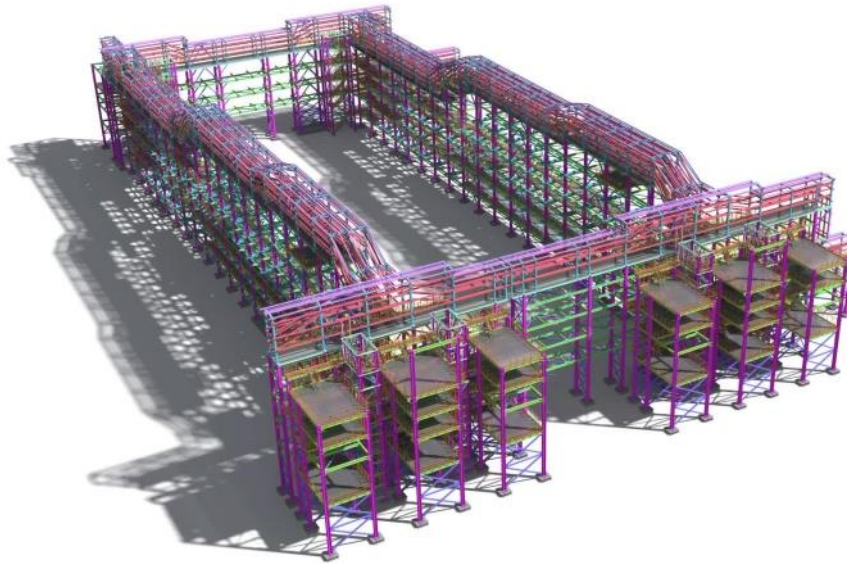




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

"Συγκριτική Αξιολόγηση Λογισμικών Σχεδιασμού Μεταλλικών Κατασκευών"



Διπλωματική Εργασία

Αδαμόπουλος Γεώργιος
Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2022

Copyright © Αδαμόπουλος Γεώργιος, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του Αδαμόπουλου Γεώργιου. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Adamopoulos Georgios, 2022
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Αδαμόπουλος Γεώργιος (2022)

"Συγκριτική Αξιολόγηση Λογισμικών Σχεδιασμού Μεταλλικών Κατασκευών"

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Adamopoulos Georgios (2022)

"Comparative Evaluation of Software for the Design of Steel Structures"

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Με τη συγγραφή τούτης της διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα των Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Από μικρό παιδί θαύμαζα τους ανθρώπους της επιστήμης, τους ανθρώπους που καθημερινά πασχίζουν να πάνε το "κόσμο" μας μπροστά, τους ανθρώπους που κατορθώνουν να κάνουν το αδύνατο δυνατό. Ίσως γιατί αυτοί, μέσα από μία εσωτερική ανάγκη και όχι από μία επιτηδευμένη ανησυχία ένιωθαν το αίσθημα της ευθύνης απέναντι στη κοινωνία μας. Αυτό το αίσθημα ευθύνης μετά από πολύ κόπο και προσπάθεια με έφερε σήμερα εδώ.

Στα χρόνια των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ανεβαίνοντας τον δύσκολο και μοναχικό δρόμο της επιστήμης και έχοντας ήδη περάσει επιτυχώς από ακόμα δύο πανεπιστήμια, προσπάθησα να εντοπίσω ανθρώπους που θα με εμπνεύσουν και θα αποτελέσουν κίνητρο να συνεχίσω τη προσπάθεια μου. Ένας από αυτούς με θέση ξεχωριστή στη φοιτητική μου διαδρομή είναι ο κ. Χάρης Γαντές, ο οποίος αποτέλεσε πρότυπο μηχανικού συνδυάζοντας τη θεωρητική γνώση σε βάθος μαζί με την πρακτική εμπειρία, συγκερασμένες από μία αποτελεσματική μεταδοτικότητα στην αίθουσα. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη του, τι συμβουλές του, τις γνώσεις του και κυρίως για την υπομονή του για την ολοκλήρωση της παρούσης.

Θα ήθελα επιπρόσθετα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Ψαρά, Πολιτικό Μηχανικό για την πολύτιμη βοήθεια του.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2022 5

"ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ"

ΑΔΑΜΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η ανάλυση και ο σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών στα προγράμματα στατικής, δυναμικής ανάλυσης και διαστασιολόγησης SAP2000 και Scada Pro. Αξιολογείται ο τρόπος μοντελοποίησης των κατασκευών διερευνώντας την ευχρηστία των προγραμμάτων και τις δυνατότητες κατά το σχεδιασμό, στον τρόπο χειρισμού επιβολής όλων των συνήθων φορτίσεων καθώς και στην αξιολόγηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων, τη σύγκριση των εντατικών μεγεθών και τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού των δομικών στοιχείων.

Ειδικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στις μεταλλικές κατασκευές αναλύοντας τα χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματα ή τα μειονεκτήματα τους καθώς και η εφαρμογή τους στη σύγχρονη κατασκευή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα επιμέρους στάδια και η φιλοσοφία κατά το σχεδιασμό μίας μεταλλικής κατασκευής όπως αυτά ακολουθούνται από τα περισσότερα εμπορικά προγράμματα και ο συσχετισμός των σταδίων αυτών με τη σχετική βιβλιογραφία των Ευρωκωδίκων με σκοπό την πλήρη ανάλυση της διαδικασίας αυτής αλλά και της δυνατότητας παραμετροποίησης της ακολουθίας σύμφωνα με το κανονισμό.

Στο τρίτο κεφάλαιο πλέον περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του φορέα που θα μελετηθεί και οι παραδοχές σχεδιασμού και ανάλυσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αφού γίνει ανάλυση των χαρακτηριστικών του προγράμματος Sap 2000, αναλύεται πλήρως η διαδικασία μοντελοποίησης-ανάλυσης-σχεδιασμού του φορέα στο πρόγραμμα αυτό καθώς και τα παραγόμενα αποτελέσματα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η αντίστοιχη διαδικασία όπως στο τέταρτο κεφάλαιο, με τον ίδιο φορέα διερεύνησης στο πρόγραμμα Scada Pro.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα των προηγούμενων κεφαλαίων, συγκρίνονται και αξιολογούνται. Παρατίθενται δε προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις διαφορές και τις ελλείψεις.



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

DIPLOMA
EMK ΔΕ 2022 5

"COMPARATIVE EVALUATION OF SOFTWARE FOR THE DESIGN OF STEEL STRUCTURES"

ADAMOPOULOS GEORGIOS

Supervisor: Professor Charis Gantes

ABSTRACT

In the present thesis, the analysis as well as the design of metal structures in the programs of static, dynamic analysis and dimensioning of metal structures SAP2000 and Scada Pro will be examined. The modelling of the structures is evaluated by investigating the usability of the programs and the possibilities in the design, in the way of handling the application of all common loads as well as in the evaluation of the obtained results, the comparison of the intensive sizes and the design characteristics of the structural elements.

More specifically, an introduction is made in the first chapter regarding metal structures by analysing their characteristics, advantages or disadvantages as well as their application in modern construction.

The second chapter analyses the individual stages and the design philosophy of a metal structure as they are followed by most commercial programs and the correlation of the aforementioned stages with the relevant bibliography of Eurocodes in order to fully analyse this process and the possibility of configuring the sequence according to the regulation.

In the third chapter, the characteristics of the carrier to be studied are thoroughly described as well as the design and analysis assumptions.

In the fourth chapter, after analysing the characteristics of the Sap 2000 program, the modelling-analysis-design process of the carrier in this program is fully analysed, as well as the results produced.

In the fifth chapter, the corresponding procedure is concluded as in the fourth chapter, with the same investigating carrier in the Scada Pro program.

Finally, in the sixth chapter, the results of the previous chapters are analysed, compared and evaluated. Suggestions for further research on differences and shortcomings are provided.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	17
Εισαγωγή	17
1.1 Οι τρεις πυλώνες	18
1.2 Ο Χάλυβας ‘‘Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα’’	19
1.3 Παραδείγματα Μεταλλικών Κατασκευών	22
1.4 Τύποι Μεταλλικών Κατασκευών	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	28
Φιλοσοφία σχεδιασμού Λογισμικά Ευρωκώδικες	28
2.1 Εισαγωγή στα προγράμματα στατικής και δυναμικής ανάλυσης.....	29
2.2 Τύπος Περρασμένων στοιχείων.....	30
2.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά φορέα και συνθήκες στήριξης.....	30
2.4 Χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν	31
2.5 Προεκτίμηση και ορισμός των διατομών των μελών.....	31
2.6 Διαμόρφωση πρόσθετων παραμέτρων φορέα	32
2.7 Εφαρμογή φορτίσεων, δημιουργία συνδυασμών και καθορισμού τύπου αναλύσεων.....	32
2.7.1 Μορφές Φορτίσεων – Μόνιμα φορτία	33
2.7.2 Μορφές Φορτίσεων – Μεταβλητά φορτία	33
2.7.2.1 Μεταβλητά Φορτία – Κινητά φορτία.....	33
2.7.2.2 Μεταβλητά Φορτία – Φορτίο Χιονιού.....	34
2.7.2.3 Μεταβλητά Φορτία – Φορτία Ανέμου	37
2.7.2.4 Μεταβλητά Φορτία – Φορτία Θερμοκρασίας	38
2.7.3 Μορφές Φορτίσεων – Τυχηματικά φορτία.....	39
2.7.4 Άλλες Δράσεις.....	43
2.7.5 Συνδυασμοί Φορτίσεων.....	43
2.7.6 Μέθοδοι Ανάλυσης	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	48
Χαρακτηριστικά εξεταζόμενου φορέα	48
3.1 Γενική Περιγραφή.....	49
3.1.1 Γεωμετρία	49
3.1.2 Υλικά κατασκευής.....	50
3.1.3 Ορισμός Διατομών	50
3.1.4 Λοιπές παράμετροι σχεδιασμού.....	50
3.2 Επιβαλλόμενα Φορτία	51
3.2.1 Μόνιμα φορτία	51
3.2.2 Κινητά φορτία	51
3.2.3 Φορτία Χιονιού	51
3.2.4 Φορτίο Ανέμου	52
3.2.5 Σεισμικές Δράσεις.....	67

3.2.6 Φορτία θερμοκρασίας	69
3.2.7 Συνδυασμοί Φόρτισης	69
3.3 Έλεγχος Κατασκευής	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	73
Ανάλυση και Σχεδιασμός στο Sap 2000	73
4.1 Εισαγωγή	74
4.2 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα	74
4.2.1 Μέλη φορέα	74
4.2.2 Συνθήκες Στήριξης	76
4.3 Ορισμός Υλικών	77
4.4 Ορισμός διατομών των μελών	79
4.5 Επιλογές εμφάνισης	82
4.6 Καθορισμός λοιπών παραμέτρων μοντελοποίησης	83
4.6.1 Εσωτερικές ελευθερώσεις μελών	83
4.6.2 Ενεργοποιούμενη μάζα	83
4.6.3 Κόμβοι Δοκών – Υποστυλωμάτων	84
4.7 Ορισμός Φορτίων	84
4.7.1 Καθορισμός μορφών φόρτισης	84
4.7.2 Ορισμός Φορτιστικών Καταστάσεων	85
4.7.3 Ορισμός δυναμικής φασματικής ανάλυσης	88
4.7.4 Συνδυασμοί δράσεων	89
4.7.5 Εφαρμογή φορτίων στο φορέα	90
4.8 Προσδιορισμός θέσεων εμφάνισης των αποτελεσμάτων	96
4.9 Ανάλυση Φορέα	97
4.9.1 Εντολή ανάλυσης	97
4.9.2 Αποτελέσματα ανάλυσης	98
4.9.2.1 Ιδιομορφική απόκριση φορέα	98
4.9.2.2 Μετακινήσεις φορέα	102
4.9.2.3 Μετακινήσεις φορέα κατά τη δυναμική φασματική ανάλυση	103
4.9.2.4 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών	104
4.9.2.5 Ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας από κάθε ιδιομορφή	108
4.9.3 Σχεδιασμός Φορέα	109
4.9.3.1 Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού	109
4.9.3.2 Αποτελέσματα σχεδιασμού	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	119
Ανάλυση και Σχεδιασμός στο Scada Pro	119
5.1 Εισαγωγή	120
5.2 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα	120
5.2.1 Μέλη φορέα	120
5.2.2 Συνθήκες Στήριξης	123

5.3 Ορισμός διατομών των μελών	124
5.4 Επιλογές εμφάνισης	125
5.5 Καθορισμός λοιπών παραμέτρων μοντελοποίησης	127
5.5.1 Εσωτερικές ελευθερώσεις μελών	127
5.5.2 Ενεργοποιούμενη μάζα	127
5.5.3 Κόμβοι Δοκών – Υποστυλωμάτων	127
5.6 Ορισμός Φορτίων	129
5.6.1 Καθορισμός μορφών φόρτισης	129
5.6.2 Εισαγωγή Φορτίων στο φορέα	130
5.7 Ανάλυση Φορέα	135
5.7.1 Δημιουργία σεναρίων ανάλυσης (Φορτιστικών καταστάσεων)	135
5.7.1.1 Σενάρια Στατικών Αναλύσεων	136
5.7.1.2 Σενάριο Δυναμικής Ανάλυσης (Σεισμού)	137
5.7.2 Συνδυασμοί δράσεων	142
5.9 Αποτελέσματα ανάλυσης	143
5.9.2.1 Ιδιομορφική απόκριση φορέα	143
5.9.2.2 Μετακινήσεις φορέα	148
5.9.2.3 Μετακινήσεις φορέα κατά τη δυναμική φασματική ανάλυση	150
5.9.2.4 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών	151
5.9.2.5 Ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας από κάθε ιδιομορφή	153
5.9.3 Σχεδιασμός Φορέα	155
5.9.3.1 Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού	155
5.9.3.2 Διαστασιολόγηση – Έλεγχος διατομών	162
5.9.3.3 Διαστασιολόγηση – Έλεγχος Λυγισμού	166
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	177
Συγκριτική αξιολόγηση προγραμμάτων σχεδιασμού	177
6.1 Σε επίπεδο μοντελοποίησης	178
6.2 Σε επίπεδο ανάλυσης	182
6.3 Σε επίπεδο σχεδιασμού	192

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: The Empire State New York 1931	22
Εικόνα 2: The Empire State New York 1931	22
Εικόνα 3: Ο πύργος του Αϊφελ 1889	23
Εικόνα 4: Heydar Aliyev Center 2013	23
Εικόνα 5: Guangzhou Opera House 1998	24
Εικόνα 6: Βιομηχανικό Κτίριο μεγάλου ανοίγματος στην Ευρώπη	24
Εικόνα 7: Γέφυρα Τσακώνας 2016	25
Εικόνα 8: Γέφυρα Τσακώνας Κατάστρωμα 2016	25
Εικόνα 9: Γέφυρα Χάρακα 2015	26
Εικόνα 10: Πολυκατοικία από μεταλλικό σκελετό στη Γλυφάδα Αττικής 2020	26
Εικόνα 11: Χάρτης απεικόνισης ζωνών χιονιού	35
Εικόνα 12: Συντελεστής μορφής σε δικλινείς στέγες	36
Εικόνα 13: Χάρτης Ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας	39
Εικόνα 14: Μορφολογία Φορέα	49
Εικόνα 15: Χάρτης περιοχών ταχυτήτων ανέμου	52
Εικόνα 16: Ύψος αναφοράς z_e που εξαρτάται από τα h και b , και αντίστοιχη κατανομή πιέσεων.	53
Εικόνα 17: Υπόμνημα για κατακόρυφους τοίχους	55
Εικόνα 18: Κατανομή φορτίσεων ανέμου στη διεύθυνση x	57
Εικόνα 19: Κατανομή φορτίσεων ανέμου στη διεύθυνση y	58
Εικόνα 20: Υπόμνημα για οριζόντιες στέγες	61
Εικόνα 21: Ζώνες πιέσεων για άνεμο κατά τη διεύθυνση x	63
Εικόνα 22: Ζώνες πιέσεων για άνεμο κατά τη διεύθυνση y	64
Εικόνα 23: Φασματική επιτάχυνση	68
Εικόνα 24: Ορισμός τριδιάστατου καννάβου	75
Εικόνα 25: Κάνναβος ως υπόβαθρο σχεδιασμού	75
Εικόνα 26: Μαθηματικό μοντέλο φορέα	76
Εικόνα 27: Καθορισμός συνθηκών στήριξης φορέα	77
Εικόνα 28: Ορισμός υλικού	77
Εικόνα 29: Ιδιότητες του υλικού που ορίζονται αυτοματοποιημένα	78
Εικόνα 30: Εισαγωγή Διατομών από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος	79
Εικόνα 31: Βιβλιοθήκη υλικών	80
Εικόνα 32: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής	80
Εικόνα 33: Ρεαλιστική παρουσίαση του φορέα	81
Εικόνα 34: Δυνατότητες εμφάνισης/απόκρυψης στοιχείων του φορέα	82
Εικόνα 35: Επιλογές εμφάνισης μοντέλου	82
Εικόνα 36: Επεξεργασία εσωτερικών ελευθερώσεων μελών	83
Εικόνα 37: Ορισμός φορτίσεων που ορίζουν την ενεργοποιούμενη μάζα	83
Εικόνα 38: Εισαγωγή δύσκαμπτων τμημάτων μελών	84
Εικόνα 39: Ορισμός μορφών φόρτισης στο Sap2000	85
Εικόνα 40: Είδος ανάλυσης για κάθε φόρτιση	86
Εικόνα 41: Χαρακτηριστικά Γραμμικής ελαστικής ανάλυσης στατικού τύπου	86
Εικόνα 42: Χαρακτηριστικά Φασματικής δυναμικής ανάλυσης	87
Εικόνα 43: Χαρακτηριστικά ιδιομορφικής ανάλυσης	87
Εικόνα 44: Δημιουργία φάσματος ανά διεύθυνση	88
Εικόνα 45: Χαρακτηριστικά φάσματος ανά διεύθυνση	88
Εικόνα 46: Παράθυρο δημιουργία συνδυασμών φόρτισης	89
Εικόνα 47: Ορισμός παραμέτρων συνδυασμού	89
Εικόνα 48: Μέθοδοι συνδυασμού φορτίων	90
Εικόνα 49: Παράθυρο εισαγωγής κατανεμημένου φορτίου σε μέλος	91
Εικόνα 50: Παράθυρο εισαγωγής συγκεντρωμένου φορτίου σε κόμβο	91
Εικόνα 51: Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία που δρουν στους δοκούς του φορέα	92
Εικόνα 52: Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία που δουν στους κόμβους των υποστυλωμάτων	92

Εικόνα 53: Κινητά φορτία οροφής	93
Εικόνα 54: Φορτία χιονιού.....	93
Εικόνα 55:Φορτία θερμοκρασίας.....	94
Εικόνα 56: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση Χ.....	94
Εικόνα 57:Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -Χ	95
Εικόνα 58: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση Υ.....	95
Εικόνα 59: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -Υ	96
Εικόνα 60: Ορισμός πλήθους θέσεων ελέγχου μελών φορέα	97
Εικόνα 61: Επιλογή παραμέτρων ανάλυσης.....	97
Εικόνα 62: Παράθυρο εντολών ανάλυσης φορτιστικών καταστάσεων	98
Εικόνα 63: Παράθυρο εντολής εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα	98
Εικόνα 64: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με $T=0,361$...	99
Εικόνα 65: Παραμορφωμένη κατάσταση 1ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,361$	99
Εικόνα 66: Παραμορφωμένη κατάσταση 2ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,356$	100
Εικόνα 67: Παραμορφωμένη κατάσταση 3ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,356$	100
Εικόνα 68: Παραμορφωμένη κατάσταση 4ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,355$	100
Εικόνα 69: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και $T=0,206$	101
Εικόνα 70: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$	101
Εικόνα 71: Επιλογές εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα σύμφωνα με τη φορτιστική του κατάσταση.....	102
Εικόνα 72: Μετακινήσεις κόμβου 103 υπό την επίδραση φορτίων χιονιού	103
Εικόνα 73: Οπτική απεικόνιση παραμορφωμένης κατάστασης φορέα με τις μέγιστες μετατοπίσεις σε κάθε κόμβο από το συνδυασμό των ιδιομορφών	103
Εικόνα 74: Πίνακας επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε μέλη	104
Εικόνα 75: Πίνακας επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε κόμβους (αντιδράσεις στήριξης)	105
Εικόνα 76: Εμφάνιση διαγράμματος καμπτικών ροπών M33 για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"	105
Εικόνα 77: Εμφάνιση διαγράμματος καμπτικών ροπών M33 για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"	106
Εικόνα 78: Εμφάνιση διαγράμματος αξονικών δυνάμεων για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"	106
Εικόνα 79: Χαρακτηριστικά εντατικής κατάστασης επιλεγμένου (με κόκκινο) υποστυλώματος	107
Εικόνα 80: Πίνακας παρουσίασης χαρακτηριστικών υποστυλώματος από τη φόρτιση "SEISMOSX1"	107
Εικόνα 81: Πίνακας ενεργοποιούμενης μάζας ανά διεύθυνση	108
Εικόνα 82: Ορισμός παραμέτρων διαστασιολόγησης.....	109
Εικόνα 83: Πεδίο ορισμού συνδυασμών αστοχίας και λειτουργικότητας	110
Εικόνα 84: Πίνακας επεξεργασίας παραμέτρων σχεδιασμού υποστυλωμάτων.....	111
Εικόνα 85: Πίνακας επεξεργασίας παραμέτρων σχεδιασμού χιαστή συνδέσμων	112
Εικόνα 86: Αποτελέσματα σχεδιασμού με χρωματική διαβάθμιση του συντελεστή εξάντλησης κάθε μέλους	113
Εικόνα 87: Θέση υπ' αριθμόν 269 μέλους	113
Εικόνα 88: Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου αστοχίας κατά τη διαδικασία σχεδιασμού για το μέλος 269	114
Εικόνα 89: Εντατικά μεγέθη μέλους για το συνδυασμό "OKAWy-T" από τη φάση ανάλυσης	114
Εικόνα 90: Στοιχεία ελέγχου μέλους 269 σε OKA	115
Εικόνα 91: Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου σε λειτουργικότητα κατά τη διαδικασία σχεδιασμού για το μέλος 269	116
Εικόνα 92:Εντατικά μεγέθη μέλους για το συνδυασμό "OKLWy-T" από τη φάση ανάλυσης	116
Εικόνα 93: Στοιχεία ελέγχου μέλους 269 σε OKL	117
Εικόνα 94: Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού	121
Εικόνα 95: Πίνακας ορισμού χαρακτηριστικών φορέα	121
Εικόνα 96: Πίνακας ορισμού χαρακτηριστικών φορέα	122

Εικόνα 97: Τρισδιάστατο μαθηματικό μοντέλο φορέα	123
Εικόνα 98: Καθορισμός συνθηκών στήριξης φορέα	124
Εικόνα 99: Εισαγωγή Διατομών από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος και γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής	124
Εικόνα 100: Δυνατότητες εμφάνισης του φορέα με φωτορεαλισμό	126
Εικόνα 101: Επιλογές εμφάνισης μοντέλου	126
Εικόνα 102: Επεξεργασία εσωτερικών ελευθερώσεων μελών	127
Εικόνα 103: Εισαγωγή δύσκαμπτου τμήματος υποστυλώματος	128
Εικόνα 104: Εισαγωγή δύσκαμπτου τμήματος δοκού	128
Εικόνα 105: Ορισμός μορφών φόρτισης στο Scada	129
Εικόνα 106: Παράθυρο επιλογής μελών και κόμβων προς φόρτιση	130
Εικόνα 107: Παράθυρο εισαγωγής φορτίσεων στα μέλη και τους κόμβους	131
Εικόνα 108: Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία που δρουν στους δοκούς και τους κόμβους του φορέα επιπλέον του ίδιου βάρους	131
Εικόνα 109: Κινητά φορτία οροφής	132
Εικόνα 110: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση X	132
Εικόνα 111: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση Z	133
Εικόνα 112: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -X	133
Εικόνα 113: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -Z	133
Εικόνα 114: Φορτία Θερμοκρασιακά	134
Εικόνα 115: Φορτία Χιονιού	134
Εικόνα 116: Επιλογές εμφάνισης φορτίσεων	135
Εικόνα 117: Παράθυρα δημιουργίας σεναρίων ανάλυσης	136
Εικόνα 118: Επιλογή μορφής ανάλυσης για το σενάριο	136
Εικόνα 119: Παράθυρα δημιουργίας στατικών σεναρίων	137
Εικόνα 120: Παράθυρο δημιουργίας Σεναρίου δυναμικής ανάλυσης	138
Εικόνα 121: Πίνακας τιμών πολλαπλασιαστών ιδιοτήτων γραμμικών μελών	138
Εικόνα 122: Πίνακας επεξεργασίας διαφραγματικής λειτουργίας και είδους έδρασης ..	139
Εικόνα 123: Επιλογή Ενεργού σεναρίου	139
Εικόνα 124: Παράθυρο καθορισμού και ελέγχου δεδομένων σεναρίου σεισμικών δράσεων	139
Εικόνα 125: Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων δυναμικής ανάλυσης σύμφωνα με το EC-8 και το Ελληνικό προσάρτημα	140
Εικόνα 126: Πίνακας ορισμού πλήθους ιδιομορφών, ακρίβειας και επαλληλίας	141
Εικόνα 127: Πίνακας εισαγωγής συνδυασμών	142
Εικόνα 128: Αποτελέσματα για τους συνδυασμούς που έχουμε ορίσει	143
Εικόνα 129: Παράθυρο εντολής εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα	144
Εικόνα 130: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με $T=0,363$	144
Εικόνα 131: Παραμορφωμένη κατάσταση 1ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,363$	145
Εικόνα 132: Παραμορφωμένη κατάσταση 2ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,358$	145
Εικόνα 133: Παραμορφωμένη κατάσταση 3ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,358$	146
Εικόνα 134: Παραμορφωμένη κατάσταση 4ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,358$	146
Εικόνα 135: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 5η ιδιομορφή και $T=0,355$	146
Εικόνα 136: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και $T=0,205$	147
Εικόνα 137: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$..	147
Εικόνα 138: Επιλογές εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα σύμφωνα με τη φορτιστική του κατάσταση	148
Εικόνα 139: Παράθυρο επιλογής φόρτισης για το παραμορφωμένο φορέα	149
Εικόνα 140: Μετακινήσεις κόμβων μελών υπό την επίδραση φορτίων χιονιού	149
Εικόνα 141: Οπτική απεικόνιση παραμορφωμένης κατάστασης φορέα με τις μέγιστες μετατοπίσεις σε κάθε κόμβο από το συνδυασμό των ιδιομορφών	150
Εικόνα 142: Πίνακας επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε μέλη	151
Εικόνα 143: Μπάρα επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε μέλη ή κόμβους	151
Εικόνα 144: Εμφάνιση διαγράμματος καμπτικών ροπών M_y για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"	152
Εικόνα 145: Εμφάνιση διαγράμματος αξονικών δυνάμεων για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"	152

Εικόνα 146: Εντολή επιλογής παρουσίασης αποτελεσμάτων εντατικών μεγεθών σε κάθε μέλος	153
Εικόνα 147: Πίνακας παρουσίασης χαρακτηριστικών υποστυλώματος από τη φόρτιση "SEISMOSX1"	153
Εικόνα 148: Παράμετροι σεισμού	154
Εικόνα 149: Ιδιοπερίοδοι φορέα για κάθε ιδιομορφή	154
Εικόνα 150: Ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας ανά διεύθυνση	155
Εικόνα 151: Μπάρα πεδίου Διαστασιολόγησης	156
Εικόνα 152: Μπάρα ορισμού σεναρίου διαστασιολόγησης	156
Εικόνα 153: Ορισμός σεναρίου διαστασιολόγησης	156
Εικόνα 154: Πίνακας ορισμού παραμέτρων	157
Εικόνα 155: Καθορισμός γενικών παραμέτρων σχεδιασμού	158
Εικόνα 156: Καθορισμός παραμέτρων εφελκυσμού	158
Εικόνα 157: Καθορισμός παραμέτρων διάτμησης	159
Εικόνα 158: Καθορισμός παραμέτρων στρέψης	159
Εικόνα 159: Καθορισμός παραμέτρων θλίψης, κάμψης, κάμψης & αξονικής, κάμψης & διάτμησης, κάμψης & διάτμησης & αξονικής	160
Εικόνα 160: Εντολή επεξεργασίας κρίσιμου μήκους λυγισμού μελών	161
Εικόνα 161: Εμφάνιση ενοποιημένων δοκών	161
Εικόνα 162: Πίνακας εντολών διαστασιολόγησης	162
Εικόνα 163: Αποτελέσματα ελέγχου διαστασιολόγησης	162
Εικόνα 164: Αναλυτική παρουσίαση εντατικών μεγεθών που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό	163
Εικόνα 165: Παράθυρο "Διερεύνηση Layer"	164
Εικόνα 166: Παράθυρο "Αποτελέσματα Τεύχους"	165
Εικόνα 167: Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων σχεδιασμού σε επίπεδο μέλους	166
Εικόνα 168: Επιλογή μελών προς έλεγχο για την ομάδα layer που ανήκουν	167
Εικόνα 169: Πίνακας ορισμού παραμέτρων σχεδιασμού	167
Εικόνα 170: Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων μήκους λυγισμού	168
Εικόνα 171: Τύπος δέσμευσης άκρου στύλων	169
Εικόνα 172: Τύπος φόρτισης στύλων	169
Εικόνα 173: Θέση επιβολής φορτίου	169
Εικόνα 174: Χρωματική ένδειξη επάρκειας ομάδας layer	170
Εικόνα 175: Πίνακας συντελεστών εξάντλησης μελών για κάθε έλεγχο	170
Εικόνα 176: Παραγόμενο τεύχος αποτελεσμάτων "Διερεύνηση μέλους λυγισμός"	171
Εικόνα 177: Παραγόμενο τεύχος αποτελεσμάτων "Διερεύνηση μέλους λειτουργικότητα"	172
Εικόνα 178: Τεύχος αναλυτικών υπολογισμών έναντι ελέγχων λυγισμού	173
Εικόνα 179: Ορισμός παραμέτρων δοκών	174
Εικόνα 180: Αποτελέσματα ελέγχου δοκών έναντι λυγισμού	175
Εικόνα 181: Πίνακας επιλεγής εμφάνισης λόγου εξάντλησης μελών	175
Εικόνα 182: Εμφάνιση λόγου εξάντλησης σε κάθε μέλος υποστυλώματος	176
Εικόνα 183: Λόγοι εξάντλησης παραμορφώσεων δοκών	176
Εικόνα 184: Πίνακας εισαγωγής φορτίων στον υπολογισμό της ενεργοποιούμενης μάζας στο Sap2000	179
Εικόνα 185: Εικόνα επιβαλλόμενου φορτίου χιονιού στο Sap2000	180
Εικόνα 186: Εικόνα επιβαλλόμενου φορτίου χιονιού στο Scada Pro	180
Εικόνα 187: Εισαγωγή θερμοκρασιακού φορτίου στο Sap2000	181
Εικόνα 188: Εισαγωγή θερμοκρασιακού φορτίου στο Scada Pro	181
Εικόνα 189: Διαθέσιμες επιλογές Load Case Type	182
Εικόνα 190: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με T=0,361 στο Sap2000	184
Εικόνα 191: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με T=0,363 στο Scada Pro	184
Εικόνα 192: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και T=0,206 στο Sap2000	185

Εικόνα 193: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και $T=0,205$ στο Scada Pro	185
Εικόνα 194: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$ στο Sap2000	186
Εικόνα 195: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$ στο Scada Pro	186
Εικόνα 196: Παραμόρφωση 4,8 εκ. στο κέντρο της οροφής από φορτία χιονιού στο Sap2000	187
Εικόνα 197: Παραμόρφωση 4,4 εκ στο κέντρο της οροφής από φορτία χιονιού στο Scada Pro	187
Εικόνα 198: Διάγραμμα εντατικών μεγεθών για αναπτυσσόμενες ροπές στο Sap2000 από τη δράση της φόρτισης ανέμου κατά τη διεύθυνση X	188
Εικόνα 199: Διάγραμμα εντατικών μεγεθών για αναπτυσσόμενες ροπές στο Scada Pro από τη δράση της φόρτισης ανέμου κατά τη διεύθυνση X	188
Εικόνα 200: Τιμή ροπής στο πόδα του υποστυλώματος με τιμή $-32,01$ KNm στο Sap2000	189
Εικόνα 201: Τιμή ροπής στη κεφαλή του υποστυλώματος με τιμή $19,15$ KNm στο Sap2000	190
Εικόνα 202: Τιμή ροπών του υποστυλώματος στο Scada Pro	190
Εικόνα 203: Πίνακας ιδιομορφών με ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας κατά τη διεύθυνση X και Y στο Sap 2000	191
Εικόνα 204: Πίνακας ιδιομορφών με ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας κατά τη διεύθυνση X και Z στο Scada Pro	191
Εικόνα 205: Επεξεργασία γενικών παραμέτρων σχεδιασμού στο Sap2000	192
Εικόνα 206: Επεξεργασία ειδικών παραμέτρων σχεδιασμού μελών στο Sap2000	193
Εικόνα 207: Ταξινόμηση συνδυασμών σχεδιασμού στο SAP2000	193
Εικόνα 208: Επεξεργασία παραμέτρων σχεδιασμού ομάδας δομικών στοιχείων στο Scada Pro	194
Εικόνα 209: Μέλος φορέα προς εξέταση	195
Εικόνα 210: Συντελεστής εξάντλησης μέλους στο Sap2000 από τον συνδυασμό OKA5Wγ	196
Εικόνα 211: Το ίδιο μέλος εμφανίζει συντελεστή εξάντλησης 55% της αντοχής του στους ελέγχους διατομής για τη δράση του συνδυασμού 105 στο Scada Pro από τον συνδυασμό 105	196
Εικόνα 212: Το ίδιο μέλος εμφανίζει συντελεστή εξάντλησης 53% της αντοχής του στους ελέγχους λυγισμού για τη δράση του συνδυασμού 105 στο Scada Pro από τον συνδυασμό 105	197
Εικόνα 213: Εξεταζόμενο μέλος	197
Εικόνα 214: Έλεγχος μέλους σε OKL στο Sap 2000	198
Εικόνα 215: Τεύχος αποτελεσμάτων στο Sap 2000 για το εξεταζόμενο μέλος	198
Εικόνα 216: Αποτελέσματα ελέγχου στην OKL στο Scada Pro	199

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1:Κατηγορίες χρήσεων	34
Πίνακας 2: Επιβαλλόμενα φορτία σε δάπεδα, εξώστες και σκάλες κτιρίων	34
Πίνακας 3:Συντελεστής μορφής φορτίου	36
Πίνακας 4: Κατηγορίες Σπουδαιότητας.....	40
Πίνακας 5: Κατηγορίες εδάφους	41
Πίνακας 6:Τιμές Συντελεστή θεμελίωσης θ	42
Πίνακας 7: Τιμές συντελεστή συμπεριφοράς q	43
Πίνακας 8: Προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ψ για κτίρια	44
Πίνακας 9:Κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι	53
Πίνακας 10: Προτεινόμενες τιμές συντελεστών εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων ορθογωνικής κάτοψης	56
Πίνακας 11:- Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για οριζόντιες στέγες	62
Πίνακας 12:Τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν τα συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης τύπου 1	67
Πίνακας 13:Συνδυασμοί φορτίσεων κατασκευής στην οριακή κατάσταση αστοχίας	70
Πίνακας 14:Συνδυασμοί φορτίσεων κατασκευής στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Οι τρεις πυλώνες

Η επιστήμη του Πολιτικού Μηχανικού στη σύγχρονη εποχή οφείλει να βασίζεται επάνω σε τρεις πυλώνες. Ο πρώτος βασικός και πιο σημαντικός πυλώνας είναι αυτός της ασφάλειας των κατασκευών, ο δεύτερος πυλώνας είναι αυτός της οικονομίας του υλικού και ο τρίτος είναι αυτός της βελτιστοποίησης.

Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η ανάπτυξη σύγχρονων λογισμικών μηχανικού που καλύπτουν το ευρύ φάσμα γραμμικών και μη γραμμικών αναλύσεων, δίνουν τη δυνατότητα στο σύγχρονο μηχανικό να μελετήσει σε βάθος κατασκευές πολύπλοκες οι οποίες ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών τους. Κατασκευές με αντισεισμική συμπεριφορά, με δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων ανοιγμάτων και κτίρια πολυώροφα, μπορούν να επιλυθούν και να σχεδιαστούν με ακρίβεια μειώνοντας τους αστάθμητους παράγοντες κατά τη μελέτη που μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για την ασφάλεια του έργου και των χρηστών του.

Επιπρόσθετα η εξέλιξη στο τομέα των υλικών σε συνδυασμό με την υπολογιστική δυνατότητα για πολύπλοκες αναλύσεις όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δίνουν τη δυνατότητα χρήσης νέων υλικών, όπου ο μηχανικός είναι σε θέση να εκμεταλλευτεί τις ιδιαίτερες μηχανικές ιδιότητες που φέρουν και έτσι να δημιουργήσει ελαφριές και κατά συνέπεια οικονομικές κατασκευές. Από την άλλη οι ανάγκες για ταχύτερη ανέγερση, η τυποποίηση της κατασκευής μέσα από προετοιμασία - επεξεργασία και ποιοτικό έλεγχο των δομικών στοιχείων στο εργοστάσιο, καθώς και η απαίτηση επαναχρησιμοποίησης των μελών της κατασκευής όπως και η ευελιξία μετατροπών και προσθηκών σε υφιστάμενες κατασκευές, δημιουργούν την ανάγκη ύπαρξης υλικών τα οποία θα δίνουν λύσεις στα ανωτέρω προβλήματα και κατά συνέπεια συμβάλουν σε σημαντική μείωση του κόστους.

Όμως, η ασφάλεια και η οικονομία του υλικού στις κατασκευές είναι δύο έννοιες που δεν συγκλίνουν. Θεωρητικά μια απόλυτα ασφαλή κατασκευή θα έφερε πύκνωση των δομικών της στοιχείων τα οποία με τη σειρά τους θα έφεραν πολύ μεγάλες διατομές, πράγμα οικονομικά ασύμφορο και αντίθετο με τη σύγχρονη λογική των κατασκευών σε επίπεδο αρχιτεκτονικής και οικονομίας κλίμακας. Από την άλλη μία οικονομική κατασκευή με δομικά στοιχεία σε αραιή διάταξη τα οποία θα έφεραν λεπτές διατομές θα οδηγούσαν σε μία επισφαλής κατασκευή με ζητήματα αστάθειας. Έτσι, απαιτείται από το μηχανικό βαθιά επιστημονική γνώση, συνεχής έρευνα, τεχνική επάρκεια και εμπειρία ώστε να δημιουργήσει μία κατασκευή η οποία θα συνδυάζει με το βέλτιστο δυνατό τρόπο την ασφάλεια με την οικονομία.

1.2 Ο Χάλυβας “Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα”

Ένα σημαντικό υλικό που έχει ο σύγχρονος μελετητής στη διάθεση του για να καλύψει τις αρχές που βασίζονται στους τρεις πυλώνες ασφάλειας – οικονομίας υλικού και βελτιστοποίησης είναι ο χάλυβας. Όλο και περισσότερες κατασκευές στη σύγχρονη δόμηση είναι μεταλλικές. Ο χάλυβας είναι ένα όλκιμο υλικό το οποίο λόγω της δυνατότητας μορφοποίησης και επεξεργασίας του, δίνει μεγάλη αντοχή και δυσκαμψία έναντι του βάρους του και έτσι μπορεί να καλύψει το σύνολο των απαιτήσεων των σύγχρονων αναγκών όπως αναφέρονται παραπάνω.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του χάλυβα:

- Ο χάλυβας είναι αρκετά όλκιμος ώστε να μπορεί να παραλάβει φορτία πέραν του ορίου διαρροής του και να έχει σημαντικά περιθώρια πλαστικής παραμόρφωσης μέχρι την αστοχία του.
- Αποτελεί ένα οικολογικό υλικό καθότι μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στο 100%. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι το 40% της παραγωγής χάλυβα στη Γαλλία προκύπτει από την ανακύκλωση, εξοικονομώντας έτσι περίπου το 60% της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή του από πρώτες ύλες.
- Διαθέτει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, καθώς επίσης και τον υψηλότερο λόγο αντοχής προς ειδικό βάρος, κάτι που εξασφαλίζει το σχεδιασμό ελαφρύτερων κατασκευών.
- Έχει τη δυνατότητα άμεσης παραλαβής φόρτισης εφόσον δεν χρειάζεται χρόνος σκλήρυνσης όπως στο σκυρόδεμα.

Οι μεταλλικές κατασκευές καταλαμβάνουν όλο και περισσότερο χώρο το τομέα των κατασκευών γιατί έχει σημαντικά συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μορφών δόμησης. Τέτοια είναι:

- Ταχύτητα αφού η συναρμολόγηση της κατασκευής γίνεται επί τόπου στο εργοτάξιο από προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία στο εργοστάσιο
- Αποσυναρμολόγηση της κατασκευής και μεταφορά της σε άλλο χώρο ή πώληση των δομικών στοιχείων με τιμή ανά Kg χωρίς δηλαδή να μειώνεται η αρχική αξία
- Δυνατότητα προσθηκών, μετατροπών ή διασκευών επί της κατασκευής με γρήγορο τρόπο λόγω της ποικιλίας των διατομών, των συνδέσεων και της προκατασκευής
- Ποιοτικός έλεγχος της κατασκευής για μείωση των κατασκευαστικών ατελειών και βιομηχανοποίηση της
- Βέλτιστη προσομοίωση του μαθηματικού μοντέλου της κατασκευής εφόσον λόγω του ποιοτικού ελέγχου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μελών, οι συνθήκες συνδέσεων και στηρίξεων είναι τυποποιημένα.

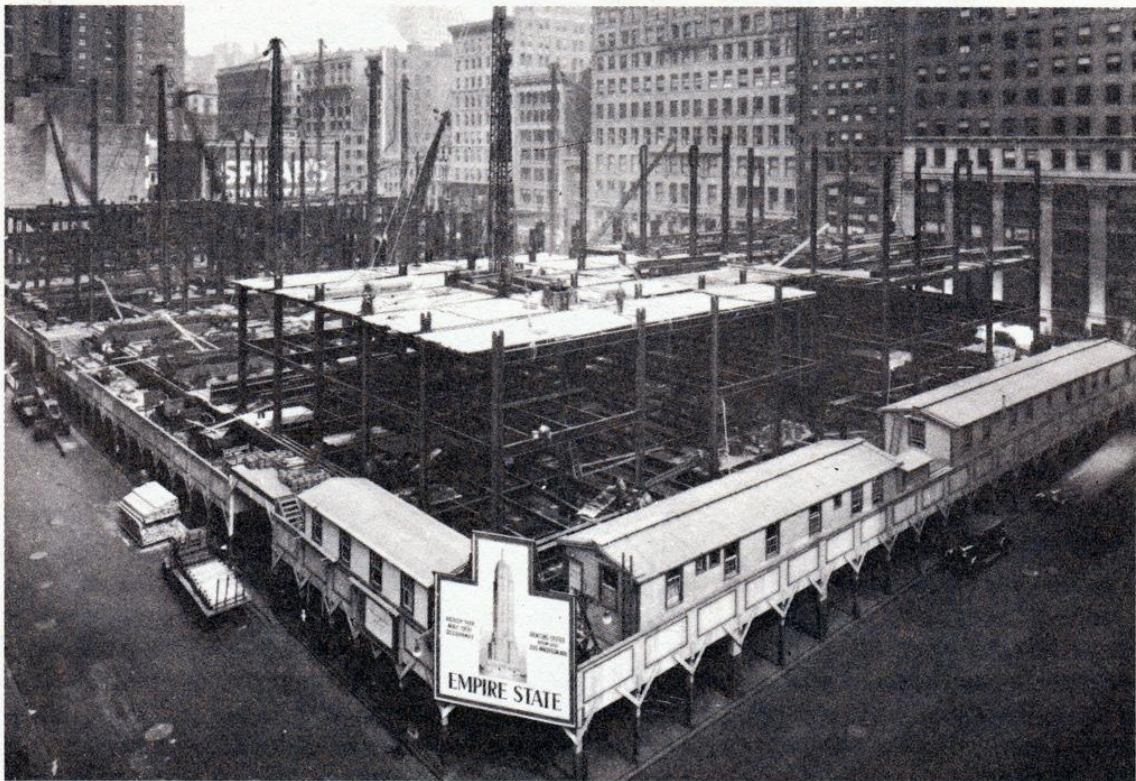
- Η δυνατότητα πραγματοποίησης ελαστικού και ανελαστικού σχεδιασμού. Οφείλεται στη χρησιμοποίηση ενός και μόνο πλήρως βιομηχανοποιημένου και όλκιμου υλικού, δηλαδή του χάλυβα
- Αύξηση χρόνου ζωής της κατασκευής μέσα από σωστή συντήρηση ή το γαλβανισμό
- Ελαφρύτερος σκελετός και συνεπώς μειωμένες απαιτήσεις διαστάσεων θεμελίωσης
- Μέσα από κατάλληλα συστήματα βαφής μπορεί η κατασκευή να γίνει πυράντοχη για χώρους αυξημένων απαιτήσεων σε πυραντίσταση
- Ενιαίοι χώροι λόγω δυνατότητας μεγάλων ανοιγμάτων και συνεπώς μεγαλύτερη ευελιξία στον εσωτερικό σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα
- Η μείωση των τιμών των προϊόντων χάλυβα μέσω αύξησης της παραγωγικότητας, η οποία επιτεύχθηκε με τη χρήση αυτόματων μεθόδων κοπής, διάτρησης και συγκόλλησης.
- Η χρήση τυποποιημένων συστημάτων για προσόψεις, διαχωριστικούς τοίχους, κλίμακες κλπ., εύκολα συνδεόμενων με το χαλύβδινο σκελετό.
- Μικρές διαστάσεις υποστυλωμάτων, που αυξάνουν τον ωφέλιμο χώρο στην κάτοψη και τα ελεύθερα ανοίγματα στις όψεις.
- Μεγάλο πλήθος διατομών που διατίθεται στην αγορά
- Μεγάλο πλήθος συνδέσεων που διατίθεται στην αγορά
- Η εξέλιξη της τεχνολογίας των συνδέσεων
- Η απαίτηση μικρού χρόνου κατασκευής με συνέπεια τη συντομότερη έναρξη απόδοσης επενδεδυμένου κεφαλαίου
- Μείωση εργοταξιακού κόστους και ανεξαρτησία ανέγερσης από καιρικές συνθήκες

Από την άλλη διαπιστώνουμε πως ενώ στην Ευρώπη και στην Αμερική χρησιμοποιούσαν το υλικό αυτό από τον 18^ο αιώνα, όπως χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το νηματοουργείο στο Derby της Αγγλίας (1792-93) το οποίο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τον επιχειρηματία – μηχανικό William Strutt, στην Ελλάδα ακόμα και σήμερα υπάρχει λιγότερη τεχνογνωσία με αποτέλεσμα να μην έχουμε άλλες εφαρμογές πέρα από τη γεφυροποιία και τα βιομηχανικά κτίρια. Ακόμα και στις κτιριακές κατασκευές για μεγάλο μέρος του τεχνικού κόσμου των μεταλλικών κατασκευών, κατασκευαστικά ζητήματα που αφορούσαν υγρομονώσεις, στεγανοποιήσεις, υδρορροές απορροής όμβριων υδάτων και στοιχεία πλήρωσης των ανοιγμάτων ήταν δυσεπίλυτα. Τα τελευταία χρόνια όμως με τη χρήση τυποποιημένων συστημάτων, υλικών ξηράς δόμησης, πλαγιοκαλύψεων και επικαλύψεων από ειδικά μεταλλικά φύλλα ή πανέλα καθώς και ειδικά

τεμάχια διαμόρφωσης των αρχιτεκτονικών στοιχείων των όψεων, βλέπουμε να κατασκευάζονται μεταλλικές κατασκευές για κτίρια πολυώροφων κατοικιών. Επιπρόσθετα κάποια σημαντικά ζητήματα που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στις μεταλλικές κατασκευές είναι ότι απαιτούν συνεχή και ενδεδειγμένη προστασία από τη διάβρωση και διαρκή συντήρηση, κάτι που επιβαρύνει οικονομικά τη ζωή του έργου. Παράλληλα η εκπόνηση μελέτης για ένα μεταλλικό έργο έχει αυξημένο κόστος αφού απαιτεί ειδικές γνώσεις που αφορούν το σχεδιασμό όπως ειδικό υπολογισμό των συνδέσεων καθώς και τεχνικές γνώσεις κατασκευαστικών ζητημάτων.

Αξίζει να σημειωθεί πως πέραν των πλεονεκτημάτων που μπορεί να έχει ένα δομικό σύστημα, βασικό κριτήριο για την επικράτηση του και την ανάπτυξη του είναι το κόστος αγοράς και η επάρκεια της πρώτης ύλης έναντι άλλων συστημάτων. Στην Ευρώπη, και για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, δεν γινόταν χρήση του χάλυβα σε οικοδομικά έργα. Οι κυριότερες αιτίες ήταν η έλλειψη χάλυβα, οι χαμηλές τιμές του σκυροδέματος και το υψηλό κόστος της πυροπροστασίας. Η κατάσταση αυτή άλλαξε ριζικά από τις αρχές του 1980 με την υιοθέτηση των αμερικανικών μεθόδων διαχείρισης fast-track με πρωτοπόρες την Αγγλία και τις σκανδιναβικές χώρες.

1.3 Παραδείγματα Μεταλλικών Κατασκευών



Εικόνα 1: The Empire State | New York | 1931



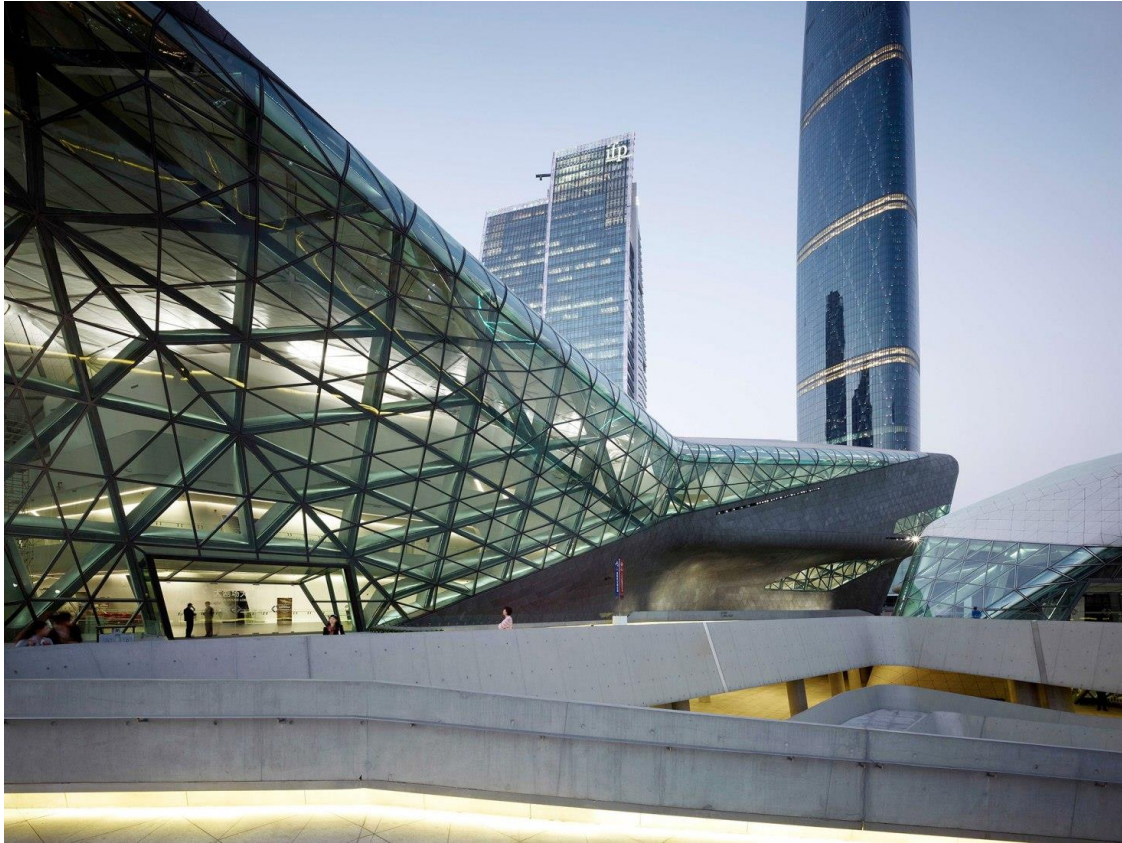
Εικόνα 2: The Empire State | New York | 1931



Εικόνα 3: Ο πύργος του Αίφελ | 1889



Εικόνα 4: Heydar Aliyev Center | 2013



Εικόνα 5: Guangzhou Opera House | 1998



Εικόνα 6: Βιομηχανικό Κτίριο μεγάλου ανοίγματος στην Ευρώπη



Εικόνα 7: Γέφυρα Τσακώνας | 2016



Εικόνα 8: Γέφυρα Τσακώνας | Κατάστρωμα | 2016



Εικόνα 9: Γέφυρα Χάρακα | 2015



Εικόνα 10: Πολυκατοικία από μεταλλικό σκελετό στη Γλυφάδα Αττικής | 2020

1.4 Τύποι Μεταλλικών Κατασκευών

Ανάλογα με το είδος της καταπόνησης των μελών τους, αλλά και τη μορφή τους, οι μεταλλικές κατασκευές διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κυρίως κατηγορίες, οι οποίες εμφανίζονται είτε μεμονωμένα, είτε και σε συνδυασμό μεταξύ τους :

Πλαισιωτές κατασκευές

Πρόκειται για επίπεδους ή χωρικούς φορείς που συντίθεται από ραβδωτά κυρίως μέλη, μέσω στερεών ή αρθρωτών κόμβων. Τα μέλη των κατασκευών της κατηγορίας αυτής καταπονούνται από αξονικές και διατμητικές δυνάμεις, καθώς και καμπτικές και στρεπτικές ροπές. Βιομηχανικά κτίρια και πολυώροφα κτίρια γραφείων, αποθηκευτικοί χώροι, χωροδικτυώματα, διάφορες μορφές σιδηρών γεφυρών, είναι μερικές από τις κατασκευές που ανήκουν στην κατηγορία αυτή.

Κελυφωτές κατασκευές

Συντίθενται κυρίως από επιφανειακά μέλη (επίπεδα ή καμπυλωμένα χαλύβδινα φύλλα), με προεξάρχουσα καταπόνηση τον εφελκυσμό. Πολλές φορές συνδυάζονται και με ραβδωτά μέλη, τα οποία είτε προσδίδουν ακαμψία στο φορέα, ή ακόμη μεταφέρουν μέρος των φορτίων στο έδαφος. Στην κατηγορία αυτή παραδείγματος χάριν ανήκουν οι δεξαμενές αποθήκευσης υγρών, σιλό, καπνοδόχοι και το κυρίως σώμα των πλοίων, αεροπλάνων και διαστημικών σκαφών.

Αναρτημένες κατασκευές

Στις κατασκευές αυτές το βασικό κατασκευαστικό στοιχείο είναι τα καλώδια (ευθύγραμμα ή καμπυλωμένα), τα οποία υπόκεινται σε εφελκυστικές δυνάμεις. Οι οροφές χώρων μεγάλης επιφάνειας και οι κρεμαστές γέφυρες αποτελούν χαρακτηριστικά δείγματα της κατηγορίας αυτής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φιλοσοφία σχεδιασμού | Λογισμικά | Ευρωκώδικες

2.1 Εισαγωγή στα προγράμματα στατικής και δυναμικής ανάλυσης

Τα σύνθετα προβλήματα για να επιλυθούν, πέρα από τους νόμους που τα διέπουν και τα μαθηματικά εργαλεία που προσομοιώνουν το πρόβλημα, απαιτούν ισχυρές υπολογιστικές μηχανές για την εξαγωγή συμπερασμάτων με σκοπό τη μελέτη του φαινομένου. Τα τελευταία χρόνια με την αλματώδη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών δίνεται η δυνατότητα στους μελετητές για ακριβέστερη αριθμητική προσομοίωση και ταχύτερη επίλυση των ζητημάτων αυτών.

Αναμφισβήτητα σημαντικό ρόλο έχει παίξει στην επιστήμη του πολιτικού μηχανικού η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών καθότι ο μηχανικός πλέον μπορεί να αντιμετωπίζει την ανάλυση και το σχεδιασμό μίας κατασκευής βασιζόμενος σε μία ολιστική προσέγγιση σχεδιασμού σε τρεις διαστάσεις και με τη δυνατότητα προσομοίωσης των μελών της κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία (Clough, 1960), την αναπαράσταση δηλαδή μίας "περιοχής" ως ένα σύνολο διακριτών υποπεριοχών.

Κάθε πρόβλημα είναι μοναδικό και απαιτεί ιδιαίτερο τρόπο χειρισμού και μεθόδου αντιμετώπισης. Ιδιαίτερα στο τομέα της μελέτης των κατασκευών κάθε έργο είναι ξεχωριστό, διαφέρει στη γεωμετρία, στη μάζα, στις συνθήκες στήριξης, στα φορτία που καλείτε να παραλάβει και στο έδαφος που πρέπει να εδραστεί. Συνεπώς απαιτείται από το μηχανικό να διαμορφώσει μία σειρά παραμέτρων προσαρμοσμένα στα δεδομένα του προβλήματος για την εξαγωγή κατά το δυνατόν, ασφαλών και παραγωγικών συμπερασμάτων με σκοπό να επιτελέσει το ζητούμενο.

Υπάρχουν πολλά εμπορικά προγράμματα Στατικής – Δυναμικής ανάλυσης των κατασκευών και Σχεδιασμού. Από όλα τα προγράμματα σχεδόν ακολουθείτε μία κοινή λογική στο τρόπο καθορισμού των παραμέτρων, στο τρόπο ανάλυσης και σχεδιασμού. Τα προγράμματα συνήθως διαφέρουν στη δυνατότητα που προσφέρουν στο χρήστη να επέμβει στη παραμετροποίηση των δεδομένων, στη δυνατότητα του υπολογιστικού φόρτου με την έννοια της ικανότητας συνδυασμού των επιβαλλόμενων φορτίσεων κατά την ανάλυση, στα εργαλεία - μεθόδους ανάλυσης που διατίθενται (θα αναπτυχθούν παρακάτω στο παρόν κεφάλαιο), στις ευκολίες μοντελοποίησης και σχεδιασμού που διαθέτουν όπως στον αυτοματοποιημένο τρόπο καθορισμού του φορέα ή στη δυνατότητα σχεδιασμού συνδέσεων (σε μεταλλικές κατασκευές) καθώς και στα παραγόμενα αποτελέσματα που μπορούν να προσφέρουν όπως σε πιθανόν κατασκευαστικά σχέδια που μπορούν αυτόματα να παράξουν ή τεύχη προσμετρήσεων ή δυνατότητα στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού μέσω ειδικών εργαλείων.

Οι μεταλλικές κατασκευές όπως έχει αναλυθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο διακρίνονται από τη τυποποίησή τους σε επίπεδο σύνθεσης και συνδέσεων καθώς και τη δυνατότητα ποιοτικού ελέγχου κατά τη φάση παραγωγής των μελών τους σε θέματα που αφορούν τις ατέλειες σε επίπεδο υλικού και γεωμετρίας, τις συγκολλήσεις, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κ.τ.λ.. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα της ανάπτυξης ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο προσομοιώνει κατά το δυνατόν τα χαρακτηριστικά της κατασκευής κατά τη φάση λειτουργίας. Έτσι με τη χρήση των ασφαλών αποτελεσμάτων από τη διαδικασία της ανάλυσης, την εφαρμογή του Ευρωκώδικα 3 στη φάση του σχεδιασμού και την κριτική ματιά του Μηχανικού, οδηγούμαστε στη δημιουργία μίας κατασκευής η οποία ικανοποιεί κατά τον βέλτιστο τρόπο το κριτήριο της ασφάλειας και της οικονομίας σε επίπεδο υλικού.

Οι βασικές παράμετροι που θα πρέπει να θέσει ένας μηχανικός αφού μελετήσει σε βάθος τα γεωμετρικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του Αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και καθορίσει τη μορφολογία και τα χαρακτηριστικά του δομικού σκελετού, είναι:

1. Τύπος πεπερασμένων στοιχείων
2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά του φορέα και συνθήκες στήριξης
3. Χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν
4. Προεκτίμηση και ορισμός των διατομών των μελών
5. Διαμόρφωση πρόσθετων παραμέτρων φορέα
6. Εφαρμογή φορτίσεων, δημιουργία συνδυασμών και καθορισμού τύπου αναλύσεων
7. Ανάλυση μοντέλου και αξιολόγηση αποτελεσμάτων
8. Έλεγχος επάρκειας των προεκτιμώμενων διατομών και σχεδιασμός συνδέσεων (για μεταλλικές κατασκευές)
9. Ανάπτυξη σχεδίων μελέτης και εφαρμογής

2.2 Τύπος Περασμένων στοιχείων

Ανάλογα με το είδος της κατασκευής χρησιμοποιείται και ο ανάλογος τύπος πεπερασμένων στοιχείων τα οποία διακρίνονται σε γραμμικά, επιφανειακά και χωρικά πεπερασμένα στοιχεία. Ο τύπος των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φορέα που θα μελετηθεί. Το μεγαλύτερο εύρος των κατασκευών αναλύεται με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία εφόσον μπορούν με ακρίβεια να προσομοιώσουν τα χαρακτηριστικά των μελών του φορέα. Επιφάνειες με σημαντικές διαστάσεις όπως πλάκες, τοιχία οπλισμένου σκυροδέματος, καταστρώματα γεφυρών, κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία λιθοδομής, προσομοιώνονται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Τέλος τα χωρικά πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιούνται όταν η διάσταση στη διεύθυνση του πάχους ενός στοιχείου είναι σημαντικά μεγάλη σε σχέση με τις άλλες δύο διαστάσεις ή σε περιπτώσεις μελέτης μεμονωμένων στοιχείων με τρεις σημαντικές διαστάσεις.

Το πλήθος των πεπερασμένων στοιχείων, οι διαστάσεις αυτών και οι ελευθερίες κίνησης σε κάθε κόμβο διαφέρουν στα διάφορα λογισμικά. Στα πλαίσια ανάλυσης συνήθων φορέων για τα υποστυλώματα και τις δοκούς χρησιμοποιούνται γραμμικά στοιχεία με κόμβους στα άκρα τους. Αυτή η μέθοδος σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι κατάλληλη για τη προσομοίωση αυτών των στοιχείων.

2.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά φορέα και συνθήκες στήριξης

Ο φορέας καθορίζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που ορίζονται στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Αφού προσδιοριστούν οι απαιτήσεις σε ύψος των ορόφων, μέγιστα ανοίγματα και θέσεις των υποστυλωμάτων, επιλέγεται το στατικό σύστημα ή ο συνδυασμός στατικών συστημάτων του φορέα που θα χρησιμοποιηθεί (επίπεδο πλαίσιο, επίπεδο δικτύωμα, επίπεδο τόξο ή εσχάρα δοκών).

Ο σχεδιασμός ξεκινά με το καθορισμό των μονάδων μέτρησης που θα χρησιμοποιηθούν για την εισαγωγή των δεδομένων (μονάδες μέτρησης του διεθνούς συστήματος στο SI). Στη συνέχεια μπορεί να οριστεί κάρναβος με τις θέσεις των κατακόρυφων μελών και στη

συνέχεια χειροκίνητα να σχεδιαστούν τα οριζόντια γραμμικά στοιχεία ή οποιοδήποτε άλλο στοιχείο φέρει το δομικό σύστημα. Πολλά από τα έτοιμα πακέτα λογισμικού δίνουν τη δυνατότητα χρήσης έτοιμων πρότυπων φορέων όπου ο χρήστης δίνει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φορέα και το είδος των διατομών και έτσι εισάγεται έτοιμο το επιθυμητό προσομοίωμα εξοικονομώντας αρκετό παραγωγικό χρόνο.

Επιπρόσθετα ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους ή τις συνθήκες στήριξης δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει την ενδοσιμότητα του εδάφους με τη χρήση κατάλληλων ελατηριακών σταθερών ή να καθορίσει τυχόν ελευθερίες κίνησης στους 6 βαθμούς ελευθερίας κίνησης κάθε κόμβου (μεταφορικούς ή στροφικούς) και να ορίσει συνθήκες πάκτωσης, άρθρωσης κ.τ.λ.

Αξίζει να σημειωθεί πως σε προγράμματα επιπέδου Sap2000 όπου θα αναλύσουμε σε επόμενα κεφάλαια η ανωτέρω διαδικασία γίνεται βήμα - βήμα από το χρήστη με πλήρη δυνατότητα παραμετροποίησης. Από την άλλη στα συνήθη πακέτα λογισμικού, η διαδικασία ορισμού των συνθηκών στήριξης γίνεται με αυτοματοποιημένο τρόπο μη ορατό από το χρήστη.

2.4 Χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν

Τα περισσότερα προγράμματα διαθέτουν έτοιμες βιβλιοθήκες υλικών με καθορισμένες τις μηχανικές ιδιότητες τους όπως το μέτρο ελαστικότητας "E", ο λόγος Poisson "ν", το μέτρο διάτμησης "G", το συντελεστή γραμμικής θερμικής διαστολής για $T_a \leq 100^\circ\text{C}$ "α", το ειδικό βάρος "γ" και τη πυκνότητα "ρ". Δίνεται όμως η δυνατότητα από το χρήστη να δημιουργήσει νέο υλικό σύμφωνα με τις ανάγκες του συμπληρώνοντας τα αντίστοιχα πεδία που αφορούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού όπως αναφέρονται παραπάνω.

Για τη διστασιολόγηση κατασκευών από χάλυβα, στο κεφάλαιο του Ευρωκώδικα EN1993-1-1 δίνεται:

- EN1993-1-1 §3.2.3, Πιν. 3.1 αναγράφονται οι ιδιότητες του δομικού χάλυβα για έλαση εν θερμώ και ανάλογα με το ονομαστικό πάχος του στοιχείου.
- EN1993-1-1 §3.2.6 αναγράφονται οι τιμές σχεδιασμού για τους συντελεστές του υλικού όπως αναφέρονται παραπάνω.

2.5 Προεκτίμηση και ορισμός των διατομών των μελών

Η προεκτίμηση των διατομών που θα χρησιμοποιηθούν στη κατασκευή απαιτεί από το μηχανικό βαθιά γνώση και εμπειρία και ουσιαστικά είναι μια διαδικασία για να γίνει ένα πρώτο βήμα ελέγχου ικανοποίησης των κριτηρίων σχεδιασμού σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Ανάλογα με τα αποτελέσματα του ελέγχου και σύμφωνα με τα κριτήρια του Ευρωκώδικα 3, γίνονται αλλαγές των διατομών των μελών από το μηχανικό μέχρι να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του κανονισμού.

Στο στάδιο αυτό της μοντελοποίησης προσδιορίζονται αδρανειακά χαρακτηριστικά των διατομών, όπως η ροπή αδράνειας "I_{y-z}", η ροπή αντίστασης "W_{y-z}", το εμβαδόν "A" κ.τ.λ. ενώ μπορεί να προσδιοριστεί η κατηγορία των διατομών σύμφωνα με το άρθρο EN1993-1-1 §5.5, και το πίνακα 5.2α και 5.2β και 5.2γ.

2.6 Διαμόρφωση πρόσθετων παραμέτρων φορέα

Κατά τη μοντελοποίηση ενός φορέα και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κατασκευής θα πρέπει να ληφθούν μία σειρά από πρόσθετες παραμέτρους. Η διαφραγματική λειτουργία που προσφέρει μια σύμμεικτη πλάκα σε ένα μεταλλικό κτίριο πρέπει να οριστεί από το χρήστη ώστε όλοι οι κόμβοι της στάθμης να έχουν την ίδια κατεύθυνση. Πρόσθετα στις θέσεις των κόμβων δοκού – υποστυλώματος θα πρέπει να οριστούν άκαμπτα άκρα στα γραμμικά στοιχεία ώστε να δηλώνετε η δυσκαμψία των στοιχείων στις θέσεις αυτές. Επιπρόσθετα κατά τη φάση σχεδιασμού σε κάποια προγράμματα του επιπέδου του Sap2000, μπορεί ο χρήστης να ορίσει τα μήκη λυγισμού των μελών σύμφωνα με το EN1993-1-1 §2.1 & E.2.3a, EN1993-1-1 §2.2 & E.2.3b, το EN1993-1-1 Πιν. E.1, το EN1993-1-1 Πιν. E.2 και το EN1993-1-1 Πιν. E.3 χειροκίνητα, διαφορετικά μπορούν να οριστούν αυτόματα από το πρόγραμμα όπως στα περισσότερα εμπορικά προγράμματα που δεν δίνουν τη δυνατότητα παραμετροποίησης του ανωτέρου στοιχείου.

2.7 Εφαρμογή φορτίσεων, δημιουργία συνδυασμών και καθορισμού τύπου αναλύσεων

Τα φορτία αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα στάδια διαδικασία της προσομοίωσης διότι αυτές τις φορτίσεις καλείται να παραλάβει με ασφάλεια ο φορέας κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου.

Η εκτίμηση του μεγέθους και του τρόπου επιβολής των δυνάμεων που δρουν στη κατασκευή δεν είναι εύκολη διαδικασία καθότι ανάλογα με το μέγεθος του έργου και τις ανάγκες που εξυπηρετεί υπάρχουν απρόβλεπτες καταστάσεις και συνθήκες. Συνεπώς ο καθορισμός των φορτίων και των συνδυασμών αυτών αποτελούν ένα κρίσιμο σημείο του σχεδιασμού που βασίζεται σε παραδοχές και προσεγγίσεις όπου πλαισιώνονται από τον Ευρωκώδικα 1 και διάφορα Εθνικά προσαρτήματα όπου περιγράφεται τόσο η ποιοτική όσο και η ποσοτική διάσταση των δράσεων.

Επιπρόσθετα ο καθορισμός του τύπου ανάλυσης που θα ακολουθηθεί για την επίλυση σχετίζεται με το τύπο του μοντέλου, το τύπο φόρτισης, το αποδεκτό επίπεδο αβεβαιότητας και το ζητούμενο αποτέλεσμα.

Τα βασικά κριτήρια επιλογής μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- Ο προσδιορισμός της απαίτησης ή της ικανότητας.
- Το τρόπο προσομοίωσης των φορτίων από απλές στατικές αναλύσεις, φασματικές μέχρι δυναμικές με χρονοιστορίες
- Αν λαμβάνονται υπόψη γραμμικές ή μη γραμμικές ιδιότητες ως προς την απόκριση των υλικών
- Αν λαμβάνονται υπόψη επιρροές P-Δ ή μεγάλες παραμορφώσεις (γεωμετρικές μη γραμμικότητες) σε επίπεδο γεωμετρίας του φορέα

Έτσι ο προσδιορισμός των εντατικών και παραμορφωσιακών μεγεθών του φορέα μπορούν να γίνουμε χρήση Ελαστικών ή Πλαστικών αναλύσεων με ανάλυσης 1^{ης} τάξης (παραμορφωμένο φορέα) ή 2^{ης} τάξης (απαραμόρφωτο φορέα) ακολουθώντας τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 8.

Οι πορεία καθορισμού των παραμέτρων που αφορούν τις συνθήκες φόρτισης και επιβολής αυτών, στα περισσότερα προγράμματα χωρίζονται στα εξής μέρη:

- Καθορισμός των μορφών φόρτισης που περιλαμβάνει τις κατηγορίες των φορτίσεων που δρουν στο φορέα, όπως μόνιμα, μεταβλητά, τυχηματικά φορτία.
- Καθορισμός φορτιστικών καταστάσεων που περιλαμβάνει το σύνολο φορτίσεων και των τύπο ανάλυσης του φορέα (στατικά φορτία, δυναμικά φορτία, ιδιομορφική ανάλυση κ.τ.λ.). Σε κάποια λογισμικά δίνεται η δυνατότητα να τεθούν φορτίσεις συνδυασμού διάφορων φορτίων με την επιβολή ανάλογων συντελεστών αλλά αυτό μπορεί να γίνει σε ίδιο τύπο φορτίων (π.χ. μόνο δυναμικά ή μόνο στατικά)
- Καθορισμό των συνδυασμών των αποτελεσμάτων των επιμέρους φορτιστικών καταστάσεων ακόμα και για διαφορετικούς τύπους φόρτισης. Μπορούν να γίνουν συνδυασμοί που αφορούν ταυτόχρονα μόνιμα, κινητά και σεισμικά φορτία και στη συνέχεια να συνδυαστούν με διάφορους τρόπους μεταξύ τους (π.χ. μέσω τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων SRSS ή άλλης μεθόδου) ή να παρουσιαστούν τα μέγιστα αποτελέσματα των φορτιστικών καταστάσεων ή συνδυασμών.

2.7.1 Μορφές Φορτίσεων – Μόνιμα φορτία

Αφορά τα φορτία τα οποία δρουν επί της κατασκευής και το μέγεθος τους δεν θα αλλάξει ούτε θα τροποποιηθεί με τη περίοδο του χρόνου εκτός αν προβλεφθεί οποιαδήποτε μετατροπή, διασκευή ή προσθήκη στις κτιριακές εγκαταστάσεις. Το φορτία αυτό αφορά κυρίως το ίδιο βάρος της κατασκευής και περιλαμβάνει το φέροντα οργανισμό, στοιχεία τοιχοπληρώσεων, οροφές, πλακάκια, γεμίσματα, ηλεκτρικά και υδραυλικά δίκτυα, μονώσεις, επενδύσεις όψεων, ανελκυστήρες κ.λ. Ο ευρωκώδικας 1 παρέχει αναλυτικούς πίνακες με τις χαρακτηριστικές τιμές της πυκνότητας διαφόρων υλικών.

2.7.2 Μορφές Φορτίσεων – Μεταβλητά φορτία

Τα φορτία αυτά είναι κυρίως μεταβλητά φορτία, προσδιορίζονται στατιστικά και δίνονται από τους σχετικούς κανονισμούς. Ουσιαστικά είναι φορτία τα οποία επενεργούν ως οίονει στατικές δράσεις εκτός αν ο τρόπος επιβολής ή σημαντική επιτάχυνση τους δημιουργεί ύπαρξη δυναμικών καταστάσεων. Οι μεταβλητές δράσεις θα πρέπει να τοποθετούνται κατά τον πλέον δυσμενή τρόπο στο φορέα ώστε να καλύπτονται όλες οι ακραίες συνθήκες φόρτισης. Ωστόσο επειδή η πιθανότητα της ταυτόχρονης φόρτισης όλων των χώρων (στη περίπτωση του κινητού φορτίου που θα αναλυθεί παρακάτω) θεωρείται μικρή, ο κανονισμός προβλέπει κάποια ποσοστά απομείωσης της τάξεως του 10% με 30% σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έργων για τα μεταβλητά φορτία.

2.7.2.1 Μεταβλητά Φορτία – Κινητά φορτία

Τα κινητά φορτία αφορούν φορτίσεις οι οποίες σχετίζονται με τη χρήση του κτιρίου και αφορούν τη κίνηση των ανθρώπων, τη τοποθέτηση επίπλων, τα αποθηκευμένα αντικείμενα, τα οχήματα κ.τ.λ.

Ανάλογα με τη κατηγορία χρήσης του χώρου δίνονται από το κανονισμό στο Προσάρτημα EN1991-1-1 τα επιβαλλόμενα φορτία που επιβάλλονται:

Πίνακας 1: Κατηγορίες χρήσεων

Κατηγορία	Συγκεκριμένη Χρήση	Παράδειγμα
A	Χώροι διαμονής	Δωμάτια σε κτήρια κατοικιών και σπίτια. Θάλαμοι και πτέρυγες σε νοσοκομεία. Υποδωμάτια σε ξενοδοχεία και ξενώνες, κουζίνες και τουαλέτες.
B	Χώροι γραφείων	
C	Χώροι στους οποίους οι άνθρωποι μπορεί να συναθροισθούν (με εξαίρεση τους χώρους που κατατάσσονται στις κατηγορίες A,B, και D ¹⁾)	C1: Χώροι με τραπέζια κλπ. Π.χ. σχολικοί χώροι, νηπιαγωγεία, καφενεία, εστιατόρια, αίθουσες φαγητού, αναγνωστήρια, χώροι υποδοχής. C2: Χώροι με σταθερά καθίσματα, Π.χ. χώροι σε εκκλησίες, θέατρα ή κινηματογράφους, αίθουσες συνεδριάσεων, αίθουσες ομιλίας, αίθουσες συγκεντρώσεων, χώροι αναμονής, χώροι αναμονής σε σιδηροδρομικούς σταθμούς. C3: Χώροι χωρίς εμπόδια στη διακίνηση του κοινού, π.χ. χώροι σε μουσεία, εκθεσιακοί χώροι, κλπ. και χώροι πρόσβασης σε δημόσια και διοικητικά κτήρια, ξενοδοχεία και νοσοκομεία. Προαύλια σιδηροδρομικών σταθμών. C4: Χώροι για πιθανές σωματικές δραστηριότητες, π.χ. αίθουσες χορού, αίθουσες γυμναστικής και θεατρικές σκηνές C5: Χώροι προσβάσιμοι από μεγάλα πλήθη, π.χ. για δημόσιες εκδηλώσεις όπως αίθουσες συναυλιών, κλειστά γήπεδα, εξέδρες γηπέδων, εξώστες και χώροι πρόσβασης, πλατφόρμες σιδηροδρόμων.
D	Χώροι με εμπορικά καταστήματα	D1: Χώροι σε καταστήματα λιανικής πώλησης, γενικά D2: Χώροι σε πολυκαταστήματα

Ενώ οι αντίστοιχες τιμές των δράσεων για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και συγκεντρωμένο έχουν ως εξής:

Πίνακας 2: Επιβαλλόμενα φορτία σε δάπεδα, εξώστες και σκάλες κτιρίων

Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
<i>Κατηγορία A και Κατηγορία B</i>		
- Δάπεδα	2,0	2,0
- Σκάλες	3,5	2,0
- Μπαλκόνια	5,0	3,0
Κατηγορία C		
- C1	3,0	3,0
- C2	5,0	4,0
- C3	5,0	4,0
- C4	5,0	4,0
- C5	7,5	4,5
Κατηγορία D		
- D1	5,0	4,0
- D2	5,0	4,0

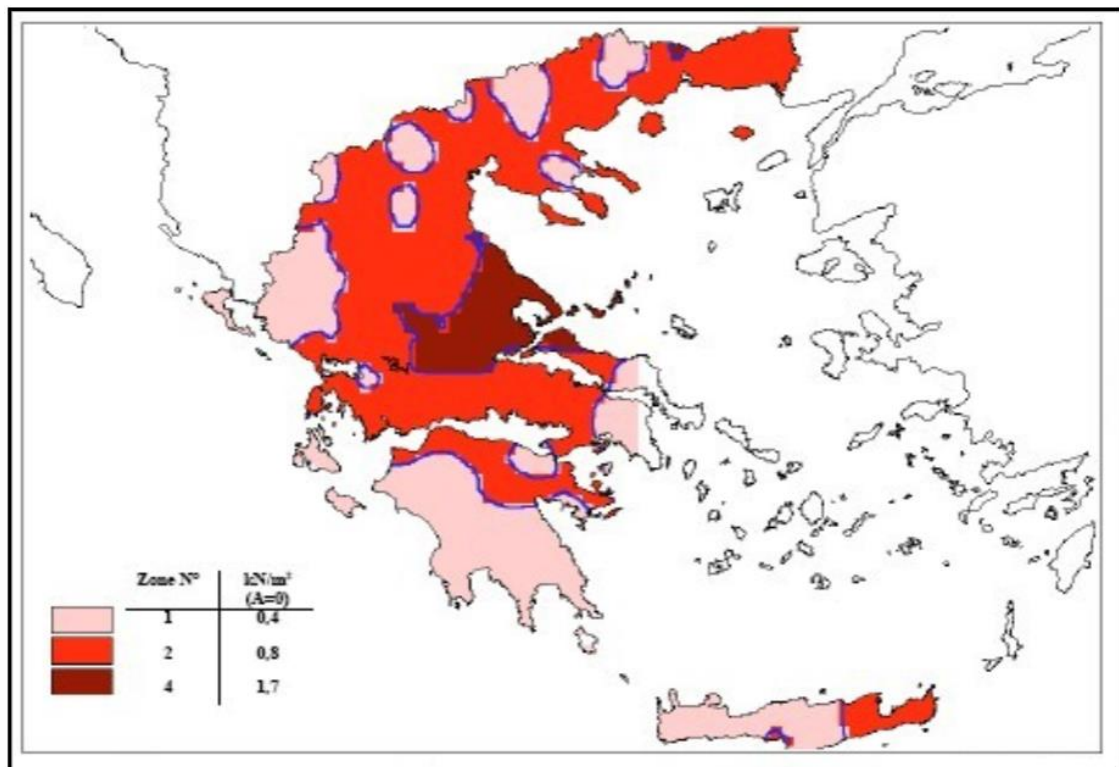
Λαμβάνεται υπόψη ότι το συγκεντρωμένο φορτίο πρέπει να θεωρείται ότι δρα μόνο του σε επιλεγμένες θέσεις για τοπικό έλεγχο.

2.7.2.2 Μεταβλητά Φορτία – Φορτίο Χιονιού

Τα φορτία λόγω χιονιού υπολογίζονται σύμφωνα με το μέρος 3 του Ευρωκώδικα 1. Ορίζονται με μία απλή τιμή φορτίου η οποία διαμορφώνεται ανάλογα με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της στέγης. Τα φορτία χιονιού υπολογίζονται σύμφωνα με το κανονισμό σε συνθήκες νηνεμίας με ταυτόχρονη συνύπαρξη ανέμων σε περιοχές με υψόμετρο κάτω από τα 1500 μ.

Το φορτίο δρα κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της στέγης ενώ η ποσότητα που εναποτίθεται στη στέγη αυτή εξαρτάται από το είδος της (οριζόντια ή κεκλιμένη στέγη), τη τοποθεσία του έργου, τη πυκνότητα του , την επιφάνεια του στοιχείου επικάλυψης κ.τ.λ.

Σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα του κανονισμού για την Ελλάδα, ορίζονται τρεις χαρακτηριστικές ζώνες με τιμές φορτίων $s_{k,0}$ για έδαφος που βρίσκεται στη στάθμη της θάλασσας:



Εικόνα 11:Χάρτης απεικόνισης ζωνών χιονιού

Ζώνη I ($s_{k,0}=0,4\text{kN/m}^2$): Νομοί Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και όλα τα νησιά των Σποράδων και της Εύβοιας

Ζώνη II ($s_{k,0}=0,8\text{kN/m}^2$): Υπόλοιπη χώρα

Ζώνη III ($s_{k,0}=1,7\text{kN/m}^2$): Νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια

Στην περίπτωση φορτίου χιονιού στην στέγη, προσδιορίζεται από τις σχέσεις για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές και καταστάσεις τυχηματικές:

α. Για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (2.1)$$

β. Για καταστάσεις τυχηματικές:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad} \quad (2.2)$$

Όπου:

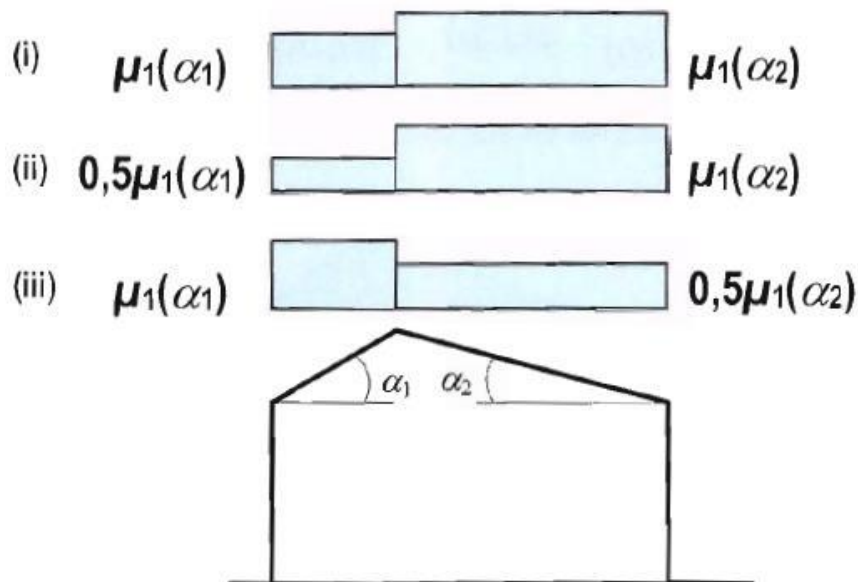
μ_i : είναι ο συντελεστής μορφής του φορτίου, ο οποίος δίνεται στο παρακάτω πίνακα. Για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων συντελεστών μορφής λαμβάνονται υπόψη δύο μορφές κατανομής φορτίου:

- Η πρώτη μορφή προκύπτει από μία ομοιόμορφη κατανομή του χιονιού πάνω σε ολόκληρη τη στέγη, εάν το χιόνι πέφτει με μικρή πνοή του ανέμου.
- Η δεύτερη μορφή προκύπτει από μία αρχική ασύμμετρη κατανομή, ή από τοπική συγκέντρωση σε εμπόδια, ή από ανακατανομή του χιονιού που επηρεάζει την κατανομή του φορτίου στο σύνολο της στέγης (π.χ. χιόνι που μεταφέρεται από την προσήνεμη προς την υπήνεμη πλευρά της στέγης).

