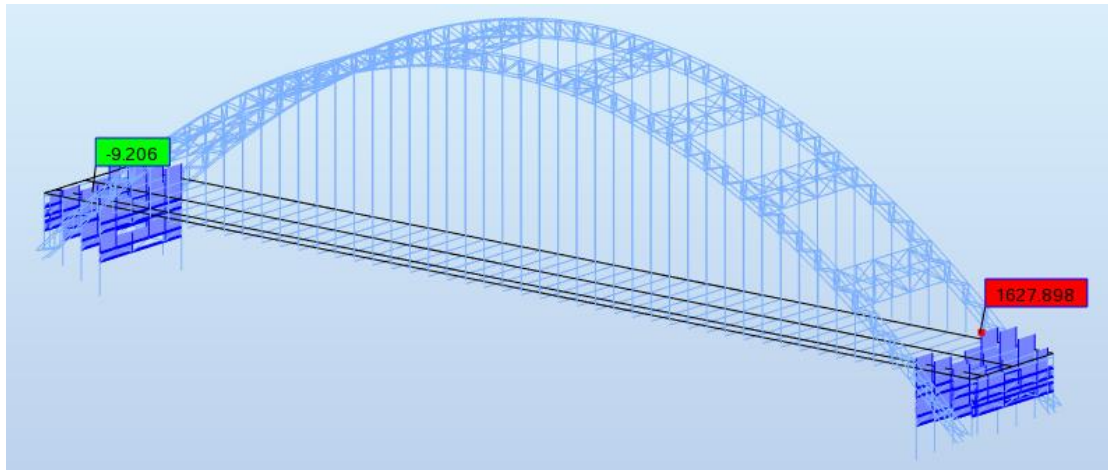
$$\left(\frac{My,Ed}{MNy,Rd}\right)^2 + \left(\frac{Mz,Ed}{MNz,Rd}\right)^2 = 0.06 < 1.00 \quad (4.12a)$$

Έλεγχος μέλους:

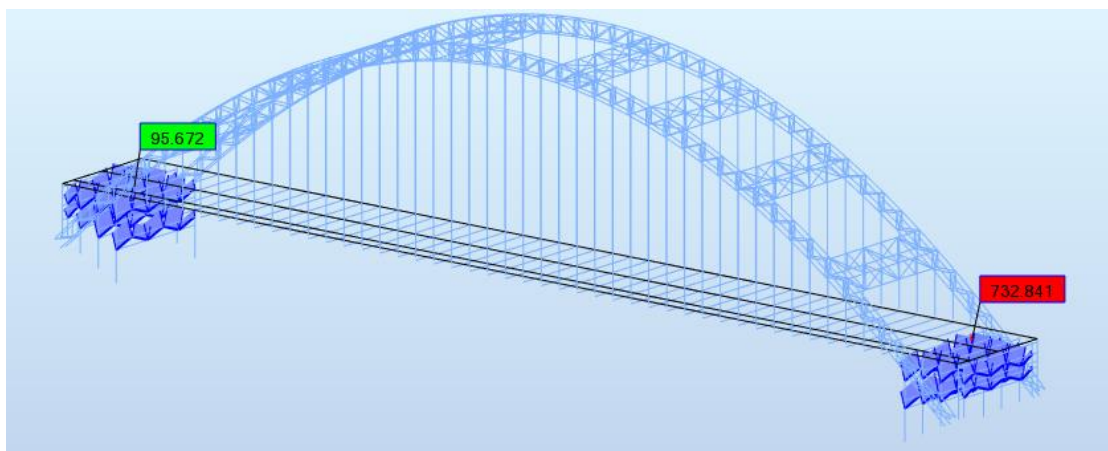
$$\frac{Ned}{\chi_y \cdot N R k} + k_{yy} \cdot \frac{MyEd,max}{\chi_{LT} \cdot My,Rk} + k_{yz} \cdot \frac{MzEd,max}{\chi_{LT} \cdot Mz,Rk} = 0.88 < 1 \quad (4.12b)$$

4.4.5 Διαστασιολόγηση Δικτύωσης Στύλων

Γίνονται δικτύωσεις μεταξύ των στύλων οι οποίοι προσφέρουν συνεργασία μεταξύ των στύλων για την παραλαβή του σεισμού στην εγκάρσια διεύθυνση. Στα σχήματα 4.12 και 4.13 που ακολουθούν φαίνονται οι περιβάλλουσες των αξονικών των πελμάτων της δικτύωσης και της δικτύωσης αντίστοιχα. Ο δυσμενέστερος συνδυασμός είναι ο “1.0G + 1.0A_{ED} + 0.2Q_{UDL} + 0.5T” με το κύριο το σεισμό στην εγκάρσια διεύθυνση.



Σχήμα 4.12 : Περιβάλλουσα αξονικών πελμάτων



Σχήμα 4.13 : Περιβάλλουσα αξονικών δικτύσεων

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 457x40

Έλεγχος διατομής :

$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = 0.10 < 1.00 \quad (4.13a)$$

Έλεγχος μέλους:

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_{\gamma} \cdot N_{Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma\gamma} \cdot \frac{M_{yEd,max}}{\frac{X_{LT} \cdot M_{\gamma,Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma z} \cdot \frac{M_{zEd,max}}{\frac{X_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{g_{m1}}} = 0.51 < 1.00 \quad (4.13b)$$

- Έλεγχος δυσμενέστερης διατομής CHS 273x20

Έλεγχος διατομής :

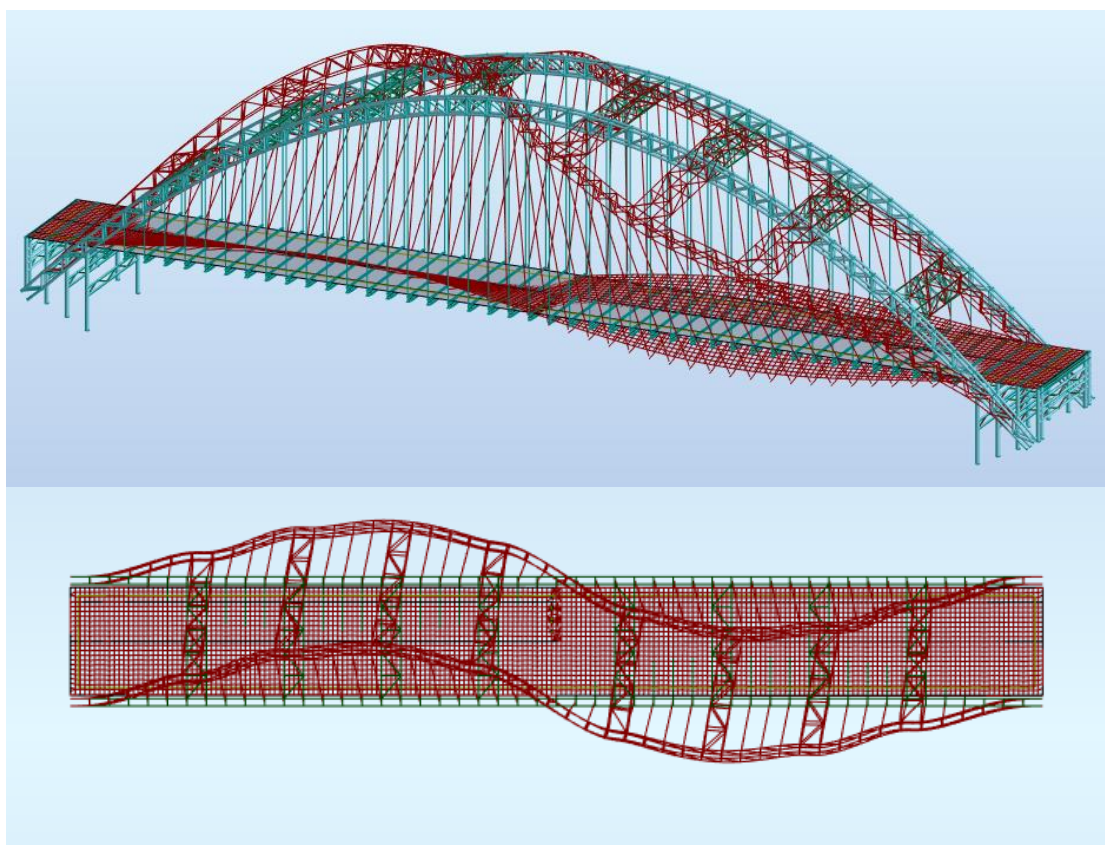
$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = 0.13 < 1.00 \quad (4.13c)$$

Έλεγχος μέλους:

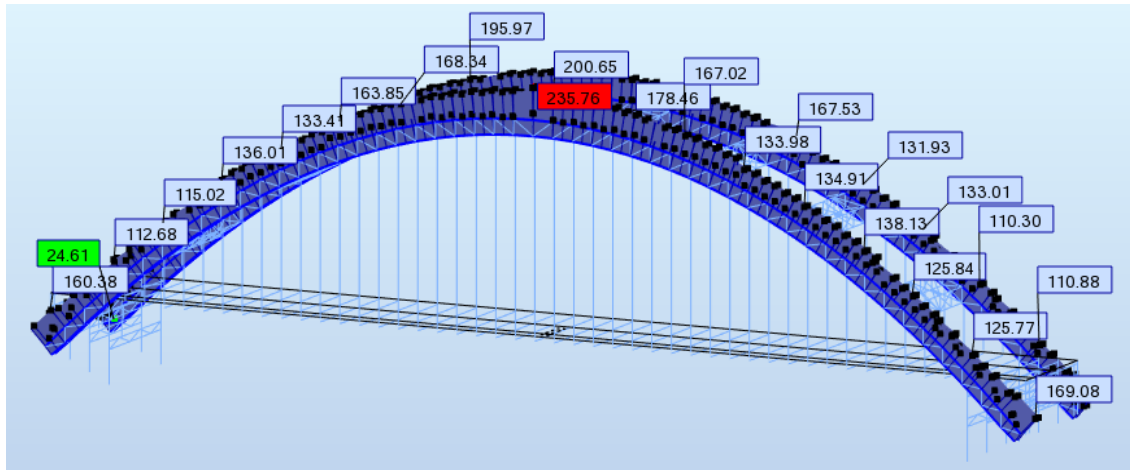
$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_{\gamma} \cdot N_{Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma\gamma} \cdot \frac{M_{yEd,max}}{\frac{X_{LT} \cdot M_{\gamma,Rk}}{g_{m1}}} + k_{\gamma z} \cdot \frac{M_{zEd,max}}{\frac{X_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{g_{m1}}} = 0.22 < 1 \quad (4.13d)$$

4.5 Καθολικός Λυγισμός Φορέα

Έχοντας κάνει έλεγχο των μελών του τόξου ξεχωριστά πρέπει να ελέγξουμε και τον καθολικό λυγισμό των τόξων. Εφαρμόζεται η Γενική Μέθοδος σύμφωνα με τον EN1993, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο για φόρτιση εντός επιπέδου (ίδιων βαρών και φορτίων κυκλοφορίας). Στο τρισδιάστατο αναλυτικό μοντέλο εκτελείται γραμμική ανάλυση λυγισμού για φόρτιση εντός επιπέδου προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αστάθειας εκτός επιπέδου. Έτσι απ' τη γραμμική ανάλυση λυγισμού λαμβάνεται ο κρίσιμος συντελεστής a_{crit} που προκύπτει απ την πρώτη ιδιομορφή λυγισμού. Λαμβάνονται επίσης βάση του EN1993 γεωμετρικές ατέλειες $\alpha = 0.49$ που προκύπτουν για καμπύλη λυγισμού $\ll c \gg$. Παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.14 η 1^η ιδιομορφή με τοποθέτηση μέγιστων κινητών φορτίων στην άκρη ώστε να προκαλείται μέγιστη φόρτιση στα τόξα, επίσης στο Σχήμα 4.15 παρουσιάζονται οι τάσεις στα τόξα για αυτό το συνδυασμό.



Σχήμα 4.14 : 1^η ιδιομορφή λυγισμού



Σχήμα 4.15 : Περιβάλλουσα Τάσεων

Ακολουθούν οι σχέσεις υπολογισμού παραμέτρων για τον έλεγχο :

$$a_{crit} = 3.25 \quad (4.14a)$$

$$a_{ult} = \frac{fyd}{smax} = 1.51 \quad (4.14b)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{a_{ult}}{a_{crit}}} = 0.68 \quad (4.14c)$$

$$\Phi = 0.5 * [1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 0.848 \quad (4.14d)$$

$$X = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0.74 \quad (4.14e)$$

Όπου:

a_{crit} : είναι ο μεγεθυντικός συντελεστής των φορτίων που δίνουν την 1^η ιδιομορφή
 a_{ult} : είναι ο μεγεθυντικός συντελεστής για τον οποίο η κρίσιμη διατομή φτάνει την αντοχή της.

λ : είναι η ανοιγμένη λυγηρότητα του συστήματος

Φ : είναι συντελεστής υπολογισμού του μειωτικού συντελεστή λυγισμού “x”

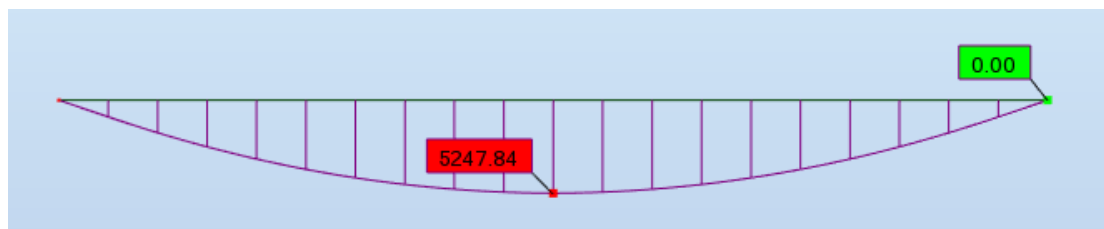
X : είναι ο μειωτικός συντελεστής λυγισμού

Ο έλεγχος λυγισμού γίνεται με τη σχέση:
$$\frac{X * a_{ult}}{1.1} = 1.02 \geq 1 \quad (4.15)$$

4.6 Στρεπτοκαμπτικός Λυγισμός Διαδοκίδας

Οι διαδοκίδες είναι τα μόνα μέλη που είναι εκτεθειμένα σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό. Αυτό όμως συμβαίνει μόνο κατά τη φάση κατασκευής γιατί στη φάση λειτουργίας της γέφυρας η διατομή λειτουργεί ως σύμμικτη δοκός όπου παρεμποδίζεται ο πλευρικός λυγισμός. Στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζεται η μέγιστη ροπή στο άνοιγμα τις διαδοκίδας απ τα φορτία σκυροδέτησης και στη Σχέση 4.16 ακολουθεί ο έλεγχος . Λαμβάνονται υπόψη οι εξής φορτίσεις κατά τη φάση κατασκευής :

- Ίδιο βάρος διαδοκίδας
- Χαλυβδόφυλλα 0.2 kN/m^2
- Νωπό Σκυρόδεμα 26 kN/m^3 (λαμβάνεται με συντελεστή $\gamma = 1.5$)
- Κατασκευαστικό Φορτίο 0.75 kN/m^2 και $0.75*3*3 = 6.75 \text{ kN}$



Σχήμα 4.16 : Μέγιστη Ροπή

Παράμετροι Διατομής

$$A_x = 590.00 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 1175574.59 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 103316.67 \text{ cm}^4$$

$$W_{ely} = 19252.99 \text{ cm}^3$$

Παράμετροι ελέγχου σε Στρεπτοκαμπτικό λυγισμό σύμφωνα με τον EN1993-1-1:

$$\text{Κρίσιμη ροπή λυγισμού } M_{cr} = 1942.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Καμπύλη λυγισμού - d

$$\text{Κρίσιμο μήκος λυγισμού } L_{cr,upp} = 25.00 \text{ m}$$

$$\text{Ανοιγμένη λυγιρότητα } \lambda_{LT} = 1.88$$

$$\text{Συντελεστής υπολογισμού } \chi_{LT} \Phi_{LT} = 2.38$$

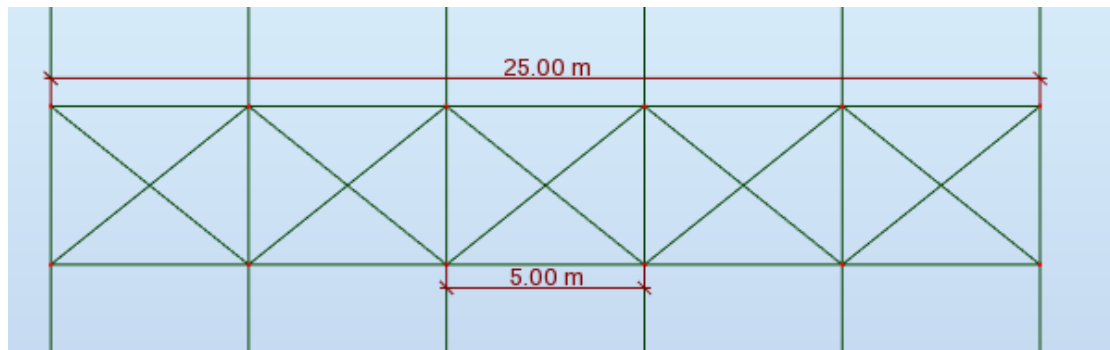
$$\text{Μειωτικός συντελεστής } \chi_{LT} = 0.24$$

Έλεγχος Μέλους:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot f_y \cdot W_y}{\gamma_{m1}} = 1491.2 \text{ kNm} < M_{Ed} = 5247.84 \text{ kNm} \quad (4.16)$$

Άρα δεν επαρκεί το μέλος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό για αυτό τοποθετούνται σύνδεσμοι Χιαστί για την πλευρική εξασφάλιση κατά τη φάση κατασκευής οι οποίοι αφαιρούνται όταν αναπτυχθεί η συνεργασία των δυο υλικών. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση των συνδέσμων σύμφωνα με τον EN1993-1-1 Χιαστί και στο Σχήμα 4.17 παρουσιάζεται ένα τυπικό φάτνωμα.

Σύμφωνα με τον EN1993-1-1 για τα συστήματα δυσκαμψίας που παρέχουν πλευρική στήριξη λαμβάνεται : γεωμετρική ατέλεια $e_o = a_m * L / 500$ όπου $a_m = \sqrt{0.5(1 + \frac{1}{m})}$ με $m = 4$ (ανα πόσα φατνώματα τοποθετούνται οι σύνδεσμοι), ισοδύναμη σταθεροποιητική δύναμη $q_{ισοδ} = \Sigma N_{ED} 8 \frac{e_o + \delta_q}{L^2}$ όπου $N_{Ed} = M_{Ed} / (h - tf)$ και δ_q λαμβάνεται 0, στην 1^η επανάληψη η μετακίνηση που προκύπτει εντός επιπέδου λαμβάνεται για τη δεύτερη επανάληψη.



Σχήμα 4.17: Διάταξη ενός τυπικού Φατνώματος

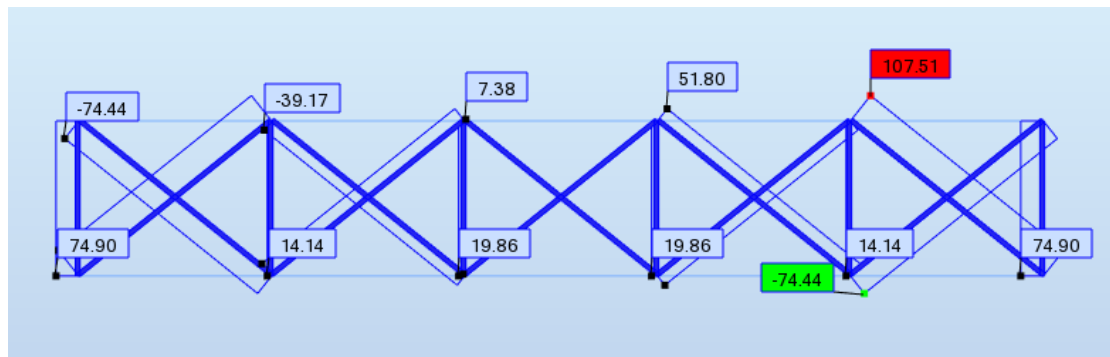
$$N_{Ed} = M_{Ed} / (h - tf) = 5070.4 \text{ kN} \quad (4.17a)$$

$$\Sigma N_{ED} = 4 * 5070.4 = 20181.5 \quad (4.17b)$$

$$a_m = \sqrt{0.5(1 + \frac{1}{m})} = 0.8 \quad (4.17c)$$

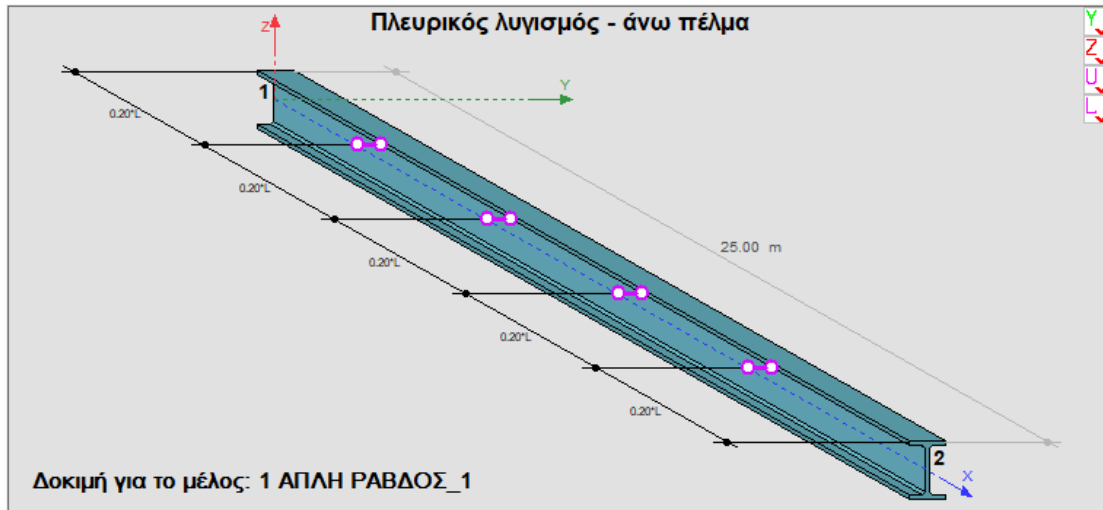
$$e_o = a_m * L / 500 = 4 \text{ cm} \quad (4.17d)$$

Για $q_{ισοδ} = \Sigma N_{ED} 8 \frac{e_o + \delta_q}{L^2} = 10.33 \text{ kN/m}$ ($\delta_q = 0$) προκύπτει στην 1^η επανάληψη $\delta_q = 0.4 \text{ cm}$ άρα $q_{ισοδ_τελ} = 11.36 \text{ kN/m}$ (οι δυνάμεις εφαρμόζονται επικόμβια) ακολουθεί σχήμα 4.18 με τα εντατικά μεγέθη και τον έλεγχο των χιαστί συνδέσμων. Επιλέγονται για ευκολία τοποθέτησης γωνιακά διατομής τύπου CAE 120x10.



