



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:

«Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση των Κατασκευών»

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πυλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας



Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Νίκη Β.Λιακοπούλου

Επιβλέπων: Ιωάννης Ραυτογιάννης, Αναπληρωτής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2013

EMK ME 2013/19

Λιακοπούλου Ν.Β. (2013).
Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πύλωνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2013/19
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Liakopoulou N.V. (2013).
Design of a steel latticed electric energy transmission tower
Postmaster Diploma Thesis ΕΜΚ ΜΕ 2013/19
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΜΕ 2013/19

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πυλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Λιακοπούλου Ν.Β (Επιβλέπων: Ραυτογιάννης Ι.)

Περίληψη

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι αναπόσπαστο και αναγκαίο πλέον, κομμάτι της καθημερινής ζωής κάθε ανθρώπου. Όπως είναι γνωστό, η μεταφορά του ρεύματος σε μεγάλες αποστάσεις γίνεται με τους πυλώνες της Δ.Ε.Η. Οι πυλώνες της ΔΕΗ είναι σύνθετες δικτυωτές μεταλλικές κατασκευές πολύ μεγάλου ύψους, που τοποθετούνται συνήθως μακριά από κατοικημένες περιοχές λόγω της υψηλής τάσης που μεταφέρουν. Η σημασία μιας τέτοιας κατασκευής είναι τεράστια και λόγω της μεγάλης χρησιμότητας της αλλά και λόγω της συχνότητας με την οποία κατασκευάζεται.

Για το λόγο αυτό απαιτείται, ακριβής ανάλυση και διαστασιολόγηση τους ώστε να προκύψει ο βέλτιστος συνδυασμός διατομών και ως προς την επάρκεια, τη λειτουργικότητα, το βάρος και το κόστος του φορέα. Το μεγάλο ύψος των πυλώνων, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι πρόκειται για μεταλλικές κατασκευές, αυξάνει την ευαισθησία τους στις φορτίσεις του ανέμου. Τα φορτία που επιπλέον λαμβάνονται υπ' όψιν για την ανάλυση τους είναι τα φορτία των καλωδίων που στηρίζονται στον πυλώνα, τα φορτία του χιονιού, και φυσικά τα σεισμικά φορτία.

Στην εργασία αυτή αναλύεται και διαστασιολογείται ένας δικτυωτός πυλώνας τέτοιου τύπου. Στο πρώτο κεφάλαιο, δίνονται κάποια γενικά στοιχεία για τους δικτυωτούς πυλώνες και γίνεται περιγραφή της γεωμετρίας του φορέα που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, καθώς και των διατομών των στοιχείων που τον απαρτίζουν. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρονται τα φορτία και οι συνδυασμοί των φορτίσεων που λαμβάνονται για την ανάλυση του φορέα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3, με τη χρήση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων του προσομοιώματος, και η τελική διαστασιολόγηση των στοιχείων του φορέα. Επίπλέον, περιγράφονται οι απαραίτητοι έλεγχοι που πρέπει να γίνουν στα στοιχεία του φορέα και παρουσιάζονται ενδεικτικά οι έλεγχοι που έγιναν στα περισσότερα καταπονούμενα στοιχεία, από κάθε ομάδα διατομών. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των λεπτομερειών των συνδέσεων των μελών του φορέα και γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι των συνδέσεων σε δύο τυπικούς κόμβους του φορέα.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

POSTMASTER DIPLOMA THESIS
EMK ME 2013/19

Design of a steel latticed electric energy transmission tower

Liakopoulou N.V (supervised by Raftoyiannis I.)

Abstract

Nowadays, electricity is an integral and necessary part of the daily life of every human being. It is a fact that electric power is transferred over long distances through transmission towers. The towers of ΔΕΗ are very high steel latticed structures, which are usually placed far from residential areas due to the high voltage they carry. The importance of such a construction is very significant because of their great utility but also because of the fact that they are constructed very frequently.

For this reason a precise analysis and design is required, in order to obtain the optimum combination of the sections, regarding the adequacy, the utility, the weight and the cost of the structure. The height of the towers, in conjunction with the fact that we are dealing with steel structures, increases their sensitivity to the wind loads. The loads that are also considered, in the analysis, are the ones of the cables that are attached onto the tower, the ice, and of course the seismic loads.

In this work, a latticed tower of that type is being analysed and dimensioned. The first chapter presents some general information on the steel towers and also gives a full description of the geometry of the structure considered in this work. The second chapter describes the loads and the combinations of the loads that are taken into account, for the analysis, according to the Eurocode 3 provisions, using the finite element program SAP2000v15. The third chapter presents the results of the analysis and the final design of the elements of the tower. Finally, the fourth chapter presents the connections details of the members of the tower and as well as the necessary checks performed for the connections in some typical joints.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Ιωάννη Ραυτογιάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή του τομέα Μεταλλικών Κατασκευών, για την πολύτιμη συμβολή και καθοδήγηση του πάνω στο αντικείμενο. Ιδιαίτερες ευχαριστίες, θα ήθελα επίσης να απευθύνω, στον υποψήφιο διδάκτορα Γιάννη Καπογιάννη για τη πολύ σημαντική βοήθεια που μου παρείχε στην εκμάθηση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου, για τη στήριξη και τη συμπαράσταση που μου έχει προσφέρει σε ολόκληρη την πορεία των ακαδημαϊκών μου χρόνων.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Σκοπός της εργασίας	1
1.2 Γενικά στοιχεία για τους πυλώνες.....	2
1.2.1 Τύποι πυλώνων	2
1.2.2 Θεμελιώσεις.....	8
1.3 Γεωμετρία φορέα.....	9
Κεφάλαιο 2: Φορτία και συνδυασμοί φορτίσεων	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Μόνιμα φορτία	14
2.2.1 Υπολογισμός μόνιμων φορτίων.....	15
2.3 Μεταβλητά φορτία	18
2.3.1 Φορτία ανέμου	18
2.3.2 Φορτίο χιονιού.....	33
2.4 Σεισμός.....	35
2.4.1 Παράμετροι υπολογισμού.....	35
2.4.2 Υπολογισμός.....	44
2.5 Φορτία σπασμένων αγωγών	49
2.6 Συνδυασμοί φορτίσεων	51
2.6.1 Καταστάσεις σχεδιασμού	51
2.6.2 Φορτία κατασκευής και Συνδυασμοί φόρτισης.....	51
Κεφάλαιο 3: Ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα	54
3.1 Πορεία ανάλυσης	54
3.2 Έλεγχοι.....	59
Κεφάλαιο 4: Συνδέσεις	73
4.1 Τεχνικές προδιαγραφές για τις συνδέσεις των πυλώνων	73
4.2 Έλεγχοι.....	81
Σύνοψη	84
Βιβλιογραφία.....	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	87

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάλυση και η διαστασιολόγηση των στοιχείων του δικτύωματος ενός πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ. Η ανάλυση έγινε με τη χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων SAP200v15, και η επιβολή των φορτίων έγινε με βάση τις προδιαγραφές και τους κανόνες του Ευρωκώδικα 1. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται η επιλογή των διατομών που έγινε τελικά, καθώς και οι έλεγχοι κάποιων τυπικών μελών του φορέα και των συνδέσεων κάποιων τυπικών κόμβων. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε είναι ελαστική.



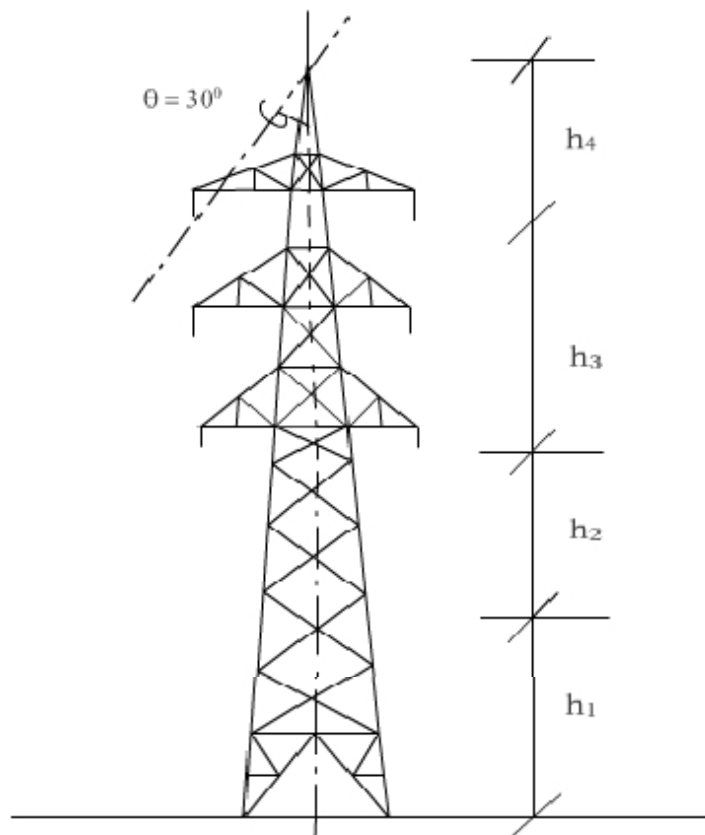
Δικτυωτοί μεταλλικοί πλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

1.2 Γενικά στοιχεία για τους πυλώνες

1.2.1 Τύποι πυλώνων

Οι πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, είναι συνήθως χαλύβδινα στατικά δικτυώματα. Η απόσταση μεταξύ των πυλώνων κυρίως εκφράζεται ως ο μέσος αριθμός πυλώνων ανά γεωγραφικό μίλι. Ο αριθμός αυτός συνήθως κυμαίνεται από τέσσερις έως έξι πυλώνες ανά γεωγραφικό μίλι. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυλώνων εξαρτάται από το επιτρεπόμενο κατακόρυφο βέλος του τόξου του αναρτημένου αγωγού και για χαλύβδινους πυλώνες γραμμών υψηλής τάσεως, το άνοιγμα, η απόσταση μεταξύ των πυλώνων κυμαίνεται μεταξύ 150 m και 500 m, ενώ σε περιπτώσεις ποταμών, κοιλάδων, υπερθαλάσσιων ζωνών οι αποστάσεις αυτές μπορεί να ανέλθουν και 1200m. Αυξανόμενο του ανοίγματος πρέπει οι πυλώνες να γίνουν ισχυρότεροι και οι αγωγοί ανθεκτικότεροι καθώς αγωγοί και πυλώνες φέρουν μεγαλύτερα φορτία. Όσον αφορά το βάρος τους, αυτό καθορίζεται από το ύψος τους, το υλικό κατασκευής, αν είναι απλού, διπλού ή πολλαπλού κυκλώματος, τη θέση τους (ευθυγράμμου πορείας, γωνιακοί, τερματικοί) καθώς επίσης και από τη γεωμετρία κατασκευής. Τυπικά βάρη πυλώνων κυμαίνονται από 4 έως 110 τόνους.

Το ύψος τους ορίζεται ως το άθροισμα τεσσάρων μεταβλητών, της ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης του αγωγού από το έδαφος (h_1), της μέγιστης κοιλιάς του αγωγού (h_2), της κάθετης απόστασης μεταξύ των αγωγών (h_3) και της απόστασης ανάμεσα στον άνωθεν αγωγό και το αγωγό γείωσης (h_4).



Ύψος πυλώνων συναρτήσει των μεταβλητών h

Στη συνέχεια, δίνονται ορισμένες βασικές διαστάσεις και απαιτήσεις για τους πύργους όπως προβλέπονται από τη ΔΕΗ Α.Ε:

Ύψος ανάρτησης από το έδαφος για πύργο κανονικού ύψους:

- 19,95 M για πύργους τύπων S και R
- 19,00 M για πύργους τύπων T και Z

Για τη διαφοροποίηση του ύψους ανάρτησης των αγωγών ή για χρήση σε ανώμαλο έδαφος, διατίθενται εν γένει για κάθε τύπο πύργου ανεξάρτητα σκέλη -1,5 M, 0,0 M (κανονικό), +1,5 M, +3,00 M και +6,00 M. Ειδικά για τους πύργους S2 και R2 διατίθενται και σκέλη -1,0 M, τόσο για τον κανονικό, όσο και για τον επιμηκυσμένο τύπο πύργου. Το χαρακτηριστικό μήκος κάθε επιμήκυνσης κορμού ή σκέλους αναφέρεται στην αντίστοιχη διαφοροποίηση του βασικού ύψους ανάρτησης. Όλα τα σκέλη που αντιστοιχούν στον ίδιο τύπο πύργου και στη ίδια επιμήκυνση κορμού είναι εναλλάξιμα και κατάλληλα για τοποθέτηση σε οποιοδήποτε συνδυασμό τους.

Όλες οι οριζόντιες τομές των πύργων είναι τετράγωνα. Τα δικτυώματα των όψεων των πύργων είναι συμμετρικά. Στο υλικό των πύργων περιλαμβάνονται και τα εξαρτήματα πρόσδεσης των εξαρτημάτων γραμμής, πάνω στον πύργο, όπως δίχαλα, επιμηκύνσεις πρόσδεσης αλυσίδων μονωτήρων, στελέχη σχήματος U κ.τ.λ. Τα παραπάνω εξαρτήματα πύργων κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής και έχουν ανοίγματα με κατάλληλες ακτίνες καμπυλότητας, ώστε να φέρουν χωρίς τριβές τα εξαρτήματα γραμμής. Ο άξονας περιστροφής τους ως προς τον πύργο είναι οριζόντιος. Ορισμένοι πύργοι, φέρουν αντιαναρριχτικά πλέγματα, για να παρεμποδίζεται η άνοδος αναρμόδιων προσώπων στους πύργους. Σε κάθε πύργο τοποθετείται επίσης πινακίδα κινδύνου με σμαλτωμένες επιφάνειες.

Σε όλους τους τύπους των πυλώνων δεν επιτρέπεται η χρήση ελκυστήρων (στοιχείων που μπορούν να φορτιστούν μόνο με εφελκυσμό) και φέρουν όλοι οριζόντια πλαίσια:

- Στις κατώτερες επιφάνειες των γεφυρών
- Στο άνω μέρος των σκελών
- Στα σημεία αλλαγής κλίσεων των ορθοστατών

Βασικά στοιχεία των πυλώνων αποτελούν το υλικό κατασκευής, η γεωμετρία, η απόσταση μεταξύ γειτονικών πυλώνων, το βάρος τους και ο αριθμός των κυκλωμάτων. Ανάλογα με τη γεωμετρία κατασκευής τα πιο διαδεδομένα είδη πυλώνων είναι:

- A. Δικτυωτού πλέγματος(lattice)
- B. Μονοί στύλοι (single pole)
- Γ. Πολλαπλοί στύλοι (multiple pole)
- Δ. Η-πλαισίου (H-frame)
- E. υποστηριζόμενοιV (guyed V)
- Στ. υποστηριζόμενοιY(guyed Y)

Ο αριθμός των κυκλωμάτων που φέρουν αποτελεί άλλο ένα κριτήριο διάκρισης μεταξύ των πυλώνων. Η επιλογή της βασικής διαμόρφωσης του πυλώνα για μια εναέρια γραμμή εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους αρχίζοντας από την τάση, τον αριθμό των κυκλωμάτων ανά πυλώνα, συμπεριλαμβανομένου του τύπου των απλών ή πολλαπλών αγωγών που χρησιμοποιούνται. Για τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης, μια ευρεία ποικιλία διαμορφώσεων γραμμής χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Ανάλογα με τις απαιτήσεις διαθεσιμότητας και αναγκαιότητας ως προς τη ζώνη διέλευσης, κατασκευάζονται γραμμές μονού κυκλώματος διπλού κυκλώματος, ή γραμμές πολλαπλών κυκλωμάτων. Για τις γραμμές πολλαπλών κυκλωμάτων χρησιμοποιείται μεγάλη ποικιλία διαμορφώσεων. Στην παρούσα εργασία ασχολούμαστε με πυλώνες δικτυωτού πλέγματος για γραμμές μεταφοράς τάσης 150kV.

Υπάρχουν 4 τύποι πύργων για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες γραμμών

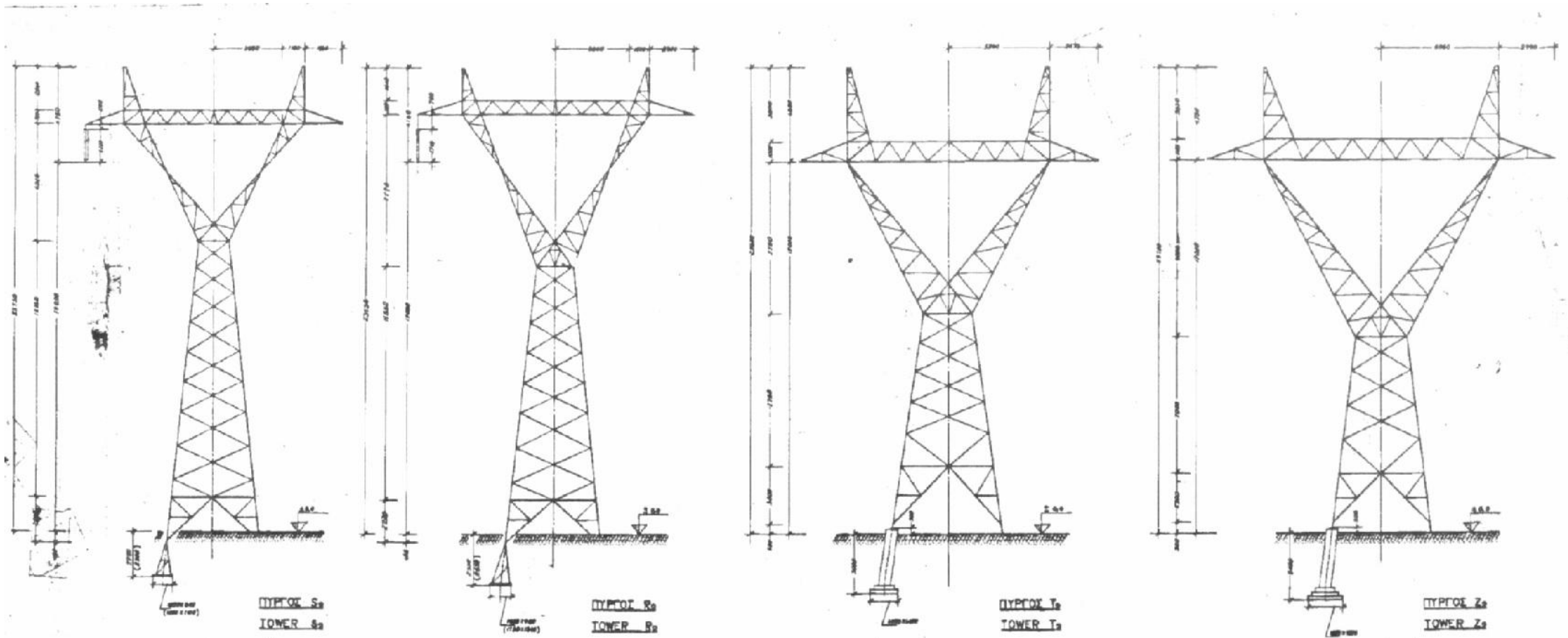
1.

Κατηγορία	E	B	2B
Τύπος πύργου	Απλό κύκλωμα ελαφρού τύπου	Απλό κύκλωμα βαρέως τύπου	Διπλό κύκλωμα βαρέως τύπου
Ευθυγραμμίας	S2	S3	S4
μικρής γωνίας	R2	R3	R4
γωνίας 45 ⁰	T2	T3	T4
γωνίας 75 ⁰ ή τέρματος	Z2	Z3	Z4

Τύποι πυλώνων για κάθε κατηγορία γραμμών

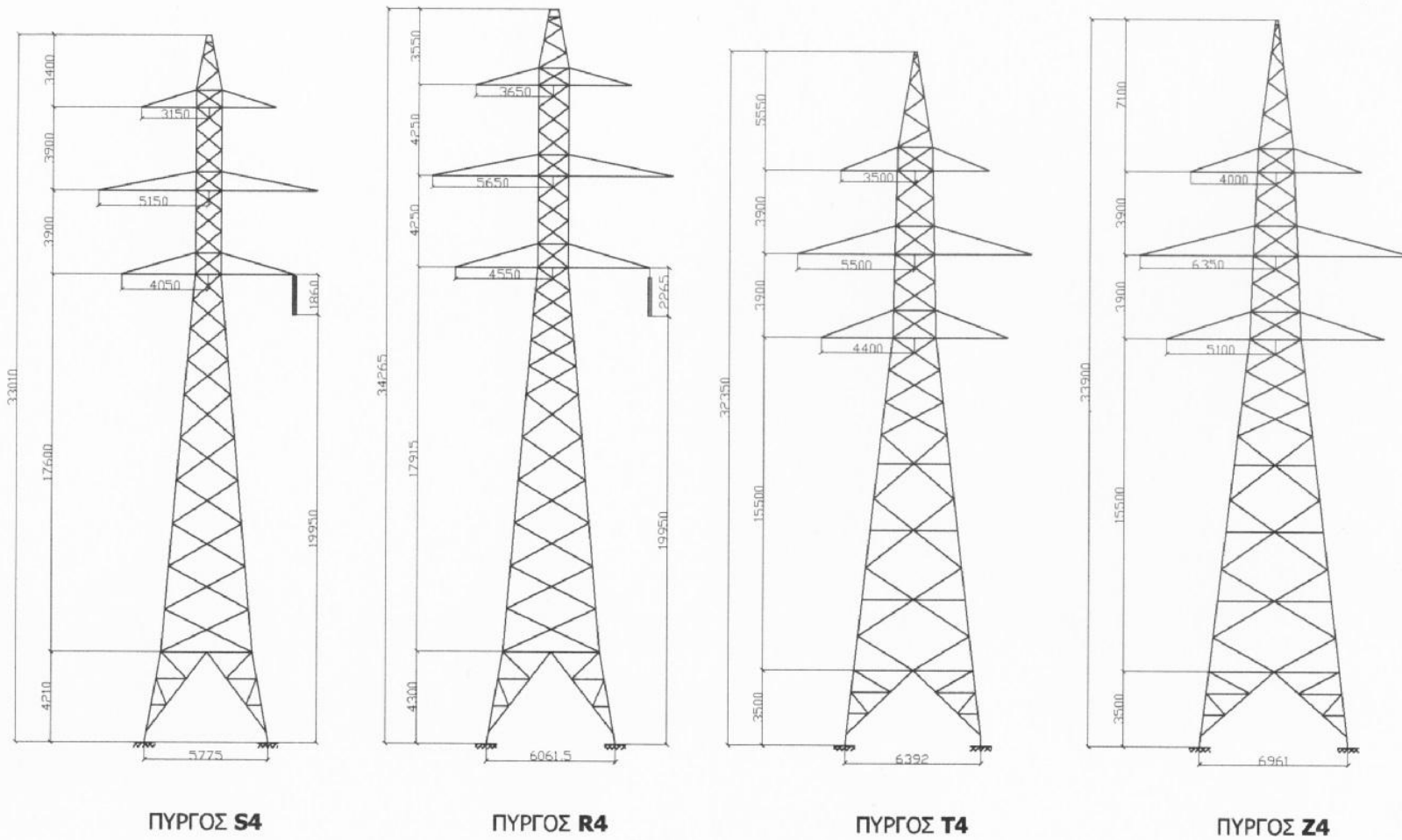
Στα παρακάτω σχέδια φαίνονται τα γενικά σχέδια δικτυωτών πυλώνων που είναι και ο τύπος που θα μελετηθεί καθώς και ένας πίνακας με τα μοναδιαία βάρη των τμημάτων των πύργων 150kV. Οι πυλώνες είναι τύπου 2,3 και 4 .

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας



Πυλώνες τύπου 2,3

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας



Πυλώνες τύπου S4,R4,T4,Z4

ΔΕΗ Α.Ε. / ΔΝΕΜ / ΤΟΜΕΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ												
ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΡΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΠΥΡΓΩΝ 150 KV												
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ	ΕΛΑΦΡΑ ΑΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ				ΒΑΡΙΑ ΑΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ				ΒΑΡΙΑ ΔΙΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ			
	ΤΥΠΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	S2	R2	T2	Z2	S3	R3	T3	Z3	S4	R4	T4
Κορμός με εξαρτήματα	2277	2755	3590	4643	2675	3130	4036	5260	3234	4095	5257	7050
Πλαίσιο κορμού	127	127	144	183	143	143	187	220	247	300	285	407
Σκέλος -1,5 Κανονικού πύργου	42	47	108	110	60	69	85	112	92	119	153	218
Σκέλος -1,0 Κανονικού πύργου	48	53	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Σκέλος N Κανονικού πύργου	66	72	146	178	93	110	126	175	144	188	229	308
Σκέλος +1,5 Κανονικού πύργου	116	126	211	241	145	159	194	243	205	251	307	399
Σκέλος +3,0 Κανονικού πύργου	148	172	275	319	192	210	256	315	264	320	394	502
Επιμήκυνση κορμού +4,5 με οριζ. Πλαίσιο	610	654	1096	1222	797	900	1283	1462	972	1202	1613	2270
Σκέλος -1,5 Επιμηκυσμένου πύργου	48	53	114	103	78	85	97	123	115	140	172	239
Σκέλος -1,0 Επιμηκυσμένου πύργου	53	59	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Σκέλος N Επιμηκυσμένου πύργου	73	81	142	169	106	117	152	186	168	209	248	341
Σκέλος +1,5 Επιμηκυσμένου πύργου	127	135	201	236	155	169	217	258	224	279	315	442
Σκέλος +3,0 Επιμηκυσμένου πύργου	164	179	267	317	212	230	287	345	287	346	406	556
Σκέλος +4,5 Επιμηκυσμένου πύργου	236	247	340	421	266	294	376	444	370	451	534	692
Σκέλος +6,0 Επιμηκυσμένου πύργου	274	291	400	501	324	351	455	533	415	526	643	823
Επιμήκυνση για θεμελίωση PAD (P)	19	27	51	77	25	36	63	105	44	70	102	158
Επιμήκυνση για θεμελίωση Auger (A1)	10	13	23	38	13	14	28	54	22	30	52	79
Επιμήκυνση για θεμελίωση Auger (A2)	13	17	30	52	17	20	36	71	28	39	71	104
Επιμήκυνση για θεμελίωση Auger (A3)	17	22	37	67	22	26	44	88	34	47	89	129
Επιμήκυνση για θεμελίωση Auger (A4)	20	26	44	---	26	32	52	---	39	56	---	---
Επιμήκυνση για θεμελίωση Auger (A5)	24	30	---	---	30	38	59	---	45	65	---	---

Πίνακας μοναδιαίων βαρών τμημάτων πύργων 150kV

1.2.2 Θεμελιώσεις

Κάθε πύργος στηρίζεται σε τέσσερα ανεξάρτητα θεμέλια από σκυρόδεμα. Οι ορθοστάτες των σκελών του πύργου περιβάλλονται από το σκυρόδεμα θεμελίωσης που ενισχύεται αν χρειαστεί με οπλισμό σκυροδέματος. Προβλέπονται τυποποιημένες ειδικές επιμηκύνσεις στελεχών θεμελίωσης, που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη διαμόρφωση του εδάφους. Τα μήκη και οι αναγκαίες ποσότητες των στελεχών καθορίζονται από την επιχείρηση πριν από τη βιομηχανοποίηση τους.

Χρησιμοποιούνται οι εξής τύποι θεμελιώσεων:

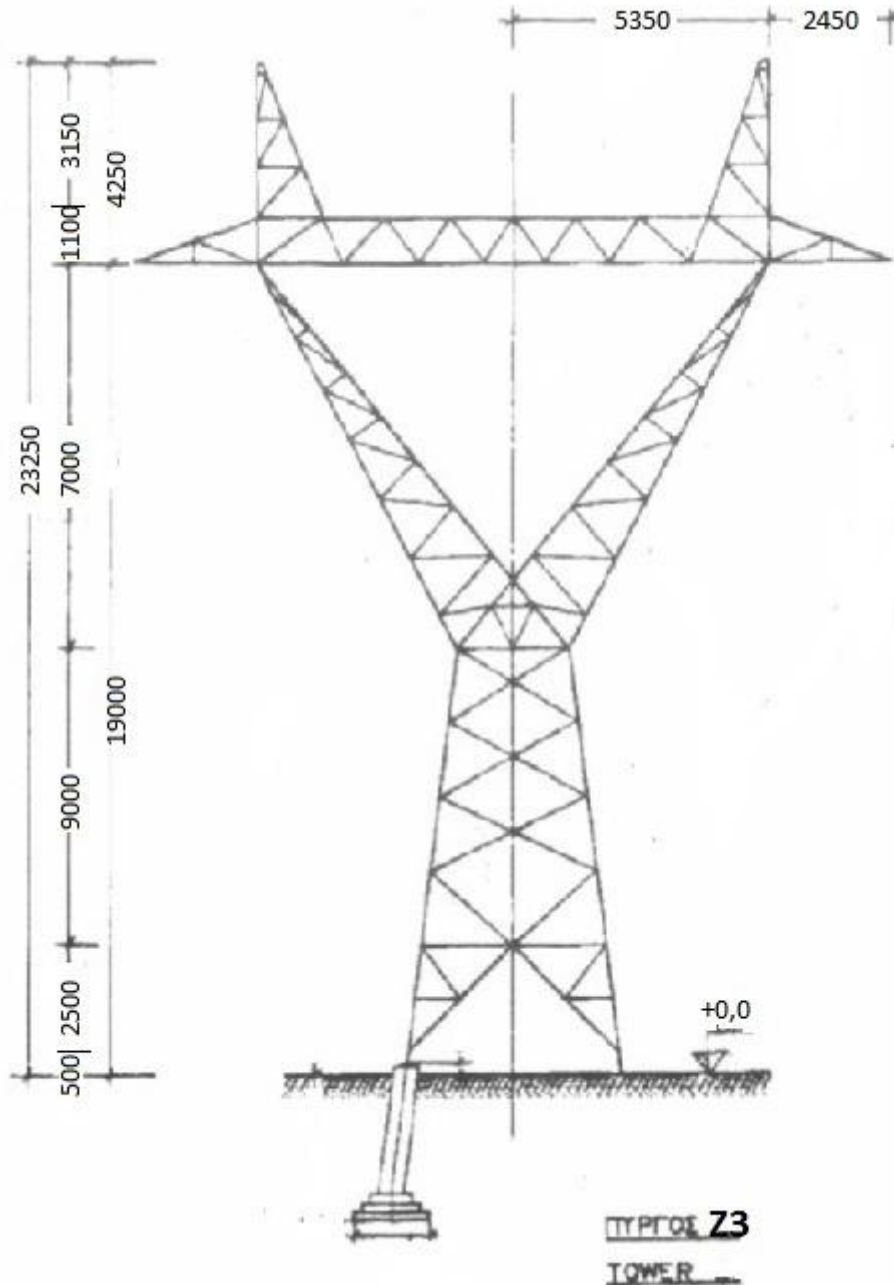
- ✓ Αγκύρωση τύπου βράχου
- ✓ Αγκύρωση τύπου έγχυτων αιωρούμενων πασσάλων από οπλισμένο σκυρόδεμα (AUGER)
- ✓ Αγκύρωση τύπου πεδύλου για διάφορες τάσεις εδάφους

Για κάθε τύπο θεμελίωσης, καθορίζεται κατά την παραγγελία του χάλυβα πύργων αντίστοιχο τυποποιημένο μήκος στελέχους. Κάθε πύργος συνοδεύεται από τέσσερις ράβδους γείωσης μία για κάθε θεμέλιο. Αυτές είναι χαλύβδινες, επιψευδαργυρωμένες εν θερμώ διαμέτρου 2CM και μήκους 2M και συνδέονται ανά μία σε κάθε θεμέλιο προς το αντίστοιχο στέλεχος θεμελίωσης, στο κάτω του μέρος και σε κατάλληλο κοχλία μέσω μονόκλωνου χαλύβδινου επιψευδαργυρωμένου εν θερμώ αγωγού, ώστε να επιτυγχάνεται καλή ηλεκτρική σύνδεση της ράβδου προς τον πύργο. Για συμπληρωματική γείωση, όπου απαιτείται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μονόκλωνος χαλύβδινος αγωγός εδάφους διαμέτρου 1CM, ο οποίος συνδέεται προς τον πύργο, στον πρώτο κοχλία πάνω από το έδαφος.

Χρειάζονται τέσσερις τέτοιοι κοχλίες ,επαρκούς μήκους για κάθε πύργο (ένας για κάθε σκέλος).

1.3 Γεωμετρία φορέα

Ο τύπος δικτυωτού πλώνα που εξετάζεται είναι τύπος Z3 για γραμμή μεταφοράς τάσης 150kV. Σχετικά με τη γεωμετρία του, ο πλώνας έχει συνολικό ύψος 23,25m, και η βάση του έχει τετραγωνική κάτοψη 5,60m x 5,60m.



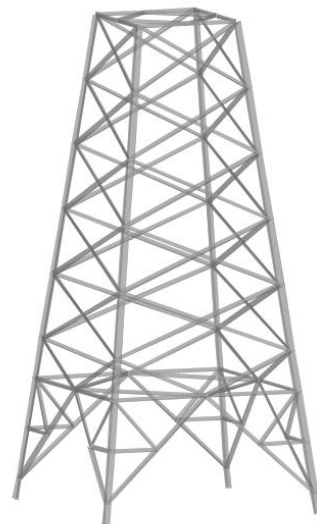
Το κάτω μέρος του πλώνα (σκέλη) έχει ύψος 12m και στο επίπεδο αυτό η κάτοψη του έχει διαστάσεις 2,60m x 2,60m. Το πάνω μέρος του πλώνα, δηλαδή από το σημείο που αλλάζουν κλίση οι ορθοστάτες μέχρι τη γέφυρα, έχει ύψος 7m και το άνοιγμα των δύο δικτυωμάτων είναι 10,7m. Η γέφυρα του φορέα έχει μήκος 15,60m, και οι ορθοστάτες της γέφυρας έχουν ύψος 4,25m.