Πίνακας 3: Συντελεστής μορφής φορτίου

Κλίση στέγης	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60-\alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8+0,8 \alpha/30$	1,6	—

- Για την περίπτωση της δικλινούς στέγης φαίνονται στην Εικόνα 12, οι προβλεπόμενες διατάξεις για τον συντελεστή μορφής φορτίου. Οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 3 ισχύουν όταν η ολίσθηση του χιονιού από τη στέγη δεν αποτρέπεται με κάποιο τρόπο. Όπου υπάρχουν φράχτες χιονιού ή άλλα εμπόδια, ή όπου η στέγη απολήγει σε παραπετάσματα, τότε ο συντελεστής μορφής φορτίων χιονιού δεν θα πρέπει να μειώνεται κάτω από 0,8.



Εικόνα 12: Συντελεστής μορφής σε δικλινείς στέγες

$S_{k,0}$: είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού για έδαφος που βρίσκεται στην στάθμη της θάλασσας (δηλαδή, για $A=0$), ο οποίος για την Ζώνη II ισούται με $0,8 \text{ kN/m}^2$

C_e : είναι ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1 για κανονικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Για έκθεση σε ισχυρούς ανέμους το $C_e = 0.8$ ενώ για κατασκευές προστατευόμενες από κτίρια ή δένδρα το $C_p = 1.2$.

C_t : είναι θερμικός συντελεστής, ο οποίος είναι συνήθως ίσος με 1 για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης.

S_k : είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους σε kN/m^2 συναρτήσει της ζώνης και του αντίστοιχου υψομέτρου (A), για μια συγκεκριμένη τοποθεσία και δίνεται από την σχέση: $s_k = s_{k,o} \times (1 + (A/917)^2)$ (2.3)

όπου:

A είναι το υψόμετρο της συγκεκριμένης τοποθεσίας από την στάθμη της θάλασσας

S_{ad} : είναι η τιμή σχεδιασμού του φορτίου χιονιού επί του εδάφους για την τυχηματική κατάσταση και υπολογίζεται από τη σχέση $S_{ad} = C_{esl} * S_k$ (2.4)

Σύμφωνα με τα ανωτέρω μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε το φορτίο χιονιού, από τη σχέση 2.1 ή 2.2 το οποίο το οποίο κατανέμεται στις δευτερεύουσες δοκούς και τις διαδοκίδες της οροφής, για πλάτος επιρροής ίσο με $w = 2,00$ m. Στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1991-1-3 εμπεριέχονται λεπτομερώς οι μορφές φόρτισης που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ανάλυση ανάλογα με τον τρόπο εναπόθεσης του χιονιού στη στέγη ενώ προβλέπονται ειδικές περιπτώσεις σε εκτατές καταστάσεις συγκέντρωσης μεγάλης ποσότητας χιονιού επάνω στέγη σε περιπτώσεις επαναλαμβανόμενης στέγης καθώς και σε περιπτώσεις κατολίσθησης χιονιού από ψηλότερη στέγη σε χαμηλότερη γειτονική.

2.7.2.3 Μεταβλητά Φορτία – Φορτία Ανέμου

Ο Άνεμος αποτελεί ένα από τα βασικότερα είδη φόρτισης διότι λόγω της ταχύτητας του δημιουργεί έντονες συνθήκες φόρτισης στις κατασκευές. Ιδιαίτερα στις μεταλλικές κατασκευές ως εύκαμπτες, απαιτείται κατά το σχεδιασμό τους έλεγχος σε επιβαλλόμενες φορτίσεις σύμφωνα με το κανονισμό.

Η επιβολή των φορτίων αυτών για τις συνήθεις κατασκευές οι οποίες έχουν ταλαντώσεις από φορτία ανέμου με χαμηλή δυναμική επίδραση, μπορεί να είναι στατική. Για κατασκευές όμως που λόγω μεγέθους, ύψους, επιφανειών επιρροής, σχήματος και επιρροής ισχυρών ανέμων η δυναμική επιρροή είναι σημαντική, θα πρέπει να εξετάζετε η δυναμική τους συμπεριφορά (δοκιμές σε αεροδυναμική σήραγγα με προσομοιώματα). Το μέγεθος των δράσεων αυτών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι μέσα από μία σειρά αριθμητικών σχέσεων που ορίζονται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο EN1991-1-4 (Δράσεις Ανέμου) καθορίζουν το σχήμα και το μέγεθος των φορτίσεων από ανεμοπίεση. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- Η γεωγραφική θέση δεδομένου πως στατιστικά υπάρχουν περιοχές με πιο έντονα φαινόμενα ανάπτυξης ανέμων με ισχυρές ταχύτητες από ότι σε άλλες
- Η φυσική θέση η οποία μεταφράζεται μέσα έναν συντελεστή τραχύτητας και ουσιαστικά εκφράζει τη τραχύτητα του εδάφους και το ύψος πάνω από το επίπεδο του εδάφους.
- Η τοπογραφία η οποία λαμβάνει υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής όπως λόφους ή γκρεμούς

- Οι διαστάσεις των κτιρίων δεδομένου ότι η ένταση του ανέμου αυξάνεται όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος
- Η μέση ταχύτητα του ανέμου η οποία προσδιορίζεται από τη βασική ταχύτητα προσαυξημένη με συντελεστές οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη του προαναφερθέντες παράγοντες.
- Το σχήμα της κατασκευής υπό την έννοια ότι ο άνεμος δρα με ένα σύνθετο τρόπο στη κατασκευή δημιουργώντας προσήνεμες και υπήνεμες πιέσεις, κατακόρυφες φορτίσεις θετικές ή αρνητικές κ.τ.λ. Η ροή του ανέμου εξαρτάται από τα φυσικά εμπόδια, τα γειτονικά κτίρια που μπορεί να επηρεάζουν τη μορφή της κίνησης.
- Η μέγεθος της κλίσης της στέγης είναι αυτό που καθορίζει αν μια σχεδόν επίπεδη στέγη θα λάβει αρνητικές πιέσεις ή αν μία στέγη με έντονη κλίση θα υπόκεινται σε πίεση προς τα κάτω
- Η διεύθυνση του ανέμου η οποία μπορεί να είναι οποιαδήποτε επιβάλλει την ανάπτυξη σεναρίων φόρτισης σε όλες τις διευθύνσεις επί της κατασκευής.

Λαμβάνοντας τους παραπάνω παράγοντες μέσω του σχετικού κανονισμού υπολογίζεται η ταχύτητα σχεδιασμού του ανέμου η οποία τελικά μετατρέπεται σε ένα σύστημα φορτίσεων για τον έλεγχο και το σχεδιασμό της κατασκευής.

(Αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας γίνεται στο Κεφάλαιο 3)

2.7.2.4 Μεταβλητά Φορτία – Φορτία Θερμοκρασίας

Τα θερμοκρασιακά φορτία θεωρούνται έμμεσες δράσεις και κατατάσσονται στις μεταβλητές δράσεις. Υπολογίζονται σύμφωνα με το Μέρος 1.5 του Ευρωκώδικα 1 που παρέχει οδηγίες για τα φορτία λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.

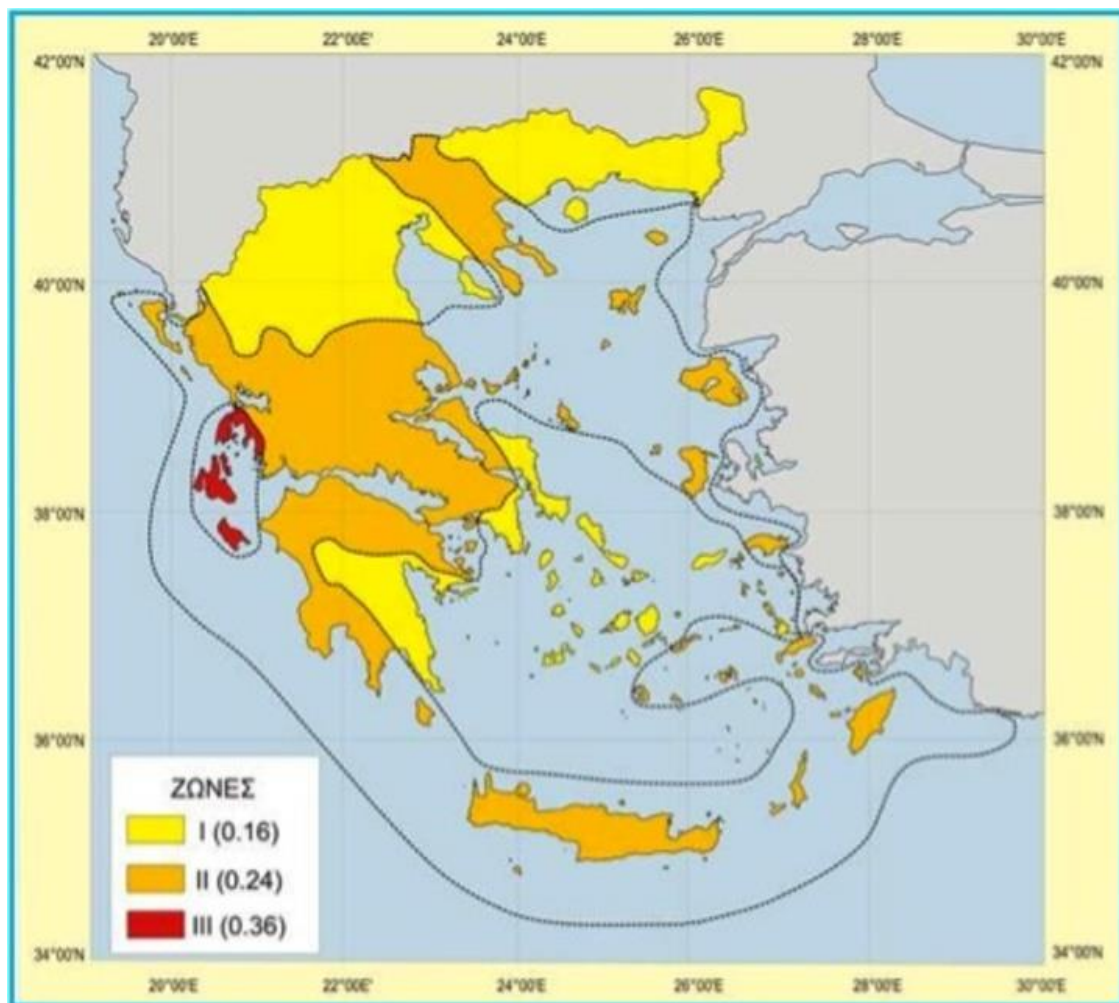
Οι δράσεις που οφείλονται σε θερμοκρασιακές μεταβολές υπολογίζονται θεωρώντας ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας στα στοιχεία του φορέα, που οφείλεται στην μεταβολή θερμοκρασίας περιβάλλοντος (καλοκαίρι - χειμώνας), και προσδιορίζοντας τις χαρακτηριστικές τιμές μέγιστης διακύμανσης. Προκειμένου να λάβουμε υπόψιν τα φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή από συστολο-διαστολές θεωρούμε μία μεταβολή θερμοκρασίας ΔT (ομοιόμορφη αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας ολόκληρου του φέροντος οργανισμού σε σχέση με τη θερμοκρασία συναρμολόγησής του).

2.7.3 Μορφές Φορτίσεων – Τυχηματικά φορτία

Ο σεισμός αποτελεί μια σημαντική φόρτιση για τις κατασκευές. Ουσιαστικά μέσα από μία ανακυκλιζόμενη μετακίνηση του εδάφους η κατασκευή αναπτύσσει κάποιες αδρανειακές δυνάμεις οι οποίες τείνουν να διατηρήσουν τη κατασκευή στην αρχική της κατάσταση.

Μέσω του Ε.Α.Κ. 2000 (Ελληνικού αντισεισμικού κανονισμού) ή του Ευρωκώδικα 8 με τα εθνικά προσαρτήματα του παρουσιάζονται οι βασικές απαιτήσεις, κανόνες σχεδιασμού, ο προσδιορισμός των φορτίσεων και οι κανόνες εφαρμογής για το σχεδιασμό των κατασκευών.

Η Ελλάδα είναι μία χώρα όπου ιστορικά έχει έντονα σεισμικά φαινόμενα. Η βασική παράμετρος καθορισμού της σεισμικής έντασης είναι η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους. Η Ελλάδα σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. και ΦΕΚ 1154/12-8-2003 υποδιαιρείται σε τρεις Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας όπου σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους (a) η οποία σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια ή περίοδο επαναφοράς στα 475 χρόνια.



Εικόνα 13: Χάρτης Ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας

Επιπρόσθετα η **επιτάχυνση σχεδιασμού (A)** όπως προκύπτει από το πολλαπλασιασμό της επιτάχυνσης εδάφους $\varsigma(\alpha)$ με το συντελεστή βαρύτητας g μπορεί να κλιμακώνεται ανάλογα με τη σπουδαιότητα του έργου μέσω του **συντελεστή σπουδαιότητας (γ)**.

Πίνακας 4: Κατηγορίες Σπουδαιότητας

Κατηγορία σπουδαιότητας	Κτίρια
I	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

Κατηγορία Σπουδαιότητας	I	II	III	IV
Συντελεστής Σπουδαιότητας γ_1	0,80	1,00	1,20	1,40

Πρόσθετα ο **διορθωτικός συντελεστής (η)** εκφράζει την αυξομείωση της επιρροή της ιξώδους απόσβεσης στην ελαστική περιοχή της συμπεριφοράς, όταν το ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης ζ είναι διάφορο του 5%. Οι τιμές της κρίσιμης απόσβεσης εξαρτώνται από το είδος της κατασκευής και έτσι για μεταλλική κατασκευή με συγκολλητές συνδέσεις το $\zeta=2\%$ ενώ για μεταλλική κατασκευή με κοχλιωτές συνδέσεις το $\zeta=4\%$.

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος που καθορίζει την επιτάχυνση σχεδιασμού είναι η **κατηγορία εδάφους** η οποία και καθορίζει τις χαρακτηριστικές τιμές των περιόδων και συνεπώς το σχήμα του φάσματος σχεδιασμού.

Πίνακας 5: Κατηγορίες εδάφους

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (κρούσεις/30cm)	c_u (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	> 800	–	–
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360 – 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	< 100 (ενδεικτικό)	–	10 - 20
S_2	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S_1			

Ο **συντελεστής Θεμελίωσης (θ)** εξαρτάται από το βάθος και τη δυσκαμψία της θεμελίωσης και ουσιαστικά εκφράζει την ευνοϊκή επιρροή της δύσκαμπτης θεμελίωσης αλλά και τη μείωση κινδύνων λόγω διαφορικών καθιζήσεων. Προσδιορίζεται ανάλογα με τη κατηγορία έδαφος και το πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6: Τιμές Συντελεστή Θεμελίωσης θ

Προϋποθέσεις		
1α.	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο	0.90
1β.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοπόστρωση	
1γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς σύνδεσης στην κεφαλή	
2α.	Το κτίριο διαθέτει δύο τουλάχιστον υπόγεια	0.80
2β.	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοπόστρωση	
2γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους)	
Παρατήρηση: Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχώματα έτσι, ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.		

*Σε εδάφη κατηγορίας Α ή Β ο συντελεστής θ λαμβάνει τη τιμή 1,0, ενώ για εδάφη Γ ή Δ ο συντελεστής θεμελίωσης θ επιτρέπεται να λαμβάνει μικρότερες τιμές όταν συντρέχει μία από τις προϋποθέσεις που αναφέρονται στο ανωτέρω πίνακα 6 και εφόσον η προκύπτουσα φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού δεν είναι μικρότερη από εκείνη που θα πρόκυπτε για έδαφος κατηγορίας Β.

Ο **συντελεστής συμπεριφοράς (α)** αποτελεί έναν προκαθορισμένο κατά περίπτωση συντελεστή όπου σκοπός του είναι η απομείωση των ελαστικών τιμών σεισμικών φορτίων που θα απαιτούντο για πλήρως ελαστική συμπεριφορά, με τιμές που θα οδηγούν την κατασκευή να παραμορφωθεί στην πλαστική περιοχή χωρίς ουσιαστική μείωση της αντοχής. Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς αντιστοιχεί στο επίπεδο ανελαστικών παραμορφώσεων, που θεωρείται ότι τα μέλη αντέχουν σύμφωνα με τις κατασκευαστικές διατάξεις στα πλαίσια του ικανοτικού σχεδιασμού οι οποίες σκοπεύουν στην αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας και ανεπιθύμητων μορφών παραμόρφωσης. Η αντισεισμική μελέτη με τη μέθοδο των δυνάμεων με την ασφαλιστική δικλείδα του αντισεισμικού σχεδιασμού οδηγεί σε ασφαλή και συντηρητικά αποτελέσματα.

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι η διαθέσιμη πλαστικότητα, η υπερστατικότητα του φορέα, η υστερική απόσβεση και άλλα.

Γενικά ο συντελεστής α είναι ίδιος για όλο το κτίριο. Ενδέχεται όμως να μεταβάλλεται αν αλλάζει το υλικό κατασκευής ανά όροφο ενός κτιρίου ή αν αλλάζει το δομικό σύστημα ανά διεύθυνση.

Για θεώρηση ελαστικής συμπεριφοράς επιλέγεται $\alpha=1$, ενώ για θεώρηση πλάστιμης συμπεριφοράς σύμφωνα με το κανονισμό και το παρακάτω πίνακα επιλέγεται κατά περίπτωση $\alpha=3$ ή $\alpha=4$. Οι έλεγχοι ελαστοπλαστικού μηχανισμού και οι έλεγχοι ικανοτικού σχεδιασμού δεν απαιτούνται όταν χρησιμοποιείται συντελεστής συμπεριφοράς που δεν υπερβαίνει τη μικρότερη από τις τιμές $\alpha=1.5$ ή $\alpha=2$.

Πίνακας 7: Τιμές συντελεστή συμπεριφοράς q

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.	2.00
2. ΧΑΛΥΒΑΣ	α. Πλαίσια	4.00
	β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα *	4.00
	γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	• διαγώνιοι σύνδεσμοι	3.00
	• σύνδεσμοι τύπου V ή L	1.50
	• σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται*)	1.00
	* Βλέπε Παράρτημα Γ.	
3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	α. Με οριζόντια διαζώματα	1.50
	β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2.00
	γ. Οπλισμένη (κατακόρυφα και οριζόντια)	2.50
4. ΞΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1.00
	β. Δοκοί – Τόξα – Κολλητά πετάσματα	1.50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2.00
	δ. Πετάσματα με ηλώσεις	3.00

2.7.4 Άλλες Δράσεις

Επιπλέον δράσεις οι οποίες πρέπει να εξετάζονται κατά περίπτωση και μπορεί να έχουν σημαντική επίπτωση στην ασφάλεια του κτιρίου είναι:

- Πυρκαγιά
- Γερανογέφυρες
- Φορτία κόπωσης
- Ωθήσεις γαιών
- Υδροστατικές πιέσεις
- Τυχηματικές δράσεις όπως εκρήξεις και πρόσκρουση οχημάτων
- Δράσεις κατά την ανέγερση

2.7.5 Συνδυασμοί Φορτίσεων

Οι δράσεις στις οποίες μπορεί να υπόκεινται μια κατασκευή είναι πολλές. Γεννάται έτσι η ανάγκη συνδυασμού των δράσεων με τέτοιο τρόπο ώστε ο φορέας να μπορεί να ικανοποιεί τις **οριακές καταστάσεις** σχεδιασμού, με σκοπό την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα της κατασκευής. Αυτές είναι:

- **Οριακές καταστάσεις αστοχίας** που συνδέονται με κατάρρευση της κατασκευής ή οποιασδήποτε μορφής απώλεια και μπορούν να εκδηλωθούν υπό τη μορφή απώλειας ευστάθειας, ανατροπής, κόπωσης, αστοχία λόγω σημαντικών παραμορφώσεων που μπορούν να μετατρέψουν το φορέα σε μηχανισμό κ.τ.λ.
- **Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας** που συνδέονται με καταστάσεις πέρα των οποίων δεν πληρούνται οι απαιτήσεις λειτουργικότητας σε επίπεδο κατασκευής ή μέλους. Αυτές οι οριακές καταστάσεις μπορούν να επηρεάσουν την αίσθηση της ασφάλειας των χρηστών (ταλαντώσεις προβόλων), τις λειτουργικές απαιτήσεις από το φορέα, την εξωτερική εμφάνιση του φορέα (ρηγματώσεις ή καμπτικές παραμορφώσεις) κ.τ.λ. Οι καταστάσεις αυτές

μπορούν να έχουν αναστρέψιμο ή μη χαρακτήρα αν τα αποτελέσματα της δράσης των φορτίων υποχωρούν μετά την απομάκρυνση τους.

Σύμφωνα με τις ανωτέρω οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας αναπτύσσονται κάποιες καταστάσεις σχεδιασμού για τις οποίες γίνεται έλεγχος επάρκειας. Αυτές οι καταστάσεις είναι οι ακόλουθες:

- **Καταστάσεις σχεδιασμού με διάρκεια** οι οποίες αναφέρονται στις συνθήκες κανονικής χρήσης
- **Παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού** οι οποίες αναφέρονται σε προσωρινές συνθήκες που επιβάλλονται στο φορέα (κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ή της επισκευής του)
- **Τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού** οι οποίες αναφέρονται σε σημαντικές συνθήκες που επιβάλλονται στο φορέα (π.χ. πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση κ.τ.λ.)
- **Καταστάσεις σχεδιασμού έναντι σεισμού** που αναφέρονται σε συνθήκες οι οποίες επιβάλλονται στο φορέα όταν αυτός εκτίθεται σε σεισμικά γεγονότα.

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού για την οριακή κατάσταση αστοχίας είναι φορτίσεων με τους κατάλληλους συντελεστές δράσεων κατά τον EC0.

- Βασικοί συνδυασμοί: $\sum \gamma_G G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (2.3)
- Τυχηματικοί συνδυασμοί: $\sum G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ή } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ (2.4)
- Σεισμικοί συνδυασμοί: $\sum G_{k,j} + A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ (2.5)

Πίνακας 8: Προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ψ_i για κτίρια

Δράσεις	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1)			
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: χώροι γραφείων	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)*			
Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{ m}$	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{ m}$	0,50	0,20	0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές ψ μπορούν να καθορισθούν από το Εθνικό Προσάρτημα.			
* Για χώρες οι οποίες δεν αναφέρονται παρακάτω, βλέπε συναφείς τοπικές συνθήκες.			

Για τον έλεγχο των παραμορφώσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας πραγματοποιούνται οι συνδυασμοί των βασικών φορτίσεων με τους κατάλληλους συντελεστές:

- Χαρακτηριστικός συνδυασμός: $\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (2.6)

- Συχνός συνδυασμός: $\Sigma G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$ (2.7)

- Οιονεί μόνιμος συνδυασμός: $\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$ (2.8)

2.7.6 Μέθοδοι Ανάλυσης

Η μεθοδολογία σχεδιασμού των κατασκευών έναντι δυναμικών φορτίσεων όπως αυτή του σεισμού έχει αλλάξει τα τελευταία χρόνια. Ο ελαστικός σχεδιασμός για οριζόντια σεισμικά φορτία που γινόταν στο παρελθόν έχει ξεπεραστεί και πλέον οι κατασκευές σχεδιάζονται να περνούν το όριο διαρροής και να εισέρχονται στη πλαστική τους περιοχή, να παθαίνουν δηλαδή βλάβες, βλάβες κατευθυνόμενες από το μηχανικό σε θυσίασημα στοιχεία που έχει επιλέξει και τα οποία έχουν σχεδιαστεί με συγκεκριμένες κατασκευαστικές διατάξεις.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα βασίζεται στη μέθοδο των δυνάμεων, δηλαδή στα σεισμικά φορτία που αναμένεται να αναπτυχθούν στη κατασκευή κατά την εκδήλωση του σεισμικού φαινομένου. Τα φορτία αυτά υπολογίζονται από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων βάση της δυσκαμψίας της κατασκευής και η δυνατότητα που της δίνεται να εισέλθει στη πλαστική περιοχή γίνεται με προσεγγιστικές μεθόδους, χρησιμοποιώντας δηλαδή μειωμένα σεισμικά φορτία ελαστικών τιμών διαιρεμένα με τον συντελεστή συμπεριφοράς "q". Τα μειωμένα αυτά φορτία που οδηγούν σε υποδιαστασιολόγηση της κατασκευής (οικονομία υλικού) και συνεπώς της επιτρέπουν να αναπτύξει ανελαστικές παραμορφώσεις, σε συνδυασμό με λήψη ειδικών κατασκευαστικών διατάξεων του ικανοτικού σχεδιασμού, επιτρέπουν την ύπαρξη βλαβών οι οποίες όμως δεν θα έχουν ψαθυρή μορφή αστοχίας και ανεπιθύμητες καταστάσεις καταρρεύσεων ή παραμορφώσεων.

Αυτή η προσεγγιστική μέθοδος γίνεται διότι η ακριβής ανάλυση της ανελαστικής συμπεριφοράς θα ήταν αρκετά δύσκολη σε επίπεδο χρήσης από το Μηχανικό της αγοράς. Για την ανάλυση θα απαιτούνταν μη γραμμική ολοκλήρωση στο χρόνο των εξισώσεων κίνησης της κατασκευής με χρήση χρονοιστοριών φόρτισης. Η προσεγγιστική αυτή διαδικασία με τη χρήση των πρόσθετων κατασκευαστικών διατάξεων, σε επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού συνήθων φορέων φαίνεται να παράγει ασφαλή και συντηρητικά αποτελέσματα, όμως σε επίπεδο πραγματικών μετακινήσεων και παραμορφώσεων τα αποτελέσματα δεν είναι και τόσο ασφαλή.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτύσσεται μία μέθοδος ανάλυσης η οποία βασίζει το σχεδιασμό σύμφωνα με τις μετακινήσεις. Έτσι μέσω ειδικών κριτηρίων επιτελεστικότητας φερόντων και μη φερόντων δομικών στοιχείων που έχουν θεσπιστεί ελέγχεται για κάθε μέλος η στροφή που θα αναπτυχθεί στις κρίσιμες διατομές να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή του μέλους, εφόσον η μέθοδος βασίζεται στη πραγματική καταπόνηση κάθε μέλους σύμφωνα με την αναμενόμενη παραμόρφωση του δομήματος. Και αυτή η μέθοδος της μη γραμμικής δυναμική ανάλυσης με χρονοιστορίες είναι μία διαδικασία ιδιαίτερα απαιτητική από του μηχανικούς της πράξης, έτσι έχουν καθοριστεί μέθοδοι οι οποίες απλοποιούν την ανάλυση σύμφωνα με τη μέθοδο των μετακινήσεων λαμβάνοντας υπόψη και τις ανώτερες ιδιομορφές των δομημάτων και οδηγούν σε ασφαλή αποτελέσματα.

Ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης που υιοθετούν τη γραμμική σχέση μεταξύ έντασης – παραμόρφωσης για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής, είναι:

- **Ελαστική Στατική Ανάλυση** όπου πρόκειται για στατική ανάλυση με οριζόντια φόρτιση και αντιστοιχεί στην απλοποιημένη φασματική μέθοδο του Ε.Α.Κ. Για να ληφθεί υπόψη ανελαστική απόκριση θα πρέπει η επιτάχυνση που θα χρησιμοποιηθεί να διαιρεθεί με το συντελεστή συμπεριφοράς q και να εφαρμοστούν οι διατάξεις του ικανοτικού σχεδιασμού. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί υπό προϋποθέσεις που σχετίζονται με τη κανονικότητα του κτιρίου, την ταλάντωση του σε μεγάλο βαθμό από τη πρώτη ιδιομορφή και τη κίνηση του η οποία θα πρέπει να είναι κυρίως μεταφορική.
- **Ελαστική Δυναμική Ανάλυση με Επαλληλίες ιδιομορφών** όπου πρόκειται για μέθοδο ανάλυσης με χρήση ιδιομορφών, γίνεται θεώρηση της ανεξάρτητης αποκρίσεως της κάθε ιδιομορφής και στη συνέχεια ακολουθεί η σύνθεση τους μέσω μεθόδων για το προσδιορισμό της ενιαίας αποκρίσεως της κατασκευής ως σύνολο. Υπάρχει η μέθοδος Βήμα προς βήμα δυναμικής ανάλυσης και η Δυναμική Φασματική μέθοδος. Η διαφορά είναι ότι η πρώτη μέθοδος συνθέτει τις αποκρίσεις σε κάθε χρονικό βήμα της ανάλυσης ενώ η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί ελαστικά φάσματα αποκρίσεως καθότι την ενδιαφέρουν οι μέγιστες τιμές εντατικών μεγεθών και μετατοπίσεων και στη συνέχεια γίνεται σύνθεση των μέγιστων αποκρίσεων.

Μέθοδοι **Ανελαστικών μεθόδων ανάλυσης** που βοηθούν στη κατανόηση της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών καταδεικνύοντας τους μηχανισμούς αστοχίας όσο και το ενδεχόμενο προοδευτικής κατάρρευσης, είναι:

- **Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση** η οποία είναι η πιο ακριβής μέθοδος εκτίμησης της πραγματικής συμπεριφοράς της κατασκευής υποβαλλόμενη σε σεισμικά φορτία όπου ουσιαστικά ολοκληρώνονται οι εξισώσεις κίνησης της κατασκευής βασιζόμενες σε χρονοιστορίες φόρτισης και υπολογίζεται σε κάθε βήμα επίλυσης η πραγματική παραμορφωσιακή και εντατική κατάσταση του φορέα. Σύμφωνα με το σύγγραμμά της FEMA 440 (Federal Emergency Management Agency) υπάρχουν τρεις διαφορετικές δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις.
- **Ανελαστική Στατική Ανάλυση** η οποία είναι μία απλοποιημένη μέθοδος της Ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης και ουσιαστικά μορφώνεται το προσομοίωμα το οποίο υπόκειται σε άσκηση διαδοχικών αυξανόμενων οριζόντιων δυνάμεων σε βήματα, αναπροσαρμόζοντας την πραγματική εικόνα του φορέα μετά την ολοκλήρωση κάθε ελαστικής ανάλυσης (μείωση δυσκαμψίας). Έτσι μετά την επανάληψη της διαδικασίας και εφόσον η κατασκευή φτάσει σε επίπεδο αστάθειας, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τη συνολική μετακίνηση της κατασκευής και η οποία οριακή αυτή τιμή αποτελεί τη μέγιστη αναμενόμενη απόκριση της κατασκευής. Μέσα από την ιδιομορφική στατική ανελαστική ανάλυση η μέθοδος αυτή μπορεί να λάβει υπόψη της και ανώτερες ιδιομορφές που επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας κατασκευής.

Αξίζει να σημειωθεί πως στις μεταλλικές κατασκευές οι εφαρμογή πλαστικών αναλύσεων απαιτεί τη ύπαρξη εφαρμογής ειδικών προϋποθέσεων ώστε τα μέλη της κατασκευής να διαθέτουν επαρκή στροφική ικανότητα στις θέσεις όπου δημιουργείται πλαστική άρθρωση. Κυρίως εφαρμόζονται διατάξεις κατάταξης διατομών σε κατηγορία 1 ή 2 σύμφωνα με το EN1993-1-1 §5.5, Πιν. 5.2α, Πιν. 5.2β, Πιν. 5.2γ. για να ικανοποιούνται οι

συνθήκες ικανοτικών απαιτήσεων των συνδέσεων, των συνδέσμων δυσκαμψίας, των πλαισίων ροπής, των διαφραγμάτων .κτ.λ.

Για το προσδιορισμό των εντατικών και παραμορφωσιακών μεγεθών του φορέα, είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται ανάλυση 1^{ης} τάξης στην απαραμόρφωτη κατάσταση ή ανάλυση 2^{ης} τάξης στη παραμορφωμένη κατάσταση αλλά με μικρές παραμορφώσεις. Τέλος όταν από τη γραμμική ανάλυση προκύψει ότι τα φορτία είναι μεγάλα και κοντά στο οριακό φορτίο της κατασκευής, όταν η κατασκευή είναι εύκαμπτη και αναπτύσσει παραμορφώσεις χωρίς μεγάλες τάσεις, ή όταν μία κατασκευή είναι ρηχή δηλαδή έχει μεγάλο άνοιγμα έναντι του ύψους, τότε απαιτείται γραμμική ανάλυση λυγισμού 3^{ης} τάξης η οποία μας δίνει δρόμους ισορροπίας μία κατασκευής στη παραμορφωμένη κατάσταση με μεγάλες παραμορφώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Χαρακτηριστικά εξεταζόμενου φορέα

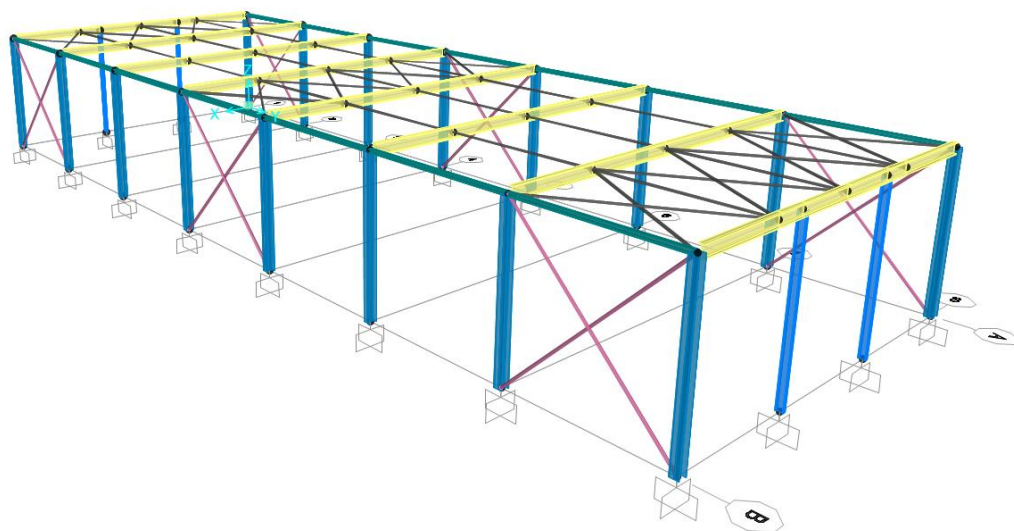
3.1 Γενική Περιγραφή

3.1.1 Γεωμετρία

Το υπό μελέτη μεταλλικό κτίριο είναι ένα κτίριο το οποίο αποτελείται από οχτώ πλαίσια ενός ανοίγματος 15 m. Τα πλαίσια απέχουν μεταξύ τους απόστασης 6,00 m ενώ η στέγη είναι οριζόντια μηδενικής κλίσης και το ύψος της κατασκευής είναι 6 m. Η κατασκευή μορφώνεται από μεταλλικό σκελετό, ενώ για τη θεμελίωση λαμβάνονται υπόψη πακτώσεις σε όλους τους κόμβους των υποστυλωμάτων στα πλαίσια ελέγχου του μοντέλου.

Το κτίριο αποτελείται από τα υποστυλώματα και οριζόντιες δοκούς με τα οποία διαμορφώνονται τα πλαίσια τα οποία επαναλαμβάνονται. Τα πλαίσια μεταξύ τους συνδέονται στη κεφαλή των υποστυλωμάτων με κεφαλοδοκό η οποία τρέχει καθ' όλο το μήκος του φορέα και στις δύο πλευρές. Επιπλέον κατά μήκος της οροφής του κτιρίου τοποθετούνται οριζόντιοι δοκοί οι οποίες μαζί με του οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας που τοποθετούνται στα δύο ακραία και το μεσαίο φάτνωμα συνθέτουν ένα οριζόντιο δικτύωμα με λειτουργία διαφράγματος. Πρόσθετα στις θέσεις των δύο ακραίων και μεσαίου φαντώματος τοποθετούνται κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας. Τέλος στα δύο ακραία πλαίσια τοποθετούνται μετωπικοί στύλοι για τη παραλαβή φορτίων ανέμων της αντίστοιχης διεύθυνσης.

Στο μοντέλο δεν γίνεται τοποθέτηση μηκίδων και τεγίδων για την απλοποίηση του φορέα και την αποφυγή αστάθμητων παραγόντων που θα μειώσουν την αξιοπιστία της προσωμοίωσης. Επιπρόσθετα δεδομένου ότι το κτίριο είναι θεωρητικό δεν λαμβάνονται υπόψη βασικά κατασκευαστικά ζητήματα σχεδιασμού του φορέα (όπως κλίση των ζυγμάτων για απορροή των όμβριων κ.τ.λ.)



Εικόνα 14: Μορφολογία Φορέα

Οι κανονισμοί που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του ως άνω αναφερομένου κτιρίου είναι:

- Ευρωκώδικας 0 (EC0, ENV 1990), για τον καθορισμό των συνδυασμών των φορτίων.
- Ευρωκώδικας 3 (EC3, ENV 1993), για τη διαστασιολόγηση των μεταλλικών μελών του φορέα.
- Ευρωκώδικας 8 (EC8, EN1998), για τα σεισμικά φορτία.

3.1.2 Υλικά κατασκευής

Για τη κατασκευή όλων των μελών του φορέα θα χρησιμοποιηθεί χάλυβας S 355.

Οι ιδιότητες του δομικού χάλυβα, οι οποίες λήφθηκαν υπόψη στη στατική ανάλυση (σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3), είναι οι εξής:

- Μέτρο Ελαστικότητας: $E=210.000 \text{ MPa}$ ($2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$)
- Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή: $\nu=0,3$
- Ειδικό βάρος: $\gamma=78,5 \text{ kN/m}^3$
- Όριο Διαρροής: $f_y = 355.000 \text{ kN/m}^2$
- Εφελκυστική Αντοχή: $f_u = 510.000 \text{ kN/m}^2$
- Μέτρο διάτμησης: $G=E/(2(1+\nu))= 81 \text{ 000 N / mm}^2$
- Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής: $\alpha =1,17 \times 10^{-5}$ ανά $^\circ\text{C}$ (για $T \leq 100^\circ\text{C}$)

3.1.3 Ορισμός Διατομών

Σε κάθε μέλος του μαθηματικού μοντέλου εφαρμόζονται οι διατομές οι οποίες θα κληθούν να παραλάβουν με ασφάλεια τα φορτία που θα τοποθετηθούν επί της κατασκευής. Έτσι στον υπό εξέταση φορέα:

- Τα υποστυλώματα είναι πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 320) διαστάσεων $h=310 \text{ mm}$ και $b=300 \text{ mm}$ και πάχους $t_s = 9 \text{ mm}$ και $t_g=15.5 \text{ mm}$.
- Οι κύριες δοκοί είναι μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 400) διαστάσεων $h=400 \text{ mm}$ και $b=180 \text{ mm}$ και πάχους $t_s = 8.6 \text{ mm}$ και $t_g=13.5 \text{ mm}$.
- Οι κεφαλοδοκοί είναι πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 140) διαστάσεων $h=133 \text{ mm}$ και $b=140 \text{ mm}$ και πάχους $t_s = 5,5 \text{ mm}$ και $t_g=8.5 \text{ mm}$.
- Τα οριζόντια στοιχεία του διαφράγματος είναι κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου $82,5 \text{ mm}$ και πάχους $3,2 \text{ mm}$.
- Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου $82,5 \text{ mm}$ και πάχους $3,2 \text{ mm}$.
- Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου $101,6 \text{ mm}$ και πάχους $3,6 \text{ mm}$.
- Οι μετωπικοί στύλοι είναι μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 240) διαστάσεων $h=240 \text{ mm}$ και $b=120 \text{ mm}$ και πάχους $t_s = 6.2 \text{ mm}$ και $t_g=9.8 \text{ mm}$.

3.1.4 Λοιπές παράμετροι σχεδιασμού

Τα μέλη των υποστυλωμάτων και των κύριων δοκών στα άκρα τους θα φέρουν πλήρεις πακτώσεις σε αντίθεση με τα υπόλοιπα μέλη τα οποία θα συνδέονται αρθρωτά.

3.2 Επιβαλλόμενα Φορτία

3.2.1 Μόνιμα φορτία

Τα ίδια βάρη του φορέα υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Τα λοιπά έξτρα μόνιμα που καλείται να παραλάβει ο φορέας λόγω επικαλύψεων, δικτύων και τυχών ψευδοροφών υπολογίζονται σε $0,2 \text{ KN/m}^2$ στην οροφή και σε $0,5 \text{ KN/m}^2$ φορτίο πλαγιοκάλυψης και μηκίδων το οποίο εφαρμόζεται ως συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο στους κόμβους κεφαλής των υποστυλωμάτων.

Έτσι τα πρόσθετα μόνιμα φορτία εφαρμόζονται σε κάθε στοιχείο και έχουν:

- Κύριοι δοκοί με επιφάνεια επιρροής πλάτους 6 m: $\text{extraG} = 0,2 \text{ KN/m}^2 * 6 \text{ m} = 1,2 \text{ KN/m}$ ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
- Κύριοι δοκοί με επιφάνεια επιρροής πλάτους 3 m: $\text{extraG} = 0,2 \text{ KN/m}^2 * 3 \text{ m} = 0,6 \text{ KN/m}$ ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
- Υποστυλώματα ενδιάμεσα με επιφάνεια επιρροής ύψους 6 m και πλάτους 6 m ήτοι εμβαδού 36 m^2 : $\text{extraG} = 0,5 \text{ KN/m}^2 * 36 \text{ m} = 18 \text{ KN}$ συγκεντρωμένο φορτίο στο κόμβο κεφαλής κάθε υποστυλώματος
- Υποστυλώματα ακραία με επιφάνεια επιρροής ύψους 6 m και πλάτους 3 m στη διαμήκη πλευρά του κτιρίου και ύψους 6 m και πλάτους 2,5 m στην εγκάρσια ήτοι εμβαδού 33 m^2 : $\text{extraG} = 0,5 \text{ KN/m}^2 * 33 \text{ m} = 16,5 \text{ KN}$ συγκεντρωμένο φορτίο στο κόμβο κεφαλής κάθε υποστυλώματος
- Μετωπικοί στύλοι με επιφάνεια επιρροής ύψους 6 m και πλάτους 5 m ήτοι εμβαδού 30 m^2 : $\text{extraG} = 0,5 \text{ KN/m}^2 * 30 \text{ m} = 15 \text{ KN}$ συγκεντρωμένο φορτίο στο κόμβο κεφαλής κάθε μετωπικού στύλου

3.2.2 Κινητά φορτία

Η οροφή της κατασκευής είναι μη προσβάσιμη συνεπώς υπολογίζεται ένα κινητό φορτίο για τη πιθανότητα παρουσίας ανθρώπων κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Υπολογίζεται ένα φορτίο σε $0,5 \text{ KN/m}^2$ στην οροφή.

Έτσι τα κινητά φορτία εφαρμόζονται σε κάθε στοιχείο και έχουν:

- Κύριοι δοκοί με επιφάνεια επιρροής πλάτους 6 m: $\text{extraG} = 0,5 \text{ KN/m}^2 * 6 \text{ m} = 3,0 \text{ KN/m}$ ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
- Κύριοι δοκοί με επιφάνεια επιρροής πλάτους 3 m: $\text{extraG} = 0,5 \text{ KN/m}^2 * 3 \text{ m} = 1,5 \text{ KN/m}$ ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο

3.2.3 Φορτία Χιονιού

Η κατασκευή επιλέγεται να χωροθετηθεί στη περιοχή των Τρικάλων σε υψόμετρο 488 μ από τη στάθμη της θάλασσας, σε περιοχή με κανονικές τοπογραφικές συνθήκες και με οροφή απολύτως οριζόντια όπως έχει προαναφερθεί.

Έτσι σύμφωνα με το κανονισμό η περιοχή αναφοράς ανήκει στη **ΖώνηIII (σκ.0 =1,7 kN/m2)**.

Το φορτίο χιονιού θα υπολογιστεί για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές και έτσι ο υπολογισμός έχει ως εξής:

μ_i : ο συντελεστής μορφής του φορτίου για $\alpha=0$ δίνεται $\mu_i=0.8$

C_e : ο συντελεστής έκθεσης λαμβάνεται ίσος με 1 για κανονικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

C_t : ο θερμικός συντελεστής, ο οποίος είναι συνήθως ίσος με 1 για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης.

s_k : η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους σε kN/m^2 συναρτήσει της ζώνης και του αντίστοιχου υψομέτρου (A), για μια συγκεκριμένη τοποθεσία και δίνεται από την σχέση:

$$s_k = s_{k,0} \times (1 + (A/917)^2) = 1.7 \times (1 + ((488+6)/917)^2) = 2.19 \text{ kN/m}^2$$

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.8 * 1 * 1 * 2.19 = 1.75 \text{ kN/m}^2$$

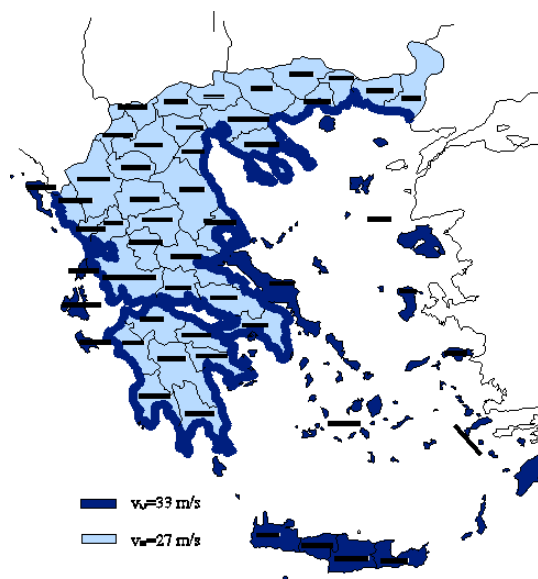
Έτσι τα φορτία χιονιού που εφαρμόζονται σε κάθε στοιχείο είναι:

- Κύριοι δοκοί με επιφάνεια επιρροής πλάτους 6 m: $\text{extraG} = 1,75 \text{ kN/m}^2 * 6 \text{ m} = 10,5 \text{ kN/m}$ ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
- Κύριοι δοκοί με επιφάνεια επιρροής πλάτους 3 m: $\text{extraG} = 1,75 \text{ kN/m}^2 * 3 \text{ m} = 5,25 \text{ kN/m}$ ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο

3.2.4 Φορτίο Ανέμου

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1, μέρος 1-4 (EN 1991-1-4) εφόσον το υπό μελέτη κτίριο έχει ύψος μικρότερο των 200 m, η προσομοίωση των δράσεων ανέμου μπορεί να υλοποιηθεί με την επιβολή στατικών φορτίων μιας και δεν υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης ταλαντώσεων.

Ως διευθύνσεις ανέμου λαμβάνονται δύο η θ_{xx} και η θ_{yy} ενώ εφόσον η θέση του κτιρίου στη περιοχή των Τρικάλων απέχει μεγαλύτερη των 10 Km απόσταση, σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα ένας **τυπικός άνεμος** θα έχει ταχύτητα $v_{b,0}=27 \text{ m/s}$.



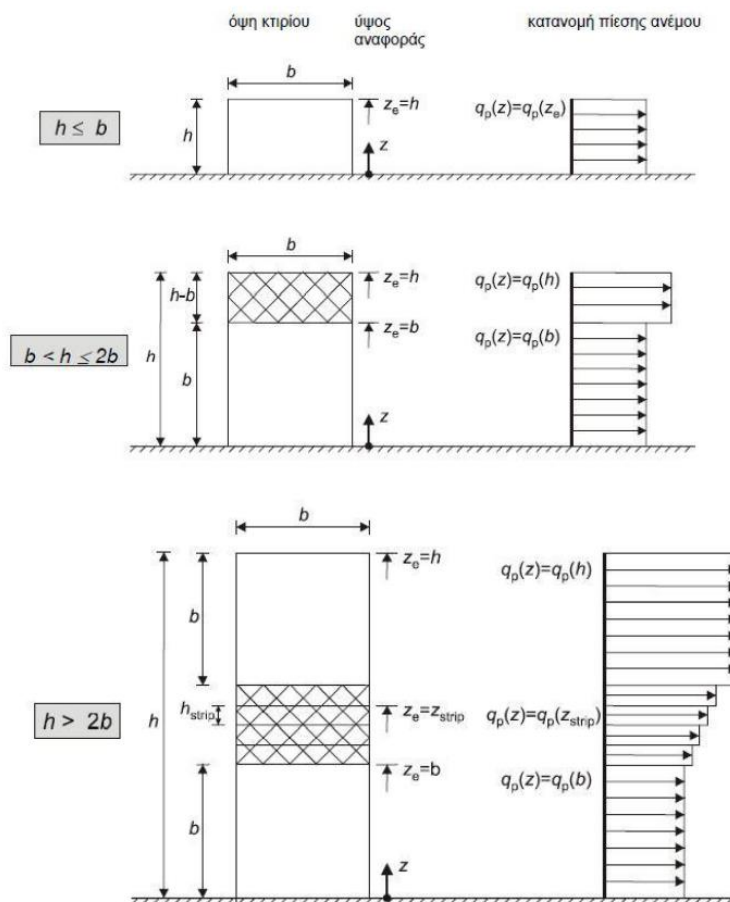
Εικόνα 15: Χάρτης περιοχών ταχυτήτων ανέμου

Η **κατηγορία εδάφους** λαμβάνεται η 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)). Για την συγκεκριμένη κατηγορία εδάφους προκύπτει $z_0=0,3$ m και $z_{min}=5$ m (από τον Πίνακα 3.1 του Ευρωκώδικα).

Πίνακας 9:Κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι

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 γρασιδί 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

Το **ύψος αναφοράς z_e** για τους προσήνεμους τοίχους σύμφωνα με τη σχέση ύψους h και πλάτους b του κτιρίου και όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα, είναι $z_e=hκτ=6$ m. (ισχύει για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$ και $\theta = 90^\circ$.)



Εικόνα 16:Ύψος αναφοράς z_e που εξαρτάται από τα h και b , και αντίστοιχη κατανομή πιέσεων.

Για τον υπήνεμο τοίχο και τους παράπλευρους τοίχους το ύψος αναφοράς λαμβάνεται ίσο με το ύψος του κτιρίου.

Η **πυκνότητα του αέρα** που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μία περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας είναι: $\rho = 1,25 \text{ Kg/m}^3$

Η **πίεση ταχύτητας αιχμής** σε ύψος z , η οποία περιλαμβάνει μέσες και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας, προσδιορίζεται από την σχέση:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)]^{1/2} * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0,33]^{1/2} * 0,00125 * 17,39^2 = 0,626$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας αιχμής θα πρέπει να υπολογιστούν:

- Η ένταση στροβιλισμού για $z > z_{\min}$ ($z > 5 \text{ m}$): $I_v(z) = k_i / (c_o(z) * \ln(z/z_o))$
 - k_i : είναι ο συντελεστής στροβιλισμού (ίσος με 1,0)
 - $c_o(z)$: είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (προτεινόμενη τιμή 1,0)

$$\text{Άρα η ένταση του στροβιλισμού είναι: } I_v(z) = k_i / (c_o(z) * \ln(z/z_o)) = 1 / (1 * \ln(6/0,3)) = 0,33$$

- Ο συντελεστής τραχύτητας $C_r(z)$ λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητότητα της μέσης ταχύτητας ανέμου στη θέση της κατασκευής λόγω του ύψους πάνω από το έδαφος και λόγω της τραχύτητας του εδάφους της προσήνεμης περιοχής στη θεωρούμενη διεύθυνση του ανέμου. Για $z_{\text{κτ}} = 6 \text{ m} > z_{\min}$ & $< z_{\max}$, ο τύπος υπολογισμού είναι: $C_r(z) = k_r * \ln(z/z_o) = 0,215 * \ln(6/0,3) = 0,644$ Το συντελεστή εδάφους: $k_r = 0,19(z_o / z_{o,11})^{0,07} = 0,19 * (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$
- z_o : είναι το μήκος της τραχύτητας σε m, σύμφωνα με την κατηγορία εδάφους
- $z_{o,II}$: 0,05m (Κατηγορία εδάφους II – περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων)
- z_{\min} : είναι το ελάχιστο ύψος που ορίζει ο κανονισμός (για κατηγορία εδάφους III 5m)
- z_{\max} : λαμβάνεται ίσο με 200 m
- Η μέση ταχύτητα του ανέμου $v_m(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος, εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση και προσδιορίζεται από την σχέση: $v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$
 - $c_r(z)$: είναι ο συντελεστής τραχύτητας,
 - $c_o(z)$: είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (προτεινόμενη τιμή 1,0)
 - ταχύτητα τυπικού ανέμου σύμφωνα με το κανονισμό: $v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$

$$\text{Άρα η ένταση του στροβιλισμού είναι: } v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b = 0,644 * 1 * 27 = 17,39 \text{ m/s}$$

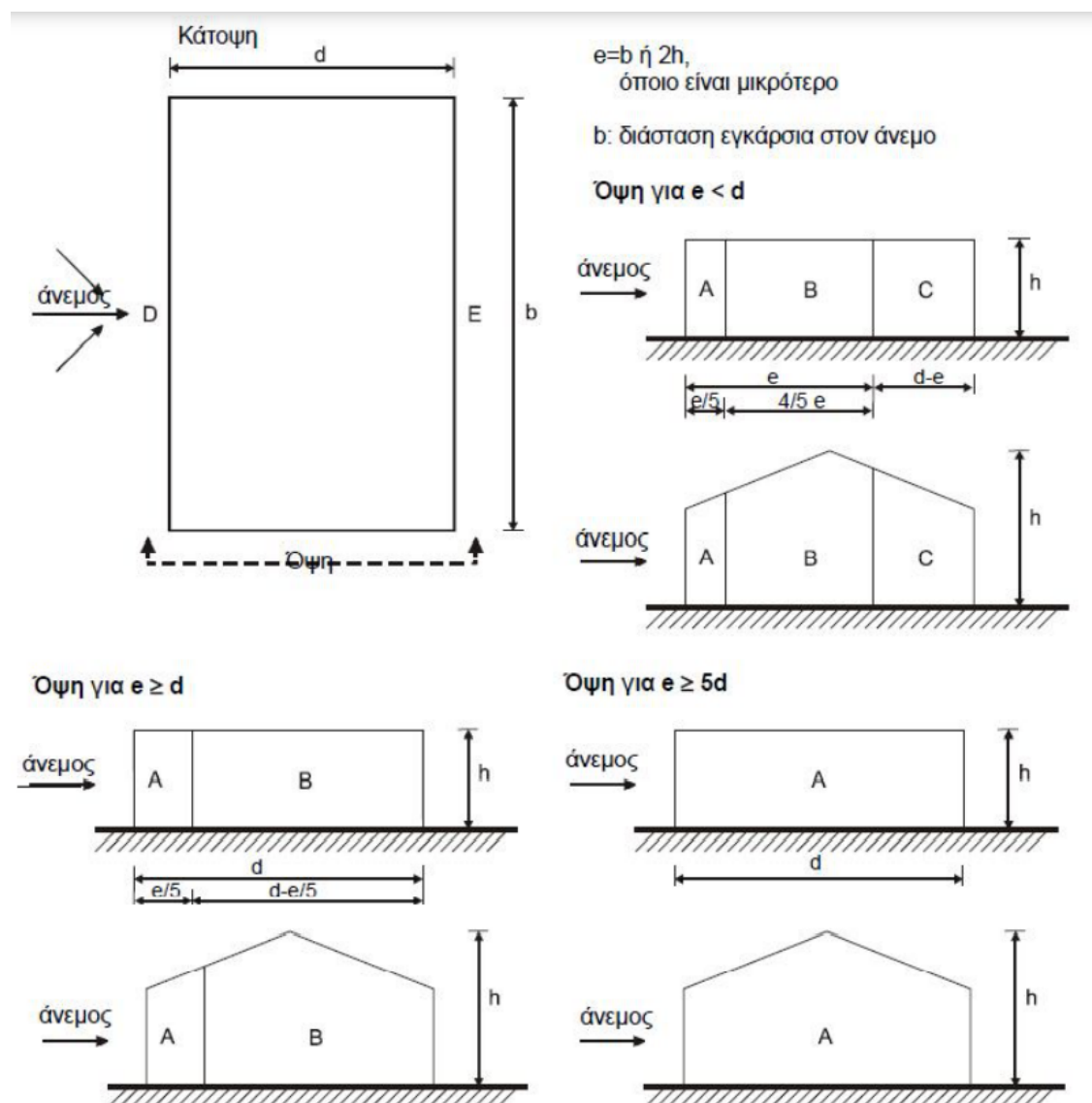
Οι **αεροσυντελεστές δύναμης και πίεσης** (εξωτερικής πίεσης C_{pe} , εσωτερικής πίεσης C_{pi} και συντελεστής δύναμης C_f) εισάγονται προκειμένου να υπολογιστούν οι τελικές δυνάμεις ανέμου σε όλη την κατασκευή και ουσιαστικά δίνουν την επίδραση του ανέμου στις εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου. Επιπλέον οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης διακρίνονται σε καθολικούς και τοπικούς συντελεστές. Εξαρτώνται από τις διαστάσεις της φορτιζόμενης επιφάνειας A , η οποία μεταφέρει στο εξεταζόμενο στοιχείο της κατασκευής τη δράση της ανεμοπίεσης και προκαλεί την αντίστοιχη καταπόνησή του.

Οι τοπικοί συντελεστές $C_{pe,1}$ αφορούν τους συντελεστές πίεσης για φορτιζόμενες επιφάνειες μικρότερες ή ίσες από 1 m^2 π.χ. για το σχεδιασμό μικρών στοιχείων και στερεώσεων. Οι καθολικοί συντελεστές $C_{pe,10}$ αφορούν τους συντελεστές πίεσης για φορτιζόμενες επιφάνειες μεγαλύτερες των 10 m^2 .

Έτσι για τη κατασκευή μας για τους κατακόρυφους τοίχους:

- Για τη διεύθυνση $\theta_{\alpha\chi}=0$, οι διαστάσεις του κτιρίου είναι $h=6 \text{ m}$ και $L=42 \text{ m}$ ήτοι επιφάνεια $A= 252 \text{ m}^2$
- Για τη διεύθυνση $\theta_{\beta\gamma}=0$, οι διαστάσεις του κτιρίου είναι $h=6 \text{ m}$ και $L=15 \text{ m}$ ήτοι επιφάνεια $A= 90 \text{ m}^2$

Και στις δύο διευθύνσεις το εμβαδόν των επιφανειών είναι μεγαλύτερο των 10 m^2 άρα το $C_{pe} = C_{pe,10}$



Εικόνα 17:Υπόμνημα για κατακόρυφους τοίχους

Πίνακας 10: Προτεινόμενες τιμές συντελεστών εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων ορθογωνικής κάτοψης

Ζώνη	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Σύμφωνα με την εικόνα 17 για το υπό μελέτη κτίριο και δεδομένου πως η κατανομή καθ' ύψος της φόρτισης είναι ομοιόμορφη σύμφωνα με την εικόνα 16, έχουμε:

Για άνεμο στη διεύθυνση γ οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης

Το $e = \min(2h, b) = 12 \text{ m} < b = 15 \text{ m}$ και το $h/d = 6/42 = 0.143$ συνεπώς από το πίνακα 10 οι συντελεστές ανά ζώνη έχουν:

- A: $C_{pe,10} = -1,2$
- B: $C_{pe,10} = -0,8$
- C: $C_{pe,10} = -0,5$
- D: $C_{pe,10} = 0,7$
- E: $C_{pe,10} = -0,3$

Για άνεμο στη διεύθυνση χ οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης

Το $e = \min(2h, b) = 12 \text{ m} < b = 42 \text{ m}$ και το $h/d = 6/15 = 0.4$ συνεπώς από το πίνακα 10 οι συντελεστές ανά ζώνη έχουν:

- A: $C_{pe,10} = 1,2$
- B: $C_{pe,10} = -0,8$
- C: $C_{pe,10} = -0,5$
- D: $C_{pe,10} = 0,72 \left(0,7 + \frac{((1-0,25)/0,1)}{((0,4-0,25)/\chi)} \right)$
- E: $C_{pe,10} = -0,375 \left(-0,3 - \frac{((1-0,25)/0,2)}{((0,4-0,25)/\chi)} \right)$

Για άνεμο στη διεύθυνση γ οι εξωτερικές πιέσεις

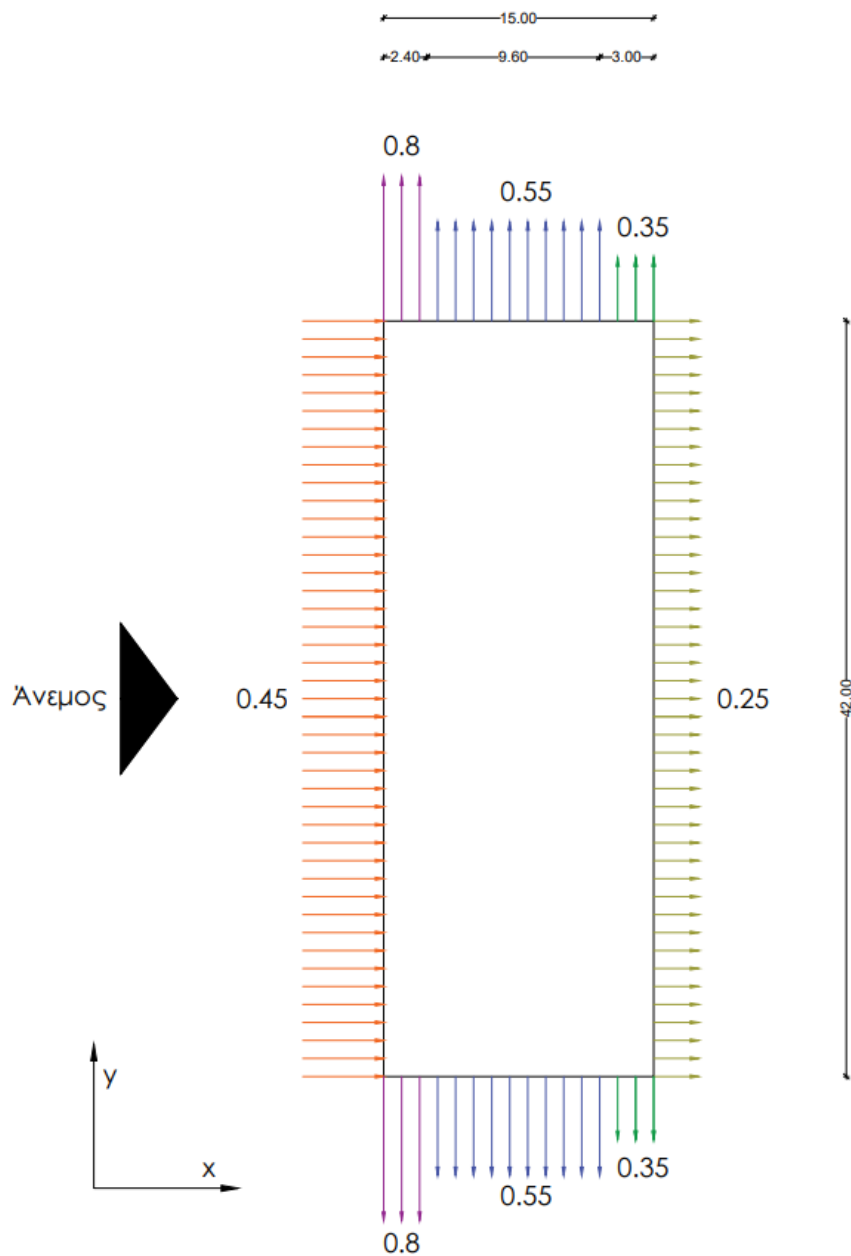
- A: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-1,2) = -0,7512 \approx -0,80$
- B: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,8) = -0,501 \approx -0,55$
- C: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,5) = -0,313 \approx -0,35$
- D: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (0,7) = 0,4382 \approx 0,45$
- E: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,3) = -0,1878 \approx -0,20$

Για άνεμο στη διεύθυνση χ οι εξωτερικές πιέσεις

- A: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (1,2) = 0,7512 \approx 0,80$
- B: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,8) = -0,501 \approx -0,55$
- C: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,5) = -0,313 \approx -0,35$
- D: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (0,72) = 0,4507 \approx 0,45$
- E: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,375) = -0,2348 \approx -0,25$

Για άνεμο στη διεύθυνση x οι επιφάνειες επιρροής

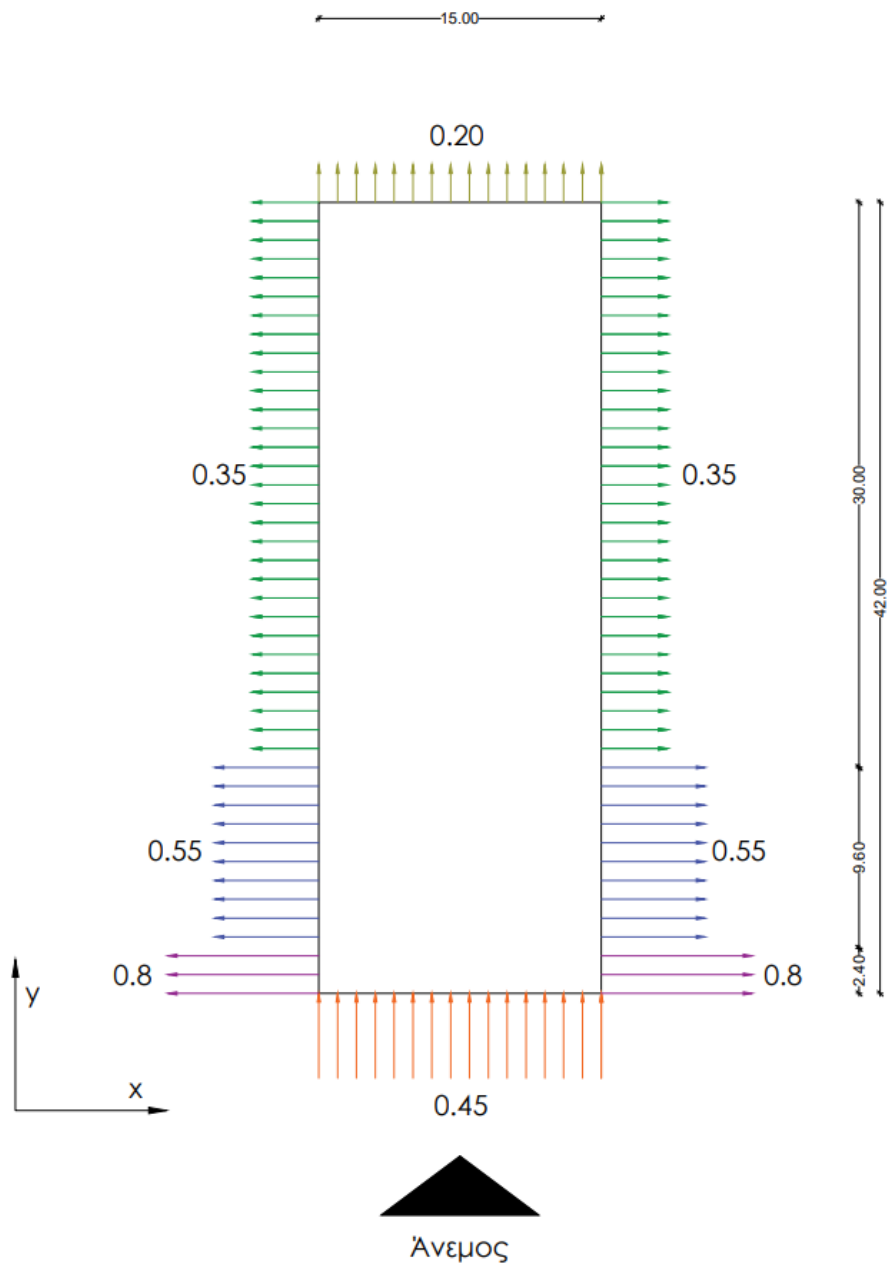
- $A = e/5 = 12/5 = 2.4 \text{ m}$
- $B = 4/5 * e = 4*12/5 = 9.6 \text{ m}$
- $C = d - e = 15 - (2.4+9.6) = 3 \text{ m}$



Εικόνα 18: Κατανομή φορτίσεων ανέμου στη διεύθυνση x

Για άνεμο στη διεύθυνση y οι επιφάνειες επιρροής

- $A = e/5 = 12/5 = 2.4 \text{ m}$
- $B = 4/5 * e = 4*12/5 = 9.6 \text{ m}$,
- $C = d - e = 42 - (2.4+9.6) = 30 \text{ m}$



Εικόνα 19: Κατανομή φορτίσεων ανέμου στη διεύθυνση y

Για άνεμο στη διεύθυνση χ τα φορτία των μελών προκύπτουν:

Σύμφωνα με την εικόνα 18 όπου αποτυπώνεται η κατανομή των φορτίσεων για άνεμο στη διεύθυνση χ:

- Προσήνεμη πλευρά:
 - Τα ακραία υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 18 m^2 (3,0 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,45 \text{ KN/m}^2 * 3 \text{ m} = 1,35 \text{ KN/m}$$
 - Τα ενδιάμεσα υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 36 m^2 (6,0 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,45 \text{ KN/m}^2 * 6 \text{ m} = 2,7 \text{ KN/m}$$
- Υπήνεμη πλευρά:
 - Τα ακραία υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 18 m^2 (3,0 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,25 \text{ KN/m}^2 * 3 \text{ m} = 0,75 \text{ KN/m}$$
 - Τα ενδιάμεσα υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 36 m^2 (6,0 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,25 \text{ KN/m}^2 * 6 \text{ m} = 1,5 \text{ KN/m}$$
- Κάθετες πλευρές:
 - Τα ακραία υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 15 m^2 (2,5 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:
 - Για το ακραίο υποστυλώμα στη προσήνεμη πλευρά, αυτό θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,80 \text{ KN/m}^2 * 2,4 \text{ m} + 0,55 \text{ KN/m}^2 * 0,1 \text{ m} = 1,975 \text{ KN/m} \approx 2,0 \text{ KN/m}$$
 - Για το ακραίο υποστυλώμα στην υπήνεμη πλευρά, αυτό θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,35 \text{ KN/m}^2 * 2,5 \text{ m} = 0,88 \text{ KN/m} \approx 0,9 \text{ KN/m}$$
 - Οι ενδιάμεσοι μετωπικοί στύλοι με επιφάνεια επιρροής 30 m^2 (5 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:
 - Για το μετωπικό στύλο κοντά στη προσήνεμη πλευρά, αυτός θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,55 \text{ KN/m}^2 * 5,0 \text{ m} = 2,75 \text{ KN/m} \approx 2,8 \text{ KN/m}$$
 - Για το μετωπικό στύλο κοντά στην υπήνεμη πλευρά, αυτός θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,55 \text{ KN/m}^2 * 4,5 \text{ m} + 0,35 \text{ KN/m}^2 * 0,5 \text{ m} = 2,65 \text{ KN/m} \approx 2,7 \text{ KN/m}$$

Για άνεμο στη διεύθυνση γ τα φορτία των μελών προκύπτουν:

Σύμφωνα με την εικόνα 19 όπου αποτυπώνεται η κατανομή των φορτίσεων για άνεμο στη διεύθυνση γ:

- Προσήνεμη πλευρά:
 - Τα ακραία υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 15 m^2 (2,5 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,45 \text{ KN/m}^2 * 2,5 \text{ m} = 1,13 \text{ KN/m} \approx 1,2 \text{ KN/m}$$
 - Οι ενδιάμεσοι μετωπικοί στύλοι με επιφάνεια επιρροής 30 m^2 (5,0 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,45 \text{ KN/m}^2 * 5 \text{ m} = 2,25 \text{ KN/m} \approx 2,3 \text{ KN/m}$$
- Υπήνεμη πλευρά:
 - Τα ακραία υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 15 m^2 (2,5 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,20 \text{ KN/m}^2 * 2,5 \text{ m} = 0,5 \text{ KN/m}$$
 - Οι ενδιάμεσοι μετωπικοί στύλοι με επιφάνεια επιρροής 36 m^2 (6,0 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,20 \text{ KN/m}^2 * 5 \text{ m} = 1,0 \text{ KN/m}$$
- Κάθετες πλευρές:
 - Τα ακραία υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 18 m^2 (3,0 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:
 - Για το ακραίο υποστυλώμα στη προσήνεμη πλευρά, αυτό θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,80 \text{ KN/m}^2 * 2,4 \text{ m} + 0,55 \text{ KN/m}^2 * 0,6 \text{ m} = 2,25 \text{ KN/m} \approx 2,3 \text{ KN/m}$$
 - Για το ακραίο υποστυλώμα στην υπήνεμη πλευρά, αυτό θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,35 \text{ KN/m}^2 * 3,0 \text{ m} = 1,05 \text{ KN/m} \approx 1,1 \text{ KN/m}$$
 - Τα ενδιάμεσα υποστυλώματα με επιφάνεια επιρροής 36 m^2 (6 m πλάτος και 6,0 m ύψος) θα φέρουν ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:
 - Για το πρώτο υποστυλώμα μετά το ακραίο κοντά στη προσήνεμη πλευρά, αυτό θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,55 \text{ KN/m}^2 * 6,0 \text{ m} = 3,3 \text{ KN/m}$$
 - Για το δεύτερο υποστυλώμα μετά το ακραίο κοντά στη προσήνεμη πλευρά, αυτό θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

$$0,55 \text{ KN/m}^2 * 3,0 \text{ m} + 0,35 \text{ KN/m}^2 * 3,0 \text{ m} = 2,7 \text{ KN/m}$$
 - Τα υπόλοιπα φορτίζονται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο καθ' ύψος:

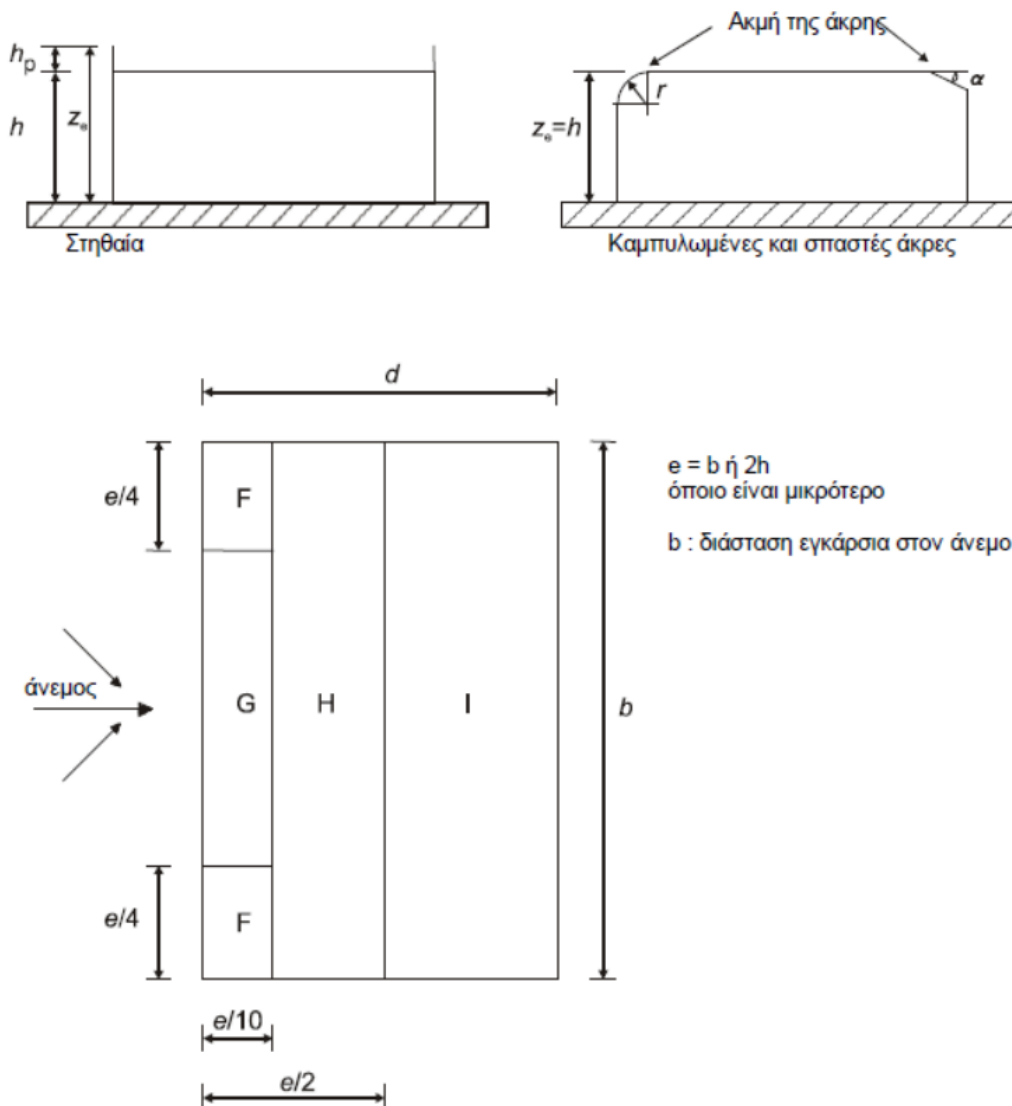
$$0,35 \text{ KN/m}^2 * 6,0 \text{ m} = 2,1 \text{ KN/m}$$

Για τις δράσεις ανέμου επί της οροφής:

Ο κανονισμός προβλέπει το κανονιστικό πλαίσιο φορτίσεων για τις στέγες οι οποίες χωρίζονται σε:

- Οριζόντιες
- Μονοκλινείς
- Δικλινείς
- Τετρακλινείς

Η κατασκευή μας φέρει **οριζόντια** στέγη δηλαδή έχει κλίση $\alpha=0^\circ$ και έτσι διαιρείται σε ζώνες σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα όπου οι συντελεστές πίεσης δίνονται από το πίνακα που ακολουθεί. Το ύψος αναφοράς εφόσον η κατασκευή δεν φέρει στηθαία περιμετρικά της στέγης είναι $H=6$ m, το συνολικό ύψος του κτιρίου.



Εικόνα 20: Υπόμνημα για οριζόντιες στέγες

Τύπος στέγης		F		G		H		I		
		C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	
Αιχμηρά άκρα		-1.8	-2.5	-1.2	-2.0	-0.7	-1.2	+0.2	-0.2	
Με στηθαία	$\frac{h_p}{h}$	0.025	-1.6	-2.2	-1.1	-1.8	-0.7	-1.2	+0.2	-0.2
		0.05	-1.4	-2.0	-0.9	-1.6	-0.7	-1.2	+0.2	-0.2
		0.10	-1.2	-1.8	-0.8	-1.4	-0.7	-1.2	+0.2	-0.2
Καμπυλ ωμένα άκρα	$\frac{r}{h}$	0.05	-1.0	-1.5	-1.2	-1.8	-0.4	+0.2	-0.2	
		0.10	-0.7	-1.2	-0.8	-1.4	-0.3	+0.2	-0.2	
		0.20	-0.5	-0.8	-0.5	-0.8	-0.3	+0.2	-0.2	
Σπαστά άκρα	α	30°	-1.0	-1.5	-1.0	-1.5	-0.3	+0.2	-0.2	
		45°	-1.2	-1.8	-1.3	-1.9	-0.4	+0.2	-0.2	
		60°	-1.3	-1.9	-1.3	-1.9	-0.5	+0.2	-0.2	
ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1	Για στέγες με στηθαία ή καμπυλωμένα άκρα, μπορεί να χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή για ενδιάμεσες τιμές του h_p/h και r/h .									
ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2	Για στέγες με σπαστά άκρα, γραμμική παρεμβολή μεταξύ $\alpha = 30^\circ$, 45° και $\alpha = 60^\circ$ μπορεί να χρησιμοποιείται. Για $\alpha > 60^\circ$ γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών για $\alpha = 60^\circ$ και των τιμών για επίπεδες στέγες με αιχμηρά άκρα μπορεί να χρησιμοποιείται.									
ΣΗΜΕΙΩΣΗ 3	Στη Ζώνη I, όπου δίνονται θετικές και αρνητικές τιμές, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι δύο τιμές.									
ΣΗΜΕΙΩΣΗ 4	Για το ίδιο το σπαστό άκρο, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνονται στον Πίνακα 7.4 "Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δικλινείς στέγες: διεύθυνση ανέμου 0°", Ζώνη F και G, ανάλογα με την γωνία κλίσης του σπαστού άκρου.									
ΣΗΜΕΙΩΣΗ 5	Για το ίδιο το καμπυλωμένο άκρο, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνονται με γραμμική παρεμβολή κατά μήκος της καμπύλης, μεταξύ των τιμών στον τοίχο και στη στέγη.									