Σχήμα 4.18 : Αξονικές δυνάμεις των οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας

$$\text{Έλεγχος διατομής : } \frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = 0.13 < 1 \quad \text{Έλεγχος μέλους : } \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = 0.79 < 1$$



Σχήμα 4.19: Τελικός Έλεγχος Διαδοκίδας έχοντας πλευρικές εξασφαλίσεις ανά 5m στο μήκος της διαδοκίδας

Κρίσιμη ροπή λυγισμού $M_{cr} = 21372.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Καμπύλη λυγισμού - d

Κρίσιμο μήκος λυγισμού $L_{cr,upp} = 5 \text{ m}$

Ανοιγμένη λυγιρότητα $\lambda_{LT} = 0.57$

Συντελεστής υπολογισμού $\chi_{LT} \Phi_{,LT} = 0.68$

Μειωτικός συντελεστής $\chi_{LT} = 0.86$

Έλεγχος Μέλους από σχέση 4.16:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} * f_y * W_y}{\gamma_{m1}} = 6102 \text{ kNm} > M_{Ed} = 5247.84$$

4.7 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου

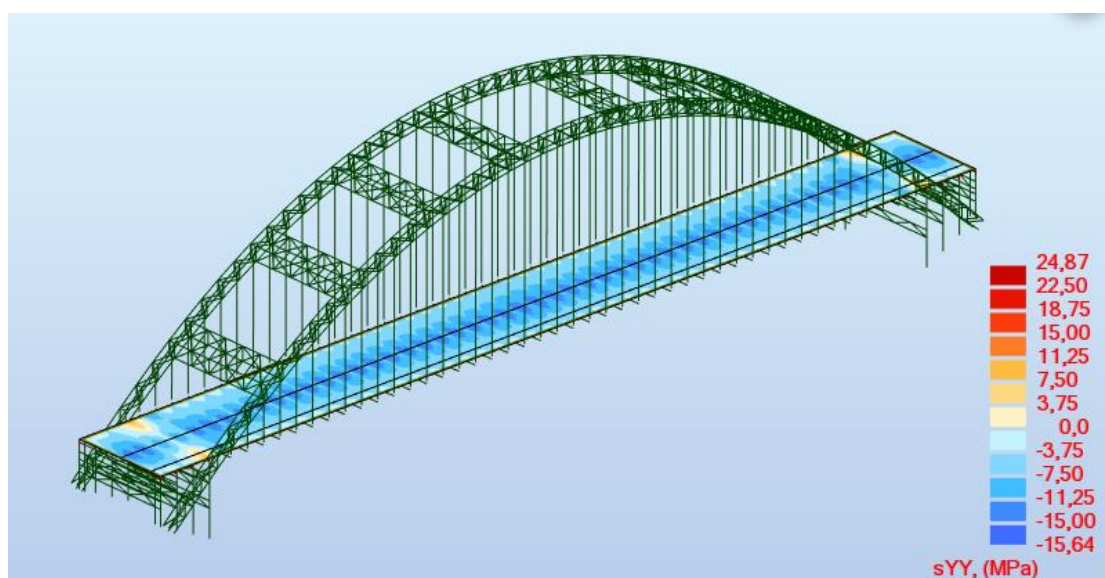
Το χαλυβδόφυλλο κατά τη φάση σκυροδέτησης πρέπει να έχει επαρκή αντοχή ώστε να φέρει με ασφάλεια το ίδιο βάρος του (0.2 kN/m^2), το βάρος του νωπού σκυροδέματος ($26 * 0.35 \text{ kN/m}^2$) και των κατασκευαστικών φορτίων (0.75 kN/m^2). Άρα προκύπτει: φορτίο σκυροδέτησης $q_d = 10.05 \text{ kN/m}^2$ και μήκος $l_{span} = 4 - b_o + (2/3) * 60 = 3540 \text{ mm}$. Με b_o πλάτος πέλματος διαδοκίδας και $(2/3) * 60$ έδραση χαλυβδόφυλλου πάνω στα πέλματα. Η τιμή της αντοχής προκύπτει για θεώρηση λειτουργίας του χαλυβδόφυλλου ως δοκού πολλών ανοιγμάτων εδραζόμενης στις διαδοκίδες κάτι που πρακτικά δεν ισχύει γιατί γίνεται διακοπή του χαλυβδόφυλλου για να έχουμε ελευθερία τοποθέτησης των ήλων στο μήκος της διαδοκίδας. Για να πετύχουμε αυτή τη λειτουργία και να είμαστε πιο ασφαλείς στη φάση κατασκευής, κάνουμε σταδιακή σκυροδέτηση προκειμένου να προλάβει η πλάκα να πάρει τις πρώτες αντοχές

Από πίνακες κατασκευαστών (Σχήμα 2.10) :

$$q_{lim} = 10.33 \text{ kN/m}^2 > q_d = 10.05 \text{ kN/m}^2 \quad (4.18)$$

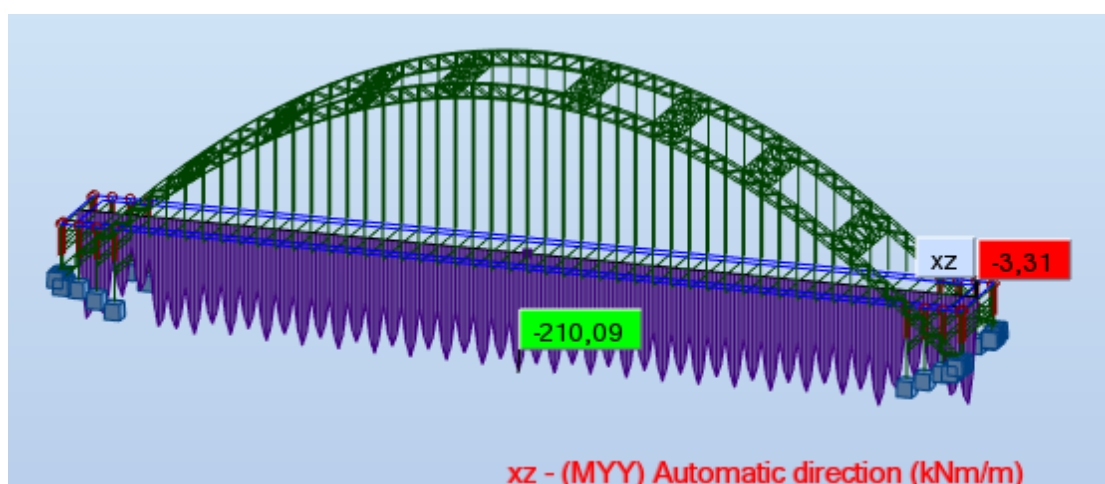
4.8 Έλεγχος Πλάκας

Γίνεται έλεγχος της πλάκας σε θλιπτικές τάσεις κατά την κάμψη της σύμμικτης διατομής (Σχήμα 4.20) και διαστασιολόγηση θεωρώντας την πλάκα συνεχής δοκό πολλών ανοιγμάτων στην διαμήκη διεύθυνση (Σχήμα 4.21). Υπολογίζονται οι απαιτήσεις σε οπλισμό κάμψης σύμφωνα με τον EN1992-1-1 αλλά τα τοποθετούμενα σίδερα υπολογίζονται σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις από διαμήκη διάτμηση στο Κεφάλαιο 6.

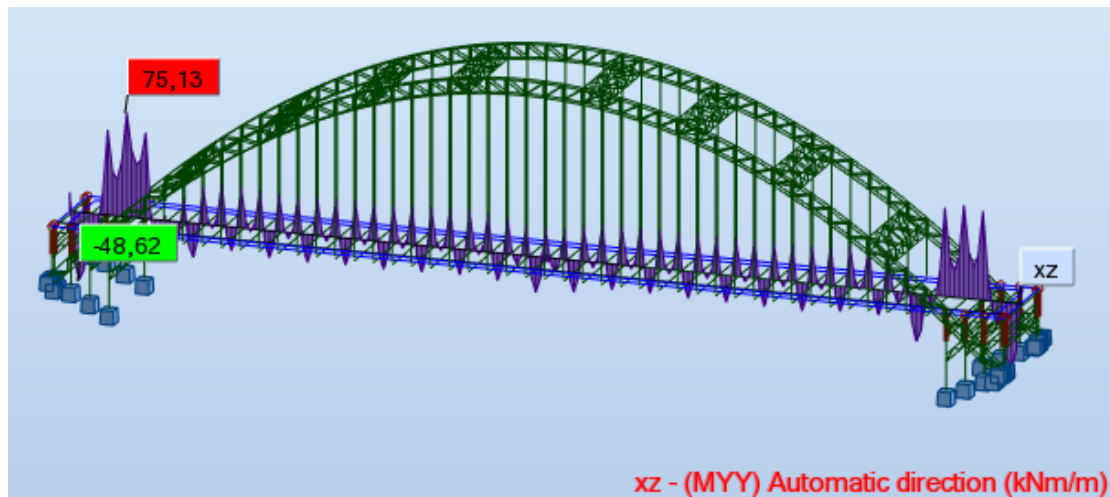


Σχήμα 4.20 : Τάσεις στην Άνω ίνα της πλάκας για κάμψη της Σύμμικτης διατομής

Απ την περιβάλλουσα των τάσεων προκύπτει ότι στην άνω ίνα της πλάκας η ορθή τάση είναι $15.64 \text{ MPa} < 0.85 \cdot f_{CD} / 1.5 = 17 \text{ MPa}$



Σχήμα 4.20a : Περιβάλλουσα ροπών στο άνοιγμα



Σχήμα 4.20b : Περιβάλλουσα ροπών στη στήριξη

Επιλέγεται οπλισμός διαμέτρου $\Phi 25$ ποιότητας B500C και επικάλυψη $c=30\text{mm}$ άρα

$$\bullet \quad d = h - (c + \Phi/2) = 0.2575\text{m} \quad (4.18)$$

$$\bullet \quad \mu_{ed} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.186 \text{ στο άνοιγμα} \quad (4.19a)$$

$$\bullet \quad \mu_{ed} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.07 \text{ στη στήριξη} \quad (4.19b)$$

$$\bullet \quad \omega = 0.206 \text{ για } \mu_{ed} = 0.186 \quad (4.20a)$$

$$\bullet \quad \omega = 0.073 \text{ για } \mu_{ed} = 0.07 \quad (4.20b)$$

Όπου ω από EN1992-1-1 πίνακα 2.1, προκύπτει απαιτούμενος οπλισμός κάμψης :

$$A_{s,req,bot} = \omega \cdot b \cdot d \cdot (f_{cd}/f_{yd}) = 20.7 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (4.21a)$$

$$A_{s,req,top} = \omega \cdot b \cdot d \cdot (f_{cd}/f_{yd}) = 7.4 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (4.21b)$$

$$A_{s,min} = \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot h_c = 2.63 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ ελάχιστος εγκάρσιος οπλισμός} \quad (4.21c)$$

5 Έλεγχοι σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

5.1 Συνδυασμοί Φορτίσεων Ο.Κ.Λ

Οι συνδυασμοί των δράσεων για την Ο.Κ.Λ διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τον *χαρακτηριστικό* ο οποίος αφορά έλεγχο τάσεων δομικού χάλυβα, χάλυβα οπλισμού και τον προσδιορισμό ελάχιστου οπλισμού ανοίγματος ρωγμών, τον *συχνό* που αφορά κυρίως σε έλεγχο παραμορφώσεων και τον *οιονεί μόνιμο* που αφορά έλεγχο τάσεων σκυροδέματος και έλεγχο ανοίγματος ρωγμών. Παρουσιάζονται λοιπόν αναλυτικότερα:

Χαρακτηριστικοί:

- $1.0G + 1.0Q + 0.6T + 0.6W_{tr}$
- $1.0G + 1.0T + 0.75Q_{TS} + 0.4Q_{UDL} + 0.6 W_{tr}$
- $1.0G + 1.0 W_{tr} + 0.75Q_{TS} + 0.4Q_{UDL} + 0.6T$
- $1.0G + 1.0W + 0.6T$

Συχνοί:

- $1.0G + 0.75Q_{TS} + 0.4Q_{UDL} + 0.5T$
- $1.0G + 0.5T + 0.2 Q_{UDL}$
- $1.0G + 0.2W + 0.5T$

Οιονεί Μόνιμοι:

- $1.0G + 0.5T + 0.2 Q_{UDL}$

5.2 Έλεγχος Τάσεων Δομικού Χάλυβα

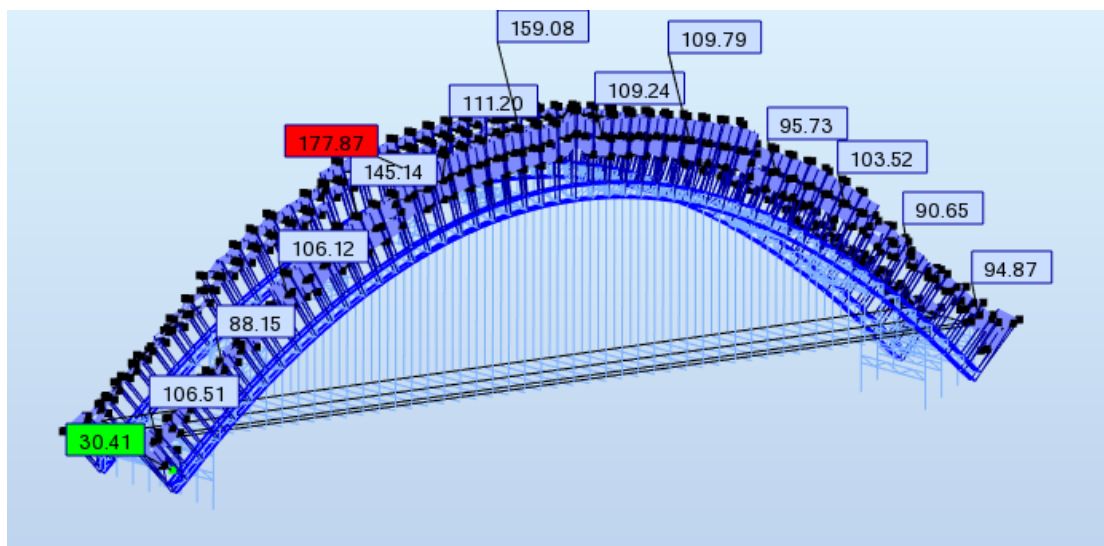
Γίνεται έλεγχος των συνολικών τάσεων ορθών (τόξα), ορθών και διατμητικών στη διαδοκίδα σύμφωνα με το κριτήριο *von-mises* $S = \sqrt{s^2 + 3\tau^2} < \frac{fy}{\gamma_{mo}}$ όπου s συνισταμένη των ορθών τάσεων και τ συνισταμένη των διατμητικών.

5.2.1 Έλεγχος Τάσεων στη Διαδοκίδα

Η διαδοκίδα έχει ελεγχθεί σε στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας σε επίπεδο τάσεων άρα δεν χρειάζεται να γίνει έλεγχος και στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας απ' τη στιγμή που τα φορτία λαμβάνονται με απομειωμένους συντελεστές ασφαλείας.

5.2.2 Έλεγχος Τάσεων στα τόξα

Παρουσιάζεται η περιβάλλουσα των ορθών τάσεων (Σχήμα 5.1) απ' τον δυσμενέστερο χαρακτηριστικό συνδυασμό $1.0G + 1.0Q + 0.6T + 0.6W_{ir}$ με διάταξη των κινητών φορτίων ώστε να προκαλούν τη μέγιστη ένταση στο τόξο και ο αντίστοιχος έλεγχος σχέση 5.1.

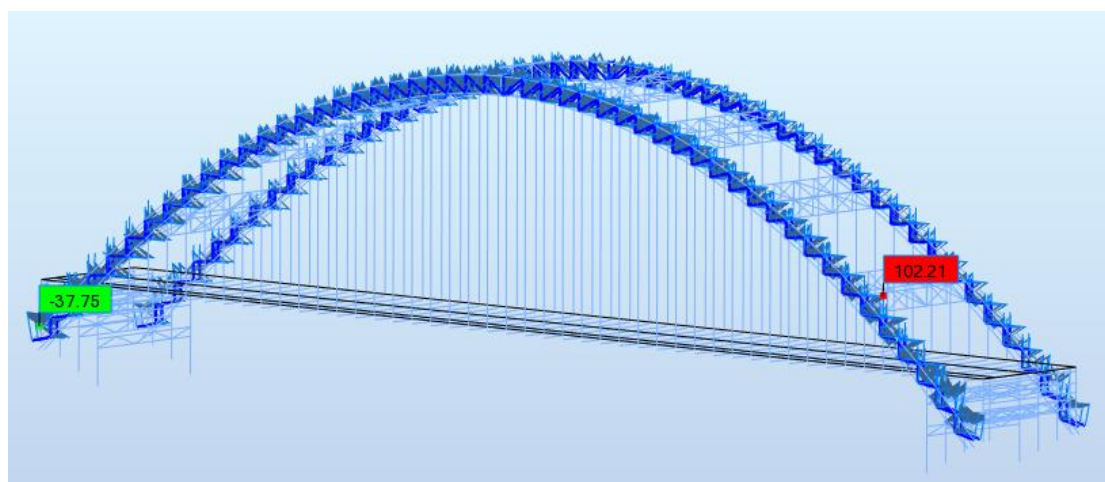


Σχήμα 5.1: Περιβάλλουσα Τάσεων

$$S_{max} = 177.87 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad (5.1)$$

5.2.3 Έλεγχος Τάσεων στις Δικτυώσεις

Όμοια και στις δικτυώσεις των τόξων απ' τον συνδυασμό $1.0G + 1.0Q + 0.6T + 0.6W_{ir}$ προκύπτουν οι μέγιστες ορθές τάσεις (Σχήμα 5.2) και ο έλεγχος 5.2.

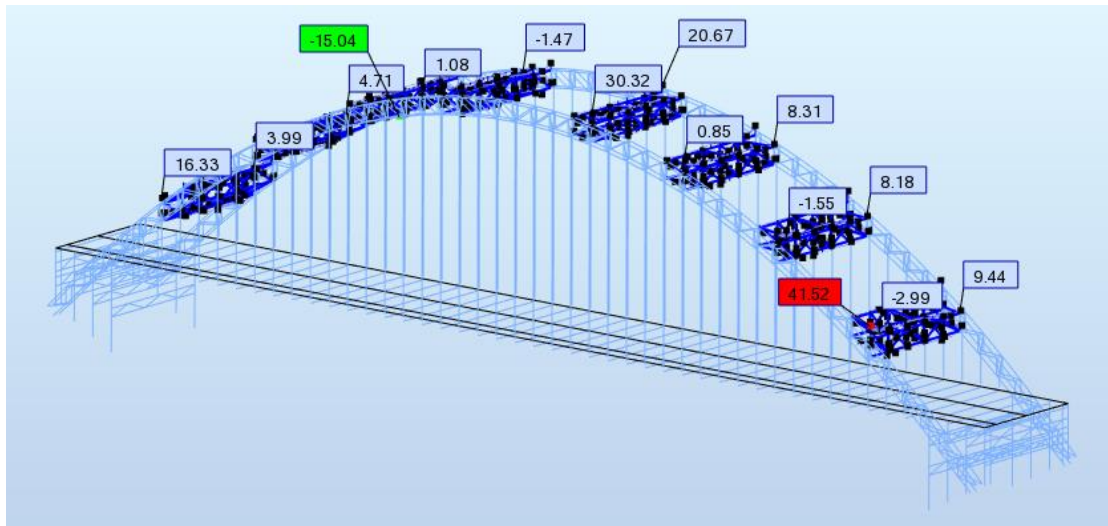


Σχήμα 5.2: Περιβάλλουσα Τάσεων

$$S_{max} = 102.21 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad (5.2)$$

5.2.4 Έλεγχος Τάσεων Αντιανέμιων

Δυσμενέστερος συνδυασμός $1.0G+1.0Q + 0.6T+0.6W_{tr}$ Σχήμα 5.3 περιβάλλουσα ορθών τάσεων σχέση 5.3 έλεγχος.

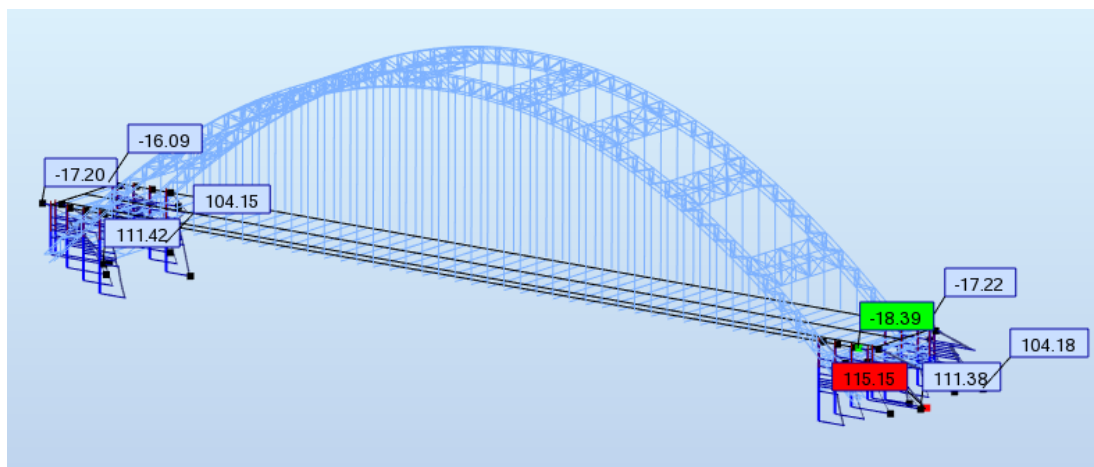


Σχήμα 5.3: Περιβάλλουσα Τάσεων

$$S_{max} = 41.52 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad (5.3)$$

5.2.5 Έλεγχος Τάσεων στους Στύλους

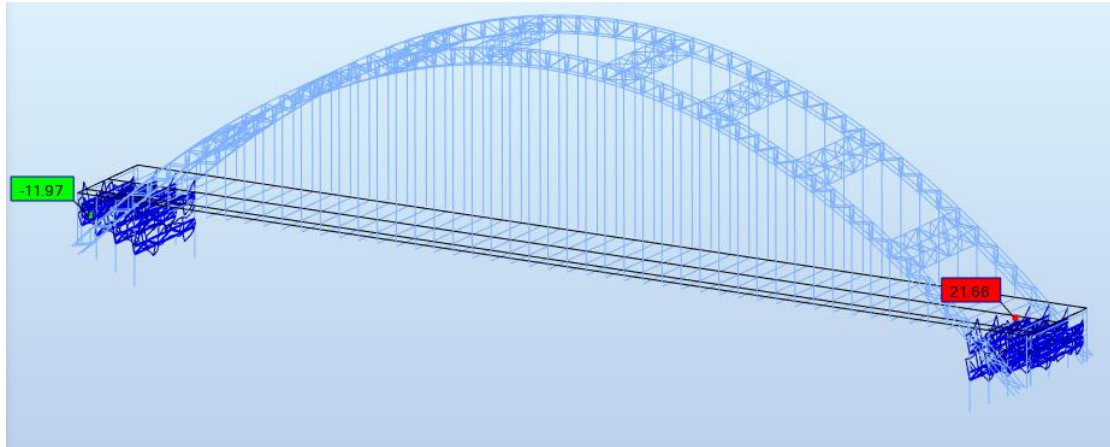
Οι δυσμενέστερος συνδυασμός για τους στύλους στον έλεγχο των τάσεων είναι ο $1.0G + 1.0T + 0.75Q_{TS} + 0.4Q_{UDL} + 0.6 W_{tr}$. Στο σχήμα 5.4 παρουσιάζονται οι τάσεις και ο έλεγχος 5.4.



Σχήμα 5.4: Περιβάλλουσα Τάσεων

$$S_{max} = 115.15 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad (5.4)$$

5.2.6 Έλεγχος Δικτυώσεων μεταξύ των στύλων



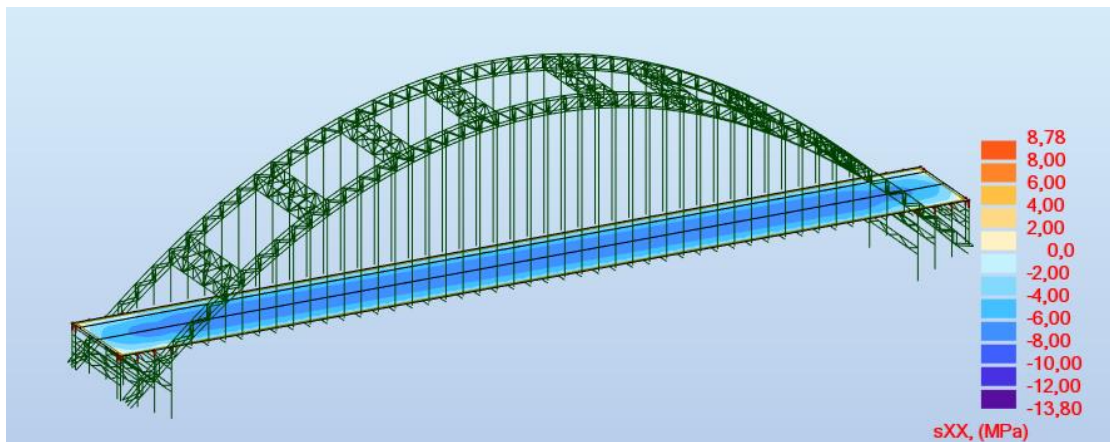
Σχήμα 5.5: Περιβάλλουσα Τάσεων

$$S_{max} = 21.66 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

5.3 Πλάκα σκυροδέματος

5.3.1 Έλεγχος Τάσεων στην Πλάκα

Οι θλιπτικές τάσεις του σκυροδέματος υπό τον δυσμενέστερο χαρακτηριστικό συνδυασμό $1.0G+1.0Q+0.6T+0.6W_{tr}$ με βάση την κατηγορία έκθεσης που ορίζεται πρέπει $\sigma_{c,Ed,ser} \leq k_I \cdot f_{ck}$ όπου $k_I=0.6$. Στο σχήμα 5.6 που ακολουθεί φαίνονται οι μέγιστες τάσεις και στην συνέχεια γίνεται ο έλεγχος που αναφέρθηκε.



