



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



Στατική Ανάλυση Θερμοκηπιακών Κατασκευών

Εκπόνηση : Ντόβα Ευμορφία, Πολιτικός Μηχανικός Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Στατική Ανάλυση Θερμοκηπιακών Κατασκευών

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

- Κίττας Κωνσταντίνος, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Φ.Π. & Α.Π.
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Επιβλέπων Καθηγητής)
- Σοφιανόπουλος Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος
Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
- Κατσούλας Νικόλαος, Λέκτορας Τμήματος Γεωπονίας Φ.Π. & Α.Π.
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Θερμά ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Κίττα, Καθηγητή Γεωργικών Κατασκευών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, καθώς επίσης και τον κ. Δημήτριο Σοφιανόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή Μεταλλικών Κατασκευών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, οι οποίοι με την πολυετή εμπειρία τους και τις επιστημονικές τους γνώσεις πάνω σε θέματα κατασκευής θερμοκηπιακών μονάδων, συνέβαλαν ουσιαστικά στην επιτυχή διεκπεραίωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Νικόλαο Κατσούλα, Λέκτορα Γεωργικών Κατασκευών με έμφαση στο Περιβάλλον Θερμοκηπίου του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, του οποίου οι πολύτιμες συμβουλές και εύστοχες παρατηρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια του τελευταίου έτους, συνέβαλαν στη βελτίωση και ολοκλήρωση του πονήματος.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τέλος, την εταιρία λογισμικού STRUSOFT - ΜΑΡΑΒΕΑΣ ΑΕΕΛ για την ευγενική χορηγία της προς το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος καθώς επίσης και τον κ. Μιχάλη Κοκολάκη για την άμεση τεχνική υποστήριξη και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε σε θέματα σχετικά με την χρήση του προγράμματος STAAD.PRO.

Ντόβα Ευμορφία

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|---|-----------|
| Αντικείμενο – Σκοπός της εργασίας..... | 1 |
| 1. Εισαγωγή - Γενικά περί Θερμοκηπιακών Κατασκευών | |
| 1.1 Γενικά..... | 4 |
| 1.2 Ισχύουσες Ευρωπαϊκές Διατάξεις και Κανονισμοί..... | 5 |
| 1.3 Υλικά κατασκευής θερμοκηπίου..... | 7 |
| 1.4 Κατασκευαστικά στοιχεία του σκελετού του θερμοκηπίου..... | 12 |
| 1.5 Τύποι θερμοκηπίων..... | 16 |
| 2. Περιγραφή και προκαταρκτικοί έλεγχοι αρχικής θερμοκηπιακής κατασκευής | |
| 2.1 Γενική περιγραφή..... | 20 |
| 2.2 Γεωμετρικά και Αδρανειακά χαρακτηριστικά των μελών του αρχικού φορέα..... | 21 |
| 2.3 Κατάταξη θερμοκηπίου | 25 |
| 3. Έλεγχος Επάρκειας αρχικής κατασκευής | |
| 3.1 Ελληνικοί Κανονισμοί – Κανόνες Εφαρμογής..... | 26 |
| 3.2 Περιγραφή των εξεταζόμενων συνδυασμών δράσεων..... | 26 |
| 3.3 Υπολογισμός των επιμέρους δράσεων επί της κατασκευής | 33 |
| 3.3.1 Μόνιμα Φορτία | 33 |
| 3.3.2 Κινητά Φορτία | 33 |
| 3.3.3 Σεισμικές Δράσεις ΑΕΚ | 43 |
| 3.4 Πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης | 44 |
| 3.5 Έλεγχος επάρκειας αρχικού φορέα | 46 |
| 4. Τροποποίηση - επανασχεδιασμός του φορέα για προσαρμογή στα δεδομένα της Ελληνικής Επικράτειας | |
| 4.1 Γενική περιγραφή | 49 |
| 4.2 Τροποποίηση των διατομών του φορέα για προσαρμογή του στα δεδομένα της Ελληνικής Επικράτειας | 50 |
| 4.3 Χαρακτηριστικά διατομών των μελών του τελικού φορέα | 52 |
| 4.4 Στατική ανάλυση και έλεγχος επάρκειας της νέας κατασκευής | 53 |
| 4.5 Θεμελίωση θερμοκηπίου | 57 |
| 4.6 Ενδεικτικά ειδικά τεμάχια συνδέσεων | 59 |
| 5. Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις - Προτάσεις | 61 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| Βιβλιογραφία | 64 |
|---------------------------|-----------|

| | |
|----------------------------|--|
| <u>Παράρτημα Α:</u> | Μεταφρασμένα αποσπάσματα από τον EN 13031.01 σχετικά με τις δράσεις λόγω χιονιού και ανέμου |
| <u>Παράρτημα Β:</u> | Τρισδιάστατη αναπαράσταση φορτίων-δράσεων επί της κατασκευής |
| <u>Παράρτημα Γ:</u> | Αποτελέσματα ανάλυσης και διαστασιολόγησης του φορέα |

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ - ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός Ολλανδικής προελεύσεως χαλύβδινου τυποποιημένου αμφικλινούς πολλαπλού θερμοκηπίου, με τη διεθνή ονομασία Venlo, διαστασιολογημένου ωστόσο στην Ιταλία, ως προς την στατική επάρκειά του για τα Ελληνικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, πρόκειται για την στατική ανάλυση ενός τυποποιημένου ιδιαίτερα προσαρμόσιμου από πλευράς κύριας κατασκευαστικής μονάδας μεταλλικού υαλόφρακτου θερμοκηπίου, από τα ιδιαίτερα διαδεδομένα στις χώρες της Ευρώπης, με ορισμένα κατ' εξοχήν μη φέροντα στοιχεία από πρότυπες διατομές αλουμινίου, κατάλληλα προστατευμένες έναντι περιβαλλοντικών συνθηκών, γεγονός που ισχύει και για τον φέροντα οργανισμό της όλης κατασκευής.

Σε αρχικό στάδιο θα πραγματοποιηθεί ανάλυση και έλεγχος, με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς, της στατικής επάρκειας της προτεινόμενης κατασκευής, δηλαδή έλεγχος αντοχής των μελών του φορέα χρησιμοποιώντας ως αρχικές διατομές αυτές που επαρκούν για το θερμοκήπιο κατασκευασμένο στην Ιταλική Επικράτεια (με βάση τους εκεί συντελεστές συνδυασμών φορτίσεων). Σε περίπτωση που θα αποδειχθεί ανεπάρκεια με χρήση των υφιστάμενων διατομών βάσει του Ιταλικού σχεδιασμού, θα γίνει αλλαγή των διατομών του φορέα για προσαρμογή της μόρφωσης του στις απαιτήσεις των κανονισμών της Ελληνικής Επικράτειας, χωρίς όμως οποιαδήποτε αλλαγή στην τρισδιάστατη γεωμετρία του φορέα, και τελικός έλεγχος επάρκειας υλοποιώντας στατική ανάλυση με χρήση του διεθνώς αναγνωρισμένου προγράμματος STAAD.Pro.V8i.

Πέραν του ελέγχου σε οριακή κατάσταση αστοχίας (Ultimate Limit States – αντοχή διατομών, μελών και του συνόλου της κατασκευής υπό τα στατιστικά μέγιστα φορτία κατά τη διάρκεια ζωής της), και της επίτευξης θετικής ένδειξης επάρκειας της κατασκευής, θα γίνει επιπρόσθετος έλεγχος της συμπεριφοράς του εξεταζόμενου θερμοκηπίου στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (Serviceability Limit States - έλεγχος αποδεκτών μετατοπίσεων υπό φορτία λειτουργίας), όπως αυτό ορίζεται από τον

Ευρωκώδικα 1 και το πρότυπο EN 13031.01. Ο συγκεκριμένος έλεγχος απαιτείται σύμφωνα με το ως άνω πρότυπο.

Πέραν δε των απαραίτητων παραδοχών, τόσο για την προσομοίωση του φέροντα οργανισμού, φορτίσεων (στις οποίες υπόκειται το θερμοκήπιο όσο και για την ανάλυση και τον τελικό σχεδιασμό αυτού), των υπολογισμών, των τροποποιήσεων και των ελέγχων επάρκειας, παρατίθενται στο τέλος του πονήματος τα βασικότερα τελικά σχέδια εφαρμογής, στα οποία περιγράφονται διεξοδικά η γεωμετρία και τα υλικά της εξεταζόμενης θερμοκηπιακής κατασκευής. Συμπληρωματικά, στα Παραρτήματα Α, Β και Γ, δίνονται κάποια μεταφρασμένα αποσπάσματα από τον EN 13031.01 σχετικά με τις δράσεις λόγω χιονιού και ανέμου, τα οποία τυγχάνουν άμεσης υποχρεωτικής εφαρμογής για κάθε αμφίρρικτο θερμοκήπιο, οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις των δράσεων-φορτίσεων επί της κατασκευής του θερμοκηπίου και τέλος κάποια χαρακτηριστικά διαγράμματα εντατικών μεγεθών που προκύπτουν από την ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα.

Επιθυμητός στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, είναι η επιβεβαίωση της επάρκειας ή μη θερμοκηπιακών κατασκευών, που εισάγονται στην Ελλάδα από το εξωτερικό, έτσι ώστε να αποδειχθεί ουσιαστικά η εγκυρότητα ή μη των συνεχώς αυξανόμενων εισαγόμενων στην Ελλάδα στατικών μελετών τυποποιημένων μεταλλικών θερμοκηπίων, τα οποία ωστόσο έχουν σχεδιαστεί και διαστασιολογηθεί για να αντέχουν στις εκεί επικρατούσες συνθήκες και όχι στις κλιματικές, μορφολογικές και άλλες ιδιαιτερότητες της Ελληνικής Επικράτειας.

Εστιάζοντας στο ανωτέρω γεγονός, στα Κεφάλαια που ακολουθούν, τονίζεται και ταυτόχρονα αποδεικνύεται η ανάγκη για πραγματοποίηση εκ νέου του ελέγχου επάρκειας και του επανασχεδιασμού του φορέα καθώς επίσης και η ανάγκη εφαρμογής του προτύπου EN 13031.01 για την επίτευξη ορθής προσαρμογής του Ολλανδικής προελεύσεως θερμοκηπίου στον Ελλαδικό χώρο σύμφωνα με τις εδώ επικρατούσες φορτίσεις-δράσεις οι οποίες διαμορφώνουν τους απαραίτητους συνδυασμούς φόρτισης με τους κατάλληλους συντελεστές. Με τον τρόπο αυτό, επιχειρείται να γίνει κατανοητή και ευρέως εφαρμόσιμη μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία επίλυσης και ανάλυσης της συγκεκριμένης κατασκευής, η οποία ωστόσο να βασίζεται και να

τηρεί το συγκεκριμένο πρότυπο, το οποίο εξειδικεύει τα κείμενα των Ευρωκωδίκων που αφορούν το σχεδιασμό και τον υπολογισμό των δράσεων για τα θερμοκήπια.

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή – Γενικά περί Θερμοκηπιακών Κατασκευών

1.1 Γενικά

Το θερμοκήπιο χαρακτηρίζεται ως μια μικρής διάρκειας ζωής κατασκευή ενός επιπέδου, η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού, που είναι απαραίτητος στην ανάπτυξη των φυτών.

Σκοπός της χρησιμοποίησης των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η τροποποίηση ή η ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, έτσι ώστε να βελτιώνεται ποσοτικά και ποιοτικά η παραγωγή.

Ειδικότερα, με το θερμοκήπιο:

- Αποφεύγονται ζημιές από αέρα, βροχή, χιόνι και χαλάζι.
- Ανάλογα με τον εξοπλισμό τους, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών, όπως της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, με αρκετή ακρίβεια.
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών, όπως: της υγρασίας, του οξυγόνου, της θερμοκρασίας και των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων, που με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών καλλιεργειών μπορούν να φθάσουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις των φυτών.
- Μειώνονται, αλλά οπωσδήποτε δεν εξαλείφονται οι ζημιές από ασθένειες και έντομα. Ειδικότερα σ' ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης του περιβάλλοντος, οι ασθένειες των φυτών είναι κατά πολύ λιγότερες απ' ό,τι σε ένα θερμοκήπιο του οποίου ο εξοπλισμός δεν παρέχει τέτοια δυνατότητα.

Παγκόσμια υφίστανται (σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία)^[8], 2.500.000 στρέμματα θερμοκηπίων, από τα οποία τα 650.000 στρ. είναι υαλόφρακτα και τα 1.850.000 στρ. είναι με κάλυψη πλαστικού. Στην Ε.Ε. υπάρχουν 1.200.000 στρ. θερμοκηπίων, από τα οποία τα υαλόφρακτα καταλαμβάνουν 300.000

στρ. και τα πλαστικής κάλυψης 900.000 στρ. Πιο συγκεκριμένα, η Ολλανδία κατέχει την πρώτη θέση όσον αφορά τα υαλόφρακτα θερμοκήπια με 33% του συνόλου και ακολουθούν η Ιταλία με 17%, η Ισπανία με 13%, η Γερμανία με 10% και οι άλλες χώρες με μικρότερα ποσοστά. Στα καλυμμένα με πλαστικό θερμοκήπια, η Ισπανία κατέχει την πρώτη θέση με 59% του συνόλου και ακολουθεί η Ιταλία με 26%, η Γαλλία με 6%, η Ελλάδα με 4,5% και οι άλλες χώρες με μικρότερα ποσοστά.

Όσον αφορά τον Ελλαδικό χώρο, οι μονάδες κατασκευής θερμοκηπίων εδώ είναι βιοτεχνίες, αφού στην πραγματικότητα δεν υφίστανται ακόμα οργανωμένες μεγάλες μονάδες που να μπορούν να χαρακτηρισθούν βιομηχανίες κατασκευής θερμοκηπίων. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα σημαντικό ποσοστό τυποποιημένων θερμοκηπίων να εισάγεται από το εξωτερικό και κυρίως από την Ολλανδία, Ιταλία, Γαλλία και λιγότερο από τη Μ. Βρετανία και το Ισραήλ.

Η αντοχή των υλικών κατασκευής των εισαγόμενων θερμοκηπίων όπως επίσης και οι προδιαγραφές που πληρούν για να ανταποκρίνονται στις κλιματικές συνθήκες της Ελληνικής Επικράτειας, είναι χαρακτηριστικά που αμφισβητούνται, για το λόγο ότι ποιοτικά και ποσοτικά παρουσιάζουν μεγάλο εύρος διακύμανσης. Ειδικότερα, κατά τακτά χρονικά διαστήματα προβλήματα έχουν εμφανιστεί σε θερμοκηπιακές εκμεταλλεύσεις που χρησιμοποιούν θερμοκήπια προέλευσης εξωτερικού και αυτό διότι, όπως είναι φυσικό, τα θερμοκήπια που εισάγονταν μέχρι τώρα στην Ελλάδα, ήταν κατασκευασμένα έτσι ώστε να πληρούν προδιαγραφές για τις συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες της χώρας κατασκευής τους.

1.2 Ισχύουσες Ευρωπαϊκές Διατάξεις και Κανονισμοί

Σχετικά με τις μεθόδους μελέτης και διαστασιολόγησης των θερμοκηπιακών κατασκευών στον Ελλαδικό χώρο, αξίζει να αναφερθεί ότι σχετικά πρόσφατα καθιερώθηκε στην Ελλάδα συγκεκριμένος κανονισμός για την μελέτη των θερμοκηπίων^[7], η οποία μέχρι πρότινος αντιμετωπιζόταν σύμφωνα με τους Γερμανικούς, τους Αμερικανικούς, ή τους Ελληνικούς κανονισμούς (1946) κατά το δοκούν. Η κατάσταση φαίνεται να τροποποιείται από τη στιγμή που η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (CEC) αποφάσισε την

καθιέρωση ενός συνόλου εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων για τον σχεδιασμό έργων Πολιτικού Μηχανικού, το οποίο ουσιαστικά αντικατέστησε τους διάφορους ισχύοντες κανονισμούς στα Κράτη - Μέλη. Οι τεχνικοί αυτοί κανόνες έγιναν γνωστοί ως "Δομητικοί Ευρωκώδικες". Το 1990 η CEC μεταβίβασε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) την αρμοδιότητα για την περαιτέρω ανάπτυξη, έκδοση και ενημέρωση των δομητικών Ευρωκωδικών. Η CEN με τη σειρά της δημιούργησε την Τεχνική Επιτροπή TC250 η οποία ήταν υπεύθυνη για όλους τους Ευρωκώδικες καθώς επίσης και την TC284 της οποίας αρμοδιότητα ήταν να διαμορφώσει ένα πρότυπο τόσο για τα υαλόφρακτα όσο και για τα θερμοκήπια με πλαστικό κάλυμμα. Το 1997 η TC284 συνέταξε ένα σχέδιο κανονισμών το prEN 13031-1: 1997, βασισμένο στον EC1 με ειδικές προσαρμογές για τις απαιτήσεις των θερμοκηπίων.

Όσον αφορά τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς για τον υπολογισμό και τη διαστασιολόγηση δομοστατικών κατασκευών, κάθε χώρα που ανήκει στην Ε.Ε. υποχρεούται να τηρεί τους παρακάτω Κανονισμούς. Αυτοί έχουν ως εξής:

- Ευρωκώδικας 1: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές:
 - (α) Actions on structures — Part 1-1 : General actions - Densities, self- weight, imposed loads for buildings. Final Draft prEN 1991-1-1: July 2001.
 - (β) Actions on structures — Part 1.3 : General Actions - Snow Loads, Final Draft (Stage 49), 13/02/2002 (CEN/TC250/SC1/N347).
 - (γ) Actions on structures — Part 1-4 : General actions - Wind actions, CEN TC 250 Date: 2002-06, prEN 1991-1-4.6.
 - (δ) Actions on structures — Part 1.6 : General actions - Actions during execution, Draft prEN 1991-1-6 1st August 2002.
- Ευρωκώδικας 3, ENV 1993-1-1/1992: Υπολογισμός Κατασκευών από Χάλυβα:
 - (α) Design of steel structures — Part 1-1 : General rules and rules for buildings. Final Draft prEN 1993 -1-1: 2003
 - (β) Design of steel structures — Part 1-3 : Supplementary rules for cold formed members and sheeting. EN 1993 -1-3: 2004
 - (γ) Design of steel structures — Part 1-8 : Design of joints, Draft prEN 1993 -1-8: 2003

- Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών:
(α) Design of timber structures — Part 1-1 : General rules and rules for buildings, Draft prEN 1995-1-1: 2003
- Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο:
(α) Design of aluminium structures — Part 1-1 : General rules and rules for buildings. EN 1999 -1-1: 2007
Ειδικότερα για θερμοκηπιακές κατασκευές ισχύει το κατωτέρω πρότυπο:
- Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές EN 13031-1:2001 :
Greenhouses - Design and construction - Part 1: Commercial production greenhouses.

1.3 Υλικά κατασκευής θερμοκηπίου^[1,2,8-10]

Ο φέρων οργανισμός ενός θερμοκηπίου μπορεί να κατασκευασθεί από ποικίλα υλικά, όπως ο χάλυβας, τα κράματα αλουμινίου και το ξύλο για την ανωδομή, ενώ για τη θεμελίωση χρησιμοποιείται σκυρόδεμα. Το επιθυμητό ελεύθερο πλάτος της κατασκευής, το κόστος των υλικών καθώς και ο μηχανολογικός εξοπλισμός που διαθέτει ο κατασκευαστής, είναι παράγοντες που διαδραματίζουν σημαντικότατο ρόλο στην επιλογή του ενός ή του άλλου υλικού κατασκευής.

Τα συνηθέστερα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του σκελετού των θερμοκηπίων είναι ο χάλυβας και το αλουμίνιο. Όσον αφορά το χάλυβα, ο συγκεκριμένος λόγω της υψηλής αντοχής του, απαιτεί σχετικά μικρές διατομές για δεδομένο φορτίο. Στα υαλόφρακτα θερμοκήπια οι διαμορφωμένες με κάμψη (στραντζαρισμένες) - ανοιχτές διατομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σκελετού, θα πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον 2 mm, ώστε να παρέχεται ικανοποιητική δυσκαμψία. Επιπρόσθετα, οι κοίλες διατομές που εφαρμόζονται συνήθως στο σκελετό πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 1,5 mm. Υπάρχουν θερμοκήπια που είναι εξ ολοκλήρου κατασκευασμένα από χάλυβα, ενώ συχνά συναντώνται και θερμοκήπια στα οποία μόνο τα κύρια σκελετικά στοιχεία τους είναι από χάλυβα, ενώ τα υπόλοιπα προέρχονται από συνδυασμό με το αλουμίνιο ή το ξύλο. Το βασικότερο πρόβλημα με τον χάλυβα είναι η προστασία από

την επιφανειακή οξείδωση, που οι συνθήκες του θερμοκηπίου ευνοούν ιδιαίτερα. Ο συνηθέστερος τρόπος προστασίας του χάλυβα είναι το γαλβάνισμα, δηλαδή η επιψευδαργύρωση των χαλύβδινων επιφανειών με σκοπό την μείωση του ρυθμού οξείδωσης. Ο χάλυβας στην κατασκευή των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα, διαμορφωμένος σε σωλήνα ή διατομές διαφόρων σχημάτων ή χυτός από διατομές Η, Τ. Τέλος, οι τιμές των μέτρων του υλικού που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για χάλυβες του EC-3^[4] είναι οι εξής:

- μέτρο ελαστικότητας $E = 210.000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$
- μέτρο διάτμησης $G = E/2(1-\nu)$
- λόγος Poisson $\nu = 0,3$
- πυκνότητα $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής $\alpha = 12/1000000 \text{ ανά } ^\circ\text{K}$

Τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια περιέχουν συνήθως περισσότερο από 96-99% αλουμίνιο και συνήθως κάποιο από τα: χαλκό, μαγγάνιο, πυρίτιο, μαγνήσιο, μαγνήσιο και πυρίτιο μαζί, ψευδάργυρο, λίθιο, νικέλιο και μαγνήσιο μαζί. Τα κράματα με μαγνήσιο καθώς και μαγγάνιο παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση κάνοντας τα πολύ κατάλληλα σε συνθήκες θαλάσσης. Η χρήση του αλουμινίου σήμερα στα θερμοκήπια έχει γενικευθεί, ιδιαίτερα για την κατασκευή των λεπτών σκελετικών στοιχείων τα οποία φέρουν τα τζάμια, καθώς και των υδρορροών. Στις συνήθεις περιπτώσεις υαλόφρακτων θερμοκηπίων για οικονομικούς λόγους το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το χάλυβα. Από αλουμίνιο κατασκευάζονται τα λεπτά στοιχεία του σκελετού, πάνω στα οποία τοποθετούνται οι υαλοπίνακες, ενώ από χάλυβα κατασκευάζονται τα στοιχεία που σχηματίζουν το βασικό σκελετό του.

Όσον αφορά την επιλογή ξύλου ως υλικού κατασκευής του σκελετού του θερμοκηπίου, η τελευταία προτιμάται για την κατασκευή θερμοκηπίων με μικρό ελεύθερο πλάτος κατασκευαστικής μονάδας (κάτω από 6μ.). Το σημαντικότερο μειονέκτημα που παρουσιάζει το συγκεκριμένο υλικό είναι ότι τα διάφορα είδη ξύλου αλλοιώνονται και καταστρέφονται από βιολογικούς παράγοντες όπως βακτήρια, έντομα, μύκητες αλλά και φυσικοχημικούς όπως η υγρασία, η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, οι χημικές επιδράσεις και οι μηχανικές καταπονήσεις. Ειδικότερα, το ξύλο ως υλικό κατασκευής παρουσιάζει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- (α) Μικρότερη μηχανική αντοχή σε σχέση με το μέταλλο.
- (β) Μεταβολή του σχήματος από την εναλλασσόμενη ύγρανση και ξήρανση (στρέβλωση).
- (γ) Εύκολη προσβολή από βιολογικούς εχθρούς, όπως έντομα, μύκητες και βακτήρια.
- (δ) Απαιτήση μεγαλύτερων διατομών ξύλου ή περισσότερων στοιχείων για την ασφαλή μεταφορά των φορτίων, με αποτέλεσμα να κατασκευάζονται θερμοκήπια με περισσότερη σκίαση στο χώρο τους.

Από την άλλη πλευρά, το ξύλο ως υλικό κατασκευής παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- (α) Έχει σχετικά μικρό κόστος.
- (β) Δεν δημιουργεί σημαντικές φθορές στο πλαστικό, γιατί δεν υπερθερμαίνεται όπως το μέταλλο.
- (γ) Αρκεί ένας απλός εξοπλισμός για την επεξεργασία του κι έτσι μπορεί ο ίδιος ο καλλιεργητής να κατασκευάσει ένα φθινό θερμοκήπιο.

Η αύξηση του κόστους του ξύλου, η ανάγκη συντήρησής του, η δυσκολία στην κατασκευή εξαερισμού οροφής, καθώς και η περιορισμένη διάρκεια ζωής του ξύλου, έχουν στρέψει σήμερα την προσοχή των κατασκευαστών περισσότερο στην μεταλλική προκατασκευή.

Το σκυρόδεμα ως υλικό μπορεί να είναι είτε άοπλο και χρησιμοποιείται κυρίως για γεμίσματα και σε θέσεις που δε δέχονται μεγάλες τάσεις είτε οπλισμένο. Για τα κατασκευαστικά στοιχεία που απαιτείται να έχουν αντοχή τόσο σε θλίψη όσο και σε εφελκυσμό, η χρήση άοπλου σκυροδέματος αποφεύγεται και αυτό διότι δεν είναι πρακτική ενώ αποδεικνύεται οικονομικά ασύμφορη αφού απαιτεί ιδιαίτερα μεγάλες διατομές.

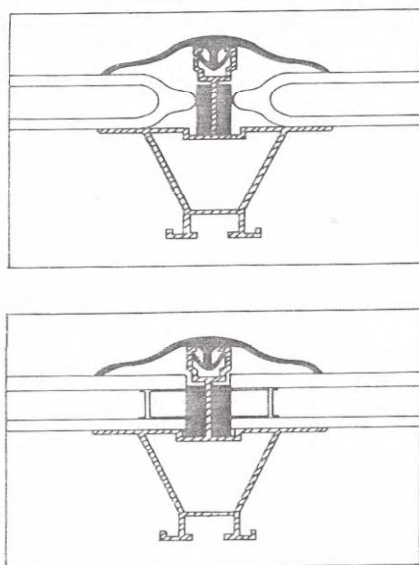
Για την πλευρική κάλυψη και την επικάλυψη της οροφής των θερμοκηπίων χρησιμοποιούνται συνήθως είτε υαλοπίνακες είτε εύκαμπτα φύλλα πλαστικού. Ειδικότερα, η επιλογή των διαφόρων υλικών κάλυψης γίνεται συνήθως βάσει των παρακάτω ιδιοτήτων:

- Περαιτότητα στο φως
- Μηχανική αντοχή
- Θερμοπεραιτότητα
- Περαιτότητα στη μεγάλη μήκος κύματος ακτινοβολία
- Αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι

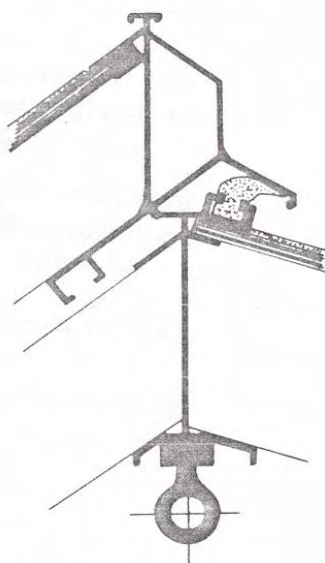
- Μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευασθεί
- Ευαισθησία στη γήρανση
- Αντίσταση στο σκίσιμο
- Ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης
- Τρόπος συμπύκνωσης υγρασίας (σε σταγόνες ή σε μεμβράνη)
- Περαιτότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (U.V. έως 0,4 m)
- Ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γυαλιού ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων του με το πέρασμα του χρόνου. Ένας υαλοπίνακας θερμοκηπίου έχει πρακτικά την ίδια περατότητα στο φως μετά από αρκετά χρόνια μ' ένα καινούριο, πράγμα που δεν συμβαίνει με κανένα άλλο υλικό κάλυψης. Η πιθανή μείωση της φωτεινότητας του γυαλιού οφείλεται στις ακαθαρσίες, που όμως είναι δυνατό να απομακρυνθούν. Χαρακτηριστικό είναι επίσης ότι το γυαλί είναι αδιαπέραστο από τα αέρια και τους υδρατμούς. Τα προβλήματα στεγανότητας που μπορεί να εμφανισθούν στα υαλόφρακτα θερμοκήπια, προέρχονται από την κακή επαφή που παρουσιάζεται σταδιακά στα σημεία στήριξης του υαλοπίνακα με το σκελετό και από το σπάσιμο των υαλοπινάκων, που προέρχεται από χαλάζι ή απροσεξία λόγω του εύθραυστου που χαρακτηρίζει το γυαλί. Από την άλλη πλευρά, το υαλόφρακτο θερμοκήπιο απαιτεί κατασκευή ιδιαίτερης αντοχής και χωρίς να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις από το βάρος των διαφόρων φορτίων. Επίσης τα λεπτά στοιχεία του σκελετού θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα και τοποθετημένα έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται καλή στεγανότητα στο νερό και τον αέρα. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό φωτός το οποίο αφήνει να διέλθει ο υαλοπίνακας σε σχέση με άλλα διαφανή υλικά σε ένα καινούριο θερμοκήπιο, δεν σημαίνει απαραίτητα και σημαντικά μεγαλύτερη φωτεινότητα στο θερμοκήπιο, και αυτό διότι ο σκελετός στηρίξεως των μεγάλου βάρους και μικρού μεγέθους υαλοπινάκων παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό σκιάς (γι' αυτό το λόγο συνιστώνται όσο είναι δυνατόν, μεγαλύτερων διαστάσεων υαλοπίνακες). Με την πάροδο του χρόνου ωστόσο στα άλλα υλικά μειώνεται η περατότητα του φωτός ενώ στους υαλοπίνακες παραμένει η ίδια και το θερμοκήπιο καθίσταται τελικά σημαντικά φωτεινότερο. Συμπληρωματικά, όσον αφορά τη συναρμογή των υαλοπινάκων στο βασικό σκελετό του θερμοκηπίου, χρησιμοποιούνται ειδικά προφίλ χαλύβδινα ή αλουμινίου που

φέρουν υποδοχή για τη στερέωση μονωτικών ελαστικών ή πλαστικών καλύπτρων, όπως απεικονίζεται στα Σχήματα 1.1 και 1.2 που ακολουθούν.



