

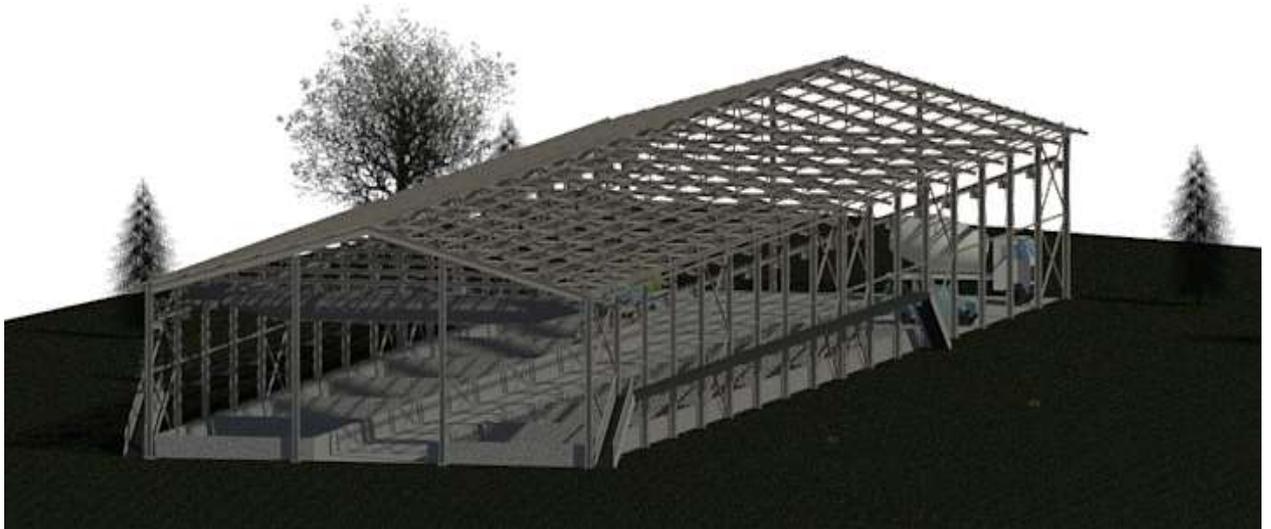


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Αρχιτεκτονική και Στατική Μελέτη
Βιομηχανικού κτιρίου με χρήση Λογισμικών
Building Information Modelling (BIM)



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ Α. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

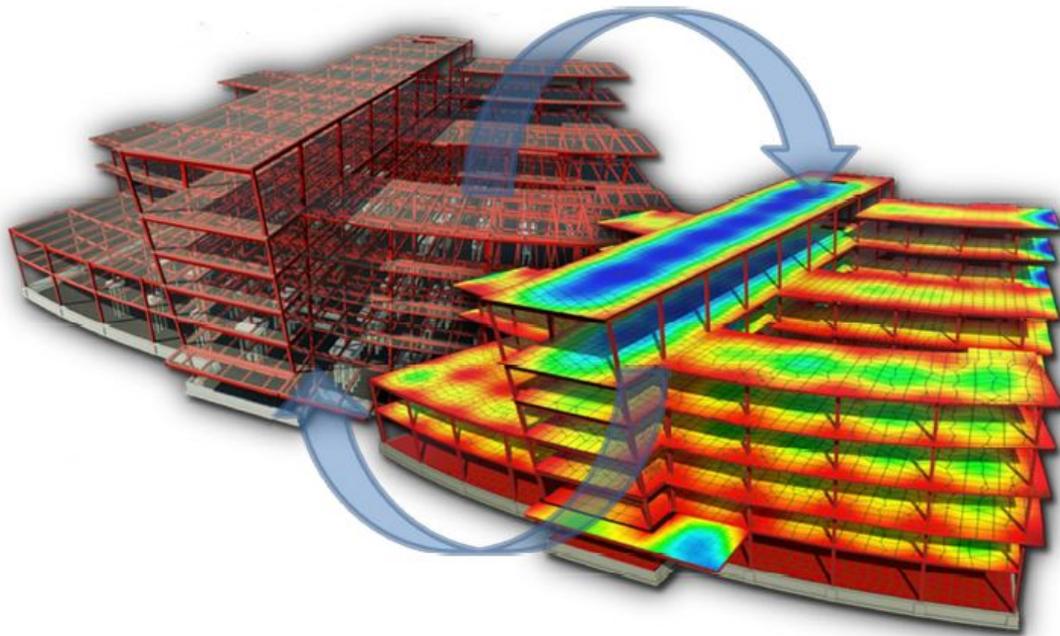
Επιβλέπων: ΘΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2018

ΕΜΚ ΔΕ 2018/14

Τσίπουρας Α. Π. (2018).
Αρχιτεκτονική και Στατική Μελέτη
Βιομηχανικού κτιρίου με χρήση Λογισμικών
Building Information Modelling (BIM)
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2018/14
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Tsipouras A. P. (2018).
Architecture and Static Design
Industrial building using Software
Building Information Modeling (BIM)
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2018/14
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece



Η έγκριση της διπλωματικής αυτής εργασίας από την Ανώτατη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

Σε περίπτωση που θέλετε να επικοινωνήσετε με τον συγγραφέα, για θέματα σχετικά με την εργασία, μπορείτε να απευθυνθείτε στη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου:

panagiotistsip7@gmail.com.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	9
Abstract	10
Ευχαριστίες	11
1 Εισαγωγή	12
1.1 Γενική περιγραφή τεχνικού έργου και σκοπός λειτουργίας του	12
1.2 Εισαγωγή στη Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (BIM)	13
1.3 Εργαλεία BIM	14
2 Αρχιτεκτονική Μελέτη Κατασκευαστικού Έργου	15
2.1 Εισαγωγή στο Revit	15
2.2 Ξεκινώντας ένα έργο με το λογισμικό Revit.....	16
2.3 Αναλυτικό μοντέλο κατασκευής.....	22
2.4 Εξαγωγή Revit structure model σε Robot Structural Analysis	24
3 Στατική Μελέτη Κατασκευαστικού Έργου στην Ελλάδα.....	28
3.1 Εισαγωγή.....	28
3.2 Γενική περιγραφή του προγράμματος Robot.....	30
3.2.1 Κατηγορίες μοντέλων σχεδίασης και ανάλυσης στο Robot	30
3.2.2 Εργαλεία και περαιτέρω δυνατότητες του προγράμματος	31
3.3 3D Μεταλλική κατασκευή αποθήκευσης υλικού στο Robot	32
3.3.1 Αρχική γεωμετρία του μοντέλου	33
3.3.2 Υλικά κατασκευής	37
3.3.3 Ρυθμίσεις παραμέτρων για τα δεδομένα της Ελλάδας.....	40
3.3.4 Μόρφωση φορέα στο Robot structural analysis 2018	43
3.4 Φορτίσεις Κατασκευής.....	45
3.4.1 Μόνιμα φορτία.....	46
3.4.2 Κινητά (μεταβλητά) φορτία	49
3.4.3 Σεισμικές δράσεις	81
4 Οριακές καταστάσεις - Δράσεις	91
4.1 Οριακές καταστάσεις αστοχίας.....	91
4.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	93
5 Αποτελέσματα	95

5.1	Εντατικά μεγέθη.....	95
5.2	Έλεγχος διατομών και μελών.....	98
5.3	Παραμορφώσεις – Βέλη κάμψης	104
5.4	Ιδιοπερίοδος φορέα	110
6	Συνδέσεις.....	113
6.1	Γενικό.....	113
6.2	Γεωμετρία.....	114
6.2.1	Αριστερή πλευρά	114
6.2.2	Δοκός	114
6.2.3	Δεξιά πλευρά.....	114
6.2.4	Δοκός	114
6.2.5	Κοχλίες.....	114
6.2.6	Πλάκα	114
6.2.7	Κάτω ενίσχυση.....	115
6.2.8	Συγκολλήσεις εξωραφής.....	115
6.2.9	Συντελεστές υλικού	115
6.3	Αποτελέσματα.....	116
6.3.1	Αντοχές δοκαριού	116
6.3.2	Αντοχή σύνδεσης σε εφελκυσμό	116
6.3.3	Αντοχή σύνδεσης σε κάμψη	116
6.3.4	Αντοχή σύνδεσης σε διάτμηση	117
6.3.5	Αντοχή συγκόλλησης.....	117
6.3.6	Ακαμψία σύνδεσης	117
6.3.7	Πιο αδύναμο τμήμα:	117
7	Ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ Revit και Robot	120
7.1	Εξαγωγή τελικού φορέα από το Robot στο Revit της Autodesk	120
7.2	Τελική τρισδιάστατη παρουσίαση μεταλλικής κατασκευής από το πρόγραμμα Revit της Autodesk 2018.....	121
	Βιβλιογραφία	123

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 2.1: Στάθμες κατασκευής	16
Εικόνα 2.2: Κάνναβος κατασκευής	17
Εικόνα 2.3: Δεξαμενές ασβεστοπολτού.....	17
Εικόνα 2.4: Φάση σχεδιασμού δεξαμενών, θεμελίων και υποστυλωμάτων.....	18
Εικόνα 2.5: Φάση σχεδιασμού μεταλλικής κατασκευής	19
Εικόνα 2.6: Φάση σχεδιασμού στέγης μεταλλικής κατασκευής	19
Εικόνα 2.7: Κάτοψη μεταλλικής κατασκευής	20
Εικόνα 2.8: Όψη μεταλλικής κατασκευής.....	20
Εικόνα 2.9: Πρόσοψη μεταλλικής κατασκευής.....	21
Εικόνα 2.10: Εργαλεία αναλυτικού μοντέλου	22
Εικόνα 2.11: Συσχέτιση φυσικού και αναλυτικού μοντέλου.....	23
Εικόνα 2.12: Διαδικασία αποστολής τμήματος της μεταλλικής κατασκευής στο Robot. 26	
Εικόνα 2.13: Μοντέλο στο Robot.....	27
Εικόνα 3.1: Κατηγορίες μοντέλων δομής στο Robot	30
Εικόνα 3.2: Εργαλεία και διάταξη των επιλογών στο Robot.....	31
Εικόνα 3.3: Μεταλλική κατασκευή αποθήκευσης υλικού.....	32
Εικόνα 3.4: Κάτοψη μεταλλικής κατασκευής	33
Εικόνα 3.5: Γεωμετρία πρόσοψης	34
Εικόνα 3.6: Πλάγια όψη μεταλλικής κατασκευής.....	35
Εικόνα 3.7: Κατάταξη και τομή ζυγώματος	35
Εικόνα 3.8: Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας	36
Εικόνα 3.9: Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας	36
Εικόνα 3.10: Διαδικασία επιλογής κατηγορίας χάλυβα και παραμέτρων	38
Εικόνα 3.11: Κατηγορία υλικών κατασκευής.....	39
Εικόνα 3.12: Επιλογή Preferences και Job Preferences.....	40
Εικόνα 3.13: Preferences	40
Εικόνα 3.14: Job Preferences.....	41
Εικόνα 3.15: Εφαρμογή στήριξης με δέσμευση βαθμών ελευθερίας για υλοποίηση πάκτωσης	43
Εικόνα 3.16: Απελευθέρωση βαθμών ελευθερίας για υλοποίηση άρθρωσης	44
Εικόνα 3.17: Ορισμός μέλους για παραλαβή μόνο αξονικού φορτίου.....	44
Εικόνα 3.18: Εφαρμογή ίδιου βάρους μεταλλικής κατασκευής.....	46
Εικόνα 3.19: Διαδικασία τοποθέτησης Claddings.....	47
Εικόνα 3.20: Διαδικασία τοποθέτησης φορτίων επικάλυψης στέγης.....	48
Εικόνα 3.21: Γερανογέφυρα – [15].....	50
Εικόνα 3.22: Διαδικασία δημιουργίας νέας κατηγορίας κινητού φορτίου (New moving load)	51

Εικόνα 3.23: Διαδικασία δημιουργίας δεδομένων κινητού φορτίου (Moving load).....	52
Εικόνα 3.24: Προσθήκη κινητών φορτίων στην μεταλλική κατασκευή	53
Εικόνα 3.25: Μεταλλική κατασκευή με τα φορτία της γερανογέφυρας.....	59
Εικόνα 3.26: Ταχεία προβολή της θέσης κινητού φορτίου	60
Εικόνα 3.27: Φορτία χιονιού στη θαλάσσια στάθμη	61
Εικόνα 3.28: Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού δίκλινης στέγης.....	63
Εικόνα 3.29: Διαδικασία εισαγωγής των φορτίων χιονιού στο Robot	65
Εικόνα 3.30: Χάρτης ζωνών για τον καθορισμό βασικής ταχύτητας ανέμου	66
Εικόνα 3.31: Λόγος πληρότητας φ	70
Εικόνα 3.32: Διάταξη φορτίων ανέμου για δικλινή στέγαστρα	72
Εικόνα 3.33: Μη τοποθέτηση παράπλευρων επιφανειών (Claddings) για την ανάλυση του ανέμου.....	74
Εικόνα 3.34: Προσομοίωση ανέμου	75
Εικόνα 3.35: Παράθυρο προσομοίωσης ανέμου	76
Εικόνα 3.36: Προσομοίωση ανέμου και δράσεις στην διεύθυνση Y+ (37.78 m/s).....	77
Εικόνα 3.37: Προσομοίωση ανέμου και δράσεις στην διεύθυνση Y- (37.78 m/s).....	78
Εικόνα 3.38: Προσομοίωση ανέμου στην διεύθυνση X+ 37.78 m/s (όμοια και X-).....	79
Εικόνα 3.39: Ολοκλήρωση προσομοίωσης ανέμου.....	80
Εικόνα 3.40: Δημιουργία νέας κατηγορίας ανάλυσης και εισαγωγή παραμέτρων ιδιομορφικής ανάλυσης.....	81
Εικόνα 3.41: Απλοποιημένοι παράμετροι.....	82
Εικόνα 3.42: Δημιουργία σεισμού στο Robot (E.A.K. 2000).....	85
Εικόνα 3.43: Παράμετροι σεισμού (E.A.K. 2000)	85
Εικόνα 3.44: Διαδικασία αυτόματου συνδυασμού φορτίων.....	89
Εικόνα 3.45: Παραγωγή όλων των φορτίων της κατασκευής	89
Εικόνα 3.46: Τύποι ανάλυσης.....	90
Εικόνα 5.1: Διάγραμμα ροπών κάμψης $M_{y,Ed}$ στην πρόσοψη της κατασκευής.....	95
Εικόνα 5.2: Διάγραμμα ροπών κάμψης $M_{y,Ed}$ των τεγίδων	95
Εικόνα 5.3: Διάγραμμα ροπών κάμψης $M_{y,Ed}$ στην δοκού κύλισης της γερανογέφυρας .	96
Εικόνα 5.4: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων $V_{z,Ed}$	96
Εικόνα 5.5: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed} των κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας.....	96
Εικόνα 5.6: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed}	97
Εικόνα 5.7: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed} στην πρόσοψη της κατασκευής.....	97
Εικόνα 5.8: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed} των οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας	97
Εικόνα 5.9: Παράμετροι διαστασιολόγησης μελών	98
Εικόνα 5.10: Αποτελέσματα ελέγχου υποστυλώματος για το συνδυασμό φόρτισης ULS1	99

Εικόνα 5.11: Αποτελέσματα ελέγχου τμήματος ζυγώματος πλαισίου για το συνδυασμό φόρτισης ULS4	100
Εικόνα 5.12: Αποτελέσματα ελέγχου τεγίδας για το συνδυασμό φόρτισης ULS8	101
Εικόνα 5.13: Αποτελέσματα ελέγχου μηκίδας για το συνδυασμό φόρτισης ULS11	101
Εικόνα 5.14: Αποτελέσματα ελέγχου οριζόντιου συνδέσμου δυσκαμψίας για το συνδυασμό φόρτισης ULS2	102
Εικόνα 5.15: Αποτελέσματα ελέγχου κατακόρυφου συνδέσμου δυσκαμψίας για το συνδυασμό φόρτισης ULS19	102
Εικόνα 5.16: Έλεγχος δοκού κύλισης γερανογέφυρας για το συνδυασμό φόρτισης ULS5	103
Εικόνα 5.17: Έλεγχος βραχύ προβόλου (στήριξης δοκού κύλισης γερανογέφυρας) για το συνδυασμό φόρτισης ULS3	103
Εικόνα 5.18: Βέλη κάμψης	104
Εικόνα 5.19: Modal Analysis Results (α) και Modal Analysis Parameters (β)	110
Εικόνα 5.20: Θεμελιώδης ιδιομορφή ταλάντωσης ($T_{10} = 0.43\text{sec}$)	112
Εικόνα 5.21: Δεσπόζουσα ιδιομορφή για σεισμό κατά X-X ($T_{26} = 0.14\text{sec}$)	112
Εικόνα 6.1: Σύνδεση μεταξύ ζυγωμάτων IPE400	117
Εικόνα 6.2: Σύνδεση υποστυλώματος HEB320 με ζύγωμα IPE400	118
Εικόνα 6.3: Σύνδεση οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας	118
Εικόνα 6.4: Σύνδεση υποστυλώματος και κοντού προβόλου στήριξης κινητήριας δοκού γερανογέφυρας	119
Εικόνα 6.5: Σύνδεση υποστυλώματος HEB320 με θεμέλιο σκυροδέματος C20/25	119
Εικόνα 7.1: Επιλογές ενημέρωσης φορέα στο Revit χρησιμοποιώντας δεδομένα από το Robot	120
Εικόνα 7.2: Ρεαλιστική 3D απεικόνιση μεταλλικής κατασκευής	121
Εικόνα 7.3: Δυτική πρόσοψη μεταλλικής κατασκευής	121
Εικόνα 7.4: Όψη μεταλλικής κατασκευής	121
Εικόνα 7.5: Ανατολική πρόσοψη μεταλλικής κατασκευής	122
Εικόνα 7.6: Κάτοψη μεταλλικής κατασκευής	122

Περίληψη

Το μέλλον του κατασκευαστικού κλάδου είναι ψηφιακό και το Building Information Modeling (BIM) θα συνεχίζει να φέρνει ραγδαίες αλλαγές στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση των έργων. Καθώς οι υπολογιστές, το λογισμικό και το cloud συνεχίζουν να αναβαθμίζονται και αποκτούν την δυνατότητα διαχείρισης περισσότερων δεδομένων και πληροφοριών, η χρήση του BIM θα γίνει ακόμα πιο έντονη απ' ό,τι στα τρέχοντα έργα. Το BIM είναι μία από τις πιο ελπιδοφόρες εξελίξεις στον κλάδο της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και των κατασκευών. Με την τεχνολογία BIM, παρέχεται η δυνατότητα στον πολιτικό μηχανικό να κατασκευάσει ψηφιακά ένα κτίριο. Τα μοντέλα που παράγονται στον υπολογιστή περιέχουν ακριβή γεωμετρία και δεδομένα που είναι απαραίτητα για την υποστήριξη κατά την διάρκεια της μελέτης, κατασκευής, και διαχείρισης έργων.

Το Autodesk Revit και Robot Structural Analysis, αποτελούν τα πλέον ευρέως αναγνωρισμένα λογισμικά BIM για αρχιτέκτονες καθώς και πολιτικούς μηχανικούς. Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ του λογισμικού Autodesk Revit 2018 και του λογισμικού Robot Structural Analysis Professional 2018 της Autodesk, συμπεριλαμβανομένων των προτεινόμενων ροών εργασιών, της βέλτιστης και πρακτικής αναλυτικής μοντελοποίησης και των λεπτομερειών ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των αποτελεσμάτων. Οι δομοστατικοί μηχανικοί τυπικά αρχίζουν τη διαδικασία σχεδιασμού ερμηνεύοντας αρχιτεκτονικά σχέδια, δημιουργώντας τεκμηρίωση σχεδίασης και παράγοντας διάφορα αναλυτικά μοντέλα. Αυτά τα αναλυτικά μοντέλα πρέπει να συντονίζονται με συνέπεια σε σχέση με τη γενική διάταξη πλαισίου, τις ιδιότητες του υλικού και των τμημάτων και τις επιβαλλόμενες φορτίσεις. Μόλις ολοκληρωθεί η ανάλυση και ο σχεδιασμός, η τεκμηρίωση σχεδίασης τροποποιείται ώστε να αντικατοπτρίζει τον πιο σύγχρονο σχεδιασμό. Αυτή η ροή εργασίας επαναλαμβάνεται για κάθε επανάληψη της διαδικασίας σχεδιασμού. Ο σύνδεσμος μεταξύ του λογισμικού Autodesk Revit Architecture και του Revit Structure 2018 με το λογισμικό Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 βοηθάει στην εξομάλυνση αυτής της ροής εργασίας διευκολύνοντας τον συντονισμό των τεκμηρίων σχεδιασμού με τις δομικές αναλυτικές πληροφορίες σχεδιασμού. Το λογισμικό του Revit υποστηρίζει το BIM για πολιτικούς μηχανικούς παρέχοντας ένα ψηφιακό μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για την τεκμηρίωση και ένα σχετικό αναλυτικό μοντέλο καθώς και άλλα δομικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες που θα χρησιμοποιηθούν για τη στατική ανάλυση και τον σχεδιασμό. Το Robot Structural Analysis Professional υποστηρίζει το BIM με την προηγμένη του ανάλυση και τη λειτουργικότητα σχεδιασμού πολυμέσων.

Abstract

The future of the construction industry is digital, and Building Information Modeling (BIM) is the future of the design, construction and management of facilities. As hardware, software and cloud applications continue to evolve and become capable of handling increasing amounts of data and information, the use of BIM will become even more prominent for future projects. BIM is one of the most promising developments in the architecture, engineering, and construction (AEC) industries. With BIM technology, one or more accurate virtual models of a building are constructed digitally. They support design through its phases, allowing better analysis and control than manual processes. When completed, these computer-generated models contain precise geometry and data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities through which the building is completed.

Autodesk Revit and Robot Structural Analysis are widely recognized industry standard BIM computer applications for architects and structural design professionals. The current thesis explores the interoperability between Autodesk Revit 2018 and Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 software, including recommended workflows, analytical modeling best practices, and the details of data exchange between the results. Structural engineers typically start the design process by interpreting architectural drawings, creating design documentation, and constructing various analytical models. These analytical models must be consistently coordinated with respect to the general framing layout, material and section properties, and loading. Once the analysis and design is complete, the design documentation is modified to reflect the most current design. This workflow is repeated for each iteration of the design process. The link between Autodesk Revit Architecture and Revit Structure 2018 software with Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 software enables a smoother workflow by facilitating the coordination of design documentation with structural analytical design information. Revit software supports the Building Information Modeling (BIM) process for structural engineers by providing a digital model of the structure to use for documentation and an associated analytical model, as well as other structural attributes and properties to use for structural analysis and design. Robot Structural Analysis Professional supports BIM with its advanced analysis and multi-material design functionality.

Ευχαριστίες

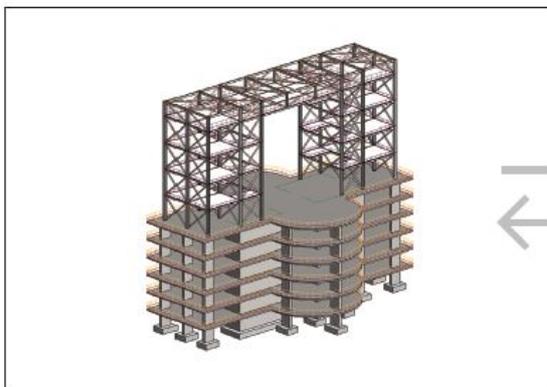
Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω θερμά των κ. Παύλο Θανόπουλο, Λέκτορα του Τομέα Δομοστατικής, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Επίσης, μου παρείχε την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα θέμα, το οποίο μου κεντρίζει το ενδιαφέρον, καθιστώντας με αυτό τον τρόπο πιο ενδιαφέρουσα και ευχάριστη την όλη ενασχόλησή μου με την διπλωματική μου εργασία. Η συνεργασία μας καθ' όλη την εξέλιξη της εργασίας υπήρξε άρτια, άμεση και εύφορη, ενώ η διαρκής διάθεσή του αποτέλεσε καίριο παράγοντα στην εύρυθμη εκπόνηση αυτής.

Έπειτα, θέλω να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κ. Ιωάννη Ραυτογιάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Δομοστατικής και τον κ. Αβραάμ Τάσο, Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Δομοστατικής, για την βοήθεια που μου προσέφεραν όσες φορές τους χρειάστηκα.

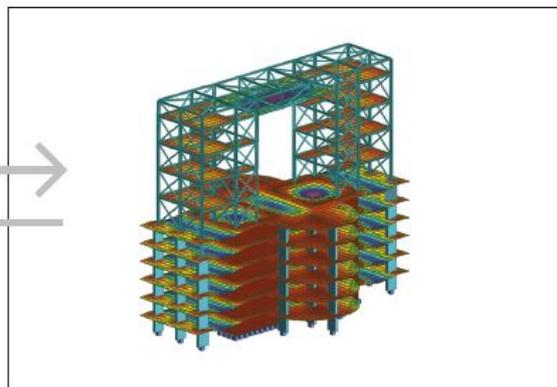
Ευχαριστώ επίσης την οικογένειά μου για την υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στον πατέρα μου, την μητέρα μου, την γιαγιά μου και την φίλη μου Αγγελική, που βρίσκονται πάντα δίπλα μου και με στηρίζουν με αγάπη σε κάθε μου βήμα.

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η περίοδος αυτή ήταν ένα πολύ δύσκολο, απαιτητικό και συναρπαστικό ταξίδι που με προετοίμασε για μια επιτυχή προσωπική και επαγγελματική ζωή.

Modelling in Autodesk Revit Structure



Structural Analysis in Robot Structural Analysis



1 Εισαγωγή

1.1 Γενική περιγραφή τεχνικού έργου και σκοπός λειτουργίας του

Η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματεύεται την ανάλυση και τη διαστασιολόγηση μεταλλικής κατασκευής αποθήκευσης ασβεστοπολτού, η οποία βρίσκεται στη Σπάρτη του Νομού Λακωνίας.

Στην εργασία αυτή θέλουμε να σχεδιάσουμε και να αναλύσουμε μεταλλική κατασκευή, βάση της μεθοδολογίας και φιλοσοφίας του BIM. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Revit για το σχεδιασμό και μεταφέροντας τον φορέα στο πρόγραμμα Robot για την ανάλυση, θα δείξουμε πώς ένας πολιτικός μηχανικός μπορεί να εργαστεί για να φέρει εις πέρας ένα έργο που του έχει ανατεθεί.

Για τον προσδιορισμό των φορτίων που επιβλήθηκαν στο φορέα κατά την ανάλυση, χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 1, ενώ η ανάλυση και η διαστασιολόγηση του φορέα πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Robot Structural Analysis. Κατόπιν, παρουσιάζονται η διαδικασία διαμόρφωσης του προσομοιώματος καθώς και οι έλεγχοι σε επίπεδο διατομής και μέλους. Ύστερα ακολουθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης και η παράθεση των διατομών που προέκυψαν μετά τον έλεγχο σε οριστική κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας. Επιπλέον, γίνεται εκτενής ανάλυση των χαρακτηριστικών συγκεκριμένων συνδέσεων που διαμορφώθηκαν και ελέγχθηκαν με το Robot Structural Analysis.

Στη μεταλλική κατασκευή εδράζονται δεξαμενές, στις οποίες αποθηκεύεται ο ασβεστοπολτός. Ο ασβεστοπολτός, παράγεται ύστερα από την ανάμειξη του ψημένου ασβέστη με το νερό. Ο ασβεστοπολτός χρησιμοποιείται στα τσιμεντοκονιάματα για να προσδώσει συγκολλητικές ιδιότητες, καθώς και αυξημένη εργασιμότητα με την μέγιστη αντοχή. Στην διαδικασία παραγωγής του ασβεστοπολτού χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα για την επεξεργασία του ασβέστη, έτσι ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή πλαστικότητα, λεύκανση και απόδοση του προϊόντος. Το υλικό μετά την αρχική επεξεργασία αποθηκεύεται για 30 με 40 μέρες σε στεγανές δεξαμενές-πισίνες για την ωρίμανση, την καθίζηση και την κατάλληλη τήξη. Στη συνέχεια, με ειδικό μηχάνημα μεταφέρεται σε σιλό από όπου γίνεται η τυποποίηση σε ειδικούς βαλβιδόσακκους 20kg ή σε μεγασάκους κλειστού τύπου. Επιπλέον, μεταφέρεται και σε ειδικό σιλοφόρο φορηγό, από όπου γίνεται απευθείας η μεταφορά και παράδοση του ασβεστοπολτού.



Ως *Ασβεστοπολτός ή Σβησμένος Ασβέστης*
($Ca(OH)_2 = \text{υδροξείδιο του ασβεστίου}$)

1.2 Εισαγωγή στη Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (BIM)

Το BIM αντιπροσωπεύει τη Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου. Ο όρος αυτός υπάρχει στη βιομηχανία εδώ και πολλά χρόνια και στην πραγματικότητα σχεδιάστηκε από την Autodesk και χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βασική διαδικασία δημιουργίας εικονικών μοντέλων, που αντιπροσωπεύουν πραγματικές εγκαταστάσεις κτιρίων. Η Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (BIM) είναι μια έξυπνη διαδικασία βασισμένη στο μοντέλο που παρέχει πληροφορίες για τη δημιουργία και διαχείριση κτιριακών έργων γρηγορότερα, οικονομικότερα και με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το Building Information Modeling (BIM) είναι μία από τις πιο ελπιδοφόρες εξελίξεις στην βιομηχανία (αρχιτεκτονική, μηχανική και κατασκευών). Κατά το σχεδιασμό του έργου δημιουργούνται επιμέρους φάσεις του, επιτρέποντας έτσι καλύτερη διαδικασία ανάλυσης και ελέγχου, ξεφεύγοντας από τις χειρωνακτικές διαδικασίες. Τα μοντέλα περιέχουν ακριβή γεωμετρία και δεδομένα που απαιτούνται για το κτίριο που κατασκευάζεται.

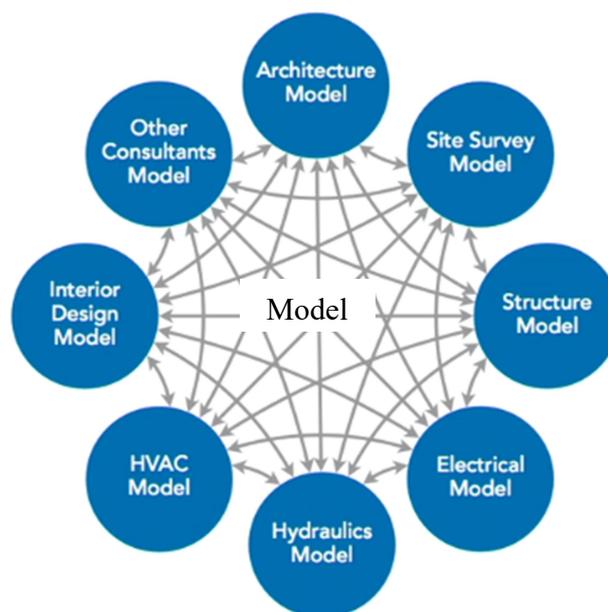
Το BIM φιλοξενεί επίσης πολλές από τις λειτουργίες που απαιτούνται για τη μοντελοποίηση του κύκλου ζωής ενός κτιρίου, παρέχοντας τη βάση για νέες δυνατότητες σχεδίασης και κατασκευής καθώς και αλλαγές στους ρόλους και τις σχέσεις μεταξύ μιας ομάδας έργου. Το BIM επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής και οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα κτιρίων με χαμηλότερο κόστος και μειωμένη διάρκεια κατασκευής του έργου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το BIM δεν είναι ένα λογισμικό. Το BIM είναι μια μέθοδος και υπάρχουν πολλά λογισμικά που είναι συμβατά με αυτό. Για παράδειγμα, το Revit και το Robot της Autodesk είναι πλήρως συμβατά λογισμικά που συνδυάζουν χωρικές διαστάσεις 2D και 3D. Είναι σημαντικό επίσης να καταλάβουμε ότι το BIM δεν είναι μόνο ένα τρισδιάστατο τμήμα μοντελοποίησης. Απαιτείται η προσθήκη δεδομένων και πληροφοριών για την δημιουργία ενός μοντέλου, το οποίο να θεωρείτε πως προέκυψε μέσω BIM. Αξίζει να σημειωθεί πως τα οφέλη του BIM επεκτείνονται σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, μέσω του BIM μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση ενέργειας ή υπολογισμός δομικών φορτίων, ή μπορούμε να πραγματοποιήσουμε μια ανάλυση φωτισμού, ή θέρμανσης και ψύξης. Το BIM αποτελεί επίσης ένα εξαιρετικό εργαλείο για να συντονίσουμε το έργο. Δηλαδή δίνει την δυνατότητα της συνεργασίας συναδέλφων και άλλων μηχανικών πάνω σε ένα κεντρικό μοντέλο, καθιστώντας τον καθένα ενήμερο σε πραγματικό χρόνο για κάθε αλλαγή που πραγματοποιείτε σε αυτό. Ο παραδοσιακός σχεδιασμός των κτιρίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα δισδιάστατα τεχνικά σχέδια (σχέδια, υψόμετρα, τμήματα κ.λπ.) τα οποία σε συνδυασμό αποτυπώνουν πληροφορίες σε τρεις διαστάσεις. Η κατασκευή μοντέλων (BIM) επεκτείνεται πέραν του 3D, προσθέτοντας στις τρεις χωρικές διαστάσεις (πλάτος, ύψος και βάθος) τον χρόνο ως τέταρτη διάσταση (4D) και το κόστος πέμπτη (5D). Το BIM επομένως καλύπτει περισσότερα από μια απλή γεωμετρία. Επίσης καλύπτει τις χωρικές σχέσεις, την ανάλυση φωτός, τις γεωγραφικές πληροφορίες, τις ποσότητες και τις ιδιότητες των κατασκευαστικών στοιχείων.

1.3 Εργαλεία BIM

Το Revit και το BIM στην πραγματικότητα είναι δύο διαφορετικά μέσα λειτουργίας. Το Revit είναι ένα εργαλείο που μας βοηθά να επιτύχουμε το BIM και το BIM είναι στην πραγματικότητα μια διαδικασία που ακολουθούμε για να δημιουργήσουμε δεδομένα μοντέλου κτιρίων συντονισμένα και αξιόπιστα. Εάν όλα τα μέρη που αποτελούν το έργο είναι πλήρως συντονισμένα μεταξύ τους, επιπλέον δεν απαιτούν χειροκίνητες ενημερώσεις συγχρονισμού και αν υπάρχει μια ισχυρή και πλούσια πηγή πληροφοριών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά, από το σύστημα με αποτέλεσμα την διεκπεραίωση σημαντικών υπολογισμών, τότε υπάρχει BIM.

Το λογισμικό σχεδίασης κτιρίων Autodesk Revit, είναι ειδικά σχεδιασμένο για το BIM, συμπεριλαμβάνοντας λειτουργίες αρχιτεκτονικού και δομικού σχεδιασμού. Παρουσιάζει πολλές από τις θεμελιώδεις έννοιες της δημιουργίας μοντέλων BIM μέσω της εφαρμογής των εργαλείων στο Revit. Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται είναι ένα μικρό υποσύνολο της πλήρους σειράς που διατίθεται στη πλατφόρμα Autodesk Revit, με ιδιαίτερη προσοχή στη δημιουργία νέων μοντέλων και την προβολή τους με κατάλληλους τρόπους για διάφορες εφαρμογές. Το Revit είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για να καταλάβουμε η τρισδιάστατη απεικόνιση ενός μοντέλου είναι πολύ σημαντική, για να αποκτηθούν υψηλής ποιότητας απεικονίσεις και ούτω καθεξής.

Κατά την διαδικασία εργασιών BIM, έχουμε την δυνατότητα να συντονίσουμε το μοντέλο μας με άλλους συναδέλφους. Έτσι δουλεύουμε σε ξεχωριστά μοντέλα και μοιραζόμαστε ένα κοινό αρχείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την εξοικονόμηση χρόνου και την παραγωγή ποιοτικότερων αποτελεσμάτων.



2 Αρχιτεκτονική Μελέτη Κατασκευαστικού Έργου

2.1 Εισαγωγή στο Revit

Η Autodesk Revit, κατασκευάζει λογισμικό μοντελοποίησης πληροφοριών που αναπτύσσεται από την Autodesk για αρχιτέκτονες, τοπογράφους, πολιτικούς μηχανικούς, μηχανολόγους μηχανικούς, σχεδιαστές, εργολάβους κλπ. Επιτρέπει στους χρήστες όχι μόνο τον σχεδιασμό ενός κτιρίου, αλλά και την σχεδίαση της 3D δομής των στοιχείων από τα οποία αποτελείται. Επίσης ο χρήστης μπορεί να εργαστεί με στοιχεία σχεδίασης 2D και να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες κτιρίων από τη βάση δεδομένων του μοντέλου. Το Revit δίνει την δυνατότητα για 4D BIM με εργαλεία σχεδιασμού και παρακολούθησης διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής του κτιρίου, από την ιδέα έως την κατασκευή και αργότερα την συντήρηση ή και κατεδάφιση.

Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί ταυτόχρονα να εποπτεύει τις τομές και όψεις της κατασκευής. Μπορεί να εργαστεί σχεδιάζοντας την τομή ή την όψη της κατασκευής και σε πραγματικό χρόνο να γίνεται ενημέρωση στο τρισδιάστατο μοντέλο.

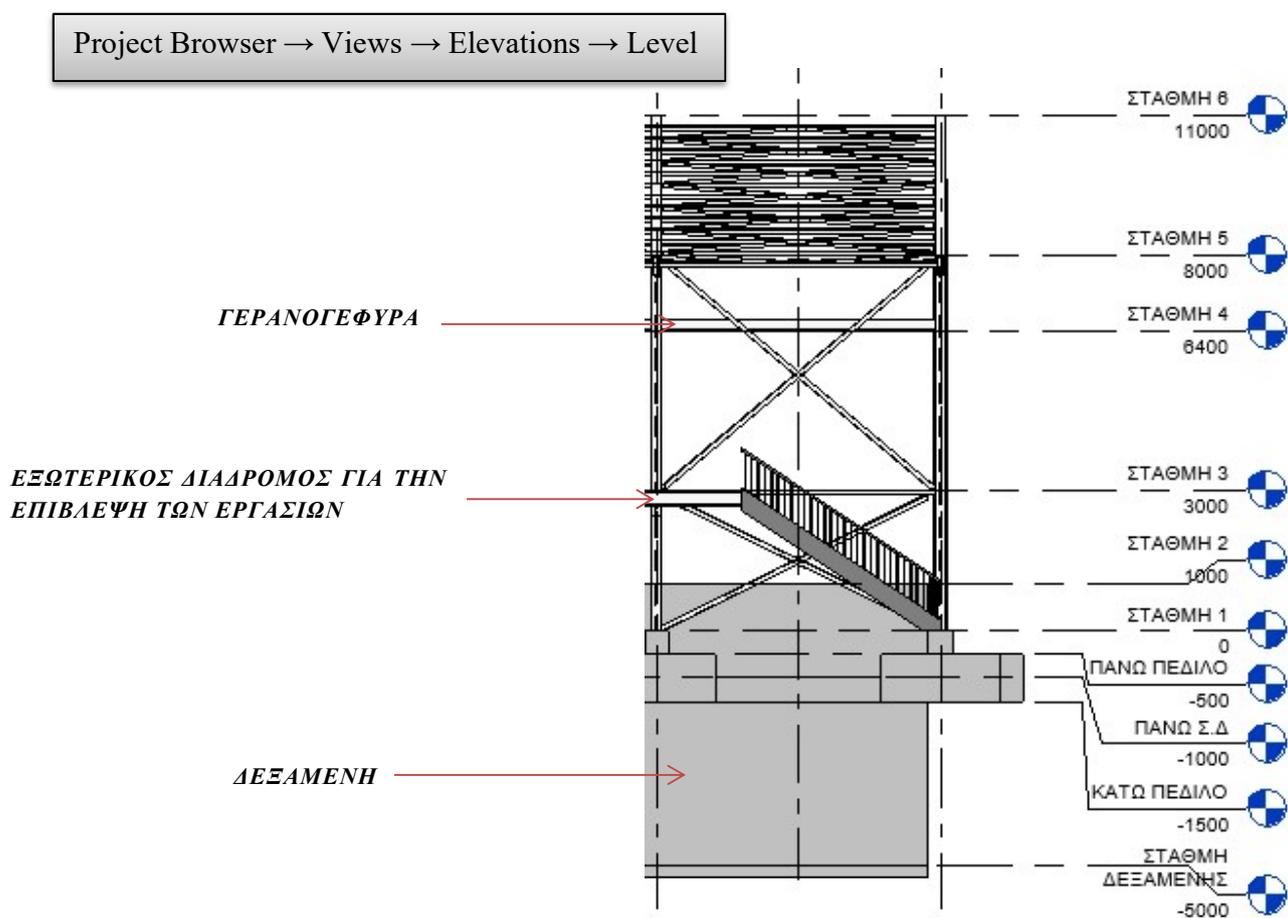
Το Revit μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πολύ ισχυρό εργαλείο σχεδιασμού για περίπλοκες και διαφορετικές μορφές κτιρίων. Το περιβάλλον εργασίας του Revit, επιτρέπει στους χρήστες να χειρίζονται ολόκληρα κτίρια ή μεμονωμένα 3D σχήματα. Τα εργαλεία μοντελοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με προκατασκευασμένες γεωμετρίες ή εισαγόμενα γεωμετρικά μοντέλα. Υπάρχει άμεση επικοινωνία με όλα τα υπόλοιπα προγράμματα της Autodesk, εξάγοντας και εισάγοντας .dwg αρχεία. Το Revit υποστηρίζει όλες τις φάσεις σχεδιασμού από την αρχή ως το τέλος.



2.2 Ξεκινώντας ένα έργο με το λογισμικό Revit

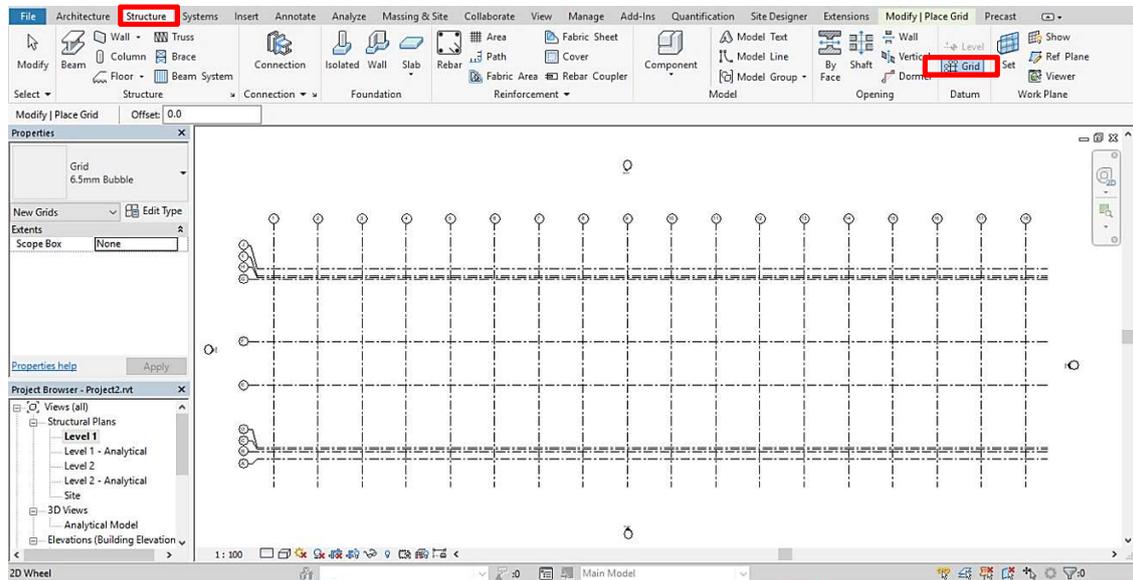
Το οικόπεδο στο οποίο θα κατασκευαστεί η μεταλλική κατασκευή είναι 2.448 τ.μ. και η περίμετρος του κτιρίου είναι 252 μέτρα.

Αρχικά δημιουργούμε τα επίπεδα της κατασκευής από επιλεγμένη θέση τομής. Στην Εικόνα 2.1 βλέπουμε ένα τμήμα όψης της μεταλλικής κατασκευής για να κατανοήσουμε καλύτερα που αντιστοιχεί κάθε στάθμη.



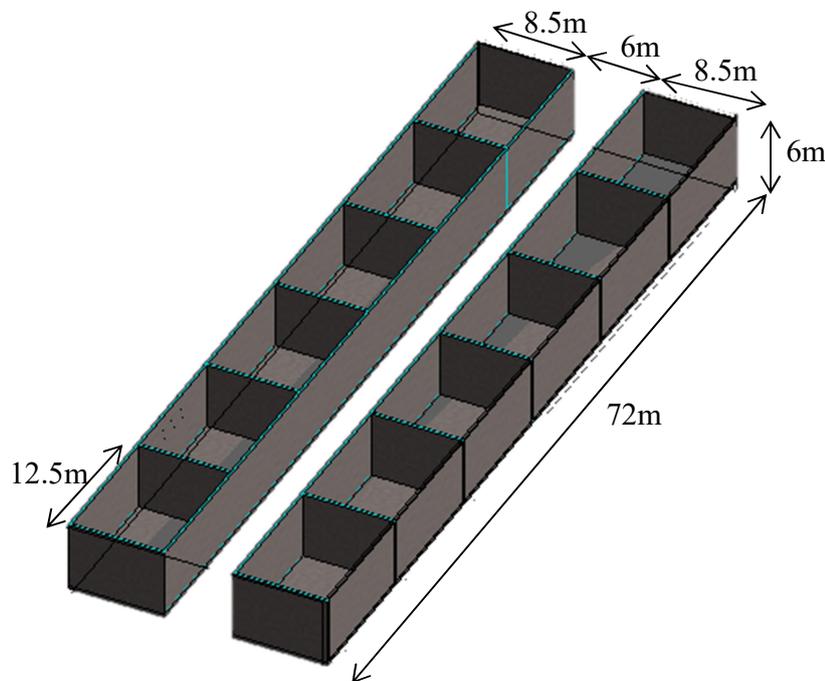
Εικόνα 2.1: Στάθμες κατασκευής

Στη συνέχεια γνωρίζοντας τις διαστάσεις της μεταλλικής κατασκευής για τις οποίες θα εργαστούμε, δημιουργούμε ένα σύστημα πλέγματος (**Structure** → **Grids**). Τα πλέγματα είναι στοιχεία προσανατολισμού που βοηθούν στην οργάνωση του σχεδίου.



Εικόνα 2.2: Κάνναβος κατασκευής

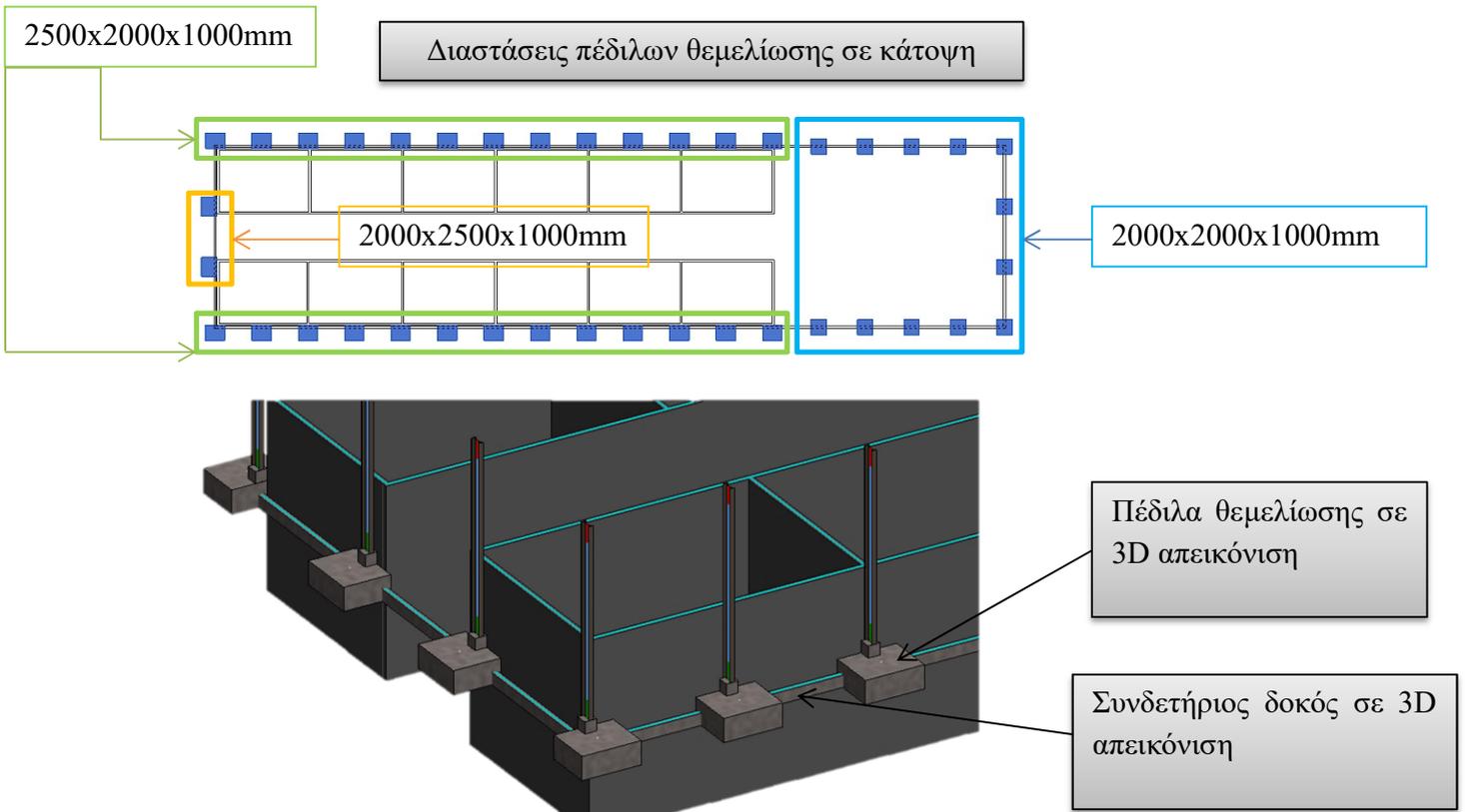
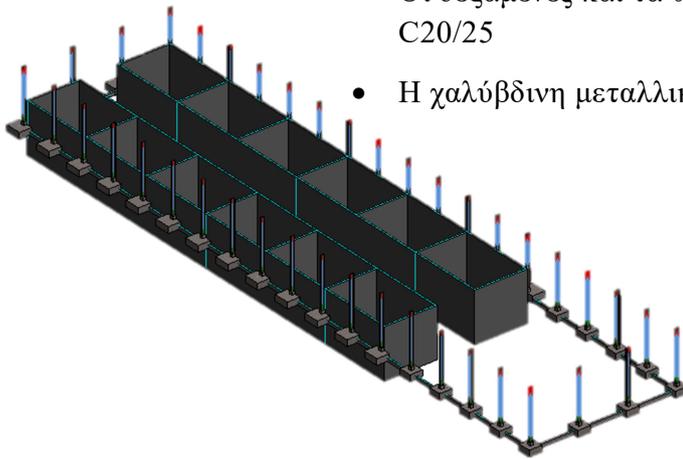
Κατά συνέπεια, αρχίζουμε τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του φορέα. Ξεκινάμε από την χαμηλότερη στάθμη για τον σχεδιασμό των έξι δεξαμενών ασβεστοπολτού από κάθε πλευρά, διαστάσεων 8.5x12.5x6m. Το πάχος των τοιχίων τους είναι 0.25m.