Πίνακας 11:- Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για οριζόντιες στέγες

Για άνεμο στη διεύθυνση x οι επιφάνειες φόρτισης και οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης:

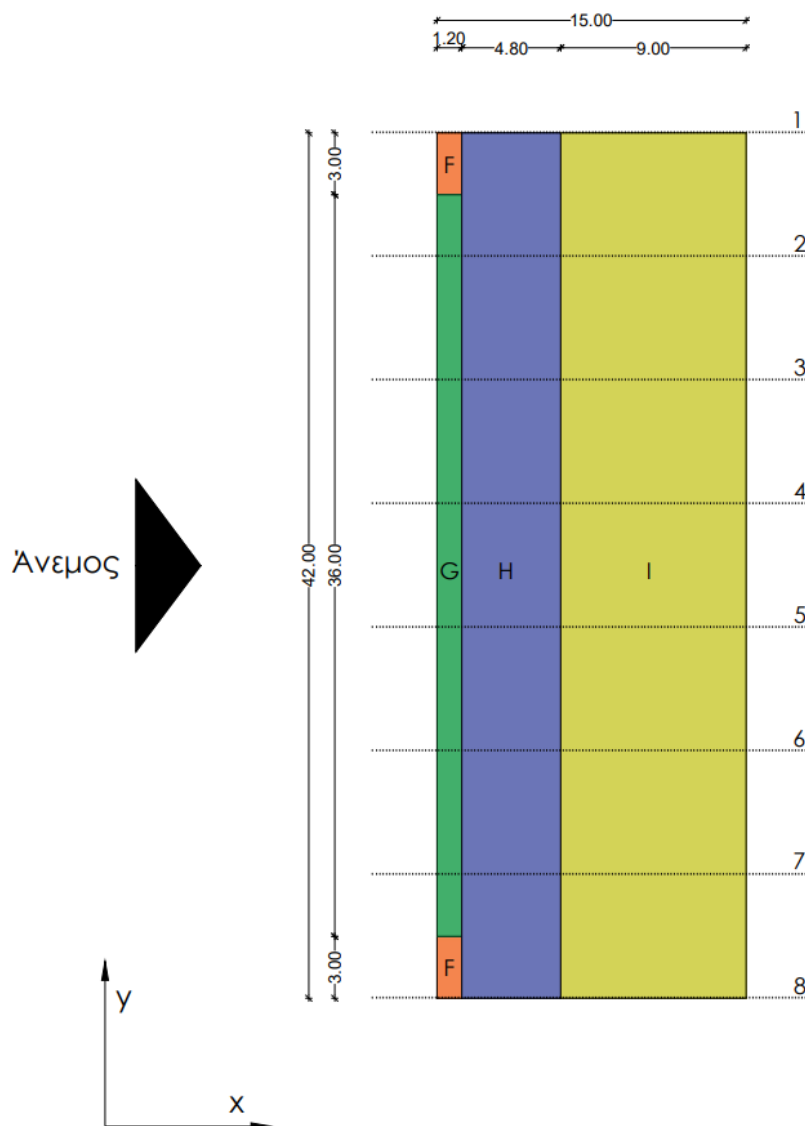
Διαστάσεις κτιρίου: $h = 6$ m και $b = 42$ m και $d = 15$ m

Ως $e = \min(e_1, e_2) = \min(b, 2h) = \min(42, (2 \cdot 6)) = 12$ m

- $F = e/4 = 12/4 = 3$ m και $e/10 = 12/10 = 1,2$ m
- $G = 42 - (2e/4) = 42 - (2 \cdot 12/4) = 36$ m και $e/10 = 1,2$ m
- $H = 42$ m και $((e/2) - (e/10)) = ((12/2) - (12/10)) = 4,8$ m
- $I = 42$ m και $(d - e/2) = (15 - (12/2)) = 9$ m

Εφόσον η στέγη έχει αιχμηρά άκρα και όχι καμπύλα τμήματα και εφόσον το εμβαδόν της είναι $630 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$, θα πάρω για κάθε επιφάνεια φόρτισης το συντελεστή $C_{pe,10}$, όπου:

- $F_{C_{pe,10}} = -1,8$
- $G_{C_{pe,10}} = -1,2$
- $H_{C_{pe,10}} = -0,7$
- $I_{C_{pe,10}} = +0,2$ και $I_{C_{pe,10}} = -0,2$



Εικόνα 21: Ζώνες πιέσεων για άνεμο κατά τη διεύθυνση x

Για άνεμο στη διεύθυνση y οι επιφάνειες φόρτισης και οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης:

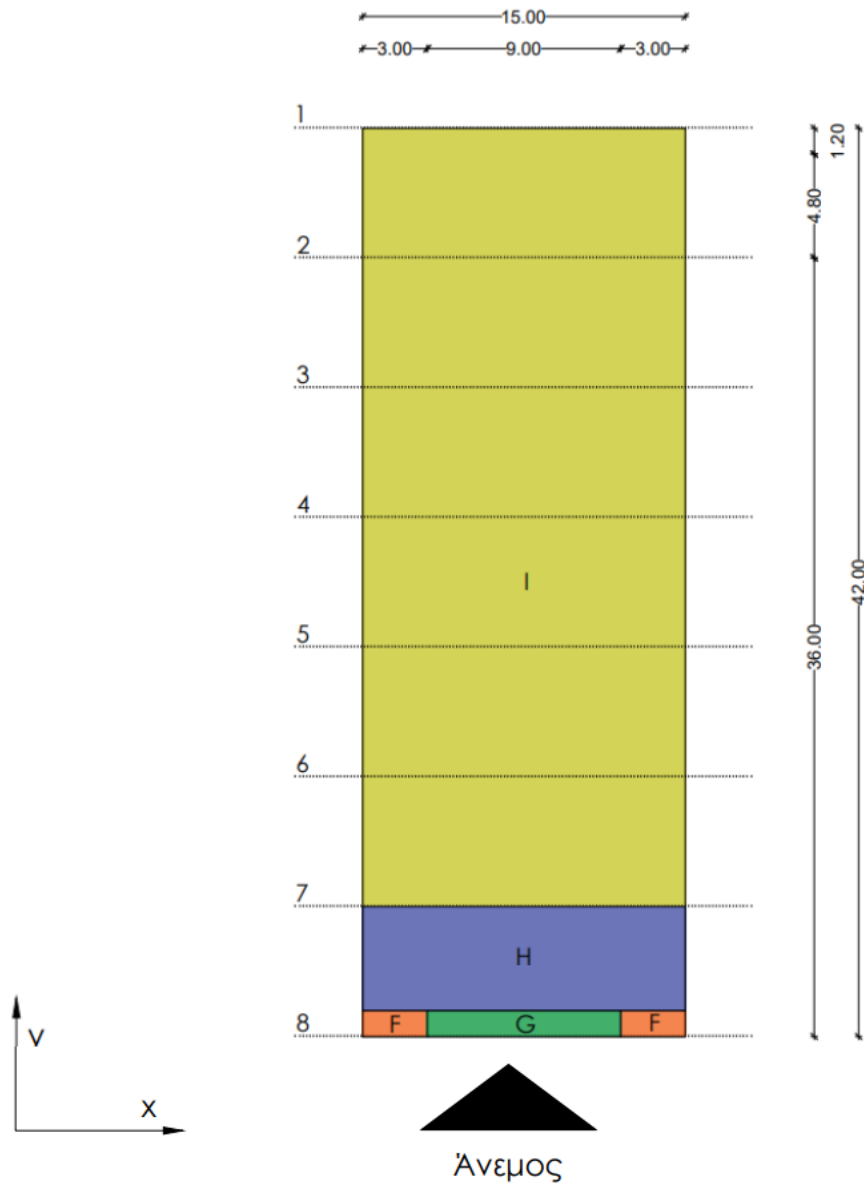
Διαστάσεις κτιρίου: $h = 6$ m και $b = 15$ m και $d = 42$ m

Ως $e = \min(e_1, e_2) = \min(b, 2h) = \min(15, (2 \cdot 6)) = 12$ m

- $F = e/4 = 12/4 = 3$ m και $e/10 = 12/10 = 1,2$ m
- $G = 15 - (2e/4) = 15 - (2 \cdot 12/4) = 9$ m και $e/10 = 1,2$ m
- $H = 15$ m και $((e/2) - (e/10)) = ((12/2) - (12/10)) = 4,8$ m
- $I = 15$ m και $(d - e/2) = (42 - (12/2)) = 36$ m

Εφόσον η στέγη έχει αιχμηρά άκρα και όχι καμπύλα τμήματα και εφόσον το εμβαδόν της είναι $630\text{m}^2 > 10\text{m}^2$, θα πάρω για κάθε επιφάνεια φόρτισης το συντελεστή $C_{pe,10}$, όπου:

- $FC_{pe,10} = -1,8$
- $GC_{pe,10} = -1,2$
- $HC_{pe,10} = -0,7$
- $IC_{pe,10} = +0,2$ και $IC_{pe,10} = -0,2$



Εικόνα 22: Ζώνες πιέσεων για άνεμο κατά τη διεύθυνση y

Για άνεμο στη διεύθυνση χ οι εξωτερικές πιέσεις

- F: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-1,8) = -1,13$
- G: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-1,2) = -0,76$
- H: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,7) = -0,44$
- I: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (0,2) = 0,14$ και $0,626 * (-0,2) = -0,14$

Για άνεμο στη διεύθυνση γ οι εξωτερικές πιέσεις

- F: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-1,8) = -1,13$
- G: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-1,2) = -0,76$
- H: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (-0,7) = -0,44$
- I: $We = q_p(z_e) * C_{pe,10} = 0,626 * (0,2) = 0,14$ και $0,626 * (-0,2) = -0,14$

Για άνεμο στη διεύθυνση χ τα φορτία των μελών προκύπτουν:

Σύμφωνα με την εικόνα 21 όπου αποτυπώνεται η κατανομή των φορτίσεων για άνεμο στη διεύθυνση χ:

- Η δοκός 1 και 8 θα φορτίζονται με ομοιόμορφο καταμεμημένο φορτίο κατά μήκος από πλάτος επιρροής 3 m ως εξής:
 - Για το τμήμα από (0 m – 3,0 m) για πίεση ζώνης F, το φορτίο θα είναι: $3,0 \text{ m} * (-1,13 \text{ KN/m}^2) = -3,4 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (3,0 m – 7,8 m) για πίεση ζώνης H, το φορτίο θα είναι: $3,0 \text{ m} * (-0,44 \text{ KN/m}^2) = -1,3 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (6,0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I, το φορτίο θα είναι: $3,0 \text{ m} * (-0,14 \text{ KN/m}^2) = -0,40 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (6,0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I, το φορτίο θα είναι: $3,0 \text{ m} * (+0,14 \text{ KN/m}^2) = +0,40 \text{ KN/m}$
- Η δοκός 2,3,4,5,6,7 θα φορτίζονται με ομοιόμορφο καταμεμημένο φορτίο κατά μήκος από πλάτος επιρροής 6 m ως εξής:
 - Για το τμήμα από (0 m – 1,2 m) για πίεση ζώνης G, το φορτίο θα είναι: $6,0 \text{ m} * (-0,76 \text{ KN/m}^2) = -4,60 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (1,2 m – 6,0 m) για πίεση ζώνης H, το φορτίο θα είναι: $6,0 \text{ m} * (-0,44 \text{ KN/m}^2) = -2,70 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (6,0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I, το φορτίο θα είναι: $6,0 \text{ m} * (-0,14 \text{ KN/m}^2) = -0,85 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (6,0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I, το φορτίο θα είναι: $6,0 \text{ m} * (+0,14 \text{ KN/m}^2) = +0,85 \text{ KN/m}$

Για άνεμο στη διεύθυνση γ τα φορτία των μελών προκύπτουν:

Σύμφωνα με την εικόνα 21 όπου αποτυπώνεται η κατανομή των φορτίσεων για άνεμο στη διεύθυνση χ :

- Η δοκός 8 θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο κατά μήκος από πλάτος επιρροής 3 m ως εξής:
 - Για το τμήμα από (0 m – 3,0 m), για πίεση ζώνης F για πλάτος επιρροής 1,2 m και για πίεση ζώνης H για πλάτος επιρροής 1,8 m, το φορτίο θα είναι: $(1,2 \text{ m} * (-1,13 \text{ KN/m}^2)) + (1,8 * (-0,44 \text{ KN/m}^2)) = -2,2 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (3,0 m – 12,0 m), για πίεση ζώνης G για πλάτος επιρροής 1,2 m και για πίεση ζώνης H για πλάτος επιρροής 1,8 m, το φορτίο θα είναι: $(1,2 \text{ m} * (-0,76 \text{ KN/m}^2)) + (1,8 * (-0,44 \text{ KN/m}^2)) = -1,70 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (9,0 m – 15,0 m), για πίεση ζώνης F για πλάτος επιρροής 1,2 m και για πίεση ζώνης H για πλάτος επιρροής 1,8 m, το φορτίο θα είναι: $(1,2 \text{ m} * (-1,13 \text{ KN/m}^2)) + (1,8 * (-0,44 \text{ KN/m}^2)) = -2,2 \text{ KN/m}$
- Η δοκός 7 θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο κατά μήκος από πλάτος επιρροής 6 m ως εξής:
 - Για το τμήμα από (0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης H για πλάτος επιρροής 3,0 m και για πίεση ζώνης I για πλάτος επιρροής 3,0 m, το φορτίο θα είναι: $(3,0 \text{ m} * (-0,44 \text{ KN/m}^2)) + (3,0 * (-0,14 \text{ KN/m}^2)) = -1,74 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης H για πλάτος επιρροής 3,0 m και για πίεση ζώνης I για πλάτος επιρροής 3,0 m, το φορτίο θα είναι: $(3,0 \text{ m} * (-0,44 \text{ KN/m}^2)) + (3,0 * (+0,14 \text{ KN/m}^2)) = -0,9 \text{ KN/m}$
- Η δοκός 6,5,4,3,2 θα φορτίζονται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο κατά μήκος από πλάτος επιρροής 6 m ως εξής:
 - Για το τμήμα από (0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I για πλάτος επιρροής 6,0 m, το φορτίο θα είναι: $(6 * (-0,14 \text{ KN/m}^2)) = -0,84 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I για πλάτος επιρροής 6,0 m, το φορτίο θα είναι: $(6 * (+0,14 \text{ KN/m}^2)) = +0,84 \text{ KN/m}$
- Η δοκός 1 θα φορτίζεται με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο κατά μήκος από πλάτος επιρροής 3 m ως εξής:
 - Για το τμήμα από (0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I για πλάτος επιρροής 3,0 m, το φορτίο θα είναι: $(3 * (-0,14 \text{ KN/m}^2)) = -0,42 \text{ KN/m}$
 - Για το τμήμα από (0 m – 15,0 m) για πίεση ζώνης I για πλάτος επιρροής 3,0 m, το φορτίο θα είναι: $(3 * (+0,14 \text{ KN/m}^2)) = +0,42 \text{ KN/m}$

3.2.5 Σεισμικές Δράσεις

Για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη όλοι οι απαιτούμενοι παράμετροι σύμφωνα με το κανονισμό, οι οποίοι έχουν ως εξής:

- Σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. και ΦΕΚ 1154/12-8-2003 η Ελλάδα υποδιαιρείται σε τρεις Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας όπου σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μία τιμή **σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους** (α) η οποία σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια ή περίοδο επαναφοράς στα 475 χρόνια.
Για τη περιοχή των Τρικάλων και συγκεκριμένα η ευρύτερη περιοχή της Καλαμπάκας σύμφωνα με το χάρτη κατατάσσεται στη Ζώνη Ι, έτσι λαμβάνεται επιτάχυνση $\alpha=0,16g$.
- Η **κατηγορία σπουδαιότητας** του κτίριο είναι η ΙΙ που αφορά συνήθη κτίρια και συνεπώς ο συντελεστής $\gamma_i = 1$
- ο **διορθωτικός συντελεστής (η)** για μεταλλική κατασκευή με κοχλιωτές συνδέσεις λαμβάνεται $\zeta=4\%$.
- η **κατηγορία εδάφους** η οποία και καθορίζει τις χαρακτηριστικές τιμές των περιόδων λαμβάνεται η Β. Ύστερα από έρευνα γειτονικών κατασκευών φάνηκε η ύπαρξη πυκνής άμμου και χαλίκων σε αρκετό βάθος.
- Ο **συντελεστής συμπεριφοράς (q)** επιλέγεται $q=1,5$ για περιορισμένη πλάστιμη συμπεριφορά και έτσι οι έλεγχοι ελαστοπλαστικού μηχανισμού και οι έλεγχοι ικανοτικού σχεδιασμού δεν απαιτούνται.
- Οι **περίοδοι του φάσματος** για Κατηγορία εδάφους Β προσδιορίζονται από το παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 12: Τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν τα συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης τύπου Ι

Εδαφικός Τύπος	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

όπου:

T_B: είναι η περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

T_C: είναι η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

T_D: είναι η τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής

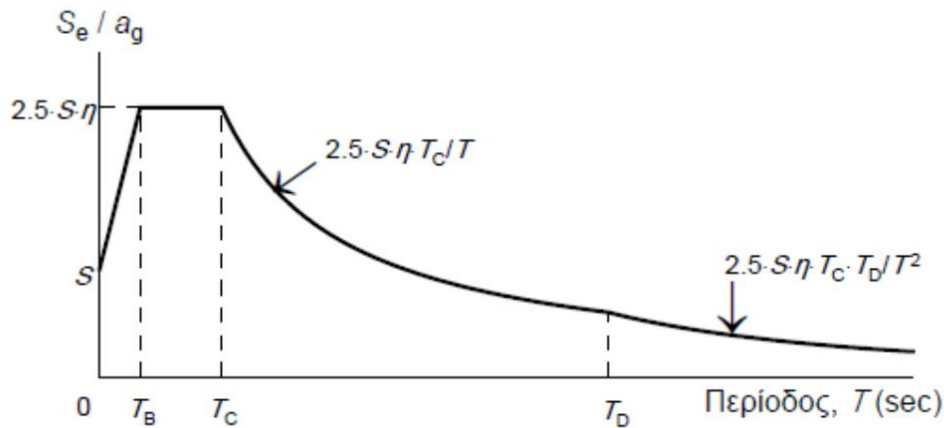
σταθερής μετακίνησης του φάσματος

S: είναι ο συντελεστής εδάφους

β : είναι συντελεστής κατώτατου ορίου για το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού, συνιστώμενη τιμή $\beta=0,2$.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω για τη Κατηγορία εδάφους Β έχουμε: $T_B(s)=0,15$, $T_C(s)=0,5$, $T_D(s)=2,0$ και $S=1,2$.

Επιπρόσθετα σύμφωνα με την παράγραφο 4.3.3.5.2 του Ευρωκώδικα 8, σε περιπτώσεις έργων όπου η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους λαμβάνεται μικρότερη ή ίση με 0,25g, τότε μπορεί να αμελείται η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού. Επομένως, στο έργο μας μπορούμε να αμελήσουμε τις κατακόρυφες συνιστώσες και να λάβουμε υπόψη μόνο τις οριζόντιες σεισμικές δράσεις.



Εικόνα 23:Φασματική επιτάχυνση

Η επιτάχυνση σχεδιασμού υπολογίζεται:

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

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

όπου:

$S_d(T)$: είναι η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού

T : είναι η περίοδος ταλάντωσης ενός γραμμικού συστήματος μίας ελεύθερης κίνησης

Τα ανωτέρω δεδομένα εισάγονται στα λογισμικά ανάλυσης και σχεδιασμού που θα χρησιμοποιήσουμε, τα οποία περιλαμβάνουν τις διατάξεις του Ευρωκώδικα για τα φάσματα σχεδιασμού και έτσι προσδιορίζεται το φάσμα σχεδιασμού του κτιρίου μας.

Στη συνέχεια εκτελείται δυναμική ανάλυση με τη παραδοχή ότι οι ιδιομορφικές μάζες είναι συγκεντρωμένες σε κάθε κόμβο δοκού – υποστυλώματος του κτιρίου, ενώ με βάση τον

Ευρωκώδικα 8, για κάθε συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης θα λαμβάνεται υπόψη υποχρεωτικά ένας αριθμός ιδιομορφών, έως ότου το άθροισμα των δρωσών ιδιομορφικών μαζών ΣM_i φθάσει στο 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας M του συστήματος σε αυτή τη διεύθυνση. Οι ιδιομορφές είναι ανεξάρτητες της φόρτισης και εξαρτώνται μόνο από το μητρώο μάζας $[m]$ και το μητρώο ακαμψίας της κατασκευής $[K]$.

Τέλος επειδή η χρήση των φασμάτων δίνει μέγιστες τιμές, οι οποίες αφενός δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα και αφετέρου δεν έχουν κατ' ανάγκη το ίδιο πρόσημο, οι συμμετοχές των ιδιομορφών σε κάποιο μέγεθος X συνδυάζονται με τη μέθοδο SRSS (Square Root of the Sum of Squares)

$$X = \pm \sqrt{X^2_1 + X^2_2 + \dots + X^2_k}$$

όπου:

k αριθμός των ιδιομορφών που λαμβάνονται υπόψη ($k < n$)

X_i συμμετοχή της i ιδιομορφής στο μέγεθος X

3.2.6 Φορτία Θερμοκρασίας

Προκειμένου να λάβουμε υπόψη τα φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή από συστολο-διαστολές θεωρούμε μία μεταβολή θερμοκρασίας ΔT (ομοιόμορφη αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας ολόκληρου του φέροντος οργανισμού σε σχέση με τη θερμοκρασία συναρμολόγησής του) η οποία περίπτωση μας λαμβάνεται ίση με $\pm 20^\circ\text{C}$.

3.2.7 Συνδυασμοί Φόρτισης

Σύμφωνα με το Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω συνδυασμοί στις δύο οριακές καταστάσεις λαμβάνοντας υπόψη πως οι δράσεις που δεν μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα, λόγω φυσικών αιτιών, δεν πρέπει να θεωρούνται στον ίδιο συνδυασμό.

Έτσι έχουμε:

- I. Συνδυασμοί φορτίσεων σε **OKA** όπως θα ορισθούν στο λογισμικό:
 - DEAD: άθροισμα μόνιμων φορτίων
 - ExtraDEAD: πρόσθετα μόνιμα φορτία
 - rooflive: άθροισμα κινητών φορτίων
 - snow: φορτίο χιονιού
 - wind x: άνεμος κατά τη διεύθυνση +xx
 - wind y: άνεμος κατά τη διεύθυνση +yy
 - temp: φορτίο θερμοκρασίας
 - wind -x: άνεμος κατά τη διεύθυνση -xx
 - wind -y: άνεμος κατά τη διεύθυνση -yy
 - Ex: σεισμός κατά τη διεύθυνση +xx
 - Ey: σεισμός κατά τη διεύθυνση +yy

A/A	DEAD	rooflive	snow	wind x	wind y	Extra DEAD	wind -x	wind -y	temp	Ex	Ey
OKA1	1,35	1,5				1,35			0,9		
OKA1-T	1,35	1,5				1,35			-0,9		
OKA5Wx	1,35		1,5	0,9		1,35			0,9		
OKA5Wy	1,35		1,5		0,9	1,35			0,9		
OKA5W-x	1,35		1,5			1,35	0,9		0,9		
OKA5W-y	1,35		1,5			1,35		0,9	0,9		
OKA5Wx-T	1,35		1,5	0,9		1,35			-0,9		
OKA5Wy-T	1,35		1,5		0,9	1,35			-0,9		
OKA5W-x-T	1,35		1,5			1,35	0,9		-0,9		
OKA5W-y-T	1,35		1,5			1,35		0,9	-0,9		
OKA6Wx	1,35		0,75	1,5		1,35			0,9		
OKA6Wy	1,35		0,75		1,5	1,35			0,9		
OKA6W-x	1,35		0,75			1,35	1,5		0,9		
OKA6W-y	1,35		0,75			1,35		1,5	0,9		
OKA6Wx-T	1,35		0,75	1,5		1,35			-0,9		
OKA6Wy-T	1,35		0,75		1,5	1,35			-0,9		
OKA6W-x-T	1,35		0,75			1,35	1,5		-0,9		
OKA6W-y-T	1,35		0,75			1,35		1,5	-0,9		
OKA7	1,35		1,5			1,35			0,9		
OKA7-T	1,35		1,5			1,35			-0,9		
OKA8Wx	1,35			1,5		1,35			0,9		
OKA8Wy	1,35				1,5	1,35			0,9		
OKA8W-x	1,35					1,35	1,5		0,9		
OKA8W-y	1,35					1,35		1,5	0,9		
OKA8Wx-T	1,35			1,5		1,35			-0,9		
OKA8Wy-T	1,35				1,5	1,35			-0,9		
OKA8W-x-T	1,35					1,35	1,5		-0,9		
OKA8W-y-T	1,35					1,35		1,5	-0,9		
OKA9Wx	1,35		0,75	0,9		1,35			1,5		
OKA9Wy	1,35		0,75		0,9	1,35			1,5		
OKA9W-x	1,35		0,75			1,35	0,9		1,5		
OKA9W-y	1,35		0,75			1,35		0,9	1,5		
OKA9Wx-T	1,35		0,75	0,9		1,35			-1,5		
OKA9Wy-T	1,35		0,75		0,9	1,35			-1,5		
OKA9W-x-T	1,35		0,75			1,35	0,9		-1,5		
OKA9W-y-T	1,35		0,75			1,35		0,9	-1,5		
OKA10	1,35		0,75			1,35			1,5		
OKA10-T	1,35		0,75			1,35			-1,5		
OKA11Wx	1,35			0,9		1,35			1,5		
OKA11Wy	1,35				0,9	1,35			1,5		
OKA11W-x	1,35					1,35	0,9		1,5		
OKA11W-y	1,35					1,35		0,9	1,5		
OKA11Wx-T	1,35			0,9		1,35			-1,5		
OKA11Wy-T	1,35				0,9	1,35			-1,5		
OKA11W-x-T	1,35					1,35	0,9		-1,5		
OKA11W-y-T	1,35					1,35		0,9	-1,5		
SEISMOSX1	1		0,3			1				1	0,3
SEISMOSX2	1		0,3			1				-1	0,3
SEISMOSX3	1		0,3			1				1	-0,3
SEISMOSX4	1		0,3			1				-1	-0,3
SEISMOSY1	1		0,3			1				0,3	1
SEISMOSY2	1		0,3			1				-0,3	1
SEISMOSY3	1		0,3			1				0,3	-1
SEISMOSY4	1		0,3			1				-0,3	-1

Πίνακας 13: Συνδυασμοί φορτίσεων κατασκευής στην οριακή κατάσταση αστοχίας

II. Συνδυασμοί φορτίσεων σε **OKL** όπως θα ορισθούν στο λογισμικό:

- DEAD: άθροισμα μόνιμων φορτίων
- ExtraDEAD: πρόσθετα μόνιμα φορτία
- rooflive: άθροισμα κινητών φορτίων
- snow: φορτίο χιονιού
- wind x: άνεμος κατά τη διεύθυνση +xx
- wind y: άνεμος κατά τη διεύθυνση +yy
- wind -x: άνεμος κατά τη διεύθυνση -xx
- wind -y: άνεμος κατά τη διεύθυνση -yy

A/A	DEAD	rooflive	snow	wind x	wind y	Extra DEAD	wind -x	wind -y	temp	Ex	Ey
OKL1	1	0,9				1			0,6		
OKL-T	1	1				1			-0,6		
OKL5Wx	1		1	0,6		1			0,6		
OKL5Wy	1		1		0,6	1			0,6		
OKL5W-x	1		1			1	0,6		0,6		
OKL5W-y	1		1			1		0,6	0,6		
OKL5Wx-T	1		1	0,6		1			-0,6		
OKL5Wy-T	1		1		0,6	1			-0,6		
OKL5W-x-T	1		1			1	0,6		-0,6		
OKL5W-y-T	1		1			1		0,6	-0,6		
OKL6Wx	1		0,5	1		1			0,6		
OKL6Wy	1		0,5		1	1			0,6		
OKL6W-x	1		0,5			1	1		0,6		
OKL6W-y	1		0,5			1		1	0,6		
OKL6Wx-T	1		0,5	1		1			-0,6		
OKL6Wy-T	1		0,5		1	1			-0,6		
OKL6W-x-T	1		0,5			1	1		-0,6		
OKL6W-y-T	1		0,5			1		1	-0,6		
OKL7	1		1			1			0,6		
OKL7-T	1		1			1			-0,6		
OKL8Wx	1			1		1			0,6		
OKL8Wy	1				1	1			0,6		
OKL8W-x	1					1	1		0,6		
OKL8W-y	1					1		1	0,6		
OKL8Wx-T	1			1		1			-0,6		
OKL8Wy-T	1				1	1			-0,6		
OKL8W-x-T	1					1	1		-0,6		
OKL8W-y-T	1					1		1	-0,6		
OKL9Wx	1		0,5	0,6		1			1		
OKL9Wy	1		0,5		0,6	1			1		
OKL9W-x	1		0,5			1	0,6		1		
OKL9W-y	1		0,5			1		0,6	1		
OKL9Wx-T	1		0,5	0,6		1			-1		
OKL9Wy-T	1		0,5		0,6	1			-1		
OKL9W-x-T	1		0,5			1	0,6		-1		
OKL9W-y-T	1		0,5			1		0,6	-1		
OKL10	1		0,5			1			1		
OKL10-T	1		0,5			1			-1		
OKL11Wx	1			0,6		1			1		
OKL11Wy	1				0,6	1			1		
OKL11W-x	1					1	0,6		1		
OKL11W-y	1					1		0,6	1		
OKL11Wx-T	1			0,6		1			-1		
OKL11Wy-T	1				0,6	1			-1		
OKL11W-x-T	1					1	0,6		-1		
OKL11W-y-T	1					1		0,6	-1		

Πίνακας 14: Συνδυασμοί φορτίσεων κατασκευής στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

3.3 Έλεγχος Κατασκευής

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της ανάλυσης, στη συνέχεια γίνονται οι απαιτούμενοι έλεγχοι επάρκειας σε επίπεδο διατομής και μέλους σε σχέση με τα επιβαλλόμενα εντατικά μεγέθη του φορέα.

Για τη διαστασιολόγηση φορέων από χάλυβα εφαρμόζεται ο Ευρωκώδικας EN1993-1-1, EN1993-1-8, EN 1990 §1.4.3 και γίνονται οι απαιτούμενοι έλεγχοι:

I. Έλεγχοι διατομών σε ΟΚΑ:

- Αντοχή διατομών γενικά (EN1993-1-1 § 6.2.1)
- Αντοχή διατομής σε μονοαξονικό εφελκυσμό (EN1993-1-1 § 6.2.3)
- Αντοχή διατομής σε θλίψη (EN1993-1-1 § 6.2.4)
- Αντοχή διατομής σε κάμψη (EN1993-1-1 § 6.2.5)
- Αντοχή διατομής σε τέμνουσα (EN1993-1-1 § 6.2.6)
- Αντοχή διατομής σε στρέψη (EN1993-1-1 § 6.2.7)
- Αντοχή διατομής σε στρέψη και διάτμηση (EN1993-1-1 § 6.2.7)
- Αντοχή διατομής σε κάμψη και διάτμηση (EN1993-1-1 § 6.2.8)
- Αντοχή διατομής σε κάμψη και αξονική δύναμη (EN1993-1-1 § 6.2.9)

II. Έλεγχοι μελών σε ΟΚΑ

- Αντοχή μελών σταθερής διατομής έναντι καμπτικού λυγισμού (EN1993-1-1 § 6.3.1)
- Αντοχή μελών σταθερής διατομής έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού (EN1993-1-1 § 6.3.2)
- Αντοχή μελών σταθερής διατομής υπό κάμψη και θλίψη (EN1993-1-1 § 6.3.3)

III. Έλεγχοι σε ΟΚΑ (EN 1990 §1.4.3)

- Έλεγχος κατακόρυφων παραμορφώσεων
- Έλεγχος οριζόντιων παραμορφώσεων

IV. Συνδέσεις και Κοχλίες (EN 1993-1-8 §3)

V. Αντοχή Εξωραφών (EN 1993-1-8 §4.5)

VI. Κόμβοι σύνδεσης διατομών H & I (EN 1993-1-8 §6)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ανάλυση και Σχεδιασμός στο Sap 2000

4.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό προσομοίωσης και ανάλυσης για την εκπόνηση της παρούσης, είναι το SAP 2000 (Computers & Structures, Inc. ,το οποίο είναι ένα αναγνωρισμένο διεθνώς λογισμικό για τις δυνατότητες του. Το βασικό του πλεονέκτημα έναντι άλλων εμπορικών προγραμμάτων είναι η δυνατότητα που δίνει στο χρήστη να επεμβαίνει λεπτομερώς στο προσδιορισμό των παραμέτρων προσομοίωσης και έτσι να έχει σε κάθε βήμα την πλήρη εικόνα των χαρακτηριστικών του μοντέλου του και των απαιτήσεων του Κανονισμού.

4.2 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα

4.2.1 Μέλη φορέα

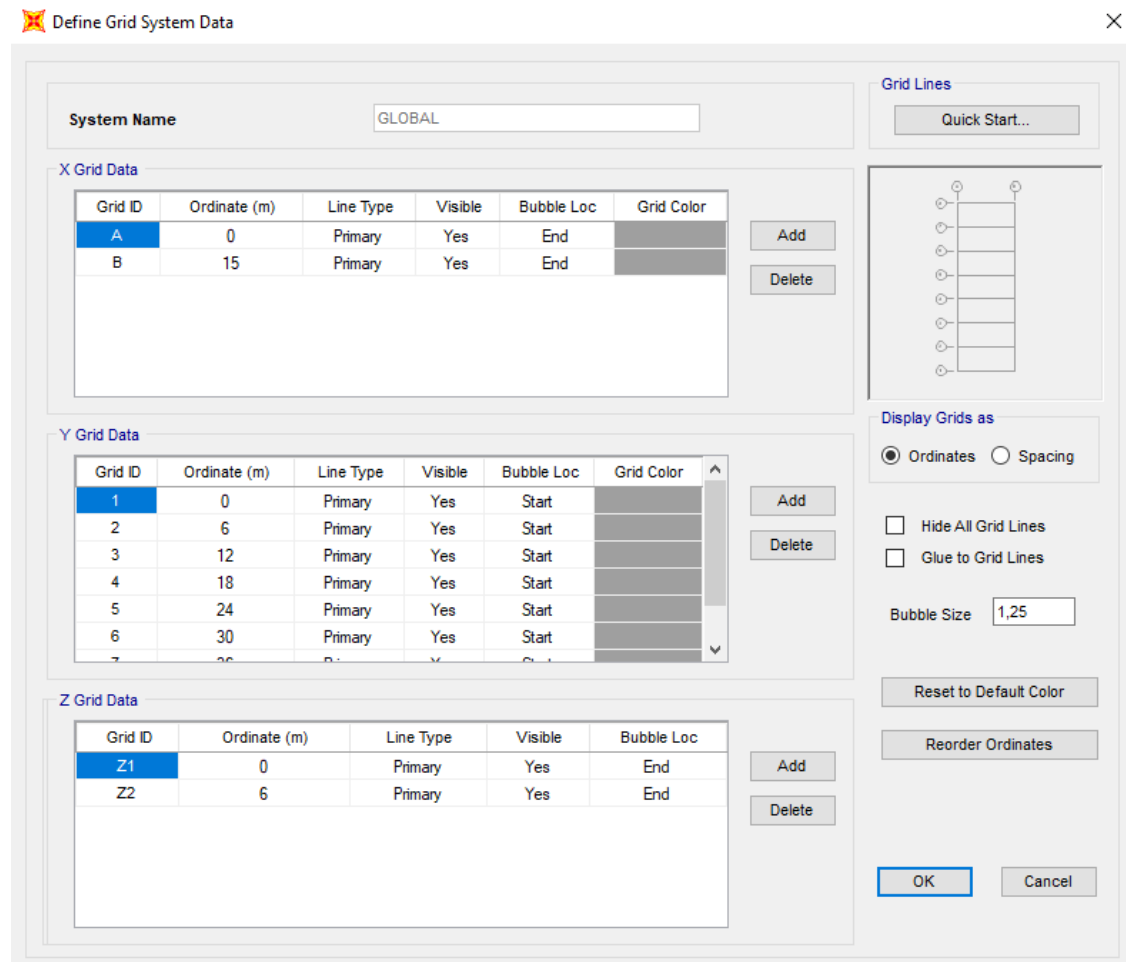
Το πρώτο βήμα πριν την έναρξη του σχεδιασμού είναι να οριστούν οι **μονάδες μέτρησης**. Οι μονάδες μέτρησης συνήθως επιλέγονται στην αρχή της εισαγωγής των δεδομένων σε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης και καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα εισαχθούν τα δεδομένα στη συνέχεια. Οι μονάδες που επιλέγουμε να εργαστούμε είναι του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων SI.

Για τη δημιουργία της **γεωμετρίας του φορέα** δίνονται διάφορες λύσεις από το πρόγραμμα για άμεσο και γρήγορο σχεδιασμό. Ο χρήστης μπορεί:

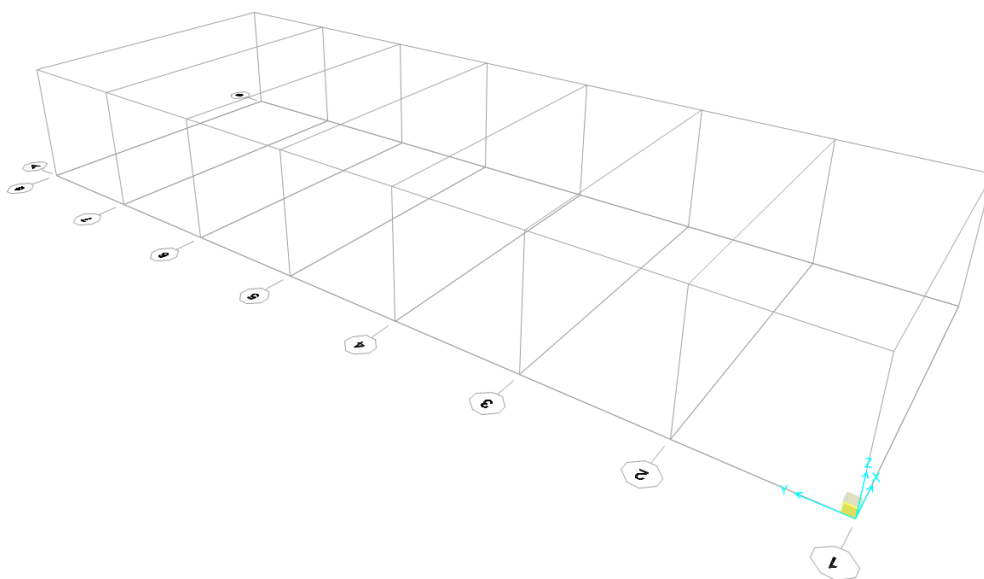
1. Να ορίσει έναν κάρναβο δημιουργώντας βοηθητικές γραμμές μέσω του **Define → Coordinate Systems/Grids→Add new system** και στη συνέχεια να ορίσει το πλήθος των βοηθητικών γραμμών και την απόσταση μεταξύ τους σε κάθε διεύθυνση x,y,z. Έτσι έχει ορισμένο ένα υπόβαθρο σχεδιασμού του φορέα του.
2. Να παράγει αυτόματα το ζητούμενο μοντέλο του μέσω από μία σειρά έτοιμων πρότυπων φορέων από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος. Από το μενού και συγκεκριμένα από το File → New Model, επιλέγεται ο φορέας του που προσεγγίζει περισσότερο την τυπολογία του εξεταζόμενου φορέα. Στη συνέχεια ο χρήστης θα πρέπει να δώσει τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία του πλαισίου. Τα απαιτούμενα στοιχεία είναι ο αριθμός ορόφων (Number of Stories) και το ύψος του κάθε ορόφου (Story Height), ο αριθμός ανοιγμάτων (Number of Bays) και το μήκος του κάθε ανοίγματος (Bay Width), όπως και η ύπαρξη στηρίξεων (Restrains = δέσμευση ελευθερίας κίνησης κόμβου) στον φορέα που θα δημιουργηθεί.

Για τη ανάπτυξη του δικού μας φορέα επιλέγεται η πρώτη μέθοδος δημιουργίας τρισδιάστατου κάρναβου και στη συνέχεια η δημιουργία του φορέα με την εφαρμογή γραμμικών στοιχείων. Έτσι ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στο βήμα 1 ορίζονται οι παράμετροι όπως φαίνονται στη παρακάτω φωτογραφία.

Ορίζονται δύο άξονες στη διεύθυνση X με απόσταση μεταξύ τους 15 m, οχτώ άξονες στη διεύθυνση Y με μεταξύ τους απόσταση 6m και δύο άξονες στη Z διεύθυνση με μεταξύ τους απόσταση 6 m. Μετά την συμπλήρωση των στοιχείων παράγεται ο τρισδιάστατος κάρναβος επάνω στον οποίο μπορούμε να σχεδιάσουμε τα μέλη της κατασκευής μα.



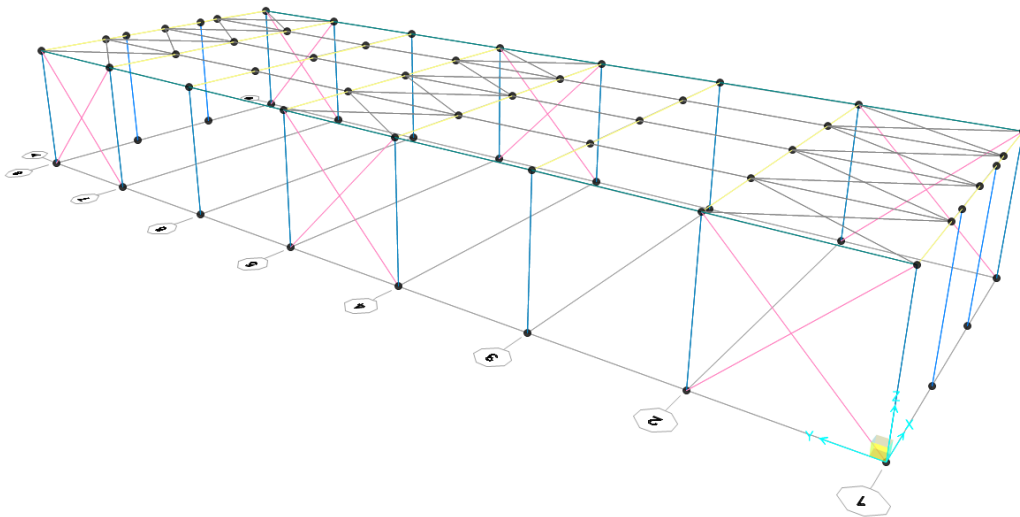
Εικόνα 24: Ορισμός τριδιάστατου καννάβου



Εικόνα 25: Κάνναβος ως υπόβαθρο σχεδιασμού

Στη συνέχεια μέσω των εντολών **Draw → Draw Frame/Cable/Tendon** και τοποθετώντας το βέλος του κέρσορα στις κατάλληλες θέσεις του καννάβου εφαρμόζουμε τα γραμμικά στοιχεία των μελών με κόμβους στην αρχή και το τέλος του μέλους έως ότου δημιουργήσουμε τον εξεταζόμενο φορέα. Η διαδικασία για την εφαρμογή των μελών αυτών γίνεται χρησιμοποιώντας ως διατομή του μέλους κάποια προεπιλεγμένη από το πρόγραμμα εφόσον ο ορισμός των υλικών και των διατομών των μελών θα γίνει σε επόμενο βήμα.

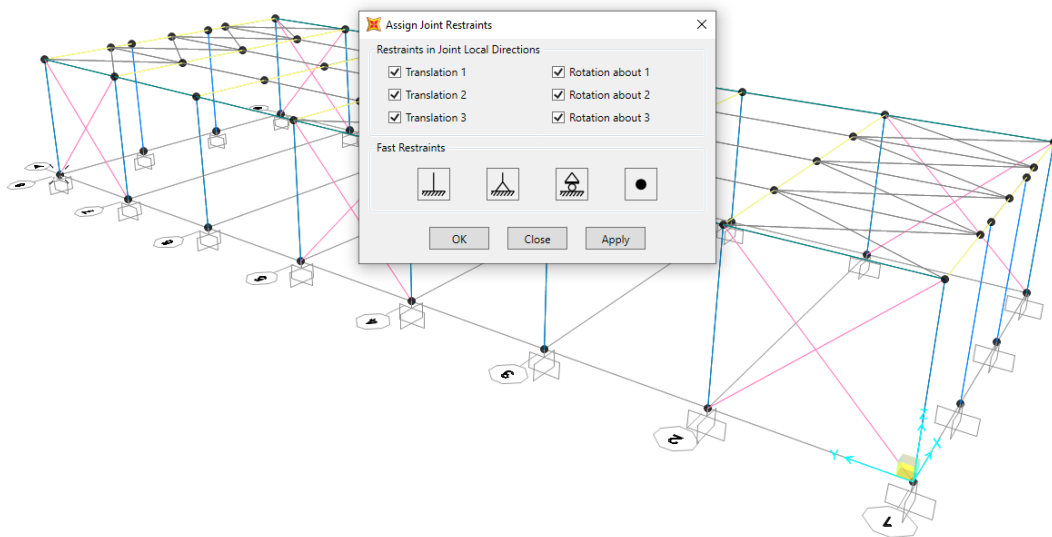
Από άποψη χρήσης πεπερασμένων στοιχείων στην αρχική αυτή μορφή του φορέα διακρίνονται τα υποστυλώματα, οι δοκοί, οι οριζόντιοι και οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, οι μετωπικοί στύλοι και οι κεφαλοδοκοί, τα οποία προσομοιώνονται από το πρόγραμμα με τη χρήση γραμμικών στοιχείων με κόμβους στα άκρα τους. Αυτή είναι η απλούστερη, αλλά και πιο συνηθισμένη, μορφή γραμμικών στοιχείων, η οποία είναι αρκούντως κατάλληλη για την προσομοίωση της συμπεριφοράς δομικών στοιχείων τύπου δοκού και υποστυλώματος και καλύπτει τις απαιτήσεις επίλυσης του φορέα μας.



Εικόνα 26: Μαθηματικό μοντέλο φορέα

4.2.2 Συνθήκες Στήριξης

Ο καθορισμός των στηρίξεων ενός φορέα επιτυγχάνεται με τη δέσμευση των κατάλληλων βαθμών ελευθερίας κίνησης. Για την ανάθεση της πάκτωσης, επιλέγονται μαζικά οι κόμβοι της βάσης των υποστυλωμάτων και από την εντολή **Assign → Joint → Restraints** επιλέγεται η δέσμευση όλων των βαθμών ελευθερίας (στροφικών και των μεταφορικών) για δημιουργία συνθηκών πλήρους πάκτωσης.



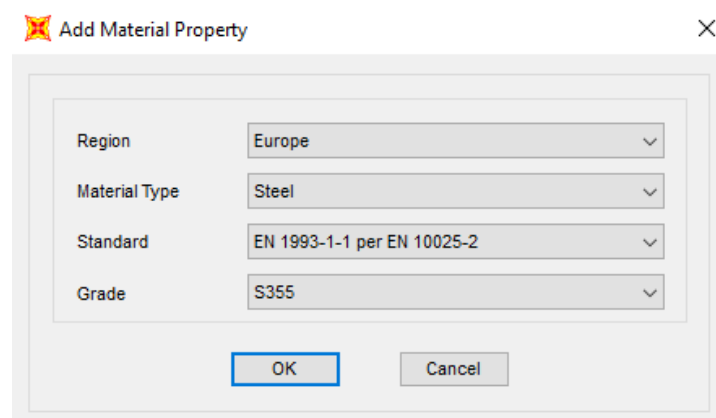
Εικόνα 27: Καθορισμός συνθηκών στήριξης φορέα

4.3 Ορισμός Υλικών

Ο ορισμός των υλικών στο πρόγραμμα γίνεται από το **Define** → **Materials**. Για τη δημιουργία νέου υλικού επιλέγεται το **Add New Material**. Στο παράθυρο που εμφανίζεται πρέπει να οριστούν τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη συμπεριφορά του νέου υλικού.

Ο καθορισμός των υλικών είναι απαραίτητος αν απαιτείται να προσδιοριστούν κατά την επίλυση η παραμόρφωση του φορέα (μετακινήσεις σε διάφορα σημεία του).

Ο χάλυβας που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο S 355 και οι ιδιότητες του είναι αυτές που φαίνονται στο εδάφιο 3.1.2 του παρόντος. Το πρόγραμμα διαθέτει βιβλιοθήκη υλικών και έτσι από την επιλογή της θέσης, του είδους του υλικού και του κανονισμού μπορεί ο χρήστης να επιλέξει το υλικό που επιθυμεί (εικόνα 28) και αυτοματοποιημένα να οριστούν όλες οι ιδιότητες του υλικού (εικόνα 29)



Εικόνα 28: Ορισμός υλικού

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S355

Material Type: Steel

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76,9729

Mass per Unit Volume: 7,849

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2,100E+08

Poisson, 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,

Expected Yield Stress, Fye: 390500,

Expected Tensile Stress, Fue: 561000,

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Εικόνα 29: Ιδιότητες του υλικού που ορίζονται αυτοματοποιημένα

Ενδεικτικά ορίζονται οι ιδιότητες που αφορούν:

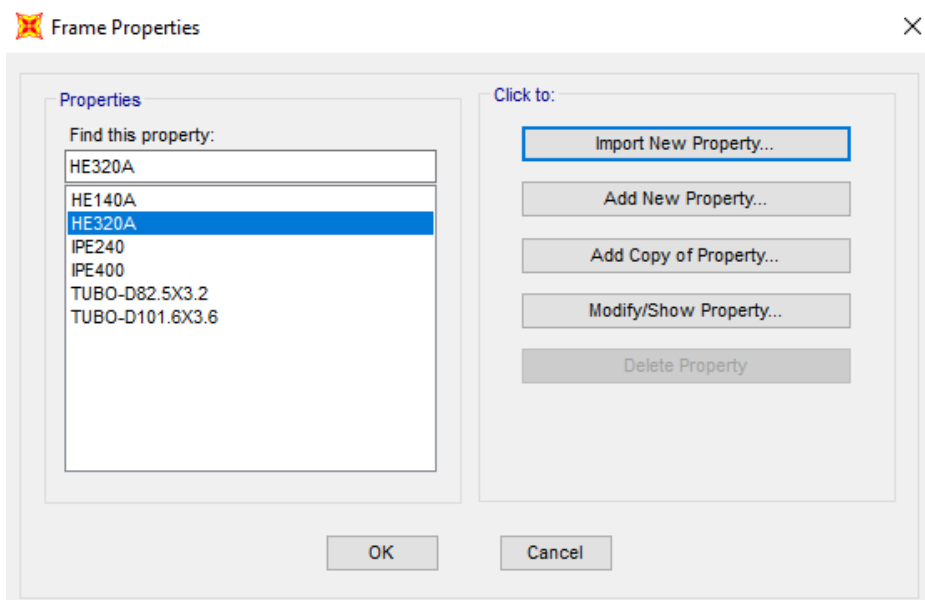
- Μέτρο Ελαστικότητας (E)
- Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή (ν)
- Ειδικό βάρος (γ)
- Όριο Διαρροής (f_y)
- Εφελκυστική Αντοχή (f_u)
- Μέτρο διάτμησης (G)
- Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής(α)

4.4 Ορισμός διατομών των μελών

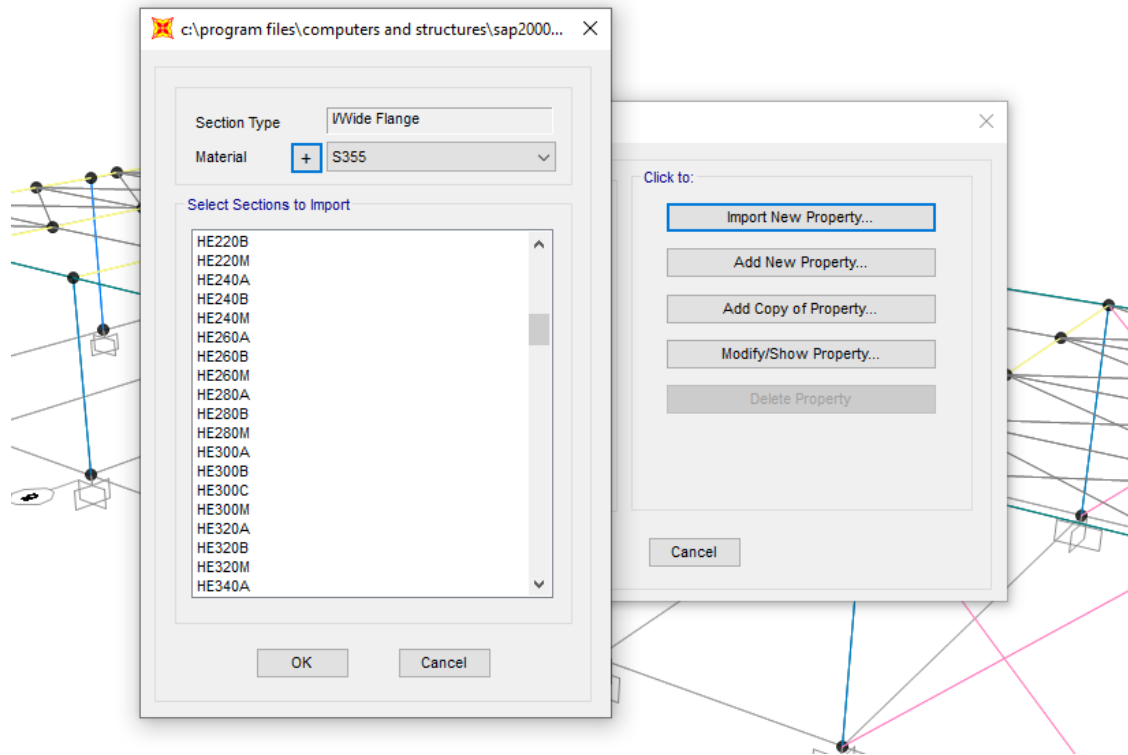
Ο ορισμός των διατομών γίνεται από το **Define** → **Section Properties** → **Frame Sections**, όπου για την προσθήκη νέας διατομής επιλέγεται το **Import New Property** (Σχήμα 2.11). Στο παράθυρο που εμφανίζεται, σύμφωνα με το υλικό που επιθυμούμε γίνεται μία διακριτοποίηση των διατιθέμενων διατομών σύμφωνα με το σχήμα τους (μεταλλικές στην κατηγορία **Steel**, οπλισμένου σκυροδέματος στην κατηγορία **Concrete** κτλ).

Στο σημείο αυτό ορίζονται το επιθυμητό όνομα διατομής (π.χ. COLUMN=υποστύλωμα), οι διαστάσεις της χειροκίνητα ή επιλέγοντας μία τυποποιημένη διατομή από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος, όπως και το υλικό από το οποίο αποτελείται το δομικό στοιχείο (MATERIAL), το οποίο δημιουργήθηκε σε προηγούμενο βήμα και είναι πλέον διαθέσιμο στη λίστα υλικών του αρχείου.

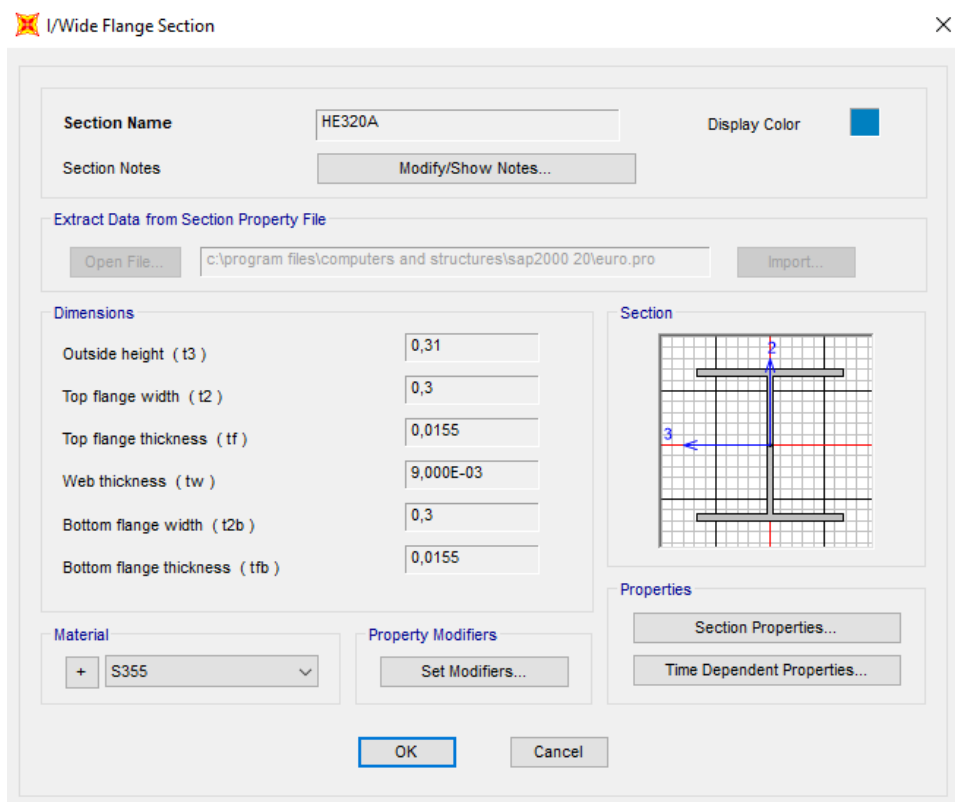
Αυτή η διαδικασία γίνεται για κάθε διαφορετική διατομή που θα εφαρμόσουμε στο φορέα μας.



Εικόνα 30: Εισαγωγή Διατομών από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος



Εικόνα 31: Βιβλιοθήκη υλικών



Εικόνα 32: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής

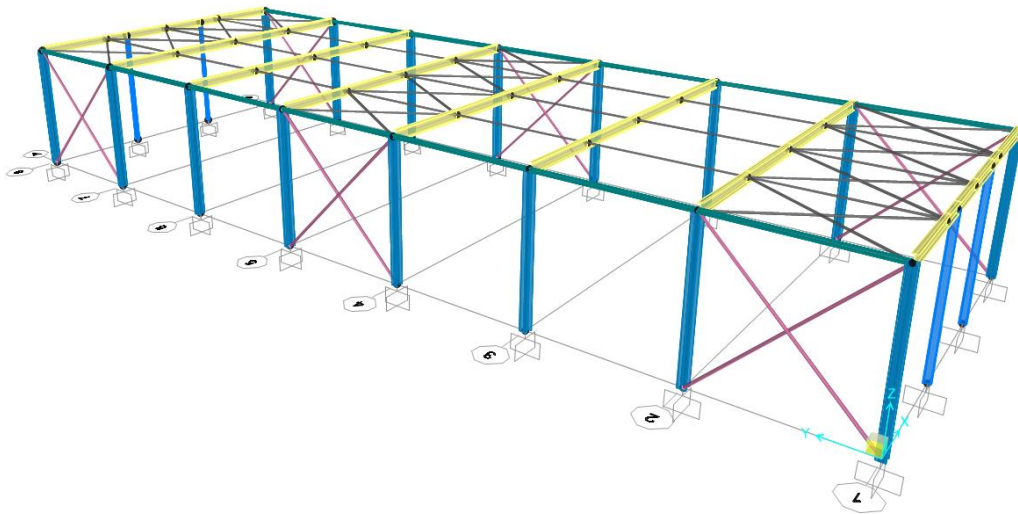
Έτσι στον υπό εξέταση φορέα ορίζονται:

- Στα υποστυλώματα πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 320)
- Στις κύριες δοκοί μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 400)
- Στις κεφαλοδοκούς πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 140)
- Στα οριζόντια στοιχεία του διαφράγματος κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 82,5 mm/3,2 mm.
- Στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 82,5 mm/3,2 mm.
- Στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 101,6 mm/3,6 mm.
- Στους μετωπικούς στύλους μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 240)

Αφού οριστούν οι διατομές που επιθυμούμε, στη συνέχεια:

Καθώς η αρχική σχεδίαση του φορέα έγινε με μια προεπιλεγμένη (default) από το πρόγραμμα διατομή με όνομα FSEC1, θα πρέπει να ανατεθεί στα γραμμικά στοιχεία οι νέες διατομές που μόλις δημιουργήθηκαν.

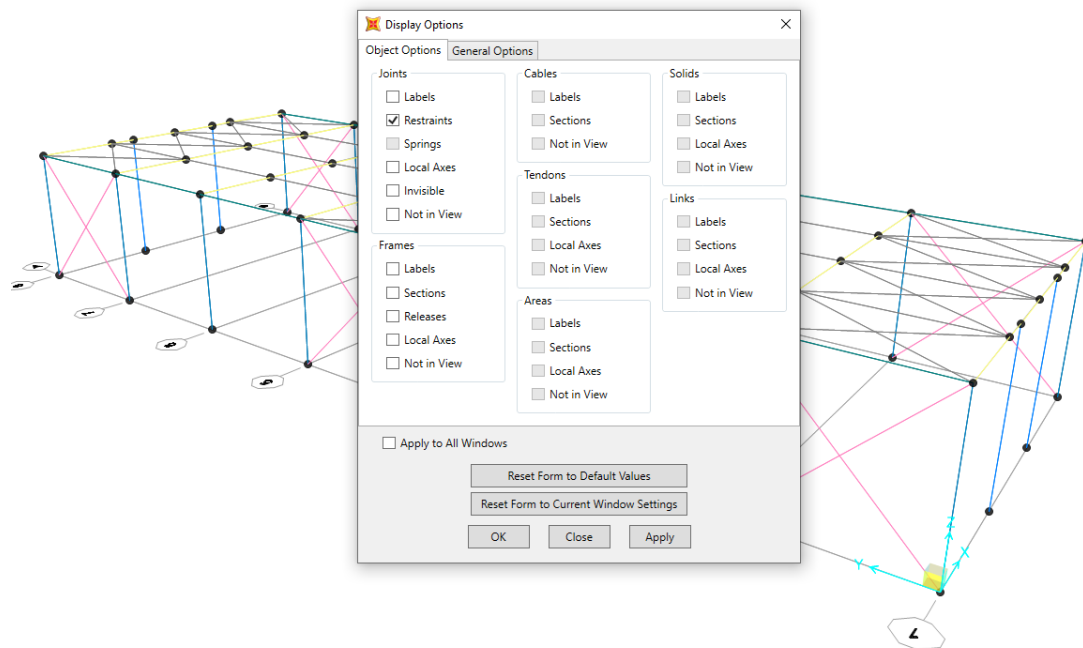
Αυτό γίνεται με επιλογή του κάθε γραμμικού στοιχείου και τη χρήση της εντολής **Assign** → **Frame** → **Frame Sections** και έτσι γίνεται η ανάθεση στα μέλη.



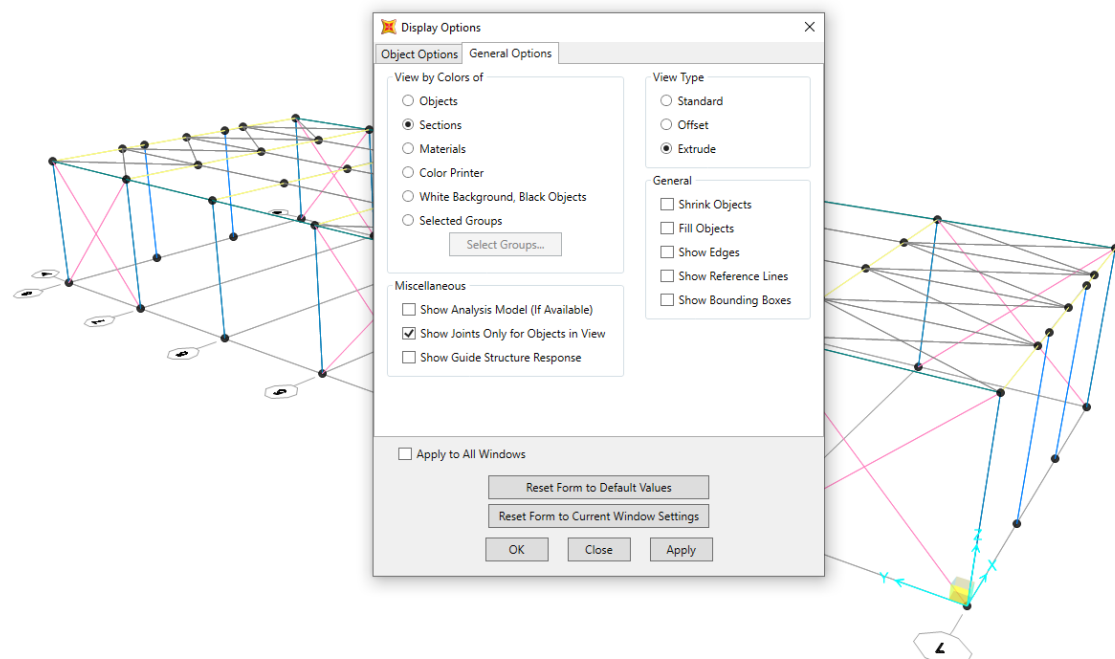
Εικόνα 33: Ρεαλιστική παρουσίαση του φορέα

4.5 Επιλογές εμφάνισης

Για την καλύτερη εποπτεία του φορέα δίνεται η δυνατότητα μέσα από την εντολή **View → Set Display Options** να μπορούν να καθορισθούν γενικότερα οι πληροφορίες των στοιχείων του φορέα που εμφανίζονται στο κάθε παράθυρο. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τόσο τους κόμβους (Joints), τα γραμμικά (Frames), τα επιφανειακά (Areas) και τα χωρικά (Solids) στοιχεία, όσο και άλλες λεπτομέρειες προσομοίωσης, εκτός από την εμφάνιση των φορτίων που ρυθμίζεται διαφορετικά.



Εικόνα 34: Δυνατότητες εμφάνισης/απόκρυψης στοιχείων του φορέα



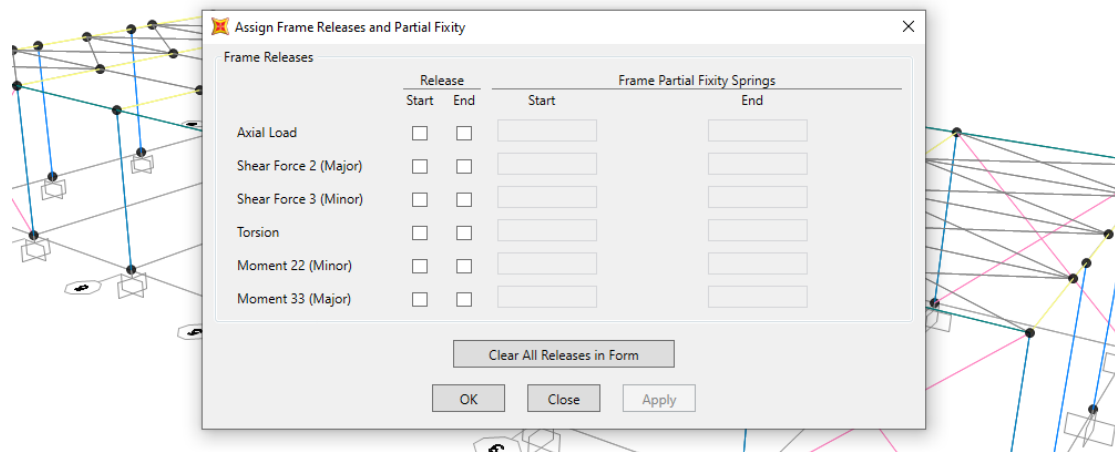
Εικόνα 35: Επιλογές εμφάνισης μοντέλου

4.6 Καθορισμός λοιπών παραμέτρων μοντελοποίησης

4.6.1 Εσωτερικές ελευθερώσεις μελών

Όσον αφορά τις εσωτερικές ελευθερώσεις των μελών επιλέγεται όλα τα μέλη εκτός των δοκών και των υποστυλωμάτων των πλαισίων που είναι πακτωμένα στα άκρα, να έχουν ελεύθερες τη M2-2 και τη M3-3.

Με την επιλογή των μελών που επιθυμώ να επεξεργαστώ τις συνθήκες στήριξης τους, σύμφωνα με τα ανωτέρω ακολουθώ τη διαδικασία: **Assign** → **Frame** → **Releases/Partial Fixity** → **ορίζω τις ελευθερώσεις που επιθυμώ**

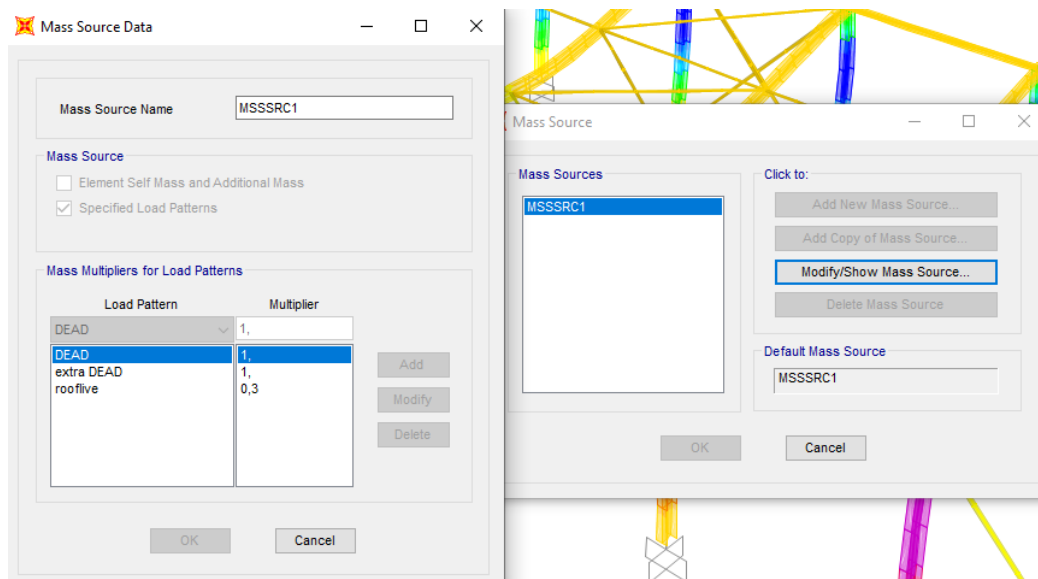


Εικόνα 36: Επεξεργασία εσωτερικών ελευθερώσεων μελών

4.6.2 Ενεργοποιούμενη μάζα

Ορίζουμε τα φορτία από το οποία υπολογίζεται το ποσοστό της ενεργοποιούμενης μάζας της κατασκευής κατά τη δυναμική ανάλυση για το προσδιορισμό των ιδιομορφών που θα ληφθούν υπόψη.

Η διαδικασία γίνεται μέσω των εντολών: **Define** → **Mass Source** → **Add New Mass Source** → **Specified Load Patterns** → **Add** → **συνδυασμός: G + extraG + 0,3 rooflive**.

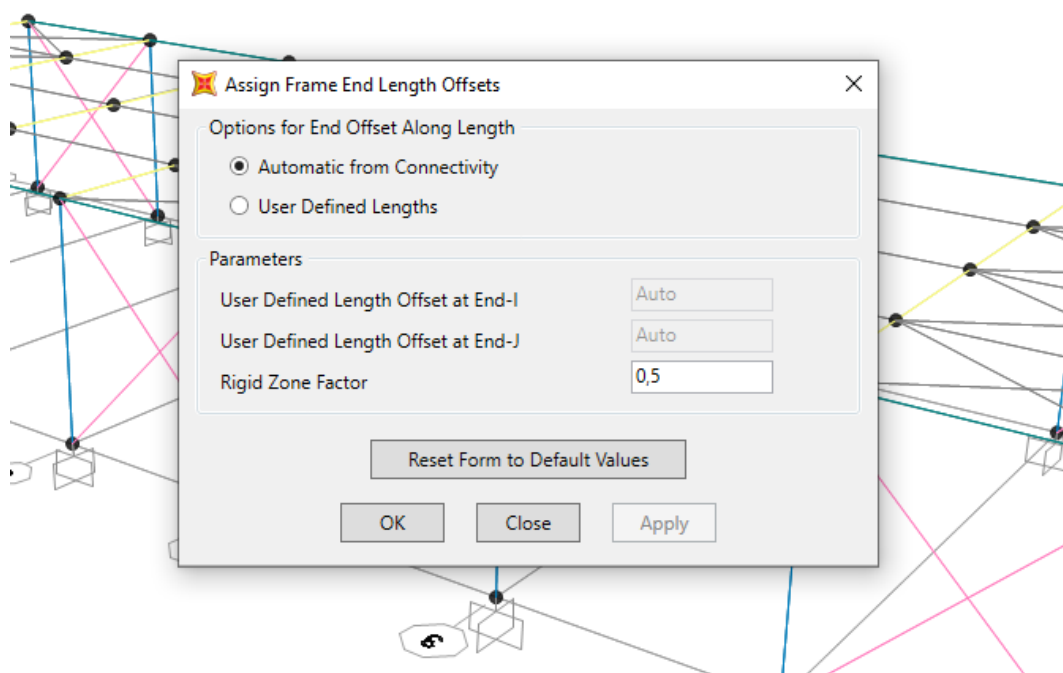


Εικόνα 37: Ορισμός φορτίσεων που ορίζουν την ενεργοποιούμενη μάζα

4.6.3 Κόμβοι Δοκών – Υποστυλωμάτων

Στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων μιας και δεν ισχύει η αρχή της επιπεδότητας οφείλουμε να λαμβάνουμε υπόψη ένα τμήμα στη δοκό και στο υποστυλόμενο το οποίο έχει αυξημένη δυσκαμψία.

Μέσω των εντολών **Assign** → **Frame** → **End(length) offset** → **Επιλογή της παραμέτρου "automatic from connectivity"** → **Rigid Zone factor "0.5"**, ορίζουμε να υπολογίσει αυτόματα το πρόγραμμα το μήκος της δύσκαμπτης περιοχής σε ποσοστό 50% του απολύτως άκαμπτου. Δίνεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα το μήκος των δύσκαμπτων περιοχών να οριστεί από το χρήστη.



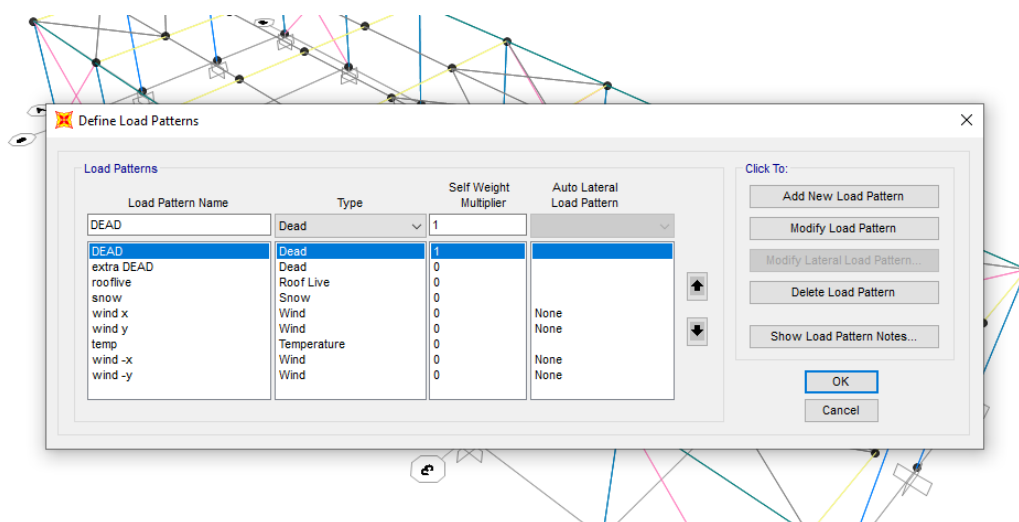
Εικόνα 38: Εισαγωγή δύσκαμπτων τμημάτων μελών

4.7 Ορισμός Φορτίων

4.7.1 Καθορισμός μορφών φόρτισης

Από το Define → Load Patterns αρχικά ορίζονται οι διαφορετικές μορφές φόρτισης. Εδώ ορίζονται οι παρακάτω φορτίσεις (εικόνα 39)

- DEAD: άθροισμα μόνιμων φορτίων
- ExtraDEAD: πρόσθετα μόνιμα φορτία
- rooflive: άθροισμα κινητών φορτίων
- snow: φορτίο χιονιού
- wind x: άνεμος κατά τη διεύθυνση +xx
- wind y: άνεμος κατά τη διεύθυνση +yy
- temp: φορτίο θερμοκρασίας
- wind -x: άνεμος κατά τη διεύθυνση -xx
- wind -y: άνεμος κατά τη διεύθυνση -yy
- Ex: σεισμός κατά τη διεύθυνση +xx
- Ey: σεισμός κατά τη διεύθυνση +yy



Εικόνα 39: Ορισμός μορφών φόρτισης στο Sap2000

Ο τύπος του φορτίου (Type) χρειάζεται μόνο όταν το πρόγραμμα κληθεί να δημιουργήσει αυτόματα συνδυασμούς φόρτισης, βάσει δεδομένου κανονισμού. Στη παρούσα μελέτη, καθώς θα δημιουργηθούν συγκεκριμένοι συνδυασμοί, ο τύπος του φορτίου που επιλέγεται δεν επηρεάζει άμεσα την ανάλυση.

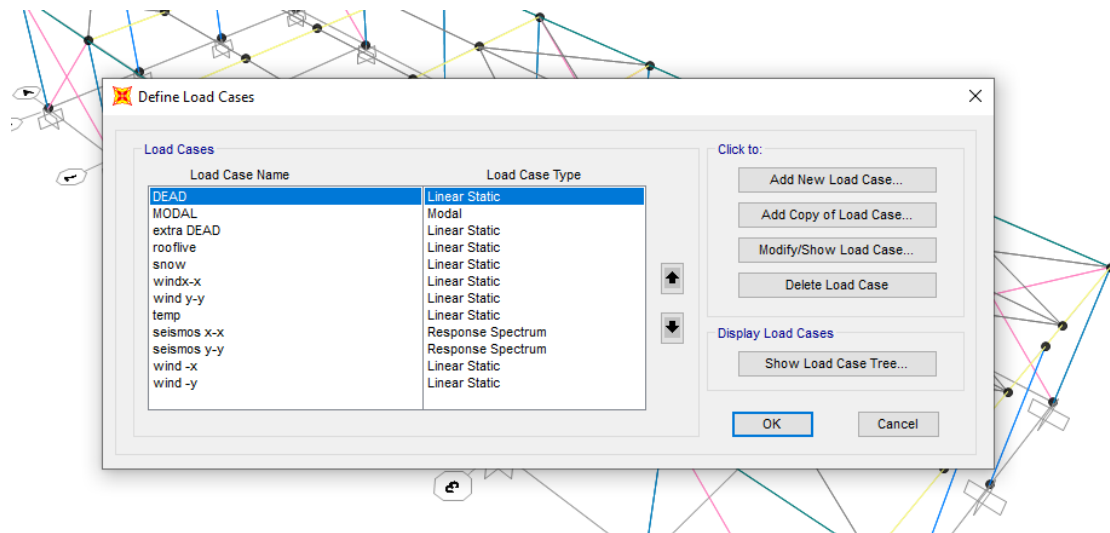
Η επιλογή Self Weight Multiplier ορίζει πόσες φορές θα ληφθεί υπόψη το ίδιο βάρος σε μια μορφή φόρτισης. Θεωρητικά, η μοναδιαία τιμή (1) θα πρέπει να λαμβάνεται μόνο στην περίπτωση κάποιας μόνιμης φόρτισης, η οποία εμπεριέχει τα ίδια βάρη της κατασκευής. Εδώ λαμβάνεται υπόψη από τα μόνιμα φορτία της κατασκευής που υπολογίζονται αυτόματα.

4.7.2 Ορισμός Φορτιστικών Καταστάσεων

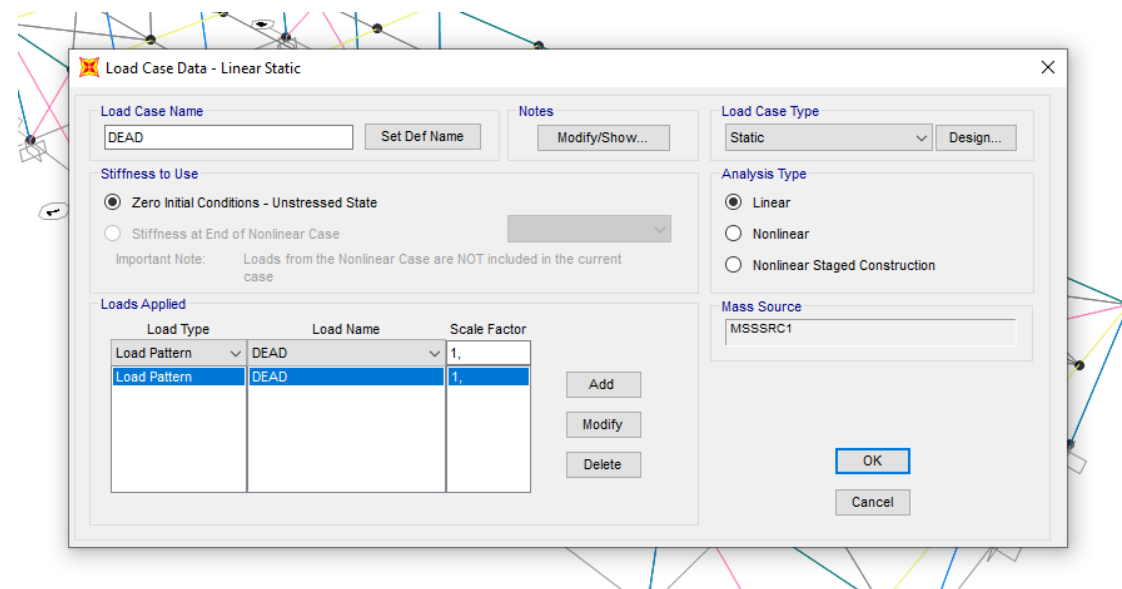
Στο πεδίο **Define** → **Load Cases** εμφανίζονται οι φορτιστικές καταστάσεις για τις οποίες ζητείται να γίνει η ανάλυση. Με **Modify/Show Load Case** για κάθε φόρτιση ορίζονται οι φορτιστικές καταστάσεις.

Για φορτία που αφορούν τα μόνιμα "DEAD", τα πρόσθετα μόνιμα φορτία "ExtraDEAD", άθροισμα κινητών φορτίων "rooflive", φορτίο χιονιού "snow", άνεμος κατά τη διεύθυνση +xx "wind x", άνεμος κατά τη διεύθυνση +yy "wind y", φορτίο θερμοκρασίας "temp", άνεμος κατά τη διεύθυνση -xx "wind -x" και άνεμος κατά τη διεύθυνση -yy "wind -y", εφαρμόζεται γραμμική ελαστική ανάλυση στατικού τύπου (Load Case Type: Linear Static).

Για φορτία που αφορούν το σεισμό κατά τη διεύθυνση +xx "Ex" και σεισμό κατά τη διεύθυνση +yy "Ey", εφαρμόζεται η φασματική δυναμική ανάλυση (Response Spectrum).

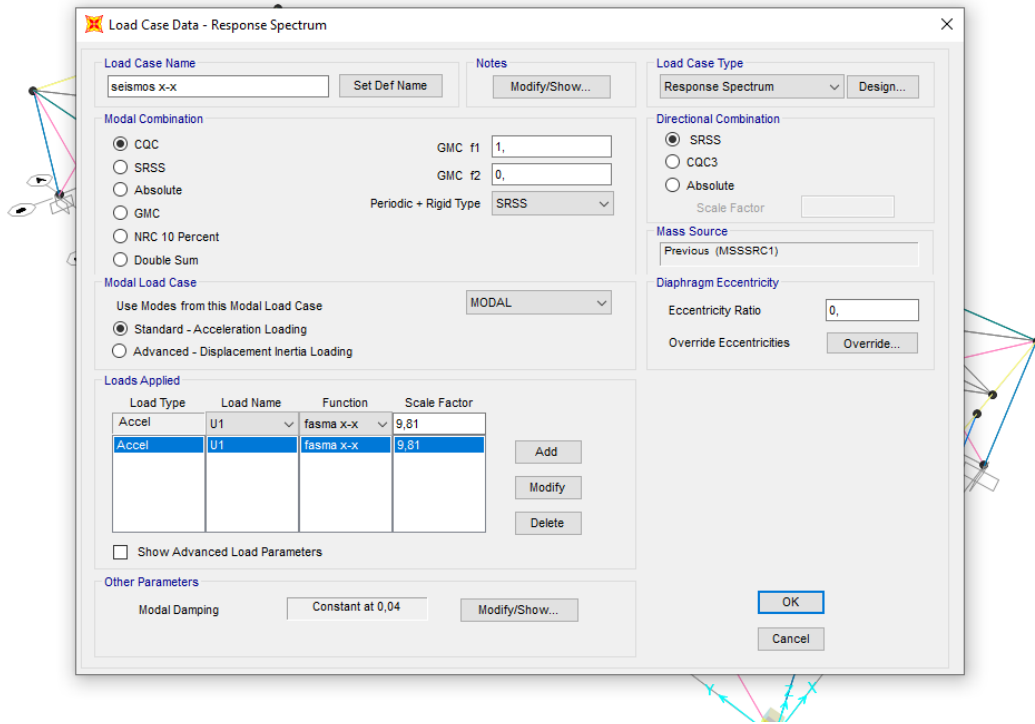


Εικόνα 40:Είδος ανάλυσης για κάθε φόρτιση



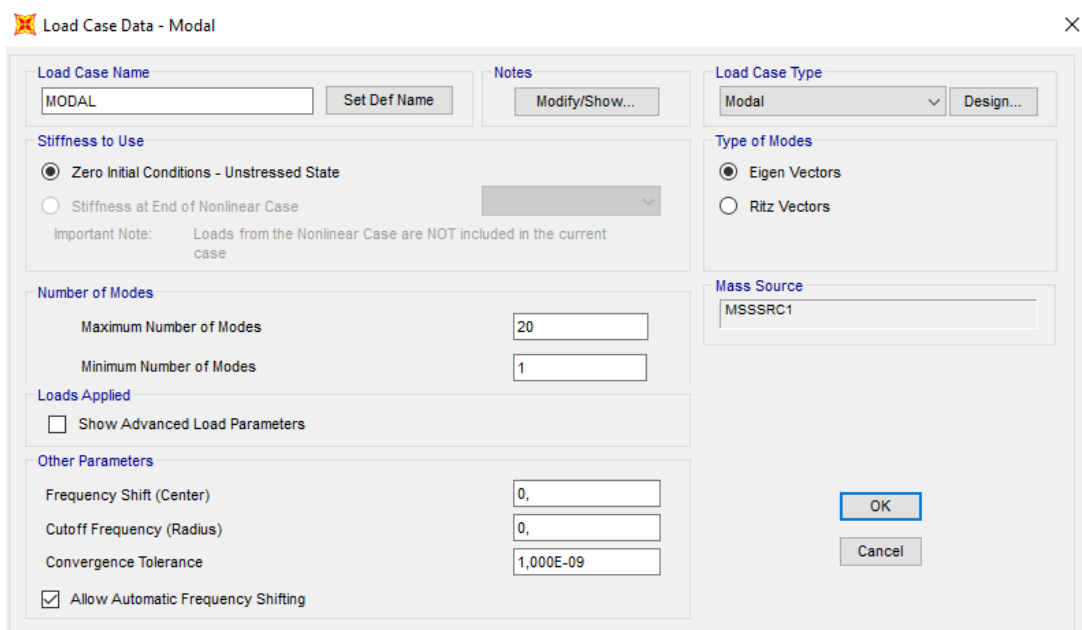
Εικόνα 41:Χαρακτηριστικά Γραμμικής ελαστικής ανάλυσης στατικού τύπου

Είναι σημαντικό να ελεγχθεί ότι η αντίστοιχη μορφή φόρτισης είναι ορισμένη μια φορά (scale factor στη λίστα Loads Applied της κάθε φορτιστικής κατάστασης, διαφορετικά η ανάλυση θα δώσει μηδενική καταπόνηση).



Εικόνα 42: Χαρακτηριστικά Φασματικής δυναμικής ανάλυσης

Ο ορισμός της ιδιομορφικής ανάλυσης του φορέα είναι απαραίτητος για την δυναμική φασματική ανάλυση που θα ακολουθήσει. Με την εντολή **Add New Load Case** ορίζεται νέα φορτιστική κατάσταση, στην οποία δίνεται ονομασία Modal και τύπος Modal (Load Case Type). Από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης θα προκύψει και ο βαθμός συμμετοχής της κάθε ιδιομορφής στην απόκριση του φορέα, ως ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας ανά διεύθυνση κίνησης. Κατά τη δυναμική φασματική ανάλυση υπάρχει απαίτηση ενεργοποίησης ποσοστού μάζας τουλάχιστο 90% της συνολικής μάζας του κτιρίου ανά διεύθυνση.