Σχήμα 1.1 Προφίλ αλουμινίου και καλύπτρα PVC για διπλούς υαλοπίνακες.



Σχήμα 1.2 Προφίλ αλουμινίου κορυφής με κινητό τμήμα για λειτουργία παράθυρου.

Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα από την άλλη πλευρά, πλεονεκτούν των άλλων υλικών κάλυψης λόγω του μικρού βάρους τους, της χαμηλής τιμής τους, της ευκολίας προσαρμογής σε διάφορα σχήματα του σκελετού, της δυνατότητας που δίνουν για χρησιμοποίηση ελαφρότερου και φθηνότερου σκελετού και κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους αρχικής επένδυσης που επιτυγχάνεται στο σύνολο του θερμοκηπίου.

Κατά τη στερέωση του πλαστικού φύλλου στον σκελετό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:

- (α) Η στερέωση να είναι ικανή να αντισταθεί στα θετικά και αρνητικά φορτία που δημιουργεί ο άνεμος και το χιόνι και ταυτόχρονα να είναι όσο το δυνατόν απλούστερη η διαδικασία αντικατάστασης του πλαστικού.
- (β) Το πλαστικό να είναι τεντωμένο στην κατασκευή χωρίς ρικνώσεις.
- (γ) Η άμεση επαφή με οξείες πλευρές του σκελετού να αποφεύγεται με παρεμβολή ειδικής πλαστικής λωρίδας, ώστε να μην σκίζεται, ιδιαίτερα όταν ο σκελετός υπερθερμανθεί από την ακτινοβολία.
- (δ) Η τοποθέτηση του φύλλου να γίνεται σε μεγάλα πλάτη, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανότητα.
- (ε) Όταν η τοποθέτηση γίνεται σε ξύλινο ή μικτό σκελετό με κάρφωμα, το πλαστικό φύλλο να συγκρατείται στη θέση του από τον πήχη στερέωσης που το συμπιέζει στο σκελετό και όχι από το καρφί. Το καρφί προορίζεται να συγκρατεί σφιχτά τον πήχη με το σκελετό και όχι να συγκρατεί άμεσα το πλαστικό, γιατί αλλιώς το πλαστικό σχίζεται.

Τέλος, στην περίπτωση των θερμοκηπίων που καλύπτονται με πλαστικό φύλλο, επειδή το κάλυμμα αντικαθίσταται κάθε 2-3 έτη, παρατηρείται συνήθως πρόβλημα στη διάθεση των μεταχειρισμένων πλαστικών φύλλων και στην απόθεσή τους στον ελεύθερο φυσικό χώρο, αφού δεν υπάρχουν συγκεκριμένοι χώροι συγκέντρωσης από όπου θα οδηγηθούν σε χώρους ανακύκλωσης πλαστικού υλικού.

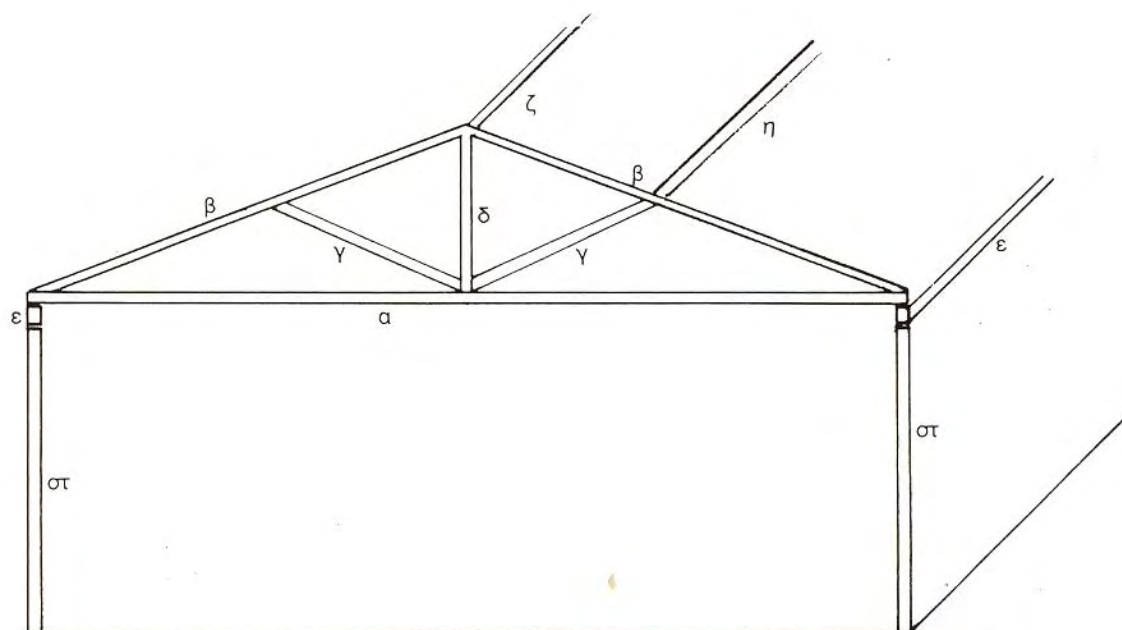
1.4 Κατασκευαστικά στοιχεία του σκελετού του θερμοκηπίου^[1,2,8-10]

Ο φέρων οργανισμός ενός θερμοκηπίου αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία (μέλη) :

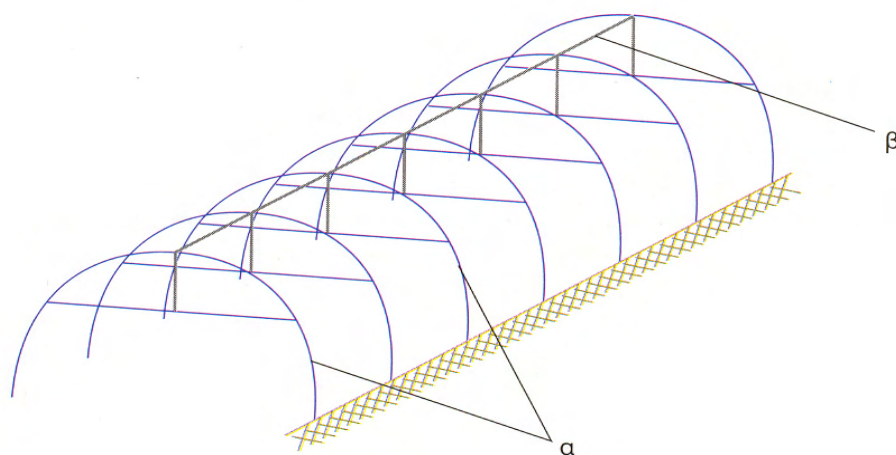
- Τους στύλους, που είναι τα κατακόρυφα στοιχεία του σκελετού, τα οποία μεταφέρουν άμεσα τα φορτία στα θεμέλια (έδαφος).
- Τα δοκάρια ή τις μηκίδες, που είναι τα οριζόντια στοιχεία του σκελετού που συνδέουν τους στύλους.
- Τα ζευκτά ή δικτυώματα, που αποτελούν τα στοιχεία του σκελετού της οροφής.

- Τις τεγίδες, που είναι στοιχεία του σκελετού της οροφής, που τοποθετούνται κάθετα πάνω στα ζευκτά κατά μήκος του θερμοκηπίου. Πάνω στις τεγίδες στηρίζονται επιτεγίδες ή λεπτά σκελετικά στοιχεία ή απ' ευθείας η διαφανής επικάλυψη της στέγης. Οι επιτεγίδες ειδικής διατομής τοποθετούνται στα υαλόφρακτα θερμοκήπια για να φέρουν τους υαλοπίνακες, ή στα πλαστικής κάλυψης για τη στερέωση του πλαστικού.
- Την υδρορροή που συνδέει δυο κεκλιμένες επιφάνειες της οροφής στη χαμηλότερη πλευρά τους και χρησιμεύει για την παροχέτευση των ομβρίων που συγκεντρώνονται στην οροφή. Η υδρορροή αποτελεί ταυτόχρονα και στοιχείο στερέωσης, όπως το δοκάρι.
- Τα αντιανέμια που είναι διαγώνια υποστηρίγματα που συγκρατούν τους στύλους ή τα δοκάρια και την υδρορροή για ενίσχυση της αντίστασης στα φορτία που προκαλεί ο άνεμος.
- Τα τόξα που αποτελούν το βασικό σκελετό στην κατασκευή των τοξωτών θερμοκηπίων.
- Τις συνδετικές ράβδους. Είναι τα οριζόντια στοιχεία που συνδέουν τα τόξα στα τοξωτά θερμοκήπια.
- Συνδέσμους, τρισδιάστατα απλά ή και πολλαπλά κομβοελάσματα, ειδικά τεμάχια, ράβδους στερέωσης, κοχλίες κλπ., μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η σύνδεση και στερέωση όλων των στοιχείων του σκελετού.

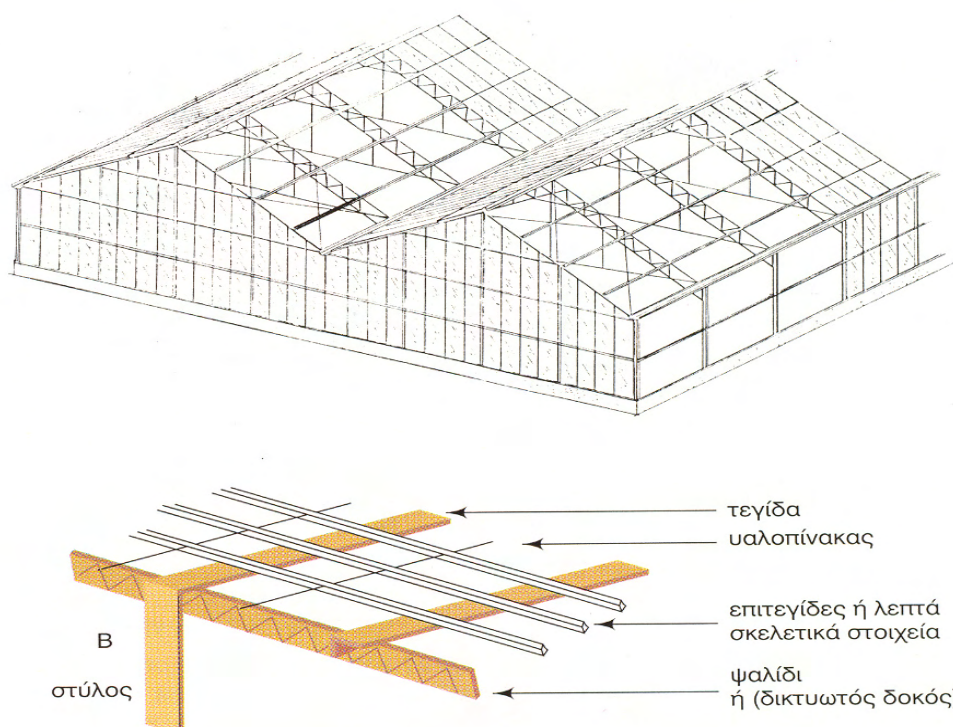
Στα Σχήματα 1.3-1.6 παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του φέροντα οργανισμού διαφόρων μορφών θερμοκηπίων κατά περίπτωση.



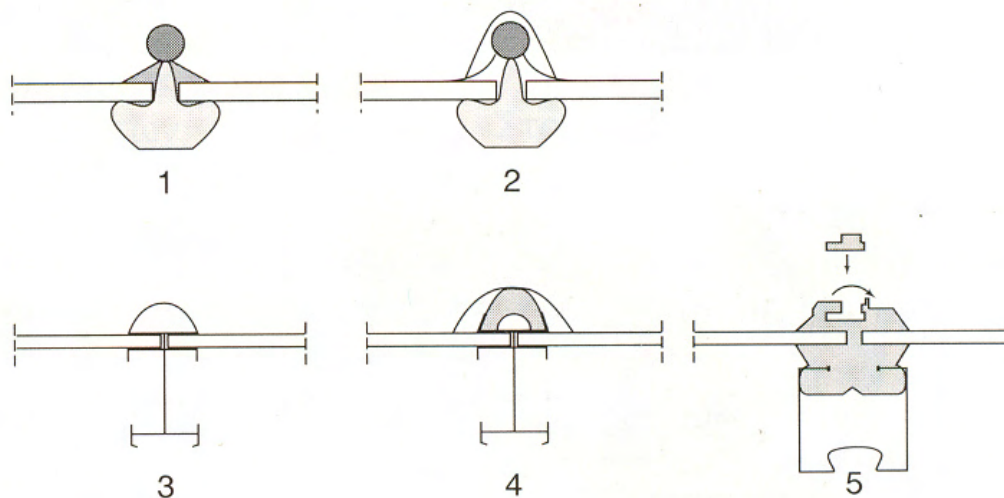
Σχήμα 1.3 Τα βασικά στοιχεία του σκελετού του αμφικλινούς θερμοκηπίου. α. ελκυστήρας ή πέλμα, β. ψαλίδια ή αμείβοντες, γ. αντηρίδες ή διαγώνιες, δ. ορθοστάτης, ε. δοκάρι, στ. στύλος, ζ. κορφιάς, η. τεγίδα. Το σύνολο α, β, γ, δ αποτελεί το ζευκτό.



Σχήμα 1.4 Βασικά στοιχεία του σκελετού τοξωτού θερμοκηπίου α. τόξα, β. συνδετική ράβδος.



Σχήμα 1.5 Υαλόφρακτο θερμοκήπιο

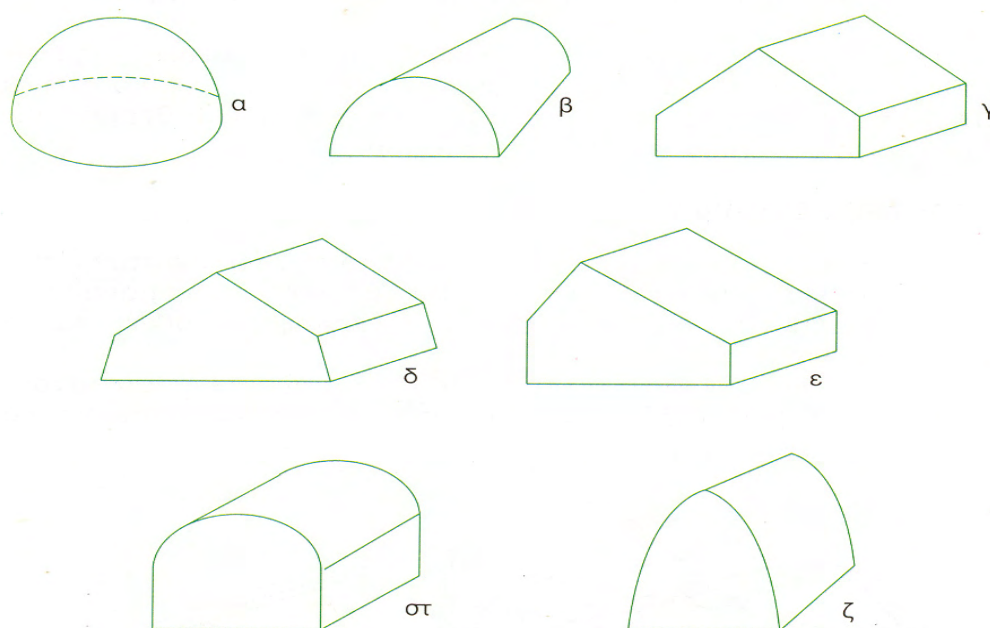


Σχήμα 1.6 Συστήματα για τη συγκράτηση των υαλοπινάκων

1.5 Τύποι θερμοκηπίων^[1,2,8-10]

Τα θερμοκήπια διαφέρουν μεταξύ τους από κατασκευαστικής πλευράς, στο σχήμα και τις διαστάσεις της βασικής τους μονάδας, τα χρησιμοποιούμενα υλικά σκελετού και κάλυψης καθώς και στο σύστημα εξαερισμού. Βασική κατασκευαστική μονάδα ενός θερμοκηπίου είναι το μικρότερο πλήρες τμήμα του, το οποίο επαναλαμβάνόμενο κατά μήκος και πλάτος σχηματίζει το σύνολο. Η διάκριση των θερμοκηπίων γίνεται με βάση:

1. το σχήμα της κατασκευαστικής μονάδας, δηλαδή τα θερμοκήπια κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.7. Δυο ωστόσο βασικά σχήματα είναι τα συνηθέστερα, το τοξωτό (θολωτό) και το αμφικλινές (αμφίρριχτο).



Σχήμα 1.7 Διάφορα σχήματα θερμοκηπίων. α. Ημισφαιρικό, β. Τοξωτό, γ. Αμφικλινές, δ. Τροποποιημένο αμφικλινές, ε. Ετεροκλινές, στ. Τροποποιημένο τοξωτό, ζ. Γοτθικό

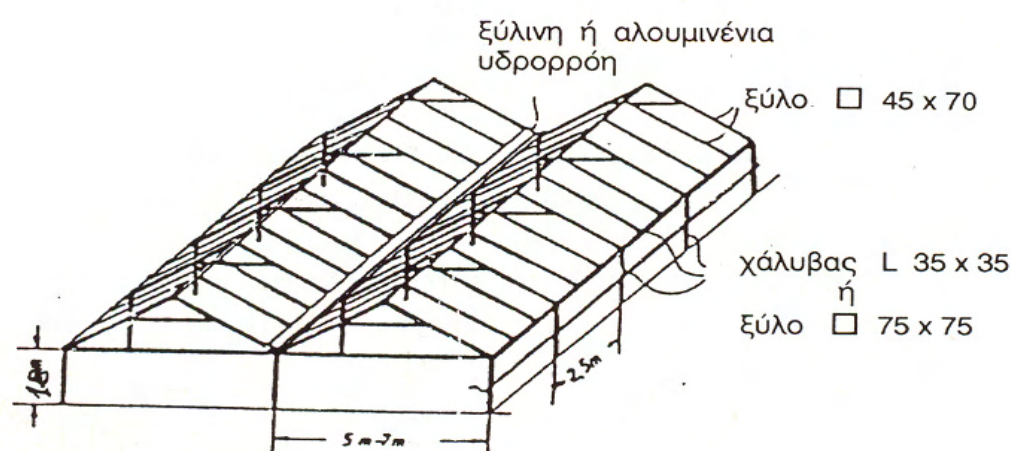
2. τις διαστάσεις της κατασκευαστικής μονάδας. Τέσσερις κατηγορίες θερμοκηπίων υπάρχουν εδώ: (I) Θερμοκήπια χαμηλά, στα οποία η χαμηλή πλευρά έχει ύψος 1,8 - 2,60m, (II)

θερμοκήπια υψηλά, στα οποία η χαμηλή πλευρά τους έχει ύψος 2,60m και άνω, (III) θερμοκήπια με κατασκευαστική μονάδα μεγάλου πλάτους, πάνω από 5 μέτρα, και (IV) θερμοκήπια με κατασκευαστική μονάδα μικρού πλάτους, κάτω από 5 μέτρα.

3. τα χρησιμοποιούμενα υλικά σκελετού, όπου τα θερμοκήπια διακρίνονται σε: (I) ξύλινα θερμοκήπια, με πλάτος κατασκευαστικής μονάδας μέχρι 6m. Τα θερμοκήπια αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολα στην κατασκευή και συγκριτικά φθηνότερα, ενώ μειονεκτούν ως προς τα μεταλλικά θερμοκήπια στο ότι η διάρκεια ζωής τους είναι σημαντικά περιορισμένη, είναι λιγότερο φωτεινά, δεν είναι εύκολη η κατασκευή παραθύρων οροφής και η αυτοματοποίηση γενικά στους παθητικούς εξαερισμούς ενώ συχνά τα ξύλα στρεβλώνουν, με αποτέλεσμα την κακή στεγανότητα του, (II) μεταλλικά θερμοκήπια από γαλβανισμένο χάλυβα, τα οποία και προτιμώνται περισσότερο σήμερα. Τούτο καθόσον διαθέτουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τα υπόλοιπα (15 χρόνια και άνω), οι μηχανισμοί του παθητικού εξαερισμού κατασκευάζονται και αυτοματοποιούνται ευκολότερα ενώ παράλληλα έχουν και το πλεονέκτημα της εύκολης μεταφοράς σε περίπτωση μετεγκατάστασης της επιχείρησης. (III) Θερμοκήπια από αλουμίνιο, τα οποία έχουν πολύ ελαφρότερα στοιχεία σκελετού, δεν διαβρώνονται στο περιβάλλον του θερμοκηπίου, οι διατομές των στοιχείων τους είναι μικρές και ευνοούν τη φωτεινότητα του χώρου, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, ενώ τέλος στα συγκεκριμένα, κατασκευάζεται και αυτοματοποιείται πολύ εύκολα ο παθητικός εξαερισμός, γιατί τα κινητά στοιχεία του είναι σχετικά ελαφρά. Πλην όμως το υλικό είναι ιδιαζόντως ακριβό και η μελέτη, εν γένει κατασκευών από κράματα αλουμινίου δεν αποτελεί ακόμα στοιχείο με το οποίο είναι εξοικειωμένος ο Μηχανικός της καθημερινής πράξης.
4. τα χρησιμοποιούμενα υλικά κάλυψης. Τρεις κατηγορίες θερμοκηπίων υπάρχουν εδώ: (I) Υαλόφρακτα θερμοκήπια τα οποία διατηρούν πολύ καλή περατότητα στο φως για πάρα πολλά χρόνια, έτσι ώστε, θεωρητικά, να μην χρειάζεται να αντικατασταθεί

το διαφανές κάλυμμα σε όλη τη διάρκεια ζωής του θερμοκηπίου, (II) *θερμοκήπια με διαφανές κάλυμμα από εύκαμπτο πλαστικό φύλλο*, τα οποία στοιχίζουν μεν φθηνότερα όμως μειονεκτούν από την άποψη ότι το κάλυμμα έχει μικρή διάρκεια ζωής (μέχρι 3 έτη) και στη συνέχεια απαιτείται αντικατάστασή του, και (III) *θερμοκήπια με διαφανές κάλυμμα από σκληρό πλαστικό*, τα οποία παρότι είναι ανθεκτικά στο χαλάζι και κάθε είδους χτυπήματα ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, μειονεκτούν από οικονομικής άποψης αφού κοστίζουν πολύ περισσότερο από αυτά που καλύπτονται με εύκαμπτο πλαστικό ενώ είναι λίγο φθηνότερα από ότι είναι τα υαλόφρακτα θερμοκήπια.

5. τη διάταξη των βασικών κατασκευαστικών μονάδων, όπου τα θερμοκήπια διακρίνονται σε: (I) *θερμοκήπια απλής γραμμής*, τα οποία μορφώνονται από μια σειρά βασικών κατασκευαστικών μονάδων τοποθετημένων κατά μήκος, ενώ το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η μικρότερη αξιοποίηση της έκτασης του αγρού και οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας θέρμανσης, και (II) *τα πολλαπλής γραμμής θερμοκήπια*, τα οποία προέρχονται από απλής γραμμής, τα οποία έχουν συνδεθεί μεταξύ τους στην πλευρά και συνεπώς το κατασκευαστικό στοιχείο σ' αυτά επαναλαμβάνεται κατά μήκος και κατά πλάτος, σύμφωνα με το Σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8 Διπλής γραμμής θερμοκήπιο

6. το διαθέσιμο σύστημα εξαερισμού. Δύο κατηγορίες θερμοκηπίων συναντώνται εδώ: (I) *Θερμοκήπια με φυσικό αερισμό*, στα οποία ο αερισμός γίνεται από παράθυρα, πλευρικά και οροφής. Τα θερμοκήπια που διαθέτουν παθητικό εξαερισμό, μπορούν με τη σειρά τους να διακριθούν σε *θερμοκήπια με ανοίγματα μόνο πλευρικά*, τα οποία στοιχίζουν φθηνότερα, αλλά εάν το πλάτος τους υπερβαίνει τα 16m, δεν αερίζονται ικανοποιητικά ιδιαίτερα σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, και σε *θερμοκήπια με ανοίγματα πλευρικά και συνεχόμενα οροφής*, τα οποία στοιχίζουν μεν ακριβότερα, δημιουργείται ωστόσο πολύ καλύτερος αερισμός απ' ότι στα θερμοκήπια με ανοίγματα μόνο πλευρικά και (II) *Θερμοκήπια με δυναμικό εξαερισμό*, στα οποία ο εξαερισμός γίνεται με δυναμικά μέσα (εξαεριστήρες).

Κεφάλαιο 2^ο : Περιγραφή και προκαταρτικοί έλεγχοι αρχικής θερμοκηπιακής κατασκευής

2.1 Γενική περιγραφή

Αντικείμενο του παρόντος Κεφαλαίου αποτελεί η αναλυτική περιγραφή και η προδιαστασιολόγηση ενός Χαλύβδινου Τυποποιημένου Αμφικλινούς Πολλαπλού Θερμοκηπίου Ολλανδικής προέλευσης, δηλαδή ενός θερμοκηπίου που σχηματίζεται με την κατά μήκος και κατά πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας και το οποίο φέρει τη διεθνή ονομασία **Venlo**. Ειδικότερα, πρόκειται για ένα τυποποιημένο ιδιαίτερα προσαρμόσιμο από πλευράς κύριας κατασκευαστικής μονάδας μεταλλικό υαλόφρακτο θερμοκήπιο Ολλανδικού τύπου, με ορισμένα κατ' εξοχήν μη φέροντα στοιχεία από πρότυπες διατομές αλουμινίου κατάλληλα προστατευμένες έναντι περιβαλλοντικών συνθηκών, γεγονός που ισχύει και για τον φέροντα οργανισμό της όλης κατασκευής. Τυπικές όψεις του εν λόγω θερμοκηπίου παρατίθενται στις Εικόνες 2.1 και 2.2.



Εικόνα 2.1. Τυποποιημένο Αμφικλινές Πολλαπλό Υαλόφρακτο Μεταλλικό Θερμοκήπιο



Εικόνα 2.2. Τυποποιημένο Αμφικλινές Πολλαπλό Υαλόφρακτο Μεταλλικό Θερμοκήπιο

2.2 Γεωμετρικά και Αδρανειακά χαρακτηριστικά των μελών του αρχικού φορέα

Σε αρχικό στάδιο πραγματοποιείται ανάλυση και έλεγχος, με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς, της στατικής επάρκειας της προτεινόμενης κατασκευής, δηλαδή έλεγχος αντοχής των μελών του φορέα χρησιμοποιώντας ως αρχικές διατομές αυτές που επαρκούν για το θερμοκήπιο κατασκευασμένο στην Ιταλική Επικράτεια. Η εξεταζόμενη κατασκευή προκύπτει από δύο (2) επαναλαμβανόμενες στη διεύθυνση πρόσοψης μονάδες και οκτώ (8) κάθετα σε αυτή, συνεπώς η καλυπτόμενη επιφάνεια εδάφους θα ισούται με $[2 \times (2 \times 4.8)] \times [(8-1) \times 4.5] = 604.8 \text{ m}^2$.

Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό, οι κύριοι φορείς του θερμοκηπίου αποτελούνται από τα ακόλουθα μέλη τα οποία είναι κατασκευασμένα από επιψευδαργυρωμένο (γαλβανισμένο) χάλυβα **S235**. Πιο συγκεκριμένα, η φέρουσα κατασκευή απαρτίζεται από τα εξής μέλη:

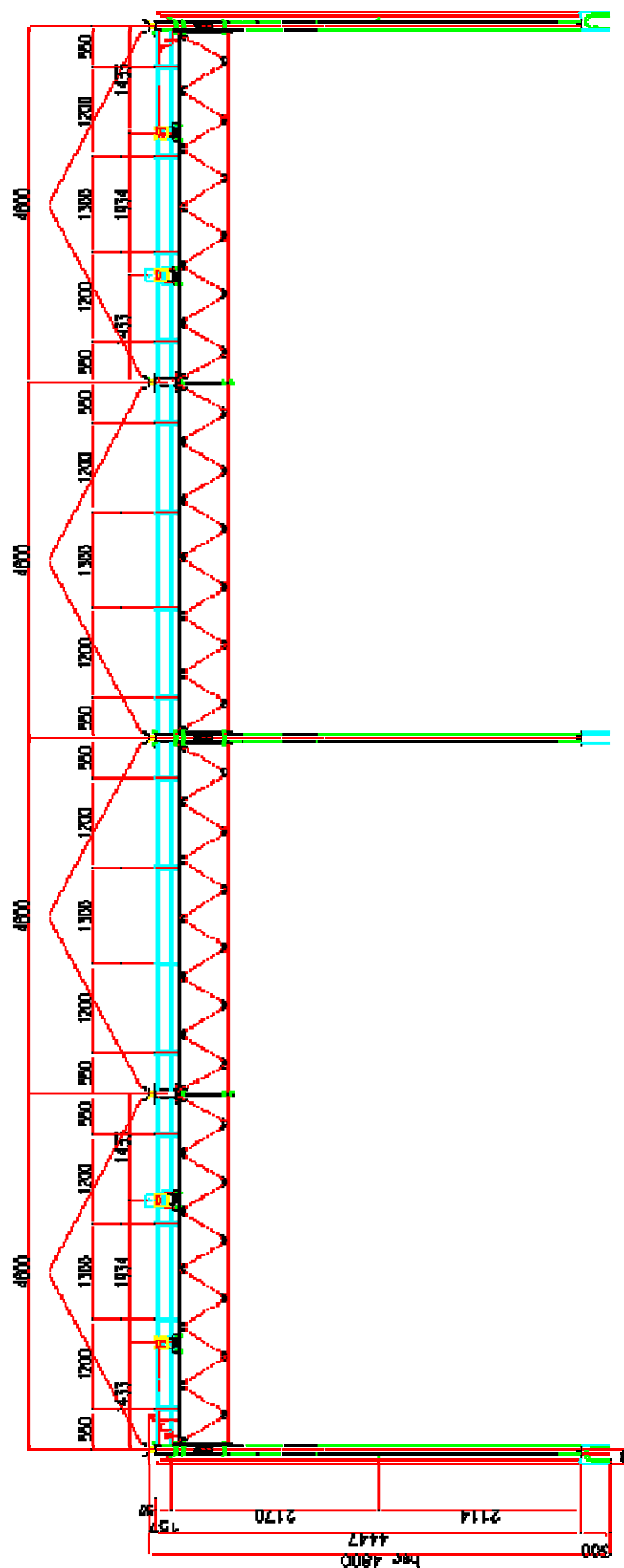
- Πλευρικούς και κεντρικούς στύλους από γαλβανισμένο χαλύβδινο σωλήνα κοίλης ορθογωνικής διατομής, RHS 120x60 πάχους 3 mm.