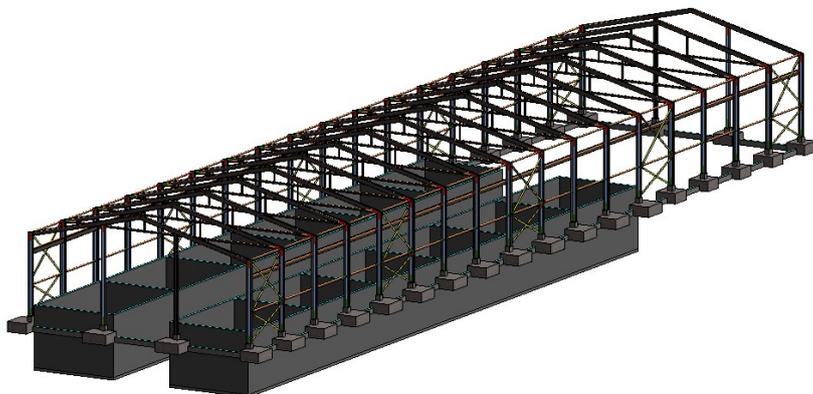
Εικόνα 2.3: Δεξαμενές ασβεστοπολτού

Σταδιακά ανεβαίνουμε στάθμες για τον σχεδιασμό των θεμελίων και των συνδετήριων δοκών μεταξύ μικρών αποστάσεων θεμελίων που αποτελούν κατά κανόνα στοιχείο για τον εγκιβωτισμό του υλικού επίχωσης. Εν συνεχεία, ακολουθεί η μόρφωση της μεταλλικής κατασκευής (Εικόνα 2.4,2.5,2.6).

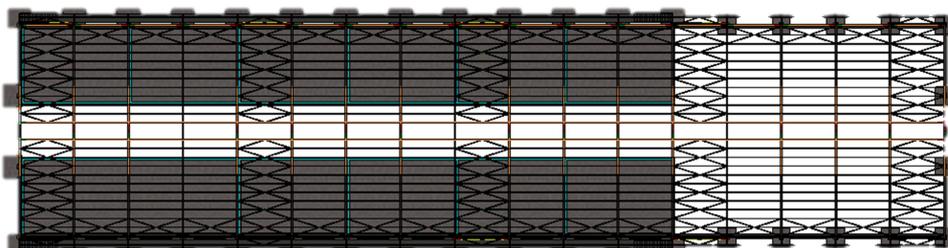
- Οι δεξαμενές και τα θεμέλια είναι από σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25
- Η χαλύβδινη μεταλλική κατασκευή είναι κατηγορίας S275



Εικόνα 2.4: Φάση σχεδιασμού δεξαμενών, θεμελίων και υποστρωμάτων



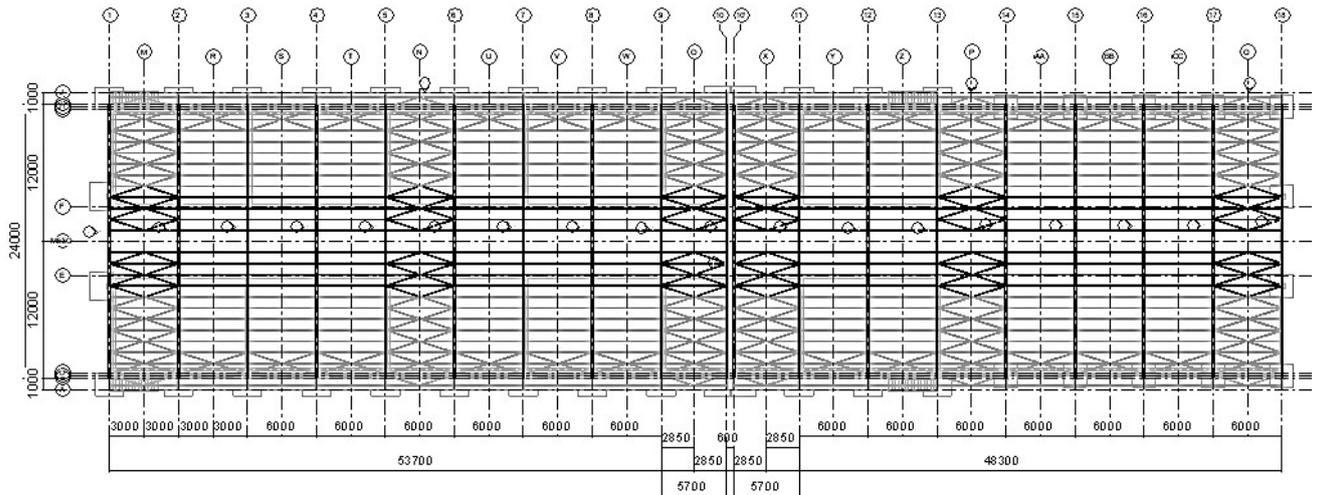
Εικόνα 2.5: Φάση σχεδιασμού μεταλλικής κατασκευής



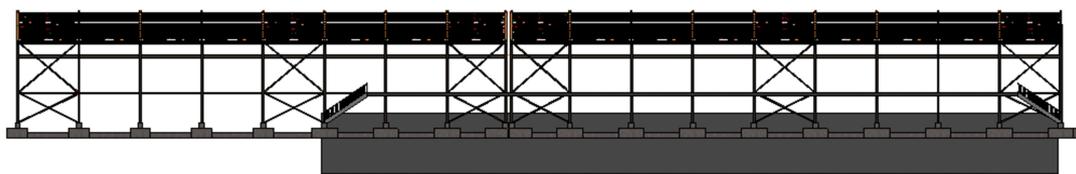
Εικόνα 2.6: Φάση σχεδιασμού στέγης μεταλλικής κατασκευής

Ο φορέας μας σχεδιάστηκε με την προϋπόθεση ότι όταν μεταφερθεί στο πρόγραμμα Robot, θα υπάρξουν αλλαγές. Έτσι θα δείξουμε πως όταν θα γίνει η στατική ανάλυση του φορέα, δεν θα ανταπεξέλθει στα φορτία που θα του επιβάλουμε, με αποτέλεσμα να αλλάξουμε τις διατομές και τον σχεδιασμό. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ακολουθούμε την φιλοσοφία του BIM. Έτσι θα δείξουμε την άψογη επικοινωνία των δύο προγραμμάτων (Revit και Robot), με την ενημέρωση των αλλαγών από το ένα πρόγραμμα στο άλλο.

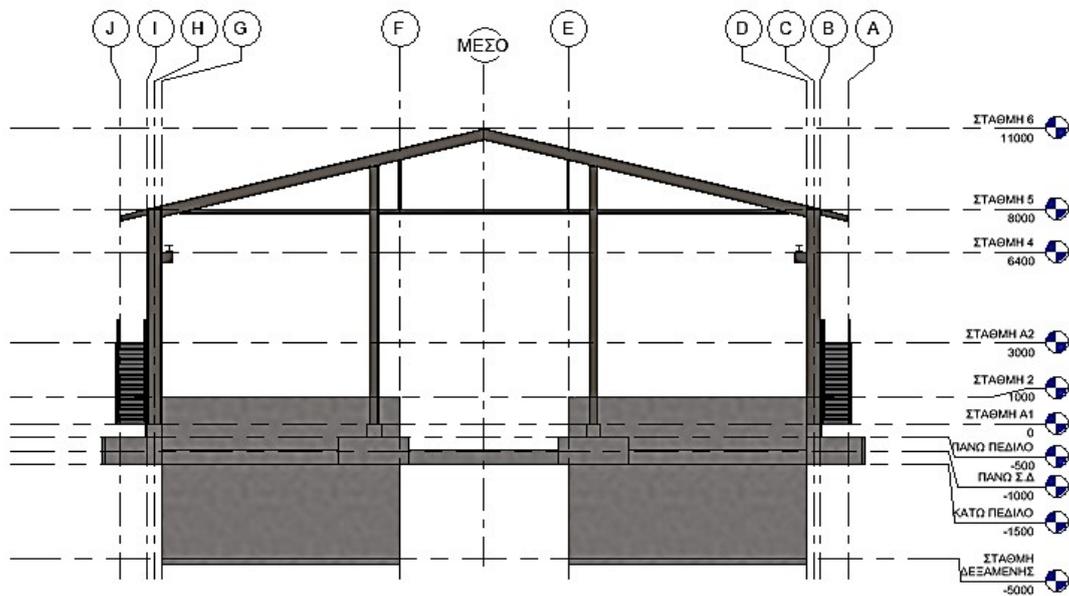
Η κάτοψη της μεταλλικής κατασκευής έχει διαστάσεις 24.00×102.00m (Εικόνα 2.6). Αποτελείται από 19 πλαίσια διατεταγμένα παράλληλα μεταξύ τους, σε απόσταση ίση με 6.00m και 5.70m. Λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών και του μεγάλου μήκους του φορέα, χωρίζουμε την μεταλλική κατασκευή σε δύο τμήματα, 53.7m και 48.3m, επιλέγοντας μεταξύ τους απόσταση ως 0.6m (Εικόνα 2.7, 2.8).



Εικόνα 2.7: Κάτοψη μεταλλικής κατασκευής



Εικόνα 2.8: Όψη μεταλλικής κατασκευής



Εικόνα 2.9: Πρόσωση μεταλλικής κατασκευής

Στην παρούσα εργασία, κατά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό στο Revit τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μεταλλικής κατασκευής είναι τα εξής:

Τα υποστυλώματα είναι διατομής **IPE 500** και **HEA 300** για τους μετωπικούς στύλους. Ο σκελετός του υπόστεγου απαρτίζεται από ζυγώματα **IPE 400**. Για την αποφυγή πλευρικών ωθήσεων υπό τα κατακόρυφα φορτία, τοποθετούμε ελκυστήρες **HEA 160** όπου αναρτώνται σε ενδιάμεσες θέσεις με διατομές **HEA 100**. Στη στέγη τοποθετήθηκαν οι απαραίτητες τεγίδες διατομής **IPE 100** ανά 1.00m. Επίσης στη στέγη τοποθετήθηκαν οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας **CAE 80x8** εξασφαλίζοντας τη διαφραγματική λειτουργία του φορέα. Για τους κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους, χρησιμοποιήθηκε τετραγωνική διατομή **TCAR 100X4** (Εικόνα 2.8). Για την κεφαλοδοκό και τις ενδιάμεσα μηκίδες, έχουμε τοποθετήσει τετραγωνικές διατομές **TCAR 100X4** (Εικόνα 2.8). Για την γερανογέφυρα έχουμε δοκούς κυλίσεως **HEA 260** οι οποίοι χωρίζονται σε αμφιέριστα τμήματα των 6.00m και 5.70m κατά μήκος τους, τα οποία στηρίζονται από κοντούς προβόλους **IPE 400**.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν πέδιλα θεμελίωσης διαστάσεων 2000x2500x1000mm, 2500x2000x1000mm, 2000x2000x1000mm από σκυρόδεμα **C20/25** (Εικόνα 2.4). Ο οπλισμός των θεμελίων συνδέεται μεταξύ τους, από συνδετήριους δοκούς διαστάσεων 250x500 mm από σκυρόδεμα **C20/25** σε στάθμη -1.00m από το έδαφος (Εικόνα 2.4).

Πρέπει να αναφερθεί, πως όλα αυτά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι προσωρινά και θα υπάρξουν αλλαγές που θα πραγματοποιηθούν από το πρόγραμμα Robot, έτσι ώστε το μοντέλο να ανταποκρίνεται καλύτερα, κατά των επιβαλλόμενων φορτίων.

2.3 Αναλυτικό μοντέλο κατασκευής

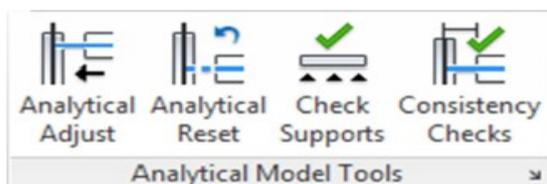
Ένα αναλυτικό μοντέλο είναι μια απλοποιημένη 3D απεικόνιση της πλήρους τεχνικής περιγραφής ενός δομικού φυσικού μοντέλου. Το αναλυτικό μοντέλο αποτελείται από τα δομικά στοιχεία, τη γεωμετρία, τις ιδιότητες των υλικών και τα φορτία, που μαζί σχηματίζουν ένα μηχανικό σύστημα.

Το αναλυτικό μοντέλο μιας δομής αποτελείται από ένα σύνολο αναλυτικών δομικών στοιχείων, τα οποία είναι τα εξής:

- δομικά υποστυλώματα
- δομικά στοιχεία πλαισίου (όπως δοκοί και χιαστοί)
- δομικά δάπεδα
- δομικά τοιχώματα
- δομικά στοιχεία θεμελίωσης

Πριν αποσταλθεί το μοντέλο του Revit στο Robot, είναι σημαντικό να γίνει έλεγχος στήριξης του φορέα και της συνέπειας του αναλυτικού και φυσικού μοντέλου. Αυτοί οι έλεγχοι, θα βοηθήσουν επίσης να αποφευχθεί η δημιουργία διπλών κόμβων καθώς και η δημιουργία άλλων σφαλμάτων ή προειδοποιήσεων κατά τη σύνδεση με το Robot (Εικόνα 2.10).

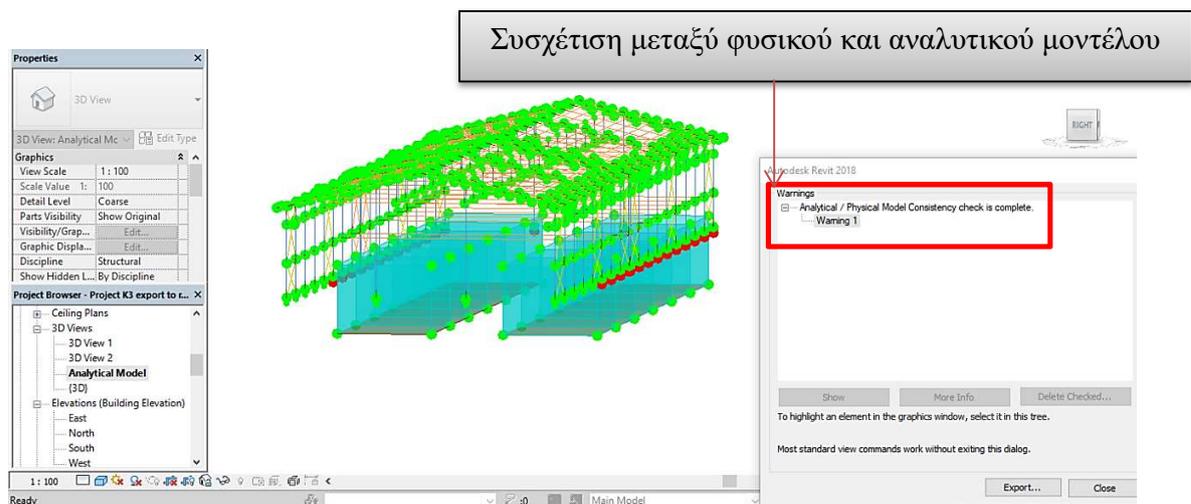
Τα εργαλεία για την αναλυτική συνοχή, παρέχουν προειδοποιήσεις στα αρχικά στάδια σχεδιασμού σχετικά με τη σταθερότητα της δομής. Αυτό δίνει στο χρήστη καλύτερη εικόνα για ένα σχέδιο, πριν από την υποβολή φορτίων στο Robot για πλήρη ανάλυση. Κατά τη διάρκεια ενός ελέγχου υποστήριξης μέλους, το λογισμικό θα επιθεωρήσει κάθε δομικό στοιχείο για να μας δείξει αν υποστηρίζεται σωστά. Για κάθε στοιχείο που αναγνωρίζεται ως μη υποστηριζόμενο, το λογισμικό θα δημιουργήσει ένα προειδοποιητικό μήνυμα.



Εικόνα 2.10: Εργαλεία αναλυτικού μοντέλου

Το αναλυτικό μοντέλο δημιουργείται αυτόματα όταν δημιουργείτε το φυσικό μοντέλο και υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής σε εφαρμογές ανάλυσης και σχεδίασης. Το πράσινο χρώμα (Εικόνα 2.11) υποδηλώνει την ύπαρξη σωστής σύνδεσης μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου. Επίσης, από το αναλυτικό μοντέλο μπορούμε να δούμε την συσχέτιση μεταξύ του φυσικού μοντέλου όπου έγινε και ο σχεδιασμός.

Ο έλεγχος συνδέσεων μεταξύ μελών μας δίνει την δυνατότητα ρύθμισης τόσο στο Revit, όσο και στο Robot. Όμως, συνιστάται οι προσαρμογές αυτές να γίνουν στο Revit (όπως έγινε και στην συγκεκριμένη εργασία) ώστε να αντικατοπτρίζουν την αναμενόμενη συμπεριφορά της κατασκευής. Από προεπιλογή, το Revit δημιουργεί καρφίτσωμένες συνδέσεις μεταξύ των άκρων μελών και είναι πιο εύκολο για τον χρήστη να διαπιστώσει αν οι συνδέσεις είναι σωστές. Αν γινόταν η αποστολή του μοντέλου στο Robot, χωρίς να γίνει έλεγχος του αναλυτικού μοντέλου, θα παρουσιάζονταν πολυάριθμες αστάθειες και θα είχε ως αποτέλεσμα σφάλματα υπολογισμού. Επομένως, όταν το μοντέλο αποστέλλεται στο Robot, έχοντας ελέγξει την σύνδεση μελών στο Revit μπορούν να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί ανάλυσης.



Εικόνα 2.11: Συσχέτιση φυσικού και αναλυτικού μοντέλου

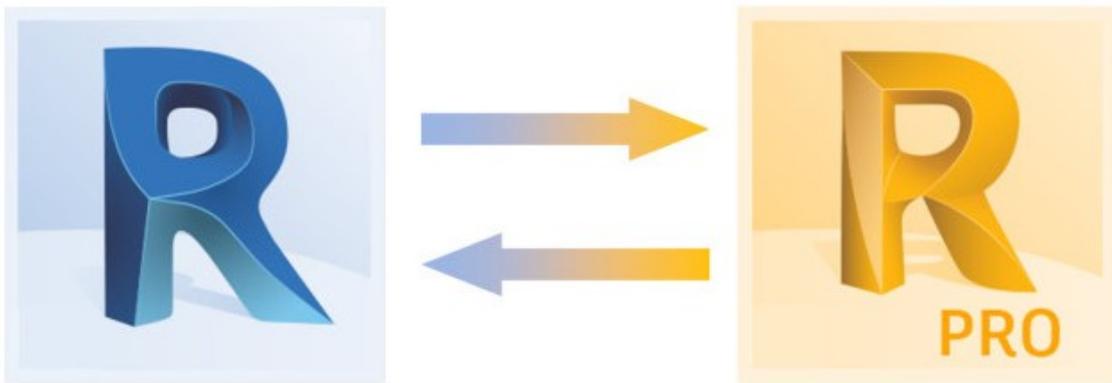
2.4 Εξαγωγή Revit structure model σε Robot Structural Analysis

Τυπικά, η διαδικασία σχεδιασμού από έναν δομοστατικό μηχανικό ξεκινάει από την ερμηνεία της αρχιτεκτονικής μορφής σε σχέδια και την επακόλουθη δημιουργία αναλυτικών μοντέλων. Αυτά τα αναλυτικά μοντέλα πρέπει να συντονίζονται σε σχέση με τη γενική διάταξη πλαισίου, τις ιδιότητες του υλικού και τη φόρτωση. Μόλις ολοκληρωθεί η ανάλυση υπάρχουν αλλαγές σχεδίασης της κατασκευής, με τροποποιήσεις ώστε να αντικατοπτρίζουν την σύγχρονη εξέλιξη σχεδιασμού. Αυτή η ροή εργασίας είναι επαναλαμβανόμενη κατά την διαδικασία σχεδιασμού. Η σύνδεση μεταξύ του λογισμικού Autodesk Revit 2018 με το λογισμικό της Autodesk Robot Structural Analysis 2018 επιτρέπει την ομαλή δημιουργία αυτής της ροής εργασιών, διευκολύνοντας έτσι τον συντονισμό των αλλαγών σχεδιασμού, σε δομικά αναλυτικά στοιχεία και στις πληροφορίες σχεδιασμού. Το λογισμικό Revit υποστηρίζει τη διαδικασία μοντελοποίησης πληροφοριών κτιρίων (BIM) για κατασκευές, για τις οποίες οι μηχανικοί παρέχουν ένα φυσικό μοντέλο της δομής που θα χρησιμοποιηθεί για ορθότερη τεκμηρίωση και ένα σχετικό αναλυτικό μοντέλο, καθώς και άλλα δομικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες για χρήση ως προς την δομική ανάλυση και τον σχεδιασμό. Το Robot Structural Analysis υποστηρίζει το BIM με την προηγμένη του ανάλυσης και την λειτουργικότητα σχεδιασμού πολυμέσων. Η αμφίδρομη διαλειτουργικότητα του λογισμικού Revit και Robot Structural Analysis βοηθάει στη μείωση χρόνου που απαιτείται για τη δημιουργία και την ενημέρωση μοντέλων πολλαπλών αναλύσεων και βοηθά την αποφυγή για πιθανών σφαλμάτων που προκύπτουν από το χειροκίνητο συντονισμό μεταξύ των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και τεκμηρίωσης της κατασκευής.

Ορισμένες επιχειρήσεις δομοστατικών μηχανικών αρχίζουν τη διαδικασία σχεδιασμού δημιουργώντας σχέδια φυσικού μοντέλου ενώ άλλες ξεκινούν με τη δημιουργία ενός αναλυτικού μοντέλου. Η σύνδεση μεταξύ του λογισμικού Autodesk Revit και Robot Structural Analysis υποστηρίζει και τις δύο αυτές ροές εργασίας. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα για την έναρξη της διαδικασίας σχεδιασμού με ένα μοντέλο στο Revit αντί στο Robot.

Για παράδειγμα, εκτός από τη δημιουργία εγγράφων σχεδίασης της κατασκευής, πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν το Revit για να συντονίσουν τα σχέδιά τους με μηχανικούς από άλλους κλάδους. Επομένως, οι σχεδιαστές μπορούν να ξεκινήσουν τη μοντελοποίηση και διόρθωση του μοντέλου, και να τεκμηριώσουν χρησιμοποιώντας τα πρότυπα της εταιρείας και τον συντονισμό της δομής. Ξεκινώντας τον σχεδιασμό στο Revit, δημιουργείτε ένα φυσικό μοντέλο για την γεωμετρία και την παρουσίαση και ένα απλοποιημένο αναλυτικό μοντέλο. Κάθε μοντέλο είναι ανεξάρτητο ως προς την επεξεργασία, αλλά παρόλα αυτά διατηρεί συνεπή σχέση με το άλλο.

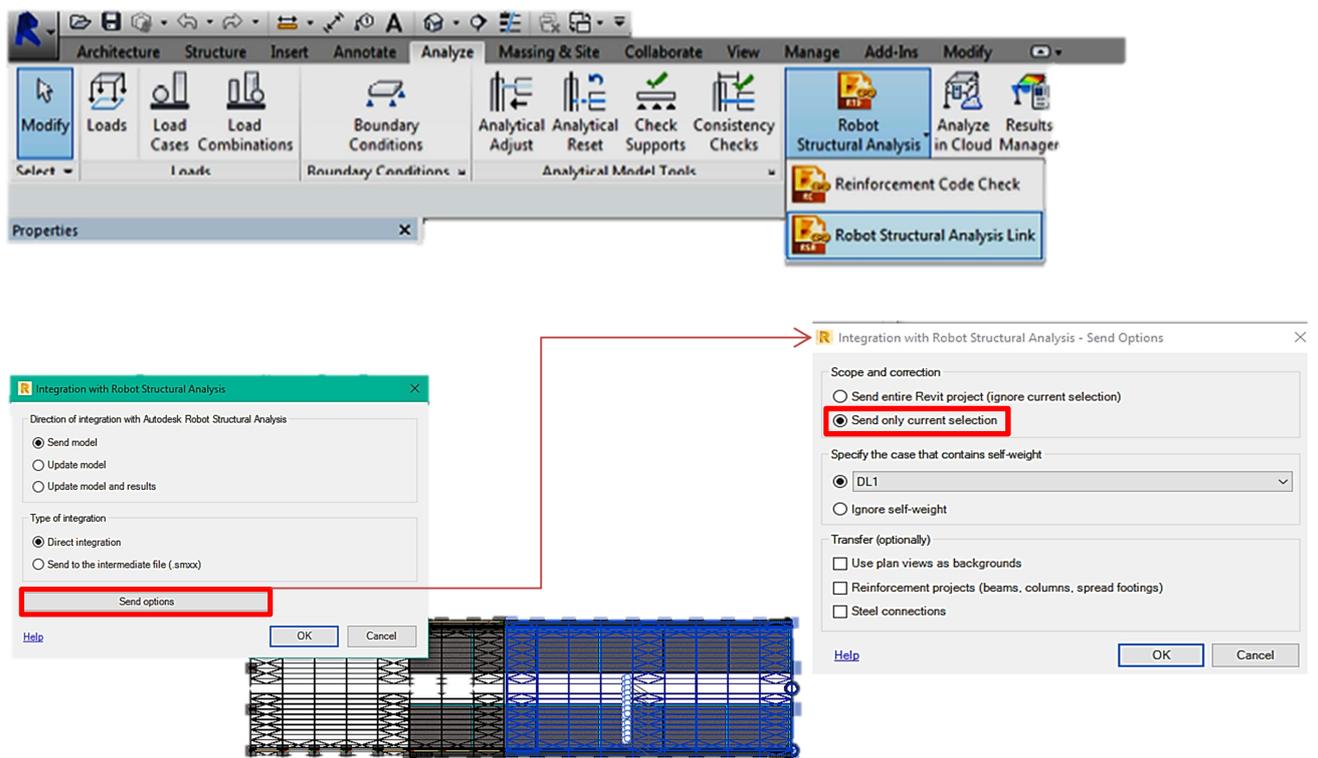
Η αμφίδρομη σύνδεση μεταξύ του λογισμικού Revit και Robot, επιτρέπει στις επιχειρήσεις να προσθέσουν από την ανάλυση πληροφορίες για το μοντέλο του Revit. Αυτή η ενέργεια γίνεται απευθείας από την στιγμή που έχουν γίνει διορθώσεις από το πρόγραμμα Robot και στη συνέχεια γίνεται ενημέρωση του μοντέλου του Revit σχετικά με τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Αυτή η διαδικασία θα ακολουθεί επίσης στην παρούσα διπλωματική εργασία.



➤ Διαδικασία εξαγωγής τμήματος της μεταλλικής κατασκευής από το Revit στο Robot

Το Robot της Autodesk είναι συνδεδεμένο με το λογισμικό του Revit μέσω μιας εντολής μεταξύ των δύο προγραμμάτων. Αυτή την εντολή, την ενεργοποιεί ο χρήστης του Revit με αποτέλεσμα να στέλνει το μοντέλο του Revit στο Robot, για ανάλυση και περαιτέρω σχεδιασμό. Επιπλέον έχει την δυνατότητα να ενημερώσει το μοντέλο του Revit, με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Στην εργασία όλες οι αναλύσεις και ο σχεδιασμός εκτελούνται στο Robot, εκτός από τις δεξαμενές και τα θεμέλια όπου πραγματοποιήθηκε μόνο ο σχεδιασμός στο πρόγραμμα Revit.

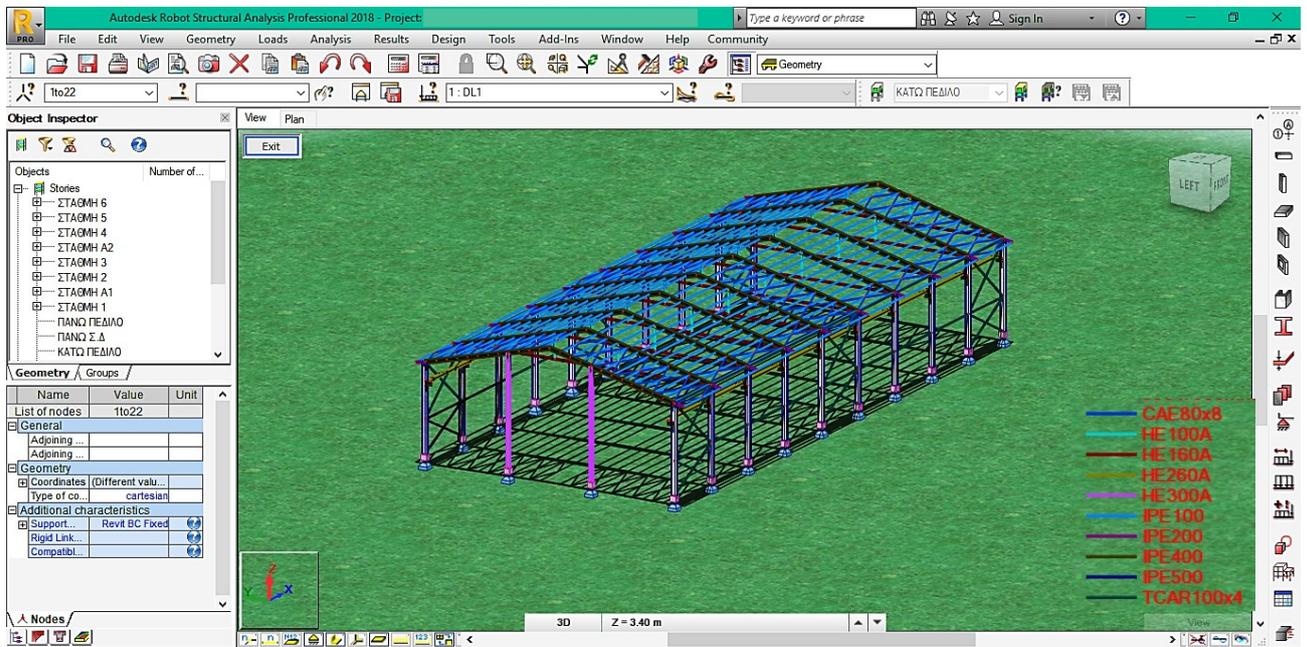
Μετά την επιλογή του τμήματος που θέλουμε να στείλουμε στο Robot, εκτελούμε τις εντολές **Analyze** → **Robot Structural Analysis Link**. Ο χρήστης έχει την επιλογή να στείλει ένα μοντέλο ή να το ενημερώσει από το Robot Structural Analysis (Εικόνα 2.12). Το λογισμικό μπορεί επίσης να μεταφέρει αποτελέσματα στατικής ανάλυσης που υπολογίζονται στο Robot. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν στο Revit για τα έγγραφα των σχεδίων.



Εικόνα 2.12: Διαδικασία αποστολής τμήματος της μεταλλικής κατασκευής στο Robot

Έναι χρήσιμο να αναφερθεί πως όταν το Robot και το Revit δεν είναι εγκατεστημένα στον ίδιο υπολογιστή, ο χρήστης του Robot έχει την δυνατότητα, να στείλει το μοντέλο από το πρόγραμμα Robot σε ένα ενδιάμεσο αρχείο (.smxx) και να κάνει οποιαδήποτε ενημέρωση ως προς τις αλλαγές που θα πραγματοποιηθούν.

Έχοντας στείλει επιτυχώς το τμήμα της μεταλλικής κατασκευής στο Robot (Εικόνα 2.13), το μοντέλο τώρα μπορεί να αποθηκευτεί σε μορφή .rht (Robot model). Η αποθήκευση θα γίνει με το ίδιο όνομα αποθήκευσης, που έχει γίνει στο μοντέλο Revit. Αυτό γίνεται, για να μπορούν τα δύο προγράμματα να αναγνωρίσουν ότι πρόκειται για τον ίδιο φορέα, όταν γίνονται μελλοντικές ενημερώσεις από τις αλλαγές του μοντέλου.



Εικόνα 2.13: Μοντέλο στο Robot

3 Στατική Μελέτη Κατασκευαστικού Έργου στην Ελλάδα

3.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό Robot Structural Analysis Professional 2018 έχοντας στο επίκεντρό του την συνεργασία μεταξύ χρηστών, είναι πολλαπλών χρήσεων και δίνει την δυνατότητα για γρήγορη ανάλυση, στοιχεία που μπορούν να κάνουν μια εταιρεία περισσότερο ανταγωνιστική και επικερδής. Είναι ειδικά ανεπτυγμένο λογισμικό πάνω στην φιλοσοφία του BIM και παρέχει την δυνατότητα ανάλυσης ακόμα και των πιο περίπλοκων μοντέλων. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων με την αυτόματη δημιουργία του πλέγματός τους, με μη-γραμμικούς αλγόριθμους και μια ολοκληρωμένη συλλογή από κωδικούς σχεδιασμού, τα οποία σε συνδυασμό οδηγούν σε ταχεία διεκπεραίωση των αναλύσεων.

Το πλεονέκτημα του Robot είναι ότι οι δυνατότητες της δομικής ανάλυσης μοντέλων παρέχονται μέσω εργαλείων που προσφέρουν στους μηχανικούς μεγάλη ευελιξία για την επίτευξη των αποτελεσμάτων τους. Απλά διαθέσιμα εργαλεία επιτρέπουν στους χρήστες να εξάγουν ένα ευρύ φάσμα δεδομένων από το Robot της Autodesk μέσω στατιστικών αναλύσεων χωρίς καμία ειδική απαίτηση εμπειρίας προγραμματισμού. Επίσης το λογισμικό της Robot περιλαμβάνει έτοιμα σχεδιασμένα μοντέλα (Frame Generator) για τη μοντελοποίηση, την ανάλυση και το σχεδιασμό κτιρίων: έχοντας προβολές από το επίπεδο του δαπέδου, την δημιουργία υποστυλωμάτων και δέσμες διατεταγμένων δοκών. Οι μηχανικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν εργαλεία για την αποτελεσματική προσθήκη, αντιγραφή, κατάργηση και επεξεργασία της γεωμετρίας των μοντέλων.

Το λογισμικό Robot Structural Analysis Professional 2018 περιέχει ενσωματωμένο οπλισμένο σκυρόδεμα και δομικά στοιχεία σχεδιασμού χάλυβα με περισσότερους από 40 διεθνείς χαλυβουργικούς κώδικες και 30 κώδικες οπλισμένου σκυροδέματος, συμβάλλοντας έτσι στην απλοποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού. Ως αποτέλεσμα, παρέχει εύρος επιλογών καθώς και καλύτερη δυνατότητα αξιολόγησης των δομικών στοιχείων. Επίσης, περιλαμβάνει περισσότερες από 60 κατηγορίες υλικών με βάσεις δεδομένων από όλο τον κόσμο, επιτρέποντας έτσι ευκολότερη ολοκλήρωση διεθνών σχεδίων. Με 70 ενσωματωμένους κώδικες σχεδίασης για διάφορες χώρες, οι μηχανικοί μπορούν να εργασθούν με διαφορετικούς κώδικες μέτρησης για κάθε χώρα, όπως είναι οι imperial ή metric (Ελλάδα) μονάδες και διαφορετικούς κατασκευαστικούς κώδικες ανά χώρα για την ίδια κατασκευή, το οποίο δίνει την δυνατότητα προσαρμογής σε ποίκιλλα περιβάλλοντα.

Εν συνεχεία, το Robot της Autodesk παρέχει ευελιξία ως προς την λήψη αποτελεσμάτων της ανάλυσης του μοντέλου. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να προβληθούν σε μεμονωμένα κομμάτια της κατασκευής, ή στο σύνολό της, με μορφές διαγραμμάτων και σχεδίων. Τα αποτελέσματα μπορούν επίσης να προβάλλονται σε πίνακες και να φιλτράρονται εύκολα για να εμφανίζουν συγκεκριμένα δεδομένα, ενώ υπάρχουν και υπολογιστικά φύλλα διαθέσιμα τα οποία επιτρέπουν την μεταγενέστερη επεξεργασία των δεδομένων από τους χρήστες.

Γενικότερα, το Robot Structural Analysis Professional 2018 λειτουργεί πάνω στην φιλοσοφία του BIM, δίνοντας την δυνατότητα για μια καθολική ψηφιακή αναπαράσταση όλου του κύκλου ζωής ενός έργου, από τον σχεδιασμό, την κατασκευή ως και την λειτουργία του. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στην ύπαρξη συντονισμένων και αξιόπιστων πληροφοριών για όλα τα στάδια του έργου, έχοντας στο επίκεντρο την συνεργασία των αρχιτεκτόνων, μηχανικών, εργολάβων και εργοδοτών. Εφόσον όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη έχουν ζωντανή πρόσβαση στις ψηφιακές σχεδιαστικές πληροφορίες τόσο των φυσικών, όσο και των λειτουργικών χαρακτηριστικών του έργου, αλλά και την εμφάνιση και το κόστος της κατασκευής, τα αποτελέσματα είναι περισσότερο προβλέψιμα και οι λήψη αποφάσεων είναι βελτιωμένη, εφόσον ο καθένας είναι καλύτερα πληροφορημένος. Όσον αφορά τους πολιτικούς μηχανικούς, το BIM μέσω ενός κεντρικού ψηφιακού μοντέλου παρέχει την δυνατότητα συντονισμού και συνεργασίας με τους αρχιτέκτονες, μηχανολόγους μηχανικούς, ηλεκτρολόγους και υδραυλικούς μηχανικούς. Με όλους τους παραπάνω τομείς ενσωματωμένους στο ίδιο μοντέλο, εξασφαλίζεται η συνοχή των πληροφοριών όσον αφορά την σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργική διάσταση του έργου, και έτσι μειώνονται οι διαφορές που θα μπορούσαν να προκύψουν από την έλλειψη καλής επικοινωνίας μεταξύ των συνεργαζόμενων επαγγελματιών από αυτούς τους διαφορετικούς τομείς. Αυτό δίνει την δυνατότητα στον πολιτικό μηχανικό για γρηγορότερη διεκπεραίωση της μελέτης, με μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις γεωμετρίας και κόστους, και μεγαλύτερη βεβαιότητα όσον αφορά την κατασκευασιμότητα του έργου.



3.2 Γενική περιγραφή του προγράμματος Robot

3.2.1 Κατηγορίες μοντέλων σχεδίασης και ανάλυσης στο Robot

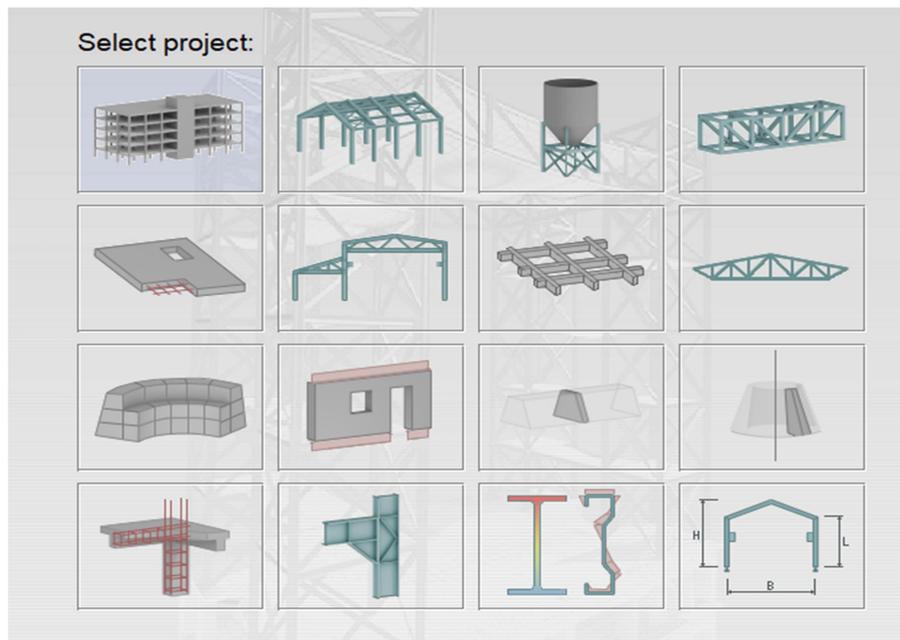
Το Robot είναι ένα ενιαίο προϊόν με πολλές λειτουργίες, οι οποίες διατίθενται προς στον χρήστη μέσω ενός φιλικού περιβάλλοντος εργασίας. Κατά την εκκίνηση του προγράμματος, το Robot παρουσιάζει ένα παράθυρο επιλογών και έτσι ο χρήστης έχει την δυνατότητα είτε να ανοίξει μια υπάρχουσα δομή, είτε να εισάγει μία νέα από τις ενότητες σχεδίασης όπου εμφανίζεται ο πίνακας (Εικόνα 3.1).

1. Το υπάρχον έργο δομής μπορεί να επιλεγεί με δύο τρόπους:

- Μέσω του προγράμματος Revit να αποσταλεί το μοντέλο στο Robot για περαιτέρω αναλύσεις
- Από ένα υπάρχον έργο το οποίο είναι ήδη αποθηκευμένο στον υπολογιστή

2. Αν ξεκινήσουμε μια νέα εργασία για ένα νέο έργο (new project option):

- μπορεί να επιλεγεί ένας νέος τύπος έργου από το παράθυρο που παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 3.1) το οποίο ανοίγει μετά την επιλογή νέο έργο (new project). Αυτό το παράθυρο χρησιμοποιείται για την επιλογή του τύπου δομής που θα αναλυθεί ή του τύπου δομής στον οποίο θα επιβληθούν φόρτια σε ένα υπάρχον έργο.



Εικόνα 3.1: Κατηγορίες μοντέλων δομής στο Robot

Τα μοντέλα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.1:

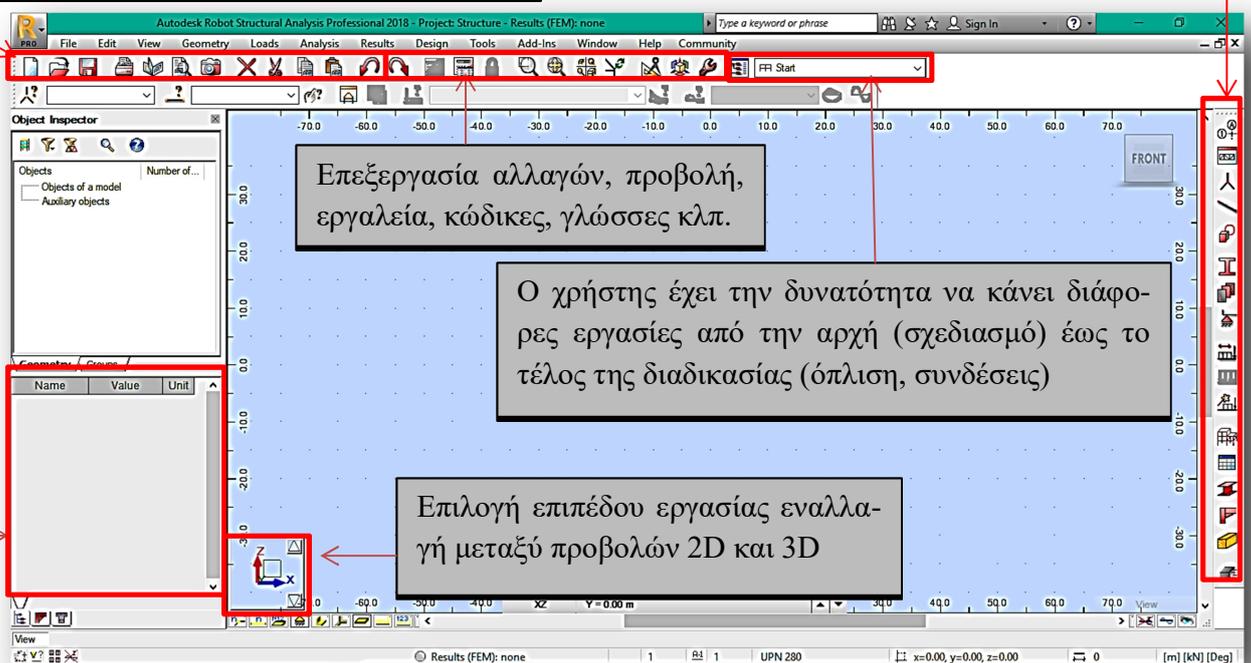
Πίνακας 3.1: Βασικά μοντέλα Robot

 Building Design	 Frame 3D Design
 Shell Design – used to model surfaces of any shape in 3D structures	 Truss 3D Design
 Plate Design	 Frame 2D Design
 Grillage Design	 Truss 2D Design

3.2.2 Εργαλεία και περαιτέρω δυνατότητες του προγράμματος

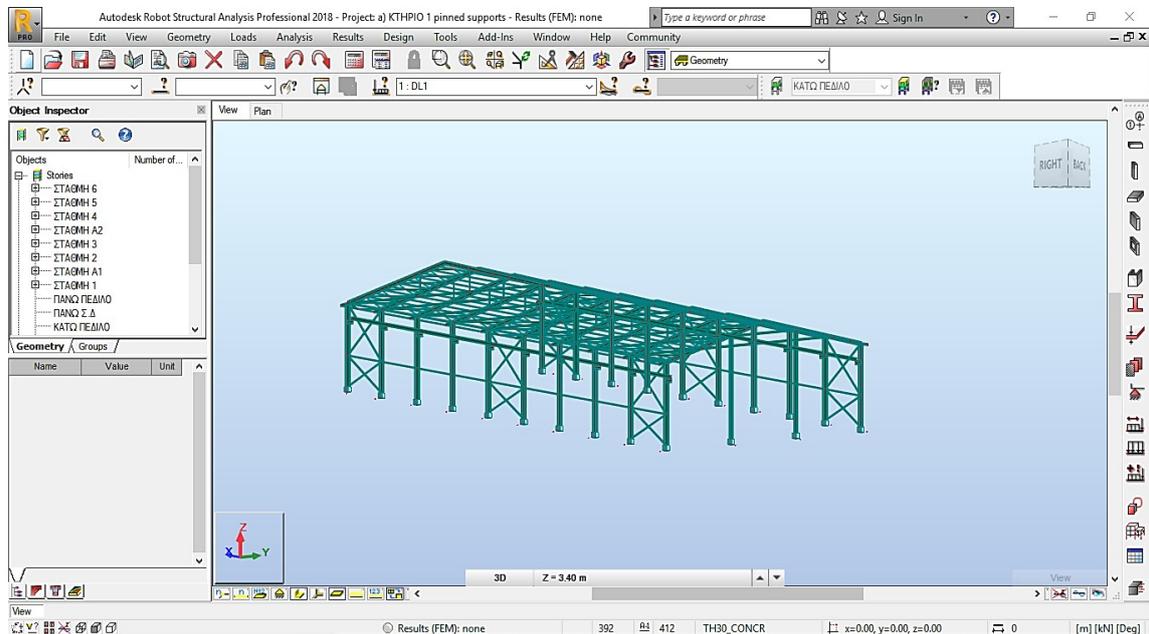
Οι επιλογές όπως εκτύπωση, αποθήκευση, αναιρέση κλπ.

Εργαλεία δόμησης μοντέλου συντεταγμένες, κόμβους, μέλη, στηρίγματα, φορτία κλπ.