Γέφυρα πλώνα

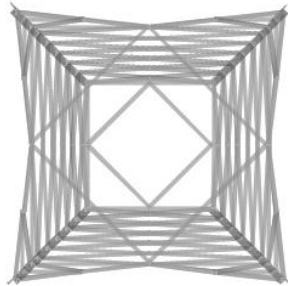


Πάνω μέρος πλώνα

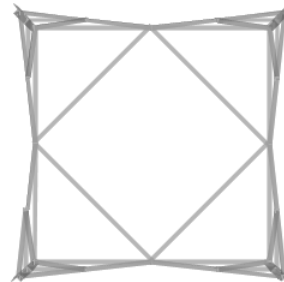


Κάτω μέρος πλώνα

Στη βάση του πυλώνα, καθώς και στο σημείο όπου αλλάζουν κλίση οι ορθοστάτες του δικτυώματος, έχουν τοποθετηθεί εγκάρσιοι σύνδεσμοι L90x9 που συνδέουν τα τέσσερα δικτυώματα, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές των πυλώνων για λόγους σταθεροποίησης του στερεού .



Κάτοψη στο επίπεδο +12m



Κάτοψη στο επίπεδο +3m

Τα τέσσερα δικτυώματα της βάσης είναι συμμετρικά, ενώ έχουν κλίση 7,12 μοίρες στο επίπεδο x και 7,12 μοίρες στο επίπεδο y. Οι ορθοστάτες αποτελούνται από διατομές L150x5, μήκους 1,50m και οι χιαστί σύνδεσμοι από διατομές L90x9. Πάνω από τα 12m τα δικτυώματα είναι παράλληλα και δεν έχουν κλίση στο επίπεδο y, όπως επίσης και στη γέφυρα του πυλώνα. Οι ορθοστάτες, αποτελούνται από διατομές L120x12 μήκους 1,30m το κάθε μέλος και οι χιαστί σύνδεσμοι είναι διατομής L90x9.

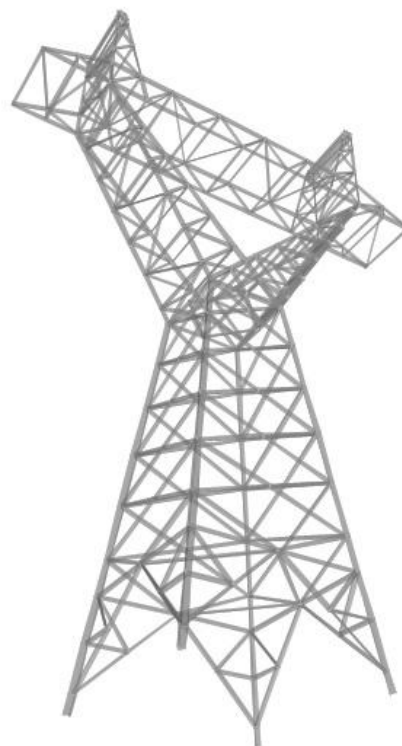
Στη γέφυρα του πυλώνα τα οριζόντια στοιχεία αποτελούνται από διατομές L110x10 μήκους 2m το κάθε μέλος, τα κατακόρυφα από διατομές L90x9 μήκους 1,30 το κάθε μέλος και οι χιαστί σύνδεσμοι από διατομές L80x8. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κατόψεις της γέφυρας στο επίπεδο +19m, όπου φαίνονται και τα οριζόντια πλαίσια που έχουν προβλεφθεί καθώς και η κάτοψη ολόκληρου του φορέα στο επίπεδο 23,25m.



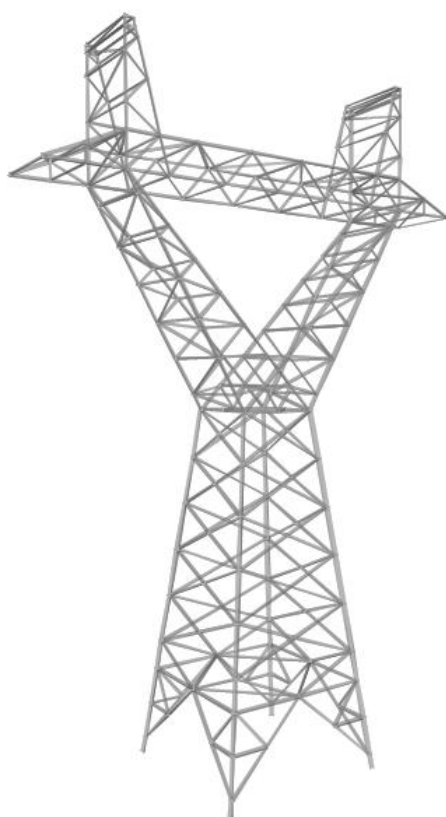
Κάτοψη γέφυρας στο επίπεδο +19m



Κάτοψη του πλώνα στο επίπεδο +23,25m



Προοπτικό πύλώνα 1



Προοπτικό πύλώνα 2

Κεφάλαιο 2: Φορτία και συνδυασμοί φορτίσεων

2.1 Γενικά

Ανάλογα με τη χρήση, τη θέση και την μορφή κάθε έργου, προσδιορίζονται οι δράσεις με τις οποίες ο μελετητής θα αναλύσει τον φορέα, για να προσδιορίσει τελικά τα δυσμενέστερα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη των μελών του. Οι δράσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση του φορέα είναι σύμφωνες με τις κανονιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 1 (EN2005).

Οι δράσεις κατατάσσονται ως εξής:

Ανάλογα με τη μεταβολή τους στη διάρκεια του χρόνου:

- Μόνιμες (G), πχ. ίδιο βάρος του φορέα, επικαλύψεις, διαχωριστικά, βοηθητικές κατασκευές και σταθερός εξοπλισμός.
- Μεταβλητές (Q), πχ. κινητά φορτία, άνεμος ή χιόνι.
- Τυχηματικές (A), πχ. εκρήξεις ή πρόσκρουση από όχημα.

Ανάλογα με τη μεταβολή της στο χώρο:

- Σταθερή .
- Ελεύθερη.

Ανάλογα με τη φύση της ή/και την απόκριση του φορέα:

- Στατική
- Δυναμική

Συγκεκριμένα για τον πλώνα που μελετήθηκε σε αυτή την εργασία, τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση παρουσιάζονται στις παρακάτω παραγράφους:

2.2 Μόνιμα φορτία

Σε αυτή την κατηγορία δράσεων ανήκουν κυρίως όλες οι δράσεις , προκύπτουν από το ίδιο βάρος των στοιχείων της κατασκευής. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι φέροντα ή μη φέροντα, και το ίδιο βάρος τους υπολογίζεται γενικά βάσει των ονομαστικών τους διαστάσεων και των χαρακτηριστικών τιμών των πυκνοτήτων τους.

Στα μη φέροντα στοιχεία συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων:

- Επιστρώσεις δαπέδων, διαμορφώσεις και επικαλύψεις.
- Επικαλύψεις δώματος.
- Διαχωριστικά πετάσματα.
- Κιγκλιδώματα και στηθαία ασφαλείας.
- Τοιχοποιία, επιχρίσματα και στοιχεία επένδυσης τοίχων.

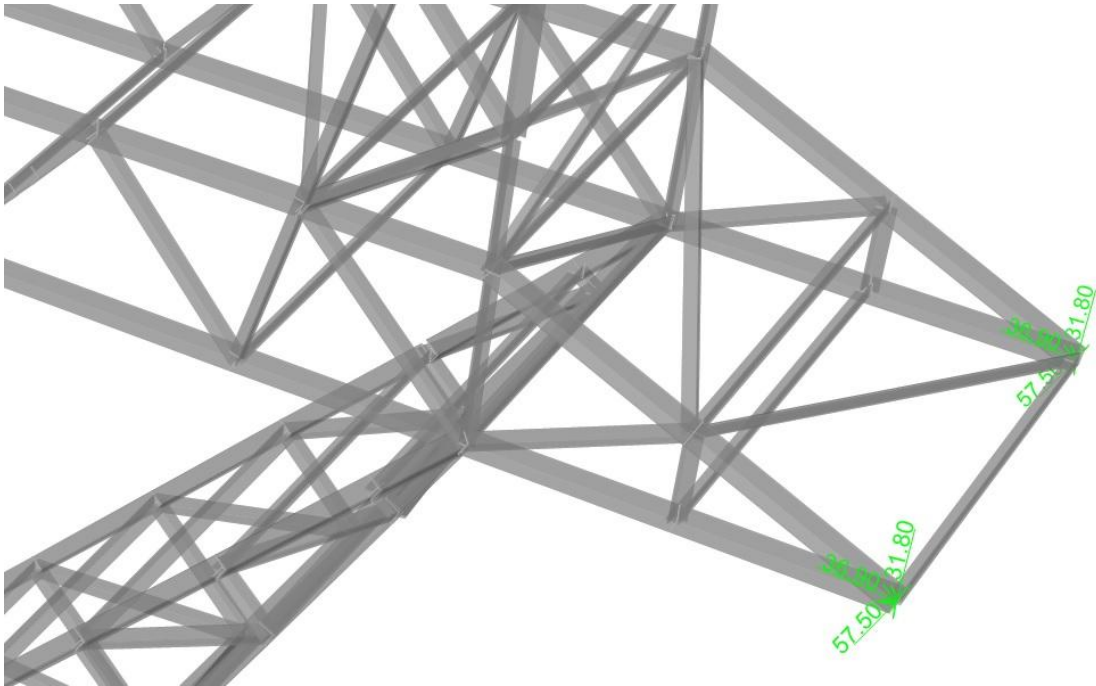
- Ψευδοροφές/ αναρτημένες οροφές.
- Θερμομόνωση.
- Μόνιμες εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης (H/M εγκαταστάσεις), όπως εξοπλισμός για ανελκυστήρες και κυλιόμενες σκάλες, εξοπλισμός θέρμανσης-εξαερισμού-κλιματισμού, ηλεκτρικό εξοπλισμό, σωλήνες χωρίς το περιεχόμενο τους, καλώδια και αγωγούς καλωδίων.

2.2.1 Υπολογισμός μόνιμων φορτίων

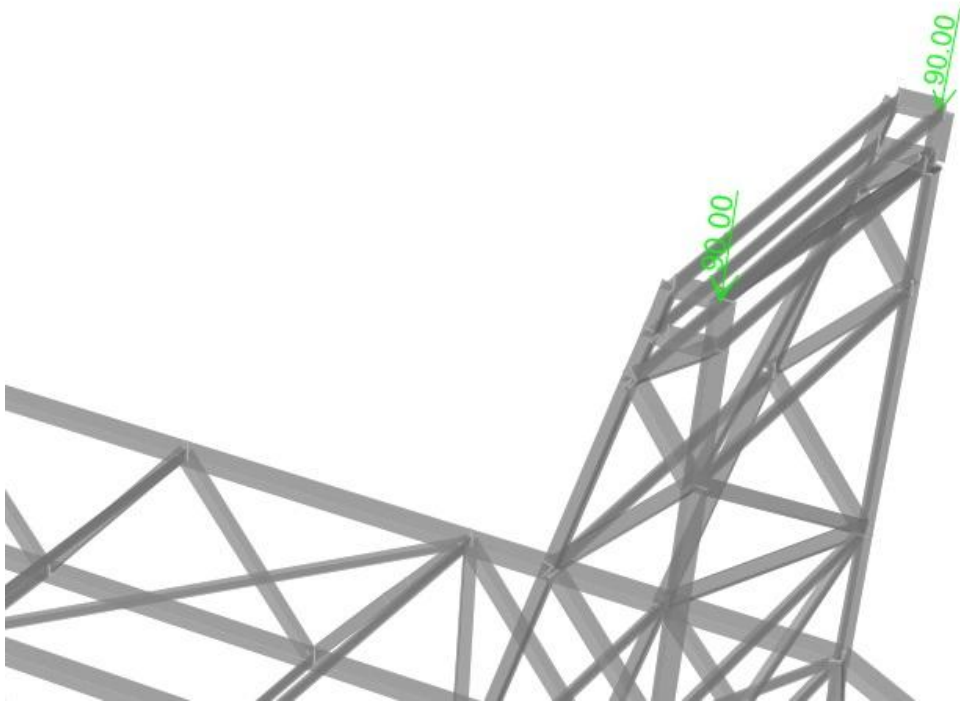
Στην περίπτωση που εξετάζεται, στην κατηγορία των μόνιμων φορτίων ανήκουν όλες οι δράσεις που προκύπτουν από το ίδιο βάρος του φορέα καθώς επίσης και τα φορτία από τους αγωγούς της ΔΕΗ που διέρχονται από τον πυλώνα. Οι αριθμητικές τιμές των φορτίων, καθώς και τα σημεία εφαρμογής καθενός από τα παραπάνω φορτία υπολογίστηκαν ως εξής:

- Ίδιο βάρος φορέα: Η τιμή του δεν ορίζεται συγκεκριμένα, αλλά το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα το βάρος κάθε στοιχείου βάσει του όγκου του και του ειδικού βάρους του υλικού του, που ορίζεται από τον χρήστη και εδώ παίρνει την τιμή $78,5 \text{ KN/m}^3$. Το φορτίο ασκείται στο κέντρο βάρους κάθε μέλους ως κατανεμημένο και η διεύθυνση του λαμβάνεται αυτόματα από το πρόγραμμα ίδια με την διεύθυνση της βαρύτητας.
- Φορτία αγωγών: Οι τιμές των φορτίων των αγωγών εφαρμόζονται στους κόμβους του φορέα από τους οποίους διέρχονται τα καλώδια και αναλύονται στις 3 διευθύνσεις. Οι τιμές τους έχουν υπολογιστεί και έχουν ληφθεί ως δεδομένες από τη ΔΕΗ ως εξής:
 - 36,90kN στην εγκάρσια διεύθυνση x
 - 31,80kN στην κατακόρυφη διεύθυνση z
 - 57,50kN στην διαμήκη διεύθυνση y

Επιπλέον, λαμβάνονται φορτία προστασίας (γείωση) στους ανώτερους κόμβους του πυλώνα ίσα με 90kN κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.



Φορτία αγωγών



Φορτία προστασίας

2.3 Μεταβλητά φορτία

Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν τα φορτία του ανέμου και στις δύο διευθύνσεις και του επίπαγου (χιονιού) ο υπολογισμός των οποίων περιγράφεται στις παρακάτω ενότητες.

2.3.1 Φορτία ανέμου

Οι δράσεις του ανέμου παρουσιάζουν διακυμάνσεις στο χρόνο και δρουν άμεσα ως πιέσεις επί των εξωτερικών επιφανειών κλειστών κατασκευών και, λόγω της πορώδους φύσης της εξωτερικής επιφάνειας, δρουν επίσης έμμεσα επί των εσωτερικών επιφανειών. Επίσης μπορούν να δρουν άμεσα επί της εσωτερικής επιφάνειας ανοικτών κατασκευών. Από τις πιέσεις που αναπτύσσονται σε περιοχές της επιφάνειας προκύπτουν δυνάμεις κάθετες προς την επιφάνεια της κατασκευής ή των μεμονωμένων στοιχείων επικάλυψης. Επιπρόσθετα, όταν μεγάλες επιφάνειες κατασκευών σαρώνονται από τον άνεμο, οι δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται εφαπτομενικά προς την επιφάνεια μπορεί να είναι σημαντικές.

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

Εκτός εάν καθορίζεται διαφορετικά, οι δράσεις του ανέμου θα πρέπει να θεωρούνται ως μεταβλητές σταθερές δράσεις, βλέπε EN 1990, 4.1.1. Οι δράσεις του ανέμου που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το EN 1991-1-4 είναι χαρακτηριστικές τιμές (βλέπε EN 1990, 4.1.2). Προσδιορίζονται από τις βασικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου ή της αντίστοιχης πίεσης. Σε συμφωνία με το EN 1990 4.1.2 (7) P οι βασικές τιμές είναι χαρακτηριστικές τιμές με ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 0,02, πράγμα που ισοδυναμεί με μια μέση περίοδο επαναφοράς 50 ετών.

Υπολογισμός φορτίων ανέμου

Ο υπολογισμός του φορτίου του ανέμου λαμβάνεται σύμφωνα με τους κανόνες και τις μεθόδους που ορίζει ο Ευρωκώδικας 1, Μέρος 1-4, για έργα πολιτικού μηχανικού ύψους μέχρι και 200m, σε συνδυασμό με τους κανόνες για δικτυωτές κατασκευές και ικριώματα. Οι δυνάμεις του ανέμου για τη συνολική κατασκευή ή για ένα τμήμα της κατασκευής θα προσδιορίζονται:

- με υπολογισμό δυνάμεων χρησιμοποιώντας τους συντελεστές δύναμης ή
- με υπολογισμό δυνάμεων από τις πιέσεις επί των επιφανειών

Η δύναμη ανέμου F_w που δρα σε μια κατασκευή ή σε τμήμα κατασκευής μπορεί να προσδιορίζεται άμεσα χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (1)

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad (1)$$

όπου:

$c_s c_d$	είναι ο συνδυασμένος δυναμικός συντελεστής
c_f	είναι ο συντελεστής δύναμης για την κατασκευή ή το στοιχείο της κατασκευής
$q_p(z_e)$	είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος αναφοράς z_e

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

Συντελεστής δύναμης, c_f

Ο συντελεστής δύναμης, c_f , δικτυωτών κατασκευών και ικριωμάτων λαμβάνεται από την Εξίσωση (2) και σύμφωνα με τον κανονισμό συμπεριλαμβάνει και την επίδραση της τριβής

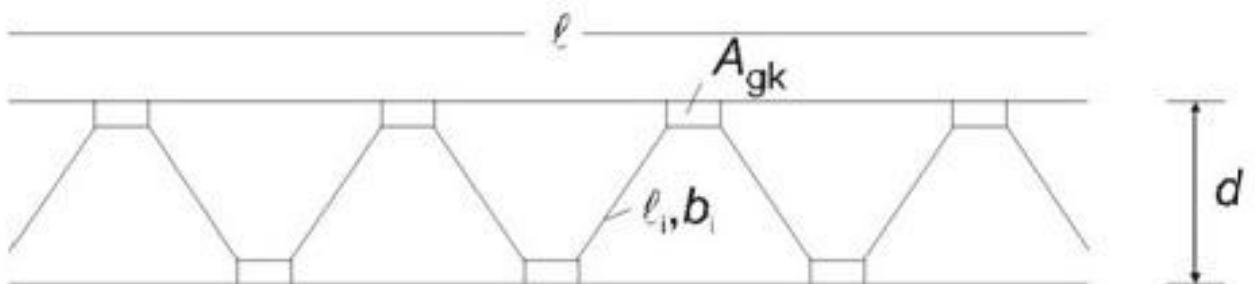
$$c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda \quad (2)$$

όπου:

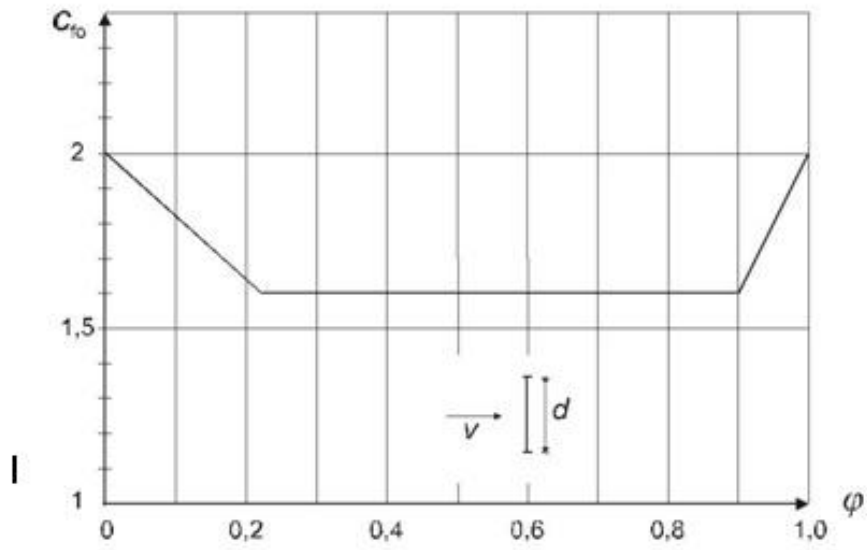
$C_{f,0}$ είναι ο συντελεστής δύναμης δικτυωτών κατασκευών και ικριωμάτων χωρίς επίδραση άκρων.

Re είναι ο αριθμός Reynolds που προκύπτει με τη μέση διάμετρο του μέλους b_i

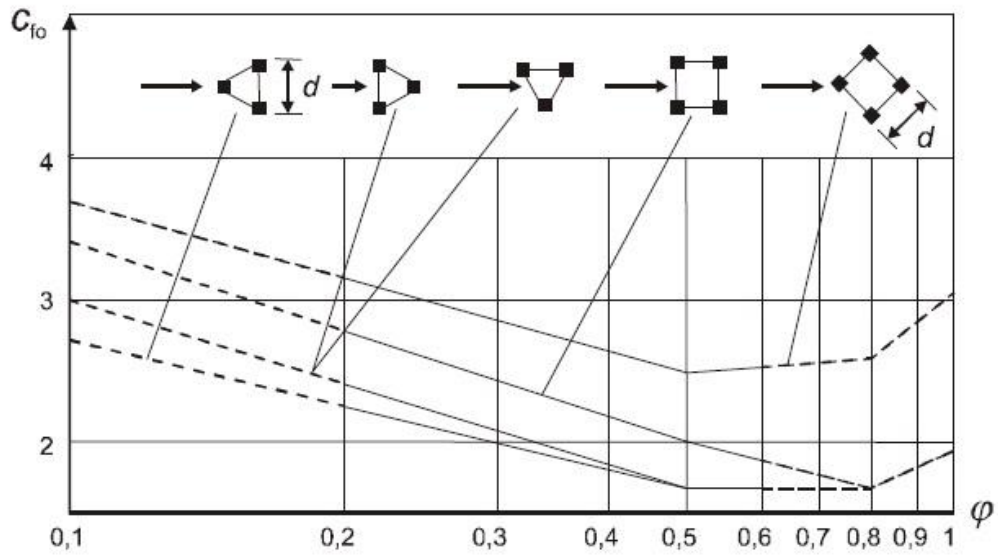
ψ_λ είναι ο συντελεστής επίδρασης άκρων ως συνάρτηση της λυγηρότητας της κατασκευής, λ , η οποία υπολογίζεται με μήκος l και πλάτος $b=d$



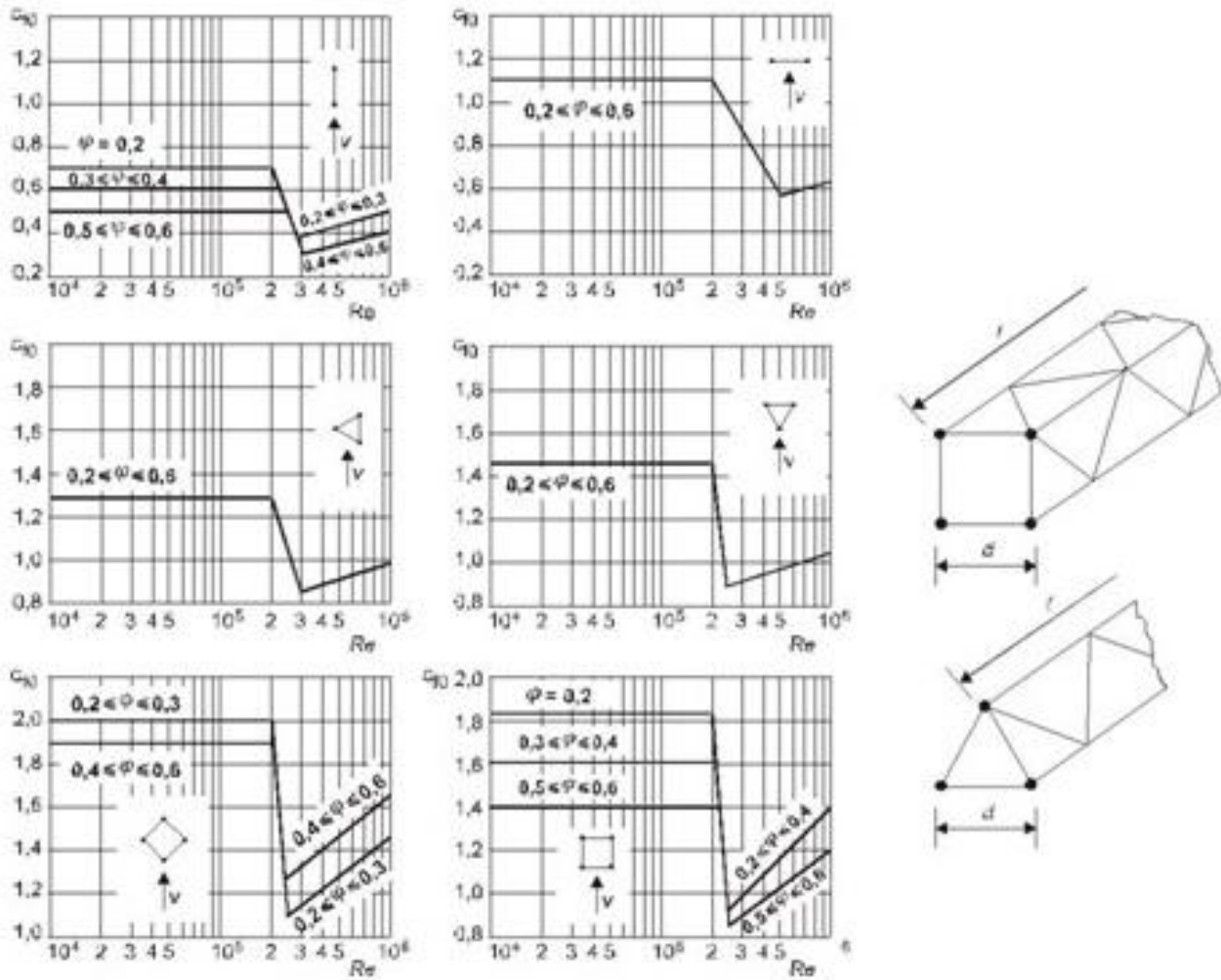
Δικτύωμα ή ικρίωμα



Σχήμα 2.1 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για επίπεδη δικτυωτή κατασκευή με μέλη από γωνιές ως συνάρτηση του συντελεστή πληρότητας ϕ

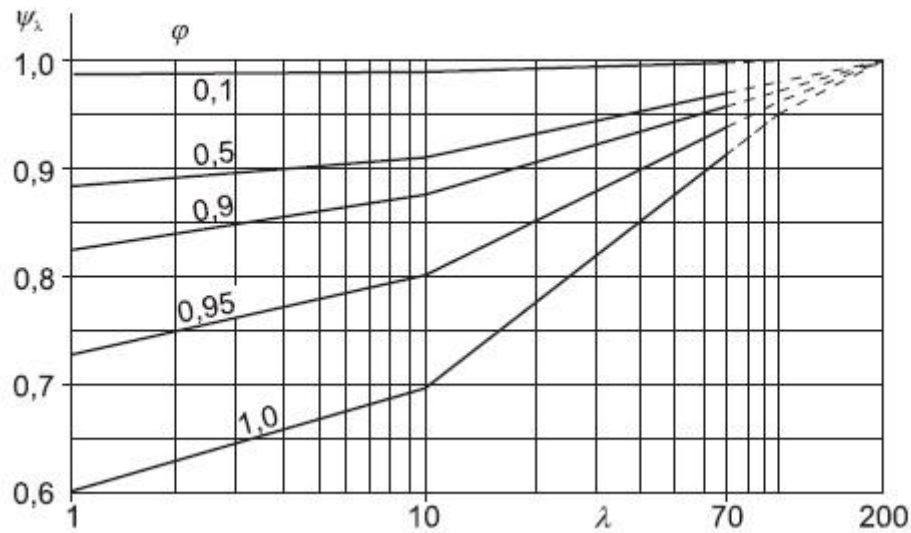


Σχήμα 2.2 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για χωροδικτυωτή κατασκευή με μέλη από γωνιές ως συνάρτηση του συντελεστή πληρότητας ϕ



Σχήμα 2.3 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για επίπεδες και χωρικές δικτυωτές κατασκευές με μέλη κυκλικής διατομής

Συντελεστής πληρότητας φ



Σχήμα 2.4 Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή επίδρασης άκρων ψ_1 ως συνάρτηση του συντελεστή πληρότητας φ και της λυγηρότητας λ

Ο συντελεστής πληρότητας, φ , καθορίζεται από την Εξίσωση (3)

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (3)$$

Όπου:

A είναι η αθροιστική προβαλλόμενη επιφάνεια των μελών και κομβοελασμάτων κάθετα στον άνεμο:

$$A = \sum_i b_i \cdot l_i + \sum_k A_{gk}$$

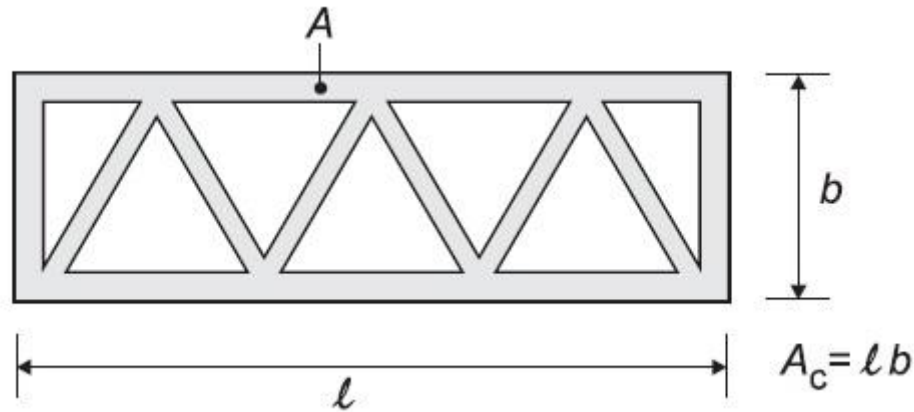
A_c είναι η επιφάνεια της προβολής του περιγράμματος σε επίπεδο κάθετο προς τον άνεμο = $d \cdot l$

l είναι το μήκος του δικτυώματος

d είναι το πλάτος του δικτυώματος

b_i, l_i είναι το πλάτος και το μήκος του μεμονωμένου μέλους i προβαλλόμενου κάθετα στην επιφάνεια

A_{gk} είναι η επιφάνεια του κομβοελάσματος k



Ορισμός του συντελεστή πληρότητας ϕ

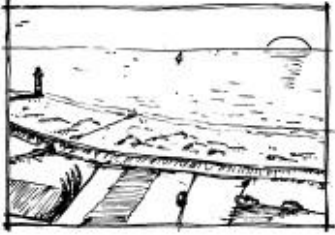

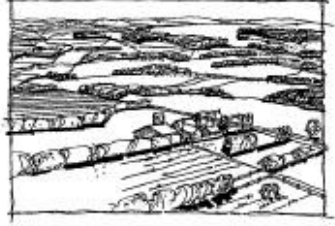


Κατηγορίες εδάφους- Παράμετροι εδάφους

Το έδαφος χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το ανάγλυφο της περιοχής, την τραχύτητα του εδάφους και το ύψος των εμποδίων εν σχέση με τη μεταξύ τους απόσταση. Οι κατηγορίες και οι αντίστοιχες παράμετροί τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.5

Κατηγορίες εδάφους και παράμετροι εδάφους

Κατηγορία εδάφους	z_0 m	z_{min} m
0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασιδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.	1,0	10

<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 γρασιδί 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 (όπως 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 15 m</p>	

Απεικονίσεις της ανώτερης τραχύτητας κάθε κατηγορίας εδάφους

Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_{p(z)}$

Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος z , δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$q_{p(z)} = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho \times v_m^2(z)$$

όπου:

ρ είναι η πυκνότητα του αέρα που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

$I_v(z)$ είναι η ένταση στροβιλισμού σε ύψος z , η οποία υπολογίζεται από τις σχέσεις:

Όπου:

$$I_{V(z)} = k_i / (c_0(z) \times \ln(z/z_0)) \text{ για } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_{V(z)} = I_{V(z_{\min})} \text{ για } z < z_{\min}$$

k_i συντελεστής στροβιλισμού (ίσος με τη μονάδα)

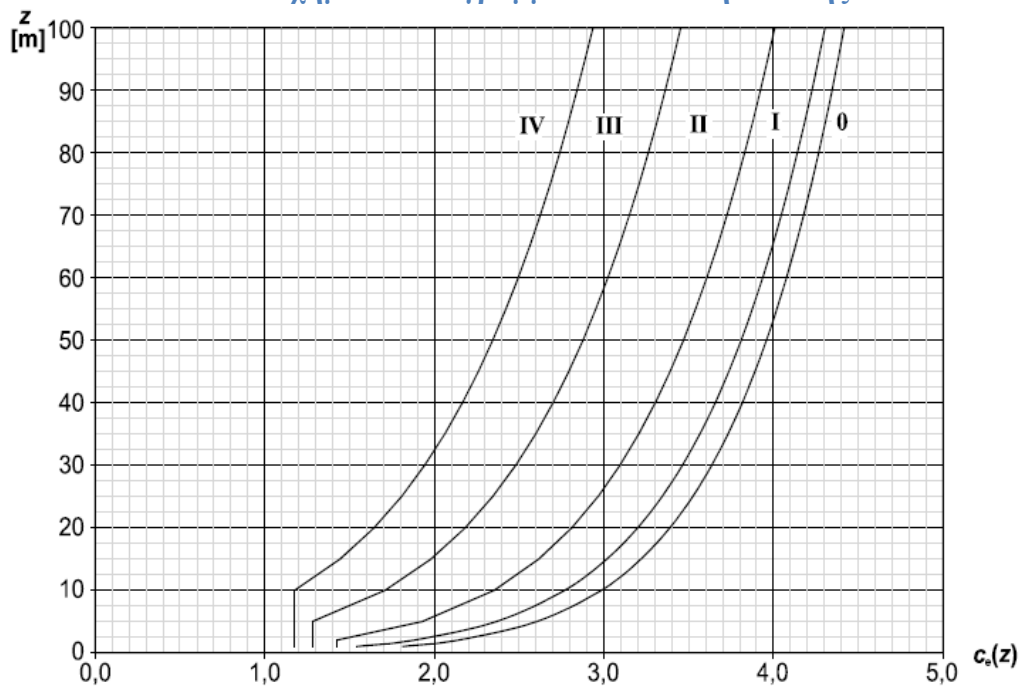
$c_e(z)$ είναι ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$c_e(z) = q_p(z) / q_b$$

ή

για επίπεδο έδαφος και ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα:

Σχήμα 2.6 Διάγραμμα συντελεστή έκθεσης



Διάγραμμα συντελεστή έκθεσης $c_e(z)$ για $c_0=1,0$, $k_i=1,0$

Βασική πίεση q_b

Η βασική πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$q_b = 0,5 \times \rho \times v_b^2$$

όπου:

v_b είναι η βασική ταχύτητα του, που ορίζεται συνάρτηση της εποχής του έτους και της διεύθυνσης του ανέμου, σε ύψος 10m πάνω από έδαφος κατηγορίας II, από τη σχέση:

$$v_b = C_{dir} \times C_{season} \times v_{b,0}$$

όπου:

C_{dir} , είναι ο συντελεστής διεύθυνσης (λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα)

C_{season} είναι ο συντελεστής εποχής (λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα)

$v_{b,0}$, είναι η τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου.