- Εγκάρσιες δοκούς κεφαλής από γαλβανισμένο χαλύβδινο σωλήνα κοίλης ορθογωνικής διατομής, RHS 140x140 πάχους 3 mm.
- Δικτυωτή δοκό οροφής από πλήρη κυκλική διατομή διαμέτρου Φ 14.
- Συνδέσμους δυσκαμψίας από πλήρη κυκλική διατομή διαμέτρου Φ 12.
- Άνω και κάτω πέλμα ζευκτού από γαλβανισμένο χάλυβα κοίλης ορθογωνικής διατομής RHS 60x30 πάχους 3 mm.
- Προκατασκευασμένα στοιχεία θεμελίωσης τύπου 'Zeus' (μήκους 300 mm εκτός εδάφους), διαστάσεων 120 mm x 120 mm x 1000 mm, από σκυρόδεμα C20/25.

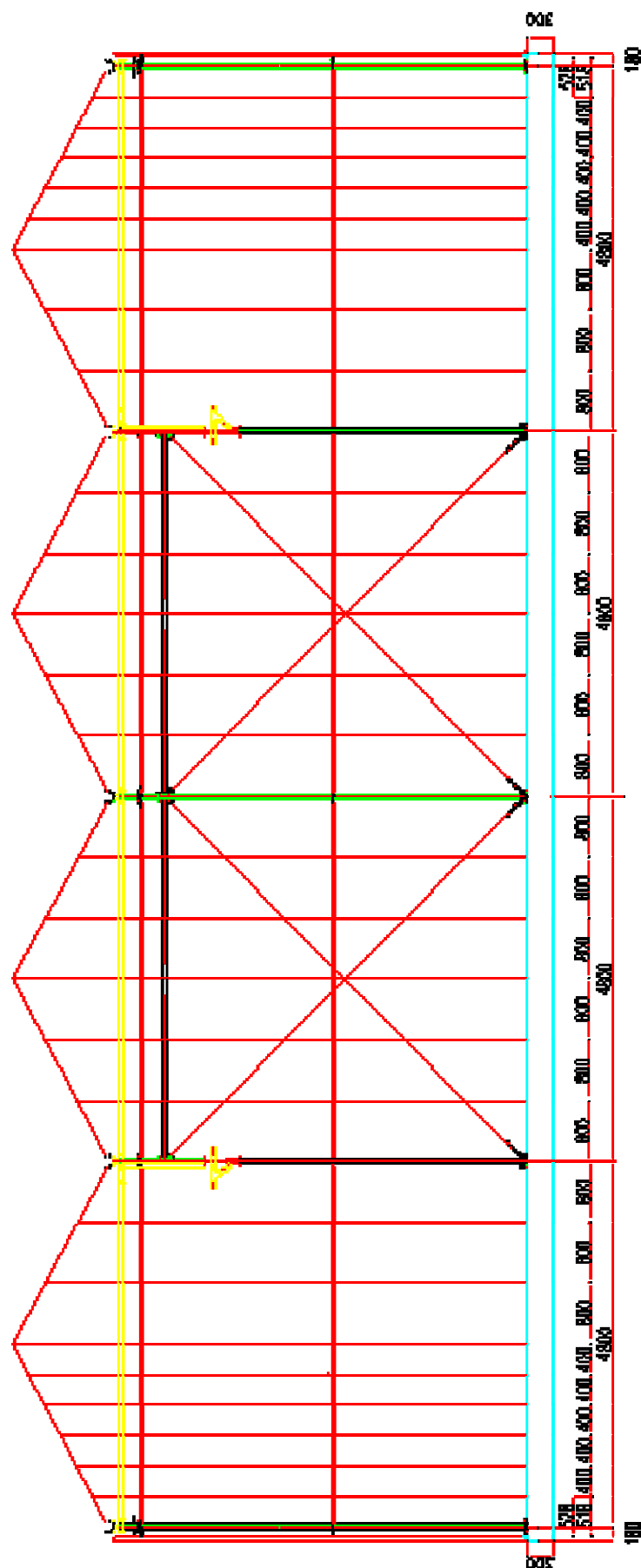
Επιπρόσθετα, ως υλικό κάλυψης, τόσο για την οροφή όσο και για την πλευρική κάλυψη του θερμοκηπίου, χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες πάχους 4 mm ενώ παράλληλα γίνεται χρήση ειδικών προφίλ αλουμινίου κατάλληλου πάχους (μεγαλύτερου των 2 mm), για την κάλυψη των πλευρικών επιφανειών καθώς και της οροφής του θερμοκηπίου. Το συγκεκριμένο τυποποιημένο ευέλικτο μεταλλικό υαλόφρακτο θερμοκήπιο, πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κηπευτικών και ανθοκομικών προϊόντων στην Ελληνική Επικράτεια.

Οι διαστάσεις του εξεταζόμενου θερμοκηπίου, σύμφωνα με τα Σχήματα 2.1 και 2.2, έχουν ως εξής:

- Απόσταση μεταξύ κύριων φορέων: 4.5 m
- Ύψος ως την υδρορροή: 4.80 m
- Μέγιστο ύψος κατασκευής στον κορφιά: 6 m
- Κλίση οροφής (α): 22°
- Συνολικό πλάτος: 19.2 m (δύο μονάδες ανοίγματος 9.60 m έκαστη)
- Συνολική καλυπτόμενη επιφάνεια εδάφους: 604.8 m²



Σχήμα 2.1 Εσωτερικός κύριος φορέας



Σχήμα 2.2 Εξωτερικός κύριος φορέας

2.3 Κατάταξη θερμοκηπίου

Σύμφωνα με τον EN13031.01, τα θερμοκήπια κατατάσσονται σύμφωνα:

- Με ένα ελάχιστο προβλεπόμενο σχεδιαστικό χρόνο ζωής της κατασκευής, ο οποίος κυμαίνεται από 5 έως 15 χρόνια, και
- Με την ανοχή του συστήματος επένδυσης στις μετατοπίσεις του σκελετού οπότε χαρακτηρίζονται σαν τύπου A ή τύπου B.

Τύπου A είναι τα θερμοκήπια στα οποία το σύστημα επένδυσης δεν είναι ανεκτικό σε μετατοπίσεις του σκελετού, συνεπεία των φορτίων σχεδιασμού. Τα θερμοκήπια τύπου A πρέπει να σχεδιάζονται ελέγχοντας τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (SLS) καθώς και τις οριακές καταστάσεις αστοχίας (ULS).

Τύπου B είναι τα θερμοκήπια στα οποία το σύστημα επένδυσης είναι ανεκτικό σε μετατοπίσεις του σκελετού, συνεπεία των φορτίων σχεδιασμού. Τα θερμοκήπια τύπου B επιτρέπεται να σχεδιάζονται ελέγχοντας μόνο τις οριακές καταστάσεις αστοχίας (ULS).

Στις περιπτώσεις όπου μόνο ένα μέρος της επένδυσης είναι ανεκτικό σε μετατοπίσεις του σκελετού, το θερμοκήπιο πρέπει να σχεδιάζεται σαν τύπου A. Οι τοπικές μετατοπίσεις των κατασκευαστικών συνιστωσών μεταφερόμενες ευθέως μόνο στα μέρη του συστήματος επένδυσης τα οποία είναι ανεκτικά σε μετατοπίσεις του σκελετού δεν χρειάζεται να ελέγχονται σε οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (SLS).

Το εξεταζόμενο υαλόφρακτο θερμοκήπιο Ολλανδικής προελεύσεως, διεθνώς γνωστό με την ονομασία Venlo, κατατάσσεται στα θερμοκήπια τύπου A15, δηλαδή στα θερμοκήπια με ελάχιστο προβλεπόμενο σχεδιαστικό χρόνο ζωής τα 15 έτη, και τα οποία σύμφωνα με τον EN 13031-1:2001, θα πρέπει να σχεδιάζονται βάσει του ελέγχου οριακής κατάστασης λειτουργικότητας, πέραν του ελέγχου σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

Κεφάλαιο 3^ο : Έλεγχος Επάρκειας αρχικής κατασκευής

3.1 Ελληνικοί Κανονισμοί – Κανόνες Εφαρμογής

Η όλη μελέτη, πέραν των προαναφερθέντων γενικότερα εφαρμοζόμενων Ευρωπαϊκών Κανονισμών Θερμοκηπιακών και εν γένει Χαλύβδινων κατασκευών (βλέπε Κεφάλαιο 1), βασίζεται εξίσου στις ακόλουθες Εθνικές Διατάξεις και στους σε ισχύ αντίστοιχους Εθνικούς Κανόνες Εφαρμογής:

- Ε.Λ.Ο.Τ EN 13031.01: Ελληνικό Πρότυπο – Θερμοκήπια : Σχεδιασμός και κατασκευή – Μέρος 1 : Θερμοκήπια παραγωγής^[7]
- ΕΑΚ 2000: Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός^[13]
- Τεχνικές Προδιαγραφές Θερμοκηπίων, Υπουργείο Γεωργίας, 1985 (ενδεικτικές πληροφορίες)^[10]

3.2 Περιγραφή των εξεταζόμενων συνδυασμών δράσεων

Κατά τον σχεδιασμό της κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα τα φορτία και δράσεις που είναι δυνατό να συμβούν κατά τη διάρκεια της ελάχιστης οικονομικής ζωής του έργου, όπως αυτό ορίζεται τόσο στον Ευρωκώδικα 1 όσο και στο πρότυπο EN 13031.01. Ειδικότερα οι υπολογισμοί θα πρέπει να αναφέρονται στις εξής φορτίσεις :

- *Μόνιμα φορτία-δράσεις*, δηλαδή το ίδιο βάρος της κατασκευής (χάλυβας, αλουμίνιο, υαλοπίνακες)
- *Κινητά φορτία-δράσεις* επί της κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών φορτίων, όπως για παράδειγμα φορτίο χιονιού και δράσεις ανέμου.
- *Σεισμικές δράσεις* επί της κατασκευής, το μέγεθος των οποίων προκύπτει από το βάρος της κατασκευής (συμπεριλαμβανομένων των φορτίων εξοπλισμού και χιονιού).

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τον Πίνακα 5 του EN 13031.01, οι γενικοί προς εφαρμογή συνδυασμοί δράσεων τόσο στην οριακή κατάσταση αστοχίας όσο και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, για θερμοκήπια παραγωγής στον Ελλαδικό Χώρο, διαμορφώνονται ως εξής :

$$a_1) \gamma_{G1}G_{k1} + \gamma_{G2}G_{k2} + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \psi_{0Q2}\gamma_{Q2}Q_{k2} + \psi_{0Q3}\gamma_{Q3}Q_{k3}$$

$$a_2) \gamma_{G1}G_{k1} + \gamma_{G2}G_{k2} + \psi_{0Q1}\gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}Q_{k2} + \psi_{0Q3}\gamma_{Q3}Q_{k3}$$

$$a_3) \gamma_{G1}G_{k1} + \gamma_{G2}G_{k2} + \psi_{0Q1}\gamma_{Q1}Q_{k1} + \psi_{0Q2}\gamma_{Q2}Q_{k2} + \gamma_{Q3}Q_{k3}$$

$$b_1) \gamma_{G1}G_{k1} + \gamma_{Q1}Q_{k1}$$

$$c_1) \gamma_{G1}G_{k1} + \gamma_{G2}G_{k2} + \psi_{0Q3}\gamma_{Q3}Q_{k3} + \gamma_{Q4}Q_{k4} + \psi_{0Q5}\gamma_{Q5}Q_{k5}$$

$$d_1) G_{k1} + G_{k2} + \psi_{2Q3}Q_{k3} + \gamma_{AE}A_{Ek}$$

$$d_2) G_{k1} + G_{k2} + \psi_{2Q2}Q_{k2} + \psi_{2Q3}Q_{k3} + \gamma_{AE}A_{Ek}$$

$$e_1) \gamma_{G1}G_{k1} + \gamma_{G2}G_{k2} + \gamma_{Q6}Q_{k6}$$

όπου

A_{Ek} η χαρακτηριστική τιμή των σεισμικών δράσεων

G_{k1} η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων

G_{k2} η χαρακτηριστική τιμή των δράσεων λόγω μόνιμης παρουσίας εγκαταστάσεων

Q_{k1} η χαρακτηριστική τιμή των δράσεων λόγω ανέμου

Q_{k2} η χαρακτηριστική τιμή των δράσεων λόγω χιονιού

Q_{k3} η χαρακτηριστική τιμή των δράσεων λόγω φυτών

Q_{k4} η χαρακτηριστική τιμή της συγκεντρωμένης κατακόρυφης δράσης

Q_{k5} η χαρακτηριστική τιμή των δράσεων λόγω μη μόνιμων εγκαταστάσεων

Q_{k6} η χαρακτηριστική τιμή των θερμικών δράσεων

γ ο μερικός παράγων

ψ ο συντελεστής συνδυασμού

Οι μερικοί παράγοντες γ ή αλλιώς συντελεστές σπουδαιότητας, οι οποίοι δίνονται στον Πίνακα E.24 του προτύπου EN 13031.01, αντιστοιχούν στις κατηγορίες σπουδαιότητας στις οποίες κατατάσσονται οι κατασκευές, ανάλογα με τον κίνδυνο που συνεπάγεται για τον άνθρωπο, την ενδεχόμενη κατάρρευση ή διακοπή της λειτουργίας τους, και τέλος με τις συνέπειες (κυρίως κοινωνικοοικονομικές) που ενδεχομένως να έχει.

| Πίνακας E.24 : Μερικοί παράγοντες γ | | | |
|--|----------------|-------------------------|------------------------|
| <i>Είδος Δράσεων</i> | <i>Σύμβολο</i> | <i>Οριακή Κατάσταση</i> | |
| | | <i>Λειτουργικότητας</i> | <i>Αστοχίας</i> |
| <i>Μόνιμες</i> | γ_{G1} | 1,0 | 1,2 / 1,0 ^a |
| <i>Λόγω μόνιμης παρουσίας εγκαταστάσεων</i> | γ_{G2} | 1,0 | 1,2 / 1,0 ^a |
| <i>Λόγω ανέμου</i> | γ_{Q1} | 1,0 | 1,2 / 0,0 |
| <i>Λόγω χιονιού</i> | γ_{Q2} | 1,0 | 1,2 / 0,0 |
| <i>Λόγω φυτών</i> | γ_{Q3} | 1,0 | 1,2 / 0,0 |
| <i>Συγκεντρωμένη κατακόρυφη</i> | γ_{Q4} | - | 1,2 / 0,0 |
| <i>Λόγω μη μόνιμων εγκαταστάσεων</i> | γ_{Q5} | 1,0 | 1,2 / 0,0 |
| <i>Θερμικές</i> | γ_{Q6} | 1,0 | 1,0 / 0,0 |
| <i>Σεισμικές</i> | γ_{AE} | - | 0,8 / 0,0 |
| ^a Θα λαμβάνεται η μεγαλύτερη τιμή όταν το G_k δρα δυσμενώς και η μικρότερη όταν το G_k δρα ευμενώς. | | | |

Οι αντίστοιχοι συντελεστές συνδυασμού ψ των μεταβλητών δράσεων, οι οποίοι παρατίθενται στον Πίνακα E.25 του προτύπου EN 13031.01, χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μειωμένη πιθανότητα για ταυτόχρονη συνύπαρξη των πλέον δυσμενών τιμών των διαφόρων ανεξάρτητων δράσεων.

Όσον αφορά τα θερμοκήπια παραγωγής, οι συντελεστές συνδυασμού ψ , υπολογίζονται για την ακραία περίπτωση ταυτόχρονης συνύπαρξης μέγιστων φορτίων ανέμου, χιονιού, παραγωγής, εγκαταστάσεων, καθώς και σεισμικών δράσεων. Στον ακόλουθο πίνακα εμφανίζονται οι τιμές των συντελεστών συνδυασμού ψ των μεταβλητών δράσεων για τον Ελλαδικό χώρο.

| Πίνακας E.25 : Συντελεστές συνδυασμού ψ | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Συνδυασμός Δράσεων | Συντελεστές συνδυασμού ψ | | | |
| | άνεμος ψ_{0Q1} | χιόνι ψ_{0Q2} | φυτά ψ_{0Q3} ή ψ_{2Q3} | μη μόνιμες εγκαταστάσεις ψ_{0Q5} |
| a_1 | - | 0,6 / 0,0 | 1,0 / 0,0 | - |
| a_2 | 0,6 / 0,0 | - | 1,0 / 0,0 | - |
| a_3 | 0,6 / 0,0 | 0,6 / 0,0 | - | - |
| c_1 | - | - | 1,0 / 0,0 | 0,0 |
| d_1^a | - | - | 1,0 / 0,0 | - |
| d_2^a | - | 0,3 | 1,0 / 0,0 | - |
| ^a Μόνο σε ζώνες υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας. | | | | |

Οι προαναφερθέντες γενικοί συνδυασμοί φόρτισης, όσον αφορά την οριακή κατάσταση αστοχίας, για θερμοκήπια παραγωγής στον Ελλαδικό χώρο και λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τις απαιτήσεις των Ελληνικών Κανονισμών, διαμορφώνονται μετά από κωδικοποίηση των

περιπτώσεων φόρτισης και βάσει των μερικών παραγόντων γ και των συντελεστών συνδυασμού ψ , ως εξής:

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

- 1) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 2) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 3) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 4) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 5) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 6) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 7) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 8) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 9) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 1.2 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 10) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 1.2 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 11) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 1.2 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 12) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 1.2 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 13) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 1.2 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 14) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 1.2 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 15) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 1.2 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 16) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 1.2 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 17) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 18) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 19) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 20) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ1 + 1.2 ΦΥΤΑ

- 21) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 22) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 23) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 24) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.72 ΧΙΟΝΙ2 + 1.2 ΦΥΤΑ
- 25) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΧ1
- 26) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΧ2
- 27) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΥ1
- 28) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΑΝΕΜΟΣΥ2
- 29) 1.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.72 ΦΥΤΑ + 1.2 ΣΥΓΚ. ΔΥΝΑΜΗ
- 30) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΦΥΤΑ + 0.8 ΣΕΙΣΜΟΣΧ
- 31) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΦΥΤΑ + 0.8 ΣΕΙΣΜΟΣΥ
- 32) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.3 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ + 0.8 ΣΕΙΣΜΟΣΧ
- 33) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.3 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ + 0.8 ΣΕΙΣΜΟΣΥ
- 34) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.3 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ + 0.8 ΣΕΙΣΜΟΣΧ
- 35) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ 0.3 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ + 0.8 ΣΕΙΣΜΟΣΥ

Αντίστοιχα, οι γενικοί προς εφαρμογή συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας για θερμοκήπια παραγωγής στον Ελλαδικό χώρο, διαμορφώνονται κατά τον ίδιο τρόπο, σύμφωνα με τον Πίνακα 5 του EN 13031.01 και βάσει των κατάλληλων μερικών παραγόντων γ και των αντίστοιχων συντελεστών συνδυασμού ψ από τους πίνακες E.24 και E.25 του προτύπου EN 13031.01. Πιο συγκεκριμένα, οι συνδυασμοί φόρτισης για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, έχουν ως εξής:

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

- 1) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 2) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 3) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 4) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 5) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 6) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 7) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 8) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 9) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 1.0 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 10) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 1.0 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 11) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 1.0 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 12) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 1.0 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 13) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 1.0 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 14) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 1.0 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 15) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 1.0 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 16) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 1.0 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 17) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 18) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 19) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 20) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 21) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 22) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΧ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 23) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ1 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 24) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΑΝΕΜΟΣΥ2 + 0.60 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 25) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΧ1

- 26) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΧ2
- 27) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΥ1
- 28) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΑΝΕΜΟΣΥ2
- 29) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.60 ΦΥΤΑ
- 30) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 1.0 ΦΥΤΑ
- 31) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.3 ΧΙΟΝΙ1 + 1.0 ΦΥΤΑ
- 32) 1.0 ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ + 1.0 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ + 0.3 ΧΙΟΝΙ2 + 1.0 ΦΥΤΑ

3.3 Υπολογισμός των επιμέρους δράσεων επί της κατασκευής

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 και τον EN 13031.01 θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες δράσεις-φορτίσεις:

3.3.1 Μόνιμα φορτία

Ίδιο βάρος κατασκευής G_{k1} : Ο σκελετός από χάλυβα υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό. Τα φορτία των υαλοπινάκων και των προφίλ αλουμινίου προστίθενται και δημιουργούν ένα ανηγμένο κατακόρυφο ομοιόμορφο επιφανειακό φορτίο που ισούται με $g_{k1} = 0.13 \text{ kN/m}^2$ (σύμφωνα με τον κανόνα του τραπεζίου) και το οποίο εφαρμόζεται στην οροφή καθώς και στις πλευρικές επιφάνειες του θερμοκηπίου.

Δράσεις λόγω μόνιμης παρουσίας εγκαταστάσεων G_{k2} : Η τιμή του φορτίου λόγω της μόνιμης παρουσίας εγκαταστάσεων, λαμβάνεται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς ίση με $g_{k2} = 0.70 \text{ kN/m}^2$.

3.3.2 Κινητά φορτία

Δράσεις λόγω ανέμου Q_{k1} : Η ανεμοπίεση η οποία αποτελεί μια από τις σημαντικότερες φορτίσεις που καταπονούν το θερμοκήπιο, κατατάσσεται στις λεγόμενες μεταβλητές ελεύθερες φορτίσεις. Ως απαραίτητο συνοδευτικό κάθε μελέτης θερμοκηπιακών κατασκευών, παρατίθενται στο Παράρτημα Α, στο τέλος του πονήματος, μεταφρασμένα αποσπάσματα από τον EN 13031.01 (Παράρτημα Β του EN 13031.01), σχετικά με τις δράσεις λόγω ανέμου, τα

οποία τυγχάνουν άμεσης υποχρεωτικής εφαρμογής για κάθε αμφίρρικτο θερμοκήπιο και στα οποία βασίζονται οι ακόλουθοι υπολογισμοί που αφορούν τις δράσεις λόγω ανέμου.

Βάσει του Παραρτήματος Α και των ακόλουθων σχέσεων, υπολογίζεται η τιμή της ανεμοπίεσης, που δρα σε εξωτερικές (εσωτερικές) επιφάνειες w_e (w_i). Πιο συγκεκριμένα ισχύει ότι:

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe} , (w_i = q_p(z_i) c_{pi})$$

όπου

$q_p(z_e)$ ($q_p(z_i)$) : η εξωτερική (εσωτερική) πίεση της μέγιστης ταχύτητας ανέμου,

z_e (z_i) : το ύψος αναφοράς για την εξωτερική (εσωτερική) πίεση και

c_{pe} (c_{pi}) : οι συντελεστές πίεσης

Επιπρόσθετα, οι εξωτερικές (εσωτερικές) δράσεις λόγω ανεμοπίεσης, υπολογίζονται σύμφωνα με τη σχέση

$$F_{w,e(i)} = c_s c_d \sum_{\varepsilon\pi\iota\phi} w_{e(i)} A_{ref}$$

όπου

A_{ref} : η επιφάνεια αναφοράς (προσβαλλόμενη επιφάνεια αντιστοιχούσα σε φορτιζόμενο μέλος) και

$c_s c_d$: ο λεγόμενος δομικός παράγων. Για κατασκευές με ύψος μικρότερο από 15m (όπως το θερμοκήπιο υπό μελέτη) ισχύει ότι $c_s c_d = 1$.

Σε ό,τι αφορά την πίεση για τη μέγιστη ταχύτητα ανέμου, σύμφωνα με το Παράρτημα Β του EN 13031.01 ισχύει ότι $z_e = 1.00 \times h = 1.00 \times 6.00 = 6.00\text{m}$. Η

πίεση βασικής ταχύτητας $q_p(z)$ υπολογίζεται από την έκφραση $q_p = \frac{1}{2} \rho v_b^2$,

όπου $\rho = 1.25\text{kg/m}^3$ η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και v_b **η μέγιστη**

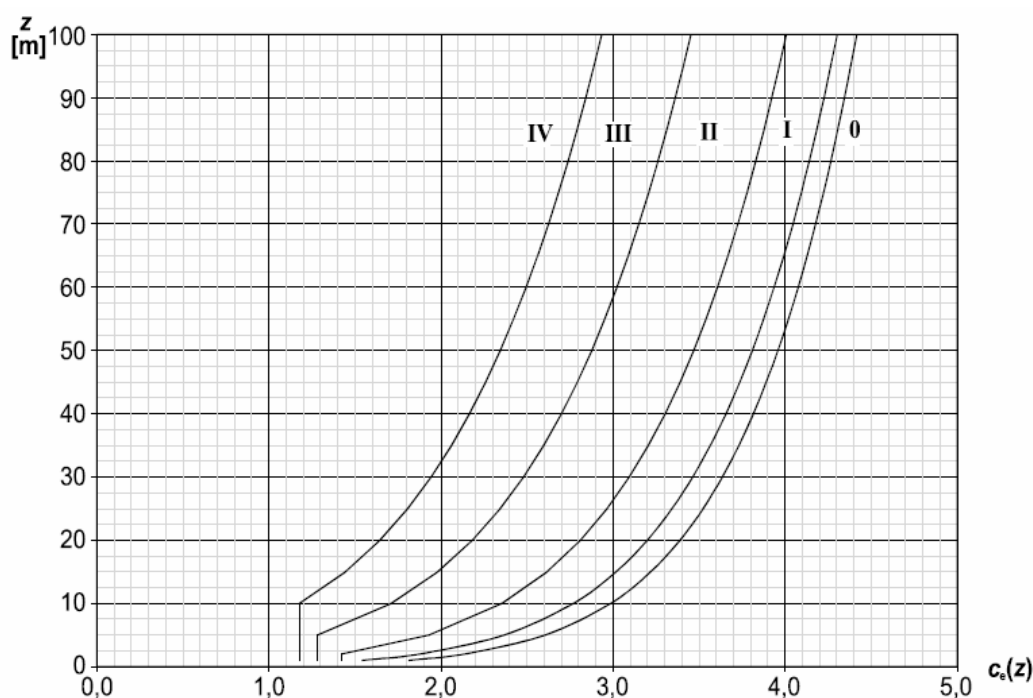
ταχύτητα ανέμου του Ελλαδικού χώρου, που λαμβάνεται ίση με **$v_b = 36$**

m/sec . Η απαιτούμενη τιμή για την q_p ισούται με **$q_p = 0.81 \text{ kN/m}^2$** . Για την

εύρεση της τιμής της πίεσης για τη μέγιστη ταχύτητα ανέμου, που ισούται με

$q_p(z_e) = q_p(z_i) = c_e(z) q_p$, όπου $c_e(z)$ ο συντελεστής έκθεσης, γίνεται χρήση

του νομογραφήματος που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Νομογράφημα για υπολογισμό του συντελεστή έκθεσης $c_e(z)$

Για τη συγκεκριμένη μελέτη και για Ζώνη III εδαφικής διαμόρφωσης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1, με γραμμική παρεμβολή βρίσκεται ότι ο συντελεστής έκθεσης $c_e(z)$ ισούται με 1.35, και κατά συνέπεια η πίεση λόγω της μέγιστης ταχύτητας ανέμου υπολογίζεται ίση με $1.35 \times 0.81 = 1.094$. Συνεπώς θα ισχύει ότι:

$$q_p(z_{e(i)}) = q_p(z_e) = q_p(z_i) = c_e(z) q_p = 1.35 \times 0.81 = 1.094 \text{ kN/m}^2$$

Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι συντελεστές εξωτερικής και εσωτερικής πίεσης με βάση τα περιεχόμενα του Παραρτήματος Β του EN 13031.01 (που περιέχονται στο Παράρτημα Α στο τέλος της παρούσας), τα οποία αναλύθηκαν στην αρχή της Παραγράφου 3.3.2. Κατ' αρχήν υπολογίζονται οι γεωμετρικές παράμετροι του εξεταζόμενου θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα :

| | | | |
|-----|-------|---|------|
| Ze | 6,00 | m | |
| H | 6,00 | m | |
| h | 4,80 | m | |
| s | 4,80 | m | |
| h/s | 1,00 | | >0.4 |
| w | 19,20 | m | |
| h/w | 0,25 | | <0,4 |

Σε δεύτερη φάση προσδιορίζεται το ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο $q^{j,m}$ που δρα λόγω ανέμου σε ένα j φορτιζόμενο μέλος (και έχει διεύθυνση κάθετη προς τον κεντροβαρικό άξονα αυτού). Για κάθε τέτοιο μέλος j , που ανήκει στην ζώνη m και το πλάτος επιρροής του ανέμου επ' αυτού είναι ίσο με f^j , το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο $q^{j,m}$, υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$q^{j,m} = f^j * q_p(z_{e(i)}) * (c_{pe}^{j,m} - c_{pi}^j) \text{ kN/m}$$

Όσον αφορά το πλάτος επιρροής, το συγκεκριμένο για τα ενδιάμεσα φέροντα μέλη θα ισούται με 4.50 m, ενώ για τα αντίστοιχα ακραία θα ισούται με 2.25 m. Με το ίδιο σκεπτικό, το πλάτος επιρροής για τα ενδιάμεσα κατακόρυφα στοιχεία των ακραίων κυρίων φορέων θα ισούται με 4.80 m, ενώ για τα γωνιακά αντίστοιχα θα ισούται με 2.40 m.