Σχήμα 5.6: Περιβάλλουσα τάσεων σκυροδέματος

$$\sigma_{c,Ed,ser} \leq k_I \cdot f_{ck} \Rightarrow 13.8 < 0.6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa} \quad (5.6)$$

5.3.2 Έλεγχος Ρηγμάτωσης-Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός

Η ύπαρξη ελάχιστου οπλισμού είναι απαραίτητη ώστε της στιγμή της ρηγμάτωσης να υπάρχει οπλισμός να παραλάβει την εφελκυστική δύναμη του σκυροδέματος. Επίσης για πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος λαμβάνεται μέγιστο άνοιγμα ρωγμής $w_k = 0.3\text{mm}$. Ακολουθούν αναλυτικές σχέσεις ελάχιστου οπλισμού και οι πίνακες προσδιορισμού των απαιτήσεων για τον περιορισμό της ρωγμής σύμφωνα με τον EN1992-1-1.

$$A_{s,\min} = \frac{f_{ct,eff} * k * k_s * k_c * A_{ct}}{f_{sk}} = 51.84 \text{ cm}^2$$

Όπου

$k_s = 0.9$ μειωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μείωση της εφελκυστικής δύναμης λόγω ολίσθησης της διατμητικής σύνδεσης

$k = 0.8$ μειωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις επιρροές των παραμένουσων τάσεων λόγω αυτεντατικών καταστάσεων.

$f_{ct,eff} = 3\text{MPa}$ ενεργός εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος

$f_{sk} = 500\text{MPa}$ αντοχή χάλυβα οπλισμού

$A_{ct} = 12000\text{cm}^2$ συντηρητικά λαμβάνεται ίσο με το εμβαδόν της πλάκας σε b_{eff}

$k_c = 1$

ο οπλισμός αυτός κατανέμεται εξίσου άνω και κάτω 25.92 cm^2 , επιλέγοντας $\Phi=25\text{mm}$ ο αριθμός των ράβδων που προκύπτει είναι $n=5.2$ άρα 6 και τοποθετούνται ανά 15cm $\Phi 25/15$ άνω και κάτω. Τέλος απ' τους ακόλουθους πίνακες για περιορισμό των ρωγμών ($w_k=0.3$) προκύπτει μέγιστη επιτρεπόμενη τάση $\sigma_s=200\text{MPa}$ και απόσταση $s=250\text{mm}$ για ράβδους $\Phi 25$.

Πίνακας 5.1a: περιορισμός ρωγμών από EN1992-1-1

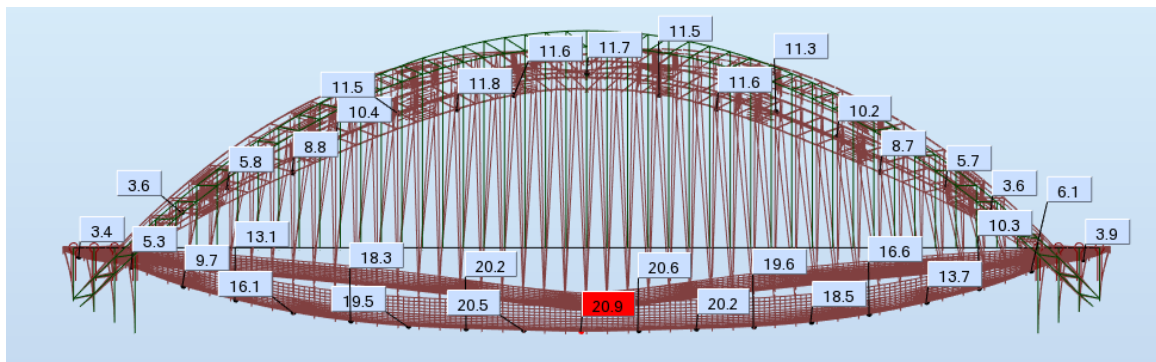
Steel stress ² [MPa]	Maximum bar size [mm]		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Πίνακας 5.1b: περιορισμός ρωγμών από EN1992-1-1

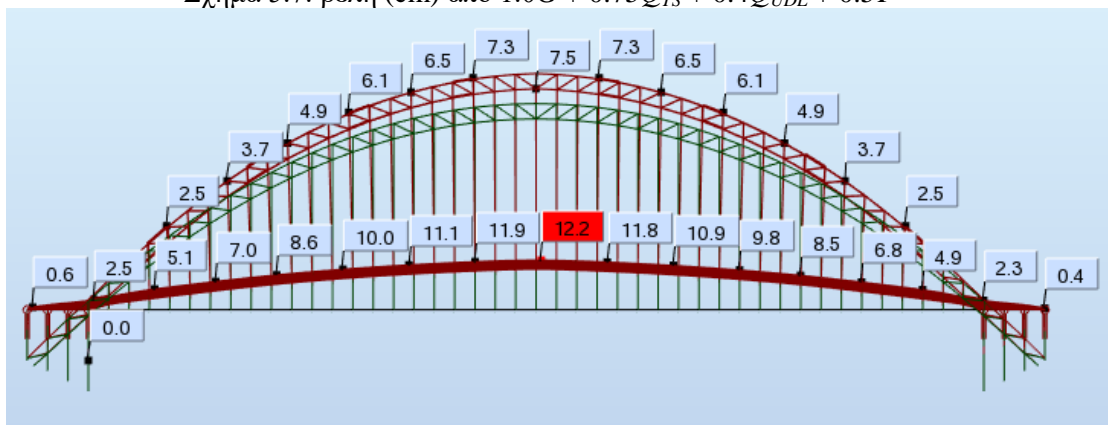
Steel stress ² [MPa]	Maximum bar spacing [mm]		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

5.4 Έλεγχος βελών και εφαρμογή προπαραμορφώσεων

Λόγω των βελών που εμφανίζονται στον φορέα κυρίως από τη φάση της σκυροδέτησης είναι απαραίτητη η εφαρμογή αντιβέλους ώστε στη φάση λειτουργίας με την συμβολή και των άλλων φορτίων να εμφανίζονται σχετικά μικρά βέλη. Στη φάση λειτουργίας τα μέγιστα βέλη προκύπτουν απ τον συχνό συνδυασμό και με διάταξη των κινητών φορτίων ώστε η ένταση στο τόξο που προκαλείται να είναι η μέγιστη (Σχήμα 5.7). Εφαρμόζεται αντιβέλος όσο οι μετακινήσεις που προκύπτουν απ' τα ίδια βάρη (Σχήμα 5.8) ώστε να προκύψει το επιθυμητό τελικό βέλος (Σχήμα 5.9). Απ' τα σχήματα που ακολουθούν προκύπτει $\delta_{\text{τελ}} = \delta_{\text{συχνού}} - \delta_G = 9.5\text{cm}$ το οποίο αντιστοιχεί σε ένα λόγο $L/2000$ όπου $L = 200\text{m}$ συνολικό μήκος κατασρώματος το οποίο θεωρείται μια αποδεκτή τιμή.



Σχήμα 5.7: βέλη (cm) από $1.0G + 0.75Q_{TS} + 0.4Q_{UDL} + 0.5T$



Σχήμα 5.8: Αντιβέλη από Ίδια Βάρη (cm)



Σχήμα 5.9: Τελικά βέλη φορέα

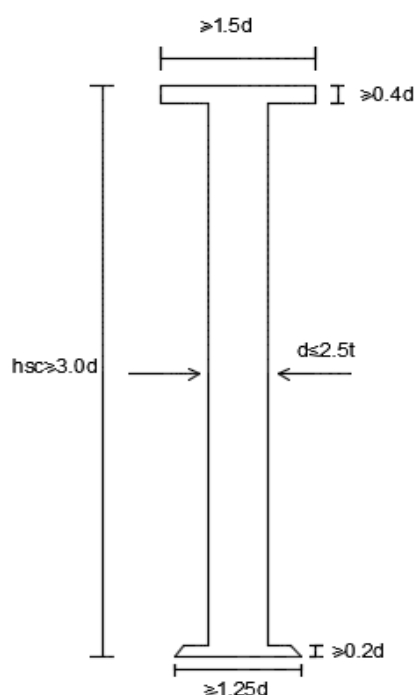
6 Διατμητική Σύνδεση

6.1 Γενικά

Η λειτουργία των σύμμικτων διατομών μεταξύ χαλύβδινης δοκού και πλάκα σκυροδέματος υλοποιείται μέσω των διατμητικών ήλων. Ο EN1994-2 καλύπτει μόνο ένα συγκεκριμένο τύπο διατμητικών συνδέσμων, τους διατμητικούς ήλους κεφαλής. Στους ήλους αναπτύσσεται η διαμήκης διάτμηση που παρουσιάζεται μεταξύ των δύο διατομών. Οι τέμνουσες που προέρχονται απ' τη διαμήκη διάτμηση προκαλούν και διάτμηση του κορμού της χαλύβδινης δοκού. Σύμφωνα με τον EN1994-2 στις σύμμικτες γέφυρες η διατμητική σύνδεση πρέπει να είναι πλήρης. Οι διατμητικοί ήλοι ελέγχονται σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας, σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας για τους χαρακτηριστικούς συνδυασμούς και σε Κόπωση όπως θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο.[1],[2]

6.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και Διατάξεις ήλων

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, οι διατάξεις και η αντοχή των ήλων προκύπτει απ' τον EN1994-2. Οι ήλοι αποτελούνται από την κεφαλή τον κορμό και το περιλαίμιο συγκόλλησης και χαρακτηρίζονται απ' η διάμετρο του κορμού και απ το ύψος (Σχήμα 6.1). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σχέσεις αντοχής και οι σχετικές διατάξεις των ήλων (Σχήμα 6.2).

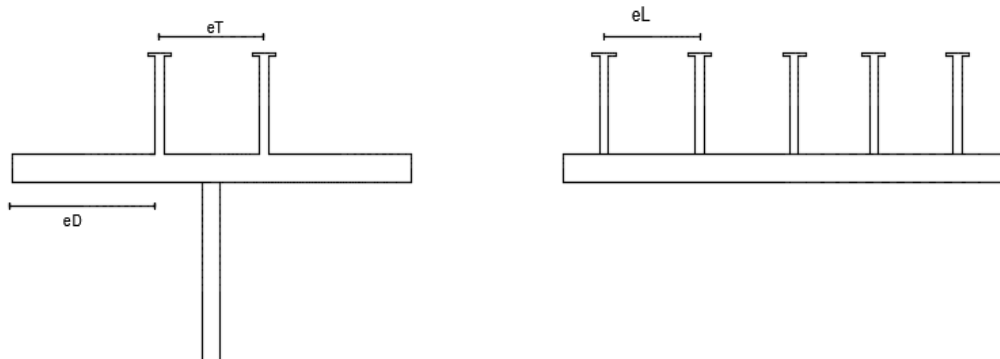


Σχήμα 6.1 : Διαστάσεις διατμητικών ήλων

Όπου:

d : διάμετρος κορμού με $16\text{mm} \leq d \leq 25\text{mm}$ και t πάχος χαλύβδινου πέλματος δοκού που συγκολλάται ο ήλος.

c : επικάλυψη ήλου $c \geq \max\{20\text{mm}, c_{\text{nom}}\}$



Σχήμα 6.2 : Διατάξεις Ήλων

Όπου :

e_T = εγκάρσιες αποστάσεις ήλων $\geq 2.5d$

e_D = καθαρή απόσταση μεταξύ άκρης του ήλου και της άκρης του πέλματος $\geq 25\text{mm}$

e_L = διαμήκης αποστάσεις ήλων, πρέπει $5*d \leq e_L \leq \min\{4*hc, 800\}$

6.3 Υπολογισμός Αντοχής Ήλων

Η διατμητική αντοχή των ήλων καθορίζεται με βάση την διάτμηση κορμού του ήλου ή τη θραύση του σκυροδέματος. Συνήθως κρισιμότερος είναι ο έλεγχος σε θραύση του σκυροδέματος από διαμήκη διάτμηση. Ακολουθούν αναλυτικά οι σχέσεις υπολογισμού της αντοχής των ήλων. Επιλέγουμε ήλους με :

Διάμετρο: $d = 22\text{mm}$ $16\text{mm} \leq d \leq 25\text{mm}$

Ύψος: $h_{sc} = 200\text{mm}$

Απόσταση: $e_T = 100\text{mm} \geq 2.5*22\text{mm}$

Απόσταση: $e_D = 200\text{mm} \geq 25\text{mm}$

Διαθέσιμη επικάλυψη ήλων: $c = h_c - h_{sc} = 100\text{mm} > c_{nom} = 30\text{mm}$

Μορφή αστοχίας για διάτμηση κορμού:

$$P_{Rd,1} = \frac{0.8 * f_u * (\pi * \frac{d^2}{4})}{\gamma_v} = 121.6 \text{ kN} \quad (6.1a)$$

Μορφή αστοχίας για θραύση σκυροδέματος:

$$P_{Rd,2} = \frac{0.29 * a * d^2 * \sqrt{f_{ck} * E_{cm}}}{\gamma_v} = 111.73 \text{ kN} \quad (6.1b)$$

Τελική Αντοχή για Ο.Κ.Α :

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd,1}, P_{Rd,2}) = 111.73 \text{ kN} \quad (6.1c)$$

Τελική Αντοχή για Ο.Κ.Λ :

$$P_{Rd,ser} = 0.75 * P_{Rd} = 83.8 \text{ kN} \quad (6.1d)$$

Όπου:

$d = 22\text{mm}$ διάμετρος ήλου

$f_u = 500\text{MPa}$ ονομαστική εφελκυστική αντοχή χάλυβα ήλου

$f_{ck} = 30\text{MPa}$ χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

$E_{cm} = 33\text{GPa}$ μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος

$\alpha = 1$ για $h_{sc}/d > 4$

$\gamma_v = 1.25$ συντελεστής ασφαλείας

6.4 Υπολογισμός διαμήκους διάτμησης και απαιτήσεων σε ήλους

Όπως αναφέρθηκε η διαμήκης διάτμηση στη διεπιφάνεια πλάκας και χαλύβδινης διαδοκίδας προκαλείται απ τις τέμνουσες που δυνάμεις στη σύμμικτη διατομή. Υπολογίζεται η ροή της διαμήκους διάτμησης για ελαστική συμπεριφορά.

$$v_{L,Ed} = \frac{V_{ed} * S}{I_e} = 1692.5 \text{ kN/m από δυσμενέστερο συνδυασμό Ο.Κ.Α} \quad (6.2a)$$

$$v_{L,Ed} = \frac{V_{ed} * S}{I_e} = 1313.3 \text{ kN/m από δυσμενέστερο συνδυασμό Ο.Κ.Λ} \quad (6.2b)$$

Όπου:

V_{Ed} : δρώσα τέμνουσα δύναμη από δυσμενέστερους συνδυασμούς Ο.Κ.Α, Ο.Κ.Λ (Σχήμα 6.3a, 6.3b)

S : στατική ροπή της πλάκας του σκυροδέματος ως προς το κέντρο βάρους σύμμικτης

I : ροπή αδράνειας αρηγμάτωτης σύμμικτης διατομής

Αντοχή ήλων:

$$v_{L,Rd} = \frac{n * P_{rd}}{eL} = 1862.16 \text{ kN/m} > v_{L,Ed} \text{ για Ο.Κ.Α} \quad (6.3a)$$

$$v_{L,Rd} = \frac{n * P_{rd}}{eL} = 1396.67 \text{ kN/m} > v_{L,Ed} \text{ για Ο.Κ.Λ} \quad (6.3b)$$

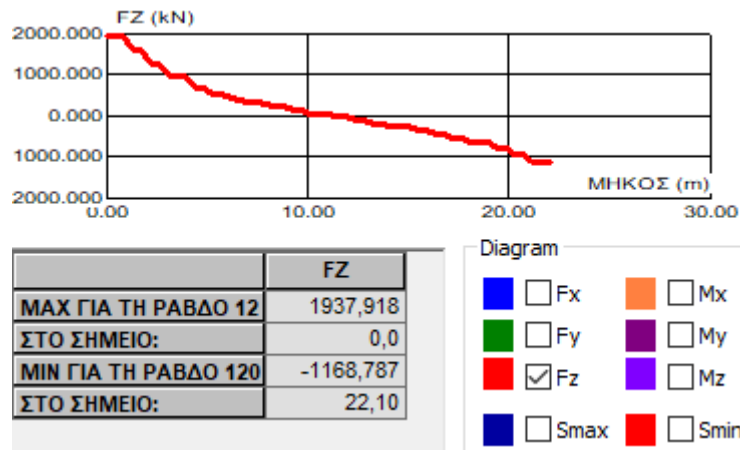
Όπου:

P_{rd} = αντοχή ήλων από Ο.Κ.Α και Ο.Κ.Λ

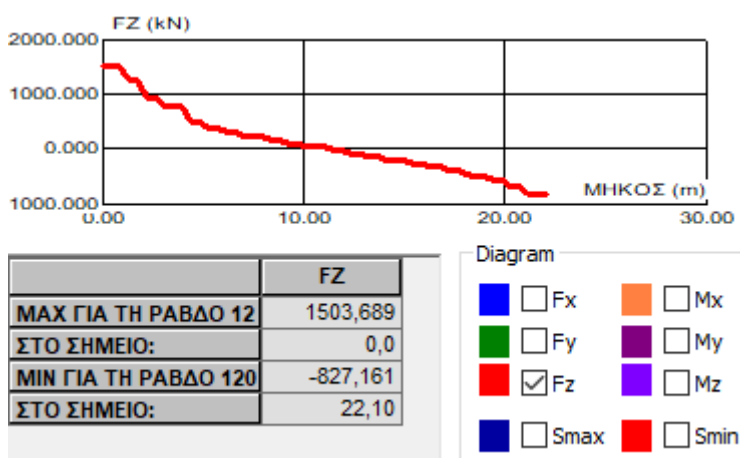
$n = 2$ αριθμός ήλων στη διατομή

$e_L = 12\text{cm}$ διαμήκης απόσταση ήλων, και ισχύει $5 * 22 < 120 < 800 \text{ mm}$

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα τεμνουσών (Σχήματα 6.3a, 6.3b) στο (1/4) του μήκους μειώνεται η τέμνουσα σχεδόν στο 40% οπότε αυξάνουμε την απόσταση στους ήλους ανά 24cm.



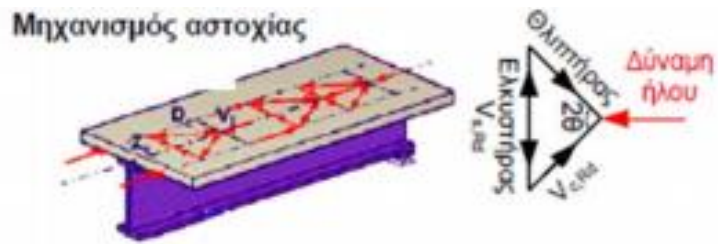
Σχήμα 6.3a: τέμνουσες Ο.Κ.Α



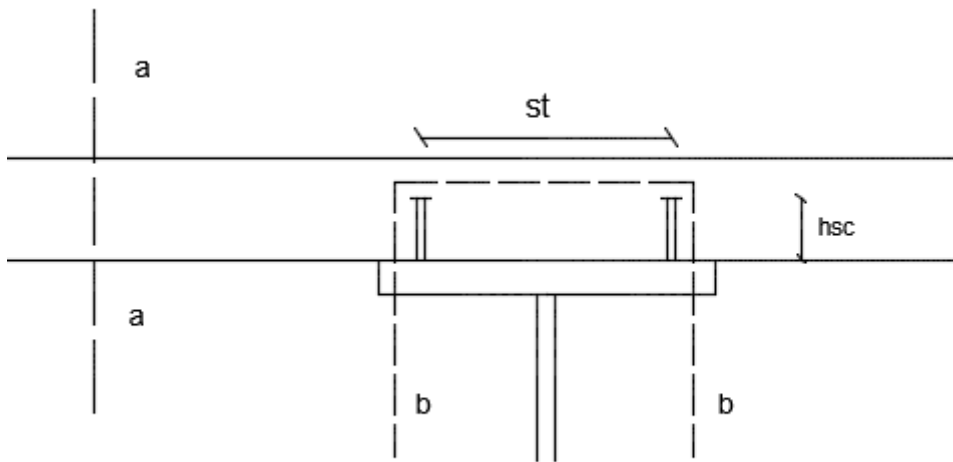
Σχήμα 6.3b: τέμνουσες Ο.Κ.Λ

6.5 Διατμητική Κάλυψη Πλάκας Σκυροδέματος

Η διαμήκης διατμητική ροή της διεπιφάνειας σκυροδέματος-χάλυβα μεταφέρεται απ' την πλάκα στη χαλύβδινη δοκό μέσω των διατμητικών ήλων. Η παραλαβή της αυτής της δύναμης γίνεται στο επίπεδο της πλάκας μέσω το μοντέλο θλιπτήρων-ελκυστήρων (Σχήμα 6.4). Σύμφωνα με τον EN1992-1-1 γίνεται έλεγχος σε αντοχή θλιπτήρων του σκυροδέματος και τοποθετείται ο απαιτούμενος οπλισμός για την παραλαβή την εφελκυστικής τάσης των ελκυστήρων. Ο έλεγχος γίνεται στην Ο.Κ.Α και οι δρώσες διατμητικές ροές όσο και οι αντοχές αφορούν τις επιφάνειες αστοχίας που φαίνονται «α-α» και «β-β» στο Σχήμα 6.5.



Σχήμα 6.4: Μοντέλο θλιπτήρα-ελκυστήρα



Σχήμα 6.5: Επιφάνειες αστοχίας

Υπολογίζεται δρώσα διατμητική ροή:

$$v_{Lc,Ed} = v_{L,Ed} \cdot \frac{A_{cp,eff}}{A_{c,tot,eff}} \quad (6.4a)$$

Όπου:

$v_{L,Ed}$ = δρώσα διατμητική ροή στην Ο.Κ.Α

$A_{cp,eff}$ = εμβαδόν μερικής διατομής της πλάκας που κόβεται από την τομή α-α

$A_{c,tot,eff}$ = συνολικό εμβαδόν της πλάκας εντός συνεργαζόμενου πλάτους

Υπολογίζεται αντοχή θλιπτήρων:

$$v_{c,Rd} = v \cdot f_{cd} \cdot L_v \cdot \frac{1}{\cot \theta + \cot^{-1} \theta} \quad (6.4b)$$

Όπου:

L_v = μήκος της πιθανής επιφάνειας αστοχίας α-α ή β-β

θ = γωνία κλίσης θλιπτήρα που λαμβάνεται $\cot \theta = 1.2$ για θετικές ροπές

$$v = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck} [MPa]}{250} \right)$$

f_{cd} = αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος

Από σχέσεις 6.4a και 6.4b προκύπτουν:

$$v_{c,Rd}^{a-a} = 1558.03 \text{ kN/m} > v_{Lc,Ed}^{a-a} = 846.25 \text{ kN/m}$$

$$v_{c,Rd}^{\beta-\beta} = 2768 \text{ kN/m} > v_{Lc,Ed}^{\beta-\beta} = 1692.5 \text{ kN/m}$$

Απαιτούμενος οπλισμός ελκυστήρων:

$$\left(\frac{Asf}{Sf} \right) = \frac{ved}{f_{sd} \cdot \cot \theta} = 32.4 \text{ cm}^2/\text{m} > \left(\frac{Asf}{Sf} \right)_{\min} = \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{sk}} = 2.2 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (6.5)$$

Από τον απαιτούμενο προκύπτει $A_{\text{bottom}} = 16.2 \text{ cm}^2/\text{m}$ και $A_{\text{top}} = 8.1 \text{ cm}^2/\text{m}$ από κάμψη προκύπτουν απαιτούμενα $A_{\text{bottom}} = 20.7 \text{ cm}^2/\text{m}$ και $A_{\text{top}} = 7.4 \text{ cm}^2/\text{m}$ άρα οι τελικοί απαιτούμενοι οπλισμοί είναι.

$$A_{\text{bottom}} = \max(16.2 ; 0.5 \cdot 16.2 + 20.7) = 28.8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{\text{top}} = \max(8.1 ; 0.5 \cdot 8.1 + 7.4) = 11.45 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Οι απαιτήσεις από ελάχιστο οπλισμό ρηγμάτωσης $\Phi 25/15$ καλύπτει τις ανάγκες σε κάμψη και διαμήκη διάτμηση τοποθετούνται όμως $\Phi 25/12$ για κατασκευαστικούς λόγους καθώς η απόσταση μεταξύ των ήλων είναι 12cm.