Μέση ταχύτητα ανέμου $v_m(z)$

Μέση ταχύτητα ανέμου $v_m(z)$ είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z από το έδαφος και εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση. Δίνεται από τη σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b$$

όπου:

$c_r(z)$ είναι ο συντελεστής τραχύτητας

$c_0(z)$ είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (προτεινόμενη τιμή 1,00)

Δυναμικός συντελεστής c_s, c_d

Ο συντελεστής αυτός απαρτίζεται από δύο επιμέρους παραμέτρους, την παράμετρο c_s , η οποία λαμβάνει υπόψη της τη μειωτική επίδραση στη δράση του ανέμου λόγω μη ταυτόχρονης ύπαρξης των πιέσεων αιχμής από άνεμο επί της επιφάνειας, και τη δυναμική παράμετρο c_d , που λαμβάνει υπόψη της την αυξημένη επίδραση των ταλαντώσεων λόγω στροβιλισμού.

Ο δυναμικός συντελεστής εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, το ύψος και το πλάτος της και μπορεί να εκτιμηθεί είτε με τη βοήθεια των παρακάτω διαγραμμάτων ή αν υπερβαίνει την τιμή 1,10, σύμφωνα με μια λεπτομερή διαδικασία η οποία δεν περιγράφεται στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

Τελικοί υπολογισμοί για το φορέα

Ο υπολογισμός του φορτίου έγινε με βάση τα παρακάτω στοιχεία

- i. Κατηγορία εδάφους: II
- ii. Πυκνότητα αέρα ρ : $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- iii. Βασική ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 33,00 \text{ m/s}$
- iv. $z_e = 23.25 \text{ m}$ το ανώτερο σημείο του φορέα πάνω από το έδαφος
- v. Δυναμικός συντελεστής $C_s C_d$: από τον Κανονισμό λαμβάνεται για κατηγορία εδάφους II ίσος με 0.95
- vi. Συντελεστής εποχής $c_{\text{season}} = 1,00$
- vii. Συντελεστής διεύθυνσης ανέμου $c_{\text{dir}} = 1,00$

$Z_o \text{ (m)} =$	0,01	Από Πιν 2.5
$Z_{\text{min}} \text{ (m)} =$	1	
Συντελεστής εδάφους $k_r =$	0,17	$k_r = 0.19 \times (z_o/0.05)^{0.7}$
Συντελεστής τραχύτητας $c_r(z) =$	1.32	$c_r = k_r \times \ln(z/z_o)$
Συντελεστής ορογραφίας $c_o(z) =$	1,000	Προτεινόμενη τιμή 1, από Ευρωκώδικα 1
Συντελεστής στροβιλισμού $k_1 =$	1,000	
Ένταση στροβιλισμού $I_v(z) =$	0,13	$I_v = k_1 / (C_o \times \ln(z/z_o))$
Συντελεστής εποχής $c_{\text{season}} =$	1,000	Προτεινόμενη τιμή 1, από Ευρωκώδικα 1
Συντελεστής διεύθυνσης ανέμου $c_{\text{dir}} =$	1,000	
Θεμελιώδης τιμή βασικής ταχύτητας ανέμου $v_{b,0} \text{ (m/s)} =$	33,00	Προτεινόμενη τιμή, από Ευρωκώδικα 1
Βασική ταχύτητα ανέμου $v_b \text{ (m/s)} =$	33,00	$v_b = c_{\text{dir}} \times c_{\text{season}} \times v_{b,0}$

Μέση ταχύτητα αέρα v_m (m/s ²) =	43,56	$v_m = v_b \times c_f \times c_o$
Πίεση ταχύτητας αιχμής q_p (KN/m ²) =	2,27	$q_p = (1 + 7 \times I_v) \times 0.5 \times \rho \times V_m^2 / 1000$
Συντελεστής έκθεσης $c_e(z)$ =	1.37	$C_{e(z)} = q_p / q_b$
Βασική πίεση ανέμου q_b (KN/m ²) =	0,681	$q_b = 0.5 \times \rho \times V_b^2 / 1000$
Συντελεστής δύναμης δικτυωτών κατασκευών και ικριωμάτων χωρίς επίδραση άκρων $c_{f,0}$	0.6	Από σχήμα 2.2 για $\varphi=0,45$
Συντελεστής επίδρασης άκρων ψ_λ	0,98	Από σχήμα 2.4 για $\varphi=-45$
Συντελεστής δύναμης c_f	0.59	$c_f = c_{f,0} \times \psi_\lambda$

Ο συντελεστής πληρότητας φ υπολογίστηκε προσεγγιστικά ως μέσος όρος όλων των συντελεστών όλων των μελών, καθώς το πηλίκο της αθροιστικής προβαλλόμενης επιφάνειας των μελών και κομβοελασμάτων κάθετα στον άνεμο (A) προς την επιφάνεια της προβολής του περιγράμματος σε επίπεδο κάθετο προς τον άνεμο ($A_c = d \cdot l$) δεν παραμένει σταθερό κατά μήκος του φορέα. Η τιμή του συντελεστή πληρότητας προέκυψε $\varphi=0,45$.

Συνεπώς, το φορτίο του ανέμου υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref}$$

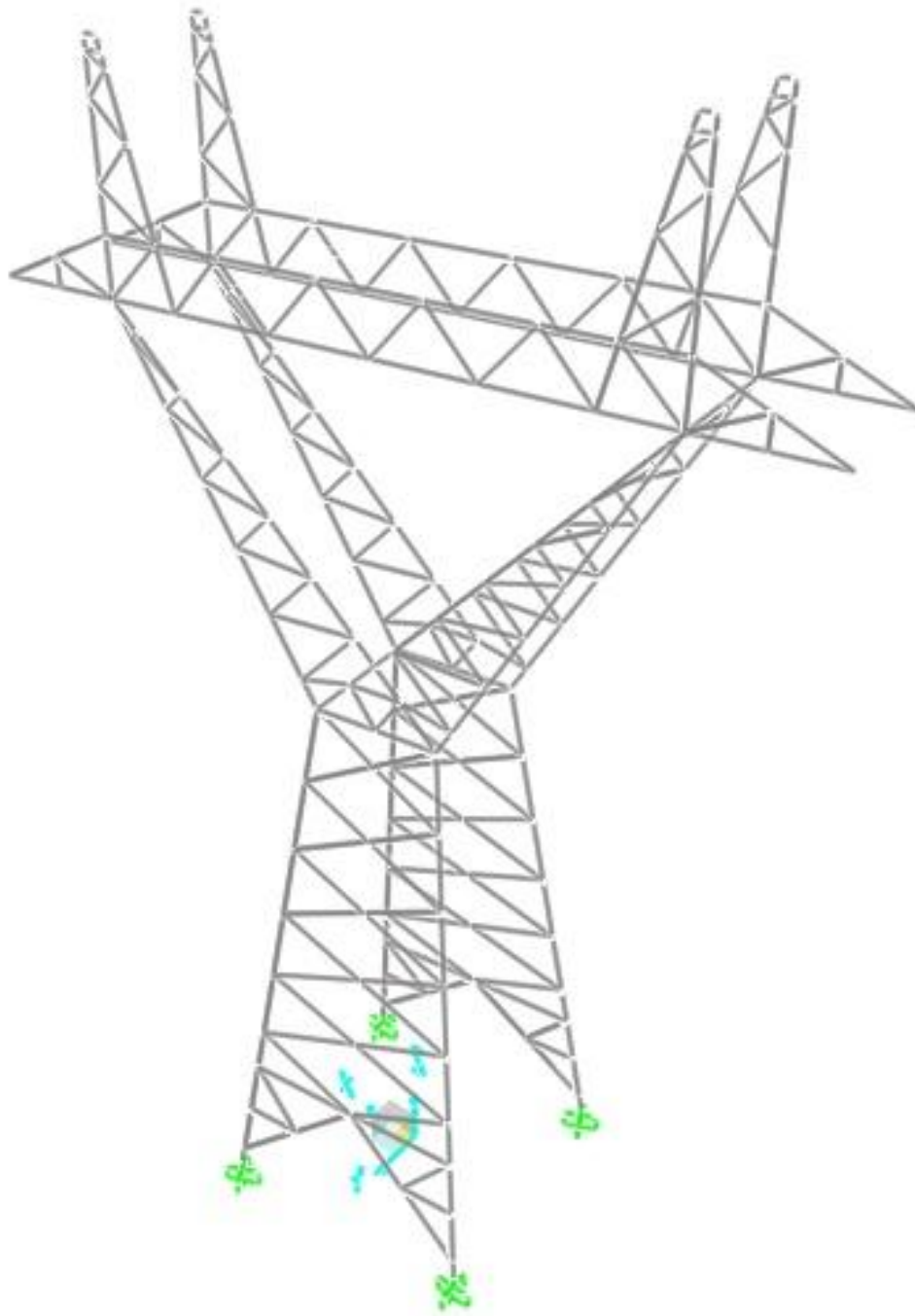
Το φορτίο παίρνει την τιμή $F_w=1,35\text{kN/m}$, κατανεμημένο ανά προβολή μέλους και εφαρμόζεται και στις δύο διευθύνσεις x και y.

Οι τιμές του φορτίου του ανέμου κατανεμημένου σε κάθε μέλος, ανάλογα με το μήκος του φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

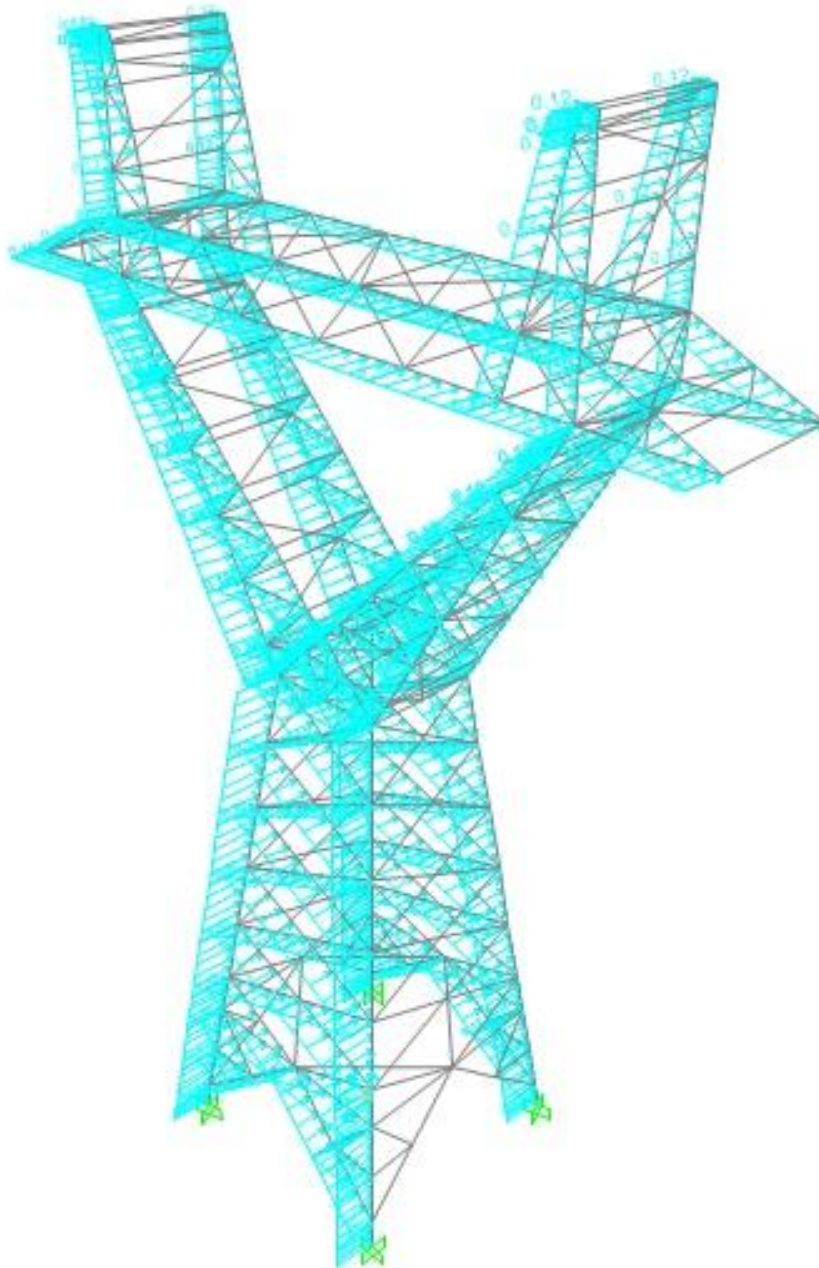
Φορτία ανέμου στην διεύθυνση y

Διατομή	Φορτίο ανέμου
L150X15	-0.2025
L120X12	-0.162
L110X10	-0.1485
L90X9	-0.1215
L80x8	-0.108

Τα στοιχεία στα οποία εφαρμόζεται το φορτίο του ανέμου στη διεύθυνση y είναι όλα τα στοιχεία των δύο όψεων xz του φορέα τα οποία φαίνονται και στις παρακάτω εικόνες από το περιβάλλον του SAP.



Όψεις xz φορέα



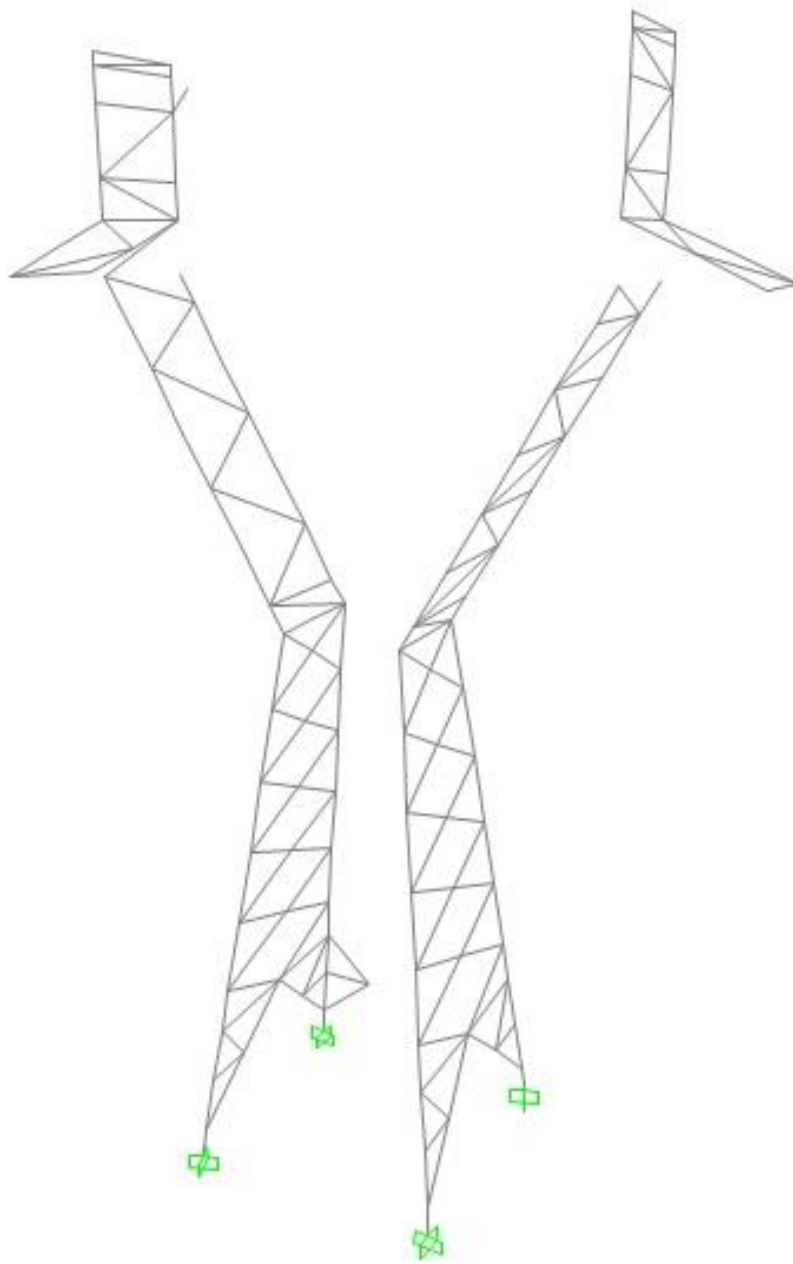
Φόρτιση ανέμου κατά τη διεύθυνση y

Αντίστοιχα, τα φορτία του ανέμου κατά τη διεύθυνση x είναι τα εξής:

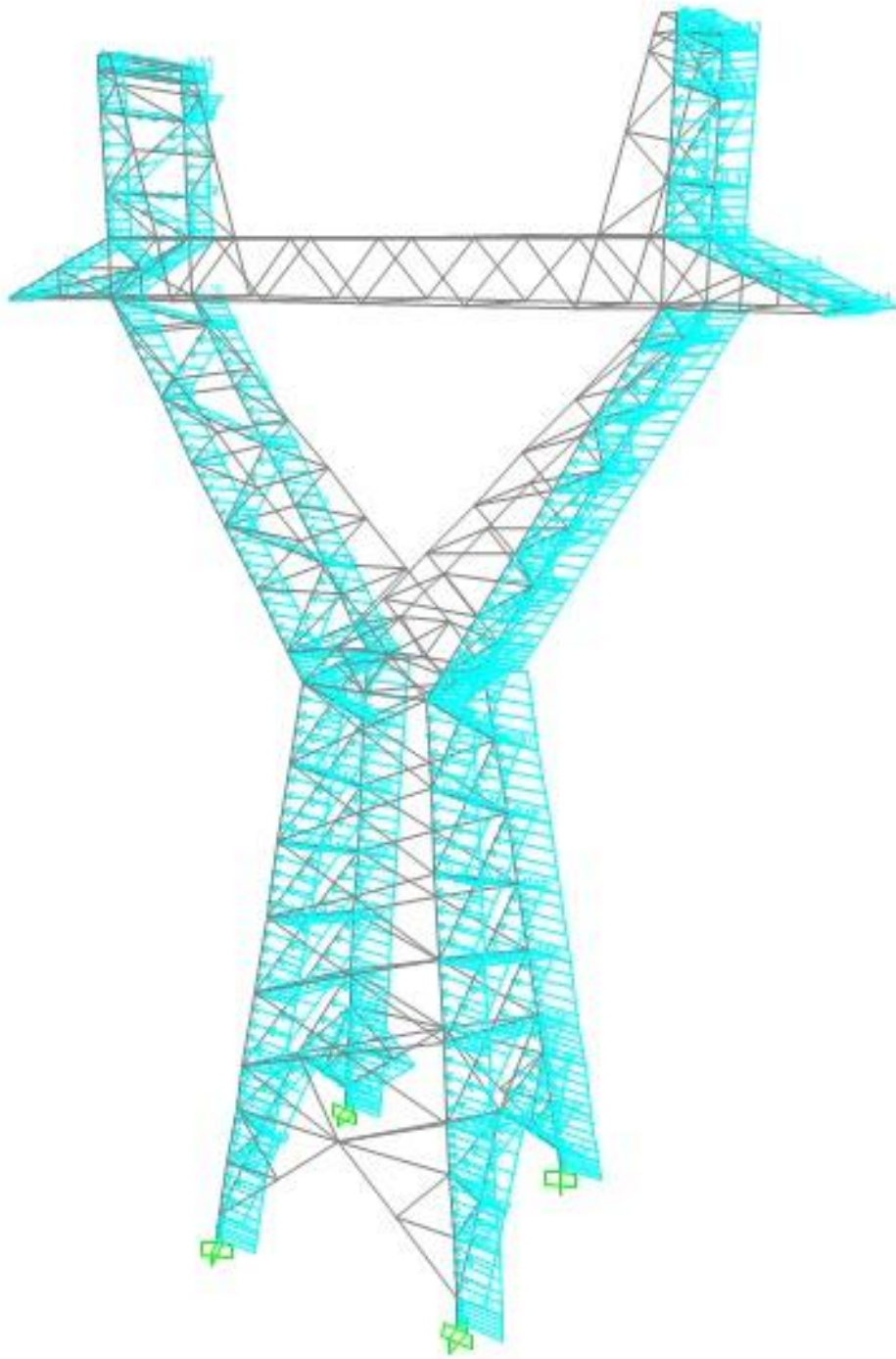
Φορτία ανέμου στην διεύθυνση x

Διατομή	Φορτίο ανέμου
L150X15	0.2025
L120X12	0.162
L110X10	0.1485
L90X9	0.1215
L80x8	0.108

Τα στοιχεία στα οποία εφαρμόζονται τα συγκεκριμένα φορτία είναι όλα τα μέλη των δύο όψεων yz του φορέα, και φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Όψεις yz φορέα



Φόρτιση ανέμου κατά τη διεύθυνση x

2.3.2 Φορτίο χιονιού

Το φορτίο χιονιού κατατάσσεται στις μεταβλητές σταθερές δράσεις. Προκαλείται από την εναπόθεση του χιονιού σε οριζόντιες ή κεκλιμένες στέγες και είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περιοχές όπου επικρατεί κρύος καιρός και είναι συνήθεις μεγάλες χιονοπτώσεις. Τα φορτία του χιονιού αντιμετωπίζονται ως κατανεμημένα φορτία, με πιθανές μειώσεις για τις απότομες κλίσεις στεγών. Η προσέγγιση αυτή δεν λαμβάνει υπόψη περιπτώσεις όπως αυξανόμενη χιονόπτωση σε μεγαλύτερα υψόμετρα ή τοπικά υψηλότερα φορτία λόγω κίνησης της μάζας του χιονιού, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει πλήρη ή μερική κατάρρευση.

Επίσης ο EC δεν καλύπτει τοποθεσίες με υψόμετρο πάνω από 1500m πρέπει να γίνεται ειδική μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Για τις περιοχές δε με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες, όπως υψηλές ταχύτητες ανέμου και λιώσιμο χιονιού, γίνονται ειδικές τροποποιήσεις που περιγράφονται στις ειδικές μορφές συγκέντρωσης χιονιού

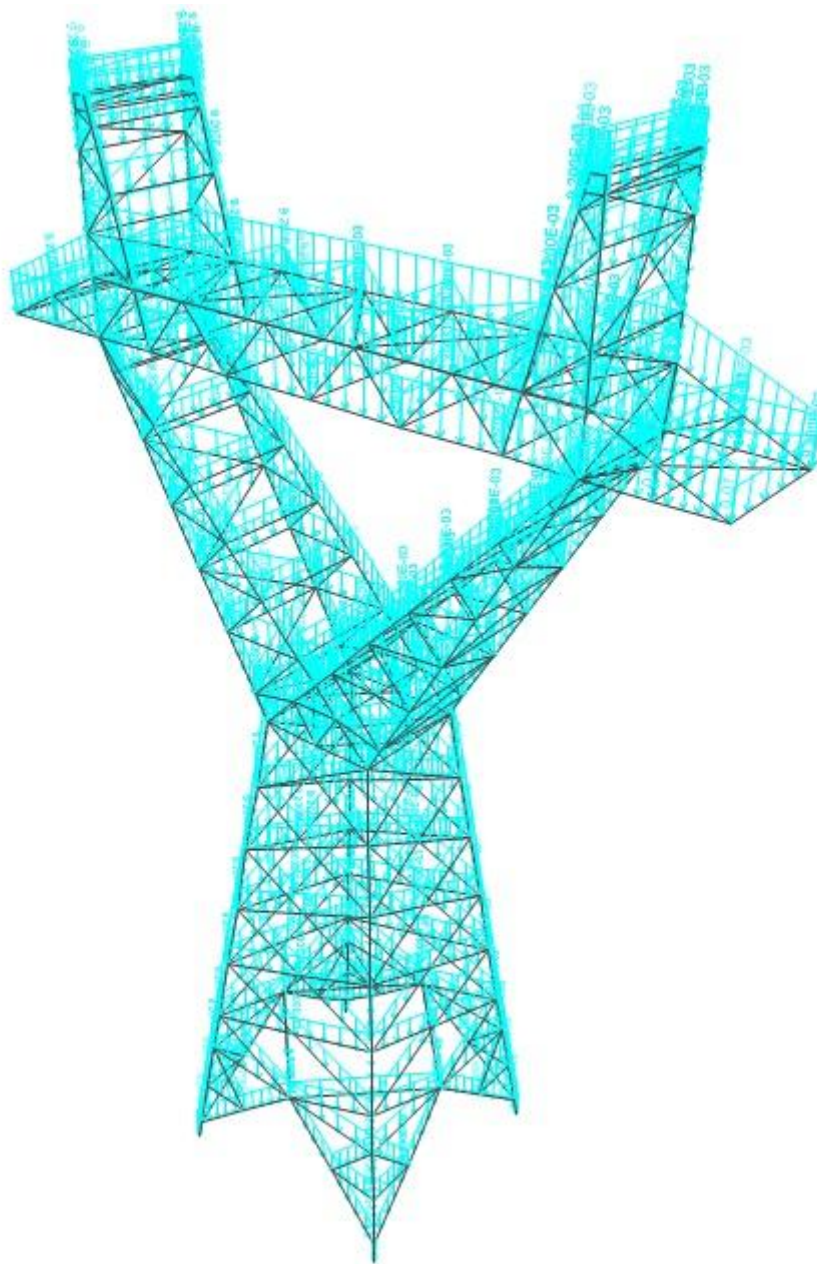
Η δράση του χιονιού θεωρείται ότι ασκείται στις στέγες των κτηρίων και άλλων τεχνικών έργων. Ως δράση λαμβάνεται το χιόνι το οποίο έχει συσσωρευτεί είτε από ελεύθερη πτώση είτε έχει παρασυρθεί. Η δράση του χιονιού θεωρείται στατική, μεταβλητή στον χρόνο και σταθερή στον χώρο.

Στην παρούσα εργασία, το φορτίο του χιονιού δεν υπολογίζεται αναλυτικά, αλλά επειδή πρόκειται για δικτύωμα, από την πρακτική κατασκευαστική εμπειρία έχει παρατηρηθεί ότι είναι ακριβές, να λαμβάνεται πάχος χιονιού περιμετρικά σε κάθε μέλος, ίσο με 2,50cm. Αναλυτικότερα, υπολογίζεται το εμβαδό της επιφάνειας του επίπαγου σε κάθε μέλος ξεχωριστά, ανάλογα με τις διαστάσεις του και με σταθερό πάχος χιονιού 2,5cm και στη συνέχεια η επιφάνεια αυτή πολλαπλασιάζεται με το ειδικό βάρος του χιονιού.

Το ειδικό βάρος θεωρείται δυσμενώς $\gamma=0,80 \text{ g/cm}^3$ για χιόνι το οποίο έχει παραμείνει στάσιμο κι έχει παγώσει πάνω στα μέλη του φορέα. Συνεπώς, για κάθε διατομή προκύπτουν τα φορτία χιονιού του παρακάτω πίνακα. Το φορτίο του χιονιού έχει τη διεύθυνση της βαρύτητας και εφαρμόζεται σε όλα τα μέλη του φορέα.

Φορτίο χιονιού για κάθε διατομή

Διατομή	Φορτίο χιονιού kN/m
L150X15	0.14
L120X12	0.116
L110X11	0.108
L90X9	0.092
L80x8	0.084



Φόρτιση χιονιού από το περιβάλλον του SAP

2.4 Σεισμός

2.4.1 Παράμετροι υπολογισμού

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού αναπτύσσονται στο έδαφος επιταχύνσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες), που έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία αδρανειακών δυνάμεων επί των κατασκευών. Από τις δυνάμεις αυτές, οι οριζόντιες θεωρούνται οι πλέον σοβαρές, χωρίς αυτό να σημαίνει, ότι και οι κατακόρυφες δεν μπορεί να αποβούν καταστροφικές υπό ορισμένες συνθήκες.

Ως σεισμικές δράσεις σχεδιασμού θεωρούνται οι ταλαντώσεις του κτηρίου, λόγω του σεισμού, οι οποίες ονομάζονται και σεισμικές διεγέρσεις ή σεισμικές δονήσεις. Οι σεισμικές δράσεις κατατάσσονται στις τυχηματικές και δεν συνδυάζονται με άλλες τυχηματικές δράσεις, όπως επίσης δεν συνδυάζονται με τις δράσεις λόγω ανέμου.

Απαιτήσεις συμπεριφοράς και αντίστοιχες σεισμικές δράσεις:

Οι ρητές απαιτήσεις συμπεριφοράς στον EC8 είναι δύο:

1. «Μη- κατάρρευση υπό τη «σεισμική δράση σχεδιασμού»
Αποφυγή έστω και τοπικής κατάρρευσης που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο έστω και μία ανθρώπινη ζωή και διατήρηση στατικής ακεραιότητας και παραμένουσας φέρουσας ικανότητας μετά το σεισμό (στους μετασεισμούς). Πρόκειται ουσιαστικώς για απαίτηση «Προστασίας Ζωής».
2. «Περιορισμός βλαβών» υπό τη «σεισμική δράση περιορισμού βλαβών»
Για συνήθη έργα η «σεισμική δράση σχεδιασμού» έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια, δηλ. μέση περίοδο επανάληψης 475 χρόνια. Πρόκειται ουσιαστικώς για τη χαρακτηριστική σεισμική δράση, A_{Ek} , η οποία στον EC8 ονομάζεται «σεισμική δράση αναφοράς» και δηλώνεται με το δείκτη R. Για έργα σπουδαιότητας διαφορετικής της συνήθους, η «σεισμική δράση σχεδιασμού» είναι η «σεισμική δράση αναφοράς», A_{Ek} , επί τον συντελεστή σπουδαιότητας, γ_I , που έχει τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες από 1.0. Έτσι τελικώς η «σεισμική δράση σχεδιασμού» είναι: $A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$. Οι τιμές του γ_I που δίνονται για κτίρια στο Κεφάλαιο 4 του EN 1998-1:2004 είναι αυτές του Πίνακα.
Η απαίτηση υπ. αρ. 1, «μη-κατάρρευσης», πρέπει να ικανοποιείται υπό τη σεισμική δράση A_{Ed} .

Κατηγορία σπουδαιότητας	Κτίριο	Συντελεστής σπουδαιότητας γ_I	Συντελεστής μείωσης σεισμικής δράσης περιορισμού βλαβών, ν
I (Σ1 κατά ΕΑΚ)	Μικρής σπουδαιότητας για τη δημόσια ασφάλεια	0.8	0.5
II (Σ2 κατά ΕΑΚ)	Σύνηθες	1.0 (εξ ορισμού)	0.5
III (Σ3 κατά ΕΑΚ)	Με μεγάλες συνέπειες κατάρρευσης (σχολεία, χώροι συγκέντρωσης κοινού, πολιτιστικά ιδρύματα κ.λ.π.).	1.2	0.4
IV (Σ4 κατά ΕΑΚ)	Ζωτικής σημασίας για την Πολιτική Προστασία (νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας)	1.4	0.4

Κατηγορίες Σπουδαιότητας για κτίρια, Συντελεστές Σπουδαιότητας και Συντελεστής Μείωσης ν για τη σεισμική δράση περιορισμού βλαβών

Για συνήθη έργα η «σεισμική δράση περιορισμού βλαβών» έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 10 χρόνια, δηλ. μέση περίοδο επανάληψης 95 χρόνια. Ο ΕΚ8 επιτρέπει να λαμβάνεται χάριν απλότητας ίση με τη «σεισμική δράση σχεδιασμού», A_{Ed} , επί το συντελεστή μείωσης ν του Πίνακα. Επισημαίνεται η χαμηλότερη τιμή του ν για Κατηγορίες Σπουδαιότητας III και IV: η «σεισμική δράση περιορισμού βλαβών», $E_d A \nu$, είναι χαμηλότερη για Κατηγορία Σπουδαιότητας II παρά για III.