Συνεπώς, βάσει των ανωτέρω παρατηρήσεων και των τιμών c_{pe} και c_{pi} , θα πρέπει να εξεταστούν τέσσερις συνολικά περιπτώσεις φόρτισης λόγω ανέμου, οι εξής:

I. Άνεμος με κατεύθυνση κάθετη στον κορφιά (άνεμος 0°) υπό πίεση

| Άνεμος με κατεύθυνση κάθετη στον κορφιά (άνεμος 0°) | | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | | | | |
| c _{pi} =0.2 εσωτερική πίεση | | | | |
| | Κατακόρυφα στοιχεία/Στύλοι | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| h/w≤0.40 | c ₁ =0.6-0.2=0.4 | για πλευρικά αετώματα (Κ) | | |
| | c ₂ =-0.3-0.2=-0.5 | για την υπήνεμη πρόσοψη (L) | | |
| | c ₃ =-0.3-0.2=-0.5 | για την προσήνεμη πρόσοψη (Μ) | | |
| | Στέγη | | | |
| | c ₄ =0.3-0.2=0.1 | για πρώτο άνοιγμα (Α) | | |
| | c ₅ =-1-0.2=-1.2 | για δεύτερο άνοιγμα (Β) | | |
| | h/s≥0.40 | c ₆ =-0.7-0.2=-0.9 | για τρίτο άνοιγμα (C) | |
| | c ₇ =-0.5-0.2=-0.7 | για τέταρτο άνοιγμα (D) | | |
| | c ₈ =-0.4-0.2=-0.6 | για πέμπτο άνοιγμα (E) | | |
| | c ₉ =-0.5-0.2=-0.7 | για έκτο άνοιγμα (F) | | |
| | c ₁₀ =-0.4-0.2=-0.6 | για έβδομο άνοιγμα (G) | | |
| | c ₁₁ =-0.4-0.2=-0.6 | για όγδοο άνοιγμα (H) | | |
| Τύπος υπολογισμού φορτίου Q _i = q _p (z _{e(i)})*c _i | | | | |
| Q ₁ = 0.4*1.094 (K) | ϕ | Q ₁ = | 0,4376 | c _{pi} =0.2 εσωτερική πίεση |
| Q ₂ =-0.5*1.094 (L) | ϕ | Q ₂ = | -0,547 | |
| Q ₃ =-0.5*1.094 (M) | ϕ | Q ₃ = | -0,547 | |
| Q ₄ =0.1*1.094 (A) | ϕ | Q ₄ = | 0,1094 | |
| Q ₅ =-1.2*1.094 (B) | ϕ | Q ₅ = | -1,3128 | |
| Q ₆ =-0.9*1.094 C | ϕ | Q ₆ = | -0,9846 | |
| Q ₇ =-0.7*1.094 (D) | ϕ | Q ₇ = | -0,7658 | |
| Q ₈ =-0.6*1.094 (E) | ϕ | Q ₈ = | -0,6564 | |
| Q ₉ =-0.7*1.094 (F) | ϕ | Q ₉ = | -0,7658 | |
| Q ₁₀ =-0.6*1.094 (G) | ϕ | Q ₁₀ = | -0,6564 | |
| Q ₁₁ =-0.6*1.094 (H) | ϕ | Q ₁₁ = | -0,6564 | |

 $c_{pi}=0.2$ εσωτερική πίεση

II. Άνεμος με κατεύθυνση κάθετη στον κορφιά (άνεμος 0°) σε ύφεση

| Άνεμος με κατεύθυνση κάθετη στον κορφιά (άνεμος 0°) | | | |
|---|---|-------------------------------|---------------------------------------|
| | | | |
| c _{pi} =-0.3 εσωτερική πίεση | | | |
| | Κατακόρυφα στοιχεία/Στύλοι | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| h/w≤0.40 | c ₁ =0.6+0.3=0.9 | για πλευρικά αετώματα (Κ) | |
| | c ₂ =-0.3+0.3=0.0 | για την υπήνεμη πρόσοψη (L) | |
| | c ₃ =-0.3+0.3=0.0 | για την προσήνεμη πρόσοψη (Μ) | |
| | | | |
| | Στέγη | | |
| | c ₄ '=-1.1+0.3=-0.8 | για πρώτο άνοιγμα (Α') | |
| | c ₅ '=-1+0.3=-0.7 | για δεύτερο άνοιγμα (Β') | |
| h/s≥0.40 | c ₆ '=-0.7+0.3=-0.4 | για τρίτο άνοιγμα (C') | |
| | c ₇ '=-0.5+0.3=-0.2 | για τέταρτο άνοιγμα (D') | |
| | c ₈ '=-0.4+0.3=-0.1 | για πέμπτο άνοιγμα (Ε') | |
| | c ₉ '=-0.5+0.3=-0.2 | για έκτο άνοιγμα (F') | |
| | c ₁₀ '=-0.4+0.3=-0.1 | για έβδομο άνοιγμα (G') | |
| | c ₁₁ '=-0.4+0.3=-0.1 | για όγδοο άνοιγμα (Η') | |
| | Τύπος υπολογισμού φορτίου Q _i = q _p (z _{e(i)})*c _i | | |
| Q ₁ ' = 0.9*1.094 (Κ') | ϕ | Q ₁ ' = 0,9846 | c _{pi} =-0.3 εσωτερική πίεση |
| Q ₂ ' = 0.0*1.094 (L') | ϕ | Q ₂ ' = 0 | |
| Q ₃ ' = 0.0*1.094 (Μ') | ϕ | Q ₃ ' = 0 | |
| Q ₄ ' =-0.8*1.094 (Α') | ϕ | Q ₄ ' = -0,8752 | |
| Q ₅ ' =-0.7*1.094 (Β') | ϕ | Q ₅ ' = -0,7658 | |
| Q ₆ ' =-0.4*1.094 (C') | ϕ | Q ₆ ' = -0,4376 | |
| Q ₇ ' =-0.2*1.094 (D') | ϕ | Q ₇ ' = -0,2188 | |
| Q ₈ ' =-0.1*1.094 (Ε') | ϕ | Q ₈ ' = -0,1094 | |
| Q ₉ ' =-0.2*1.094 (F') | ϕ | Q ₉ ' = -0,2188 | |
| Q ₁₀ ' =-0.1*1.094 (G') | ϕ | Q ₁₀ ' = -0,1094 | |
| Q ₁₁ ' =-0.1*1.094 (Η') | ϕ | Q ₁₁ ' = -0,1094 | |

 $c_{pi}=-0.3$ εσωτερική πίεση

III. Άνεμος με κατεύθυνση παράλληλη στον κορφιά (άνεμος 90°) υπό πίεση

| Άνεμος με κατεύθυνση παράλληλη στον κορφιά (άνεμος 90°) | | | | |
|--|--------------------------------|-------------------------------|---------|--------------------------------------|
| | | | | |
| c _{pi} =0.2 εσωτερική πίεση | | | | |
| | Κατακόρυφα στοιχεία/Στύλοι | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| για κάθε h/s | c ₁₂ =-0.2-0.2=-0.4 | για πλευρικά αετώματα (N) | | |
| | c ₁₃ =0.7-0.2=0.5 | για την προσήνεμη πρόσοψη (O) | | |
| | c ₁₄ =-0.3-0.2=-0.5 | για την υπήνεμη πρόσοψη (P) | | |
| | | | | |
| | Στέγη | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| για κάθε h/s | c ₁₅ =-0.2-0.2=-0.4 | για το σύνολο οροφής | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Τύπος υπολογισμού φορτίου Qi= q _p (z _{e(i)})*ci | | | | |
| Q ₁₂ = -0.4*1.094 (N) | ϕ | Q ₁₂ = | -0,4376 | c _{pi} =0.2 εσωτερική πίεση |
| Q ₁₃ = 0.5*1.094 (O) | ϕ | Q ₁₃ = | 0,547 | |
| Q ₁₄ =-0.5*1.094 (P) | ϕ | Q ₁₄ = | -0,547 | |
| Q ₁₅ =-0.4*1.094 | ϕ | Q ₁₅ = | -0,4376 | |

$c_{pi}=0.2$ εσωτερική πίεση

IV. Άνεμος με κατεύθυνση παράλληλη στον κορφιά (άνεμος 90°) σε ύφεση

| Άνεμος με κατεύθυνση παράλληλη στον κορφιά (άνεμος 90°) | | | |
|--|--------------------------------|-------------------------------|---------|
| | | | |
| c _{pi} =-0.2 εσωτερική πίεση | | | |
| | Κατακόρυφα στοιχεία/Στύλοι | | |
| | | | |
| | | | |
| για κάθε h/s | c ₁₂ =-0.2+0.2=0.0 | για πλευρικά αετώματα (N) | |
| | c ₁₃ =0.7+0.2=0.9 | για την προσήνεμη πρόσοψη (O) | |
| | c ₁₄ =-0.3+0.2=-0.1 | για την υπήνεμη πρόσοψη (P) | |
| | | | |
| | Στέγη | | |
| | | | |
| | | | |
| για κάθε h/s | c ₁₅ =-0.2+0.2=0.0 | για το σύνολο οροφής | |
| | | | |
| | | | |
| Τύπος υπολογισμού φορτίου Qi= q _p (z _{e(i)})*ci | | | |
| Q ₁₂ ' = 0.0*1.094 (N') | ∅ | Q ₁₂ ' = | 0 |
| Q ₁₃ ' = 0.9*1.094 (O') | ∅ | Q ₁₃ ' = | 0,9846 |
| Q ₁₄ ' =-0.1*1.094 (P') | ∅ | Q ₁₄ ' = | -0,1094 |
| Q ₁₅ ' = 0.0*1.094 | ∅ | Q ₁₅ ' = | 0 |
| c _{pi} =-0.2 εσωτερική πίεση | | | |

Φορτίο χιονιού Q_{k2} : Η χιονοφόρτιση είναι μία από τις κύριες καταπονήσεις των θερμοκηπιακών κατασκευών και αποτελεί, μετά τον άνεμο, τον σοβαρότερο παράγοντα αστοχίας των κατασκευών αυτών. Τα φορτία χιονιού κατατάσσονται στις μεταβλητές ελεύθερες δράσεις (όπως αυτές ορίζονται στο Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1).

Στην εξεταζόμενη περίπτωση θερμοκηπίου γίνεται επιλογή της Ζώνης 1 από τον σχετικό χάρτη για την Ελλαδική Επικράτεια που αφορά το φορτίο χιονιού και ο οποίος παρατίθεται στην Εικόνα 3.1. Το φορτίο χιονιού στη στάθμη της θάλασσας, θα ισούται με $q_{k2} = 0.40 \text{ kN/m}^2$. Η τιμή των σχετικών δράσεων, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$s = \mu_i c_e c_t q_{k2}$$

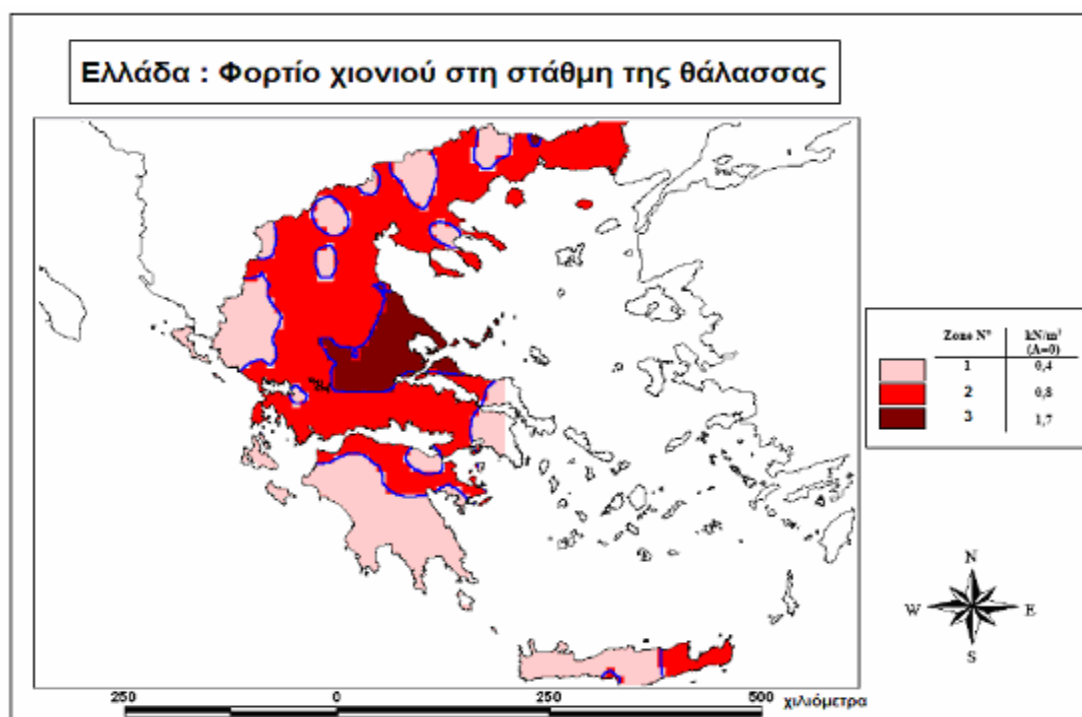
όπου

μ_i : οι συντελεστές σχήματος,

c_e : ο συντελεστής έκθεσης και

c_t : ο θερμικός συντελεστής

(*) Για συνήθεις συνθήκες, όπως για την υπό μελέτη κατασκευή, οι συντελεστές c_e και c_t λαμβάνονται ίσοι με τη μονάδα, δηλαδή $c_e = c_t = 1$.



Εικόνα 3.1. Χάρτης για την Ελληνική Επικράτεια που αφορά το φορτίο χιονιού

Ως απαραίτητο συνοδευτικό κάθε μελέτης θερμοκηπιακών κατασκευών, παρατίθενται στο Παράρτημα Α στο τέλος του πονήματος, μεταφρασμένα αποσπάσματα από τον EN 13031.01 (Παράρτημα C του EN 13031.01), σχετικά με τις δράσεις λόγω χιονιού, όσον αφορά τους συντελεστές σχήματος, τα οποία τυγχάνουν άμεσης υποχρεωτικής εφαρμογής για κάθε αμφίρρικτο θερμοκήπιο.

Σύμφωνα με το Παράρτημα C του EN 13031.01, ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού για την περίπτωση στέγης πολλαπλών κορυφών θα ισούται με 0.8 ενώ διακρίνονται δύο υποπεριπτώσεις φόρτισης, οι εξής:

(α) Ομοιόμορφο φορτίο χιονιού, όπου το φορτίο κατανέμεται σε ολόκληρη την επιφάνεια της στέγης του θερμοκηπίου, στα άνω πέλματα των μεσαίων και ακραίων κυρίων φορέων και το οποίο έχει τιμή ίση με:

$$s_1 = \mu_1 \times q_{k2} = 0.8 \times 0.40 = 0.32 \text{ kN/m}^2$$

Όσον αφορά τις ζώνες επιρροής, για την περίπτωση των εσωτερικών κύριων φορέων θα ισούνται με 4.5 m και συνεπώς το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χιονιού θα λαμβάνεται ίσο με $Q_{k2} = 0.32 \times 4.5 = 1.44 \text{ kN/m}$. Αντίστοιχα, για τους εξωτερικούς κύριους φορείς η ζώνη επιρροής θα είναι ίση με 2.25 m και το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χιονιού θα έχει τιμή ίση με $Q_{k2} = 0.32 \times 2.25 = 0.72 \text{ kN/m}$.

(β) Ανομοιόμορφο φορτίο χιονιού, όπου το φορτίο εμφανίζεται με τριγωνική μορφή και η μέγιστη τιμή που λαμβάνει ισούται με:

$$s_2 = 2 \times \mu_1 \times q_{k2} = 2 \times 0.8 \times 0.40 = 0.64 \text{ kN/m}^2$$

Βάσει των υφιστάμενων ζωνών επιρροής των κύριων φορέων, το ανομοιόμορφο φορτίο χιονιού για την περίπτωση των εσωτερικών κύριων φορέων λαμβάνει τιμή ίση με $Q_{k2} = 0.64 \times 4.5 = 2.88 \text{ kN/m}$ και τιμή ίση με $Q_{k2} = 0.64 \times 2.25 = 1.44 \text{ kN/m}$ για την περίπτωση των εξωτερικών κύριων φορέων.

Φορτία λόγω ανηρτημένων φυτών Q_{k3} : Η τιμή του φορτίου λόγω ανηρτημένων φυτών, λαμβάνεται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς ίση με 0.40 kN/m^2 . Τα φυτά αναρτώνται από το κάτω πέλμα (ελκυστήρα) των μεσαίων κυρίων φορέων, που απέχουν μεταξύ τους 4.50 m. Ως αποτέλεσμα, στους ελκυστήρες των μεσαίων κυρίων φορέων θα εμφανίζεται ένα ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο ίσο με $4.50 \times 0.40 = 1.80 \text{ kN/m}$.

Συγκεντρωμένη κατακόρυφη δράση Q_{k4} : Σύμφωνα με τον Πίνακα 7 του EN 13031.01, η εν λόγω δράση ισούται με 1 kN. Το κινητό φορτίο του 1 kN εφαρμόζεται στο δυσμενέστερο σημείο του φορέα, δηλαδή στο μέσον του ανοίγματος της τεγίδας, ή οποιουδήποτε εγκάρσιου ευθύγραμμου μέλους εντός του επιπέδου φόρτισης ανέμου ή χιονιού.

3.3.3 Σεισμικές Δράσεις A_{EK}

Ο υπολογισμός των σεισμικών δράσεων γίνεται βάση της απλοποιημένης φασματικής μεθόδου (ισοδύναμη στατική μέθοδος). Πιο συγκεκριμένα, τα φορτία σεισμού αντικαθίστανται με την εφαρμογή στην κατασκευή ισοδύναμων οριζοντίων πλευρικών δυνάμεων (κατά x και κατά y), το μέγεθος των οποίων προκύπτει από το βάρος της κατασκευής, (συμπεριλαμβανομένων των φορτίων εξοπλισμού και χιονιού). Σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. 2000, υιοθετούνται τα ακόλουθα δεδομένα σεισμικών δυνάμεων για την εξεταζόμενη περίπτωση θερμοκηπίου:

| | |
|---|--|
| <p><i>Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III</i> $\alpha = 0.24$</p> <p><i>Κατηγορία σπουδαιότητας Σ1</i> $\gamma_1 = 0.85$</p> <p><i>Κατηγορία εδάφους Γ</i></p> <p><i>Συντελεστής θεμελίωσης θ</i> $\theta = 0.9$</p> <p><i>Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης</i> $\beta_0 = 2.50$</p> <p><i>Ποσοστό απόσβεσης</i> $\zeta = 4\%$</p> <p><i>Συντελεστής συμπεριφοράς</i> $q_x = 1.50, q_y = 4$</p> <p><i>Διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης η</i> $\eta = \sqrt{[7/(2+\zeta)]} \Rightarrow \eta = 1.852$</p> | <p><i>Σεισμική επιτάχυνση εδάφους</i> $A = \alpha \cdot g, (g \text{ επιτάχυνση βαρύτητας})$</p> <p><i>Ίδιο βάρος κατασκευής g_0</i> $g_0 = 0.10 \text{ kN/m}^2 + 0.13 \text{ kN/m}^2 = 0.23 \text{ kN/m}^2$</p> <p><i>Ίδιο βάρος εγκαταστάσεων g_1</i> $g_1 = 0.70 \text{ kN/m}^2$</p> <p>$g_{\text{tot}} = g_0 + g_1 \Rightarrow g_{\text{tot}} = 0.93 \text{ kN/m}^2$</p> <p><i>Βάρος χιονιού</i> $s_1 = 0.40 \times 0.8 = 0.32 \text{ kN/m}^2$</p> <p><i>Κάτοψη κατασκευής F</i> $F = 604.8 \text{ m}^2$</p> <p><i>Βάρος σεισμού W</i> $W = F \times (g_{\text{tot}} + 0.3 \times s_1) \Rightarrow W = 620.52 \text{ kN}$</p> <p><i>Συνολική ταλαντούμενη μάζα M</i> $M = W/g = 410.40 \text{ kN/g}$</p> |
|---|--|

Το φάσμα σχεδιασμού $\Phi_d(T)$ υπολογίζεται στη συνέχεια από την εξής σχέση:

$$\Phi_d(T) = \gamma_I * A * \eta * \theta * \beta_0 / q$$

(α) Για την οριζόντια συνιστώσα ισχύει ότι :

$$\Phi_d(T) = 0.85 \times 0.24g \times (1.852 \times 0.90 \times 2.5) / q = 0.85g/q$$

(β) Για την κατακόρυφη συνιστώσα ισχύει ότι :

$$\Phi_d(T) = 0.85 \times 0.24g \times 0.70 \times (1.852 \times 0.90 \times 2.5) / 0.50q = 1.19 g/q$$

Βάσει των ανωτέρω υπολογισμών, οι σεισμικές δράσεις κατά x και κατά y θα έχουν ως εξής :

➤ Συνολική σεισμική φόρτιση κατά x :

$$V_0^x = M\Phi_d^x(T) = (410.40 \text{ kN/g}) \times 0.85g/q_x$$

Για $q_x=1.5$, η συνολική σεισμική τέμνουσα κατά x θα ισούται με: $V_0^x = 232.56 \text{ kN}$
 Η υπολογισμένη σεισμική δύναμη $V_0^x = 232.56 \text{ kN}$ μοιράζεται στους 16 ακραίους στύλους των εσωτερικών και εξωτερικών κύριων φορέων της κατασκευής, σύμφωνα με την απλοποιημένη ισοδύναμη στατική μέθοδο του ΕΑΚ^[13]. Η σεισμική δράση A_{EK}^x συνεπώς που δέχεται ο κάθε στύλος θα έχει ως εξής:

$$A_{EK}^x = V_0^x / 16 \Rightarrow A_{EK}^x = 14.535 \text{ kN} \text{ (κατά τον άξονα των x)}$$

➤ Συνολική σεισμική φόρτιση κατά y :

$$V_0^y = M\Phi_d^y(T) = (410.40 \text{ kN/g}) \times 1.19 g/q$$

Για $q_y=4$, η συνολική σεισμική τέμνουσα κατά y θα ισούται με: $V_0^y = 488.38 \text{ kN}$
 Η υπολογισμένη σεισμική δύναμη $V_0^y = 488.38 \text{ kN}$ αναλαμβάνεται από τους 10 στύλους των εξωτερικών κύριων φορέων της κατασκευής. Η σεισμική δράση A_{EK}^y συνεπώς που δέχεται ο κάθε στύλος θα έχει ως εξής:

$$A_{EK}^y = V_0^y / 10 \Rightarrow A_{EK}^y = 48.838 \text{ kN} \text{ (κατά τον άξονα των y)}$$

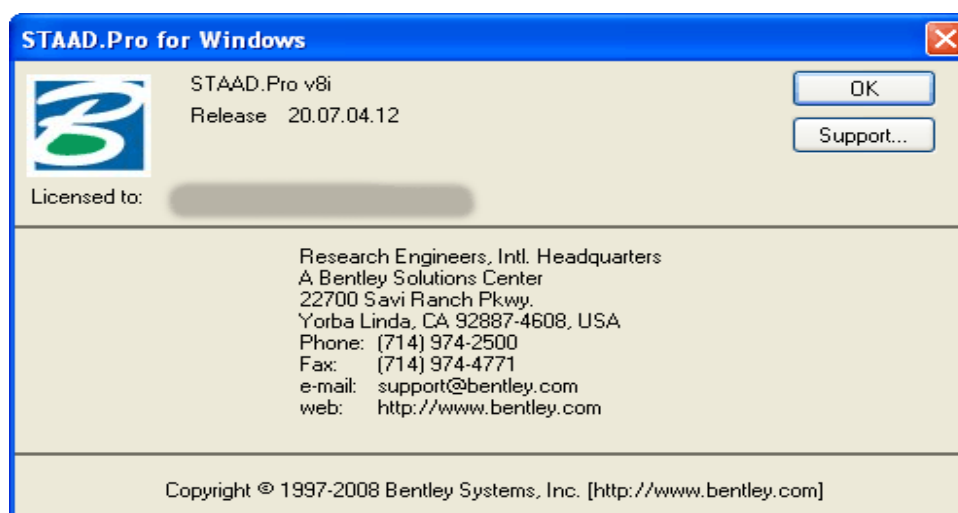
3.4 Πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης

Όσον αφορά τους υπολογισμούς, τη διαστασιολόγηση και τον έλεγχο επάρκειας της κατασκευής, τα συγκεκριμένα πραγματοποιούνται κάνοντας

χρήση του προγράμματος **Staad.Pro V8i** (Εικόνες 3.2 και 3.3). Ειδικότερα, εφαρμόζεται γραμμική στατική ανάλυση και ανάλυση ευστάθειας για όλους τους προβλεπόμενους συνδυασμούς φόρτισης σύμφωνα πάντα με τις Ελληνικές Προδιαγραφές. Μέσω του ανωτέρω λογισμικού, που υπολογίζει αυτόματα το ίδιο βάρος της κατασκευής και με ισοδύναμη φόρτιση του φορέα λόγω του ιδίου βάρους των υαλοπινάκων καθώς και των ειδικών προφίλ αλουμινίου με επιφανειακό φορτίο κατάλληλα υπολογισμένο (όπως χαρακτηριστικά προαναφέρθηκε), πραγματοποιούνται οι απαιτούμενοι έλεγχοι λειτουργικότητας και αστοχίας σύμφωνα πάντα με τον Ευρωκώδικα 3.



Εικόνα 3.2 Γενικά χαρακτηριστικά του προγράμματος STAAD.Pro V8i



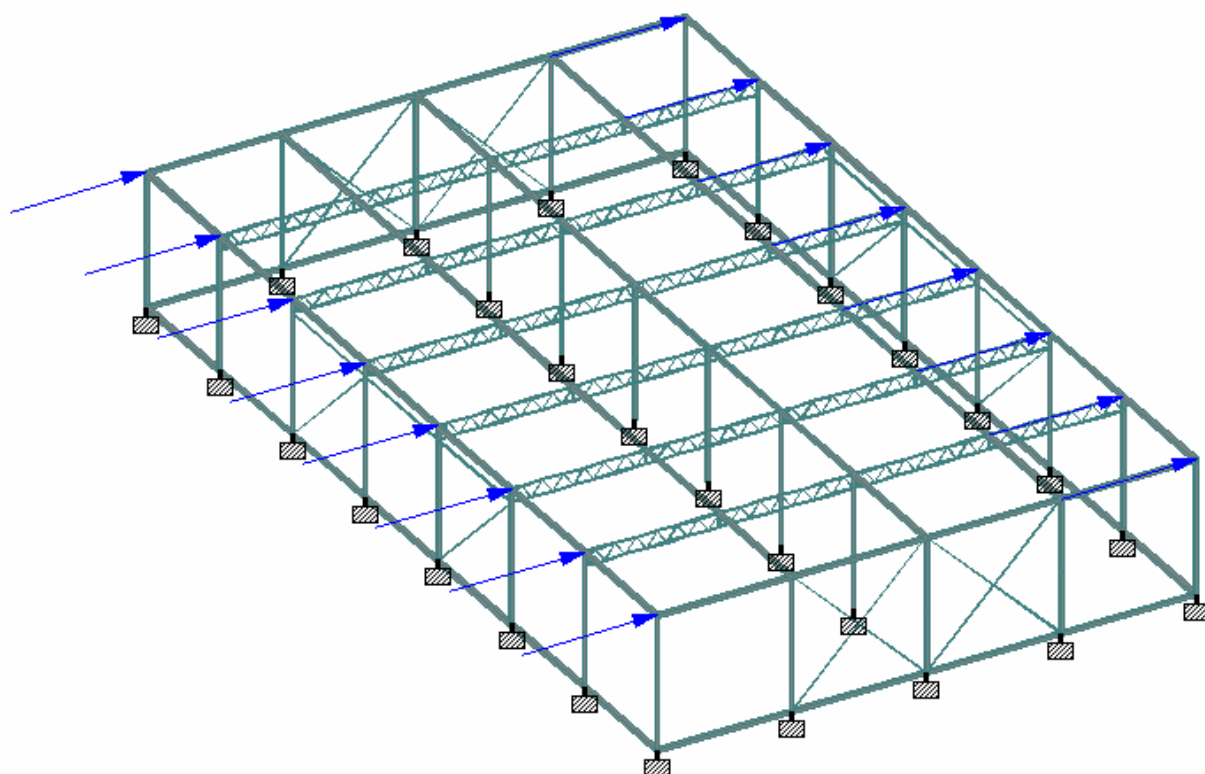
Εικόνα 3.3 Γενικά χαρακτηριστικά του προγράμματος STAAD.Pro V8i

3.5 Έλεγχος επάρκειας αρχικού φορέα

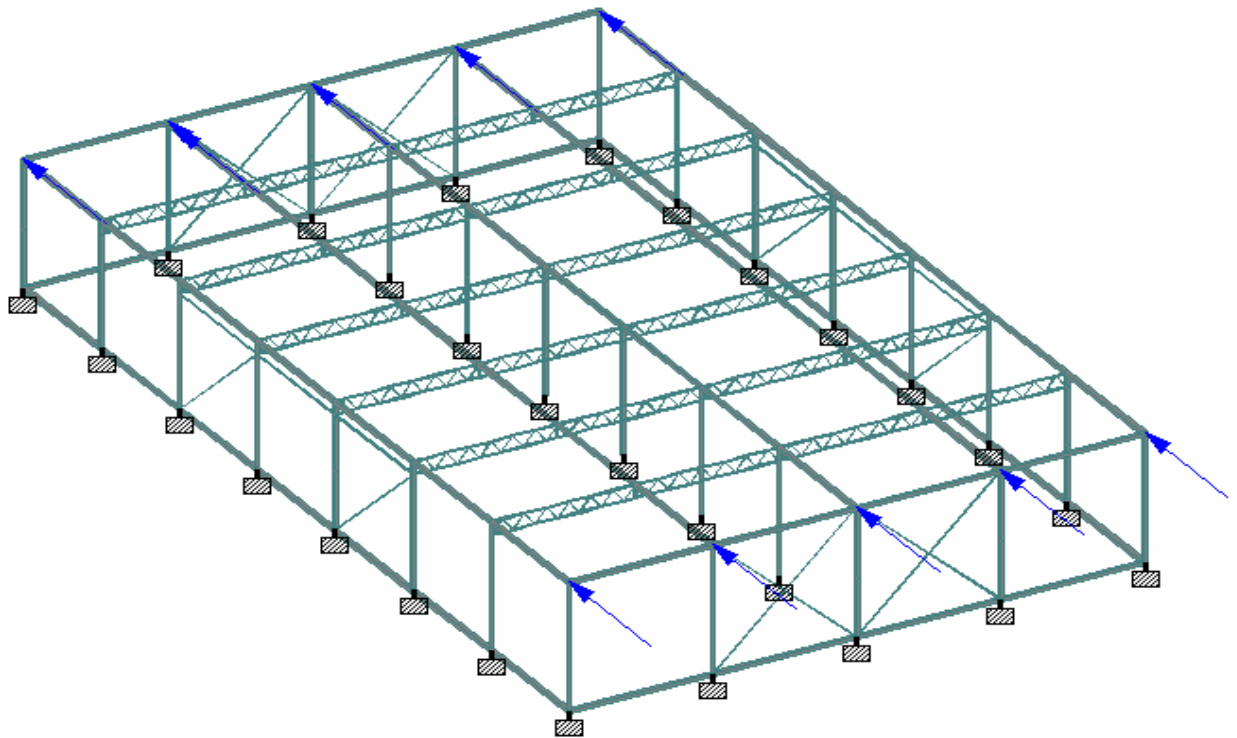
Για να ελεγχθεί η δυνατότητα της αρχικά εξεταζόμενης κατασκευής να ανταποκριθεί στις ισχύουσες από πλευράς φορτίσεων και συνδυασμών αυτών διατάξεις στην Ελληνική Επικράτεια, ακολουθεί η παρακάτω διαδικασία:

Επειδή η κατεχοχήν πρόσθετη δράση στην Ελληνική Επικράτεια είναι ο σεισμός, με υπολογισμό της μάζας του χιονιού στη συνολική δυσκαμψία της κατασκευής, γεγονός το οποίο δεν έχει ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό της αρχικής μας κατασκευής, προβαίνουμε σε τρισδιάστατη επίλυση των εξωτερικών και εσωτερικών κύριων φορέων με χρήση του προγράμματος **Staad.Pro V8i**. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται ο συνδυασμός φόρτισης **$0.8 \times A_{EK} + 1.20 \times G_{k1}$** , δηλαδή επίδραση αποκλειστικά και μόνο των σεισμικών δράσεων απομειωμένων με τον μερικό παράγοντα $\gamma_{AE}=0.8$, λαμβανομένου υπόψη και του ιδίου βάρους της κατασκευής.