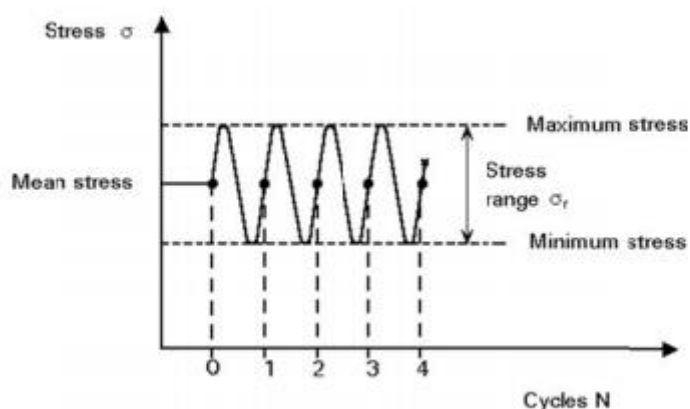
7 Κόπωση

7.1 Γενικά

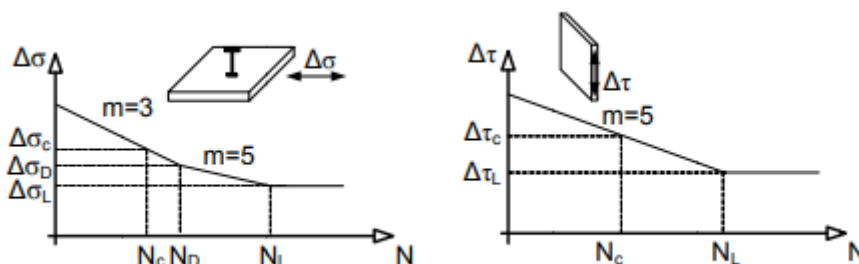
Η κόπωση αφορά τη διαδικασία κατά την οποία υπάρχει συσσώρευση βλάβων λόγω μιας επαναλαμβανόμενης φόρτισης κατά την οποία σχηματίζονται και διευρύνονται ρωγμές στα στοιχεία. Αποτέλεσμα των ρωγμών, αν δεν γίνει αποκατάσταση, είναι η κατάρρευση. Μέλη που έχουν συγκέντρωση τάσεων (συγκολλήσεις, διάνοιξη οπών) είναι ευαίσθητα σε κόπωση και πρέπει να γίνεται εκτενέστερος έλεγχος σε αυτά τα κρίσιμα σημεία. Οι γέφυρες αποτελούν απ τις κατασκευές που είναι πιο ευαίσθητες σε κόπωση λόγω επαναληπτικών φορτίσεων σε βάθος χρόνου.[1]

7.2 Αντοχή σε κόπωση

Η αντοχή σε κόπωση δεν εξαρτάται από τα όρια διαρροής των διατομών αλλά από το εύρος τάσεων και τους κύκλους φόρτισης N (Σχήμα 7.1a). Η αντοχή σε κόπωση δίνεται από καμπύλες κόπωσης ή καμπύλες Wohler (Σχήμα 7.1b) οι οποίες συνδέουν το εύρος των τάσεων με τους κύκλους φόρτισης. Η συμβατική αντοχή σε κόπωση είναι το εύρος των τάσεων $\Delta\sigma_c$, $\Delta\tau_c$ για $N_c = 2 \cdot 10^6$.



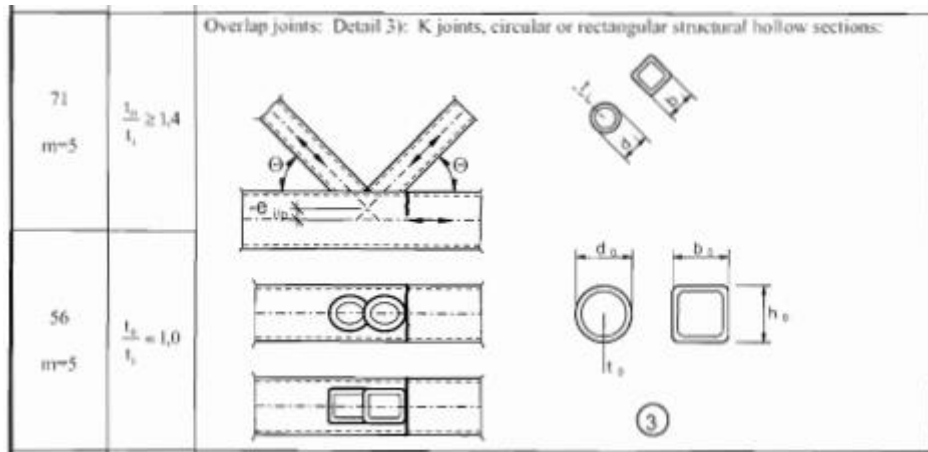
Σχήμα 7.1a: Ιστορία φόρτισης



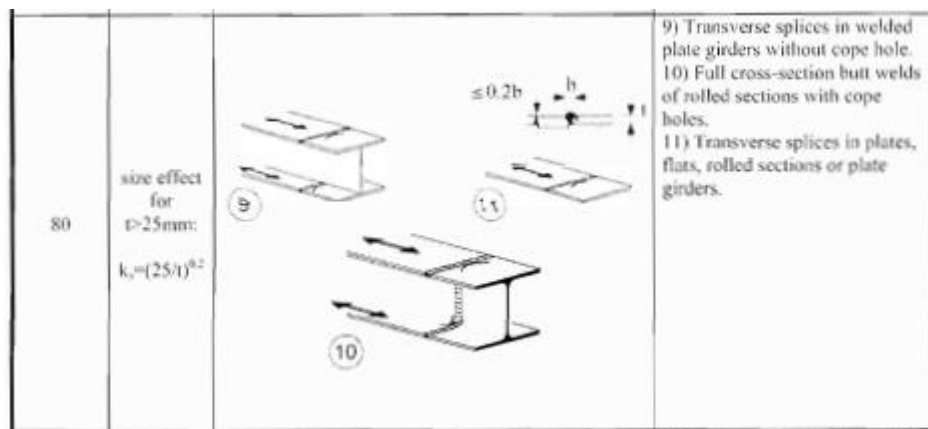
Σχήμα 7.1b: Καμπύλες κόπωσης (Wöhler)

7.3 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

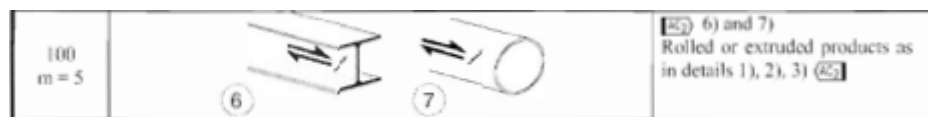
Ανάλογα με τη διαμόρφωση των κατασκευαστικών λεπτομερειών σύμφωνα με τον EN1993-1-9 διακρίνονται οι κατηγορίες κατασκευαστικών λεπτομερειών οι οποίες αφορούν ένα εύρος τάσεων για $N=2 \cdot 10^6$ κύκλους φόρτισης. Ακολουθούν σχήματα με τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες λήφθηκαν στην παρούσα μελέτη.



Σχήμα 7.2a: Κατασκευαστικές λεπτομέρειες για κοίλες διατομές



Σχήμα 7.2b: Κατασκευαστική λεπτομέρεια για διαδοκίδες υπό ορθές τάσεις



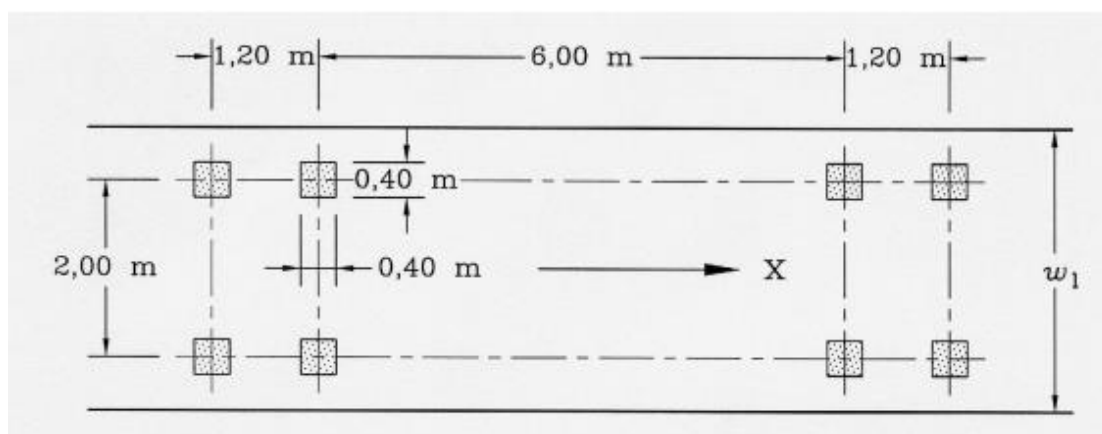
Σχήμα 7.2c: Κατασκευαστική λεπτομέρεια για διάτμηση κορμού διαδοκίδας



Σχήμα 7.2d: Κατασκευαστική λεπτομέρεια για κόπωση ήλων

7.4 Πρότυπη Φόρτιση Κόπωσης

Τα οχήματα που διέρχονται από μια οδική γέφυρα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Για αυτό το λόγο ο EN1991-2 προβλέπει πέντε διαφορετικές περιπτώσεις για τον έλεγχο της παραμένουσας ζωής υφιστάμενων γεφυρών. Για οδικές γέφυρες προτείνεται μια απλοποιημένη μέθοδος για τον έλεγχο σε κόπωση, η οποία βασίζεται σε ένα πρότυπο όχημα κόπωσης. Αυτή η μέθοδος αποτελεί την πρότυπη φόρτιση κόπωσης 3 (FLM3), με φορτίο άξονα 120kN και συνολικό βάρος 480kN (Σχήμα 7.3). Γέφυρες όπου το μήκος τους ξεπερνάει τα 40m όπως στην περίπτωση που γίνεται η συγκεκριμένη μελέτη, προβλέπεται και δεύτερο όχημα που απέχει 40 μέτρα απ το πρώτο και έχει το 30% το βάρος του πρώτου οχήματος, δηλαδή 144kN συνολικό και 36kN ανά άξονα. Τα οχήματα κινούνται στο μέσον κάθε ονομαστικής λωρίδας ώστε να προκύψουν οι μέγιστες και οι ελάχιστες εντάσεις.



Σχήμα 7.3: Πρότυπη φόρτιση FLM3

Ορίζεται συντελεστής ισοδύναμης βλάβης:

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 1.98 \leq \lambda_{\max} = 2 \quad (7.1)$$

Όπου:

λ_1 = συντελεστής για το μήκος κρίσιμης γραμμής επιρροής

λ_2 = συντελεστής για τον όγκο κυκλοφορίας

λ_3 = συντελεστής για τη διάρκεια ζωής της γέφυρας

λ_4 = συντελεστής για την κυκλοφορία σε άλλες λωρίδες

$\lambda_{\max} = 2$ (σχήμα 7.4)

$$\lambda_1 = 2.55 - 0.7 * \frac{L-10}{70} = 1.5 \quad (7.1a)$$

$$\lambda_2 = \frac{Qm1}{Qo} * \left(\frac{Nobs}{No}\right)^{1/m} = 1.32 \quad (7.1b)$$

Όπου:

$Q_{m1} = 480$ μέσο μικτό βάρος φορτηγών στην αργή λωρίδα σε kN

$Q_o = 480$ kN βάρος οχήματος κόπωσης

$N_o = 0.5 * 10^6$

$N_{obs} = 2 * 10^6$ συνολικός αριθμός φορτηγών στην αργή λωρίδα ανά έτος

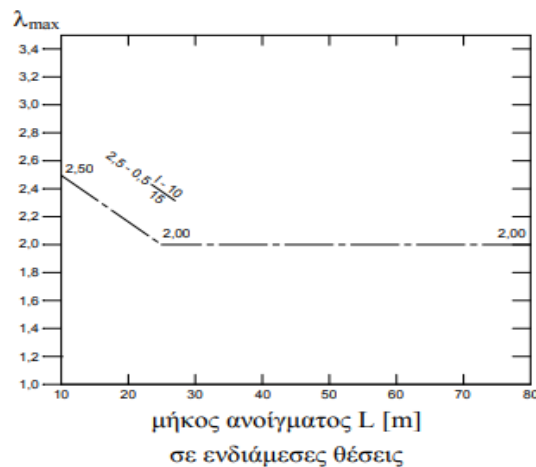
$$\lambda_3 = \left(\frac{tld}{100}\right)^{1/m} = 1 \quad (7.1c)$$

όπου

$t_{Ld} =$ διάρκεια σχεδιασμού της γέφυρας, συνήθως 100έτη

$m = 5$

$$\lambda_4 = 1 \text{ απλοποιητικά} \quad (7.1d)$$



Σχήμα 7.4: συντελεστής λ_{max}

Υπολογισμός συντελεστή ισοδύναμης βλάβης για διατμητικούς ήλους:

$$\lambda_v = \lambda_{v1} \lambda_{v2} \lambda_{v3} \lambda_{v4} = 0.9 \quad (7.2)$$

$$\lambda_{v1} = 0.75 \quad (7.2a)$$

$$\lambda_{v2} = \frac{Qm1}{Qo} * \left(\frac{Nobs}{No}\right)^{1/m} = 1.189 \text{ για } m=8 \quad (7.2b)$$

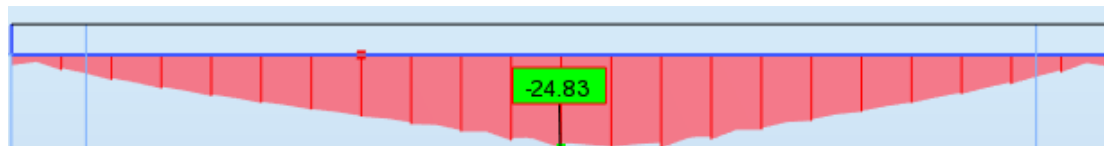
$$\lambda_{v3} = \left(\frac{tld}{100}\right)^{1/m} = 1 \quad (7.2c)$$

$$\lambda_{v4} = 1 \text{ συντελεστής για την κυκλοφορία σε άλλες λωρίδες} \quad (7.2d)$$

7.5 Έλεγχοι σε Κόπωση

7.5.1 Έλεγχος Κόπωσης Διαδοκίδας

Ορθές Τάσεις : Παρουσιάζεται η περιβάλλουσα σε ορθές τάσεις της διαδοκίδας για τη δυσμενέστερη φόρτιση καθώς και ο αντίστοιχος έλεγχος.



Σχήμα 7.5a : Περιβάλλουσα ορθών τάσεων διαδοκίδας

$$\frac{\gamma F_f \cdot \Delta \sigma_{e,2}}{\frac{\Delta \sigma_c}{\gamma M_{f,a}}} = 0.84 < 1 \quad (7.3a)$$

Όπου:

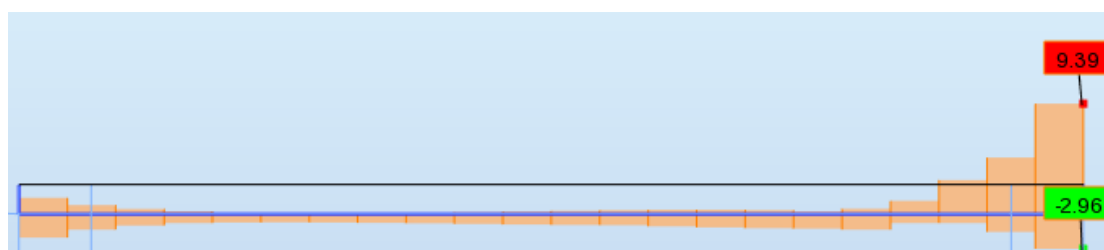
$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

$\Delta \sigma_{e,2} = \lambda_{\max} \cdot [\sigma_{\max,f,Ed} - \sigma_{\min,f,Ed}] = 2 \cdot 24.83 \text{ MPa}$

$\Delta \sigma_c = 80 \text{ MPa}$ προκύπτει από κατηγορία λεπτομέρειας για διαδοκίδα

$\gamma_{Mf,a} = 1.35$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας αντιστάσεων, για ασφάλεια ζωής*

Διάτμηση Κορμού : Παρουσιάζεται η περιβάλλουσα σε διατμητικές τάσεις στη διαδοκίδα καθώς και ο αντίστοιχος έλεγχος.



Σχήμα 7.5b : Περιβάλλουσα διατμητικών τάσεων διαδοκίδας

$$\frac{\gamma F_f \cdot \Delta \tau_{e,2}}{\frac{\Delta \tau_c}{\gamma M_{f,a}}} = 0.33 < 1 \quad (7.3b)$$

$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

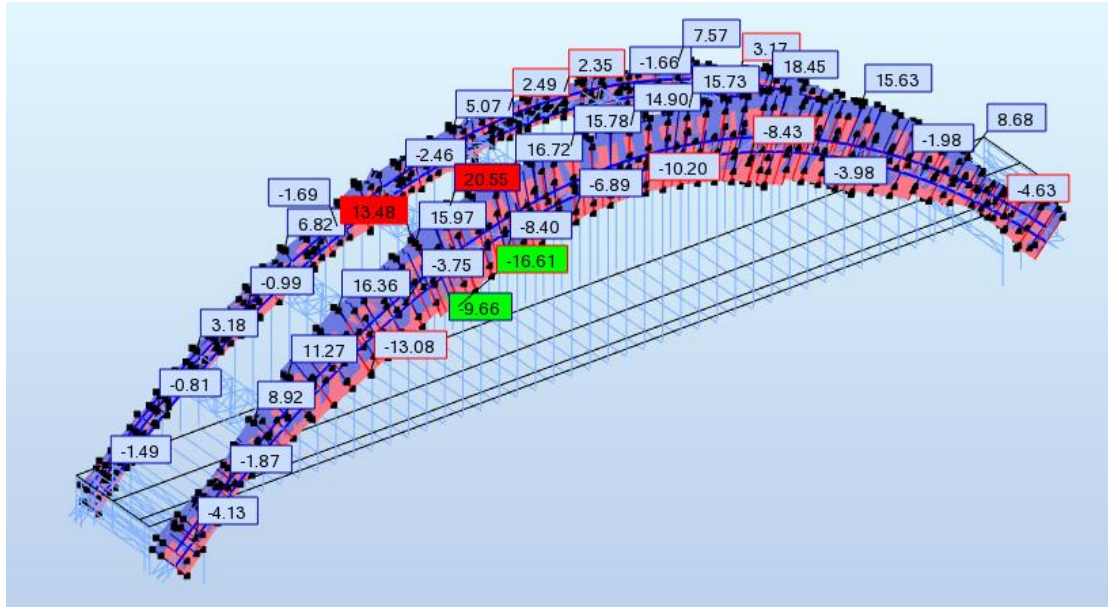
$\Delta \tau_{e,2} = \lambda_{\max} \cdot [\tau_{\max,f,Ed} - \tau_{\min,f,Ed}] = 2 \cdot 12.35 \text{ MPa}$

$\Delta \tau_c = 100 \text{ MPa}$ προκύπτει από κατηγορία λεπτομέρειας για διαδοκίδα

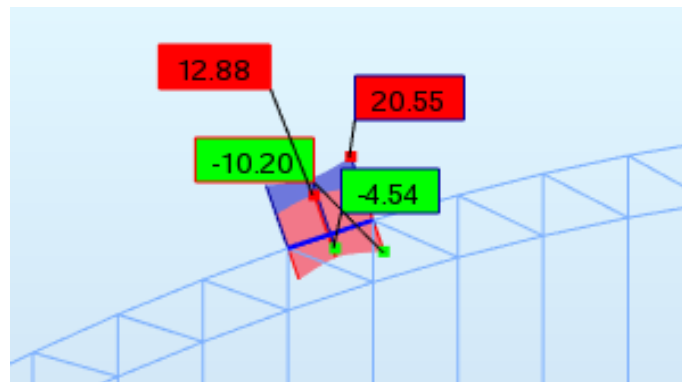
$\gamma_{Mf,a} = 1.35$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας αντιστάσεων, για ασφάλεια ζωής*

7.5.2 Έλεγχος Κόπωσης Τόξων

Ο έλεγχος των τόξων σε κόπωση γίνεται με ορθές τάσεις, ακολουθούν σχήματα με τις περιβάλλουσες και η δυσμενέστερη διατομή. Οι συγκολλημένες διατομές έχουν λόγω πάχους $t_o/t_i = 1.6$ άρα λαμβάνεται κατηγορία $\Delta\sigma_c = 71$ MPa.



Σχήμα 7.6 a : Περιβάλλουσα τάσεων στα τόξα



Σχήμα 7.6 b: δυσμενέστερη διατομή

$$\frac{\gamma F_f \cdot \Delta\sigma_{e,2}}{\Delta\sigma_c} = 0.996 < 1 \quad (7.4)$$

$\gamma M_{f,a}$

Όπου:

$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

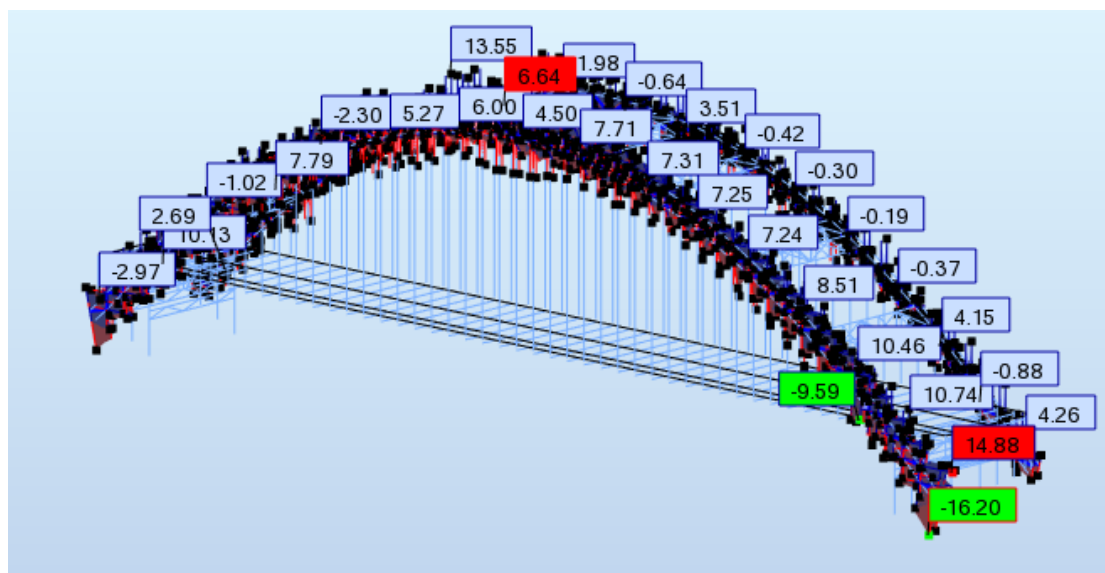
$\Delta\sigma_{e,2} = \lambda_{\max} \cdot [\sigma_{\max,f,Ed} - \sigma_{\min,f,Ed}] = 2 \cdot 30.75$ MPa

$\Delta\sigma_c = 71$ MPa προκύπτει για συγκολλήσεις με $t_o/t_i = 32/20 > 1.4$

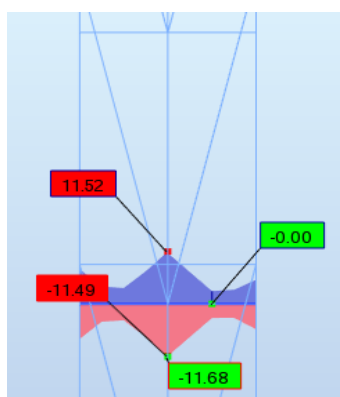
$\gamma_{Mf,a} = 1.15$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας αντιστάσεων με ανοχή βλαβών**

7.5.3 Έλεγχος Κόπωσης Δικτυώσεων

Ο έλεγχος των δικτυώσεων σε κόπωση γίνεται με ορθές τάσεις, ακολουθεί σχήμα με την περιβάλλουσα (σχήμα 7.7a) και η δυσμενέστερη διατομή η οποία εμφανίζεται στις συγκολλήσεις των δικτυώσεων (σχήμα 7.7b) όπου γίνεται συγκόλληση διατομών ίδιου πάχους $t_o/t_i = 1$ και η κατηγορία λεπτομέρειας πέφτει σε $\Delta\sigma_c = 56$ MPa



Σχήμα 7.7 a : Περιβάλλουσα τάσεων στις δικτυώσεις



Σχήμα 7.7 b: δυσμενέστερη διατομή

$$\frac{\gamma F_f \cdot \Delta\sigma_{e,2}}{\Delta\sigma_c} = 0.95 < 1 \quad (7.5)$$

Όπου:

$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

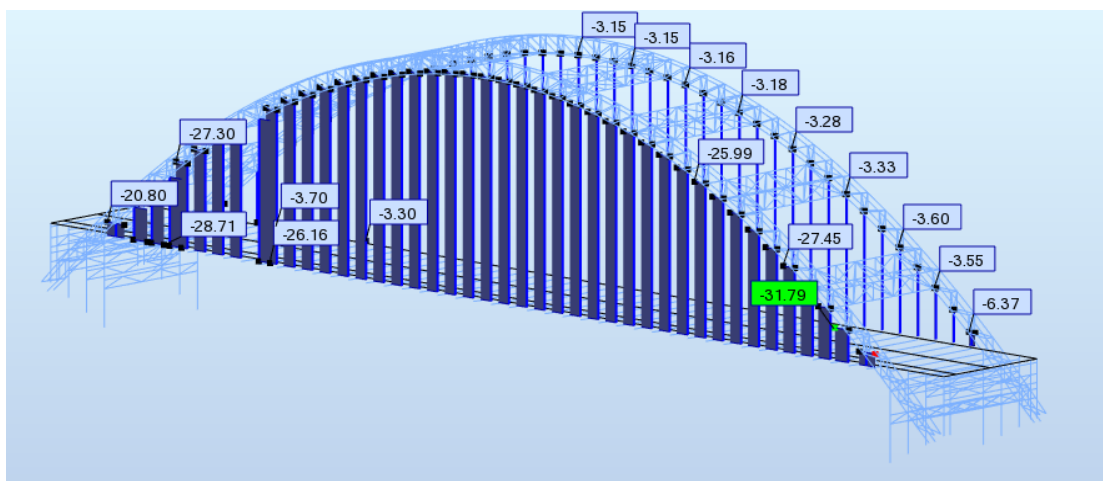
$\Delta\sigma_{e,2} = \lambda_{\max} \cdot [\sigma_{\max,f,Ed} - \sigma_{\min,f,Ed}] = 2 \cdot 23.2$ MPa

απαιτεί επαρκή συντήρηση $\Delta\sigma_c = 56$ MPa προκύπτει από κατηγορία λεπτομέρειας για συγκολλήσεις με $t_o/t_i = 1$

$\gamma_{Mf,a} = 1.15$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας αντιστάσεων με ανοχή βλαβών**

7.5.4 Κόπωση Αναρτήρων

Τα καλώδια δεν καλύπτονται από τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες για αντοχή σε κόπωση σύμφωνα με τον EN1993-1-9. Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε κόπωση πρέπει να γίνουν πειραματικές μετρήσεις για τους κύκλους φόρτισης που γίνεται ο έλεγχος και για τα άλλα μέλη της γέφυρας. Οπότε στην παρούσα μελέτη με βάση τους συντελεστές ισοδύναμης βλάβης που προκύπτουν για $N_c=2*10^6$ κύκλους φόρτισης και για τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας υπολογίζουμε την απαιτούμενη αντοχή σε κόπωση απ τον κατασκευαστή.