Οι ανωτέρω ρητές απαιτήσεις συμπεριφοράς ελέγχονται με βάση τα κριτήρια συμμόρφωσης που περιγράφονται παρακάτω. Όμως, ο ΕΚ8 – όπως και ο ΕΑΚ 2000 στον ίδιο σχεδόν βαθμό – έχει και μία τρίτη απαίτηση: την αποφυγή καθολικής κατάρρευσης υπό μία εξαιρετικά σπάνια αλλά μη καθοριζόμενη σεισμική δράση, πολύ πέραν της «σεισμικής δράσης σχεδιασμού» (π.χ., με μέση περίοδο επανάληψης της τάξεως των 2000 χρόνων). Η απαίτηση αυτή στοχεύει στην αποφυγή καθολικών απωλειών, όχι μεμονωμένων θυμάτων, και αδιαφορεί για το αν ο φορέας θα καταρρεύσει στους μετασεισμούς. Για φορείς που σχεδιάζονται για πλαστιμότητα, η ικανοποίηση της απαίτησης αυτής επιδιώκεται μέσω καθολικής εφαρμογής του Ικανοτικού Σχεδιασμού.

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση

Η εξάρτηση της «σεισμικής δράσης αναφοράς» (δηλαδή, αυτής με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια και μέση περίοδο επανάληψης 475 χρόνια), A_{EK} , από τη γεωγραφική θέση δίνεται σε όρους μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης αναφοράς a_{gR} στο βράχο (δηλ. σε έδαφος κατηγορίας A) από τον εθνικό χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας.

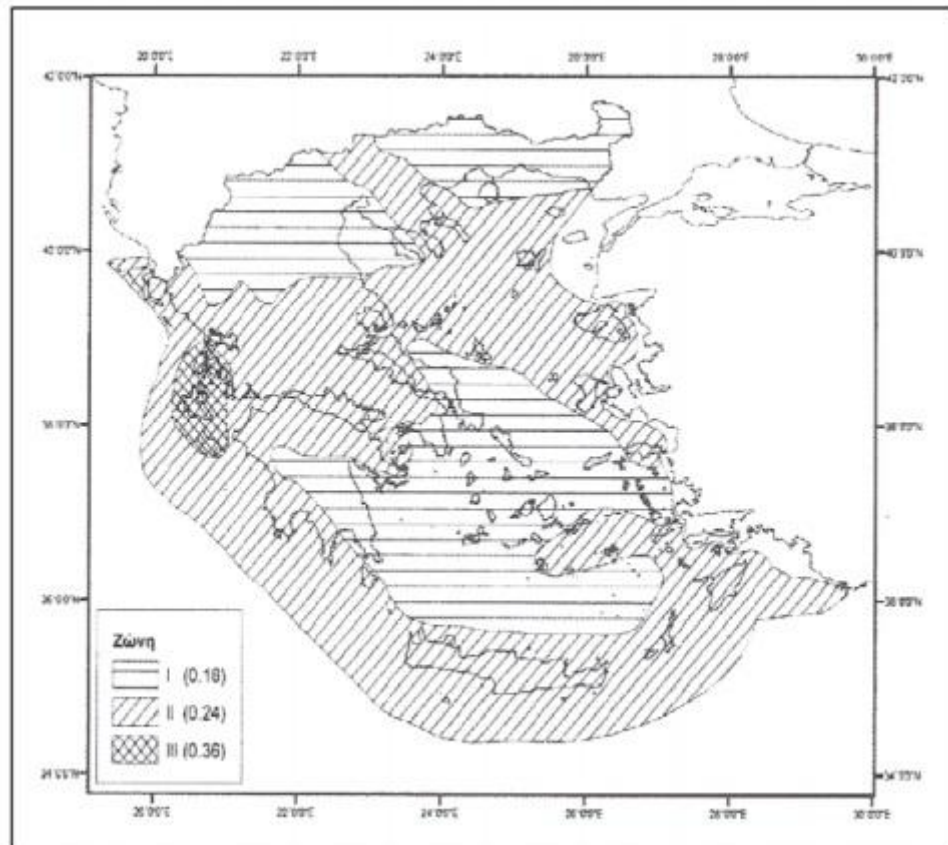
Χάριν απλότητας, το Εθνικό Προσάρτημα του ΕΚ8 υιοθετεί για το σκοπό αυτό τις τρεις Ζώνες Επικινδυνότητας του ΕΑΚ 2000 και ως σεισμικές επιταχύνσεις στο βράχο τις αντίστοιχες τιμές εδαφικών επιταχύνσεων (για τις Ζώνες Z1, Z2, Z3: 0.16g, 0.24g, 0.36g, τιμές που θεωρούνται ότι ισχύουν σε έδαφος κατηγορίας B ή C). Η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από την κατηγορία του εδάφους και προκύπτει από την επιτάχυνση αναφοράς a_{gR} πολλαπλασιασμένη επί τον συντελεστή S του παρακάτω Πίνακα, που παίρνει τιμές 1.2, 1.15, 1.35 και 1.4, για έδαφος κατηγορίας B, C, D ή E, αντίστοιχα.

Για έργα κατηγορίας σπουδαιότητας διαφορετικής της συνήθους (II), η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού, a_g , ισούται με την τιμή αναφοράς, a_{gR} , επί τον συντελεστή σπουδαιότητας, γ_I : $a_g = \gamma_I a_{gR}$.

Τιμές αναφοράς a_{gR} μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης σε έδαφος τύπου Α.

Μέγιστες τιμές επιτάχυνσης

Ζώνη	a_{gR}/g
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36



Απεικόνιση ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα με βάση τον ΕΑΚ2000

Εδαφικές συνθήκες και κατηγορίες εδάφους

Η σεισμική δράση εξαρτάται όχι μόνον από τη σεισμικότητα στη θέση του έργου, αλλά και από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Για το σκοπό του καθορισμού της σεισμικής δράσης, ο EC8 κατηγοριοποιεί το έδαφος σε 5 τυποποιημένες κατηγορίες, τις Α, Β, C, D, Ε και σε δύο ειδικές, τις S1, S2

Η βασική παράμετρος για την κατάταξη σε κατηγορία είναι η μέση τιμή της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων στα ανώτατα 30 m από την επιφάνεια, $v_{s,30}$:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

όπου h_i και v_i είναι το πάχος (σε m) και η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (σε διατμητική παραμόρφωση 10–5 ή μικρότερη) του σχηματισμού ή στρώματος i από N συνολικά. Αν δεν είναι διαθέσιμη η τιμή της $v_{s,30}$, μπορεί να χρησιμοποιείται για την κατάταξη σε κατηγορία ο αριθμός κρούσεων/0.3 m στην Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης, N_{SPT} . Αν ούτε αυτός είναι διαθέσιμος, μπορεί να χρησιμοποιείται η αστράγγιστη αντοχή, c_u .

Κατηγορία Εδάφους	$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT}	c_u (kPa)
A Βράχος με έως 5m ασθενέστερο επιφανειακό υλικό	>800	–	–
B Πολύ πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή πολύ σκληρή άργιλος, δεκάδων m με αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360-800	>50	>250
C Πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή σκληρή άργιλος, αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων m	180-360	15-50	70-250
D Χαλαρή έως μετρίως χαλαρή άμμος ή αμμοχάλικο ή μαλακή έως μετρίως σκληρή άργιλος	<180	<15	<70
E Επιφανειακό στρώμα C ή D πάχους 5 έως 20m και υπόστρωμα με $v_s > 800$ m/s			
S ₁ ≥ 10m μαλακή άργιλος/ιλύς με δείκτη πλαστικότητας $PI > 40$ και υψηλή περιεκτικότητα νερού	<100	–	10-20
S ₂ Ευαίσθητη άργιλος, εδάφη ρευστοποιήσιμα ή εκτός A-E ή S ₁			

Κατηγορίες εδάφους κατά EC8

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες A,B,Γ,Δ,Χ που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Α	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση
	Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ.
	Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
Β	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη.
	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
	Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικά πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
	Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
Χ	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων)
	Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα.
	Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων.
	Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής.
	Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Περιγραφή κατηγοριών εδάφους

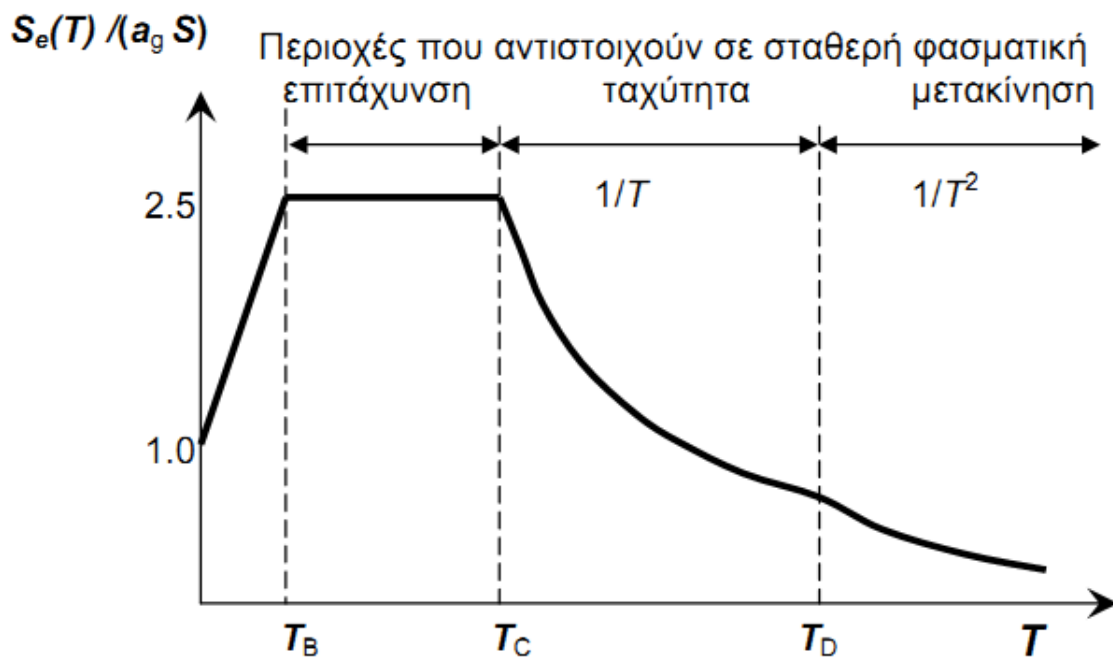
Φάσμα σχεδιασμού στην οριζόντια διεύθυνση

Σε οριζόντιο επίπεδο η σεισμική δράση δρα ταυτόχρονα και ανεξάρτητα σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις που έχουν το ίδιο φάσμα απόκρισης.

Η σεισμική δράση σχεδιασμού καθορίζεται στον EC8 μέσω του φάσματος επιταχύνσεων σχεδιασμού. Αυτό, βασικώς, προκύπτει από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων (με απόσβεση 5%) με διαίρεση των φασματικών επιταχύνσεων δια του συντελεστή συμπεριφοράς, q .

Το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων με απόσβεση 5% του EC8 δίνεται σχηματικά στο Σχήμα. Περιλαμβάνει μία περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, μεταξύ περιόδων T_B και T_C με τιμή 2.5 φορές τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση a_g S , που ακολουθείται από μία περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας μεταξύ περιόδων T_C και T_D , όπου η φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του $1/T$, και μία περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης, όπου η φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του $1/T^2$.

Οι τιμές του πολλαπλασιαστικού συντελεστή S και των περιόδων T_B , T_C , T_D δίνονται στον Πίνακα για τις κατηγορίες εδάφους Α, Β, C, D ή E του EC8.



Ελαστικό φάσμα EC8 στην οριζόντια διεύθυνση για απόσβεση 5%

Κατηγορία Εδάφους	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1.0	0.15	0.4	2.5
B	1.2	0.15	0.5	2.5
C	1.15	0.20	0.6	2.5
D	1.35	0.20	0.8	2.5
E	1.4	0.15	0.5	2.5

Παράμετροι οριζόντιου ελαστικού φάσματος για τις τυποποιημένες κατηγορίες εδάφους σύμφωνα με τον EC8.

Στις περιοχές σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης, το φάσμα σχεδιασμού προκύπτει από το ελαστικό με απόσβεση 5% με διαίρεση δια του q . Ο ανερχόμενος κλάδος για ιδιοπεριόδους μέχρι $T \leq T_B$ προκύπτει από γραμμική παρεμβολή μεταξύ:

- της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, S_{ag} , δια συντελεστή ίσου με 1.5, που εκφράζει υπεραντοχή σε σχέση με την αντοχή σχεδιασμού και της σταθερής επιτάχυνσης σχεδιασμού, για $T = 0$ και
- $2.5a_g/q$ για $T = T_B$.

Επιπλέον, τίθεται ένα κάτω όριο στη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού, ίσο με 20% της μέγιστης επιτάχυνσης στο βράχο, a_g . Έτσι τελικώς το φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού στην οριζόντια διεύθυνση δίνεται από τις σχέσεις:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g S \frac{2.5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq 0.2a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq 0.2a_g \end{cases}$$

Φάσμα σχεδιασμού στην κατακόρυφη διεύθυνση

Στις ελάχιστες περιπτώσεις που χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού, το φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού στην κατακόρυφη διεύθυνση δίνεται από τις σχέσεις:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_{vg} \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_{vg} \frac{2.5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_{vg} \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq 0.2a_{vg} \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_{vg} \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq 0.2a_{vg} \end{cases}$$

όπου η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση, a_{vg} , και οι τιμές των περιόδων T_B , T_C , T_D δίνονται στον Πίνακα και ο συντελεστής συμπεριφοράς q επιτρέπεται να λαμβάνεται μεγαλύτερος από 1,5 εκτός αν τεκμηριώνεται από κατάλληλη μελέτη.

Παράμετροι κατακόρυφου φάσματος κατά EC8

a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
0.90	0.05	0.15	1.0

Κατά τον EC8, σε κτίρια η κατακόρυφη συνιστώσα χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη εάν η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση, a_{vg} , είναι μεγαλύτερη από 0,25g (δηλαδή, στη Ζώνη Επικινδυνότητας Z3, καθώς και στην Z2 μόνον για τις κατηγορίες σπουδαιότητας III και IV) αλλά και πάλιν μόνον στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- για (σχεδόν) οριζόντια μέλη με άνοιγμα τουλάχιστον 20 m.
- για (σχεδόν) οριζόντιους προβόλους με άνοιγμα μεγαλύτερο από 5 m;
- για (σχεδόν) οριζόντια προεντεταμένα μέλη
- για δοκούς που στηρίζουν φυτευτά υποστυλώματα
- σε κτίρια με σεισμική μόνωση.

Ανάλυση για τη σεισμική δράση

Σύμφωνα με τον EC8, η ανάλυση είναι ελαστική. Αν η ανάλυση γίνεται για τον υπολογισμό της έντασης στα μέλη υπό τη «σεισμική δράση σχεδιασμού», χρησιμοποιεί το φάσμα σχεδιασμού.

Η ανάλυση για τη «σεισμική δράση περιορισμού βλαβών» έχει μόνον στόχο τον υπολογισμό των μετακινήσεων ορόφων. Δεδομένου ότι το ελαστικό φάσμα για τη «σεισμική δράση περιορισμού βλαβών» είναι αυτό της σεισμικής δράσης σχεδιασμού επί το μειωτικό συντελεστή ν του Πίνακα 2.1 στην παρ. 2.1., οι μετακινήσεις λόγω της «σεισμικής δράσης περιορισμού βλαβών» λαμβάνονται ίσες με αυτές από την ελαστική ανάλυση για τη «σεισμική δράση σχεδιασμού» με το φάσμα σχεδιασμού, επί το συντελεστή συμπεριφοράς q (με βάση «κανόνα των ίσων μετακινήσεων») και επί το μειωτικό συντελεστή ν .

Έτσι αρκεί μία ανάλυση για τις δύο σεισμικές δράσεις.

Οι βασικές μέθοδοι ελαστικής ανάλυσης είναι δύο:

1. Η ιδιομορφική φασματική («ιδιομορφική φάσματος απόκρισης») ή
2. Η στατική με (ισοδύναμα) οριζόντια σεισμικά φορτία («Μέθοδος οριζόντιας φόρτισης»). Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση της ιδιομορφικής φασματικής μεθόδου, η οποία περιγράφεται παρακάτω

Ιδιομορφική φασματική μέθοδος

Η ιδιομορφική φασματική μέθοδος ανάλυσης δεν διαφέρει ουσιωδώς από τη «δυναμική φασματική» και εφαρμόζεται πάντα, χωρίς περιορισμούς. Πρόκειται για μια στατιστική μέθοδο γραμμικού υπολογισμού της δυναμικής απόκρισης της κατασκευής, της οποίας όμως η αξιοπιστία μειώνεται στις περιπτώσεις απότομων καθ ύψος μεταβολών της αντοχής των κτηρίων.

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι πιθανές ακραίες τιμές του τυχαίου μεγέθους απόκρισης με τετραγωνική επαλληλία των ιδιομορφικών του τιμών και περιλαμβάνει:

- Ιδιομορφική ανάλυση, κατά την οποία υπολογίζονται οι ιδιομορφές ταλάντωσης του συστήματος και οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες.
- Ιδιομορφική απόκριση, κατά την οποία υπολογίζεται με χρήση του φάσματος σχεδιασμού για κάθε συνιστώσα του σεισμού η ακραία απόκριση (μετακίνηση, ένταση), με καθορισμένο πρόσημο, που αντιστοιχεί σε κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης.
- Ιδιομορφική επαλληλία, κατά την οποία υπολογίζεται για κάθε συνιστώσα του σεισμού η πιθανή ακραία τιμή του τυχαίου μεγέθους απόκρισης (με ακαθόριστο πρόσημο). Για την ιδιομορφική επαλληλία συνήθως χρησιμοποιείται η Πλήρης Τετραγωνική Επαλληλία (CQC).
- Χωρική επαλληλία, κατά την οποία υπολογίζεται η πιθανή ακραία τιμή τυχόντος μεγέθους απόκρισης για ταυτόχρονη δράση των τριών συνιστωσών του σεισμού, επίσης με ακαθόριστο πρόσημο. Για τη χωρική επαλληλία συνήθως χρησιμοποιείται η Απλή Τετραγωνική Επαλληλία (SRSS).

Η δυναμική φασματική μέθοδος λαμβάνει υπόψη όλες τις ιδιομορφές της κίνησης που συνεισφέρουν σημαντικά στη συνολική κίνηση, αν όμως ικανοποιείται μια από τις παρακάτω προϋποθέσεις, για όλες τις διευθύνσεις του χωρικού μοντέλου:

Το άθροισμα των ενεργών δρυσών μαζών που αντιστοιχούν στις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη θα πρέπει να αντιστοιχούν σε περισσότερο από το 90% της συνολικής μάζας της κατασκευής.

Όλες οι ιδιομορφές με ενεργές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, δηλαδή όλες οι ιδιομορφές που ενεργοποιούν πάνω από το 5% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας

Άλλη προϋπόθεση για την εφαρμογή του απλούστερου κανόνα της «τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων» είναι να διαφέρουν κατά τουλάχιστον 10% όλες οι διαδοχικές ιδιοπερίοδοι.

Στατική μέθοδος ανάλυσης με οριζόντια φορτία

Η στατική ανάλυση με (ισοδύναμα) οριζόντια σεισμικά έχει τους παρακάτω περιορισμούς:

1. Το πεδίο εφαρμογής της περιορίζεται μόνον σε κτίρια κανονικά καθ' ύψος, με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο που να ικανοποιεί και στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις και τις δύο συνθήκες:

$$T \leq 2 \text{ s}$$

$$T \leq 4T_C$$

όπου T_C η περίοδος στο όριο μεταξύ της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης και αυτής της σταθερής φασματικής ταχύτητας .

2. Στην καθ' ύψος μεταβολή των οριζοντίων φορτίων τα οποία μπορεί πάντοτε να προκύπτουν από ανεστραμμένη τριγωνική καθ' ύψος κατανομή των επιταχύνσεων ορόφων:

$$F_i = V_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j}$$

όπου V_b η σεισμική τέμνουσα βάσης και z_i, z_j τα ύψη των μαζών m_i, m_j από τη θεμελίωση ή την πάνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου.

3. Στην εφαρμογή των οριζοντίων σεισμικών φορτίων στους ορόφους πάντοτε στη στατική εκκεντρότητα που καθορίζεται εσωτερικά και «αυτόματα» σε μια χωρική ανάλυση.
4. Στις οριζόντιες διευθύνσεις στις οποίες ασκούνται τα οριζόντια φορτία: κατά τις δύο κάθετες μεταξύ τους κύριες διευθύνσεις τις οποίες επιλέγει ο μελετητής.
5. Στο μέγεθος της V_b , το οποίο επιτρέπεται να μειώνεται κατά 15% σε κτίρια άνω των δύο ορόφων με βασική ιδιοπερίοδο $T \leq 2T_C$, λόγω διαφοράς συμμετέχουσας μάζας.

Η στατική ανάλυση με (ισοδύναμα) οριζόντια φορτία στις περιπτώσεις που επιτρέπεται να εφαρμόζεται δίνει - λόγω του ανωτέρω 5 - αποτελέσματα πλησιέστερα σ' αυτά της ιδιομορφικής φασματικής, και επομένως ακριβέστερα και οικονομικότερα.

Στατική ανάλυση με ισοδύναμα φορτία γίνεται ξεχωριστά για κάθε μεταφορική συνιστώσα της σεισμικής δράσης. Η σεισμική τέμνουσα δύναμη βάσης, V_b , για κάθε οριζόντια διεύθυνση όπου ασκείται η σεισμική δράση καθορίζεται ως:

$$F_b = S_d(T_1) \lambda m$$

όπου $S_d(T_1)$ η τιμή του φάσματος σχεδιασμού στη θεμελιώδη περίοδο T_1 στη διεύθυνση της σεισμικής δράσης, m η συνολική μάζα του κτιρίου πάνω από την θεμελίωση ή πάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου βάσης, και λ συντελεστής ίσος με: $\lambda = 0,85$ εάν $T_1 < 2 T_C$ και το κτήριο έχει πάνω από δύο ορόφους, ή $\lambda = 1,0$ διαφορετικά.

Αν και δίνει και απλούστερες εμπειρικές σχέσεις, ο τρόπος που ενθαρρύνει ο EC8 για τον υπολογισμό της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου είναι με τον τύπο του Rayleigh:

$$T_1 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_i m_i \cdot \delta_i^2}{\sum_i F_i \cdot \delta_i}}$$

Όπου δ_i οι μετατοπίσεις των συγκεντρωμένων μαζών m_i λόγω των φορτίων F_i στη διεύθυνση της σεισμικής δράσης.

2.4.2 Υπολογισμός

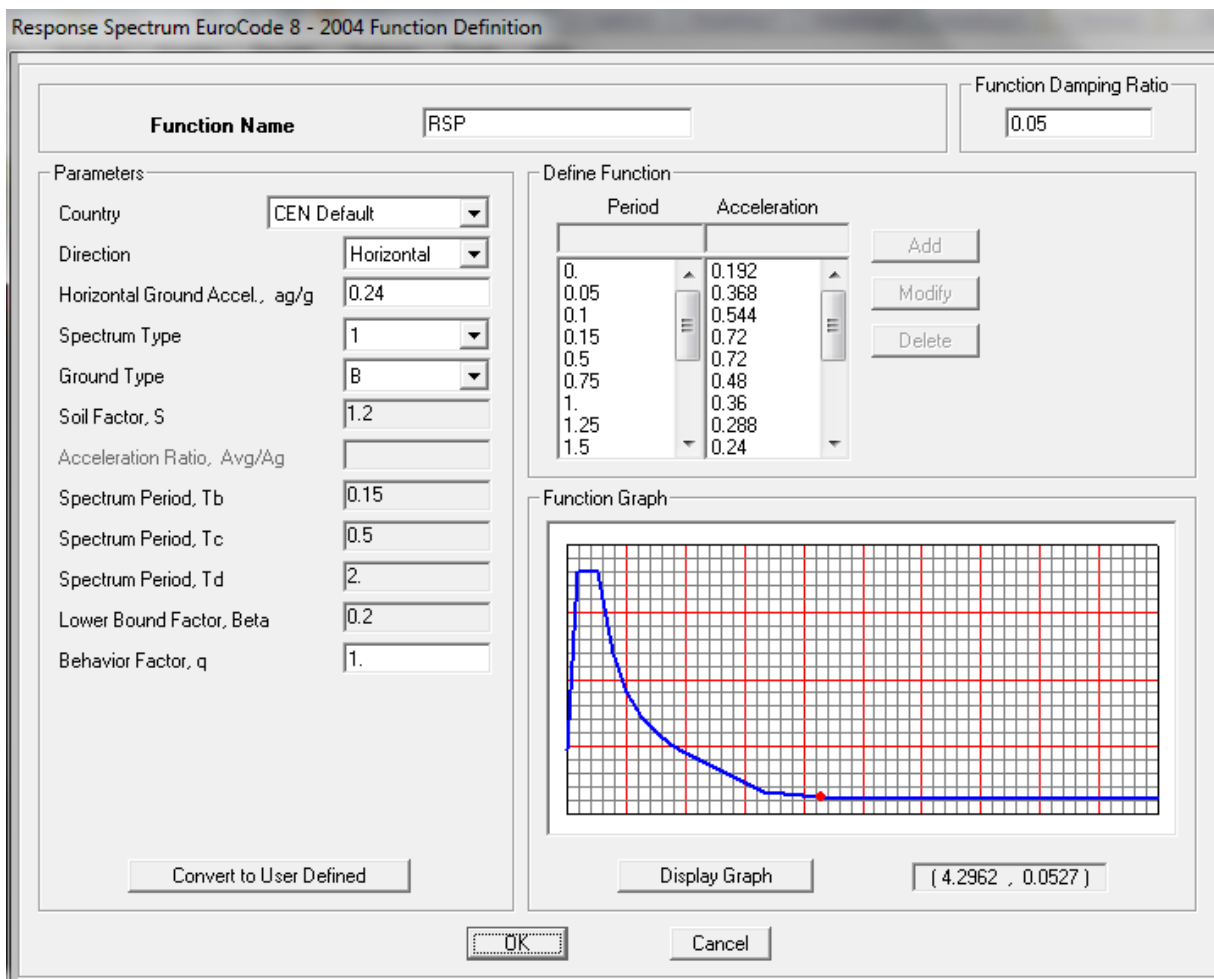
Για τον υπολογισμό των σεισμικών φορτίων χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα, που είναι σύμφωνα με τα δεδομένα που δόθηκαν και από τις απαιτήσεις του EC8:

Εδαφική επιτάχυνση (τιμή αναφοράς) : $a_{gR}[g] = 0,24$

Συντελεστής σπουδαιότητας : $\gamma_1 = 1,0$

Τύπος εδάφους : B (δοσμένη τιμή) άρα $T_1=0,15s$ και $T_2=0,60s$

Συντελεστής συμπεριφοράς : $q= 1,0$



Φάσμα σχεδιασμού από το περιβάλλον του SAP

Κατά την εφαρμογή της δυναμικής φασματικής μεθόδου, έγινε η θεώρηση ενός μόνο προσανατολισμού των δύο οριζοντίων (και καθέτων μεταξύ τους) συνιστωσών του σεισμού. Εδώ θεωρήσαμε ότι ταυτίζονται με τους άξονες x και y της κατασκευής, όπως έχουμε θεωρήσει και στο μοντέλο που εισαγάγαμε στο πρόγραμμα.

Η ταλαντούμενη μάζα υπολογίστηκε από το πρόγραμμα για το συνδυασμό φορτίων "μόνιμα*1", καθώς δεν έχουμε κινητα φορτία, κάτι που είναι σύμφωνο με τις αρχές του EC.

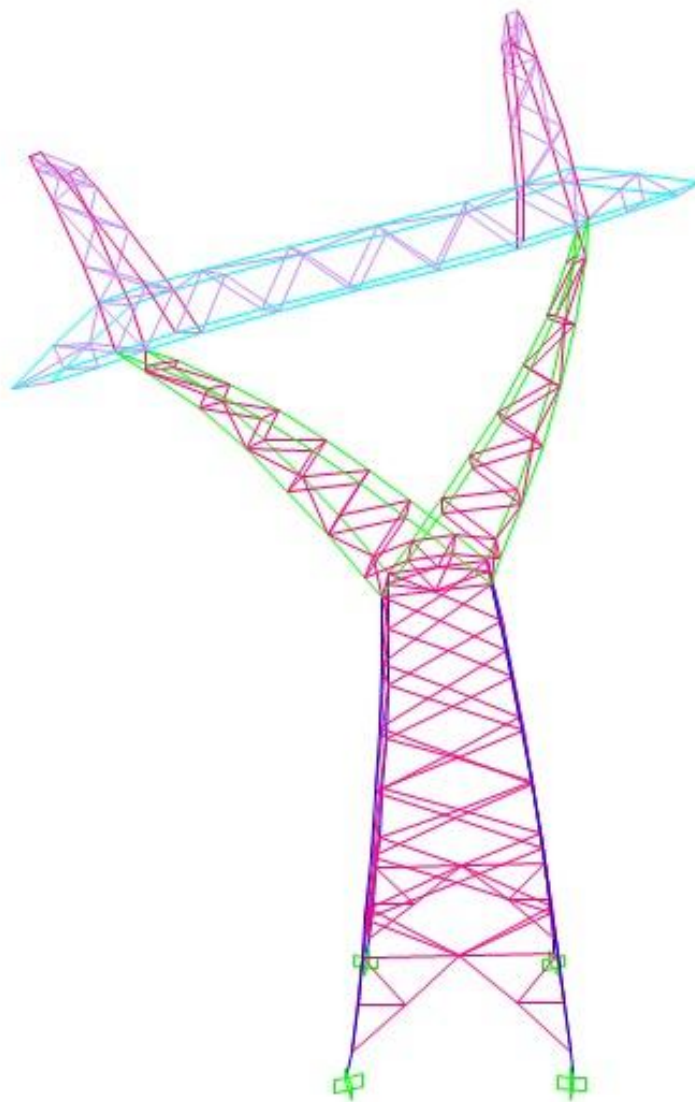
Το φάσμα σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκε από το πρόγραμμα για την ανάλυση είναι αυτό του EC, όπως αναλύθηκε παραπάνω.

Στη δυναμική φασματική μέθοδο για κάθε συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης λαμβάνεται υποχρεωτικά υπόψη ένας αριθμός ιδιομορφών έως ότου το άθροισμα των δρυσών μαζών ΣMi φθάσει στο 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας M του μοντέλου. Ο απαραίτητος αριθμός ιδιομορφών που προέκυψε στον υπό μελέτη φορέα, είναι 12 κατά x και 8 κατά y.

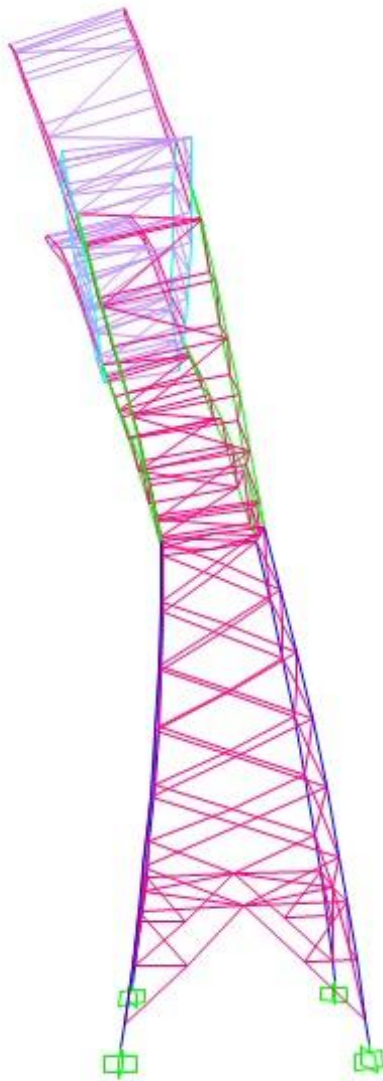
Πίνακας ιδιομορφών

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	1	1.04	0.712	0.005	0.712	0.005
MODAL	2	0.92	0.006	0.858	0.718	0.863
MODAL	3	0.74	0.000	0.002	0.718	0.865
MODAL	4	0.42	0.000	0.000	0.718	0.865
MODAL	5	0.40	0.000	0.000	0.718	0.866
MODAL	6	0.34	0.000	0.000	0.718	0.866
MODAL	7	0.22	0.000	0.009	0.718	0.874
MODAL	8	0.19	0.002	0.043	0.720	0.917
MODAL	9	0.18	0.170	0.002	0.890	0.919
MODAL	10	0.15	0.059	0.000	0.949	0.920
MODAL	11	0.14	0.000	0.000	0.949	0.920
MODAL	12	0.13	0.000	0.001	0.949	0.920

Η κύρια ιδιοπερίοδος κατά Y είναι η $T=0.92$ sec, η οποία δίνεται στην ιδιομορφή 2 και δίνει δρώσα ιδιομορφική μάζα περίπου $m_{2,y}=85,8\%M$, και η κύρια ιδιοπερίοδος κατά X είναι η $T=1,04$ sec, η οποία δίνεται στην ιδιομορφή 1 και έχει δρώσα ιδιομορφική μάζα $m_{1,x}=71,2\%M$. Μετά τον υπολογισμό των απαραίτητων ιδιομορφών σε κάθε διεύθυνση σεισμού (x, y) πραγματοποιήθηκε επαλληλία των ιδιομορφικών αποκρίσεων κατασκευάζοντας τις συνιστώσες E_x και E_y . Ακολούθως έγινε χωρική επαλληλία (SRSS) για ταυτόχρονη δράση των δύο συνιστωσών του σεισμού και τέλος γραμμικός συνδυασμός των σεισμικών και στατικών φορτίων που θα αναλυθεί με λεπτομέρεια στο επόμενο κεφάλαιο.