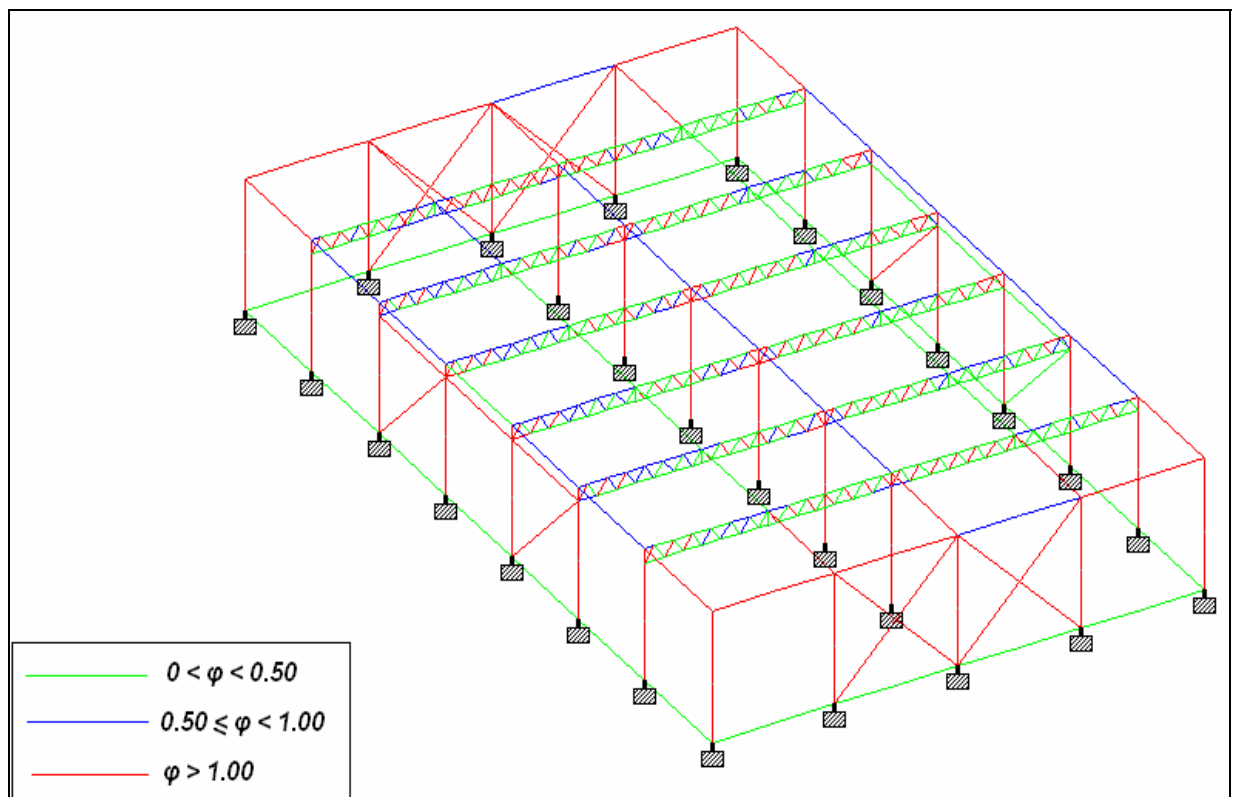
Στα Σχήματα 3.2-3.4 που ακολουθούν, παρατίθενται οι εξεταζόμενοι φορείς με τις αντίστοιχες φορτίσεις επί των μελών της κατασκευής καθώς επίσης και οι προκύπτουσες τιμές των συντελεστών ελέγχου ϕ έναντι στρεμπτοκαμπτικού λυγισμού.



Σχήμα 3.2. Τρισδιάστατη αναπαράσταση σεισμικών δράσεων A_{EK}
κατά τη διεύθυνση x



Σχήμα 3.3. Τρισδιάστατη αναπαράσταση σεισμικών δράσεων A_{EK}
κατά τη διεύθυνση y



Σχήμα 3.4. Έλεγχος συντελεστή ϕ έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Από τον ως άνω απλοποιημένο έλεγχο, αποδεικνύεται ότι το προτεινόμενο μοντέλο αστοχεί ακόμη και υπό την παρουσία αποκλειστικά και μόνο των σεισμικών δράσεων απομειωμένων με τον μερικό παράγοντα $\gamma_{AE}=0.8$. Βάσει των ανωτέρω, προκύπτει ανεπάρκεια της κατασκευής οπότε απαιτείται ο επανασχεδιασμός και η εκ νέου μόρφωση του φορέα, η οποία θα βασίζεται μεν στις αρχικές διαστάσεις και γεωμετρία των μελών της όλης κατασκευής, πλην όμως, θα περιέχει διαφορετική συνδεσμολογία, επιπρόσθετα μέλη και αυξημένες διαστάσεις διατομών.

Κεφάλαιο 4^ο Τροποποίηση - επανασχεδιασμός του φορέα για προσαρμογή στα δεδομένα της Ελληνικής Επικράτειας

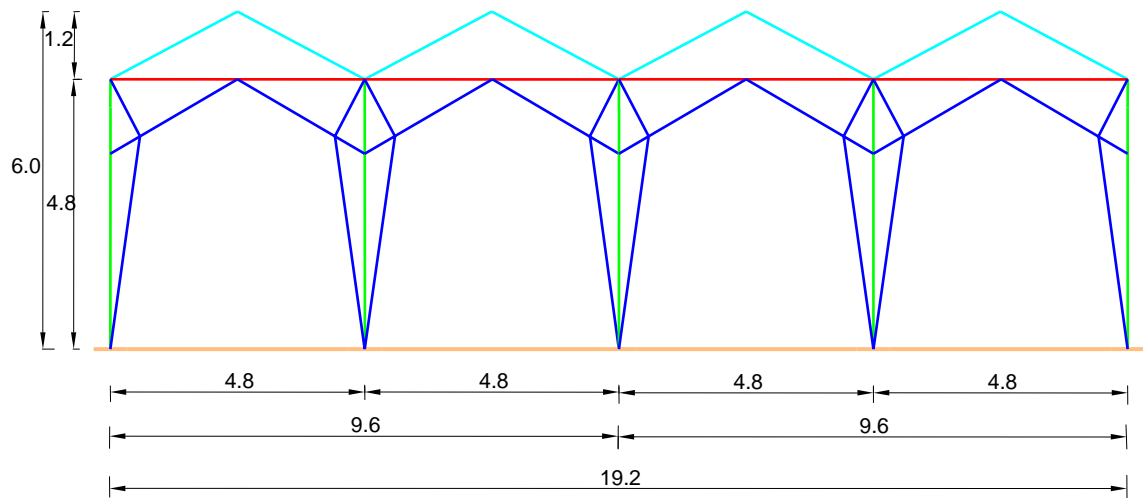
4.1 Γενική περιγραφή

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε έλεγχος αντοχής των μελών του φορέα, με χρήση των αρχικά προβλεπόμενων διατομών μελών και γεωμετρίας, με επιπρόσθετη προσεγγιστική σεισμική φόρτιση των Ελληνικών Διατάξεων. Ο συγκεκριμένος έλεγχος αποδείχθηκε δυσμενής, οπότε καθίσταται απαραίτητη η τροποποίηση του αρχικού φορέα και ο επανασχεδιασμός του για την επίτευξη βέλτιστης προσαρμογής στις απαιτήσεις της Ελληνικής Επικράτειας, λαμβανομένου υπόψη των αντίστοιχων ιδιοτεροτήτων (κλιματολογικών, γεωμορφολογικών και ιδία σεισμικών) του Ελλαδικού χώρου.

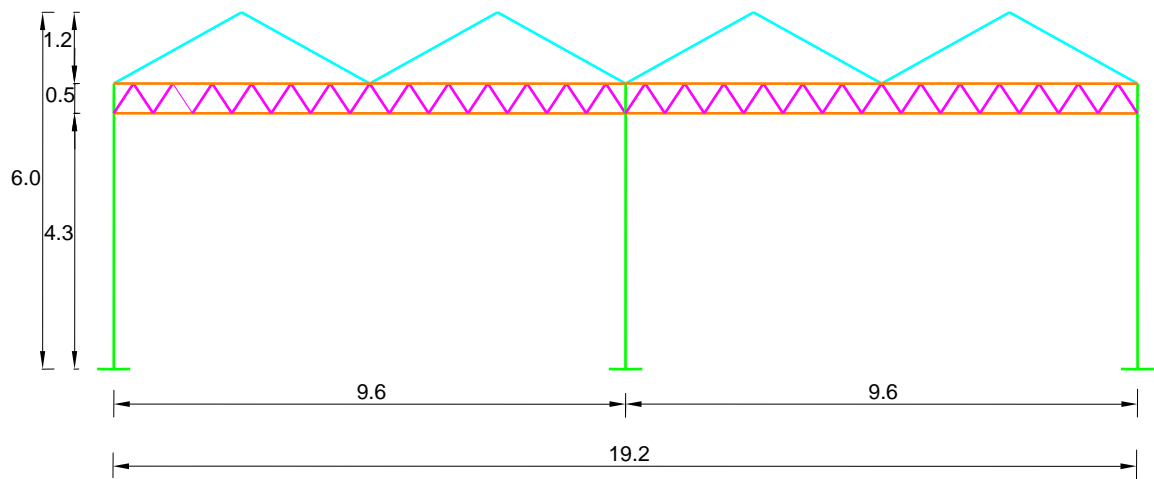
Σε δεύτερη φάση, αφού πρώτα πραγματοποιηθεί έλεγχος των μελών της νέας κατασκευής σε οριακή κατάσταση αστοχίας και εφόσον αποδειχθεί επάρκεια αυτής για τις δεδομένες συνθήκες, ακολουθεί έλεγχος της συμπεριφοράς του επανασχεδιασμένου φορέα σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, δηλαδή έλεγχος των μέγιστων παραμορφώσεων, οι οποίες προκύπτουν από την επίλυση των προβλεπόμενων συνδυασμών φόρτισης (όπως αυτοί παρατέθηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο). Το τελευταίο απαιτείται, διότι σημαντικές παραμορφώσεις και μετακινήσεις κατά την καθημερινή χρήση της κατασκευής, είναι δυνατό να προκαλέσουν βλάβες σε στοιχεία πλήρωσης όπως οι υαλοπίνακες, οι οποίοι, σε πολλές των περιπτώσεων, λόγω του αυξημένου βάρους τους και της σχετικής δυσκολίας προσαρμογής τους σε κάθε σχήμα του σκελετού, παρουσιάζουν παραμορφώσεις μη συμβατές με αυτές του σκελετού. Συνεπώς, στη φάση του τελικού σχεδιασμού επιβάλλεται επιπρόσθετα ο έλεγχος των αποδεκτών μετατοπίσεων υπό τα φορτία λειτουργίας (πέραν του ελέγχου αστοχίας), για τους απαιτούμενους βάσει του EN 13031.01, συνδυασμούς φόρτισης, με την προσθήκη των κατάλληλων συντελεστών για τους συγκεκριμένους συνδυασμούς.

4.2 Τροποποίηση των διατομών του φορέα για προσαρμογή του στα δεδομένα της Ελληνικής Επικράτειας

Μετά από διαφοροποίηση κάποιων μελών της κατασκευής λαμβανομένων υπόψη των ιδιαιτεροτήτων και των απαιτήσεων των Ελληνικών Κανονισμών και με την προοπτική να ικανοποιηθούν οι απαιτούμενοι έλεγχοι λειτουργικότητας και αστοχίας, προέκυψαν οι νέοι κύριοι φορείς του θερμοκηπίου οι οποίοι απεικονίζονται στα Σχήματα 4.1 και 4.2. Η τροποποίηση των διατομών των κύριων φορέων της κατασκευής, εστιάζεται και επιδιώκει αφενός μεν την ασφαλή μεταφορά των φορτίων από την οροφή του θερμοκηπίου στους πλαισιωτούς κύριους φορείς διαμέσου των V - συνδέσμων και των τρισδιάστατων συνδέσμων δυσκαμψίας, οι οποίοι και συνδέουν την οροφή του θερμοκηπίου με τον υπόλοιπο φορέα, αφετέρου δε αποσκοπεί στην εξασφάλιση της ασφαλούς μεταφοράς των αυξημένων σεισμικών δυνάμεων διαμέσου των συνδέσμων σχήματος διαμαντιού (ή αλλιώς “diamond shaped toggle braces”), απευθείας στη βάση των στύλων οι οποίοι, όπως αποδείχθηκε προηγουμένως (έλεγχος επάρκειας των πλαισιωτών φορέων σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό), αποτελούν τα πλέον καταπονούμενα στοιχεία της κατασκευής. Ειδικότερα, η χρήση των τελευταίων, όχι μόνο αποτελεί μία αποτελεσματικότερη λύση μεταφοράς των φορτίων από την κορυφή των στύλων στη βάση τους, αλλά ενισχύει και συντελεί ταυτόχρονα στη δημιουργία μιας λειτουργικής κατασκευής, αφού οι συγκεκριμένοι σύνδεσμοι είναι σχεδιασμένοι και διαστασιολογημένοι με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπουν ύπαρξη ελεύθερων ανοιγμάτων επαρκών διαστάσεων στην εμπρόσθια πλευρά του θερμοκηπίου, χωρίς να εμποδίζουν την είσοδο μηχανημάτων στο εσωτερικό του.

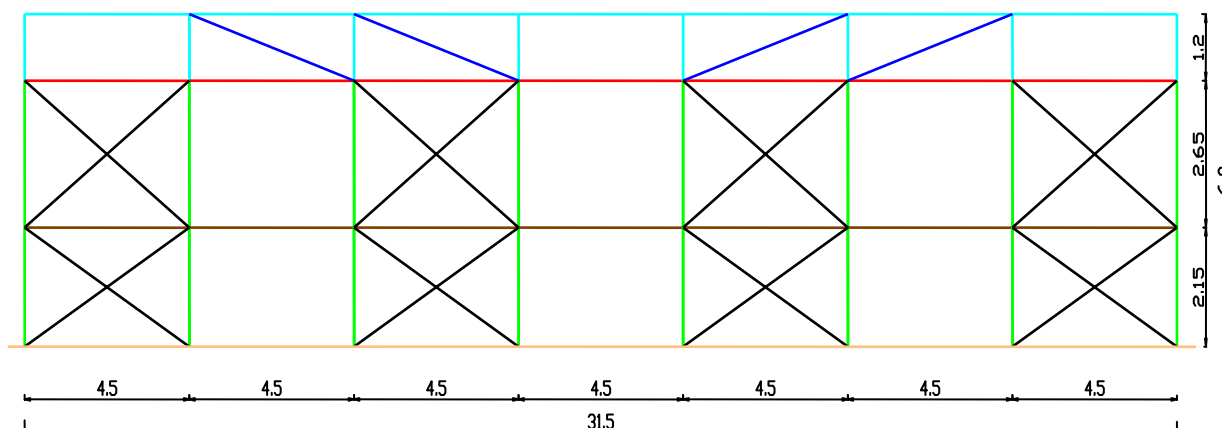


ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΥΡΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ



ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΥΡΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

Σχήμα 4.1. Πρόσωση εξωτερικού – εσωτερικού κύριου φορέα



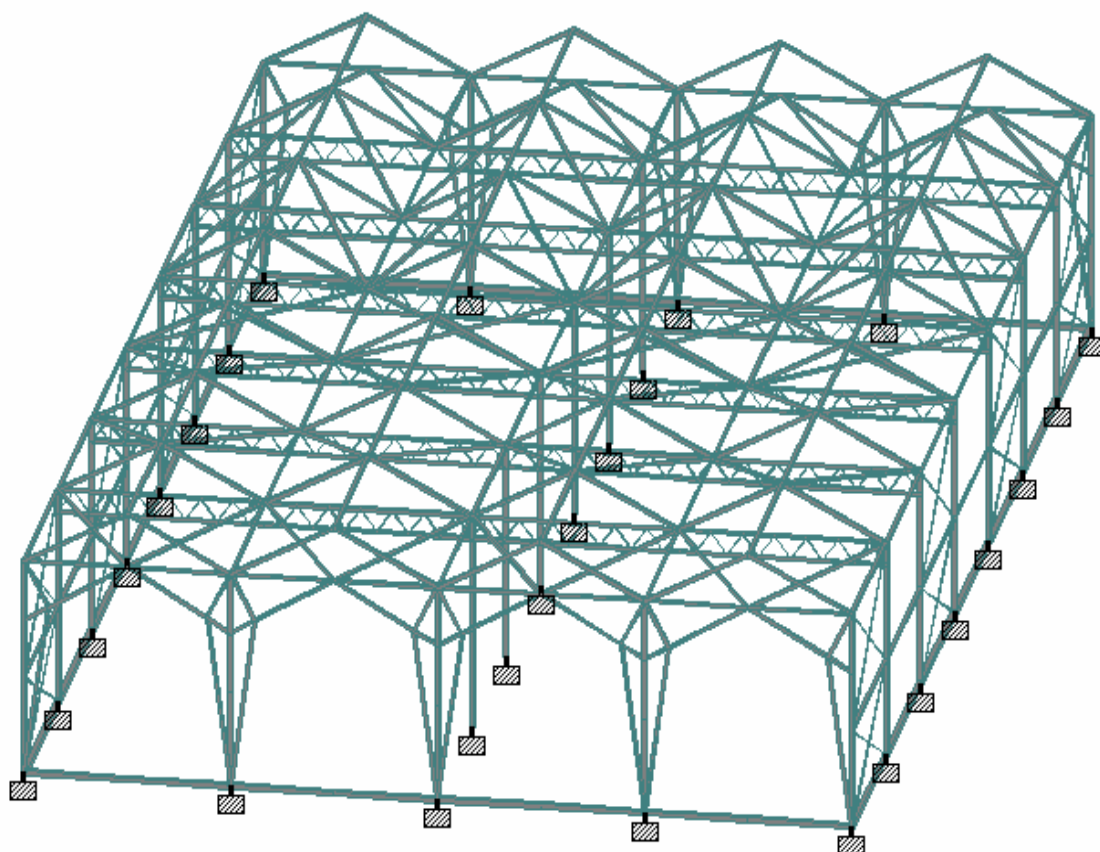
Σχήμα 4.2. Πλάγια όψη εξωτερικού κύριου φορέα

4.3 Χαρακτηριστικά διατομών των μελών του τελικού προτεινόμενου φορέα (μετά από επίπονη διαδικασία βελτιστοποίησης)

Στον τελικό σχεδιασμό, οι κύριοι φορείς του θερμοκηπίου αποτελούνται από τα ακόλουθα μέλη, τα οποία είναι κατασκευασμένα από επιψευδαργυρωμένο (γαλβανισμένο) χάλυβα **S275**, με τάση διαρροής $f_y=275$ N/mm² και τάση θραύσης $f_u=430$ N/mm². Πιο συγκεκριμένα, η φέρουσα κατασκευή θα απαρτίζεται από τα εξής μέλη:

- Πλευρικούς και κεντρικούς στύλους από γαλβανισμένο χαλύβδινο σωλήνα κοίλης τετραγωνικής διατομής, RHS 110.4.
- Κεφαλοδοκό και πλευρικές μηκίδες γαλβανισμένης τετραγωνικής κοίλης διατομής, RHS 70.4.
- Εγκάρσιες δοκούς κεφαλής από γαλβανισμένο χαλύβδινο σωλήνα κοίλης τετραγωνικής διατομής, RHS 70.4.
- V - Συνδέσμους και τρισδιάστατους συνδέσμους δυσκαμψίας γαλβανισμένης κοίλης τετραγωνικής διατομής RHS 70.4.
- Συνδέσμους δυσκαμψίας μορφής “diamond shaped” από γαλβανισμένο χάλυβα κοίλης τετραγωνικής διατομής RHS 70.4.
- Δικτυωτή δοκό οροφής και χιαστούς συνδέσμους δυσκαμψίας από πλήρη κυκλική διατομή διαμέτρου Φ 22.
- Άνω και κάτω πέλμα ζευκτού από γαλβανισμένο χάλυβα κοίλης τετραγωνικής διατομής RHS 75.4.

- Δοκούς οροφής από γαλβανισμένο χαλύβδινο σωλήνα κοίλης τετραγωνικής διατομής RHS 85.3
- Στοιχεία θεμελίωσης (πάσσαλοι), διατομής RH110x110x1000 mm και δοκό θεμελίωσης διαστάσεων 240 mm x 300 mm, κατηγορίας σκυροδέματος C20/25.



Σχήμα 4.3. Τρισδιάστατο προσομοίωμα της κατασκευής (Staad.Pro)

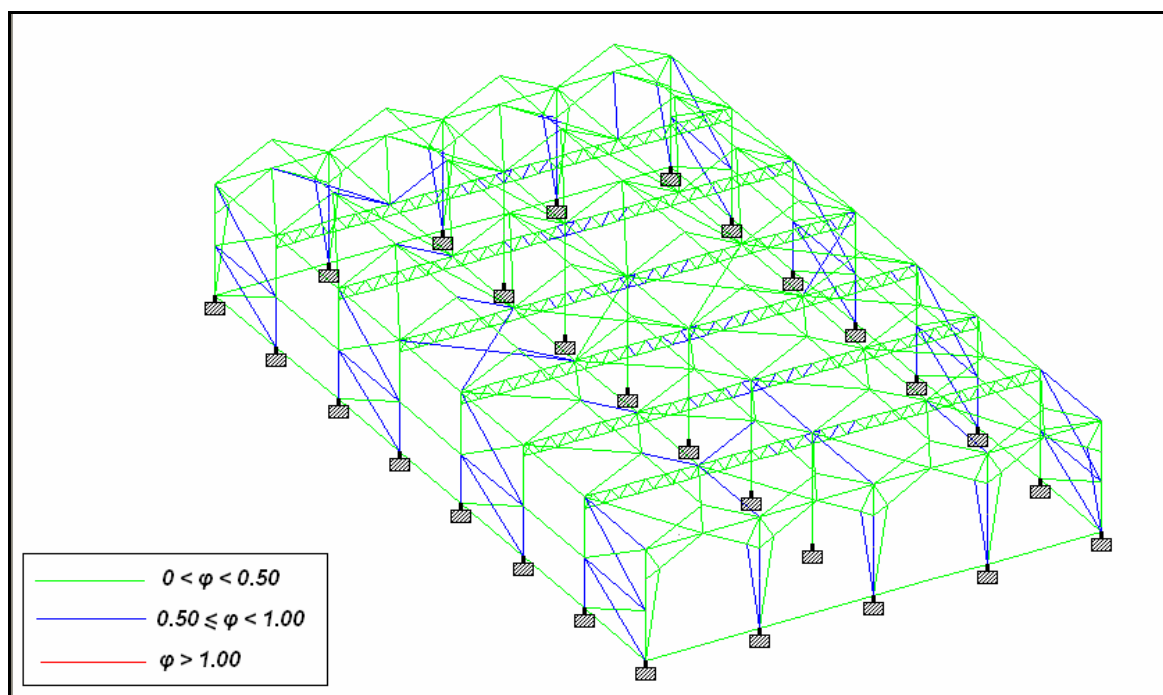
4.4 Στατική ανάλυση και έλεγχος επάρκειας της νέας κατασκευής

Σύμφωνα με ό,τι αναφέρθηκε στην Παράγραφο 3.2, κατά τον σχεδιασμό της κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα τα φορτία και δράσεις που είναι δυνατό να συμβούν κατά τη διάρκεια της ελάχιστης οικονομικής ζωής του έργου, όπως αυτό ορίζεται τόσο στον Ευρωκώδικα 1 όσο και στο πρότυπο EN 13031.01. Οι υπολογισμοί που αφορούν όλες τις κατηγορίες φορτίσεων-δράσεων (μόνιμες, κινητά φορτία, σεισμικές δράσεις) επί των μελών του φορέα, έχουν ήδη αναλυθεί και παρατεθεί στην Παράγραφο 3.3, ενώ συμπληρωματικά, για να γίνει περισσότερο κατανοητός

ο τρόπος εφαρμογής των φορτίων σε κάθε ένα από τα μέλη των κύριων φορέων του θερμοκηπίου, στο τέλος του τεύχους παρατίθενται στο Παράρτημα Β οι τρισδιάστατες απεικονίσεις όλων των φορτίσεων-δράσεων επί των μελών της νέας κατασκευής.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά τους συνδυασμούς φόρτισης, οι συγκεκριμένοι, όπως ήδη αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, διαμορφώνονται βάσει των προβλεπόμενων υποπεριπτώσεων φόρτισης καθώς και βάσει των αντίστοιχων μερικών παραγόντων γ και των συντελεστών συνδυασμού ψ και απαριθμούνται σε τριάντα πέντε για τον έλεγχο σε οριακή κατάσταση αστοχίας και σε τριάντα δύο για τον έλεγχο σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (λόγω του γεγονότος ότι οι σεισμικές δράσεις και η συγκεντρωμένη δύναμη αμελούνται κατά τον έλεγχο των επιτρεπτών παραμορφώσεων του φορέα).

Μετά από τους απαραίτητους υπολογισμούς που αφορούν την εύρεση των επιβαλλόμενων φορτίων και την μόρφωση των προβλεπόμενων συνδυασμών φόρτισης, σύμφωνα πάντα με τον Ευρωκώδικα 1 και τις οδηγίες του προτύπου EN 13031.01, ακολουθεί σε πρώτο στάδιο, η εξέταση των νέων διατομών σε οριακή κατάσταση αστοχίας, κάνοντας χρήση του προγράμματος STAAD.Pro V8i, ώστε να ελεγχθεί η επάρκεια ή μη της νέας κατασκευής. Ο τελικός έλεγχος επάρκειας προκύπτει ευμενής, αφού για τον συγκεκριμένο σχεδιασμό, δεν παρατηρείται υπέρβαση του ορίου διαρροής για κάποιο από τα μέλη του φορέα, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Συγκεκριμένα, οι χρωματισμοί δείχνουν ότι οι λόγοι σ_{\max}/f_y είναι μικρότεροι της μονάδος γεγονός που αποδεικνύει ασφαλή διαστασιολόγηση βάσει του Ευρωκώδικα 3, έναντι διαξονικής κάμψης, αξονικής δύναμης και λυγισμού για κάθε εξεταζόμενο συνδυασμό φόρτισης.



Σχήμα 4.4. Αποτελέσματα ελέγχου επάρκειας

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί, παρατίθενται **ενδεικτικά** - συμπληρωματικά οι μέγιστες τιμές των εντατικών μεγεθών που δέχονται τα μέλη του φορέα για κάθε εξεταζόμενο συνδυασμό φόρτισης.

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|---------------|------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| | Beam | L/C | Node | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | Mz (kNm) |
| Max Fx | 516 | COMBINATION12 | 277 | 114,481 | -0,046 | -0,001 | -0,001 | -0,005 | 0,29 |
| Min Fx | 593 | COMBINATION12 | 319 | -138,768 | -4,111 | -0,003 | -0,003 | -0,007 | 0,298 |
| Max Fy | 613 | COMBINATION12 | 327 | -19,556 | 22,253 | -0,002 | 0,006 | -0,002 | 4,588 |
| Min Fy | 200 | COMBINATION28 | 129 | 2,112 | -13,785 | 0,002 | 0 | 0,004 | 11,806 |
| Max Fz | 430 | COMBINATION2 | 163 | 10,559 | 0,063 | 10,361 | 0,02 | 6,453 | -0,083 |
| Min Fz | 416 | COMBINATION6 | 163 | -5,09 | 0,059 | -15,318 | 0,021 | 4,852 | -0,068 |
| Max Mx | 246 | COMBINATION4 | 118 | 2,437 | 0,712 | 0,572 | 0,374 | -1,072 | 0,31 |
| Min Mx | 245 | COMBINATION4 | 139 | 1,705 | 0,749 | -0,573 | -0,372 | 0,466 | 0,36 |
| Max My | 431 | COMBINATION26 | 225 | -7,206 | -0,002 | -12,361 | 0,002 | 10,34 | 0,003 |
| Min My | 557 | COMBINATION3 | 293 | 15,162 | 0,18 | 5,724 | 0 | -4,8 | 0,29 |
| Max Mz | 200 | COMBINATION28 | 129 | 2,112 | -13,785 | 0,002 | 0 | 0,004 | 11,806 |
| Min Mz | 199 | COMBINATION1 | 128 | 0,533 | 7,784 | -1,19 | -0,002 | -2,306 | -6,73 |

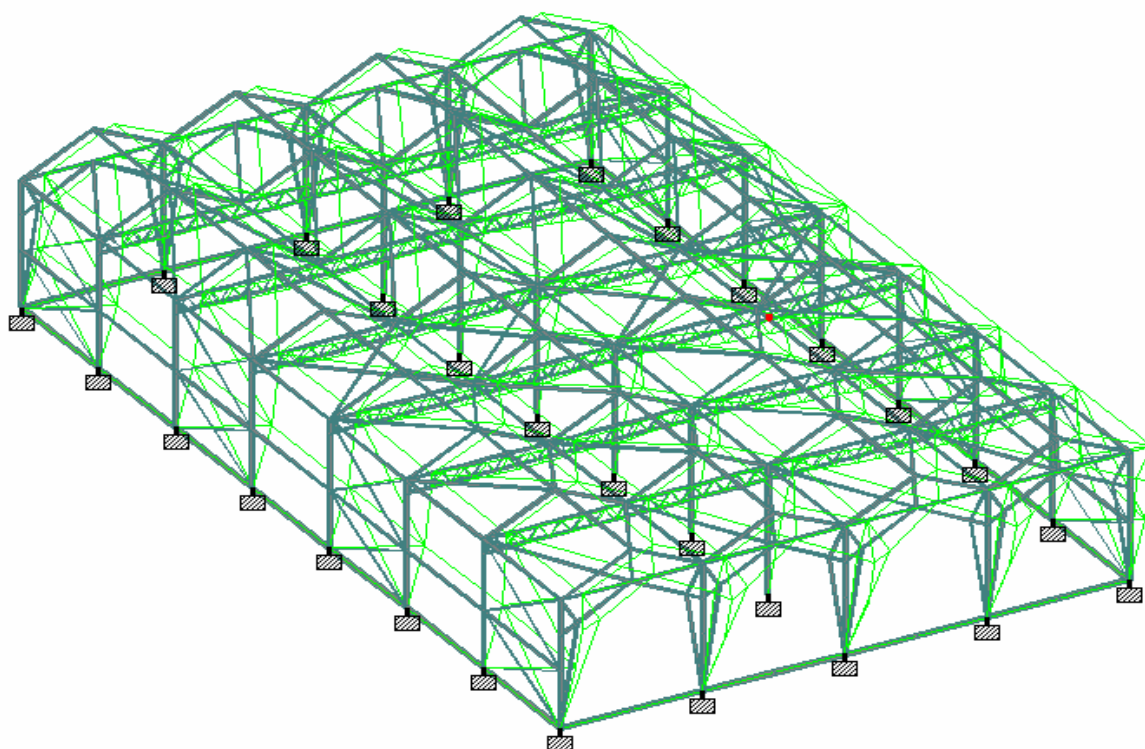
Πίνακας 4.1. Μέγιστες τιμές εντατικών μεγεθών επί των μελών του φορέα

Από τα αποτελέσματα των επιλύσεων γίνεται σαφές ότι οι μέγιστες, κατά απόλυτη τιμή, αξονικές δυνάμεις αναπτύσσονται στις μεσαίες δικτυωτές δοκούς της κατασκευής για τον δωδέκατο συνδυασμό φόρτισης (βλέπε Παράγραφο 3.2)

Πέραν του ελέγχου της συμπεριφοράς της εξεταζόμενης κατασκευής στην οριακή κατάσταση αστοχίας, όπως ήδη προαναφέρθηκε, επιβάλλεται έλεγχος των αποδεκτών μετατοπίσεων υπό τα φορτία λειτουργίας, για τους απαιτούμενους βάσει του EN 13031.01, συνδυασμούς φόρτισης (βλέπε Παράγραφο 3.2). Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να ελεγχθεί ότι το μέγεθος της παραμόρφωσης, προσδιοριζόμενο με βάση τους συνδυασμούς που προβλέπονται από τον EN13031.01, είναι μικρότερο από τις επιτρεπόμενες τιμές που αναγράφονται στο πρότυπο EN13031.01 στο οποίο ως άνω όριο των μετατοπίσεων και κατά τις τρεις διευθύνσεις, ορίζεται η τιμή των **30 mm**. Ο τελικός έλεγχος προκύπτει και σε αυτήν την περίπτωση ευμενής, αφού, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί, η μέγιστη μετατόπιση κόμβου που παρατηρείται, από την επίλυση του συνόλου των προβλεπόμενων συνδυασμών φόρτισης, ισούται με **12.203 mm** κατά την y διεύθυνση (δηλαδή κάθετη μετατόπιση που ισούται με $v=12.203\text{mm}$).