Σχήμα 7.7: Τάσεις Αναρτήρων

$$\Delta\sigma_c > \gamma_{FF} * \gamma_{Mf,a} * \Delta\sigma_{\epsilon,2} = 85.9 \text{ MPa} \quad (7.6)$$

Όπου:

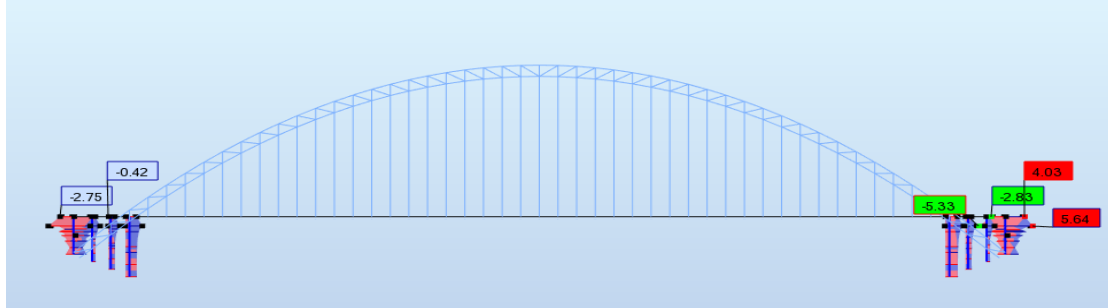
$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

$\Delta\sigma_{\epsilon,2} = \lambda_{\max} * [\sigma_{\max,f,Ed} - \sigma_{\min,f,Ed}] = 63.8 \text{ MPa}$

$\gamma_{Mf,a} = 1.35$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας αντιστάσεων, για ασφάλεια ζωής*

7.5.5 Κόπωση Στύλων

Η κόπωση στους στύλους ελέγχεται λαμβάνοντας κατηγορία λεπτομέρειας $\Delta\sigma_c = 56$ MPa καθώς η δυσμενέστερη κατασκευαστική λεπτομέρεια προκύπτει για λόγο πάχους $t_o/t_i = 1$. Ακολουθεί η περιβάλλουσα τάσεων και ο αντίστοιχος έλεγχος.



Σχήμα 7.8: Περιβάλλουσα τάσεων

$$\frac{\gamma F_f * \Delta\sigma_{e,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma M_{f,a}}} = 0.39 < 1 \quad (7.7)$$

$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

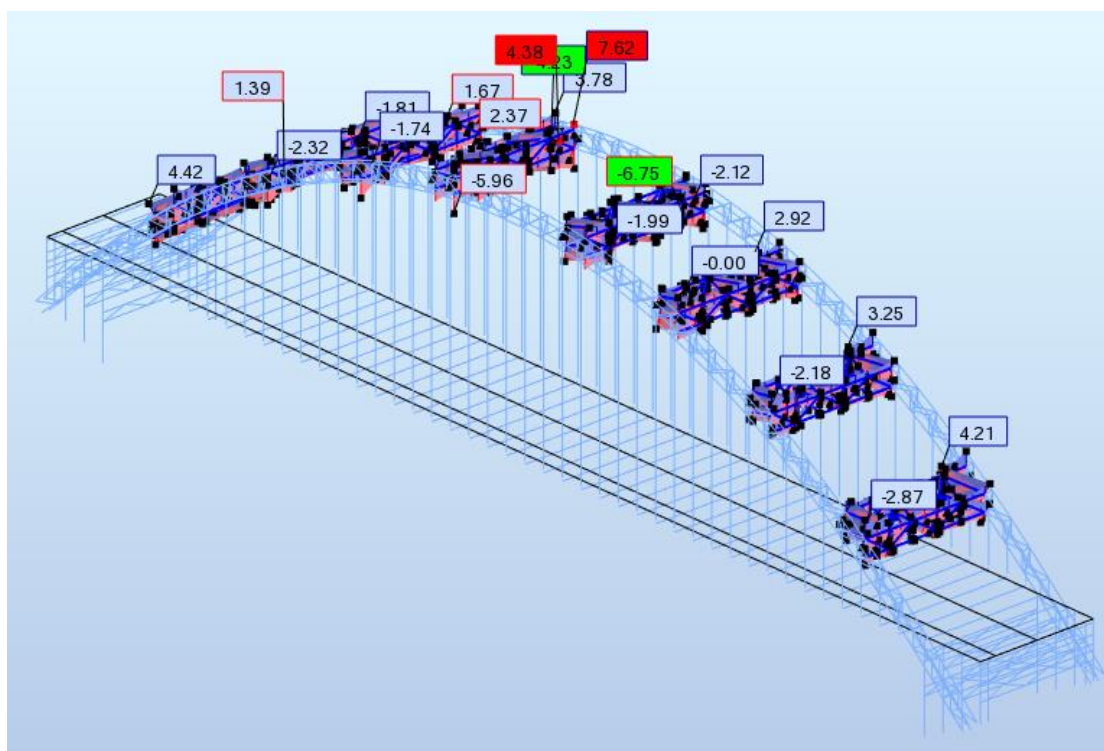
$\Delta\sigma_{e,2} = \lambda_{\max} * [\sigma_{\max,f,Ed} - \sigma_{\min,f,Ed}] = 2 * 10.97$ MPa

$\Delta\sigma_c = 56$ MPa προκύπτει από κατηγορία λεπτομέρειας για συγκολλήσεις με $t_o/t_i = 1$

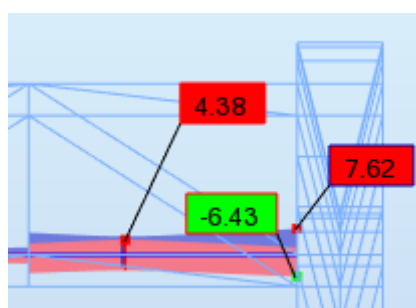
$\gamma_{M_{f,a}} = 1.35$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας αντιστάσεων, για ασφάλεια ζωής*

7.5.6 Κόπωση Αντιανέμων

Όμοια παρουσιάζονται και στα αντιανέμια οι μέγιστες τάσεις και η δυσμενέστερη διατομή με το μεγαλύτερο $\Delta\sigma$ και πραγματοποιείται ο αντίστοιχος έλεγχος.



Σχήμα 7.9a: Περιβάλλουσα Τάσεων



Σχήμα 7.9b: Δυσμενέστερη Διατομή

$$\frac{\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{e,2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf,a}}} = 0.58 < 1 \quad (7.8)$$

Όπου:

$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

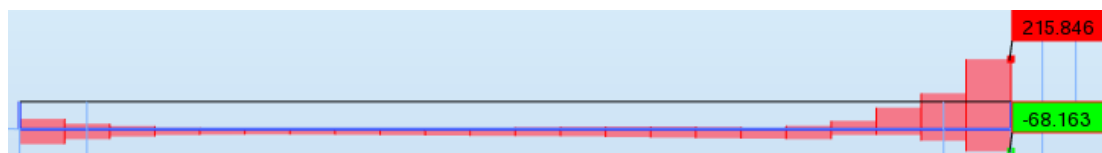
$\Delta\sigma_{e,2} = \lambda_{\max} * [\sigma_{\max,f,Ed} - \sigma_{\min,f,Ed}] = 2 * 14.05 \text{ MPa}$

απαιτεί επαρκή συντήρησηση $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$ προκύπτει από κατηγορία λεπτομέρειας για συγκολλήσεις με $t_o/t_i = 1$

$\gamma_{Mf,a} = 1.15$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας αντιστάσεων με ανοχή βλαβών**

7.5.7 Κόπωση Διατμητικών Ήλων

Παρουσιάζεται η μέγιστη τέμνουσα στη σύμμικτη διατομή (Σχήμα 7.8) και ανάλογα με την διάταξη των ήλων $2\Phi 22/12$ και $2\Phi 22/24$, υπολογίζεται η τάση που εφαρμόζεται στους ήλους ώστε να γίνει η σύγκριση με την αντοχή τους σε κόπωση. Δυσμενέστερος είναι ο έλεγχος για τα $2\Phi 22/12$ λόγω σημαντικά μεγαλύτερου ΔV .



Σχήμα 7.10 : Περιβάλλουσα Τεμνουσών

Εύρος Διατμητικής Ροής :

$$\Delta \tau_l = \frac{\Delta V_{ed} * A_c * (z_e - z_c)}{\eta * I_e} = 2.5 \text{ kN/cm} \quad (7.9a)$$

Όπου:

$\Delta V_{ed} = 284$ kN εύρος τεμνουσών

A_c, z_c = αδρανειακά πλάκας σκυροδέματος

I_e, z_e = αδρανειακά σύμμικτης διατομής

$\eta = 6.36$

Εύρος Διατμητικών Τάσεων για $\Phi 22/12$:

$$\Delta \tau_p = \frac{\Delta \tau_l}{n * A_d} = \frac{2.5}{\left(\frac{2}{12}\right) * \left(\pi * \frac{2.2^2}{4}\right)} = 3.95 \text{ kN/cm}^2 \quad (7.9b)$$

Έλεγχος Κόπωσης

$$\frac{\gamma_{Ff} * \Delta \tau_{e,2}}{\frac{\Delta \tau_c}{\gamma_{Mf,v}}} = 0.4 < 1 \quad (7.9c)$$

Όπου:

$\gamma_{Ff} = 1.0$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας δράσεων

$\Delta \tau_{e,2} = \lambda_v * \Delta \tau_p = 0.9 * 39.5 \text{ MPa}$

$\Delta \tau_c = 90 \text{ MPa}$

$\gamma_{Mf,v} = 1$ επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για ήλους

*Μέλη με επιμέρους συντελεστή 1.35 , κρίσιμα στοιχεία και δύσκολα επισκέψιμα

**Μέλη με επιμέρους συντελεστή 1.15 εύκολα επισκέψιμα για συντήρηση

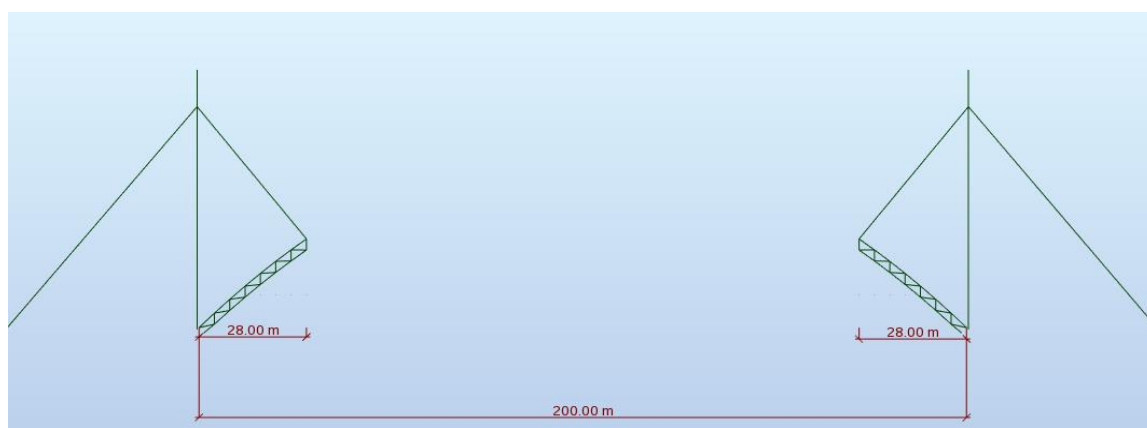
8 Φάση Κατασκευής-Ανέγερση Φορέα

8.1 Έλεγχοι στη φάση κατασκευής

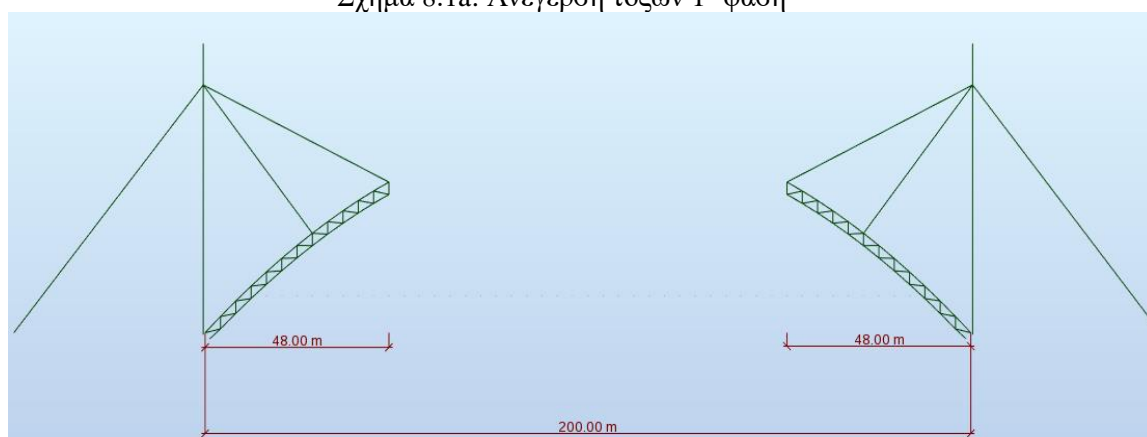
Οι βασικοί έλεγχοι στη φάση κατασκευής αφορούν τον έλεγχο των διαδοκίδων σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό αλλά καθώς και την αντοχή του χαλυβδόφυλλου κατά την διάστρωση του σκυροδέματος. Οι δύο αυτοί έλεγχοι έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο της Ο.Κ.Α.

8.2 Ανέγερση Φορέα

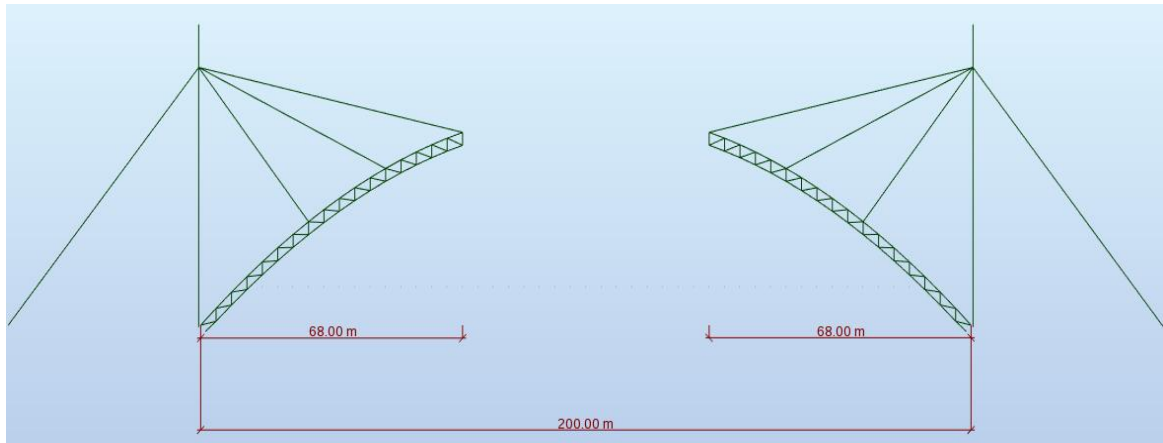
Τα τόξα έρχονται σε πέντε φάσεις απ' τη στεριά (1^η φάση) αλλά και πλωτά (υπόλοιπες φάσεις), έχοντας συγκολλημένες τις δικτυώσεις, τα οποία αναρτώνται από πύργους μέσω καλωδίων και κοχλιώνονται στο εργοτάξιο. Οι πύργοι στήνονται στα γειτονικά πρανή στο σημείο που γίνεται η πάκτωση του τόξου με το έδαφος. Στη συνέχεια αφού αναρτηθούν και κοχλιωθούν τα τόξα, έχουμε τη συγκόλληση των αντανέμων μεταξύ τους και με τα τόξα. Ακολουθεί η θεμελίωση των στύλων και η ανάρτηση των διαδοκίδων ώστε να τοποθετηθούν τα χαλυβδόφυλλα προκειμένου να γίνει η σκυροδέτηση της πλάκας. Ακολουθούν σχήματα για την ανέγερση (Σχήματα 8.1) και την τελική μορφή του φορέα (Σχήματα 8.2). Γίνεται και μια παρουσίαση των τάσεων των τριών διαφορετικών μηκών τμημάτων μελών ώστε να ληφθούν υπόψη οι παραμένουσες τάσεις από τα ίδια βάρη από τη φάση κατασκευής (Σχήματα 8.3)