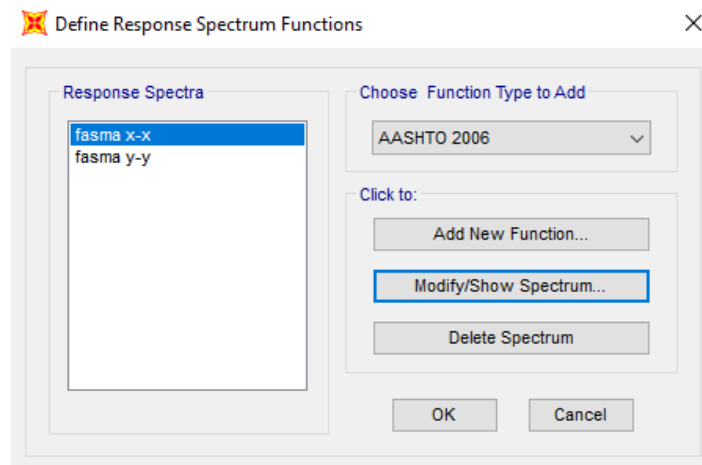


Εικόνα 43: Χαρακτηριστικά ιδιομορφικής ανάλυσης

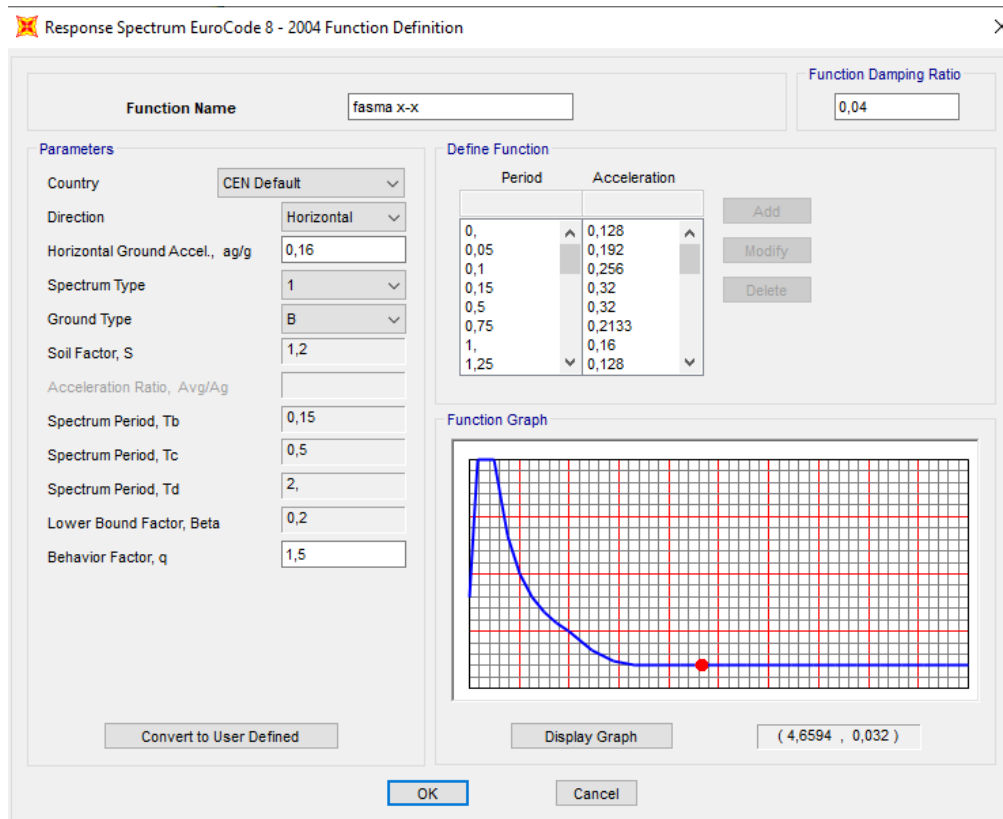
4.7.3 Ορισμός δυναμικής φασματικής ανάλυσης

Η δυναμική φασματική ανάλυση δημιουργείται με την επιλογή **Add New Load Case** και τον ορισμό φορτιστικής κατάστασης τύπου **Response Spectrum** (φάσμα απόκρισης). Ορίζεται μια φορτιστική κατάσταση για κάθε διεύθυνση φόρτισης, με τις ονομασίες Fasma-X και Fasma-Y για τις διευθύνσεις U1 και U2 αντίστοιχα, όπου επιλέγεται με προσοχή το κατάλληλο φάσμα ανά κατεύθυνση.

Ως ιδιομορφική ανάλυση που αποτελεί τη βάση προσδιορισμού της δυναμικής φασματικής ανάλυσης ορίζεται η Modal που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Σε κάθε μια από τις φορτιστικές καταστάσεις η επαλληλία μεταξύ των ιδιομορφών γίνεται με τη μέθοδο CQC της πλήρους τετραγωνικής επαλληλίας, η οποία προτείνεται ως η ακριβέστερη (EC8 §4.3.3.3.2(3)P· ΕΑΚ 2000, §Σ3.4.3[2]).



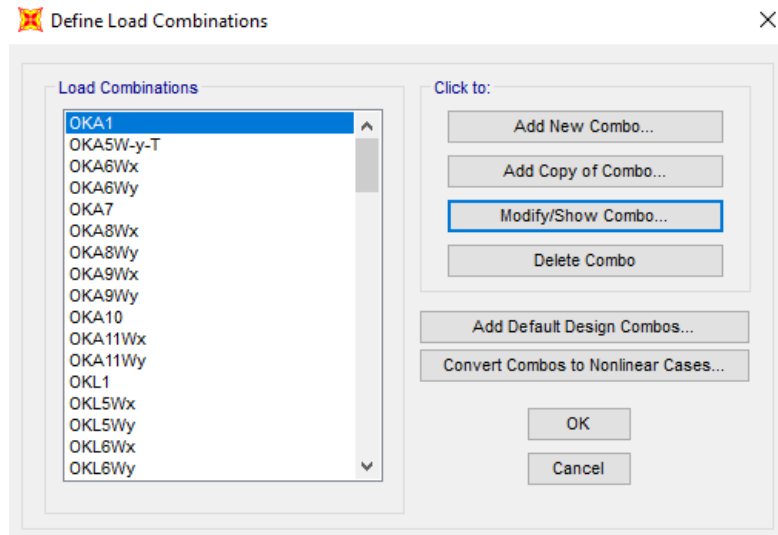
Εικόνα 44: Δημιουργία φάσματος ανά διεύθυνση



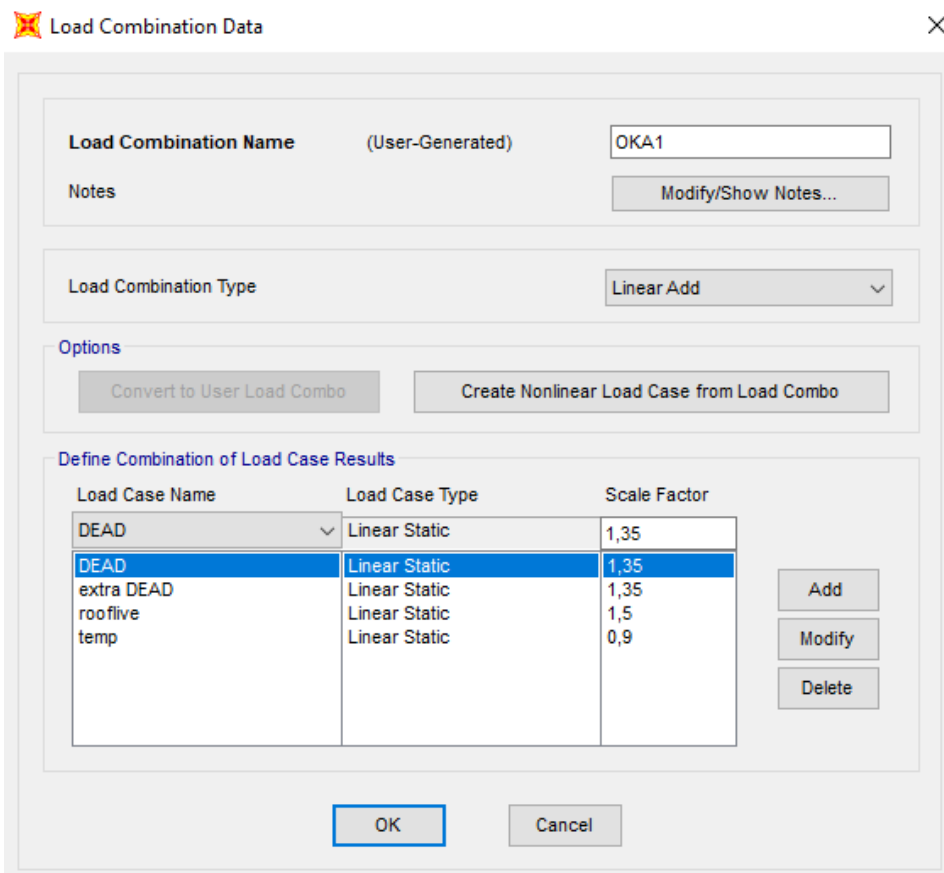
Εικόνα 45: Χαρακτηριστικά φάσματος ανά διεύθυνση

4.7.4 Συνδυασμοί δράσεων

Ο καθορισμός των συνδυασμών δράσεων γίνεται από το **Define → Load Combinations με Add New Combo** και στη συνέχεια ορίζονται οι παράμετροι του συνδυασμού (εικόνα 46). Δίνεται το όνομα του συνδυασμού και ορίζεται πόσες φορές συμμετέχει το κάθε φορτίο στον συνδυασμό, με χρήση του κατάλληλου συντελεστή Scale Factor

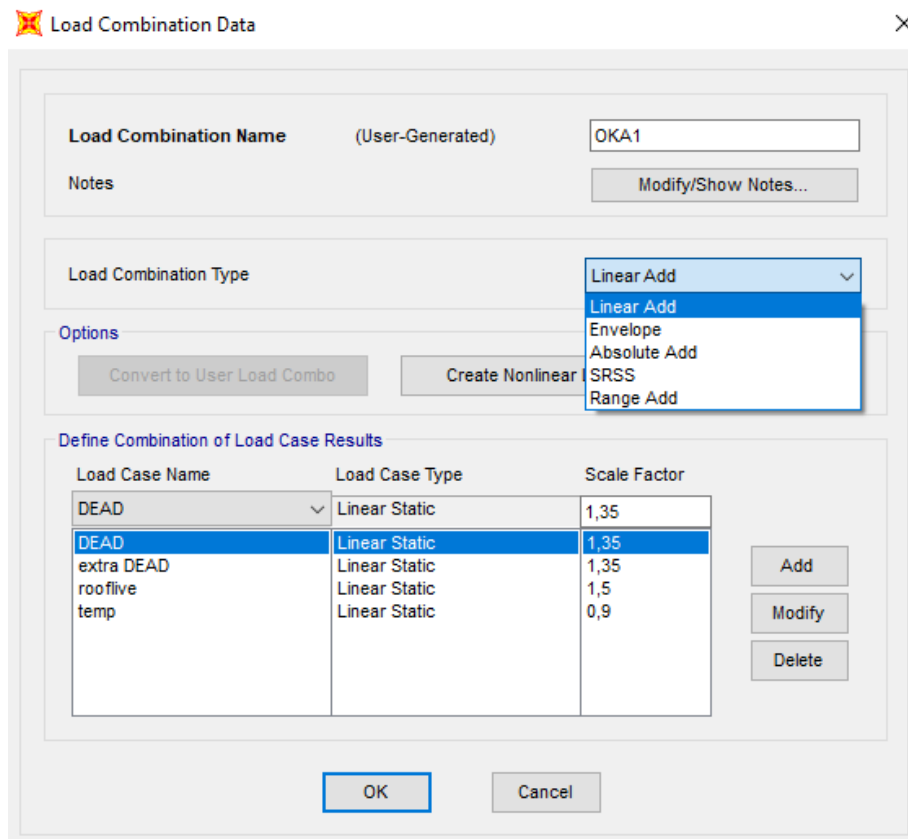


Εικόνα 46: Παράθυρο δημιουργία συνδυασμών φόρτισης



Εικόνα 47: Ορισμός παραμέτρων συνδυασμού

Μέσω συνδυασμού φόρτισης Load Combination μπορούν να γίνουν συνδυασμοί που περιλαμβάνουν ταυτόχρονα μόνιμα, μεταβλητά και σεισμικά φορτία με τους κατάλληλους συντελεστές. Επίσης, τα επιμέρους φορτία μπορούν να συνδυαστούν με διάφορους τρόπους μεταξύ τους, όπως αλγεβρική άθροιση (Linear Add), άθροιση απόλυτων τιμών (Absolute Add), τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων (SRSS), αλλά και να ζητηθεί η εμφάνιση των μέγιστων αποτελεσμάτων επιλεγμένων φορτιστικών καταστάσεων και συνδυασμών (Envelope).



Εικόνα 48: Μέθοδοι συνδυασμού φορτίων

4.7.5 Εφαρμογή φορτίων στο φορέα

Η ανάθεση των φορτίων γίνεται αφού επιλεγεί ο κόμβος ή τα μέλος που θέλουμε να εφαρμόσουμε το φορτίο (κατανεμημένο ή συγκεντρωμένο) με χρήση της εντολής **Assign** → **Joint Loads** → **Forces**. Στη συνέχεια επιλέγεται το Load Pattern στο οποίο θα οριστεί η τιμή του κάθε φορτίου, και στο κατάλληλο πεδίο, ανάλογα με τη διεύθυνση και τον τύπο του φορτίου (Force για δύναμη ή Moment για ροπή), δίνεται η τιμή του φορτίου. Το φορτίο που ανατίθεται εμφανίζεται κάθε φορά μόνο στο παράθυρο το οποίο ήταν ενεργό. Στη συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το δεύτερο φορτίο.

Σημειώνεται πως είναι δυνατή η εμφάνιση ενός μόνο Load Pattern σε κάθε παράθυρο, όπως φαίνεται στον τίτλο του παραθύρου, και όχι η ταυτόχρονη προβολή όλων των φορτίων που ανατέθηκαν στον φορέα. Ο έλεγχος της εμφάνισης των υφιστάμενων φορτίων σε κάθε παράθυρο μπορεί να γίνει από την εντολή **Display** → **Show Load Assigns** και στη συνέχεια επιλογή του **Joint** για τα επικόμβια φορτία ή του **Frame/Cable/Tendon** για τα κατανεμημένα φορτία σε γραμμικό στοιχείο. Η επιλογή του **Display** → **Show**

Undeformed Shap (απαραμόρφωτο σχήμα) επαναφέρει την αρχική εικόνα του φορέα κρύβοντας τα φορτία που έχουν ανατεθεί.

Assign Frame Distributed Loads

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Type: Force

Options

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

Uniform Load: 0 kN/m

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Relative Distance	0	0,25	0,75	1
Loads	0	0	0	0

Relative Distance from End-I (selected) / Absolute Distance from End-I

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Εικόνα 49: Παράθυρο εισαγωγής καταμεμημένου φορτίου σε μέλος

Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: 0 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: 0 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

Add to Existing Loads

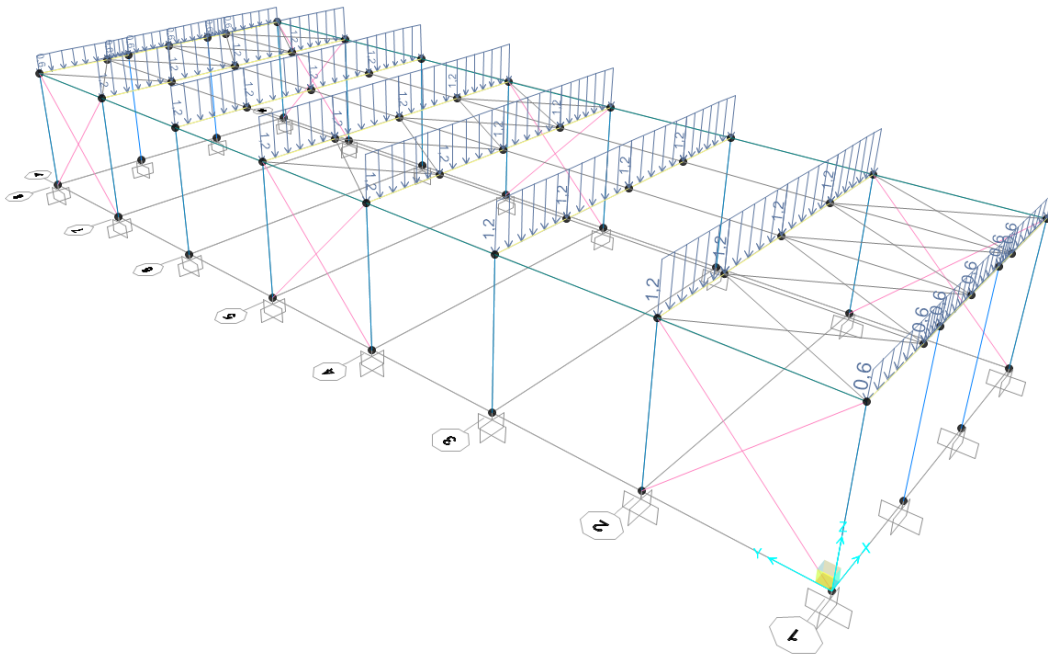
Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

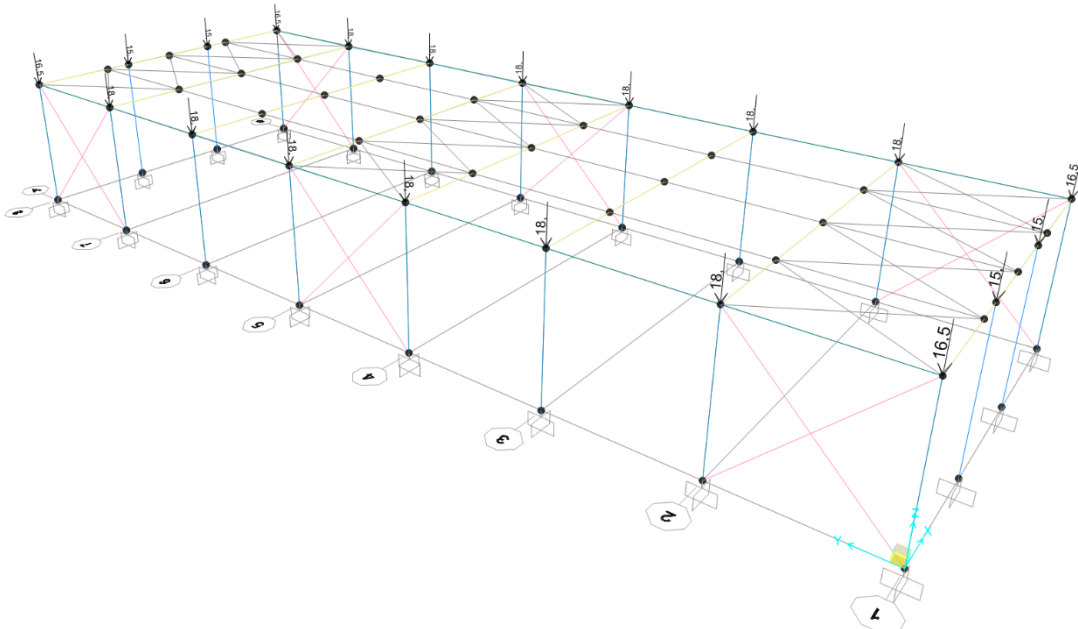
Reset Form to Default Values

OK Close Apply

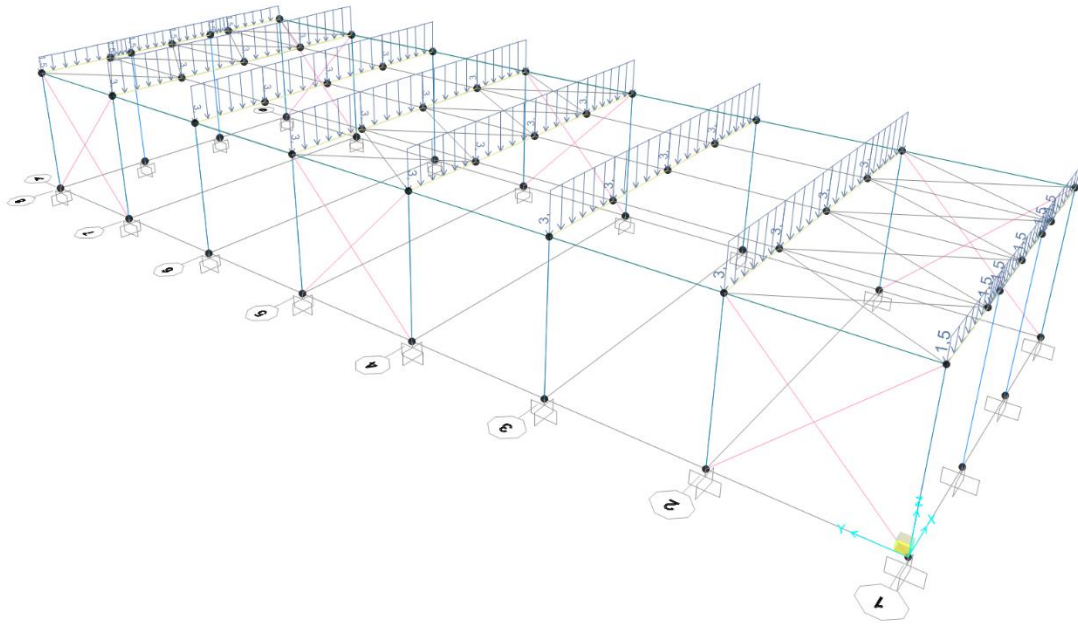
Εικόνα 50: Παράθυρο εισαγωγής συγκεντρωμένου φορτίου σε κόμβο



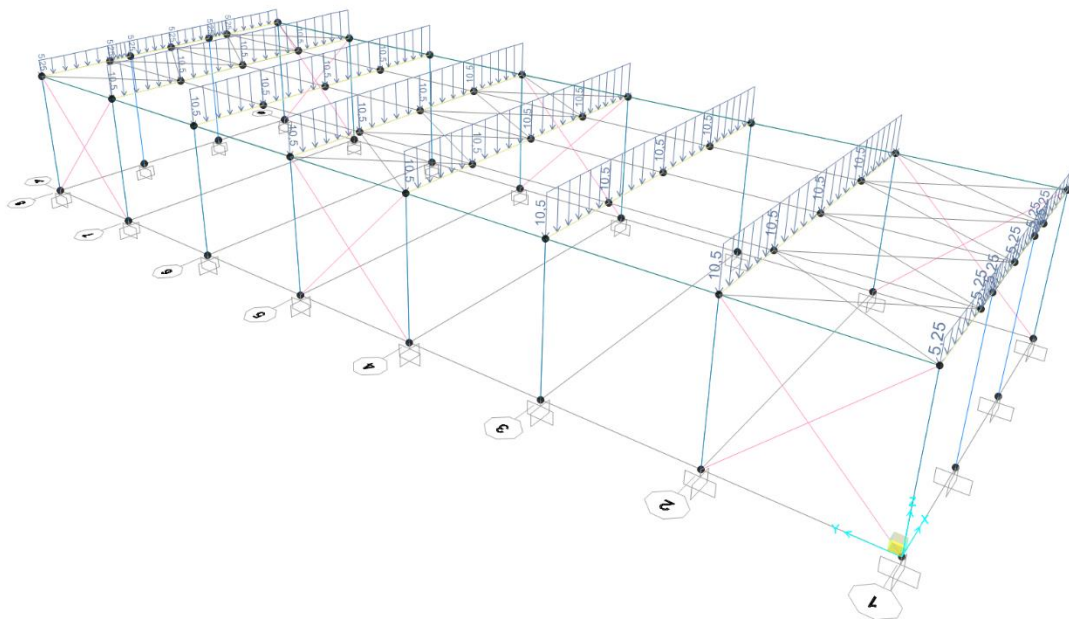
Εικόνα 51: Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία που δρουν στους δοκούς του φορέα



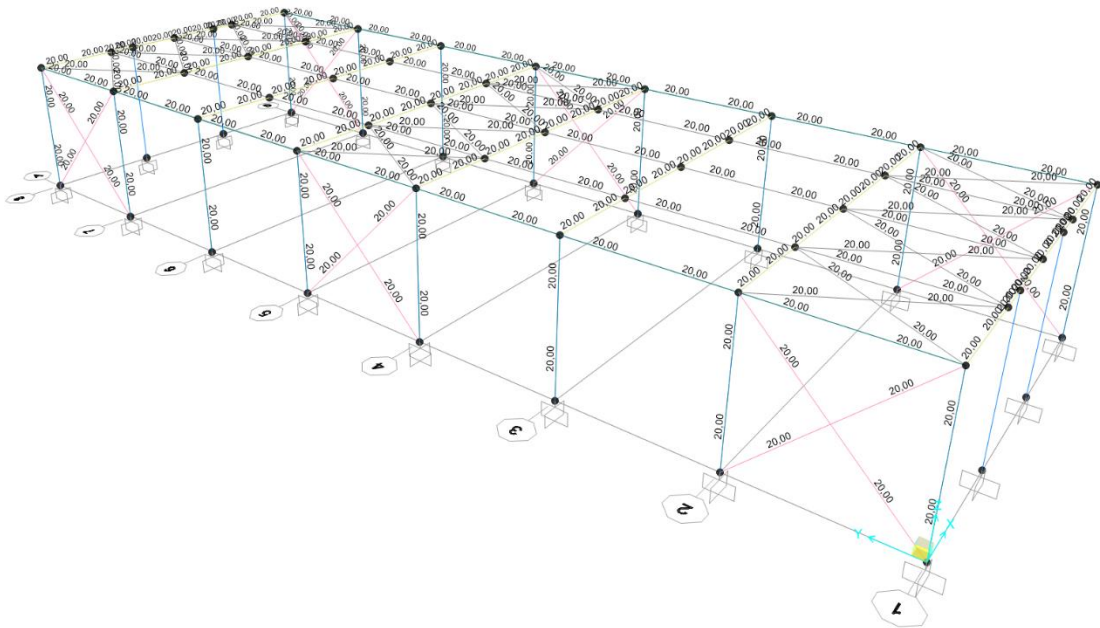
Εικόνα 52: Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία που δουν στους κόμβους των υποστλωμάτων



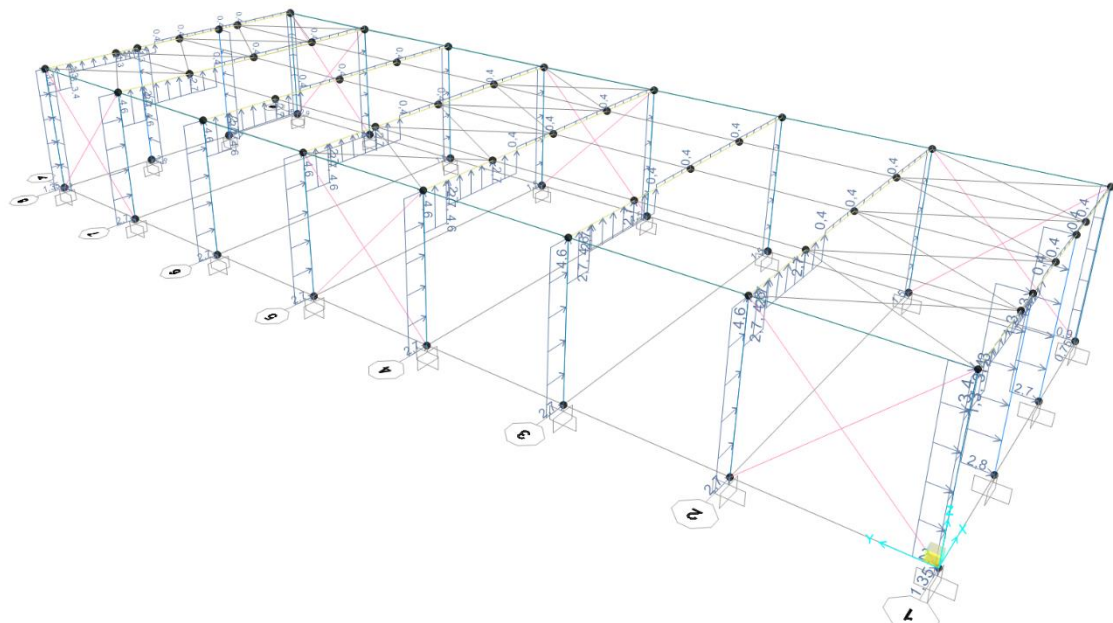
Εικόνα 53: Κινητά φορτία οροφής



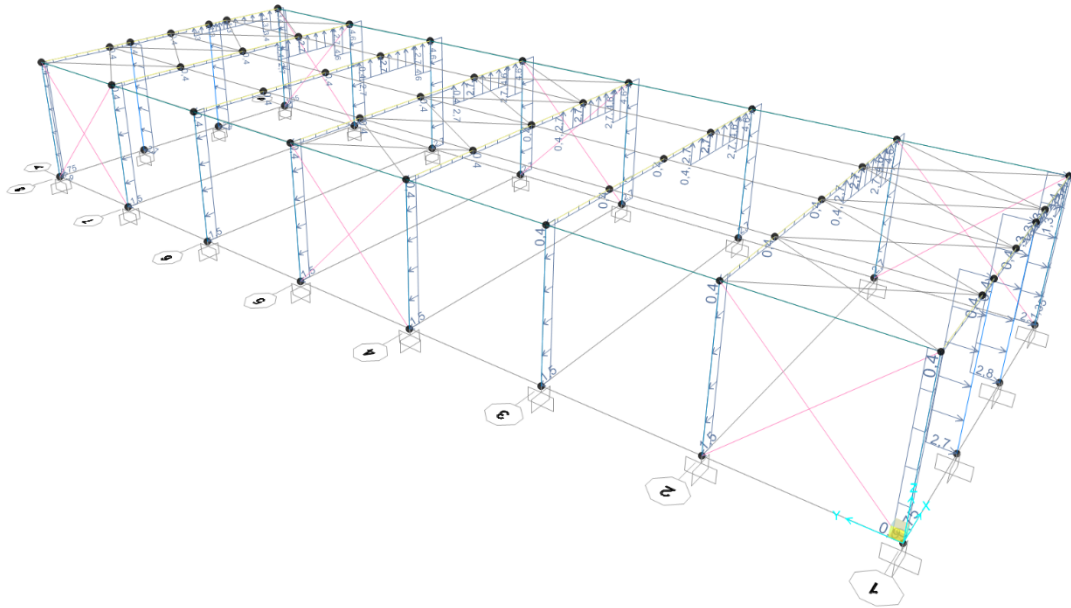
Εικόνα 54: Φορτία Χιονιού



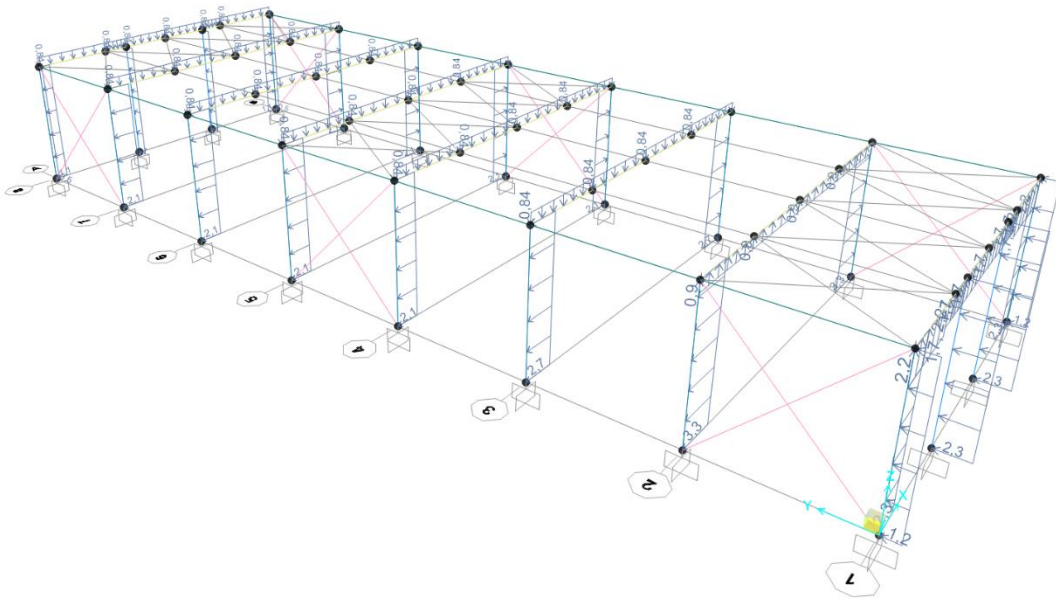
Εικόνα 55: Φορτία θερμοκρασίας



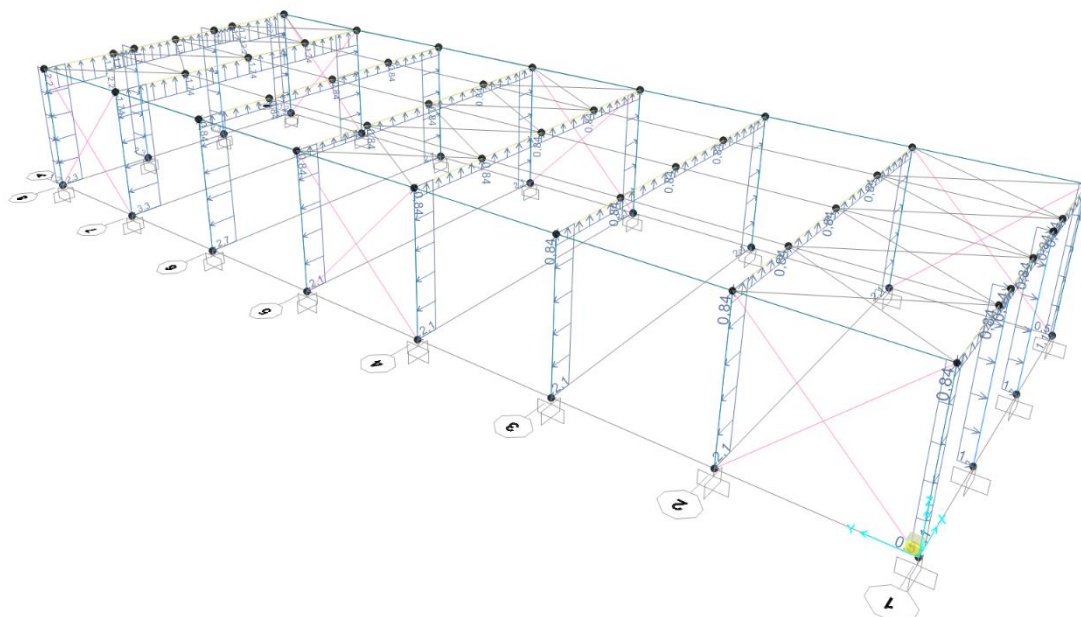
Εικόνα 56: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση X



Εικόνα 57: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -X



Εικόνα 58: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση Y



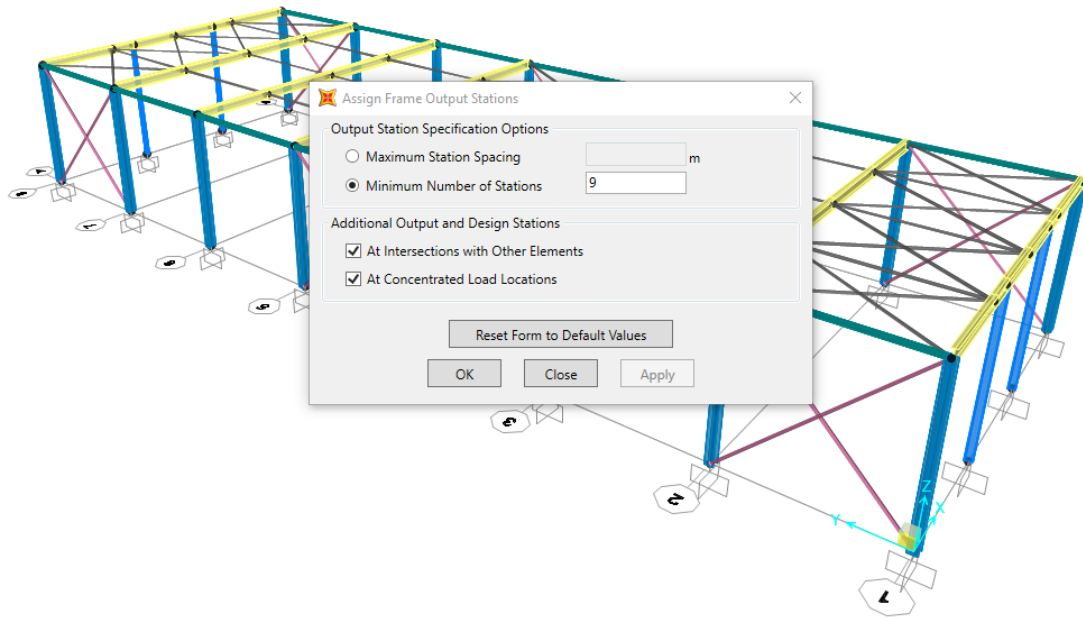
Εικόνα 59: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -Y

4.8 Προσδιορισμός θέσεων εμφάνισης των αποτελεσμάτων

Ο υπολογισμός και η αναφορά των αποτελεσμάτων της ανάλυσης γίνεται σε συγκεκριμένες θέσεις (output stations) στον φορέα. Τα άκρα των γραμμικών στοιχείων αποτελούν πάντα θέσεις υπολογισμού και αναφοράς αποτελεσμάτων, ενώ η απόσταση/πυκνότητα των ενδιάμεσων θέσεων μπορεί να καθορισθεί από τον χρήστη.

Επιλέγεται στο παρόν η πύκνωση των θέσεων ελέγχου, ώστε να είναι κοινή σε δοκούς και υποστυλώματα. Αυτό γίνεται με την επιλογή ολόκληρου του φορέα και την εντολή **Assign** → **Frame** → **Output Stations**, όπου επιβεβαιώνεται η προεπιλεγμένη τιμή 9.

Η συγκεκριμένη ενέργεια θα έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό της απόκρισης σε έναν επαρκή αριθμό θέσεων και επιπρόσθετα, οι θέσεις διασταύρωσης με άλλα στοιχεία (Intersections With Other Elements) και οι θέσεις επιβολής συγκεντρωμένων φορτίων (Concentrated Load Locations) αποτελούν επίσης θέσεις ελέγχου των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

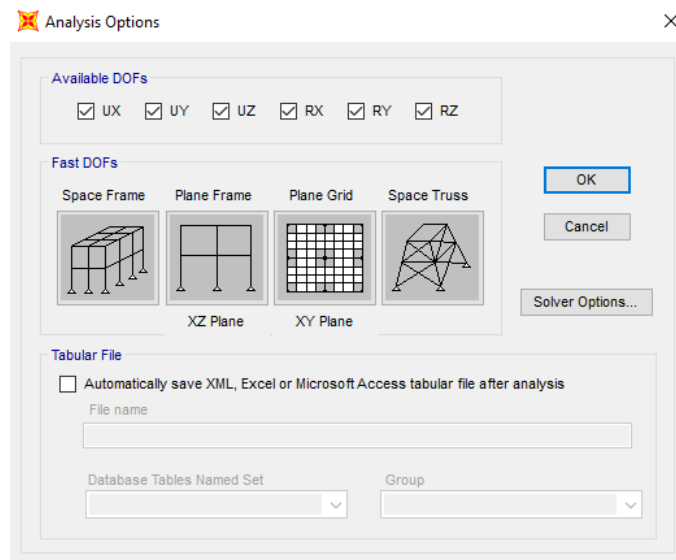


Εικόνα 60: Ορισμός πλήθους θέσεων ελέγχου μελών φορέα

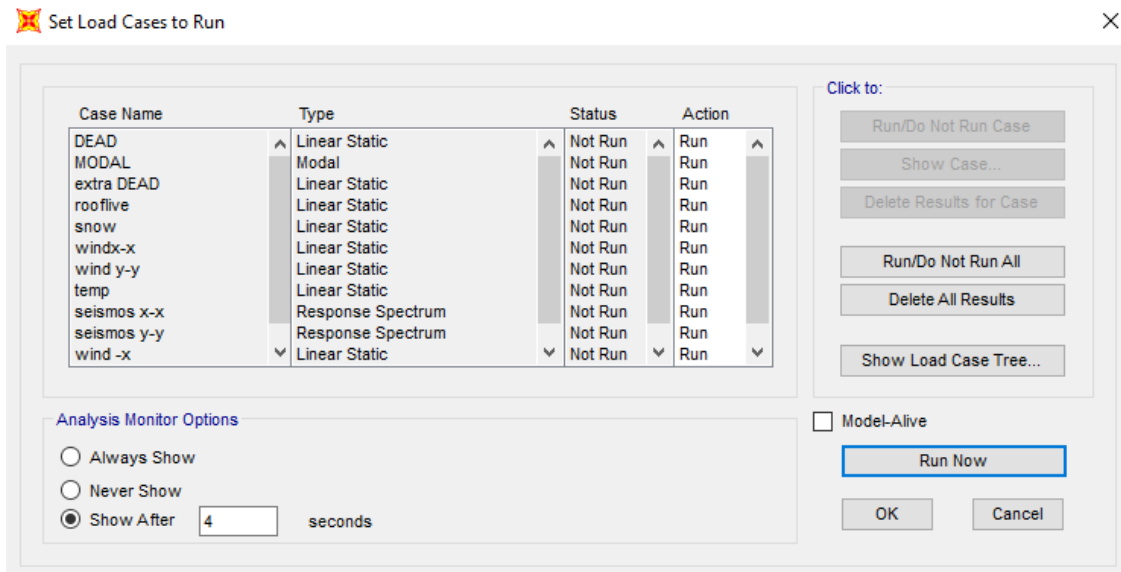
4.9 Ανάλυση Φορέα

4.9.1 Εντολή ανάλυσης

Στη συνέχεια προχωράμε στην ανάλυση του φορέα όπου αφού ορίσουμε τις παραμέτρους ανάλυσης προχωράμε στην επίλυση η οποία γίνεται με τη διαδικασία **Analyze → Run Analysis και Run Now**. Μόλις ολοκληρωθεί η ανάλυση, ελέγχονται οι ιδιομορφές του φορέα ώστε να εντοπιστούν σφάλματα προσομοίωσης, να ελέγξουμε τη περίοδο ταλάντωσης και να ελέγξουμε το ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας από το πλήθος των ιδιομορφών που έχουμε ορίσει.



Εικόνα 61: Επιλογή παραμέτρων ανάλυσης



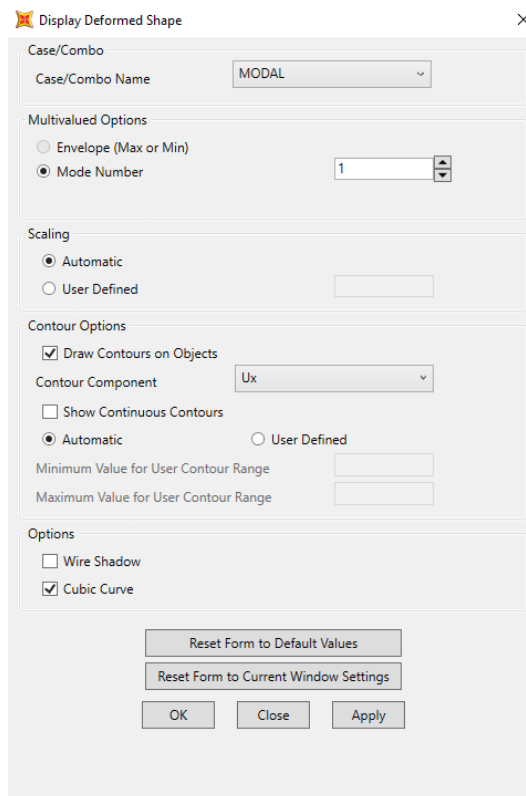
Εικόνα 62: Παράθυρο εντολών ανάλυσης φοριστικών καταστάσεων

4.9.2 Αποτελέσματα ανάλυσης

4.9.2.1 Ιδιομορφική απόκριση φορέα

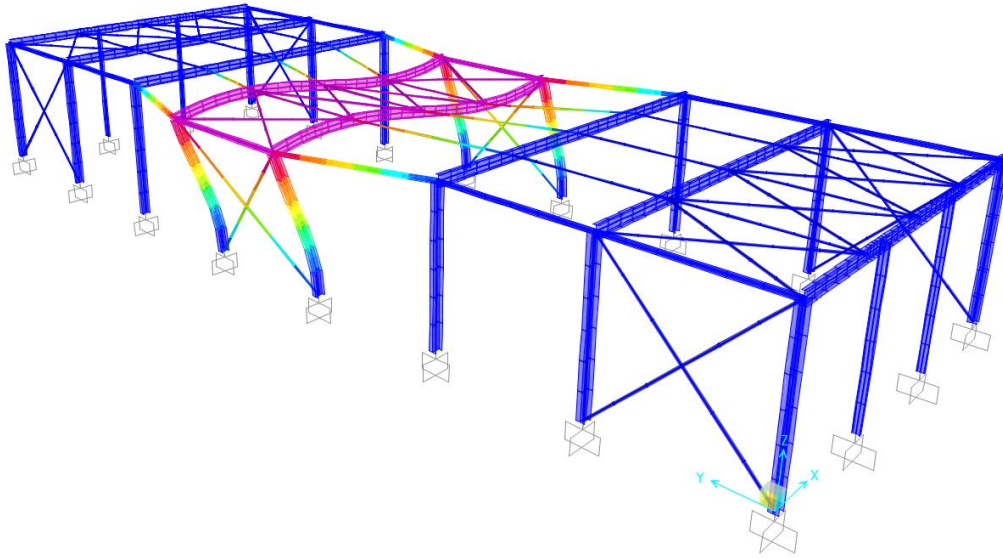
Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης μπορούμε να εξετάσουμε την ιδιομορφική συμπεριφορά του φορέα για να έχουμε άμεση εικόνα της δυναμικής συμπεριφοράς του φορέα και να ελέγξουμε για τυχόν σφάλματα κατά τη μοντελοποίηση του φορέα.

Έτσι από τις εντολές **Display** → **Show Deformed Shape**, όπου επιλέγεται η φοριστική κατάσταση **Modal** και σημειώνεται η επιθυμητή ιδιομορφή μπορούμε να δούμε τη παραμορφωμένη κατάσταση του φορέα.

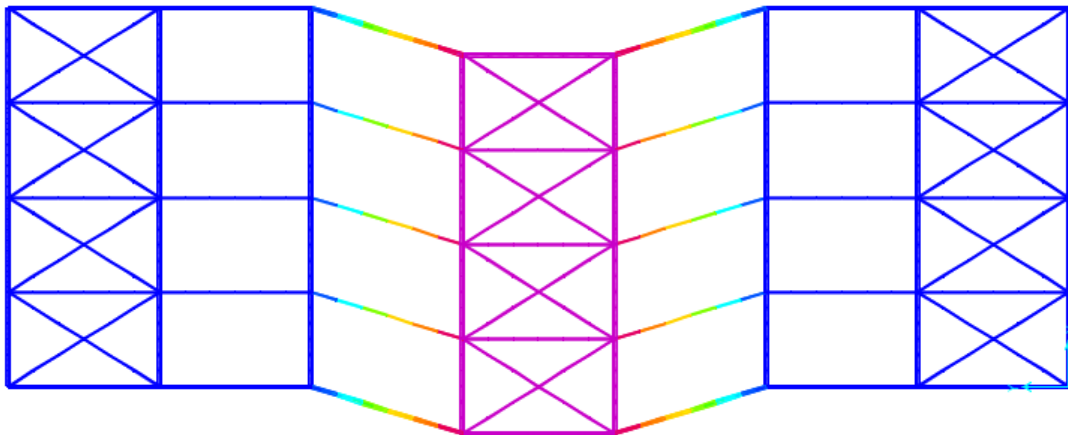


Εικόνα 63: Παράθυρο εντολής εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα

Από την εικόνα της κάθε ιδιομορφής μπορούμε να διαπιστώσουμε αν η ιδιομορφή είναι καθαρά μεταφορική ή στρεπτική ή συνδυασμός των δυο.



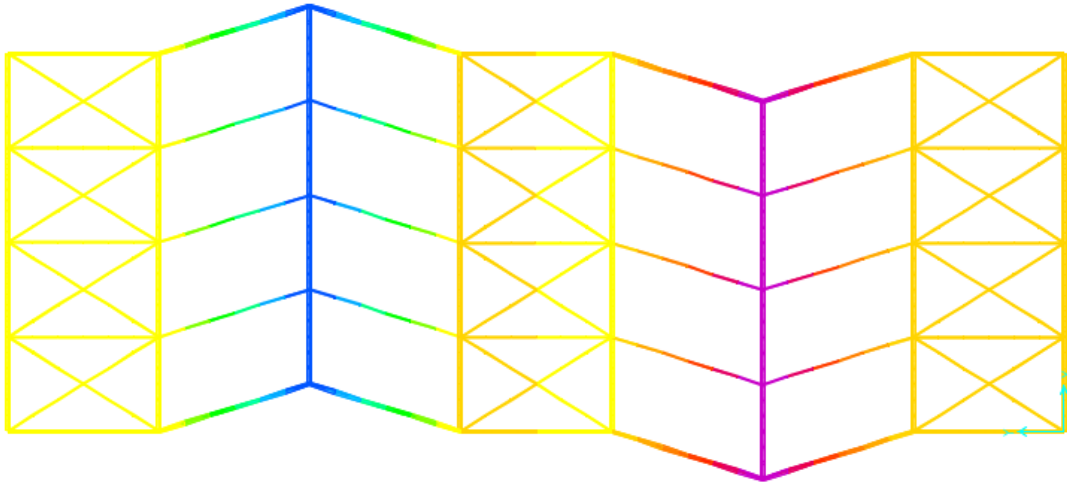
Εικόνα 64: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με $T=0,361$



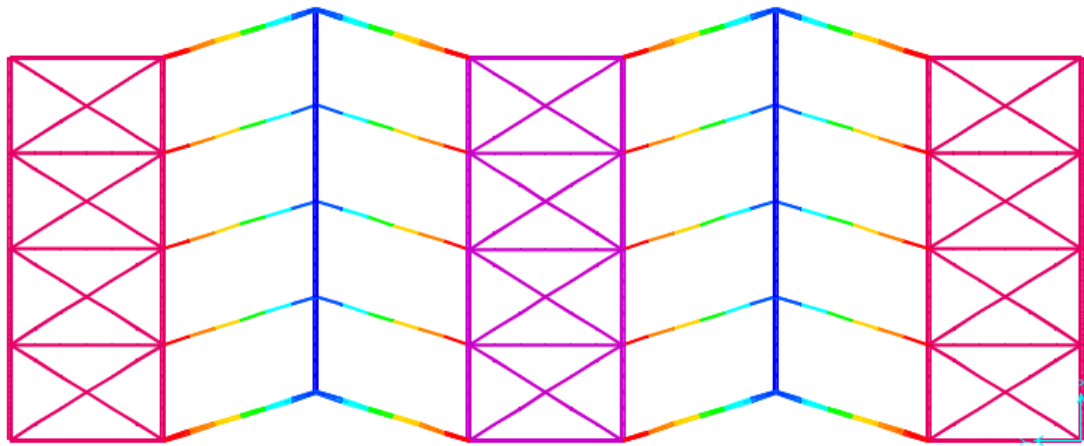
Εικόνα 65: Παραμορφωμένη κατάσταση 1ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,361$

Παρατηρούμε σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή πως η εικόνα παραμόρφωσης είναι μεταφορική κίνηση στη διεύθυνση X, ενώ δεν εμφανίζει στρέψη.

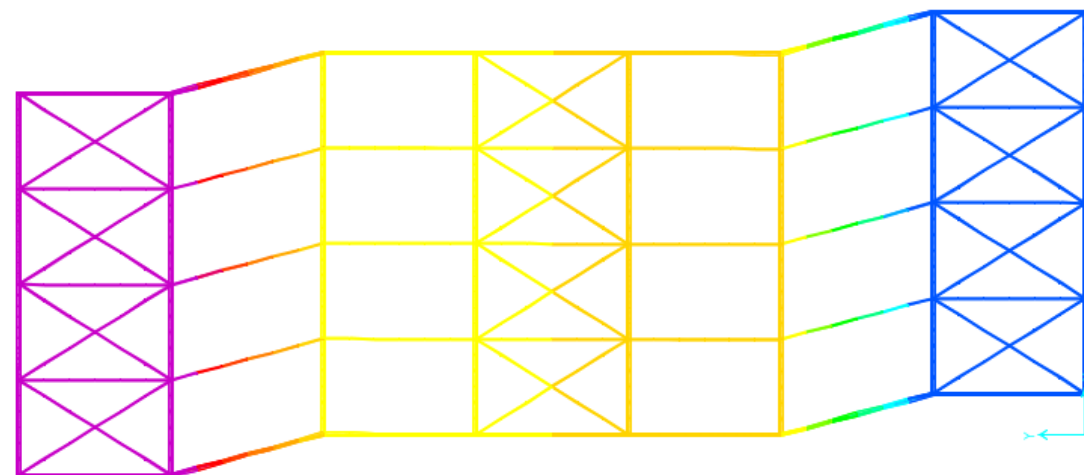
Σύμφωνα με τη δεύτερη, τη τρίτη και τη τέταρτη ιδιομορφή παρουσιάζεται η εικόνα του φορέα που φαίνεται παρακάτω η οποία για κάθε μία από τις αναφερόμενες ιδιομορφές φαίνεται να είναι μεταφορική στη διεύθυνση X με διαφορετική παραμόρφωση και ενεργοποιούμενη ταλάντωση στις ίδιες περίπου τιμές. Η ενεργοποιούμενη ταλάντωση μειώνεται από την 6^η ιδιομορφή όπως φαίνεται παρακάτω.



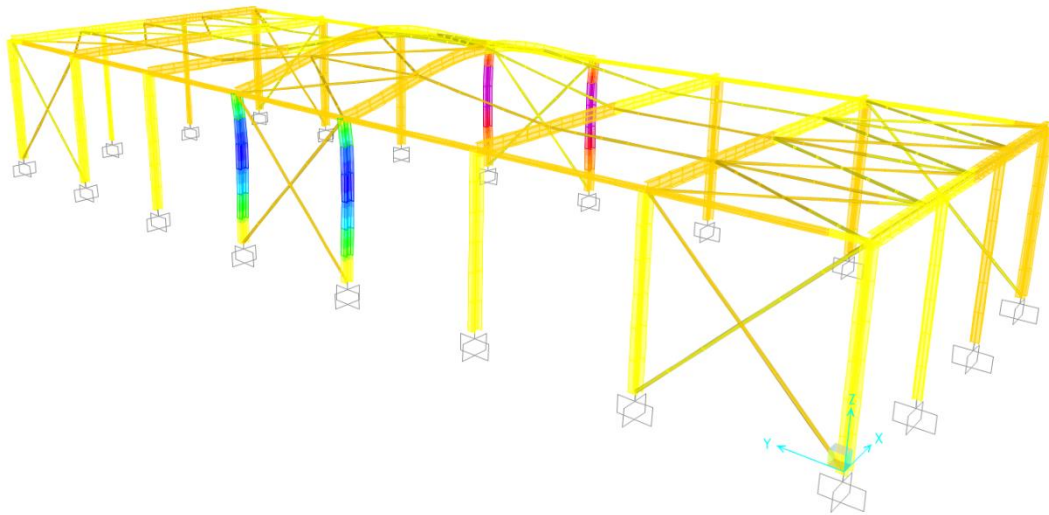
Εικόνα 66: Παραμορφωμένη κατάσταση 2ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,356$



Εικόνα 67: Παραμορφωμένη κατάσταση 3ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,356$

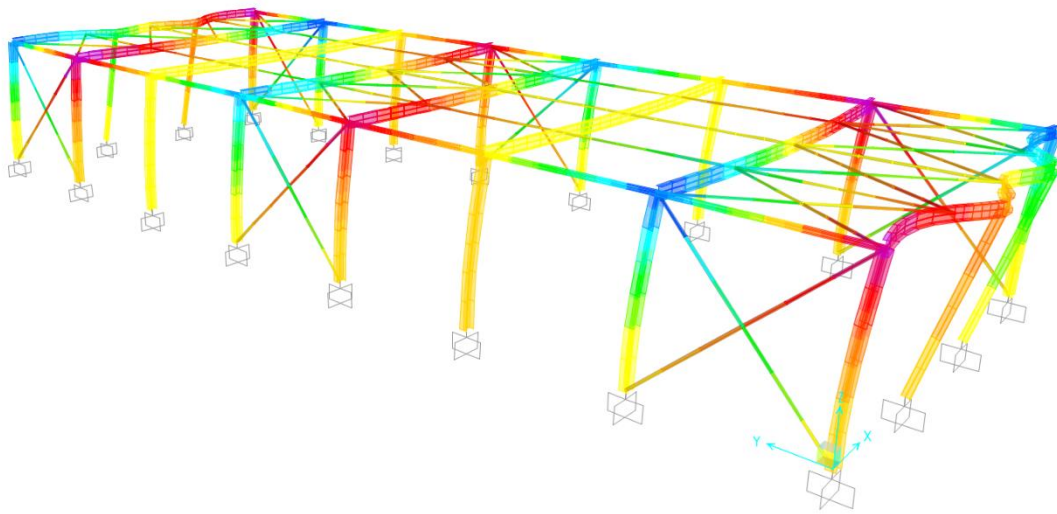


Εικόνα 68: Παραμορφωμένη κατάσταση 4ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,355$



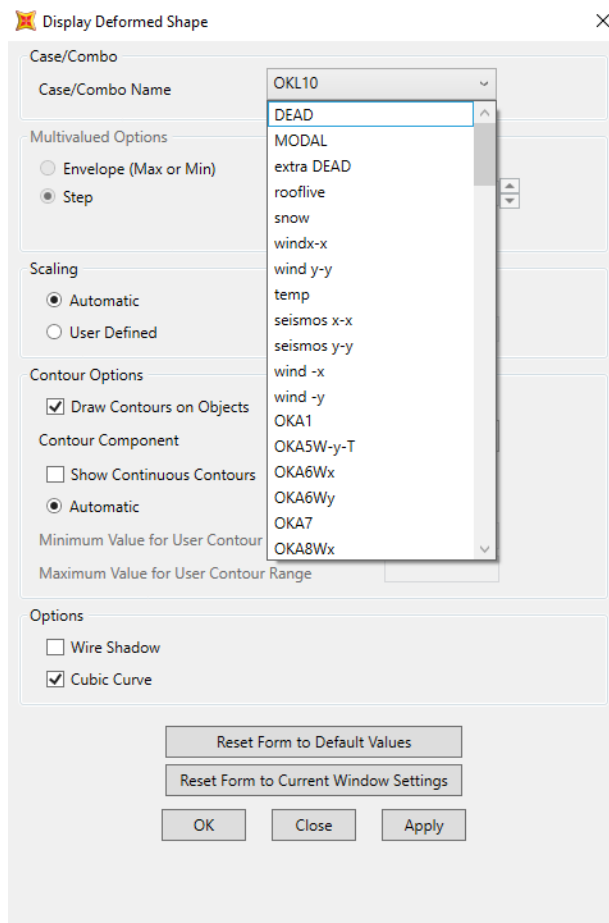
Εικόνα 69: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και $T=0,206$

Μεταφορική κίνηση του φορέα κατά τη διεύθυνση Y παρουσιάζεται κατά την 12η ιδιομορφή με ενεργοποιούμενη ιδιοπερίοδο όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνα 70).



Εικόνα 70: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$

Ομοίως μέσω των εντολών **Display** → **Show Deformed Shape** και επιλέγοντας την κατάλληλη φορτιστική κατάσταση μπορούμε να έχουμε την παραμορφωμένη εικόνα του φορέα για οποιαδήποτε φόρτιση ή συνδυασμό αυτών όπως φαίνεται παρακάτω:



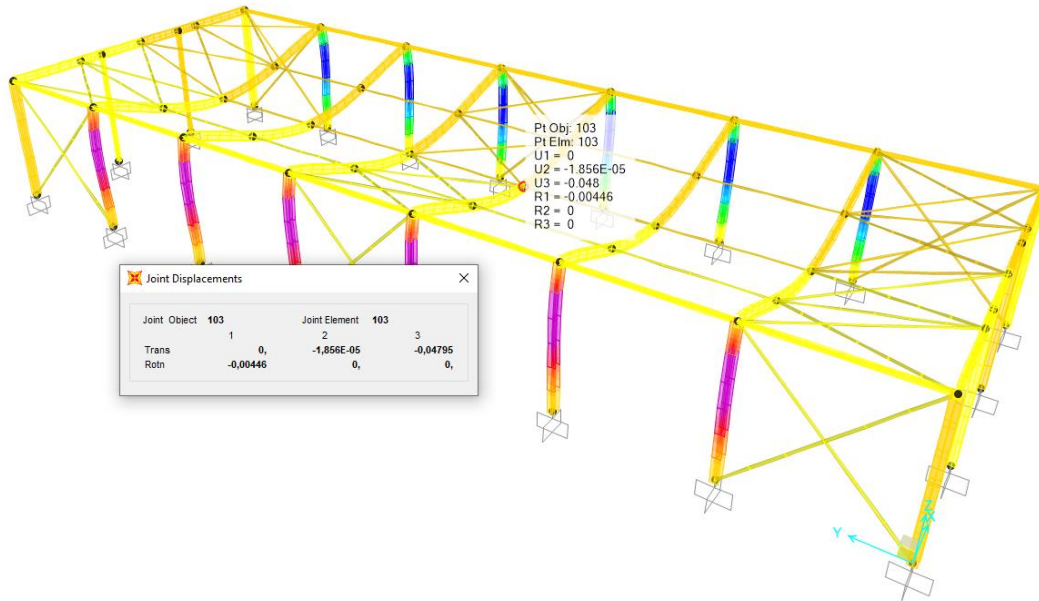
Εικόνα 71: Επιλογές εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα σύμφωνα με τη φορτιστική του κατάσταση

4.9.2.2 Μετακινήσεις φορέα

Δίνεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα στην παραμορφωμένη εικόνα του φορέα, πλησιάζοντας σε κάποιον κόμβο του να εμφανίζονται οι μετακινήσεις του, οι οποίες μπορούν να ληφθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια με δεξί click επάνω στον κόμβο. Στην πρώτη σειρά αποτελεσμάτων εμφανίζονται οι μετατοπίσεις και στη δεύτερη οι στροφές, ενώ οι άξονες 1, 2, 3 αντιστοιχούν στους γενικούς άξονες X, Y,Z.

Οι μετακινήσεις αυτές είναι πραγματικές και όχι πλασματικές όπως συμβαίνει με την ανάγνωση σεισμικών μετακινήσεων από τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης που θα αναλυθεί παρακάτω.

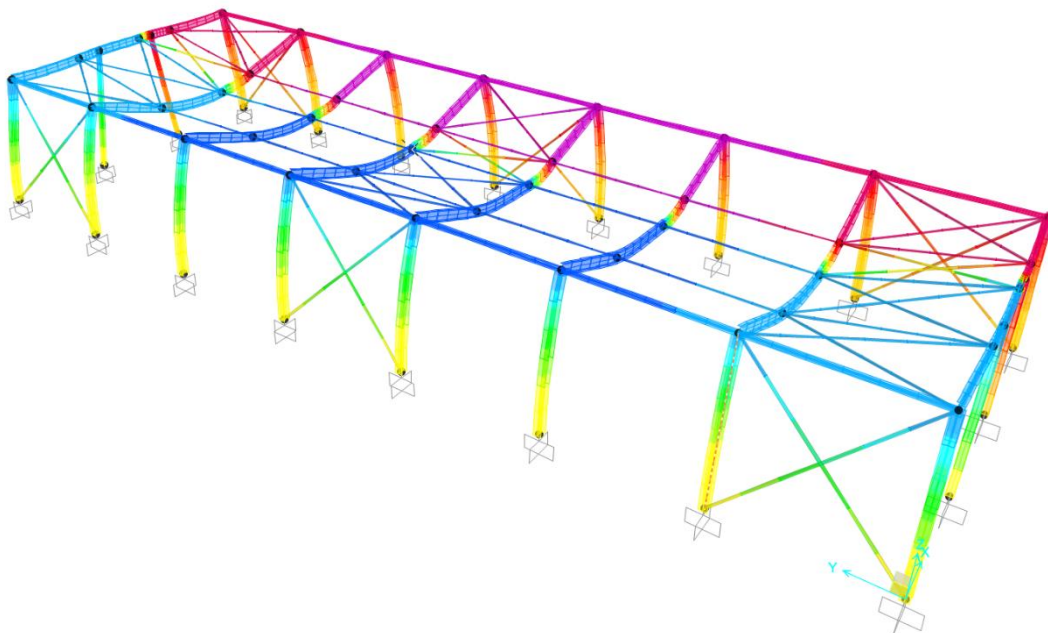
Στην εικόνα 72 φαίνεται η παραμορφωμένη κατάσταση του φορέα υπό την επίδραση των φορτίων χιονιού και οι μεταφορικές και στροφικές κινήσεις του κόμβου 103 ύστερα από την επιλογή του με δεξί click.



Εικόνα 72: Μετακινήσεις κόμβου 103 υπό την επίδραση φορτίων χιονιού

4.9.2.3 Μετακινήσεις φορέα κατά τη δυναμική φασματική ανάλυση

Ενδεικτικά για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1" (**G+extraG+0.3S+seismos x-x + 0.3seismosy-y**), εμφανίζεται ο φορέας στη παραμορφωμένη κατάσταση. Οι μετακινήσεις που εμφανίζονται είναι οι μέγιστες που αναπτύσσονται σε κάθε κόμβο και δεν είναι ταυτόχρονες για όλους τους κόμβους του κτιρίου. Αυτό συμβαίνει διότι η δυναμική φασματική ανάλυση ως εξ' ορισμού είναι αποτέλεσμα συνδυασμού ιδιομορφών. Η εικόνα λοιπόν του φορέα στη κατάσταση αυτή είναι μία οπτική απεικόνιση των μέγιστων τιμών μετατόπισης του συνδυασμού για κάθε κόμβο και όχι μία πραγματική κατάσταση μετακίνησης.



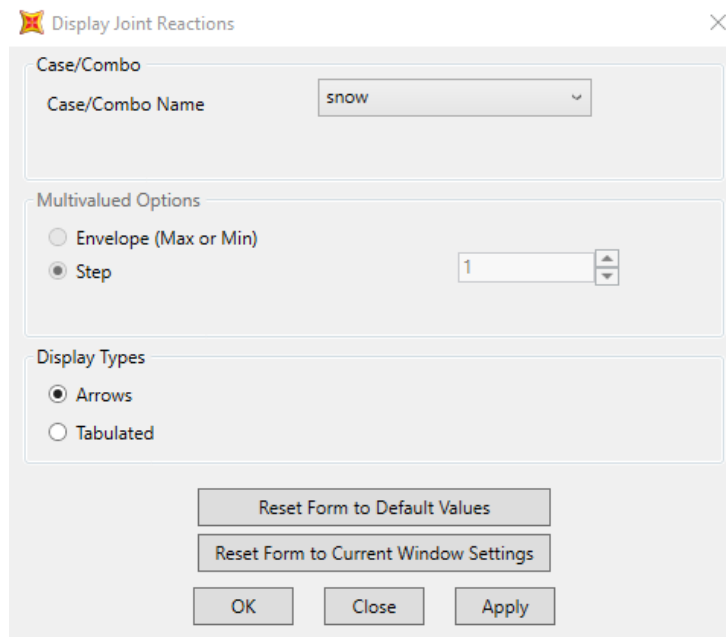
Εικόνα 73: Οπτική απεικόνιση παραμορφωμένης κατάστασης φορέα με τις μέγιστες μετατοπίσεις σε κάθε κόμβο από το συνδυασμό των ιδιομορφών

Λόγω της χρήσης του συντελεστή συμπεριφοράς κατά τον προσδιορισμό της σεισμικής φόρτισης, σε έναν συνδυασμό με επαλληλία διαφορετικών φορτίσεων (κατακόρυφων φορτίων και σεισμού) ο προσδιορισμός της μετακίνησης ενός σημείου απαιτεί την ξεχωριστή ανάγνωση της τιμής αυτής διότι από τα φορτία του συνδυασμού μόνο τα σεισμικά φορτία υπολογίστηκαν με ελαστική ανάλυση σύμφωνα με την οποία τα σεισμικά φορτία ήταν απομειωμένα λόγω ύπαρξης του συντελεστή συμπεριφοράς α . Η ύπαρξη όμως της μετελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής υποδηλώνει το ενδεχόμενο να γίνει υπέρβαση του σημείου καταπόνησης. Έτσι ο προσδιορισμός της πραγματικής μετατόπισης απαιτεί τον πολλαπλασιασμό της τιμής που υπολογίστηκε για τα απομειωμένα, κατά α , ελαστικά φορτία με την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, βάσει της σχέσης (EC8 §4.3.4(1)P) και τέλος την πρόσθεση των επιμέρους μετακινήσεων, για τον υπολογισμό της τελικής μετατόπισης ελέγχου.

4.9.2.4 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών

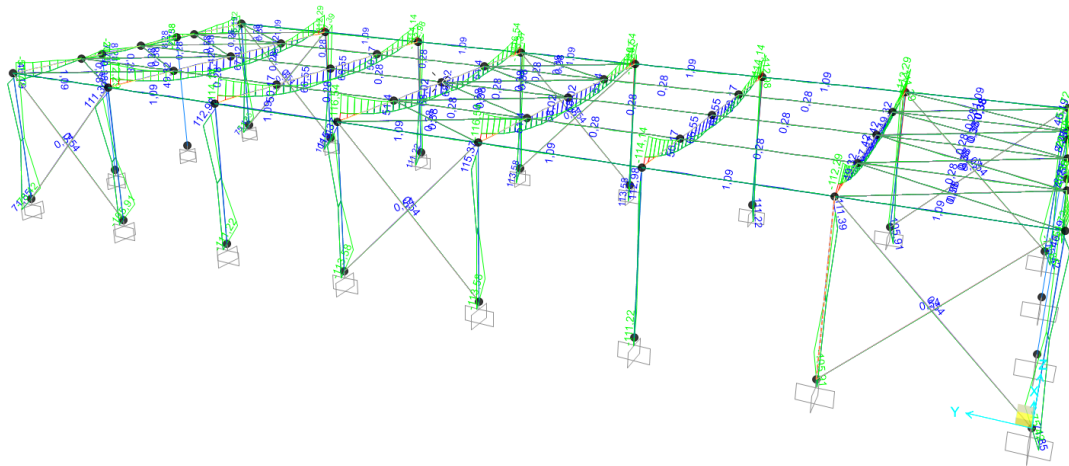
Χρησιμοποιώντας την εντολή **Display** → **Show Forces/Stresses** → **Frames/Cables/Tendons**, και αφού επιλεγεί η επιθυμητή φορτιστική κατάσταση ή συνδυασμός φόρτισης ζητείται το επιθυμητό εντατικό μέγεθος που επιθυμούμε να ελέγξουμε σε κόμβο ή μέλος, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

Εικόνα 74: Πίνακας επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε μέλη

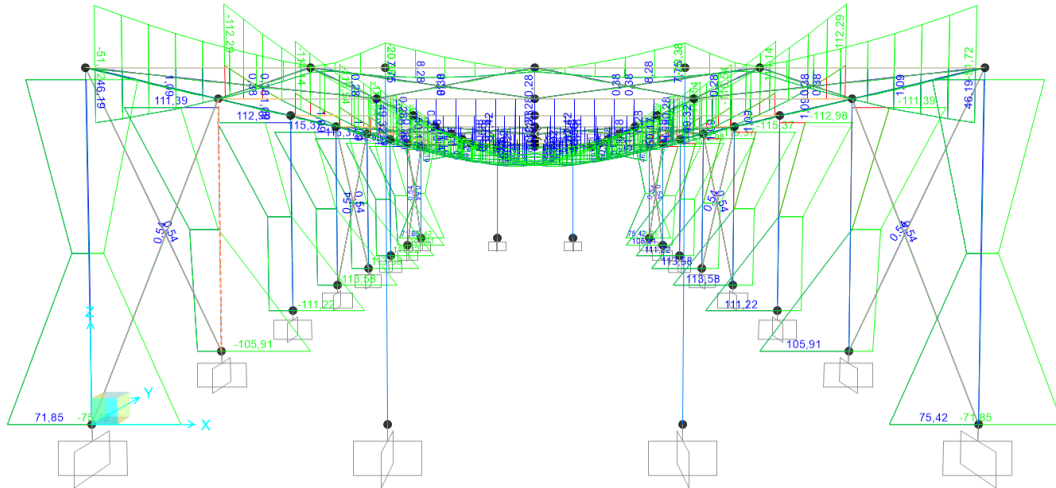


Εικόνα 75: Πίνακας επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε κόμβους (αντιδράσεις στήριξης)

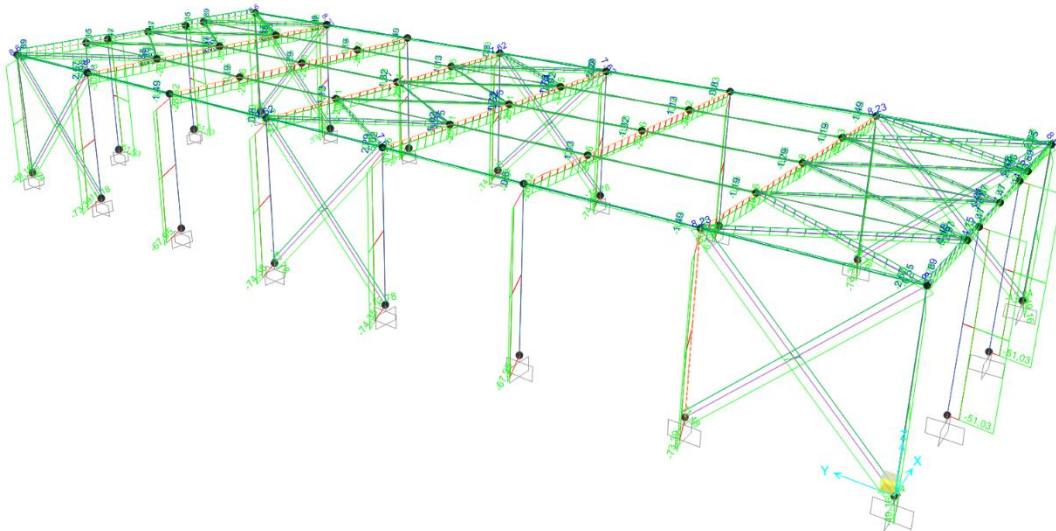
Για το φορέα μας, για το συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1" και με επιλογή εμφάνισης της ροπής κάμψης το διάγραμμα καμπτικών ροπών για όλες τις δοκούς και τα υποστυλώματα εντός επιπέδου xz, είναι:



Εικόνα 76: Εμφάνιση διαγράμματος καμπτικών ροπών M33 για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"

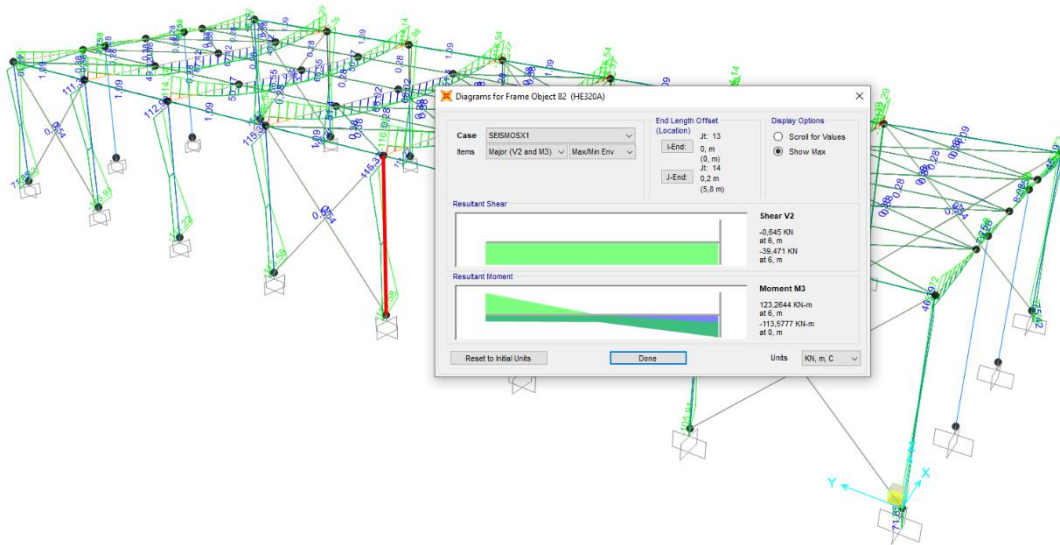


Εικόνα 77: Εμφάνιση διαγράμματος καμπτικών ροπών M33 για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"

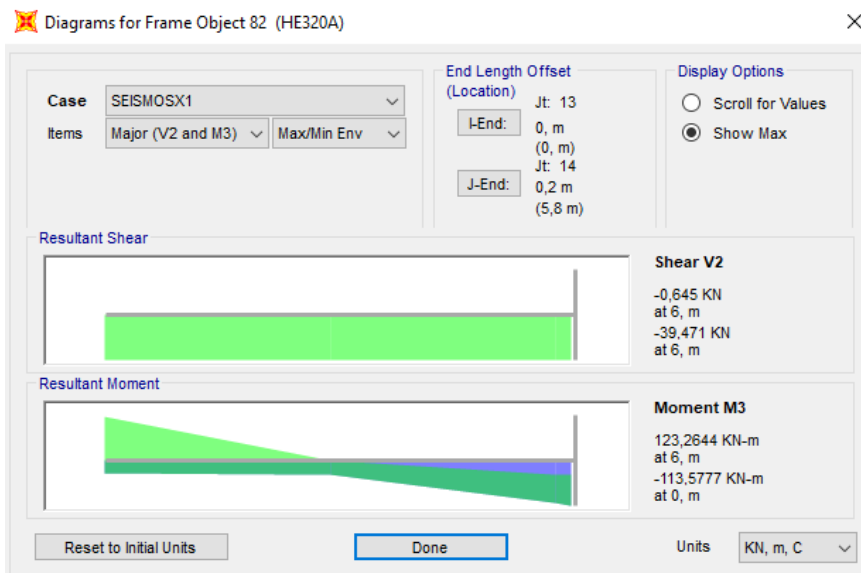


Εικόνα 78: Εμφάνιση διαγράμματος αξονικών δυνάμεων για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"

Παράλληλα στο πρόγραμμα αυτό δίνεται η δυνατότητα αναλυτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων με σκοπό την πλήρη εποπτεία της εντατικής κατάστασης κάθε μέλους ή κόμβου επιλέγοντας το στοιχείο που θέλουμε να διερευνήσουμε και πατώντας δεξιά κλικ.



Εικόνα 79: Χαρακτηριστικά εντατικής κατάστασης επιλεγμένου (με κόκκινο) υποστυλώματος



Εικόνα 80: Πίνακας παρουσίασης χαρακτηριστικών υποστυλώματος από τη φόρτιση "SEISMOSX1"

Τέλος δίνεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα της αναλυτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων και της εξαγωγής τους σε πίνακες ή σε μορφή excel για περαιτέρω ανάγνωση και επεξεργασία για το σύνολο των μελών η για επιλεγμένα στοιχεία. Η διαδικασία αυτή δίνεται από τις εντολές **Display** → **Show Tables** → **ANALYSIS RESULTS** και στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να επιλέξει:

- **Joint Output** → **Displacements – Table Joint Displacements**: μετακινήσεις κόμβων.
- **Joint Output** → **Reactions – Table Joint Reactions**: αντιδράσεις κόμβων.
- **Element Output** → **Frame Output – Table Element Forces-Frames**: εντατικά μεγέθη στα γραμμικά δομικά στοιχεία.
- **Structure Output** → **Base Reactions – Table Base Reactions**: αντιδράσεις στήριξης όλου του φορέα.

- **Structure Output → Modal Information – Table Modal Periods and Frequencies:** ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες της κατασκευής.
- **Structure Output → Modal Information – Table Modal Participating Mass Ratios:** ποσοστά συμμετοχής της μάζας σε κάθε ιδιομορφή (δίνει περισσότερες πληροφορίες για το αν η ιδιομορφή είναι μεταφορική και κατά ποια διεύθυνση).

4.2.9.5 Ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας από κάθε ιδιομορφή

Για το φορέα μας και σύμφωνα με την εντολή **Display → Show Tables → ANALYSIS RESULTS → Structure Output → Modal Information – Table Modal Participating Mass Ratios** εξετάζουμε τη καρτέλα με τις τιμές των ιδιοπεριόδων και του ποσοστού μάζας που ενεργοποιείται σε κάθε ιδιομορφή και ελέγχουμε το κριτήριο ενεργοποίησης του 90% της μάζας της κατασκευής σε κάθε διεύθυνση από τον αριθμό των ιδιομορφών.

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless
MODAL	Mode	7	0,205416	1,177E-18	9,497E-06	2,691E-16	0,99072	9,497E-06	0,09001	0,09667
MODAL	Mode	8	0,205413	9,623E-17	5,194E-16	0,08791	0,99072	9,497E-06	0,17792	1,249E-17
MODAL	Mode	9	0,205327	2,176E-19	1,129E-05	4,553E-15	0,99072	2,079E-05	0,17792	0,00789
MODAL	Mode	10	0,201419	3,123E-16	4,6E-16	0,07874	0,99072	2,079E-05	0,25666	1,613E-11
MODAL	Mode	11	0,201419	1,713E-16	1,534E-10	3,957E-11	0,99072	2,079E-05	0,25666	0,03227
MODAL	Mode	12	0,15717	1,88E-18	0,86041	4,566E-16	0,99072	0,86043	0,25666	0,00082
MODAL	Mode	13	0,134779	0	1,808E-17	4,086E-16	0,99072	0,86043	0,25666	1,171E-17
MODAL	Mode	14	0,13111	9,703E-08	3,083E-17	6,263E-16	0,99072	0,86043	0,25666	4,366E-17
MODAL	Mode	15	0,11689	6,371E-19	1,876E-17	5,522E-07	0,99072	0,86043	0,25666	1,508E-17
MODAL	Mode	16	0,116369	3,276E-20	7,781E-19	1,083E-16	0,99072	0,86043	0,25666	2,729E-17
MODAL	Mode	17	0,095967	1,049E-18	0,11581	1,876E-15	0,99072	0,97624	0,25666	0,00015
MODAL	Mode	18	0,077499	0,0011	1,993E-16	3,194E-14	0,99182	0,97624	0,25666	3,454E-13
MODAL	Mode	19	0,074885	4,684E-18	5,99E-16	5,846E-15	0,99182	0,97624	0,25666	1,162E-13
MODAL	Mode	20	0,074011	1,6E-18	5,525E-16	1,917E-17	0,99182	0,97624	0,25666	9,794E-15

Εικόνα 81: Πίνακας ενεργοποιούμενης μάζας ανά διεύθυνση

Από τον ανωτέρω πίνακα διαπιστώνουμε πως η ενεργοποιούμενη μάζα στη διεύθυνση X είναι 99,1% και στη διεύθυνση Y είναι 97,6%.

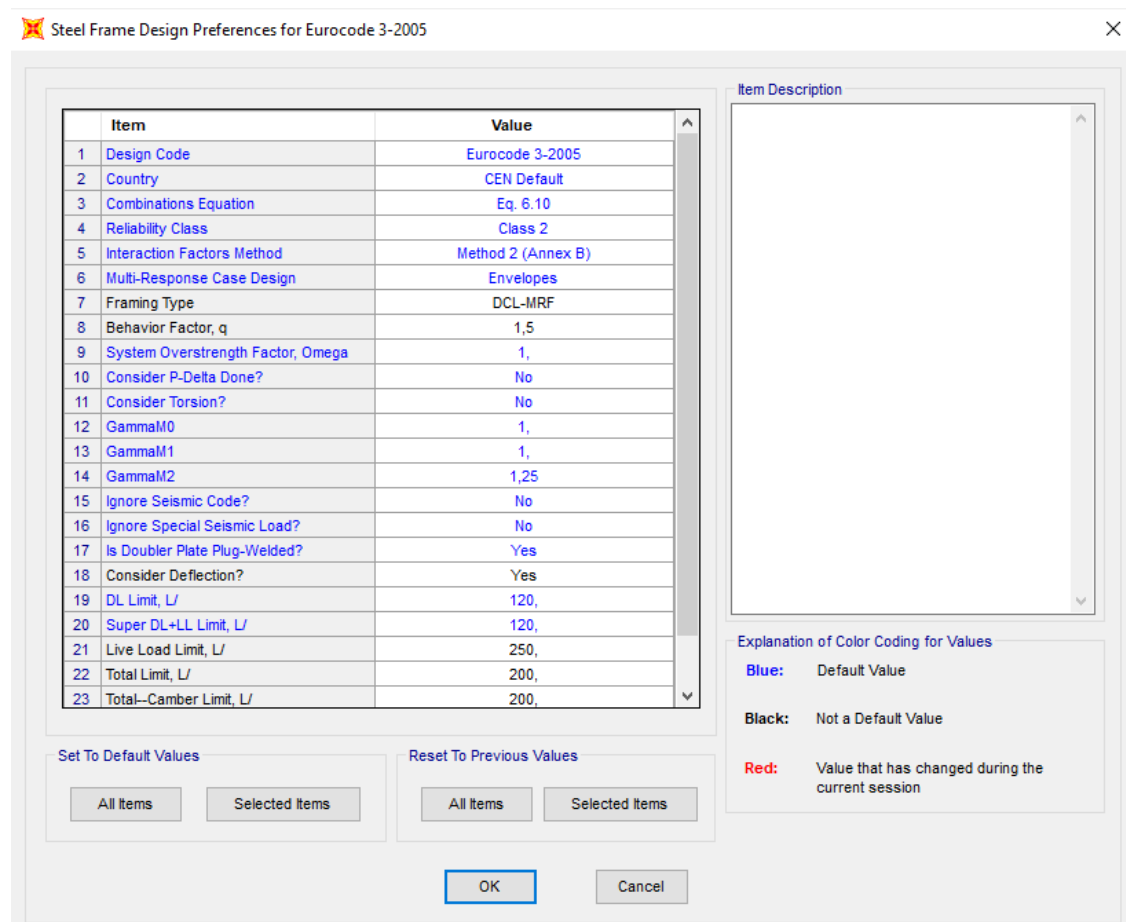
Το μεγαλύτερο ποσοστό της δρώσας ιδιομορφικής μάζας για τη διεύθυνση X αναπτύσσεται στη 5^η ιδιομορφή σε ποσοστό 51% περίπου της συνολικής ενώ στη διεύθυνση Y αναπτύσσεται σε ποσοστό σχεδόν 86% στη 12^η ιδιομορφή.