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|---------------|---------------|----------------|----------------|--------------|------------|----------|----------|
| | | | Horizontal | Vertical | Horizontal | Resultant | Rotational | | |
| | Node | L/C | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | mm | rX (rad) | rY (rad) | rZ (rad) |
| Max X | 258 | COMBINATION1 | 11,456 | -0,062 | 0,056 | 11,456 | 0 | 0 | -0,005 |
| Min X | 294 | COMBINATION3 | -4,732 | -0,077 | -0,481 | 4,757 | 0 | 0 | 0,001 |
| Max Y | 161 | COMBINATION25 | 9,223 | 6,728 | -0,03 | 11,416 | 0 | 0 | -0,001 |
| Min Y | 271 | COMBINATION10 | 3,088 | -12,203 | 0,234 | 12,59 | 0 | 0 | 0 |
| Max Z | 127 | COMBINATION1 | 4,323 | -0,002 | 6,969 | 8,201 | 0,002 | 0 | -0,003 |
| Min Z | 117 | COMBINATION28 | -0,007 | -0,01 | -12,107 | 12,107 | -0,003 | 0 | 0 |
| Max rX | 118 | COMBINATION28 | -0,012 | -0,018 | -1,732 | 1,732 | 0,007 | 0 | 0 |
| Min rX | 125 | COMBINATION1 | 7,818 | 0,01 | 0,621 | 7,842 | -0,004 | 0 | 0 |
| Max rY | 535 | COMBINATION4 | -0,015 | -0,038 | -7,692 | 7,693 | 0,005 | 0,001 | 0 |
| Min rY | 543 | COMBINATION4 | -0,122 | -0,031 | -7,67 | 7,671 | 0,005 | -0,001 | 0 |
| Max rZ | 287 | COMBINATION25 | 7,719 | 3,275 | -0,031 | 8,385 | 0 | 0 | 0,007 |
| Min rZ | 258 | COMBINATION1 | 11,456 | -0,062 | 0,056 | 11,456 | 0 | 0 | -0,005 |
| Max Rst | 271 | COMBINATION10 | 3,088 | -12,203 | 0,234 | 12,59 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 4.2. Μέγιστες τιμές παραμορφώσεων-μετατοπίσεων των κόμβων



Σχήμα 4.5. Ενδεικτική απεικόνιση μετατοπίσεων - παραμορφώσεων του φορέα (έλεγχος λειτουργικότητας)

4.5 Θεμελίωση θερμοκηπίου

Στα θερμοκήπια η τεχνική της θεμελίωσης διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο λόγω του ότι το έδαφος δέχεται μεγάλες ποσότητες νερού, αναμοχλεύεται με το όργωμα και υφίσταται την επίδραση των ριζών των καλλιεργούμενων φυτών με αποτέλεσμα να χάνεται ένα σημαντικό μέρος της αντοχής του. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μια συχνά εμφανιζόμενη καθίζηση της θεμελίωσης η οποία εν συνεχεία οδηγεί σε αστοχία του φέροντα οργανισμού του θερμοκηπίου.

Λαμβανομένου υπόψη των ανωτέρω, η θεμελίωση θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταφέρονται με ασφάλεια τόσο τα οριζόντια όσο και τα κατακόρυφα φορτία και να αποφεύγονται έτσι οι διαφορικές καθιζήσεις που είναι δυνατό να βλάψουν τον φέροντα σκελετό και το υλικό κάλυψης. Στοχεύοντας στην ασφάλεια της κατασκευής, επιλέγεται η θεμελίωση του θερμοκηπίου να πραγματοποιηθεί κάνοντας χρήση πασσάλων RH110x110x1000 mm καθώς και δοκού θεμελίωσης διαστάσεων 240 mm x 300 mm, κατηγορίας σκυροδέματος C20/25, με εγκάρσιο οπλισμό 2Φ10 άνω,

2Φ10 κάτω, και διαμήκη 4Φ12 S500s, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.6 που ακολουθεί. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης το έδαφος θεωρήθηκε σύνηθες αργιλικό. Αναλυτικότερα, τα στοιχεία της θεμελίωσης θα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Δοκός θεμελίωσης

Δοκός θεμελίωσης : 240 x 300 mm C20/25

Οπλισμός : 2 Φ 10 άνω, 2 Φ 10 κάτω, συνδετήρες Φ 8/20 S500s

Πέδιλο : 400 x 1550 mm

Οπλισμός διαμήκης : 4 Φ 12 S500s

Τύπος εδάφους : Σύνηθες αργιλικό

Πάσσαλοι θεμελίωσης

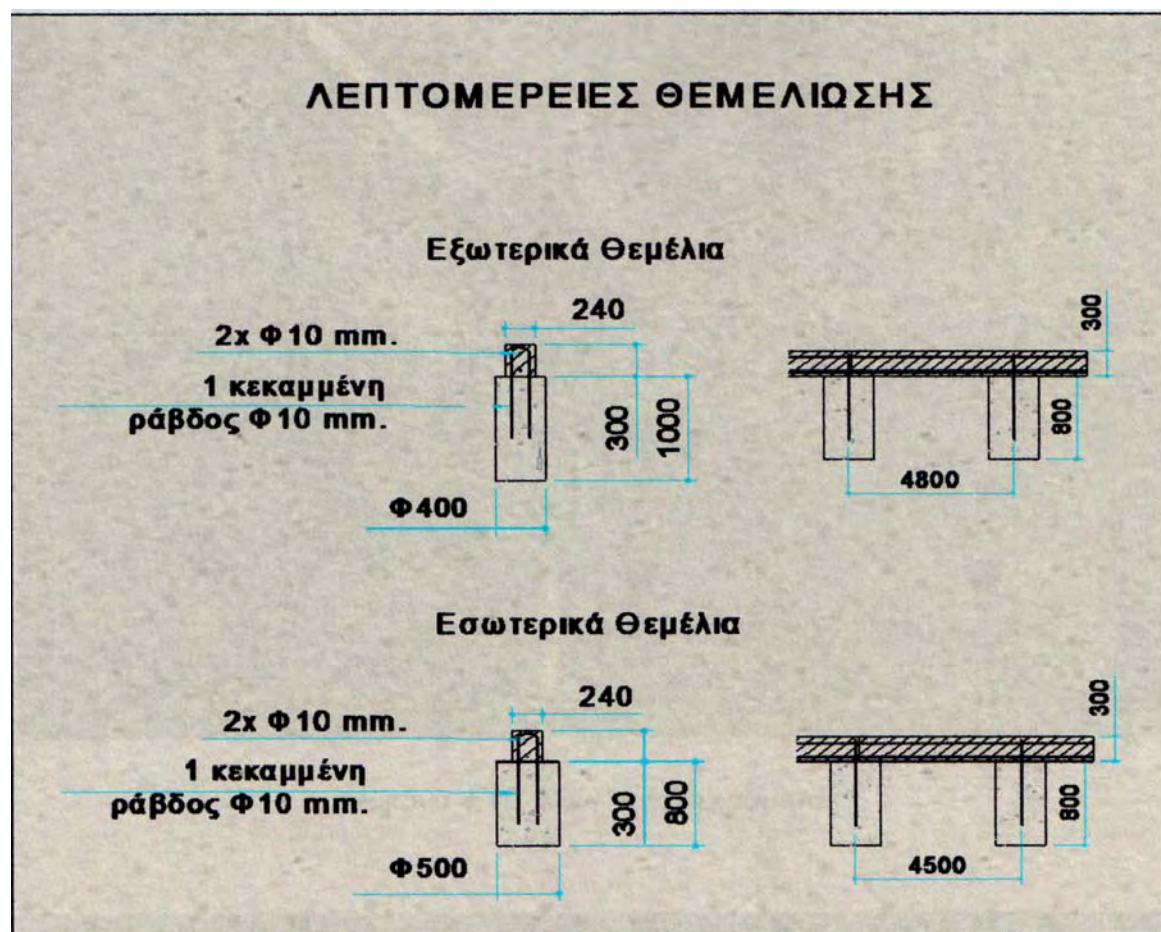
Πάσσαλοι (14 lt) : RH 110 x 110 x1000 mm

Κεφαλή θεμελίου (194 lt) : BPRD 600 x 700 mm

Βάθος : 400 mm

Ύψος πάνω από το έδαφος : 300 mm

Τύπος εδάφους : Σύνηθες αργιλικό



Σχήμα 4.6. Σκαρίφημα θεμελίωσης του θερμοκηπίου (εξωτερικά, εσωτερικά θεμέλια)

4.6 Ενδεικτικά ειδικά τεμάχια συνδέσεων

Όσον αφορά τα ειδικά τεμάχια σύνδεσης των μελών της κατασκευής, τα συγκεκριμένα, δεν χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη για νομικούς λόγους και τούτο διότι αποτελούν κατασκευαστική πρωτοτυπία του διεθνώς αναγνωρισμένου Ιταλικού Οίκου ARTIGIANFER. Εντούτοις, στις Εικόνες 4.1 και 4.2 που ακολουθούν, παρατίθενται κάποια ενδεικτικά ειδικά τεμάχια σύνδεσης κόμβων των ράβδων του σκελετού, Ελληνικής προελεύσεως και κοπής, για παρόμοιου τύπου μεταλλικά θερμοκήπια.



Εικόνα 4.1. Όψη Κομβοελάσματος



Εικόνα 4.2. Ειδικά εξαρτήματα σύνδεσης και στερέωσης ράβδων

Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα-Παρατηρήσεις-Προτάσεις

Σύμφωνα με όσα παρατέθηκαν στα προηγούμενα Κεφάλαια της εργασίας, και καθόσον η σχετική διεθνής βιβλιογραφία στερείται παρομοίων αναφορών, και μάλιστα μετά την καθιέρωση του EN13031.01, γίνεται αντιληπτό ότι το θερμοκήπιο αποτελεί μία εύκαμπτη κατασκευή, με μικρό απαιτούμενο χρόνο διάρκειας, η οποία ωστόσο συμπεριλαμβάνεται στο γενικότερο πλαίσιο των μεταλλικών κατασκευών λαμβανομένου υπόψη των ιδιοτεροτήτων της. Η συγκεκριμένη κατασκευή, λόγω του ότι έχει σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να διαθέτει ένα περιορισμένο χρόνο ζωής, κατέχει έναν μικρότερο βαθμό επικινδυνότητας για τη ανθρώπινη ζωή σε σχέση με τις κατοικίες και τα συνήθη δομήματα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο απαιτείται διαφορετικός σχεδιασμός απ' ότι σε μια συνηθισμένη κατασκευή, αφού βασικός στόχος σε αυτήν την περίπτωση είναι να μειωθεί το κόστος κατασκευής και όχι τόσο ο βαθμός επικινδυνότητας. Χαρακτηριστικό γεγονός που επιβεβαιώνει τα ανωτέρω, αποτελεί το ότι οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας γ των μόνιμων και κινητών δράσεων που αναγράφονται στο πρότυπο EN 13031.01, παρουσιάζονται μειωμένοι συγκριτικά με ό,τι προτείνεται από τον Ευρωκώδικα 1, στον οποίο οι τιμές των συντελεστών στους προβλεπόμενους συνδυασμούς φόρτισης είναι 1,35 για τα μόνιμα και 1,5 για τα κινητά φορτία αντίστοιχα.

Αξίζει δε να αναφερθεί ότι, η φόρτιση στην περίπτωση των θερμοκηπιακών κατασκευών, σύμφωνα με τον EN 13031.01 και ανάλογα με την επικάλυψη, κατά μείζονα λόγο πραγματοποιείται απευθείας στις φέρουσες πλαισιωτές κατασκευές, σε αντίθεση με τις συνήθεις κατασκευές από χάλυβα ή αλουμίνιο, όπου οι φορτίσεις μεταφέρονται μέσω μηκίδων και τεγίδων. Να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι, σε ό,τι αφορά τα φορτία ανέμου, τα θερμοκήπια δέχονται σοβαρές καταπονήσεις λόγω αυτών, συνεπώς και θα πρέπει να σχεδιάζονται κατάλληλα έναντι των φορτίων ανεμοπίεσης. Οι σεισμικές δράσεις από την άλλη, που στην περίπτωση μιας συνήθους κατασκευής προκαλούν σημαντικές καταπονήσεις, δεν λειτουργούν το ίδιο και στις θερμοκηπιακές μονάδες οι οποίες συνήθως ανταποκρίνονται καλύτερα στο

σεισμό αφού κατατάσσονται στην κατηγορία των εύκαμπτων και ελαφρών κατασκευών.

Ωστόσο, για την εξεταζόμενη περίπτωση θερμοκηπίου, δεν έχει προβλεφθεί η κατάλληλη συνδεσμολογία στην προς μελέτη κατασκευή για την κατεξοχήν πρόσθετη δράση στην Ελληνική Επικράτεια που είναι ο σεισμός. Τα αποτελέσματα μιας απλουστευμένης τρισδιάστατης επίλυσης του αρχικού φορέα η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας και η οποία περιλάμβανε την εφαρμογή αποκλειστικά και μόνο των σεισμικών δράσεων στους κύριους φορείς, έδειξαν ανεπάρκεια της αρχικής κατασκευής, γεγονός που οδήγησε στον άμεσο επανασχεδιασμό και σε μια εκ νέου μόρφωση του φορέα, η οποία βασίζεται μεν στις διαστάσεις των μελών της αρχικής κατασκευής, πλην όμως, περιέχει διαφορετική συνδεσμολογία, επιπρόσθετα μέλη και αυξημένες διαστάσεις διατομών.

Σχετικά με την επίλυση, τον σχεδιασμό και την διαστασιολόγηση της θερμοκηπιακής κατασκευής, όπως ήδη αναφέρθηκε στα προηγούμενα Κεφάλαια του πονήματος, τα συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν κάνοντας χρήση του προγράμματος ανάλυσης STAAD.Pro.V8i και εισάγοντας κατάλληλα σε αυτό τόσο τις διατομές των μελών των κύριων φορέων της κατασκευής, όσο και τις ήδη υπολογισμένες τιμές των προβλεπόμενων, βάσει EN 13031.01, φορτίσεων – δράσεων επί των μελών του φορέα. Δυστυχώς, στην Ελληνική Επικράτεια δεν έχει εμφανιστεί μέχρι σήμερα κάποιο πρόγραμμα λογισμικού που να ελέγχει αυτόματα τα τυποποιημένης αρχιτεκτονικής θερμοκήπια, για τις υπάρχουσες συνθήκες (κλιματικές, μορφολογικές, κτλ.), ανάγκες και απαιτήσεις του Ελλαδικού χώρου και πάντα σύμφωνα με τον Ε.Λ.Ο.Τ. Η όλη δυσκολία υπολογισμού των τρισδιάστατων φορτίσεων, των απαιτούμενων συνδέσεων όπως επίσης και η εκπόνηση των σχεδίων λεπτομερειών, αποτελούν τα βασικότερα σημεία τα οποία, τα διαθέσιμα προγράμματα λογισμικού στον Ελλαδικό χώρο αδυνατούν να καλύψουν. Ως αποτέλεσμα των προαναφερθέντων μελετητικών δυσκολιών και ελλείψεων, ένας ιδιαίτερα αυξημένος αριθμός τυποποιημένων χαλύβδινων θερμοκηπίων εισάγεται τη σημερινή εποχή στην Ελλάδα από το εξωτερικό, τα οποία όμως έχουν σχεδιαστεί και διαστασιολογηθεί για να αντέχουν στις εκεί

επικρατούσες συνθήκες και όχι στις κλιματικές, γεωμορφολογικές και άλλες απαιτήσεις της χώρας στην οποία εισάγονται.

Συμπερασματικά, παρά την εκτεταμένη έρευνα που έχει διεξαχθεί στον τομέα των ελαφρών μεταλλικών κατασκευών, αρκετά είναι τα πεδία των οποίων η διερεύνηση βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, όπως για παράδειγμα η αυτοματοποίηση του ελέγχου των τυποποιημένης αρχιτεκτονικής μεταλλικών θερμοκηπίων. Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα πρόταση προς μελλοντική έρευνα, αποτελεί η δημιουργία ενός εξειδικευμένου προγράμματος λογισμικού, ικανού να ελέγχει αυτόματα, για τις επικρατούσες στον Ελλαδικό χώρο συνθήκες, κατά το ισχύον πρότυπο του Ε.Λ.Ο.Τ, τα τυποποιημένα χαλύβδινα θερμοκήπια και το οποίο ουσιαστικά να εστιάζει στην πλήρη στατική ανάλυση και έλεγχο επάρκειας διατομών με την απευθείας εμφάνιση των τελικών αρχιτεκτονικών σχεδίων και των λεπτομερειών των διατομών του σκελετού (όπως για παράδειγμα το CASTA/KASSENBOUW, αντίστοιχο πρόγραμμα που χρησιμοποιείται στην Ολλανδία). Το γεγονός αυτό, θα είχε ως αποτέλεσμα να περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό η εκτεταμένη εισαγωγή και χρησιμοποίηση “έτοιμων” στατικών μελετών τυποποιημένων μεταλλικών θερμοκηπίων, η οποία αποτελεί μια ευρέως εφαρμοζόμενη τακτική σε αρκετές χώρες, συμπεριλαμβανομένου της Ελλάδας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. B. von Elsner, D. Briassoulis, D. Waaijenberg, A. Mistrionis, Chr. von Zabeltitz, J. Gratraud, G. Russo, R. Suay-Cortes, Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements, Journal of Agricultural Engineering Research 75(1), 2000, 1-16.
2. B. von Elsner, D. Briassoulis, D. Waaijenberg, A. Mistrionis, Chr. von Zabeltitz, J. Gratraud, G. Russo, R. Suay-Cortes, Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries, Part II: Typical Designs, Journal of Agricultural Engineering Research 75(2), 2000, 111-126.
3. Ευρωκώδικας 1: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές:
 - (α) Actions on structures — Part 1-1 : General actions - Densities, self- weight, imposed loads for buildings. Final Draft prEN 1991-1-1: July 2001.
 - (β) Actions on structures — Part 1.3 : General Actions - Snow Loads, Final Draft (Stage 49),13/02/2002 (CEN/TC250/SC1/N347).
 - (γ) Actions on structures — Part 1-4 : General actions - Wind actions, CEN TC 250 Date: 2002-06, prEN 1991-1-4.6.
 - (δ) Actions on structures — Part 1.6 : General actions - Actions during execution, Draft prEN 1991-1-6 1st August 2002.
4. Ευρωκώδικας 3, ENV 1993-1-1/1992: Υπολογισμός Κατασκευών από Χάλυβα:
 - (α) Design of steel structures — Part 1-1 : General rules and rules for buildings. Final Draft prEN 1993 -1-1: 2003
 - (β) Design of steel structures — Part 1-3 : Supplementary rules for cold formed members and sheeting. EN 1993 -1-3: 2004
 - (γ) Design of steel structures — Part 1-8 : Design of joints, Draft prEN 1993 -1-8: 2003
5. Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών: Design of timber structures — Part 1-1 : General rules and rules for buildings, Draft prEN 1995-1-1: 2003
6. Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο: Design of aluminium structures — Part 1-1 : General rules and rules for buildings. EN 1999 -1-1: 2007
7. Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές EN 13031-1:2001 : Greenhouses - Design and construction - Part 1: Commercial production greenhouses. (Ε.Λ.Ο.Τ EN 13031.01 : Ελληνικό Πρότυπο – Θερμοκήπια : Σχεδιασμός και κατασκευή – Μέρος 1 : Θερμοκήπια παραγωγής).

8. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ - Γ.Ν Μαυρογιαννόπουλου, Εκδόσεις Αθ.Σταμούλη Δ'ΕΚΔΟΣΗ 2005. Περιβάλλον-Υλικά – Κατασκευή – Εξοπλισμός
9. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ – Ν.Βασιλείου, Αγροτική Τράπεζα Ελλάδος/Υποδ/νση Εκπαίδευσης και Επιμόρφωσης. ΑΘΗΝΑ 1987
10. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ – Υπουργείο Γεωργίας/Γενική Δ/νση Φυτικής παραγωγής, 1992
11. Ι. Δαχτάρης (2008): Πρόσφατες εξελίξεις και τάσεις στη μόρφωση, σχεδιασμό λειτουργία μεταλλικών θερμοκηπίων, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Π.Θ. (Επιβλέπων: Δ. Σοφιανόπουλος).
12. Ρ. Πατσιαντάς (2008): Προσαρμογή Στατικής Μελέτης Πρότυπου Χαλύβδινου Θερμοκηπίου Ιταλικής προέλευσης στα Ελληνικά Δεδομένα, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Π.Θ. (Επιβλέπων: Δ. Σοφιανόπουλος).
13. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΟΑΣΠ 2000, ΦΕΚ 2184 Β' / 20.12.1999

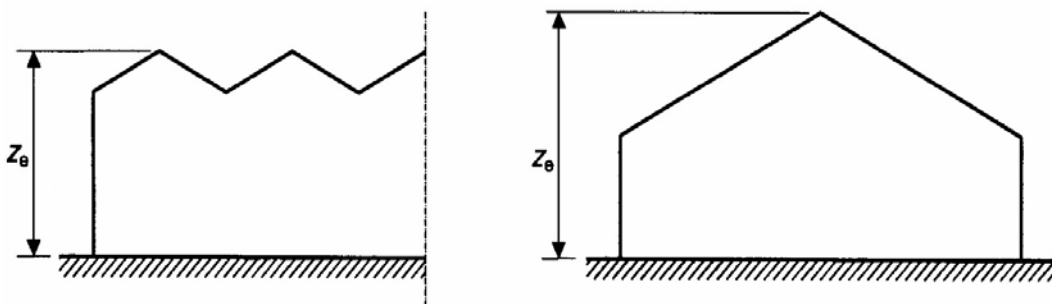
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A

**Μεταφρασμένα αποσπάσματα από τον EN 13031.01
σχετικά με τις δράσεις λόγω χιονιού και ανέμου**

Παράρτημα Β : Δράσεις λόγω Ανέμου**B.2.2 Θερμοκήπια με επίπεδες κεκλιμένες στέγες**

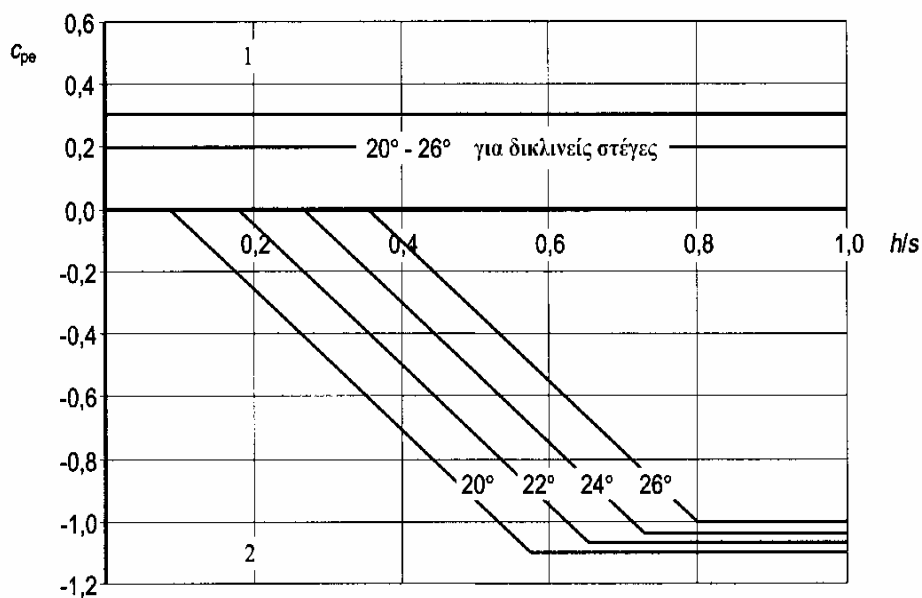
B.2.2.1 Το ύψος αναφοράς, z_e , για θερμοκήπια με επίπεδες κεκλιμένες στέγες, θα πρέπει να λαμβάνεται ίσο με το ύψος του κορφιά πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (βλ. Σχήμα Β.1)



Σχήμα Β.2 – Ύψος αναφοράς z_e για θερμοκήπια

B.2.2.2 Το ύψος αναφοράς z_i θα λαμβάνεται ίσο με το ύψος αναφοράς z_e .

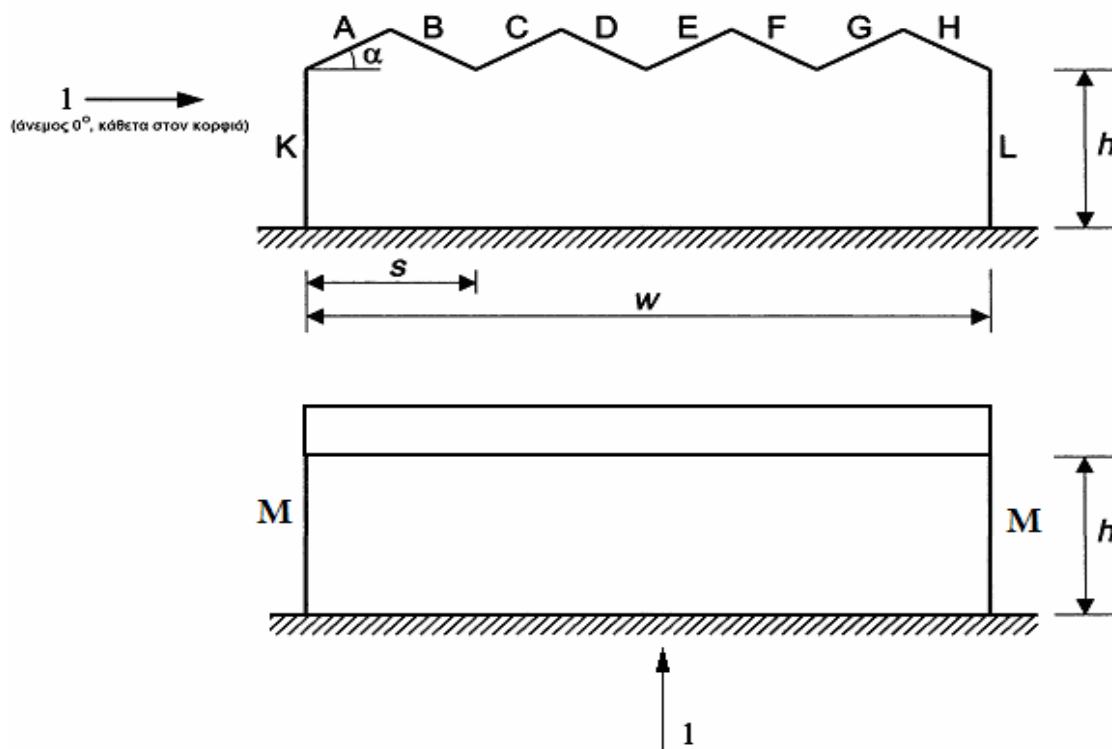
B.2.2.4 Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} για τα τοιχώματα και τις στέγες θερμοκηπίων πολλαπλών ανοιγμάτων με γωνίες κλίσης α : $20^\circ \leq \alpha \leq 26^\circ$ για άνεμο με κατεύθυνση κάθετη στον κορφιά (άνεμος 0°), θα υπολογίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα Β.2 (και το Σχήμα Β.6), ανάλογα με τις τιμές των λόγων h/s και h/w . Οι ζώνες Α, Β, C, D, E, F, G, H, K, L και Μ ορίζονται στο Σχήμα Β.5. Για ενδιάμεσες τιμές των λόγων h/s και h/w οι τιμές του c_{pe} θα βρίσκονται με γραμμική παρεμβολή.



- $C_{pe} = +0,2$ για θερμοκήπια ενός ανοίγματος
- $C_{pe} = +0,3$ για θερμοκήπια πολλών ανοιγμάτων

1 Πίεση Αμφότερες οι περιπτώσεις (πίεσης και αναρρόφησης) θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη.
2 Υποπίεση Για τιμές της γωνίας α μεταξύ 20 και 26 μοιρών θα πρέπει να γίνεται γραμμική παρεμβολή.