Κύρια ιδιομορφή κατά x- Όψη xz φορέα



Κύρια ιδιομορφή κατά y - Όψη yz φορέα

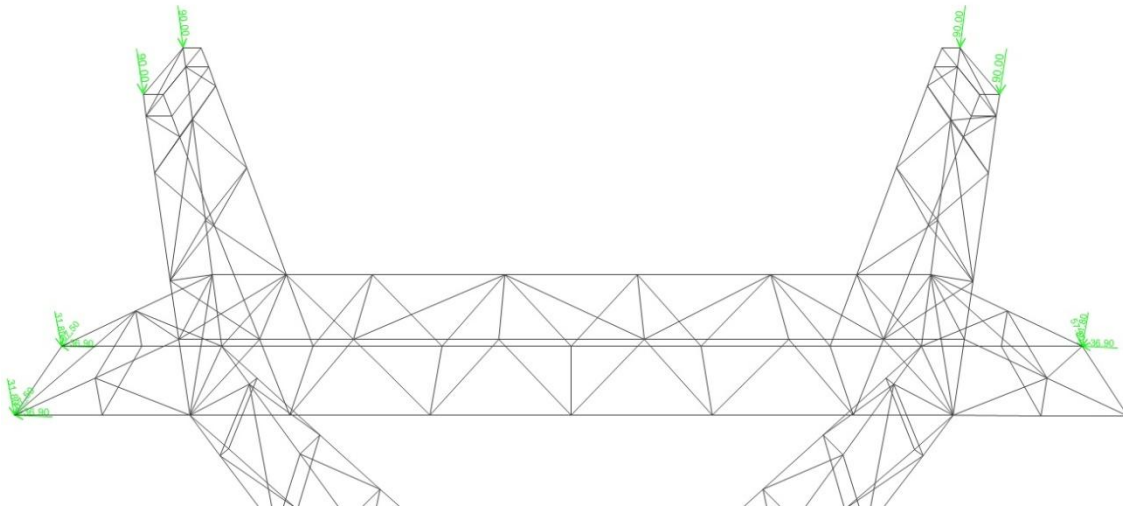
2.5 Φορτία σπασμένων αγωγών

Σε αυτήν την κατηγορία, ανήκουν οι δράσεις από τα φορτία των αγωγών που διέρχονται από τους κόμβους του πλώνα στην περίπτωση που οι αγωγοί από τη μία πλευρά του πλώνα έχουν σπάσει.

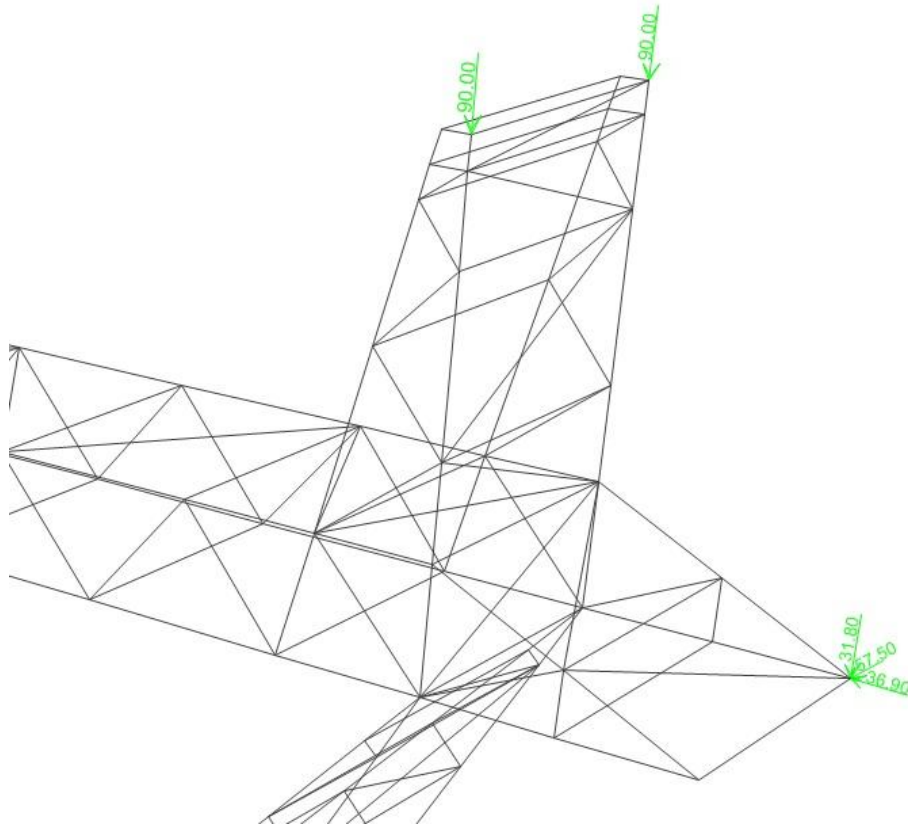
Τα φορτία αυτά κατατάσσονται στις τυχηματικές δράσεις και συνδυάζονται με τα φορτία του ίδιου βάρους, τις φορτίσεις του ανέμου και του χιονιού όπως περιγράφεται στις παρακάτω ενότητες. Τα φορτία έχουν τις ίδιες τιμές με αυτές των μόνιμων φορτίων των αγωγών που μας έχουν δοθεί δηλαδή :

- 36,90kN στην εγκάρσια διεύθυνση x
- 31,80kN στην κατακόρυφη διεύθυνση z
- 57,50kN στην διαμήκη διεύθυνση y

και φορτία προστασίας στους ανώτερους κόμβους του πλώνα ίσα με 90kN κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, ενώ έχουν αφαιρεθεί όλα τα φορτία από ένα κόμβο στην ανατολική πλευρή του πλώνα.



Φορτία σπασμένων αγωγών



Φορτία σπασμένων αγωγών

2.6 Συνδυασμοί φορτίσεων

2.6.1 Καταστάσεις σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός μιας φέρουσας κατασκευής, καθώς και η κατασκευή και η συντήρησή της καθ' όλη τη σκοπούμενη διάρκεια ζωής της, με εύλογο οικονομικό κόστος και για τον απαιτούμενο βαθμό αξιοπιστίας πρέπει να γίνονται με τρόπο που να εξασφαλίζονται οι ακόλουθες τέσσερις βασικές απαιτήσεις:

- αντίσταση (resistance)
- λειτουργικότητα (serviceability)
- ανθεκτικότητα στη διάρκεια του χρόνου (durability)
- ευρωστία (robustness) (δηλ. αποφυγή βλάβης δυσανάλογης με το αίτιο)

Οι απαιτήσεις αυτές αποτελούν τις συνιστώσες της αξιοπιστίας (reliability) της φέρουσας κατασκευής. Οι προαναφερθείσες βασικές απαιτήσεις μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- να αντιμετωπίζει όλες τις δράσεις και τις επιδράσεις, οι οποίες είναι πιθανόν να εμφανισθούν κατά την διάρκεια της κατασκευής και χρήσης του και να παραμένει κατάλληλος για τη σκοπούμενη χρήση
- να διαθέτει επαρκή αντίσταση, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα
- σε περίπτωση πυρκαγιάς η αντίσταση της θα πρέπει να είναι επαρκής για την απαιτούμενη χρονική περίοδο
- να μην υποστεί βλάβες εξαιτίας συμβάντων όπως πχ. έκρηξη, πρόσκρουση και συνέπειες ανθρώπινων σφαλμάτων, σε βαθμό δυσανάλογο ως προς το αρχικό συμβάν

Οι σχετικές καταστάσεις σχεδιασμού θα πρέπει να επιλέγονται σε συνάρτηση με τις συνθήκες υπό τις οποίες η φέρουσα κατασκευή καλείται να επιτελέσει τη λειτουργία της και διακρίνονται στις εξής:

- Με διάρκεια, οι οποίες αναφέρονται στις συνθήκες κανονικής χρήσης.
- Παροδικές, οι οποίες αναφέρονται σε προσωρινές συνθήκες οι οποίες είναι εφαρμόσιμες στο φορέα, πχ. κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ή της επισκευής του.
- Τυχηματικές, οι οποίες αναφέρονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις συνθηκών οι οποίες αφορούν στον φορέα ή στην έκθεσή του, πχ. πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση ή οι συνέπειες τοπικής αστοχίας.
- Έναντι σεισμού, οι οποίες αναφέρονται σε συνθήκες οι οποίες είναι εφαρμόσιμες στον φορέα, όταν αυτός εκτίθεται σε σεισμικά συμβάντα.

2.6.2 Φορτία κατασκευής και Συνδυασμοί φόρτισης

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα φορτία που ελήφθησαν κατά τους υπολογισμούς όπως αναλύθηκαν στην αντίστοιχη παράγραφο και όπως εισήχθησαν στο πρόγραμμα για την ανάλυση του κτηρίου :

- ✓ G το οποίο περιλαμβάνει το ίδιο Βάρος των Στοιχείων
- ✓ FA το οποίο περιλαμβάνει όλα τα φορτία των αγωγών του πυλώνα

- ✓ W1 το οποίο περιλαμβάνει το φορτίο του ανέμου κατά τη διεύθυνση y
- ✓ W2 το οποίο περιλαμβάνει το φορτίο του ανέμου κατά τη διεύθυνση x
- ✓ S το οποίο περιλαμβάνει το φορτίο του χιονιού
- ✓ SFA το οποίο περιλαμβάνει όλα τα φορτία των αγωγών στην περίπτωση του σπασμένου καλωδίου
- ✓ E : είναι τα σεισμικά φορτία και ανάλογα με την διεύθυνση του σεισμού χωρίζεται στις εξής περιπτώσεις:
 - Ex
 - Ey

Οι συνδυασμοί φόρτισης που χρησιμοποιήθηκαν για το κτήριο είναι οι ακόλουθοι :

- DLS1
 $1,35 \times G + 1,00 \times FA + 0,90 \times W1 + 0,90 \times S$
- DLS 2
 $1,35 \times G + 1,00 \times FA - 0,90 \times W1 + 0,90 \times S$
- DLS 3
 $1,35 \times G + 1,00 \times FA + 0,90 \times W2 + 0,90 \times S$
- DLS 4
 $1,35 \times G + 1,00 \times FA - 0,90 \times W2 + 0,90 \times S$
- DLS5
 $1,35 \times G + 1,00 \times SFA + 0,90 \times W1 + 0,90 \times S$
- DLS 6
 $1,35 \times G + 1,00 \times SFA - 0,90 \times W1 + 0,90 \times S$
- DLS 7
 $1,35 \times G + 1,00 \times SFA + 0,90 \times W2 + 0,90 \times S$
- DLS 8
 $1,35 \times G + 1,00 \times SFA - 0,90 \times W2 + 0,90 \times S$

Σε Σεισμό

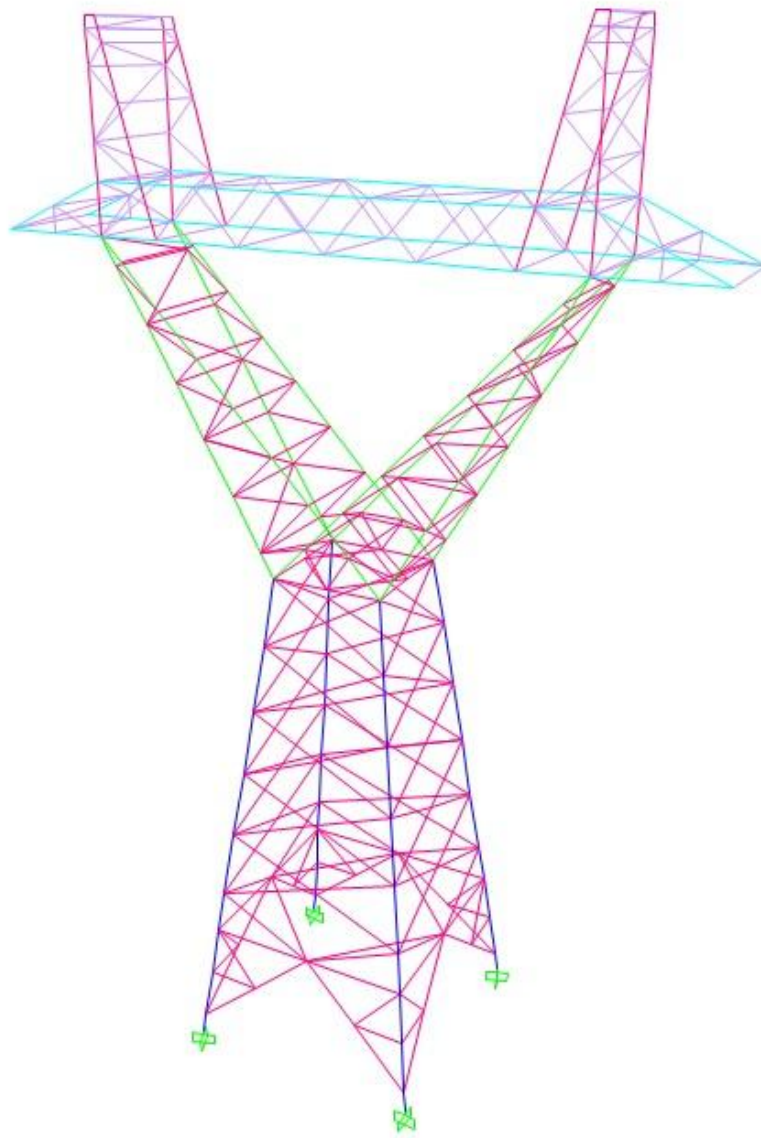
- $E1 : 1,00 \times G + E_x + 0,30 \times E_y$
- $E2 : 1,00 \times G + E_x - 0,30 \times E_y$
- $E3 : 1,00 \times G - E_x + 0,30 \times E_y$
- $E4 : 1,00 \times G - E_x - 0,30 \times E_y$
- $E5 : 1,00 \times G + E_y + 0,30 \times E_x$
- $E6 : 1,00 \times G + E_y - 0,30 \times E_x$
- $E7 : 1,00 \times G - E_y + 0,30 \times E_x$
- $E8 : 1,00 \times G - E_y - 0,30 \times E_x$

Κεφάλαιο 3: Ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα

3.1 Πορεία ανάλυσης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ανάλυση και η διαστασιολόγηση των στοιχείων του δικτυώματος του φορέα. Για το σκοπό αυτό, έγινε ελαστική ανάλυση και χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SAP2000v15. Τα φορτία και οι συνδυασμοί των φορτίσεων που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στο κεφάλαιο 2.

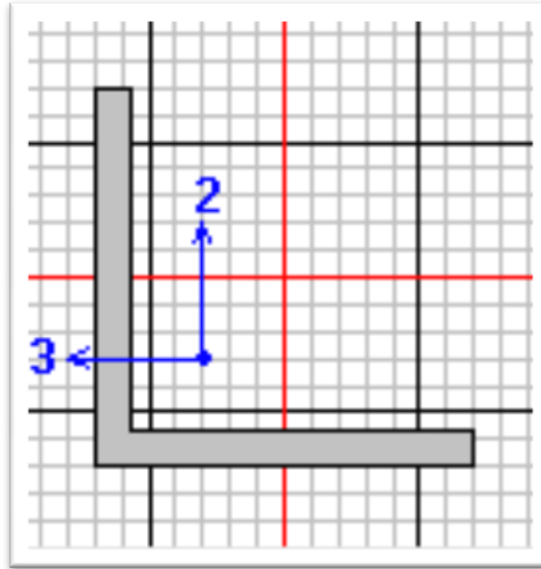
Το προσομοίωμα του φορέα στο περιβάλλον του προγράμματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, όπου με διαφορετικό χρώμα αναπαρίστανται οι διαφορετικού τύπου διατομές που έχουν τελικά επιλέχτηκαν.



Προσομοίωμα φορέα στο SAP

Για την ανάλυση του φορέα δεσμεύτηκαν και οι τρεις βαθμοί ελευθερίας στις τέσσερις βάσεις του πλώνα με την τοποθέτηση πακτώσεων, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι διατομές προέκυψαν με βάση του περιορισμούς και τους κανόνες του Ευρωκώδικα 3-2005 . Όλες οι διατομές είναι τύπου L και το υλικό που επιλέχτηκε είναι χάλυβας S355



Διατομή γωνία L

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S355 ■

Material Type: Steel

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 78.5

Mass per Unit Volume: 8.0048

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.100E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 80769231

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 355000.

Minimum Tensile Stress, Fu: 510000.

Effective Yield Stress, Fye: 390500.

Effective Tensile Stress, Fue: 561000.

Switch To Advanced Property Display

Επιλογή υλικού

Steel Frame Design Preferences for Eurocode 3-2005

	Item	Value
1	Design Code	Eurocode 3-2005
2	Country	CEN Default
3	Combinations Equation	Eq. 6.10
4	Reliability Class	Class 2
5	Interaction Factors Method	Method 2 (Annex B)
6	Multi-Response Case Design	Envelopes
7	Framing Type	DCH-MRF
8	Behavior Factor, q	4.
9	System Overstrength Factor, Omega	1.
10	Consider P-Delta Done?	No
11	GammaM0	1.
12	GammaM1	1.
13	GammaM2	1.25
14	Ignore Seismic Code?	No
15	Ignore Special Seismic Load?	No
16	Is Doubler Plate Plug-Welded?	Yes
17	Consider Deflection?	No
18	DL Limit, L /	120.
19	Super DL+LL Limit, L /	120.
20	Live Load Limit, L /	360.
21	Total Limit, L/	240.
22	Total-Camber Limit, L/	240.
23	Pattern Live Load Factor	0.75
24	Demand/Capacity Ratio Limit	1.

Item Description

Explanation of Color Coding for Values

- Blue:** Default Value
- Black:** Not a Default Value
- Red:** Value that has changed during the current session

Set To Default Values:

Reset To Previous Values:

Κανονισμός

Οι απαιτούμενες διατομές που προέκυψαν και τα χαρακτηριστικά στοιχεία κάθε διατομής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας επιλεγμένων διατομών

Μέλος	Διατομή
Ορθοστάτες κάτω μέρους	L150x15
Ορθοστάτες πάνω μέρους	L120x12
Οριζόντια στοιχεία γέφυρας	L110x10
Ορθοστάτες γέφυρας	L90x9
Χιαστί σύνδεσμοι πάνω και κάτω μέρους	L90x9
Χιαστί σύνδεσμοι γέφυρας	L80x8

Πίνακας χαρακτηριστικών διατομών

TABLE: Frame Section Properties 01 - General												
SectionName	Material	Shape	t3	t2	tf	tw	Area	TorsConst	I33	I22	TotalWt	TotalMass
Text	Text	Text	m	m	m	m	m ²	m ⁴	m ⁴	m ⁴	KN	KN-s ² /m
L110X10	S355	Angle	0.110	0.110	0.010	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	10.536	1.070
L120X12	S355	Angle	0.120	0.120	0.012	0.012	0.003	0.000	0.000	0.000	15.332	1.560
L150X15	S355	Angle	0.150	0.150	0.015	0.015	0.004	0.000	0.000	0.000	16.461	1.680
L80X8	S355	Angle	0.080	0.080	0.008	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	20.489	2.090
L90X9	S355	Angle	0.090	0.090	0.009	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	59.639	6.080

3.2 Έλεγχοι

Έλεγχος σε αξονικό εφελκυσμό.

Στον έλεγχο αξονικού εφελκυσμού η τιμή σχεδιασμού τις εφελκυστικής δύναμης N_{Ed} σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Η αντοχή σχεδιασμού της διατομής $N_{t,Rd}$ σε εφελκυσμό προκύπτει ως η μικρότερη από τις τιμές:

$$N_{t,Rd} = \min \left[N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}, N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} \right]$$

Όπου:

A: το εμβαδόν της πλήρους διατομής

f_y : το όριο διαρροής του χάλυβα

γ_{M0} : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα

A_{net} : το εμβαδόν της καθαρής διατομής

f_u : η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα

γ_{M2} : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα σε θραύση

Η πρώτη τιμή της αγκύλης δίνει την πλαστική αντοχή σχεδιασμού της πλήρους διατομής και η δεύτερη την οριακή αντοχή της καθαρής διατομής στις θέσεις με οπές κοχλιών.

Έλεγχος σε αξονική θλίψη.

Στον έλεγχο αξονικής θλίψης η τιμή σχεδιασμού τις θλιπτικής δύναμης N_{Ed} σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

Η αντοχή σχεδιασμού της διατομής $N_{c,Rd}$ σε θλίψη προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ για διατομές κατηγορίας 1,2,3}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ για διατομές κατηγορίας 4}$$

Όπου:

A: το εμβαδόν της πλήρους διατομής

f_y : το όριο διαρροής του χάλυβα

γ_{M0} : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα

A_{eff} : το εμβαδόν της ενεργού διατομής

f_u : η τάση αντοχής του χάλυβα

Η αντοχή σε θλίψη συμπίπτει με την αντοχή του μέλους μόνον για μέλη με συνεχή ή πυκνή πλευρική στήριξη, ή για μέλη με πολύ μικρή λυγηρότητα.

Έλεγχος αντοχής σε λυγισμό

Έλεγχος μελών σταθερής διατομής υπό θλίψη

Ένα θλιβόμενο μέλος πρέπει να ελέγχεται έναντι λυγισμού ως εξής:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

όπου:

N_{Ed} είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης
 $N_{b,Rd}$ είναι η αντοχή του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό.

Η αντοχή ενός θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό λαμβάνεται ως εξής:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3}$$
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Όπου:

χ : είναι ο μειωτικός συντελεστής για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού.

Στον καθορισμό των A και A_{eff} , δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη σπές για κοχλίες στα άκρα υποστυλώματος.

Καμπύλες λυγισμού

Σε μέλη υπό αξονική θλίψη, η τιμή του χ για την κατάλληλη ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ πρέπει να καθορίζεται από την αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού σύμφωνα με τη σχέση:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{αλλά } \chi \leq 1,0$$

Όπου:

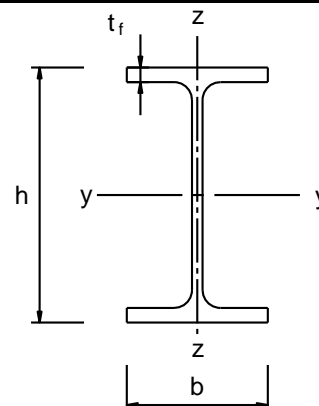
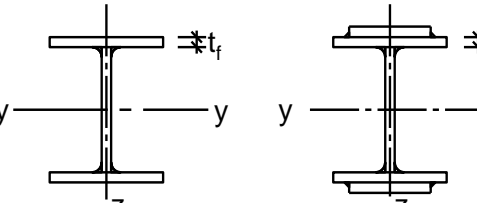
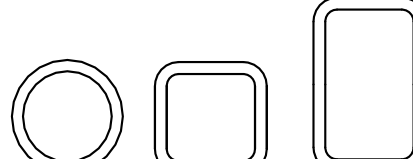
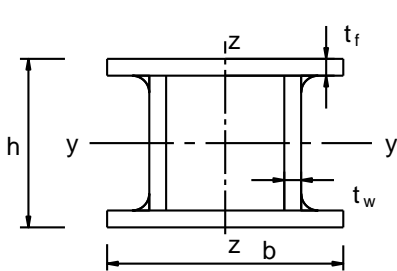
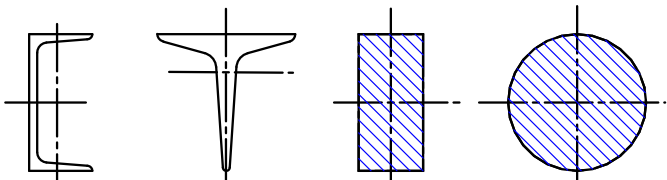
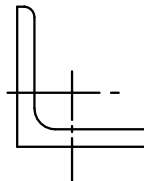
$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

α είναι συντελεστής ατελειών

N_{cr} είναι το ελαστικό κρίσιμο φορτίο για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού βασισμένο στις ιδιότητες της πλήρους διατομής.

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Ελατές διατομές 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	a a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y - y z - z	b c a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y z - z	b c a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y - y z - z	d d c
Συγκολλητές I-διατομές 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	b c	b c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y - y z - z	c d	c d
Κοίλες Διατομές 	Εν θερμώ έλαση	Κάθε	a	a ₀
	Ψυχρή έλαση	Κάθε	c	c
Συγκολλητές κιβωτιοειδείς διατομές 	Γενικά (εκτός των κατωτέρω)	Κάθε	b	b
	Μεγάλα πάχη ραφής: $\alpha > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Κάθε	c	c
U-, T- και συμπαγείς διατομές 	Κάθε	c	c	
L-διατομές 	Κάθε	b	b	

Επιλογή καμπύλης λυγισμού για δεδομένη διατομή

Ο συντελεστής ατελειών α που αντιστοιχεί σε κάθε καμπύλη λυγισμού λαμβάνεται από τον παρακάτω

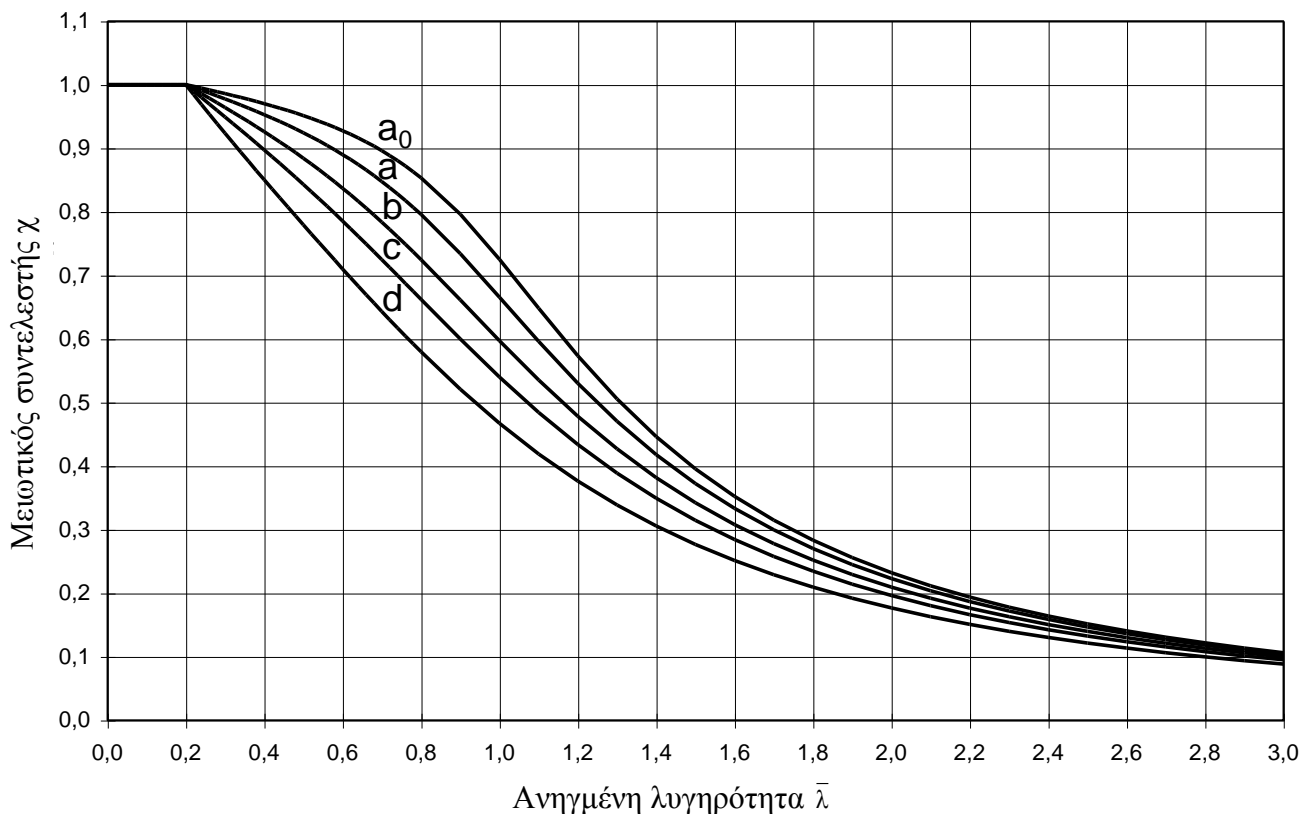
Καμπύλη λυγισμού	a_0	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Συντελεστές ατελειών για καμπύλες λυγισμού

Εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού του μειωτικού συντελεστή χ για την κατάλληλη ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$, είναι ο γραφικός υπολογισμός του από το παρακάτω διάγραμμα με βάση την κατάλληλη καμπύλη λυγισμού, η οποία επιλέγεται από τον παραπάνω πίνακα ανάλογα με το είδος της διατομής και τις διαστάσεις της.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι για λυγηρότητα $\bar{\lambda} \leq 0,2$ ή για $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$ οι επιδράσεις του λυγισμού μπορούν να αγνοούνται και να εφαρμόζονται μόνο έλεγχοι διατομών

Καμπύλες λυγισμού



Για τους παραπάνω ελέγχους ισχύουν οι τιμές του παρακάτω πίνακα:

Ποιότητα χάλυβα μέλους	
Ποιότητα χάλυβα	S355
Όριο διαρροής πέλματος f_y	0,355 (kN/mm ²)
Όριο αστοχίας πέλματος f_u	0,510 (kN/mm ²)
Όριο διαρροής κορμού f_y	0,355 (kN/mm ²)
Όριο αστοχίας κορμού f_u	0,510 (kN/mm ²)

Επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας	
γ_{M0} (αντοχή διατομών τάξης 1,2,3)	1,1
γ_{M1} (αντοχή διατομών τάξης 4)	1,1
γ_{M1} (αντοχή λυγισμού μέλους)	1,1
γ_{M2} (αντοχή καθαρής διατομής στη θέση των οπών)	1,25

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κρίσιμοι έλεγχοι για το περισσότερο καταπονούμενο στοιχείο, από κάθε κατηγορία του παραπάνω πίνακα, όπως αυτοί έγιναν από το λογισμικό ανάλυσης SAP2000v.14.

Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν, ένας ορθοστάτης της βάσης του φορέα, ένας ορθοστάτης του πάνω μέρους του πλώνα, ένας ορθοστάτης της γέφυρας, ένας οριζόντιος σύνδεσμος του πάνω μέρους, ένας οριζόντιος σύνδεσμος του κάτω μέρους, ένα οριζόντιο στοιχείο της γέφυρας, ένας χιαστί σύνδεσμος του κάτω μέρους κι ένας χιαστί σύνδεσμος της γέφυρας. Αναλυτικά αποτελέσματα των ελέγχων για όλους τους συνδυασμούς φορτίσεων παρατίθενται στο Παράρτημα.