Εικόνα 3.2: Εργαλεία και διάταξη των επιλογών στο Robot

3.3 3D Μεταλλική κατασκευή αποθήκευσης υλικού στο Robot

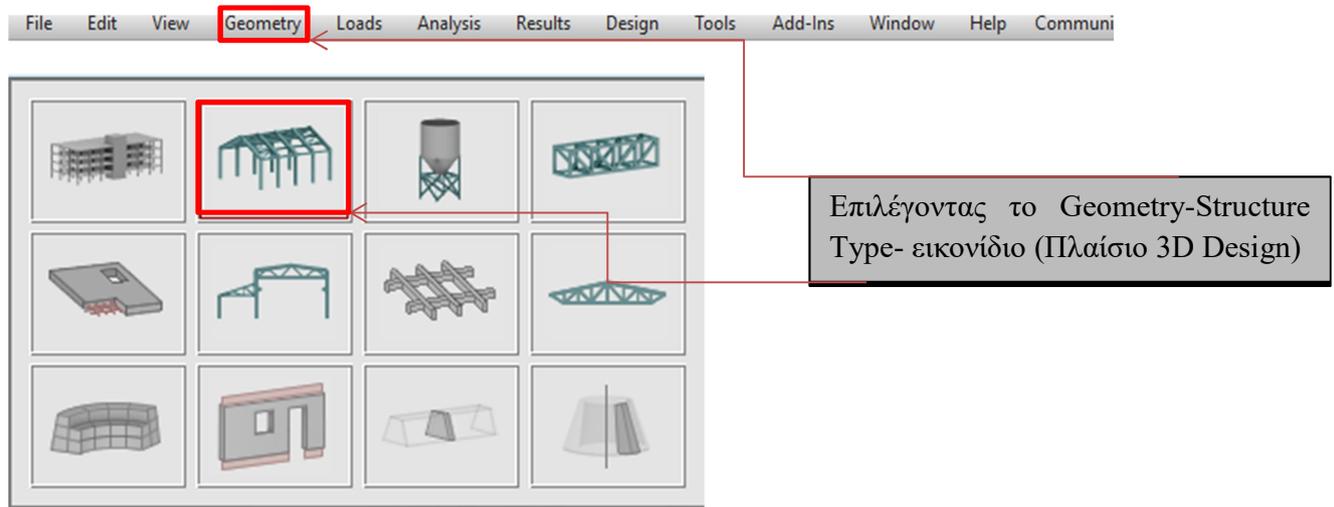


Εικόνα 3.3: Μεταλλική κατασκευή αποθήκευσης υλικού

Ο σκοπός αυτού του παραδείγματος είναι να δείξει την ευκολία ανάλυσης και παρουσίασης αποτελεσμάτων για ένα απλό χαλύβδινο 3D πλαίσιο στο Robot. Έτσι, έχοντας μεταφέρει την μεταλλική κατασκευή από το Revit όπου έγινε ο σχεδιασμός του μοντέλου στο Robot, ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει τις παραμέτρους εργασίας, ώστε να γίνει μια ορθή ανάλυση και αξιολόγηση για τα δεδομένα της Ελλάδας.

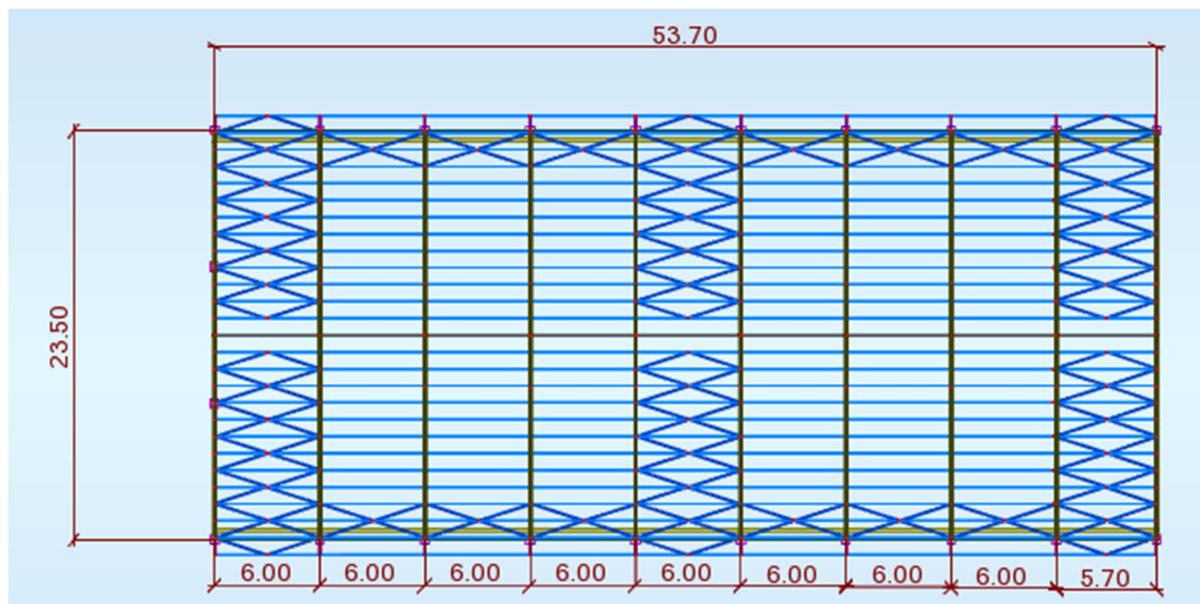
3.3.1 Αρχική γεωμετρία του μοντέλου

Ξεκινώντας το πρόγραμμα Robot, είναι σημαντικό να διαμορφώσουμε τη σωστή γεωμετρία του μοντέλου στο παράθυρο που εμφανίζεται παρακάτω:



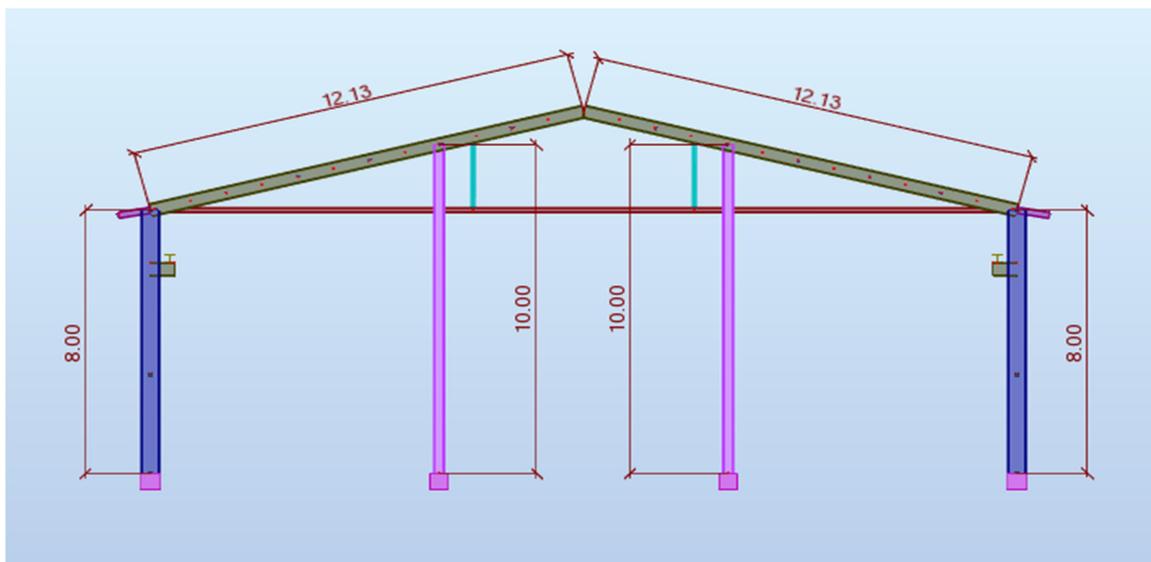
Είναι διαφορετικές οι επιλογές για πλαίσια 2D και 3D, μοντέλα με επιφάνειες τέτοιες όπως τοίχους και δάπεδα, πρόσβαση σε ανεξάρτητα πλαίσια σχεδιασμού κλπ.

Η κάτοψη του τμήματος της μεταλλικής κατασκευής έχει διαστάσεις 23.50×53.70m (Εικόνα 3.4). Το συμμετρικό ήμισυ τμήμα του μοντέλου το οποίο έχει αποσταλεί στο πρόγραμμα, αποτελείται από 10 πλαίσια διατεταγμένα παράλληλα μεταξύ τους σε απόσταση ίση με 6.00m και 5.70m.



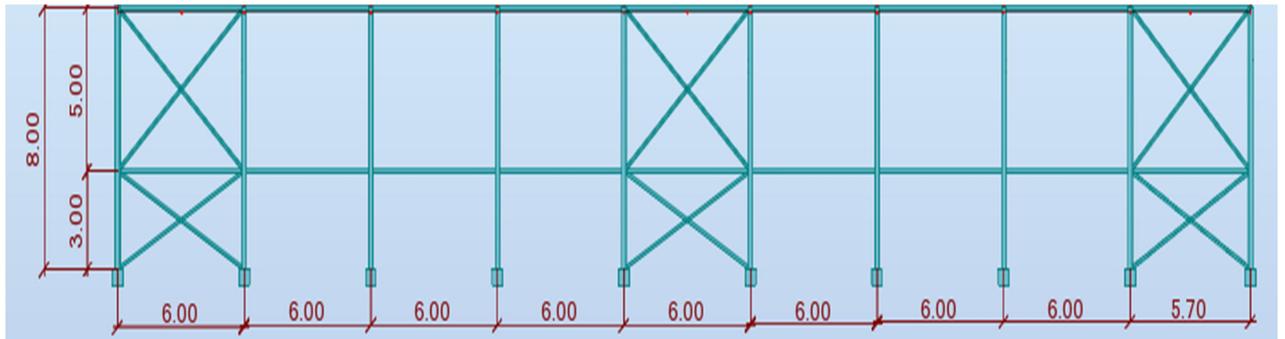
Εικόνα 3.4: Κάτοψη μεταλλικής κατασκευής

Τα υποστυλώματα των πλαισίων έχουν ύψος 8.0m με εξαίρεση τους δύο μετωπικούς στύλους ύψους 10m. Τα ζυγώματα των πλαισίων έχουν σταθερό μήκος ίσο με 12.13m και κλίση 76%. Με σκοπό τη μείωση των καμπτικών ροπών υπό τα κατακόρυφα φορτία και των πλευρικών ωθήσεων στη θεμελίωση τοποθετήθηκαν ελκυστήρες στη στάθμη +8m (στάθμη συμβολής ζυγμάτων-υποστυλωμάτων), συνδέοντας τα σκέλη του ζυγώματος με ενδιάμεσους αναρτήρες. Σε αντίθεση με τα ζυγώματα των συνήθων πλαισίων, όπου οι αξονικές δυνάμεις είναι σχετικά μικρές, στα κεκλιμένα στοιχεία των πλαισίων λόγω της παρουσίας του ελκυστήρα αναπτύσσονται σημαντικές θλιπτικές δυνάμεις στο ζύγωμα, έτσι που η συμβολή τους, στη συνολική καταπόνηση να είναι σημαντική.

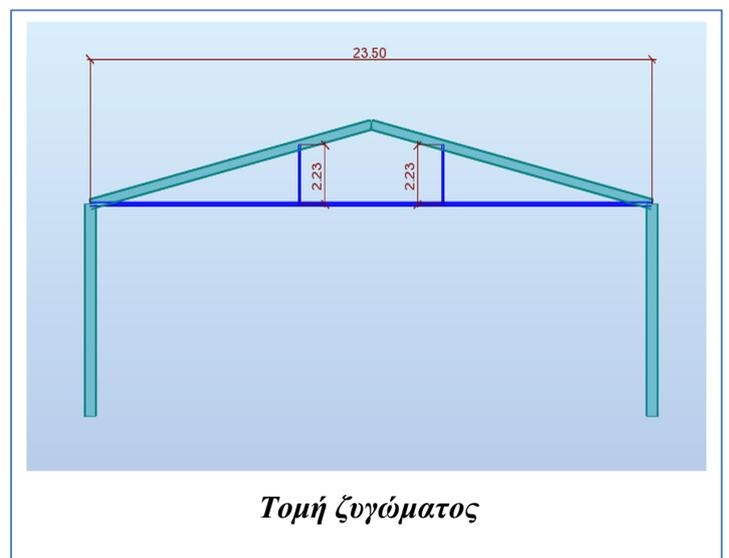
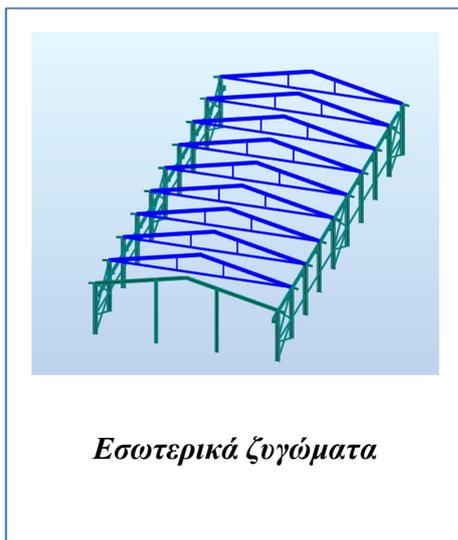


Εικόνα 3.5: Γεωμετρία πρόσοψης

Στη διεύθυνση εγκάρσια των πλαισίων, τα υποστυλώματα συνδέονται στην κεφαλή +8.00m και στην στάθμη +3.00m, με δοκούς ίδιας κατηγορίας (Εικόνα 3.6). Οι σεισμικές και λοιπές οριζόντιες δυνάμεις που δρουν εγκάρσια στη διεύθυνση των πλαισίων, μεταφέρονται από τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας των δοκών στις δύο στάθμες, στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας. Το αποτέλεσμα είναι η ισοκατανομή των οριζόντιων δυνάμεων σε περισσότερες θέσεις και η ελαχιστοποίηση των αντιδράσεων στήριξης. Στο εσωτερικό τμήμα του φορέα διατάσσονται ζυγώματα τα οποία εδράζονται στην κεφαλοδοκό των υποστυλωμάτων (Εικόνα 3.7). Για τη διαμόρφωση των πλαισίων χρησιμοποιούνται πρότυπες ελατές διατομές θερμής έλασης σχήματος διπλού ταυ, κατάλληλα προσανατολισμένες ώστε να λειτουργεί ο ισχυρός άξονας στο επίπεδο του πλαισίου.



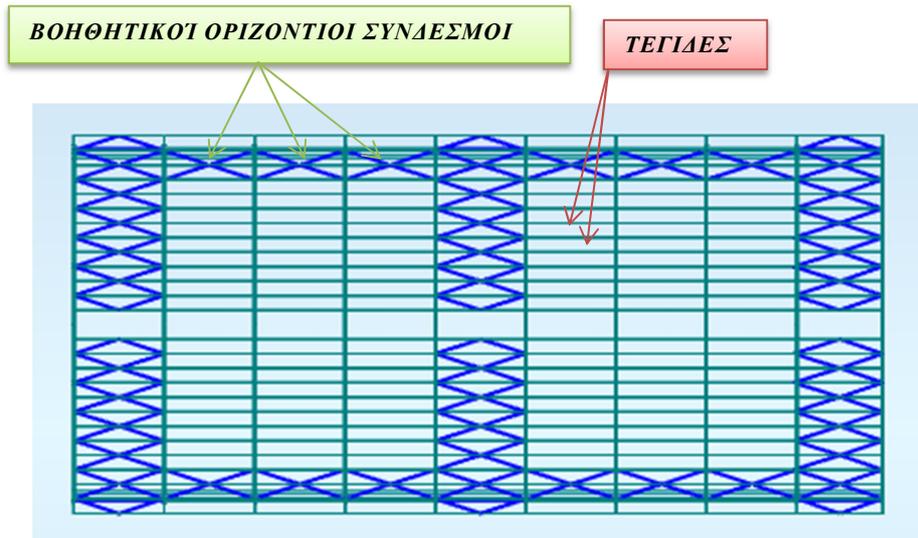
Εικόνα 3.6: Πλάγια όψη μεταλλικής κατασκευής



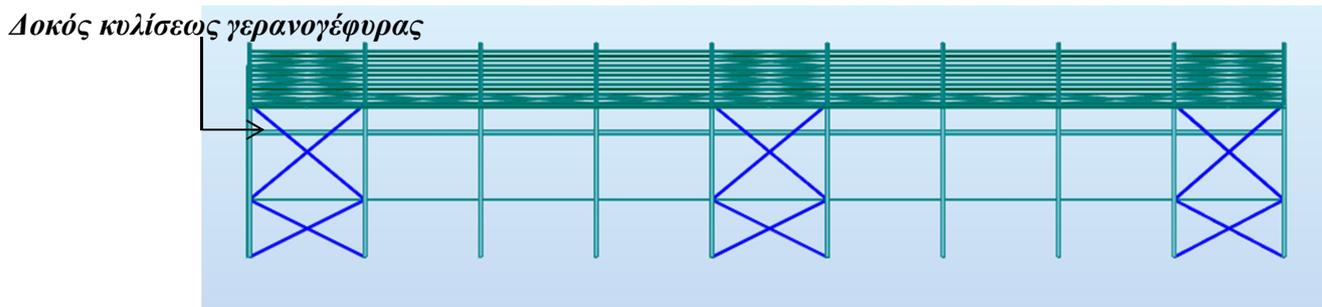
Εικόνα 3.7: Κατάταξη και τομή ζυγώματος

Η ευστάθεια του κύριου φορέα έναντι της πλευρικής εκτροπής, εξασφαλίζεται από κατάλληλα διατεταγμένους οριζόντιους και κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας (Εικόνα 3.8, 3.9). Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας (οι οποίοι κατά κανόνα διατάσσονται στα ακραία φατνώματα του υπόστεγου και σε ενδιάμεσες θέσεις ανά πέντε έως έξι φατνώματα), προσφέρουν εκτός από πλευρική εξασφάλιση και διαφραγματική λειτουργία στο επίπεδο του στεγάστρου. Τα οριζόντια φορτία του ανέμου και του σεισμού που ασκούνται στην κατασκευή καθώς και οι δευτερογενείς (λόγω παραμορφώσεων) δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αυτή παραλαμβάνονται και μεταφέρονται με ασφάλεια στο έδαφος από το οριζόντιο και το κατακόρυφο σύστημα δυσκαμψίας. Η σύνδεσή τους με τον κύριο φορέα πραγματοποιείται αρθρωτά.

Μεταξύ των διαδοχικών οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας τοποθετούνται σε όλο το μήκος του κτηρίου και κοντά στους άξονες των υποστρωμάτων δευτερεύοντες βοηθητικοί οριζόντιοι σύνδεσμοι ίδιας κατηγορίας, (Εικόνα 3.8) οι οποίοι ομοιομορφοποιούν τις παραμορφώσεις των κεφαλών των υποστρωμάτων (κυρίως υπό τα οριζόντια αλλά και τα κατακόρυφα φορτία) σε περίπτωση εντοπισμένης φόρτισης, που καταπονεί κυρίως ένα κύριο πλαίσιο.



Εικόνα 3.8: Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας



Εικόνα 3.9: Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας

Στο άνω πέλαμα των ζυγμάτων της στέγης εδράζονται τεγίδες (Εικόνα 3.8) κάθετα διατεταγμένες στη διεύθυνση των πλαισίων, επί των οποίων τοποθετούνται χαλυβδόφυλλα επικαλύψεων ψυχρής έλασης (πάνελ) για την κάλυψη του στεγάστρου. Οι τεγίδες λειτουργούν ως αμφιέριστες και ο ρόλος τους είναι η μεταφορά δράσεων από τα φύλλα επικάλυψης στους κύριους φορείς. Επίσης με την συμμετοχή των οριζόντιων συνδέσμων προσφέρεται και πλευρική στήριξη στα ζυγώματα.

Για την γερανογέφυρα υπάρχουν δοκοί κλίσεως HEA 260, οι οποίοι χωρίζονται σε αμφιέριστα τμήματα των 6.00m και 5.70m κατά μήκος τους, τα οποία στηρίζονται από κοντούς προβόλους IPE 400 (Εικόνα 3.5, 3.9).

3.3.2 Υλικά κατασκευής

Όλα τα στοιχεία του μεταλλικού φορέα μορφώνονται από δομικό χάλυβα ποιότητας S275, ορίου διαρροής $f_y=275$ MPa και ορίου θραύσης $f_u=430$ MPa. Οι τιμές του συντελεστή Poisson ν , του μέτρου ελαστικότητας E και του συντελεστή θερμικής διαστολής α περιγράφονται σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο του EN1993-1-1:2005 και είναι ανεξάρτητα της ποιότητας του χάλυβα. Οπότε σύμφωνα με τον κανονισμό ισχύει:

- $\nu=0.30$
- $E=210$ GPa
- $\alpha=12 \times 10^{-6}$ $1/^\circ\text{C}$

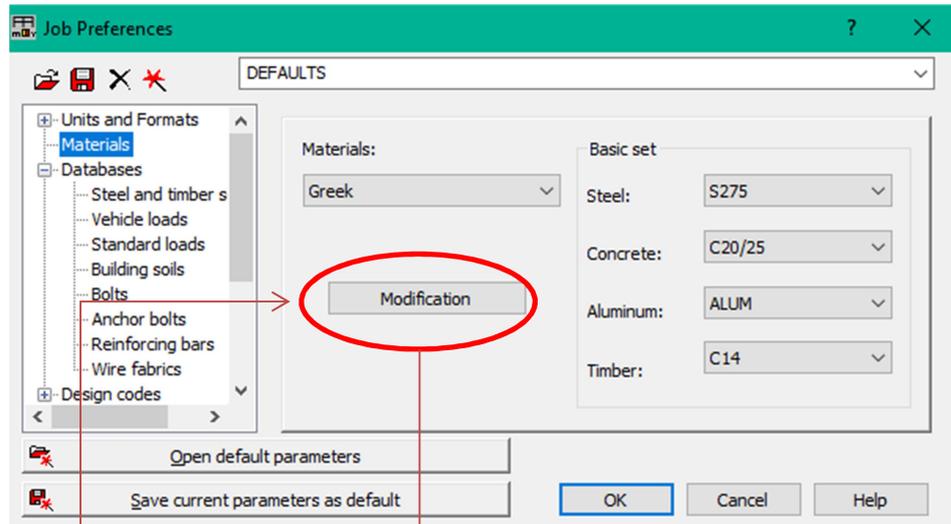
Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του χάλυβα στις κατασκευές είναι:

- Μεγάλη αντοχή και δυσκαμψία ως προς το βάρος
- Μείωση ίδιων βαρών της κατασκευής και οικονομία υλικού, χώρου κλπ.
- Ομοιογένεια υλικού (αμετάβλητο στο χρόνο, ακρίβεια παραδοχών ανάλυσης και ελέγχων αντοχής)
- Ελαστικότητα-ολκιμότητα (καλή αντισεισμική συμπεριφορά)
- Μονιμότητα (με κατάλληλη συντήρηση απεριόριστη διάρκεια ζωής)
- Επαναχρησιμοποίηση του υλικού
- Ενίσχυση υπαρχουσών κατασκευών (για αύξηση φέρουσας ικανότητας)
- Ταχύτητα κατασκευής και ανέγερσης
- Ευκολία προκατασκευής

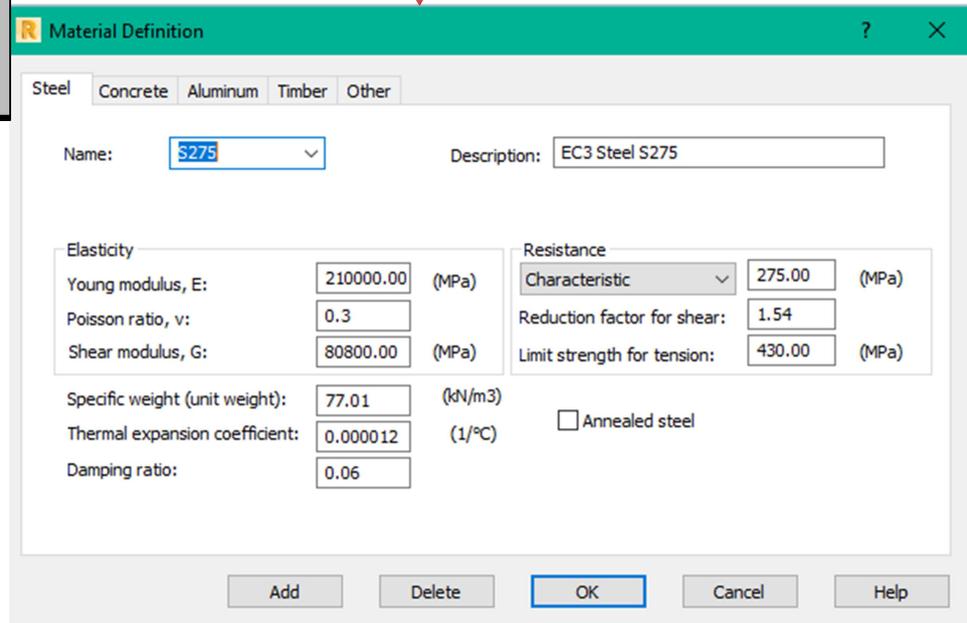
Πέραν της μεταλλικής κατασκευής ο φορέας περιλαμβάνει θεμελίωση από οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας **C20/25**.

Κατά την εισαγωγή των υλικών στο Robot Structural Analysis 2018 είναι απαραίτητη η προσαρμογή των παραμέτρων αντοχής των υλικών, ώστε οι αντοχές των διατομών να είναι σύμφωνες με αυτές που προβλέπουν οι κανονισμοί. Η εισαγωγή των τιμών φαίνεται στην Εικόνα 3.10.

Μέσα από την επιλογή Job Preference, μπορούμε να επιλέξουμε την κατηγορία χάλυβα, σκυροδέματος.

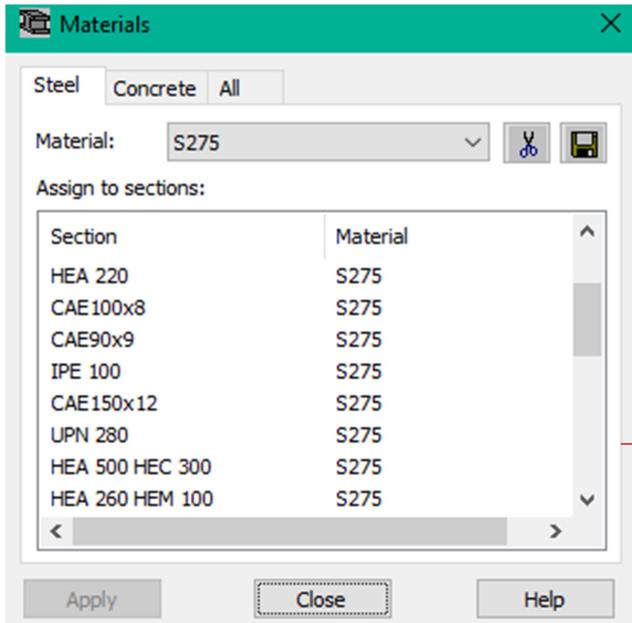


Με την επιλογή Modification μπορούμε να δούμε τις αντίστοιχες παραμέτρους με την δυνατότητα τροποποίησής τους.

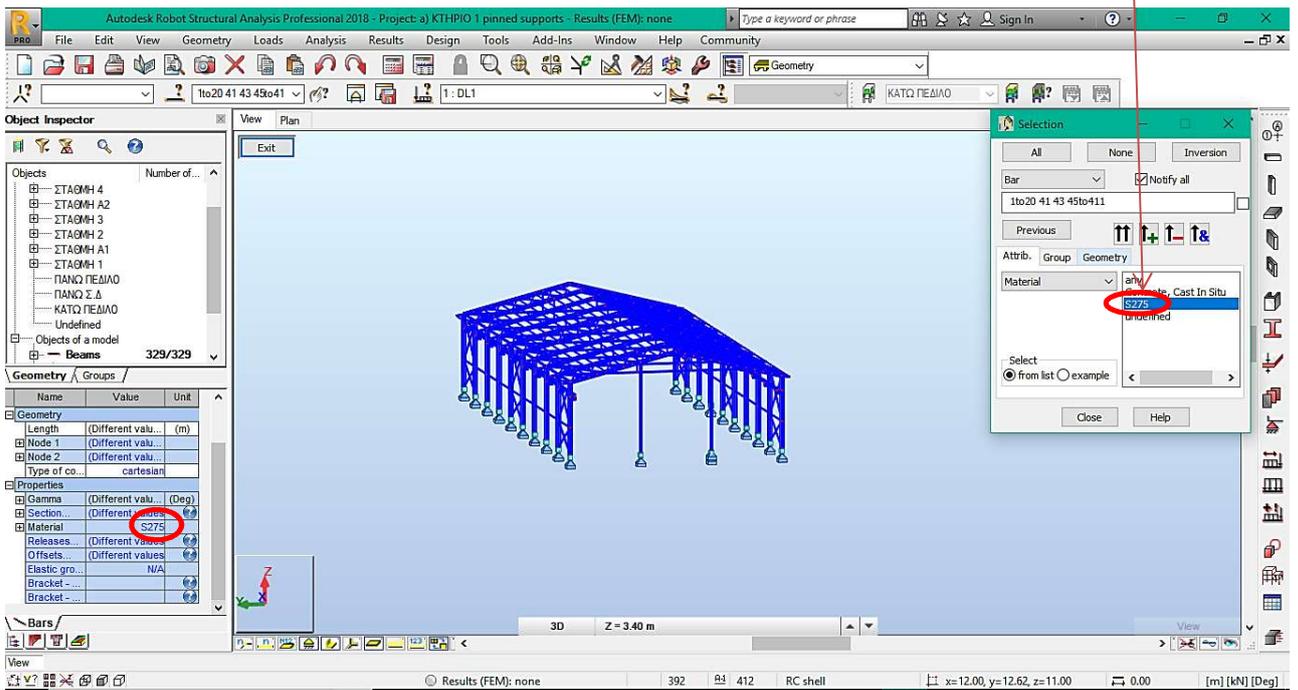


Εικόνα 3.10: Διαδικασία επιλογής κατηγορίας χάλυβα και παραμέτρων

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όταν το μοντέλο εργασίας εισάγεται από ένα άλλο πρόγραμμα π.χ. Revit πρέπει να γίνει επαλήθευση ως προς την επιλογή κατηγορίας χάλυβα. Έτσι μπορούμε να δούμε αν λείπει κάποιο κομμάτι του φορέα από την κατηγορία που έχουμε επιλέξει. Με την επιλογή **geometry-materials** ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγξει αν όλα τα υλικά χάλυβα είναι στην κατηγορία που έχει επιλέξει και έτσι να επιβεβαιώσει πως θα έχει μια σωστή απόδοση υπολογισμών.



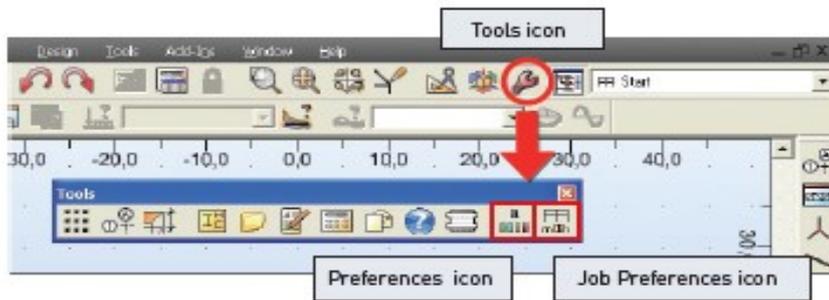
Τώρα με την επιλογή όλου του μοντέλου, μπορούμε να δούμε πως τα υλικά χάλυβα είναι S275



Εικόνα 3.11: Κατηγορία υλικών κατασκευής

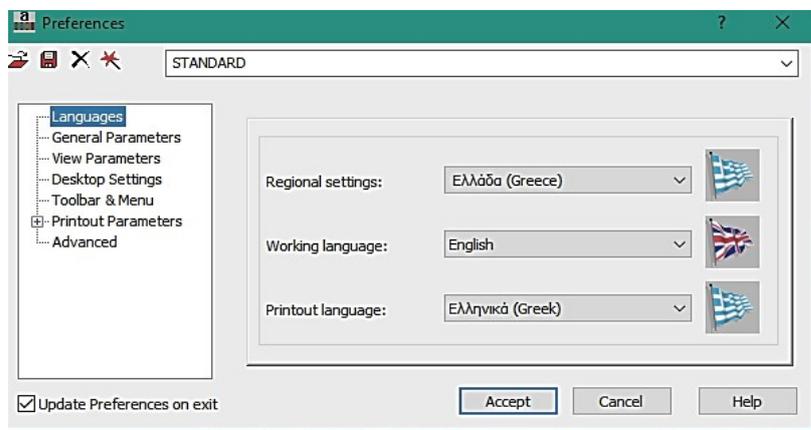
3.3.3 Ρυθμίσεις παραμέτρων για τα δεδομένα της Ελλάδας

Στη συνέχεια, τη βασική διαμόρφωση του προγράμματος πριν από κάθε εργασία αποτελούν οι δύο επιλογές που βρίσκονται στην επιλογή εργαλείων (**tools**), **Preferences** και **Job Preferences** (Εικόνα 3.12). Αυτές οι επιλογές επιτρέπουν στο χρήστη να ρυθμίσει παραμέτρους:



Εικόνα 3.12: Επιλογή Preferences και Job Preferences

➤ Preferences

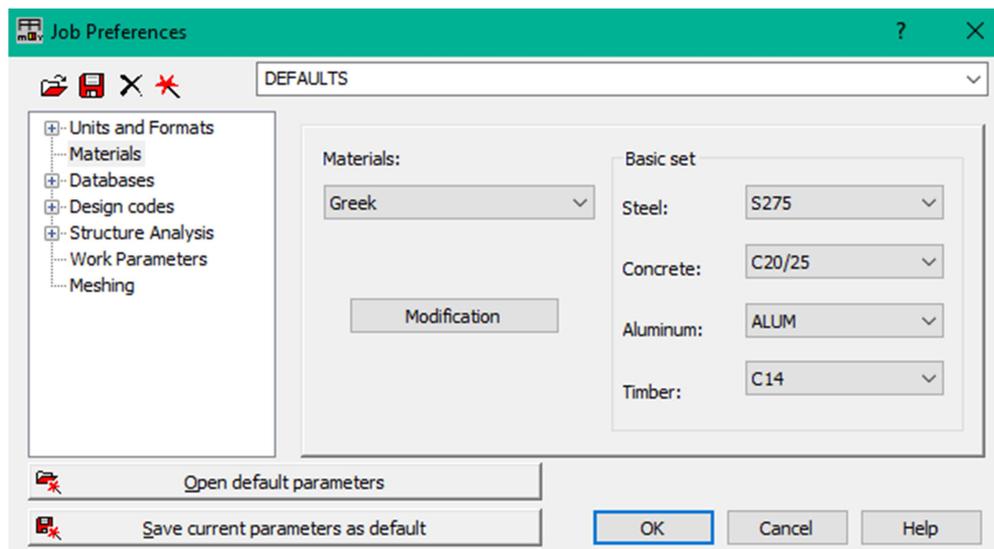


Εικόνα 3.13: Preferences

Οι πιο συχνές ως προς την χρήση επιλογές είναι οι ακόλουθες:

- Γλώσσες: επιλογή περιφερειακών ρυθμίσεων (ορισμός της χώρας για την οποία υπάρχουν συγκεκριμένοι κώδικες και κανονισμοί για κάθε υλικό που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και υπολογισμού της κατασκευής και ορισμός γλώσσας με την οποία θα εκτυπωθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων)
- Γενικές παραμέτροι (παραμέτροι αποθήκευσης, αριθμός υλικών που χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατα, ενεργοποίηση / απενεργοποίηση ήχου κλπ)
- Παράμετροι εμφάνισης (χρώματα και γραμματοσειρές για στοιχεία οθόνης)
- Γραμμή εργαλείων και το μενού (τύπος μενού και τύπος γραμμών εργαλείων)
- Παράμετροι εκτύπωσης (χρώματα και γραμματοσειρές για εκτυπώσεις, κλίμακα και σύμβολα, πάχος γραμμής)
- Παράμετροι προστασίας (προστασία, εξουσιοδότηση) για την προστασία του συστήματος
- Παρουσίαση των καταχωρημένων πρόσθετων προγραμμάτων / ενοτήτων

➤ Job Preferences



Εικόνα 3.14: Job Preferences

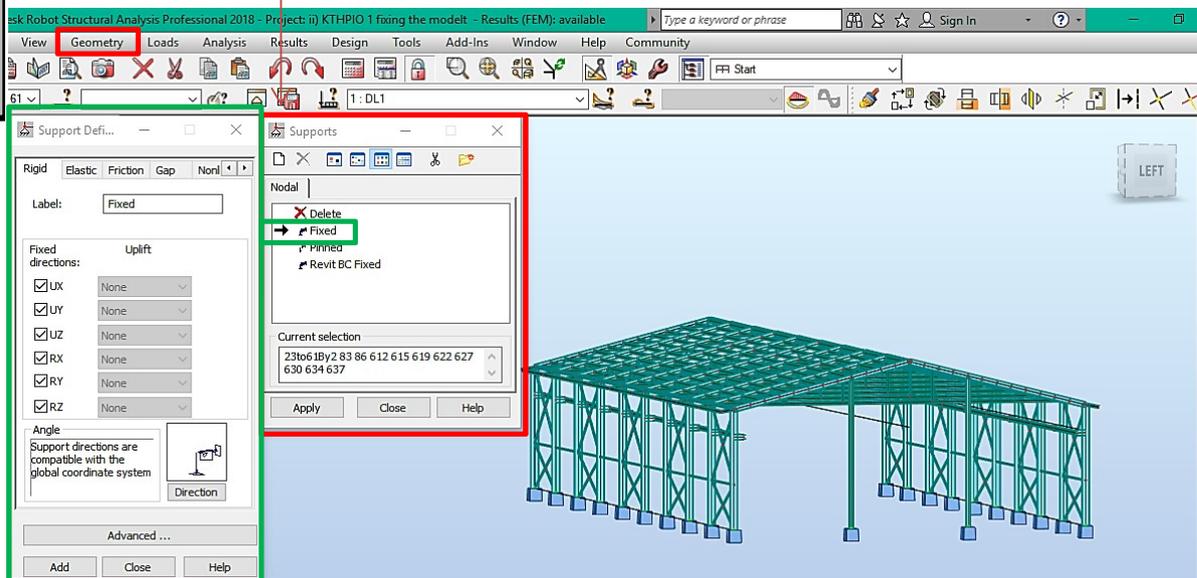
Το παράθυρο **Job Preferences** που παρουσιάζεται (Εικόνα 3.14), επιτρέπει τον ορισμό γενικού προγράμματος παραμέτρων, που πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε ένα συγκεκριμένο έργο. Οι πιο σημαντικές λειτουργίες είναι οι εξής:

- Αριθμητικές μονάδες και μορφές (διαστάσεις, φορτία, δυνατότητα επεξεργασίας μονάδας μέτρησης)
- Υλικά (επιλογή υλικού, ανάλογα με τη χώρα και τη δυνατότητα της δημιουργίας υλικού που ορίζει ο χρήστης)
- Επιλογή της κατάλληλης βάσης δεδομένων με τμήματα μελών
- Παράμετροι ανάλυσης μοντέλου (επιλογή της μεθόδου και του ορισμού της στατικής ανάλυσης βασικών παραμέτρων για δυναμική και μη γραμμική ανάλυση, επιλογή τύπου ανάλυσης, δυνατότητα αποθήκευσης αποτελεσμάτων για σεισμική ανάλυση και συνδυασμός σεισμικών περιπτώσεων)
- Παράμετροι πεπερασμένων στοιχείων σε επιφάνειες, πλάκες και κελύφη

3.3.4 Μόρφωση φορέα στο Robot structural analysis 2018

Σε αυτό το βήμα, δημιουργούνται υποστηρίγματα στη δομή πλαισίου.

Geometry →
Supports →
Fixed

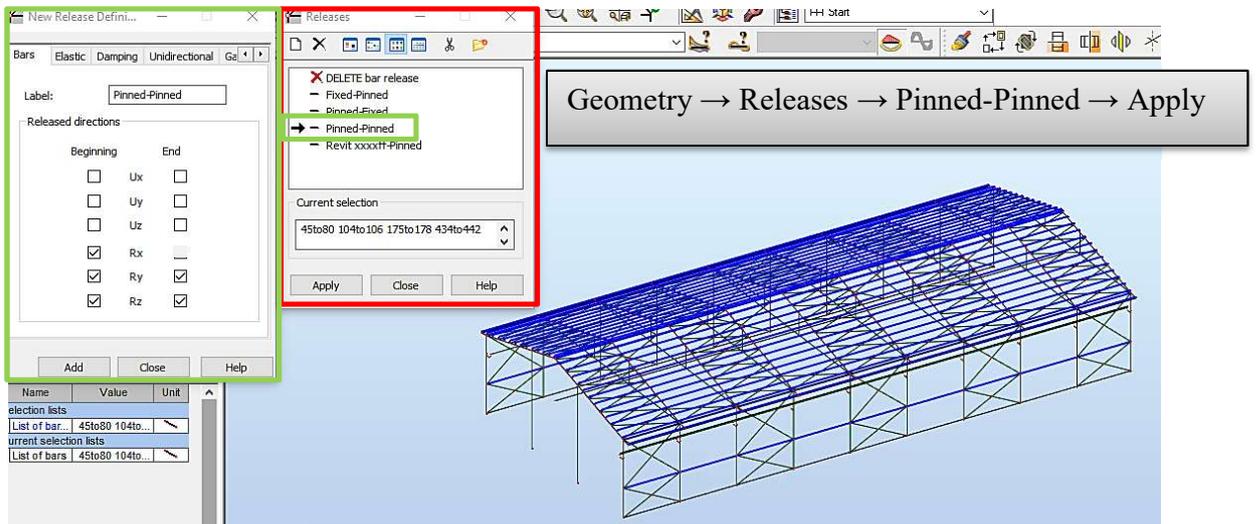


Εικόνα 3.15: Εφαρμογή στήριξης με δέσμευση βαθμών ελευθερίας για υλοποίηση πάκτωσης

Όταν σχεδιάζουμε τη θεμελίωση του φορέα στο Revit, αποτελεί μία σχεδιαστική πληροφορία αποκλειστικά για τον κατασκευαστή και τον πελάτη. Όμως, έχοντας περάσει το μοντέλο από το Revit στο Robot, πρέπει να τοποθετήσουμε στις στήριξεις των κύριων πλαισίων του φορέα προσομοίωμα με πακτώσεις χωρίς να ληφθεί υπόψη η ενδοσιμότητα του εδάφους θεμελίωσης. Αυτό, είτε επιτυγχάνεται με την επιλογή των κόμβων του μοντέλου στη στάθμη αυτή, είτε μπορεί να επιλεγεί ένας τύπος υποστήριξης από τη λίστα **Supports** (Εικόνα 3.15) και στη συνέχεια να επιλεγεί ένας κόμβος ή κόμβοι με ένα κλικ ή ανοίγοντας ένα νέο παράθυρο.

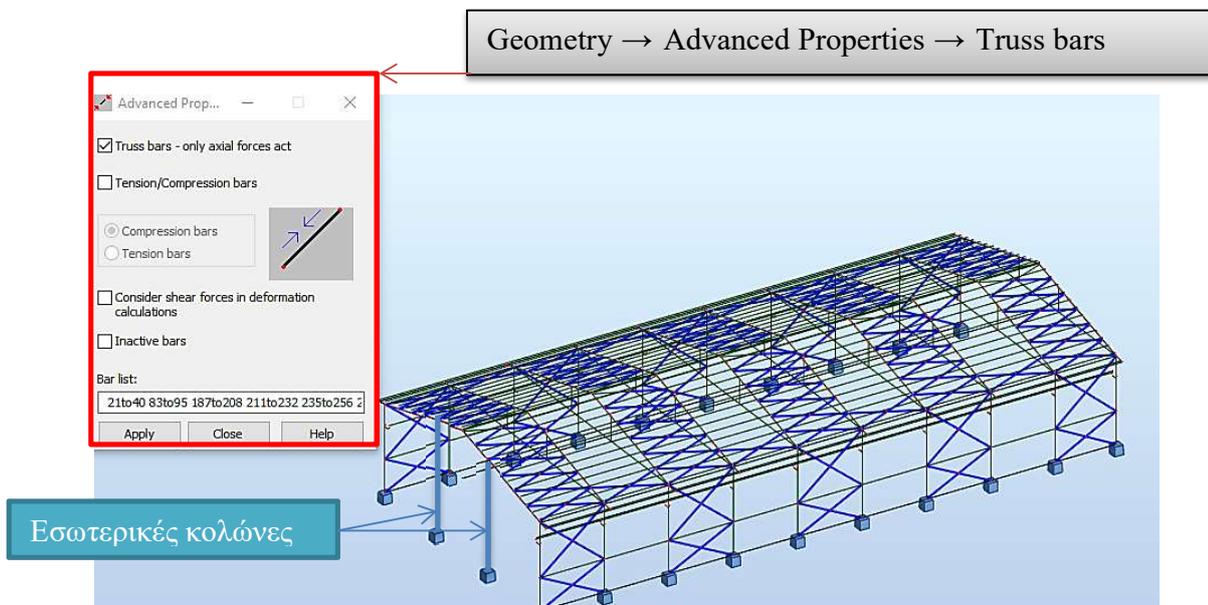
Οι κόμβοι υποστυλωμάτων-ζυγωμάτων, ελκυστήρων-ζυγωμάτων, ζυγωμάτων-ζυγωμάτων, υποστυλωμάτων-αντηρίδων και αντηρίδων-ζυγωμάτων προσομοιώθηκαν με συνδέσεις ροπής όπως είναι εξαρχής ορισμένο από το πρόγραμμα.

Η κεφαλοδοκός, η πλάγια δοκός, οι δοκοί στέγης και οι τεγίδες θεωρήθηκαν αμφιαρθρωτά στοιχεία, απελευθερώνοντας τον αντίστοιχο βαθμό ελευθερίας (Εικόνα 3.16).



Εικόνα 3.16: Απελευθέρωση βαθμών ελευθερίας για υλοποίηση άρθρωσης

Οι κατακόρυφοι και οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας και οι εσωτερικές κλώνες προσομοιώθηκαν ως αμφιαρθρωτά στοιχεία, με δυνατότητα παραλαβής μόνο αξονικού φορτίου. Η δυνατότητα αυτή ενεργοποιείται επιλέγοντας την εντολή Truss bar (Εικόνα 3.17).



Εικόνα 3.17: Ορισμός μέλους για παραλαβή μόνο αξονικού φορτίου

3.4 Φορτίσεις Κατασκευής

Ο φορέας σχεδιάζεται και κατασκευάζεται έτσι ώστε να ανταποκρίνεται άρτια και αξιόπιστα στις φορτίσεις που του ασκούνται από το περιβάλλον, τόσο κατά τη φάση κατασκευής του, όσο και κατά τη διάρκεια ζωής και χρήσης του. Στην Ελλάδα, ως προς τις δράσεις, όπως και σε πολλές άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, εφαρμόζεται ο Ευρωκώδικας 1 (Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις στις κατασκευές), ο οποίος λόγω των διαφορετικών συνθηκών κάθε χώρας, καθορίζει διαφορετική προσέγγιση ως προς τις ιδιαίτερες πληροφορίες (π.χ. χιόνι, άνεμο κλπ) για τον ορθό σχεδιασμό και έλεγχο σε κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας. Αυτές οι πληροφορίες δίνονται, είτε μέσω παραρτημάτων, είτε μέσω των Εθνικών Προσαρτημάτων που συνοδεύουν τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες.

Η εκτίμηση των φορτίων και δυνάμεων που καταπονούν την κατασκευή, δεν είναι πάντα δυνατή με ακρίβεια. Η κατανομή μιας φόρτισης καθορίζεται συνήθως με παραδοχές και προσεγγίσεις, ακόμα κι αν η φόρτιση είναι γνωστή. Τα φορτία που δρουν στην κατασκευή διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

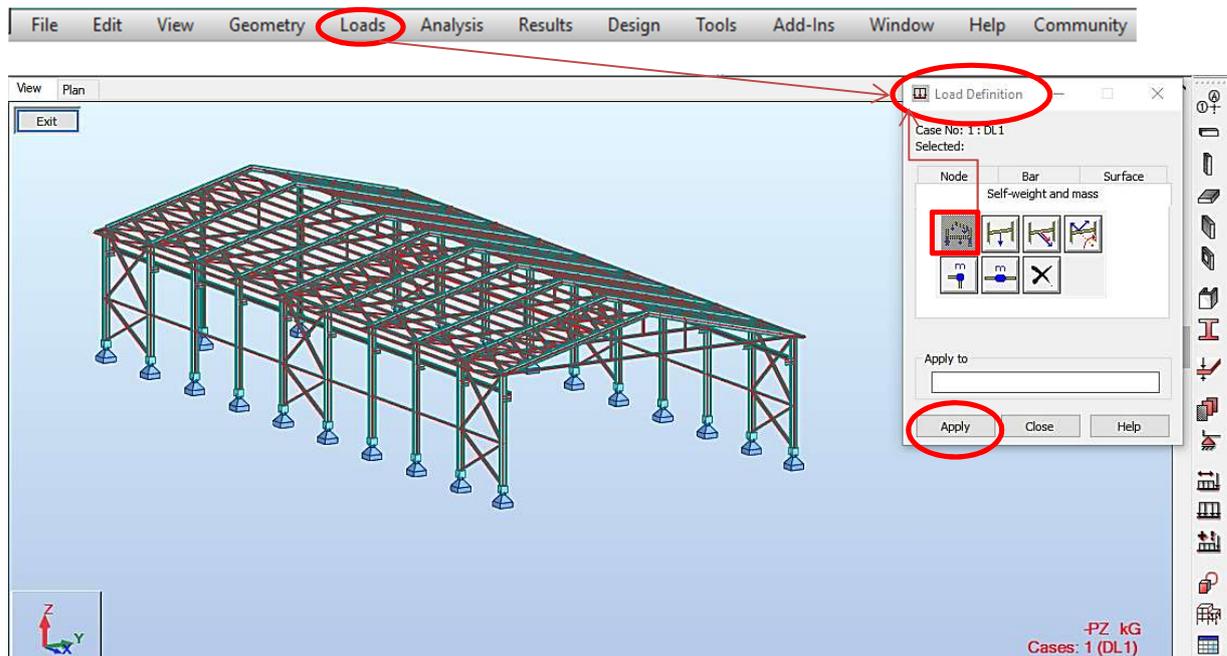
- *Τα Μόνιμα Φορτία (Dead Loads)*
 - Ίδια βάρη της κατασκευής
 - Λοιπά μόνιμα (επικάλυψη στεγάστρου)
- *Τα Κινητά Φορτία (Live Loads)*
 - Κινητά φορτία στέγης
 - Δράσεις ανέμου
 - Φορτία χιονιού
 - Θερμοκρασιακές μεταβολές
- *Σεισμικά φορτία (Έμμεσο φορτίο με επιβολή επιταχύνσεων)*
- *Τυχηματικά Φορτία (Accidental Loads), τα οποία δεν αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης στην συγκεκριμένη εργασία.*

Τα παραπάνω μπορούν να δρουν σε συνδυασμό. Οι συνδυασμοί αυτών των φορτίσεων και η ακριβής τιμή τους, λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό με την μέθοδο των οριακών καταστάσεων (Κεφάλαιο 4).