Σχήμα Β.4 – Συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} για την προσήνεμη κεκλιμένη πλευρά της στέγης θερμοκηπίων (με επίπεδες κεκλιμένες στέγες)



Σχήμα Β.5 (απόσπασμα) – Ζώνες για τα τοιχώματα και τη στέγη θερμοκηπίων πολλαπλών ανοιγμάτων

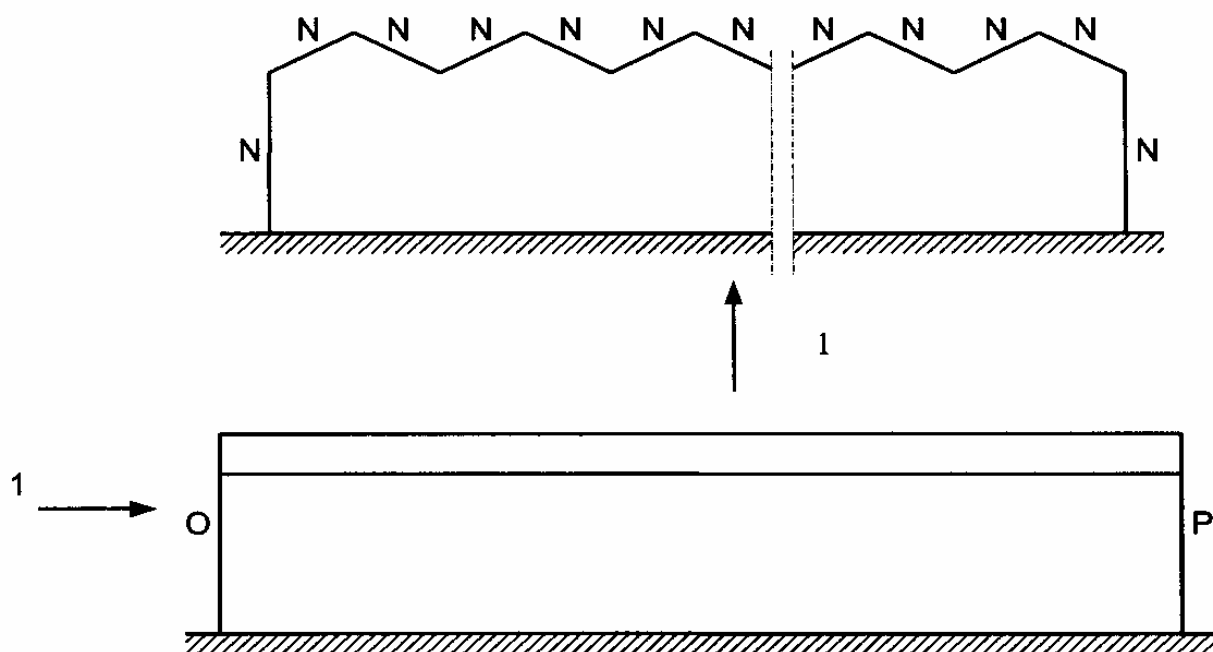
| h/s | A | B | C | D | E | F | G | H |
|------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\leq 0,3$ | Ως Σχήμα Β.4 | -0,5 | -0,5 | -0,5 | -0,4 | -0,5 | -0,4 | -0,4 |
| $\geq 0,4$ | Ως Σχήμα Β.4 | -1,0 | -0,7 | -0,5 | -0,4 | -0,5 | -0,4 | -0,4 |
| h/w | K | | L | | | M | | |
| $\leq 0,4$ | +0,6 | | -0,3 | | | -0,3 | | |
| $\geq 0,6$ | +0,6 | | -0,3 | | | -0,4 | | |

Πίνακας Β.2 (απόσπασμα) – Συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} για τα τοιχώματα και τη στέγη θερμοκηπίων πολλαπλών ανοιγμάτων, για άνεμο κάθετο στον κορφιά

B.2.2.5 Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} για τα τοιχώματα και τις στέγες θερμοκηπίων πολλαπλών ανοιγμάτων (με κεκλιμένες στέγες) με γωνίες κλίσης α : $20^0 \leq \alpha \leq 26^0$ για άνεμο με κατεύθυνση παράλληλη στον κορφιά (άνεμος 90^0), θα υπολογίζονται με βάση τα περιεχόμενα του Πίνακα B.3 (και του Σχήματος B.8). Οι ζώνες N, O και P ορίζονται στο Σχήμα B.7.

| h/s | N | O | P |
|-------|------|------|------|
| Όλα | -0,2 | +0,7 | -0,3 |

Πίνακας B.3 – Πίνακας B.2 – Συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} για τα τοιχώματα και τη στέγη θερμοκηπίων πολλαπλών ανοιγμάτων, για άνεμο παράλληλο στον κορφιά



Σχήμα B.7 – Ζώνες για τα τοιχώματα και τις στέγες αμφίρρικτων θερμοκηπίων πολλαπλών ανοιγμάτων

B.2.2.10 Οι συντελεστές εσωτερικής πίεσης c_{pi} για θερμοκήπια με επίπεδες κεκλιμένες στέγες θα υπολογίζονται με βάση τα περιεχόμενα του Πίνακα Β.8.

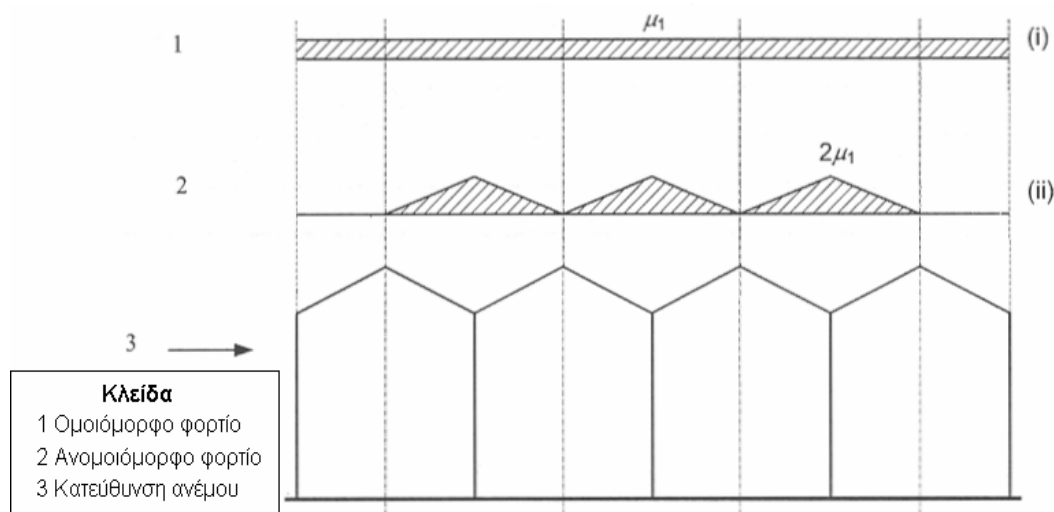
| Κατεύθυνση ανέμου | Ενός ανοίγματος | Πολλών ανοιγμάτων |
|--|-----------------|-------------------|
| 0^0 | $c_{pi} = 0,2$ | $c_{pi} = 0,2$ |
| | $c_{pi} = -0,4$ | $c_{pi} = -0,3$ |
| 90^0 | $c_{pi} = 0,2$ | $c_{pi} = 0,2$ |
| | $c_{pi} = -0,2$ | $c_{pi} = -0,2$ |
| Σε περίπτωση ύπαρξης κυρίου ανοίγματος (κουφώματος) σε προσήνεμο τοίχωμα, ο συντελεστής c_{pi} θα πρέπει να λαμβάνεται ίσος με +0,6 . | | |

Πίνακας Β.8 – Συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} για θερμοκήπια με επίπεδες κεκλιμένες στέγες

Παράρτημα C : Δράσεις λόγω χιονιού

C.3.2 Στέγες πολλαπλών κορυφών

C.3.2.1 Για στέγες πολλαπλών κορυφών θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη δύο (2) περιπτώσεις φόρτισης λόγω χιονιού, σύμφωνα με το Σχήμα C.2.

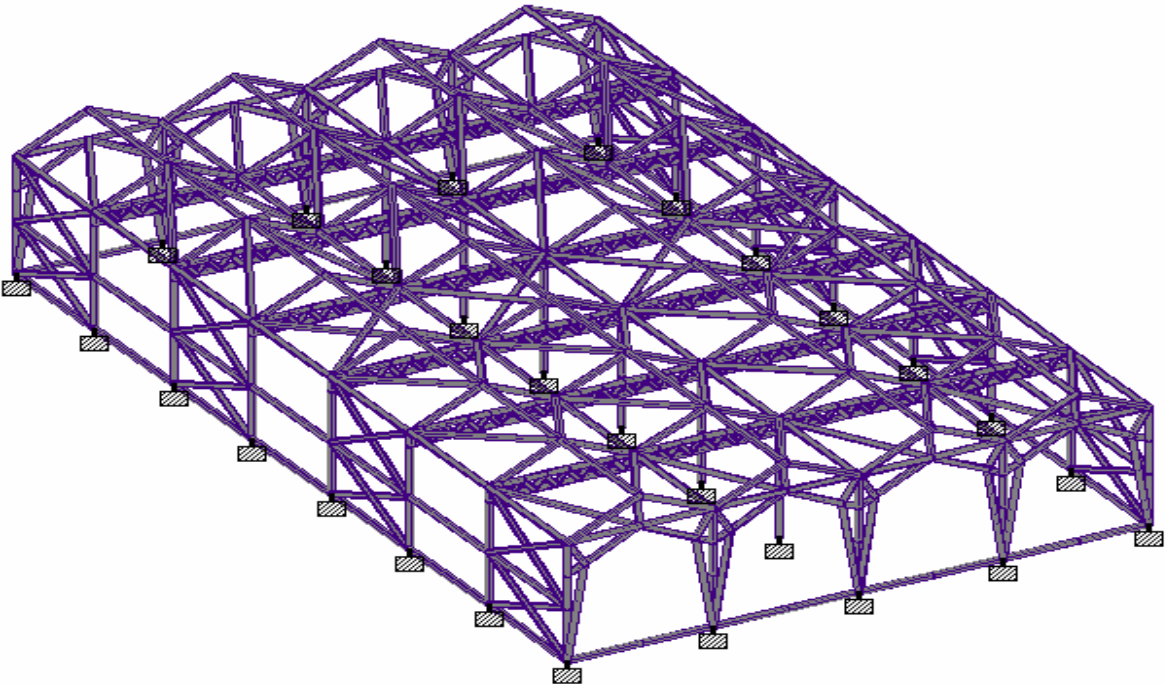
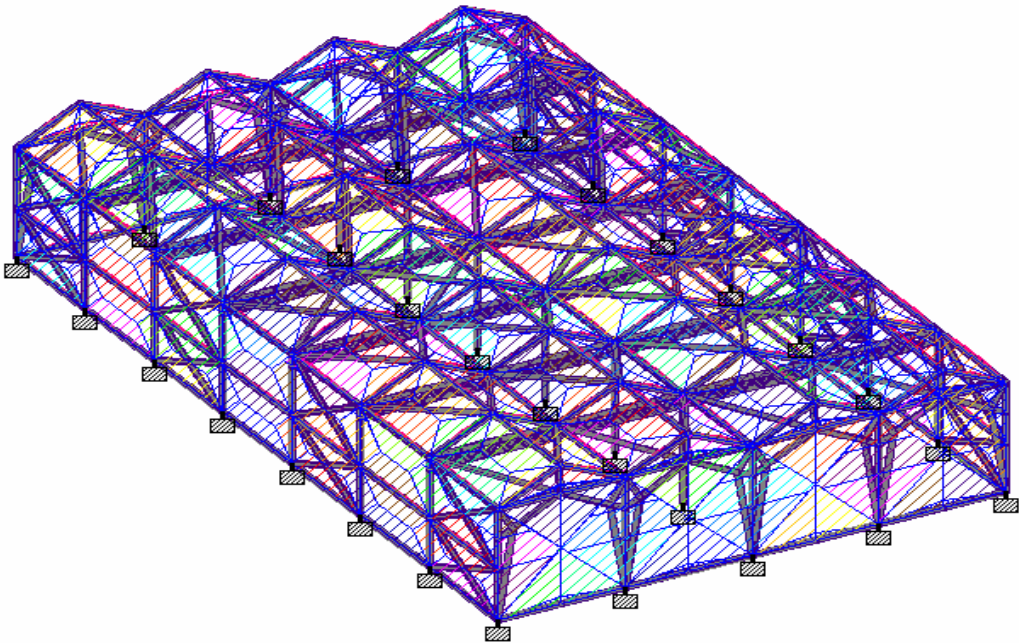


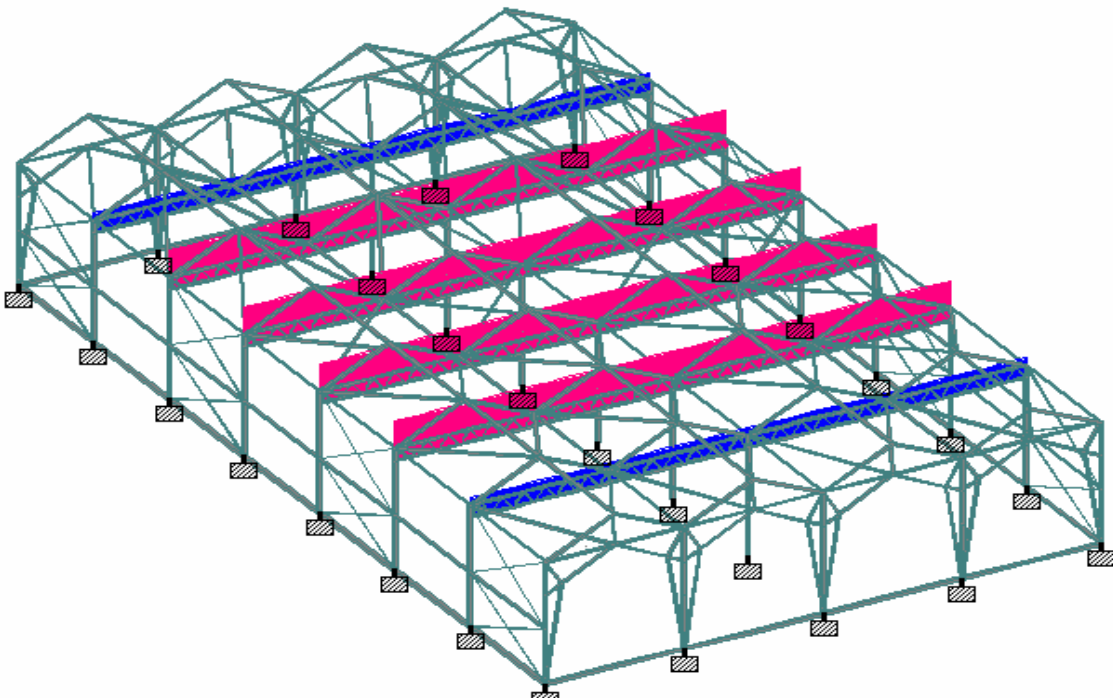
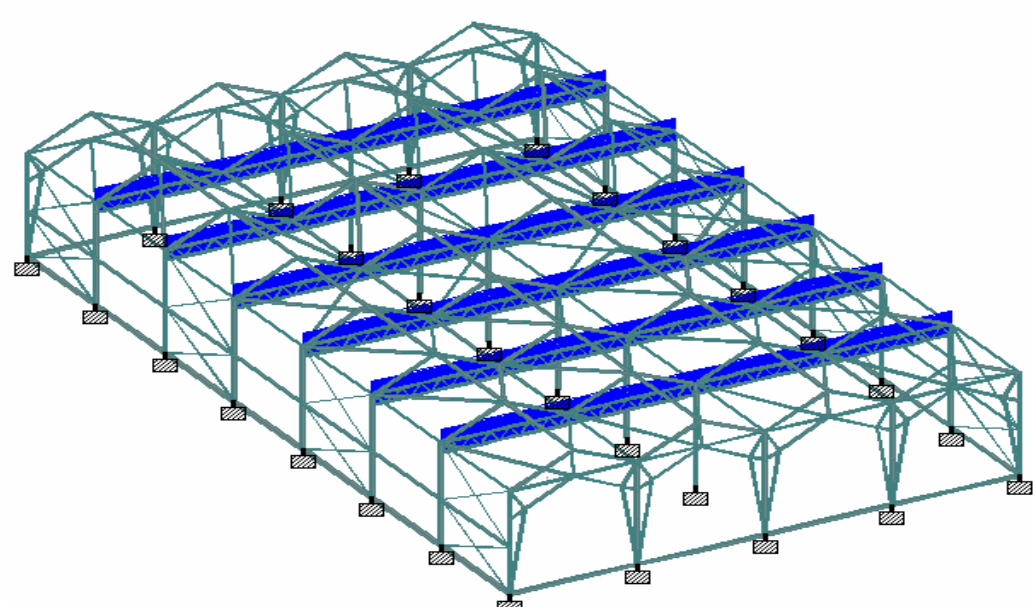
Σχήμα C.2 – Συντελεστές σχήματος φορτίου χιονιού για στέγες πολλαπλών κορυφών

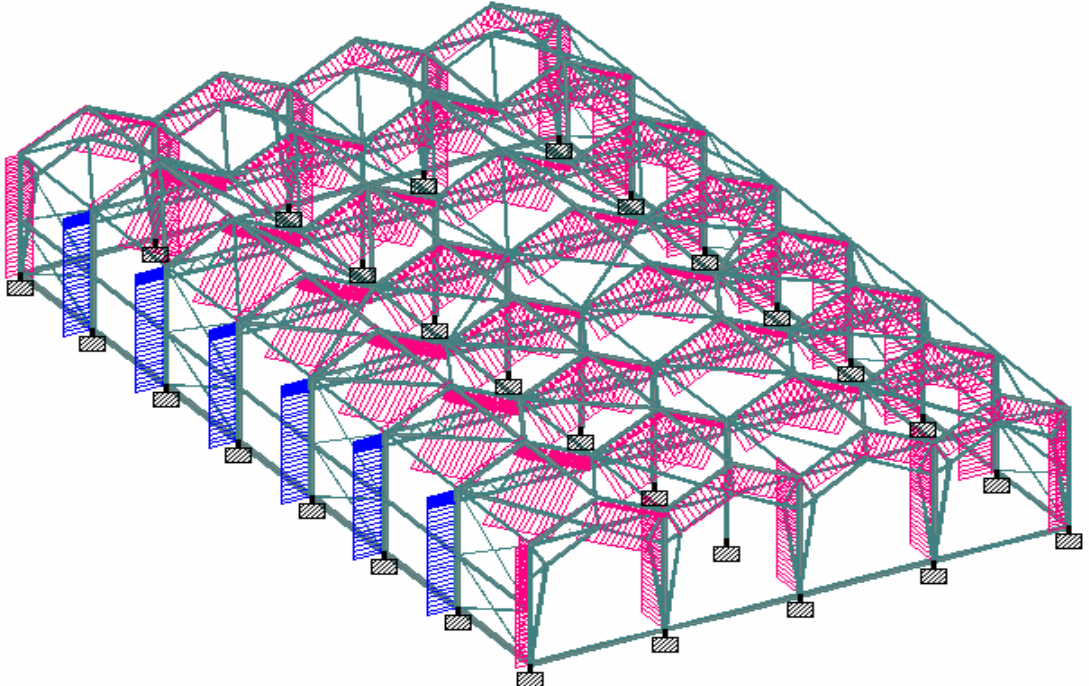
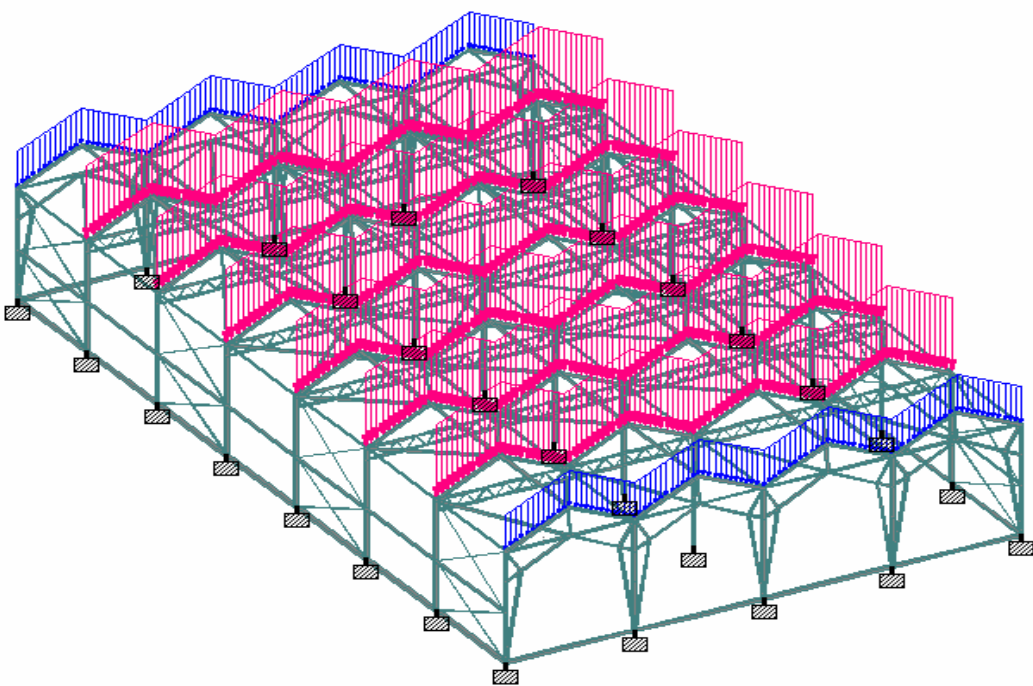
C.3.2.2 Η τιμή του συντελεστή σχήματος φορτίου χιονιού μ_1 για στέγες πολλαπλών κορυφών θα πρέπει να ληφθεί ίσος με $\mu_1 = 0,8$.

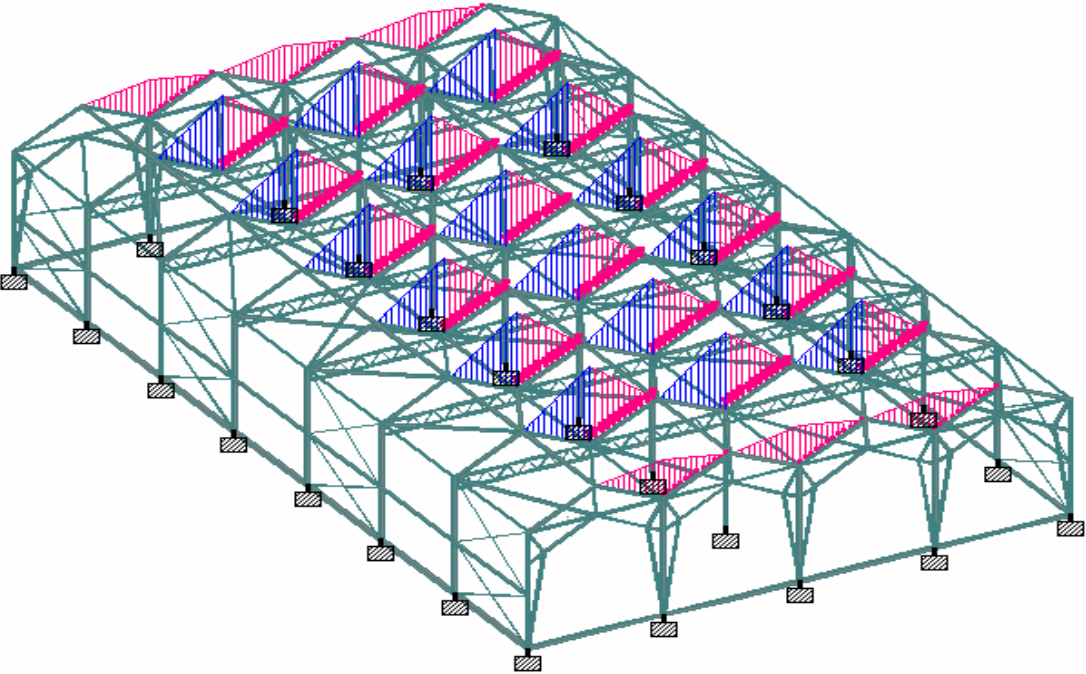
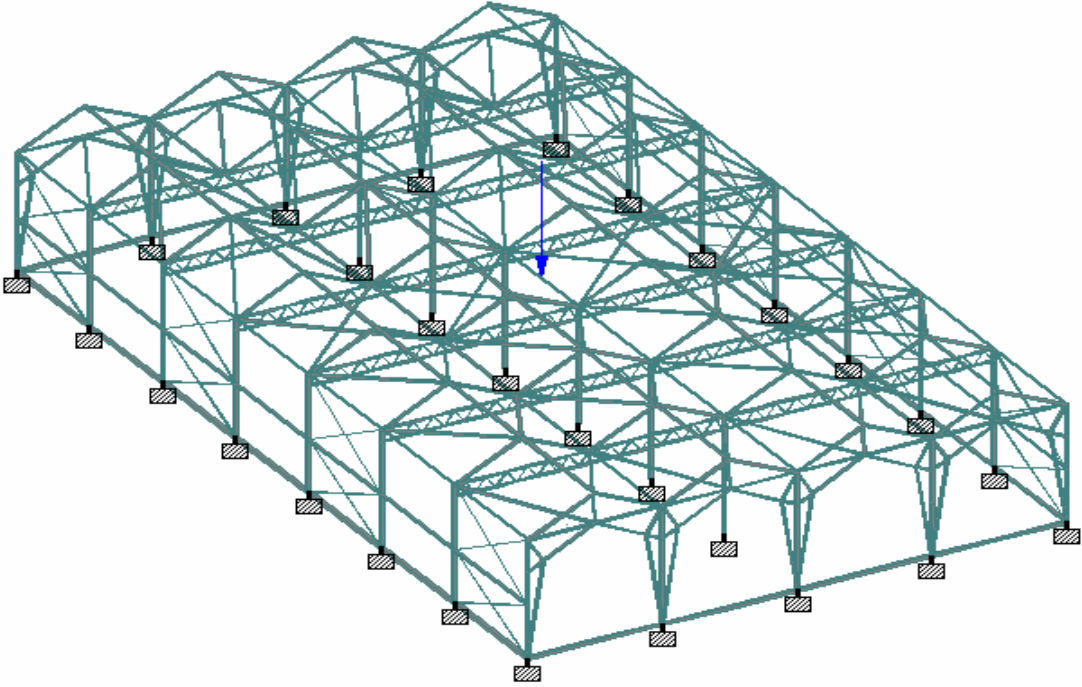
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

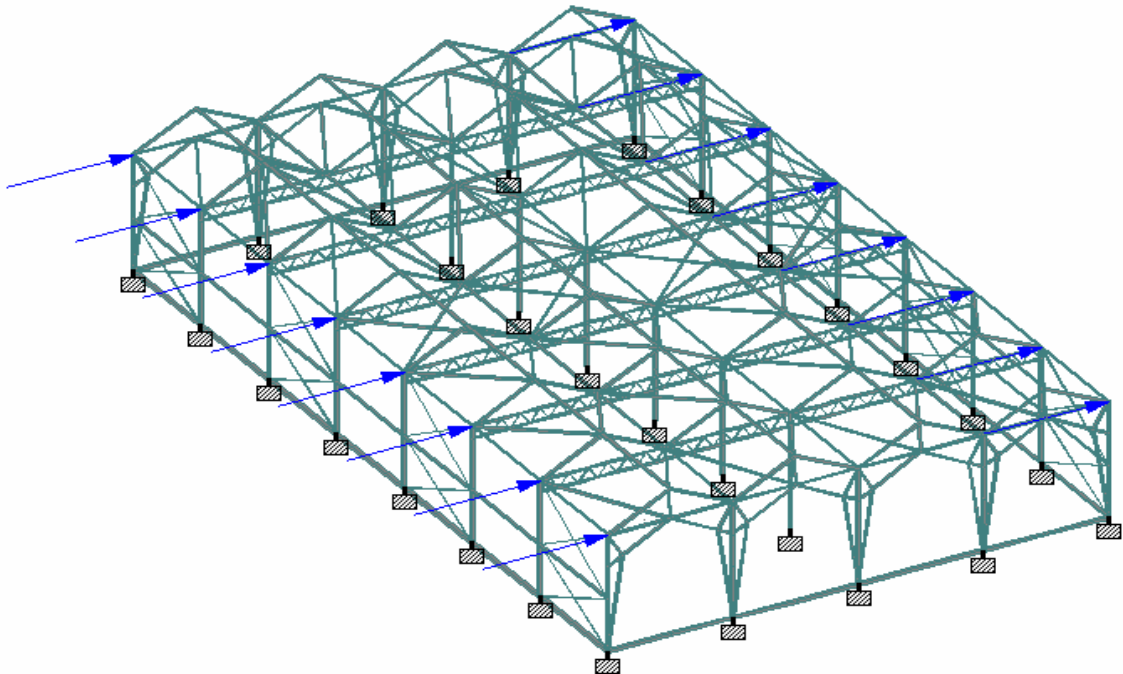
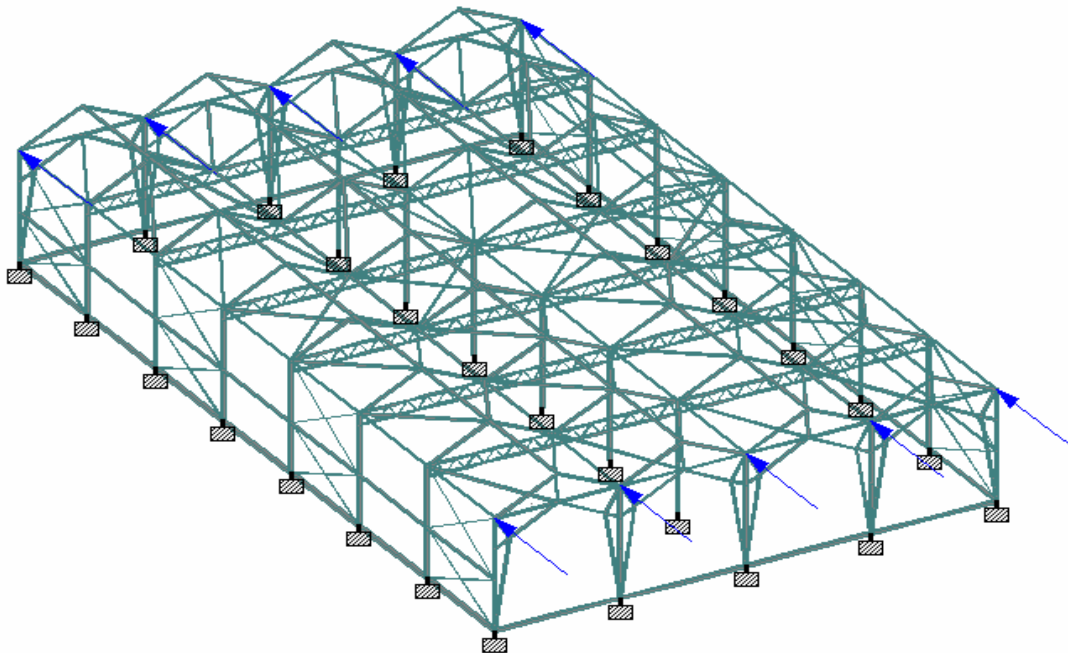
**Τρισδιάστατη αναπαράσταση φορτίων-δράσεων
επί της κατασκευής**

| | | |
|--|---|---|
| ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | Στατική ανάλυση θερμοκηπιακών κατασκευών | Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος |
| Μόνιμες δράσεις G_{K1} (Ίδιο βάρος κατασκευής) | | |
|  | | |
| Μόνιμες δράσεις G_{K1} (Φορτίο υαλοπινάκων) | | |
|  | | |
| Τρισδιάστατη αναπαράσταση των δράσεων G_{K1} , G_{K1} , επί της κατασκευής | | Σχήματα B.1-B.2 |

| | | |
|--|---|---|
| ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | Στατική ανάλυση θερμοκηπιακών κατασκευών | Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος |
| Μόνιμες δράσεις G_{K2} (Μόνιμη παρουσία εγκαταστάσεων) | | |
|  | | |
| Κινητό φορτίο Q_{K3} (Φορτίο λόγω ανηρτημένων φυτών) | | |
|  | | |
| Τρισδιάστατη αναπαράσταση των φορτίων G_{K2} , Q_{K3} , επί της κατασκευής | | Σχήματα B.3-B.4 |

| | | |
|--|---|---|
| ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | Στατική ανάλυση θερμοκηπιακών κατασκευών | Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος |
| Κινητό φορτίο Q_{K1} (Φορτίο ανέμου) | | |
|  | | |
| Κινητό φορτίο Q_{K2} (Ομοιόμορφο φορτίο χιονιού) | | |
|  | | |
| Τρισδιάστατη αναπαράσταση των φορτίων Q_{K1} , Q_{K2} , επί της κατασκευής | | Σχήματα B.5-B.6 |