Έλεγχος ορθοστατών βάσης L150x15

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Med	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted	
1.260	-613.504	4.740	0.118	-3.947	-0.266	-2.866E-04	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
6.3.3(4)-6.62	0.491	= 0.427	+ 0.064	+ 0.000	1.000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	Med Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	-613.504	1527.210	1527.210	3887.606	3574.061	1.000	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0.340	11731.277	0.361	0.592	0.941	1437.630
MajorB(y-y)	b	0.340	11731.277	0.361	0.592	0.941	1437.630
Minor (z-z)	b	0.340	11731.277	0.361	0.592	0.941	1437.630
MinorB(z-z)	b	0.340	11731.277	0.361	0.592	0.941	1437.630
Torsional TF	b	0.340	3574.061	0.654	0.791	0.809	1235.827
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	4.740	4.740	74.560	74.560	74.560	72.698	
Minor (z-z)	0.118	0.118	74.560	74.560	74.560		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0.760	0.232	0.539	0.975	1.000	551.160
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz			
	0.628	0.437	0.976	0.437			
SHEAR DESIGN							
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major (z)	3.947	461.158	0.009	OK	0.000		
Minor (y)	0.266	461.158	0.001	OK	0.000		
Reduction	Upl,Rd	Eta	LambdabarW				
	461.158	1.200	0.000				

Έλεγχος ορθοστατών πάνω μέρους L120x12

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted	
1.352	-709.832	1.944	-2.240	-2.285	2.745	-0.009	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
6.3.3(4)-6.62	0.902	= 0.815	+ 0.050	+ 0.037	1.000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity				
	-709.832	977.670	977.670				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	977.670	1011.269	2489.241	2120.495	1.000		
Major (y-y)	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
MajorB(y-y)	b	0.340	4167.110	0.484	0.666	0.891	871.175
Minor (z-z)	b	0.340	4167.110	0.484	0.666	0.891	871.175
MinorB(z-z)	b	0.340	4167.110	0.484	0.666	0.891	871.175
Torsional TF	b	0.340	2120.495	0.679	0.812	0.795	777.667
MOMENT DESIGN							
Major (y-y)	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Minor (z-z)	1.944	1.944	38.172	38.172	38.172	36.148	
	-2.240	-2.240	38.172	38.172	38.172		
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	d	0.760	0.269	0.562	0.947	1.000	210.219
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz			
	0.662	0.638	0.931	0.638			
SHEAR DESIGN							
Major (z)	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Minor (y)	2.285	295.141	0.008	OK	0.000		
	2.745	295.141	0.009	OK	0.000		
Reduction	Upl,Rd	Eta	LambdabarW				
	295.141	1.200	0.000				

Έλεγχος ορθοστατών γέφυρας L90x9

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted	
0.550	-186.022	0.167	1.234	1.289	1.307	4.194E-04	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
6.3.3(4)-6.61	0.955	= 0.712	+ 0.026	+ 0.217	1.000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity				
	-186.022	550.960	550.960				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	550.960	569.894	1408.500	502.088	1.000		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0.340	377.867	1.208	1.400	0.474	261.192
MajorB(y-y)	b	0.340	2291.243	0.490	0.670	0.888	489.504
Minor (z-z)	b	0.340	1315.582	0.647	0.785	0.813	447.764
MinorB(z-z)	b	0.340	4002.416	0.371	0.598	0.937	516.479
Torsional TF	b	0.340	502.088	1.048	1.193	0.567	312.492
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	0.167	0.771	16.058	16.058	16.058	14.717	
Minor (z-z)	1.234	4.912	16.058	16.058	16.058		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0.760	0.309	0.589	0.916	1.000	66.446
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz			
	0.495	0.711	0.966	0.711			
SHEAR DESIGN							
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major (z)	1.289	166.017	0.008	OK	0.000		
Minor (y)	6.711	166.017	0.040	OK	0.000		
Reduction	Upl,Rd	Eta	LambdabarW				
	166.017	1.200	0.000				

Έλεγχος οριζοντίων συνδέσμων στο κάτω μέρος του L90x9

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted	
3.435	2.833	-0.156	-0.174	0.317	0.099	-2.340E-04	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
6.2.1(7)	0.026	= 0.005	+ 0.010	+ 0.011	1.000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	2.833	550.960	550.960	1408.500	296.595	1.000	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0.340	203.368	1.646	2.100	0.294	161.799
MajorB(y-y)	b	0.340	203.368	1.646	2.100	0.294	161.799
Minor (z-z)	b	0.340	203.368	1.646	2.100	0.294	161.799
MinorB(z-z)	b	0.340	203.368	1.646	2.100	0.294	161.799
Torsional TF	b	0.340	296.595	1.363	1.627	0.398	219.143
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	-0.156	-0.156	16.058	16.058	16.058	12.588	
Minor (z-z)	-0.174	-0.174	16.058	16.058	16.058		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0.760	0.494	0.733	0.784	1.000	26.125
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz			
	1.000	1.000	1.000	1.000			
SHEAR DESIGN							
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major (z)	0.317	166.017	0.002	OK	0.000		
Minor (y)	0.099	166.017	0.001	OK	0.000		
Reduction	Up1,Rd	Eta	LambdabarW				
	166.017	1.200	0.000				

Έλεγχος οριζοντίων συνδέσμων στο πάνω μέρος L90x9

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location		Med	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted
0.000		-37.597	0.100	5.154E-04	-0.122	0.050	0.001
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio		N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.61	0.115	=	0.101	+ 0.010	+ 0.004	1.000	OK
AXIAL FORCE DESIGN							
	Med Force		Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity			
Axial	-37.597		550.960	550.960			
	Np1,Rd		Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	550.960		569.894	1408.500	778.859	1.000	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0.340	710.123	0.881	1.004	0.673	371.063
MajorB(y-y)	b	0.340	710.123	0.881	1.004	0.673	371.063
Minor (z-z)	b	0.340	710.123	0.881	1.004	0.673	371.063
MinorB(z-z)	b	0.340	710.123	0.881	1.004	0.673	371.063
Torsional TF	b	0.340	778.859	0.841	0.963	0.699	385.009
MOMENT DESIGN							
	Med Moment		Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	0.100		0.139	16.058	16.058	16.058	14.109
Minor (z-z)	0.000		-0.091	16.058	16.058	16.058	
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0.760	0.361	0.626	0.879	1.000	48.817
Factors	kyy		kyz	kzy	kzz		
	1.039		0.630	0.994	0.630		
SHEAR DESIGN							
	Ued Force		Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion	
Major (z)	0.122		166.017	0.001	OK	0.001	
Minor (y)	0.050		166.017	0.000	OK	0.001	

Έλεγχος οριζοντίων στοιχείων γέφυρας L110x10

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS											
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted					
1.975	170.465	-0.607	-0.329	0.318	-0.031	9.143E-04					
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO											
Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check					
6.2.1(7)	0.261	= 0.227	+ 0.022	+ 0.012	1.000	OK					
AXIAL FORCE DESIGN											
Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag					
	170.465	750.825	750.825	1567.893	1092.946	1.000					
Major (y-y)	Minor (z-z)	Torsional TF	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd		
Major (y-y)	MajorB (y-y)	Minor (z-z)	MinorB (z-z)	Torsional TF	b	0.340	1268.345	0.769	0.893	0.743	557.963
					b	0.340	1268.345	0.769	0.893	0.743	557.963
					b	0.340	1268.345	0.769	0.893	0.743	557.963
					b	0.340	1268.345	0.769	0.893	0.743	557.963
					b	0.340	1092.946	0.829	0.950	0.706	530.456
MOMENT DESIGN											
Major (y-y)	Minor (z-z)	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity				
Major (y-y)	Minor (z-z)	-0.607	-0.329	27.362	27.362	27.362	24.154				
LTB	Factors	kyy	kyz	kzy	kzz	C1	Mcr				
LTB	Factors	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	84.682				
SHEAR DESIGN											
Major (z)	Minor (y)	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion					
Major (z)	Minor (y)	0.528	225.455	0.002	OK	0.000					
		0.383	225.455	0.002	OK	0.000					
Reduction	Up1,Rd	Eta	LambdabarW								
Reduction	225.455	1.200	0.000								

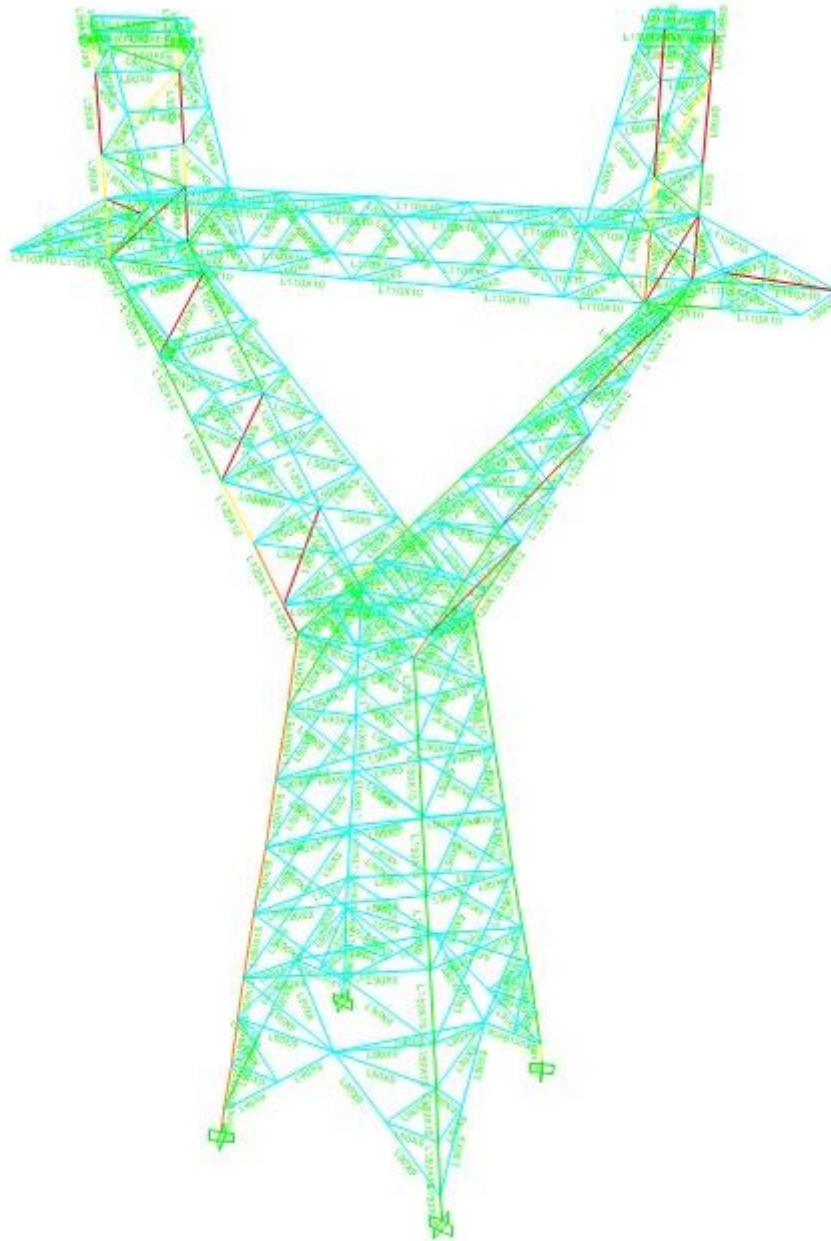
Έλεγχος χιαστί συνδέσμων του κάτω μέρους των σκελών L90x9

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted	
2.268	-37.141	-0.024	0.091	0.120	0.011	-2.904E-04	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
6.3.3(4)-6.62	0.365	= 0.342	+ 0.014	+ 0.009	1.000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	NT,Rd Capacity				
	-37.141	550.960	550.960				
	Np1,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	550.960	569.894	1408.500	194.591	1.000		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0.340	466.448	1.087	1.241	0.543	299.246
MajorB(y-y)	b	0.340	466.448	1.087	1.241	0.543	299.246
Minor (z-z)	b	0.340	128.600	2.070	2.960	0.197	108.542
MinorB(z-z)	b	0.340	128.600	2.070	2.960	0.197	108.542
Torsional TF	b	0.340	194.591	1.683	2.168	0.283	155.886
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	-0.024	-0.166	16.058	16.058	16.058	11.916	
Minor (z-z)	0.091	0.117	16.058	16.058	16.058		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0.760	0.553	0.787	0.742	1.000	20.774
		kyy	kyz	kzy	kzz		
Factors		0.430	1.205	0.977	1.205		
SHEAR DESIGN							
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major (z)	0.120	166.017	0.001	OK	0.000		
Minor (y)	0.011	166.017	6.897E-05	OK	0.000		
	Upl,Rd	Eta	LambdabarW				
Reduction	166.017	1.200	0.000				

Έλεγχος χιαστί συνδέσμων γέφυρας L80x8

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ued,z	Ued,y	Ted	
1.478	-38.205	0.053	0.016	0.117	0.117	3.609E-04	
PHM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
6.3.3(4)-6.62	0.137	= 0.121	+ 0.009	+ 0.007	1.000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity				
	-38.205	435.585	435.585				
	Np1,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	435.585	450.554	1114.441	686.879	1.000		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0.340	685.195	0.797	0.919	0.726	316.283
MajorB(y-y)	b	0.340	685.195	0.797	0.919	0.726	316.283
Minor (z-z)	b	0.340	685.195	0.797	0.919	0.726	316.283
MinorB(z-z)	b	0.340	685.195	0.797	0.919	0.726	316.283
Torsional TF	b	0.340	686.879	0.796	0.918	0.727	316.545
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	0.053	0.086	11.277	11.277	11.277	10.054	
Minor (z-z)	0.016	0.117	11.277	11.277	11.277		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0.760	0.343	0.613	0.892	1.000	37.889
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz			
	0.749	0.693	0.989	0.693			
SHEAR DESIGN							
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major (z)	0.117	131.174	0.001	OK	0.000		
Minor (y)	0.117	131.174	0.001	OK	0.000		
Reduction	Up1,Rd	Eta	LambdabarW				
	131.174	1.200	0.000				

Εποπτική παρουσίαση ελέγχων αστοχίας των στοιχείων σε χρωματική κλίμακα από το περιβάλλον του SAP.



Έλεγχος διατομών

Στην παραπάνω εικόνα, βλέπουμε τον έλεγχο όλων των μελών σε χρωματική κλίμακα, όπως έγινε από το πρόγραμμα SAP. Παρατηρούμε ότι κανένα μέλος δεν αστοχεί .

Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα των ελέγχων για όλους τους συνδυασμούς φορτίσεων και για όλα τα μέλη παρατίθενται στο Παράρτημα .

Κεφάλαιο 4: Συνδέσεις

4.1 Τεχνικές προδιαγραφές για τις συνδέσεις των πυλώνων

Αναπόσπαστο και εξαιρετικά σημαντικό τμήμα της ανέγερσης μίας μεταλλικής κατασκευής αποτελούν οι συνδέσεις των μελών της. Προκειμένου να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο την αντοχή και πλαστιμότητα των μελών ενός χαλύβδινου πλαισίου, οι συνδέσεις θα πρέπει να παρέχουν τη δυνατότητα για ανάπτυξη ολόκληρης της πλαστικής ικανότητας των μελών. Επειδή όμως η συμπεριφορά των συνδέσεων δεν είναι τόσο καλά γνωστή όπως των μελών, απαιτείται μία συντηρητικότερη προσέγγιση του σχεδιασμού των συνδέσεων σε σχέση με αυτή των μελών.

Οι συνδέσεις θα πρέπει να υπολογίζονται κατά τρόπο που να καθιστούν την κατασκευή και ανέγερση των φορέων όσο το δυνατόν πιο απλή και γρήγορη. Δεν θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε κατασκευαστικές ατέλειες του εργοστασίου ή του εργοταξίου, θα πρέπει να ελαχιστοποιούν τη χρησιμοποίηση μέσω υψηλής ειδικευσης και να παρέχουν επίσης τη δυνατότητα επιθεώρησης κατά τη διάρκεια κατασκευής.

Οι εσωραφές και οι εξωραφές συγκολλήσεις, οι κοχλιώσεις και οι ηλώσεις μπορούν να χρησιμοποιούνται στις συνδέσεις, είτε ανεξάρτητα είτε σε συνδυασμούς. Οι συνδέσεις αποκλειστικά με κοχλίωση ή ήλωση τείνουν να είναι πολύ μεγάλες και δαπανηρές, και έτσι οι συνδέσεις με πλήρη συγκόλληση ή με συνδυασμό συγκόλλησης και κοχλίωσης αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή συνδέσεων.

Είναι αναγκαίο να αποσαφηνιστεί η διάκριση μεταξύ σύνδεσης και κόμβου.

Σύνδεση ορίζεται ως το σύνολο των φυσικών επιμέρους τμημάτων που συνδέουν μηχανικά τα συνδεόμενα μέλη και υποτίθεται ότι είναι επικεντρωμένη στη θέση όπου εμφανίζεται η αντίστοιχη δράση π.χ. στη διεπιφάνεια μεταξύ του άκρου της δοκού και του υποστυλώματος σε έναν κόμβο δοκού-υποστυλώματος.

Κόμβος ορίζεται η ευρύτερη ζώνη αλληλεπίδρασης των συνδεόμενων μελών.

Η διάκριση των κόμβων της κατασκευής εξαρτάται:

A) από τη διατομή των προς σύνδεση στοιχείων π.χ. κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων, αποκατάστασης συνέχειας δοκών, έδρασης κλπ.

B) από την επιθυμητή συμπεριφορά τους σε σχέση με την αντοχή και τη δυσκαμψία τους και διακρίνονται σε πλήρους αντοχής και μερικής αντοχής, ανάλογα με το αν η ροπή αντοχής τους είναι μεγαλύτερη ή όχι από τη ροπή αντοχής της δοκού που συνδέουν στην υπόψη διεύθυνση (θετική ή αρνητική ροπή) και σε αρθρωτούς, ημιάκαμπτους και άκαμπτους ανάλογα με τη δυνατότητα σχετικής στροφής μεταξύ των συνδεόμενων μελών. Οι αρθρωτοί κόμβοι προσομοιάζονται ως αρθρώσεις, οι άκαμπτοι ως πακτώσεις και οι ημιάκαμπτοι με τη βοήθεια κατάλληλων στροφικών ελατηρίων.

Οι συνδέσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τα εντατικά μεγέθη που παραλαμβάνουν σε:

- Διατμητικές συνδέσεις : Είναι οι συνδέσεις που παραλαμβάνουν και μεταβιβάζουν μόνο αξονικές και τέμνουσες δυνάμεις, επιτρέποντας τις στροφές που προκύπτουν λόγω των δράσεων σχεδιασμού. Στις συνδέσεις αυτές δεν αναπτύσσονται σημαντικές ροπές. Τέτοιες είναι οι αρθρωτές συνδέσεις κύριων-δευτερευουσών δοκών κατά Χ, οι οποίες μεταφέρουν την τέμνουσα της δευτερεύουσας δοκού στον κορμό της κύριας δοκού.
- Συνδέσεις ροπής: Ονομάζονται οι συνδέσεις που έχουν τη δυνατότητα να παραλάβουν αξονικές δυνάμεις, τέμνουσες δυνάμεις και καμπτικές ροπές. Τέτοιες είναι οι αποκαταστάσεις συνέχειας των διατομών των μελών, οι πλαισιακές συνδέσεις του δικτυώματος της στέγης, οι συνδέσεις των κύριων δοκών με τα υποστυλώματα και οι πακτώσεις των υποστυλωμάτων στη βάση τους.

Ένα άλλο κριτήριο διαχωρισμού των συνδέσεων είναι τα μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίζουν την σύνδεση. Βάσει αυτού του κριτηρίου οι συνδέσεις διακρίνονται σε:

- Κοχλιωτές Συνδέσεις
- Συγκολλητές Συνδέσεις
- Διατμητικές Συνδέσεις Ήλων

Κοχλιωτές Συνδέσεις

Στις κοχλιωτές συνδέσεις, όπως υποδεικνύεται από το όνομα τους, βασικό μέσο σύνδεσης αποτελούν οι κοχλίες και τα περικόχλια. Εξίσου σημαντικό στοιχείο των συνδέσεων αυτών είναι και τα ελάσματα (επίπεδα ή γωνιακά), όπου αυτά χρησιμοποιούνται. Οι κοχλίες ανάλογα με το ονομαστικό όριο αντοχή τους σε διαρροή και σε εφελκυσμό διακρίνονται στις ποιότητες του παρακάτω πίνακα:

Ποιότητες κοχλιών

Κατηγορία κοχλία	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	300	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	500	600	800	1000

Όταν οι κοχλιωτές συνδέσεις υπόκεινται σε διατμητικά εντατικά μεγέθη διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

a. Κατηγορία Α: Συνδέσεις άντυγας

Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοχλίες κατηγορίας 4.6 έως και 10.9. Δεν απαιτείται προένταση ούτε ειδική επεξεργασία των επιφανειών επαφής. Η μέγιστη διατμητική δύναμη σχεδιασμού δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση, ούτε την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας.

b. Κατηγορία Β: Συνδέσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Σε αυτήν την κατηγορία πρέπει να χρησιμοποιούνται προεντεταμένοι κοχλίες που είναι τουλάχιστον κατηγορίας 8.8. Εμφάνιση ολίσθησης στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας δεν είναι επιτρεπτή. Η διατμητική δύναμη σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σε ολίσθηση, η μέγιστη διατμητική δύναμη σχεδιασμού δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση, ούτε την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας.

- c. Κατηγορία C: Συνδέσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας

Σε αυτήν την κατηγορία πρέπει να χρησιμοποιούνται προεντεταμένοι κοχλίες που είναι κατηγορίας 8.8 ή 10.9 . Δεν επιτρέπεται η εμφάνιση ολίσθησης στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Η μέγιστη διατμητική δύναμη σχεδιασμού δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σε ολίσθηση, ούτε την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας. Επιπλέον, για συνδέσεις καταπονούμενες σε εφελκυσμό πρέπει να ελέγχεται η πλαστική αντοχή σχεδιασμού της καθαρής διατομής στην περιοχή των οπών κοχλιών $N_{net,Rd}$ στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

Ενώ όταν οι κοχλιωτές συνδέσεις υπόκεινται σε εφελκυσμό πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

- d. Κατηγορία D: χωρίς προένταση

Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοχλίες κατηγορίας 4.6 μέχρι και 10.9 . Αυτή η κατηγορία δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδέσεις που υπόκεινται σε συχνές μεταβολές του εφελκυστικού φορτίου. Εξαιρέση όμως αποτελεί η σχεδίαση τους, για συνήθη φορτία ανέμου.

- e. Κατηγορία E: με προένταση

Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 και 10.9 με ελεγχόμενη σύσφιξη.

Οι απαιτούμενοι έλεγχοι των παραπάνω κατηγοριών για μεμονωμένους κοχλίες, συνοψίζονται και παρουσιάζονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες:

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Κατηγορία	Κριτήρια	Παρατηρήσεις
Συνδέσεις διάτμησης		
A άντυνας	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Δεν απαιτείται προένταση. Κατηγορίες κοχλιών από 4.6 μέχρι και 10.9.
B ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9. Για την αντοχή σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας βλέπε 3.9.
C ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9. Για την αντοχή σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας βλέπε 3.9. $N_{net,Rd}$ βλέπε EN 1993-1-1
Συνδέσεις εφελκυσμού		
D χωρίς προένταση	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Δεν απαιτείται προένταση. Κατηγορίες κοχλιών από 4.6 μέχρι και 10.9. $B_{p,Rd}$, βλέπε Πίνακα 3.4.
E με προένταση	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9. $B_{p,Rd}$, βλέπε Πίνακα 3.4.
Η εφελκυστική δύναμη σχεδιασμού $F_{t,Ed}$ πρέπει να περιλαμβάνει κάθε δύναμη οφειλόμενη σε δράσεις επαφής		

Έλεγχοι για μεμονωμένους κοχλίες

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Μηχανισμός αστοχίας	Κοχλίες	Ήλοι
Αντοχή σε διάτμηση ανά επίπεδο διάτμησης	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>- όταν το επίπεδο διάτμησης διέρχεται από το σπείρωμα του κοχλία (A είναι η επιφάνεια ενεργού διατομής του κοχλία, A_s):</p> <ul style="list-style-type: none"> - για κατηγορίες 4.6, 5.6 και 8.8: $\alpha_v = 0,6$ - για κατηγορίες 4.8, 5.8, 6.8 και 10.9: $\alpha_v = 0,5$ <p>- όταν το επίπεδο διάτμησης διέρχεται από την πλήρη διατομή του κοχλία (A είναι η καθαρή επιφάνεια κοχλία): $\alpha_v = 0,6$</p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_w A_0}{\gamma_{M2}}$
Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας ^{1), 2), 3)}	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}},$ όπου a_b το μικρότερο από a_d ή $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ή 1,0 <p>Κατά τη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου:</p> <ul style="list-style-type: none"> - για τελευταία σειρά κοχλιών: $a_d = \frac{e_1}{3d_0}$, για εσωτερικούς κοχλίες: $a_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ - για πλευρικά ακραίους κοχλίες: k_1 το μικρότερο από $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ ή 2,5 - για εσωτερικούς κοχλίες: k_1 το μικρότερο από $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ ή 2,5 	
Αντοχή σε εφελκυσμό ²⁾	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>όπου $k_2 = 0,63$ για κοχλία βυθισμένης κεφαλής, αλλιώς $k_2 = 0,9$.</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_w A_0}{\gamma_{M2}}$
Αντοχή σε διάτρηση	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	Δεν απαιτείται έλεγχος
Ταυτόχρονη διάτμηση και εφελκυσμός	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	
<p>¹⁾ Η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας $F_{b,Rd}$ κοχλιών</p> <ul style="list-style-type: none"> - σε υπερμεγέθεις οπές είναι το 80% της αντοχής σε σύνθλιψη άντυνας κοχλιών σε κανονικές οπές. - σε επιμήκειες οπές, όπου ο διαμήκης άξονας της οπής είναι κάθετος στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου, είναι το 60% της αντοχής σε σύνθλιψη άντυνας κοχλιών σε κανονικές οπές. <p>²⁾ Για κοιλίες βυθισμένης κεφαλής:</p> <ul style="list-style-type: none"> - η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας $F_{b,Rd}$ πρέπει να υπολογίζεται με βάση πάχος ελάσματος t ίσο με το πλάτος του συνδεόμενου ελάσματος μείον το μισό της βύθισης. - για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό $F_{t,Rd}$ η γωνία και το ύψος της βύθισης πρέπει να συμφωνούν με τα Πρότυπα Αναφοράς, διαφορετικά η αντοχή σε εφελκυσμό πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα. <p>³⁾ Όταν το φορτίο σε έναν κοχλία δεν είναι παράλληλο προς την ακμή του μέλους, η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας μπορεί να ελέγχεται χωριστά για τις συνιστώσες του φορτίου που είναι παράλληλες και κάθετες προς την ακμή.</p>		

Έλεγχοι αναλυτικά για μεμονωμένους κοχλίες

Ομάδες Κοχλιών

Για ομάδες κοχλιών, η αντοχή σχεδιασμού μπορεί να ληφθεί ως το άθροισμα των αντοχών σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυνας $F_{b,Rd}$ των μεμονωμένων μέσων σύνδεσης, με την προϋπόθεση ότι η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση $F_{v,Rd}$ κάθε μεμονωμένου μέσου σύνδεσης είναι μεγαλύτερη ή ίση με την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυνας $F_{b,Rd}$. Διαφορετικά, η αντοχή σχεδιασμού της ομάδας πρέπει να λαμβάνεται ίση με το πλήθος των μέσων σύνδεσης πολλαπλασιαζόμενο με τη μικρότερη αντοχή σχεδιασμού οποιουδήποτε μέσου σύνδεσης.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται επίσης στις αποστάσεις μεταξύ (Σχ.3.2) των κοχλιών μεταξύ τους αλλά και στις αποστάσεις τους από τα άκρα τυχόν των ελασμάτων και διατομών που συνδέουν. Οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές αυτών των αποστάσεων δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Αποστάσεις	Ελάχιστη	Μέγιστη ^{1) 2) 3)}		
		Κατασκευές από χάλυβες που συμφωνούν με το EN 10025 εκτός εκείνων που συμφωνούν με το EN 10025-5		Κατασκευές από χάλυβες που συμφωνούν με το EN 10025-5
		Χάλυβας εκτεθειμένος σε καιρικές συνθήκες ή άλλα διαβρωτικά περιβάλλοντα	Χάλυβας μη εκτεθειμένος	Χάλυβας χωρίς προστασία
Απόσταση από άκρο e_1	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Η μεγαλύτερη από $8t$ ή 125 mm
Απόσταση από άκρο e_2	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Η μεγαλύτερη από $8t$ ή 125 mm
Απόσταση e_3 σε επιμήκεις οπές	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Απόσταση e_4 σε επιμήκεις οπές	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Βήμα p_1	$2,2d_0$	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t_{\min}$ ή 175 mm
Βήμα $p_{1,0}$		Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm		
Βήμα $p_{1,i}$		Η μικρότερη από $28t$ ή 400 mm		
Βήμα p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t_{\min}$ ή 175 mm

¹⁾ Η μέγιστη τιμή για τις αποστάσεις μεταξύ κοχλιών και ήλων και τις αποστάσεις από τα άκρα δεν έχει περιορισμό, εκτός από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- σε θλιβόμενα μέλη προκειμένου να αποφευχθεί ο τοπικός λυγισμός και η διάβρωση των εκτεθειμένων μελών και
- σε εφελκύμενα εκτεθειμένα μέλη προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση.

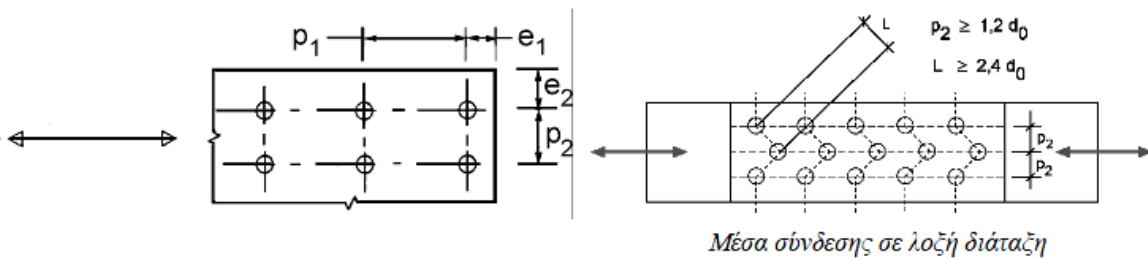
²⁾ Η αντοχή σε τοπικό λυγισμό του θλιβόμενου ελάσματος μεταξύ των μέσων σύνδεσης πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με το EN 1993-1-1 χρησιμοποιώντας $0,6 p_1$ ως μήκος λυγισμού. Ο τοπικός λυγισμός μεταξύ των μέσων σύνδεσης δεν χρειάζεται να ελεγχθεί αν ο λόγος p_1/t είναι μικρότερος από 9ϵ . Η απόσταση από τα πλευρικά άκρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που τίθενται από τις απαιτήσεις τοπικού λυγισμού σε ένα προεξέχον στοιχείο των θλιβόμενων μελών, βλ. EN 1993-1-1. Η απόσταση από τα άλλα άκρα δεν περιορίζεται από την τελευταία απαίτηση.

³⁾ t είναι το πάχος του λεπτότερου εξωτερικά συνδεόμενου μέρους.

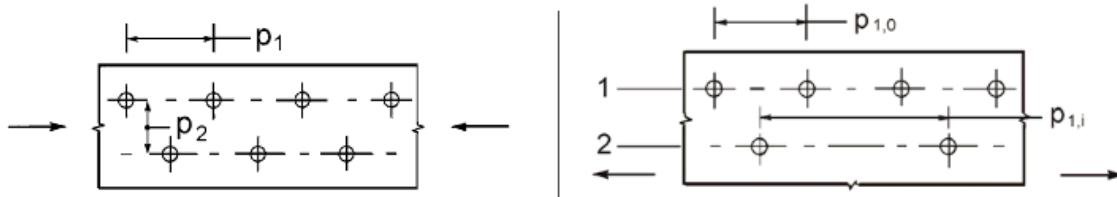
⁴⁾ Περιορισμοί στις διαστάσεις των επιμήκων οπών δίνονται στον EN 1993-1-1

⁵⁾ Σε μέσα σύνδεσης τοποθετημένα σε λοξή διάταξη η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των γραμμών κοχλίωσης που πρέπει να χρησιμοποιείται είναι $p_2 = 1,2d_0$ με την προϋπόθεση ότι η απόσταση L μεταξύ δύο οποιωνδήποτε μέσων σύνδεσης είναι μεγαλύτερη από $2,4d_0$

Ελάχιστες αποστάσεις κοχλιών



α) Σύμβολα για τις αποστάσεις των μέσων σύνδεσης β) Σύμβολα για τις αποστάσεις σε λοξή διάταξη

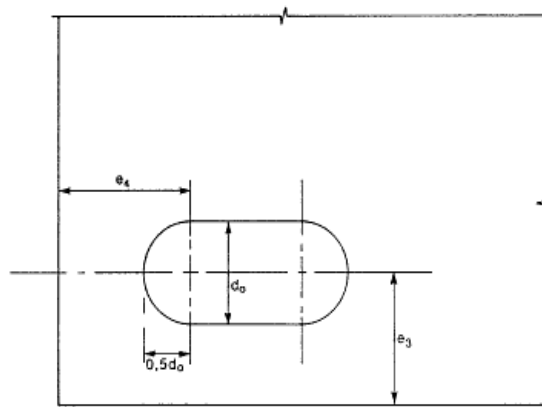


$p_1 \leq 14 t$ και $\leq 200 \text{ mm}$ $p_2 \leq 14 t$ και $\leq 200 \text{ mm}$ $p_{1,0} \leq 14 t$ και $\leq 200 \text{ mm}$ $p_{1,i} \leq 28 t$ και $\leq 400 \text{ mm}$

1 εξωτερική γραμμή 2 εσωτερική γραμμή

γ) Αποστάσεις σε λοξή διάταξη – θλίψη

δ) Αποστάσεις σε εφελκόμενα στοιχεία



ε) Αποστάσεις από τα άκρα για επιμήκεις οπές

Αποστάσεις κοχλιών

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές για τους πλώνες της ΔΕΗ οι συγκολλήσεις δεν είναι αποδεκτές. Επιπλέον, οι συνδέσεις διαμορφώνονται χωρίς εκκεντρότητες και τα διάκενα που οφείλονται σε διαφορές πάχους συμπληρώνονται με κατάλληλα παρεμβλήματα (FILLERS). Οι συνδέσεις ανταποκρίνονται στις παρακάτω ελάχιστες απαιτήσεις

1. Επεκτάσεις ορθοστατών

Οι επεκτάσεις ορθοστατών με αρμοκάλυψη πρέπει να γίνονται με ένα εσωτερικό γωνιακό πάχος τουλάχιστον ίσο με το μεγαλύτερο πάχος της επέκτασης και με δύο εξωτερικές αρμοκαλύπτρες πάχους όχι μικρότερου των 5 MM. Επεκτάσεις ορθοστατών με αμοιβαία επικάλυψη δεν επιτρέπονται.

2.Επεκτάσεις άλλων στοιχείων

Επεκτάσεις με αμοιβαία επικάλυψη επιτρέπονται, εφόσον η μία επέκταση είναι τουλάχιστον κατά 15% ισχυρότερη της άλλης. Επεκτάσεις με αμμοκάλυψη πρέπει να γίνονται με ένα εσωτερικό γωνιακό πάχος τουλάχιστον ίσου με το μεγαλύτερο πάχος της επέκτασης, ή με δύο εξωτερικές αρμοκαλύπτρες πάχους μεγαλύτερου κατά 1 MM τουλάχιστον του μεγαλύτερου πάχους της επέκτασης. Επεκτάσεις διαγωνίων δεν είναι αποδεκτές.