4.9.3 Σχεδιασμός Φορέα

4.9.3.1 Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού

Μετά την ολοκλήρωση των αναλύσεων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για τα εντατικά μεγέθη της κατασκευής προχωράμε στον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση της. Με επαναληπτικές διαδικασίες ελέγχου σύμφωνα με το κανονισμό γίνεται επιλογή των κατάλληλων διατομών ώστε η κατασκευή να πληροί τα κριτήρια ασφάλειας, λειτουργικότητας και βέλτιστου κατασκευαστικού κόστους. Ο έλεγχος πρακτικά εστιάζει στην εξασφάλιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κάθε μέλους σε ποσοστό μικρότερο του 100% της αντοχής του.

Στο Sap2000 η διαδικασία σχεδιασμού γίνεται με τις εντολές **Design** → **Steel Frame Design** → **Start Design / Check of structures**. Όμως πριν την εκτέλεση του ελέγχου θα πρέπει να ορίσουμε τις παραμέτρους σχεδιασμού οι οποίες καθορίζονται στο πίνακα που προκύπτει (εικόνα 82) μετά από τις εντολές **Design** → **Steel Frame Design** → **View / Revise Preferences**.

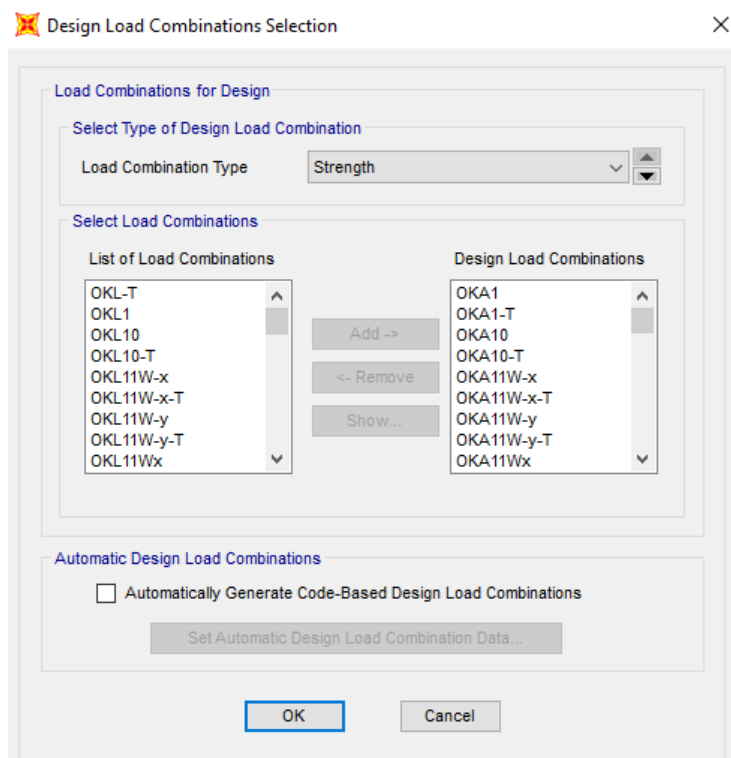


Εικόνα 82: Ορισμός παραμέτρων διαστασιολόγησης

Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα προσδιορισμού των παραμέτρων ορίζουμε τα εξής:

- Στο πεδίο 1 ορίζουμε ως κανονισμό ελέγχου τον Ευρωκώδικα 3.
- Στο πεδίο 7 ορίζουμε τη κατηγορία πλαστιμότητας ως χαμηλή (DCL) λόγω της χαμηλής τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς α .
- Στο πεδίο 8 ορίζουμε τη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς με γνώμονα τη περιορισμένη πλάστικη συμπεριφορά και έτσι οι έλεγχοι ελαστοπλαστικού μηχανισμού και οι έλεγχοι ικανοτικού σχεδιασμού δεν θα απαιτηθούν.
- Στο πεδίο 18 επιλέγουμε να ληφθεί υπόψη ο περιορισμός των παραμορφώσεων (έλεγχοι λειτουργικότητας).
- Στα πεδία 21, 22, 23 ορίζουμε τα αποδεκτά όρια παραμορφώσεων για τον έλεγχο σε επίπεδο λειτουργικότητας των μελών σύμφωνα με τον EN1993-1-1/1992 Πιν. 4.1. Για στέγες (μη βατές) δίνονται το συνολικό επιτρεπόμενο βέλος δ_{\max} ($\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$) και το δ_2 βέλος λόγω μεταβλητών δράσεων. Όπου:
 - ✚ δ_1 βέλος λόγω μόνιμων δράσεων
 - ✚ δ_2 βέλος λόγω μεταβλητών δράσεων
 - ✚ δ_0 το αρχικό αντιβέλος (αν υπάρχει) στην αφόρτιστη κατάσταση

Επιπρόσθετα στη συνέχεια κατατάσσουμε τους συνδυασμούς που δημιουργήσαμε σε αστοχίας και λειτουργικότητας σύμφωνα με τις παρακάτω εικόνες και μέσα από τις εντολές **Design** → **Steel Frame Design** → **Select Design Combos**.



Εικόνα 83: Πεδίο ορισμού συνδυασμών αστοχίας και λειτουργικότητας

Έτσι σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα στο πεδίο **Load Combination Type** ορίζουμε το είδος ελέγχου σύμφωνα με τους συνδυασμούς. Έτσι για τους συνδυασμούς αστοχίας επιλέγουμε "**Strength**" και τους συνδυασμούς λειτουργικότητας ορίζουμε "**Deflection**".

Στη συνέχεια ορίζουμε του συντελεστές προσδιορισμού του κρίσιμου μήκους λυγισμού των μελών όπως φαίνεται παρακάτω μέσα από τις εντολές **Design → Steel Frame Design → View / Revise Overwrites**.

- Για τα υποστυλώματα τροποποιώ το εκτός επιπέδου μήκος λυγισμού:

Steel Frame Design Overwrites for Eurocode 3-2005

Item	Value	
19	Total Limit, abs	Program Determined
20	Total-Camber Limit, abs	Program Determined
21	Specified Camber	Program Determined
22	Net Area to Total Area Ratio	Program Determined
23	Live Load Reduction Factor	Program Determined
24	Unbraced Length Ratio (Major)	Program Determined
25	Unbraced Length Ratio (Minor)	Program Determined
26	Unbraced Length Ratio (LTB)	Program Determined
27	Effective Length Factor Braced (K1 M...	Program Determined
28	Effective Length Factor Braced (K1 M...	Program Determined
29	Effective Length Factor Sway (K2 Ma...	Program Determined
30	Effective Length Factor Sway (K2 Mi...	1,
31	Effective Length Factor (K LTB)	1,
32	Bending Coefficient (C1)	Program Determined
33	Moment Coefficient (kyy Major)	Program Determined
34	Moment Coefficient (kzz Minor)	Program Determined
35	Moment Coefficient (kzy)	Program Determined
36	Moment Coefficient (kyz)	Program Determined
37	Yield stress, Fy	Program Determined
38	Material Overstrength Factor, Gamma...	Program Determined
39	Warping Constant, Iw	Program Determined
40	Elastic Torsional Buckling Force, Ncr,T	Program Determined
41	Elastic Torsional-Flexural Buckling For...	Program Determined

Item Description

Explanation of Color Coding for Values

Blue: All selected items are program determined

Black: Some selected items are user defined

Red: Value that has changed during the current session

Set To Prog Determined (Default) Values

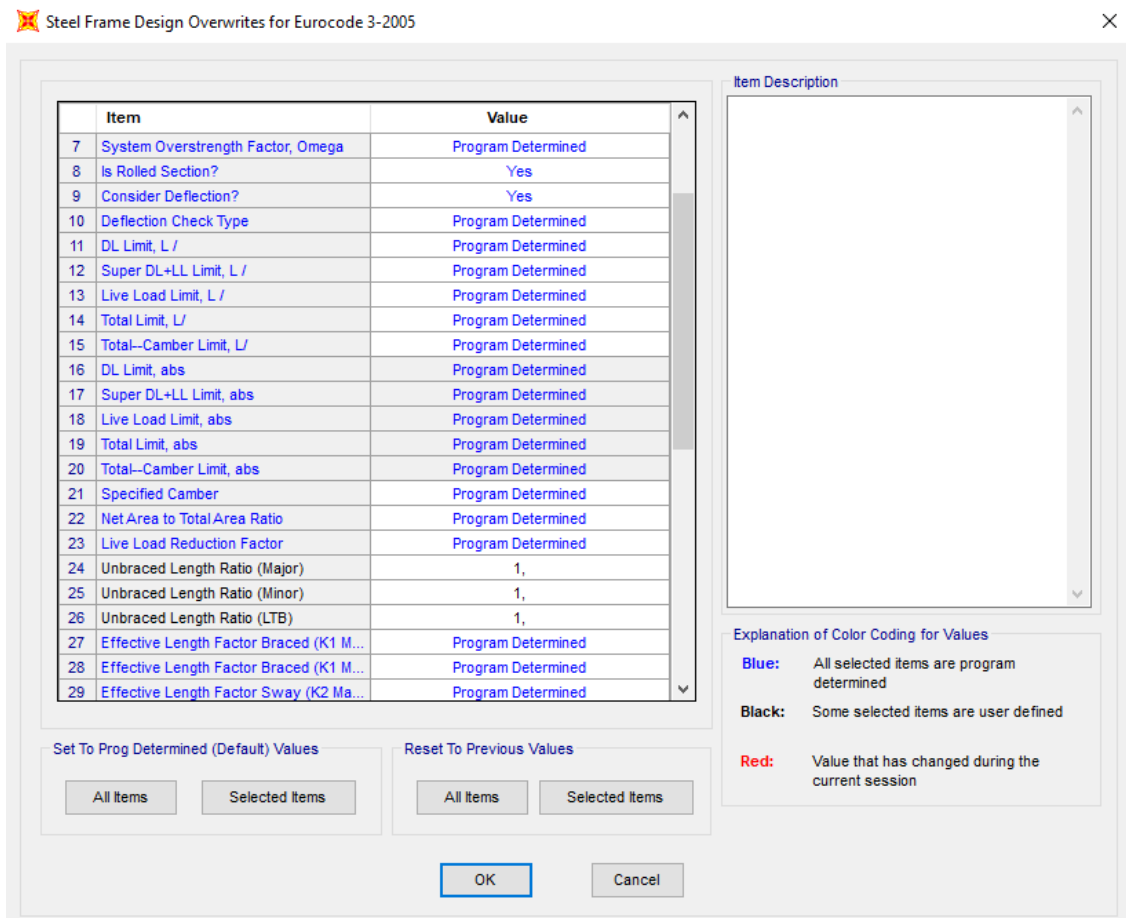
Reset To Previous Values

All Items Selected Items All Items Selected Items

OK Cancel

Εικόνα 84: Πίνακας επεξεργασίας παραμέτρων σχεδιασμού υποστυλωμάτων

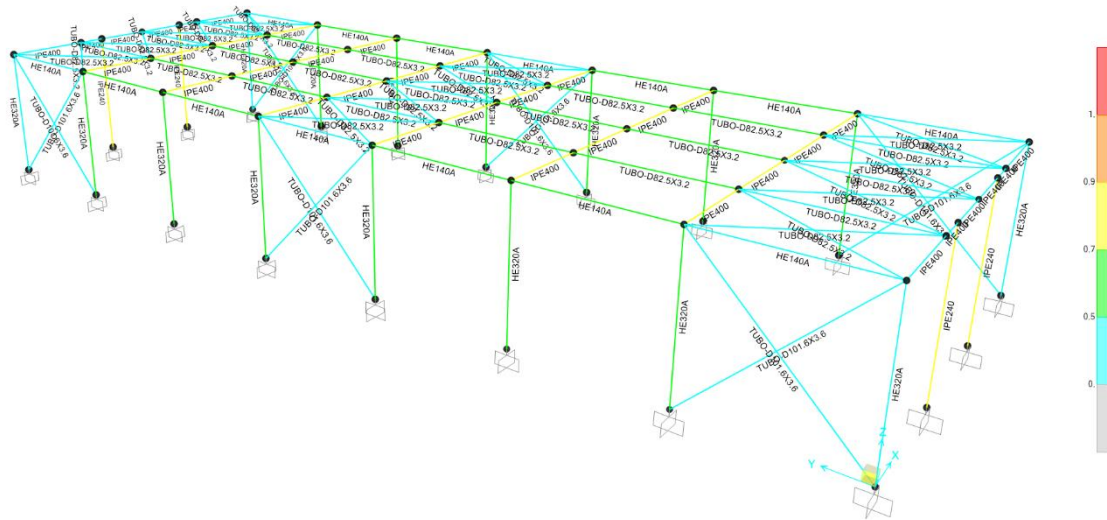
- Για τους συνδέσμους δυσκαμψίας ορίζω συντελεστές μήκους λυγισμού:



Εικόνα 85: Πίνακας επεξεργασίας παραμέτρων σχεδιασμού χιαστή συνδέσμων

4.9.3.2 Αποτελέσματα σχεδιασμού

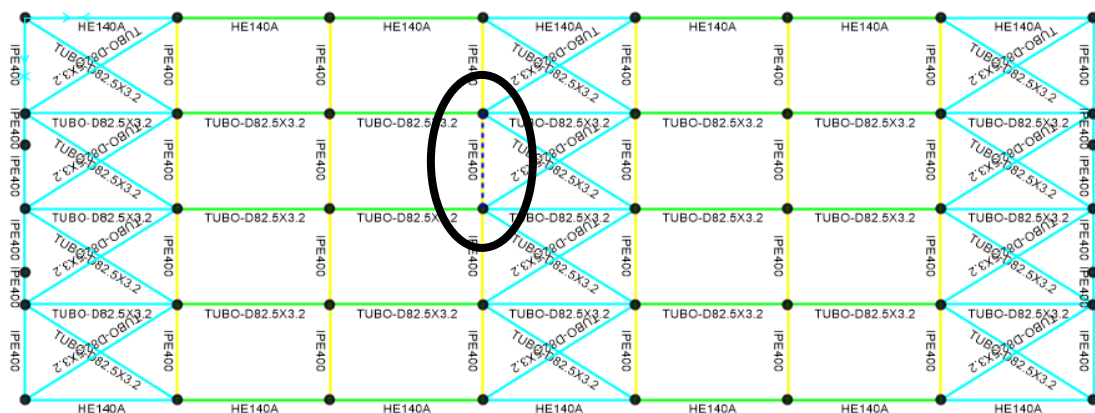
Αφού ολοκληρώσουμε την ανωτέρω διαδικασία εφαρμόζουμε τις εντολές **Design** → **Steel Frame Design** → **Start Design / Check of structures** όπως αναφέρθηκαν παραπάνω και αναμένουμε τον αυτοματοποιημένο έλεγχο όλων των μελών από το πρόγραμμα. Μετά την ολοκλήρωση λαμβάνουμε γραφικά τα αποτελέσματα του ελέγχου σε χρωματική διαβάθμιση.



Εικόνα 86: Αποτελέσματα σχεδιασμού με χρωματική διαβάθμιση του συντελεστή εξάντλησης κάθε μέλους

Σε αυτό το σημείο επιλέγουμε των έλεγχο των αποτελεσμάτων για κάποιο μέλος σε συνθήκες αστοχίας και λειτουργικότητας για κρίσιμους συνδυασμούς που έδωσαν μέγιστες τιμές στο συντελεστή εκμετάλλευσης με σκοπό την αξιολόγηση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων σχεδιασμού από το πρόγραμμα. Έτσι με την επιλογή κάποιου μέλους και την εφαρμογή δεξιού κλικ έχουμε:

Για το μέλος με αριθμό 269 (δοκός) και διατομής IPE400:



Εικόνα 87: Θέση υπ' αριθμόν 269 μέλους

Έλεγχος στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

COMBO ID	STATION LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
OKA5Wy-T	1,88	0,855 (C)	= 0,052 + 0,803 + 0,000	0,041	0,000
OKA5Wy-T	2,34	0,855 (C)	= 0,052 + 0,803 + 0,000	0,031	0,000
OKA5Wy-T	2,81	0,855 (C)	= 0,052 + 0,803 + 0,000	0,021	0,000
OKA5Wy-T	3,28	0,855 (C)	= 0,052 + 0,803 + 0,000	0,011	0,000
OKA5Wy-T	3,75	0,855 (C)	= 0,052 + 0,803 + 0,000	0,000	0,000
OKA6Wx-T	0,00	0,456 (C)	= 0,030 + 0,426 + 0,000	0,042	0,000
OKA6Wx-T	0,47	0,456 (C)	= 0,030 + 0,426 + 0,000	0,039	0,000

Frame ID: 269, Analysis Section: IPE400, Design Code: Eurocode 3-2005, Design Section: IPE400

Buttons: Overwrites, Summary, Flexure, Envelope, Tabular Data, Strength, Deflection, OK, Cancel, Table Format File

Εικόνα 88: Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου αστοχίας κατά τη διαδικασία σχεδιασμού για το μέλος 269

Παρατηρούμε πως το υπ' αριθμόν 269 μέλος που αποτελεί τμήμα κύριας δοκού στον άξονα 5 του καννάβου, εξαντλεί το 86% της αντοχής του στην οριακή κατάσταση αστοχίας κατά τον έλεγχο αντοχής του υπό κάμψη και υπό θλίψη (EN 1993-1-1 § 6.3.3) για το συνδυασμό "OKAWy-T".



Εικόνα 89: Εντατικά μεγέθη μέλους για το συνδυασμό "OKAWy-T" από τη φάση ανάλυσης

```

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : RN, m, C

Frame : 269      X Mid: 5,625      Combo: OKA5Wy-T      Design Type: Beam
Length: 3,750   Y Mid: 18,000     Shape: IPE400        Frame Type: DCL-MRF
Loc : 3,750     Z Mid: 6,000     Class: Class 1       Rolled : Yes

Country=CEN Default      Combination=Eq. 6.10
Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B)  MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done?
No
Consider Torsion? No

GammaM0=1,00      GammaM1=1,00      GammaM2=1,25
An/Ag=1,00      RLLF=1,000      PLLF=0,750      D/C Lim=0,950

Aeff=0,008      eNy=0,000      eNz=0,000
A=0,008      Iyy=2,313E-04      iyy=0,165      Wel,yy=0,001      Weff,yy=0,001
It=0,000      Izz=1,318E-05      izz=0,039      Wel,zz=1,464E-04      Weff,zz=1,464E-04
04
Iw=0,000      Iyz=0,000      h=0,400      Wpl,yy=0,001      Av,y=0,005
E=210000000,0      fy=355000,000      fu=510000,000      Wpl,zz=2,290E-04      Av,z=0,004

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
Location      Ned      Med,yy      Med,zz      Ved,z      Ved,y      Ted
3,750      -70,883      242,059      0,010      -0,542      0,000      -0,047

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)
D/C Ratio: 0,855 = 0,052 + 0,803 + 0,000 < 0,950      OK
= Ned/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT
My,Rk/GammaM1)
+ kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-
6.62)

AXIAL FORCE DESIGN
      Ned      Nc,Rd      Nt,Rd
      Force      Capacity      Capacity
Axial      -70,883      2999,750      2999,750

      Npl,Rd      Nu,Rd      Ncr,T      Ncr,TF      An/Ag
      2999,750      3102,840      3939,515      3939,515      1,000

      Curve      Alpha      Ncr      LambdaBar      Phi      Chi      Nb,Rd
Major (y-y)      a      0,210      2221,524      1,162      1,276      0,554      1663,104
MajorB(y-y)      a      0,210      2221,524      1,162      1,276      0,554      1663,104
Minor (z-z)      b      0,340      1942,549      1,243      1,449      0,456      1366,428
MinorB(z-z)      b      0,340      1942,549      1,243      1,449      0,456      1366,428
Torsional TF      b      0,340      3939,515      0,873      0,995      0,679      2036,064

MOMENT DESIGN
      Med      Med,span      Mc,Rd      Mv,Rd      Mn,Rd      Mb,Rd
      Moment      Moment      Capacity      Capacity      Capacity      Capacity
Major (y-y)      242,059      242,059      463,985      463,985      463,985      299,001
Minor (z-z)      0,010      0,010      81,295      81,295      81,295

      Curve      AlphaLT      LambdaBarLT      PhiLT      ChiLT      Cl      Mcr
LTB      b      0,340      0,926      1,052      0,644      1,150      541,056

      kyy      kyz      kzy      kzz
Factors      0,916      0,643      0,992      1,072

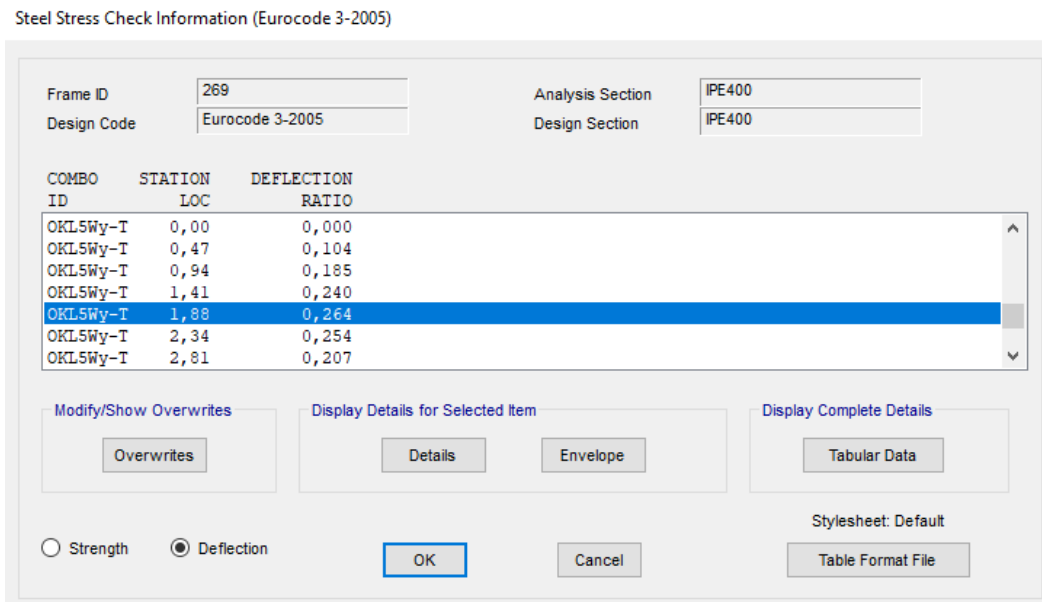
SHEAR DESIGN
      Ved      Ted      Vc,Rd      Stress      Status
      Force      Torsion      Capacity      Ratio      Check
Major (z)      0,542      0,047      875,811      0,001      OK
Minor (y)      0,000      0,047      1074,437      0,000      OK

      Vpl,Rd      Eta      LambdabarW

```

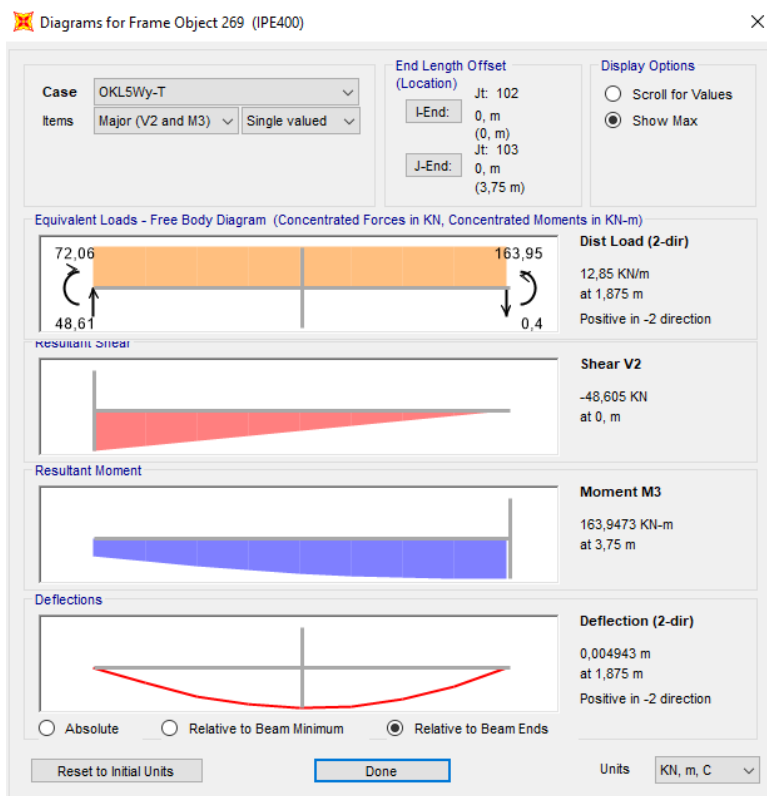
Εικόνα 90: Στοιχεία ελέγχου μέλους 269 σε ΟΚΑ

Έλεγχος στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας



Εικόνα 91: Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου σε λειτουργικότητα κατά τη διαδικασία σχεδιασμού για το μέλος 269

Παρατηρούμε πως το υπ' αριθμόν 269 μέλος που αποτελεί τμήμα κύριας δοκού στον άξονα 5 του καννάβου, εξαντλεί το 27% του επιτρεπόμενου βέλους κάμψης που μπορεί να φτάσει στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας στη μέση του μήκους του, κατά τον έλεγχο του για το συνδυασμό "OKLWy-T".



Εικόνα 92: Εντατικά μεγέθη μέλους για το συνδυασμό "OKLWy-T" από τη φάση ανάλυσης

```

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Deflection Details)
Units : KN, m, C

Frame : 269      X Mid: 5,625      Combo: OKLSWy-T      Design Type: Beam
Length: 3,750   Y Mid: 18,000     Shape: IPE400         Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0,000     Z Mid: 6,000     Class: Class 4        Rolled : Yes

Country=CEN Default      Combination=Eq. 6.10
Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B)  MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done?
No
Consider Torsion? No

GammaM0=1,00      GammaM1=1,00      GammaM2=1,25
An/Ag=1,00        RLLF=1,000        PLLF=0,750          D/C Lim=0,950

A=0,008           Iyy=2,313E-04     iyy=0,165           Wel,yy=0,001
It=0,000          Izz=1,318E-05     izz=0,039           Wel,zz=1,464E-04
Iw=0,000          Iyz=0,000         h=0,400             Wpl,yy=0,001
E=210000000,0     fy=355000,000     fu=510000,000       Wpl,zz=2,290E-04

DEFLECTION CHECK (ComboOKLSWy-T)
Type      Consider Deflection      Limit      Ratio      Status
Dead Load      Yes      7,660E-04      0,031      0,025      OK
Super DL+LL     Yes      0,000          0,031      0,000      OK
Live Load       Yes      0,000          0,015      0,000      OK
Total Load      Yes      0,005          0,019      0,264      OK
Total-Camber    Yes      0,005          0,019      0,264      OK

```

Εικόνα 93: Στοιχεία ελέγχου μέλους 269 σε ΟΚΛ

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και τη διαστασιολόγηση του φορέα μέσα από μία επαναληπτική διαδικασία επιλογής διατομών των μελών – αναλύσεων – σχεδιασμού, μπορούμε να έχουμε πλήρη εικόνα των αποτελεσμάτων. Πρόσθετα διαπιστώνουμε πως το Sap2000 προσφέρει σημαντικές δυνατότητες στη μοντελοποίηση του φορέα και στο καθορισμό των παραμέτρων ανάλυσης και σχεδιασμού σε κάθε επίπεδο.

Υπάρχουν κάποιοι παράμετροι σχεδιασμού όπου το πρόγραμμα δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αυτοματοποιημένα και θα πρέπει να ελέγχουν χειροκίνητα, όπως:

- Έλεγχος λειτουργικότητας για την οριζόντια μετακίνηση του πλαισίου
- Έλεγχος λειτουργικότητας μετωπικών στύλων
- Έλεγχος λειτουργικότητας ζυγώματος μιας και δεν είναι ένα μέλος

Επιπρόσθετα για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό μιας μεταλλικής κατασκευής απαιτείται και έλεγχος των συνδέσεων των μελών του σε θέσεις:

- Έδρασης υποστυλώματος
- Κόμβου δοκού – υποστυλώματος
- Σύνδεσης υποστυλώματος – συνδέσμου δυσκαμψίας
- Σύνδεσης κύριας με δευτερεύουσας δοκού
- Αποκατάστασης συνέχειας μελών

Στο λογισμικό αυτό δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου και σχεδιασμού συνδέσεων. Ωστόσο δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης του λογισμικού με άλλα προγράμματα όπως το IDEA Statica που επιλύει μόνο ζητήματα συνδέσεων.

Επιπρόσθετα για το μηχανικό της αγοράς που ζητά κάποια έτοιμα σχέδια του φορέα του σύμφωνα με το σχεδιασμό που ακολουθήθηκε στο πρόγραμμα, δεν δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής από το πρόγραμμα σχεδίων "βάσης" όπως στα περισσότερα εμπορικά προγράμματα της αγοράς.

Συνεπώς η χρήση του προγράμματος σταματά στην πλήρη ανάλυση και στον αξιόπιστο σχεδιασμό φορέων από διάφορα υλικά και διαφόρων ειδών γεωμετρίες όπως αναλύεται στο παρόν Κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανάλυση και Σχεδιασμός στο Scada Pro

5.1 Εισαγωγή

Ένα άλλο λογισμικό αρκετά διαδεδομένο για τις ικανότητες του στην προσομοίωση και ανάλυση κατασκευών είναι το Scada Pro. Το λογισμικό αυτό είναι ένα εργαλείο το οποίο παρέχει ένα πακέτο λύσεων για το μηχανικό της πράξης που καλείτε να μελετήσετε συμβατικά κτίρια. Δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού κατασκευών από μέταλλο, ξύλο, σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία με χρήση πεπερασμένων στοιχείων για σχεδιασμό νέων κατασκευών, αποτίμησης υφιστάμενων και μία βιβλιοθήκη σύγχρονων υλικών της αγοράς για την επισκευή κτιρίων. Διαθέτει τη δυνατότητα ολοκληρωμένων λύσεων για σχεδιασμό απλών και συνήθων συνδέσεων καθώς και εξαγωγή σχεδίων και τεύχος προμετρήσεων της κατασκευής. Αποτελεί δηλαδή ένα σύγχρονο εργαλείο που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ανάλυσης και σχεδιασμού τυπικών κατασκευών με αξιοπιστία.

5.2 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα

5.2.1 Μέλη φορέα

Για τη δημιουργία της **γεωμετρίας του φορέα στο Scada Pro** δίνονται διάφορες λύσεις για άμεσο και γρήγορο σχεδιασμό. Ο χρήστης μπορεί:

1. Να εισάγει ως υπόβαθρο σχεδιασμού μία κάτοψη σε dwg μορφή και επάνω σε αυτή να "χτίσει" τη κατασκευή ορίζοντας τα μέλη με τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά μέσα από τα εργαλεία σχεδιασμού του προγράμματος.
2. Να εισάγει το τρισδιάστατο χωρικό προσομοίωμα από αρχείο dxf ή dwg και στη συνέχεια αποδίδει τις διατομές στα μέλη με βάση την πλούσια βιβλιοθήκη διατομών.
3. Δίνεται η δυνατότητα μέσω της τεχνολογία BIM να εισαχθεί έτοιμος ο φορέας από τα προγράμματα Sap2000 ή ETABS και αυτοματοποιημένα να αναγνωρίσει τις διατομές των μελών, των πλακών καθώς και να προχωρήσει σε σχεδιασμό μιας κατασκευής λαμβάνοντα τα αποτελέσματα ανάλυσης από τα προαναφερθέντα προγράμματα.
4. Τέλος μέσω του πεδίου "Τυπικές Κατασκευές" ο χρήστης μπορεί να ορίσει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, τα είδη των μελών, τις διατομές και το υλικό και να παραχθεί αυτόματα ο ζητούμενος φορέας.

Για τη ανάπτυξη του δικού μας φορέα επιλέγεται η τέταρτη μέθοδος δημιουργίας του μοντέλου μιας και πρόκειται για μία τυπική κατασκευή με επαναλαμβανόμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Έτσι ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω ορίζονται οι παράμετροι όπως φαίνονται στη παρακάτω φωτογραφία.

Στο πρώτο βήμα αποθήκευσης της μελέτης και πριν την έναρξη σχεδιασμού ορίζουμε το κανονισμό με τον οποίο θα μελετήσουμε το κτήριο και τα χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε (εικόνα 94) . Με τις εντολές που ακολουθούν ορίζουμε τα χαρακτηριστικά της κατασκευής μας.

Μοντελοποίηση → Τυπικές Κατασκευές → Επεξεργασία ιδιοτήτων φορέα στον αναδυόμενο πίνακα

Γενικές Παράμετροι

Αλλες Παράμετροι Οθόνη Σχέδιο Απεικόνιση

Γενικά Στοιχεία Έργου Υλικά - Κανονισμός

Κανονισμός: EC

Προσάρτημα: General

Βιβλιοθήκη Σιδηρών Διατομών: Euro Metric

Σκυρόδεμα

Θεμελίωση: C20/25

Ανωδομή: C20/25

Μεταλλικά

Μελη - Στοιχεία: S355(Fe510)

Μεταλλική Πλάκα: S355(Fe510)

Κοχλίες: 4.8

Συγκόλληση: S355(Fe510)

Ξύλινα: C14

Χάλυβας

Κύριος: S400s

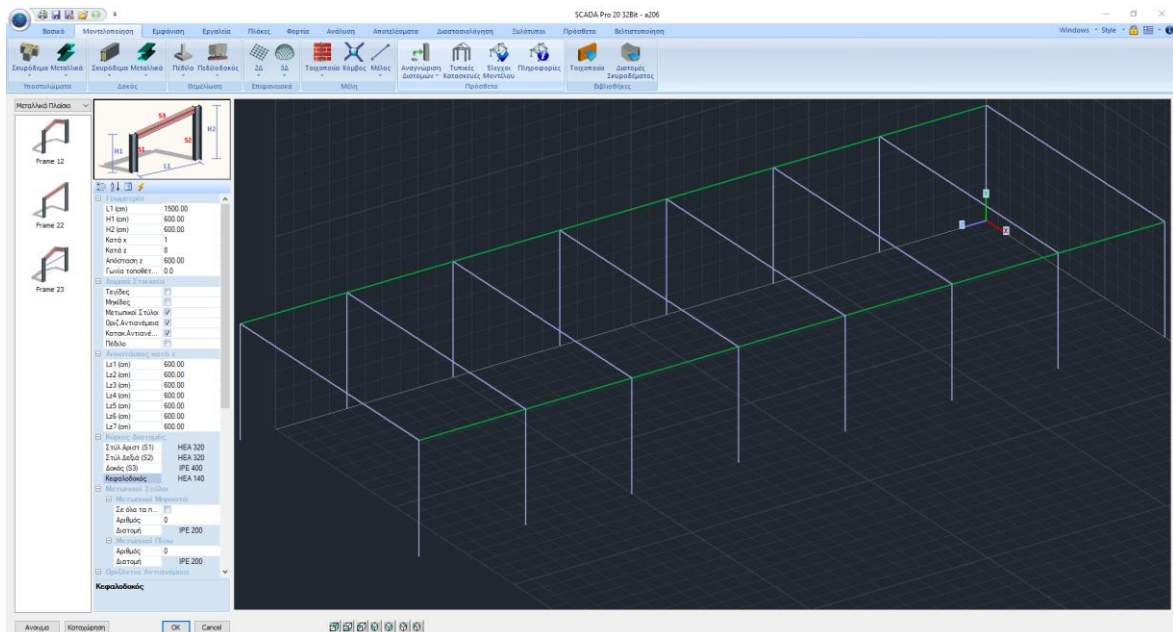
Συνδετήρες: S400s

Συντελεστές Ασφάλειας

Αστοχίας Λειτουργικ.		γM0	γM1	γM2	γM3
γc	1.5	1	1	1.25	1.25
γs	1.15	1	1	1.1	

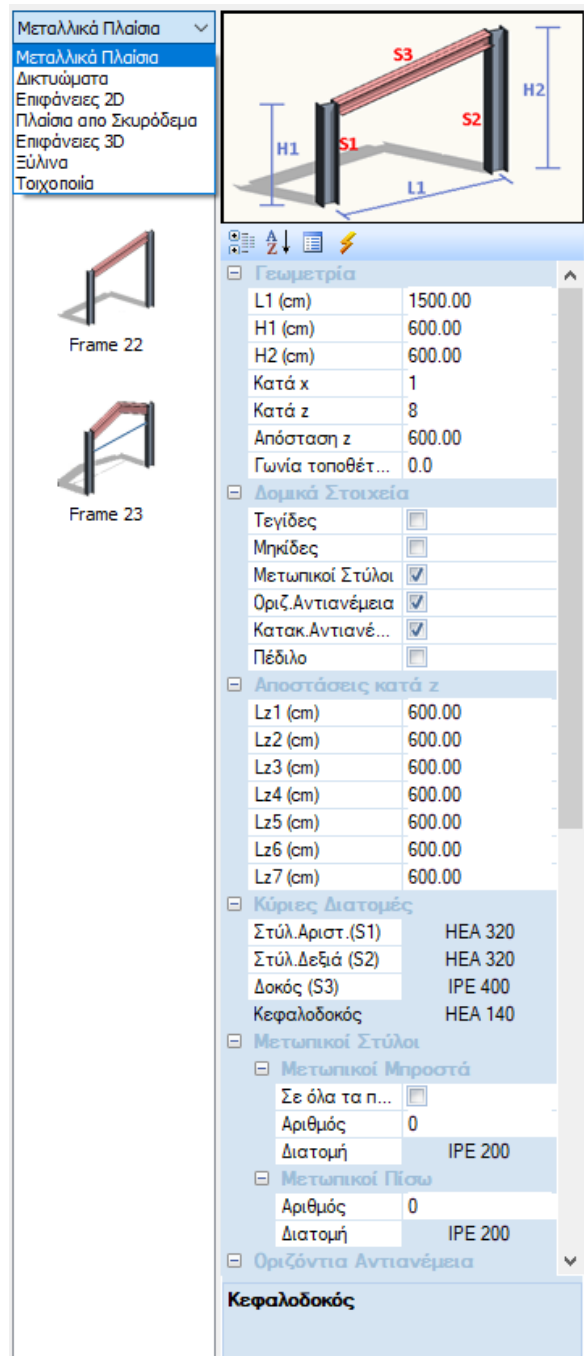
OK Άκυρο Εφαρμογή Βοήθεια

Εικόνα 94: Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού



Εικόνα 95: Πίνακας ορισμού χαρακτηριστικών φορέα

Από το πίνακα αυτό ορίζεται το είδος του φορέα (μεταλλικό δικτύωμα, σκυρόδεμα, ξύλινη στέγη, μεταλλικά πλαίσια διαφόρων μορφών) και αφού επιλεγεί, ορίζονται το είδος των δομικών στοιχείων, το πλήθος τους, οι αποστάσεις και το είδος διατομής. Για την κατασκευή μας ορίζουμε τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά, τα δομικά μέλη με τις διατομές που έχουμε προαναφέρει και οριστικοποιούμε για την εισαγωγή του φορέα.

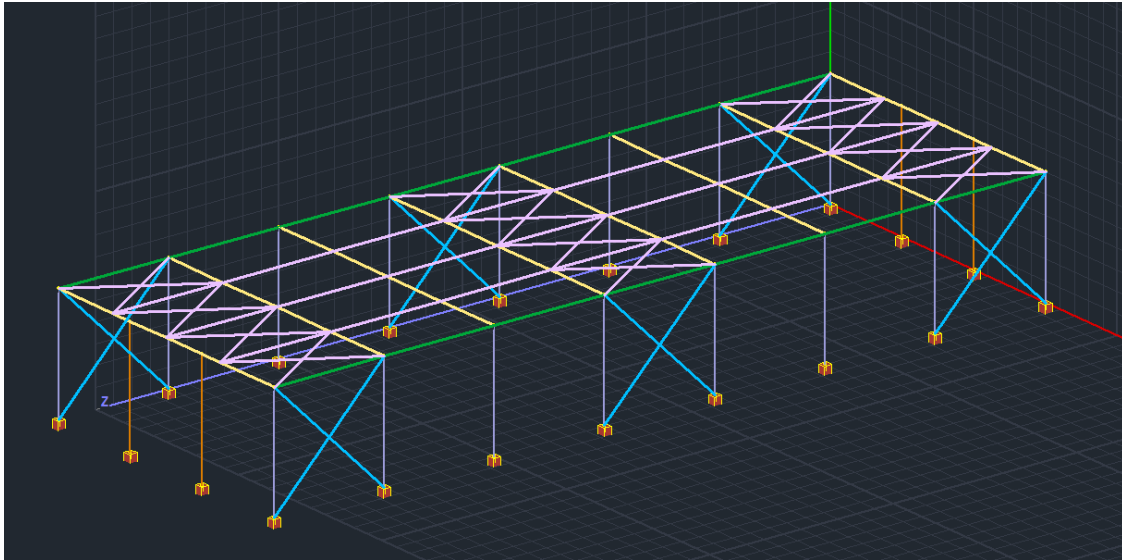


Εικόνα 96: Πίνακας ορισμού χαρακτηριστικών φορέα

Έτσι στον υπό εξέταση φορέα ορίζονται:

- Στα υποστυλώματα πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 320)
- Στις κύριες δοκοί μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 400)
- Στις κεφαλοδοκούς πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 140)
- Στα οριζόντια στοιχεία του διαφράγματος κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 82,5 mm/3,2 mm.
- Στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 82,5 mm/3,2 mm.

- Στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 101,6 mm/3,6 mm.
- Στους μετωπικούς στύλους μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 240)



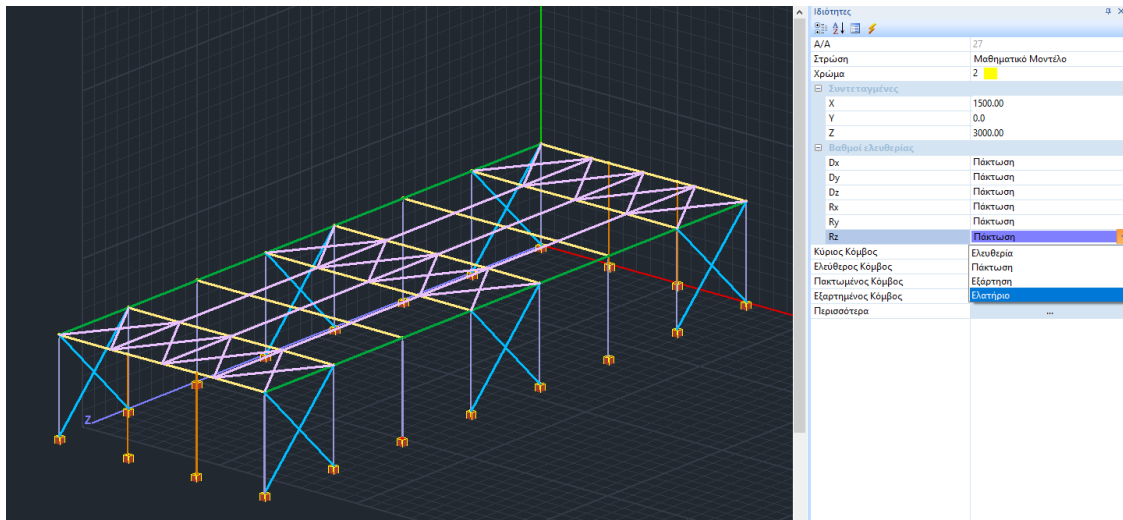
Εικόνα 97: Τρισδιάστατο μαθηματικό μοντέλο φορέα

Από άποψη χρήσης πεπερασμένων στοιχείων στην αρχική αυτή μορφή του φορέα διακρίνονται τα υποστυλώματα, οι δοκοί, οι οριζόντιοι και οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, οι μετωπικοί στύλοι και οι κεφαλοδοκοί, τα οποία προσομοιώνονται από το πρόγραμμα με τη χρήση γραμμικών στοιχείων με κόμβους στα άκρα τους.

Μετά την εισαγωγή τις τυπικής κατασκευής, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε πιθανές τροποποιήσεις ή και προσθήκες, προκειμένου να δημιουργήσουμε ακόμα πιο σύνθετη κατασκευή.

5.2.2 Συνθήκες Στήριξης

Ο καθορισμός των στηρίξεων ενός φορέα επιτυγχάνεται με τη δέσμευση των κατάλληλων βαθμών ελευθερίας κίνησης. Για την ανάθεση της πάκτωσης, επιλέγονται προσθετικά οι κόμβοι του πόδα των υποστυλωμάτων και με δεξί κλικ ορίζονται οι μεταφορικές και οι στροφικές ελευθερίες. Στο μοντέλο μας επιλέγεται η δέσμευση όλων των βαθμών ελευθερίας (στροφικών και των μεταφορικών) για δημιουργία συνθηκών πλήρους πάκτωσης.

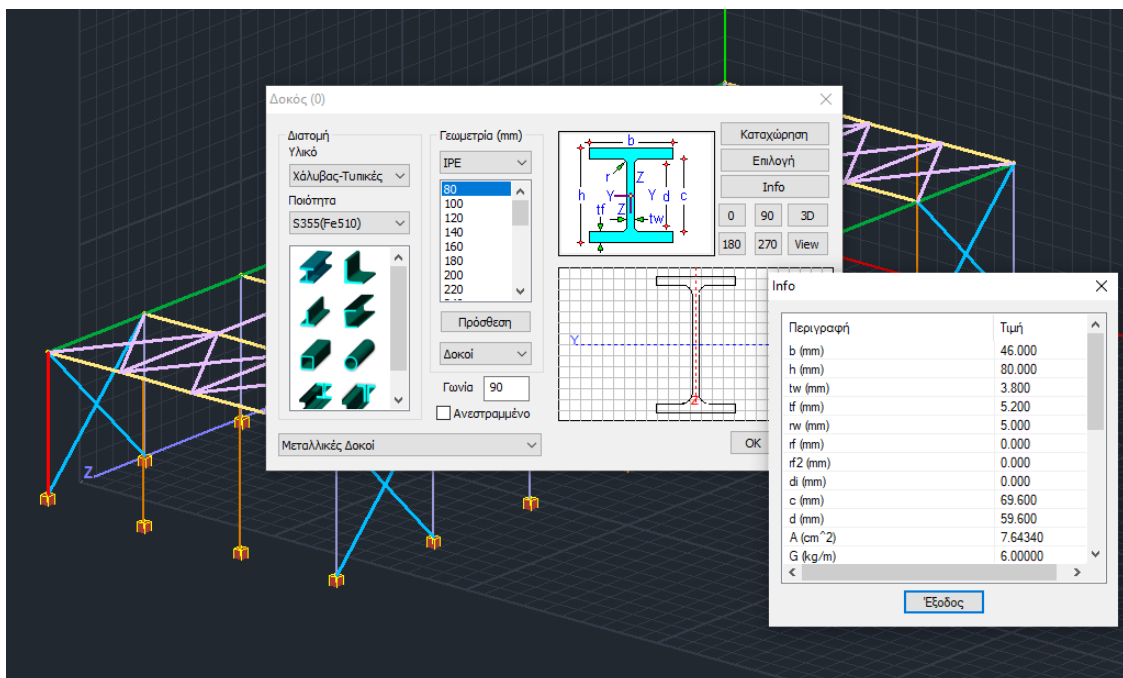


Εικόνα 98: Καθορισμός συνθηκών στήριξης φορέα

5.3 Ορισμός διατομών των μελών

Ο ορισμός των διατομών γίνεται από το κεντρικό μενού και αφού επιλέξουμε το μέλος (ή τα μέλη μαζικά) που επιθυμούμε να αντικαταστήσουμε, επιλέγουμε **Μοντελοποίηση** → **Υποστυλώματα ή Δοκός (Μεταλλικά)** → **Επιλέγω το είδος της διατομής που επιθυμώ από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος** → **Στο αναδυόμενο παράθυρο μπορώ να δω το σύνολο των πληροφοριών που αφορούν τη διατομή**

Αυτή η διαδικασία γίνεται για κάθε διαφορετική διατομή που θα εφαρμόσουμε στο φορέα μας.



Εικόνα 99: Εισαγωγή Διατομών από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος και γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής

Έτσι στον υπό εξέταση φορέα ορίζονται:

- Στα υποστυλώματα πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 320)
- Στις κύριες δοκοί μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 400)
- Στις κεφαλοδοκούς πλατύπελμα μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (HEA 140)
- Στα οριζόντια στοιχεία του διαφράγματος κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 82,5 mm/3,2 mm.
- Στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 82,5 mm/3,2 mm.
- Στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας κυκλικής διατομής TUBO διαμέτρου 101,6 mm/3,6 mm.
- Στους μετωπικούς στύλους μεταλλικά στοιχεία τύπου "H" (IPE 240)

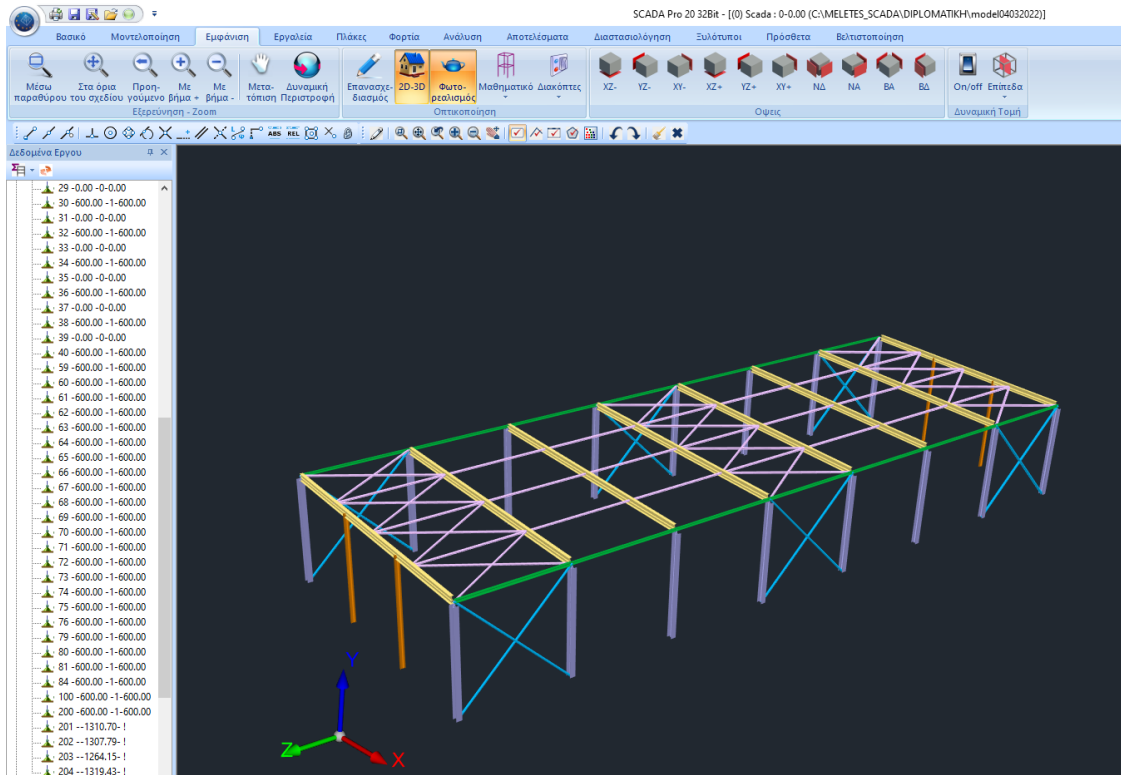
Ενδεικτικά ορίζονται οι ιδιότητες που αφορούν:

- Μέτρο Ελαστικότητας (E)
- Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή (ν)
- Ειδικό βάρος (γ)
- Όριο Διαρροής (f_y)
- Εφελκυστική Αντοχή (f_u)
- Μέτρο διάτμησης (G)
- Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής(α)

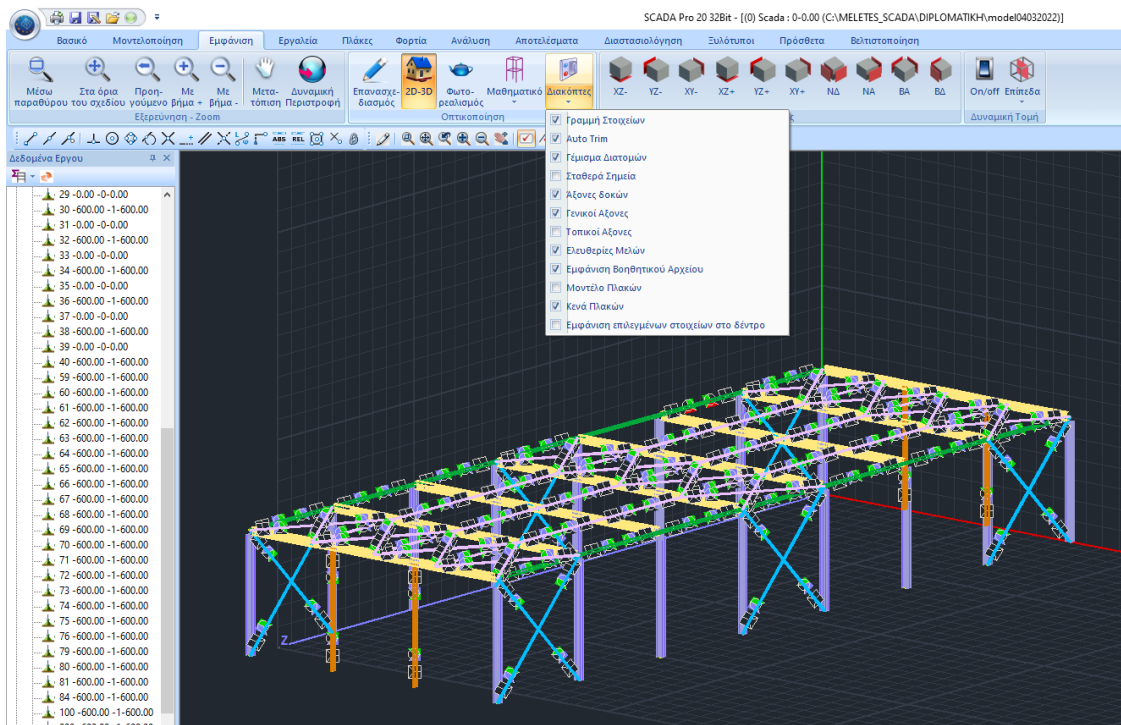
5.4 Επιλογές εμφάνισης

Το πρόγραμμα δίνει μία σειρά δυνατοτήτων για την εμφάνιση του φορέα σε φυσικό ή μαθηματικό μοντέλο καθώς και τη δυνατότητα φωτορεαλιστικού μοντέλου.

Μέσα από τις εντολές **Εμφάνιση** → **Οπτικοποίηση** → **Φωτορεαλισμός** παρουσιάζεται ο φορέας στη πραγματική κατάσταση. Επιπρόσθετα μέσα από την εντολή **Διακόπτες** ο χρήστης μπορεί να καθορίσει γενικότερα πληροφορίες των στοιχείων του φορέα που εμφανίζονται στο κάθε παράθυρο. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τόσο τους κόμβους (Joints), τα γραμμικά (Frames), τα επιφανειακά (Areas) και τα χωρικά (Solids) στοιχεία, όσο και άλλες λεπτομέρειες προσομοίωσης, εκτός από την εμφάνιση των φορτίων που ρυθμίζεται διαφορετικά.



Εικόνα 100: Δυνατότητες εμφάνισης του φορέα με φωτορεαλισμό



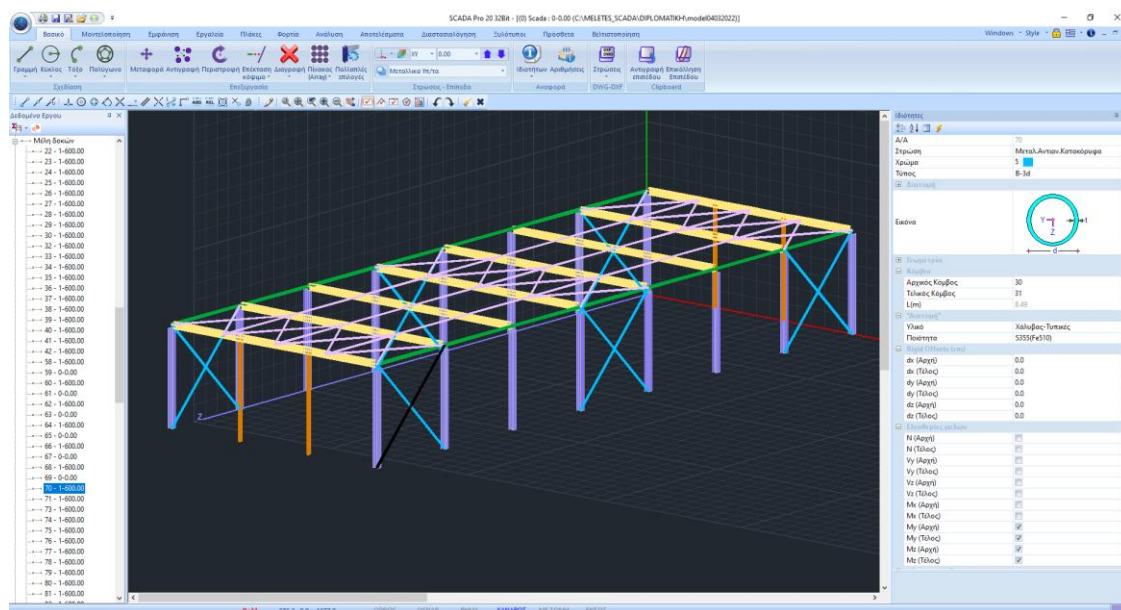
Εικόνα 101: Επιλογές εμφάνισης μοντέλου

5.5 Καθορισμός λοιπών παραμέτρων μοντελοποίησης

5.5.1 Εσωτερικές ελευθερώσεις μελών

Όσον αφορά τις εσωτερικές ελευθερώσεις των μελών επιλέγεται όλα τα μέλη εκτός των δοκών και των υποστυλωμάτων των πλαισίων που είναι πακτωμένα στα άκρα, να έχουν ελεύθερες τη M2-2 και τη M3-3.

Με την επιλογή των μελών που επιθυμώ να επεξεργαστώ τις συνθήκες στήριξης τους, αναδύεται ένα παράθυρο όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα, στο οποίο στο πεδίο "ελευθερίες μελών" επιλέγονται οι επιθυμητές ελευθερίες των επιλεγμένων μελών.



Εικόνα 102: Επεξεργασία εσωτερικών ελευθερώσεων μελών

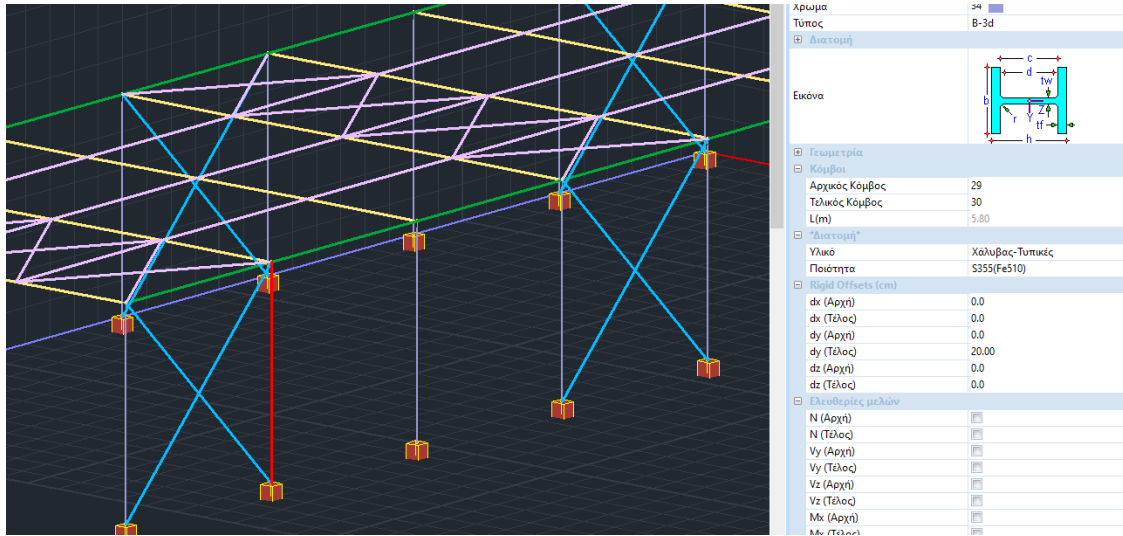
5.5.2 Ενεργοποιούμενη μάζα

Ορίζεται αυτοματοποιημένα από το πρόγραμμα από το καθορισμό των μόνιμων και των κινητών φορτίων.

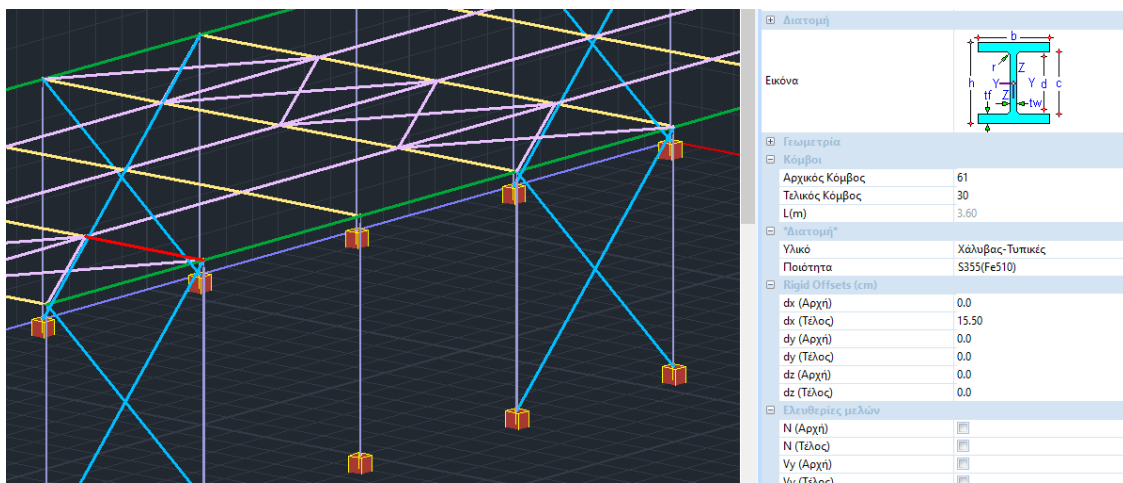
5.5.3 Κόμβοι Δοκών – Υποστυλωμάτων

Στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων μιας και δεν ισχύει η αρχή της επιπεδότητας οφείλουμε να λαμβάνουμε υπόψη ένα τμήμα στη δοκό και στο υποστυλώμα το οποίο έχει αυξημένη δυσκαμψία.

Με την επιλογή των μελών που σχηματίζουν κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων, ορίζουμε χειρωνακτικά από το παράθυρο των ιδιοτήτων του μέλους το μήκος της δύσκαμπτης περιοχής. Για το υποστυλώματα λαμβάνεται το μισό του ύψους της διατομής IPE400 ήτοι 20 εκ. και για τις δοκούς το μισό του ύψους του υποστυλώματος HEA320 ήτοι 15,5 εκ.



Εικόνα 103: Εισαγωγή δύσκαμπτου τμήματος υποστυλώματος



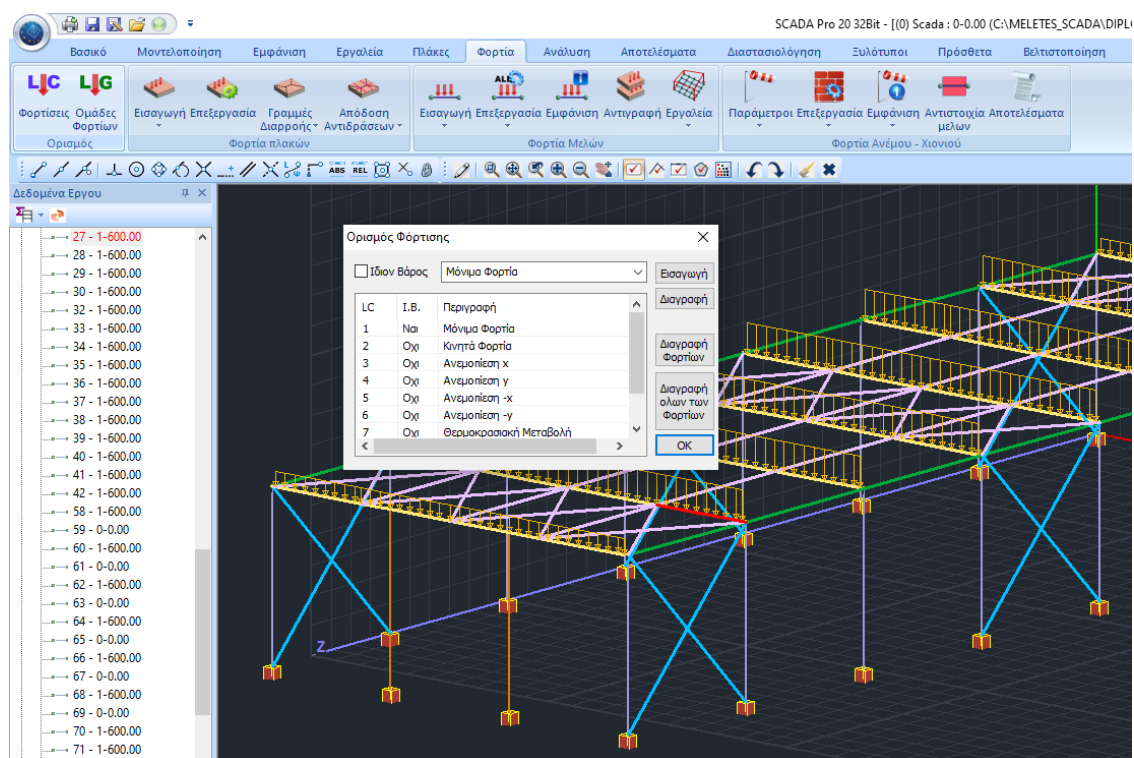
Εικόνα 104: Εισαγωγή δύσκαμπτου τμήματος δοκού

5.6 Ορισμός Φορτίων

5.6.1 Καθορισμός μορφών φόρτισης

Από το πεδίο **Φορτία** → **Ορισμός "Φορτίσεις"** → **Επιλογή Φορτίων και Εισαγωγή**, ορίζονται οι διαφορετικές μορφές φόρτισης. Εδώ ορίζονται οι παρακάτω φορτίσεις (εικόνα 106)

- DEAD: άθροισμα μόνιμων φορτίων (στην ίδια φόρτιση πέραν του ίδιου βάρους συμπεριλαμβάνονται και τα επιπλέον μόνιμα φορτία λόγω επικαλύψεων και πλαγιοκαλύψεων)
- Κινητά φορτία: άθροισμα κινητών φορτίων
- wind x: άνεμος κατά τη διεύθυνση +xx
- wind y: άνεμος κατά τη διεύθυνση +yy
- wind -x: άνεμος κατά τη διεύθυνση -xx
- wind -y: άνεμος κατά τη διεύθυνση -yy
- temp: φορτίο θερμοκρασίας
- snow: φορτίο χιονιού
- Ex: σεισμός κατά τη διεύθυνση +xx
- Ey: σεισμός κατά τη διεύθυνση +yy



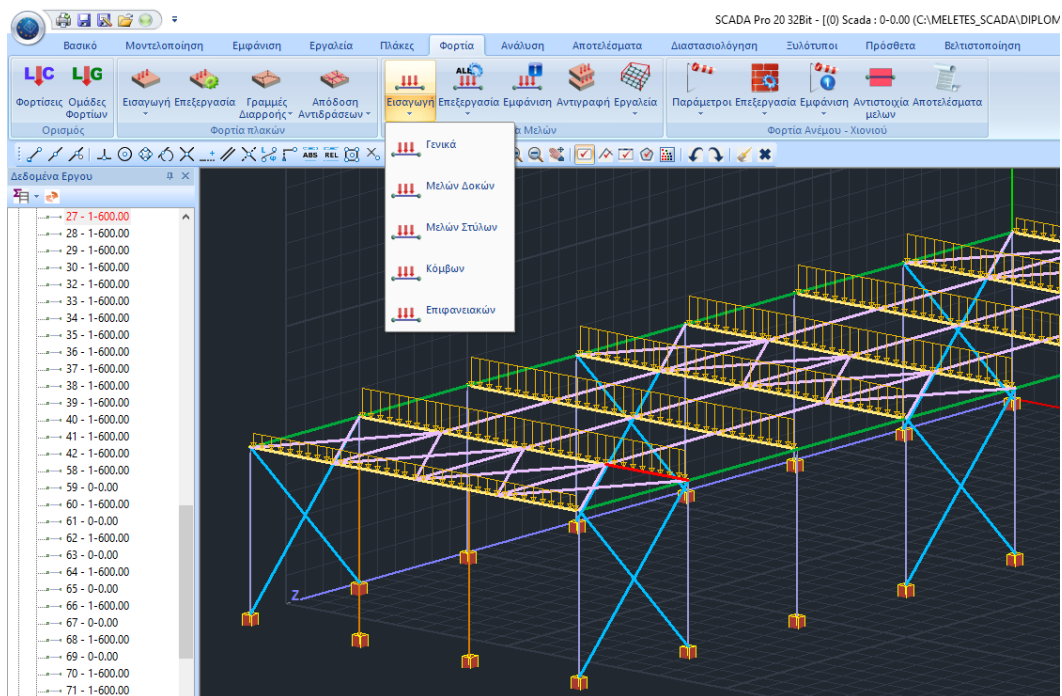
Εικόνα 105: Ορισμός μορφών φόρτισης στο Scada

Η επιλογή **"Ίδιον Βάρος"** ορίζει αν θα ληφθεί υπόψη το ίδιο βάρος σε μια μορφή φόρτισης. Θεωρητικά, θα πρέπει να λαμβάνεται μόνο στην περίπτωση κάποιας μόνιμης φόρτισης, η οποία εμπεριέχει τα ίδια βάρη της κατασκευής. Εδώ λαμβάνεται υπόψη από το μόνιμα φορτία της κατασκευής που υπολογίζονται αυτόματα.

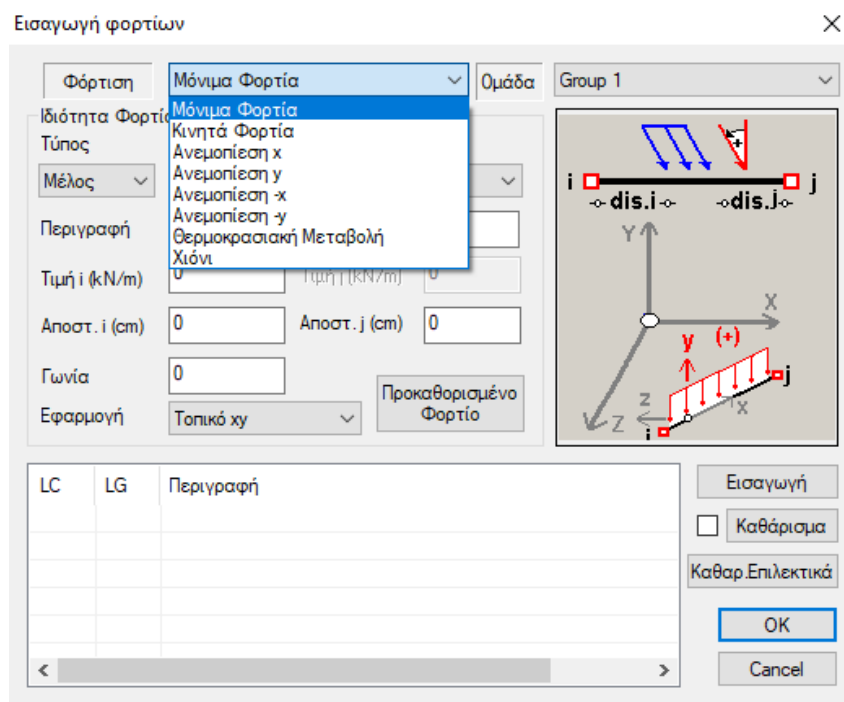
Επιπρόσθετα λόγω της δομής του προγράμματος σύμφωνα με το του τεχνικό τμήμα και για να τρέξει το σενάριο του Ευρωκώδικα 8 για Δυναμική ανάλυση που θα ορίσουμε σε επόμενο βήμα, θα πρέπει τα μόνιμα και τα κινητά φορτία να έχουν καθοριστεί στις προκαθορισμένες φορτίσεις Μόνιμων και Κινητών που έχει ορίσει το πρόγραμμα. Συνεπώς αν ορίζαμε σε ξεχωριστή φόρτιση τα επιπλέον μόνιμα λόγω επικαλύψεων και πλαγιοκαλύψεων, αυτή δεν θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη στην δυναμική ανάλυση κατά EC8 όπως θα δούμε και παρακάτω.

5.6.2 Εισαγωγή Φορτίων στο φορέα

Η ανάθεση των φορτίων γίνεται στο πεδίο **"Φορτία"** όπου αφού επιλέξουμε την εντολή **"Εισαγωγή"** (εικόνα 107), επιλέγουμε μαζικά το είδος των μελών που θέλουμε να φορτίσουμε και με δεξιά κλικ στο σχετικό αναδυόμενο παράθυρο εισάγουμε μία προς μία τις φορτίσεις όπως τις ορίσαμε σε προηγούμενο βήμα διαλέγοντας τη διεύθυνση και τη τιμή τους και πατώντας εισαγωγή. Ομοίως γίνεται και για τα επικόμβια φορτία.

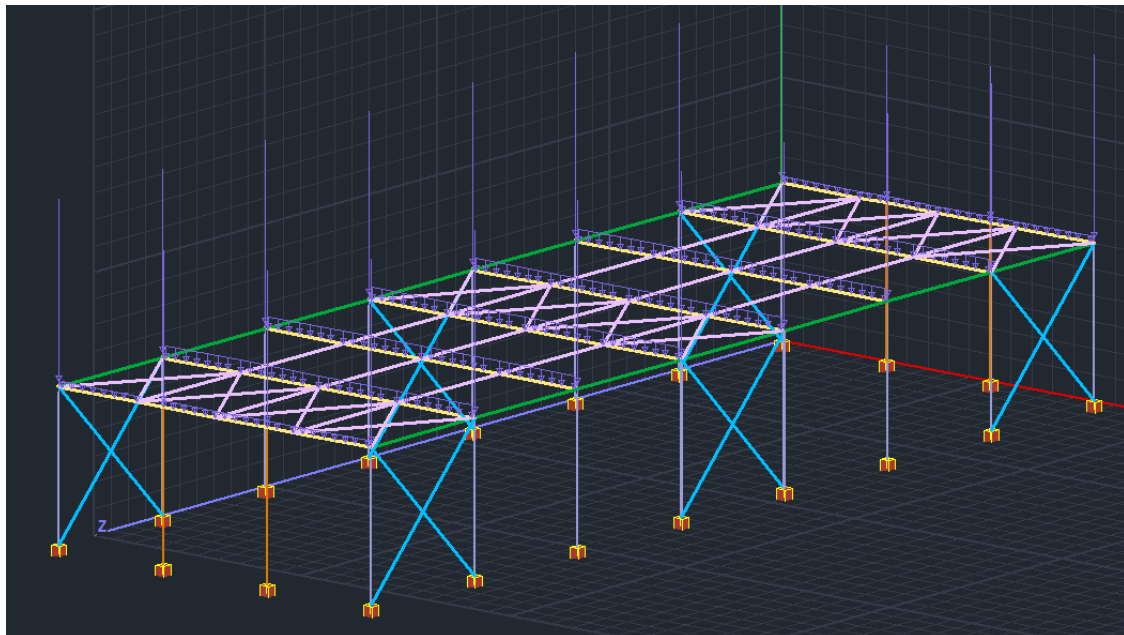


Εικόνα 106: Παράθυρο επιλογής μελών και κόμβων προς φόρτιση

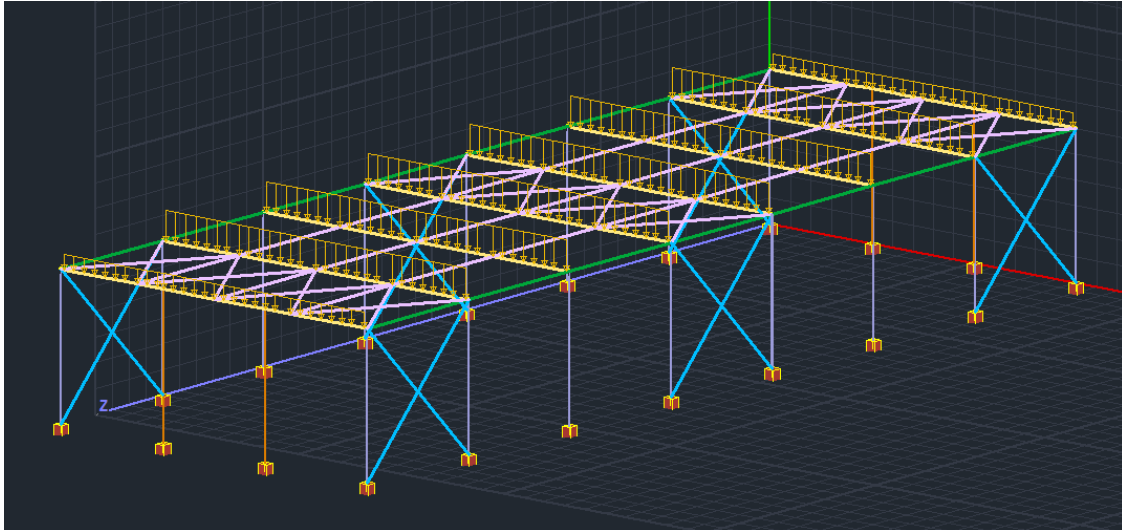


Εικόνα 107: Παράθυρο εισαγωγής φορτίσεων στα μέλη και τους κόμβους

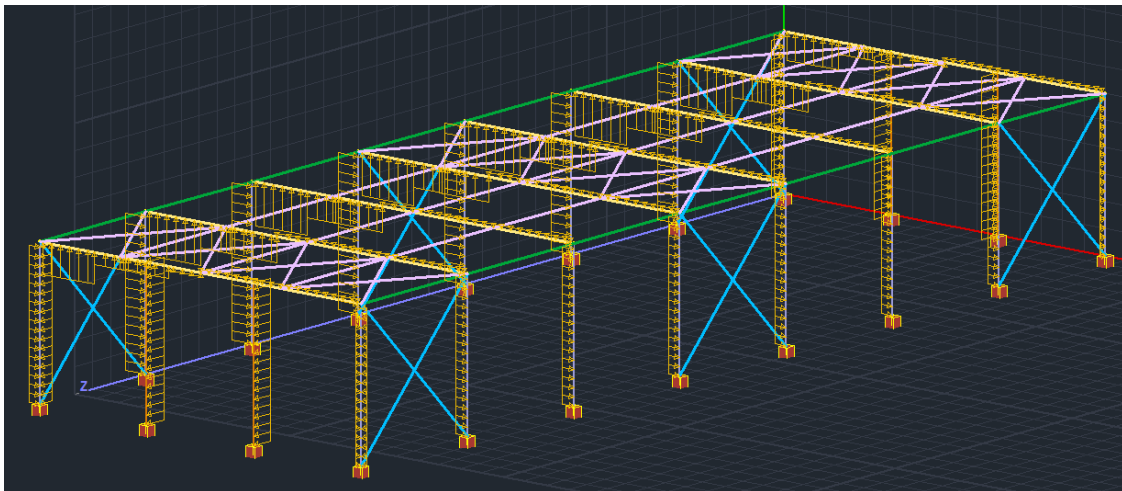
Έτσι από την ανωτέρω διαδικασία εισάγουμε στο φορέα τις φορτίσεις όπως φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν.