3.4.1 Μόνιμα φορτία

Με τον όρο αυτό, νοούνται όλες οι δράσεις οι οποίες αναμένεται να επενεργήσουν κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης περιόδου επαναφοράς και για την οποία η διαφοροποίηση του μεγέθους τους στο χρόνο είναι αμελητέα. Παλαιότερος όρος για τις μόνιμες δράσεις ήταν “νεκρά φορτία”. Επιπλέον, περιλαμβάνονται στην κατηγορία αυτή των δράσεων όλα τα κατακόρυφα φορτία που δρουν καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής, όπως τα ίδια βάρη (φέροντα στοιχεία, τοίχοι πληρώσεως, ψευδοροφές, επικαλύψεις και επενδύσεις, επιστρώσεις και μονώσεις δαπέδων, ηλεκτρικά και υδραυλικά δίκτυα, κλιματιστικά συστήματα κλπ.). Στην παρούσα εργασία εκτιμήθηκαν ως μόνιμο φορτίο τα ίδια βάρη του φορέα (Εικόνα 3.18) και ως επικάλυψη στέγης θα χρησιμοποιηθούν χαλυβδόφυλλα, τα οποία θα προστεθούν μέσω των τεγίδων και θα προκαλέσουν μόνιμο φορτίο της τάξης των 0.20 kN/m^2 (Εικόνα 3.20).

Τα μόνιμα φορτία, από τα ίδια βάρη του φορέα (DL1), καθορίζονται με την επιλογή Loads → Load Definition → Self-weight and mass → Apply

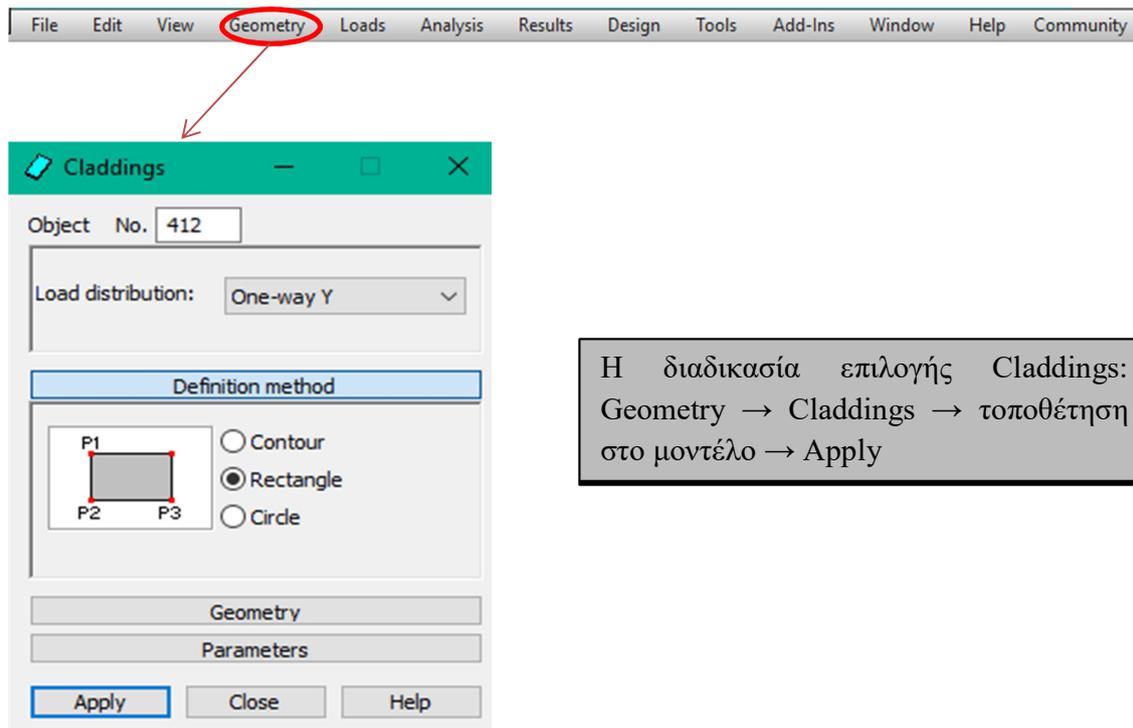


Εικόνα 3.18: Εφαρμογή ίδιου βάρους μεταλλικής κατασκευής

Για το κομμάτι υπολογισμού των στατικών δυνάμεων, είναι καλό πριν αρχίσουμε την τοποθέτηση και των άλλων φορτίων να γίνει ένας γρήγορος υπολογισμός, μόνο με τα φορτία από τα ίδια βάρη του φορέα. Αυτό είναι σημαντικό βήμα, διότι έτσι μπορούμε να βεβαιωθούμε ότι δεν θα λάβουμε προειδοποιήσεις που θα είναι κρίσιμες για τα αποτελέσματα. Εάν προκύψουν προβλήματα που πρέπει να διορθώσουμε αργότερα έχοντας παραλείψει αυτό το βήμα, θα είναι χρονοβόρο.

Για την περίπτωση επικάλυψη της στέγης, τοποθετήσαμε επιφάνειες (claddings) στις στέγες. Η επιλογή αυτή ορίζει μια επιφάνεια που επιτρέπει να κατανέμεις τα επίπεδα, γραμμικά και συγκεντρωμένα φορτία στο πάνελ της επικάλυψης και στη συνέχεια στις τεγίδες, στα ζυγώματα κ.ο.κ. Επιπλέον, η συγκεκριμένη επιλογή σου δίνει τη δυνατότητα να αγνοήσεις τα στοιχεία που δε συμμετέχουν άμεσα στην παραλαβή των κατακόρυφων φορτίων όπως για παράδειγμα τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας.

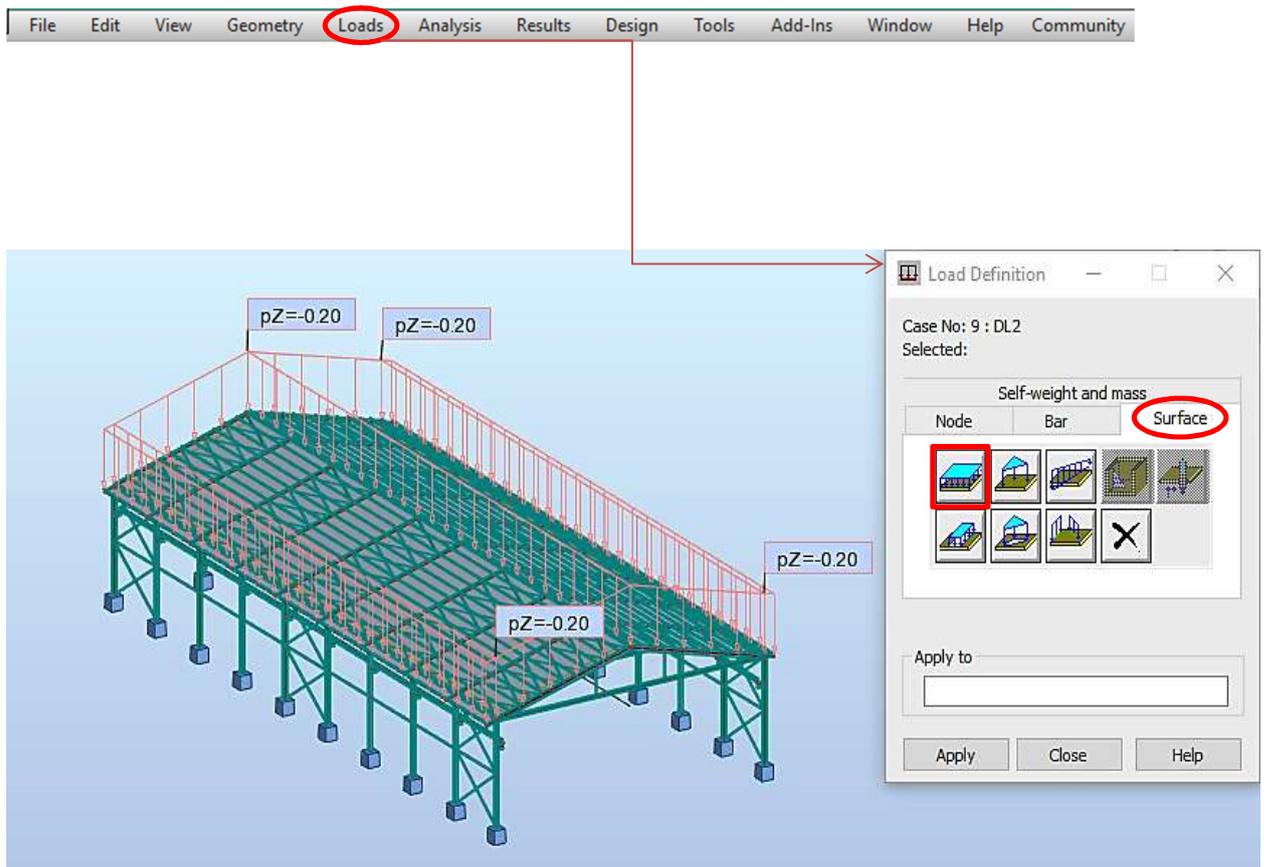
Αυτή η εντολή είναι χρήσιμη για την εφαρμογή διαφόρων ειδών ομοιόμορφων φορτίων, όπως είναι φορτία χιονιού και ανέμου.



Η διαδικασία επιλογής Claddings: Geometry → Claddings → τοποθέτηση στο μοντέλο → Apply

Εικόνα 3.19: Διαδικασία τοποθέτησης Claddings

Τα μόνιμα φορτία από επικάλυψη στέγης (DL2), καθορίζονται με την επιλογή Loads → Load Definition → Surface → Apply



Εικόνα 3.20: Διαδικασία τοποθέτησης φορτίων επικάλυψης στέγης

3.4.2 Κινητά (μεταβλητά) φορτία

Τα Κινητά ή Μεταβλητά φορτία είναι κατακόρυφα ή οριζόντια φορτία που δρουν όταν η κατασκευή βρίσκεται πλέον σε λειτουργία και μεταβάλλονται ως προς τη θέση και το μέγεθός τους. Λόγω της φύσης των φορτίων αυτών, δεν είναι επακριβής η τιμή και η θέση τους, γι' αυτό προσδιορίζονται στατιστικά και οι δε τιμές τους προδιαγράφονται στους κανονισμούς. Στην κατασκευή μας τα φορτία αυτά λαμβάνονται ως ομοιόμορφα κατανεμημένα. Στα κινητά κατακόρυφα φορτία περιλαμβάνονται φορτία από την χρήση γερανογέφυρας, φορτία χιονιού, ανέμου κλπ.

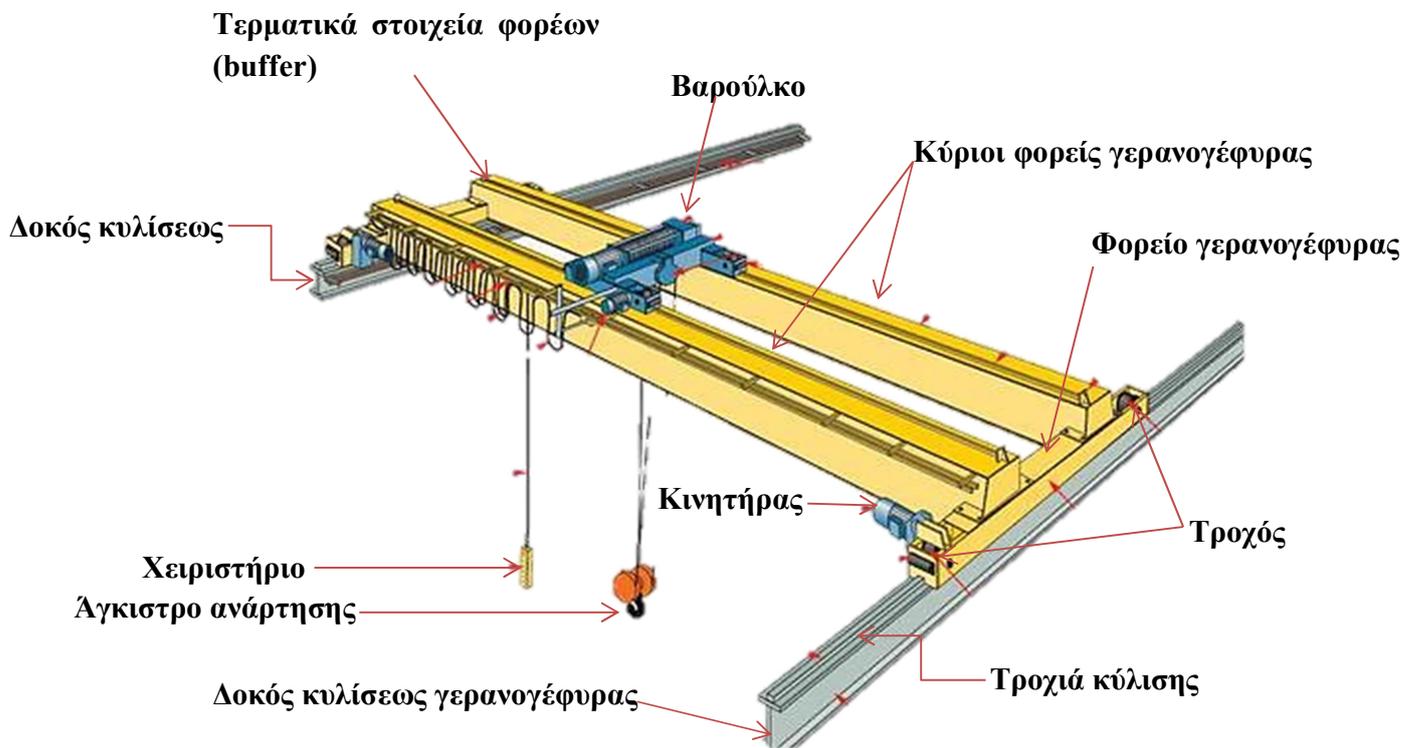
➤ Φορτία που επιβάλλονται από την γερανογέφυρα στο φορέα

Η γερανογέφυρα αποτελεί βιομηχανικό προϊόν και έχει γενικά τυποποιημένες διαστάσεις και πάχη ελασμάτων που διαφέρουν ανάλογα με το άνοιγμα και την φέρουσα ικανότητά της (ωφέλιμο φορτίο) και διατίθενται ως σύνολο με το μηχανικό εξοπλισμό της (βαρούλκο, φορείο, άγκιστρο ανάρτησης, κινητήρες κ.α.) όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 3.21.

Κατά την εργασία, η γερανογέφυρα χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τον ασβεστοπολτό με κάδους από τις δεξαμενές σε ειδικό σιλοφόρο φορτηγό, από όπου γίνεται απευθείας η μεταφορά και η παράδοση του. Η γερανογέφυρα αποτελείται από δύο παράλληλους φορείς, κυβωτοειδούς διατομής οι οποίοι απολήγουν στα φορεία (Εικόνα 3.21). Κάθε φορείο έχει δύο τροχούς, των οποίων η μεταξύ τους απόσταση είναι 3.15m. Οι τροχοί κυλίσουν επί τροχιάς που εδράζεται στις δοκούς κυλίσεως της γερανογέφυρας. Οι δοκοί κυλίσεως αποτελούν αντικείμενο στατικής μελέτης του κτιρίου.

Οι γερανογέφυρες μεταφέρουν φορτία (κατακόρυφα και οριζόντια) επί των δοκών κυλίσεως, τα οποία εν συνεχεία μεταφέρονται στο έδαφος μέσω των υποστυλωμάτων, αλλά και άλλων στοιχείων του φέροντος οργανισμού (σύνδεσμοι δυσκαμψίας μεταξύ των υποστυλωμάτων, πλευρικά στηρίγματα άνω πέλματος δοκών κυλίσεως, κ.α.).

Τα κατακόρυφα φορτία επί των δοκών κυλίσεως οφείλονται στο ανυψούμενο φορτίο, το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας και το βάρος του βαρουλκοφορείου. Τα οριζόντια φορτία που ασκούνται επί της δοκού κυλίσεως από την γερανογέφυρα προκαλούνται από την επιτάχυνση ή επιβράδυνση, κατά την κίνησή της, όπως επίσης και από την λοξή κίνηση της γερανογέφυρας ως προς τις τροχιές. Τα οριζόντια και κατακόρυφα φορτία ασκούνται συγχρόνως κατά την διάρκεια κίνησης της γερανογέφυρας.



Εικόνα 3.21: Γερανογέφυρα – [15]

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα ελεγχθούν ως προς την επάρκεια τους οι δοκοί κυλίσεως, έναντι των οριακών καταστάσεων αστοχίας και λειτουργικότητας. Η δοκός ως μέλος πρέπει να ανταποκρίνεται στη σύνθετη καταπόνηση στην οποία υποβάλλεται χωρίς να παρουσιάζει παραμορφώσεις που δυσχεραίνουν την κίνηση και τη λειτουργία της γερανογέφυρας.

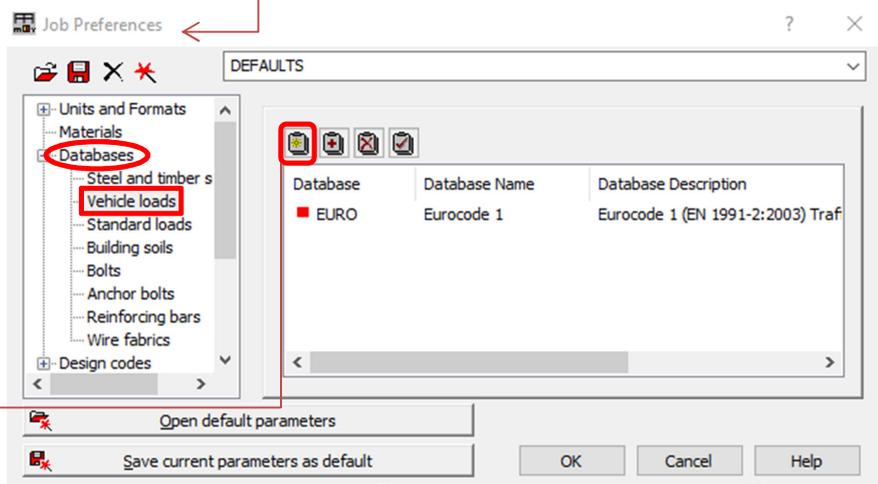
Οι αξονικές δυνάμεις επί της δοκού κυλίσεως (οι οφειλόμενες στην επιτάχυνση ή τροχοπέδηση της γερανογέφυρας), είναι σχετικά μικρές, επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος καμπτικού λυγισμού. Πρέπει όμως να ελεγχθεί έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Ο Ευρωκώδικας 3 (EN 1993-6-[14]) για την διευκόλυνση έναντι των ελέγχων, δέχεται ως απλοποιητικές παραδοχές ότι τα κατακόρυφα φορτία των τροχών παραλαμβάνονται από τις δοκούς κυλίσεως και οι στρεπτικές ροπές παραλαμβάνονται από ζεύγη δυνάμεων που δρουν οριζόντια στο πάνω και κάτω πέλαμα της δοκού κυλίσεως.

Η επιλογή για τον προσδιορισμό ενός κινούμενου φορτίου, μπορεί να οριστεί με οποιονδήποτε συνδυασμό δυνάμεων (το πρόγραμμα Robot περιέχει συγκεντρωμένα φορτία, γραμμικά φορτία και επίπεδα φορτία). Μια περίπτωση κινούμενου φορτίου που επιτρέπει την ανάλυση του φορέα, είναι αυτό της γερανογέφυρας (Εικόνα 3.21) που προκαλείται από ένα σύνολο δυνάμεων που κινούνται κατά μήκος μιας καθορισμένης διαδρομής. Τα βήματα δημιουργίας αυτού του φορτίου είναι:

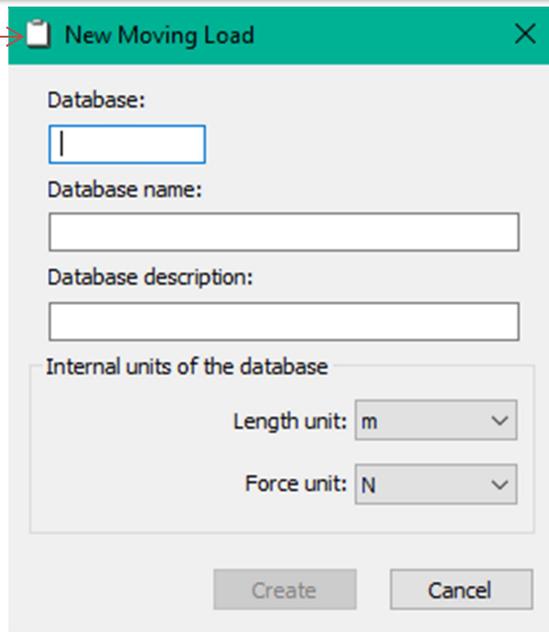
Επιλέγοντας το **Job Preferences** από τα εργαλεία (**Tools**) στο πρόγραμμα Robot, έχουμε την δυνατότητα να δημιουργήσουμε μία καινούργια βάση δεδομένων στο (**Vehicle loads**) επιλέγοντας το εικονίδιο  (**Create new user's database**).



Tools → Job Preferences → Databases → Vehicle loads



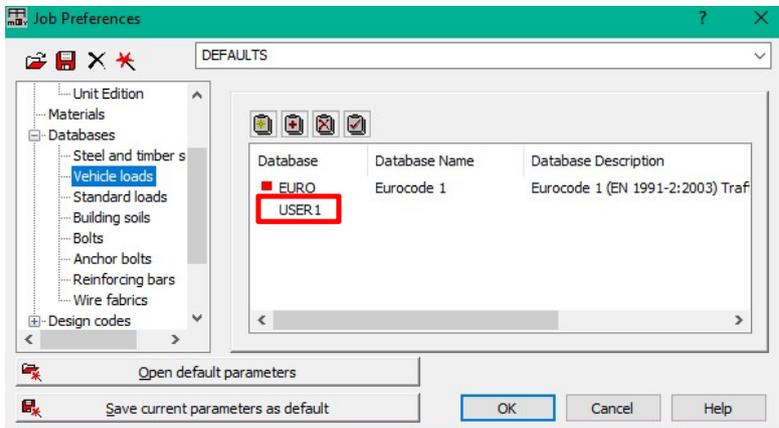
Στη συνέχεια, εμφανίζεται καινούργια βάση δεδομένων με όνομα (**New Moving Load**)



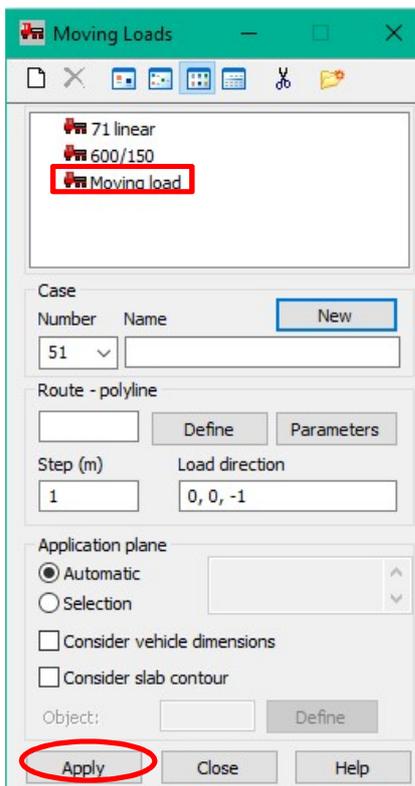
- Εισάγουμε :
- Database: User 1
 - Database name: User-defined database
 - Database description field:
 - User-defined vehicles
 - Internal units of the database: Force units (kN) και Length units (m)

Εικόνα 3.22: Διαδικασία δημιουργίας νέας κατηγορίας κινητού φορτίου (**New moving load**)

Έχοντας συμπληρώσει τον προηγούμενο πίνακα, με την εντολή **Create** θα δούμε στη βάση δεδομένων (**Database**) της κατηγορίας **Vehicle loads** το **USER 1** η οποία είναι η νέα βάση δεδομένων για το καινούριο κινούμενο σημειακό φορτίο της γερανογέφυρας.



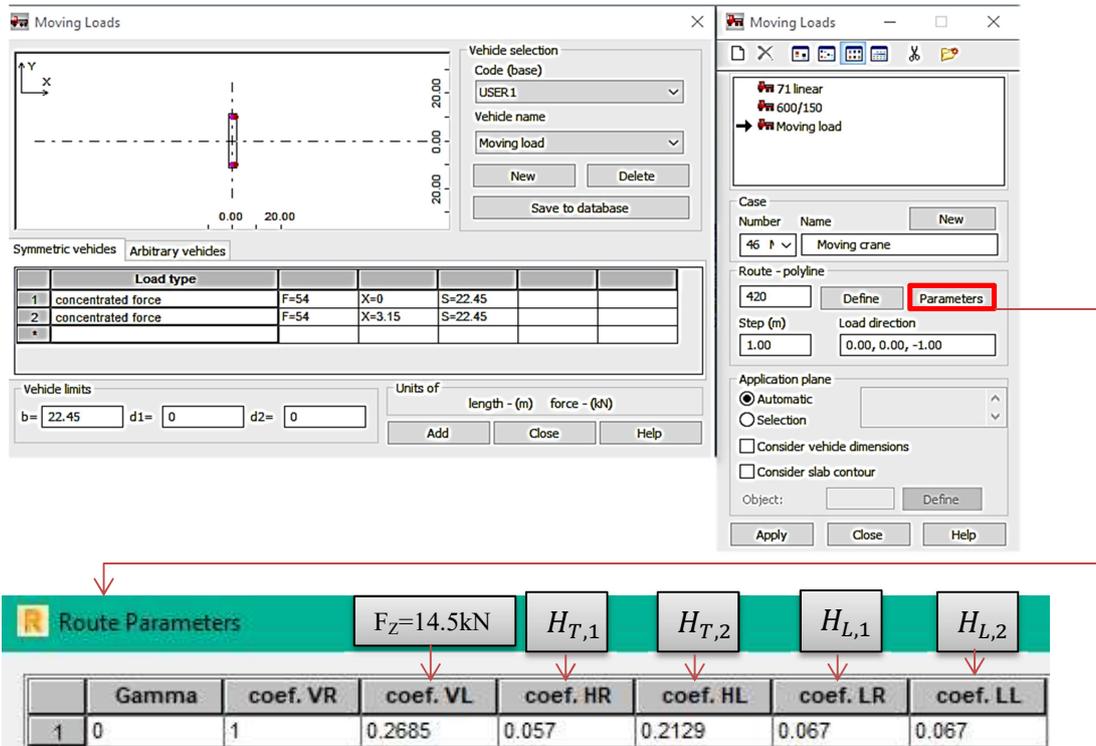
Επιλέγοντας loads → Special loads → Moving , εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας:



Στο πίνακα επιλογών, το Moving load είναι η βάση δεδομένων που δημιουργήσαμε προηγουμένως. Επιλέγοντας λοιπόν το ένα τμήμα δοκού κλίσεως της γερανογέφυρας και μετά την επιλογή Moving load, επιλέγοντας Apply θα μπορούσαμε να εισάγουμε δεδομένα για το μετακινούμενο φορτίο (γερανογέφυρας) που θα δράσει στη μεταλλική κατασκευή.

Εικόνα 3.23: Διαδικασία δημιουργίας δεδομένων κινητού φορτίου (Moving load)

Τοποθέτηση κινητών σημειακών φορτίων κατά μήκος της δοκού κυλίσεως γερανογέφυρας:



Εικόνα 3.24: Προσθήκη κινητών φορτίων στην μεταλλική κατασκευή

Στο παράθυρο **load type** επιλέγουμε για κατηγορία φορτίου **Symmetric vehicles**, διότι επί των δοκών κυλίσεως ασκούνται (μέσω των τροχών) κατακόρυφα και οριζόντια φορτία. Τα οριζόντια φορτία δημιουργούνται από τη γερανογέφυρα και είναι δύο ειδών, μη επαλληλιζόμενα μεταξύ τους:

- οφειλόμενα στην επιτάχυνση και επιβράδυνση της γερανογέφυρας κατά την εκκίνηση και την τροχοπέδησή της
- οφειλόμενα στη παράγωγη (λοξή ως προς τις τροχιές) κίνηση της γερανογέφυρας κατά τη λειτουργία της (skewing forces)

Κάθε κατασκευαστής δίνει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας, την οποία κατασκευάζει σε συνάρτηση με το άνοιγμα και την ανυψωτική της ικανότητα. Στην παρούσα εργασία μελετάμε γερανογέφυρα η οποία έχει ανυψωτική ικανότητα 50kN, άνοιγμα 22,45m και συνολικό βάρος 41,6kN, στο οποίο περιλαμβάνεται το βάρος του φορείου (7,1kN). Η γερανογέφυρα κινείται σε κάθε άκρο της επί δύο τροχών απεχόντων μεταξύ τους 3.15m. Η ταχύτητα ανύψωσης του αναρτημένου φορτίου είναι 8m/min, η δε απόσταση της ακραίας θέσης του αγκίστρου ανάρτησης από τον άξονα της δοκού κυλί-

σεως είναι 900mm. Η γερανογέφυρα κατατάσσεται στην κατηγορία ανύψωσης HC2 και στην κατηγορία κόπωσης S6 (Πίνακας 3.2).

Hoisting class of appliance	β_2	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

NOTE: Cranes are assigned to Hoisting Classes HC1 to HC4 to allow for the dynamic effects of transferring the load from the ground to the crane. The selection depends on the particular type of crane, see recommendation in annex B.

Πίνακας 3.2: Δυναμικοί συντελεστές -[17]

Το EN 1991-6-[14] προβλέπει τη θεώρηση δέκα διαφορετικών συνδυασμών κατακόρυφων, οριζόντιων και λοιπών φορτίων για καθένα από τα οποία, κατά περίπτωση, προβλέπει ειδικούς δυναμικούς συντελεστές φ (Πίνακας 3.3).

		Ομάδες φορτίων									
		Οριακή κατάσταση αστοχίας					Δοκιμαστική	Τυχηματική			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
2	Ανυψούμενο φορτίο	φ_2	φ_3	-	φ_4	φ_4	φ_4	$\eta^{1)}$	-	1	1
3	Επιτάχυνση της γερανογέφυρας	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	-	-	-	φ_5	-	-
4	Λοξή κίνηση της γερανογέφυρας	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Επιτάχυνση ή επιβράδυνση του ανυψωτικού συστήματος	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Ανεμος	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Δοκιμαστικό φορτίο	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-
8	Πρόσκρουση στο stop	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-
9	Πρόσκρουση βαρούλκου σε εμπόδιο	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Πίνακας 3.3: Τα φορτία κάθε στήλης με τους αντίστοιχους μεγεθυντικούς συντελεστές φ -[17]

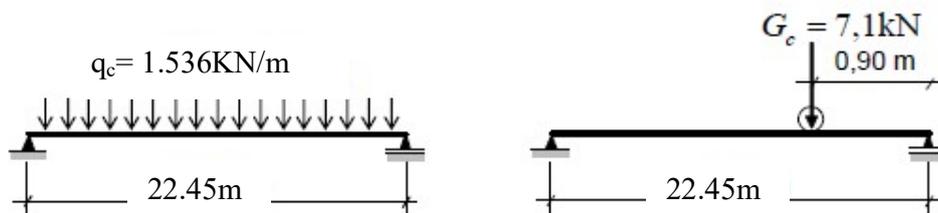
Οι δυναμικοί συντελεστές που λαμβάνονται υπόψη είναι οι εξής:

- Δυναμικός συντελεστής φ_1 : Εφαρμόζεται μόνο στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας και λαμβάνει υπόψη τη δυναμική διέγερσή της κατά την ανύψωση του φορτίου από το έδαφος. Κυμαίνεται μεταξύ 0,90 και 1,10 που αντιπροσωπεύουν τις ακραίες (άνω και κάτω) διακυμάνσεις λόγω δονήσεων. Εδώ λαμβάνεται $\varphi_1 = 1,10$

- Δυναμικός συντελεστής φ_2 : Εφαρμόζεται στο ανυψούμενο φορτίο και λαμβάνει υπόψη του τη δυναμική επιρροή όταν το φορτίο αυτό μεταφέρεται από το έδαφος στη γερανογέφυρα. Είναι $\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta 2v_h = 1,145$ όπου v_h η ταχύτητα ανύψωσης του φορτίου σε m/sec
- Δυναμικός συντελεστής φ_3 : Υποθέτουμε ότι στην περίπτωση μας δεν υπάρχει δυνατότητα απότομης απελευθέρωσης του συνόλου ή μέρους του αναρτημένου φορτίου, οπότε λαμβάνεται $\varphi_3 = 1,0$
- Δυναμικός συντελεστής φ_4 : Εφαρμόζεται τόσο στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας όσο και στο ανυψούμενο φορτίο. Εάν οι κατασκευαστικές ανοχές, ως προς την ακρίβεια τοποθέτησης των τροχιών (που ορίζονται στον Ευρωκώδικα 3 - Μέρος 6) ικανοποιούνται, μπορεί να θεωρηθεί $\varphi_4 = 1,0$
- Δυναμικός συντελεστής φ_5 : Λαμβάνει υπόψη τη δυναμική επιρροή της δύναμης προώθησης και εφαρμόζεται επί των οριζοντίων (κατά μήκος και εγκάρσιων) δυνάμεων που αναπτύσσονται στις τροχιές κατά την επιτάχυνση ή επιβράδυνση της γερανογέφυρας. Με υπόθεση, για το παράδειγμά μας, συστήματος στο οποίο οι δυνάμεις προώθησης μεταβάλλονται ήπια και όχι απότομα, μπορεί να ληφθεί $\varphi_5 = 1,50$

➤ Το βάρος της γερανογέφυρας υπολογίζεται ως εξής:

- Το ίδιο βάρος της ανοιγμένο σε ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο: $q_c = (41.6 - 7.1) / 22.45 = 1.536 \text{ kN/m}$
- Το βάρος του φορείου (συγκεντρωμένο φορτίο): $G_c = 7.1 \text{ kN}$



- Φορτίο που αντιστοιχεί στην περισσότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως:

$$\Sigma Q_{r,\min} = \frac{1}{2} \cdot 1.536 \cdot 22.45 + 7.1 \cdot \frac{22.45 - 0.9}{22.45} = 24.07 \text{ kN}$$

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως:

$$\Sigma Q_r^{\min} = \frac{1}{2} \cdot 1.536 \cdot 22.45 + 7.1 \cdot \frac{0.9}{22.45} = 17.54 \text{ kN}$$

- Η ελάχιστη αντίδραση τροχού στην αφόρτιστη γερανογέφυρα:

$$Q_{r,\min} = \frac{17.54 \text{ m}}{2} = 8.78 \text{ kN}$$

➤ Υπολογισμός κινητήριας δύναμης K :

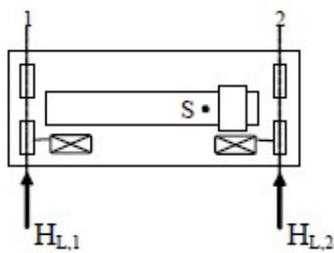
Κατά την εκκίνηση της γερανογέφυρας η κινητήρια δύναμη K ασκείται στον άξονα της κίνησης και υπολογίζεται ως:

$$K = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,min} = 0.2 \cdot 2 \cdot 8.78 = 3.52 \text{ kN}$$

- $\mu = 0.2$ Συντελεστής τριβής
- όπου • m_w Είναι το πλήθος των μεμονωμένων κινητήριων τροχών
- $Q_{r,min}$ Η ελάχιστη αντίδραση τροχού στην αφόρτιστη γερανογέφυρα

➤ Οριζόντιες δυνάμεις $H_{L,i}$:

Παράλληλα, η κινητήρια δύναμη κατανέμεται σε δύο (κατά μήκος) οριζόντιες δυνάμεις $H_{L,i}$:

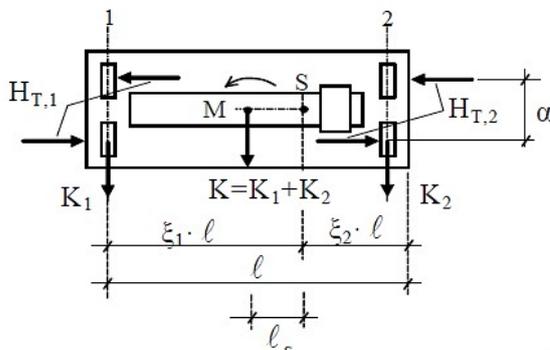


όπου $H_{L,i} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{nr}$

- φ_5 : δυναμικός συντελεστής
- nr : αριθμός δοκών κυλίσεως

Κατά μήκος δυνάμεις: $H_{L,1} = H_{L,2} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{nr} = 1.5 \cdot 3.52 \cdot \frac{1}{2} = 2.64 \text{ kN}$

➤ Εγκάρσιες δυνάμεις $H_{T,i}$:

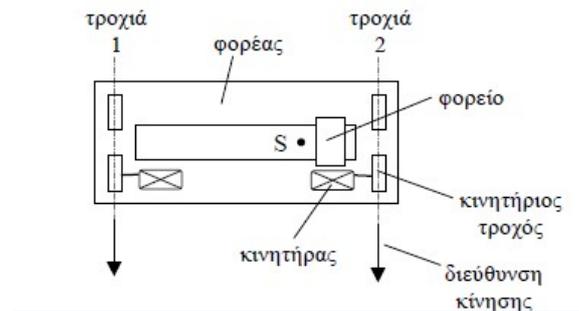


$$M = K \cdot l_s$$

$$\begin{cases} H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} \\ H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} \end{cases}$$

Το κέντρο βάρους S του κινούμενου συστήματος (γερανογέφυρα και αναρτημένο φορτίο) βρίσκεται, κατά κανόνα, εκτός του άξονα της κίνησης που ασκείται η κινητήρια δύναμη K, σε απόσταση l_s και εξ αυτού του λόγου δημιουργείται στρεπτική ροπή:

$$M = K \cdot l_s$$



- Φορτίο που ασκείται στις τροχιές από το βάρος της γερανογέφυρας και το ανυψούμενο φορτίο στο συνδυασμό φορτίων 4 και 5:

- Το βάρος του φορείου (συγκεντρωμένο φορτίο) με δυναμικό συντελεστή φ_4 :

$$\varphi_4 \cdot G_c = 1.00 \cdot 7.10 = 7.10 \text{ kN}$$

- Ανυψούμενο φορτίο με δυναμικό συντελεστή φ_4 :

$$Q_H = \varphi_4 \cdot Q_{r, \text{nom}} = 1.00 \cdot 50 = 50 \text{ kN}$$

- Φορτίο που αντιστοιχεί στην περισσότερη φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως:

$$\Sigma Q_{r, \text{max}} = \frac{1}{2} \cdot 1.536 \cdot 22.45 + (7.1 + 50) \cdot \frac{22.45 - 0.9}{22.45} = 72.06 \text{ kN}$$

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερη φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως:

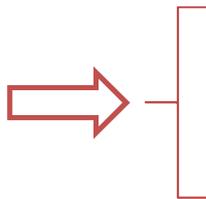
$$\Sigma Q_r^{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot 1.536 \cdot 22.45 + (7.1 + 50) \cdot \frac{0.9}{22.45} = 19.54 \text{ kN}$$

- $\xi_1 = \frac{\Sigma Q_{r, \text{max}}}{\Sigma Q_r} = \frac{\Sigma Q_{r, \text{max}}}{[\Sigma Q_{r, \text{max}} + \Sigma Q_{r, \text{max}}]} = \frac{72.06}{[72.06 + 19.54]} = 0.786$

- $\xi_2 = 1 - \xi_1 = 0.213$

- $l_s = (\xi_1 - 0.5) \cdot l = (0.786 - 0.5) \cdot 22.45 = 6.42 \text{ m}$

$$M = K \cdot I_s = 3.52 \cdot 6.42 = 22.6 \text{ kNm}$$



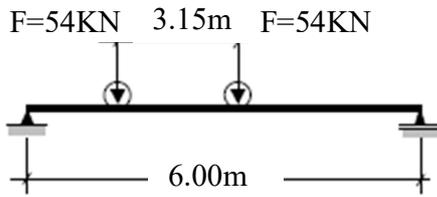
$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1.5 \cdot 0.213 \cdot \frac{22.6}{3.15} = 2.3 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1.5 \cdot 0.786 \cdot \frac{22.6}{3.15} = 8.5 \text{ kN}$$

Πίνακας 3.4: Προσδιορισμός φορτίων

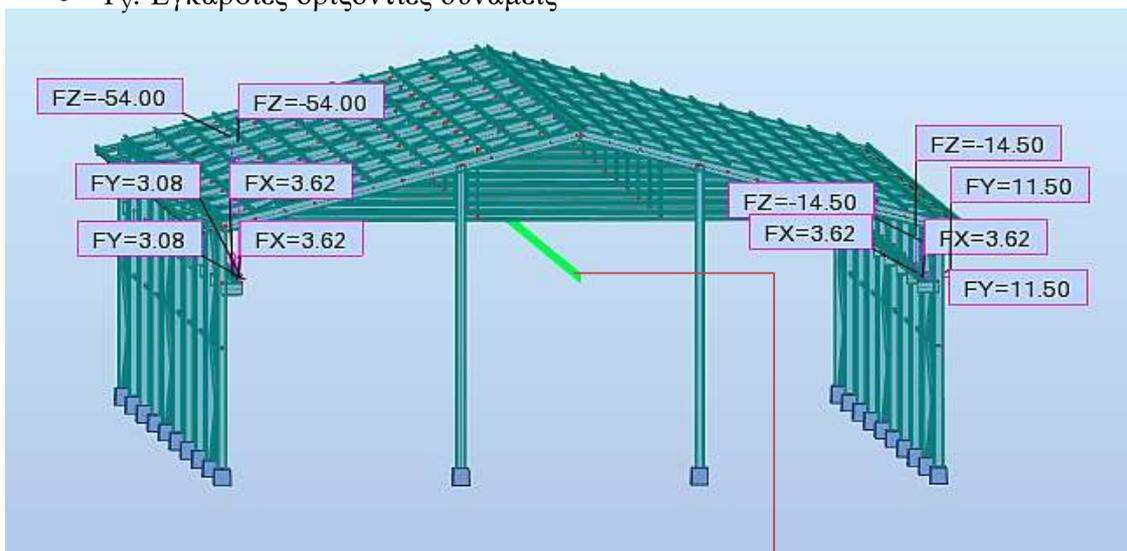
			1	2	3	4	5
Κατακόρυφα Φορτία	Ίδιο βάρος της γερανογέφυρας	$\Sigma Q_{r,\min}$	13.2	13.2	12	12	12
		ΣQ_r^{\min}	17.8	17.8	16.2	16.2	16.2
	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας + ανυψούμενο φορτίο	$\Sigma Q_{r,\max}$	9.7	9.7	8.78	8.78	8.78
		ΣQ_r^{\max}	13	13	11.8	11.8	11.8
Οριζόντια Φορτία	Επιτάχυνση-Επιβράδυνση της γερανογέφυρας	$H_{L,1}$	40	37.2	-	36	36
		$H_{L,2}$	54	50.2	-	48.6	48.6
		$H_{T,1}$	10.7	10.6	-	9.8	9.8
		$H_{T,2}$	14.5	14.3	-	13.2	13.2
Οριζόντια Φορτία	Επιτάχυνση-Επιβράδυνση της γερανογέφυρας	$H_{L,1}$	2.64	2.64	2.64	2.64	-
		$H_{L,2}$	3.6	3.6	3.6	3.6	-
		$H_{T,1}$	2.64	2.64	2.64	2.64	-
		$H_{T,2}$	3.6	3.6	3.6	3.6	-
Οριζόντια Φορτία	Επιτάχυνση-Επιβράδυνση της γερανογέφυρας	$H_{T,1}$	2.3	2.3	2.3	2.3	-
		$H_{T,2}$	3.1	3.1	3.1	3.1	-
		$H_{T,1}$	8.5	8.5	8.5	8.5	-
		$H_{T,2}$	11.5	11.5	11.5	11.5	-

Ένα κινητό φορτίο είναι ένα σύνολο δυνάμεων. Το φορτίο αυτό, κινείται κατά μήκος μιας καθορισμένης διαδρομής σε απόσταση την οποία μπορεί να καθορίσει ο χρήστης. Έχοντας επιλέξει μόνο το ένα τμήμα δοκού κυλίσεως της γερανογέφυρας, πρέπει να εισάγουμε ανάλογα δεδομένα έτσι ώστε τα κινητά φορτία να μεταβούν και στην άλλη δοκό κυλίσεως της γερανογέφυρας. Στην εργασία έχουμε δώσει τιμές φορτίων που αντιστοιχούν στην περισσότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως με $F_z = 54 \text{ kN}$ για την μπροστινή ρόδα της γερανογέφυρας και σε απόσταση $X = 3.15 \text{ m}$ φορτίο $F_z = 54 \text{ kN}$ για την πίσω ρόδα. Αντίστοιχα, τα φορτία που αντιστοιχούν στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως είναι $F_z = 14.5 \text{ kN}$ για την μπροστινή ρόδα της γερανογέφυρας και σε απόσταση $X = 3.15 \text{ m}$ φορτίο $F_z = 14.5 \text{ kN}$ για την πίσω ρόδα. Η τιμή $S = 22.45 \text{ m}$ είναι η απόσταση μεταξύ των δοκών κυλίσεως της γερανογέφυρας (Εικόνες 3.24, 3.25). Οι δοκοί κυλίσεως χωρίζονται σε αμφιέριστα τμήματα των 6.00 m και 5.70 m κατά μήκος τους κατασκευασμένοι από χάλυβα ποιότητας S 275.



Όταν ο χρήστης συμπληρώσει (στο πρόγραμμα Robot) τα κατακόρυφα φορτία και την μεταξύ τους απόσταση, πρέπει στη συνέχεια να επιλέξει την επιλογή **parameters** (Εικόνα 3.24). Στον πίνακα που θα εμφανιστεί (**Route parameters**), έχει την δυνατότητα να προσδιορίσει τα οριζόντια φορτία λόγω της κινητήριας δύναμης της γερανογέφυρας, με τιμή ίση με $F_x = 3.6\text{KN}$, όπως επίσης και τις εγκάρσιες οριζόντιες δυνάμεις F_y .

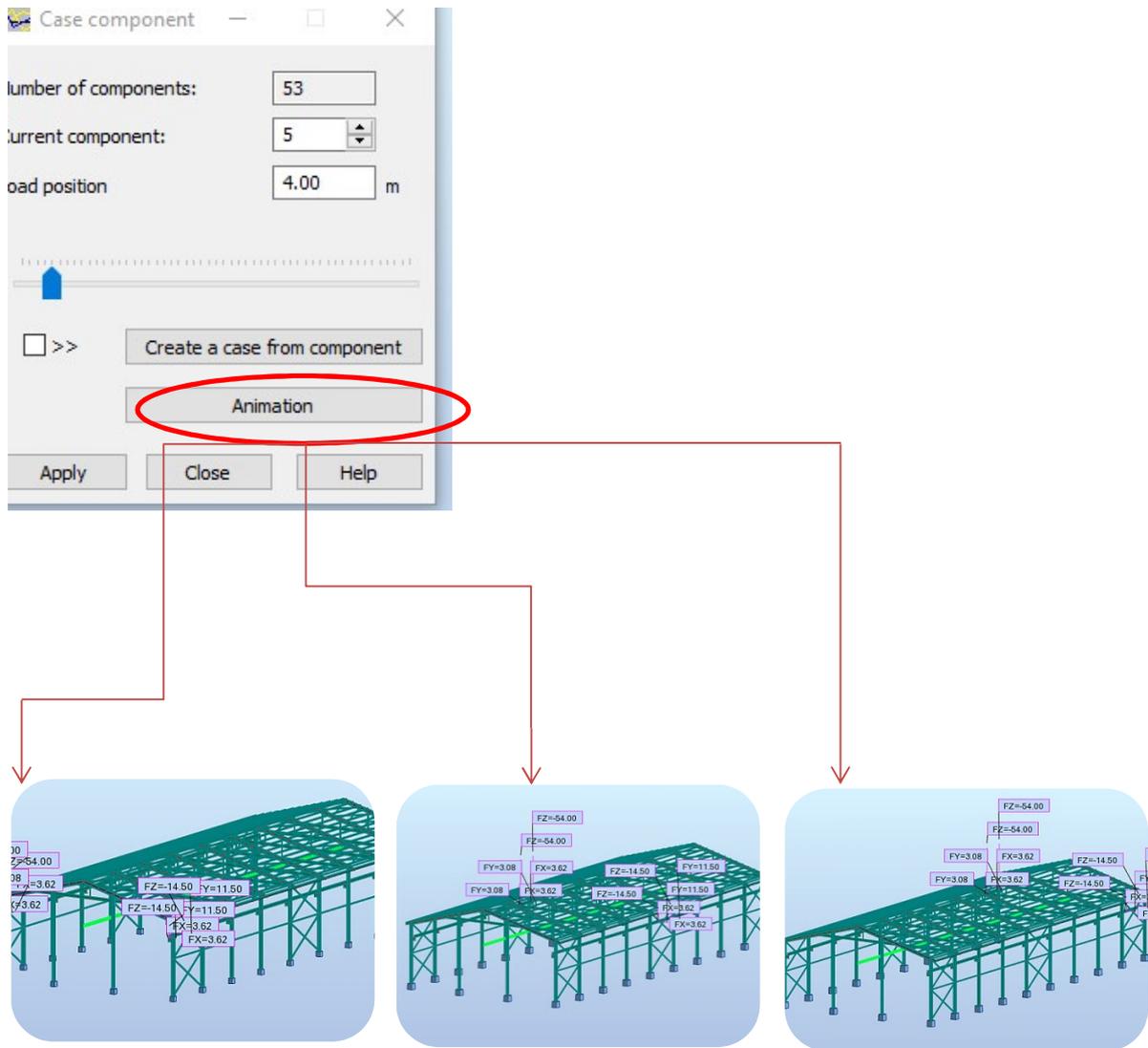
- F_z : Κατακόρυφα φορτία
- F_x : Οριζόντια φορτία λόγω κινητήριας δύναμης γερανογέφυρας
- F_y : Εγκάρσιες οριζόντιες δυνάμεις



Εικόνα 3.25: Μεταλλική κατασκευή με τα φορτία της γερανογέφυρας

Η πράσινη γραμμή είναι η μέση απόσταση των δύο στηριγμάτων της γερανοδοκού (ορίζει το μέσο της γερανοδοκού) και μας δείχνει την κατεύθυνση και τα όρια της κίνησης του μετακινησιακού φορτίου.