3.Συνδέσεις κόμβων

Όταν δύο ή περισσότερα στοιχεία συνδέονται επάνω σε άλλο στοιχείο η τομή των αξόνων των κοχλιών των πρέπει να συναντά το άλλο στοιχείο. Εφόσον, αυτό είναι αδύνατο πρέπει να χρησιμοποιηθούν κομβοελάσματα πάχους μεγαλύτερου κατά 1 MM τουλάχιστον από το πάχος του παχύτερου από τα συνδεόμενα στοιχεία. Επίσης όταν δύο, ή περισσότερα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους μέσω κομβοελάσματος, αυτό πρέπει να έχει πάχος μεγαλύτερο κατά 1MM τουλάχιστον από το πάχος του παχύτερου από τα συνδεόμενα στοιχεία . Γενικά το πάχος των κομβοελασμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 MM. \$.

4.Ποιότητα αρμοκαλυπτρών και κομβοελασμάτων

Η ποιότητα (όριο θραύσης) του χάλυβα των εσωτερικών γωνιακών αρμοκάλυψης , των αρμοκαλυπτρών και των κομβοελασμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την ανώτερη ποιότητα των στοιχείων της αντίστοιχης σύνδεσης.

5. Ελάχιστες αποστάσεις από κοχλίες

Απο τα κέντρα των οπών των κοχλιών πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες ελάχιστες αποστάσεις :

Για όλα τα στοιχεία των επεκτάσεων:

Απόσταση από το άκρο κοπής= $2d_0$

Απόσταση από το άκρο έλασης= $1,35d_0$

Απόσταση από το κέντρο του πλησιέστερου κοχλία= $3,5d_0$

Για όλα τα στοιχεία των συνδέσεων σε κόμβους:

Απόσταση από το άκρο κοπής= $1,5d_0$

Απόσταση από το άκρο έλασης= $1,25d_0$

Απόσταση από το κέντρο του πλησιέστερου κοχλία= $2,5d_0$

Κοχλίες

Γενικά για τις συνδέσεις, χρησιμοποιούνται μετρικοί κοχλίες υψηλής αντοχής ελάχιστης διαμέτρου 12 MM και το πολύ τέσσερις διάμετροι κοχλιών για κάθε τύπο πύργου. Οι κοχλίες είναι μήκους επαρκούς ώστε :

α) να μην αναπτύσσονται διατμητικές δυνάμεις στο κοχλιοτομημένο τμήμα και

β) να αφήνονται δυο τουλάχιστον σπείρες ακάλυπτες, μετά την τοποθέτηση παράκυκλου, παράκυκλου ασφαλείας και περικοχλίου.

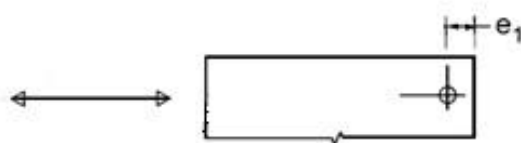
Οι κοχλίες, τα περικόχλια, οι παράκυκλοι και οι παράκυκλοι ασφαλείας είναι σύμφωνα με τα DIN 7990, DIN 555, DIN 126 και DIN 127B αντίστοιχα. Όλοι οι κοχλίες θα είναι ποιότητας 6.6 σύμφωνα με το DIN 267. Η διάμετρος των οπών είναι το πολύ 1,5 MM μεγαλύτερη από τις διαμέτρους των αντίστοιχων κοχλιών. Άνοιγμα οπών με συμπίεση (PUNCHING) επιτρέπεται αν γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές AISC για Μελέτη, Βιομηχανοποίηση και Ανέγερση δομικού χάλυβα.

Η ποσότητα κοχλιών, περικοχλιών και παράκυκλων που θεωρητικά απαιτείται για την συναρμολόγηση των πύργων, παραδίδεται αυξημένη κατά 3% για την αντιμετώπιση απωλειών, ενδεχομένης μερικής ακαταλληλότητας υλικού κ.τ.λ.

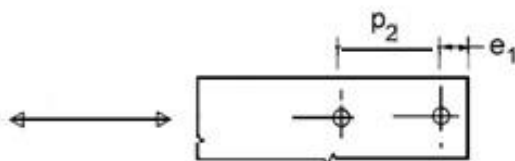
Όλα τα στοιχεία, υλικό συνδέσεως κ.τ.λ. θα είναι επιψευδαργυρωμένα εν θερμώ σύμφωνα με την τελευταία αναθεώρηση των προδιαγραφών ASTM – 123 και ASTM – 153. Τα περικόχλια παραδίδονται κοχλιωμένα στους αντίστοιχους κοχλίες.

4.2 Έλεγχοι

Όλα τα μέλη στο φορέα που εξετάζεται, συνδέονται σύμφωνα με τον κανονισμό και τις τεχνικές προδιαγραφές των πυλώνων, αρθρωτά με κοχλίες με συνδέσεις άντυγας, είτε με έναν κοχλία είτε με δύο. Οι κοχλίες που χρησιμοποιούνται σε όλες τις συνδέσεις είναι M20, 8.8 υψηλής αντοχής και στις συνδέσεις θεμελιώσεων με τους ορθοστάτες χρησιμοποιούνται κοχλίες M30 8.8 υψηλής αντοχής.



Σύνδεση άντυγας με 1 κοχλία

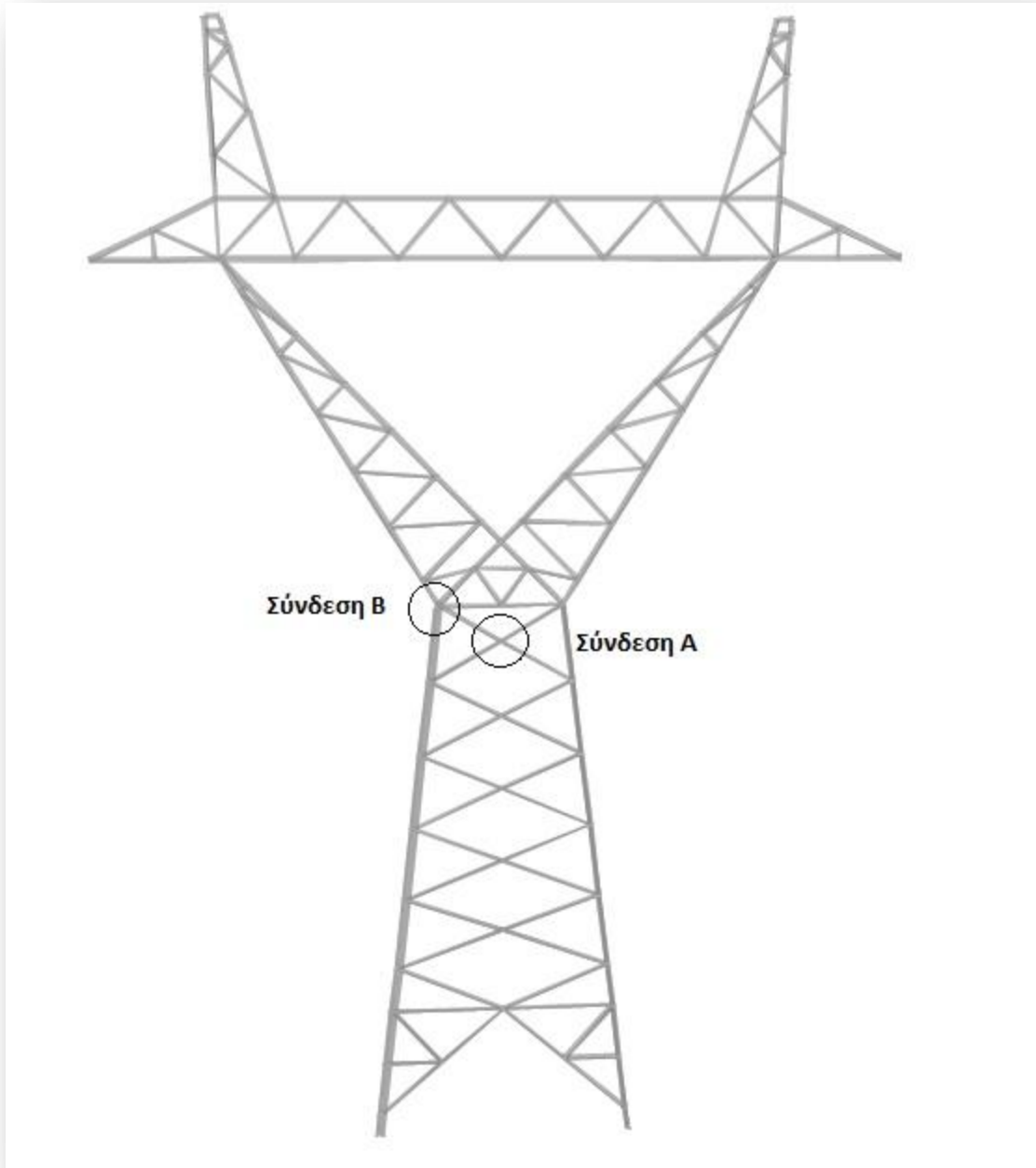


Σύνδεση άντυγας με 2 κοχλίες

Όπου, $e_1 = 2,5d_0 = 55\text{mm}$

Και $p_2 = 3d_0 = 66\text{mm}$

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι έλεγχοι δύο τυπικών συνδέσεων, στα σημεία όπου φαίνονται στην εικόνα, δηλαδή στη σύνδεση δύο χιαστί συνδέσμων στο κάτω σκέλος του πυλώνα και στη σύνδεση του ορθοστάτη του πάνω μέρους του πυλώνα με το οριζόντιο χιαστί μέλος. Τα σημεία, στα οποία επιλέχτηκε να γίνει έλεγχος είναι το περισσότερο καταπονούμενο στοιχείο, από τους χιαστί συνδέσμους του κάτω μέρους του φορέα και το περισσότερο καταπονούμενο στοιχείο, από τις συνδέσεις των ορθοστατών του πάνω μέρους του φορέα.



Σημεία ελέγχου συνδέσεων

Η παραδοχή που έγινε για τις συνδέσεις είναι ότι πρόκειται για συνδέσεις μερικής αντοχής, δηλαδή θα χρησιμοποιηθούν τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από την ανάλυση στα σημεία των κόμβων και όχι σύμφωνα με τις αντοχές των συνδεόμενων δοκών.

Σύνδεση Α (1 κοχλίας)

$$N_{Ed}=66,129\text{kN}$$

Αντοχή κοχλία σε διάτμηση ανά επίπεδο διάτμησης:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A \cdot n}{\gamma_{M2}} = 94,08\text{kN} > 66,129\text{kN}$$

Όπου $\alpha_v = 0,6$, $f_{ub} = 800\text{MPa}$, $A = 2,45\text{cm}^2$ και $\gamma_{M2} = 1,25$ $n = 1$

$$\text{Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας : } F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 183,6\text{kN} > 66,129\text{kN}$$

Όπου $\alpha_b = \min(a_d, f_{ub}/f_u, 1,0) = 1$, $k_1 = \min(1,4p_2/d_0 - 1,7 \text{ ή } 2,5) = 2,5$, $f_u = 510\text{MPa}$, $d = 20\text{mm}$ και $\gamma_{M2} = 1,25$

Σύνδεση Β (2 κοχλίες)

$$N_{Ed}=180,562\text{kN}$$

Αντοχή κοχλία σε διάτμηση ανά επίπεδο διάτμησης:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A \cdot n}{\gamma_{M2}} = 94,08 \cdot m = 94,08 \cdot 2 = 188,16\text{kN} > 180,562\text{kN}$$

Όπου $\alpha_v = 0,6$, $f_{ub} = 800\text{MPa}$, $A = 2,45\text{cm}^2$ και $\gamma_{M2} = 1,25$ $n = 1$ και $m = 2$ γιατί έχουμε δύο κοχλίες

$$\text{Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας : } F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 183,6 \cdot m = 367,2\text{kN} > 180,562\text{kN}$$

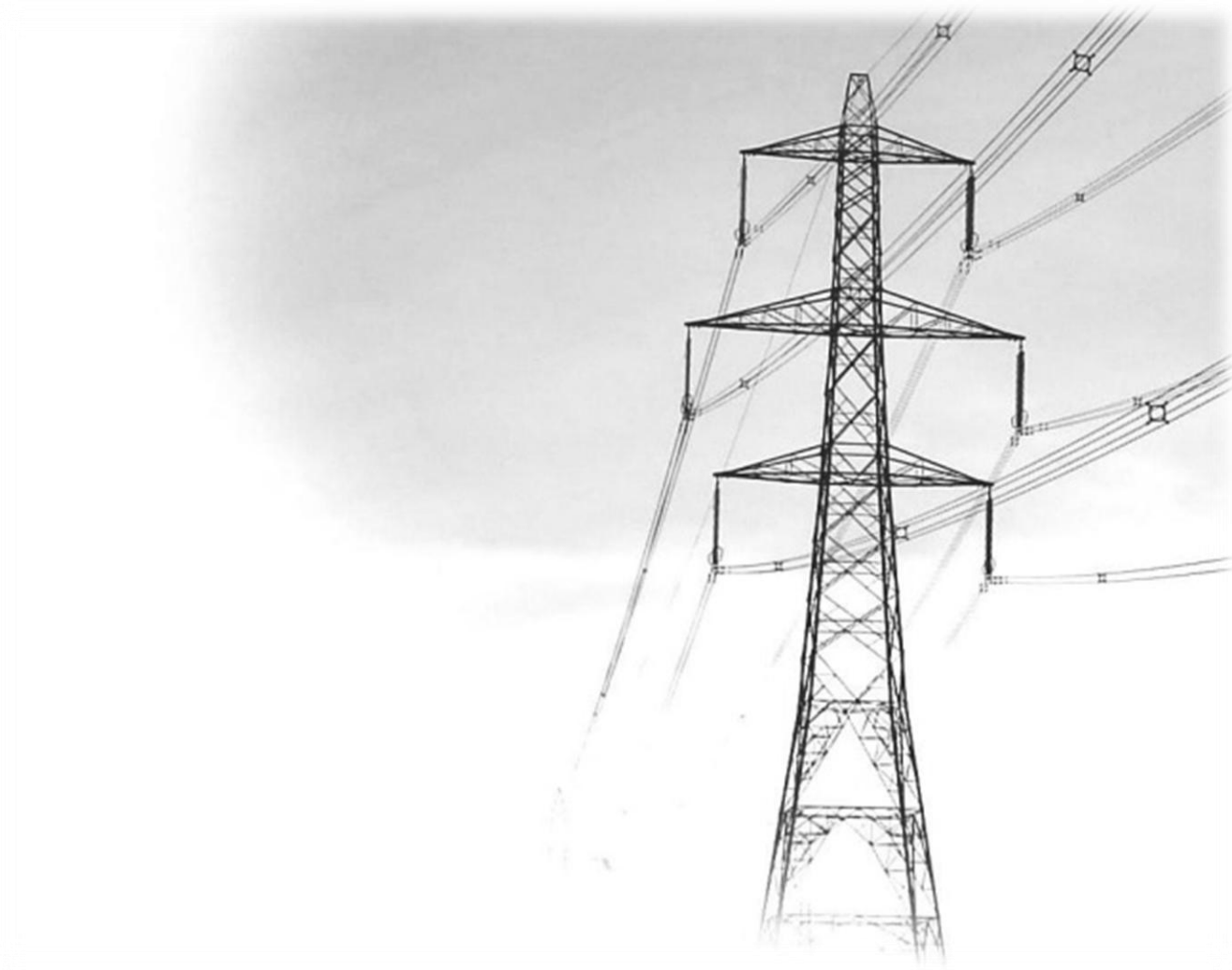
Όπου $\alpha_b = \min(a_d, f_{ub}/f_u, 1,0) = 1$, $k_1 = \min(1,4p_2/d_0 - 1,7 \text{ ή } 2,5) = 2,5$, $f_u = 510\text{MPa}$, $d = 20\text{mm}$ και $\gamma_{M2} = 1,25$ και $m = 2$ γιατί έχουμε δύο κοχλίες

Οι συνδέσεις επαρκούν και είναι σύμφωνες με τον κανονισμό.

Σύνοψη

Συνοψίζοντας, θα ήταν σκόπιμο να αναφερθεί πως το συνολικό βάρος του πλώνα, σύμφωνα με το βάρος των πρότυπων διατομών που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψε 79,31kN= 8.087 kg περίπου δηλαδή 8 τόνοι . Η τιμή αυτή είναι αυξημένη, κατά 20% σε σχέση με τις παλιές προδιαγραφές με τις οποίες κατασκευάζονταν οι μεταλλικοί πλώνες.

Αυτό συμβαίνει γιατί στις υπάρχουσες παλαιότερες μελέτες, χρησιμοποιούνταν κατά κύριο λόγο διατομές KL ψυχρής οι οποίες είναι ελαφρύτερες.



Βιβλιογραφία

1. Ερμόπουλος Ι., **Ευρωκώδικας 1, Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών. Ερμηνευτικά σχόλια και παραδείγματα εφαρμογής**, εκδότης Κλειδάριθμος, Αθήνα 2005.
2. Ερμόπουλος Ι., **Στοιχεία Σχεδιασμού Μεταλλικών Κατασκευών**, έκδοση ΕΜΠ, 2000.
3. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι. και Ιωαννίδης Γ., **Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι**, εκδότης Κλειδάριθμος, Αθήνα 2005.
4. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι. και Ιωαννίδης Γ., **Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ**, εκδότης Κλειδάριθμος, Αθήνα 1999.
5. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι. και Ιωαννίδης Γ., **Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα**, εκδότης Κλειδάριθμος, Αθήνα 2005.
6. Eurocode 0 «Eurocode - Basis of Structural Design», European Standard EN 1990
7. Eurocode 1 «Basis of Design and Actions on Structures», European Standard EN 1991
8. Eurocode 3 «Design of Steel Structures», European Standard EN 1993
9. Eurocode 8 «Design provisions for earthquake resistance of structures», European Standard EN 1998
10. Berkeley, California, USA «SAP2000® Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures-STEEL DESIGN MANUAL», Computers and Structures, Inc.
11. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε, Διεύθυνση Νέων έργων Μεταφοράς, «**Τεχνική Περιγραφή Πύργων Γραμμών Μεταφοράς 150 KV**»

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - Eurocode 3-2005						
Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	Combo	Location
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	m
69993	L150X15	Brace	No Messages	0.964	G+Ey+0.3Ex	0.630
69994	L150X15	Brace	No Messages	0.962	G+Ey+0.3Ex	0.630
69995	L150X15	Brace	No Messages	0.909	G+Ey+0.3Ex	0.504
69996	L150X15	Brace	No Messages	0.992	G+Ey+0.3Ex	0.816
69997	L150X15	Brace	No Messages	0.968	G+Ey+0.3Ex	1.631
69998	L150X15	Brace	No Messages	0.953	G+Ey+0.3Ex	0.816
69999	L150X15	Brace	No Messages	0.961	G+Ey+0.3Ex	0.816
70000	L150X15	Brace	No Messages	0.986	G+Ey+0.3Ex	0.816
70001	L150X15	Brace	No Messages	0.525	G+Ey+0.3Ex	1.260
70002	L150X15	Brace	No Messages	0.515	G+Ey+0.3Ex	1.260
70003	L150X15	Brace	No Messages	0.526	G+Ey+0.3Ex	0.000
70004	L150X15	Brace	No Messages	0.563	G+Ey+0.3Ex	1.631
70005	L150X15	Brace	No Messages	0.545	G+Ey+0.3Ex	0.816
70006	L150X15	Brace	No Messages	0.549	G+Ey+0.3Ex	0.816
70007	L150X15	Brace	No Messages	0.575	G+Ey+0.3Ex	0.816
70008	L150X15	Brace	No Messages	0.607	G+Ey+0.3Ex	1.631
70009	L150X15	Brace	No Messages	0.663	G+Ey+0.3Ex	1.631
70010	L150X15	Brace	No Messages	0.654	G+Ey+0.3Ex	1.631
70011	L150X15	Brace	No Messages	0.653	G+Ey+0.3Ex	1.631
70012	L150X15	Brace	No Messages	0.658	G+Ey+0.3Ex	0.000
70013	L150X15	Brace	No Messages	0.681	G+Ey+0.3Ex	1.631
70014	L150X15	Brace	No Messages	0.669	G+Ey+0.3Ex	1.008
70015	L150X15	Brace	No Messages	0.694	G+Ey+0.3Ex	0.000
70016	L150X15	Brace	No Messages	0.694	G+Ey+0.3Ex	1.260
70017	L150X15	Brace	No Messages	0.483	G+Ey+0.3Ex	0.000
70018	L150X15	Brace	No Messages	0.439	G+Ey+0.3Ex	0.000
70019	L150X15	Brace	No Messages	0.421	G+Ey+0.3Ex	0.000
70020	L150X15	Brace	No Messages	0.422	G+Ey+0.3Ex	0.816
70021	L150X15	Brace	No Messages	0.433	G+Ey+0.3Ex	0.000
70022	L150X15	Brace	No Messages	0.408	G+Ey+0.3Ex	1.008
70023	L150X15	Brace	No Messages	0.385	G+Ey+0.3Ex	0.000
70024	L150X15	Brace	No Messages	0.392	G+Ey+0.3Ex	0.000
70025	L150X15	Brace	No Messages	0.730	G+Ey+0.3Ex	0.000
70026	L150X15	Brace	No Messages	0.556	G+Ex+0.3Ey	0.504
70027	L150X15	Brace	No Messages	0.974	G+Ey+0.3Ex	0.252
70028	L90X9	Brace	No Messages	0.198	G+Ey+0.3Ex	0.000
70029	L90X9	Brace	No Messages	0.193	1.35G+SFA+0.9(- W2+S)	2.511
70030	L90X9	Brace	No Messages	0.038	G+Ey+0.3Ex	1.638
70031	L90X9	Beam	No Messages	0.033	G+Ey+0.3Ex	0.000

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70032	L90X9	Brace	No Messages	0.075	G+Ey+0.3Ex	1.638
70033	L90X9	Beam	No Messages	0.063	G+Ey+0.3Ex	0.000
70034	L90X9	Brace	No Messages	0.097	G+Ey+0.3Ex	0.000
70035	L90X9	Brace	No Messages	0.128	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.000
70036	L150X15	Brace	No Messages	0.439	G+Ex+0.3Ey	0.000
70037	L90X9	Brace	No Messages	0.051	G+Ey+0.3Ex	0.000
70038	L90X9	Brace	No Messages	0.031	G+Ey+0.3Ex	1.638
70039	L90X9	Beam	No Messages	0.025	G+Ey+0.3Ex	0.000
70040	L90X9	Beam	No Messages	0.050	G+Ey+0.3Ex	1.214
70041	L90X9	Brace	No Messages	0.122	G+Ex+0.3Ey	0.000
70042	L90X9	Brace	No Messages	0.205	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	2.511
70043	L90X9	Brace	No Messages	0.029	G+Ey+0.3Ex	1.640
70044	L90X9	Beam	No Messages	0.026	G+Ey+0.3Ex	0.000
70045	L90X9	Brace	No Messages	0.074	G+Ey+0.3Ex	0.000
70046	L90X9	Beam	No Messages	0.060	G+Ey+0.3Ex	1.214
70047	L90X9	Brace	No Messages	0.101	G+Ex+0.3Ey	2.511
70048	L90X9	Brace	No Messages	0.081	G+Ex+0.3Ey	2.515
70049	L90X9	Brace	No Messages	0.039	G+Ey+0.3Ex	0.000
70050	L90X9	Beam	No Messages	0.030	G+Ey+0.3Ex	1.214
70051	L90X9	Brace	No Messages	0.050	G+Ey+0.3Ex	1.640
70052	L90X9	Beam	No Messages	0.046	G+Ey+0.3Ex	0.000
70053	L90X9	Beam	No Messages	0.028	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.000
70054	L90X9	Beam	No Messages	0.043	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	0.000
70055	L90X9	Beam	No Messages	0.026	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	3.435
70056	L90X9	Beam	No Messages	0.050	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70057	L90X9	Beam	No Messages	0.115	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	0.919
70058	L90X9	Beam	No Messages	0.090	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	1.838
70059	L90X9	Beam	No Messages	0.127	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	0.919
70060	L90X9	Beam	No Messages	0.079	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	1.379
70061	L90X9	Brace	No Messages	0.067	G+Ey+0.3Ex	1.741
70062	L80X8	Beam	No Messages	0.173	G+Ey+0.3Ex	0.000
70063	L80X8	Beam	No Messages	0.159	G+Ey+0.3Ex	2.600
70064	L120X12	Brace	No Messages	0.515	G+Ex+0.3Ey	0.700
70065	L120X12	Brace	No Messages	0.533	G+Ex+0.3Ey	0.000
70066	L90X9	Brace	No Messages	0.286	G+Ex+0.3Ey	0.164
70067	L120X12	Brace	No Messages	0.923	G+Ey+0.3Ex	0.000
70068	L90X9	Brace	No Messages	0.272	G+Ex+0.3Ey	0.000
70069	L90X9	Brace	No Messages	0.102	G+Ey+0.3Ex	0.478
70070	L90X9	Brace	No Messages	0.101	G+Ex+0.3Ey	0.000

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70071	L90X9	Brace	No Messages	0.059	G+Ey+0.3Ex	0.794
70072	L90X9	Brace	No Messages	0.048	G+Ex+0.3Ey	0.000
70073	L90X9	Brace	No Messages	0.039	G+Ey+0.3Ex	0.000
70074	L90X9	Brace	No Messages	0.031	G+Ex+0.3Ey	0.000
70075	L90X9	Brace	No Messages	0.032	G+Ey+0.3Ex	1.426
70076	L90X9	Brace	No Messages	0.052	G+Ex+0.3Ey	0.939
70077	L90X9	Brace	No Messages	0.056	G+Ex+0.3Ey	0.000
70078	L90X9	Beam	No Messages	0.052	G+Ey+0.3Ex	1.085
70079	L90X9	Brace	No Messages	0.064	G+Ex+0.3Ey	0.964
70080	L90X9	Brace	No Messages	0.108	G+Ey+0.3Ex	0.000
70081	L90X9	Brace	No Messages	0.092	G+Ex+0.3Ey	0.000
70082	L120X12	Brace	No Messages	0.504	G+Ex+0.3Ey	0.000
70083	L120X12	Brace	No Messages	0.644	G+Ex+0.3Ey	0.700
70084	L80X8	Brace	No Messages	0.558	G+Ex+0.3Ey	0.082
70085	L120X12	Brace	No Messages	0.570	G+Ey+0.3Ex	0.625
70086	L90X9	Brace	No Messages	0.273	G+Ex+0.3Ey	0.000
70087	L90X9	Brace	No Messages	0.143	G+Ey+0.3Ex	0.478
70088	L90X9	Brace	No Messages	0.102	G+Ex+0.3Ey	0.000
70089	L90X9	Brace	No Messages	0.057	G+Ey+0.3Ex	0.000
70090	L90X9	Brace	No Messages	0.067	G+Ey+0.3Ex	0.000
70091	L90X9	Brace	No Messages	0.052	G+Ey+0.3Ex	0.000
70092	L90X9	Brace	No Messages	0.041	G+Ex+0.3Ey	0.000
70093	L90X9	Brace	No Messages	0.037	G+Ey+0.3Ex	0.000
70094	L90X9	Brace	No Messages	0.051	G+Ex+0.3Ey	1.879
70095	L90X9	Brace	No Messages	0.146	G+Ey+0.3Ex	1.101
70096	L90X9	Brace	No Messages	0.086	G+Ey+0.3Ex	1.741
70097	L120X12	Brace	No Messages	0.636	G+Ex+0.3Ey	0.700
70098	L120X12	Brace	No Messages	0.483	G+Ex+0.3Ey	0.000
70099	L90X9	Brace	No Messages	0.361	G+Ex+0.3Ey	0.000
70100	L120X12	Brace	No Messages	0.928	G+Ey+0.3Ex	0.000
70101	L90X9	Brace	No Messages	0.389	G+Ex+0.3Ey	0.000
70102	L90X9	Brace	No Messages	0.148	G+Ey+0.3Ex	0.478
70103	L90X9	Brace	No Messages	0.139	G+Ex+0.3Ey	0.688
70104	L90X9	Brace	No Messages	0.101	G+Ey+0.3Ex	0.000
70105	L90X9	Brace	No Messages	0.056	G+Ex+0.3Ey	0.000
70106	L90X9	Brace	No Messages	0.063	G+Ey+0.3Ex	1.110
70107	L90X9	Brace	No Messages	0.043	G+Ex+0.3Ey	0.835
70108	L90X9	Brace	No Messages	0.051	G+Ey+0.3Ex	0.000
70109	L90X9	Brace	No Messages	0.036	G+Ex+0.3Ey	1.879
70110	L90X9	Brace	No Messages	0.067	G+Ex+0.3Ey	0.000
70111	L90X9	Brace	No Messages	0.067	G+Ex+0.3Ey	0.964
70112	L90X9	Brace	No Messages	0.156	G+Ey+0.3Ex	0.000
70113	L90X9	Brace	No Messages	0.106	G+Ey+0.3Ex	0.000
70114	L120X12	Brace	No Messages	0.474	G+Ex+0.3Ey	0.000
70115	L120X12	Brace	No Messages	0.541	G+Ex+0.3Ey	0.700

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώρα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70116	L80X8	Brace	No Messages	0.438	G+Ex+0.3Ey	0.164
70117	L120X12	Brace	Overstressed	1.375	G+Ey+0.3Ex	0.625
70118	L90X9	Brace	No Messages	0.080	G+Ex+0.3Ey	0.000
70119	L90X9	Brace	No Messages	0.100	G+Ey+0.3Ex	0.794
70120	L90X9	Brace	No Messages	0.048	G+Ex+0.3Ey	1.497
70121	L90X9	Brace	No Messages	0.061	G+Ey+0.3Ex	0.000
70122	L90X9	Brace	No Messages	0.034	G+Ex+0.3Ey	0.000
70123	L90X9	Brace	No Messages	0.059	G+Ey+0.3Ex	1.426
70124	L90X9	Brace	No Messages	0.066	G+Ex+0.3Ey	1.879
70125	L90X9	Beam	No Messages	0.063	G+Ey+0.3Ex	0.000
70126	L90X9	Brace	No Messages	0.131	G+Ex+0.3Ey	0.550
70127	L90X9	Beam	No Messages	0.135	G+Ey+0.3Ex	2.600
70128	L90X9	Beam	No Messages	0.100	G+Ey+0.3Ex	2.600
70129	L90X9	Beam	No Messages	0.105	G+Ey+0.3Ex	2.600
70130	L90X9	Beam	No Messages	0.149	G+Ey+0.3Ex	2.600
70131	L90X9	Beam	No Messages	0.144	G+Ey+0.3Ex	2.600
70132	L90X9	Beam	No Messages	0.138	G+Ey+0.3Ex	0.000
70133	L90X9	Beam	No Messages	0.109	G+Ey+0.3Ex	0.000
70134	L90X9	Beam	No Messages	0.100	G+Ey+0.3Ex	2.600
70135	L90X9	Beam	No Messages	0.095	G+Ey+0.3Ex	2.600
70136	L90X9	Beam	No Messages	0.137	G+Ey+0.3Ex	0.000
70137	L90X9	Beam	No Messages	0.149	G+Ey+0.3Ex	0.000
70138	L90X9	Beam	No Messages	0.146	G+Ey+0.3Ex	0.000
70139	L90X9	Beam	No Messages	0.137	G+Ey+0.3Ex	0.000
70140	L90X9	Beam	No Messages	0.097	G+Ey+0.3Ex	0.000
70141	L90X9	Beam	No Messages	0.160	G+Ey+0.3Ex	2.600
70142	L90X9	Beam	No Messages	0.079	G+Ey+0.3Ex	0.000
70143	L90X9	Beam	No Messages	0.092	G+Ey+0.3Ex	0.000
70144	L90X9	Beam	No Messages	0.097	G+Ey+0.3Ex	0.000
70145	L90X9	Beam	No Messages	0.094	G+Ey+0.3Ex	0.000
70146	L90X9	Beam	No Messages	0.116	G+Ey+0.3Ex	0.000
70147	L90X9	Beam	No Messages	0.150	G+Ey+0.3Ex	2.600
70148	L90X9	Beam	No Messages	0.080	G+Ey+0.3Ex	2.600
70149	L90X9	Beam	No Messages	0.089	G+Ey+0.3Ex	0.000
70150	L90X9	Beam	No Messages	0.097	G+Ey+0.3Ex	2.600
70151	L90X9	Beam	No Messages	0.089	G+Ey+0.3Ex	0.000
70152	L90X9	Beam	No Messages	0.120	G+Ey+0.3Ex	2.600
70153	L90X9	Brace	No Messages	0.434	G+Ey+0.3Ex	2.674
70154	L90X9	Brace	Overstressed	1.250	G+Ey+0.3Ex	0.000
70155	L90X9	Brace	No Messages	0.464	G+Ey+0.3Ex	2.931
70156	L90X9	Brace	Overstressed	1.195	G+Ey+0.3Ex	1.465
70157	L90X9	Brace	No Messages	0.465	G+Ey+0.3Ex	2.931
70158	L90X9	Brace	Overstressed	1.222	G+Ey+0.3Ex	0.000
70159	L90X9	Brace	No Messages	0.525	G+Ey+0.3Ex	2.693
70160	L90X9	Brace	No Messages	0.426	G+Ey+0.3Ex	2.674