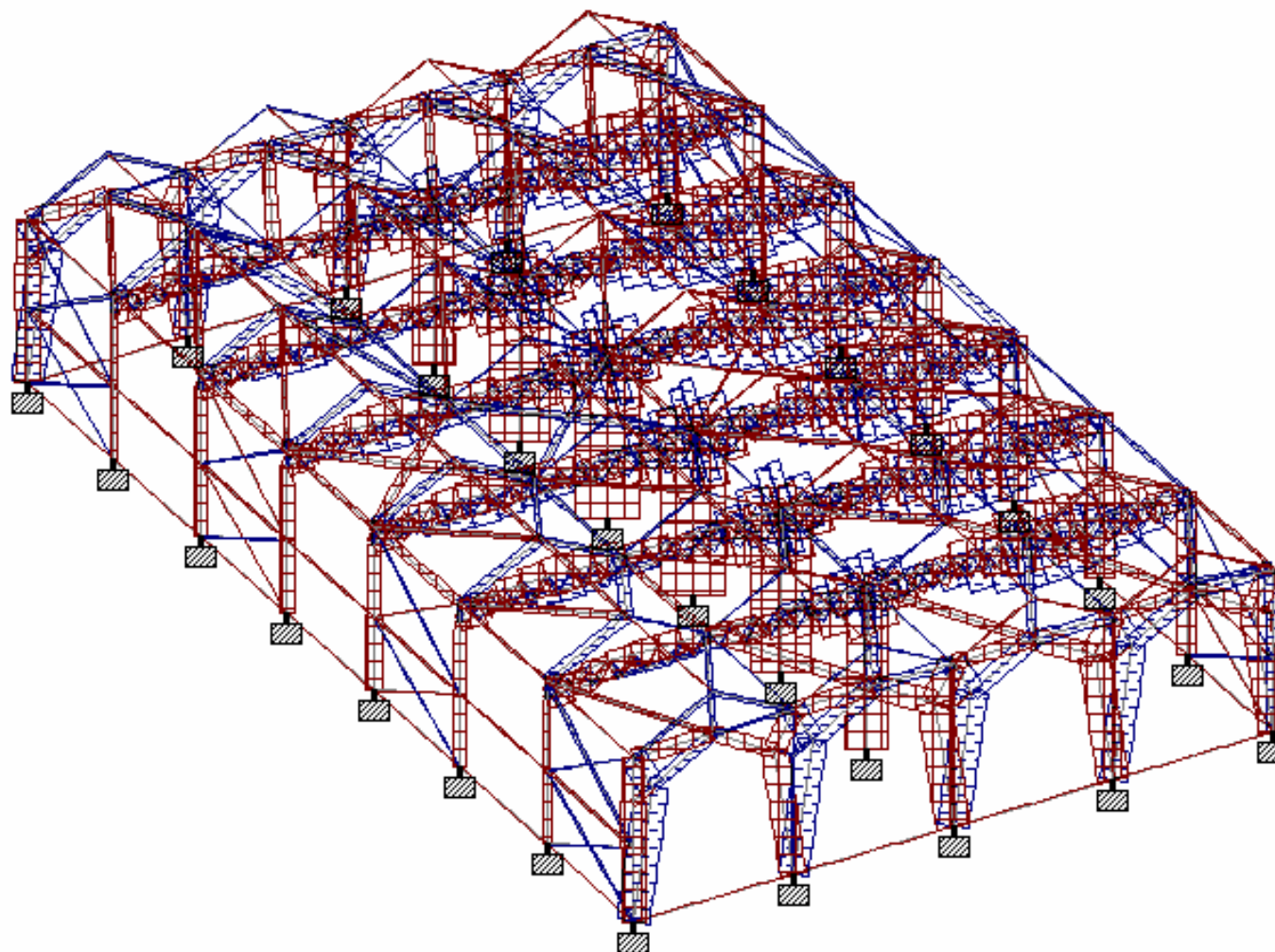
| | | |
|--|---|---|
| ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | Στατική ανάλυση θερμοκηπιακών κατασκευών | Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος |
| Κινητό φορτίο Q_{K2} (Ανομοιόμορφο φορτίο χιονιού) | | |
|  | | |
| Κινητό φορτίο Q_{K4} (Συγκεντρωμένη κατακόρυφη δράση) | | |
|  | | |
| Τρισδιάστατη αναπαράσταση των φορτίων Q_{K2} , Q_{K4} , επί της κατασκευής | | Σχήματα B.7-B.8 |

| | | |
|--|---|---|
| ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | Στατική ανάλυση θερμοκηπιακών κατασκευών | Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος |
| Κινητό φορτίο A_{EKx} (Σεισμικές δράσεις κατά τη διεύθυνση x) | | |
|  | | |
| Κινητό φορτίο A_{EKy} (Σεισμικές δράσεις κατά τη διεύθυνση y) | | |
|  | | |
| Τρισδιάστατη αναπαράσταση των δράσεων A_{EKx} , A_{EKy} , επί της κατασκευής | | Σχήματα B.9-B.10 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

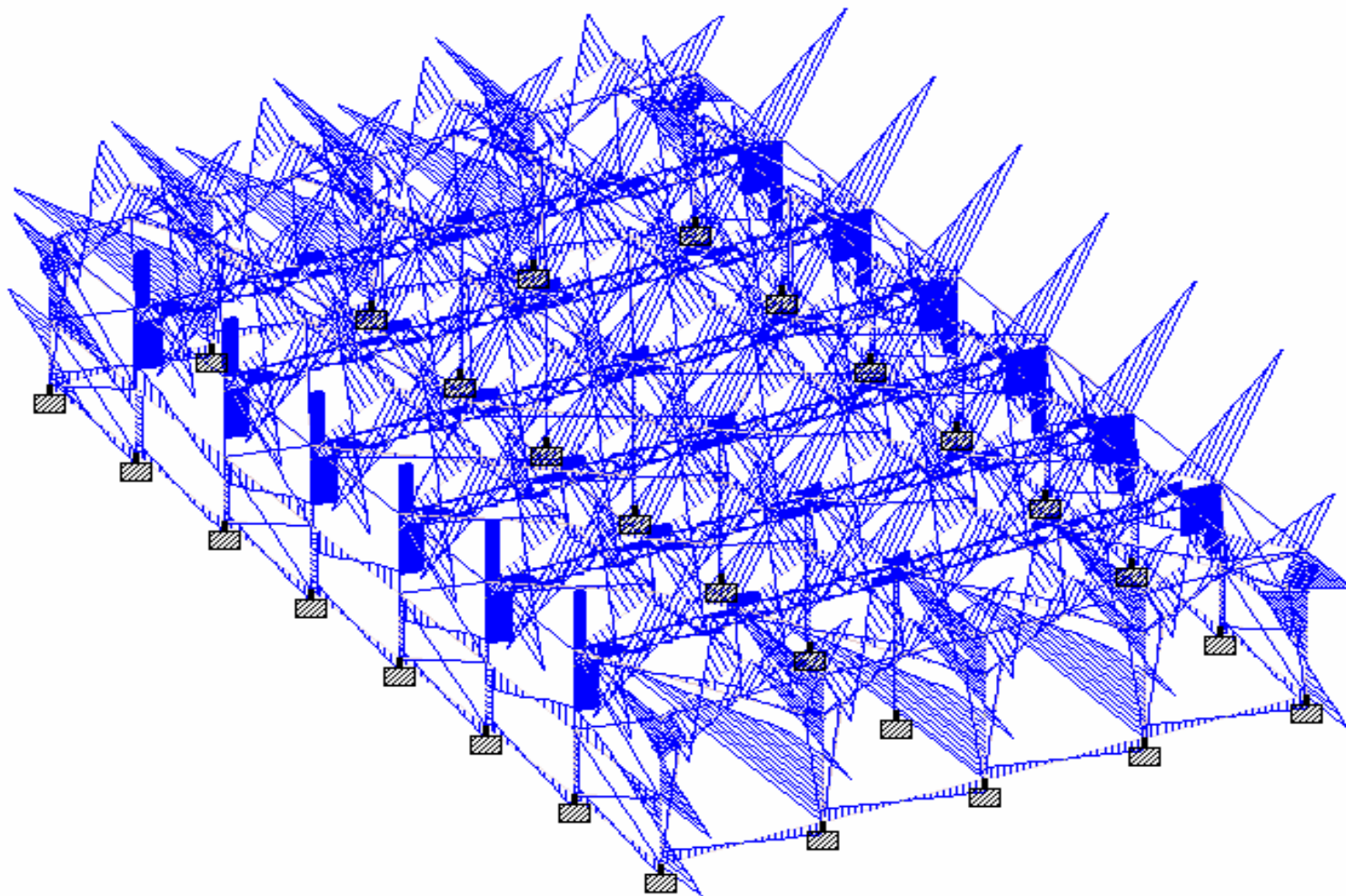
Γ

**Αποτελέσματα ανάλυσης και διαστασιολόγησης
του φορέα**



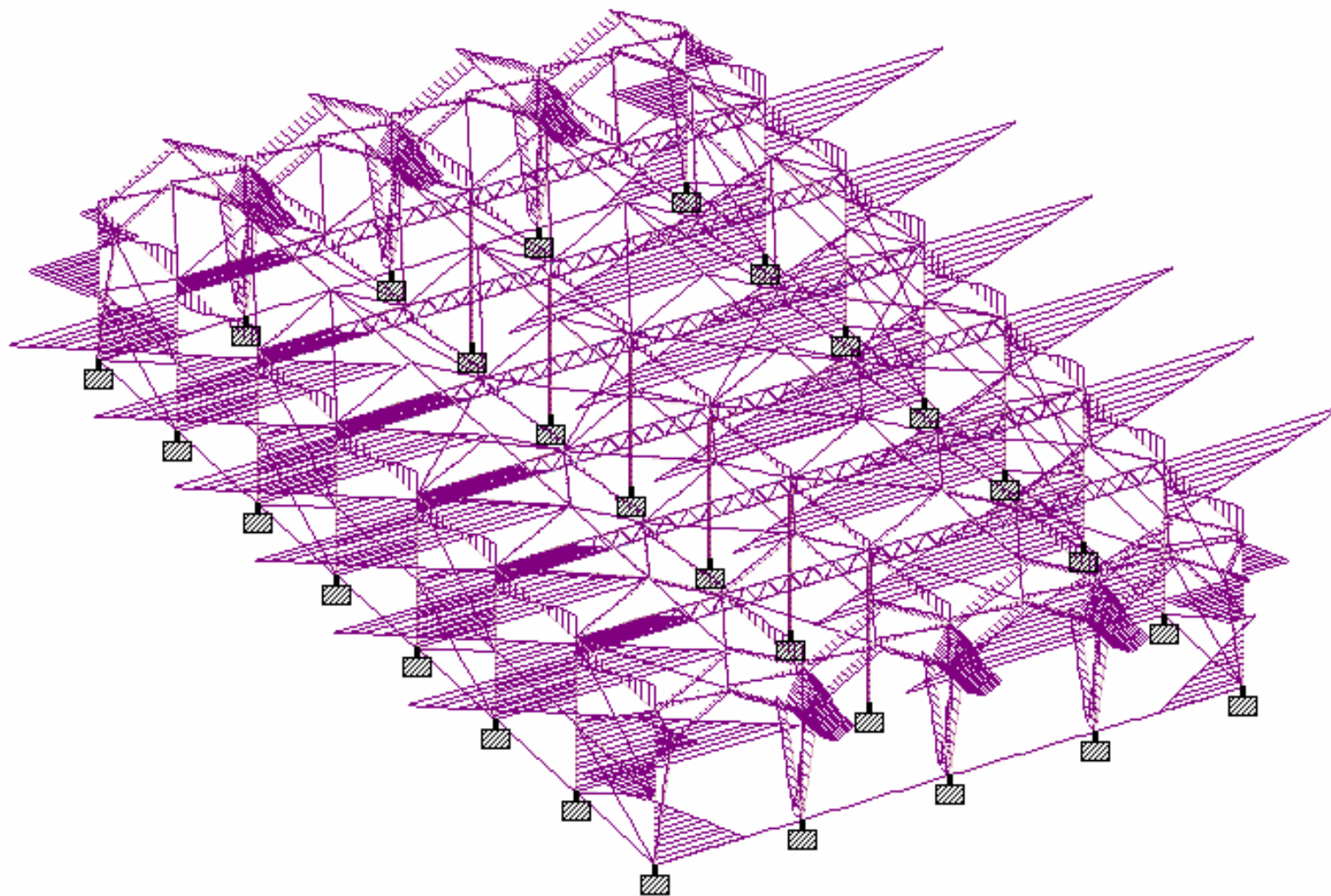
Ενδεικτικό διάγραμμα αξονικών δυνάμεων [Nx]

Σχήμα Γ.1

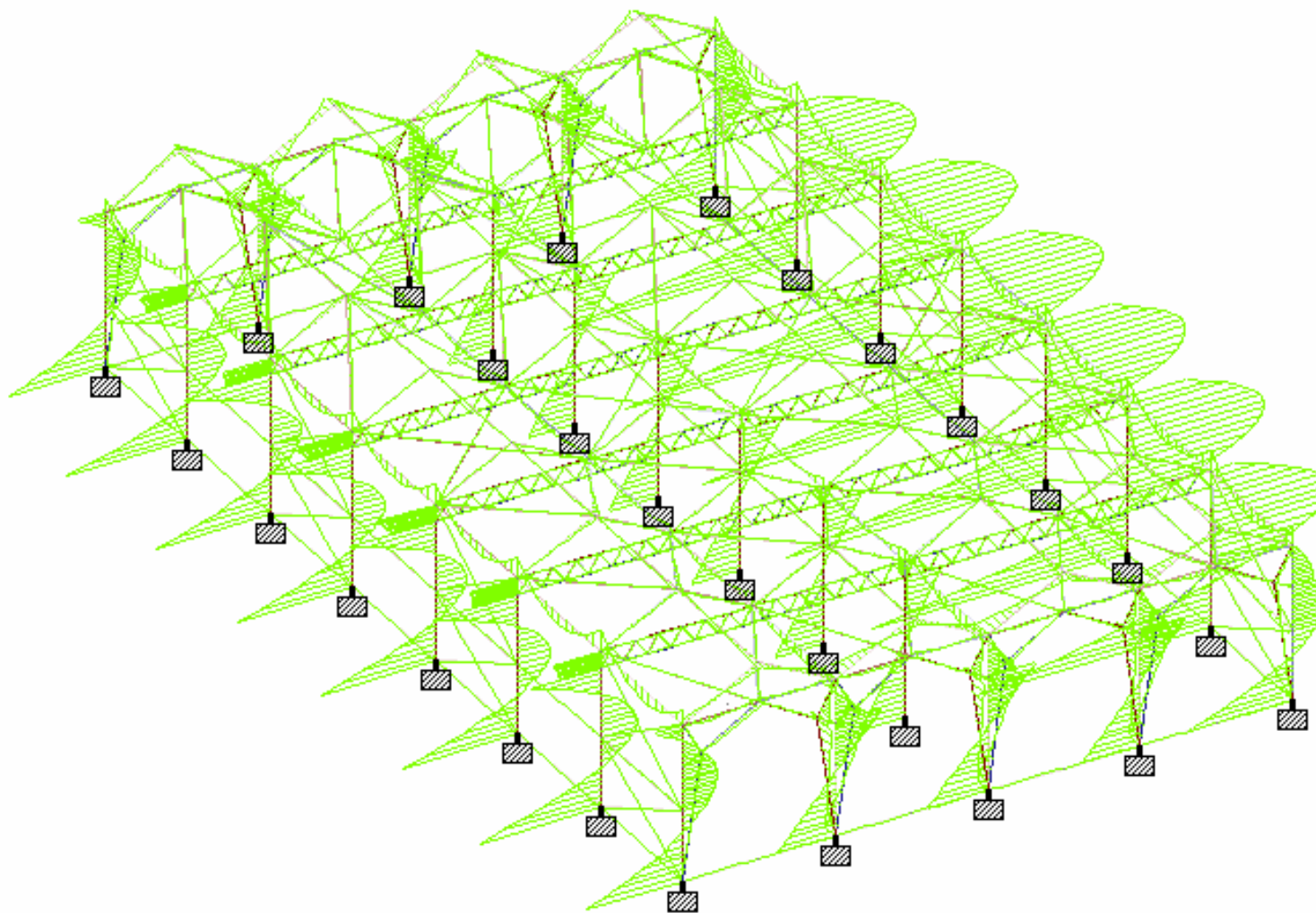


Ενδεικτικό διάγραμμα τερνουσών δυνάμεων [Qy]

Σχήμα Γ.2

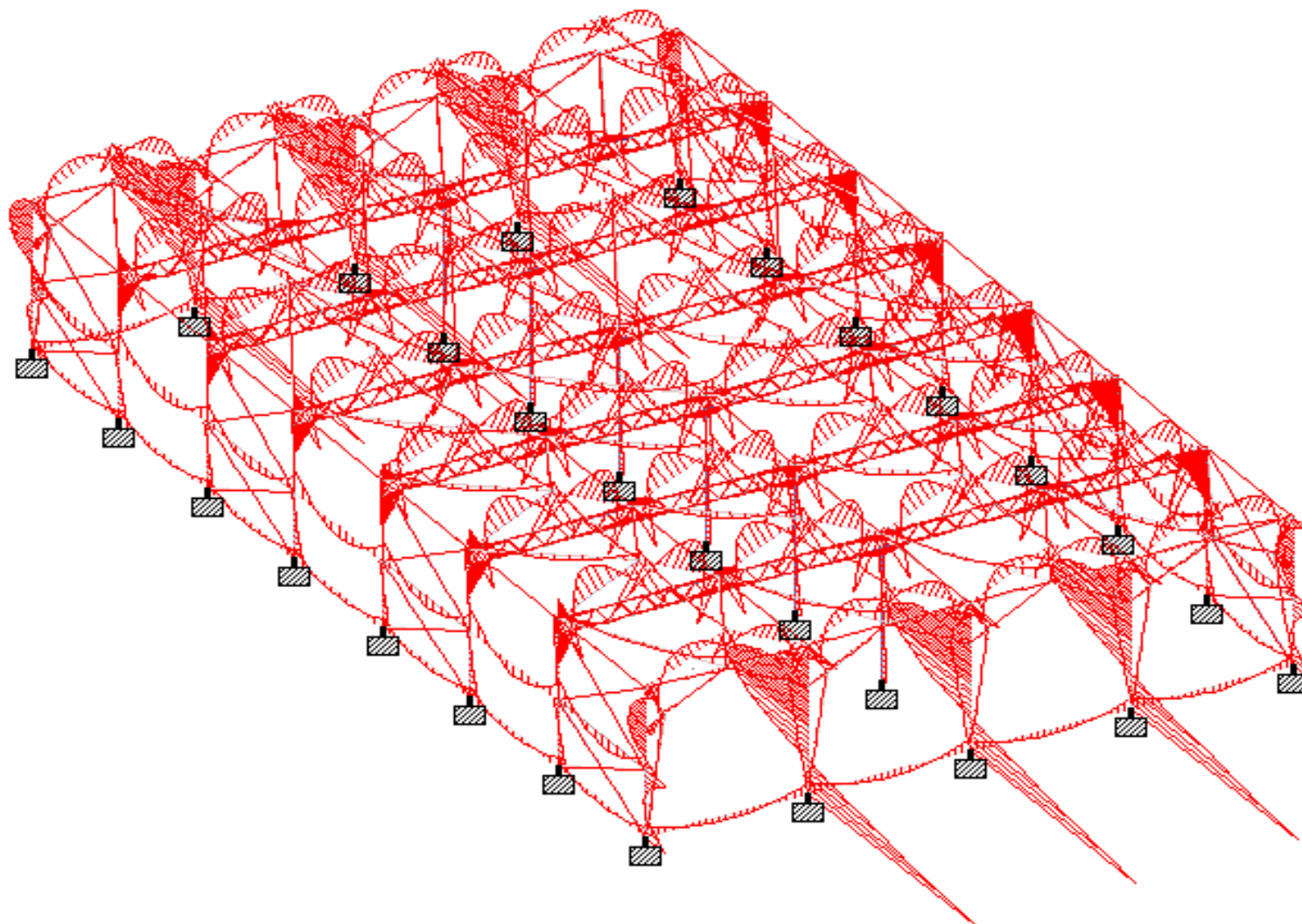
Ενδεικτικό διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων [Q_z]

Σχήμα Γ.3



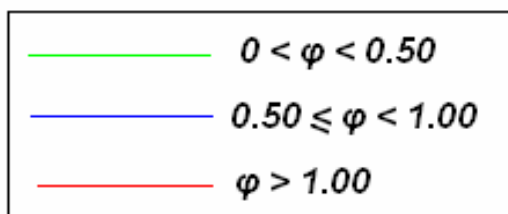
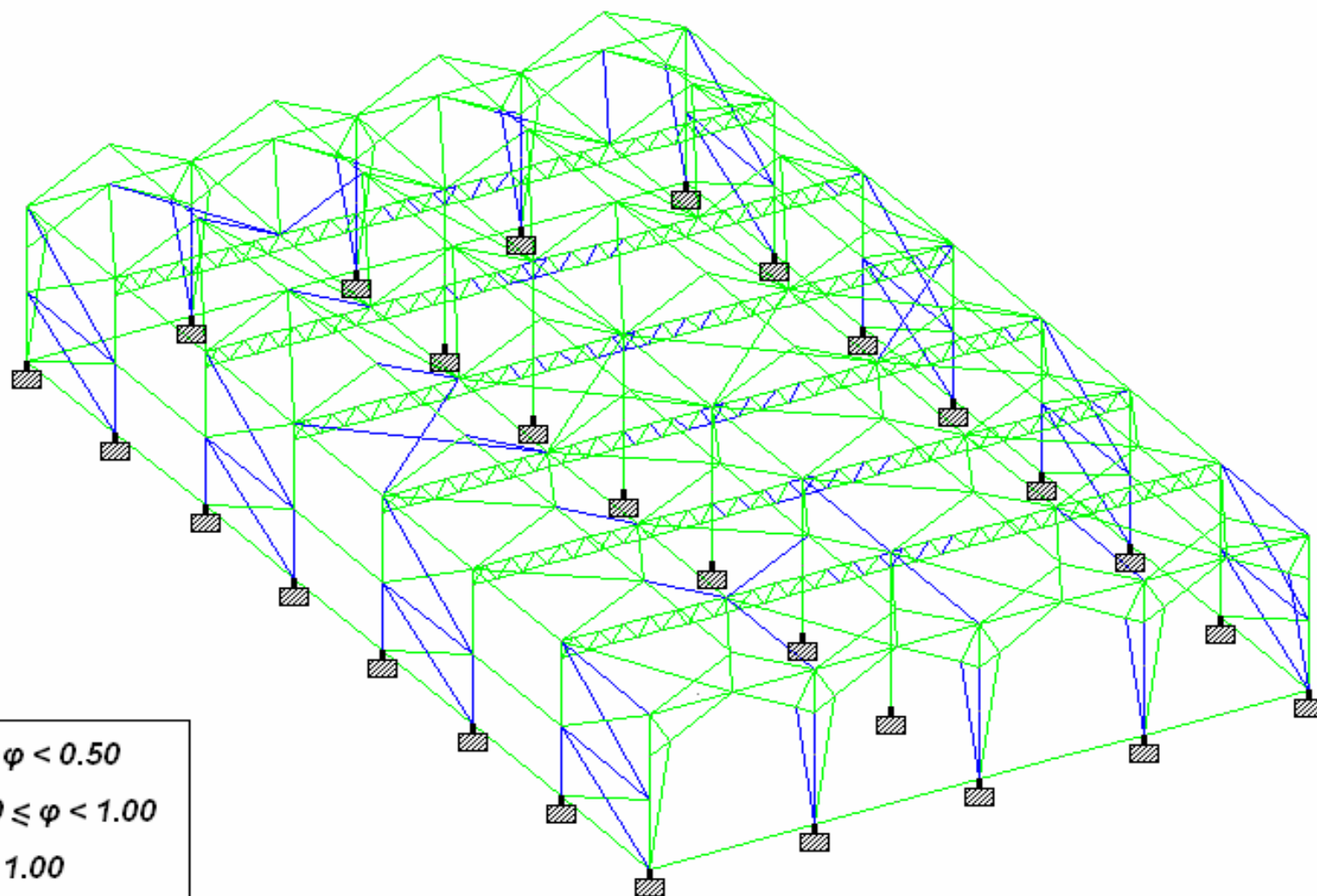
Ενδεικτικό διάγραμμα ροπών κάμψης [My]

Σχήμα Γ.4



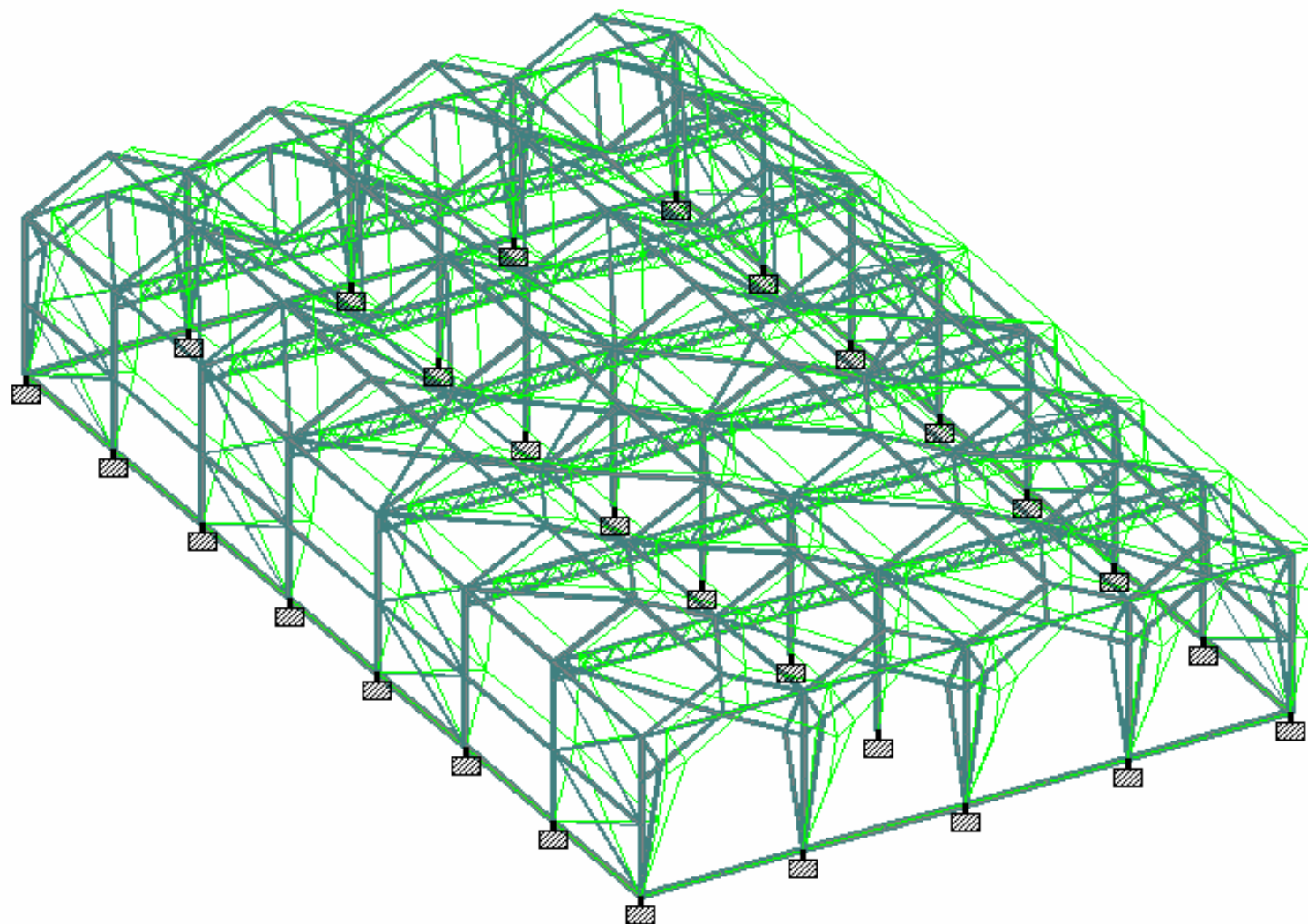
Ενδεικτικό διάγραμμα ροπών κάμψεως [Mz]

Σχήμα Γ.5



Αποτελέσματα ελέγχου επάρκειας

Σχήμα Γ.6



Ενδεικτική απεικόνιση μετατοπίσεων – παραμορφώσεων του φορέα

Σχήμα Γ.7

| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |