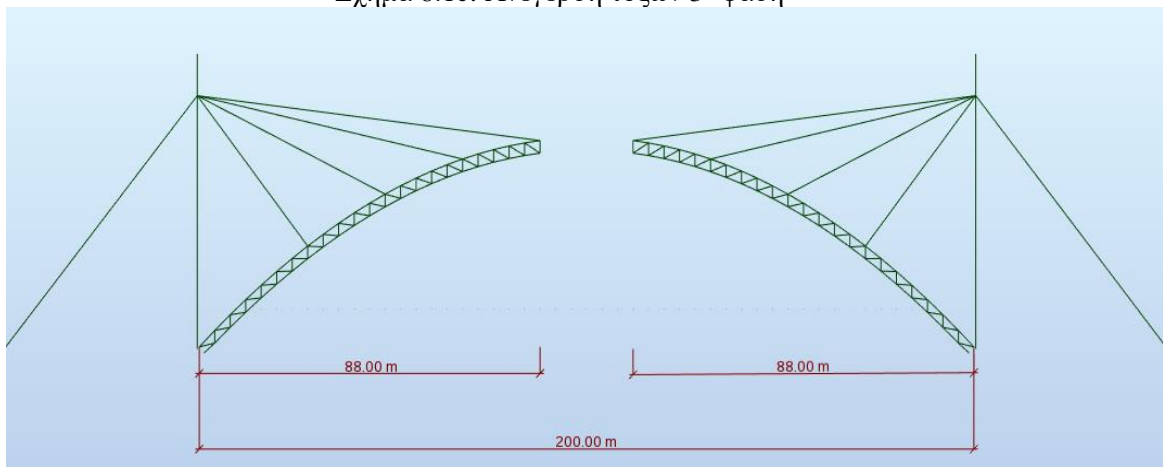
Σχήμα 8.1a: Ανέγερση τόξων 1^η φάση



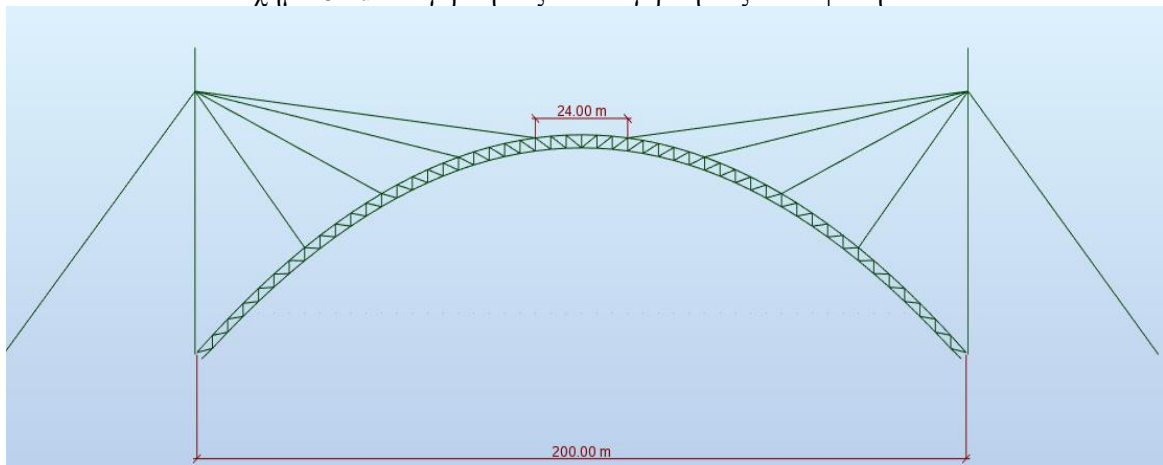
Σχήμα 8.1b: Ανέγερση τόξων 2^η φάση



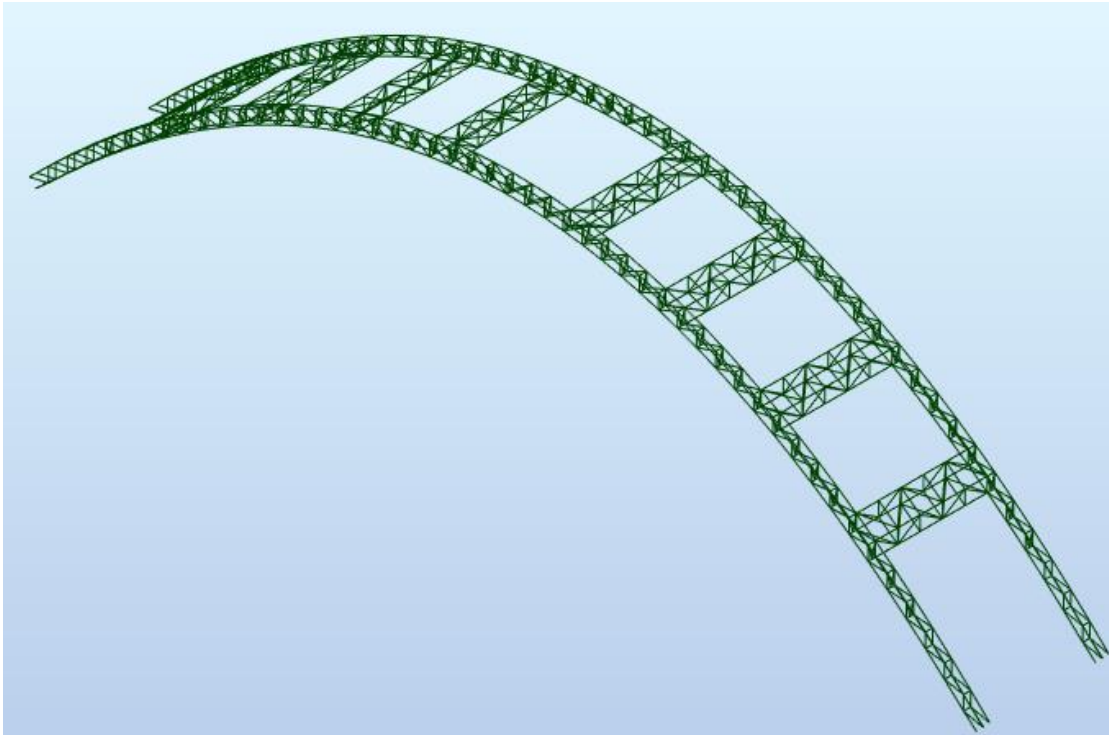
Σχήμα 8.1c: Ανέγερση τόξων 3^η φάση



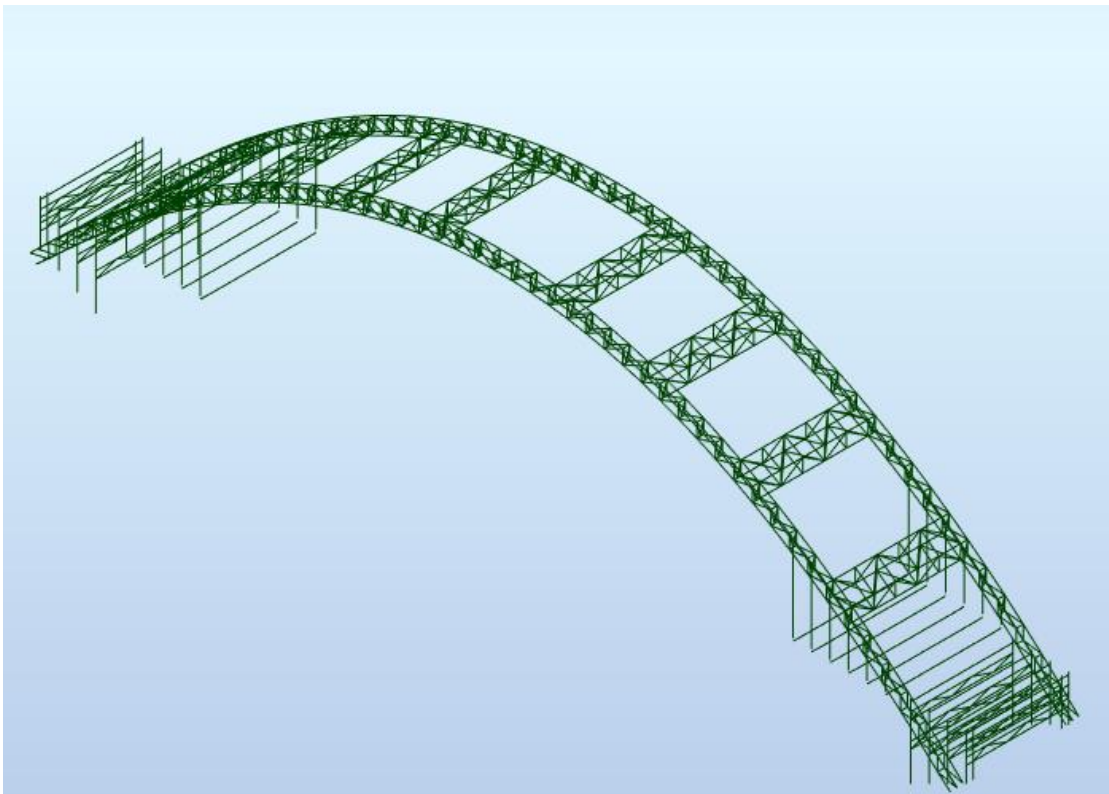
Σχήμα 8.1d Ανέγερση τόξων Ανέγερση τόξων 4^η φάση



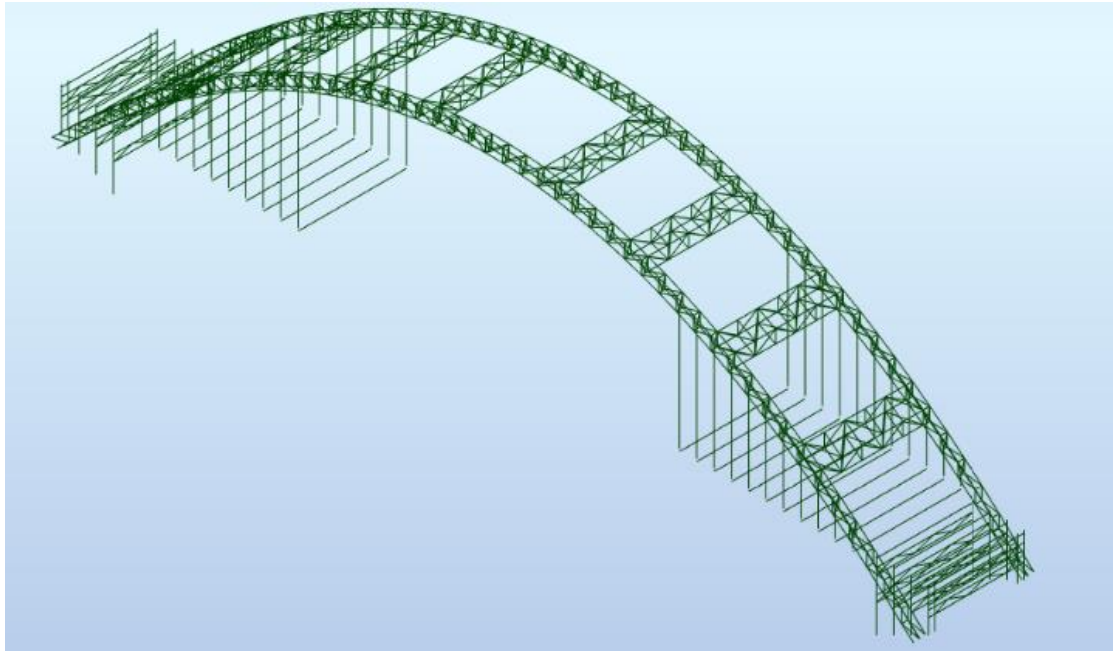
Σχήμα 8.1e: Ανέγερση τόξων 5^η φάση



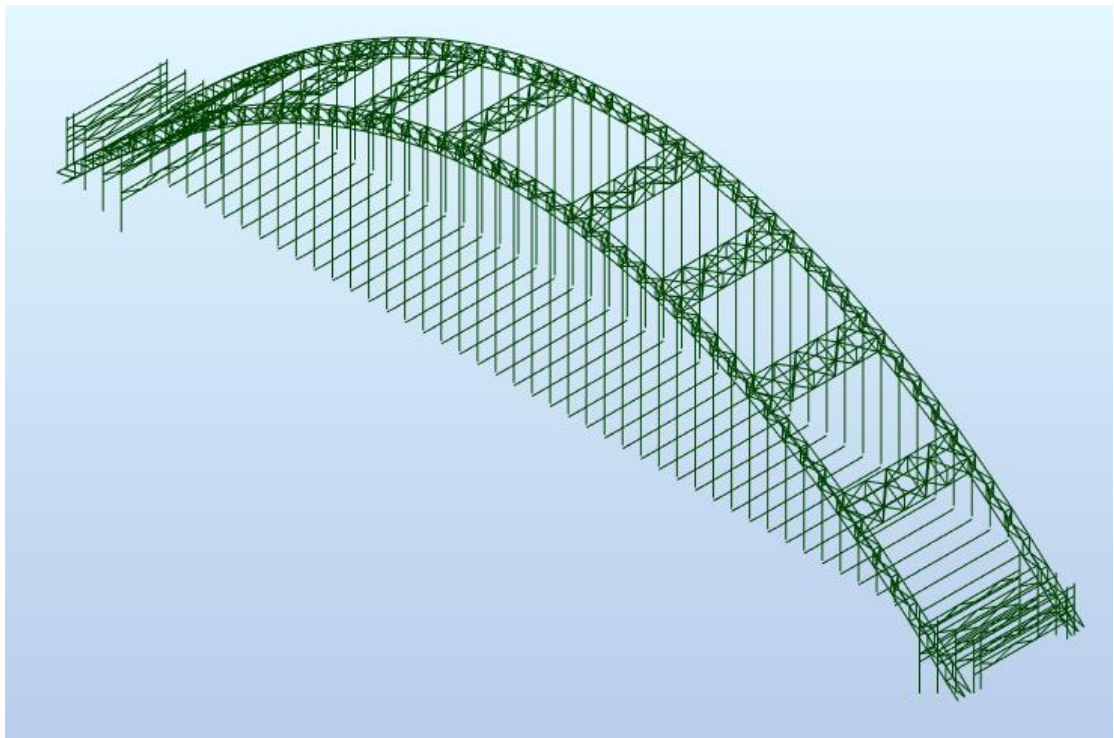
Σχήμα 8.2a : Συγκολλήσεις Αντιαμέμιων



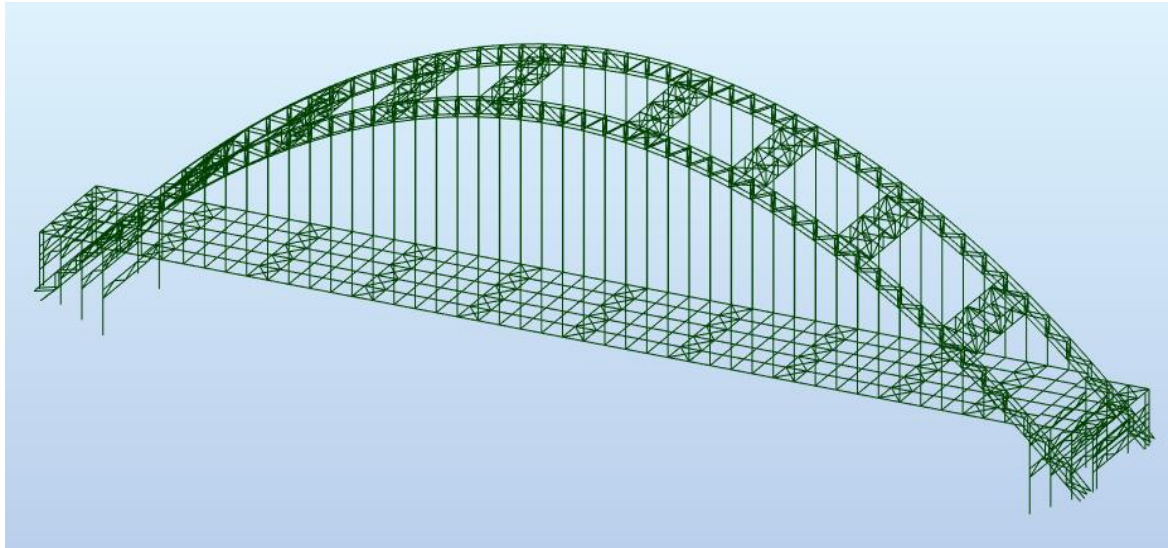
Σχήμα 8.2b : Ανάρτηση Διαδοκίδων



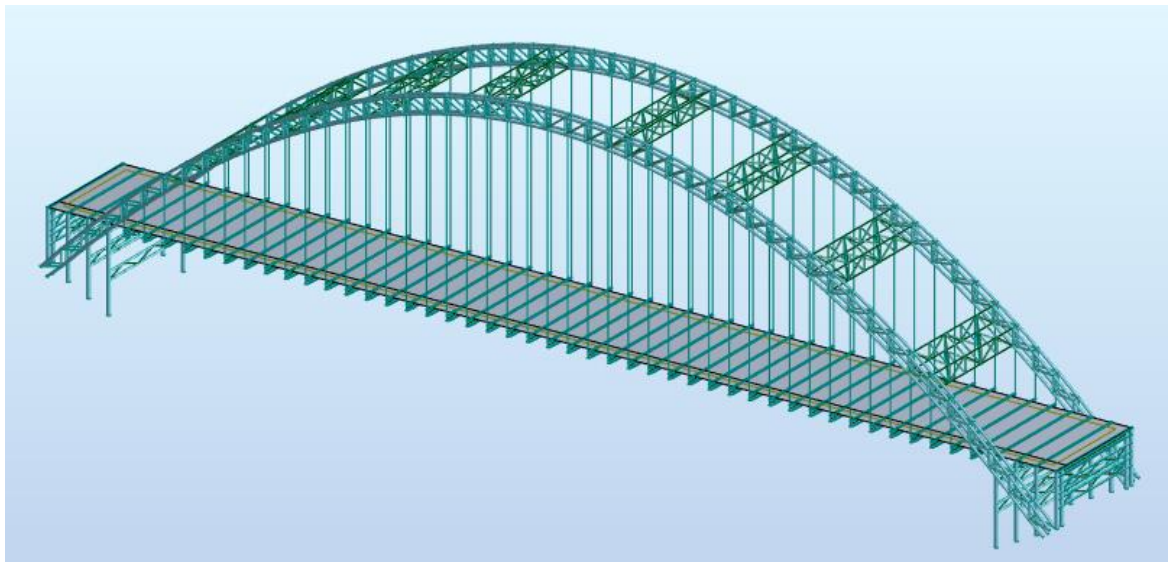
Σχήμα 8.2c : Ανάρτηση Διαδοκίδων



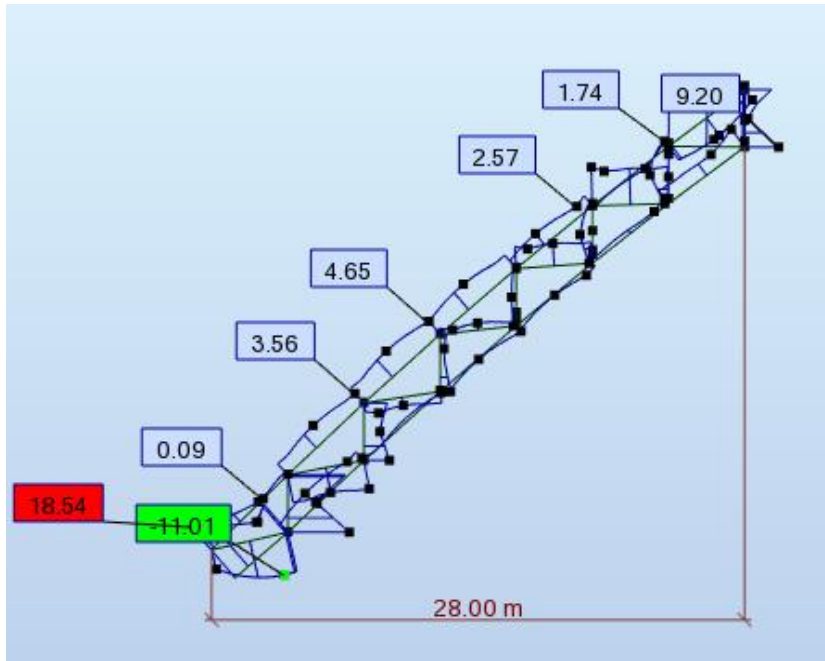
Σχήμα 8.2d : Ανάρτηση Διαδοκίδων



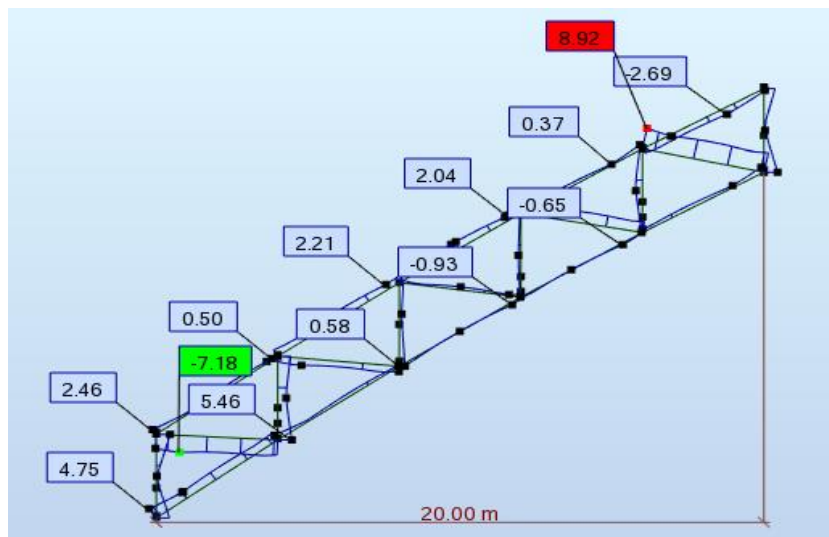
Σχήμα 8.2e : Τοποθέτηση χιαστί συνδέσμων για εξασφάλιση διαδοκίδων



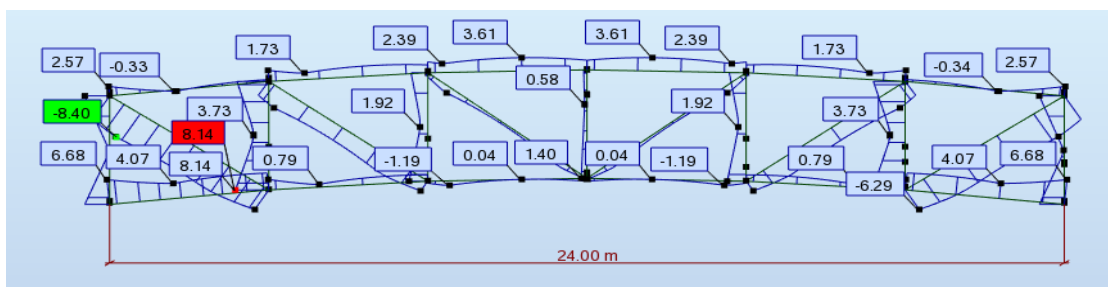
Σχήμα 8.2f : Τελική Μορφή Φορέα



Σχήμα 8.3α: Αναπτυσσόμενες Τάσεις 1^{ου} τμήματος



Σχήμα 8.3β: Αναπτυσσόμενες Τάσεις 2^{ου} τμήματος



Σχήμα 8.3γ: Αναπτυσσόμενες Τάσεις 3^{ου} τμήματος

8.3 Ποσότητες-Κοστολόγηση

Πίνακας 8.1: Ποσότητες

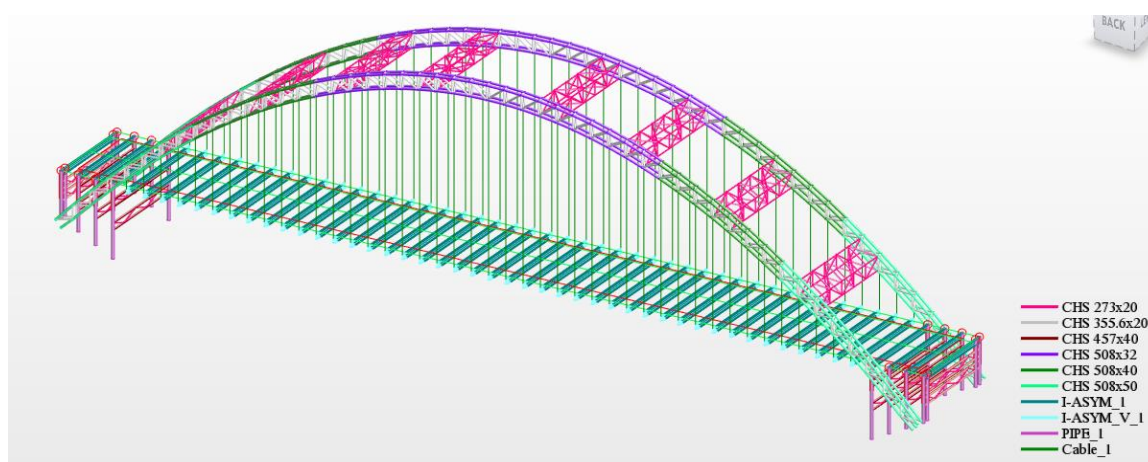
Ομάδα Διατομών	Συνολικό Βάρος ανά Ομάδα (tn)	Ποσοστό επί του συνόλου(%)
Τόξα	852.66	31
Δικτυώσεις	712.45	26
Αντιανέμια	273.87	10
Στύλοι	176.69	6
Αναρτήρες	74.04	3
Διαδοκίδες	572.49	21
Χαλυβδόφυλλο	88.40	3
ΣΥΝΟΛΟ	2750.62	100

$$\text{Ανηγμένο στο κατάστρωμα} = 2750620 / (200 * 22.1) = 623 \text{ kG/m}^2$$

Λαμβάνεται κόστος οπλισμένου σκυροδέματος 250 €/m^3

Λαμβάνεται κόστος δομικού χάλυβα 2 €/kg

$$\text{Συνολικό Κόστος} = (0.35 * 200 * 22,1) * 250 + 2750616 * 2 = 5.890.000 \text{ €}$$



Σχήμα 8.4: Ομάδες Διατομών

9 Βιβλιογραφία

1. Ι. Βάγιας, Α. Ηλιόπουλος, Π. Θανόπουλος <<Σχεδιασμός Σύμμικτων Γεφυρών από Χάλυβα και οπλισμένο Σκυρόδεμα>>, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
2. Ι. Βάγιας <<Σύμμικτες Κατασκευές από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα>>, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
3. Ι. Βάγιας <<Σιδηρές Κατασκευές Ανάλυση και Διαστασιολόγηση>>, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
4. Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης, <<Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα με παραδείγματα εφαρμογής>>
5. EN1990, Ευρωκώδικας <<Βάσεις Σχεδιασμού>> CEN, Βρυξέλλες
6. EN1991, Ευρωκώδικας <<Δράσεις Σχεδιασμού>> CEN, Βρυξέλλες
7. DIN1055-4, Γερμανικός Κανονισμός <<Δράσεις Ανέμου>>
8. EN1992, Ευρωκώδικας <<Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα>> CEN, Βρυξέλλες
9. EN1993, Ευρωκώδικας <<Σχεδιασμός Κατασκευών από Χάλυβα>> CEN, Βρυξέλλες
10. EN1994, Ευρωκώδικας <<Σχεδιασμός Σύμμικτων Κατασκευών από Χάλυβα και Σκυρόδεμα>> CEN, Βρυξέλλες
11. EN1998, Ευρωκώδικας << Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών>>
12. Wikipedia << wushan yangtze river bridge >>
13. Tata Steel Construction << Roofdek D137 >>
14. Redaelli Full Locked Coil Strands << FLC 80>>

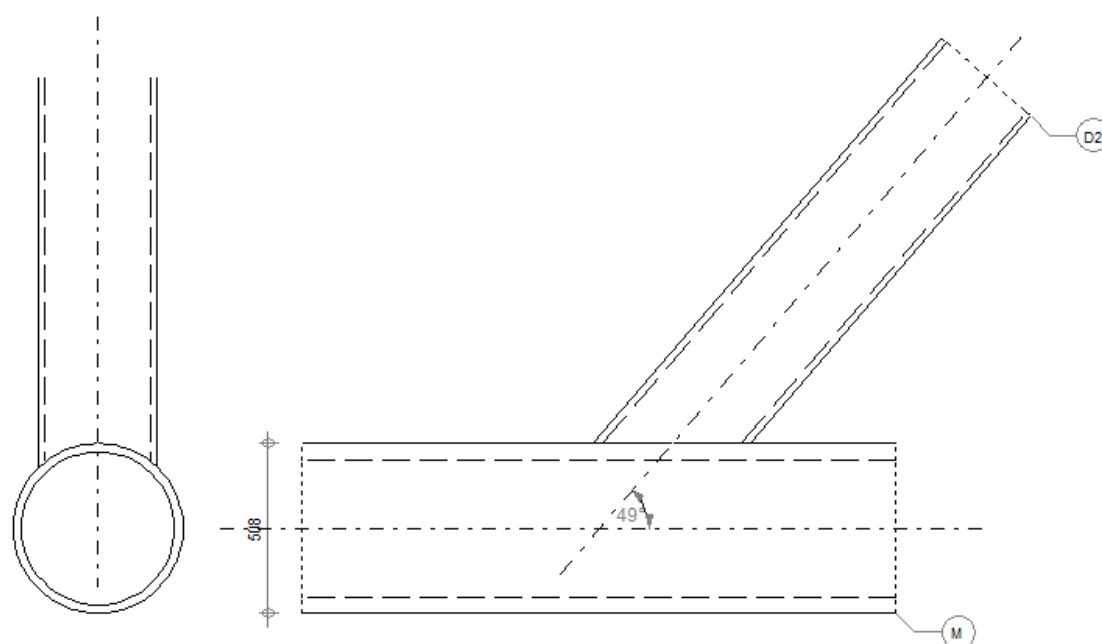
Παράρτημα Α : Συνδέσεις

Παρουσιάζεται και υπολογίζεται ο δυσμενέστερος έλεγχος από κάθε περίπτωση σύνδεσης, μια συγκόλληση δικτύωσης με διατομή του τόξου (Σχήμα Α1) και μια συγκόλληση μεταξύ των δικτύσεων (Σχήμα Α2). Επίσης παρουσιάζεται και υπολογίζεται η δυσμενέστερη κοχλίωση (Σχήμα Α3) που πραγματοποιείται στα τόξα. Τέλος ο έλεγχος της σύνδεσης στύλου με το θεμέλιο (Σχήμα Α4) καθώς και του αναρτήρα (Σχήμα Α5)