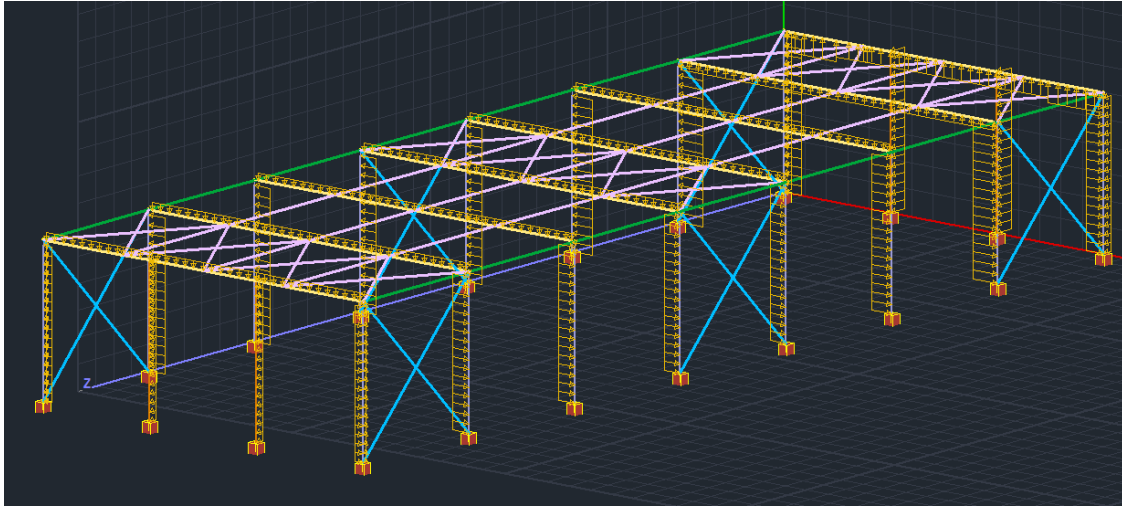
Εικόνα 108: Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία που δρουν στους δοκούς και τους κόμβους του φορέα επιπλέον του ίδιου βάρους



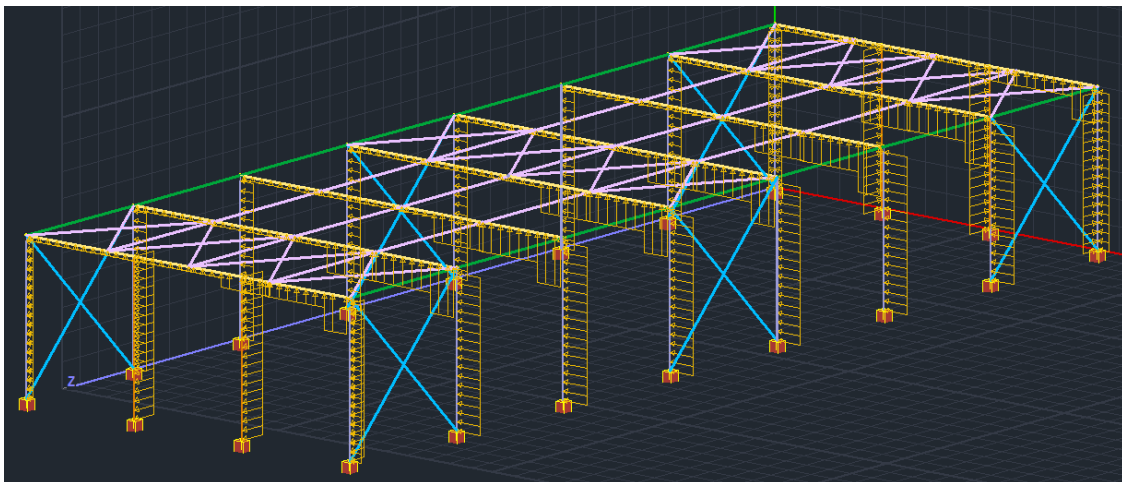
Εικόνα 109: Κινητά φορτία οροφής



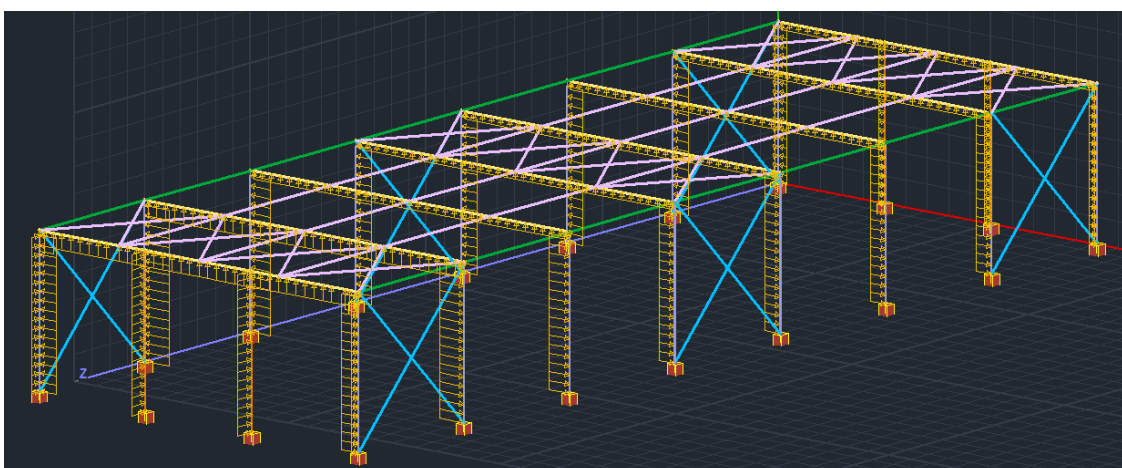
Εικόνα 110: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση X



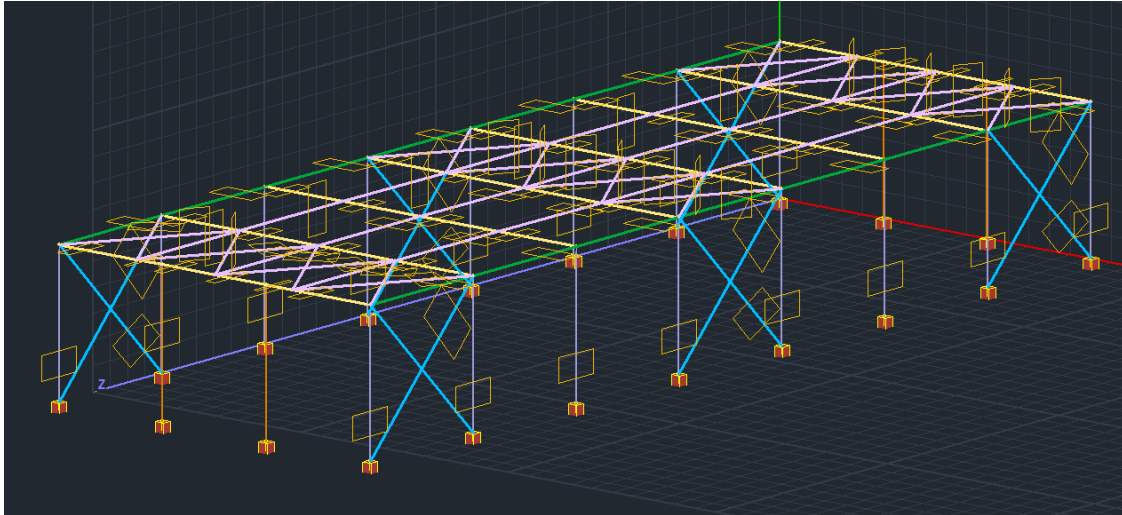
Εικόνα 111: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση Z



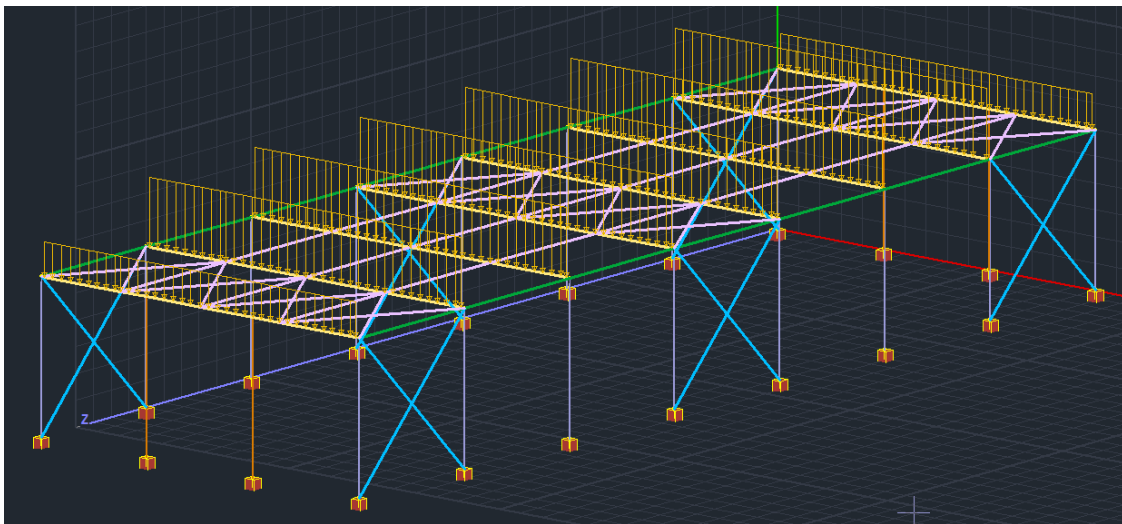
Εικόνα 112: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -X



Εικόνα 113: Φορτία ανέμου κατά τη διεύθυνση -Z



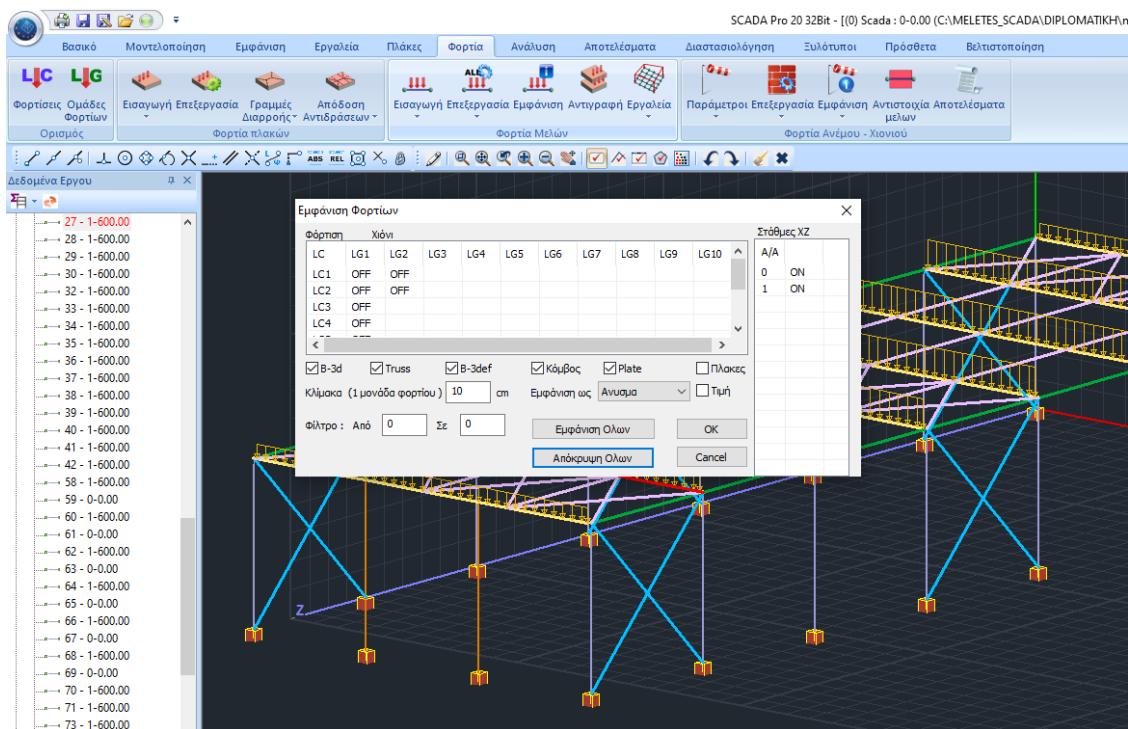
Εικόνα 114: Φορτία Θερμοκρασιακά



Εικόνα 115: Φορτία Χιονιού

Σημειώνεται πως είναι δυνατή η εμφάνιση οποιαδήποτε φόρτισης ή ο συνδυασμός αυτών ή και η ταυτόχρονη προβολή όλων των φορτίων που ανατέθηκαν στον φορέα. Ο έλεγχος της εμφάνισης των υφιστάμενων φορτίων σε κάθε παράθυρο μπορεί να γίνει από το παράθυρο **“Φορτία” – “Φορτία Μελών”** και με τις εντολές **“Εμφάνιση”** όπου από το αναδυόμενο παράθυρο μπορούμε να επιλέξουμε την εμφάνιση ή την απόκρυψη οποιασδήποτε φόρτισης ή συνδυασμού αυτών.

Επιπρόσθετα μπορούμε να επεξεργαστούμε τη κλίμακα εμφάνισης των φορτίων ή τα επιθυμητά μέλη που θέλουμε να εμφανιστούν οι φορτίσεις ή και ζητούμενες στάθμες.



Εικόνα 116: Επιλογές εμφάνισης φορτίσεων

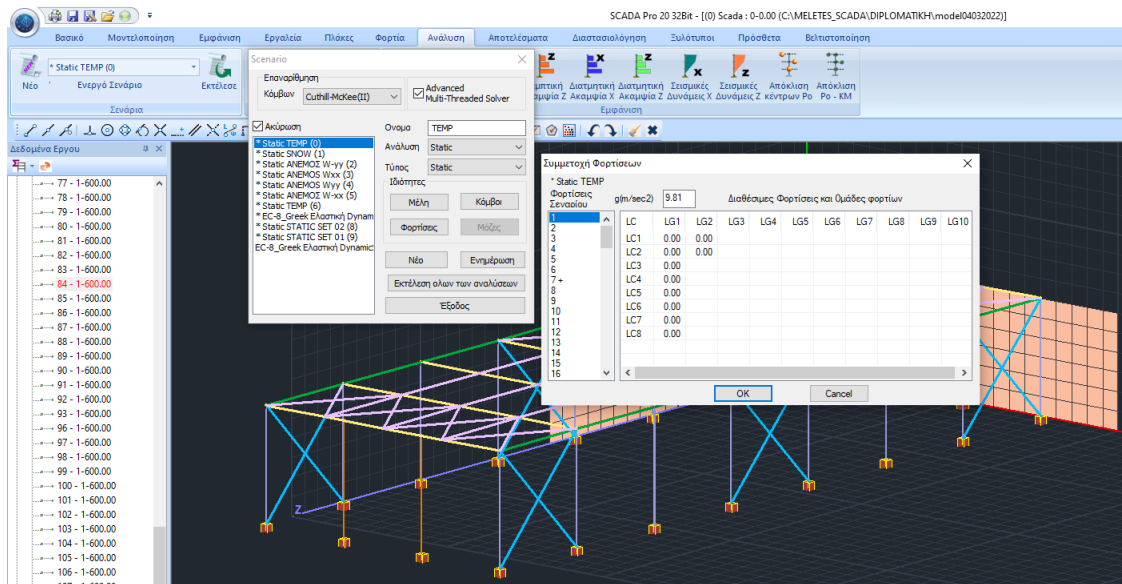
5.7 Ανάλυση Φορέα

Μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης του φορέα και την εισαγωγή των φορτίων στα μέλη, ακολουθεί η Ανάλυση της μελέτης βάση του κανονισμού που θα ορίσουμε, η δημιουργία των συνδυασμών των φορτίσεων και στη συνέχεια τα αποτελέσματα των ελέγχων που θα προκύψουν.

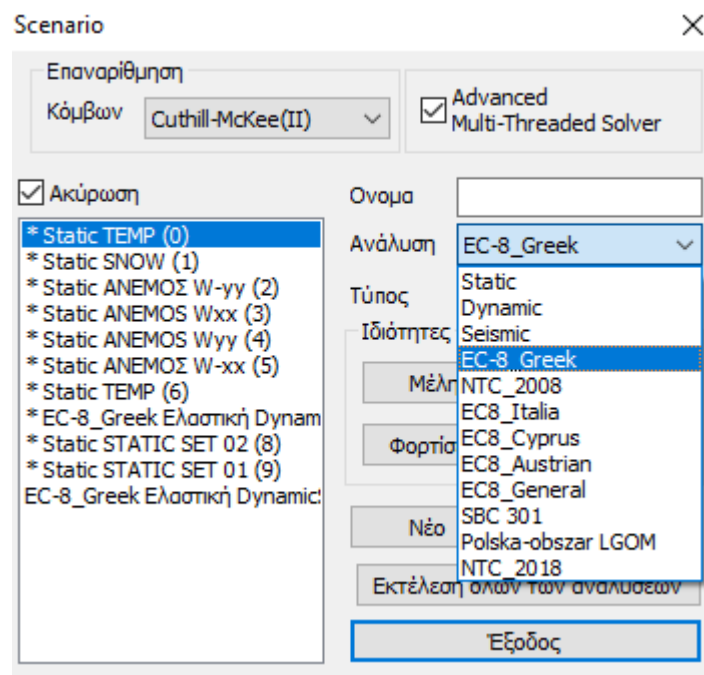
5.7.1 Δημιουργία σεναρίων ανάλυσης (Φορτιστικών καταστάσεων)

Στο πεδίο "Ανάλυση" και μέσα από τις εντολές τις ομάδας "Σενάρια" μας δίνεται η δυνατότητα να δημιουργήσουμε τα σενάρια της ανάλυσης (επιλογή κανονισμού και τύπου ανάλυσης) και να προχωρήσουμε στην εκτέλεσή τους.

Επιλέγουμε την εντολή "Νέο" ώστε να δημιουργήσουμε νέο σενάριο φόρτισης και να επεξεργαστούμε τα υφιστάμενα του προγράμματος.



Εικόνα 117: Παράθυρα δημιουργίας σεναρίων ανάλυσης



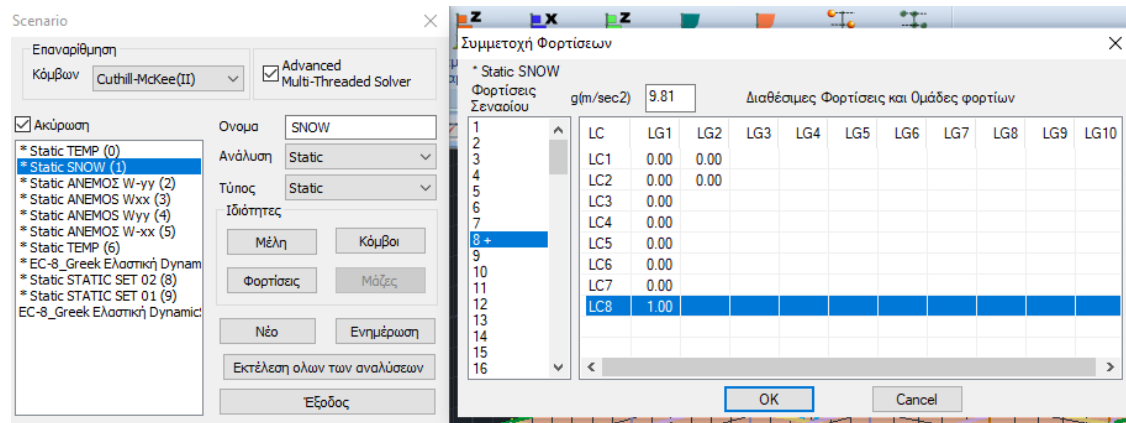
Εικόνα 118: Επιλογή μορφής ανάλυσης για το σενάριο

5.7.1.1 Σενάρια Στατικών Αναλύσεων

Για φορτία που αφορούν το φορτίο χιονιού "S", άνεμος κατά τη διεύθυνση +xx "wind x", άνεμος κατά τη διεύθυνση +yy "wind y", φορτίο θερμοκρασίας "T", άνεμος κατά τη διεύθυνση -xx "wind -x" και άνεμος κατά τη διεύθυνση -yy "wind -y", εφαρμόζεται γραμμική ελαστική ανάλυση στατικού τύπου "Static".

Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα μέσα σε κάθε σενάριο την επίλυση μέχρι τεσσάρων διαφορετικών στατικών φορτίσεων.

Έτσι για το φορέα μας θα δημιουργήσουμε 2 σενάρια στατικής ανάλυσης για τα φορτία ανέμων(4), θερμοκρασίας και χιονιού(2) (εικόνα 120) στα οποία δεν θα συμπεριλάβουμε τα Μόνιμα "G" και Κινητά "Q" μιας και αυτά εξ' ορισμού από τη λογική του προγράμματος λαμβάνονται υπόψη στο σενάριο του σεισμού που θα ορίσουμε στο επόμενο βήμα.



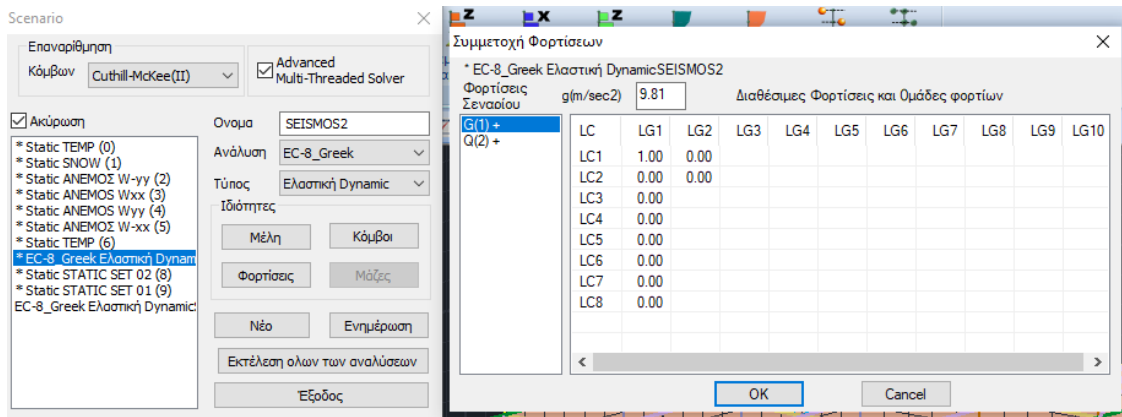
Εικόνα 119: Παράθυρα δημιουργίας στατικών σεναρίων

Από τους παραπάνω πίνακες (εικόνα 120) αφού ορίσουμε το όνομα του σεναρίου, το είδος της ανάλυσης και το τύπο της, επιλέγουμε την εντολή **"Ενημέρωση"** ώστε να δημιουργηθεί το σενάριο και στη συνέχεια επιλέγοντας από τις ιδιότητες την εντολή **"Φορτίσεις"** ανοίγει ένα πρόσθετο παράθυρο όπου αφού επιλέξουμε στη στήλη **"Φορτίσεις Σεναρίου"** την στατική φόρτιση που επιθυμούμε εισάγουμε στο πίνακα **"Διαθέσιμες Φορτίσεις και Ομάδες Φορτίων"** στην αντίστοιχη φόρτιση τη μονάδα.

5.7.1.2 Σενάριο Δυναμικής Ανάλυσης (Σεισμού)

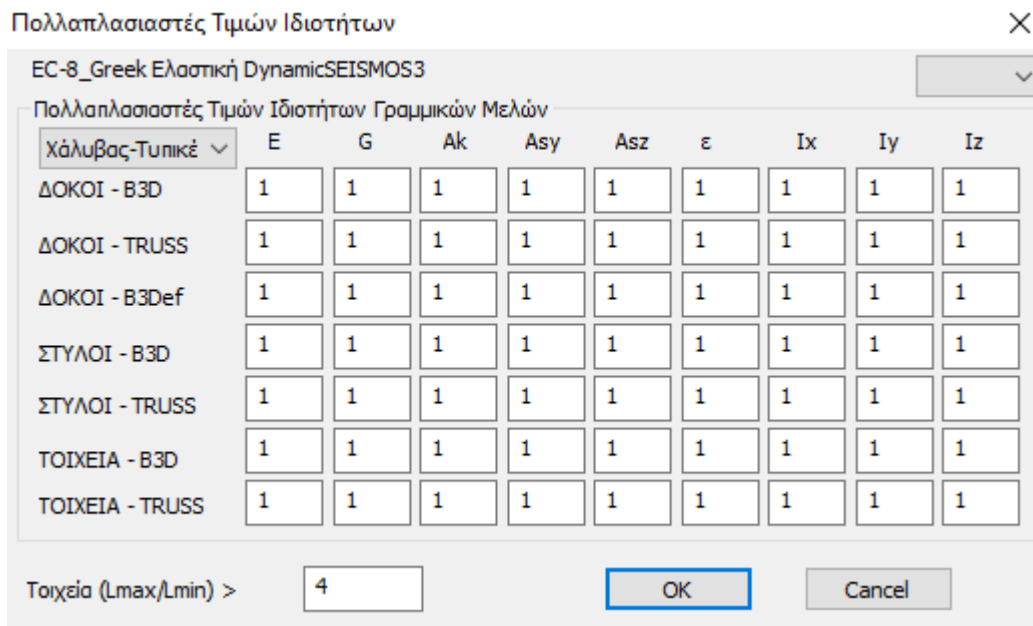
Για φορτία που αφορούν το σεισμό κατά τη διεύθυνση +xx "Ex" και σεισμό κατά τη διεύθυνση +yy "Ey", εφαρμόζεται η φασματική δυναμική ανάλυση (Response Spectrum).

Δημιουργούμε το σεισμικό σενάριο αφού επιλέξουμε την ανάλυση σε **"EC8 Greek"** και το τύπο σε **"dynamic"** δηλαδή δυναμική ανάλυση με βάση τον ευρωκώδικα 8 και το Ελληνικό προσάρτημα. Στη συνέχεια επιλέγω την εντολή **"Φορτίσεις"** και στο αναδυόμενο παράθυρο της συμμετοχής φορτίσεων εισάγω τα μόνιμα και τα κινητά συμπληρώνοντας την μονάδα στα αντίστοιχα πεδία σεναρίου και διαθέσιμων φορτίσεων σύμφωνα με τη λογική του προγράμματος ως εξής: **G(1) → LC1 και Q(2) → LC2**



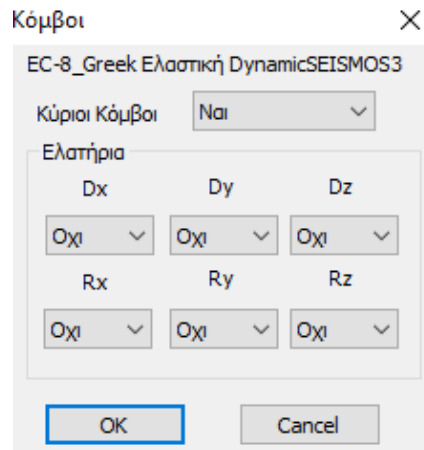
Εικόνα 120: Παράθυρο δημιουργίας Σεναρίου δυναμικής ανάλυσης

Πρόσθετα επιλέγοντας από το πίνακα του Σεναρίου την εντολή **“Μέλη”** προκύπτει ο παρακάτω πίνακας (εικόνα 122) που περιλαμβάνει τους πολλαπλασιαστές τιμών ιδιοτήτων των γραμμικών μελών, τους οποίους λαμβάνει αυτόματα από τον επιλεγμένο κανονισμό.



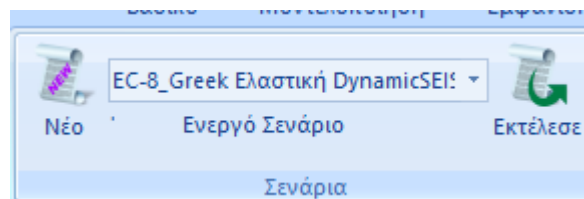
Εικόνα 121: Πίνακας τιμών πολλαπλασιαστών ιδιοτήτων γραμμικών μελών

Επιλέγοντας από το πίνακα του Σεναρίου την εντολή **“Κόμβοι”** μπορούμε να ορίσουμε να επιλυθεί ο φορέας χωρίς διαφραγματική λειτουργία συνολικά (επιλέγω Όχι), ακόμα και αν υπάρχουν κόμβοι διαφράγματος, καθώς επίσης και να επιλυθεί πακτωμένος (Ελατήρια Όχι) ακόμα και αν έχει οριστεί ελαστική θεμελίωση.

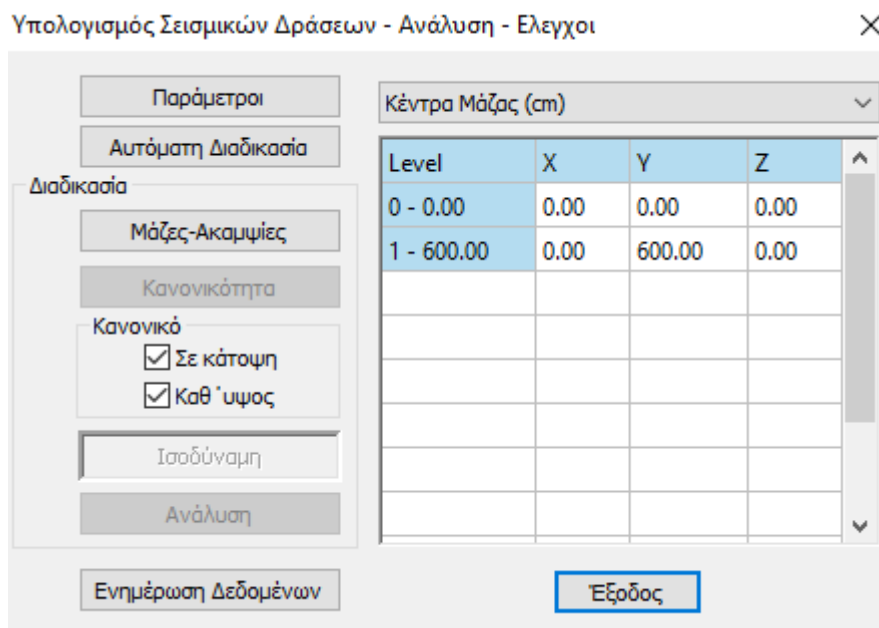


Εικόνα 122: Πίνακας επεξεργασίας διαφραγματικής λειτουργίας και είδους έδρασης

Αφού ολοκληρώσουμε τη διαδικασία εισαγωγής των σεναρίων θα πρέπει να επεξεργαστούμε τους παραμέτρους κάθε σεναρίου. Έτσι, από το κεντρικό μενού επιλέγω το ενεργό σενάριο και επιλέγω την εντολή **“Εκτέλεσε”** όπου στο αναδυόμενο παράθυρο αφού επιλέξω την εντολή **“Ενημέρωση Δεδομένων”** επιλέγω το πεδίο **“Παράμετροι”** όπου είμαι σε θέση να επεξεργαστώ τις παραμέτρους της δυναμικής ανάλυσης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα.



Εικόνα 123: Επιλογή Ενεργού σεναρίου



Εικόνα 124: Παράθυρο καθορισμού και ελέγχου δεδομένων σεναρίου σεισμικών δράσεων

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή
Χαρακτηριστικές Περίοδοι
Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης

Σεισμικές Περιοχές

Ζώνη I a 0.16 *g

Σπουδαιότητα

Ζώνη II γ_i 1

Τύπος Φάσματος	Οριζόντιο	Κατακόρ.
Τύπος 1	S _{r,avg} 1.2	0.9
Εδαφος	TB(S) 0.15	0.05
B	TC(S) 0.5	0.15
	TD(S) 2.5	1

Κάτω 0 - 0.00

Ανω 1 - 600.00

Φάσμα

Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασμιότητας DCM

ζ(%) 4 Οριζόντιο b₀ 2.5 Κατακόρυφο b₀ 3

Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος S_d(T) >= 0.2 a*g

Είδος Κατασκευής

Σκυρόδεμα q

α_x 1.5 α_y 1.5 α_z 1.5

Τύπος Κατασκευής

X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων

Δυναμική Ανάλυση

Ιδιοτιμές 12 Ακρίβεια 0.001 CQC

Συντελεστές Συμμετοχής Φάσματος Απόκρισης

PF_x 0 PF_y 0 PF_z 0

Εκκεντρότητες

e π_x 0 *L_x S_d(T) S_d(T_X) 1

e π_z 0 *L_z S_d(T_Y) 0 S_d(T_Z) 1

Ανοίγματα Εσοχές

X ένα X Χωρίς εσοχές

Z ένα Z Χωρίς εσοχές

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου Μέθοδος Υπολογισμού

Ιδιομορφική Ανάλυση

Χ Δύσακαμπα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Z Δύσακαμπα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005

Χαρακτηρισμός Σεισμοπλήκτων

Τοιχεία ΚΑΝΕΠΕ Default OK Cancel

Είδος Κατανομής Τριγωνική

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

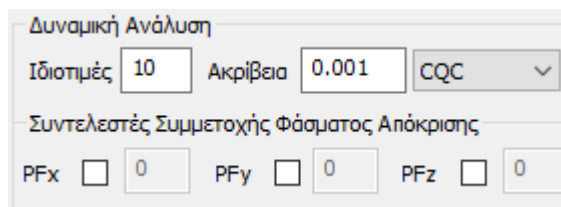
Εικόνα 125: Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων δυναμικής ανάλυσης σύμφωνα με το EC-8 και το Ελληνικό προσάρτημα

Στο πίνακα αυτό (εικόνα 126) ορίζονται τα χαρακτηριστικά του σεισμού και του κτιρίου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα και τα όσα ορίστηκαν στο Κεφάλαιο 3 του παρόντος.

Έτσι επιλέγω:

- Το είδος της σεισμικής περιοχής για να ληφθεί υπόψη η σεισμική επιτάχυνση
- Ο τύπος του φάσματος και το είδος του εδάφους
- Η Ζώνη σπουδαιότητας του κτιρίου
- Το φάσμα απόκρισης
- Τα επίπεδα εφαρμογής της σεισμικής δύναμης (σε περίπτωση που υπάρχει υπόγειο ή δώμα σε μία κατασκευή και επιθυμούμε άλλη θέση εφαρμογής)
- Ορίζουμε της εκκεντρότητες αν λάβουμε υπόψη σεισμό που προκαλεί στροφή ή κατακόρυφο σεισμό στον άξονα όπου στο μοντέλο μας δεν θεωρούμε εκκεντρότητες και κατακόρυφο σεισμό.
- Επιλέγουμε το είδος της κατασκευής για μεταλλικό φορέα
- Επιλέγω συντελεστή συμπεριφοράς $\alpha=1,5$ στις δύο διευθύνσεις χωρίς να τον υπολογίσει το πρόγραμμα από το κανονισμό EC-8.
- Επιλέγω το τύπο κατασκευής χωρίς να τον υπολογίσει αυτοματοποιημένα το πρόγραμμα από το κανονισμό EC-8.

- Σχετικά με τις ιδιοπεριόδους επιλέγω την ιδιομορφική ανάλυση κι όχι τις προσεγγιστικές μεθόδους του Ευρωκώδικα 8-1. Το πρόγραμμα λαμβάνει ανά κατεύθυνση σαν ιδιοπερίοδο του κτιρίου την ιδιοπερίοδο που αντιστοιχεί στην δεσπόζουσα ιδιομορφή (την ιδιομορφή με το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργοποιημένης μάζας) ενώ ο χρήστης μπορεί να αυξήσει ή να ελαττώσει τον αριθμό των Ιδιοτιμών, την ακρίβεια και τη μέθοδο επαλληλίας (εικόνα 127). Για την ανάλυση μας επιλέγουμε 12 ιδιοτιμές με επαλληλίου τύπου CQC.



Δυναμική Ανάλυση

Ιδιοτιμές Ακρίβεια CQC

Συντελεστές Συμμετοχής Φάσματος Απόκρισης

PFx PFy PFz

Εικόνα 126: Πίνακας ορισμού πλήθους ιδιομορφών, ακρίβειας και επαλληλίας

Από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης θα προκύψει και ο βαθμός συμμετοχής της κάθε ιδιομορφής στην απόκριση του φορέα, ως ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας ανά διεύθυνση κίνησης. Κατά τη δυναμική φασματική ανάλυση υπάρχει απαίτηση ενεργοποίησης ποσοστού μάζας τουλάχιστο 90% της συνολικής μάζας του κτιρίου ανά διεύθυνση.

Μετά τη δημιουργία των σεναρίων και την επεξεργασία των παραμέτρων τρέχουμε με την εντολή **"Εκτέλεσε"** κάθε σενάριο ξεχωριστά για να προκύψουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

5.7.2 Συνδυασμοί δράσεων

Ο καθορισμός των συνδυασμών δράσεων γίνεται από το παράθυρο **"Ανάλυση"** και στο παράθυρο **"Αποτελέσματα"** επιλέγω την επιλογή **"Συνδυασμοί"** και στη συνέχεια ορίζονται οι παράμετροι του κάθε συνδυασμού πέρα των προκαθορισμένων από το πρόγραμμα για τον EC-8 για τα σεισμικά φορτία, τα φορτία τα κινητά και τα μόνιμα (εικόνα 128).

Δίνεται το όνομα του κάθε νέου συνδυασμού και ορίζονται οι φορτίσεις, το σενάριο, ο τύπος φόρτισης και οι δράσεις που περιλαμβάνει ο κάθε συνδυασμός. Οι πρόσθετοι συνδυασμοί που ορίζουμε είναι όμοιοι με αυτούς που ορίσαμε στο Κεφάλαιο 3 του παρόντος.

Μετά τον ορισμό των συνδυασμών, με την εντολή **"Καταχώρηση"** αποθηκεύουμε το αρχείο με κατάληξη *.cmb στο φάκελο της μελέτης, ώστε να το χρησιμοποιήσουμε αργότερα στη διαστασιολόγηση του φορέα και στα αποτελέσματα.

Συνδυασμοί Σετ Φορτίσεων

γG 1.35 γE 1 γGE 1 ψ2 0.3
 γQ 1.5 γE0.3 0.3
 Ανεμος - Χιονι

Αστοχίας
 ΣγG+γQ+Σγψ0Q
 ΣG+ψ1Q+Σψ2Q
 ΣG+E+Σγψ2Q

Λειτουργικότητας
 ΣG+Q+Σψ0Q
 ΣG+ψ1Q+Σψ2Q
 ΣG+Σψ2Q

Υπολογισμός
Διαγραφή Όλων

	Είδος	Διεύθυνση	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC
Σενάριο			EC-8_Gree...	EC-8_Gree...	EC-8_Gree...	EC-8_Gree...	EC-8_Gree...	EC-8_Gree...	EC
Φόρτιση			1	2	3	4	5	6	5
Τύπος			G	Q	ExD	EzD	Ex	Erz	Ey
Δράσεις				Κατηγορία...					
Περιγραφή									
Συνδ.:1	Αστοχίας	Όχι	1.35	1.50					
Συνδ.:2	Αστοχίας	Όχι	1.35	0.50					
Συνδ.:3	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	1.00	0.30	0.3
Συνδ.:4	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	1.00	0.30	-0.
Συνδ.:5	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	1.00	-0.30	0.3
Συνδ.:6	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	1.00	-0.30	-0.
Συνδ.:7	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	-1.00	0.30	0.3
Συνδ.:8	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	-1.00	0.30	-0.
Συνδ.:9	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	-1.00	-0.30	0.3
Συνδ.:10	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	0.30	-1.00	-0.30	-0.
Συνδ.:11	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	-0.30	1.00	-0.30	0.3
Συνδ.:12	Αστοχίας	Κατά +X	1.10	0.30	1.00	-0.30	1.00	-0.30	-0.

Προσθήκη Αφαίρεση Διάβασμα Καταχώρηση TXT Προκαθορισμένοι Συνδυασμοί OK Cancel

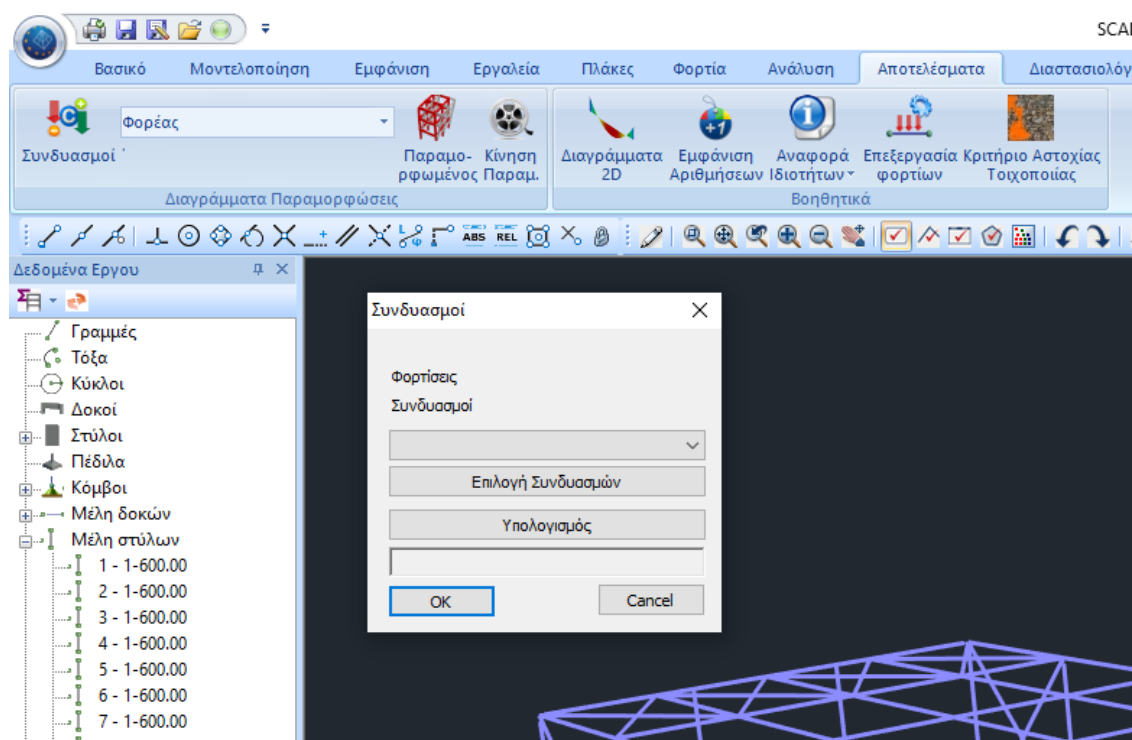
Εικόνα 127: Πίνακας εισαγωγής συνδυασμών

5.9 Αποτελέσματα ανάλυσης

5.9.2.1 Ιδιομορφική απόκριση φορέα

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης μπορούμε να εξετάσουμε την ιδιομορφική συμπεριφορά του φορέα για να έχουμε άμεση εικόνα της δυναμικής συμπεριφοράς του φορέα και να ελέγξουμε για τυχόν σφάλματα κατά τη μοντελοποίηση του φορέα.

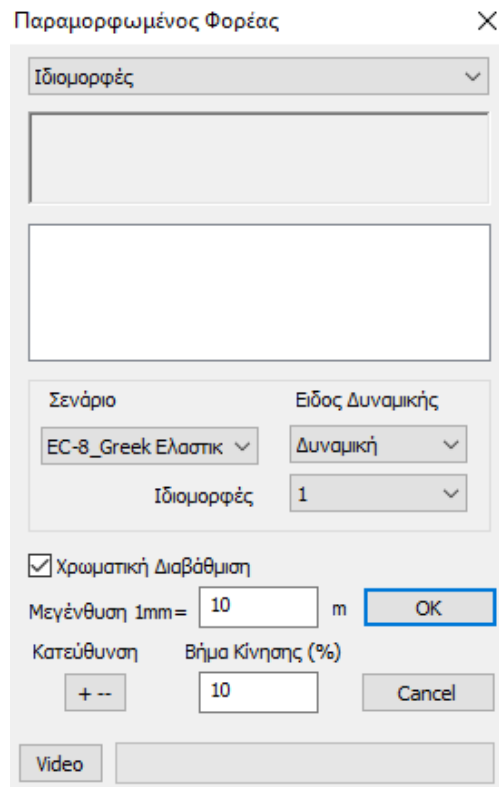
Έτσι από τις εντολές το πεδίο **“Αποτελέσματα”** → **Συνδυασμοί** προκύπτει το αναδυόμενο παράθυρο (εικόνα 129) όπου επιλέγοντας τη φορτιστική κατάσταση και φορτώνοντας το αρχείο με τους αποθηκευμένους συνδυασμούς που έχουμε δημιουργήσει σε προηγούμενο βήμα, υπολογίζουμε τα αποτελέσματα.



Εικόνα 128: Αποτελέσματα για τους συνδυασμούς που έχουμε ορίσει

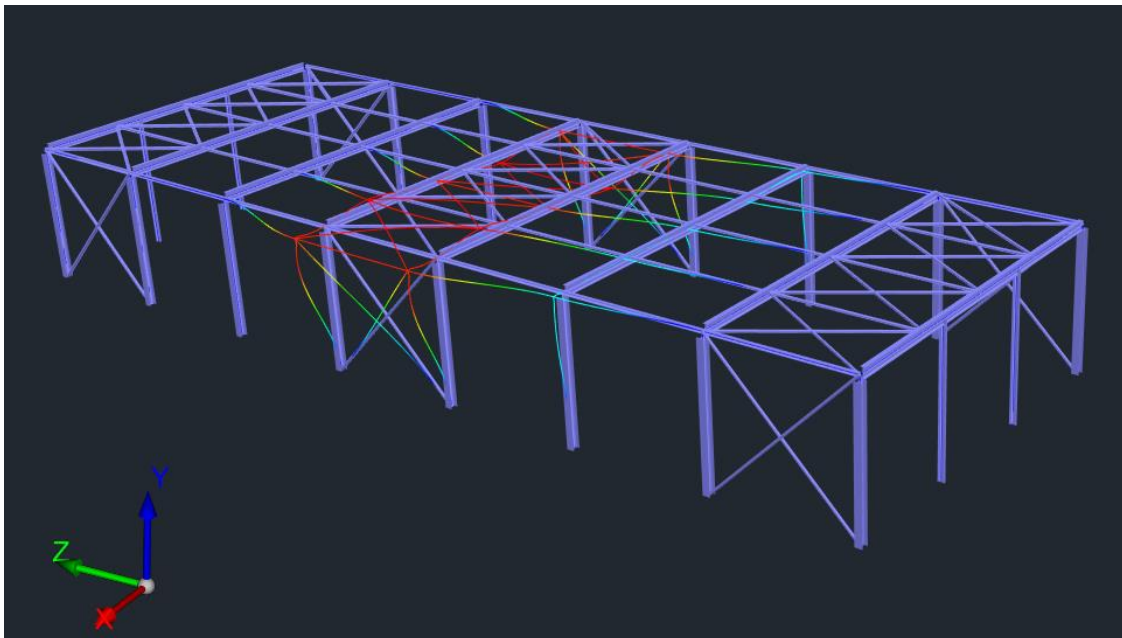
Στη συνέχεια επιλέγοντας το **“φορέα”** ή **“Διαγράμματα – Ισοστασικές”** μπορούμε να πάρουμε τις παραμορφώσεις του φορέα από κάθε φόρτιση ή συνδυασμό υπό κλίμακα καθώς και τα διαγράμματα M,V,N για κάθε μέλος αυτού.

Επιλέγοντας το **“φορέα”** και στη συνέχεια το πεδίο **“Παραμορφωμένος Φορέας”** μπορούμε να δούμε τη παραμορφωσιακή κατάσταση του φορέα επιλέγοντας από τις διαθέσιμες επιλογές του παρακάτω παραθύρου.

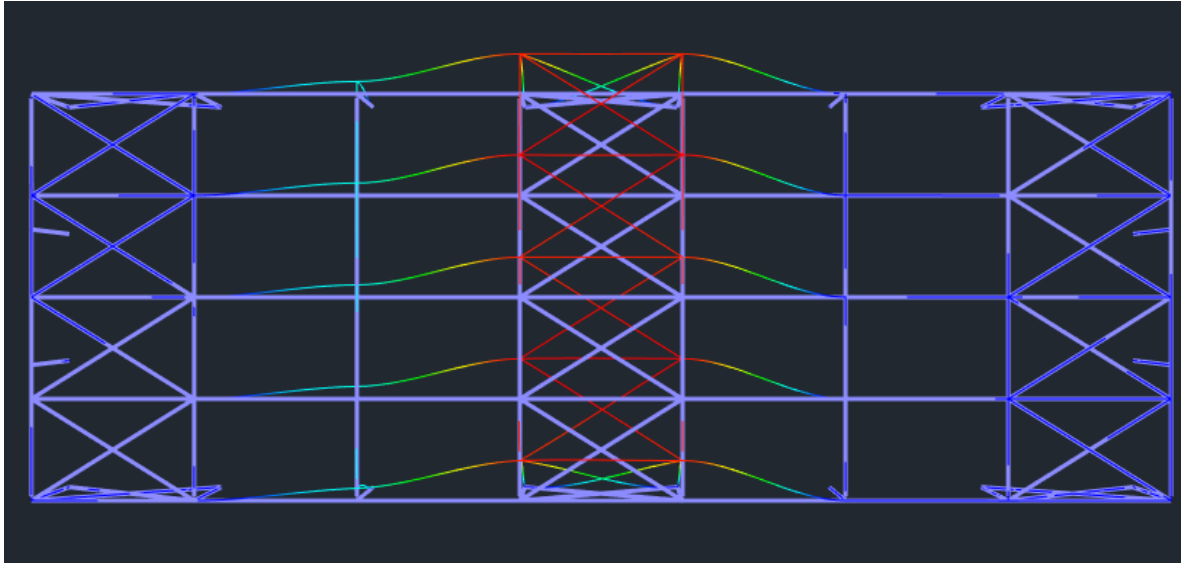


Εικόνα 129: Παράθυρο εντολής εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα

Επιλέγουμε να εξετάσουμε τη παραμορφωμένη κατάσταση του φορέα σύμφωνα με τις ιδιομορφές και έτσι μπορούμε να διαπιστώσουμε αν η ιδιομορφή είναι καθαρά μεταφορική ή στρεπτική ή συνδυασμός των δυο.



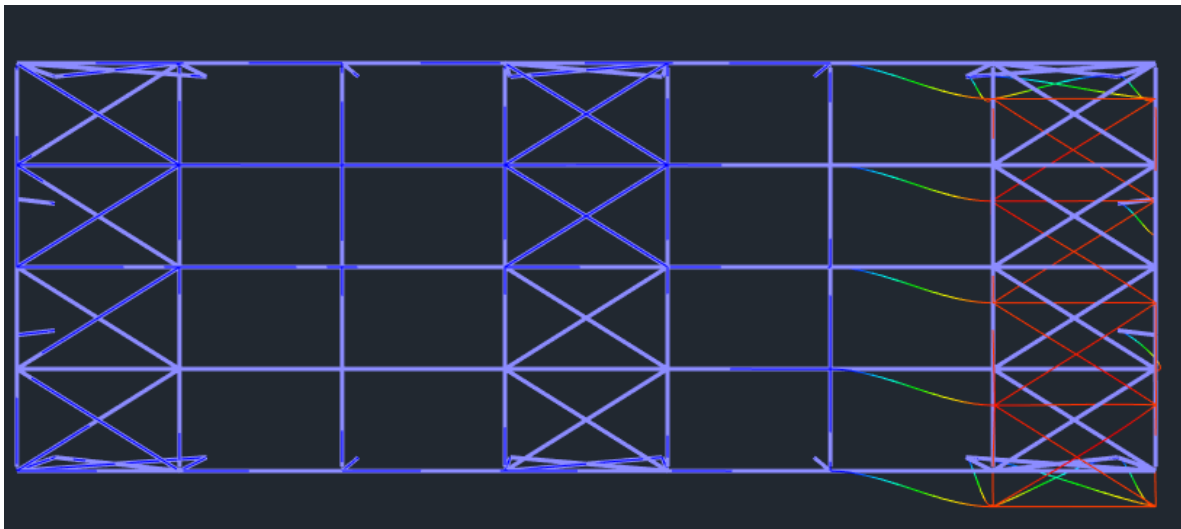
Εικόνα 130: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με $T=0,363$



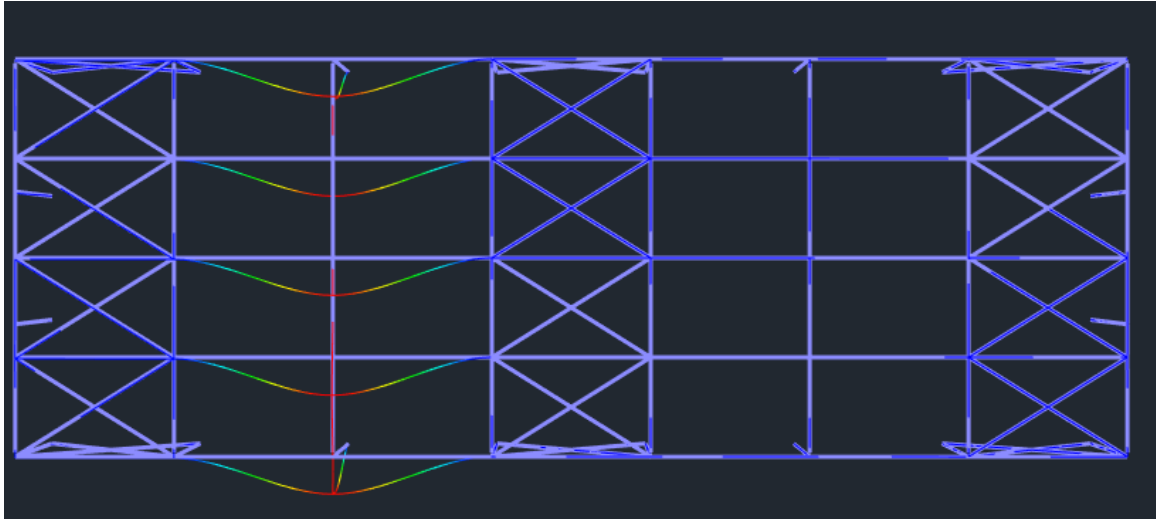
Εικόνα 131: Παραμορφωμένη κατάσταση 1ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,363$

Παρατηρούμε σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή πως η εικόνα παραμορφώσης είναι μεταφορική κίνηση στη διεύθυνση X , ενώ δεν εμφανίζει στρέψη, εικόνα η οποία είναι όμοια με αυτή που είχαμε στο Sap2000.

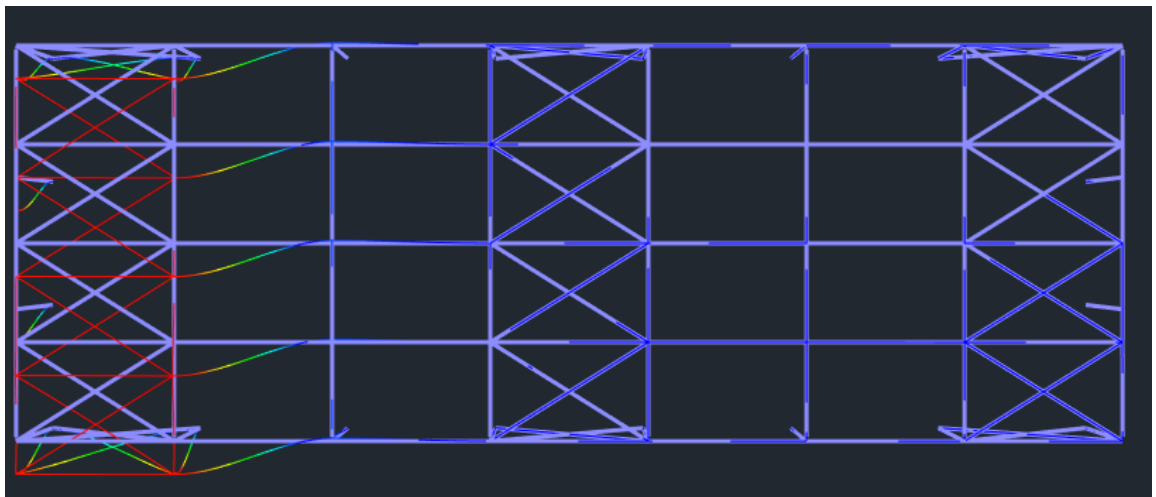
Σύμφωνα με τη δεύτερη, τη τρίτη και τη τέταρτη ιδιομορφή παρουσιάζεται η εικόνα του φορέα που φαίνεται παρακάτω η οποία για κάθε μία από τις αναφερόμενες ιδιομορφές φαίνεται να είναι μεταφορική στη διεύθυνση X με διαφορετική παραμόρφωση και ενεργοποιούμενη ταλάντωση στις ίδιες περίπου τιμές. Η ενεργοποιούμενη ταλάντωση μειώνεται από την 6^η ιδιομορφή όπως φαίνεται παρακάτω.



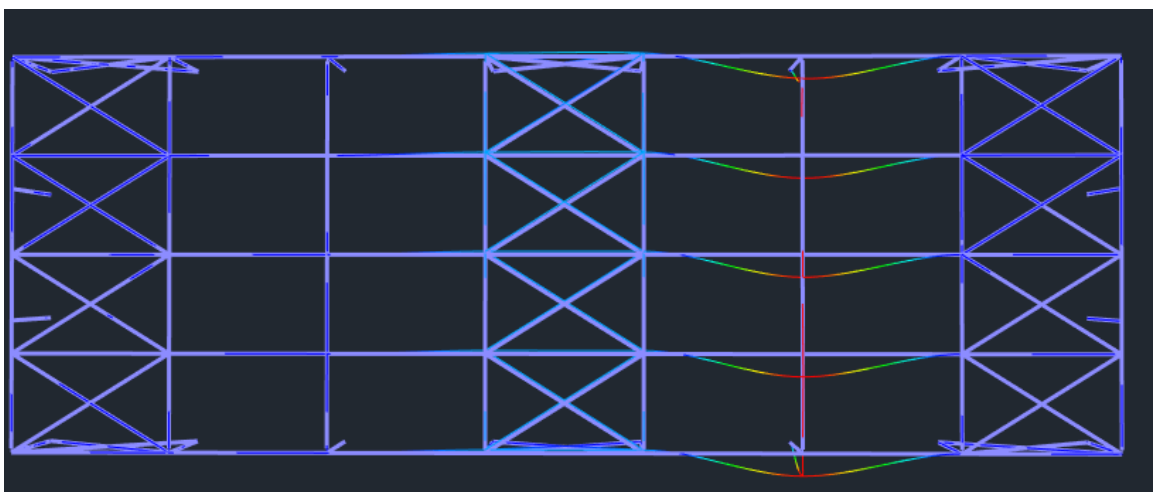
Εικόνα 132: Παραμορφωμένη κατάσταση 2ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,358$



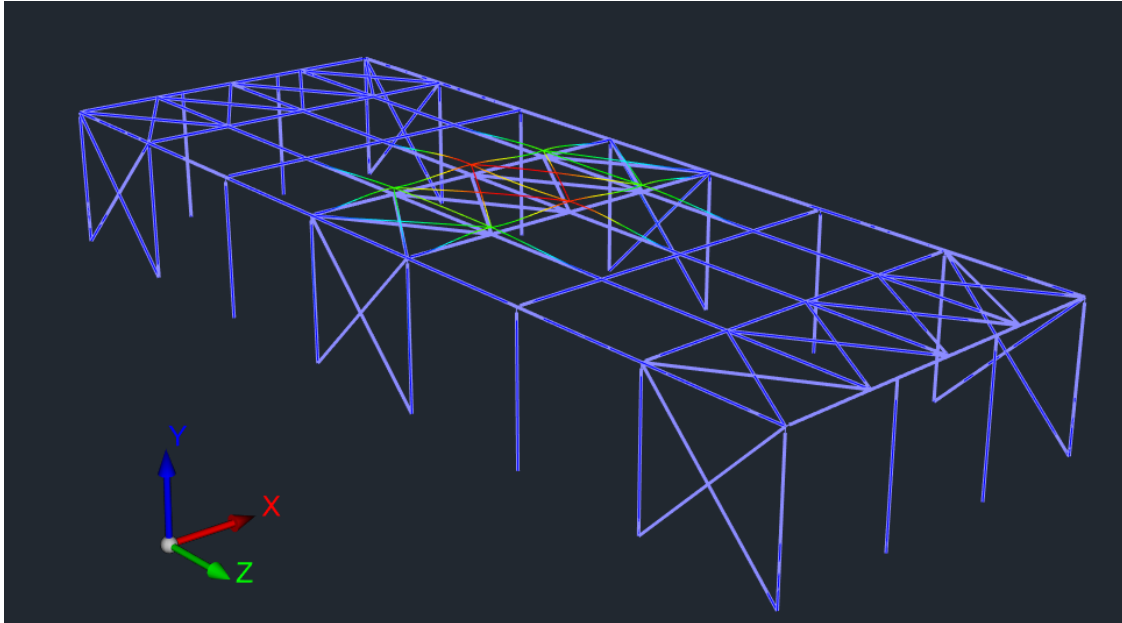
Εικόνα 133: Παραμορφωμένη κατάσταση 3ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,358$



Εικόνα 134: Παραμορφωμένη κατάσταση 4ης ιδιομορφής σε κάτοψη με $T=0,358$

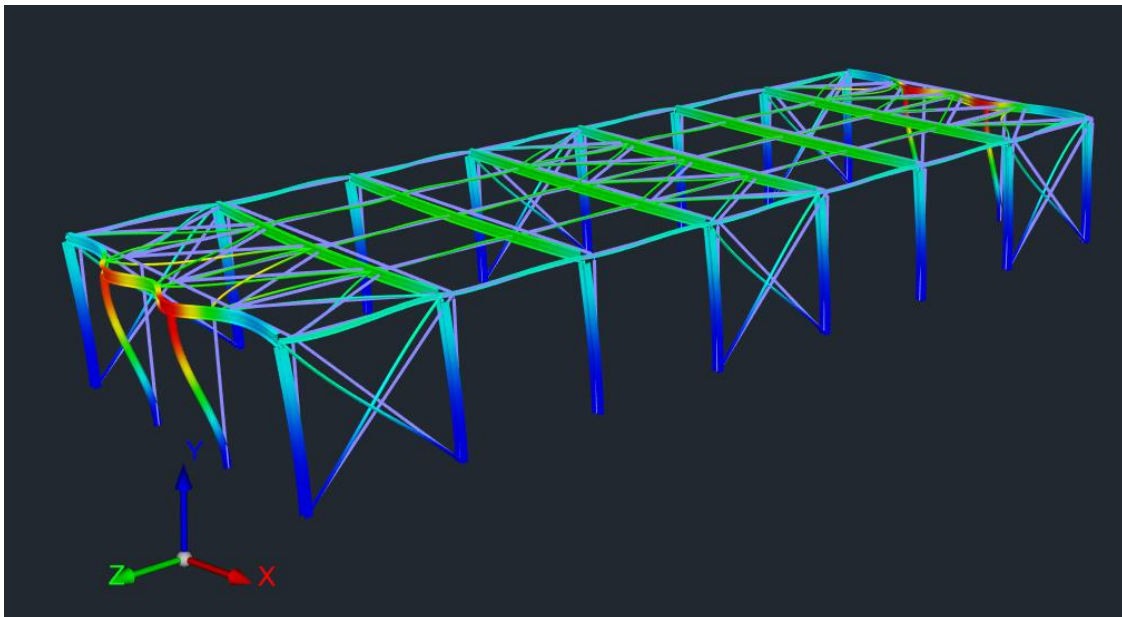


Εικόνα 135: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 5η ιδιομορφή και $T=0,355$



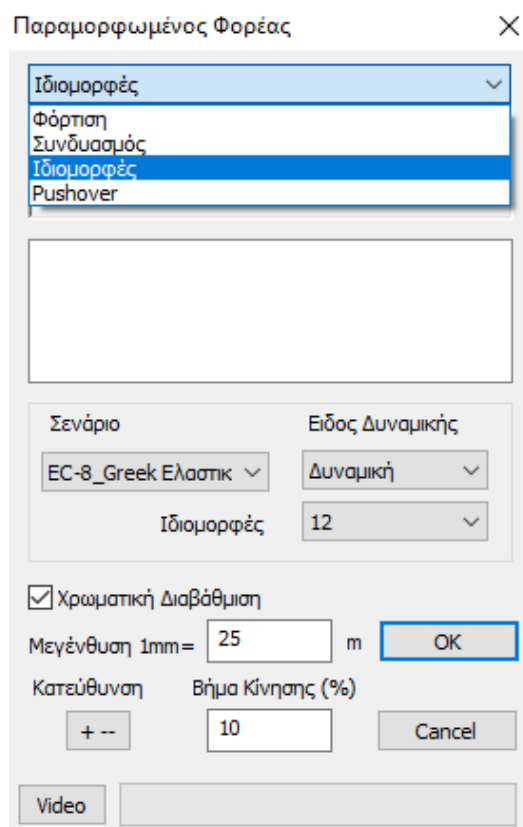
Εικόνα 136: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και $T=0,205$

Μεταφορική κίνηση του φορέα κατά τη διεύθυνση Y παρουσιάζεται κατά την 12η ιδιομορφή με ενεργοποιούμενη ιδιοπερίοδο όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνα 70).



Εικόνα 137: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$

Ομοίως μέσω του παραθύρου **Αποτελέσματα** → **Διαγράμματα – Παραμορφώσεις** → **Φόρτωση αρχείου συνδυασμών** → **Επιλογή “Φορέα”** → **Επιλογή “Παραμορφωμένος φορέας”** και επιλέγοντας την κατάλληλη φορτιστική κατάσταση μπορούμε να έχουμε την παραμορφωμένη εικόνα του φορέα για οποιαδήποτε φόρτιση ή συνδυασμό αυτών όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 138: Επιλογές εμφάνισης παραμορφωμένου φορέα σύμφωνα με τη φορτιστική του κατάσταση

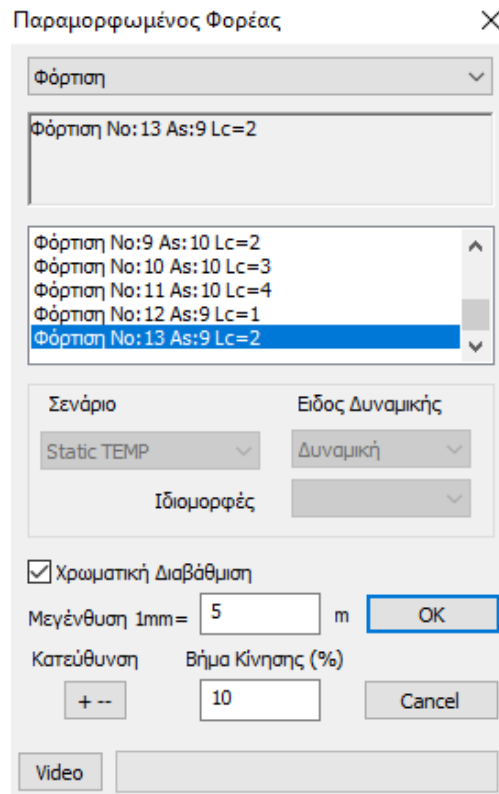
5.9.2.2 Μετακινήσεις φορέα

Δίνεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα στην παραμορφωμένη εικόνα του φορέα, να εμφανίζονται οι μετακινήσεις του οι οποίες προσδιορίζονται γραφικά σύμφωνα με τη μπάρα κλίμακας που δημιουργείτε.

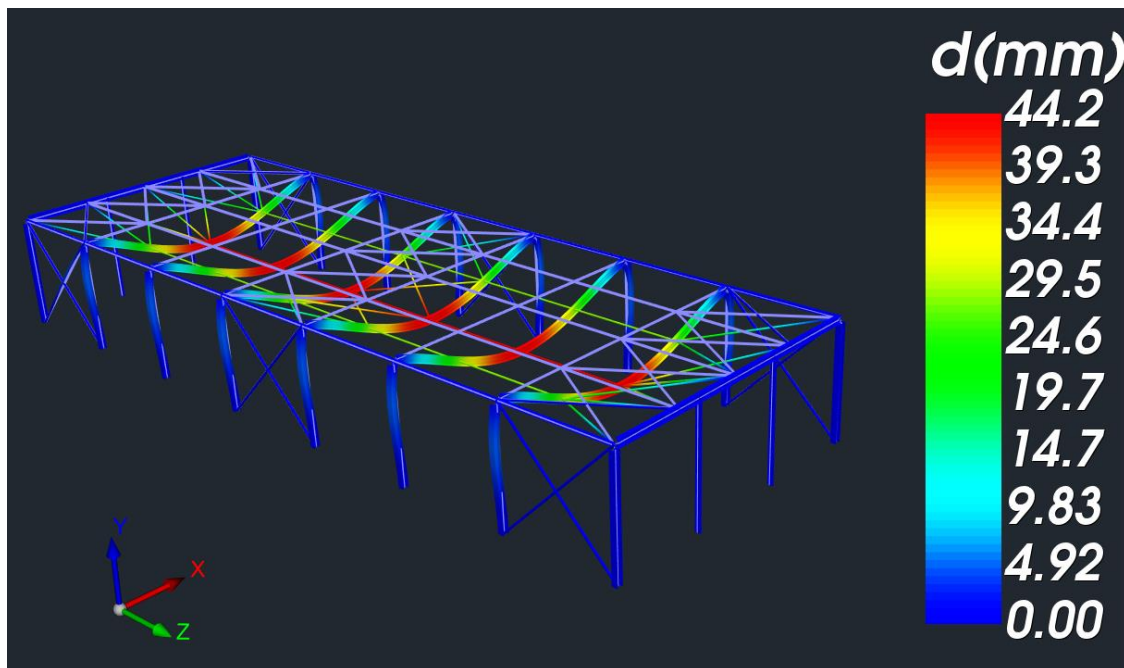
Οι μετακινήσεις αυτές είναι πραγματικές και όχι πλασματικές όπως συμβαίνει με την ανάγνωση σεισμικών μετακινήσεων από τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης που θα αναλυθεί παρακάτω.

Στην εικόνα 141 φαίνεται η παραμορφωμένη κατάσταση του φορέα υπό την επίδραση των φορτίων χιονιού.

Επιλέγοντας **Φόρτιση** → **Φόρτιση No:13/Lc=2** εμφανίζεται ο παραμορφωμένος φορέας για τη φόρτιση του χιονιού.



Εικόνα 139: Παράθυρο επιλογής φόρτισης για το παραμορφωμένο φορέα

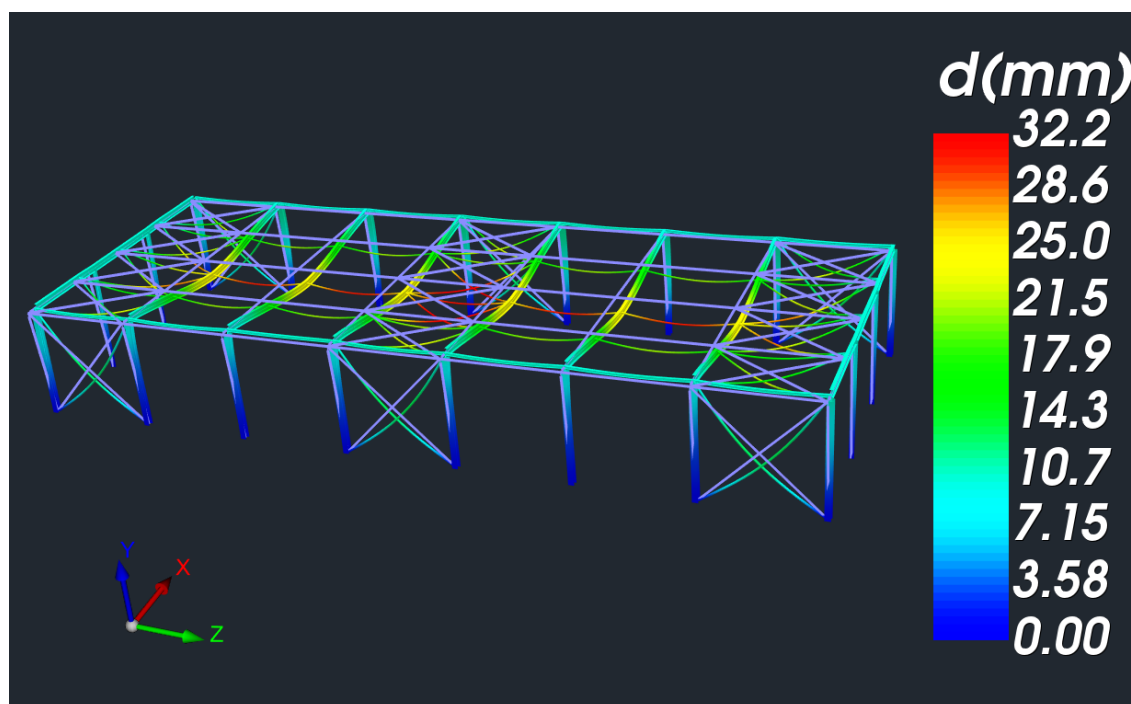


Εικόνα 140: Μετακινήσεις κόμβων μελών υπό την επίδραση φορτίων χιονιού

Παρατηρούμε πως στη μέση των ζυγωμάτων έχουμε μία κατακόρυφη μετακίνηση των κόμβων του μέλους κατά 4,5 εκ, όμοια με αυτή που προέκυψε από στο Sap2000.

5.9.2.3 Μετακινήσεις φορέα κατά τη δυναμική φασματική ανάλυση

Ενδεικτικά για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1" (**G+0.3S+ seismos x-x + 0.3seismosy-y**), εμφανίζεται ο φορέας στη παραμορφωμένη κατάσταση. Οι μετακινήσεις που εμφανίζονται είναι οι μέγιστες που αναπτύσσονται σε κάθε κόμβο και δεν είναι ταυτόχρονες για όλους τους κόμβους του κτιρίου. Αυτό συμβαίνει διότι η δυναμική φασματική ανάλυση ως εξ' ορισμού είναι αποτέλεσμα συνδυασμού ιδιομορφών. Η εικόνα λοιπόν του φορέα στη κατάσταση αυτή είναι μία οπτική απεικόνιση των μέγιστων τιμών μετατόπισης του συνδυασμού για κάθε κόμβο και όχι μία πραγματική κατάσταση μετακίνησης.

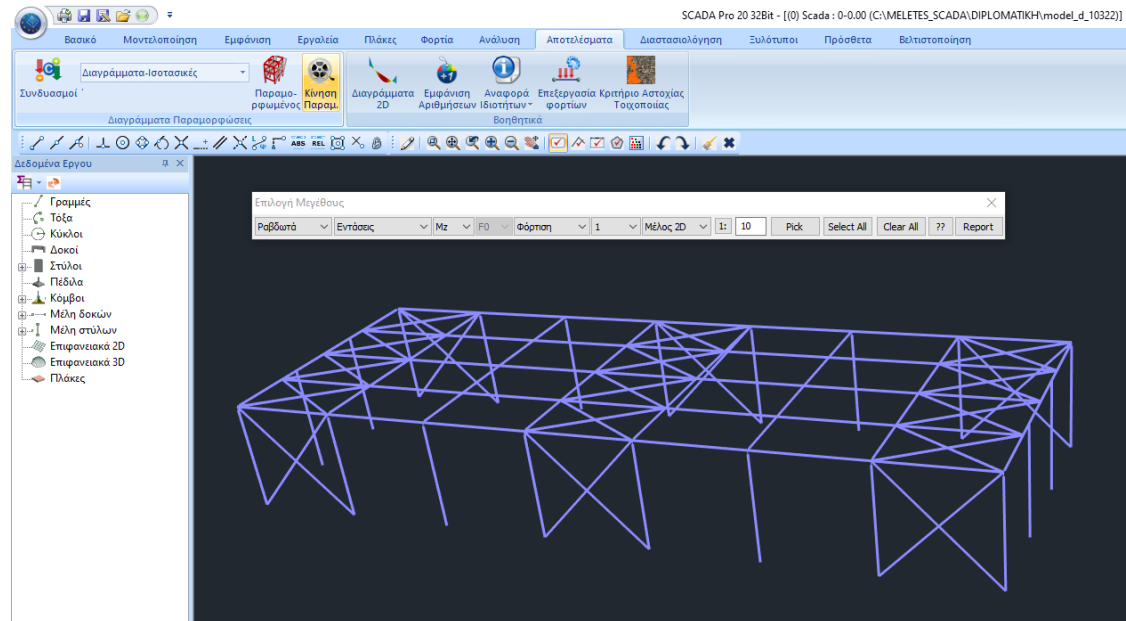


Εικόνα 141: Οπτική απεικόνιση παραμορφωμένης κατάστασης φορέα με τις μέγιστες μετατοπίσεις σε κάθε κόμβο από το συνδυασμό των ιδιομορφών

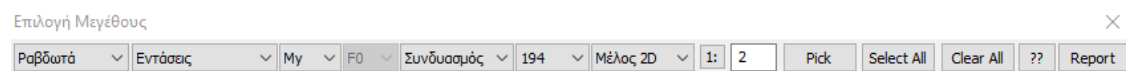
Λόγω της χρήσης του συντελεστή συμπεριφοράς κατά τον προσδιορισμό της σεισμικής φόρτισης, σε έναν συνδυασμό με επαλληλία διαφορετικών φορτίσεων (κατακόρυφων φορτίων και σεισμού) ο προσδιορισμός της μετακίνησης ενός σημείου απαιτεί την ξεχωριστή ανάγνωση της τιμής αυτής διότι από τα φορτία του συνδυασμού μόνο τα σεισμικά φορτία υπολογίστηκαν με ελαστική ανάλυση σύμφωνα με την οποία τα σεισμικά φορτία ήταν απομειωμένα λόγω ύπαρξης του συντελεστή συμπεριφοράς q . Η ύπαρξη όμως της μετελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής υποδηλώνει το ενδεχόμενο να γίνει υπέρβαση του σημείου καταπόνησης. Έτσι ο προσδιορισμός της πραγματικής μετατόπισης απαιτεί τον πολλαπλασιασμό της τιμής που υπολογίστηκε για τα απομειωμένα, κατά q , ελαστικά φορτία με την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, βάσει της σχέσης (EC8 §4.3.4(1)P) και τέλος την πρόσθεση των επιμέρους μετακινήσεων, για τον υπολογισμό της τελικής μετατόπισης ελέγχου.

5.9.2.4 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών

Χρησιμοποιώντας την επιλογή εντολής **Διαγράμματα – Ισοτασικές**, ανοίγει μια μπάρα επιλογών για την επιλογή της φορτιστικής κατάστασης που επιθυμούμε να έχουμε εικόνα των διαγραμμάτων, σε κόμβο ή μέλος, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

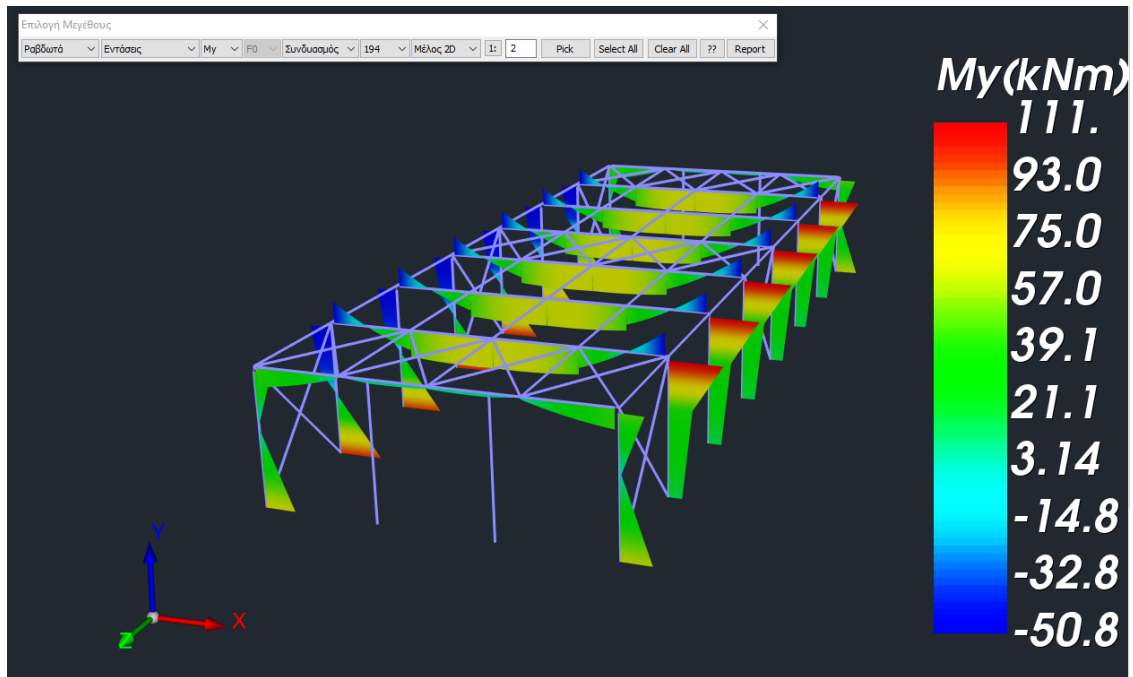


Εικόνα 142: Πίνακας επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε μέλη

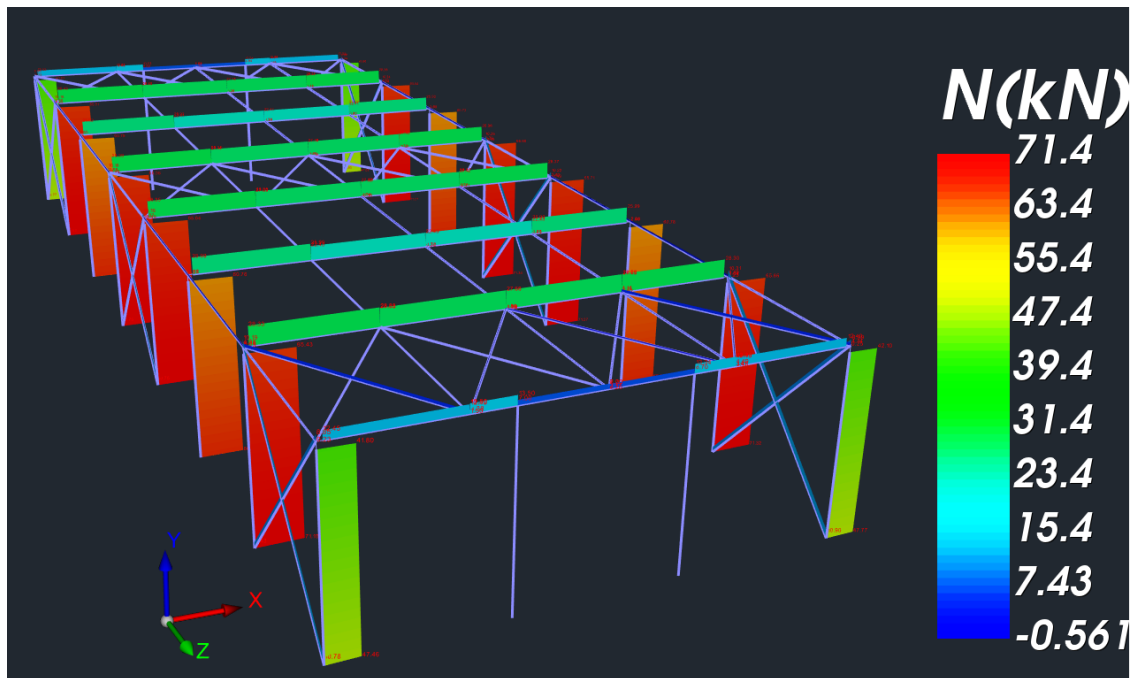


Εικόνα 143: Μπάρα επιλογής εμφάνισης εντατικών μεγεθών σε μέλη ή κόμβους

Για το φορέα μας, για το συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1" (**G+0.3S+ seismos x-x + 0.3seismosy-y**) και με επιλογή εμφάνισης της ροπής κάμψης το διάγραμμα καμπτικών ροπών για όλες τις δοκούς και τα υποστυλώματα εντός επιπέδου xy, είναι:



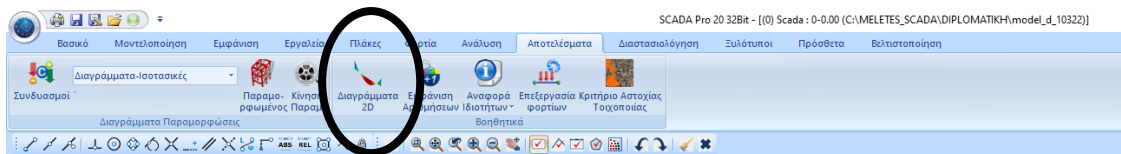
Εικόνα 144: Εμφάνιση διαγράμματος καμπτικών ροπών M_y για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"



Εικόνα 145: Εμφάνιση διαγράμματος αξονικών δυνάμεων για τον σεισμικό συνδυασμό φόρτισης "SEISMOSX1"

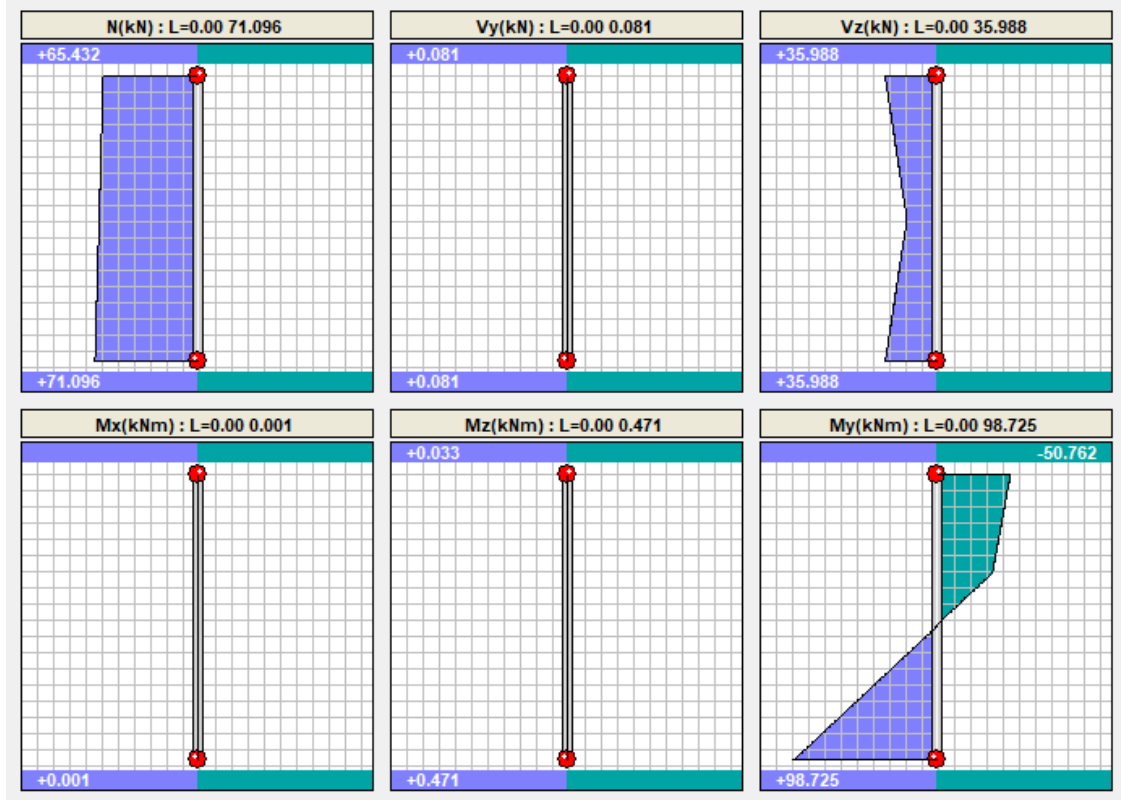
Παράλληλα στο πρόγραμμα αυτό δίνεται η δυνατότητα αναλυτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων με σκοπό την πλήρη εποπτεία της εντατικής κατάστασης κάθε μέλους ή κόμβου.

Η εντολή δίνεται αν επιλέξουμε την εντολή "**Διαγράμματα 2d**" στο κεντρικό μενού και επιλέξουμε το μέλος για το οποίο θέλουμε να εξετάσουμε τα εντατικά του μεγέθη. Έτσι παρουσιάζεται ο πίνακας με τα εντατικά μεγέθη του επιλεγμένου μέλους.