Με την επιλογή **Case component** → **Animation** μπορούμε να δούμε την κίνηση της γερανογέφυρας στο φορέα (Εικόνα 3.26), με τα φορτία που έχουμε επιβάλει, από την μία άκρη στην άλλη, της δοκούς κυλίσεως .



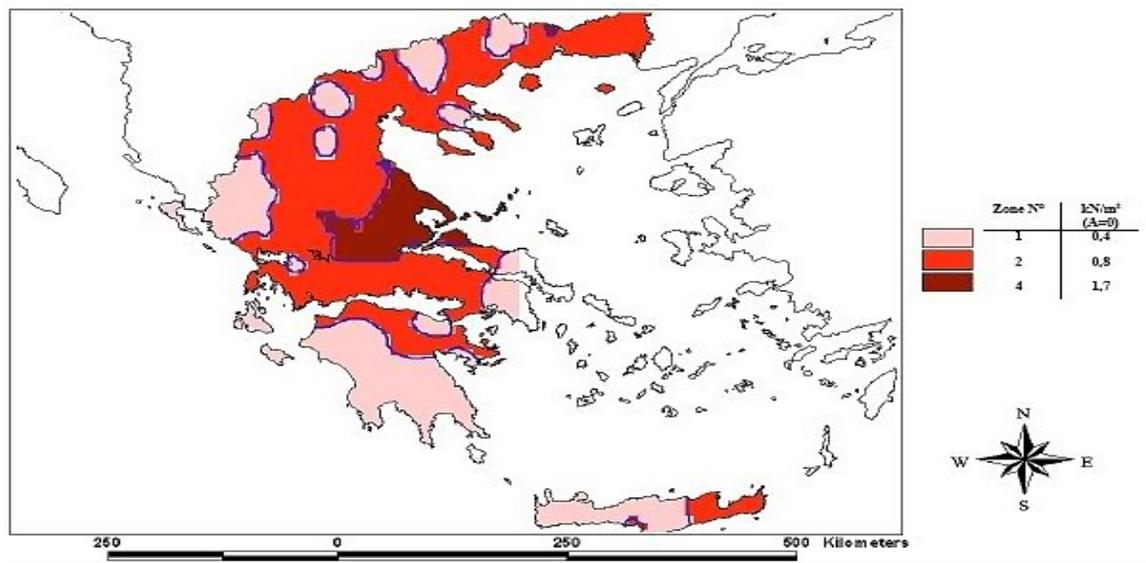
Εικόνα 3.26: Ταχεία προβολή της θέσης κινητού φορτίου

➤ **Φορτίο χιονιού:**

Το φορτίο χιονιού κατατάσσεται στις μεταβλητές καθορισμένες δράσεις. Προκαλείται από την εναπόθεση του χιονιού σε οριζόντιες ή κεκλιμένες στέγες και είναι ιδιαίτερα σημαντικό για περιοχές που επικρατεί κρύος καιρός με συνήθεις τις έντονες χιονοπτώσεις. Ιδιαίτερη σημασία έχει πόσο εκτεθειμένη είναι η οροφή στον άνεμο, ο οποίος είναι δυνατόν να προκαλέσει ανακατανομή του χιονιού και σε μερικές περιπτώσεις την απομάκρυνσή του, όπως επίσης και οι μεταβολές της θερμοκρασίας.

Προκειμένου να υπολογιστεί το φορτίο χιονιού της κατασκευής, εφαρμόζονται οι διατάξεις τις Ευρωπαϊκής Ένωσης του EN 1991-1-3-[11]. Για την Ελλάδα, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα ορίζονται οι παρακάτω ζώνες χιονιού με τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές $s_{k,0}$ των φορτίων για έδαφος που βρίσκεται στη στάθμη θάλασσας (Εικόνα 3.27).

- Ζώνη Α ($s_{k,0}=0.4 \text{ KN/m}^2$): Νομοί Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και όλα τα νησιά πλην των Σποράδων και της Εύβοιας.
- Ζώνη Β ($s_{k,0}=0.8 \text{ KN/m}^2$): Υπόλοιπη χώρα
- Ζώνη Γ ($s_{k,0}=1,7 \text{ KN/m}^2$): Νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια.



Εικόνα 3.27: Φορτία χιονιού στη θαλάσσια στάθμη

Το φορτίο χιονιού s που ασκείται επί της στέγης, θεωρείται ότι ενεργεί κατακόρυφα και προσδιορίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- i. Για τις καταστάσεις σχεδιασμού «με διάρκεια ή παροδικές»: $s = \mu_i C_e C_t s_k$
- ii. Για τις τυχηματικές καταστάσεις : $s = \mu_i C_e C_t s_{Ad}$

Όπου:

μ_i : Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού

s_k : Η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί του εδάφους

$s_{Ad} = C_{est} \cdot s_k$: Η τιμή σχεδιασμού φορτίου χιονιού επί του εδάφους για την τυχηματική κατάσταση. Για εξαιρετικά φορτία χιονιού $C_{est}=2,0$)

C_e : Είναι ο συντελεστής έκθεσης ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1. Τιμές C_e για διαφορετικά τοπογραφικά υψόμετρα είναι (Πίνακας 3.5):

Πίνακας 3.5: Συνιστώμενες τιμές του C_e για διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά

Τοπογραφικά Χαρακτηριστικά	C_e
Εκτεθειμένο ^α	0,8
Κανονικό ^β	1,0
Προφυλαγμένο ^γ	1,2

Εκτεθειμένο^α: Επίπεδες εκτάσεις χωρίς εμπόδια εκτεθειμένες από όλες τις πλευρές χωρίς καθόλου, ή με λίγη προστασία από το φυσικό ανάγλυφο, τις υψηλότερες κατασκευές, ή τα δέντρα.

Κανονικό^β: Περιοχές όπου δεν υπάρχει σημαντική μετακίνηση του χιονιού από τον άνεμο στις κατασκευές, λόγω του φυσικού ανάγλυφου, των υψηλότερων κατασκευών, ή των δέντρων.

Προφυλαγμένο^γ: Περιοχές όπου η θεωρούμενη κατασκευή είναι σημαντικά χαμηλότερη από το φυσικό ανάγλυφο, ή περιβάλλεται από υψηλά δένδρα ή/και από υψηλότερες κατασκευές.

C_t : είναι ο θερμικός συντελεστής, ο οποίος είναι συνήθως ίσος με 1 για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης. Μπορεί να επιτρέπονται μικρότερες τιμές προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επιρροή της απώλειας θερμότητας μέσω της στέγης.

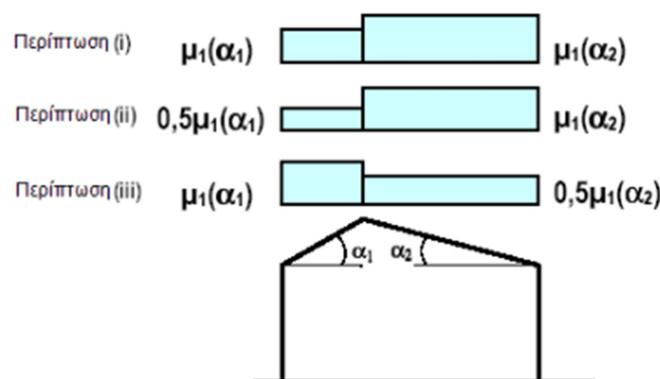
Συντελεστής σχήματος μ_i : Για τον προσδιορισμό του αντίστοιχου συντελεστή, λαμβάνεται υπόψη ότι έχουμε μια δίκλινη στέγη. Επίσης για τον καθορισμό των αντίστοιχων συντελεστών μορφής λαμβάνονται υπόψη δύο μορφές κατανομής φορτίου:

- 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).

Οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 3.6 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. Στην περίπτωση μας για κλίση στέγης $\alpha_1 = \alpha_2 = 14^\circ$ προκύπτει $\mu_1 = 0,8$.

Πίνακας 3.6: Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού

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	--



Εικόνα 3.28: Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού δίκλινης στέγης

➤ Υπολογισμός φορτίου χιονιού

Η περιοχή κατασκευής του στεγάστρου κατατάσσεται στη Ζώνη Α (Νομός Λακωνίας) όπου η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού είναι ($s_{k,0} = 0.4 \text{ KN/m}^2$). Το υψόμετρο της συγκεκριμένης τοποθεσίας πάνω από την στάθμη θάλασσας είναι $A = 100\text{m}$. Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους Α, για περίοδο επαναφοράς 50 ετών δίνεται από τη σχέση:

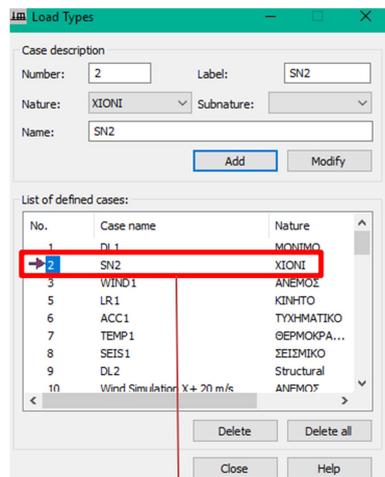
$$s_k = s_{k,0} \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right] = 0.4 \cdot \left[1 + \left(\frac{100}{917} \right)^2 \right] = 0.4$$

Συνεπώς το τελικό φορτίο χιονιού της στέγης εκτιμάται ως:

$$s = \mu_1 C_e C_t s_k = 0.32 \text{ KN/m}^2$$

➤ Διαδικασία τοποθέτησης φορτίου χιονιού στο Robot:

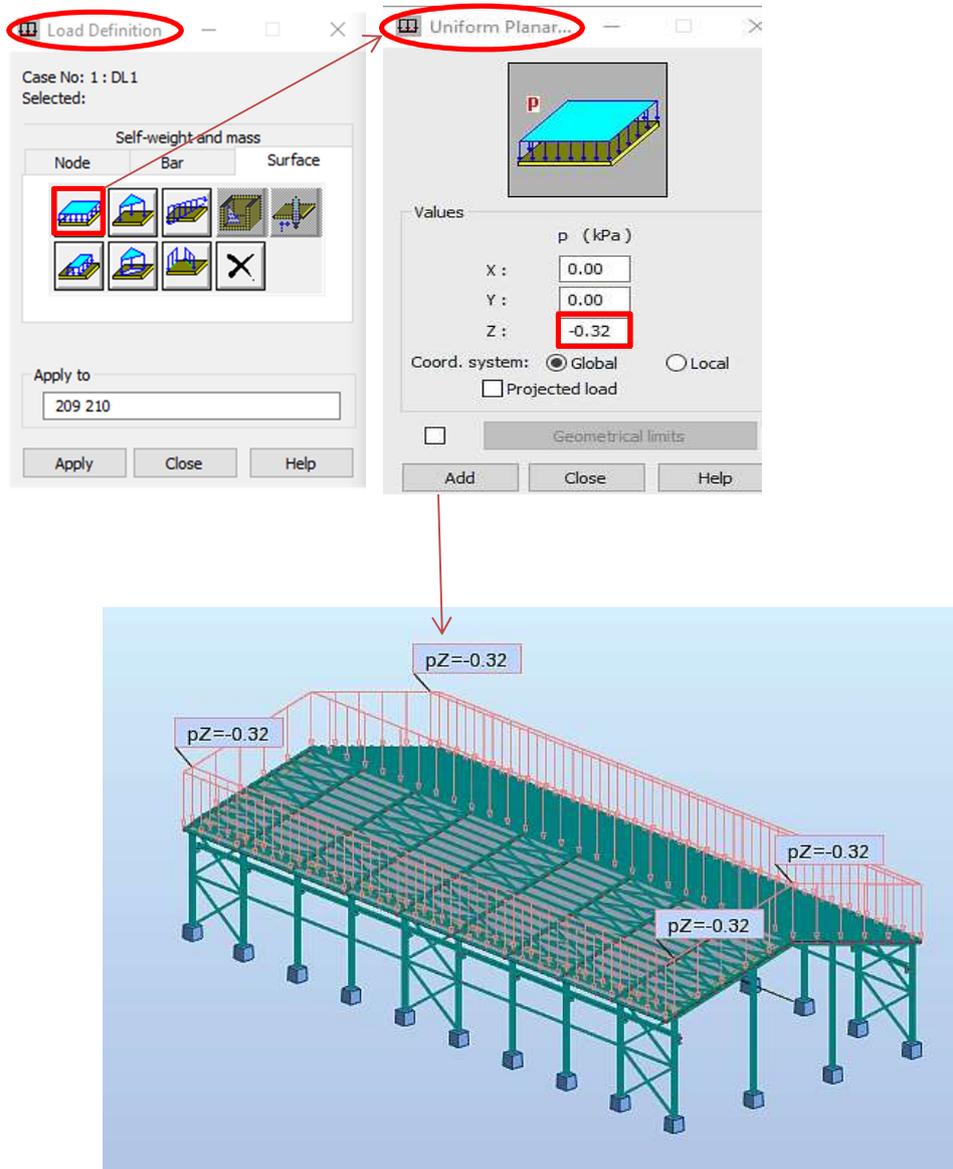
Στο Robot εισάγουμε, φορτία του χιονιού επιλέγοντας Load Types → SN2 (ΧΙΟΝΙ)



Τώρα έχοντας αλλάξει κατηγορία φορτίου σε SN2 (select cases) μπορούμε να εισάγουμε τα φορτία χιονιού



Η διαδικασία εισαγωγής των φορτίων χιονιού είναι απλή, έχοντας τοποθετήσει claddings στην οροφή της κατασκευής (εικόνα 3.19), μπορούμε με την εντολή load Definition να επιλέξουμε την επιφάνεια της οροφής (Surface) στην επιθυμητή τιμή (Εικόνα 3.29).



Εικόνα 3.29: Διαδικασία εισαγωγής των φορτίων χιονιού στο Robot

➤ Δράσεις ανέμου

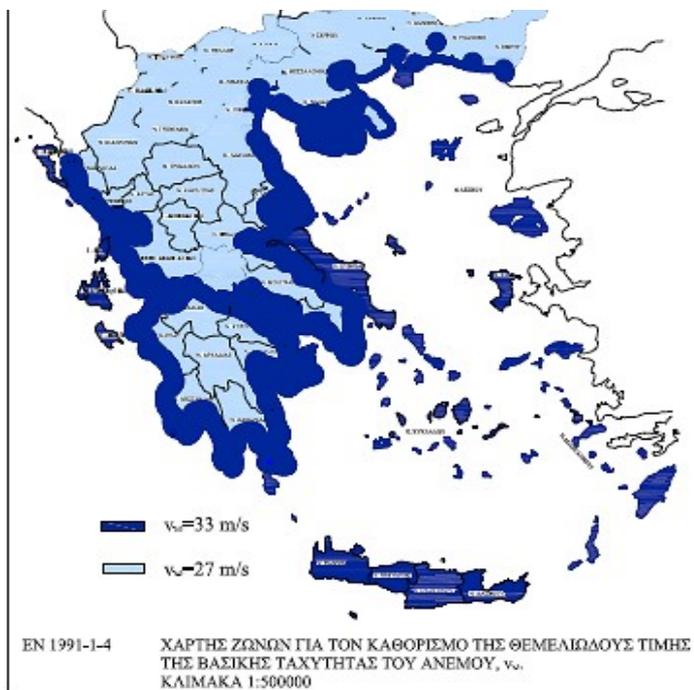
Οι δράσεις λόγω του ανέμου στις κατασκευές από χάλυβα, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο και αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις τη βασική φόρτιση, ανεξάρτητα από τον τύπο τους (μονώροφα, πολυώροφα κλπ). Το μέγεθος των δράσεων, μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία, το ύψος της κατασκευής, το είδος του περιβάλλοντος χώρου κλπ. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται από την επίδραση του ανέμου είναι χρονικά μεταβαλλόμενες και μπορεί να προκαλέσουν ταλαντώσεις.

Η σημαντικότερη παράμετρος για τον προσδιορισμό των δράσεων ανέμου είναι η ταχύτητα του ανέμου. Η βάση σχεδιασμού είναι η μέγιστη ταχύτητα που προβλέπεται για τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού της κατασκευής.

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN1991-1-4-[12] (Δράσεις ανέμου), πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράγοντες για την ορθή αξιολόγηση του φορέα, ως προς τις δράσεις που ανάγονται σε δυνάμεις ή πιέσεις (κάθετες ή εφαπτομενικές), επί των εξωτερικών ή και εσωτερικών επιφανειών και μάλιστα με ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την επιφάνεια μιας όψης ή σε τμήμα της.

Στην Ελλάδα υπάρχουν δύο ζώνες:

- για τα νησιά και παράλια μέχρι 10km από την ακτή $v_{b,0} = 33\text{m/s}$
- για την υπόλοιπη χώρα $v_{b,0} = 27\text{m/s}$.



Εικόνα 3.30: Χάρτης ζωνών για τον καθορισμό βασικής ταχύτητας ανέμου

Η μέση ταχύτητα ανέμου βρίσκεται από την σχέση: $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_d$

- Όπου,
- $c_r(z)$: είναι ο συντελεστής τραχύτητας
 - $c_o(z)$: είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης
 - v_d : είναι η βασική ταχύτητα ανέμου

Συντελεστής τραχύτητας $c_r(z)$:

$$\begin{cases} \overline{c_r}(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{για } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200m \\ c_r(z) = c_r \cdot (z_{min}) & \text{για } z \leq z_{min} \end{cases}$$

Όπου $k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)$ είναι ο συντελεστής εδάφους

Από την κατηγορία εδάφους (Πίνακα 3.7) προσδιορίζουμε z_0 και $z_{min}(m)$:

Κατηγορία εδάφους	z_0 (m)	z_{min} (m)
0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή ανοικτής θάλασσας	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 γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) σε απόσταση μεταξύ τους 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 και το μέσο ύψος τους ξεπερνά τα 15 m	1,0	10

$z_{0,II}$ →

Z_0 →

Πίνακας 3.7: Κατηγορία εδάφους

➤ **Υπολογισμός μέσης ταχύτητας ανέμου (Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1):**

i. Η μεταλλική κατασκευή είναι ύψους $Z = 11\text{m}$ και βρίσκεται στην περιοχή Λακωνίας όπου σε αυτή την ζώνη έχουμε βασική ταχύτητα:
 $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 27 = 27\text{m/s}$

ii. Έχοντας κατηγορία εδάφους III, από τον Πίνακα 3.4 έχουμε την εξής σχέση συντελεστή τραχύτητας:
 $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{11}{0.3}\right) = 0.8$ για $5 \leq 11 \leq z_{max} = 200\text{m}$

Όπου $k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.3}{0.05}\right)^{0.07} = 0.22$ είναι ο συντελεστής εδάφους

iii. Μέση ταχύτητα ανέμου:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_d = 0.8 \cdot 1.00 \cdot 27 = 21.6\text{ m/s}$$

Το έδαφος είναι οριζόντιο οπότε: $c_o(z) = 1.00$

➤ **Ένταση στροβιλισμού:**

$$\left\{ \begin{array}{l} I_V(z) = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{για } z_{min} < z < z_{max} \\ I_V(z) = I_V(z_{min}) \quad \text{για } z \leq z_{min} \end{array} \right.$$

Όπου:

- k_l : είναι ο συντελεστής στροβιλισμού (λαμβάνεται ίσος με 1.00)
- $c_o(z)$: είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης
- z_0 : είναι το μήκος τραχύτητας

Άρα για $z_{min} = 5 < z = 11 < z_{max} = 200\text{m}$: $I_V(z) = \frac{1.00}{1.00 \cdot \ln\left(\frac{11}{0.3}\right)} = 0.28$

➤ **Η πίεση ταχύτητας ανχμής ισούται με:**

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot I_V(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2 \cdot (z)$$

Όπου:

- V_m : είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος
- $I_V(z)$: είναι η ένταση του στροβιλισμού σε ύψος z
- ρ : είναι η πυκνότητα του αέρα, που εξαρτάται από το υψόμετρο, την θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μια περιοχή κατά την διάρκεια ανεμοθύελλας ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

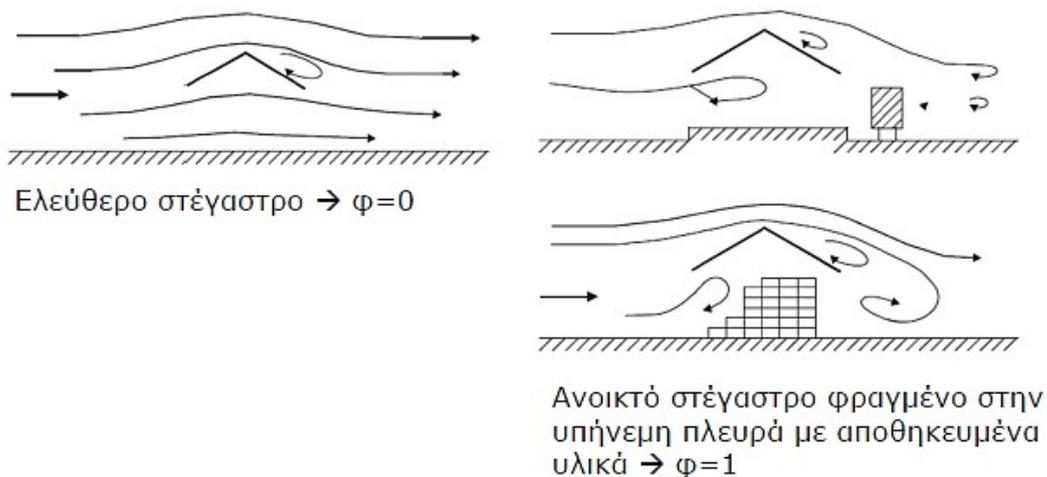
Άρα έχουμε:

$$q_p(11) = [1 + 7 \cdot 0.28] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,00125 \cdot 21.6^2 = 0.86 \text{ kPa}$$

➤ Ανοικτά Στέγαστρα

Βάσει της παραγράφου του Ευρωκώδικα 1, ως ανοικτό στέγαστρο ορίζεται η στέγη μιας κατασκευής που δεν έχει μόνιμους τοίχους. Στην εργασία αυτή έχουμε ανοικτό στέγαστρο με δεξαμενές ασβεστοπολλτού στο εσωτερικό της μεταλλικής κατασκευής.

Βασική παράμετρος για την κατανομή των δράσεων του ανέμου σε ένα ανοικτό στέγαστρο είναι ο βαθμός παρεμπόδισης της ροής του ανέμου κάτω από το στέγαστρο όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.31. Ο βαθμός παρεμπόδισης της ροής εξαρτάται από το συντελεστή παρεμπόδισης φ , ο οποίος είναι ο λόγος της επιφάνειας των ορατών πραγματικών εμποδίων κάτω από το στέγαστρο προς την επιφάνεια διατομής κάτω από το στέγαστρο δεδομένου ότι και οι δύο επιφάνειες λαμβάνονται κάθετα προς τη διεύθυνση του ανέμου. Ένα στέγαστρο χωρίς καθόλου εμπόδια έχει συντελεστή παρεμπόδισης $\varphi = 0$ ενώ ένα στέγαστρο πλήρως φραγμένο με εμπόδια προς στην υπήνεμη πλευρά του αντιστοιχεί σε συντελεστή παρεμπόδισης $\varphi = 1$.



Εικόνα 3.31: Λόγος πληρότητας φ

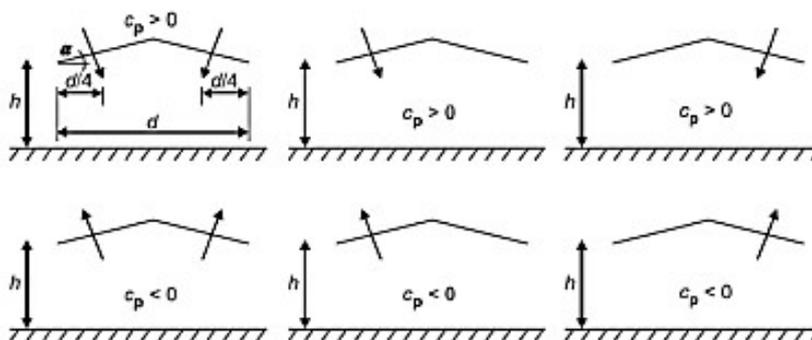
Στον Πίνακα 3.8 παρατίθενται οι καθολικοί συντελεστές δύναμης, c_f και οι συντελεστές τελικής πίεσης $c_{p,net}$ για δικλινή ανοικτά στέγαστρα, οι οποίοι εξαρτώνται από τη γωνία κλίσης της στέγης (α σε $^\circ$) και το συντελεστή παρεμπόδισης της ροής φ . Επιπλέον στον Πίνακα 3.7 ορίζονται οι ζώνες A, B, C και D της στέγης.

			ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ $c_{p,net}$ Υπόμνημα καθορισμού ζωνών			
Γωνία κλίσης στέγης α [°]	Συντελεστής παρεμπόδισης φ	Καθολικός συντελεστής δύναμης c_f				
			Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη C	Ζώνη D
- 20	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,7 - 0,7 - 1,3	+ 0,8 - 0,9 - 1,5	+ 1,6 - 1,3 - 2,4	+ 0,6 - 1,6 - 2,4	+ 1,7 - 0,6 - 0,6
- 15	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,5 - 0,6 - 1,4	+ 0,6 - 0,8 - 1,6	+ 1,5 - 1,3 - 2,7	+ 0,7 - 1,6 - 2,6	+ 1,4 - 0,6 - 0,6
- 10	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,4 - 0,6 - 1,4	+ 0,6 - 0,8 - 1,6	+ 1,4 - 1,3 - 2,7	+ 0,8 - 1,5 - 2,6	+ 1,1 - 0,6 - 0,6
- 5	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,3 - 0,5 - 1,3	+ 0,5 - 0,7 - 1,5	+ 1,5 - 1,3 - 2,4	+ 0,8 - 1,6 - 2,4	+ 0,8 - 0,6 - 0,6
+ 5	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,3 - 0,6 - 1,3	+ 0,6 - 0,6 - 1,3	+ 1,8 - 1,4 - 2,0	+ 1,3 - 1,4 - 1,8	+ 0,4 - 1,1 - 1,5
+ 10	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,4 - 0,7 - 1,3	+ 0,7 - 0,7 - 1,3	+ 1,8 - 1,5 - 2,0	+ 1,4 - 1,4 - 1,8	+ 0,4 - 1,4 - 1,8
+ 15	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,4 - 0,8 - 1,3	+ 0,9 - 0,9 - 1,3	+ 1,9 - 1,7 - 2,2	+ 1,4 - 1,4 - 1,6	+ 0,4 - 1,8 - 2,1
+ 20	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,6 - 0,9 - 1,3	+ 1,1 - 1,2 - 1,4	+ 1,9 - 1,8 - 2,2	+ 1,5 - 1,4 - 1,6	+ 0,4 - 2,0 - 2,1
+ 25	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,7 - 1,0 - 1,3	+ 1,2 - 1,4 - 1,4	+ 1,9 - 1,9 - 2,0	+ 1,6 - 1,4 - 1,5	+ 0,5 - 2,0 - 2,0
+ 30	Max για όλα τα φ Min για $\varphi = 0$ Min για $\varphi = 1$	+ 0,9 - 1,0 - 1,3	+ 1,3 - 1,4 - 1,4	+ 1,9 - 1,9 - 1,8	+ 1,6 - 1,4 - 1,4	+ 0,7 - 2,0 - 2,0
ΣΗΜΕΙΩΣΗ			Θετικές τιμές δείχνουν δράση του ανέμου με φορά προς τα κάτω Αρνητικές τιμές δείχνουν δράση του ανέμου με φορά προς τα άνω			

Πίνακας 3.8: Καθολικοί συντελεστές δύναμης, c_f και συντελεστές τελικής πίεσης $c_{p,net}$ για δικλινή ανοικτά στέγαστρα

Οι καθολικοί συντελεστές δύναμης, c_f , και οι συντελεστές τελικής πίεσης $c_{p,net}$ λαμβάνουν υπόψη τη συνδυασμένη δράση του ανέμου που δρα τόσο στις άνω όσο και στις κάτω επιφάνειες του στεγάστρου, για όλες τις διευθύνσεις του ανέμου.

Για ένα δικλινές στέγαστρο το κέντρο πίεσης θα λαμβάνεται στο κέντρο κάθε κεκλιμένης επιφάνειας όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.32. Επιπρόσθετα, ένα δικλινές στέγαστρο θα πρέπει να αναλαμβάνει το μέγιστο ή το ελάχιστο φορτίο στη μία κεκλιμένη επιφάνεια, όταν η άλλη κεκλιμένη επιφάνεια είναι αφόρτιστη. Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει η διάταξη των φορτίων για δικλινή στέγαστρα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.32.



Εικόνα 3.32: Διάταξη φορτίων ανέμου για δικλινή στέγαστρα

➤ Πιέσεις επί του στεγάστρου

Η πίεση του ανέμου που δρα κάθετα στις επιφάνειες μιας κατασκευής δίνεται από τη γενική εξίσωση:

$$w = q_p(z) \cdot c_p$$

Όπου

- $q_p(z)$: είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής στο ύψος αναφοράς
- z : είναι το ύψος αναφοράς της εξωτερικής (w_e) ή εσωτερικής (w_i) πίεσης
- c_p : είναι ο συντελεστής εξωτερικής (w_e) ή εσωτερικής (w_i) πίεσης

Οι τιμές των συντελεστών τελικής πίεσης $c_{p,net}$ και οι αντίστοιχες πιέσεις επί του στεγάστρου στις ζώνες A, B, C και D παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.9.

Οι θετικές τιμές των πιέσεων αντιστοιχούν σε δράση ανέμου με διεύθυνση προς τα κάτω ενώ οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε άνεμο με διεύθυνση προς τα πάνω. Οι τιμές των συντελεστών τελικής πίεσης προέκυψαν με γραμμική επέκταση από τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 3.8.

ZΩNH	$c_{p,net}(+)$	$c_{p,net}(-)$	$q_p(z)$ (kPa)	w(+) (kPa)	w(-) (kPa)
A	1.30	-1.40	0.86	1.12	-1.20
B	1.90	-1.80	0.86	1.63	-1.55
C	1.60	-1.40	0.86	1.38	-1.20
D	0.70	-2.00	0.86	0.60	-1.72

Πίνακας 3.9: Συντελεστές τελική πίεσης και αντίστοιχες πιέσεις επί του στεγάστρου

Οι τιμές των καθολικών συντελεστών δύναμης c_f και οι προκύπτουσες καθολικές πιέσεις επί του στεγάστρου φαίνονται στον Πίνακα 3.10.

c_f	$q_p(z)$ (kPa)	w (kPa)
0.9	0.86	0.77
-1.30	0.86	-1.12

Πίνακας 3.10: Συντελεστές δύναμης c_f και τελικές καθολικές πιέσεις

➤ Πιέσεις επί των υποστυλωμάτων

Οι πιέσεις επί των υποστυλωμάτων προκύπτουν με θεώρηση δομικών στοιχείων με διατομή αιχμηρών γωνιών. Η δύναμη που αναπτύσσεται από τη δράση του ανέμου υπολογίζεται από τη σχέση: $F_W = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref}$

οπότε η αντίστοιχη πίεση ισούται με: $w_{\text{υποστυλώματος}} = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z)$

Όπου:

- c_s, c_d : είναι οι συνδυασμένοι δυναμικοί συντελεστές. Λαμβάνονται ίσοι με 1.00

- c_f : είναι ο συντελεστής δύναμης. Λαμβάνεται ίσος με 2.00

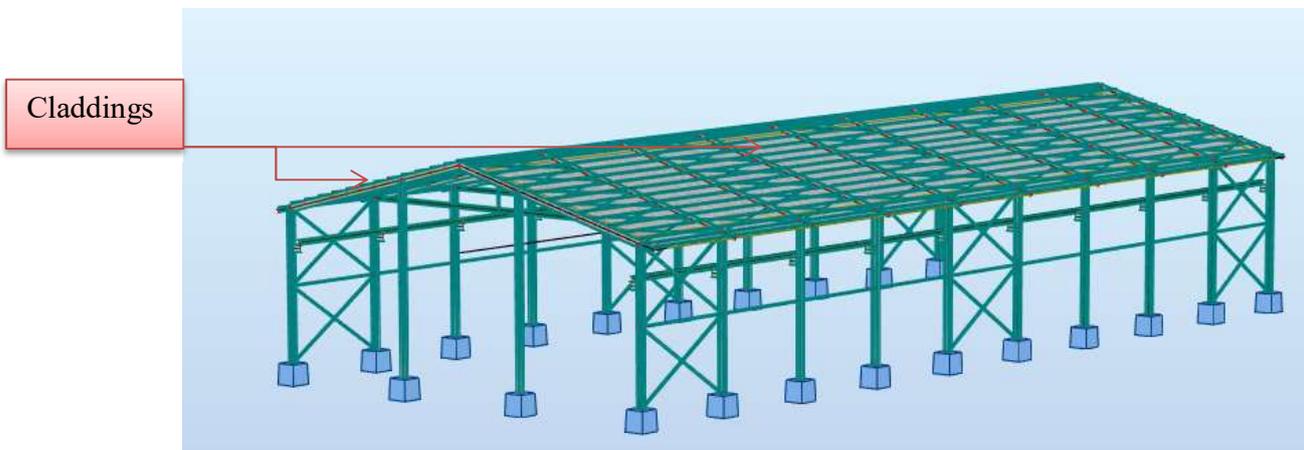
Άρα η πίεση επί των υποστυλωμάτων ισούται με:

$$w_{\text{υποστυλώματος}} = 1.00 \cdot 2.00 \cdot 0.86 = 1.72 \text{ kN/m}^2$$

➤ Διαδικασία επιβολής φορτίων ανέμου στο Robot

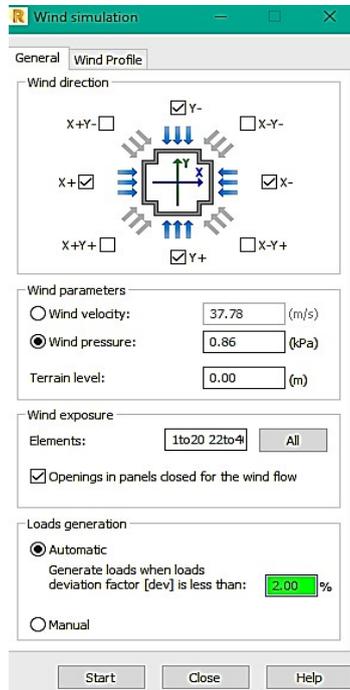
Για την εφαρμογή ανέμου, ο χρήστης του προγράμματος Robot μπορεί εύκολα να τοποθετήσει φορτία ανέμου στην κατασκευή (χωρίς να μπει στην διαδικασία υπολογισμού σχέσεων). Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή προσομοίωσης φορτίου ανέμου (**wind loads simulation**) που επιτρέπει να προσομοιωθούν, μια ροή ανέμου γύρω από τη μεταλλική κατασκευή και να δημιουργηθούν αυτόματα φορτία ανέμου. Έτσι, δημιουργούνται φορτία ανέμου απευθείας στο Robot σε όποια κατεύθυνση επιθυμούμε. Η επίδραση του ανέμου στην κατασκευή, διακρίνεται σε σενάρια φόρτισης για κάθε διεύθυνση ανέμου (X+,X-,Y+,Y-). Σε όλες τις περιπτώσεις, τα κατακόρυφα φορτία ασκούνται κάθετα στην επιφάνεια του στεγάστρου και αντίστοιχα, τα οριζόντια φορτία κάθετα στην επιφάνεια των εξωτερικών πελμάτων των υποστυλωμάτων.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί διάφορους παραμέτρους, όπως η διεύθυνση, η ταχύτητα και η πίεση του ανέμου. Μπορεί επίσης να καθοριστεί το επίπεδο εδάφους και τα μέλη του φορέα που εκτίθενται στον άνεμο.



Εικόνα 3.33: Μη τοποθέτηση παράπλευρων επιφανειών (Claddings) για την ανάλυση του ανέμου

Επιλέγοντας (**Loads** → **Wind loads simulation** → **Generate Wind Loads**). Εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου προσομοίωσης ανέμου.



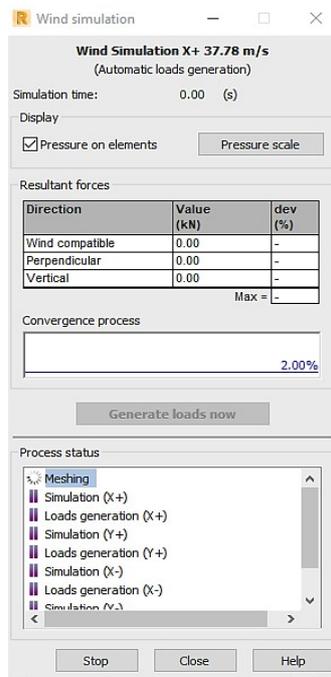
Εικόνα 3.34: Προσομοίωση ανέμου

- a) Στην ομάδα (**Wind direction**) επιλέγετε η κατεύθυνση για τον άνεμο. Σημείωση: Η κατεύθυνση του ανέμου στην δεδομένη εργασία ρυθμίζεται σύμφωνα με το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων, δηλαδή επιλέγεται η κατεύθυνση X+, X-, Y+, Y-
- b) Καθορίζουμε την ένταση του ανέμου και του επιπέδου εδάφους στην ομάδα (**Wind parameters**).

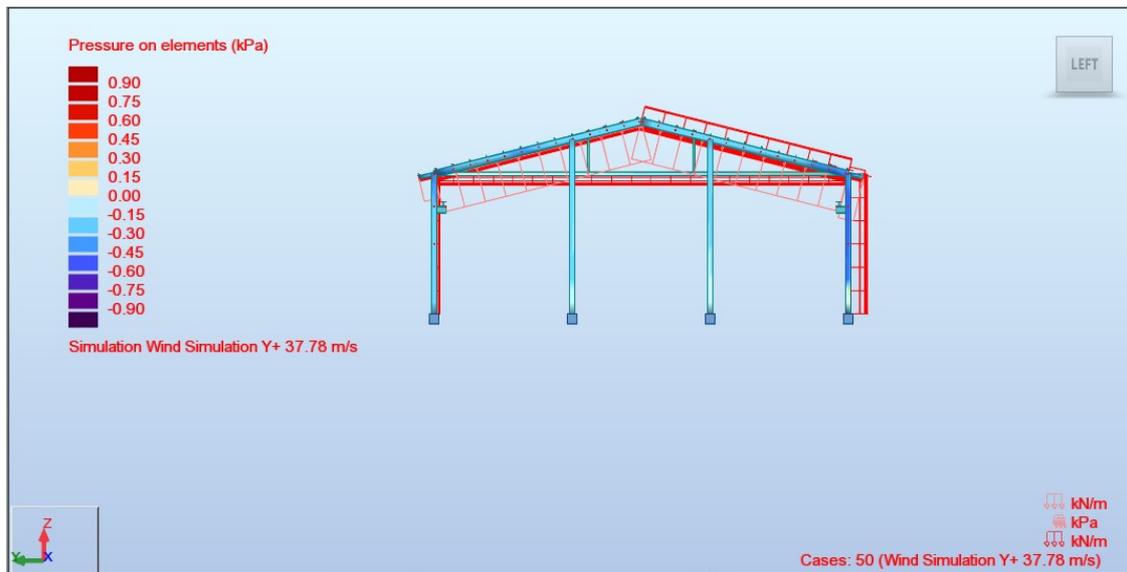
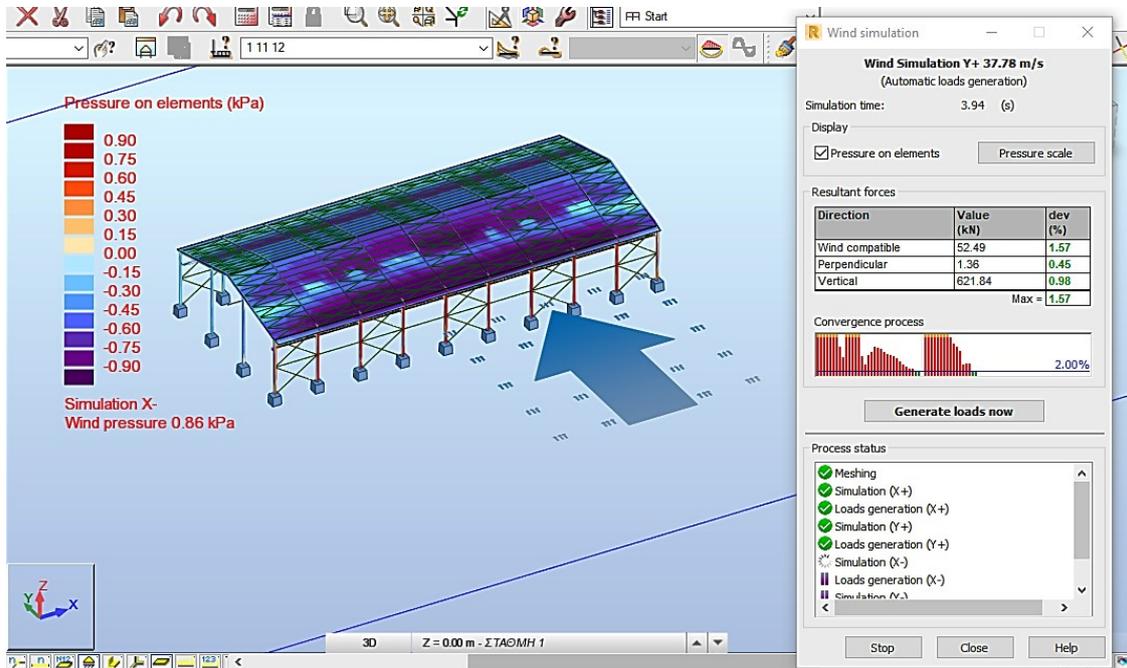
Σημείωση: Εδώ ο χρήστης έχει την δυνατότητα (αν επιθυμεί) να καθορίσει την ένταση του ανέμου με την ταχύτητά του ή με την πίεση του και στη συνέχεια να εισάγει μια τιμή για την επιλεγμένη παράμετρο. Για την κατασκευή, επιλέξαμε πίεση ανέμου 0.86kPa. Επίσης εισάγουμε το επίπεδο εδάφους στο πλαίσιο (**Terrain level**) στη στάθμη 0 m.

Σημείωση: Από προεπιλογή, το επίπεδο εδάφους έχει οριστεί στη χαμηλότερη συντεταγμένη Z του τρέχοντος μοντέλου.

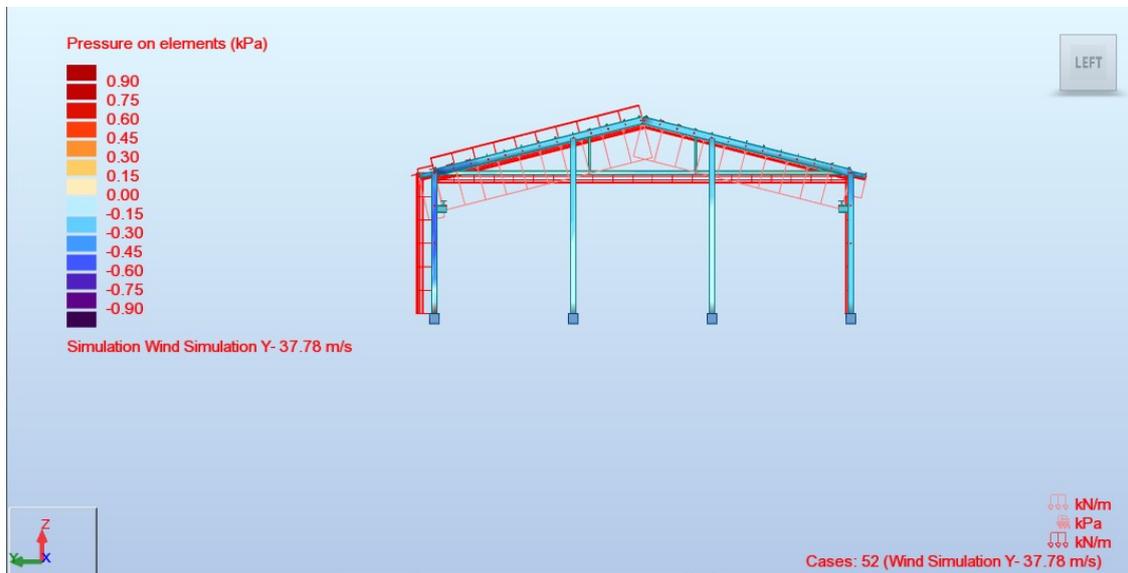
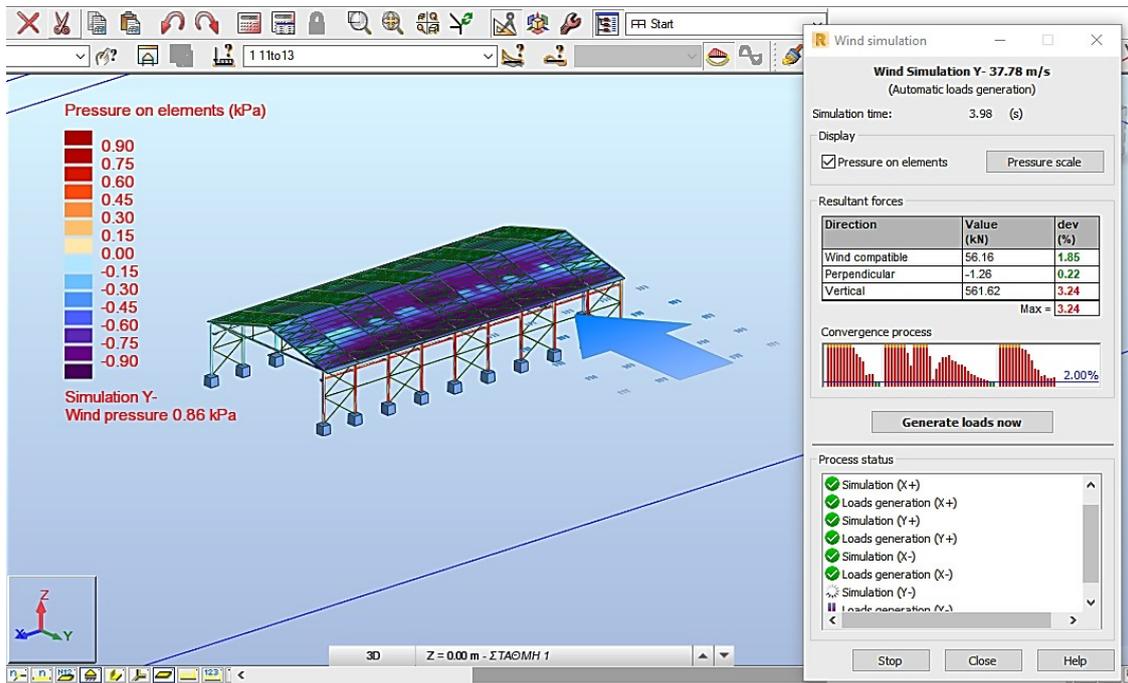
- c) Καθορίζουμε τα στοιχεία για τα οποία επιθυμούμε την προσομοίωση ανέμου στην ομάδα (**Wind exposure**). Κάνοντας κλικ στο πλαίσιο (**Elements**), μπορούμε να επιλέξουμε συγκεκριμένα στοιχεία στην περιοχή σχεδίασης ή κάνοντας κλικ στην επιλογή (**All**), τα επιλέγουμε όλα. Στην εργασία αυτή τα επιλέξαμε όλα εκτός των οριζοντίων και κατακόρυφων συνδέσμων.
Σημείωση: Από προεπιλογή, όλα τα στοιχεία εξετάζονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- d) Αφήνουμε την επιλογή **Openings in panel closed for the wind flow** εκτός αν επιθυμούμε να επιτρέψουμε στον άνεμο να ρέει μέσω του μοντέλου.
- e) Στην ομάδα (**Loads generation**), καθορίζουμε αν θέλουμε να δημιουργήσουμε τα φορτία ανέμου χειροκίνητα ή αυτόματα. Εμείς εδώ επιλέξαμε **Automatic** (Αυτόματα) και στη συνέχεια πληκτρολογήσαμε τον συντελεστή απόκλισης φορτίων κάτω από τον οποίο παράγονται τα φορτία ανέμου (2.0%).
Σημείωση: Με την επιλογή **Manual** (Χειροκίνητο) αποφασίζουμε πότε πρέπει να σταματήσει το πρόγραμμα την προσομοίωση, για να επεξεργαστούμε τα φορτία ανέμου (κάτι το οποίο εδώ δεν χρειάστηκε).
- f) Επιλέγοντας **Start** (Έναρξη) εκτελούμε την προσομοίωση.
Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο προσομοίωσης ανέμου, όπου μας ενημερώνει για την πρόοδο της προσομοίωσης (Εικόνα 3.35).