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70161	L90X9	Brace	Overstressed	1.196	G+Ey+0.3Ex	2.931
70162	L90X9	Brace	No Messages	0.468	G+Ey+0.3Ex	2.931
70163	L90X9	Brace	Overstressed	1.156	G+Ey+0.3Ex	1.465
70164	L90X9	Brace	No Messages	0.469	G+Ey+0.3Ex	2.931
70165	L90X9	Brace	Overstressed	1.181	G+Ey+0.3Ex	1.465
70166	L90X9	Brace	No Messages	0.508	G+Ey+0.3Ex	2.693
70167	L110X10	Beam	No Messages	0.478	G+Ex+0.3Ey	1.400
70168	L90X9	Beam	No Messages	0.167	G+Ex+0.3Ey	0.250
70169	L80X8	Beam	No Messages	0.132	G+Ex+0.3Ey	0.250
70170	L110X10	Beam	No Messages	0.440	G+Ex+0.3Ey	0.000
70171	L110X10	Beam	No Messages	0.176	G+Ex+0.3Ey	1.102
70172	L110X10	Beam	No Messages	0.252	G+Ey+0.3Ex	0.000
70173	L110X10	Beam	No Messages	0.237	G+Ey+0.3Ex	1.975
70174	L110X10	Beam	No Messages	0.240	G+Ey+0.3Ex	0.000
70175	L110X10	Beam	No Messages	0.261	G+Ey+0.3Ex	1.975
70176	L80X8	Brace	No Messages	0.174	G+Ex+0.3Ey	0.000
70177	L80X8	Brace	No Messages	0.149	G+Ex+0.3Ey	0.000
70178	L80X8	Brace	No Messages	0.128	G+Ex+0.3Ey	1.478
70179	L80X8	Brace	No Messages	0.145	G+Ex+0.3Ey	0.000
70180	L80X8	Brace	No Messages	0.136	G+Ex+0.3Ey	1.478
70181	L80X8	Brace	No Messages	0.149	G+Ex+0.3Ey	0.000
70182	L80X8	Brace	No Messages	0.153	G+Ex+0.3Ey	1.478
70183	L80X8	Brace	No Messages	0.121	G+Ex+0.3Ey	0.205
70184	L80X8	Brace	No Messages	0.528	G+Ex+0.3Ey	1.557
70185	L80X8	Brace	No Messages	0.501	G+Ex+0.3Ey	1.557
70186	L80X8	Column	No Messages	0.194	G+Ex+0.3Ey	0.000
70187	L80X8	Brace	No Messages	0.306	G+Ex+0.3Ey	0.671
70188	L80X8	Column	No Messages	0.161	G+Ex+0.3Ey	0.550
70189	L80X8	Brace	No Messages	0.300	G+Ex+0.3Ey	1.343
70190	L80X8	Brace	No Messages	0.072	G+Ex+0.3Ey	0.000
70191	L90X9	Brace	No Messages	0.268	G+Ex+0.3Ey	0.000
70192	L80X8	Brace	No Messages	0.085	G+Ex+0.3Ey	0.506
70193	L80X8	Brace	No Messages	0.098	G+Ex+0.3Ey	0.000
70194	L80X8	Brace	No Messages	0.121	G+Ex+0.3Ey	0.296
70195	L80X8	Brace	No Messages	0.138	G+Ex+0.3Ey	0.459
70196	L110X10	Beam	No Messages	0.074	G+Ex+0.3Ey	0.068
70197	L90X9	Beam	No Messages	0.190	G+Ex+0.3Ey	0.000
70198	L80X8	Beam	No Messages	0.195	G+Ey+0.3Ex	0.000
70199	L80X8	Brace	No Messages	0.093	G+Ex+0.3Ey	1.362
70200	L80X8	Brace	No Messages	0.098	G+Ey+0.3Ex	0.000
70201	L80X8	Brace	No Messages	0.123	G+Ey+0.3Ex	0.000
70202	L80X8	Brace	No Messages	0.157	G+Ey+0.3Ex	0.000
70203	L80X8	Brace	No Messages	0.328	G+Ey+0.3Ex	0.459
70204	L80X8	Beam	No Messages	0.183	G+Ey+0.3Ex	0.068
70205	L110X10	Beam	No Messages	0.403	G+Ex+0.3Ey	1.400

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70206	L90X9	Beam	No Messages	0.171	G+Ex+0.3Ey	0.250
70207	L80X8	Beam	No Messages	0.126	G+Ex+0.3Ey	0.250
70208	L110X10	Beam	No Messages	0.433	G+Ex+0.3Ey	0.000
70209	L110X10	Beam	No Messages	0.349	G+Ex+0.3Ey	0.000
70210	L110X10	Beam	No Messages	0.241	G+Ey+0.3Ex	0.988
70211	L110X10	Beam	No Messages	0.213	G+Ey+0.3Ex	1.975
70212	L110X10	Beam	No Messages	0.200	G+Ey+0.3Ex	0.000
70213	L110X10	Beam	No Messages	0.216	G+Ey+0.3Ex	1.975
70214	L80X8	Brace	No Messages	0.171	G+Ex+0.3Ey	0.000
70215	L80X8	Brace	No Messages	0.167	G+Ex+0.3Ey	0.739
70216	L80X8	Brace	No Messages	0.146	G+Ex+0.3Ey	0.739
70217	L80X8	Brace	No Messages	0.151	G+Ex+0.3Ey	0.000
70218	L80X8	Brace	No Messages	0.145	G+Ex+0.3Ey	0.739
70219	L80X8	Brace	No Messages	0.157	G+Ex+0.3Ey	0.000
70220	L80X8	Brace	No Messages	0.165	G+Ex+0.3Ey	0.739
70221	L80X8	Brace	No Messages	0.115	G+Ex+0.3Ey	0.205
70222	L80X8	Brace	No Messages	0.504	G+Ex+0.3Ey	1.557
70223	L80X8	Column	No Messages	0.174	G+Ex+0.3Ey	0.000
70224	L80X8	Brace	No Messages	0.281	G+Ex+0.3Ey	0.000
70225	L80X8	Column	No Messages	0.175	G+Ey+0.3Ex	0.550
70226	L80X8	Brace	No Messages	0.281	G+Ex+0.3Ey	1.343
70227	L80X8	Brace	No Messages	0.082	G+Ex+0.3Ey	0.000
70228	L90X9	Brace	No Messages	0.280	G+Ex+0.3Ey	0.000
70229	L80X8	Brace	No Messages	0.077	G+Ex+0.3Ey	1.011
70230	L80X8	Brace	No Messages	0.098	G+Ex+0.3Ey	0.000
70231	L80X8	Brace	No Messages	0.122	G+Ex+0.3Ey	0.296
70232	L80X8	Brace	No Messages	0.138	G+Ex+0.3Ey	0.000
70233	L80X8	Beam	No Messages	0.134	G+Ex+0.3Ey	0.068
70234	L110X10	Beam	No Messages	0.445	G+Ex+0.3Ey	0.700
70235	L80X8	Beam	No Messages	0.289	G+Ey+0.3Ex	0.000
70236	L80X8	Beam	No Messages	0.154	G+Ex+0.3Ey	0.000
70237	L80X8	Brace	No Messages	0.544	G+Ex+0.3Ey	0.000
70238	L80X8	Brace	No Messages	0.103	G+Ex+0.3Ey	1.362
70239	L80X8	Brace	No Messages	0.089	G+Ex+0.3Ey	0.000
70240	L80X8	Brace	No Messages	0.113	G+Ex+0.3Ey	0.948
70241	L90X9	Brace	No Messages	0.113	G+Ex+0.3Ey	0.296
70242	L80X8	Brace	No Messages	0.260	G+Ey+0.3Ex	0.459
70243	L80X8	Beam	No Messages	0.174	G+Ex+0.3Ey	0.068
70244	L80X8	Beam	No Messages	0.487	G+Ey+0.3Ex	0.000
70245	L80X8	Beam	No Messages	0.253	G+Ey+0.3Ex	2.600
70246	L80X8	Beam	No Messages	0.159	G+Ey+0.3Ex	0.000
70247	L80X8	Beam	No Messages	0.076	G+Ey+0.3Ex	1.300
70248	L80X8	Beam	No Messages	0.083	G+Ey+0.3Ex	2.600
70249	L80X8	Beam	No Messages	0.064	G+Ey+0.3Ex	0.000
70250	L80X8	Beam	No Messages	0.021	G+Ey+0.3Ex	0.000

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70251	L80X8	Beam	No Messages	0.044	G+Ey+0.3Ex	0.000
70252	L80X8	Beam	No Messages	0.030	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	0.000
70253	L80X8	Beam	No Messages	0.036	G+Ey+0.3Ex	0.000
70254	L80X8	Beam	No Messages	0.029	G+Ey+0.3Ex	0.000
70255	L80X8	Beam	No Messages	0.036	G+Ey+0.3Ex	0.000
70256	L80X8	Beam	No Messages	0.063	G+Ey+0.3Ex	0.000
70257	L80X8	Beam	No Messages	0.089	G+Ey+0.3Ex	2.600
70258	L80X8	Beam	No Messages	0.060	G+Ey+0.3Ex	0.000
70259	L80X8	Beam	No Messages	0.287	G+Ey+0.3Ex	2.600
70260	L80X8	Beam	No Messages	0.273	G+Ey+0.3Ex	2.600
70261	L80X8	Beam	No Messages	0.214	G+Ey+0.3Ex	2.600
70262	L80X8	Beam	No Messages	0.099	G+Ey+0.3Ex	0.000
70263	L80X8	Beam	No Messages	0.078	G+Ey+0.3Ex	2.900
70264	L80X8	Beam	No Messages	0.103	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70265	L80X8	Beam	No Messages	0.085	G+Ey+0.3Ex	0.000
70266	L80X8	Beam	No Messages	0.101	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	1.633
70267	L80X8	Beam	No Messages	0.076	G+Ey+0.3Ex	2.900
70268	L80X8	Beam	No Messages	0.056	G+Ey+0.3Ex	0.000
70269	L80X8	Brace	Overstressed	1.029	G+Ey+0.3Ex	0.000
70270	L80X8	Brace	No Messages	0.474	G+Ey+0.3Ex	0.000
70271	L80X8	Brace	No Messages	0.393	G+Ey+0.3Ex	0.000
70272	L80X8	Brace	Overstressed	1.216	G+Ey+0.3Ex	1.463
70273	L80X8	Beam	No Messages	0.447	G+Ey+0.3Ex	0.000
70274	L80X8	Beam	No Messages	0.513	G+Ey+0.3Ex	0.000
70275	L80X8	Beam	No Messages	0.131	G+Ey+0.3Ex	0.000
70276	L80X8	Beam	No Messages	0.068	G+Ey+0.3Ex	0.000
70277	L80X8	Beam	No Messages	0.253	G+Ey+0.3Ex	0.000
70278	L80X8	Beam	No Messages	0.460	G+Ey+0.3Ex	0.000
70279	L80X8	Beam	No Messages	0.359	G+Ey+0.3Ex	0.000
70280	L80X8	Beam	No Messages	0.252	G+Ey+0.3Ex	0.000
70281	L80X8	Beam	No Messages	0.077	G+Ey+0.3Ex	0.000
70282	L80X8	Beam	No Messages	0.132	G+Ey+0.3Ex	0.000
70283	L80X8	Beam	No Messages	0.069	G+Ey+0.3Ex	0.000
70284	L80X8	Beam	No Messages	0.075	G+Ey+0.3Ex	0.000
70285	L80X8	Beam	No Messages	0.059	G+Ey+0.3Ex	0.000
70286	L80X8	Beam	No Messages	0.055	G+Ey+0.3Ex	0.000
70287	L80X8	Beam	No Messages	0.064	G+Ey+0.3Ex	0.000
70288	L80X8	Brace	Overstressed and See WarnMsg	1.492	G+Ey+0.3Ex	2.823
70289	L80X8	Brace	No Messages	0.566	G+Ey+0.3Ex	0.000
70290	L80X8	Brace	No Messages	0.853	G+Ey+0.3Ex	2.953
70291	L80X8	Brace	Overstressed and See	1.497	G+Ey+0.3Ex	2.823

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

			WarnMsg			
70292	L80X8	Brace	No Messages	0.547	G+Ey+0.3Ex	0.000
70293	L80X8	Brace	No Messages	0.715	G+Ey+0.3Ex	2.953
70294	L80X8	Brace	No Messages	0.580	G+Ey+0.3Ex	0.000
70295	L80X8	Brace	No Messages	0.397	G+Ey+0.3Ex	2.612
70296	L110X10	Beam	No Messages	0.296	G+Ex+0.3Ey	1.225
70297	L110X10	Beam	No Messages	0.559	G+Ex+0.3Ey	0.000
70298	L110X10	Beam	No Messages	0.412	G+Ex+0.3Ey	1.225
70299	L110X10	Beam	No Messages	0.188	G+Ex+0.3Ey	0.613
70300	L110X10	Brace	No Messages	0.446	G+Ex+0.3Ey	1.343
70301	L110X10	Brace	No Messages	0.200	G+Ex+0.3Ey	1.343
70302	L110X10	Beam	No Messages	0.474	G+Ex+0.3Ey	0.000
70303	L110X10	Beam	No Messages	0.309	G+Ex+0.3Ey	0.000
70304	L110X10	Beam	No Messages	0.255	G+Ey+0.3Ex	1.975
70305	L110X10	Beam	No Messages	0.298	G+Ex+0.3Ey	0.000
70306	L110X10	Beam	No Messages	0.431	G+Ex+0.3Ey	1.285
70307	L110X10	Brace	No Messages	0.291	G+Ex+0.3Ey	0.000
70308	L110X10	Brace	No Messages	0.311	G+Ex+0.3Ey	0.000
70309	L110X10	Brace	No Messages	0.226	G+Ex+0.3Ey	1.343
70310	L110X10	Brace	No Messages	0.203	G+Ex+0.3Ey	0.671
70311	L110X10	Brace	No Messages	0.120	G+Ex+0.3Ey	1.343
70312	L110X10	Brace	No Messages	0.170	G+Ex+0.3Ey	1.343
70313	L110X10	Beam	No Messages	0.261	G+Ex+0.3Ey	0.643
70314	L110X10	Beam	No Messages	0.162	G+Ex+0.3Ey	0.988
70315	L110X10	Beam	No Messages	0.104	G+Ey+0.3Ex	1.975
70316	L110X10	Beam	No Messages	0.172	G+Ex+0.3Ey	1.975
70317	L90X9	Brace	No Messages	0.143	G+Ex+0.3Ey	0.000
70318	L90X9	Brace	No Messages	0.306	G+Ex+0.3Ey	1.600
70319	L90X9	Brace	No Messages	0.241	G+Ey+0.3Ex	0.000
70320	L90X9	Brace	No Messages	0.223	G+Ey+0.3Ex	0.259
70321	L90X9	Brace	No Messages	0.199	G+Ey+0.3Ex	0.000
70322	L90X9	Column	Overstressed and See WarnMsg	136.662	G+Ex+0.3Ey	0.000
70323	L90X9	Column	No Messages	0.733	G+Ey+0.3Ex	0.000
70324	L90X9	Column	No Messages	0.444	G+Ey+0.3Ex	0.000
70325	L90X9	Column	Overstressed and See WarnMsg	132.864	G+Ex+0.3Ey	0.700
70326	L90X9	Column	No Messages	0.716	G+Ey+0.3Ex	0.700
70327	L90X9	Brace	No Messages	0.199	G+Ex+0.3Ey	0.000
70328	L90X9	Brace	No Messages	0.325	G+Ey+0.3Ex	0.259
70329	L90X9	Brace	No Messages	0.252	G+Ey+0.3Ex	0.000
70330	L90X9	Brace	No Messages	0.290	G+Ex+0.3Ey	0.000
70331	L90X9	Brace	No Messages	0.143	G+Ex+0.3Ey	0.000

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70332	L90X9	Brace	No Messages	0.170	G+Ex+0.3Ey	0.573
70333	L90X9	Brace	No Messages	0.102	G+Ex+0.3Ey	0.000
70334	L90X9	Brace	No Messages	0.171	G+Ex+0.3Ey	0.259
70335	L90X9	Brace	No Messages	0.123	G+Ex+0.3Ey	1.140
70336	L90X9	Brace	No Messages	0.136	G+Ex+0.3Ey	1.140
70337	L90X9	Brace	No Messages	0.166	G+Ex+0.3Ey	0.573
70338	L90X9	Brace	No Messages	0.103	G+Ex+0.3Ey	0.000
70339	L90X9	Brace	No Messages	0.160	G+Ex+0.3Ey	0.259
70340	L90X9	Column	No Messages	0.394	G+Ex+0.3Ey	0.000
70341	L90X9	Column	Overstressed and Sag	40.263	G+Ex+0.3Ey	0.000
70342	L90X9	Column	Overstressed and Sag	134.147	G+Ex+0.3Ey	0.000
70343	L90X9	Column	Overstressed and Sag	133.869	G+Ex+0.3Ey	0.000
70344	L90X9	Column	Overstressed and Sag	41.554	G+Ex+0.3Ey	0.700
70345	L90X9	Column	No Messages	0.407	G+Ey+0.3Ex	0.000
70346	L120X12	Brace	No Messages	0.552	G+Ey+0.3Ex	0.000
70347	L120X12	Brace	No Messages	0.530	G+Ex+0.3Ey	0.000
70348	L120X12	Brace	No Messages	0.394	G+Ex+0.3Ey	0.000
70349	L120X12	Brace	No Messages	0.421	G+Ex+0.3Ey	0.000
70350	L120X12	Brace	No Messages	0.393	G+Ex+0.3Ey	1.352
70351	L120X12	Brace	No Messages	0.652	G+Ey+0.3Ex	0.000
70352	L120X12	Brace	No Messages	0.461	G+Ex+0.3Ey	0.000
70353	L120X12	Brace	No Messages	0.451	G+Ex+0.3Ey	1.352
70354	L120X12	Brace	No Messages	0.345	G+Ex+0.3Ey	1.352
70355	L120X12	Brace	No Messages	0.335	G+Ex+0.3Ey	0.000
70356	L120X12	Brace	No Messages	0.486	G+Ex+0.3Ey	0.000
70357	L120X12	Brace	No Messages	0.449	G+Ex+0.3Ey	0.000
70358	L120X12	Brace	No Messages	0.438	G+Ex+0.3Ey	0.647
70359	L120X12	Brace	No Messages	0.446	G+Ex+0.3Ey	0.647
70360	L120X12	Brace	No Messages	0.524	G+Ex+0.3Ey	0.000
70361	L120X12	Brace	No Messages	0.654	G+Ex+0.3Ey	0.647
70362	L120X12	Brace	No Messages	0.633	G+Ex+0.3Ey	0.000
70363	L120X12	Brace	No Messages	0.644	G+Ex+0.3Ey	0.000
70364	L120X12	Brace	No Messages	0.673	G+Ex+0.3Ey	0.000
70365	L120X12	Brace	No Messages	0.414	G+Ey+0.3Ex	1.352
70366	L120X12	Brace	No Messages	0.474	G+Ex+0.3Ey	1.352
70367	L120X12	Brace	No Messages	0.464	G+Ex+0.3Ey	1.352
70368	L120X12	Brace	No Messages	0.593	G+Ex+0.3Ey	1.352
70369	L120X12	Brace	No Messages	0.587	G+Ex+0.3Ey	1.352
70370	L120X12	Brace	No Messages	0.540	G+Ex+0.3Ey	1.352
70371	L120X12	Brace	No Messages	0.670	G+Ex+0.3Ey	0.676
70372	L120X12	Brace	No Messages	0.669	G+Ex+0.3Ey	1.352
70373	L120X12	Brace	No Messages	0.876	G+Ey+0.3Ex	1.352
70374	L120X12	Brace	No Messages	0.902	G+Ey+0.3Ex	1.352

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώρα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70375	L120X12	Brace	No Messages	0.360	G+Ex+0.3Ey	1.293
70376	L120X12	Brace	No Messages	0.309	G+Ex+0.3Ey	1.293
70377	L120X12	Brace	No Messages	0.307	G+Ex+0.3Ey	1.293
70378	L120X12	Brace	No Messages	0.328	G+Ex+0.3Ey	0.647
70379	L120X12	Brace	No Messages	0.488	G+Ex+0.3Ey	1.293
70380	L120X12	Brace	No Messages	0.443	G+Ex+0.3Ey	0.000
70381	L120X12	Brace	No Messages	0.444	G+Ex+0.3Ey	0.000
70382	L120X12	Brace	No Messages	0.453	G+Ex+0.3Ey	0.000
70383	L120X12	Brace	No Messages	0.342	G+Ey+0.3Ex	0.000
70384	L120X12	Brace	No Messages	0.329	G+Ex+0.3Ey	0.000
70385	L80X8	Beam	No Messages	0.272	G+Ey+0.3Ex	2.600
70386	L90X9	Brace	No Messages	0.098	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	2.241
70387	L90X9	Brace	No Messages	0.096	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	0.000
70388	L90X9	Brace	No Messages	0.519	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	1.734
70389	L90X9	Brace	No Messages	0.509	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	1.501
70390	L90X9	Brace	No Messages	0.206	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70391	L90X9	Brace	No Messages	0.202	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.841
70392	L90X9	Brace	No Messages	0.190	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70393	L90X9	Brace	No Messages	0.187	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70394	L90X9	Brace	No Messages	0.257	G+Ex+0.3Ey	0.000
70395	L90X9	Brace	No Messages	0.251	G+Ex+0.3Ey	1.501
70396	L90X9	Brace	No Messages	0.159	G+Ex+0.3Ey	2.453
70397	L90X9	Brace	No Messages	0.168	G+Ex+0.3Ey	1.121
70398	L90X9	Brace	No Messages	0.392	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.000
70399	L90X9	Brace	No Messages	0.377	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.000
70400	L90X9	Brace	No Messages	0.103	G+Ex+0.3Ey	1.043
70401	L90X9	Brace	No Messages	0.095	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	1.865
70402	L90X9	Brace	No Messages	0.392	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.953
70403	L90X9	Brace	No Messages	0.395	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.841
70404	L90X9	Brace	No Messages	0.178	G+Ey+0.3Ex	0.000
70405	L90X9	Brace	No Messages	0.177	G+Ey+0.3Ex	0.000
70406	L90X9	Brace	No Messages	0.306	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.751
70407	L90X9	Brace	No Messages	0.307	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.867
70408	L90X9	Brace	No Messages	0.355	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.933
70409	L90X9	Brace	No Messages	0.363	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	1.043
70410	L90X9	Brace	No Messages	0.114	G+Ex+0.3Ey	2.052
70411	L90X9	Brace	No Messages	0.101	G+Ex+0.3Ey	2.268
70412	L90X9	Brace	No Messages	0.285	1.35G+SFA+0.9(-W2+S)	2.454
70413	L90X9	Brace	No Messages	0.253	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	1.120
70414	L90X9	Brace	No Messages	0.321	G+Ex+0.3Ey	0.000
70415	L90X9	Brace	No Messages	0.334	G+Ex+0.3Ey	0.000

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70416	L90X9	Brace	No Messages	0.477	G+Ey+0.3Ex	0.867
70417	L90X9	Brace	No Messages	0.494	G+Ey+0.3Ex	0.000
70418	L90X9	Brace	No Messages	0.324	G+Ex+0.3Ey	0.000
70419	L90X9	Brace	No Messages	0.300	G+Ex+0.3Ey	0.000
70420	L90X9	Brace	No Messages	0.357	1.35G+SFA+0.9(-W2+S)	2.085
70421	L90X9	Brace	No Messages	0.333	1.35G+SFA+0.9(-W2+S)	1.865
70422	L90X9	Brace	No Messages	0.189	G+Ex+0.3Ey	0.000
70423	L90X9	Brace	No Messages	0.256	G+Ey+0.3Ex	0.000
70424	L90X9	Brace	No Messages	0.250	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.953
70425	L90X9	Brace	No Messages	0.287	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.841
70426	L90X9	Brace	No Messages	0.484	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	0.000
70427	L90X9	Brace	No Messages	0.452	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	1.733
70428	L90X9	Brace	No Messages	0.277	G+Ex+0.3Ey	0.000
70429	L90X9	Brace	No Messages	0.241	G+Ex+0.3Ey	2.242
70430	L90X9	Brace	No Messages	0.231	G+Ex+0.3Ey	0.000
70431	L90X9	Brace	No Messages	0.198	G+Ex+0.3Ey	2.241
70432	L90X9	Brace	No Messages	0.364	1.35G+SFA+0.9(-W2+S)	2.268
70433	L90X9	Brace	No Messages	0.367	1.35G+SFA+0.9(-W2+S)	2.052
70434	L90X9	Brace	No Messages	0.248	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70435	L90X9	Brace	No Messages	0.257	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70436	L90X9	Brace	No Messages	0.180	G+Ey+0.3Ex	2.270
70437	L90X9	Brace	No Messages	0.181	G+Ey+0.3Ex	2.053
70438	L90X9	Brace	No Messages	0.201	G+Ey+0.3Ex	1.043
70439	L90X9	Brace	No Messages	0.204	G+Ey+0.3Ex	1.866
70440	L90X9	Brace	No Messages	0.207	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	1.026
70441	L90X9	Brace	No Messages	0.213	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70442	L90X9	Brace	No Messages	0.205	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70443	L90X9	Brace	No Messages	0.214	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70444	L90X9	Brace	No Messages	0.185	G+Ey+0.3Ex	0.954
70445	L90X9	Brace	No Messages	0.202	G+Ex+0.3Ey	0.000
70446	L90X9	Brace	No Messages	0.456	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.000
70447	L90X9	Brace	No Messages	0.445	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	2.239
70448	L90X9	Brace	No Messages	0.318	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	1.907
70449	L90X9	Brace	No Messages	0.324	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	0.841
70450	L90X9	Brace	No Messages	0.144	G+Ex+0.3Ey	0.867
70451	L90X9	Brace	No Messages	0.137	G+Ey+0.3Ex	0.751
70452	L90X9	Brace	No Messages	0.125	1.35G+SFA+0.9(-W1+S)	1.907
70453	L90X9	Brace	No Messages	0.160	1.35G+SFA+0.9(-	0.000

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

					W1+S)	
70454	L90X9	Brace	No Messages	0.407	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	1.866
70455	L90X9	Brace	No Messages	0.433	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	2.086
70456	L90X9	Brace	No Messages	0.094	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	0.000
70457	L90X9	Brace	No Messages	0.095	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	1.866
70458	L90X9	Brace	No Messages	0.423	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	1.026
70459	L90X9	Brace	No Messages	0.429	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	2.270
70460	L90X9	Brace	No Messages	0.085	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	2.270
70461	L90X9	Brace	No Messages	0.102	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	0.000
70462	L90X9	Brace	No Messages	0.344	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	2.243
70463	L90X9	Brace	No Messages	0.374	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	2.455
70464	L90X9	Beam	No Messages	0.036	G+Ey+0.3Ex	0.000
70465	L90X9	Beam	No Messages	0.034	G+Ey+0.3Ex	2.428
70466	L90X9	Brace	No Messages	0.173	1.35G+SFA+0.9(- W2+S)	0.000
70467	L90X9	Brace	No Messages	0.144	1.35G+SFA+0.9(- W2+S)	0.927
70468	L90X9	Brace	No Messages	0.361	G+Ex+0.3Ey	0.927
70469	L90X9	Brace	No Messages	0.457	G+Ex+0.3Ey	0.927
70470	L90X9	Beam	No Messages	0.034	G+Ey+0.3Ex	2.428
70471	L90X9	Beam	No Messages	0.030	G+Ey+0.3Ex	2.428
70472	L90X9	Brace	No Messages	0.100	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	1.854
70473	L90X9	Brace	No Messages	0.131	G+Ey+0.3Ex	0.000
70474	L90X9	Brace	No Messages	0.313	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.927
70475	L90X9	Brace	No Messages	0.357	1.35G+SFA+0.9(W2+S)	0.000
70476	L90X9	Beam	No Messages	0.035	G+Ex+0.3Ey	0.000
70477	L90X9	Beam	No Messages	0.032	G+Ex+0.3Ey	2.431
70478	L90X9	Brace	No Messages	0.089	1.35G+SFA+0.9(- W2+S)	1.854
70479	L90X9	Brace	No Messages	0.100	G+Ex+0.3Ey	0.000
70480	L90X9	Brace	No Messages	0.453	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	1.854
70481	L90X9	Brace	No Messages	0.551	1.35G+SFA+0.9(- W1+S)	1.854
70482	L90X9	Beam	No Messages	0.024	G+Ex+0.3Ey	0.000
70483	L90X9	Beam	No Messages	0.040	G+Ex+0.3Ey	0.000
70484	L90X9	Brace	No Messages	0.224	G+Ex+0.3Ey	1.854
70485	L90X9	Brace	No Messages	0.173	G+Ey+0.3Ex	1.854

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώρα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70486	L90X9	Brace	No Messages	0.206	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70487	L90X9	Brace	No Messages	0.202	1.35G+SFA+0.9(W1+S)	0.000
70488	L90X9	Beam	No Messages	0.488	G+Ey+0.3Ex	0.650
70489	L90X9	Beam	No Messages	0.441	G+Ey+0.3Ex	0.000
70490	L90X9	Beam	No Messages	0.316	G+Ey+0.3Ex	0.000
70491	L90X9	Beam	No Messages	0.308	G+Ey+0.3Ex	1.300
70492	L90X9	Beam	No Messages	0.312	G+Ey+0.3Ex	0.000
70493	L90X9	Beam	No Messages	0.312	G+Ey+0.3Ex	0.650
70494	L90X9	Beam	No Messages	0.432	G+Ey+0.3Ex	1.300
70495	L90X9	Beam	No Messages	0.480	G+Ey+0.3Ex	0.650
70496	L120X12	Brace	No Messages	0.519	G+Ex+0.3Ey	0.000
70497	L120X12	Brace	No Messages	0.548	G+Ex+0.3Ey	0.394
70498	L120X12	Brace	No Messages	0.465	G+Ex+0.3Ey	0.550
70499	L120X12	Brace	No Messages	0.549	G+Ex+0.3Ey	0.601
70500	L120X12	Brace	No Messages	0.499	G+Ex+0.3Ey	0.000
70501	L120X12	Brace	No Messages	0.456	G+Ex+0.3Ey	1.100
70502	L120X12	Brace	No Messages	0.738	G+Ex+0.3Ey	0.000
70503	L120X12	Brace	No Messages	0.685	G+Ex+0.3Ey	0.000
70504	L120X12	Brace	No Messages	0.659	G+Ex+0.3Ey	0.000
70505	L120X12	Brace	No Messages	0.384	G+Ex+0.3Ey	0.601
70506	L120X12	Brace	No Messages	0.427	G+Ex+0.3Ey	0.394
70507	L120X12	Brace	No Messages	0.370	G+Ex+0.3Ey	0.550
70508	L90X9	Brace	No Messages	0.203	G+Ex+0.3Ey	0.000
70509	L90X9	Brace	No Messages	0.269	G+Ex+0.3Ey	0.051
70510	L90X9	Brace	No Messages	0.428	G+Ex+0.3Ey	0.007
70511	L90X9	Brace	No Messages	0.160	G+Ey+0.3Ex	0.472
70512	L80X8	Brace	No Messages	0.132	G+Ex+0.3Ey	0.534
70513	L80X8	Brace	No Messages	0.129	G+Ex+0.3Ey	0.739
70514	L110X10	Beam	No Messages	0.448	G+Ex+0.3Ey	1.225
70515	L110X10	Beam	No Messages	0.198	G+Ex+0.3Ey	1.225
70516	L80X8	Brace	No Messages	0.136	G+Ex+0.3Ey	0.534
70517	L80X8	Brace	No Messages	0.144	G+Ex+0.3Ey	0.739
70518	L110X10	Beam	No Messages	0.550	G+Ex+0.3Ey	0.000
70519	L110X10	Beam	No Messages	0.307	G+Ex+0.3Ey	1.225
70520	L80X8	Beam	No Messages	0.563	G+Ey+0.3Ex	0.000
70524	L90X9	Brace	No Messages	0.344	G+Ey+0.3Ex	0.000
70525	L80X8	Brace	No Messages	0.692	G+Ey+0.3Ex	2.472
70526	L110X10	Beam	No Messages	0.276	G+Ex+0.3Ey	1.285
70527	L110X10	Beam	No Messages	0.186	G+Ex+0.3Ey	1.102
70528	L90X9	Column	Overstressed	1.273	G+Ex+0.3Ey	1.100
70529	L90X9	Column	No Messages	0.717	G+Ex+0.3Ey	0.800
70530	L90X9	Column	No Messages	0.883	G+Ex+0.3Ey	0.550
70531	L90X9	Column	No Messages	0.709	G+Ey+0.3Ex	0.400
70535	L90X9	Column	No Messages	0.955	G+Ex+0.3Ey	0.550
70536	L90X9	Column	No Messages	0.708	G+Ex+0.3Ey	0.800

Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

70537	L90X9	Column	No Messages	0.635	G+Ex+0.3Ey	0.000
70538	L90X9	Column	Overstressed	1.111	G+Ex+0.3Ey	0.550
70539	L110X10	Brace	No Messages	0.327	G+Ex+0.3Ey	0.000
70540	L120X12	Brace	No Messages	0.286	G+Ex+0.3Ey	1.243
70541	L90X9	Brace	No Messages	0.184	G+Ex+0.3Ey	1.682
70542	L90X9	Brace	No Messages	0.148	G+Ex+0.3Ey	0.953
70543	L80X8	Brace	No Messages	0.668	G+Ey+0.3Ex	0.000
70544	L90X9	Column	No Messages	0.406	G+Ex+0.3Ey	0.000