Εικόνα 146: Εντολή επιλογής παρουσίασης αποτελεσμάτων εντατικών μεγεθών σε κάθε μέλος

Διαγράμματα Μέλους : 7



Εικόνα 147: Πίνακας παρουσίασης χαρακτηριστικών υποστυλώματος από τη φόρτιση "SEISMOSX1"

5.2.9.5 Ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας από κάθε ιδιομορφή

Για το φορέα μας στο μενού **"Ανάλυση"** με ενεργό σενάριο αυτό της Δυναμικής ανάλυσης κατά EC-8, επιλέγοντας την εντολή **"Σεισμική Δράση"** στα **Αποτελέσματα** προκύπτει το τεύχος με τις πληροφορίες των σεισμικών παραμέτρων και των αποτελεσμάτων της ιδιομορφικής ανάλυσης και του ποσοστού ενεργοποιούμενης μάζας ανά διεύθυνση. Εξετάζουμε τη καρτέλα με τις τιμές των ιδιοπεριοδών και του ποσοστού μάζας που ενεργοποιείται σε κάθε ιδιομορφή και ελέγχουμε το κριτήριο ενεργοποίησης του 90% της μάζας της κατασκευής σε κάθε διεύθυνση από τον αριθμό των ιδιομορφών.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

=====

Παράμετροι Υπολογισμού

Κλάση Πλαστιμότητας : DCM
 Τύπος φάσματος : Τύπος 1
 Ζώνη Σεισμικής επικινδυνότητας : I
 Επιτάχυνση Βαρύτητας g (m/sec²) : 9.810
 Σεισμική Επιτάχυνση εδάφους αg_R : $0.16 \cdot 9.810 = 1.5696$
 Κατηγορία Εδάφους : B
 Χαρακτηριστικές Περίοδοι φάσματος : $T_B=0.15$ $T_C=0.50$ $T_D=2.50$ (sec)
 Συντελεστής-Κατηγορία Σπουδαιότητας: $\gamma_i=1.000$ - $\Sigma 2$
 Συντελεστής Σεισμικής Συμπεριφοράς: $\alpha_x=1.500$ - $\alpha_z=1.500$ - $\alpha_y=1.500$
 Συντελεστής φασματικής Ενίσχυσης : $\beta_o=2.50$
 Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης : $\xi=4.000\%$

Εικόνα 148: Παράμετροι σεισμού

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου απο Δυναμική Ανάλυση

α/α Ιδιομορφής	Κυκλική Συχνότητα w (Rad/sec)	Συχνότητα v (Cycles/sec)	Περίοδος T (sec)
1	1.7317E+001	2.7561E+000	3.6284E-001
2	1.7530E+001	2.7900E+000	3.5842E-001
3	1.7555E+001	2.7940E+000	3.5791E-001
4	1.7564E+001	2.7953E+000	3.5774E-001
5	1.7675E+001	2.8130E+000	3.5549E-001
6	3.0717E+001	4.8888E+000	2.0455E-001
7	3.0732E+001	4.8912E+000	2.0445E-001
8	3.0739E+001	4.8922E+000	2.0441E-001
9	3.0748E+001	4.8937E+000	2.0435E-001
10	3.1420E+001	5.0006E+000	1.9997E-001
11	3.1420E+001	5.0006E+000	1.9997E-001
12	4.0117E+001	6.3847E+000	1.5662E-001
13	4.5394E+001	7.2247E+000	1.3841E-001
14	4.6286E+001	7.3666E+000	1.3575E-001
15	5.2401E+001	8.3399E+000	1.1991E-001
16	5.4053E+001	8.6028E+000	1.1624E-001
17	6.4233E+001	1.0223E+001	9.7819E-002
18	7.9877E+001	1.2713E+001	7.8661E-002
19	8.4687E+001	1.3478E+001	7.4193E-002
20	8.5982E+001	1.3684E+001	7.3076E-002

Εικόνα 149: Ιδιοπερίοδοι φορέα για κάθε ιδιομορφή

Δρώσες Ιδιομορφικές Μάζες (Συνολική Μάζα = 81.601 kN/g)

α/α Ιδιομορφής	Μ Ε Τ Α Φ Ο Ρ Ι Κ Ε Σ				Μ Α Ζ Ε Σ				
	κατά X	/	%	κατά Y	/	%	κατά Z	/	%
1	24.64	/	30.19	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
2	21.23	/	26.01	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
3	11.02	/	13.50	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
4	19.61	/	24.03	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
5	4.26	/	5.22	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
6	0.00	/	0.00	7.24	/	8.87	0.00	/	0.00
7	0.00	/	0.00	3.26	/	4.00	0.00	/	0.00
8	0.00	/	0.00	3.79	/	4.65	0.00	/	0.00
9	0.00	/	0.00	0.00	/	0.01	0.00	/	0.00
10	0.00	/	0.00	4.73	/	5.79	0.00	/	0.00
11	0.00	/	0.00	1.51	/	1.85	0.00	/	0.00
12	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	68.23	/	83.61
13	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	0.01	/	0.01
14	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	0.02	/	0.03
15	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
16	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
17	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	11.25	/	13.78
18	0.06	/	0.08	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
19	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
20	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00	0.00	/	0.00
ΣΥΝΟΛΑ	80.82	/	99.04	20.53	/	25.16	79.51	/	97.43

Εικόνα 150: Ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας ανά διεύθυνση

Από τον ανωτέρω πίνακα διαπιστώνουμε πως η ενεργοποιούμενη μάζα στη διεύθυνση X είναι 99,4% και στη διεύθυνση Y είναι 97,43%.

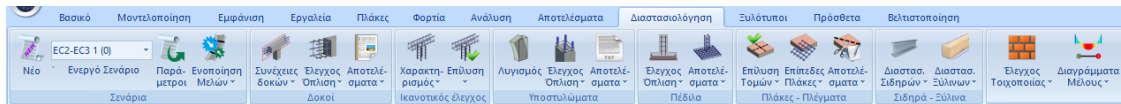
Το μεγαλύτερο ποσοστό της δρώσας ιδιομορφικής μάζας για τη διεύθυνση X αναπτύσσεται στη 1^η και 2^η ιδιομορφή σε ποσοστό 50% περίπου της συνολικής ενώ στη διεύθυνση Y αναπτύσσεται σε ποσοστό σχεδόν 100% στη 12^η ιδιομορφή.

5.9.3 Σχεδιασμός Φορέα

5.9.3.1 Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού

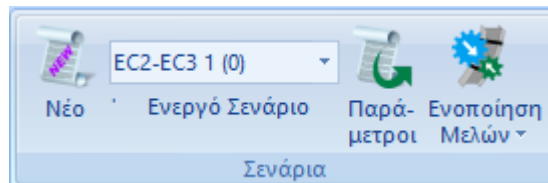
Μετά την ολοκλήρωση του μοντέλου, την εισαγωγή των φορτίων, την εκτέλεση της ανάλυσης και τη δημιουργία των συνδυασμών, προχωράμε στον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση του φορέα με επαναληπτική διαδικασία ελέγχου των στατικών στοιχείων της μελέτης, όπου γίνεται ο έλεγχος επάρκειας, βάση του κανονισμού που επιλέγεται στο “Σενάριο διαστασιολόγησης”

Στο Scada Pro η διαδικασία σχεδιασμού γίνεται από το μενού **“Διαστασιολόγηση”** ακολουθώντας τη παρακάτω διαδικασία:

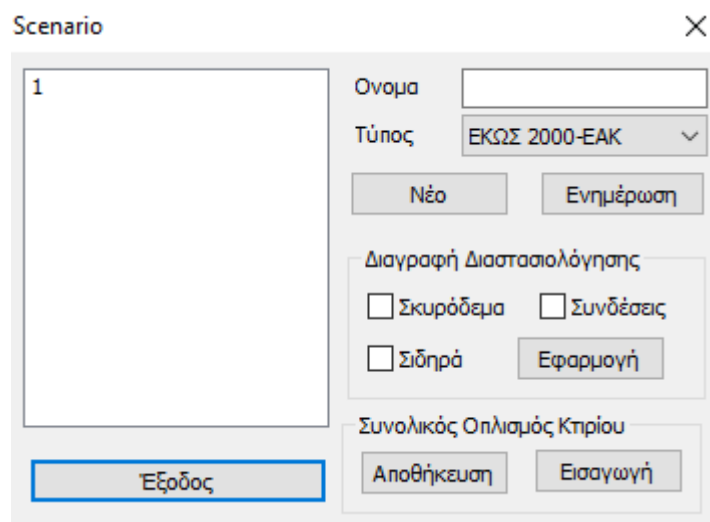


Εικόνα 151: Μπάρα πεδίου Διαστασιολόγησης

1. Στο πεδίο **“Σενάρια”** δημιουργούμε ένα νέο σενάριο διαστασιολόγησης με την εντολή **“Νέο”**.



Εικόνα 152: Μπάρα ορισμού σεναρίου διαστασιολόγησης



Εικόνα 153: Ορισμός σεναρίου διαστασιολόγησης

Στη συνέχεια από το ίδιο πεδίο και επιλέγοντας την εντολή **“Παράμετροι”** μπορούμε να ορίσουμε τους παραμέτρους σχεδιασμού που αφορούν τους συνδυασμούς για τους οποίους θα γίνει διαστασιολόγηση εισάγοντας το αρχείο που δημιουργήσαμε στη φάση της ανάλυσης.

Παράμετροι Δομικών Στοιχείων

Ικανοτικός Κόμβων		Σιδηρών			Ξύλινα				
Συνδυασμοί	Πλάκες	Δοκοί	Στύλοι	Πέδιλα	Οπλισμοί				
Συνδυασμοί Σετ Φορτίσεων		(201)	Αστ.	Λεπ.	+X	--X	+Z	--Z	No
Συνδυασμοί				Λ/Α	Κατά				
1(5) +1.35Lc1+1.50Lc2				A					
2(1) +1.35Lc1+0.50Lc2				A					
3(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				
4(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				
5(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				
6(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				
7(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				
8(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				
9(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				
10(2) +1.10Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4				A	+X				

Συντελεστές Στάθμης: 1 / (1-θ)

Στάθμη	X	Y	Z
0 - 0.00	1.000	1.000	1.000
1 - 600.00	1.000	1.000	1.000

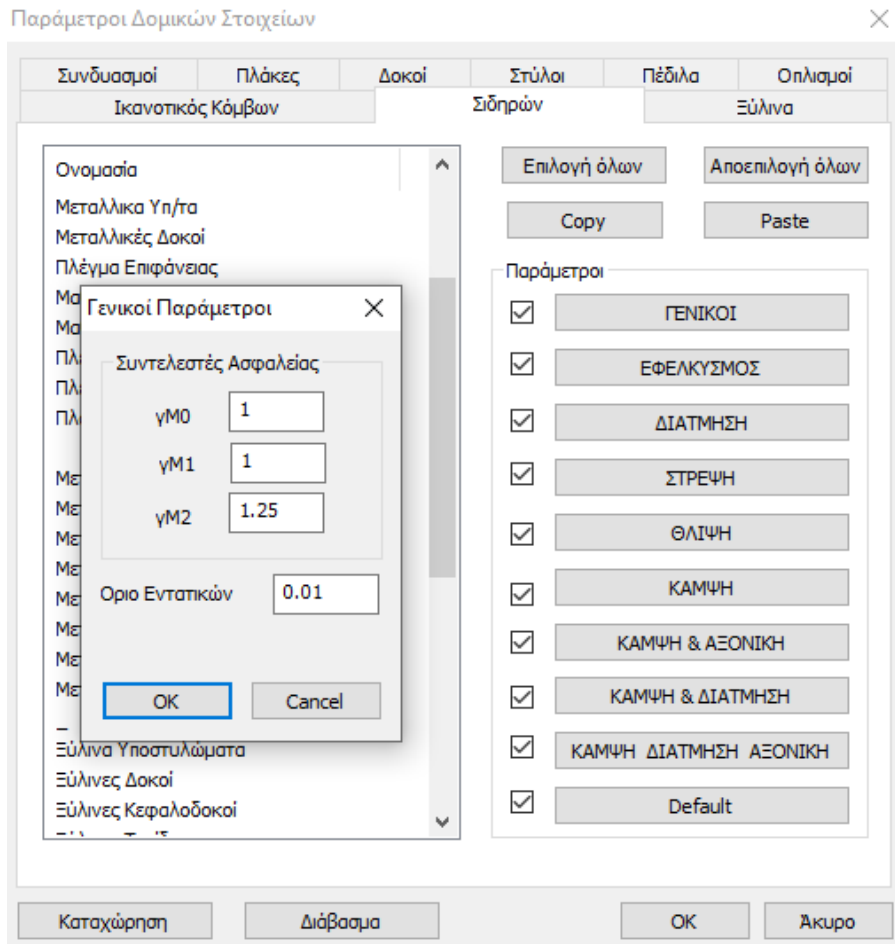
Εισαγωγή Συνδυασμών
Υπολογισμός Συνδυασμών
End Calc
Συνδυασμός G+ψ2Q: 101
Αυτόματη Διαστασιολόγηση Μελέτης
Επαναυπολογισμός μεγεθών ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Καταχώρηση Διάβασμα OK Ακυρο

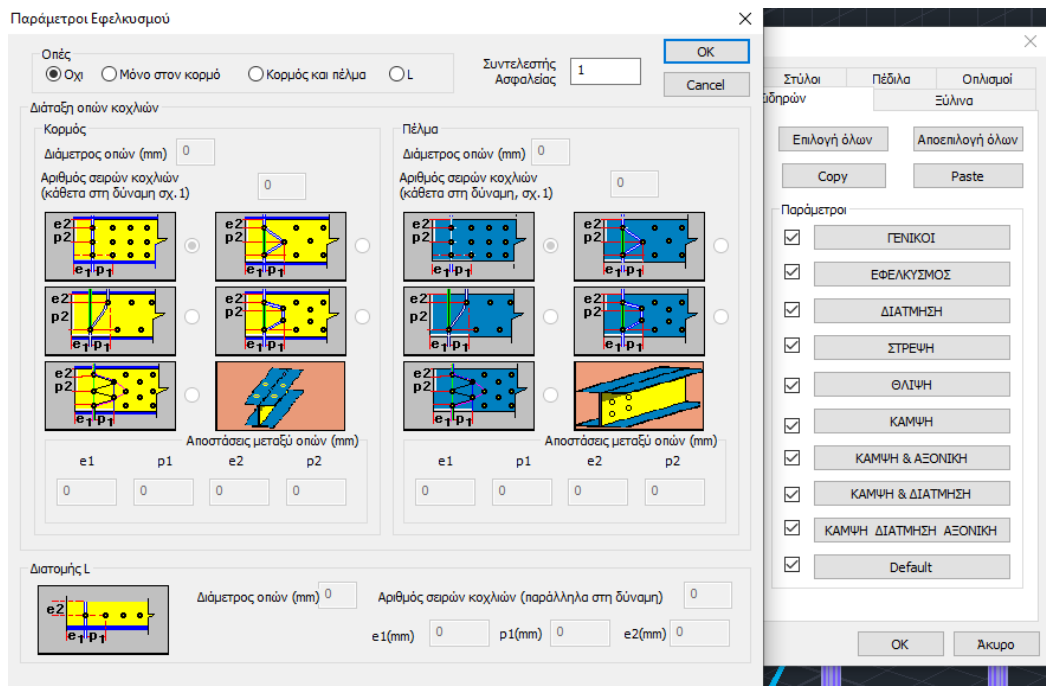
Εικόνα 154: Πίνακας ορισμού παραμέτρων

Επιπρόσθετα επιλέγοντας την εντολή "Σιδηρά" μπορούμε να ορίσουμε τις παραμέτρους που αφορούν τη διαστασιολόγηση των μεταλλικών στοιχείων όπως του ελέγχους που επιθυμούμε να πραγματοποιηθούν ανά κατηγορία μελών επιλέγοντας τα αντίστοιχα πεδία καθώς και το καθορισμό των παραμέτρων σχεδιασμού ανά έλεγχο όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

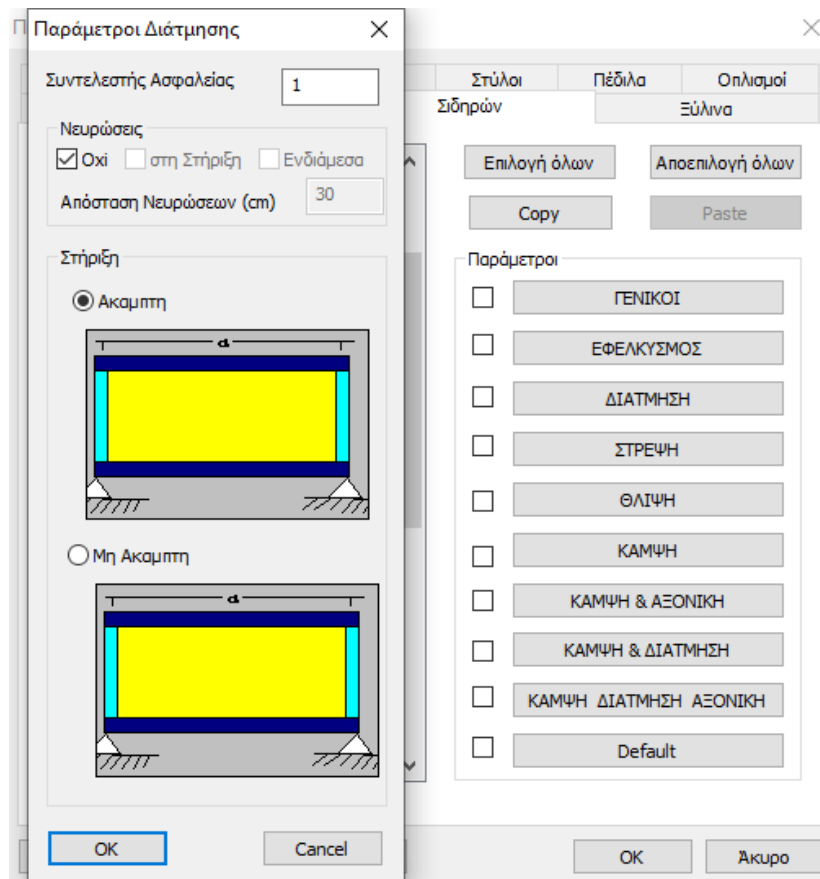
Ο φορέας μας δεν φέρει οπές στα μέλη ούτε νευρώσεις, έτσι επιλέγουμε τα αντίστοιχα πεδία καθώς και ορίζουμε τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας.



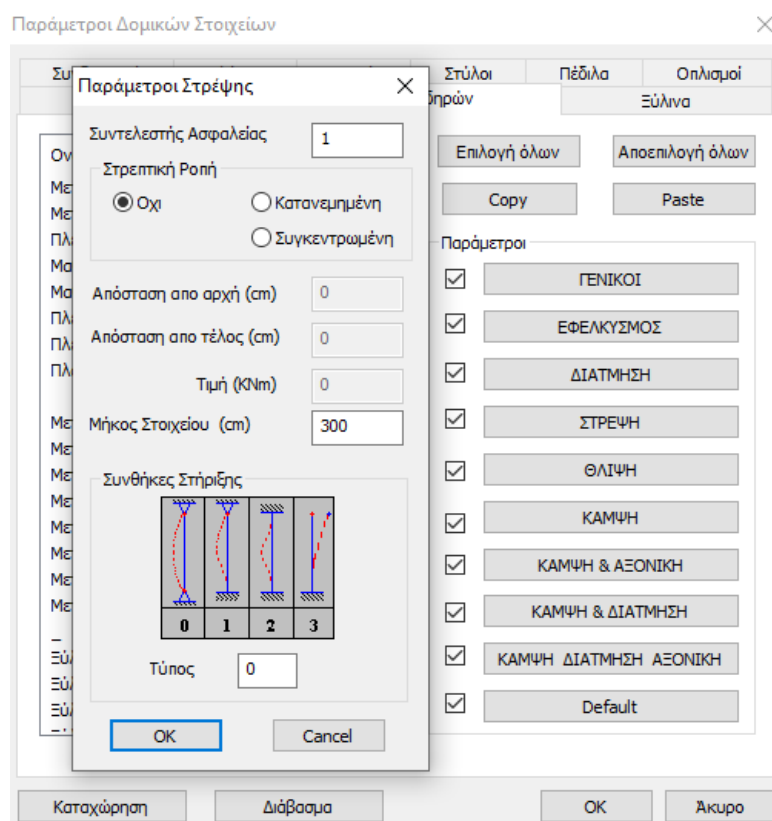
Εικόνα 155: Καθορισμός γενικών παραμέτρων σχεδιασμού



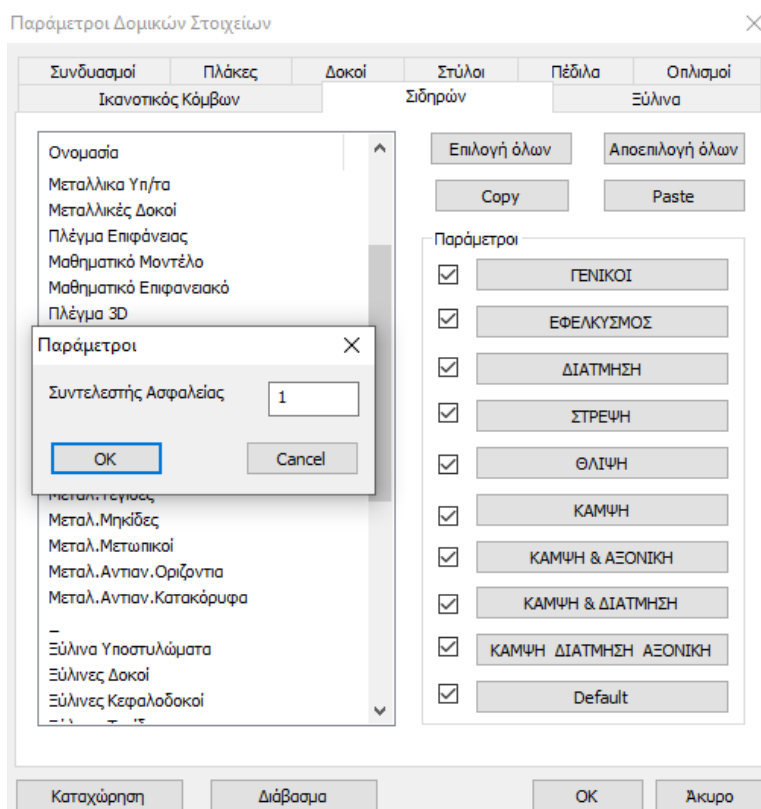
Εικόνα 156: Καθορισμός παραμέτρων εφελκυσμού



Εικόνα 157:Καθορισμός παραμέτρων διάτμησης



Εικόνα 158:Καθορισμός παραμέτρων στρέψης

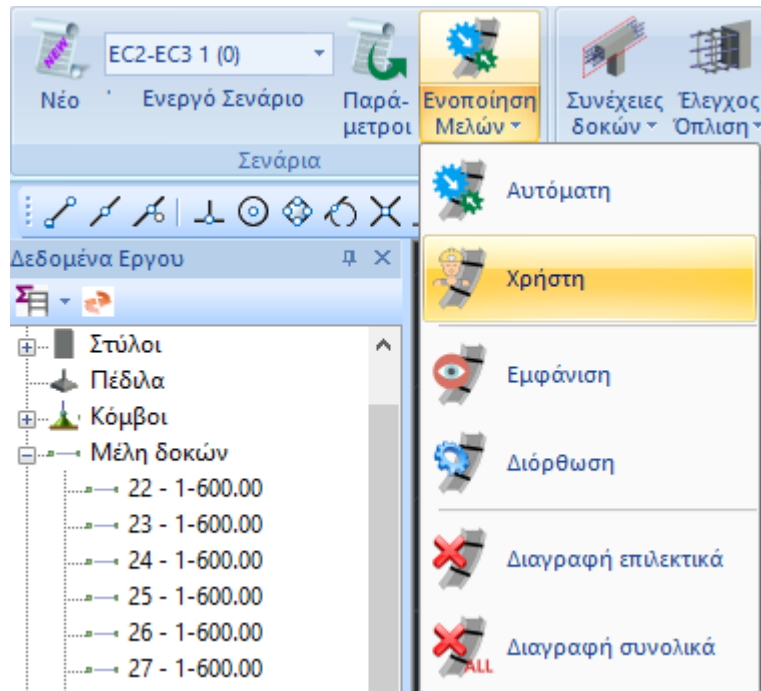


Εικόνα 159:Καθορισμός παραμέτρων θλίψης, κάμψης, κάμψης & αξονικής, κάμψης & διάτμησης & αξονικής & διάτμησης & αξονικής

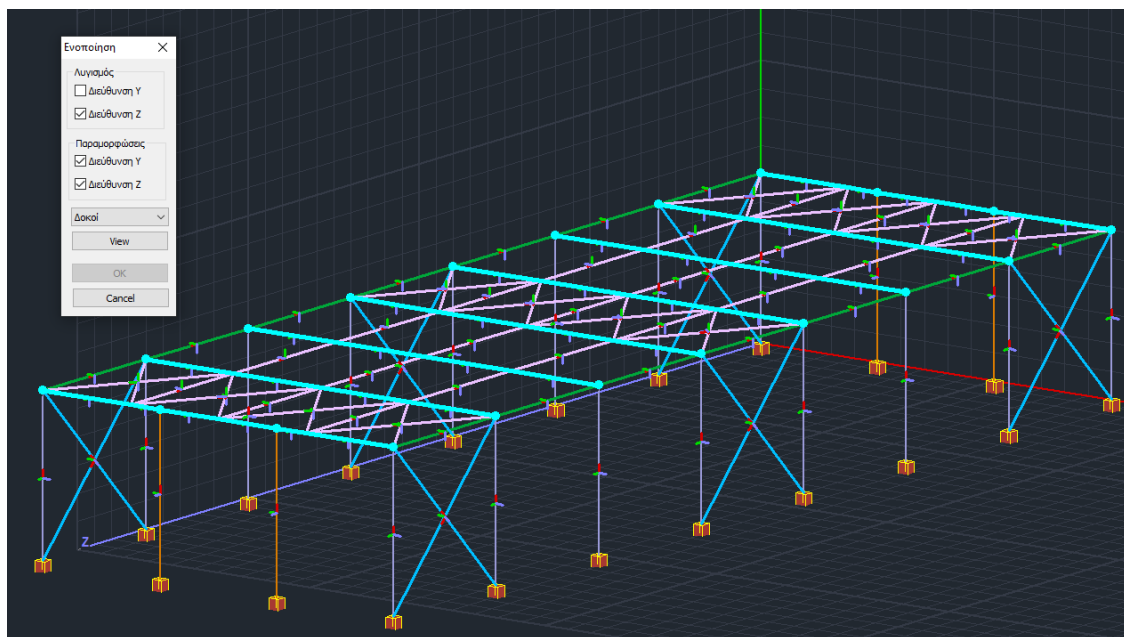
Στη συνέχεια μέσω του πεδίου "Ενοποίηση Μελών" ορίζονται τα κρίσιμα μήκη λυγισμού των μελών είτε με αυτοματοποιημένο είτε με χειροκίνητο τρόπο. Για το φορέα μας επιλέγουμε την εισαγωγή με χειροκίνητο τρόπο.

Στα υποστυλώματα, στα μέλη των οριζόντιων και κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας καθώς και στις κεφαλοδοκούς δεδομένου πως δεν υπάρχουν μέλη που να συνδέονται ενδιάμεσα στο μήκος των μελών αυτών, ορίζεται πως για τον λυγισμό που προκαλεί η ροπή M_y (στροφή περί τον άξονα $y-y$), δηλαδή λυγισμό εκτός επιπέδου καθώς και για τον λυγισμό που προκαλεί η ροπή M_z (στροφή περί τον άξονα $z-z$), δηλαδή λυγισμό εντός επιπέδου, τα μέλη πρέπει να ληφθούν ενοποιημένα, δηλαδή το συνολικό μήκος τους.

Από την άλλη για τις κύριες δοκούς όπου στη διεύθυνση y (κατά τους τοπικούς άξονες) συντρέχουν τα μέλη των συνδέσμων δυσκαμψίας κάθετα στο μήκος του μέλους σαν μήκος λυγισμού L_z θα ληφθεί το μήκος του κάθε μέλους από το σημείο αρχής μέχρι το σημείο διακοπής παρεμβολής εγκάρσιου μέλους μιας και στηρίζονται πλευρικά από τα μέλη των οριζόντιων συνδέσμων. Για το λυγισμό που προκαλεί η ροπή M_z (στροφή περί τον άξονα $z-z$), δηλαδή λυγισμό εντός επιπέδου, οι δοκοί θεωρείται ότι δεν στηρίζονται πλευρικά από κάποιο άλλο μέλος και έτσι σαν μήκος λυγισμού L_z θα ληφθεί το μήκος του κάθε μέλους. Εξαιρέση αποτελούν τα δύο ακραία μέλη δοκών που στη διεύθυνση M_z υπάρχουν μετωπικοί στύλοι.



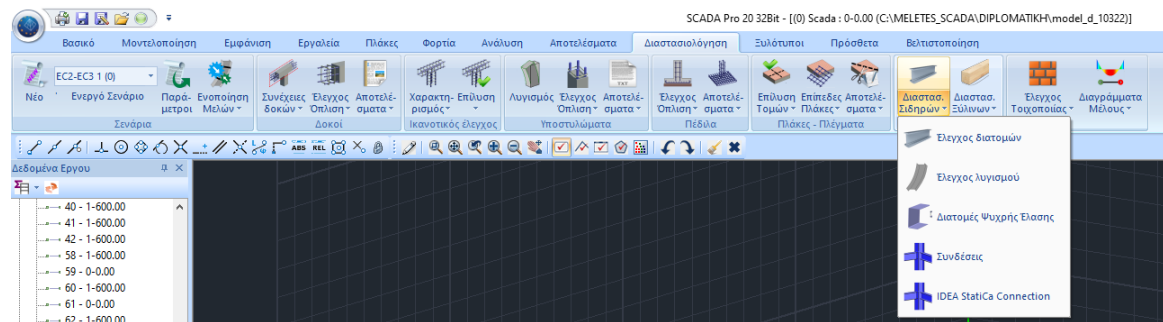
Εικόνα 160: Εντολή επεξεργασίας κρίσιμου μήκους λυγισμού μελών



Εικόνα 161: Εμφάνιση ενοποιημένων δοκών

Αφού ολοκληρώσουμε τη διαδικασία καθορισμού των παραμέτρων σχεδιασμού, προχωρούμε στη διαστασιολόγηση του φορέα με σκοπό τον έλεγχο αντοχής σε επίπεδο διατομής και μέλους και παρουσίασης των αποτελεσμάτων γραφικά και αναλυτικά με κριτήριο τον συντελεστή εξάντλησης.

5.9.3.2 Διαστασιολόγηση – Έλεγχος διατομών



Εικόνα 162: Πίνακας εντολών διαστασιολόγησης

Για τον έλεγχο των μελών σε επίπεδο διατομής επιλέγουμε την εντολή **"Έλεγχος διατομών"**.

Με την επιλογή **"Διαστασιολόγηση Όλων"** γίνεται η διαστασιολόγηση (ο έλεγχος των διατομών) όλων των layer και το πρόγραμμα "χρωματίζει" το κάθε layer πράσινο εάν όλα τα στοιχεία που συμμετέχουν σε αυτό δεν αστοχούν και κόκκινο εάν κάποια από αυτά αστοχούν.

Διαστασιολόγηση Σιδηρών (Layer)

Όνομασία	Διατομή 1	Διατομή 2	Διατομή 3	Διατομή 4	Διατομή 5
Μεταλλικές Δοκοί	HEA 140				
Πλέγμα Επιφάνειας					
Μαθηματικό Μοντέλο					
Μαθηματικό Επιφανειακό					
Πλέγμα 3D					
Πλέγμα 2D					
Πλάκες-Τομές					
Μεταλ. Υποστυλώματα	HEA 320				
Μεταλ. Δοκοί	IPE 400				
Μεταλ. Κεφαλοδοκοί	HEA 140	HEA 160			
Μεταλ. Τεγίδες					
Μεταλ. Μηκίδες					
Μεταλ. Μετωπικοί	IPE 240				
Μεταλ. Ανταν. Οριζόντια	CHS 88,9X3,2	CHS 88,9X3,2			
Μεταλ. Ανταν. Κατακόρυφα	CHS 114,3X3,6				

Εικόνα 163: Αποτελέσματα ελέγχου διαστασιολόγησης

Παρατηρούμε πως όλες οι διατομές που έχουμε επιλέξει για το κάθε μέλος επαρκούν. Για περαιτέρω αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων, επιλέγουμε την ομάδα layer που θέλουμε να μελετήσουμε και επιλέγουμε επεξεργασία όπου εμφανίζονται αναλυτικά (εικόνα 164) τα αποτελέσματα ελέγχου.

Για κάθε layer που έχουμε δημιουργήσει π.χ Μεταλλικές Δοκοί και για κάθε διαφορετική διατομή που έχει χρησιμοποιηθεί σε αυτό το layer, υπολογίζονται από όλους τους

συνδυασμούς των εξωτερικών φορτίσεων και για κάθε ένα από τα 6 εντατικά μεγέθη (M_x , M_y , M_z , Q_x , Q_y , Q_z , οι 6 στήλες στο πλαίσιο διαλόγου όπως φαίνεται στην εικόνα 164) η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του, καθώς και οι τιμές των υπόλοιπων εντατικών μεγεθών που αντιστοιχούν στο συνδυασμό αυτό. Έτσι, προκύπτουν 2 εξάδες για κάθε εντατικό μέγεθος (μία για τη μέγιστη και μία για την ελάχιστη τιμή του)

Διαστασιολόγηση Σιδηρών - Στοιχεία Layer ✕

Layer: **Μεταλ.Υποστυλώματα** **ΙΚΑΝΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ** Προσαύξηση λόγω Ικανοτικού Ελέγχου

Διαφορετικές Διατομές: HEA 320

Περιγραφή	Μέλος	Συνδ.	ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΛΕΓΧΩΝ						OXI	Auto	N	M	V	Mx	M-N	M-V	M-V-N	
			N	Vy	Vz	Mx	My	Mz										
MaxN (kN)	10	120	218.44	-0.44	-73.23	-0.00	-141.41	-2.68	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MinN (kN)	16	147	-68.93	-1.41	11.92	0.00	-20.74	-0.28	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MaxQY (kN)	1	122	66.40	12.00	-7.75	0.01	-12.41	18.05	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MinQY (kN)	8	122	53.78	-11.84	-7.90	-0.01	-12.72	-17.11	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MaxQZ (kN)	3	105	174.65	0.70	87.65	-0.00	171.13	2.69	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MinQZ (kN)	11	105	174.47	0.27	-87.61	0.00	-170.99	1.59	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MaxMX (kNm)	16	128	-22.50	-10.80	16.66	0.01	41.23	-10.88	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MinMX (kNm)	9	128	0.83	10.59	16.64	-0.01	41.12	9.63	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MaxMY (kNm)	12	105	152.58	0.12	-75.61	0.00	299.28	0.05	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MinMY (kNm)	5	105	146.10	-0.04	75.61	-0.00	-299.28	-0.03	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MaxMZ (kNm)	1	122	66.40	12.00	-7.75	0.01	-12.41	18.05	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MinMZ (kNm)	8	122	53.78	-11.84	-7.90	-0.01	-12.72	-17.11	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Χρήστης			<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Για όλα τα μέλη που ανήκουν σε αυτό το GROUP									32 / 32	<input type="checkbox"/>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

OK Cancel **Διαστασιολόγηση Layer** Διερεύνηση Layer Αποτελέσματα Τεύχους

Εικόνα 164: Αναλυτική παρουσίαση εντατικών μεγεθών που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό

Αφού επιλέξω χειροκίνητα ποιοι έλεγχοι θέλω να πραγματοποιηθούν, με την εντολή **“Διαστασιολόγηση Layer”** προχωρώ σε έλεγχο των μελών του αντίστοιχου Layer.

Από τα αποτελέσματα διαπιστώνω πως το υποστυλώμα με τη μέγιστη αξονική δύναμη είναι το υπ' αριθμόν 10 για το συνδυασμό 120 με τιμή $N = 218,44$ KN και αυτό με το μεγαλύτερο συντελεστή εξάντλησης κατά 55% το υποστυλώμα 12 για το συνδυασμό 105 όπου εμφανίζει τη μέγιστη ροπή $M_y = 299.28$ kNm.

Επιλέγοντας την εντολή **“Διερεύνηση Layer”** και **“Αποτελέσματα Τεύχους”**, μπορούμε να πάρουμε σε txt μορφή αναλυτικά τα χαρακτηριστικά, τις παραμέτρους και τους ελέγχους διαστασιολόγησης.

```

D016_000.txt - WordPad
File Edit View Insert Format Help
|*****|
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΙΔΗΡΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ
|*****|
Layer : Μεταλ.Υποστυλώματα
Διατομή : HEA 320
ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ
ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΥΠΟΥ I
h = 31.00 (cm)
d = 22.50 (cm)
b = 30.00 (cm)
tw = 0.90 (cm)
tf = 1.55 (cm)
A = 124.37 (cm2)
Iy = 22930.00 (cm4)
Iz = 6985.23 (cm4)
It = 107.97 (cm4)
Iw = 1512358.73 (cm6)
Wely = 1479.26 (cm3)
Welz = 465.68 (cm3)
Wply = 1628.09 (cm3)
Wplz = 709.74 (cm3)
Υλικό Διατομής : S355(Fe510) fy=355.00 MPa fu=510.00 MPa
-----
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ
Y_KB (Από το μέσο του κορμού) = 14.55 (cm)
Z_KB (Από το μέσο του άνω πέλματος) = 14.73 (cm)
ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
Y_ΠΛ (Από το μέσο του κορμού) = 14.55 (cm)
Z_ΠΛ (Από το μέσο του κάτω πέλματος) = 14.73 (cm)
ΚΕΝΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ
Y_ΚΔ (Από το Κέντρο Βάρους) = 0.00 (cm)
Z_ΚΔ (Από το Κέντρο Βάρους) = 0.00 (cm)
ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ (11)
1 Sy=0.0000000 Sz=0.0000000
2 Sy=342.3562500 Sz=174.3750000
3 Sy=342.3562500 Sz=174.3750000
4 Sy=0.0000000 Sz=0.0000000
5 Sy=342.3562500 Sz=0.0000000
6 Sy=-342.3562500 Sz=0.0000000
7 Sy=0.0000000 Sz=0.0000000
8 Sy=-342.3562500 Sz=-174.3750000
9 Sy=-342.3562500 Sz=-174.3750000
10 Sy=0.0000000 Sz=0.0000000
11 Sy=782.2840313 Sz=0.0000000
=====
1: N=-218.44 QY=-0.44 QZ=-73.23 MX=0.00 MY=-141.41 MZ=-2.68

```

Εικόνα 165: Παράθυρο "Διερεύνηση Layer"

DT016_000.txt - WordPad

File Edit View Insert Format Help

Layer : Μεταλ.Υποστυλώματα
 Διατομή : HEA 320
 h = 31.00 (cm) d = 22.50 (cm) b = 30.00 (cm)
 tw = 0.90 (cm) tf = 1.55 (cm)
 A = 124.37 (cm²)
 Iy = 22930.00 (cm⁴) Iz = 6985.23 (cm⁴)
 It = 107.97 (cm⁴) Iw = 1512358.73 (cm⁶)
 Υλικό Διατομής : S355(Fe510) fy=355.00 MPa fu=510.00 MPa

*****ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΙΔΗΡΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ*****

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ & ΑΞΟΝΙΚΗ : Μέλος : 10 Συνδυασμός : 120
 Έλεγχος σε κάμψη-διάτμηση-αξονική {prEN 1993-1-1: 2004(E) 6.2.10}
 Κατάταξη διατομής σε κάμψη = 2 (κορμού = 1, πελμάτων = 2)
 Αντοχή VplzRd = 843.0539
 Αντοχή VplyRd = 1906.1219

	N (kN)	My (kNm)	Mz (kNm)	Qy (kN)	Qz (kN)
Εντατικό Μέγεθος :	-218.44	-141.41	-2.68	-0.44	-73.23
Αντοχή Σχεδιασμού :	4415.05	577.97	251.96	1906.12	843.05
Λόγος :	0.21 (<=1.00)				

Το κριτήριο του λόγου αλληλ. η3 = 0.00 <= 1.00 Ικανοποιείται
 Το κριτήριο του λόγου αλληλ. = 0.00 <= 1.00 Ικανοποιείται
 Το κριτήριο του λόγου αλληλ. η3 = 0.11 <= 1.00 Ικανοποιείται
 Το κριτήριο του λόγου αλληλ. = 0.11 <= 1.00 Ικανοποιείται

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ & ΑΞΟΝΙΚΗ : Μέλος : 16 Συνδυασμός : 147
 Έλεγχος σε κάμψη-διάτμηση-αξονική {prEN 1993-1-1: 2004(E) 6.2.10}
 Κατάταξη διατομής σε κάμψη = 2 (κορμού = 1, πελμάτων = 2)
 Αντοχή VplzRd = 843.0539
 Αντοχή VplyRd = 1906.1219

	N (kN)	My (kNm)	Mz (kNm)	Qy (kN)	Qz (kN)
Εντατικό Μέγεθος :	68.93	-20.74	-0.28	-1.41	11.92
Αντοχή Σχεδιασμού :	4415.05	577.97	251.96	1906.12	843.05
Λόγος :	0.02 (<=1.00)				

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ & ΑΞΟΝΙΚΗ : Μέλος : 1 Συνδυασμός : 122
 Έλεγχος σε κάμψη-διάτμηση-αξονική {prEN 1993-1-1: 2004(E) 6.2.10}
 Κατάταξη διατομής σε κάμψη = 2 (κορμού = 1, πελμάτων = 2)
 Αντοχή VplzRd = 843.0539
 Αντοχή VplyRd = 1906.1219

	N (kN)	My (kNm)	Mz (kNm)	Qy (kN)	Qz (kN)
Εντατικό Μέγεθος :	-66.40	-12.41	18.05	12.00	-7.75
Αντοχή Σχεδιασμού :	4415.05	577.97	251.96	1906.12	843.05

Εικόνα 166: Παράθυρο "Αποτελέσματα Τεύχους"

5.9.3.3 Διαστασιολόγηση – Έλεγχος Λυγισμού

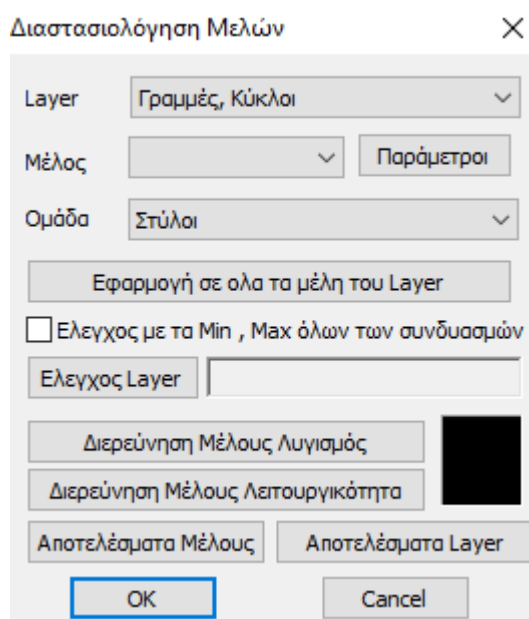
Με τη χρήση της εντολής αυτής γίνεται ο έλεγχος λυγισμού. Εκτελούνται δηλαδή για το κάθε μέλος που ανήκει στο συγκεκριμένο layer οι έλεγχοι:

- Οριακή Κατάσταση Αστοχίας
- Έλεγχος σε καμπτικό (πλευρικό) λυγισμό λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης
- Έλεγχος σε στρεπτικό λυγισμό λόγω καμπτικής ροπής.
- Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό λόγω ταυτόχρονης παρουσίας αξονικής θλιπτικής δύναμης και καμπτικής ροπής.

Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

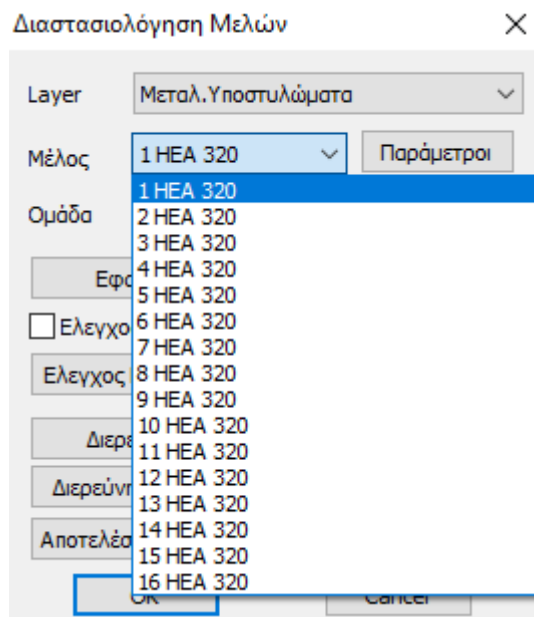
- Έλεγχος παραμόρφωσης μέλους
- Έλεγχος μετακίνησης άκρου (κόμβου)

Επιλέγοντας στο πεδίο **“Σιδηρά – Ξύλινα”** → **“Διαστασιολόγησης Σιδηρών”** την εντολή **“Έλεγχος λυγισμού”**, ανοίγει το παράθυρο (εικόνα 167) όπου μπορούμε να επιλέξουμε την ομάδα των μελών που θέλουμε να ελεγχθεί, το μέλος που επιθυμούμε, τους παραμέτρους ελέγχου

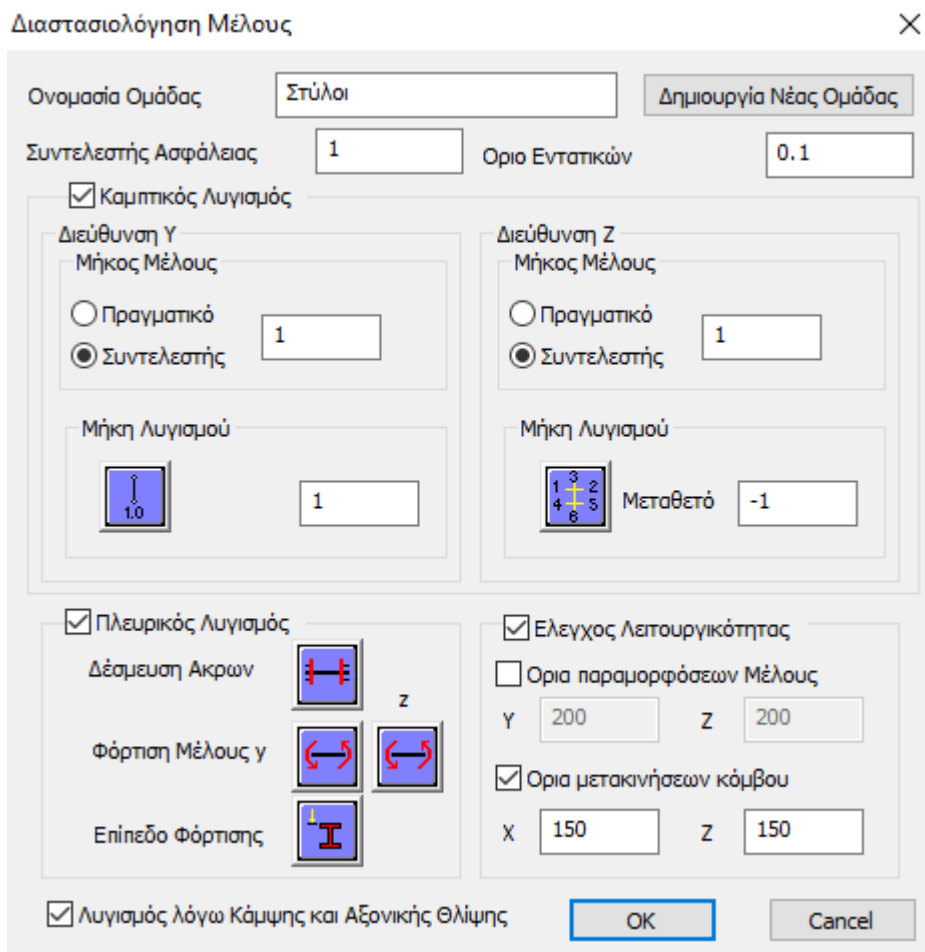


Εικόνα 167: Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων σχεδιασμού σε επίπεδο μέλους

Από το παράθυρο διαλόγου επιλέγουμε ως Layer τα **“Μεταλλικά Υποστυλώματα”** σε πρώτη φάση και στη συνέχεια στην ομάδα επιλέγουμε την ομάδα **“Στύλοι”**. Έπειτα επιλέγοντας την εντολή **“Παράμετροι”** προκύπτει το παράθυρο της εικόνας 169 όπου επιλέγουμε τους επιθυμητούς ελέγχους και τους παραμέτρους σχεδιασμού.



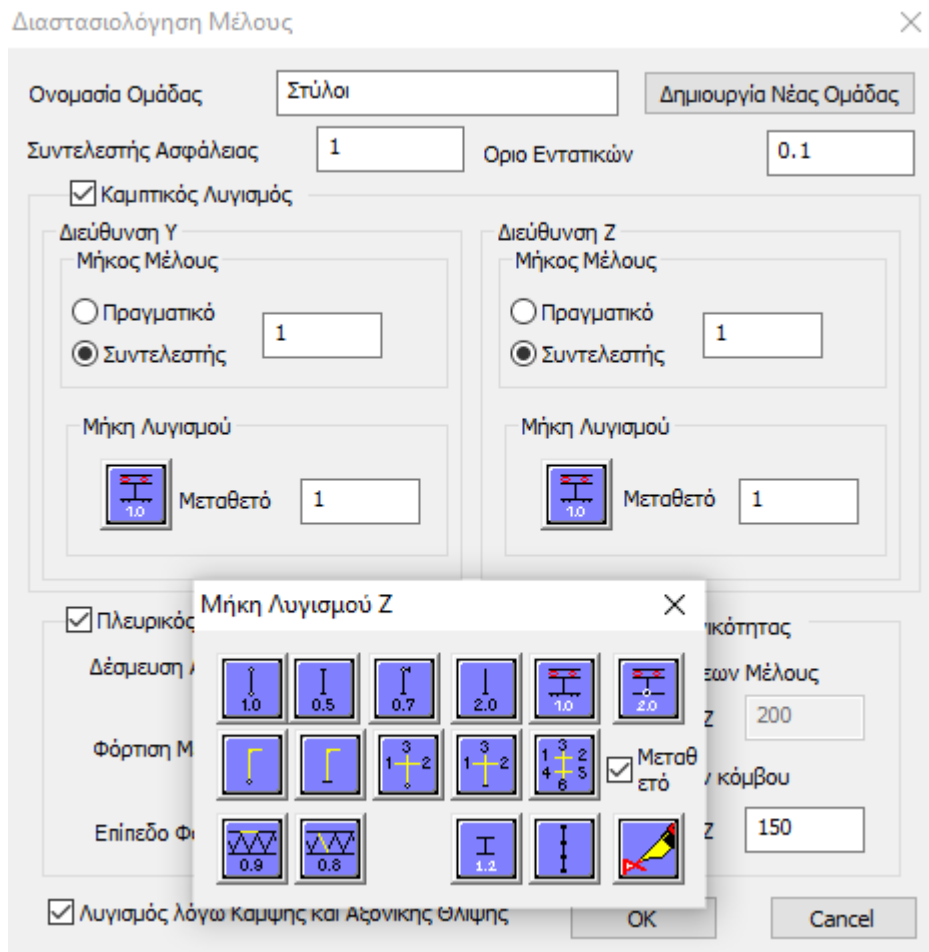
Εικόνα 168: Επιλογή μελών προς έλεγχο για την ομάδα layer που ανήκουν



Εικόνα 169: Πίνακας ορισμού παραμέτρων σχεδιασμού

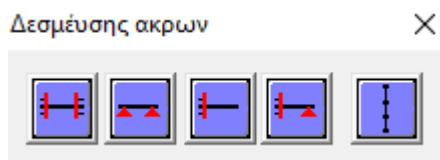
Σύμφωνα με το παράθυρο της εικόνας 170 για το φορέα μας και για την ομάδα των στυλών, επιλέγουμε:

1. Για το καμπτικό λυγισμό στη διεύθυνση Y και Z επιλέγουμε το συντελεστή 1 εφόσον θέλουμε να ληφθούν υπόψη τα πραγματικά μήκη των μελών και εφόσον σε προηγούμενο στάδιο έχουμε πραγματοποιήσει τη διαδικασία ενοποίησης μελών.
2. Ο συντελεστής για τα μήκη λυγισμού εξαρτάται από τις συνθήκες στήριξης των κόμβων των άκρων του μέλους μέσα στο επίπεδο λυγισμού, συνεπώς για τα υποστυλώματα στην εντός επιπέδου του πλαισίου διεύθυνση επιλέγεται η περίπτωση του υποστυλώματος να συνδέεται με μέλος (δοκός) και σύμφωνα με EN1993-1-1 § 6.3.1 υπολογίζεται ο συντελεστής υπολογισμού κρίσιμου μήκους. Στη διεύθυνση Z του καθολικού άξονα που υπάρχει πλευρική εξασφάλιση λόγω των συνδέσμων δυσκαμψίας, στην εκτός επιπέδου του πλαισίου διεύθυνση, λαμβάνεται συντελεστής 1 ($L_z = \beta \times L = 1$) ώστε να λαμβάνεται όλο το ενεργό μήκος του υποστυλώματος (5,80 μ)

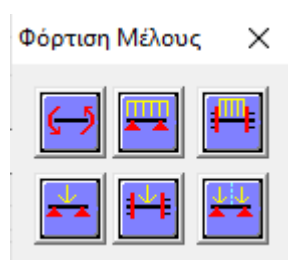


Εικόνα 170: Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων μήκους λυγισμού

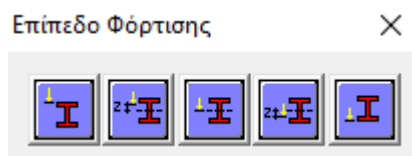
3. Στην ενότητα του Πλευρικού Λυγισμού ορίζω αρχικά εάν θέλω να γίνει ο έλεγχος του πλευρικού λυγισμού τσεκάροντας την αντίστοιχη επιλογή. Στη συνέχεια ορίζω τον τύπο της δέσμευσης των άκρων του στοιχείου, το τύπο φόρτισης του μέλους κατά τον τοπικό του άξονα y και z αντίστοιχα, το επίπεδο φόρτισης σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας του στοιχείου επιλέγοντας το κατάλληλο εικονίδιο σύμφωνα με EN1993-1-1 § 6.3.2.



Εικόνα 171: Τύπος δέσμευσης άκρου στύλων



Εικόνα 172: Τύπος φόρτισης στύλων



Εικόνα 173: Θέση επιβολής φορτίου

4. Η τρίτη ενότητα των παραμέτρων αφορά στις παραμέτρους της λειτουργικότητας όπου ορίζουμε εάν θέλουμε να γίνει ο έλεγχος λειτουργικότητας, οι επιμέρους έλεγχοι Παραμορφώσεων Μέλους και Μετακινήσεων Κόμβου. (σύμφωνα με EN1993-1-1 § 6.3.1 και EN 1990 §1.4.3).

Για τις οριζόντιες παραμορφώσεις λαμβάνουμε όριο $h/150$ ενώ οι κατακόρυφες παραμορφώσεις δεν λαμβάνονται υπόψη για τα υποστυλώματα.

Μετά από την ανωτέρω διαδικασία και επιλέγοντας την εντολή **“Εφαρμογή σε όλα τα μέλη του layer”** αντιγράφουμε τις παραμέτρους που ορίσαμε σε προηγούμενο στάδιο σε όλα τα μέλη ενώ στο τέλος με την εντολή **“Έλεγχος Layer”** ολοκληρώνεται η διαδικασία ελέγχου.

Στο παρακάτω παράθυρο παρατηρούμε το πλαίσιο με πράσινη ένδειξη που υποδηλώνει ότι τα μέλη των στύλων επαρκούν σύμφωνα με τους ελέγχους.

Διαστασιολόγηση Μελών

Layer: Μεταλ.Υποστυλώματα

Μέλος: 1 HEA 320 Παράμετροι

Ομάδα: Στύλοι

Εφαρμογή σε όλα τα μέλη του Layer

Ελεγχος με τα Min , Max όλων των συνδυασμών

Ελεγχος Layer: Μέλ: 16/16 Συνδ: 201/201

Διερεύνηση Μέλους Λυγισμός

Διερεύνηση Μέλους Λειτουργικότητα

Αποτελέσματα Μέλους Αποτελέσματα Layer

OK Cancel

Εικόνα 174:Χρωματική ένδειξη επάρκειας ομάδας layer

Κάνοντας κλικ στη θέση του πλαισίου με τη χρωματική ένδειξη μπορούμε να δούμε αναλυτικά στο αναδυόμενο παράθυρο τα αποτελέσματα των ελέγχων όπου σε κάθε στήλη φαίνεται ο δυσμενέστερος λόγος αντοχής για κάθε μέλος και ο αριθμός του συνδυασμού από τον οποίο αυτός ο λόγος προήλθε.

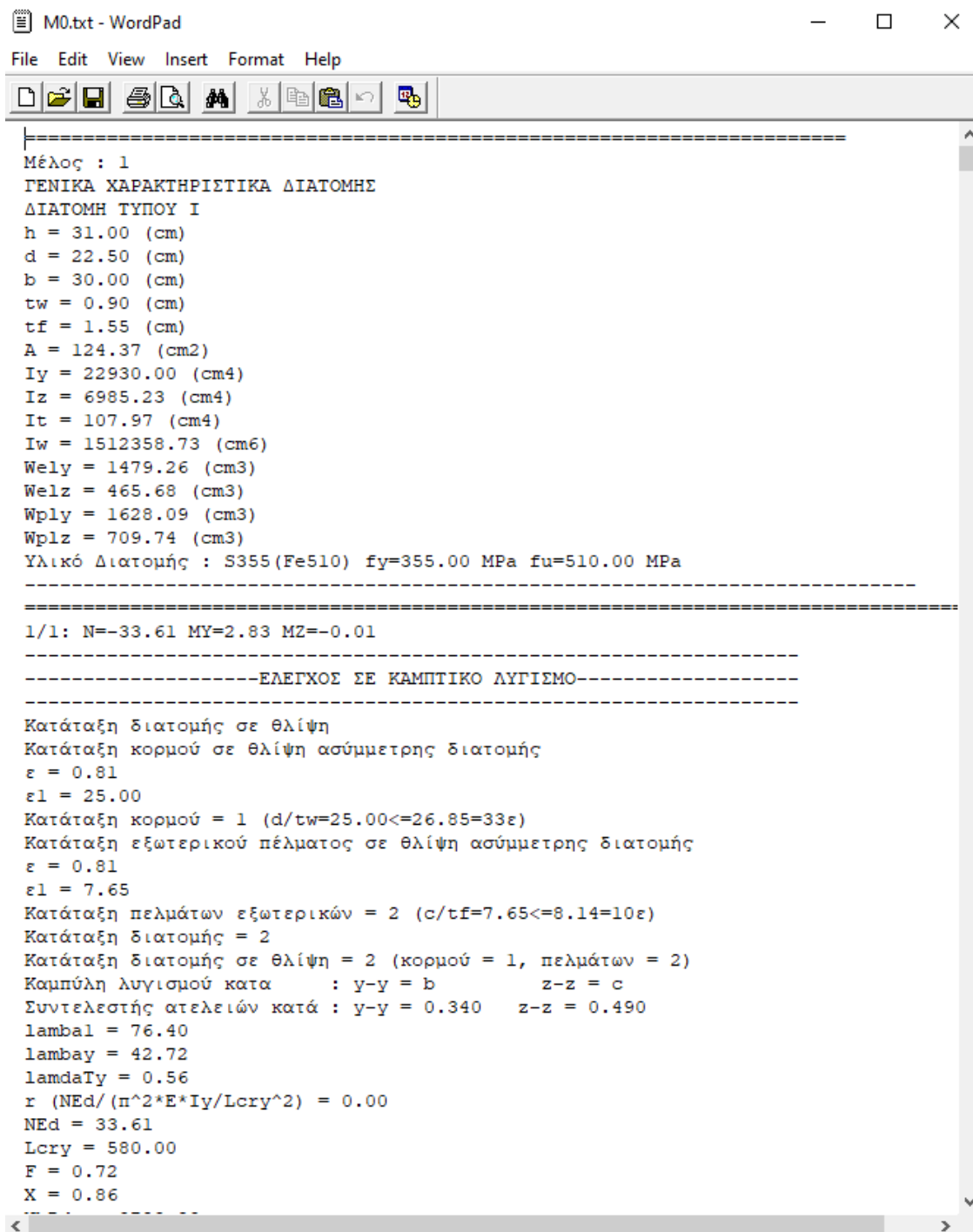
Αποτελέσματα Ελέγχου Μελών

Μέλος	Διατομή	Καμπτικός	Πλευρικός	Στρεπκ.	Λεπ.Παραμ	Λεπ.Μετακ
1	HEA 320	132/0.04	194/0.12	194/0.12		181/0.11
2	HEA 320	120/0.08	106/0.51	120/0.51		170/0.09
3	HEA 320	105/0.07	105/0.53	105/0.53		170/0.12
4	HEA 320	109/0.07	105/0.53	109/0.52		170/0.11
5	HEA 320	109/0.08	105/0.53	105/0.52		170/0.12
6	HEA 320	109/0.07	105/0.53	105/0.52		170/0.12
7	HEA 320	109/0.09	105/0.53	109/0.53		170/0.09
8	HEA 320	131/0.03	194/0.12	194/0.12		170/0.09
9	HEA 320	130/0.04	197/0.12	197/0.12		181/0.10
10	HEA 320	120/0.09	104/0.51	108/0.52		164/0.09
11	HEA 320	109/0.07	105/0.53	105/0.53		164/0.12
12	HEA 320	109/0.07	105/0.53	105/0.53		164/0.12
13	HEA 320	109/0.08	105/0.53	109/0.52		164/0.12
14	HEA 320	105/0.07	105/0.53	105/0.52		164/0.12
15	HEA 320	109/0.09	105/0.53	109/0.53		164/0.09
16	HEA 320	130/0.06	197/0.12	197/0.12		164/0.09

TXT OK

Εικόνα 175:Πίνακας συντελεστών εξάντλησης μελών για κάθε έλεγχο

Με τις εντολές **“Διερεύνηση μέλους λυγισμός”** και **“Διερεύνηση μέλους λειτουργικότητα”** μπορώ να μελετήσω τα παραγόμενα αποτελέσματα στα τεύχη αναφοράς.



```

M0.txt - WordPad
File Edit View Insert Format Help
-----
Μέλος : 1
ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ
ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΥΠΟΥ I
h = 31.00 (cm)
d = 22.50 (cm)
b = 30.00 (cm)
tw = 0.90 (cm)
tf = 1.55 (cm)
A = 124.37 (cm2)
Iy = 22930.00 (cm4)
Iz = 6985.23 (cm4)
It = 107.97 (cm4)
Iw = 1512358.73 (cm6)
Wely = 1479.26 (cm3)
Welz = 465.68 (cm3)
Wply = 1628.09 (cm3)
Wplz = 709.74 (cm3)
Υλικό Διατομής : S355(Fe510) fy=355.00 MPa fu=510.00 MPa
-----
l/1: N=-33.61 MY=2.83 MZ=-0.01
-----
-----ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΠΤΙΚΟ ΛΥΓΙΣΜΟ-----
-----
Κατάταξη διατομής σε θλίψη
Κατάταξη κορμού σε θλίψη ασύμμετρης διατομής
ε = 0.81
ε1 = 25.00
Κατάταξη κορμού = 1 (d/tw=25.00<=26.85=33ε)
Κατάταξη εξωτερικού πέλματος σε θλίψη ασύμμετρης διατομής
ε = 0.81
ε1 = 7.65
Κατάταξη πελμάτων εξωτερικών = 2 (c/tf=7.65<=8.14=10ε)
Κατάταξη διατομής = 2
Κατάταξη διατομής σε θλίψη = 2 (κορμού = 1, πελμάτων = 2)
Καμπύλη λυγισμού κατά : y-y = b z-z = c
Συντελεστής ατελειών κατά : y-y = 0.340 z-z = 0.490
lambda1 = 76.40
lambda_y = 42.72
lambdaIy = 0.56
r (NEd/(π^2*E*Iy/Lcry^2)) = 0.00
NEd = 33.61
Lcry = 580.00
F = 0.72
X = 0.86
-----

```

Εικόνα 176: Παραγόμενο τεύχος αποτελεσμάτων "Διερεύνηση μέλους λυγισμός"

```

M0.txt - WordPad
File Edit View Insert Format Help
-----
Μέλος : 1
ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ
ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΥΠΟΥ Ι
h = 31.00 (cm)
d = 22.50 (cm)
b = 30.00 (cm)
tw = 0.90 (cm)
tf = 1.55 (cm)
A = 124.37 (cm2)
Iy = 22930.00 (cm4)
Iz = 6985.23 (cm4)
It = 107.97 (cm4)
Iw = 1512358.73 (cm6)
Wely = 1479.26 (cm3)
Welz = 465.68 (cm3)
Wply = 1628.09 (cm3)
Wplz = 709.74 (cm3)
Υλικό Διατομής : S355(Fe510) fy=355.00 MPa fu=510.00 MPa
-----
Σχετική Μετακίνηση (κατά XX καθολικό) Δumax = 0.000 (cm)
L/150.00 = 3.87 (cm)
Συνδυασμός : 99
(Δumax/L/150.00 = 0.00 <= 1.00
Ο Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης (XX καθολικό) Ικανοποιείται
Σχετική Μετακίνηση (κατά ZZ καθολικό) Δumax = 0.001 (cm)
L/150.00 = 3.87 (cm)
Συνδυασμός : 99
(Δumax/L/150.00 = 0.00 <= 1.00
Ο Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης (ZZ καθολικό) Ικανοποιείται
-----
Μέλος : 1
Σχετική Μετακίνηση (κατά XX καθολικό) Δumax = 0.000 (cm)
L/150.00 = 3.87 (cm)
Συνδυασμός : 100
(Δumax/L/150.00 = 0.00 <= 1.00
Ο Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης (XX καθολικό) Ικανοποιείται
Σχετική Μετακίνηση (κατά ZZ καθολικό) Δumax = 0.000 (cm)
L/150.00 = 3.87 (cm)
Συνδυασμός : 100
(Δumax/L/150.00 = 0.00 <= 1.00
Ο Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης (ZZ καθολικό) Ικανοποιείται
-----
Μέλος : 1
Σχετική Μετακίνηση (κατά XX καθολικό) Δumax = 0.000 (cm)
L/150.00 = 3.87 (cm)
Συνδυασμός : 101

```

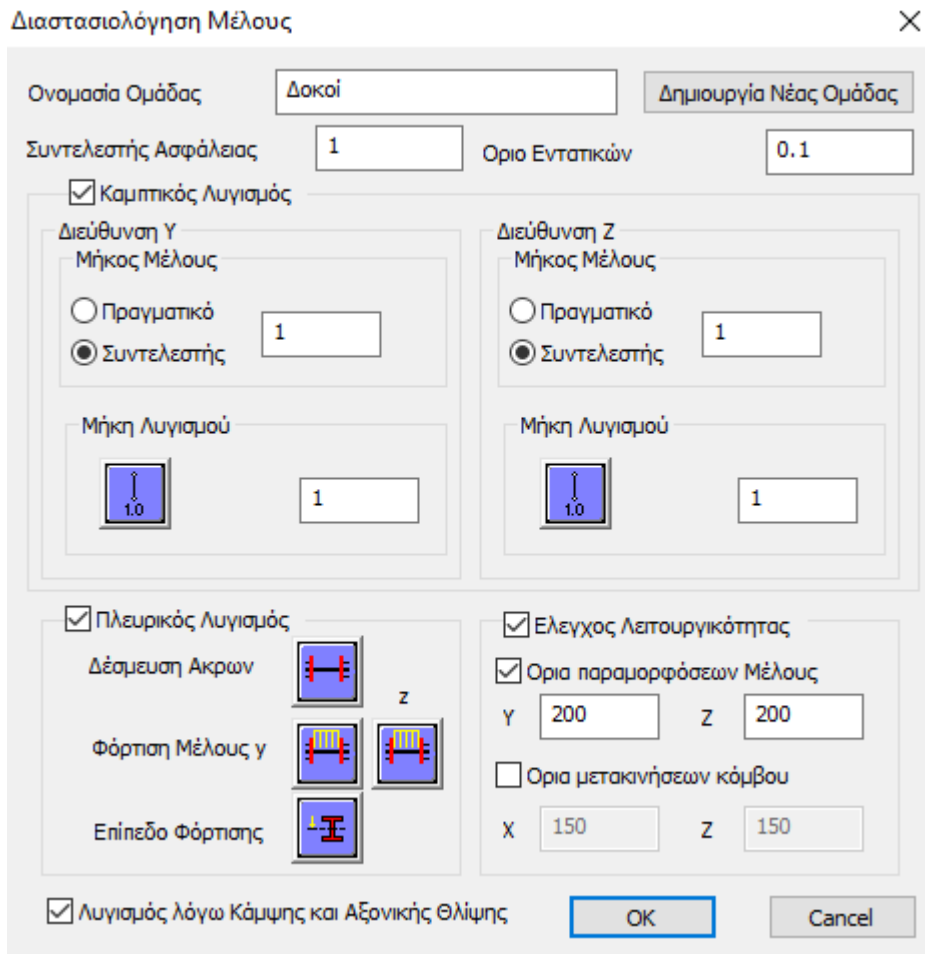
Εικόνα 177: Παραγόμενο τεύχος αποτελεσμάτων "Διερεύνηση μέλους λειτουργικότητα"

Μπορώ επιπρόσθετα από την εντολή "Αποτελέσματα Μέλους" να πάρω αναλυτικά το τεύχος με τους υπολογισμούς σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 για κάθε έλεγχο όπως φαίνεται παρακάτω.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΙΔΗΡΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΩΝ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ											
Layer :	Μεταλ.Υποστυλώματα										
Μέλος	1	HEA 320									
Κόμβος Αρχής	1	Κόμβος Τέλους		2							
Ενοποίηση y-y		cm									
Ενοποίηση z-z		cm									
ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΣ (§6.3.1)					ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΣ ΛΟΓΩ ΚΑΜΨΗΣ (ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΣ) (§6.3.2)						
Τελική Κατάταξη διατομής σε θλίψη:				2		Διεύθυνση y-y				Συνδυασμός: 194 / 1	
Κορμού	1	Πελμάτων		0		2		Εντατικά Μεγέθη		N (kN) = -41.91	
Συνδυασμός				132 / 1		M _y (kNm) = 66.03		M _z (kNm) = 0.44			
Εντατικά Μεγέθη		N (kN) = -101.12		M _y (kNm) = 66.03		M _z (kNm) = 0.44					
M _y (kNm) = 39.82		M _z (kNm) = 11.02									
Μέγεθος			Τιμή			Μέγεθος			Τιμή		
L _{cr,y}			580.00			L _{cr,y}			580.00		
Καμπύλη			b			Συντελεστής K			0.50		
Συντ. ατελειών α			0.340			Συντελεστής c ₁ (M _{cr})			1.44		
λ ₁			76.399			Συντελεστής c ₂ (M _{cr})			0.00		
λ*			42.716			Συντελεστής c ₃ (M _{cr})			2.28		
λ _T			0.559			z ₀ (M _{cr})			0.00		
N _{Ed}			101.12			M _{cr}			2529		
N _{cr}			14128			λ _{T,bar} ***			0.478		
N _{Ed} /N _{cr} **			0.00716			Φ _{L,T}			0.643		
χ			1.000			χ _{L,T}			0.931		
N _{b,Rd}			3783.931			M _{y,Ed} /M _{cr} ****			66.035		
N _{Ed} /N _{b,Rd}			0.027			M _{v,Ed} /M _{cr} ****			0.026		
ΕΠΑΡΚΕΙΑ			Ναι			M _{b,Rd}			538.070		
						M _{v,Ed} /M _{b,Rd}			0.123		
ΕΠΑΡΚΕΙΑ			Ναι			ΕΠΑΡΚΕΙΑ			Ναι		
ΛΥΓΙΣΜΟΣ ΛΟΓΩ ΚΑΜΨΗΣ ΚΑΙ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ (§6.3.3)											
Τελική Κατάταξη διατομής				2		Συνδυασμός: 194 / 1		N (kN) = -41.91			
Κορμού	1	Πελμάτων		0		2		M _y (kNm) = 66.03		M _z (kNm) = 0.44	
Μέγεθος			Τιμή			Υπολογισμός M _{cr}					
L _{cr}			580.00			Μέγεθος			Τιμή		
Καμπύλη λυγισμού			b			Συντελεστής K			0.500		
Συντελεστής ατελειών α			0.340			Συντελεστής c ₁			1.435		
λ ₁			76.399			Συντελεστής c ₂			0.000		
λ			42.716			Συντελεστής c ₃			2.276		
λ _T			0.559			z ₀			0.000		
χ			0.857			M _{cr}			2529		
Ratio (1) Εξ.6.61			0.119			λ _{T,bar} ***			0.478		
Ratio (2) Εξ.6.62			0.074			Φ _{L,T}			0.643		
ΕΠΑΡΚΕΙΑ			Ναι			χ _{L,T}			0.931		
*Αν λ ≤ 0.2 ο έλεγχος αγνοείται					***Αν λ _{T,bar} ≤ 0.2 ο έλεγχος αγνοείται						
Αν N _{Ed} /N _{cr} ≤ 0.04 ο έλεγχος αγνοείται					**Αν M _{y,Ed} /M _{cr} ≤ 0.04 ο έλεγχος αγνοείται						
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΛΩΝ (ΤΟΠΙΚΟΙ ΑΞΟΝΕΣ)					ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ (ΚΑΘΟΛΙΚΟΙ ΑΞΟΝΕΣ)						
Μέγεθος			Τιμή		Συνδ.		Μέγεθος			Τιμή	
δ _{max}			cm				Χ-Χ			Z-Z	
L _{cr}			cm				Δu _{max}			181	
Συντελεστής							L _{cr}			580.00	
Ratio							Συντελεστής			150.00	
ΕΠΑΡΚΕΙΑ							Ratio			0.043	
							ΕΠΑΡΚΕΙΑ			Ναι	
										Ναι	

Εικόνα 178: Τεύχος αναλυτικών υπολογισμών έναντι ελέγχων λυγισμού

Στη συνέχεια από το παράθυρο διαλόγου επιλέγουμε ως Layer τα **“Μεταλλικά Δοκοί”** σε πρώτη φάση και στη συνέχεια στην ομάδα επιλέγουμε την ομάδα **“Δοκοί Κύριοι”**. Έπειτα ακολουθώντας τη διαδικασία που περιεγράφηκε για τα υποστυλώματα ορίζονται και οι παράμετροι για τις δοκούς όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 179:Ορισμός παραμέτρων δοκών

Για το καμπικό λυγισμό στη διεύθυνση Y και Z επιλέγουμε το συντελεστή 1 εφόσον θέλουμε να ληφθούν υπόψη τα πραγματικά μήκη των μελών και εφόσον σε προηγούμενο στάδιο έχουμε πραγματοποιήσει τη διαδικασία ενοποίησης μελών.

Ο συντελεστής για τα μήκη λυγισμού σύμφωνα με τις συνθήκες στήριξης δίνεται 1.

Στην ενότητα του Πλευρικού Λυγισμού δίνονται αντίστοιχα ο τύπος της δέσμευσης των άκρων του στοιχείου, η παράμετρος που αφορά στον τύπο φόρτισης του μέλους κατά τον τοπικό του άξονα γ και z και η παράμετρος που αφορά το επίπεδο φόρτισης σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας του στοιχείου.

Για τον έλεγχο λειτουργικότητας των μελών των δοκών ελέγχουμε τις Μετακινήσεις Κόμβων λαμβάνοντας όριο L/200.

Αποτελέσματα Ελέγχου Μελών

Μέλος	Διατομή	Καμπτικός	Πλευρικός	Στρεπρ.κ.	Λεπ.Παραμ	Λεπ.Μετακ
22	IPE 400	106/0.03	104/0.74	104/0.62	167/0.71	
23	IPE 400	106/0.03	105/0.76	105/0.64	155/0.74	
24	IPE 400	110/0.03	105/0.76	105/0.65	155/0.75	
25	IPE 400	110/0.03	105/0.76	105/0.64	155/0.75	
26	IPE 400	106/0.03	105/0.76	105/0.64	155/0.74	
27	IPE 400	106/0.03	105/0.76	105/0.64	155/0.75	
28	IPE 400	198/0.01	109/0.07	51/0.13	158/0.19	
58	IPE 400	198/0.01	110/0.07	35/0.14	174/0.09	
71	IPE 400	194/0.00	197/0.11	197/0.13	177/0.06	
73	IPE 400	194/0.00	197/0.11	197/0.13	178/0.06	
74	IPE 400	139/0.01	108/0.07	35/0.14	158/0.21	
75	IPE 400	198/0.01	110/0.07	51/0.13	174/0.09	
76	IPE 400	104/0.03	105/0.76	105/0.65	155/0.75	
77	IPE 400	104/0.04	109/0.65	109/0.55	155/0.75	
78	IPE 400	106/0.04	109/0.65	109/0.55	155/0.75	
79	IPE 400	106/0.03	105/0.76	105/0.64	155/0.74	

Εικόνα 180: Αποτελέσματα ελέγχου δοκών έναντι λυγισμού

Όσον αφορά τα υπόλοιπα μέλη ακολουθώντας την ίδια διαδικασία ορίζουμε τις παραμέτρους σχεδιασμού έναντι καμπτικού λυγισμού και προχωρούμε στον έλεγχο σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 3.

Τέλος στην επιφάνεια εργασίας και πατώντας δεξιά κλικ, επιλέγοντας την εντολή **“Εμφάνιση Χρωματικών Διαβαθμίσεων”**, στο αναδυόμενο παράθυρο αφού επιλέξουμε τα μέλη που θέλουμε να δούμε καθώς και το μέγεθος εντατικών μεγεθών από το οποίο προκύπτουν οι συντελεστές εξάντλησης, μπορούμε να δούμε γραφικά με χρωματική διαβάθμιση τη διακύμανση του λόγου εξάντλησης ε κάθε μέλος.

Εμφάνιση μεγεθών με χρωματική διαβάθμιση

Σιδηρά Υποστυλώματα

Λόγοι εξάντλησης Auto Πάνω Υ

Εύρος τιμών

Εμφάνιση μόνο αυτών που αστοχούν (λόγος > 1)

Από 0 Εως 0 Εμφάνιση Τιμών

OK Cancel

Εικόνα 181: Πίνακας επιλεγής εμφάνισης λόγου εξάντλησης μελών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συγκριτική αξιολόγηση προγραμμάτων σχεδιασμού

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν μέσα από την επίλυση και το σχεδιασμό ενός απλού θεωρητικού μοντέλου να διερευνήσουμε κατά το δυνατόν τις δυνατότητες του Sap2000 και του Scada Pro και να εξάγουμε συμπεράσματα για την ευχρηστία τους, την αξιοπιστία των παραγόμενων αποτελεσμάτων, τη δυνατότητα παραμετροποίησης από το χρήστη και τέλος τον αποτελεσματικό και ασφαλή σχεδιασμό της κατασκευής μας.

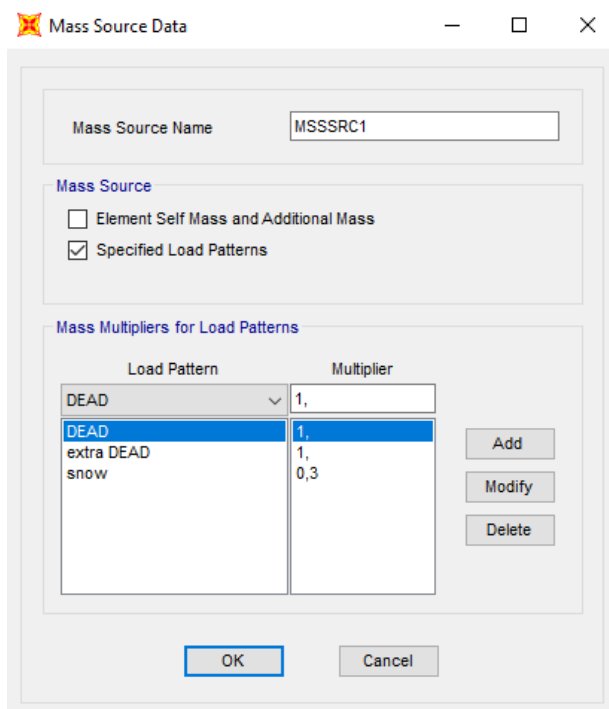
Ο σχεδιασμός του υπό μελέτη κτιρίου γίνεται με βάση την επάρκεια του σε καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. Από τη μελέτη και στα δύο λογισμικά προέκυψε ότι η κατασκευή μας είναι ικανή να παραλάβει τις καταπονήσεις από τα προβλεπόμενα φορτία σχεδιασμού, ενώ τα αποτελέσματα όλων των ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν βρέθηκαν εντός των προβλεπόμενων από τους κανονισμούς ορίων.

6.1 Σε επίπεδο μοντελοποίησης

Σε επίπεδο μοντελοποίησης του φορέα και τα δύο προγράμματα προσφέρουν ευελιξία στο τρόπο καθορισμού των υλικών ή ορισμού νέων, διαθέτουν βιβλιοθήκη με τυποποιημένες διατομές ενώ στο τρόπο δημιουργίας του φορέα διαθέτουν και τα δύο τη δυνατότητα άμεσης κατασκευής τυπικών μοντέλων ή με το χέρι δημιουργία οποιαδήποτε γεωμετρίας φορέα βήμα προς βήμα. Παράλληλα διαπιστώνουμε πως και στα δύο λογισμικά έχουμε την δυνατότητα επιλογών εμφάνισης του φορέα σε 3d ή σε 2d διαστάσεις, με επιλογές προβολής παραμέτρων και χαρακτηριστικών του φορέα και των μελών του. Τέλος και στα δύο προγράμματα το κεντρικό μενού εξελίσσεται μέσα από ένα δέντρο πλοήγησης και ο χρήστης άμεσα μπορεί να εξελίξει το σχεδιασμό του με μία λογική σειρά.

Το Scada Pro δεδομένου ότι αποτελεί ένα πρόγραμμα περισσότερο εμπορικό διαθέτει έτοιμα υλικά και διατομές για κατασκευές από ξύλο και λιθοδομή δίνοντας έτσι περισσότερες έτοιμες λύσεις στο μηχανικό της αγοράς ο οποίος απαιτεί ταχύτητα και ποικιλία στο είδος των κατασκευών. Από την άλλη το Sap2000 διαθέτει τη δυνατότητα εφαρμογής μελών "καλωδίων", εισαγωγής τενόντων για προεντεταμένα μέλη και άλλες δυνατότητες για ιδιαίτερες και περισσότερο απαιτητικές κατασκευές.

Επιπρόσθετα είναι διαθέσιμα βασικά εργαλεία μοντελοποίησης που αφορούν τον ορισμό διαφραγματικής λειτουργίας π.χ. μιας πλάκας, την εφαρμογή άκαμπτων άκρων π.χ. στους κόμβους δοκού – υποστυλώματος ενώ σε επίπεδο έδρασης προσφέρουν τις βασικές δεσμεύσεις – ελευθερώσεις αλλά και την επιλογή εφαρμογής ελατηρίων για τη προσομοίωση οποιασδήποτε συνθήκης στήριξης. Διαφοροποίηση διαπιστώνουμε στη δυνατότητα καθορισμού των φορτίσεων από τις οποίες θα ελεγχθεί η ενεργοποίηση σε ποσοστό 90% της μάζας τους για τη φασματική ανάλυση του σεισμού. Διαπιστώνουμε πως στο Sap2000 δίνεται η δυνατότητα επιλογής των φορτίσεων που επιθυμούμε να συμμετέχουν στον υπολογισμό της μάζας (εικόνα 184) σε αντίθεση με το Scada όπου προκαθορισμένα λαμβάνει εξ' ορισμού τα μόνιμα και κινητά φορτία που έχουμε ορίσει στις φορτίσεις. Έτσι στη περίπτωση που ένα στατικό φορτίο όπως το χιόνι το οποίο για μία περιοχή με έντονα φαινόμενα χιονόπτωσης, οδηγεί σε δυσμενέστερες τιμές σε σχέση με τα υπολογιζόμενα κινητά φορτία για την οροφή ενός βιομηχανικού κτιρίου, δεν έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε τη φόρτιση αυτή για τη συμμετοχή της στον υπολογισμό της ενεργώ μάζας.