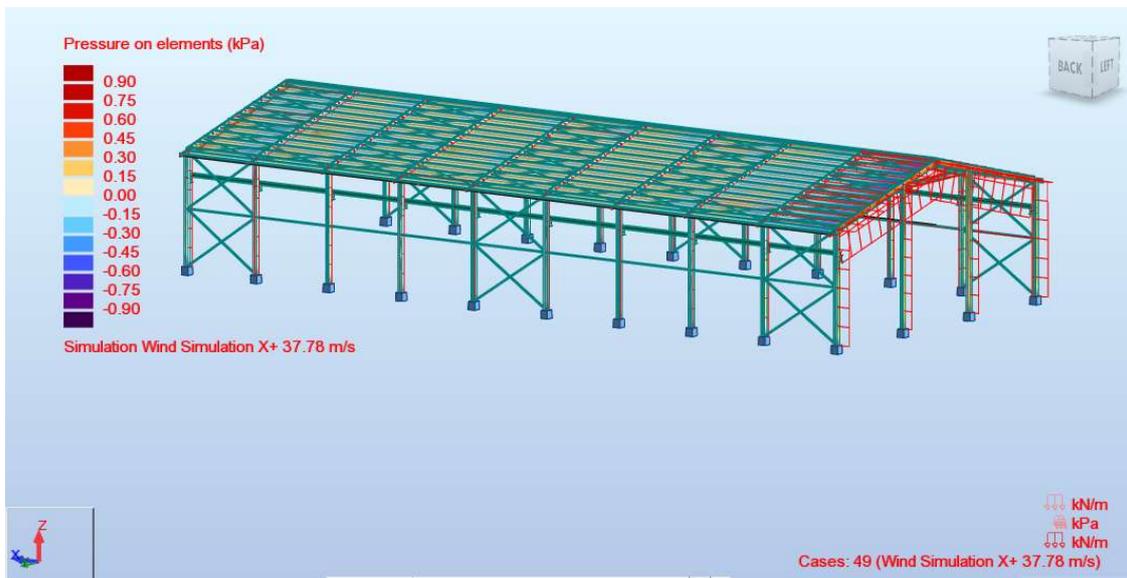
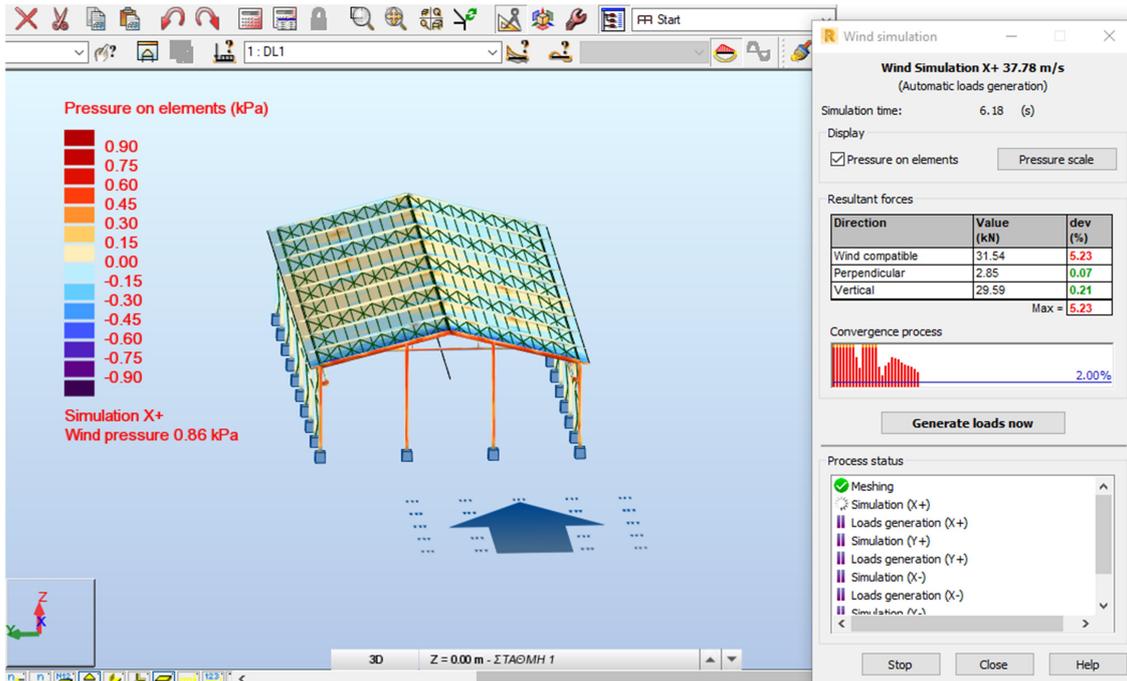
Εικόνα 3.35: Παράθυρο προσομοίωσης ανέμου



Εικόνα 3.36: Προσομοίωση ανέμου και δράσεις στην διεύθυνση Y+ (37.78 m/s)

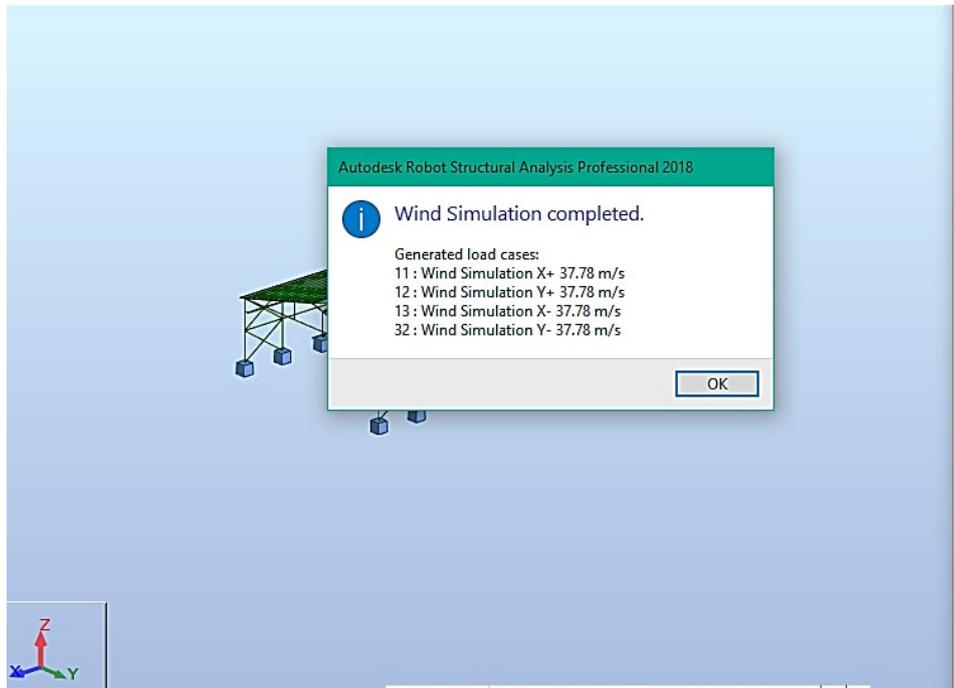


Εικόνα 3.37: Προσομοίωση ανέμου και δράσεις στην διεύθυνση Y- (37.78 m/s)



Εικόνα 3.38: Προσομοίωση ανέμου στην διεύθυνση X+ 37.78 m/s (όμοια και X-)

Όταν ολοκληρωθεί η προσομοίωση, εμφανίζεται ένα μήνυμα με τη λίστα των περιπτώσεων φορτίσεων ανέμου που δημιουργήθηκαν (Εικόνα 3.39).

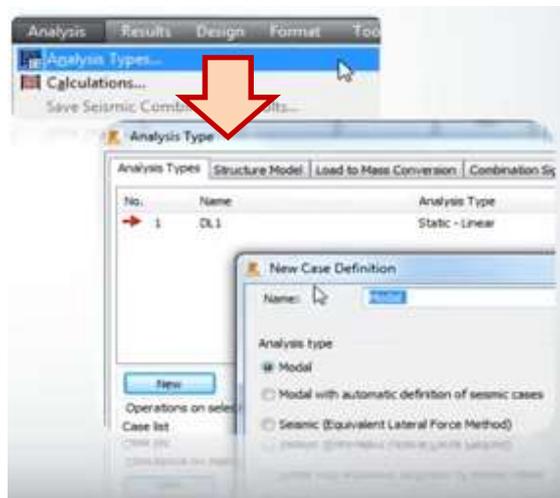


Εικόνα 3.39: Ολοκλήρωση προσομοίωσης ανέμου

3.4.3 Σεισμικές δράσεις

Η χώρα μας βρίσκεται σε μία εξαιρετικά σεισμογενή περιοχή και ως εκ τούτου, οι σεισμικές δράσεις επηρεάζουν σημαντικά τη σχεδίαση των κατασκευών. Ο προσδιορισμός των σεισμικών δράσεων και η ανάλυση της κατασκευής έγινε σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ 2000- [18]. Η ένταση των σεισμικών διεγέρσεων σχεδιασμού καθορίζεται συμβατικά με μία μόνη παράμετρο, την επιτάχυνση σχεδιασμού a_g , ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας της χώρας στην οποία βρίσκεται το έργο. Προκειμένου να δημιουργηθεί μια σεισμική ανάλυση στο Robot, πρέπει να οριστεί μια καινούρια κατηγορία ανάλυσης (new modal):

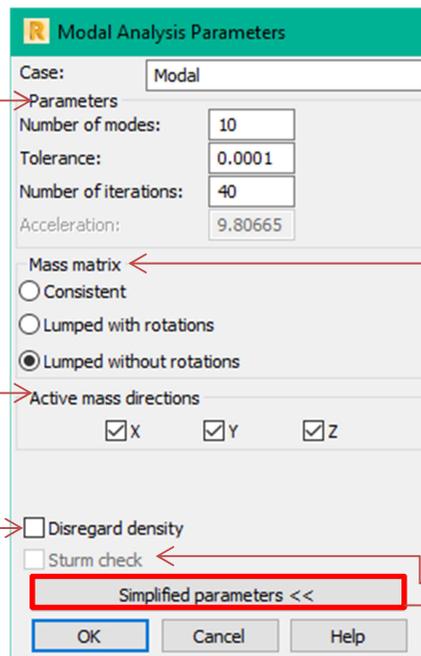
Εικόνα 3.40: Δημιουργία νέας κατηγορίας ανάλυσης και εισαγωγή παραμέτρων ιδιομορφικής ανάλυσης



Αριθμός παραμέτρων – ιδιομορφική ανάλυση

Επιτρέπουν στο χρήστη να καθορίσει σε ποια κατεύθυνση επιτρέπεται η δράση των μαζών

Έλεγχος αν όλες οι ιδιοτιμές βρέθηκαν σε συγκεκριμένο διάστημα



Η μάζα κατανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος κάθε στοιχείου με την επιλογή να έχει περιστροφές ή χωρίς

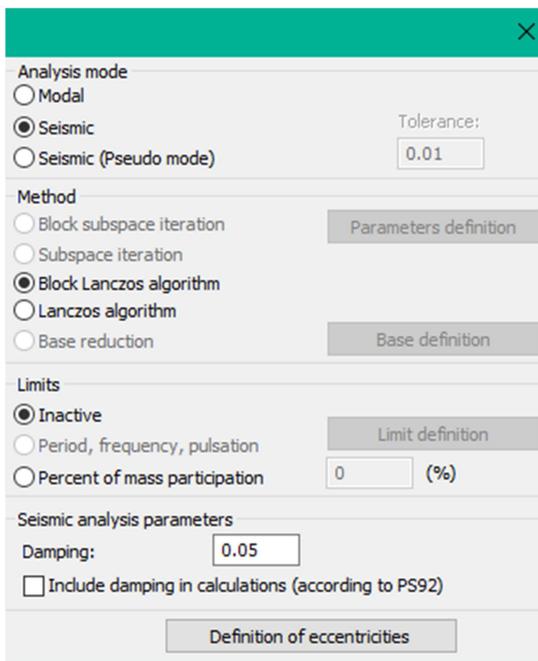
Απενεργοποίηση της αυτόματης εκτίμησης του ίδιου βάρους ως προς τις μάζες

Απλούστευση παραμέτρων εικόνα 3.41

Η ανάλυση των σεισμικών δράσεων της κατασκευής πραγματοποιήθηκε με χρήση της Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου, η οποία συνίσταται στην επαλληλία των μέγιστων τιμών των ιδιομορφικών αποκρίσεων.

Η επαλληλία των μέγιστων ιδιομορφικών αποκρίσεων για ταυτόχρονη δράση των τριών συνιστωσών του σεισμού πραγματοποιείται με τη μέθοδο της πλήρους τετραγωνικής επαλληλίας CQC (Complete Quadratic Combination).

➤ **Απλούστευση παραμέτρων (Simplified parameters):**



Εικόνα 3.41: Απλοποιημένοι παράμετροι

Analysis mode:

- **Modal:** Διεξάγει έναν τρόπο ανάλυσης όπου ο έλεγχος αντοχής στοιχείου είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί.
- **Seismic:** Ο έλεγχος αντοχής δεν χρησιμοποιείται
- **Seismic (Pseudo mode):** Διεξάγει μια φασματική και μια σεισμική ανάλυση. Αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν εφαρμόζουμε κλασικές μεθόδους ανάλυσης, με βάση τον τρόπο μεταφοράς σε πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα

Method: Αυτή η περιοχή περιέχει διαφορετική διαθέσιμη μέθοδο αλγορίθμων, για την επίλυση του ίδιου προβλήματος.

Limits: Τα όρια μπορούν να διαφοροποιηθούν προκειμένου να σταματήσει αυτόματα η ανάλυση όταν αποκτάται μια ορισμένη τιμή περιόδου, συχνότητας ή ποσοστού μάζας συμμετοχής. Εάν χρησιμοποιείται ένα από αυτά τα όρια, ο αριθμός των παραμέτρων (number of modes Εικόνα 3.40) δεν ξεετάζεται πια.

Seismic analysis parameters: Σε αυτή την περιοχή ο χρήστης μπορεί να ορίσει την παράμετρο απόσβεσης. Αυτή η τιμή θα προσδιοριστεί αυτόματα όταν επιλέξουμε τον Ευρωκώδικα που θα χρησιμοποιήσουμε.

Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο Ευρωκώδικας 8, EN 1998-1:2004-[19] όπου, οι σεισμικές διεγέρσεις σχεδιασμού ορίζονται στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους ως οριζόντιες συνιστώσες επιτάχυνσης και μία κατακόρυφη συνιστώσα, στατιστικά ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η σεισμική δράση καθορίζεται με τη βοήθεια φασμάτων απόκρισης (σε όρους επιτάχυνσης) για τον υπολογισμό των οριζόντιων και της κατακόρυφης συνιστώσας.

Για την ισοδύναμη γραμμική ανάλυση των κατασκευών στην μετελαστική συμπεριφορά της κατασκευής, χρησιμοποιούνται τα φάσματα σχεδιασμού των οριζόντιων συνιστωσών επιτάχυνσης του σεισμού του Ευρωκώδικας 8, EN 1998-1:2004-[19] τα οποία προκύπτουν από τις ακόλουθες εξισώσεις:

➤ Οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού

Το φάσμα σχεδιασμού $S_d(T)$ για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης διέπεται από τις παρακάτω σχέσεις:

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

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

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot \alpha_g \end{cases} \quad \text{όπου:}$$

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

- α_g εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού κατηγορίας A ($\alpha_g = \gamma_I \cdot \alpha_{gR}$)
- α_{gR} μέγιστη εδαφική επιτάχυνση εδάφους κατηγορίας A.
- S συντελεστής εδάφους
- γ_I συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου
- q συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής
- θ συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης
- T_B περίοδος του κάτω ορίου του κλάδου φασματικής επιτάχυνσης
- T_C περίοδος του άνω ορίου του κλάδου φασματικής επιτάχυνσης
- T_D τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετακίνησης του φάσματος
- β συντελεστής κατώτατου ορίου για το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού. Η τιμή του ορίζεται στο Εθνικό Προσάρτημα και είναι ίση με 0.20

➤ **Κατακόρυφο φάσμα σχεδιασμού**

Το φάσμα σχεδιασμού $S_d(T)$ για την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης περιγράφεται από τις παρακάτω σχέσεις:

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

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

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

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

Όπου:

- α_{vg} είναι η κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού, η οποία σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα ισούται με το 90% της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης a_g
- S είναι ο συντελεστής εδάφους. Λαμβάνεται ίσος με 1.00
- q είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς, με μέγιστη τιμή 1.50 για όλα τα υλικά και στατικά συστήματα

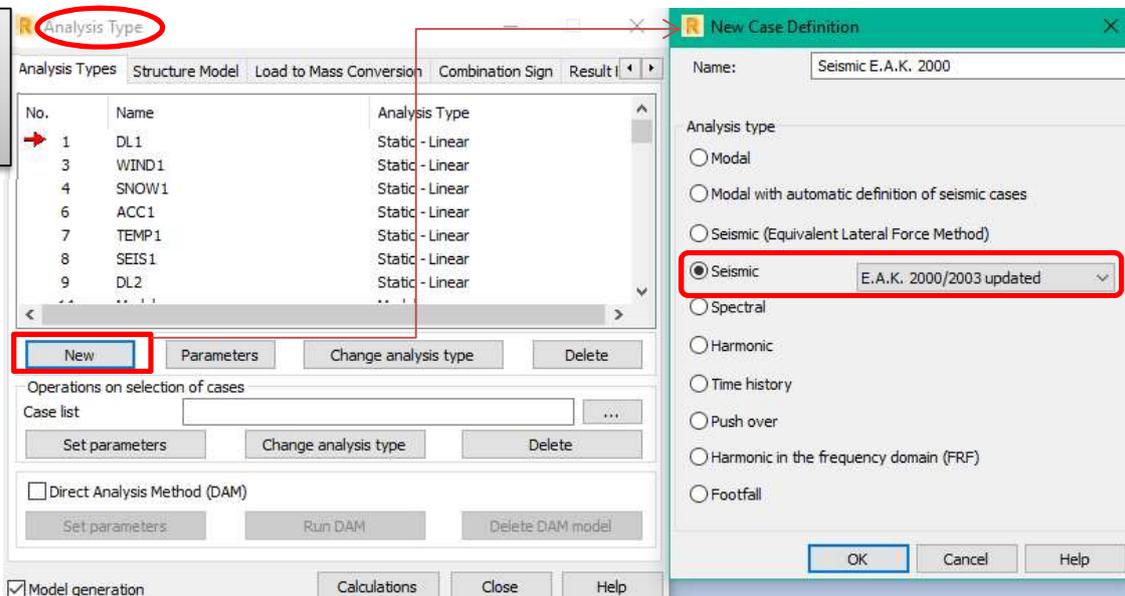
Στον Πίνακα 3.11 δίνονται οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων του κατακόρυφου φάσματος της σεισμικής δράσης, οι οποίες είναι ανεξάρτητες της κατηγορίας εδάφους.

a_{vg}/a_g	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
0.90	0.05	0.15	1.00

Πίνακας 3.11: Παράμετροι κατακόρυφου φάσματος κατά EC8

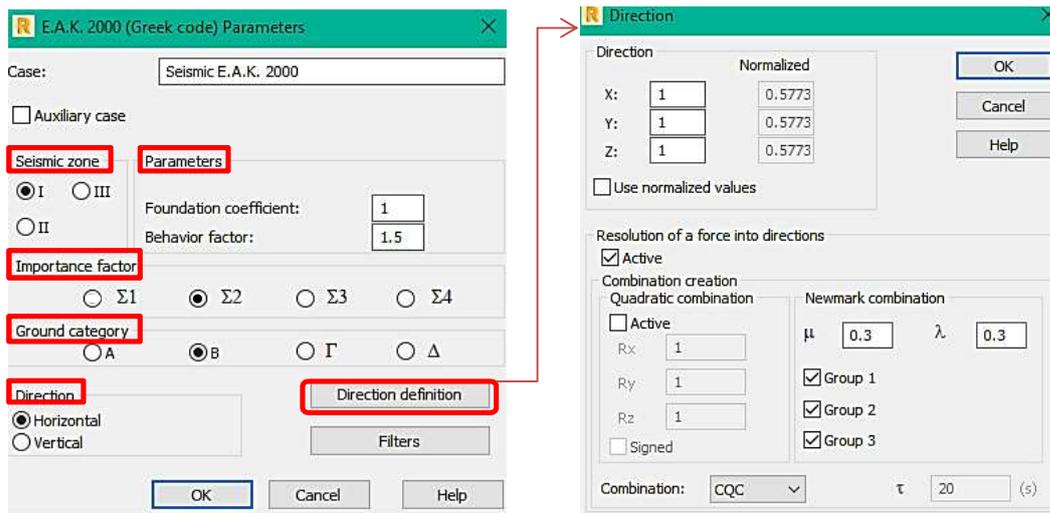
Όμως έχοντας πλέον την δυνατότητα να επιλέξουμε σεισμική κατηγορία ανάλυσης, του E.A.K 2000-[18] που έχει στο πρόγραμμα Robot (Εικόνα 3.42), μπορούμε να ορίσουμε το φάσμα σχεδιασμού ευκολότερα.

Loads →
Analysis Type → New



Εικόνα 3.42: Δημιουργία σεισμού στο Robot (E.A.K. 2000)

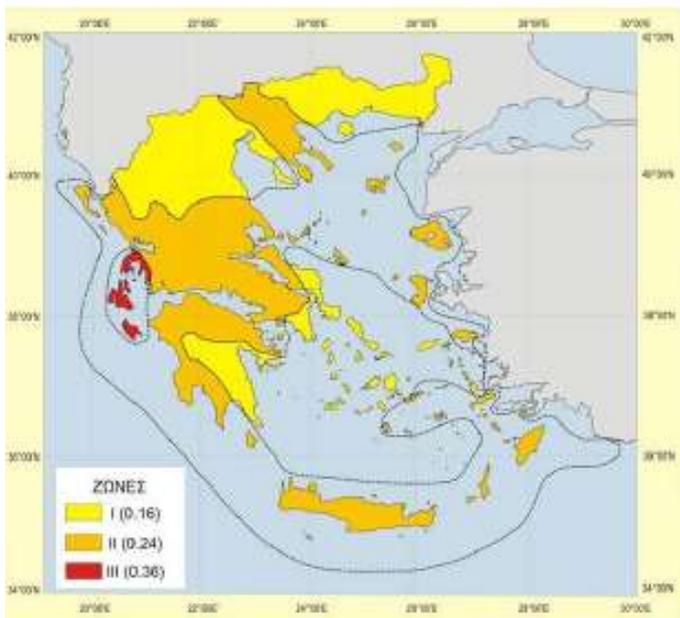
Όταν επιλέξουμε αυτή την κατηγορία ανάλυσης, εμφανίζεται ένα παράθυρο προσδιορισμού της τοποθεσίας (όπου θα κατασκευαστεί η μεταλλική κατασκευή), με τις εξής παραμέτρους: σεισμική ζώνη (Seismic zone), συντελεστή συμπεριφοράς (Importance factor), κατηγορία εδάφους (Ground category) και κατεύθυνση σεισμού (Direction).



Εικόνα 3.43: Παράμετροι σεισμού (E.A.K. 2000)

Για συνήθη έργα εφαρμόζουμε τις ακόλουθες τιμές του κανονισμού:

Πίνακας 3.12: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση συναρτήσει της σεισμικής ζώνης (seismic zone)



Η σεισμική ζώνη της Λακωνίας είναι κυρίως Z1 που αντιστοιχεί σε εδαφική επιτάχυνση $\alpha_{gR} = 0.16g$

Ζώνη	α_{gR}
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

Πίνακας 3.13: Κατηγορία εδάφους B (Ground category)

Κατηγορία εδάφους	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50

Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.

Πίνακας 3.14: Συντελεστής συμπεριφοράς q (Behavior factor)

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. ΕΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1,00
	β. Δοκοί – Τόξα-Κολλητά πετάσματα	1,50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2,00
	δ. Πετάσματα με ηλώσεις	3,00

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q λαμβάνεται ίσος με $q = 1.5$ για φορείς που κατατάσσονται στην κατηγορία χωρίς απαιτήσεις πλαστιμότητας. Στην περίπτωση αυτή, δε λαμβάνεται υπόψη οποιαδήποτε υστερητική απόδοση ενέργειας και δεν απαιτείται ικανοτικός σχεδιασμός.

Από άποψη σπουδαιότητας η μεταλλική κατασκευή κατατάσσεται σε κύριο συνήθης σπουδαιότητας και ο συντελεστής σπουδαιότητας λαμβάνεται ίσος με $\gamma_1 = 1.00$

Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ_1
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).	1.30

Πίνακας 3.15: Συντελεστής Σπουδαιότητας (Importance factor)

➤ **Υπολογισμός σεισμικών δράσεων σχεδιασμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, EN 1998-1:2004-[19]**

Η σεισμική ζώνη της Λακωνίας, (όπου θα τοποθετηθεί η κατασκευή) είναι κυρίως Z1 με εδαφική επιτάχυνση $a_{gR} = 0.16g$

Από άποψη σπουδαιότητας η μεταλλική κατασκευή κατατάσσεται σε κτίριο συνήθους σπουδαιότητας και ο συντελεστής σπουδαιότητας λαμβάνεται ίσος με $\gamma_1 = 1.00$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού a_g για έδαφος κατηγορίας B, ίση με: $a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 1.00 \cdot 0.16g = 0.16g$.

Το κτίριο εδράζεται σε έδαφος κατηγορίας B και επομένως θα ισχύει:

- $S = 1.20$
- $T_B = 0.15s$, $T_C = 0.50s$ και $T_D = 2.50s$

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q λαμβάνεται ίσος με $q = 1.5$. Σύμφωνα με την §2.2.2(2) του EN 1998-1:2004, λαμβάνεται $q = 1.5$ για φορείς που κατατάσσονται στην κατηγορία χωρίς απαιτήσεις πλαστιμότητας. Στην περίπτωση αυτή δε λαμβάνεται υπόψη οποιαδήποτε υστερητική απόδοση ενέργειας και δεν απαιτείται ικανοτικός σχεδιασμός.

Η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού των οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού είναι ίση με:

- $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} = 0.16g \cdot 1.20 \cdot \frac{2.5}{1.5} = 0.32g \approx 3.14 \text{ m/s}^2$

Για τον υπολογισμό της κατακόρυφης συνιστώσας της σεισμικής δράσης έχουμε τα αντίστοιχα μεγέθη ως εξής:

$$a_{vg} = 0.90 \cdot a_g = 0.90 \cdot 0.16g = 0.144g$$

$$S = 1.00$$

$$q_{max} = 1.50$$

$$T_B = 0.05s, T_C = 0.15s \text{ και } T_D = 1.00s$$

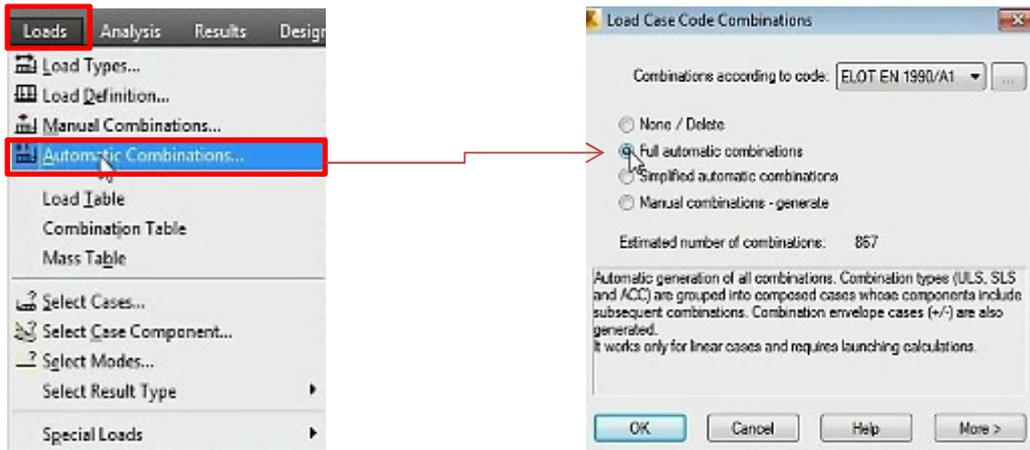
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Τα αποτελέσματα της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού, της οριζόντιας και κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς που γίνονται στο Robot διότι εκεί γίνεται χρήση του E.A.K 2000.

Οπότε έχουμε:

- $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} = 0.144g \cdot 1.00 \cdot \frac{2.5}{1.5} = 0.24g \approx 2.35 \text{ m/s}^2$

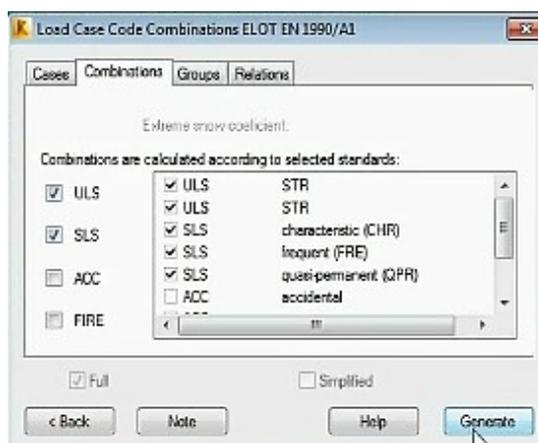
➤ **Αυτόματος συνδυασμός φορτίων σεισμικής ανάλυσης**

Το πρόγραμμα Robot μας απαλλάσσει από υπολογισμούς. Έχοντας επιλέξει όλες τις παραμέτρους σεισμού, που αφορούν το φορέα μας ως προς την τοποθεσία που θα κατασκευαστεί, τώρα μπορούμε να δούμε πως “θα ενεργοποιήσουμε” όλα τα φορτία που έχουμε εισάγει στο πρόγραμμα, ακόμα και του σεισμού στην κατασκευή. Επιλέγοντας στο πρόγραμμα **Loads** → **Automatic Combinations** → **Full automatic combinations**



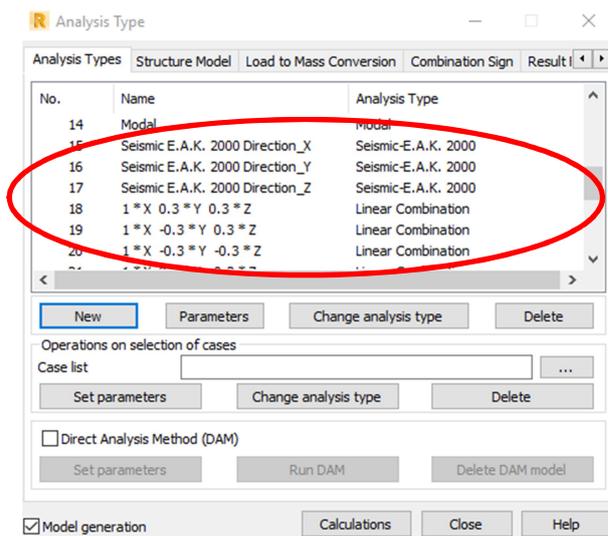
Εικόνα 3.44: Διαδικασία αυτόματου συνδυασμού φορτίων

Εμφανίζεται ένας πίνακας στον οποίο, μπορούμε να ελέγξουμε τους συνδυασμούς φορτίων και στη συνέχεια να επιλέξουμε **Generate** για να προχωρήσουμε την διαδικασία:



Εικόνα 3.45: Παραγωγή όλων των φορτίων της κατασκευής

Στη συνέχεια αν επιλέξουμε **Loads** → **Analysis Type** μπορούμε να δούμε πως συμπεριλαμβάνεται και ο σεισμός στον υπολογισμό στην διεύθυνση X, Y, Z.



Εικόνα 3.46: Τύποι ανάλυσης

Για κάθε μία από τις τρεις διευθύνσεις του σεισμού ορίζεται και η αντίστοιχη περίπτωση δυναμικής ανάλυσης από τις οποίες θα προκύψουν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Οι περιπτώσεις δυναμικής ανάλυσης είναι οι εξής:

- Για σεισμό κατά X-X, στην εγκάρσια διεύθυνση (EQX)
- Για σεισμό κατά Y-Y, στην διαμήκη διεύθυνση (EQY)
- Για σεισμό κατά Z-Z, στην κατακόρυφη διεύθυνση (EQZ)

4 Οριακές καταστάσεις - Δράσεις

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 (Δράσεις), περιγράφονται οι αρχές και οι απαιτήσεις για την ασφάλεια, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα των κατασκευών. Αυτό πραγματοποιείται, με βάση τη θεωρία των οριακών καταστάσεων και τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας. Οριακές καταστάσεις είναι οι καταστάσεις πέραν των οποίων ο φορέας ή τμήμα αυτού δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του. Διακρίνονται σε οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας.

Το βιομηχανικό κτίριο μεταλλικού φορέα, που περιλαμβάνει η μελέτη, σχεδιάστηκε με σκοπό να ικανοποιούνται οι ακόλουθες θεμελιώδεις απαιτήσεις:

- Να παραμένει κατάλληλο για τη χρήση για την οποία προορίζεται
- Να παραλαμβάνει όλες τις δράσεις και τις επιδράσεις που πιθανόν να λάβουν χώρα κατά τη διάρκεια της ανέγερσης και της χρήσης του
- Να αποφεύγεται ο κίνδυνος σε τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού. Αναφέρονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις συνθηκών και είναι εφαρμόσιμες στο φορέα ή στην έκθεσή του, π.χ. πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση, ή οι συνέπειες τοπικής αστοχίας

Ο έλεγχος των κατασκευών έναντι αστοχίας ή λειτουργικότητας επιτυγχάνεται με τη χρήση των λεγόμενων «καταστάσεων σχεδιασμού». Σύμφωνα με τον κανονισμό, η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής, η οποία θα πρέπει να αναλαμβάνει με αξιοπιστία όλους τους συνδυασμούς φορτίσεων, είναι τα 50 χρόνια.

4.1 Οριακές καταστάσεις αστοχίας

Η οριακή κατάσταση αστοχίας (Ultimate Limit States-ULS) αφορά στην απώλεια της ισορροπίας και κατάρρευση του φορέα. Η οριακή κατάσταση αστοχίας σχετίζεται με την ασφάλεια των ανθρώπων, του φορέα και την προστασία των περιεχομένων του. Αφορά σε καταστάσεις ως προς την αστοχία λόγω υπερβολικών παραμορφώσεων, στη μετατροπή του φορέα ή μέρους του σε μηχανισμό και στη θραύση και απώλεια της ευστάθειάς του λόγω κόπωσης.

Οι συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας, είναι οι ακόλουθοι:

- Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \times G_{kj} + \gamma_p \times P + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \sum_{j \geq 2} \gamma_{Qj} \times \psi_{0,j} \times Q_{kj}$$

ii. Για τυχηματικές καταστάσεις:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + A_d + \psi_{1,1} (\text{ή } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

iii. Για καταστάσεις σεισμού:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + A_{Ed} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Ενώ οι συντελεστές συνδυασμού ψ_i (Πίνακας 4.1) των μεταβλητών δράσεων χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μειωμένη πιθανότητα για ταυτόχρονη συνύπαρξη των πλέον δυσμενών τιμών των διαφόρων ανεξάρτητων δράσεων.

Δράσεις	ψ_0	ψ_1	ψ_2
<i>Ωφέλιμα φορτία κτιρίων</i>			
Κατηγορία A: κατοικίες	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: γραφεία	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: σχολεία, θέατρα κλπ	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: καταστήματα	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
<i>Οχήματα σε κτίρια</i>			
Κατηγορία F: βάρος < 30kN	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: 30kN < βάρος < 160kN	0,5	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Χιόνι	0,6	0,3	0
Άνεμος	0,6	0,5	0
Θερμοκρασία	0,6	0,5	0

Πίνακας 4.1: Τιμές συντελεστή ψ_i για κτίρια

4.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (Serviceability Limit States-SLS) σχετίζονται με τη λειτουργία ενός φορέα ή μέλους του υπό συνθήκες φυσιολογικής χρήσης, (ως προς την άνεση των ανθρώπων και την εξωτερική εμφάνιση των κατασκευών) μετά από παραμορφώσεις, δονήσεις και βλάβες οι οποίες πιθανόν να έχουν αρνητική επιρροή στην κατασκευή.

Οι συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι οι εξής:

- i. Χαρακτηριστικός συνδυασμός :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$$

- ii. Συχνός συνδυασμός:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \times Q_{k,i}$$

- iii. Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός:

$$\sum_{j \leq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \leq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Οι καταστάσεις αυτές (ULS και SLS) προσεγγίζονται με προσαύξηση των φορτίων λειτουργίας του φορέα μέσω των επιμέρους συντελεστών ασφάλειας (partial safety factors), οι οποίοι είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτεροι ή ίσοι προς τη μονάδα. Τα προκύπτοντα φορτία ονομάζονται φορτία ή δράσεις σχεδιασμού και θα χρησιμοποιούνται υπό μορφή συνδυασμών για τον σχεδιασμό του φορέα. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται στη χρήση κατάλληλων για τη συγκεκριμένη οριακή κατάσταση προσομοιωμάτων του φορέα και της φόρτισης και πρέπει να ελέγχεται ότι δεν υπάρχει υπέρβαση σε καμία οριακή κατάσταση.

Στο πρόγραμμα Robot, για τον συνδυασμό φορτίσεων μπορούμε, να τους εκτελέσουμε αυτόματα (**Loads** → **Automatic combinations**) ή χειροκίνητα (**Loads** → **Combination table**).

Προφανώς, αφήνοντας το πρόγραμμα να ορίσει αυτόματα τους συνδυασμούς φορτίσεων μας βοηθάει να εξοικονομήσουμε χρόνο. Όμως, αυτό είναι κάτι το οποίο δεν προτιμάται διότι σε κάποιες περιπτώσεις το πρόγραμμα δεν μεταφράζει σωστά τα επιβαλλόμενα φορτία και τοποθετεί λάθος συντελεστές.

Έτσι και εδώ, για να αποφύγουμε το οποιαδήποτε λάθος και για να έχουμε πλήρη επίγνωση ως προς τους συνδιασμούς, τους ορίσαμε χειροκίνητα.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΤΥΠΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΛΙΣΤΑ			
1:DL1	ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ	1to20 22to40	ΟΛΟΚΛΗΡΗ	-Z	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤ
9:DL2	(FE) ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ	412 413	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.20
4:SNOW1	(FE) ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ		PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.32

49:Wind Simulation X+, 50:Wind Simulation Y+, 51:Wind Simulation X-, 52:Wind Simulation Y-

Πίνακας 4.2: Κωδικοί φορτίσεων

ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ	ΟΝΟΜΑ	ΦΟΡΤΙΣΗ	ΣΥΝΤ.	ΦΟΡΤΙΣΗ	ΣΥΝΤ.	ΦΟΡΤΙΣΗ	ΣΥΝΤ.	ΦΟΡΤΙΣΗ	ΣΥΝΤ.	ΦΟΡΤΙΣΗ	ΣΥΝΤ.	ΦΟΡΤΙΣΗ	ΣΥΝΤ.
55 (C)	ULS1	9	1.35	1	1.35	4	1.50	46	1.50				
56 (C)	ULS2	9	1.35	1	1.35	4	1.50	50	0.90	46	1.50		
57 (C)	ULS3	9	1.35	1	1.35	4	1.50	51	0.90	46	1.50		
58 (C)	ULS4	9	1.35	1	1.35	4	1.50	52	0.90	46	1.50		
59 (C)	ULS5	9	1.35	1	1.35	4	1.50	49	0.90	46	1.50		
60 (C)	ULS6	9	1.35	1	1.35	50	1.50						
61 (C)	ULS7	9	1.35	1	1.35	51	1.50						
62 (C)	ULS8	9	1.35	1	1.35	52	1.50						
63 (C)	ULS9	9	1.35	1	1.35	49	1.50						
64 (C)	ULS10	9	1.00	1	1.00								
68 (C)	ULS11	9	1.35	1	1.35	4	0.90	50	1.50	46	0.50		
69 (C)	ULS12	9	1.35	1	1.35	4	0.90	51	1.50	46	0.50		
70 (C)	ULS13	9	1.35	1	1.35	4	0.90	52	1.50	46	0.50		
71 (C)	ULS14	9	1.35	1	1.35	4	0.90	49	1.50	46	0.50		
80 (C)	ULS15	9	1.35	1	1.35	4	0.90	46	0.50				
81 (C)	ULS16	9	1.35	1	1.35	4	0.90	46	0.50				
82 (C)	ULS17	9	1.35	1	1.35	4	0.90	46	0.50				
83 (C)	ULS18	9	1.35	1	1.35	4	0.90	46	0.50				
84 (C)	ULS19	9	1.35	1	1.35	50	0.90						
85 (C)	ULS20	9	1.35	1	1.35	51	0.90						
86 (C)	ULS21	9	1.35	1	1.35	52	0.90						
87 (C)	ULS22	9	1.35	1	1.35	49	0.90						
92 (C) (C)	SEISM1	9	1.00	1	1.00	15	1.00	16	0.30	17	0.30	4	0.30
93 (C) (C)	SEISM2	9	1.00	1	1.00	15	1.00	16	0.30	17	0.30	4	0.30
94 (C) (C)	SEISM3	9	1.00	1	1.00	15	1.00	16	-0.30	17	-0.30	4	0.30
95 (C) (C)	SEISM4	9	1.00	1	1.00	15	1.00	16	-0.30	17	-0.30	4	0.30
96 (C) (C)	SEISM5	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	0.30	17	0.30	4	0.30
97 (C) (C)	SEISM6	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	1.00	17	0.30	4	0.30
98 (C) (C)	SEISM7	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	-1.00	17	-0.30	4	0.30
99 (C) (C)	SEISM8	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	-1.00	17	-0.30	4	0.30
100 (C) (C)	SEISM9	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	0.30	17	1.00	4	0.30
101 (C) (C)	SEISM10	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	-0.30	17	1.00	4	0.30
102 (C) (C)	SEISM11	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	-0.30	17	-1.00	4	0.30
103 (C) (C)	SEISM12	9	1.00	1	1.00	15	0.30	16	0.30	17	-1.00	4	0.30
104 (C)	SLS1	9	1.00	1	1.00	50	0.60	4	1.00	46	0.50		
105 (C)	SLS2	9	1.00	1	1.00	51	0.60	4	1.00	46	0.50		
106 (C)	SLS3	9	1.00	1	1.00	52	0.60	4	1.00	46	0.50		
107 (C)	SLS4	9	1.00	1	1.00	49	0.60	4	1.00	46	0.50		
108 (C)	SLS5	9	1.00	1	1.00	4	1.00						
112 (C)	SLS6	9	1.00	1	1.00	50	1.00						
113 (C)	SLS7	9	1.00	1	1.00	51	1.00						
114 (C)	SLS8	9	1.00	1	1.00	52	1.00						
115 (C)	SLS9	9	1.00	1	1.00	49	1.00						
116 (C)	SLS10	9	1.00	1	1.00	4	0.60	50	1.00	46	0.50		
117 (C)	SLS11	9	1.00	1	1.00	4	0.60	51	1.00	46	0.50		
118 (C)	SLS12	9	1.00	1	1.00	4	0.60	52	1.00	46	0.50		
119 (C)	SLS13	9	1.00	1	1.00	4	0.60	49	1.00	46	0.50		
120 (C)	SLS14	9	1.00	1	1.00								
121 (C)	SLS15	9	1.00	1	1.00	4	0.60	50	0.60	46	0.50		
122 (C)	SLS16	9	1.00	1	1.00	4	0.60	51	0.60	46	0.50		
123 (C)	SLS17	9	1.00	1	1.00	4	0.60	52	0.60	46	0.50		
124 (C)	SLS18	9	1.00	1	1.00	4	0.60	49	0.60	46	0.50		
145 (C)	SLS19	9	1.00	1	1.00	46	0.30						
146 (C) (C)	SEISM13	9	1.00	1	1.00	15	-1.00	16	0.30	17	0.30	4	0.30
147 (C) (C)	SEISM14	9	1.00	1	1.00	15	-1.00	16	0.30	17	0.30	4	0.30
148 (C) (C)	SEISM15	9	1.00	1	1.00	15	-1.00	16	-0.30	17	-0.30	4	0.30
149 (C) (C)	SEISM16	9	1.00	1	1.00	15	-1.00	16	-0.30	17	-0.30	4	0.30
150 (C) (C)	SEISM17	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	0.30	17	0.30	4	0.30
151 (C) (C)	SEISM18	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	1.00	17	0.30	4	0.30
152 (C) (C)	SEISM19	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	-1.00	17	-0.30	4	0.30
153 (C) (C)	SEISM20	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	-1.00	17	-0.30	4	0.30
154 (C) (C)	SEISM21	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	0.30	17	1.00	4	0.30
155 (C) (C)	SEISM22	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	-0.30	17	1.00	4	0.30
156 (C) (C)	SEISM23	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	-0.30	17	-1.00	4	0.30
157 (C) (C)	SEISM24	9	1.00	1	1.00	15	-0.30	16	0.30	17	-1.00	4	0.30

Πίνακας 4.3: Συνδιασμοί φορτίσεων σε ΟΚΑ (ULS) ,ΟΚΛ (SLS) και σεισμού στο Robot

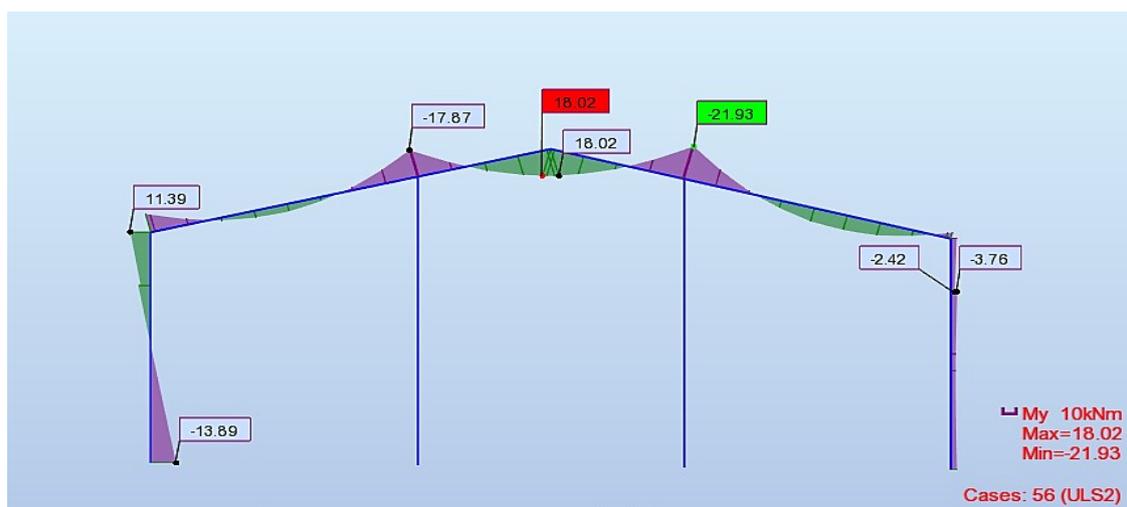
5 Αποτελέσματα

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με το Robot Structural Analysis. Παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη για τους συνδυασμούς φορτίσεων, οι έλεγχοι διατομών και μελών, οι έλεγχοι βελών στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και οι δεσπόζουσες ιδιοπερίοδοι της κατασκευής.

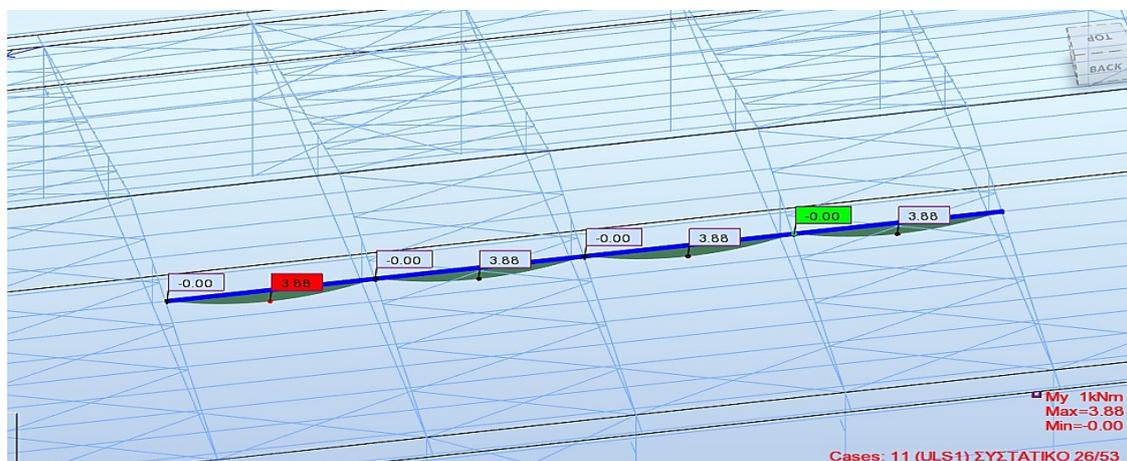
5.1 Εντατικά μεγέθη

Στις εικόνες που ακολουθούν δίνονται χαρακτηριστικά διαγράμματα (με τις μέγιστες τιμές) ροπών κάμψης ($M_{y,Ed}$), τεμνουσών ($V_{z,Ed}$) και αξονικών (N_{Ed}) δυνάμεων για τα μέλη του φορέα, όπως προέκυψαν από τη δράση του συνδυασμού: οριακής κατάστασης αστοχίας ULS

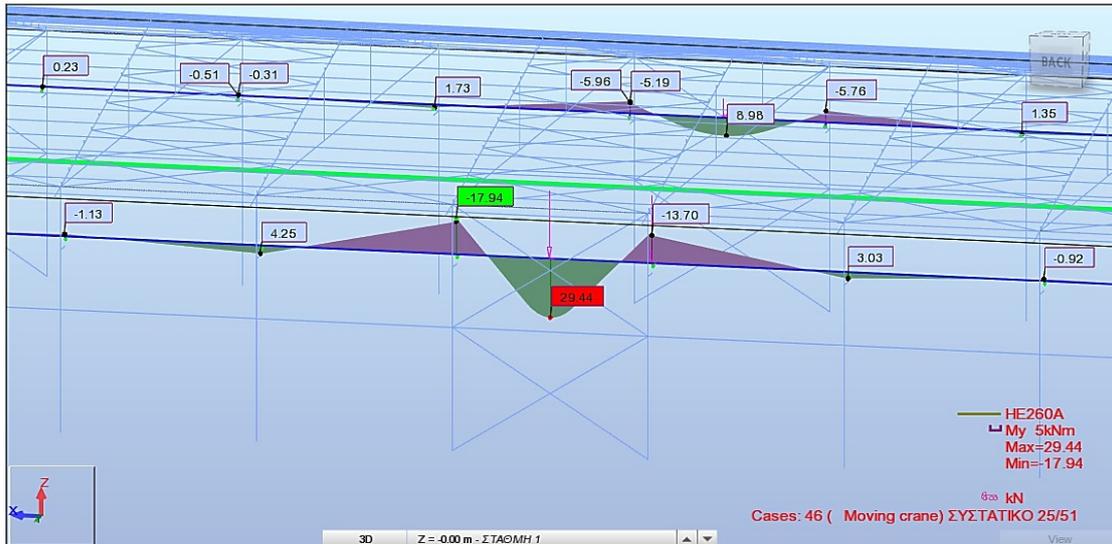
Τα διαγράμματα ροπών (M_z και M_x) και τεμνουσών δυνάμεων (V_y και V_x) επιλέχθηκε να μην παρουσιαστούν διότι οι τιμές των μεγεθών είναι αμελητέες και επομένως δεν αποτελούν κρίσιμα μεγέθη για τη διαστασιολόγηση του πλαισιωτού φορέα του στεγαστρου.