Α1. Λεπτομέρεια Συγκόλλησης Δικτύωσης

D2 - CHS 355.6x20

M - CHS 508x50



Σχήμα Α1: Συγκόλληση δικτύωσης με Τόξο

ΡΑΒΔΟΙ

	ΠΕΛΜΑ	ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 1	ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2	ΟΡΙΖ.ΡΑΒΔΟΣ	
ΡΑΒΔΟΣ no. :	53		101		
ΔΙΑΤΟΜΗ :	CHS 508x50		CHS 355.6x20		
h	508		356		mm
b _f	508		356		mm
t _w	50		20		mm
t _f	50		20		mm
r	0		0		mm
ΥΛΙΚΟ	S355		S355		
f _y	335,00		355,00		MPa
f _u	490,00		490,00		MPa
ΓΩΝΙΑ	θ	0,0	49,3		Deg
ΜΗΚΟΣ	l	5276	3000		mm

ΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

$a_d = 5$ [mm] ΠΑΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΔΙΑΓΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΟΡΘΟΣΤΑΤΗ

ΦΟΡΤΙΑ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Κύριος Άνεμος με Αφόρτιστη Γέφυρα

ΠΕΛΜΑ

$N_{01,Ed} = 0,000$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ
 $M_{01,Ed} = 0,00$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ
 $N_{02,Ed} = -10080,307$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ
 $M_{02,Ed} = 90,13$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$N_2 = 67,820$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ
 $M_2 = 88,91$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ EUROCODE 3: EN 1993-1-8:2005

$\gamma_{M5} = 1,00$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1]

FAILURE MODES FOR JOINTS (CHS CHORD MEMBERS) [Table 7.2] for $N_{i,Rd}$ and [Table 7.5] for $M_{i,Rd}$

GEOMETRICAL PARAMETERS

$\beta = 0,70$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΡΑΒΔΩΝ $\beta = d_2/d_0$ [1.5 (6)]
 $\gamma = 5,08$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ $\gamma = b_0/(2*t_0)$ [1.5 (6)]
 $n_p = 0,00$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΛΜΑ $n_p = \sigma_{p,Ed}/f_{y0}$
 $k_p = 1,00$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΛΜΑ $k_p = 1-0.3*n_p*(1+n_p)$

ΑΣΤΟΧΙΑ ΚΟΙΛΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$N_{2,Rd} = 14919,115$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ $N_{2,Rd} = [\gamma^{0.2}*k_p*f_{y0}*t_0^2/\sin(\theta_2)] * (2.8 + 14.2*\beta^2) / \gamma_{M5}$
 $|N_2| \leq N_{2,Rd}$ $|67,820| < 14919,115$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,00)
 $M_{2,Rd} = 3005,68$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ $M_{2,Rd} = 4.85*[f_{y0}*t_0^2*d_2/\sin(\theta_2)]*\sqrt{\gamma}*\beta*k_p / \gamma_{M5}$
 $|M_2| \leq M_{2,Rd}$ $|88,913| < 3005,681$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,03)
 $N_2/N_{2,Rd} + (M_2/M_{2,Rd})^2 \leq 1$ $0,01 < 1,00$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,01)

ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΧΟΡΔΗΣ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$N_{2,Rd} = 16521,514$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ $N_{2,Rd} = f_{y0}/\sqrt{3} * t_0*\pi*d_2*(1+\sin(\theta_2))/(2*\sin^2(\theta_2)) / \gamma_{M5}$
 $|N_2| \leq N_{2,Rd}$ $|67,820| < 16521,514$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,00)

$M_{2,Rd} = 1741,48$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	$M_{2,Rd} = [f_{y0} * t_0^2 * d_2^2 / \sqrt{3}] * [(1+3 * \sin(\theta_2)) / (4 * \sin^2(\theta_2))] / \gamma_{M5}$
$ M_2 \leq M_{2,Rd}$ 88,913 < 1741,484	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,05)
$N_2 / N_{2,Rd} + (M_2 / M_{2,Rd})^2 \leq 1$ 0,01 < 1,00	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,01)

ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΧΟΡΔΗΣ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$A_v = 457,73$ [cm ²] ΔΙΑΤΕΜΝΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΕΛΜΑΤΟΣ	$A_v = 2 * A_0 / \pi$
$N_{2,Rd} = 11676,640$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	$N_{2,Rd} = f_{y0} * A_v / [\sqrt{3} * \sin(\theta_2)] / \gamma_{M5}$
$ N_2 \leq N_{2,Rd}$ 67,820 < 11676,640	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,01)

ΑΝΤΟΧΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ

$N_{0,Rd} = 24086,500$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	$N_{0,Rd} = (A_0 * f_{y0}) / \gamma_{M5}$
$ N_{02} \leq N_{0,Rd}$ -10080,307 < 24086,500	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,42)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$\beta_w = 0,89$	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1]
$\gamma_{M2} = 1,25$	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1]

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

$\sigma_{\perp} = 52,70$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ	
$\tau_{\perp} = 52,70$ [MPa] ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	
$\tau_{\parallel} = 5,12$ [MPa] ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$ 52,70 < 352,80	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,15)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$ 105,77 < 441,69	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,24)

ΛΟΞΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

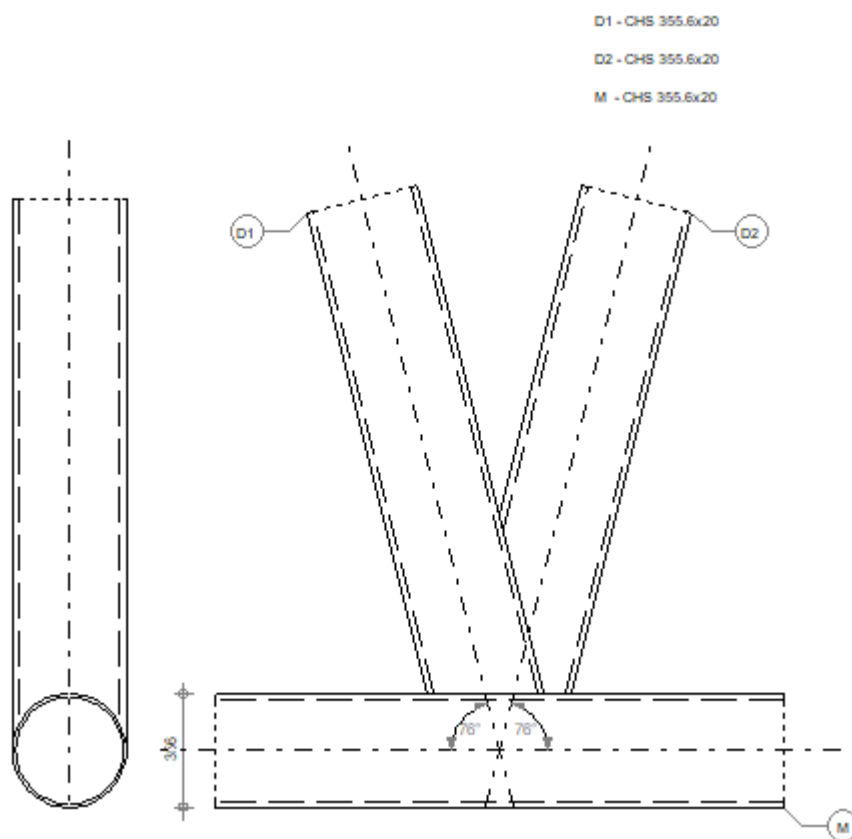
$\sigma_{\perp} = 33,22$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ	
$\tau_{\perp} = 63,07$ [MPa] ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	
$\tau_{\parallel} = 0,00$ [MPa] ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$ 33,22 < 352,80	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,09)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$ 114,19 < 441,69	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,26)

ΛΟΞΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

$\sigma_{\perp} = -61,56$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ	
$\tau_{\perp} = -23,98$ [MPa] ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	
$\tau_{\parallel} = 0,00$ [MPa] ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$ -61,56 < 352,80	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,17)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$ 74,26 < 441,69	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,17)

Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΛΟΓΟΣ 0,42

Α2. Λεπτομέρεια Συγκόλλησης Δικτυώσεων



Σχήμα Α2: Συγκόλληση δικτυώσεων

ΡΑΒΔΟΙ

		ΠΕΛΜΑ	ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 1	ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2	ΟΡΙΖ.ΡΑΒΔΟΣ	
ΡΑΒΔΟΣ no. :		418	420	419		
ΔΙΑΤΟΜΗ:		CHS 355.6x20	CHS 355.6x20	CHS 355.6x20		
	h	356	356	356		mm
	b _f	356	356	356		mm
	t _w	20	20	20		mm
	t _f	20	20	20		mm
	r	0	0	0		mm
ΥΛΙΚΟ		S355	S355	S355		
	f _y	355,00	355,00	355,00		MPa
	f _u	490,00	490,00	490,00		MPa
ΓΩΝΙΑ	θ	0,0	104,0	76,0		Deg
ΜΗΚΟΣ	l	1500	3092	3092		mm

a_d = 5 [mm] ΠΑΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΔΙΑΓΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΟΡΘΟΣΤΑΤΗ

ΦΟΡΤΙΑ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Κύριος Άνεμος με Αφόρτιστη Γέφυρα

ΠΕΛΜΑ

$N_{01,Ed} = 2,111$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

$M_{01,Ed} = -108,00$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

$N_{02,Ed} = 32,592$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

$M_{02,Ed} = -95,62$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 1

$N_1 = 269,041$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

$M_1 = 4,53$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$N_2 = 151,901$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

$M_2 = -7,84$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ EUROCODE 3: EN 1993-1-8:2005

$\gamma_{M5} = 1,00$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1]

FAILURE MODES FOR JOINTS (CHS CHORD MEMBERS)

[Table 7.2] for $N_{i,Rd}$ and [Table 7.5] for $M_{i,Rd}$

GEOMETRICAL PARAMETERS

$\beta = 1,0$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΡΑΒΔΩΝ

$$\beta = (d_1 + d_2) / (2 \cdot d_0) \quad [1.5 (6)]$$

$\gamma = 8,8$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ

$$\gamma = b_0 / (2 \cdot t_0) \quad [1.5 (6)]$$

$k_g = 2,0$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ

$$k_g = \gamma^{0.2} \cdot (1 + 0.024 \cdot \gamma^{1.2}) / (\exp(0.5 \cdot g_1 / t_0 - 1.33) + 1)$$

$k_p = 1,0$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΛΜΑ

$$k_p = 1.0$$

ΑΣΤΟΧΙΑ ΚΟΙΛΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$M_{2,Rd} = 752,67$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

$$M_{2,Rd} = 4.85 \cdot [f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_2 / \sin(\theta_2)] \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

$|M_2| \leq M_{2,Rd} \quad |-7,843| < 752,674$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0, 01)

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 1

$M_{1,Rd} = 752,67$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

$$M_{1,Rd} = 4.85 \cdot [f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1 / \sin(\theta_1)] \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

$|M_1| \leq M_{1,Rd} \quad |4,530| < 752,674$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0, 01)

ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΧΟΡΔΗΣ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$N_{2,Rd} = 4792,983$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	$N_{2,Rd} = f_{y0}/\sqrt{3} * t_0 * \pi * d_2 * (1 + \sin(\theta_2)) / (2 * \sin^2(\theta_2)) / \gamma_{M5}$
$ N_2 \leq N_{2,Rd}$ 151,901 < 4792,983	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,03)
$M_{2,Rd} = 538,41$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	$M_{2,Rd} = [f_{y0} * t_0^2 * d_2^2 / \sqrt{3}] * [(1 + 3 * \sin(\theta_2)) / (4 * \sin^2(\theta_2))] / \gamma_{M5}$
$ M_2 \leq M_{2,Rd}$ -7,843 < 538,412	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,01)
$N_2/N_{2,Rd} + (M_2/M_{2,Rd})^2 \leq 1$	0,03 < 1,00 ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,03)

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 1

$N_{1,Rd} = 4792,983$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	$N_{1,Rd} = f_{y0}/\sqrt{3} * t_0 * \pi * d_1 * (1 + \sin(\theta_1)) / (2 * \sin^2(\theta_1)) / \gamma_{M5}$
$ N_1 \leq N_{1,Rd}$ 269,041 < 4792,983	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,06)
$M_{1,Rd} = 538,41$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	$M_{1,Rd} = [f_{y0} * t_0^2 * d_1^2 / \sqrt{3}] * [(1 + 3 * \sin(\theta_1)) / (4 * \sin^2(\theta_1))] / \gamma_{M5}$
$ M_1 \leq M_{1,Rd}$ 4,530 < 538,412	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,01)
$N_1/N_{1,Rd} + (M_1/M_{1,Rd})^2 \leq 1$	0,06 < 1,00 ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,06)

ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΧΟΡΔΗΣ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$A_v = 134,33$ [cm ²] ΔΙΑΤΕΜΝΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΕΛΜΑΤΟΣ	$A_v = 2 * A_0 / \pi$
$N_{2,Rd} = 2837,885$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	$N_{2,Rd} = f_{y0} * A_v / [\sqrt{3} * \sin(\theta_2)] / \gamma_{M5}$
$ N_2 \leq N_{2,Rd}$ 151,901 < 2837,885	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,05)

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 1

$A_v = 134,33$ [cm ²] ΔΙΑΤΕΜΝΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΕΛΜΑΤΟΣ	$A_v = 2 * A_0 / \pi$
$N_{1,Rd} = 2837,885$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	$N_{1,Rd} = f_{y0} * A_v / [\sqrt{3} * \sin(\theta_1)] / \gamma_{M5}$
$ N_1 \leq N_{1,Rd}$ 269,041 < 2837,885	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,09)

ΑΝΤΟΧΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ

$V_{pl,Rd} = 2753,153$ [kN] ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ	$V_{pl,Rd} = (A_v * f_{y0}) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$
$ V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$ 261,008 < 2753,153	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,09)
$N_{0,Rd} = 7469,022$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	$N_{0,Rd} = [(A_0 - A_v) * f_{y0} + A_v * f_{y0} * \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{M5}$
$ N_{02} \leq N_{0,Rd}$ 32,592 < 7469,022	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,00)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 2

$\beta_w = 0,89$	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1]
$\gamma_{M2} = 1,25$	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1]

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

$\sigma_{\perp} = 12,40$ [MPa]	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ
$\tau_{\perp} = 12,40$ [MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ
$\tau_{\parallel} = 4,38$ [MPa]	ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$ 12,40 < 352,80	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,04)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$ 25,93 < 441,69	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,06)

ΛΟΞΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

$\sigma_{\perp} = 9,10$ [MPa]	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ
$\tau_{\perp} = 4,75$ [MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ

ΛΟΞΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

$\sigma_{\perp} = 15,97$ [MPa]	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ
$\tau_{\perp} = 17,87$ [MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ
$\tau_{\parallel} = 0,00$ [MPa]	ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$ 15,97 < 352,80	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,05)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$ 34,82 < 441,69	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,08)

ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ 1

$\beta_w = 0,89$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ [ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1]
 $\gamma_{M2} = 1,25$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1]

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

$\sigma_{\perp} = 21,95$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ
 $\tau_{\perp} = 21,95$ [MPa] ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ
 $\tau_{\parallel} = -7,76$ [MPa] ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ

$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$	$ 21,95 < 352,80$	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,06)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	$45,92 < 441,69$	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,10)

ΛΟΞΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

$\sigma_{\perp} = 21,59$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ
 $\tau_{\perp} = 26,41$ [MPa] ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ
 $\tau_{\parallel} = 0,00$ [MPa] ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ

$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$	$ 21,59 < 352,80$	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,06)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	$50,59 < 441,69$	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,11)

ΛΟΞΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

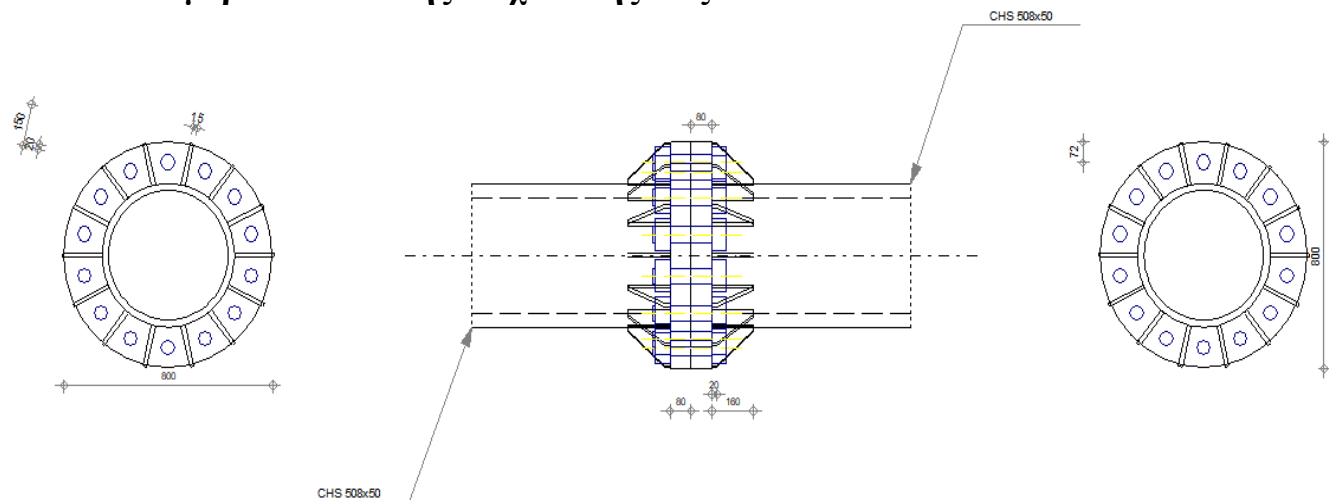
$\sigma_{\perp} = 21,35$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ
 $\tau_{\perp} = 15,11$ [MPa] ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ
 $\tau_{\parallel} = 0,00$ [MPa] ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ

$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$	$ 21,35 < 352,80$	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,06)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	$33,78 < 441,69$	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,08)

Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ

ΛΟΓΟΣ 0,11

A3. Λεπτομέρεια Σύνδεσης Κοχλίωσης Τόξων



Σχήμα A3: Κοχλίωση Μελών Τόξων

CHS 508x50

ΔΙΑΤΟΜΗ:

$d_1 = 508$ [mm] ΥΨΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ
 $t_1 = 50$ [mm] ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ
 $A_1 = 719,00$ [cm²] ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΥΛΙΚΟ S355
 $f_{y1} = 355,00$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ
 $f_{u1} = 490,00$ [MPa] ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

LEFT BEAM

ΔΙΑΤΟΜΗ: CHS 508x50

$d_2 = 508$ [mm] ΥΨΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ
 $t_2 = 50$ [mm] ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ
 $A_2 = 719,00$ [cm²] ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΥΛΙΚΟ S355
 $f_{y2} = 355,00$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ
 $f_{u2} = 490,00$ [MPa] ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

ΠΛΑΚΑ

$d_p = 800$ [mm] ΜΗΚΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ
 $t_p = 80$ [mm] ΠΑΧΟΣ ΠΛΑΚΑΣ
ΥΛΙΚΟ S355
 $f_{yp} = 355,00$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
 $f_{up} = 490,00$ [MPa] ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

ΕΝΙΣΧΥΣΗ

$l_s = 160$ [mm] ΜΗΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ
 $h_s = 150$ [mm] ΥΨΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ
 $t_s = 15$ [mm] ΠΑΧΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ
 $c_{1s} = 20$ [mm] ΤΟΜΗ
 $c_{2s} = 20$ [mm] ΤΟΜΗ

ΚΟΧΛΙΕΣ

Connection category D

ΠΟΙΟΤΗΤΑ = 12.9 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ
 $d = 56$ [mm] ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ
 $d_0 = 59$ [mm] Διάμετρος οπής κοχλία
 $A_s = 20,30$ [cm²] ΕΝΕΡΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΑ
 $A_v = 24,63$ [cm²] ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ
 $f_{yb} = 1080,00$ [MPa] Yield strength of bolt
 $f_{ub} = 1200,00$ [MPa] Εφελκυστική αντοχή κοχλία
 $n_b = 14$ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ
 $e_1 = 72$ [mm] ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΩΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ
 $p_1 = 147$ [mm] ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ

ΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

$a_w = 15$ [mm]
 $a_s = 15$ [mm]

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

$\gamma_{M0} = 1,00$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [2.2]
 $\gamma_{M1} = 1,00$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [2.2]

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

$\gamma_{M0} =$	1,00	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,25	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[2.2]

ΦΟΡΤΙΑ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΧΡΗΣΤΗ.

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

$N_{Ed1} =$	13277,000	[kN]	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ
$N_{Ed2} =$	13277,000	[kN]	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΟΧΛΙΩΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ - ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ D

BOLT FAILURE

$F_{t,Rd} =$	$\frac{1753,92}{0}$ [kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ	$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$
$B_{p,Rd} =$	$\frac{5062,12}{8}$ [kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = \frac{(0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{up})}{\gamma_{M2}}$

$N_{Ed} \leq n_b \cdot F_{t,Rd}$	$\frac{13277,000}{24554,880} <$	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,54)
$N_{Ed} \leq n_b \cdot B_{p,Rd}$	$\frac{13277,000}{70869,794} <$	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,19)

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_1 =$	74	[mm]	Distance	
$e_2 =$	72	[mm]	Distance	
$e_{eff} =$	72	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2; 1.25 \cdot e_1)$
$r_1 =$	400	[mm]	Radius	$r_1 = 0.5 \cdot d_i + e_1 + e_{eff}$
$r_2 =$	328	[mm]	Radius	$r_2 = 0.5 \cdot d_i + e_1$
$r_3 =$	229	[mm]	Radius	$r_3 = 0.5 \cdot (d_i - t_i)$
$k_1 =$	0,36		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	$k_1 = \ln(r_2/r_3)$
$k_3 =$	2,36		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	$k_3 = k_1 + 2$
$f_3 =$	6,11		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	$f_3 = (k_3 + \sqrt{[k_3^2 - 4 \cdot k_1]}) / (2 \cdot k_1)$

COMPLETE ENDPLATE YIELDING

$F_{T1,Rd} =$	20580,764	[kN]	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	$F_{T1,Rd} = (t_p^2 \cdot f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3) / (2 \cdot \gamma_{M0})$
$N_{Ed} \leq F_{T1,Rd}$	$13277,000 <$	20580,764	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,65)

BOLT FAILURE WITH ENDPLATE YIELDING

$F_{T2,Rd} =$	14783,751	[kN]	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	$F_{T2,Rd} = (n_b \cdot F_{t,Rd}) / (1 - 1/f_3 + 1/(f_3 \cdot \ln(r_1/r_2)))$
$N_{Ed} \leq F_{T2,Rd}$	$13277,000 <$	14783,751	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,90)

ΔΙΑΤΟΜΗ

$N_{t,Rd} =$	24086,500	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	$N_{t,Rd} = A_i \cdot f_y$
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$	$13277,000 <$	24086,500	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,55)

ΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

FILLET WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR AND STIFFENERS

$A_w =$	869,39	[cm ²]	Εμβαδόν συγκόλλησης	$A_w = \pi \cdot d_1 \cdot a_w + h_s \cdot n_s \cdot 2 \cdot a_s$
$\sigma =$	152,72	[MPa]	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ	N_{Ed}/A_w
$\sigma_{\perp} =$	107,99	[MPa]	Ονομαστική ορθή τάση στη συγκόλληση	$\sigma_{\perp} = \sigma/\sqrt{2}$
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$			107,99 < 338,40 ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,32)
$\tau_{\perp} =$	107,99	[MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp}$
$\beta_w =$	0,90		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1]
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			215,97 < 417,78 ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,52)

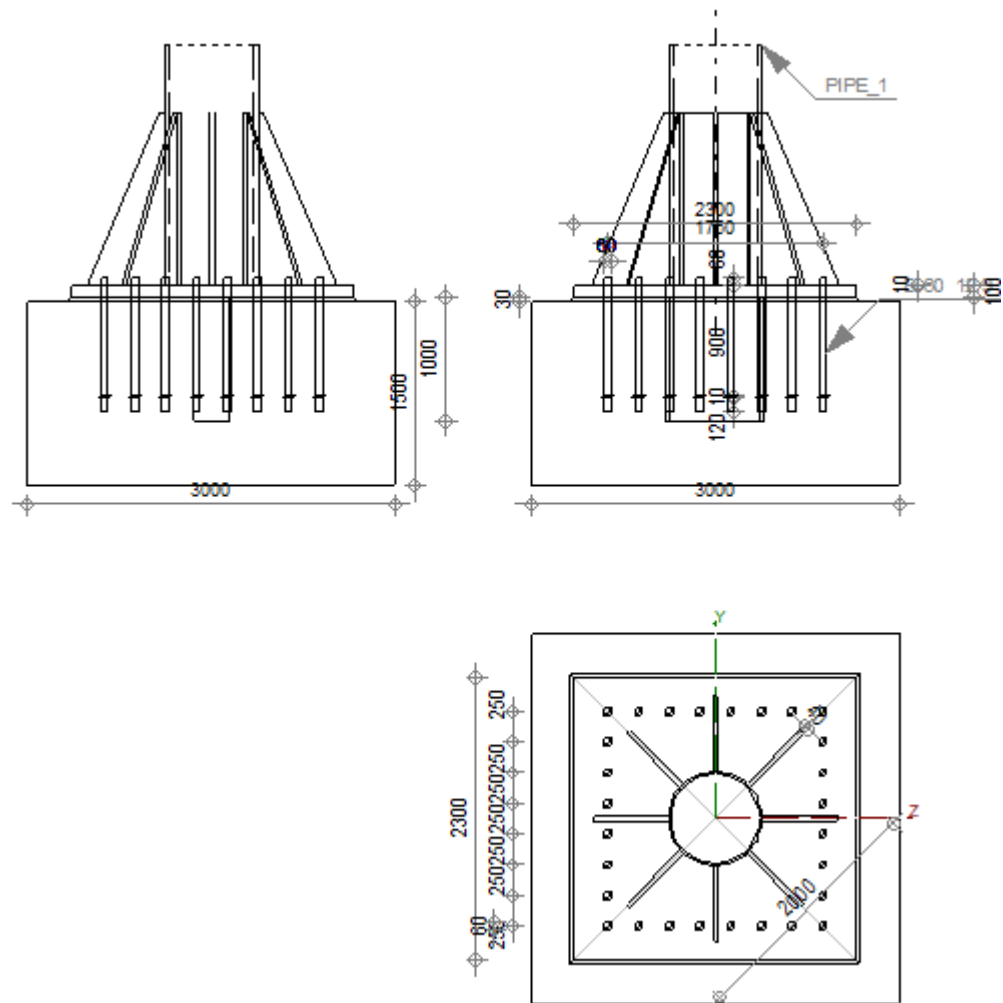
FILLET WELDS CONNECTING A STIFFENERS WITH THE BAR

$A_w =$	672,00	[cm ²]	Εμβαδόν συγκόλλησης	$A_w = n_s \cdot l_s \cdot 2 \cdot a_s$
$\tau_{ } =$	143,17	[MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	$\tau_{ } = N_{Ed,s}/A_w$
$\beta_w =$	0,80		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1]
$\sqrt{[3 \cdot \tau_{ }^2]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			247,98 < 470,00 ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,69)

Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ

ΛΟΓΟΣ 0,90

A4. Λεπτομέρεια Θεμελίωσης Στύλου



Σχήμα A4: Θεμελίωση Στύλου

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ

ΔΙΑΤΟΜΗ:		PIPE_1
ΡΑΒΔΟΣ no.:		2649
$L_c =$	10,00 [m]	ΜΗΚΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
$\alpha =$	0,0 [Deg]	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ
$h_c =$	762 [mm]	ΥΨΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
$b_{fc} =$	762 [mm]	ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
$t_{wc} =$	40 [mm]	ΠΑΧΟΣ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
$t_{fc} =$	40 [mm]	ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
$r_c =$	0 [mm]	ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
$A_c =$	907,29 [cm ²]	ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
$I_{yc} =$	593010,56 [cm ⁴]	ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
ΥΛΙΚΟ	S355	
$f_{yc} =$	355,00 [MPa]	ΑΝΤΟΧΗ
$f_{uc} =$	490,00 [MPa]	ΤΑΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΕΝΟΣ ΥΛΙΚΟΥ

ΒΑΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

$l_{pd} =$	2300	[mm]	ΜΗΚΟΣ
$b_{pd} =$	2300	[mm]	ΠΛΑΤΟΣ
$t_{pd} =$	100	[mm]	ΠΑΧΟΣ
ΥΛΙΚΟ	S355		
$f_{ypd} =$	335,00	[MPa]	ΑΝΤΟΧΗ
$f_{upd} =$	470,00	[MPa]	ΤΑΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΕΝΟΣ ΥΛΙΚΟΥ

ΑΓΚΥΡΩΣΗ

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ =	12.9		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ
$f_{yb} =$	1080,00	[MPa]	ΤΑΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΤΟΥ ΑΓΚΥΡΙΟΥ
$f_{ub} =$	1200,00	[MPa]	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΤΟΥ ΑΓΚΥΡΙΟΥ
$d =$	60	[mm]	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ
$A_s =$	22,89	[cm ²]	ΕΝΕΡΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΑ
$A_v =$	28,27	[cm ²]	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ
$n_H =$	8		ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ
$n_V =$	8		ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΕΙΡΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $e_{Hi} =$	250;250;250;250	[mm]	
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $e_{Vi} =$	250;250;250;250	[mm]	

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

$L_1 =$	60	[mm]
$L_2 =$	900	[mm]
$L_3 =$	120	[mm]

ΠΛΑΚΑ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

$l_p =$	100	[mm]	ΜΗΚΟΣ
$b_p =$	100	[mm]	ΠΛΑΤΟΣ
$t_p =$	10	[mm]	ΠΑΧΟΣ
ΥΛΙΚΟ	S355		
$f_y =$	355,00	[MPa]	ΑΝΤΟΧΗ

ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ

$l_{wd} =$	60	[mm]	ΜΗΚΟΣ
$b_{wd} =$	60	[mm]	ΠΛΑΤΟΣ
$t_{wd} =$	10	[mm]	ΠΑΧΟΣ

ΠΤΕΡΥΓΙΟ

ΔΙΑΤΟΜΗ:			HEB 800
$l_w =$	1000	[mm]	ΜΗΚΟΣ
ΥΛΙΚΟ	S355		
$f_{yw} =$	355,00	[MPa]	ΑΝΤΟΧΗ

ΕΝΙΣΧΥΣΗ

$l_s =$	2000	[mm]	ΜΗΚΟΣ
$h_s =$	1400	[mm]	ΥΨΟΣ
$t_s =$	40	[mm]	ΠΑΧΟΣ
$d_1 =$	40	[mm]	ΤΟΜΗ
$d_2 =$	40	[mm]	ΤΟΜΗ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

$\gamma_{M0} =$	1,00	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
$\gamma_{M2} =$	1,25	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

$\gamma_{M0} = 1,00$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
 $\gamma_C = 1,50$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

ΒΑΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

$L = 3000$ [mm] ΜΗΚΟΣ ΠΕΔΙΛΟΥ
 $B = 3000$ [mm] ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΔΙΛΟΥ
 $H = 1500$ [mm] ΥΨΟΣ ΠΕΔΙΛΟΥ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΠΟΙΟΤΗΤΑ C30/37

$f_{ck} = 30,00$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

ΣΤΡΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΜΑΤΟΣ

$t_g = 30$ [mm] ΠΑΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ (ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΜΑ)

$f_{ck,g} = 12,0$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ
= 0]

$C_{f,d} = 0,30$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΕΔΡΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

$a_p = 16$ [mm] ΠΛΑΚΑ ΠΕΔΙΛΟΥ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ
 $a_w = 7$ [mm] ΠΤΕΡΥΓΙΟ
 $a_s = 10$ [mm] ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

ΦΟΡΤΙΑ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: 268: COMB19 (1+264)*1.00+265*0.30+4*0.20+68*0.50

$N_{j,Ed} = -1151,972$ [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

$V_{j,Ed,y} = -193,824$ [kN] ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

$V_{j,Ed,z} = 655,802$ [kN] ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

$M_{j,Ed,y} = -6539,62$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

$M_{j,Ed,z} = 194,72$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ

ΘΛΙΨΗ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

$f_{cd} = 20,00$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΘΛΙΨΗ EN 1992-1:[3.1.6.(1)]

$f_j = 17,39$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΠΟ ΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΒΑΣΕΩΣ [6.2.5.(7)]

$c = t_p$
 $\sqrt{(f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{M0}))}$

$c = 253$ $\frac{[m]}{[m]}$ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ [6.2.5.(4)]

$b_{eff} = 547$ $\frac{[m]}{[m]}$ ΕΝΕΡΓΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΛΜΑ [6.2.5.(3)]

$l_{eff} = 1269$ $\frac{[m]}{[m]}$ ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΛΜΑ [6.2.5.(3)]

$A_{c0} = 6937,5$ $\frac{[cm^2]}{[cm^2]}$ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΒΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ EN 1992-1:[6.7.(3)]

$A_{c1} = 45418,$ $\frac{[cm^2]}{[cm^2]}$ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ EN 1992-1:[6.7.(3)]

$F_{rd,u} = A_{c0}*f_{cd}*\sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3*A_{c0}*f_{cd}$

$F_{rd,u} = 35501,624$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ EN 1992-1:[6.7.(3)]

$\beta_j = 0,67$ ΘΛΙΠΤΙΚΟΣ ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ [6.2.5.(7)]

$f_{jd} = \beta_j*F_{rd,u}/(b_{eff}*l_{eff})$

$f_{jd} = 34,12$ [MPa] ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ [6.2.5.(7)]
 $A_{c,n} = 37217,92$ [cm²] ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ [6.2.8.2.(1)]
 $A_{c,y} = 15789,69$ [cm²] ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΡΟΠΗ M_y [6.2.8.3.(1)]
 $A_{c,z} = 15789,69$ [cm²] ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΡΟΠΗ M_z [6.2.8.3.(1)]

$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} \cdot f_{jd}$
 $F_{c,Rd,n} = 126970,230$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ [6.2.8.2.(1)]
 $F_{c,Rd,y} = 53867,079$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ M_y [6.2.8.3.(1)]
 $F_{c,Rd,z} = 53867,079$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΜΨΗ M_z [6.2.8.3.(1)]

ΠΕΛΜΑ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

$CL = 1,00$ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ EN 1993-1-1:[5.5.2]

$W_{pl,y} = 136645,4$ [cm³] ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ modulus EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{c,Rd,y} = 48509,12$ [kN*m] ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_{f,y} = 1106$ [mm] ΚΕΝΤΡΟΒΑΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΕΛΜΑΤΩΝ [6.2.6.7.(1)]

$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$
 $F_{c,fc,Rd,y} = 43863,628$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΥ [6.2.6.7.(1)]

$W_{pl,z} = 136645,4$ [cm³] ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ modulus EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{c,Rd,z} = 48509,12$ [kN*m] ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_{f,z} = 1106$ [mm] ΚΕΝΤΡΟΒΑΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΕΛΜΑΤΩΝ [6.2.6.7.(1)]

$F_{c,fc,Rd,z} = M_{c,Rd,z} / h_{f,z}$
 $F_{c,fc,Rd,z} = 43863,628$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΥ [6.2.6.7.(1)]

ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΤΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ

$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$
 $N_{j,Rd} = 126970,230$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΕ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ [6.2.8.2.(1)]

$F_{c,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$
 $F_{c,Rd,y} = 43863,628$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ [6.2.8.3]

$F_{c,Rd,z} = \min(F_{c,Rd,z}, F_{c,fc,Rd,z})$
 $F_{c,Rd,z} = 43863,628$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ [6.2.8.3]

ΖΩΝΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

ΑΣΤΟΧΙΑ ΧΑΛΥΒΑ

$A_b = 22,89$ [cm²] ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΣ [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]

$f_{ub} = 1200,0$ [MPa] ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΤΟΥ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]

$\beta = 0,85$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ [3.6.1.(3)]

$F_{t,Rd,s1} = \beta \cdot 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_b / \gamma_{M2}$
 $F_{t,Rd,s1} = 1681,042$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΣΕ ΑΣΤΟΧΙΑ ΧΑΛΥΒΑ [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]

$F_{t,Rd,s} = F_{t,Rd,s1}$
 $F_{t,Rd,s} = 1681,042$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΣΕ ΑΣΤΟΧΙΑ ΧΑΛΥΒΑ

ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

$F_{t,Rd} = F_{t,Rd,s}$
 $F_{t,Rd} = 1681,042$ [kN] ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

ΚΑΜΨΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΒΑΣΕΩΣ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ M_{j,Ed,y}

$l_{eff,1} = 1150$ [mm] ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 1 [6.2.6.5]

$l_{eff,2} = 1150$ [mm] ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 2 [6.2.6.5]

$m = 837$ [mm] ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΑΚΡΗ [6.2.6.5]

$M_{pl,1,Rd} = 963,13$ [kN*m] ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 1 [6.2.4]

$M_{pl,2,Rd} = 963,13$ [kN*m] ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 2 [6.2.4]

$F_{T,1,Rd} = 4603,309$ [kN] ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 1 [6.2.4]

$F_{T,2,Rd} = 5058,505$ [kN] ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 2 [6.2.4]

$l_{eff,1} =$	1150	[mm]	ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 1	[6.2.6.5]
$F_{T,3,Rd} =$	13448,333	[kN]	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd,y} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$				
$F_{t,pl,Rd,y} =$	4603,309	[kN]	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΚΑΣ	[6.2.4]

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ $M_{j,Ed,z}$

$l_{eff,1} =$	1150	[mm]	ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} =$	1150	[mm]	ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 2	[6.2.6.5]
$m =$	837	[mm]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΑΚΡΗ	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} =$	963,13	[kN*m]	ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} =$	963,13	[kN*m]	ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} =$	4603,309	[kN]	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 1	[6.2.4]
$F_{T,2,Rd} =$	5058,505	[kN]	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 2	[6.2.4]
$F_{T,3,Rd} =$	13448,333	[kN]	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΓΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΥΠΟΥ 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd,z} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$				
$F_{t,pl,Rd,z} =$	4603,309	[kN]	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΚΑΣ	[6.2.4]

ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΦΕΛΚΥΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ

$F_{T,Rd,y} = F_{t,pl,Rd,y}$				
$F_{T,Rd,y} =$	4603,30	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΦΕΛΚΥΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ	[6.2.8.3]
$F_{T,Rd,z} = F_{t,pl,Rd,z}$				
$F_{T,Rd,z} =$	4603,30	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΦΕΛΚΥΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ	[6.2.8.3]

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

$N_{i,Ed} / N_{i,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	0,01 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,01)	
$e_y =$	5677	[mm]	ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ	[6.2.8.3]
$z_{c,y} =$	553	[mm]	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ $F_{C,Rd,y}$	[6.2.8.1.(2)]
$z_{t,y} =$	875	[mm]	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ $F_{T,Rd,y}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,y} =$	7282,68	[kN*m]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)	0,90 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,90)	
$e_z =$	169	[mm]	ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ	[6.2.8.3]
$z_{c,z} =$	553	[mm]	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ $F_{C,Rd,z}$	[6.2.8.1.(2)]
$z_{t,z} =$	875	[mm]	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ $F_{T,Rd,z}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,z} =$	11357,12	[kN*m]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)	0,02 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,02)	
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$	0,92 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0,92)	

ΔΙΑΤΜΗΣΗ

ΠΙΕΣΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΣΤΗ ΠΛΑΚΑ ΕΔΡΑΣΕΩΣ

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} =$	1,48	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ - ΣΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]	
$\alpha_{b,y} =$	1,00	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΑΝΤΟΧΗΣ $F_{1,vb,Rd}$	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]	
$k_{1,y} =$	2,50	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ - ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]	
$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \cdot \alpha_{b,y} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$				
$F_{1,vb,Rd,y} =$	5640,000	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΓΙΑ ΠΙΕΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΕΔΡΑΣΕΩΣ	[6.2.2.(7)]

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} =$	1,48	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ - ΣΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]
$\alpha_{b,z} =$	1,00	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΑΝΤΟΧΗΣ $F_{1,vb,Rd}$	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]
$k_{1,z} =$	2,50	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ - ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,z} = \frac{k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}}$$

$F_{1,vb,Rd,z} = 5640,000$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΓΙΑ ΠΙΕΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΕΔΡΑΣΕΩΣ [6.2.2.(7)]

ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

$\alpha_b = 0,25$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΑΝΤΟΧΗΣ $F_{2,vb,Rd}$ [6.2.2.(7)]

$A_{vb} = 28,27$ [cm²] ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ [6.2.2.(7)]

$f_{ub} = 1200,00$ [MPa] ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΤΟΥ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [6.2.2.(7)]

$\gamma_{M2} = 1,25$ ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [6.2.2.(7)]

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$F_{2,vb,Rd} = 673,155$ [kN] ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ - ΧΩΡΙΣ ΑΓΚΙΣΤΡΟ [6.2.2.(7)]

ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

$C_{f,d} = 0,30$ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΕΔΡΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [6.2.2.(6)]

$N_{c,Ed} = 1151,9$ [kN] ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ [6.2.2.(6)]

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$$

$F_{f,Rd} = 345,591$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΟΛΙΣΘΗΣΗ [6.2.2.(6)]

ΠΙΕΣΗ ΕΠΑΦΗΣ ΤΗΣ ΣΦΗΝΑΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

$$F_{v,Rd,wg,y} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wy} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

$F_{v,Rd,wg,y} = 22400,000$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΓΙΑ ΠΙΕΣΗ ΕΠΑΦΗΣ ΤΗΣ ΣΦΗΝΑΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

$$F_{v,Rd,wg,z} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wz} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

$F_{v,Rd,wg,z} = 8400,000$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΓΙΑ ΠΙΕΣΗ ΕΠΑΦΗΣ ΤΗΣ ΣΦΗΝΑΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

$$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$$

$V_{j,Rd,y} = 41593,941$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$ $0,00 < 1,00$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,00)

$$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$$

$V_{j,Rd,z} = 27593,941$ [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$ $0,02 < 1,00$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,02)

$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$ $0,03 < 1,00$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,03)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

ΑΚΤΙΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

$M_1 = 731,22$ [kN*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΔΡΩΣΑ ΣΕ ΜΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

$Q_1 = 1676,36$ [kN] ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΡΩΣΑ ΣΕ ΜΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

$z_s = 323$ [mm] ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΑΞΟΝΑ (ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ)

$I_s = 2924486,34$ [cm⁴] ΡΟΠΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΜΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

$\sigma_d = 5,59$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΚΑΣ EN 1993-1-1: [6.2.1.(5)]

$\sigma_g = 29,42$ [MPa] ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΤΙΣ ΑΝΩ ΙΝΕΣ EN 1993-1-1: [6.2.1.(5)]

$\tau = 29,94$ [MPa] ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ EN 1993-1-1: [6.2.1.(5)]

$\sigma_z = 52,15$ [MPa] ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΚΑΣ EN 1993-1-1: [6.2.1.(5)]

$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp} / \gamma_{M0}) \leq 1.0$ $(6.1) 0,16 < 1,00$ ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,16)

ΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΒΑΣΗΣ

$\sigma_{\perp} =$	4,07	[MPa]	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	4,07	[MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\tau_{yII} =$	-0,89	[MPa]	ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΤΟ $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{zII} =$	3,01	[MPa]	ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΤΟ $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,90		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)			0,01 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,01)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2)) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1)			0,02 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,02)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1)			0,02 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,02)

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

ΑΚΤΙΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

$\sigma_{\perp} =$	79,14	[MPa]	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	79,14	[MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	59,87	[MPa]	ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	189,23	[MPa]	ΟΛΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,90		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)			0,45 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,45)

ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

ΑΚΤΙΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

$\sigma_{\perp} =$	95,75	[MPa]	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	95,75	[MPa]	ΚΑΘΕΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	75,60	[MPa]	ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	231,99	[MPa]	ΟΛΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,90		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)			0,56 < 1,00	ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,56)

ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ $M_{j,Ed,y}$

$b_{eff} =$	547	[mm]	ΕΝΕΡΓΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΛΜΑ	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} =$	126	[mm]	ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΛΜΑ	[6.2.5.(3)]
$k_{13,y} = E_c \cdot \sqrt{(b_{eff} \cdot l_{eff}) / (1.275 \cdot E)}$				
$k_{13,y} =$	103	[mm]	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]
$l_{eff} =$	1150	[mm]	ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 2	[6.2.6.5]
$m =$	837	[mm]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΑΚΡΗ	[6.2.6.5]
$k_{15,y} = 0.850 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / (m^3)$				
$k_{15,y} =$	2	[mm]	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΕΔΡΑΣΗΣ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]
$L_b =$	650	[mm]	ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]
$k_{16,y} = 1.6 \cdot A_b / L_b$				
$k_{16,y} =$	6	[mm]	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΥΠΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]
$\lambda_{0,y} =$	0,51		ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,y} =$	268843,61	[kN*m]	ΑΡΧΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.12]
$S_{j,rig,y} =$	3735966,53	[kN*m]	ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$			ΗΜΙΣΤΑΘΕΡΗ	[5.2.2.5.(2)]

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ $M_{j,Ed,z}$

$$k_{13,z} = E_c \cdot \sqrt{A_{c,z}} / (1.275 \cdot E)$$

$$k_{13,z} = 155 \text{ [mm]} \text{ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ} \quad \text{[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]}$$

$$l_{eff} = 1150 \text{ [mm]} \text{ ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 2} \quad \text{[6.2.6.5]}$$

$$m = 837 \text{ [mm]} \text{ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΑΚΡΗ} \quad \text{[6.2.6.5]}$$

$$k_{15,z} = 0.850 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / (m^3)$$

$$k_{15,z} = 2 \text{ [mm]} \text{ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΕΔΡΑΣΗΣ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ} \quad \text{[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]}$$

$$L_b = 650 \text{ [mm]} \text{ ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΣ} \quad \text{[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]}$$

$$k_{16,z} = 1.6 \cdot A_b / L_b$$

$$k_{16,z} = 6 \text{ [mm]} \text{ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΥΠΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ} \quad \text{[ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11]}$$

$$\lambda_{0,z} = 0,51 \text{ ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ} \quad \text{[5.2.2.5.(2)]}$$

$$S_{j,ini,z} = 19888329,61 \text{ [kN}\cdot\text{m]} \text{ ΑΡΧΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ} \quad \text{[6.3.1.(4)]}$$

$$S_{j,rig,z} = 3735966,53 \text{ [kN}\cdot\text{m]} \text{ ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ} \quad \text{[5.2.2.5]}$$

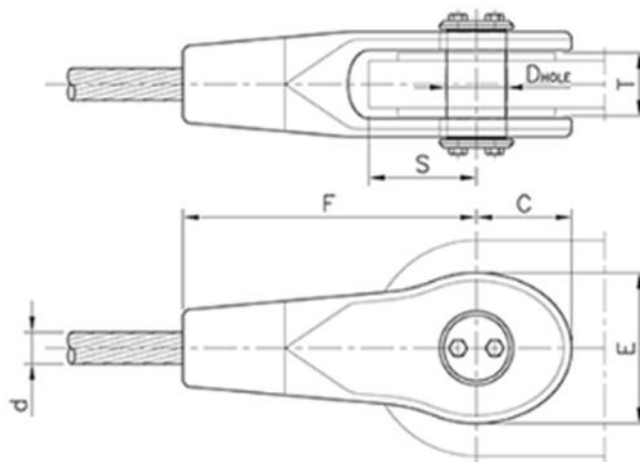
$$S_{j,ini,z} \geq S_{j,rig,z} \text{ ΣΤΑΘΕΡΗ} \quad \text{[5.2.2.5.(2)]}$$

ΠΙΟ ΑΔΥΝΑΜΟ ΤΜΗΜΑ:

ΠΛΑΚΑ ΕΔΣΡΑΣΗΣ - ΚΑΜΨΗ

Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΛΟΓΟΣ 0,92

A5. Λεπτομέρεια Σύνδεσης Αναρτήρα



Σχήμα A5: Λεπτομέρεια αναρτήρα

Πίνακας A5: Αντοχές και γεωμετρικά χαρακτηριστικά (από κατασκευαστή)

Product code	d max	F _{uk}	F _{Rd}	C	Dd Hole	E	F	S max	T min	T max	Mass
	mm	kN	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kG
TTF 80	84	7700	4667	245	154	386	750	270	155	165	253

$$N_{Ed} = 1567.8 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 4667 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 0.34$$

Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ

ΛΟΓΟΣ 0,34