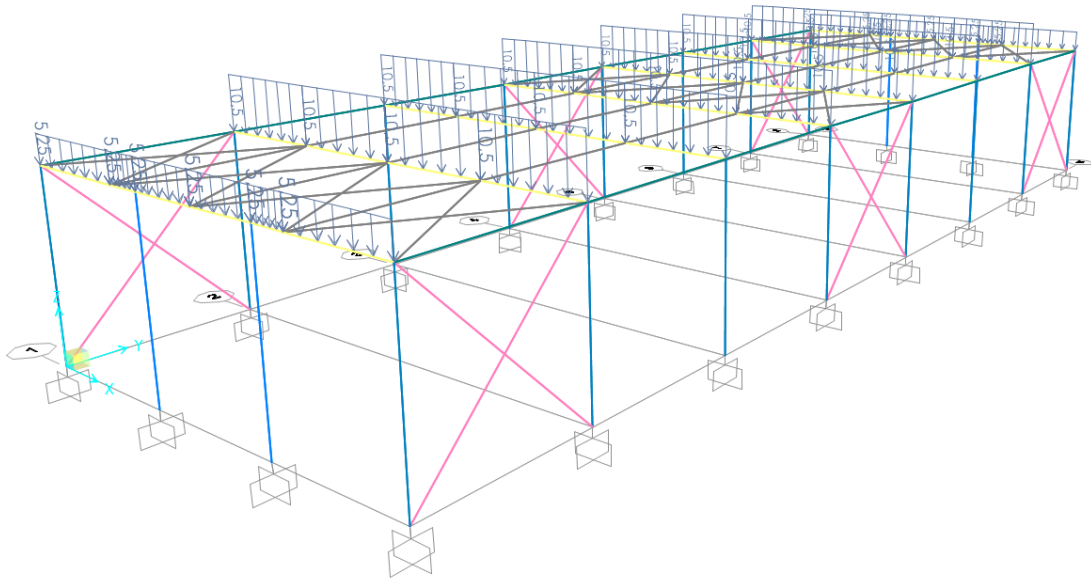


Εικόνα 184: Πίνακας εισαγωγής φορτίων στον υπολογισμό της ενεργοποιούμενης μάζας στο Sap2000

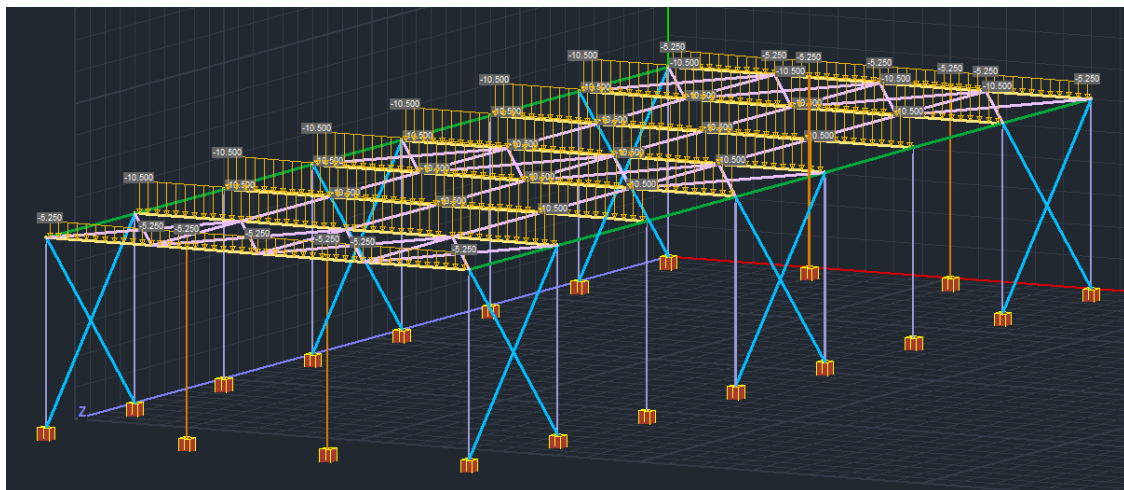
Επίσης οποιαδήποτε φόρτιση μόνιμου φορτίου πέραν του ίδιου βάρους στο Scada Pro πρέπει να εισαχθεί με την προκαθορισμένη από το πρόγραμμα φόρτιση μόνιμων G για λόγους εκτέλεσης δυναμικής ανάλυσης, σε αντίθεση με το Sap μπορούμε να καθορίσουμε όσες φορτίσεις μόνιμων επιθυμούμε.

Σε επίπεδο φορτίσεων μπορούν να οριστούν οποιαδήποτε στατικά ή δυναμικά φορτία με εύκολο τρόπο, επιλέγοντας το επιθυμητό μέλος ή κόμβο ή μαζικά ένα σύνολο μελών ή κόμβων και εφαρμόζοντας σημειακά ή ομοιόμορφα καταναμημένα φορτία. Δίνεται επίσης η δυνατότητα προβολής των φορτίων αυτών στα μέλη ή τους κόμβους του φορέα. Το Scada διαθέτει μεγαλύτερη ευελιξία στην εμφάνιση των φορτίων καθώς μπορεί να εμφανίσει τα φορτία σε συνδυασμό μεταξύ τους ενώ το Sap2000 μόνο τη κάθε φόρτιση ξεχωριστά.

Για παράδειγμα για το φορτίου του χιονιού όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες, έχουμε:

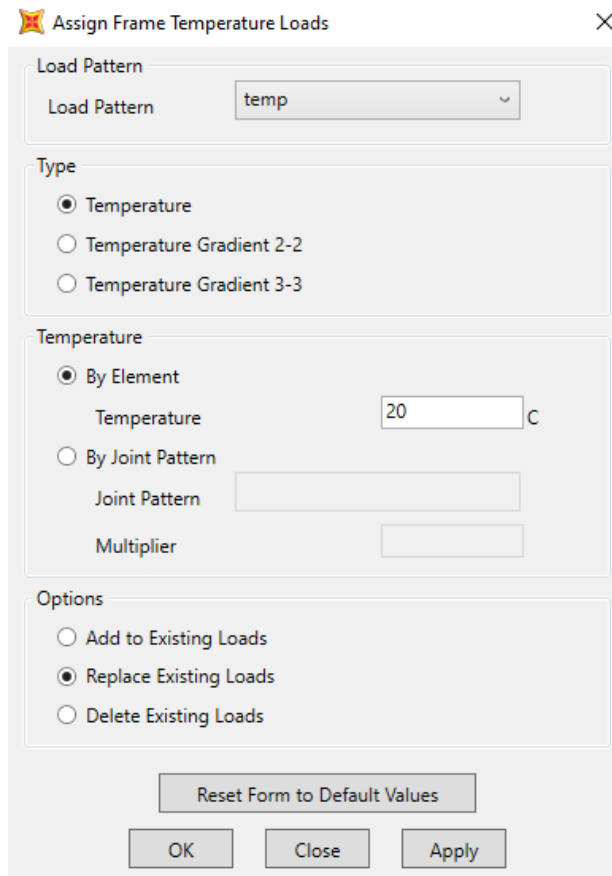


Εικόνα 185: Εικόνα επιβαλλόμενου φορτίου χιονιού στο Sap2000

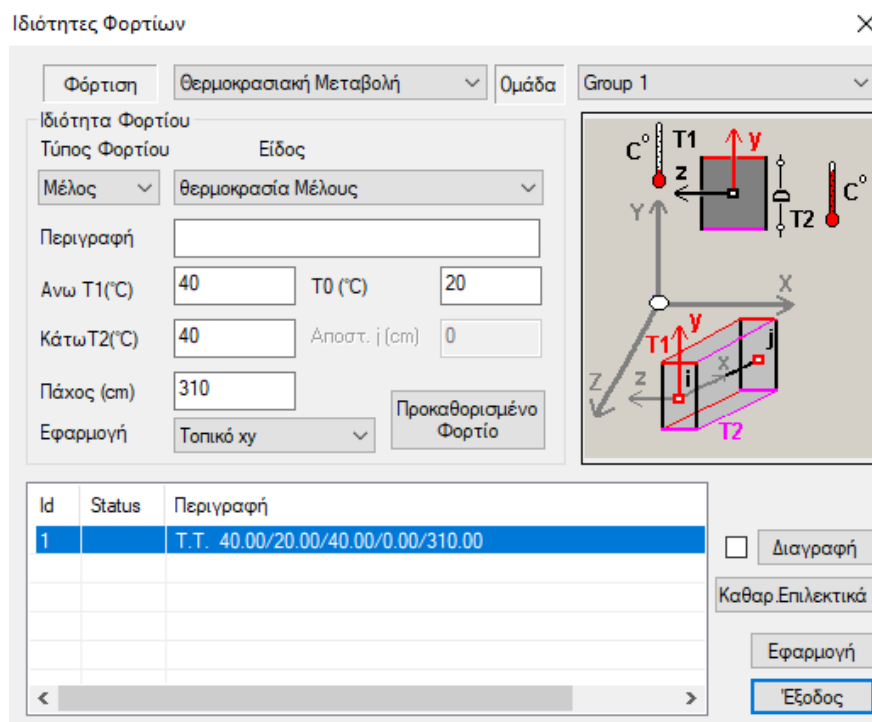


Εικόνα 186: Εικόνα επιβαλλόμενου φορτίου χιονιού στο Scada Pro

Σημαντική διαφορά επίσης διαπιστώνουμε και στο τρόπο εφαρμογής των φορτίων θερμοκρασίας. Στο Sap 2000 η επιβολή του φορτίου λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς γίνεται επιλέγοντας όλα τα μέλη στα οποία επιθυμούμε την επιβολή του θερμοκρασιακού φορτίου και εισάγοντας τη θερμοκρασία αυτή όπως φαίνεται παρακάτω. Στο Scada Pro η θερμοκρασιακή μεταβολή του μέλους ορίζεται εισάγοντας τη θερμοκρασία άνω και κάτω ίνας, τη θερμοκρασία κατασκευής και το πάχος του δομικού στοιχείου.



Εικόνα 187: Εισαγωγή θερμοκρασιακού φορτίου στο Sap2000



Εικόνα 188: Εισαγωγή θερμοκρασιακού φορτίου στο Scada Pro

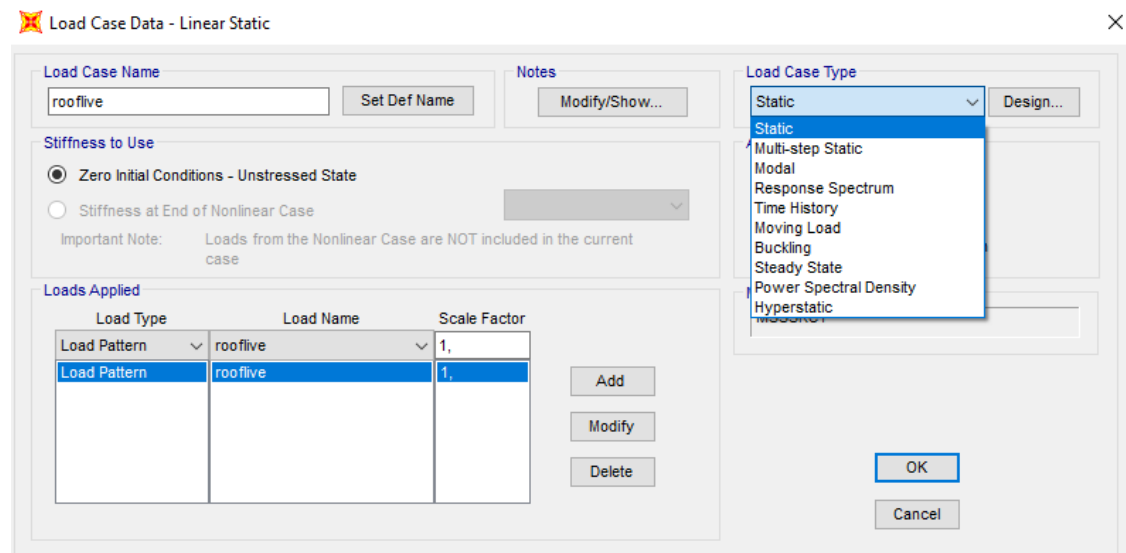
Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του Scada Pro είναι ότι διαθέτει έναν αυτοματοποιημένο τρόπο υπολογισμού και εισαγωγής φορτίων χιονιού και ανέμου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα και το Εθνικό προσάρτημα. Αυτή είναι μία δυνατότητα όπου από άποψη χρόνου είναι σημαντική διότι εξοικονομεί χρόνο υπολογισμών με το χέρι.

Η ανάλυση μας έγινε με χειροκίνητο τρόπο καθότι το σύνολο των φορτίων χιονιού (κεφ. 3.2.3) και ανέμου (κεφ.3.2.4) υπολογίστηκαν με το χέρι και εφαρμόστηκαν αναλόγως στα μέλη.

6.2 Σε επίπεδο ανάλυσης

Σε επίπεδο ανάλυσης για τις φορτιστικές καταστάσεις και τους συνδυασμούς φορτίσεων στα δύο λογισμικά εντοπίζονται κάποιες διαφορές στη δομή των προγραμμάτων. Ωστόσο τονίζεται πως παρέχεται δυνατότητα επεξεργασίας και παραμετροποίησης των δεδομένων.

Στο Sap2000 μπορούμε να εισάγουμε όσες αναλύσεις επιθυμούμε για κάθε φόρτιση και να επιλέξουμε μέσα από μια σειρά διαθέσιμων επιλογών όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 189: Διαθέσιμες επιλογές Load Case Type

Μπορούμε επίσης να ορίσουμε το φάσμα σχεδιασμού για το σεισμό αφού ορίσουμε τις παραμέτρους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα (κεφ. 4.7.3) και αντίστοιχα να ορίσουμε τη φασματική ανάλυση για τις φορτίσεις του σεισμού E_x και E_y ή όποιες ακόμα επιθυμούμε.

Τέλος μπορούμε να εισάγουμε αυτοματοποιημένα του συνδυασμούς σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα ή να τους δημιουργήσουμε χειροκίνητα όπως κάναμε για τη μελέτη του εξεταζόμενου φορέα.

Από την άλλη στο Scada Pro σε επίπεδο ανάλυσης πρέπει να δημιουργήσουμε σενάρια ανάλυσης σύμφωνα με τις οποία θα γίνει η ανάλυση για τα επιβαλλόμενα φορτία. Μπορούμε να δημιουργήσουμε στατικά σενάρια ανάλυσης σύμφωνα με το κανονισμό για τα στατικά φορτία και μέσα σε αυτά να ορίσουμε μέχρι και 4 στατικές φορτίσεις προς επίλυση. Από την άλλη για την ανάλυση των σεισμικών φορτίων δημιουργούμε μία

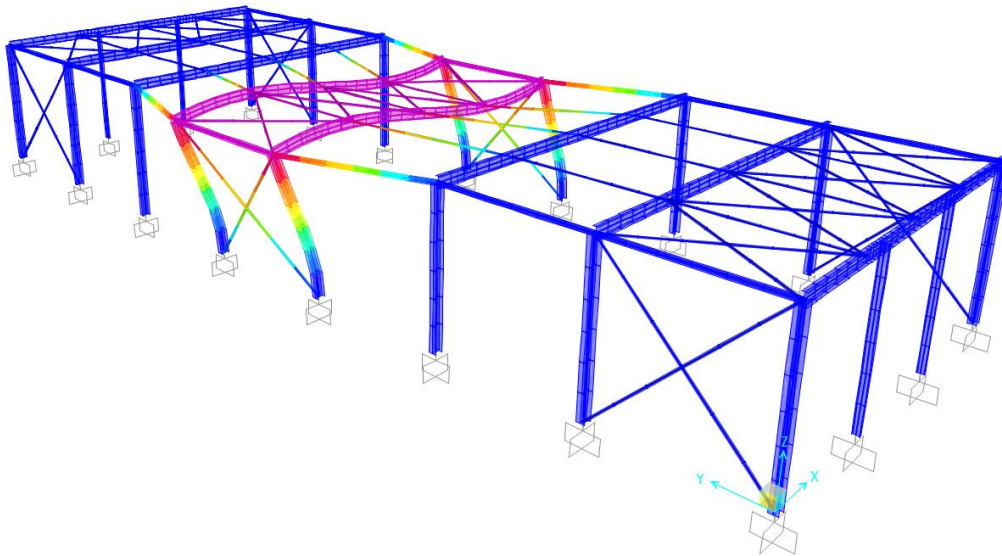
δυναμική ανάλυση σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και το εθνικό προσάρτημα όπου με προκαθορισμένο τρόπο του προγράμματος λαμβάνεται αυτοματοποιημένα η επίλυση των σεισμικών φορτίσεων σε συνδυασμό απαραίτητα με την επίλυση για τα μόνιμα και τα κινητά φορτία. Κατά την εκτέλεση ανάλυσης του κάθε σεναρίου χωριστά (σε αντίθεση με το Sap2000 που μπορεί να δοθεί εντολή εκτέλεσης για όλες τα φορτιστικά σενάρια), προχωράμε σε επίλυση των στατικών σεναρίων ενώ κατά την εκτέλεση του σεναρίου δυναμικής ανάλυσης μπορούμε να καθορίσουμε τους παραμέτρους που αφορά το φάσμα ανάλυσης, τις εκκεντρότητες του σεισμού, των αριθμό των ιδιοτιμών, το συντελεστή συμπεριφορά η και άλλα όπως εξελίχθηκαν στο κεφ. 4.7.1.2 του παρόντος. Προσφέρεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα του υπολογισμού με αυτοματοποιημένο τρόπο του συντελεστή συμπεριφοράς η ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φορέα, το τύπο κατασκευής κ.τ.λ.

Όσον αφορά του συνδυασμούς το πρόγραμμα διαθέτει προκαθορισμένους τους συνδυασμούς που αφορούν τις σεισμικές δράσεις, τα μόνιμα και τα κινητά φορτία ως αποτέλεσμα της λογικής δόμησης του σεναρίου φασματικής ανάλυσης ενώ ανάλογα με τον τρόπο επιβολής των πρόσθετων φορτίων δίνεται η δυνατότητα αυτοματοποιημένου τρόπου ορισμού των συνδυασμών (για φορτία χιονιού και ανέμου) ή καθορισμού χειροκίνητα με δυνατότητα επεξεργασίας των προκαθορισμένων. Μία σημαντική επισήμανση είναι πως αφού καθοριστούν οι συνδυασμοί θα πρέπει να αποθηκευτούν σε ένα αρχείο ώστε να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση (κάτι που στο Sap 2000 γίνεται αυτοματοποιημένα όπως θα δούμε και παρακάτω).

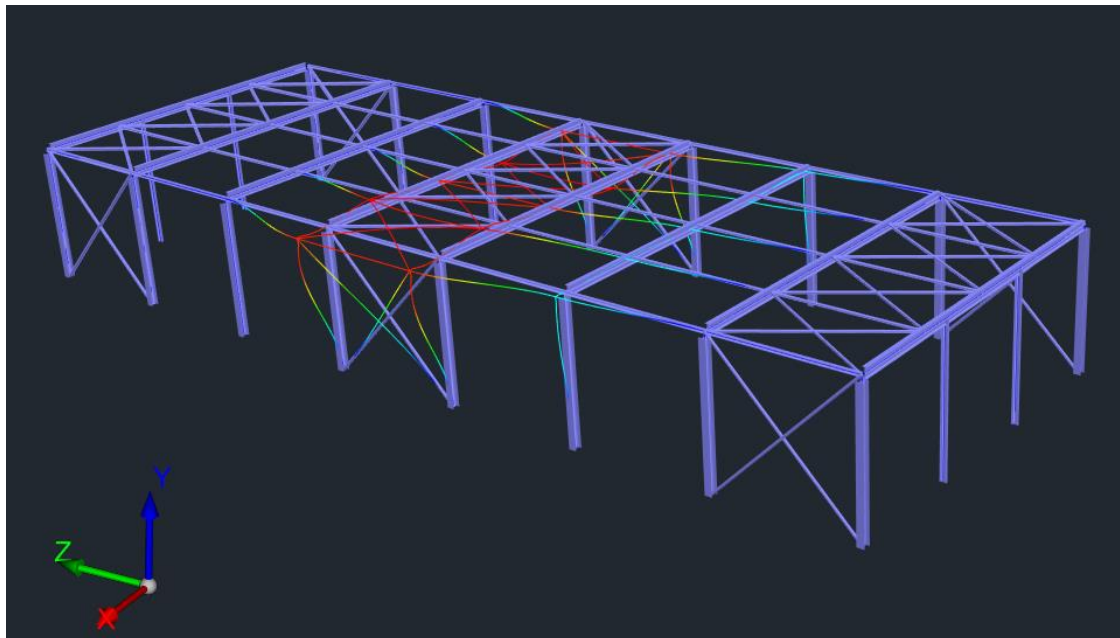
Μετά την εκτέλεση των αναλύσεων στα δύο λογισμικά ελέγχουμε τα παραγόμενα αποτελέσματα με σκοπό να τα συγκρίνουμε σε επίπεδο ιδιομορφών, παραμορφώσεων, εντατικών μεγεθών.

Ιδιομορφές

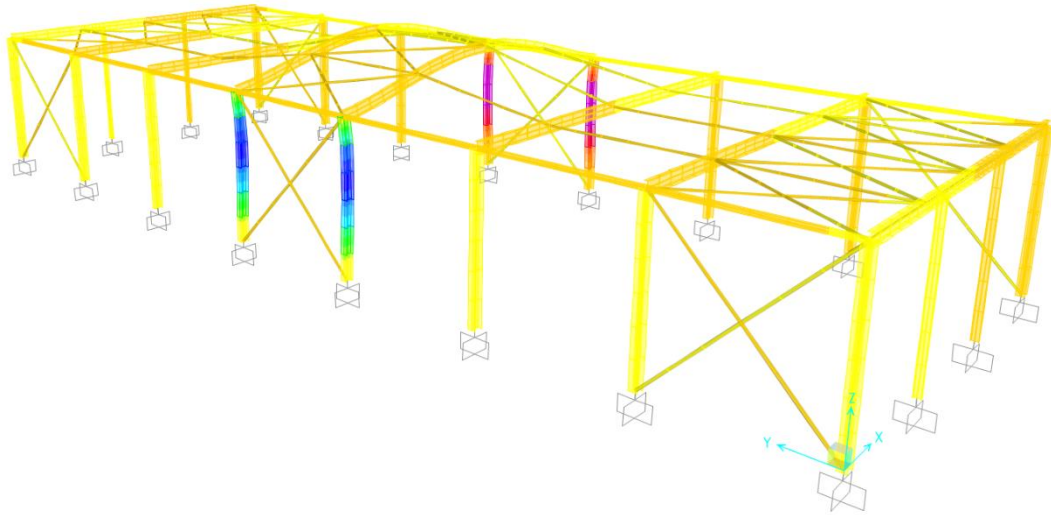
Παρατηρούμε ότι η εικόνα των ιδιομορφών και η περίοδος ταλάντωσης και στα δύο λογισμικά ταυτίζεται για τις ιδιομορφές από τις οποίες ενεργοποιείται το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας.



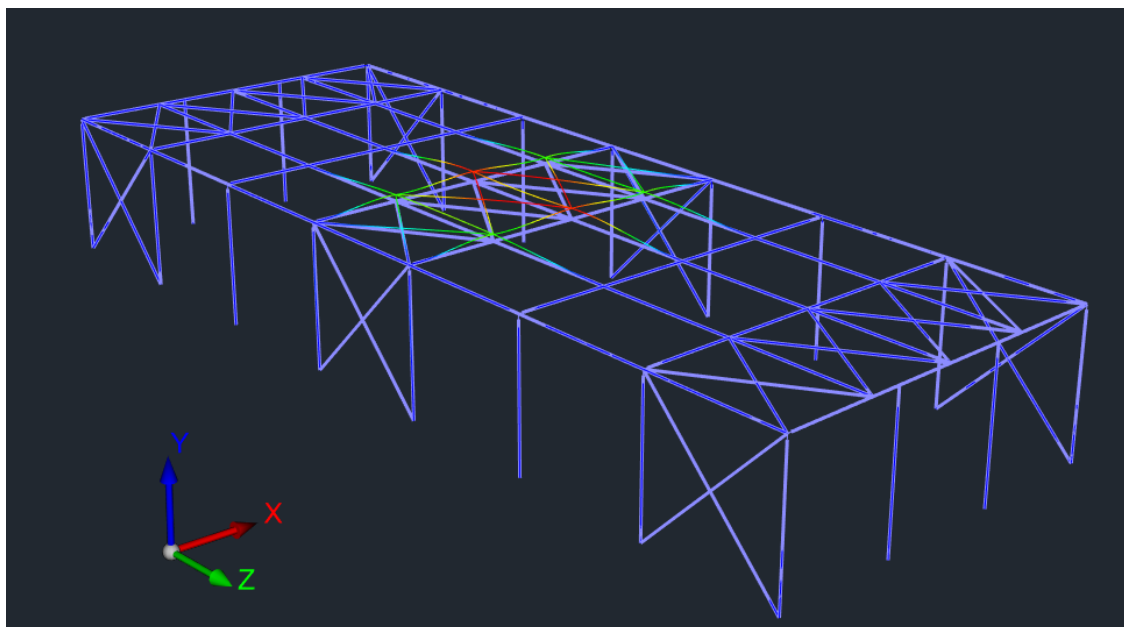
Εικόνα 190: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με $T=0,361$ στο Sap2000



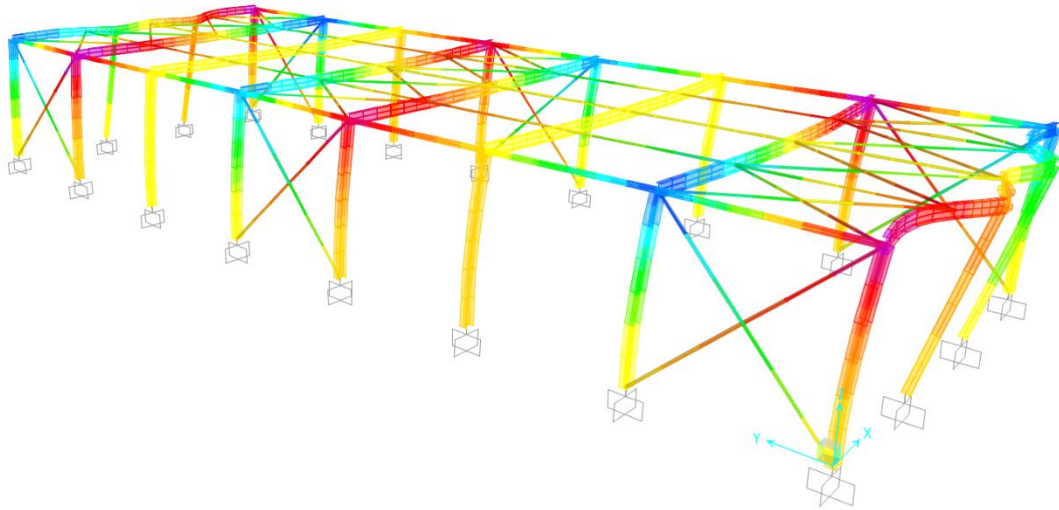
Εικόνα 191: Παραμορφωμένος Φορέας σύμφωνα με τη πρώτη ιδιομορφή με $T=0,363$ στο Scada Pro



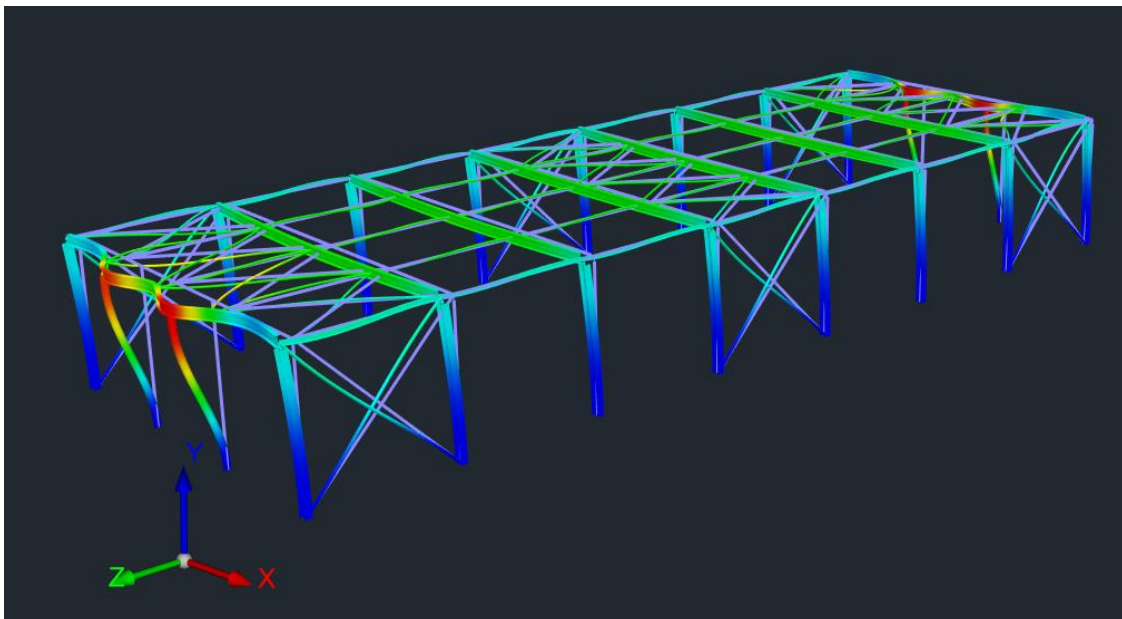
Εικόνα 192: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και $T=0,206$ στο Sap2000



Εικόνα 193: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 6η ιδιομορφή και $T=0,205$ στο Scada Pro



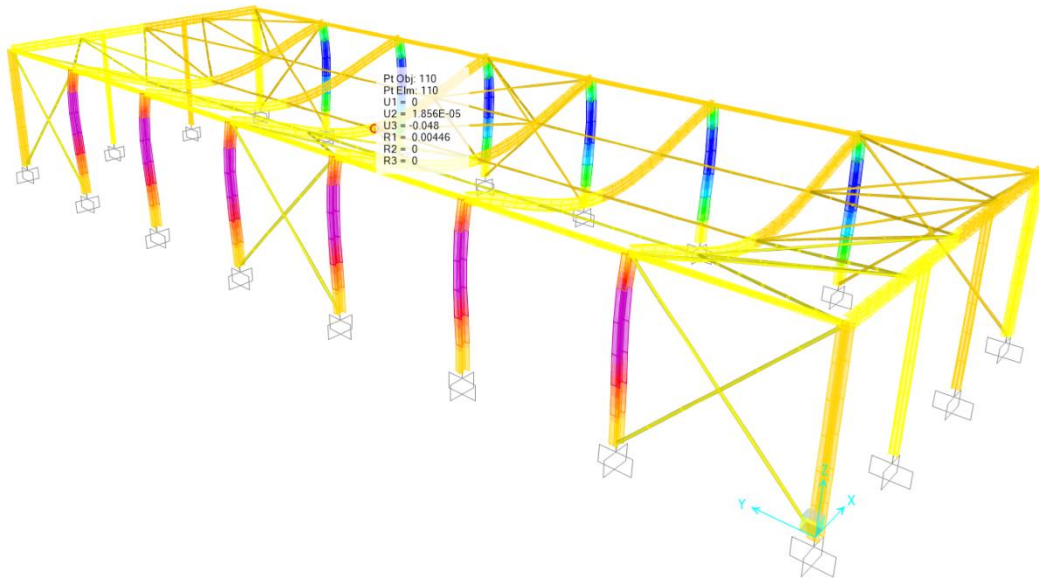
Εικόνα 194: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$ στο Sap2000



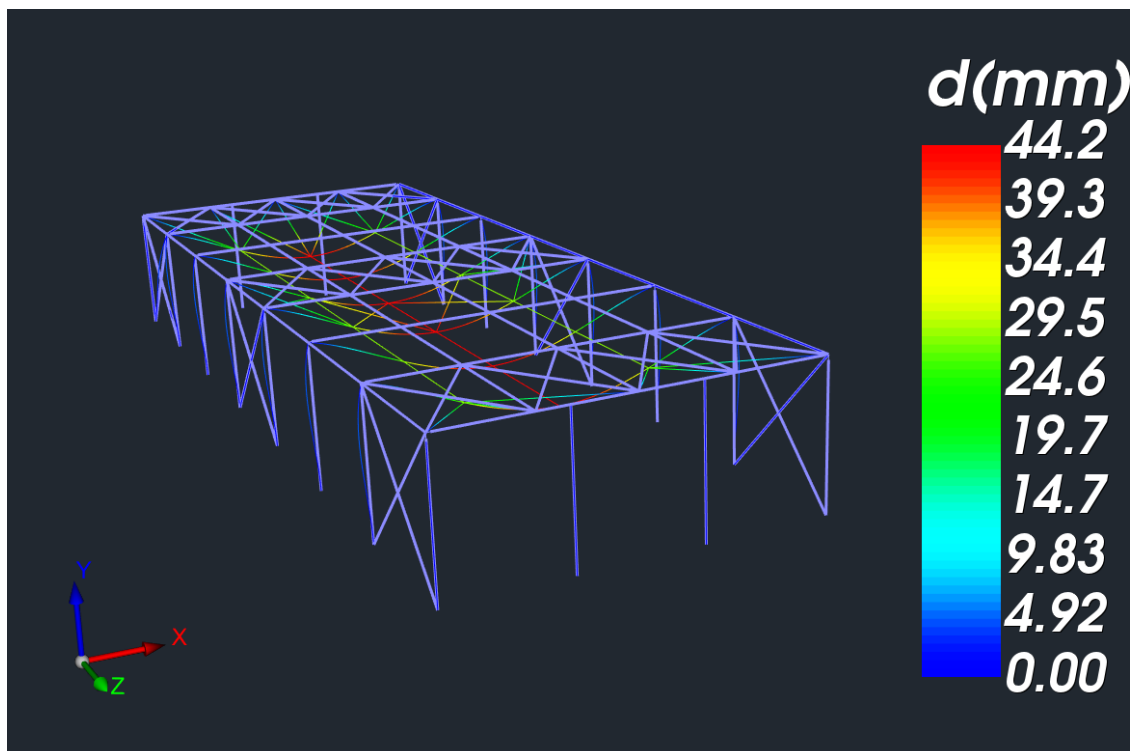
Εικόνα 195: Παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με την 12η ιδιομορφή και $T=0,157$ στο Scada Pro

Μετακινήσεις Φορέα

Ελέγχουμε για τη φόρτιση του χιονιού τη τιμή μετατόπισης ενός κόμβου της οροφής όπως φαίνεται παρακάτω και διαπιστώνουμε πως υπάρχει ταύτιση στα αποτελέσματα.



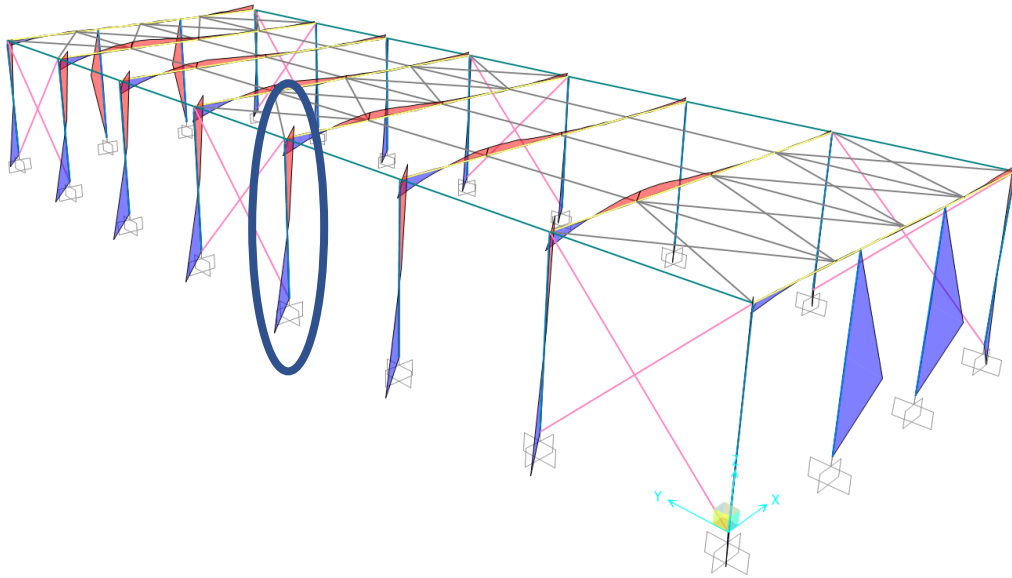
Εικόνα 196: Παραμόρφωση 4,8 εκ. στο κέντρο της οροφής από φορτία χιονιού στο Sap2000



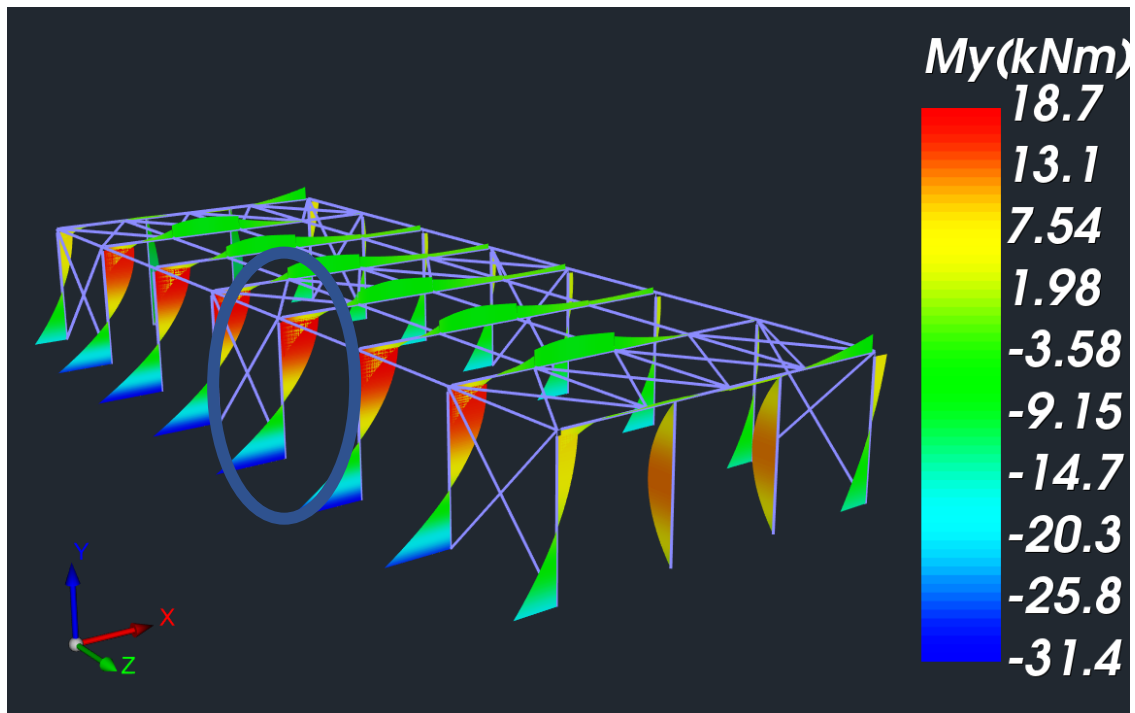
Εικόνα 197: Παραμόρφωση 4,4 εκ στο κέντρο της οροφής από φορτία χιονιού στο Scada Pro

Εντατικά Μεγέθη

Για τη φόρτιση ανέμου κατά τη διεύθυνση Wx-x ελέγχω τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών.

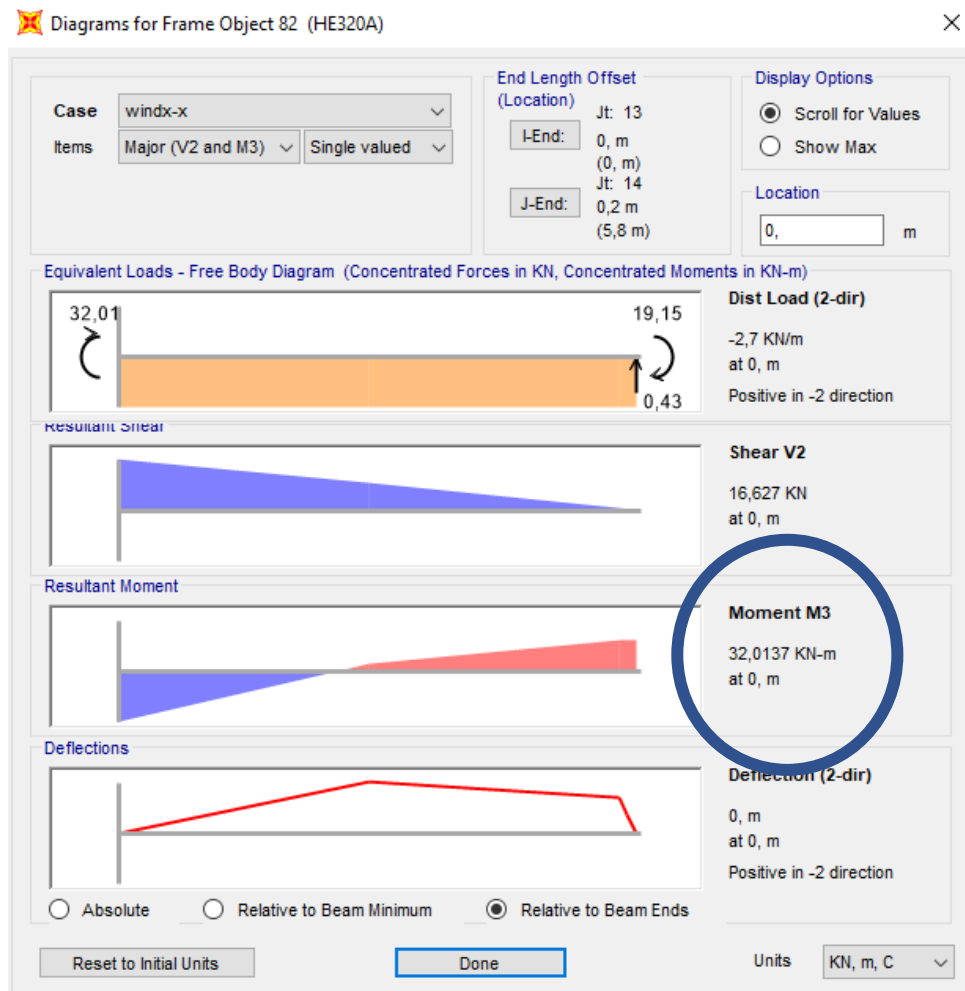


Εικόνα 198: Διάγραμμα εντατικών μεγεθών για αναπτυσσόμενες ροπές στο Sap2000 από τη δράση της φόρτισης ανέμου κατά τη διεύθυνση X

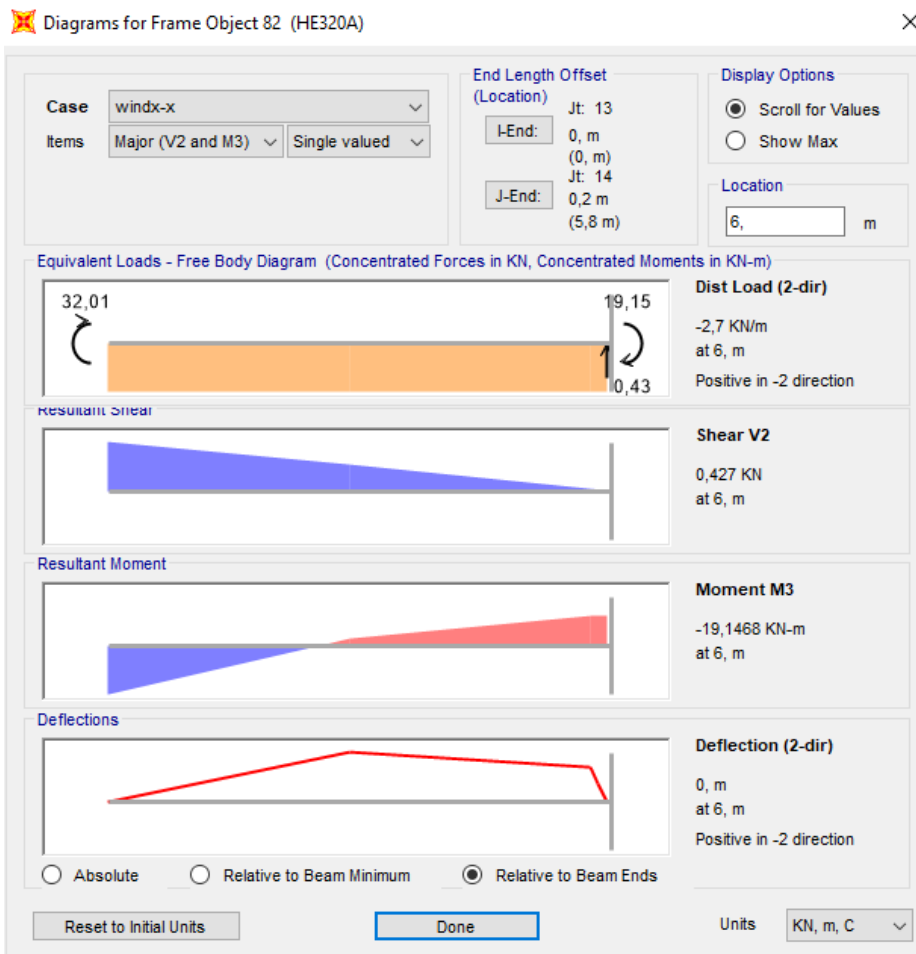


Εικόνα 199: Διάγραμμα εντατικών μεγεθών για αναπτυσσόμενες ροπές στο Scada Pro από τη δράση της φόρτισης ανέμου κατά τη διεύθυνση X

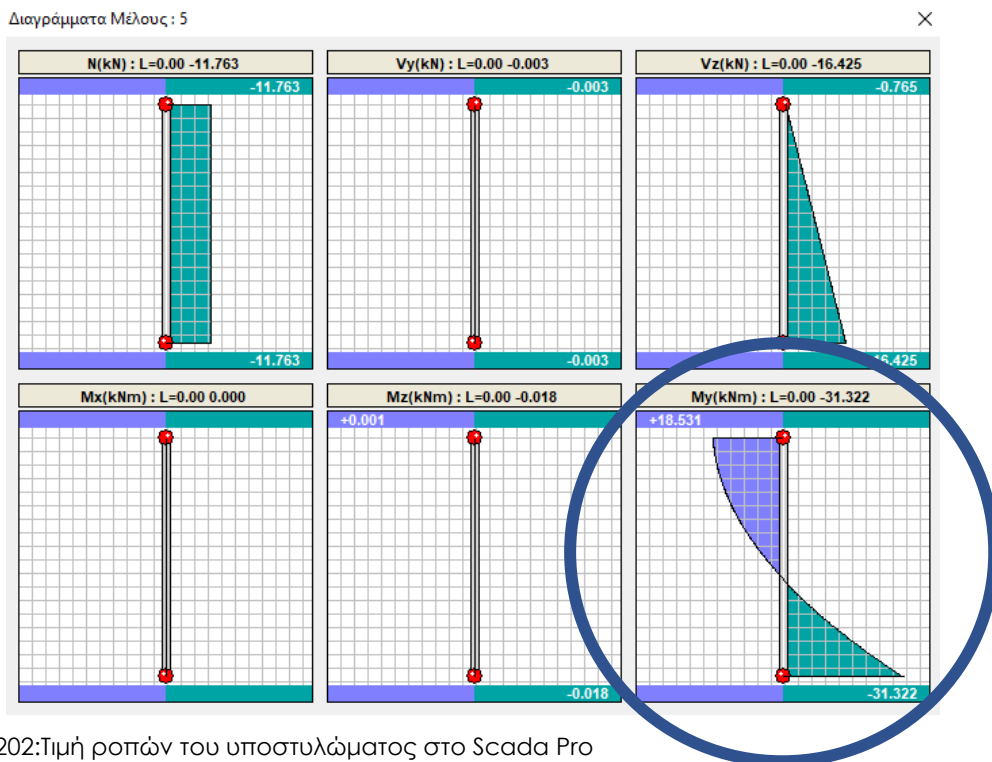
Οι τιμές που προκύπτουν για το υποστυλώμα που σημειώνεται στις παραπάνω εικόνες ταυτίζονται όπως φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα και κυμαίνονται από -31 KNm έως 19 KNm.



Εικόνα 200: Τιμή ροπής στο πόδα του υποστυλώματος με τιμή -32,01 KNm στο Sap2000



Εικόνα 201:Τιμή ροπής στη κεφαλή του υποστυλώματος με τιμή 19,15 KNm στο Sap2000



Εικόνα 202:Τιμή ροπών του υποστυλώματος στο Scada Pro

Ποσοστό Ενεργοποιούμενης Μάζας

Το ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας από πλήθος 20 ιδιομορφών όπως φαίνεται και στους παρακάτω πίνακες των δύο λογισμικών ταυτίζεται ως προ στις τιμές.

Για 20 ιδιομορφές το ποσοστό της μάζας που ενεργοποιείται κατά τη Χ διεύθυνση στο Sap 2000 είναι 99% και στη διεύθυνση Y είναι 97,6%.

Για 20 ιδιομορφές το ποσοστό της μάζας που ενεργοποιείται κατά τη Χ διεύθυνση στο Scada Pro είναι 99% και στη διεύθυνση Z είναι 97,4%.

MODAL	Mode	16	0,116369	3,276E-20	7,781E-19	1,083E-16	0,99072	0,86043	0,25666	2,729E-17
MODAL	Mode	17	0,095967	1,049E-18	0,11581	1,876E-15	0,99072	0,97624	0,25666	0,00015
MODAL	Mode	18	0,077499	0,0011	1,993E-16	3,194E-14	0,99182	0,97624	0,25666	3,454E-13
MODAL	Mode	19	0,074885	4,684E-18	5,99E-16	5,848E-15	0,99182	0,97624	0,25666	1,162E-13
MODAL	Mode	20	0,074011	1,6E-18	5,525E-16	1,917E-17	0,99182	0,97624	0,25666	9,794E-15

Εικόνα 203: Πίνακας ιδιομορφών με ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας κατά τη διεύθυνση X και Y στο Sap 2000

17		0.00 / 0.00		0.00 / 0.00		11.25 / 13.78
18		0.06 / 0.08		0.00 / 0.00		0.00 / 0.00
19		0.00 / 0.00		0.00 / 0.00		0.00 / 0.00
20		0.00 / 0.00		0.00 / 0.00		0.00 / 0.00

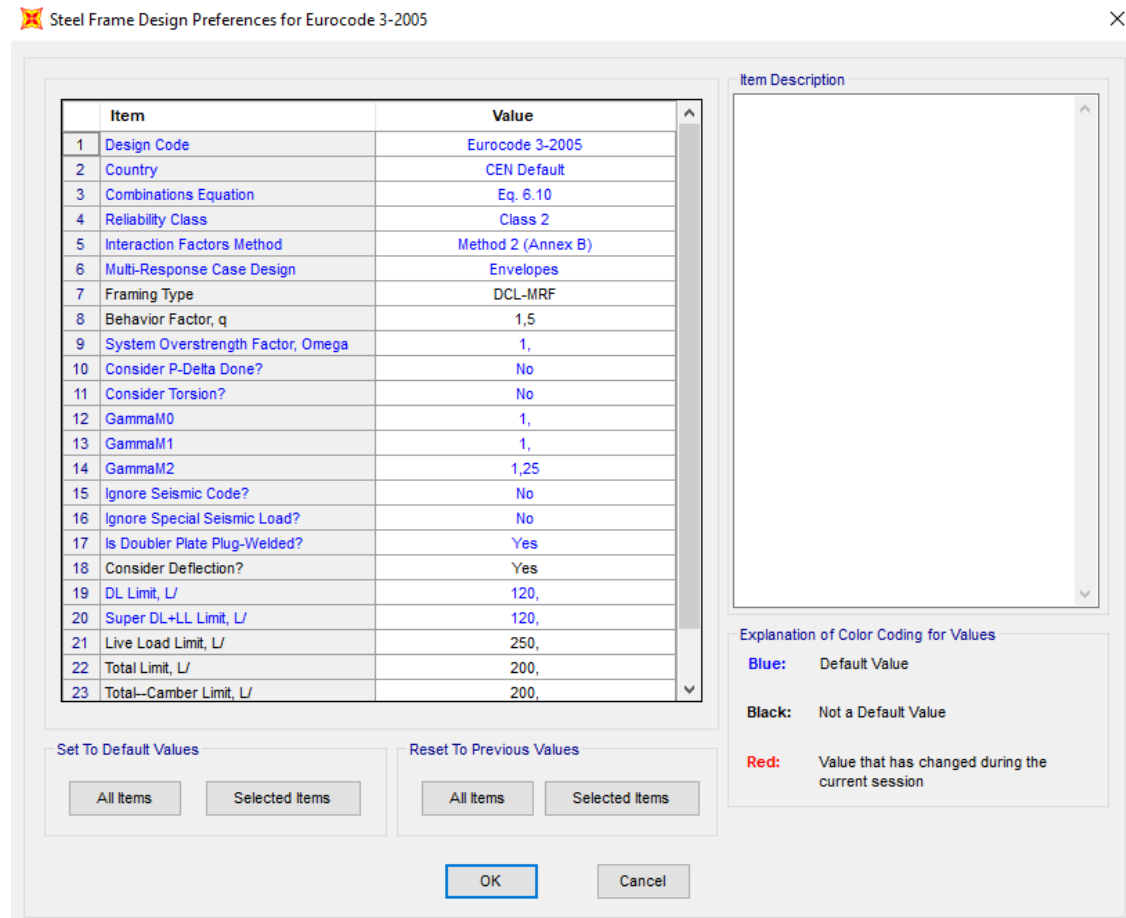
ΣΥΝΟΛΑ		80.82 / 99.04		20.53 / 25.16		79.51 / 97.43

Εικόνα 204: Πίνακας ιδιομορφών με ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας κατά τη διεύθυνση X και Z στο Scada Pro

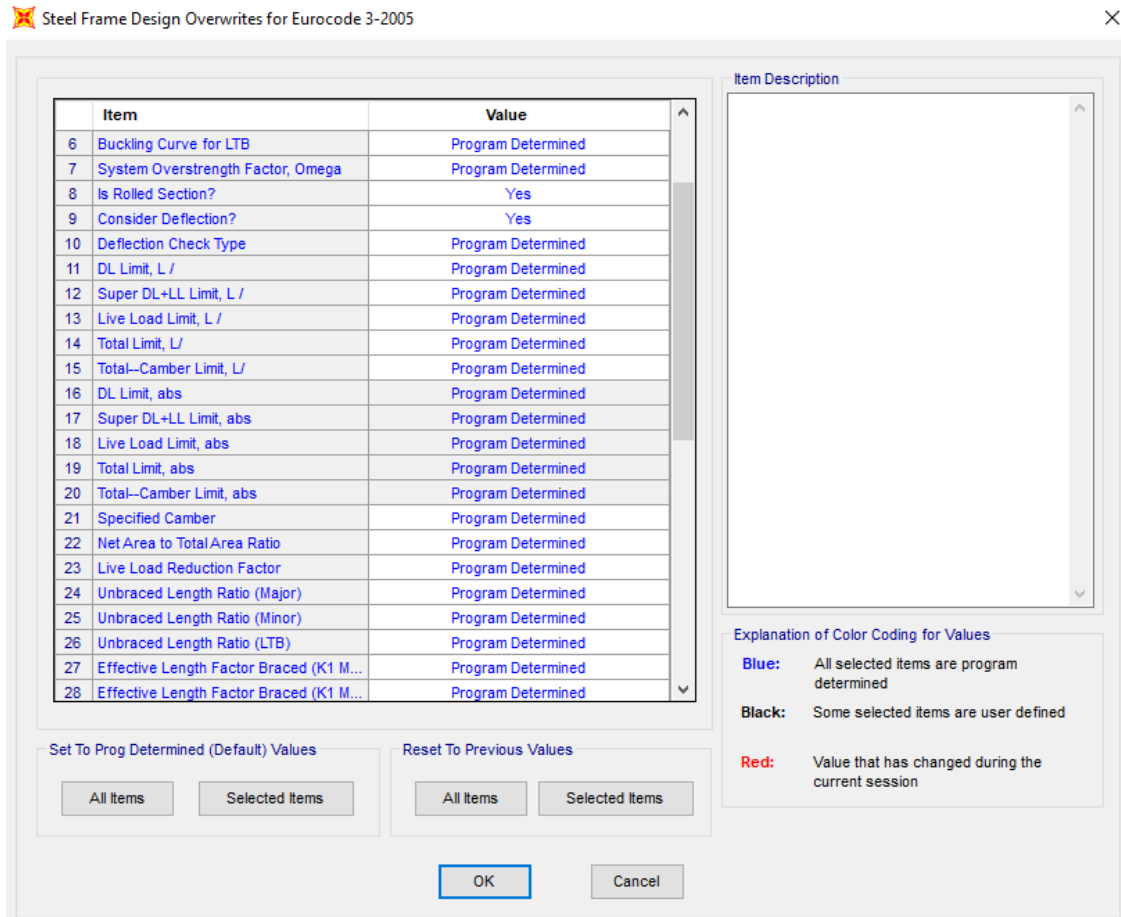
6.3 Σε επίπεδο σχεδιασμού

Στο επίπεδο σχεδιασμού τα δύο προγράμματα εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη λογική υλοποίησης.

Στο SAP2000 μας δίνεται η δυνατότητα αφού επεξεργαστούμε τις γενικές παραμέτρους σχεδιασμού όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα, ορίζοντας το Κανονισμό σχεδιασμού, το συντελεστή συμπεριφοράς, τη κατηγορία πλαστιμότητας, τα όρια για τον έλεγχο σε λειτουργικότητα, να επεξεργαστούμε τις ιδιότητες κάθε μέλους πριν το σχεδιασμό.

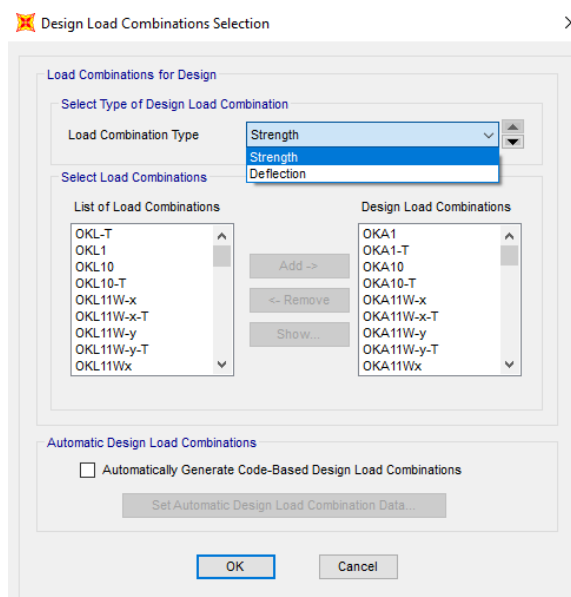


Εικόνα 205: Επεξεργασία γενικών παραμέτρων σχεδιασμού στο Sap2000



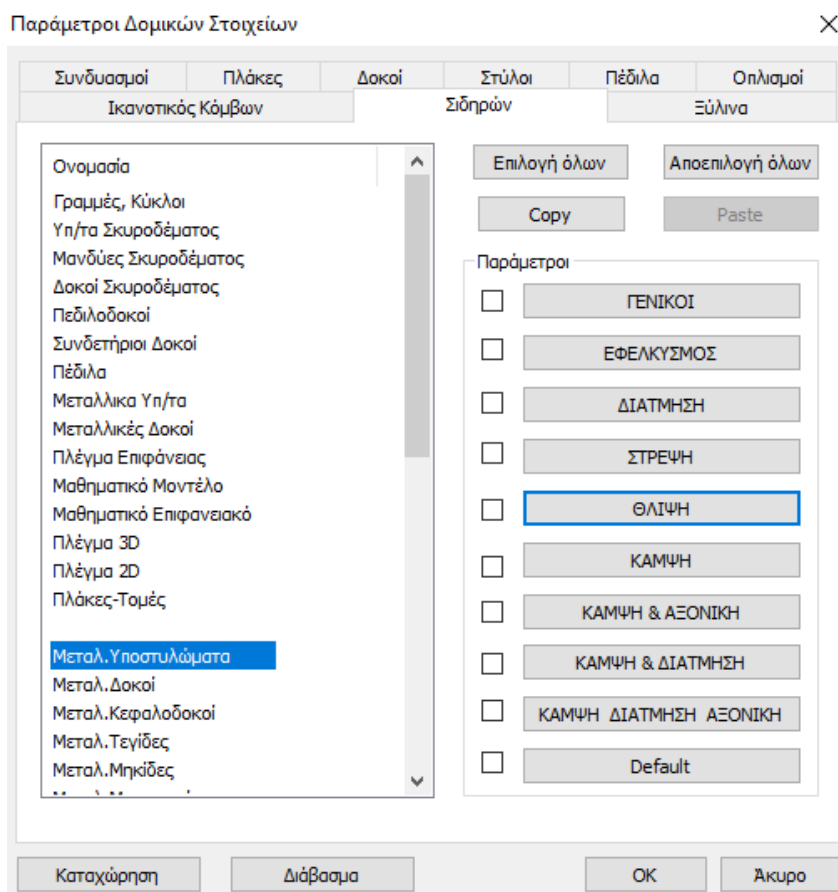
Εικόνα 206: Επεξεργασία ειδικών παραμέτρων σχεδιασμού μελών στο Sap2000

Επιπρόσθετα μετά από αυτό το στάδιο και αφού εισάγουμε τους συνδυασμούς που έχουμε δημιουργήσει σε προηγούμενο βήμα για το σχεδιασμό, ορίζουμε τους συνδυασμούς αστοχίας και λειτουργικότητας σε αντίθεση με το Scada που τους έχουμε ταξινομήσει κατά την εισαγωγή τους.



Εικόνα 207: Ταξινόμηση συνδυασμών σχεδιασμού στο SAP2000

Από την άλλη στο Scada καθορίζουμε ένα ενεργό σενάριο με το οποίο ορίζεται ο κανονισμός με τον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός του φορέα και στη συνέχεια αφού "φορτώσουμε" το αρχείο με τους συνδυασμούς που είχαμε δημιουργήσει σε προηγούμενο στάδιο, προχωρούμε σε επεξεργασία των παραμέτρων σχεδιασμού για σιδηρές κατασκευές όπως φαίνεται παρακάτω και αναλύεται στο κεφ. 5.9.3.1 του παρόντος.



Εικόνα 208: Επεξεργασία παραμέτρων σχεδιασμού ομάδας δομικών στοιχείων στο Scada Pro

Γενικά στο Scada Pro όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω δίνεται με αναλυτικό τρόπο όλη η διαδικασία του σχεδιασμού με πλήρη χειρισμό από το χρήστη και δυνατότητα παραμετροποίησης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3. Ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει μαζί για κάθε ομάδα δομικών στοιχείων τους συντελεστές ασφαλείας, την ύπαρξη ή μη οπών για τον εφελκυσμό, την ύπαρξη ή μη νευρώσεων για τη διάτμηση κ.τ.λ

Στη συνέχεια μέσω της εντολής **"Ενοποίηση μελών"** δίνεται η δυνατότητα ενοποίησης μελών μεταλλικών φορέων για τον υπολογισμό και την εμφάνιση των ελέγχων λυγισμού και παραμορφώσεων με βάση τον EC3. Αυτή είναι μία σημαντική λειτουργία καθότι δίνει τη δυνατότητα "χαρακτηρισμού" του ενεργού μήκους του μέλους ανά διεύθυνση και έτσι καθίσταται δυνατή η εκτέλεση πρόσθετων ελέγχων όπως λ.χ. αυτός της λειτουργικότητας. π.χ. σε μία κύρια δοκό οροφής η οποία κατά τη διεύθυνση του καθολικού Z άξονα είναι εξασφαλισμένη λόγω εγκάρσιων στοιχείων ενώ στη διεύθυνση Y του καθολικού άξονα που δεν συντρέχουν μέλη δεν φέρει εξασφάλιση, δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη από το πρόγραμμα σε ποια διεύθυνση πρόκειται για ένα συνεχόμενο μέλος ή σε ποια διεύθυνση υπάρχουν πλευρικές εξασφαλίσεις ώστε να εκτελεστούν σωστά οι απαραίτητοι έλεγχοι, καθότι για σχεδιαστικούς λόγους λόγω των μελών που συντρέχουν το μεμονωμένο μέλος

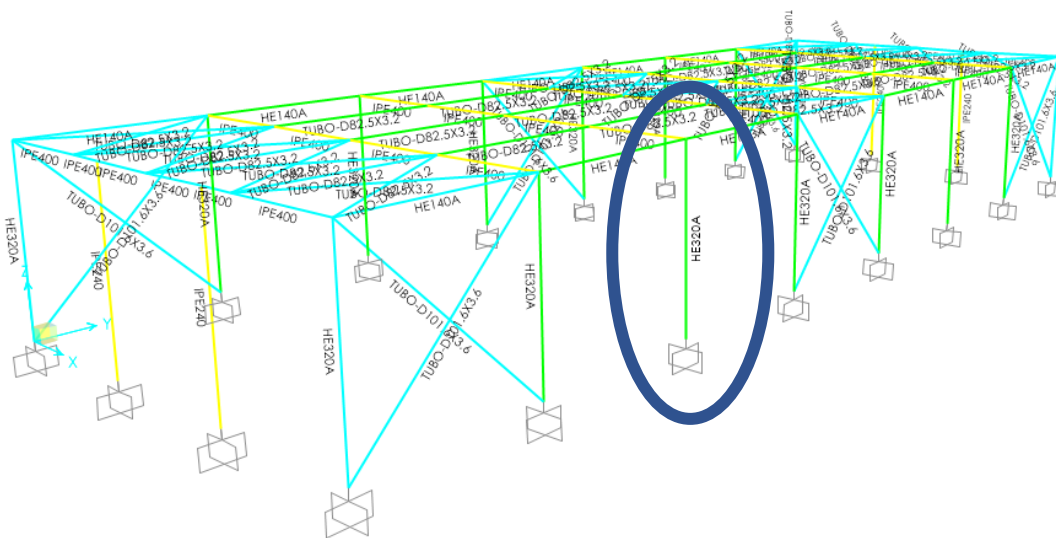
σπάει σε πολλά μέλη για τη μοντελοποίηση του. Αυτή η δυνατότητα δεν προσφέρεται στο Sap 2000 και έτσι δεν μπορούν να εκτελεστούν σωστά οι έλεγχοι λειτουργικότητας.

Τέλος στο Scada Pro μέσω των εντολών **"Έλεγχος Διατομών"** και **"Έλεγχος Λυγισμού"**, μπορούμε να προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση και τον έλεγχο των μελών ξεχωριστά, δίνοντας τη δυνατότητα ορισμού των παραμέτρων βήμα προς βήμα με τον Ευρωκώδικα 3 και πλήρους εποπτείας και παρουσίασης των αποτελεσμάτων σχεδιασμού όπως φαίνεται παρακάτω.

Στα πλαίσια ελέγχου και σύγκρισης των αποτελεσμάτων ελέγχουμε τα αποτελέσματα σχεδιασμού ενός μέλους του φορέα και στα δύο προγράμματα.

Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Για την οριακή κατάσταση αστοχίας ελέγχουμε το υποστυλωμα όπως αυτό σημειώνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 209: Μέλος φορέα προς εξέταση

Σύμφωνα με τα παρακάτω αποτελέσματα το μέλος αυτό εμφανίζει συντελεστή εξάντλησης στο 60% της αντοχής του για τη δράση του συνδυασμού ΟΚΑ5Wγ στο Sap 2000 ενώ στο Scada Pro εμφανίζει συντελεστή εξάντλησης 55% στους ελέγχους σε επίπεδο διατομής για το συνδυασμό 105 και 53% στους ελέγχους σε επίπεδο μέλους για το συνδυασμό 109.

Ο συνδυασμός ΟΚΑ5Wγ στο Sap 2000 περιέχει τις φορτίσεις (1,35G + 1,35 extraG + 1,5 Snow + 0,9 Temp + 0,9 Wγ-γ) και είναι ίδιος με το συνδυασμό 105 στο Scada Pro όπου περιέχει (1,35(G+extraG) + 1,5 Snow + 0,9 Temp + 0,9 Wγ-γ). Συνεπώς συμπεραίνουμε πως το μέλος αυτό εμφανίζει μέγιστο συντελεστή εξάντλησης για τον ίδιο συνδυασμό φόρτισης με μία απόκλιση όμως στο αποτέλεσμα κατά 5%. Αυτή η διαφορά πιθανόν υπάρχει λόγω του διαφορετικού τρόπου προσέγγισης του θερμοκρασιακού φορτίου.

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID	80	Analysis Section	HE320A
Design Code	Eurocode 3-2005	Design Section	HE320A

COMBO ID	STATION LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
OKLW-x-T	2,90	0,359 (C)	= 0,045 + 0,312 + 0,002	0,048	0,000
OKLW-x-T	5,80	0,358 (C)	= 0,044 + 0,312 + 0,002	0,054	0,000
OKA5Wx	0,00	0,363 (C)	= 0,074 + 0,286 + 0,004	0,096	0,000
OKA5Wx	2,90	0,576 (C)	= 0,072 + 0,499 + 0,004	0,091	0,000
OKA5Wx	5,80	0,575 (C)	= 0,071 + 0,500 + 0,004	0,087	0,000
OKA5Wy	0,00	0,368 (C)	= 0,075 + 0,289 + 0,003	0,101	0,000
OKA5Wy	2,90	0,601 (C)	= 0,074 + 0,524 + 0,003	0,092	0,000

Modify/Show Overwrites

Overwrites

Display Details for Selected Item

Summary Flexure Envelope

Display Complete Details

Tabular Data

Strength Deflection

OK Cancel

Stylesheet: Default Table Format File

Εικόνα 210: Συντελεστής εξάντλησης μέλους στο Sap2000 από τον συνδυασμό OKA5Wy

Διαστασιολόγηση Σιδηρών - Στοιχεία Layer

Layer: Μεταλ. Υποστυλώματα ΙΚΑΝΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ Προσαύξηση λόγω Ικανοτικού Ελέγχου

Διαφορετικές Διατομές: HEA 320

Περιγραφή	Μέλος	Συνδ.	ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΛΕΓΧΩΝ							OXI	ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΛΕΓΧΩΝ										
			N	Vy	Vz	Mx	My	Mz	Auto		N	M	V	Mx	M-N	M-V	M-V-N				
MaxN (kN)	10	120	218.44	-0.44	-73.23	-0.00	-141.41	-2.68	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MinN (kN)	16	147	-68.93	-1.41	11.92	0.00	-20.74	-0.28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MaxQY (kN)	1	122	66.40	12.00	-7.75	0.01	-12.41	18.05	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MinQY (kN)	8	122	53.78	-11.84	-7.90	-0.01	-12.72	-17.11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MaxQZ (kN)	3	105	174.65	0.70	87.65	-0.00	171.13	2.69	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MinQZ (kN)	11	105	174.47	0.27	-87.61	0.00	-170.99	1.59	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MaxMX (kNm)	16	128	-22.50	-10.80	16.66	0.01	41.23	-10.88	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MaxMY (kNm)	12	105	152.58	0.12	-75.61	0.00	299.28	0.05	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MaxMZ (kNm)	1	122	66.40	12.00	-7.75	0.01	-12.41	18.05	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MinMZ (kNm)	8	122	53.78	-11.84	-7.90	-0.01	-12.72	-17.11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Χρήστης			0	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Για όλα τα μέλη που ανήκουν σε αυτό το GROUP										<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

OK Cancel Διαστασιολόγηση Layer Διερεύνηση Layer Αποτελέσματα Τεύχους

Εικόνα 211: Το ίδιο μέλος εμφανίζει συντελεστή εξάντλησης 55% της αντοχής του στους ελέγχους διατομής για τη δράση του συνδυασμού 105 στο Scada Pro από τον συνδυασμό 105

Αποτελέσματα Ελέγχου Μελών

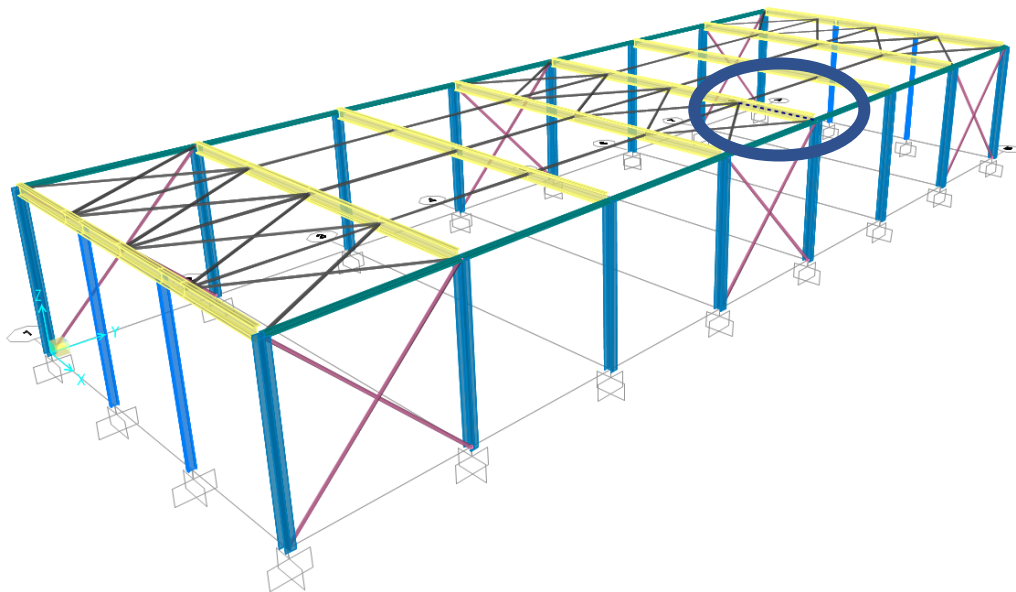
Μέλος	Διατομή	Καμπτικός	Πλευρικός	Στρεπρ.κ.	Λεπ.Παραμ	Λεπ.Μετακ
2	HEA 320	120/0.08	106/0.51	120/0.51		170/0.09
3	HEA 320	105/0.07	105/0.53	105/0.53		170/0.12
4	HEA 320	109/0.07	105/0.53	109/0.52		170/0.11
5	HEA 320	109/0.08	105/0.53	105/0.52		170/0.12
6	HEA 320	109/0.07	105/0.53	105/0.52		170/0.12
7	HEA 320	109/0.09	105/0.53	109/0.53		170/0.09
8	HEA 320	131/0.03	194/0.12	194/0.12		170/0.09
9	HEA 320	130/0.04	197/0.12	197/0.12		181/0.10
10	HEA 320	120/0.09	104/0.51	108/0.52		164/0.09
11	HEA 320	109/0.07	105/0.53	105/0.53		164/0.12
12	HEA 320	109/0.07	105/0.53	105/0.53		164/0.12
13	HEA 320	109/0.08	105/0.53	109/0.52		164/0.12
14	HEA 320	105/0.07	105/0.53	105/0.52		164/0.12
15	HEA 320	109/0.09	105/0.53	109/0.53		164/0.09
16	HEA 320	130/0.06	197/0.12	197/0.12		164/0.09

TXT OK

Εικόνα 212: Το ίδιο μέλος εμφανίζει συντελεστή εξάντλησης 53% της αντοχής του στους ελέγχους λυγισμού για τη δράση του συνδυασμού 105 στο Scada Pro από τον συνδυασμό 105

Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας ελέγχουμε ένα μέλος δοκού όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 213: Εξεταζόμενο μέλος

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID	62	Analysis Section	IPE400
Design Code	Eurocode 3-2005	Design Section	IPE400

COMBO ID	STATION LOC	DEFLECTION RATIO
OKL5Wy	0,00	0,000
OKL5Wy	0,45	0,014
OKL5Wy	0,90	0,037
OKL5Wy	1,35	0,065
OKL5Wy	1,80	0,091
OKL5Wy	2,25	0,108
OKL5Wy	2,70	0,108

Modify/Show Overwrites

Overwrites

Display Details for Selected Item

Details Envelope

Display Complete Details

Tabular Data

Strength Deflection

OK Cancel

Stylesheet: Default

Table Format File

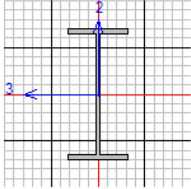
Εικόνα 214: Έλεγχος μέλους σε ΟΚΛ στο Sap 2000

Παρατηρούμε στην παραπάνω εικόνα πως το υπ' αριθμόν 62 μέλος που αποτελεί τμήμα κύριας δοκού στον άξονα 5 του καννάβου, εξαντλεί το 11% περίπου του επιτρεπόμενου βέλους κάμψης που μπορεί να φτάσει στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας στη μέση του μήκους του, κατά τον έλεγχο του για το συνδυασμό "OKL5Wy".

Steel Stress Check Data Eurocode 3-2005

File

Units: KN, m, C



```

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Deflection Envelope)
Units : KN, m, C
Element: 62      Section: IPE400      Combo: OKL5Wy      Len: 3,750

Frame : 62      X Mid: 13,125      Design Type: Beam
Length: 3,750  Y Mid: 24,000      Frame Type: DCL-MRF
Shape: IPE400  Z Mid: 6,000       Rolled : Yes

Country=CEN Default      Combination=Eq. 6.10      Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B)  MultiResponse=Envelopes  P-Delta Done? No
Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No  D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,00      GammaM1=1,00      GammaM2=1,25
q=1,50             Omega=1,00         GammaOV=1,10
An/Ag=1,00        RLLF=1,000        PLLF=0,750      D/C Lim=0,950

A=0,008           Iyy=2,318E-04      iyy=0,165       Wel,yy=0,001
It=0,000          Izz=1,318E-05      izz=0,039       Wel,zz=1,464E-04
Iw=0,000          Iyz=0,000          h=0,400         Wpl,yy=0,001
E=210000000,0    fy=355000,000     fu=510000,000   Wpl,zz=2,290E-04

DEFLECTION CHECK (ENVELOPE)
Deflection Load Station Deflection Deflection Deflection Check
Type Combo Location Value Limit Ratio Status
Dead Load OKL1 2,696 3,199E-04 0,031 0,010 OK
Total Load OKL5Wy 2,696 0,002 0,019 0,108 OK
Total-Camber OKL5Wy 2,696 0,002 0,019 0,108 OK
  
```

Εικόνα 215: Τεύχος αποτελεσμάτων στο Sap 2000 για το εξεταζόμενο μέλος

Από το τεύχος βλέπουμε πως το μήκος του στοιχείου είναι $L=3.76\text{m}$ κάτι που στη πράξη δεν είναι ορθό καθότι στη κατακόρυφη διεύθυνση δεν υπάρχει κάποια εξασφάλιση. Για να μπορούσαμε να ελέγξουμε ορθά τη παράμετρο αυτή θα έπρεπε να δημιουργήσουμε έναν νέο φορέα όπου οι κύριοι δοκοί δεν θα αποτελούνταν από πολλά "σχεδιαστικά" μέλη.

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΛΩΝ (ΤΟΠΙΚΟΙ ΑΞΟΝΕΣ)				ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ (ΚΑΘΟΛΙΚΟΙ ΑΞΟΝΕΣ)			
Μέγεθος	Τιμή		Συνδ.	Μέγεθος	Τιμή		Συνδ.
	y-y	z-z			X-X	Z-Z	
δ_{\max}	0.024	5.617	cm	Δu_{\max}			cm
L_z	359.50	1500.0	cm	L_z			cm
Συντελεστής	200.00	200.00		Συντελεστής			
Ratio	0.014	0.749		Ratio			
ΕΠΑΡΚΕΙΑ	Ναι	Ναι		ΕΠΑΡΚΕΙΑ			

Εικόνα 216: Αποτελέσματα ελέγχου στην ΟΚΛ στο Scada Pro

Όπως παρατηρούμε στον ανωτέρω πίνακα για το εξεταζόμενο μέλος, το ενεργό μήκος στον τοπικό άξονα Z λαμβάνεται το συνολικό μήκος της δοκού κατά συνέπεια μπορεί να προχωρήσει ορθά ο έλεγχος λειτουργικότητας. Στον τοπικό άξονα Y ορίζεται ως μήκος το ενεργό μήκος της δοκού, δηλαδή αυτό το οποίο βρίσκεται μεταξύ των πλευρικών εξασφαλίσεων. Ο συντελεστής εξάντλησης για το άνοιγμα των 15 μ. προκύπτει στο 75% του διαθέσιμου με βέλος μετατόπισης που ανέρχεται στα 5,6 εκ.

Ο κρίσιμος συνδυασμός φόρτισης του μέλους στο Scada Pro για τον οποίο παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση αποτελείται από τις φορτίσεις $(1.00(G+\text{extra}G) + 1.0 \text{ Snow} - 0.6 \text{ Temp} + 0.6 \text{ Wy-y})$. Στο Sap ο κρίσιμος συνδυασμός φόρτισης για το ίδιο μέλος είναι ο $OKL5Wy$ και αποτελείται από τις φορτίσεις $(1.00G + 1.00\text{extra}G + 1.00 \text{ Snow} + 0.6 \text{ Temp} + 0.6 \text{ Wy-y})$. Παρατηρούμε πως οι κρίσιμοι συνδυασμοί για το ίδιο μέλος στα δύο λογισμικά ταυτίζονται. Η διαφορά είναι το αρνητικό φορτίο θερμοκρασίας που είναι στο Scada Pro έναντι της θετικής τιμής του φορτίου θερμοκρασίας στο Sap2000, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο προσέγγισης επιβολής του θερμοκρασιακού φορτίου από τα δύο προγράμματα.

Συμπερασματικά όπως διαπιστώσαμε στη παρούσα εργασία και τα δύο προγράμματα σε επίπεδο ανάλυσης και σχεδιασμού οδηγούν σε ίδια αποτελέσματα. Υπάρχουν μικρές αποκλίσεις οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε πολλούς παράγοντες είτε εσωτερικούς του προγράμματος είτε συνθηκών μοντελοποίησης. Διαφορά στα παραγόμενα αποτελέσματα διαπιστώθηκε μόνο στο θερμοκρασιακό φορτίο. Η μέθοδος επιβολής της φόρτισης στα δύο προγράμματα διαφέρει και ως εκ τούτου όποια απόκλιση μπορεί να οφείλεται σε αυτό.

Ο εξεταζόμενος φορέας ελέγχθηκε και η εικόνα των ιδιομορφών και των εντατικών μεγεθών που προέκυψαν ταυτίστηκε και από τα δύο λογισμικά στο μεγαλύτερο μέρος. Για έναν αριθμό ιδιομορφών με μικρή συμμετοχή στην ενεργοποιούμενη μάζα παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των δύο λογισμικών.

Στον σχεδιασμό του φορέα προέκυψαν επάρκειες στα δομικά μέλη. Οι όποιες διαφορές εντοπίζονται κυρίως στη λογική σχεδιασμού από κάθε πρόγραμμα εφόσον κάθε ένα προσφέρει διαφορετικές δυνατότητες και ευκολίες στο τρόπο προσομοίωσης των πραγματικών συνθηκών και στην εισαγωγή των παραμέτρων ελέγχου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Επιπρόσθετα πέραν της μελέτης του θεωρητικού φορέα μας, το Scada Pro έχει "ένσωματωμένα" κάποια σημαντικά εργαλεία που σε πραγματικό κτίριο θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε για την ολοκληρωμένη ανάλυση και σχεδιασμό. Ο σχεδιασμός των συνδέσεων των μελών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 είναι μία πολύ βασική διαδικασία κατά το σχεδιασμό ενός κτιρίου, επίσης ο έλεγχος των διατομών ψυχρής έλασης όπως οι τεγίδες και οι μηκίδες που υπάρχουν σε όλα τα συνήθη βιομηχανικά κτίρια μπορεί να επιλυθεί από το Scada. Δίνεται επίσης η δυνατότητα από το πρόγραμμα, διασύνδεσης με εξειδικευμένα προγράμματα επίλυσης σύνθετων προβλημάτων για πολύπλοκες συνδέσεις (π.χ. IDEA STATICA). Συνεπώς προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πακέτο δυνατοτήτων για να καλύψει τις ανάγκες ενός μηχανικού της αγοράς. Το Sap 2000 όντας ένα πρόγραμμα περισσότερο ερευνητικό δεν προσφέρει τέτοια εργαλεία σχεδιασμού, αποτελεί όμως ένα κορυφαίας αξιοπιστίας λογισμικό.

Τέλος και τα δύο προγράμματα προσφέρουν αρκετές επιλογές εμφάνισης του φορέα, παρουσίασης των αποτελεσμάτων, εποπτείας των φορτίσεων και ελέγχου κάθε στοιχείου ξεχωριστά. Το Scada Pro έχει επιπλέον τη δυνατότητα εξαγωγής τεύχους προμετρήσεων της κατασκευής, παραγωγής σχεδίων της κατασκευής βασιζόμενα στη μοντελοποίηση και ένα πεδίο βελτιστοποίησης με σκοπό τη διερεύνηση από το μελετητή ελαχιστοποίησης του κόστους κατασκευής και του κόστους των υλικών.

Από τη μελέτη μου αυτή διαπίστωσα πως κανένα πρόγραμμα δεν μπορεί να καλύψει όλο το φάσμα των απαιτήσεων μιας μελέτης, εφόσον κάθε έργο είναι μοναδικό, άλλο πολύπλοκο ή τυποποιημένο και άλλο με ιδιαιτερότητες ή μη. Το πιο σημαντικό είναι η επιστημονική γνώση του μηχανικού και η κριτική ματιά του, όπου έχοντας στα χέρια του ένα "εργαλείο" ανάλυσης και σχεδιασμού, θα το χρησιμοποιήσει με τρόπο ορθό ώστε να μπορέσει να κατανοήσει εις βάθος τη συμπεριφορά του δημιουργήματος του και να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα με σαφήνεια.

Βιβλιογραφία

1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. 'Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα με παραδείγματα εφαρμογής', Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Ο.Α.Σ.Π-ΣΠΜΕ (2001). 'Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ.) 2000', Αθήνα.
3. CEN (July 2001). 'prEN1990:2001 E., Eurocode 0: Basis of structural design', Brussels.
4. CEN (April 2002). 'EN1991-1-1, Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-1: General actions-Densities, self weight, imposed loads for buildings', Brussels.
5. CEN (July 2003). 'EN1991-1-3, Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-3: General actions-Snow loads', Brussels.
6. CEN (January 2004). 'EN1991-1-4, Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-4: General actions-Wind actions', Brussels.
7. CEN (November 2003). 'EN1991-1-5, Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-5: General actions -Thermal actions', Brussels.
8. CEN (May 2005). 'EN1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures, Part1-1:General structural rules', Brussels.
9. CEN (September 2004). 'EN 1994-1-1, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings', Brussels.
10. CEN (December 2004). 'EN1998-1, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance , Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels.
11. Computers and Structures, Inc. 'SAP2000® Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures - STEEL DESIGN MANUAL', Berkeley, California, USA