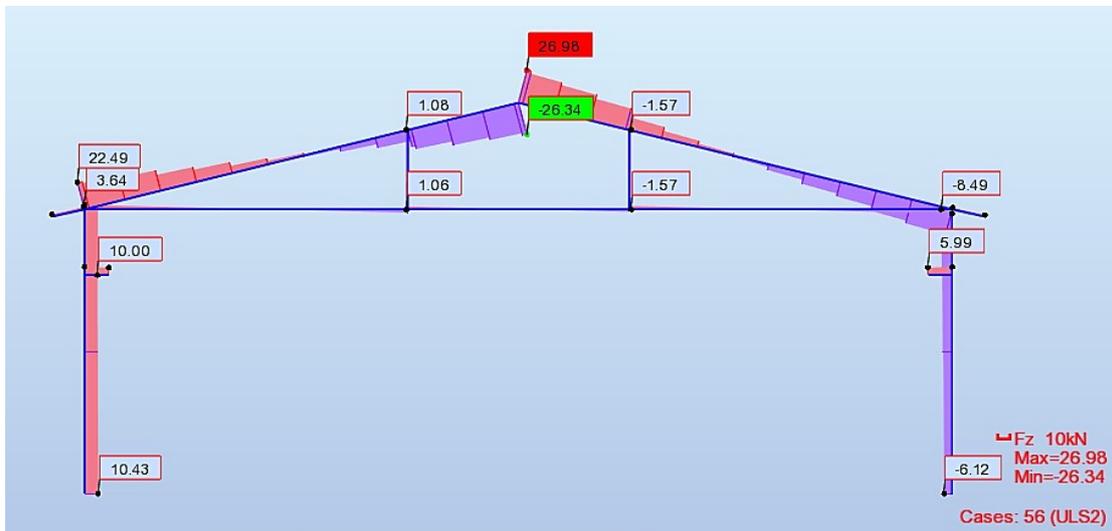
Εικόνα 5.1: Διάγραμμα ροπών κάμψης $M_{y,Ed}$ στην πρόσοψη της κατασκευής



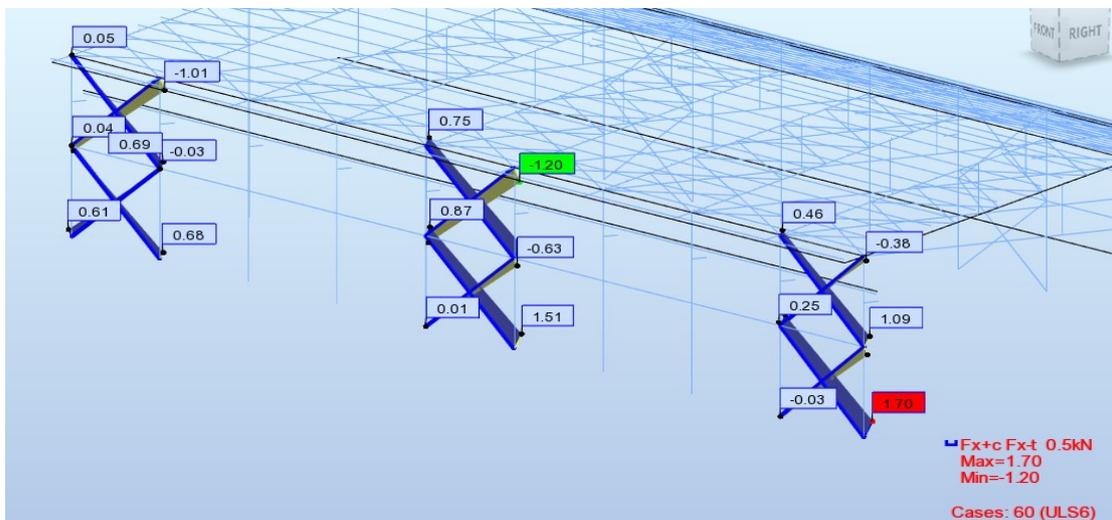
Εικόνα 5.2: Διάγραμμα ροπών κάμψης $M_{y,Ed}$ των τειγίδων



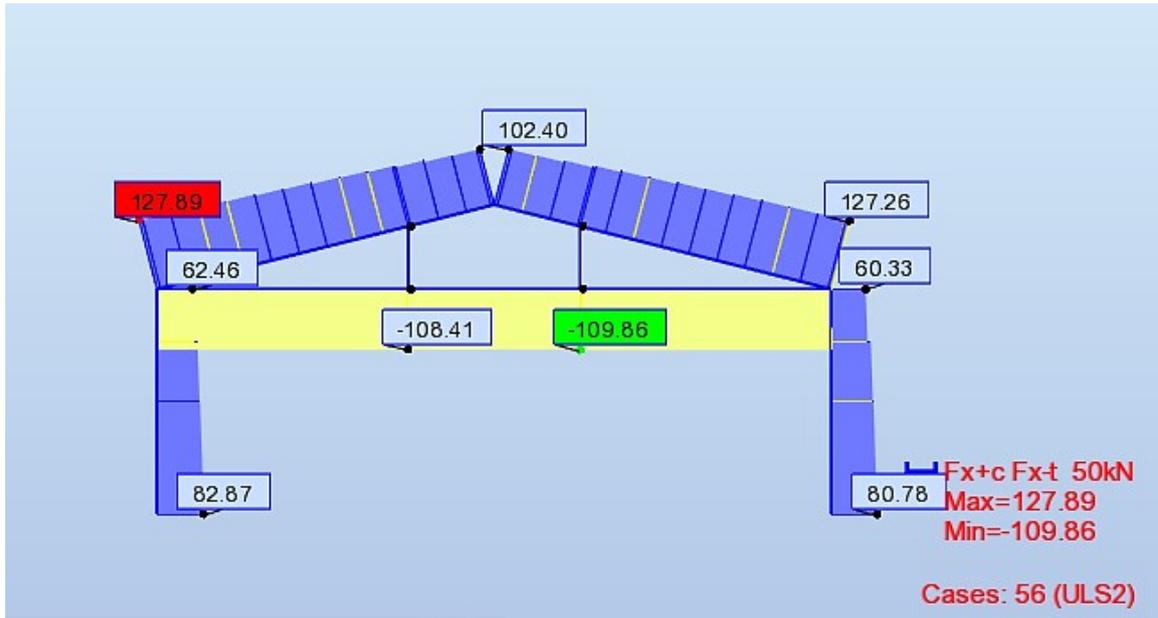
Εικόνα 5.3: Διάγραμμα ροπών κάμψης $M_{y,Ed}$ στην δοκού κύλισης της γερανογέφυρας



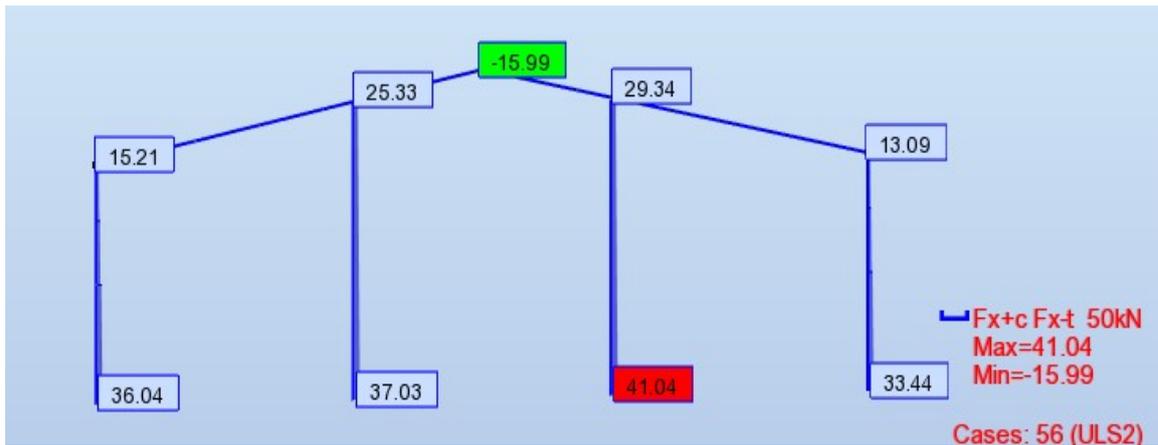
Εικόνα 5.4: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων $V_{z,Ed}$



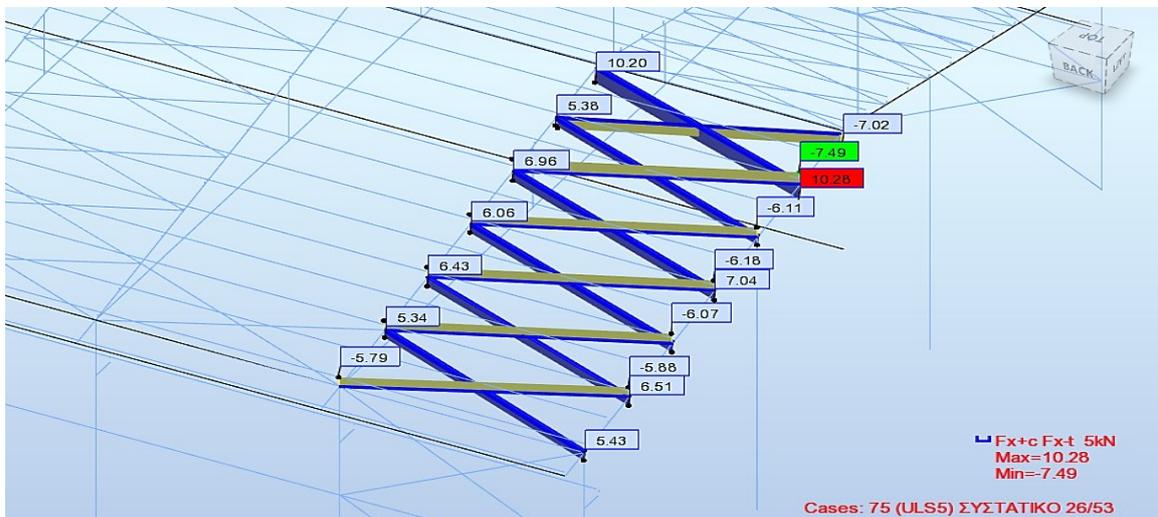
Εικόνα 5.5: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed} των κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας



Εικόνα 5.6: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed}



Εικόνα 5.7: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed} στην πρόσοψη της κατασκευής



Εικόνα 5.8: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων N_{Ed} των οριζόντιων συνδέσεων δισκαμψίας

5.2 Έλεγχος διατομών και μελών

Το πρόγραμμα Robot Structural Analysis πραγματοποιεί αυτόματα όλους τους ελέγχους που αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 3 και πιο συγκεκριμένα ελέγχους επαρκούς αντοχής των διατομών και ευστάθειας των μελών του φορέα.

Οι παράμετροι του καμπτικού και του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού εισάγονται από το χρήστη (Εικόνα 5.9).

Λυγισμός κατά την φορά y&z

Συντελεστής λυγισμού

Συντελεστής μήκους λυγισμού

Στρεπτοκαμπτικός Λυγισμός

Πλευρικός Λυγισμός

Κρίσιμη ροπή
(Αυτόματη επιλογή από το πρόγραμμα)

(Επίσης επιλέγουμε αυτόματα την επιλογή καμπύλη λυγισμού από το πρόγραμμα)

(Επίσης επιλέγουμε αυτόματα την επιλογή καμπύλη πλευρικού λυγισμού από το πρόγραμμα)

Εικόνα 5.9: Παράμετροι διαστασιολόγησης μελών

Στην επιλογή πρόσθετων παραμέτρων για τα μέλη που υπόκεινται λυγισμό επιλέγουμε: περιορισμένη απόκλιση και μετατόπιση.

Τα μέλη των κυρίων πλαισίων υπόκεινται κυρίως σε καμπτικές ροπές και αξονικές δυνάμεις. Οι διατομές εκλέγονται κατ' αρχήν ώστε να ανταποκρίνονται έναντι καμπτικού λυγισμού και εν συνεχεία προσδιορίζονται οι θέσεις των απαραίτητων πλευρικών εξασφαλίσεων ώστε τα μέλη να εξασφαλιστούν από τον κίνδυνο πλευρικής αστάθειας (στρεπτοκαμπτικού λυγισμού).

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού του δυσμενέστερου συνδυασμού φόρτισης για κάθε μέλος, οι παράμετροι καμπτικού και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού και οι έλεγχοι σε επίπεδο διατομής και μέλους.

Στην Εικόνα 5.10 παρουσιάζονται οι έλεγχοι υποστυλώματος για το συνδυασμό οριακής κατάστασης αστοχίας ULS.

RESULTS - Code - EN 1993-1:2005/A1:2014

Bar: 14 inside column_14
 Point / Coordinate: 3 / x = 0.50 L = 4.00 m
 Load case: 11 ULS1 / 16/ 1*1.35 + 4*1.50 + 9*1.35 + 46/16*1.50

HE320B ΔΙΑΤΟΜΗ OK

1ο τμήμα

Amplified results Detailed results

FORCES

$N_{Ed} = 242.16 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 28.48 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,Ed} = 3.24 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{y,Ed} = -1.11 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 4436.93 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 103.38 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,Ed,max} = -6.28 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 2149.87 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 2990.47 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 591.08 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 258.26 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{z,Ed} = 26.38 \text{ kN}$
	$M_{N,y,Rd} = 591.08 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{N,z,Rd} = 258.26 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 821.76 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 573.48 \text{ kN}^*\text{m}$		$T_{t,Ed} = -0.02 \text{ kN}^*\text{m}$
			ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1

2ο τμήμα

LATERAL BUCKLING

$z = 0.00$	$M_{cr} = 5406.39 \text{ kN}^*\text{m}$	KΑΜΠΥΛΗ,LT - a	$X_{LT} = 0.97$
$L_{cr,upp} = 4.00 \text{ m}$	$Lam_{LT} = 0.33$	$\phi_{i,LT} = 0.57$	

3ο τμήμα

BUCKLING y

$L_y = 8.00 \text{ m}$	$Lam_y = 0.88$
$L_{cr,y} = 10.56 \text{ m}$	$X_y = 0.67$
$Lam_y = 76.40$	$k_{yy} = 0.89$

BUCKLING z

$L_z = 8.00 \text{ m}$	$Lam_z = 0.61$
$L_{cr,z} = 4.00 \text{ m}$	$X_z = 0.78$
$Lam_z = 52.86$	$k_{yz} = 0.57$

4ο τμήμα

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.05 < 1.00$ (6.2.4.(1))
$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.03 < 1.00$ (6.2.6-7)

5ο τμήμα

MEMBER STABILITY CHECK

$Lam_y = 76.40 < Lam_{max} = 500.00$ $Lam_z = 52.86 < Lam_{max} = 500.00$ ΣΤΑΘΕΡΟ

$N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(X_{LT} * M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.26 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Καμπτικές ροπές

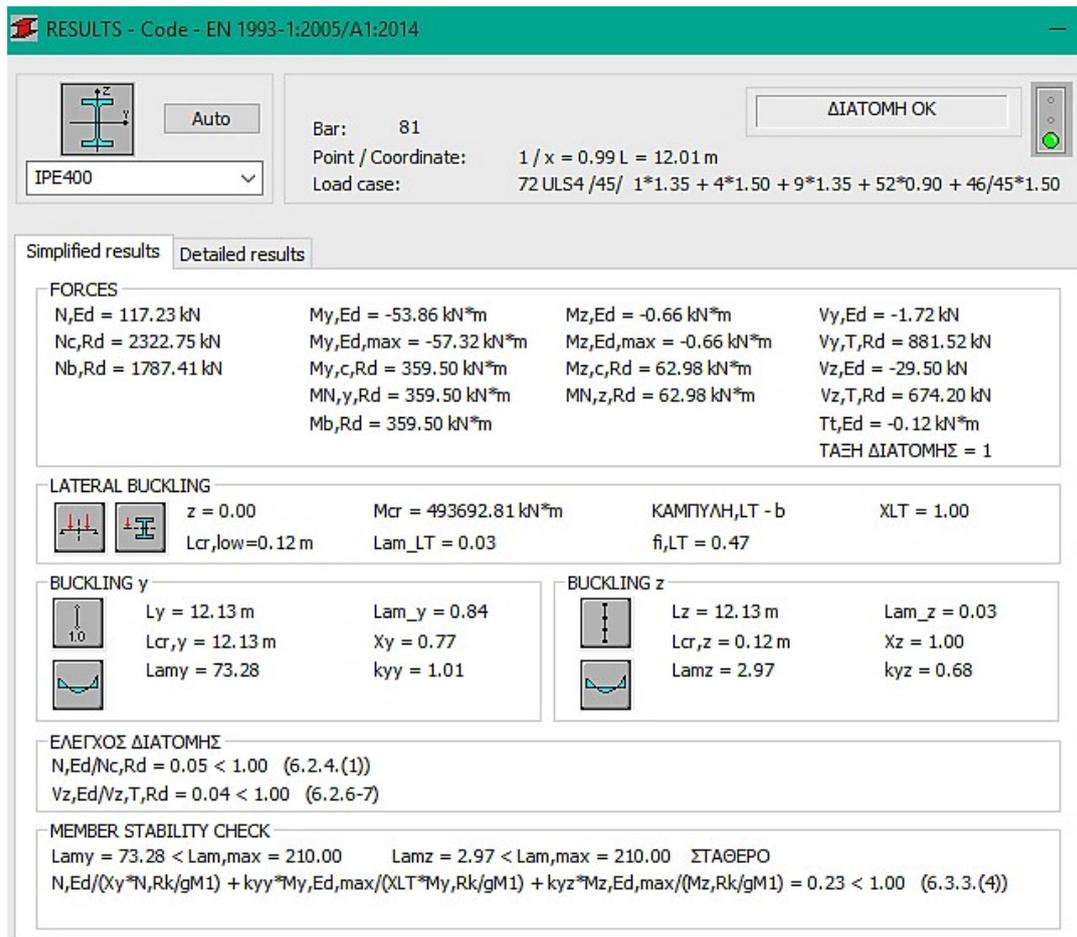
Εικόνα 5.10: Αποτελέσματα ελέγχου υποστυλώματος για το συνδυασμό φόρτισης ULS1

- Στο πρώτο τμήμα του παράθυρου διαλόγου φαίνονται η κατηγορία της διατομής, οι τιμές των δρώντων εντατικών μεγεθών και οι αντίστοιχες αντοχές της διατομής.
- Στο δεύτερο τμήμα παρουσιάζονται οι παράμετροι του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού όπως εισήχθησαν στο πρόγραμμα. Τα δρόντα φορτία θεωρήθηκε ότι ασκούνται στο κέντρο βάρους της διατομής ($z = 0$). Το μήκος στρεπτοκαμπτικού λυγισμού λήφθηκε ίσο με 4.00m λόγω της πλευρικής δέσμευσης που παρέχει η πλάγια δοκός. Οι συντελεστές C_1 , C_2 , και C_3 υπο-

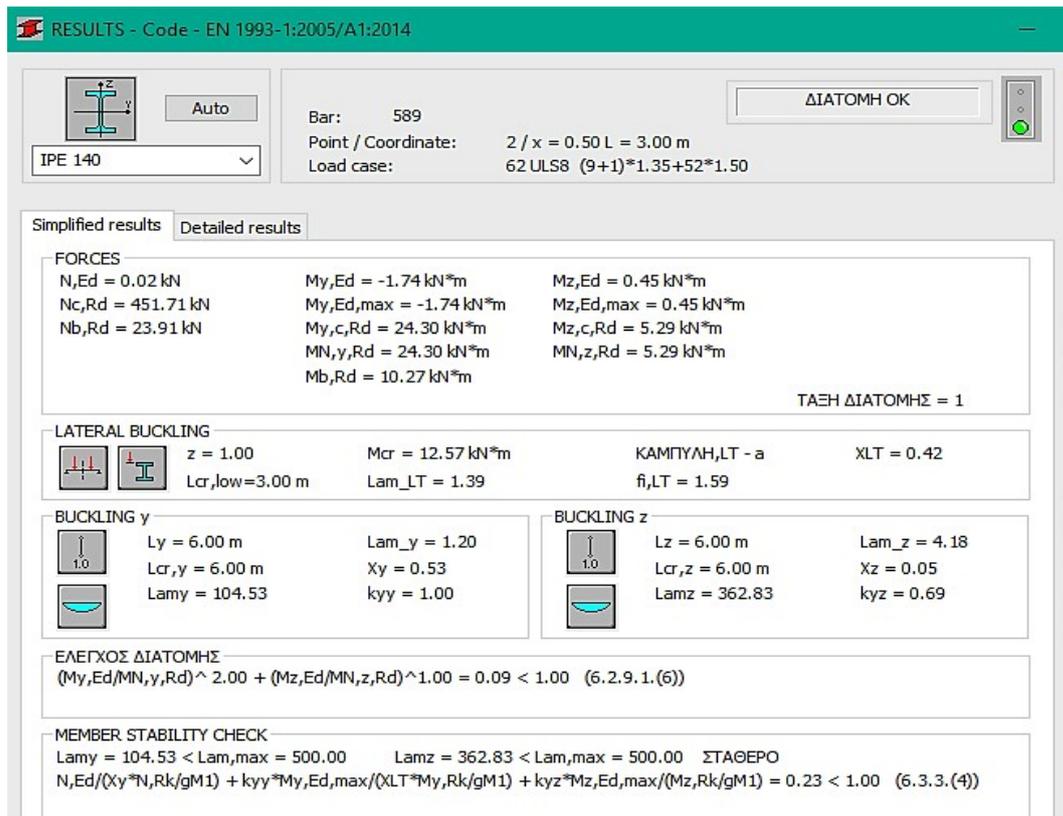
λογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα αφού πρώτα καθοριστεί ο τύπος του διαγράμματος ροπών κάμψης.

Η ελαστική κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού M_{cr} , η καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού και ο μειωτικός συντελεστής χ_{LT} υπολογίζονται αυτόματα.

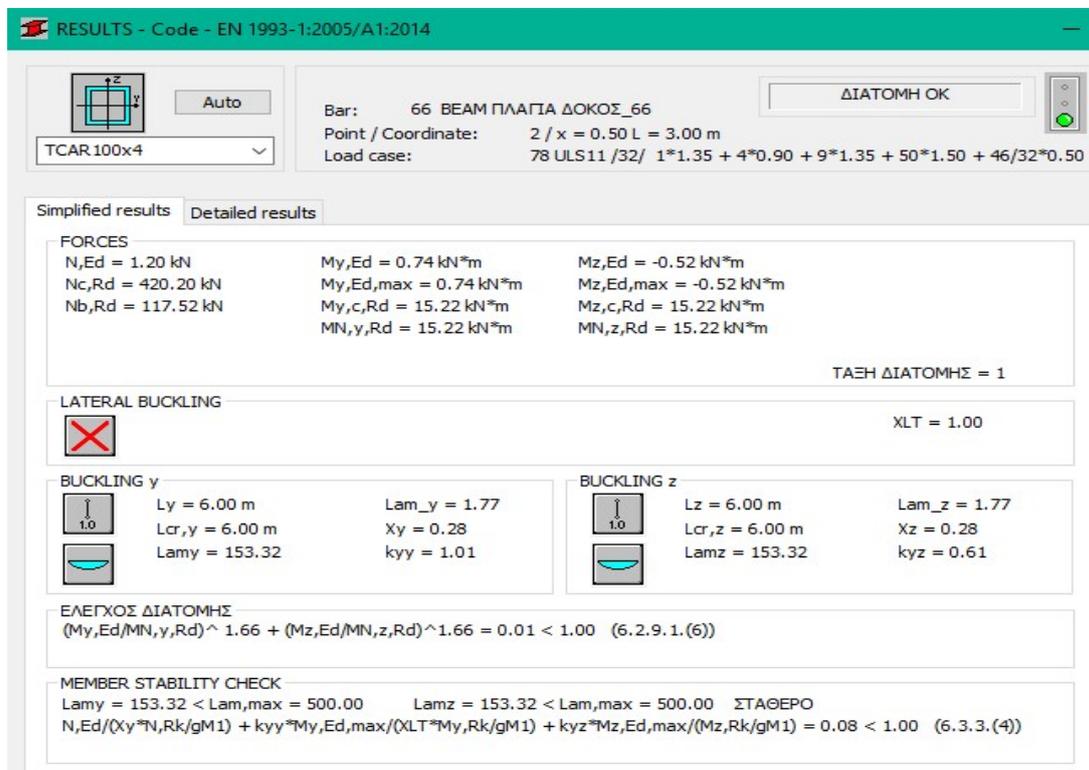
- Στο τρίτο τμήμα, απεικονίζονται τα μήκη λυγισμού για τους άξονες y και z αντίστοιχα. Ως ισοδύναμο μήκος λυγισμού κατά y έχει ληφθεί το θεωρητικό μήκος του υποστυλώματος ($L = 10.56\text{m}$) αφού δεν υπάρχει πλευρική εξασφάλιση σε αντίθεση με τον άξονα z που εξασφαλίζεται από την πλάγια δοκό στο μέσο του. Το πρόγραμμα υπολογίζει τους μειωτικούς συντελεστές χ_y και χ_z . Επιπλέον, το πρόγραμμα υπολογίζει τους συντελεστές αλληλεπίδρασης k_{ij} .
- Στο τέταρτο τμήμα παρουσιάζονται οι έλεγχοι της διατομής σε διαξονική κάμψη, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της αξονικής δύναμης, και σε διάτμηση.
- Στο τελευταίο τμήμα παρατίθεται ο έλεγχος αλληλεπίδρασης για το συνδυασμό αξονικής θλιπτικής δύναμης και διαξονικής κάμψης.



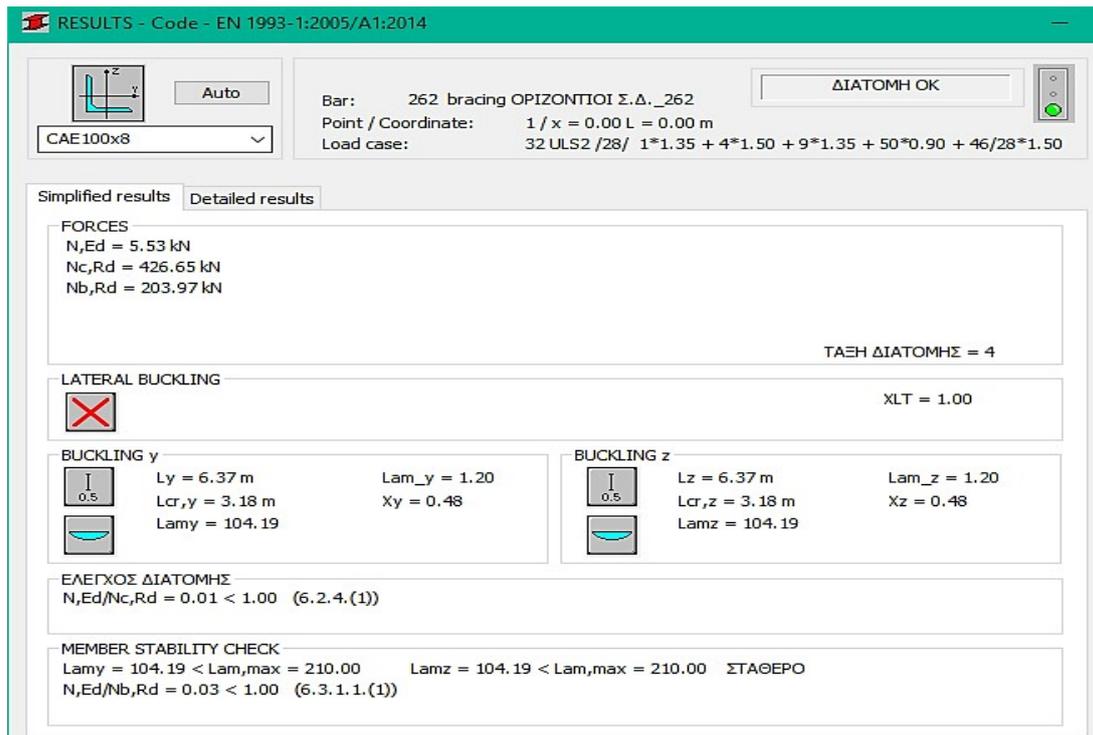
Εικόνα 5.11: Αποτελέσματα ελέγχου τμήματος ζυγώματος πλαισίου για το συνδυασμό φόρτισης ULS4



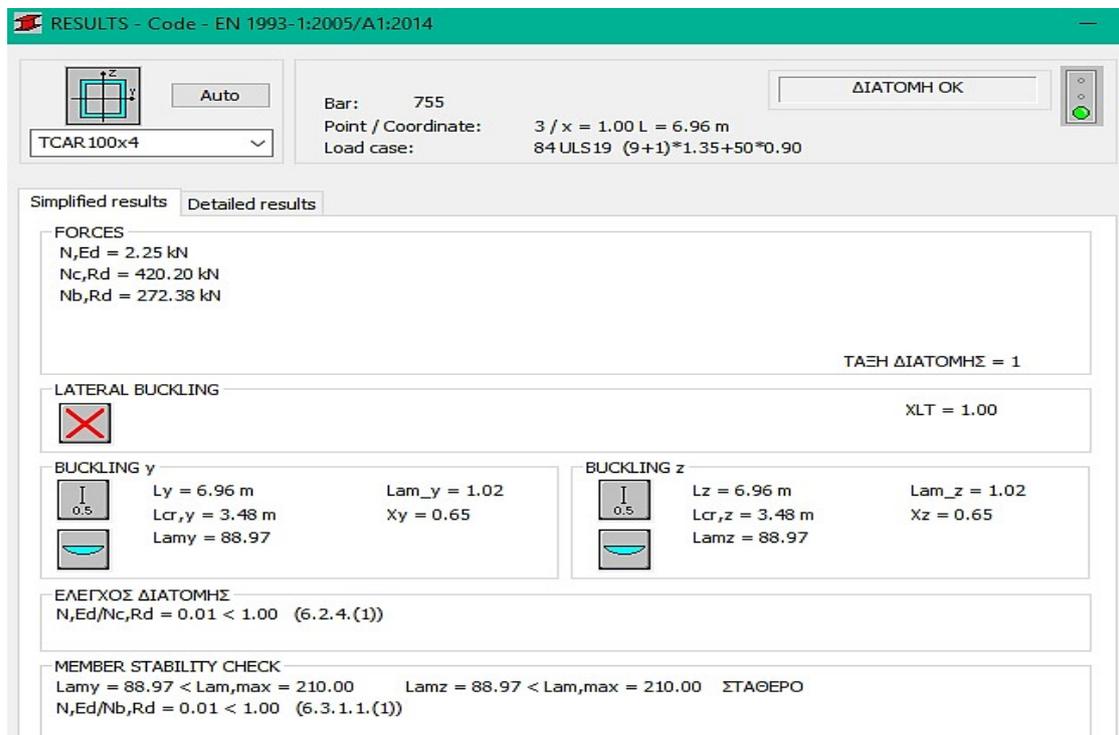
Εικόνα 5.12: Αποτελέσματα ελέγχου τεγίδας για το συνδυασμό φόρτισης ULS8



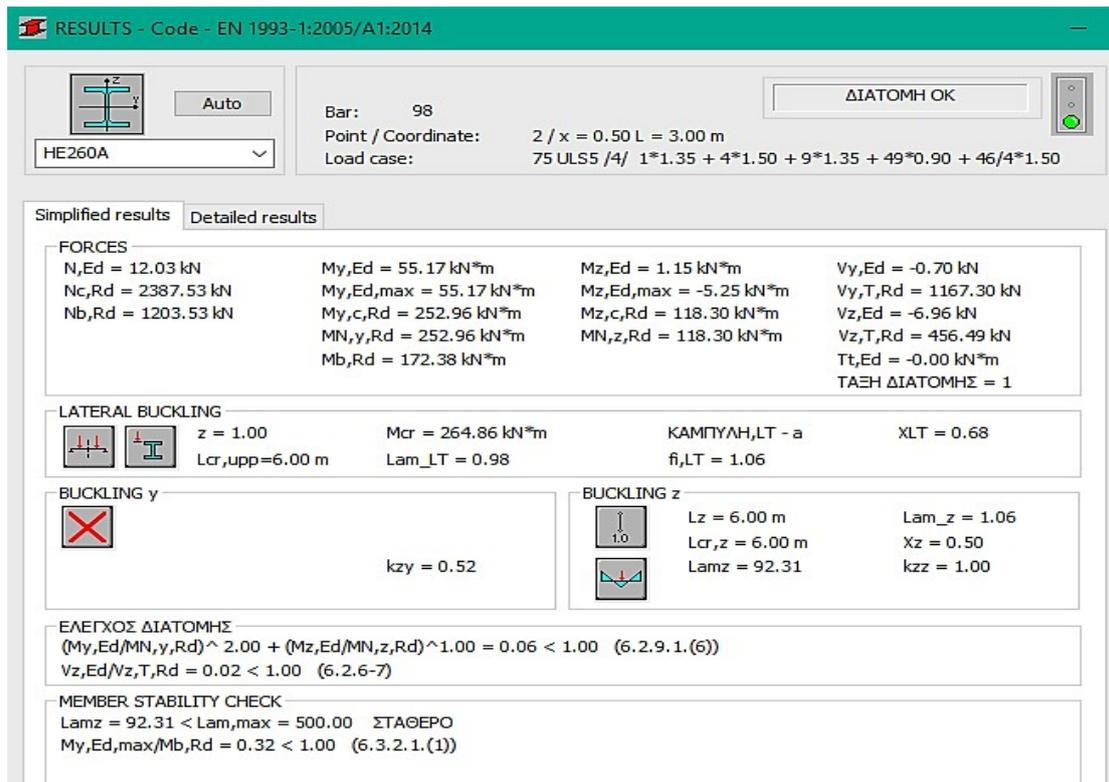
Εικόνα 5.13: Αποτελέσματα ελέγχου μηκίδας για το συνδυασμό φόρτισης ULS11



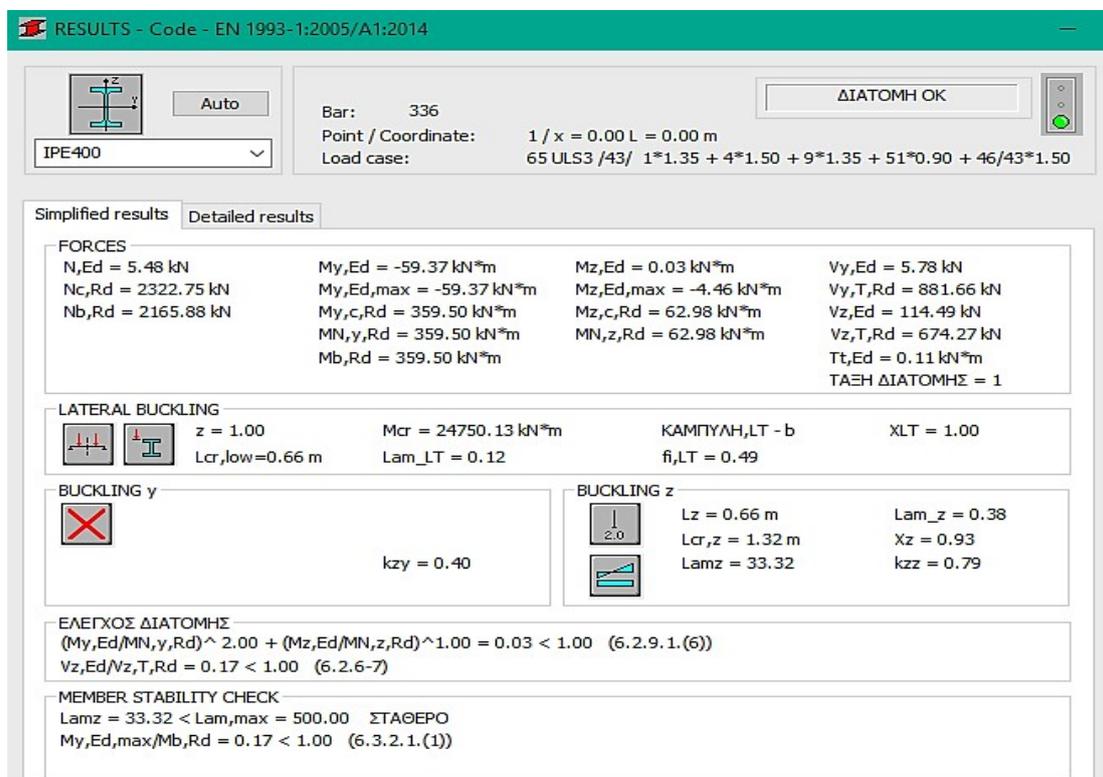
Εικόνα 5.14: Αποτελέσματα ελέγχου οριζόντιου συνδέσμου δυσκαμψίας για το συνδυασμό φόρτισης ULS2



Εικόνα 5.15: Αποτελέσματα ελέγχου κατακόρυφου συνδέσμου δυσκαμψίας για το συνδυασμό φόρτισης ULS19



Εικόνα 5.16: Έλεγχος δοκού κλίσης γερανοέφυρας για το συνδυασμό φόρτισης ULS5



Εικόνα 5.17: Έλεγχος βραχύ προβόλου (στήριξης δοκού κλίσης γερανοέφυρας) για το συνδυασμό φόρτισης ULS3

5.3 Παραμορφώσεις – Βέλη κάμψης

Οι έλεγχοι στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι εξίσου κρίσιμοι με τους ελέγχους στην οριακή κατάσταση αστοχίας, η οποία ασχολείται με την επιβεβαίωση, ότι οι μετατοπίσεις (μετακινήσεις και στροφές) της κατασκευής δεν προκαλούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Οι έλεγχοι στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας αφορούν τις παραμορφώσεις και τις ταλαντώσεις που εμφανίζονται στο φορέα υπό την επίδραση των αντίστοιχων συνδυασμών δράσεων (SLS) και σχετίζονται με τη δυσκαμψία παρά με την αντοχή του φορέα.

Οι μετατοπίσεις περιορίζονται σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην προκαλέσουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως είναι η δυσχέρεια στη λειτουργία της γερανογέφυρας. Έτσι σε αυτή την κατασκευή, ο έλεγχος των μετατοπίσεων είναι πρωταρχικής σημασίας.

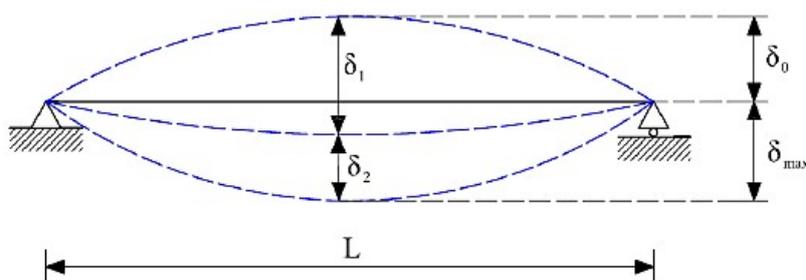
Ο σχεδιασμός στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας περιλαμβάνει τον προσδιορισμό βελών και σύγκρισή τους με τα επιτρεπόμενα όρια, τα οποία εξαρτώνται από το είδος των φερόντων ή μη φερόντων στοιχείων.

Το συνολικό βέλος δίνεται από τη σχέση: $\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$

- δ_1 είναι το βέλος κάμψης λόγω μόνιμων φορτίων

Όπου

- δ_2 είναι το βέλος κάμψης λόγω μεταβλητών φορτίων
- δ_0 είναι το αρχικό αντιβέλος (αν υπάρχει)



Εικόνα 5.18: Βέλη κάμψης

Μια κατασκευή από χάλυβα πρέπει να σχεδιάζεται και να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια λειτουργικότητας. Οι οριακές τιμές των κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων και των δυναμικών επιρροών καθορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα του EN 1993-1-1 όπου ορίζονται τα ακόλουθα:

- Για τα όρια των κατακόρυφων βελών ισχύουν οι παρακάτω τιμές:

	δ_{max}	δ_2
Μη βατές στέγες	L/200	L/250
Πατώματα και βατές στέγες	L/250	L/300

Πίνακας 5.1: Μέγιστες αποδεκτές τιμές βελών κάμψης

- Οι προβλέψεις του Ευρωκώδικα 3 σχετικά με τις οριζόντιες μετατοπίσεις είναι οι ακόλουθες:

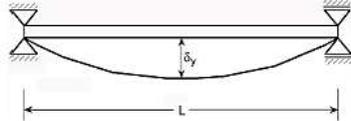
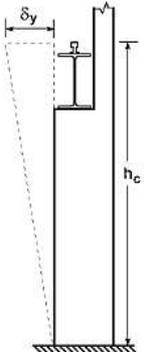
Όπου	Οριζόντιες Μετατοπίσεις	
	Μονώροφα υπόστεγα	$h/150$
	Μονώροφα κτίρια	$h/300$
	Πολυώροφα κτίρια:	
Σχετικές μετατοπίσεις ορόφων	$h/300$	
Συνολική μετατόπιση κτιρίου	$h_0/500$	

- h είναι το ύψος του ορόφου
- h_0 είναι το συνολικό ύψος του κτιρίου

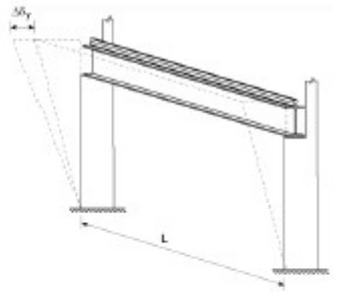
Πίνακας 5.2: Όρια οριζόντιων μετατοπίσεων

- Επιπλέον, για μονώροφα κτίρια με γερανογέφυρες, σύμφωνα με το πρότυπο EN 1993-6, τα όρια των οριζόντιων και κατακόρυφων μετατοπίσεων των μελών που συνδέονται με τη γερανογέφυρα δίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Οι οριζόντιες παραμορφώσεις των δοκών κυλίσεως περιορίζονται ώστε να αμβλύνονται οι επιπτώσεις από τη λοξή κίνηση της γερανογέφυρας.

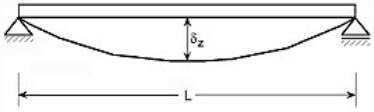
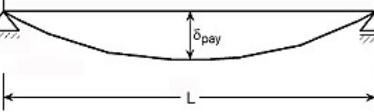
Περιγραφή της απόκλισης (παραμόρφωση ή μετακίνηση)	Σχήμα
α) Οριζόντια παραμόρφωση δ_y της δοκού κυλίσεως, μετρούμενη στην ανώτερη στάθμη της τροχιάς: $\delta_y \leq L/600$	
β) Οριζόντια μετακίνηση δ_y ενός πλαισίου (ή ενός υποστυλώματος) στη στάθμη στήριξης της γερανογέφυρας, λόγω των φορτίων από τη γερανογέφυρα: $\delta_y \leq h_c/400$ όπου: h_c είναι το ύψος μέχρι τη στάθμη στην οποία στηρίζεται η γερανογέφυρα (επί μιας τροχιάς ή ενός πέλματος)	

Οι διαφορικές πλευρικές παραμορφώσεις των γειτονικών υποστυλωμάτων πρέπει να περιορίζονται ώστε να αποφεύγονται απότομες αλλαγές στην ευθύτητα των τροχιών που μπορεί να προκαλέσουν αυξημένες δράσεις από τη λοξή κίνηση της γερανογέφυρας και παραμορφώσεις στην τελευταία.

<p>γ) Διαφορά $\Delta\delta_y$ μεταξύ των οριζοντίων μετακινήσεων γειτονικών πλαισίων (ή υποστυλωμάτων) που στηρίζουν τις δοκούς κλίσεως σε γερανογέφυρες εσωτερικού χώρου:</p> $\Delta\delta_y \leq L/600$	
<p>δ) Διαφορά $\Delta\delta_y$ μεταξύ των οριζοντίων μετακινήσεων γειτονικών υποστυλωμάτων (ή πλαισίων) που υποστηρίζουν τις δοκούς μιας εξωτερικής γερανογέφυρας :</p> <p>- λόγω των πλευρικών δυνάμεων από τη γερανογέφυρα και τον άνεμο που συνδυάζεται με αυτές:</p> $\Delta\delta_y \leq L/600$ <p>- λόγω των φορτίων ανέμου</p> $\Delta\delta_y \leq L/400$	
<p>ε) Μεταβολή της απόστασης Δs μεταξύ των κέντρων των τροχιών περιλαμβανομένης της επιρροής των θερμικών συστολοδιαστολών :</p> $\Delta s \leq 10 \text{ mm}$	

Πίνακας 5.3: Οριακές τιμές των οριζοντίων παραμορφώσεων

Το μέγεθος των κατακόρυφων παραμορφώσεων των δοκών κλίσεως πρέπει να περιορίζεται ώστε να αποφεύγονται οι υπερβολικές ταλαντώσεις τους κατά την ανύψωση του φορτίου και τη λειτουργία της γερανογέφυρας καθώς και υπερβολικές κλίσεις της τροχιάς.

Περιγραφή της παραμόρφωσης (παραμόρφωση ή μετακίνηση)	Διάγραμμα
<p>α) Κατακόρυφη παραμόρφωση δ_z μιας δοκού κλίσεως:</p> $\delta_z \leq L/600 \text{ και } \delta_z \leq 25 \text{ mm}$ <p>Η κατακόρυφη παραμόρφωση δ_z πρέπει να λαμβάνεται ως η συνολική παραμόρφωση η οφειλόμενη στα κατακόρυφα φορτία, μείον το πιθανό αρχικό αντιβέλος, όπως για το δ_{\max} στο σχήμα A1.1 του EN 1990.</p>	
<p>β) Διαφορική κατακόρυφη παραμόρφωση Δh_c των δύο δοκών κλίσεως που υποστηρίζουν μια γερανογέφυρα:</p> $\Delta h_c \leq s/600$	
<p>δ) Κατακόρυφη παραμόρφωση δ_{ray} μιας δοκού κλίσεως, λόγω μιας μονοτροχιάς, οφειλόμενη μόνο στο συγκεντρωμένο φορτίο:</p> $\delta_{\text{ray}} \leq L/500$	

Πίνακας 5.4: Οριακές τιμές των κατακόρυφων παραμορφώσεων

➤ Ο έλεγχος βελών μεταλλικής κατασκευής

Το μέγιστο βέλος, που προκύπτει από την ανάλυση του φορέα στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, για καθένα από τα παραπάνω μέλη-κόμβους συγκρίνεται με τα επιτρεπτά όρια με την επιλογή: **Steel Design → Calculation-EN 1993-1**

- Ζύγωμα

EN 1993-1:2005/A1:2014 - ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΟΥΣ (SLS) 81 96 97 103 109to111 113 139 141to160 167 169 170 174

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΛΟΓΟΣ(ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ (uy)	ΛΟΓΟΣ(ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ (uz)
81	IPE400	S275	0.00	171 SLS11 /46/	0.13	165 SLS4 /45/
96	IPE400	S275	0.00	159 SLS2 /10/	0.02	159 SLS2 /10/
97	IPE400	S275	0.00	159 SLS2 /10/	0.02	159 SLS2 /10/
103	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	165 SLS4 /16/
109	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	165 SLS4 /34/
110	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	165 SLS4 /28/
111	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*49 + 0.5*0	0.13	159 SLS2 /10/
113	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	159 SLS2 /16/
139	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	165 SLS4 /22/
141 outside beam	IPE200	S275	0.00	177 SLS13 /2/	0.01	1*52
142 outside beam	IPE200	S275	0.00	1*52	0.00	165 SLS4 /13/
143 outside beam	IPE200	S275	0.00	171 SLS11 /19/	0.00	165 SLS4 /19/
144 outside beam	IPE200	S275	0.00	0.6*4 + 1*52 + 0.5*0	0.00	165 SLS4 /25/
145 outside beam	IPE200	S275	0.00	0.6*4 + 1*52 + 0.5*0	0.01	1*52
146 outside beam	IPE200	S275	0.00	174 SLS12 /39/	0.01	1*52
147 outside beam	IPE200	S275	0.00	177 SLS13 /45/	0.00	165 SLS4 /43/
148 outside beam	IPE200	S275	0.00	159 SLS2 /51/	0.00	1*52
149 outside beam	IPE200	S275	0.00	0.5*0 + 0.6*4 + 1*51	0.00	108 SLS5
150 outside beam	IPE200	S275	0.00	177 SLS13 /2/	0.00	159 SLS2 /2/
151 outside beam	IPE200	S275	0.00	1*52	0.00	159 SLS2 /13/
152 outside beam	IPE200	S275	0.00	171 SLS11 /19/	0.00	159 SLS2 /19/
153 outside beam	IPE200	S275	0.00	0.6*4 + 1*52 + 0.5*0	0.00	159 SLS2 /27/
154 outside beam	IPE200	S275	0.00	0.6*4 + 1*52 + 0.5*0	0.00	159 SLS2 /26/
155 outside beam	IPE200	S275	0.00	174 SLS12 /39/	0.00	159 SLS2 /39/
156 outside beam	IPE200	S275	0.00	177 SLS13 /40/	0.00	159 SLS2 /43/
157 outside beam	IPE200	S275	0.00	159 SLS2 /51/	0.00	1*50
158 outside beam	IPE200	S275	0.00	0.5*0 + 0.6*4 + 1*51	0.00	108 SLS5
159	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	159 SLS2 /34/
160	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	159 SLS2 /22/
167	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	165 SLS4 /46/
169	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	159 SLS2 /28/
170	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.13	159 SLS2 /46/
174	IPE400	S275	0.00	0.6*4 + 1*49 + 0.5*0	0.13	159 SLS2 /10/
351	IPE400	S275	0.01	1*51	0.08	165 SLS4 /49/
352	IPE400	S275	0.01	1*51	0.08	165 SLS4 /49/
410 outside beam	IPE200	S275	0.01	0.6*4 + 1*51 + 0.5*0	0.00	108 SLS5

Η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση προκύπτει για το συνδυασμό SLS4 και είναι ίση με 0.8cm:

RESULTS - Code - EN 1993-1:2005/A1:2014

Bar: 109

ΔΙΑΤΟΜΗ OK

IPE400

Displacements Detailed results

Bar deflection

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 6.1 cm ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
 Governing load case: 171 SLS11 /28/ 1*1.00 + 4*0.60 + 9*1.00 + 51*1.00 +

uz = 0.8 cm < uz max = L/200.00 = 6.1 cm ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
 Governing load case: 165 SLS4 /34/ 1*1.00 + 4*1.00 + 9*1.00 + 49*0.60 +

u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/250.00 = 4.9 cm ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
 Governing load case: 0.6*4 + 1*51 + 0.5*0

u inst,z = 0.4 cm < u inst,max,z = L/250.00 = 4.9 cm ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
 Governing load case: 0.6*4 + 1*50 + 0.5*0

Πίνακας 5.5: Έλεγχος ζυγώματος

- Τεγίδα

Αν για τις τεγίδες η διατομή ήταν IPE100, η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση δεν επαρκεί. Μέσω της επιλογής (**Code group design**) το πρόγραμμα, μπορεί αυτόματα να βρει την επόμενη καλύτερη διατομή (IPE140) ώστε να ανταποκρίνεται στους ελέγχους. Στη συνέχεια ο χρήστης του προγράμματος με την επιλογή (**Change all**) αλλάζει αυτόματα όλες τις τεγίδες σε IPE 140.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ (SLS) 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΝΥΜΑΤΑ

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΛΟΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ (uz)
ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 4 IPE 100 CHANGE				
697	IPE 140	S275	0.73	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0

Change all

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΛΟΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ (uz)
80	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
82	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
104	IPE 140	S275	0.17	165 SLS4 /2/
105	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
106	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
108	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
112	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
114	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
161	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
163	IPE 140	S275	0.30	1*52
165	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
166	IPE 140	S275	0.30	108 SLS5
168	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
172	IPE 140	S275	0.30	1*50
173	IPE 140	S275	0.30	1*52
175	IPE 140	S275	0.30	108 SLS5
176	IPE 140	S275	0.30	108 SLS5
177	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
178	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
180	IPE 140	S275	0.30	1*52
182	IPE 140	S275	0.30	1*50
184	IPE 140	S275	0.29	108 SLS5
342	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
344	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
487	IPE 140	S275	0.17	108 SLS5
490	IPE 140	S275	0.14	165 SLS4 /2/
491	IPE 140	S275	0.31	1*52
492	IPE 140	S275	0.67	1*4 + 0.6*49 + 0.5*0
494	IPE 140	S275	0.26	108 SLS5
496	IPE 140	S275	0.26	108 SLS5
497	IPE 140	S275	0.30	108 SLS5
498	IPE 140	S275	0.26	108 SLS5
499	IPE 140	S275	0.70	1*4 + 0.6*51 + 0.5*0
500	IPE 140	S275	0.26	108 SLS5
501	IPE 140	S275	0.30	108 SLS5
502	IPE 140	S275	0.26	108 SLS5

Η μέγιστη κάθετη μετατόπιση προκύπτει για το συνδυασμό SLS5 και είναι ίση με 0.7cm.

RESULTS - Code - EN 1993-1:2005/A1:2014

Bar: 166

ΔΙΑΤΟΜΗ OK

IPE 140

Displacements Detailed results

Bar deflection

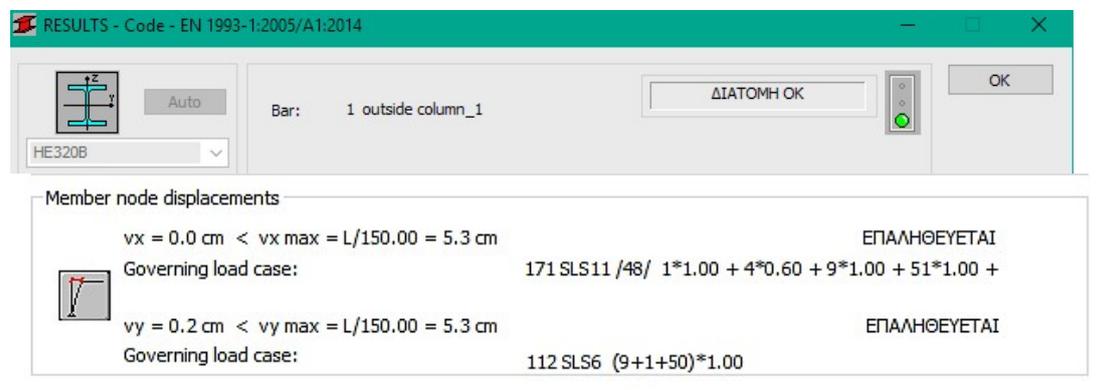
uz = 0.9 cm < uz max = L/200.00 = 3.0 cm ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
 Governing load case: 108 SLS5 (9+1+4)*1.00

u inst,z = 0.7 cm < u inst,max,z = L/250.00 = 2.4 cm ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
 Governing load case: 1*52

Πίνακας 5.6: Έλεγχος Τεγίδας

- Κεφαλή υποστυλώματος

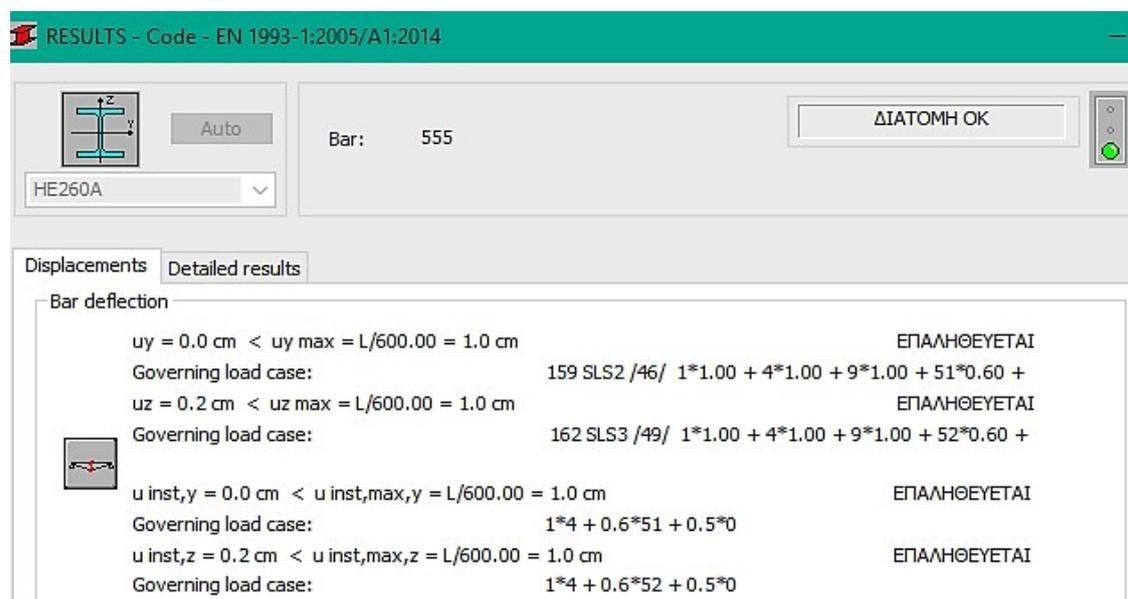
Η μέγιστη οριζόντια μετατόπιση προκύπτει για το συνδυασμό SLS6 και είναι ίση με 0.2cm.



Πίνακας 5.7: Έλεγχος Κεφαλή υποστυλώματος

- Δοκός κύλισης γερανογέφυρας

Η μέγιστη κάθετη μετατόπιση προκύπτει για το συνδυασμό SLS3 και είναι ίση με 0.2cm.

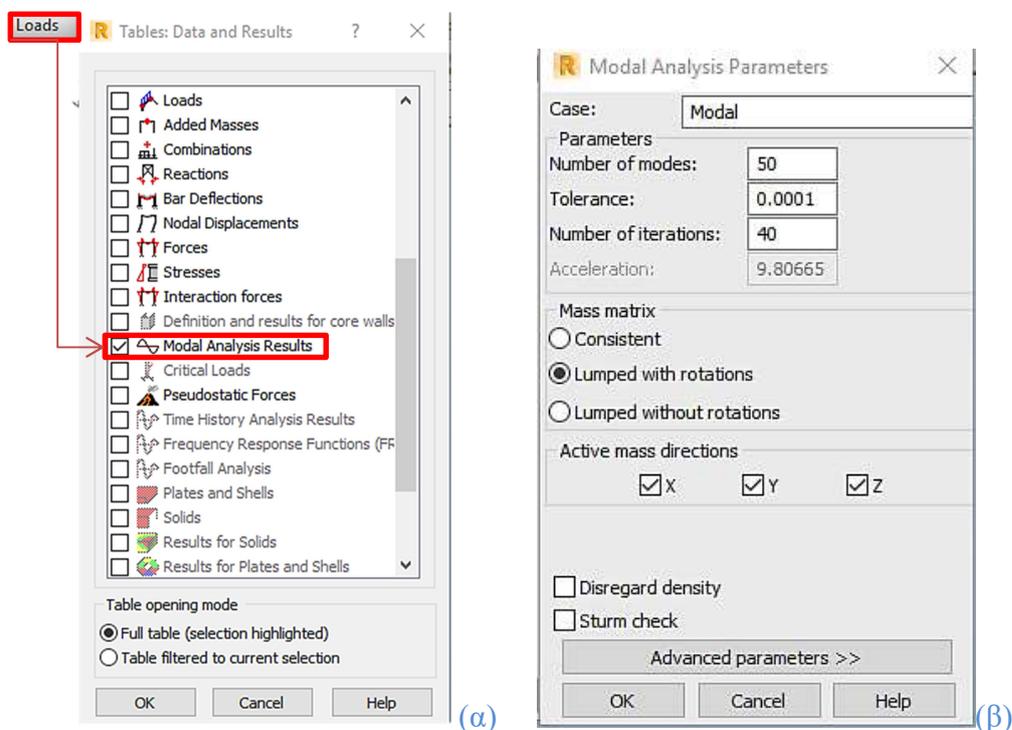


Πίνακας 5.8: Έλεγχος δοκού κύλισης γερανογέφυρας

Επομένως ο έλεγχος βελών και μετατοπίσεων ικανοποιείται.

5.4 Ιδιοπερίοδος φορέα

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως αρχικά, είχαμε ορίσει δέκα περιπτώσεις ιδιομορφών (Modal Analysis Parameters → Number of modes). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών ταλαντούμενης μάζας για την διεύθυνση X, να φθάνει το 10% κάτι το οποίο δεν ήταν αποδεκτό. Έτσι από το πρόγραμμα Robot μέσω της επιλογής **Loads Analysis** → **Types Modal** (Εικόνα 5.19 (β)) αυξήσαμε τις περιπτώσεις (Number of modes: 50) μέχρι το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών να φθάνει το 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας για τις διευθύνσεις X και Y. Κατά Z το ποσοστό συμμετέχουσας μάζας είναι μικρό αλλά δεν είναι κρίσιμο στο σχεδιασμό, οπότε είναι αποδεκτό.



Εικόνα 5.19: Modal Analysis Results (α) και Modal Analysis Parameters (β)

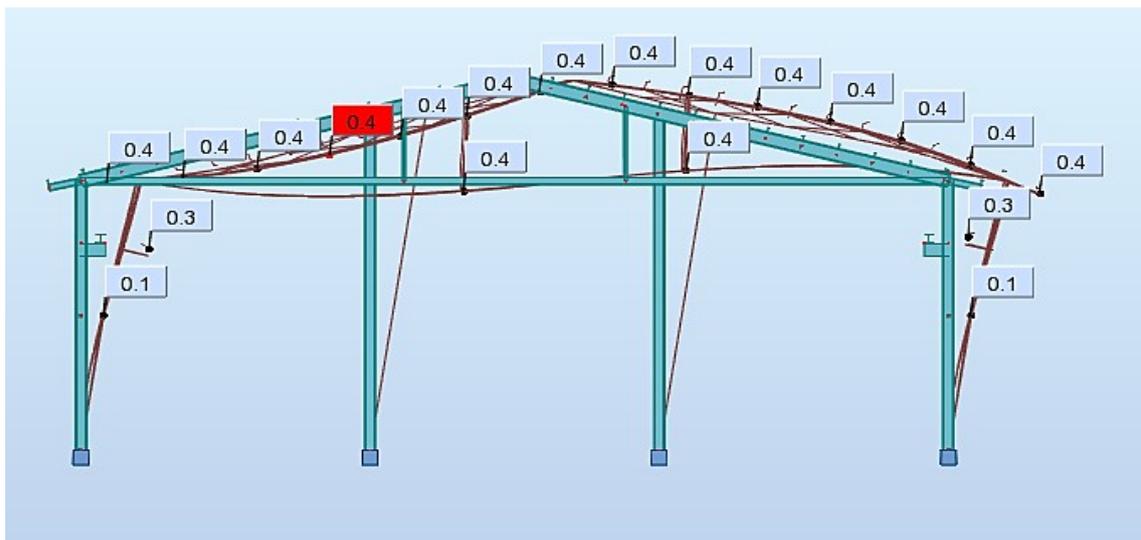
Στον Πίνακα 5.9 δίνονται οι ιδιοπερίοδοι, τα αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής κάθε ιδιομορφής και η θεωρούμενη μάζα του φορέα. Το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών φθάνει το 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας για τις διευθύνσεις X και Y στην ιδιομορφή 45 και τα αποτελέσματα εμφανίζονται από το πρόγραμμα Robot ακολουθώντας τα βήματα: (**Loads** → **Tables** → **Modal Analysis Results**).

Πίνακας 5.9: Ιδιοπερίοδοι και ποσοστά συμμετοχής μαζών ανά ιδιομορφή

ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (sec)	ΣΧΕΤ. ΜΑΖΑ Ux(%)	ΣΧΕΤ. ΜΑΖΑ Uy(%)	ΣΧΕΤ. ΜΑΖΑ Uz(%)	ΤΡΕΧ. ΜΑΖΑ Ux(%)	ΤΡΕΧ. ΜΑΖΑ Uy(%)	ΤΡΕΧ. ΜΑΖΑ Uz(%)	ΣΥΝΟΛ. ΜΑΖΑ Ux(Kg)	ΣΥΝΟΛ. ΜΑΖΑ Uy(Kg)	ΣΥΝΟΛ. ΜΑΖΑ Uz(Kg)
1	1.59	0.63	10.98	0.00	0.00	10.98	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
2	1.90	0.53	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
3	2.00	0.50	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
4	2.03	0.49	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
5	2.04	0.49	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
6	2.09	0.48	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
7	2.09	0.48	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
8	2.09	0.48	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
9	2.09	0.48	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
10	2.35	0.43	10.99	91.36	0.00	0.00	91.36	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
11	3.35	0.30	10.99	91.42	0.00	0.00	0.07	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
12	4.58	0.22	11.05	91.42	0.00	0.06	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
13	4.83	0.21	11.09	91.42	0.00	0.04	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
14	4.89	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.01	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
15	4.95	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
16	4.96	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
17	4.97	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
18	4.97	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
19	4.97	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
20	4.98	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
21	4.98	0.20	11.09	91.43	0.00	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
22	5.22	0.19	11.09	91.48	0.00	0.00	0.05	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
23	5.98	0.17	11.30	91.48	0.00	0.21	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
24	6.51	0.15	11.30	91.49	0.00	0.00	0.01	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
25	7.10	0.14	11.30	91.51	0.00	0.00	0.02	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
26	7.17	0.14	70.19	91.51	0.12	58.89	0.00	0.11	81345.45	81345.45	81345.45
27	7.95	0.13	70.19	91.51	0.12	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
28	7.96	0.13	70.19	91.51	0.12	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
29	7.96	0.13	70.19	91.51	0.12	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
30	8.01	0.12	70.19	91.51	33.05	0.00	0.00	32.94	81345.45	81345.45	81345.45
31	8.05	0.12	70.20	91.51	33.06	0.01	0.00	0.01	81345.45	81345.45	81345.45
32	8.08	0.12	70.20	91.51	35.10	0.00	0.00	2.04	81345.45	81345.45	81345.45
33	8.10	0.12	70.20	91.67	35.10	0.00	0.16	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
34	8.12	0.12	70.20	93.28	35.10	0.00	1.61	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
35	8.25	0.12	70.20	94.78	35.10	0.00	1.50	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
36	8.28	0.12	70.20	94.78	43.59	0.00	0.00	8.49	81345.45	81345.45	81345.45
37	8.31	0.12	72.26	94.78	43.86	2.05	0.00	0.27	81345.45	81345.45	81345.45
38	8.49	0.12	72.26	94.84	43.86	0.00	0.07	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
39	8.71	0.11	88.41	94.84	43.89	16.15	0.00	0.03	81345.45	81345.45	81345.45
40	8.78	0.11	88.41	95.18	43.89	0.00	0.34	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
41	8.78	0.11	88.42	95.18	44.31	0.02	0.00	0.42	81345.45	81345.45	81345.45
40	8.92	0.11	88.43	95.18	44.31	0.01	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
43	8.99	0.11	88.43	95.22	44.31	0.00	0.04	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
44	9.16	0.11	88.51	95.22	44.31	0.08	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
45	9.22	0.11	91.23	95.22	45.01	2.73	0.00	0.70	81345.45	81345.45	81345.45
46	11.02	0.09	91.23	95.22	45.01	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
47	11.45	0.09	91.23	95.22	45.01	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
48	11.75	0.09	91.23	95.22	45.01	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
49	12.49	0.08	91.24	95.22	45.01	0.01	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45
50	12.54	0.08	91.24	95.22	45.01	0.00	0.00	0.00	81345.45	81345.45	81345.45

Οι μέγιστες δρώσεις μάζες, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.9, για σεισμό κατά X και Y εμφανίζονται κατά τις ιδιομορφές 10 και 26 αντίστοιχα.

Στις Εικόνες 5.20 και 5.21 παρουσιάζονται οι παραμορφώσεις του φορέα για τη θεμελιώδη ιδιομορφή ταλάντωσης με περίοδο $T_{10} = 0.43\text{sec}$ και για τη δεσπόζουσα ιδιομορφή για σεισμό κατά X με περίοδο $T_{26} = 0.14\text{sec}$.



Εικόνα 5.20: Θεμελιώδης ιδιομορφή ταλάντωσης ($T_{10} = 0.43\text{sec}$)

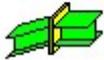


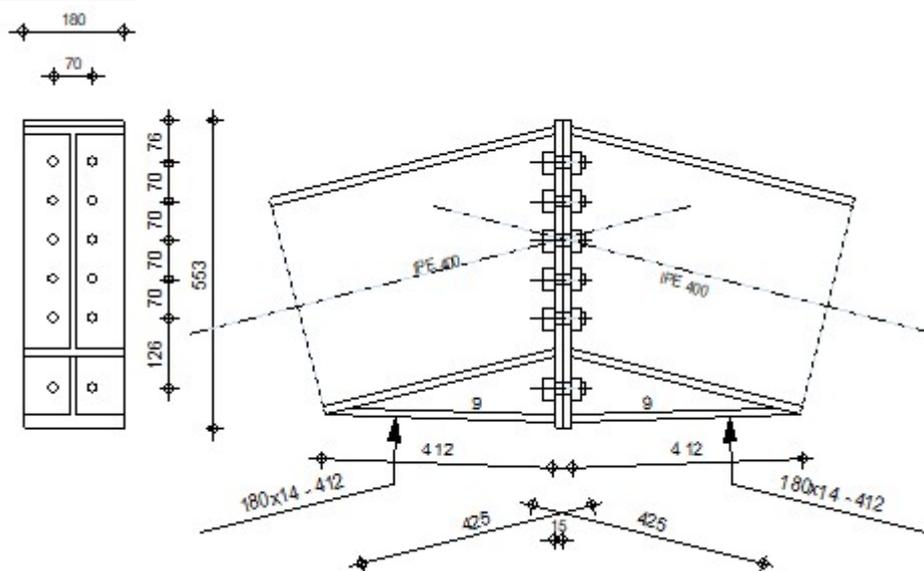
Εικόνα 5.21: Δεσπόζουσα ιδιομορφή για σεισμό κατά X-X ($T_{26} = 0.14\text{sec}$)

6 Συνδέσεις

Μια μεταλλική κατασκευή αποτελείται από επιμέρους προκατασκευασμένα τμήματα, τα οποία μεταφέρονται στο έργο και συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους, ώστε να συνθέσουν ένα συνολικό φορέα. Ο σκοπός των συνδέσεων είναι η διαμόρφωση των μελών και των προκατασκευασμένων τμημάτων και η αποκατάσταση της συνέχειας των μελών και των επιμέρους τμημάτων.

Ο μηχανικός που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα Robot, μπορεί να κάνει έλεγχο ως προς τις συνδέσεις μελών αυτόματα (**Steel design** → **Connections**).

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΑΚΤΩΜΕΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΖΥΓΩΜΑ ΜΕ ΖΥΓΩΜΑ EN 1993-1-8:2005/AC:2009	 ΛΟΓΟΣ 0.09
---	--	--



6.1 Γενικό

ΣΥΝΔΕΣΗ no.:	2
Όνομα σύνδεσης:	Beam-Beam
ΚΟΜΒΟΣ ΦΟΡΕΑ	108

ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ: 15, 15

6.2 Γεωμετρία

6.2.1 Αριστερή πλευρά

6.2.2 Δοκός

ΔΙΑΤΟΜΗ:			ΙΡΕ 400
ΡΑΒΔΟΣ no.:			15
$\alpha =$	-165.7	[Deg]	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ

ΥΛΙΚΟ S275

$f_{yb} =$	275.00	[MPa]	ΑΝΤΟΧΗ
------------	--------	-------	--------

6.2.3 Δεξιά πλευρά

6.2.4 Δοκός

ΔΙΑΤΟΜΗ:			ΙΡΕ 400
ΡΑΒΔΟΣ no.:			15
$\alpha =$	-14.3	[Deg]	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ

ΥΛΙΚΟ S275

$f_{yb} =$	275.00	[MPa]	ΑΝΤΟΧΗ
------------	--------	-------	--------

6.2.5 Κοχλίες

$d =$	20	[mm]	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ =	8.8		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ
$F_{tRd} =$	141.12	[kN]	Εφελκυστική αντοχή κοχλία
$n_h =$	2		ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ
$n_v =$	6		ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΕΙΡΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ
$h_1 =$	76	[mm]	Απόσταση μεταξύ πρώτου κοχλία και άνω άκρου λεπιδας σύνδεσης
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $e_i =$			70 [mm]
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $p_i =$			70; 70; 70; 70; 126 [mm]

6.2.6 Πλάκα

$h_{pr} =$	553	[mm]	ΥΨΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ
$b_{pr} =$	180	[mm]	ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ
$t_{pr} =$	15	[mm]	ΠΑΧΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ

ΥΛΙΚΟ S275

$f_{ypr} =$	275.00	[MPa]	ΑΝΤΟΧΗ
-------------	--------	-------	--------

6.2.7 Κάτω ενίσχυση

$w_{rd} =$	180	[mm]	ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ
$t_{fd} =$	14	[mm]	ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ
$h_{rd} =$	120	[mm]	ΥΨΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ
$t_{wrd} =$	9	[mm]	ΠΑΧΟΣ ΚΟΡΜΟΥ
$l_{rd} =$	425	[mm]	ΜΗΚΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ
$\alpha_d =$	2.1	[Deg]	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ

ΥΛΙΚΟ S275

$f_{ybu} =$	275.00	[MPa]	ΑΝΤΟΧΗ
-------------	--------	-------	--------

6.2.8 Συγκολλήσεις εξωραφής

$a_w =$	7	[mm]	ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΟΡΜΟΥ
$a_f =$	10	[mm]	ΚΟΛΛΗΣΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ
$a_{fd} =$	5	[mm]	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

6.2.9 Συντελεστές υλικού

$\gamma_{M0} =$	1.00	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1.00	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1.25	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1.25	ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	[2.2]

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΧΡΗΣΤΗ

$M_{b1,Ed} =$	-26.80	[kN*m]	ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ
$V_{b1,Ed} =$	-0.23	[kN]	ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ
$N_{b1,Ed} =$	29.79	[kN]	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ

6.3 Αποτελέσματα

6.3.1 Αντοχές δοκαριού

$N_{tb,Rd} =$	2322.75	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	EN1993-1-1:[6.2.3]
$V_{cb,Rd} =$	849.34	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$		0.00 < 1.00		ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0.00)
$M_{b,pl,Rd} =$	359.50	[kN*m]	ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ (ΧΩ-ΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{cb,Rd} =$	509.54	[kN*m]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	EN1993-1-1:[6.2.5]
$F_{c,fb,Rd} =$	982.04	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΥ	[6.2.6.7.(1)]

6.3.2 Αντοχή σύνδεσης σε εφελκυσμό

$F_{t,Rd} =$	141.12	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]
$B_{p,Rd} =$	291.79	[kN]	Διατηρητική διατμητική αντοχή κοχλία	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]
$N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$				
$N_{j,Rd} =$	1693.44	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	[6.2]
$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$		0.02 < 1.00		ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0.02)

6.3.3 Αντοχή σύνδεσης σε κάμψη

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	465	257.17	-	-	257.17	338.51	282.24	583.58
2	339	205.73	-	-	253.30	338.51	282.24	583.58
3	269	191.59	-	-	253.30	338.51	282.24	583.58
4	199	139.51	-	-	253.30	338.51	282.24	583.58
5	129	165.55	-	-	253.30	338.51	282.24	583.58
6	59	22.49	-	-	253.30	338.51	282.24	583.58

ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ $M_{j,Rd}$

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$M_{j,Rd} =$	291.34	[kN*m]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	[6.2]
--------------	--------	--------	--------------------------	-------

$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$		0.09 < 1.00		ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0.09)
---------------------------------	--	-------------	--	---------------------

6.3.4 Αντοχή σύνδεσης σε διάτμηση

$V_{j,Rd} =$	1337.88	[kN]	ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ	[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]
$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$			0.00 < 1.00	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0.00)

6.3.5 Αντοχή συγκόλλησης

$\sqrt{[\sigma_{\perp,max}^2 + 3*(\tau_{\perp,max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	19.24 < 404.71	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0.05)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	17.94 < 404.71	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0.04)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	9.62 < 309.60	ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ	(0.03)

6.3.6 Ακαμψία σύνδεσης

$S_{j,ini} =$	462396.38	[kN*m]	ΑΡΧΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ	[6.3.1.(4)]
$S_j =$	462396.38	[kN*m]	ΤΕΛΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ	[6.3.1.(4)]

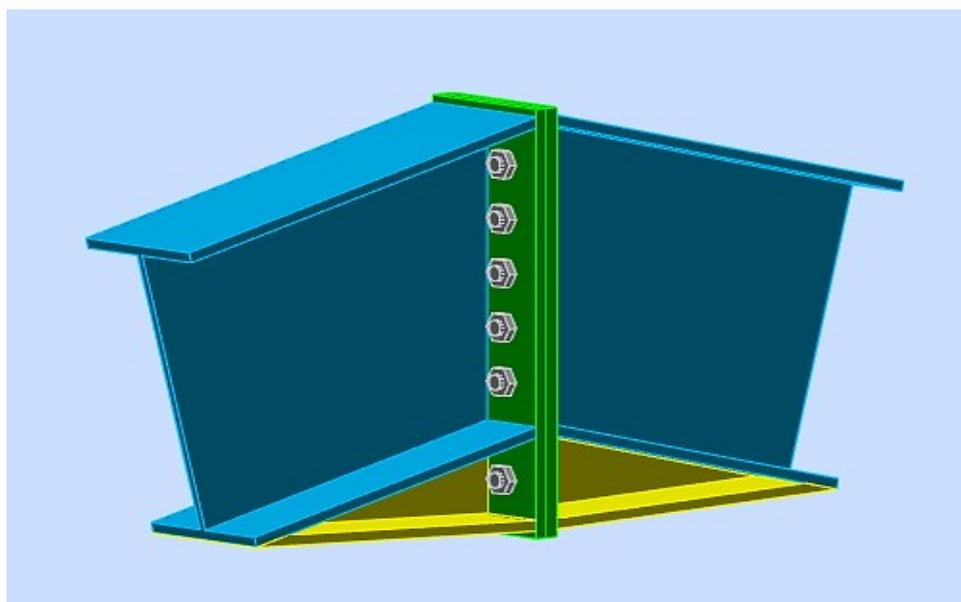
ΚΑΤΗΓΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΑΚΑΜΨΙΑΣ.

$S_{j,rig} =$	32040.68	[kN*m]	ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	[5.2.2.5]
$S_{j,pin} =$	2002.54	[kN*m]	ΑΚΑΜΨΙΑ ΑΡΘΡΩΜΕΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	[5.2.2.5]
$S_{j,ini} \geq S_{j,rig}$ ΣΤΑΘΕΡΗ				

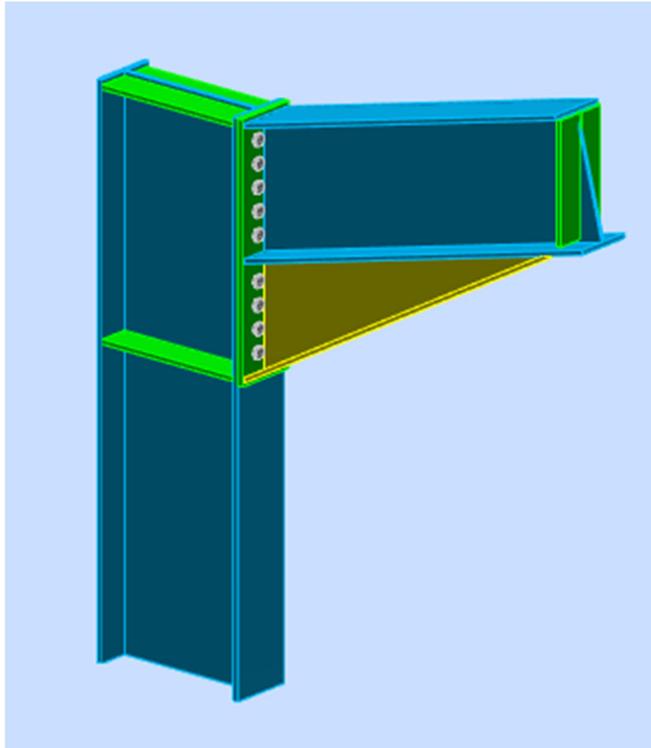
6.3.7 Πιο αδύναμο τμήμα:

ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΣ-ΘΛΙΨΗ

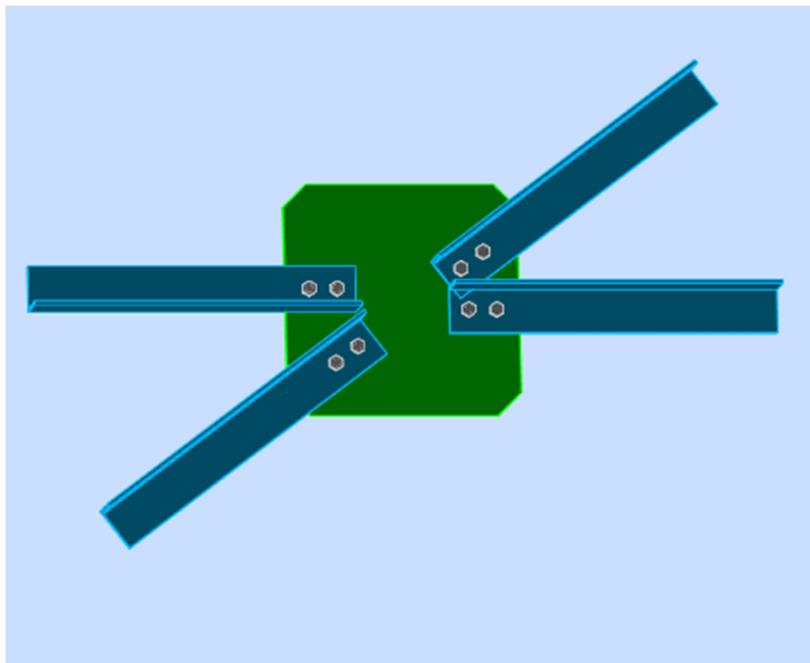
Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ	ΛΟΓΟΣ	0.09
---	-------	------



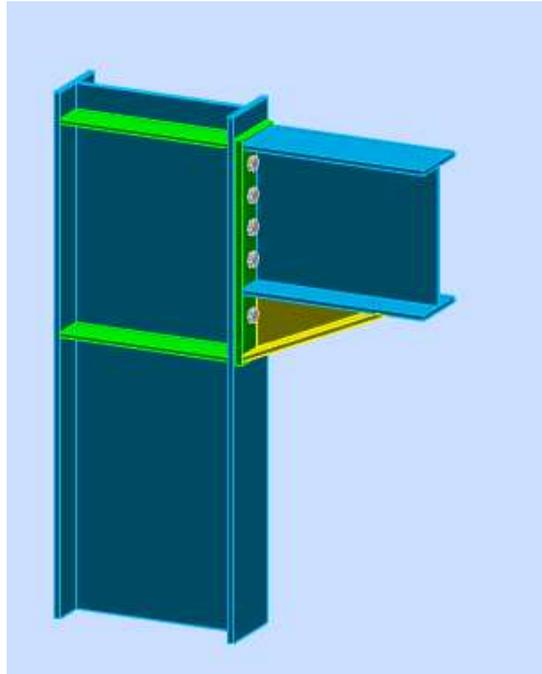
Εικόνα 6.1: Σύνδεση μεταξύ ζυγμάτων ΙΡΕ400



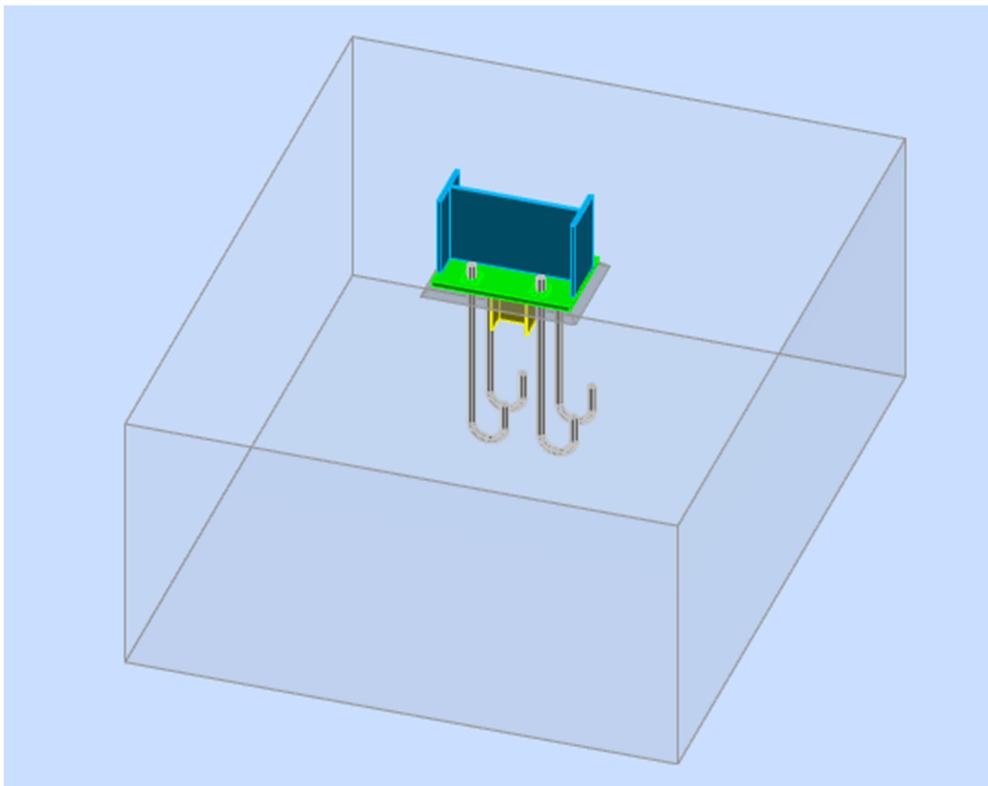
Εικόνα 6.2: Σύνδεση υποστύλωσης ΗΕΒ320 με ζύγωμα ΙΡΕ400



Εικόνα 6.3: Σύνδεση οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας



Εικόνα 6.4: Σύνδεση υποστύλματος και κοντού προβόλου στήριξης κινητήριας δοκού γερανογέφυρας



Εικόνα 6.5: Σύνδεση υποστύλματος ΗΕΒ320 με θεμέλιο σκυροδέματος C20/25

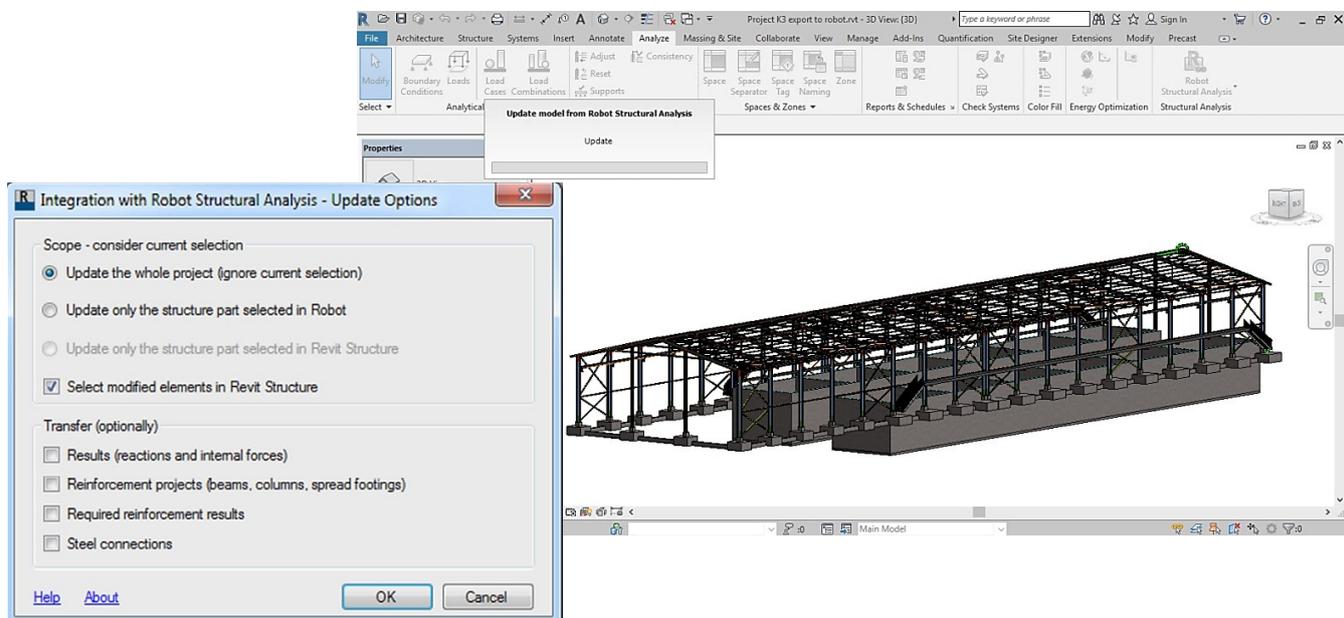
7 Ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ Revit και Robot

7.1 Εξαγωγή τελικού φορέα από το Robot στο Revit της Autodesk

Οι επιλογές για την ενημέρωση ενός μοντέλου Revit από το Robot Structural Analysis είναι παρόμοια με τις επιλογές αποστολής ενός μοντέλου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι εκτός από την ενημέρωση του συνολικού φορέα, μπορούμε να ενημερώσουμε επιλεγμένα δομικά στοιχεία είτε στο Robot Structural Analysis είτε στο Revit. Εάν επιλέξουμε **Select modified elements** "Επιλογή τροποποιημένων στοιχείων" (Εικόνα 7.1), το λογισμικό του Revit θα επισημάνει όλα τα νέα ή αναθεωρημένα στοιχεία που ενημερώθηκαν από το Robot, επιτρέποντας στον χρήστη να αναθεωρήσει ευκολότερα το μοντέλο. Μέσα από το αναλυτικό μοντέλο, το λογισμικό μπορεί:

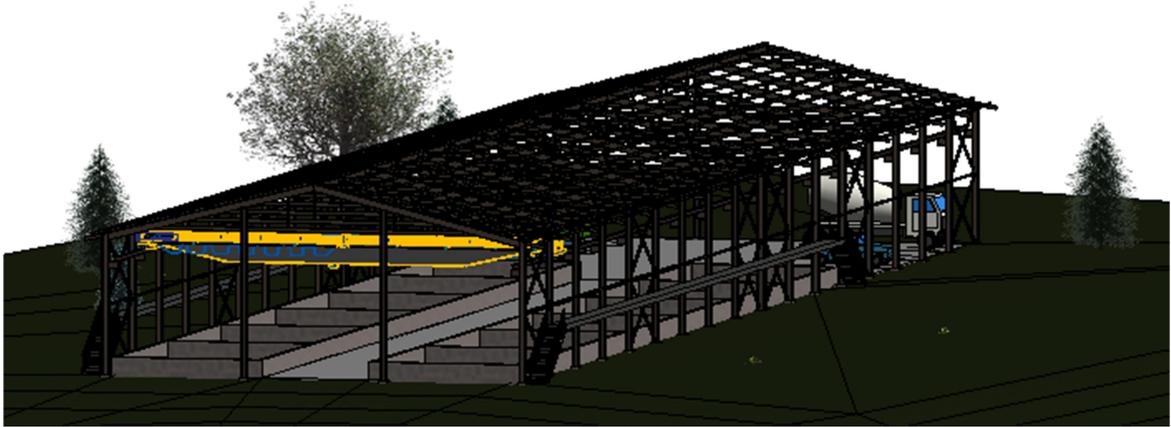
- Να ενημερώσει δομικά στοιχεία
- Να ενημερώσει τις θέσεις αναλυτικών γραμμών
- Να προσθέσει ή αφαιρέσει δομικά στοιχεία

Επιπλέον, το λογισμικό μπορεί να μεταφέρει αντιδράσεις και εσωτερικές δυνάμεις που υπολογίζονται στο Robot, στο Revit για περαιτέρω αναφορές.

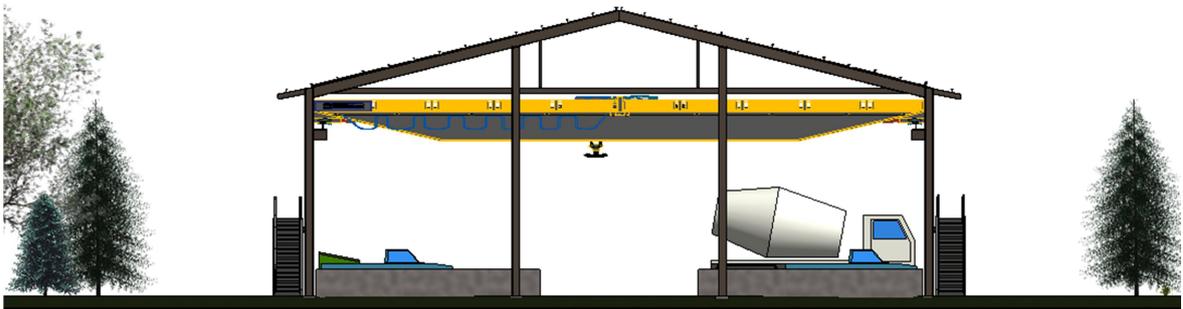


Εικόνα 7.1: Επιλογές ενημέρωσης φορέα στο Revit χρησιμοποιώντας δεδομένα από το Robot

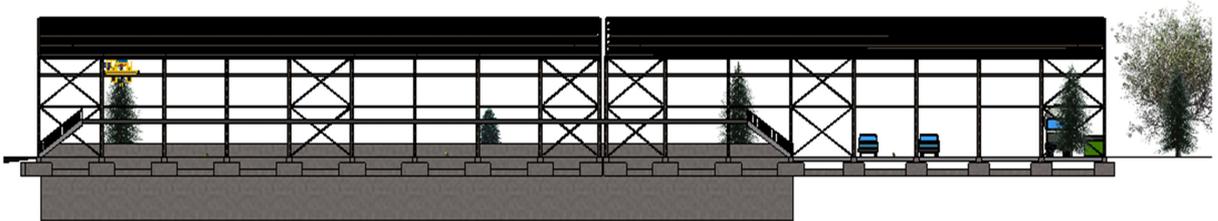
7.2 Τελική τρισδιάστατη παρουσίαση μεταλλικής κατασκευής από το πρόγραμμα Revit της Autodesk 2018



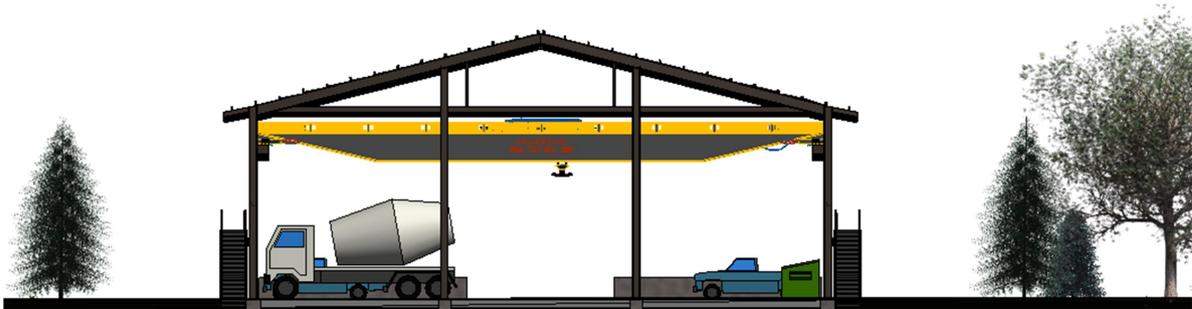
Εικόνα 7.2: Ρεαλιστική 3D απεικόνιση μεταλλικής κατασκευής



Εικόνα 7.3: Δυτική πρόσοψη μεταλλικής κατασκευής



Εικόνα 7.4: Όψη μεταλλικής κατασκευής



Εικόνα 7.5: Ανατολική πρόσοψη μεταλλικής κατασκευής



Εικόνα 7.6: Κάτοψη μεταλλικής κατασκευής

Τα τελικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μεταλλικής κατασκευής είναι τα εξής:

Τα υποστυλώματα από **IPE 500** μετατράπηκαν σε **HEB 320** και για τους μετωπικούς στύλους παρέμειναν **HEA 300**. Ο σκελετός του υπόστεγου απαρτίζεται (χωρίς να έχουν αλλάξει) από ζυγώματα **IPE 400**. Για την αποφυγή πλευρικών ωθήσεων υπό τα κατακόρυφα φορτία, αυξήθηκε η διατομή των ελκυστήρων από **HEA 160** σε **HEA 260** και στις ενδιάμεσες θέσεις οι αναρτήρες παρέμειναν ως έχει **HEA 100**. Στη στέγη οι τεγίδες διατομής αυξήθηκαν από **IPE 100** σε **IPE 140** ενώ η μεταξύ τους απόσταση παρέμεινε ίδια. Επίσης στη στέγη οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας άλλαξαν από **CAE 80x8** σε **CAE 100x8**. Για τους κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους, όπως και την κεφαλοδοκό και τις ενδιάμεσα μηκίδες χρησιμοποιήθηκε (χωρίς να γίνει απαίτηση αλλαγής) τετραγωνική διατομή **TCAR 100X4**. Για την γερανογέφυρα διατηρήθηκε η αρχική διατομή για δοκούς κυλίσεως **HEA 260**, τα οποία στηρίζονται από κοντούς προβόλους **IPE 400** όπως ήταν και στην αρχική διατομή.

Βιβλιογραφία

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling
- [2] Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston : « BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers Designers, Engineers, and Contractors Second Edition » Εκδόσεις John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Autodesk Robot Structural Analysis Professional Training Manual, 2011
- [4] <https://3dwarehouse.sketchup.com>
- [5] Lynda.com® Official Site
- [6] <https://academy.autodesk.com>
- [7] <https://knowledge.autodesk.com/Revit>
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit
- [9] Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ.: «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ Με ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- [10] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1, Δράσεις, Μέρος 1-1:Γενικές δράσεις-Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια (EN1991)
- [11] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1, Δράσεις επί των κατασκευών, Μέρος 1.3 : Φορτία χιονιού (EN 1991-1-3)
- [12] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1, Δράσεις στις κατασκευές, Μέρος 1-4 : Γενικές Δράσεις - Δράσεις ανέμου (EN 1991-1-4)
- [13] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3, Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια (EN1993-1-1:2005)
- [14] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3, Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, Μέρος 1-8: Σχεδιασμός κόμβων (EN1993-1-8:2003)
- [15] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3-Μέρος 6, Κατασκευές που υποστηρίζουν γερανογέφυρες (EN 1993-6)
- [16] Γερανογέφυρα (<http://structuralofengineering.blogspot.com/basic crane components>)
- [17] <http://mycourses.ntua.gr/document/ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙΙ ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΔΟΚΟΙ ΚΥΛΙΣΕΩΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΩΝ>

- [18] “Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός” (Ε.Α.Κ.), Εκδόσεις Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα 2001.
- [19] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 8, Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτήρια (EN1998-1:2004)
- [20] Δ. Παπασταματίου, Ι. Ψυχάρης, “Βοηθητικές σημειώσεις αντισεισμικής τεχνολογίας”, Εκδόσεις Εθνικού Πολυτεχνείου, Αθήνα 2001