

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ



Διπλωματική Εργασία

***Πλαστική ανάλυση 2^{ης} τάξης μεταλλικού ιστού
τηλεπικοινωνιών με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού***

Φοιτητές: Κωνσταντίνος Καλογιάννης, Νικόλαος Πρέζας

Επιβλέπων: Δημ. Σοφιανόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής

Βόλος, Οκτώβριος 2010



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 9018/1
Ημερ. Εισ.: 27-10-2010
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2010
ΚΑΛ

Σκοπός και Αντικείμενο

Η παρούσα εργασία σχετίζεται με την πλαστική 2^{ης} τάξης ανάλυση και σχεδιασμό χαλύβδινου ιστού κινητής τηλεφωνίας μέσω εξειδικευμένου λογισμικού (Nida Pro 7). Αρχικά επιλέχθηκε ένας τύπος μεταλλικού δικτύματος σύμφωνα με τους προδιαγραφόμενους τύπους ιστών που χρησιμοποιούνται από τον Ο.Τ.Ε. και τη COSMOTE. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η ως άνω ανάλυση του ιστού με τη βοήθεια του προγράμματος NIDA_Pro_7, λαμβάνοντας υπόψη τις φορτίσεις που υπαγορεύει ο Ευρωκώδικας 3 για ίδιο βάρος, φορτία εγκαταστάσεων και άνεμο. Μετά τους απαραίτητους ελέγχους σε λυγισμό και τις απαιτούμενες αλλαγές των προεπιλεγμένων διατομών προέκυψε ότι η τελική κατασκευή επαρκεί τόσο σε ευστάθεια όσο και σε αντοχή. Ακολούθησε η αναλυτική σχεδίαση του ιστού σε όψη με τις αντίστοιχες διατομές των στοιχείων του και επιπλέον σχεδιάστηκαν σε κατάλληλη κλίμακα οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των συνδέσεων. Στο τέλος αυτού του τεύχους περιέχεται CD με εικόνες από δικτυωτούς ιστούς σε διάφορα μέρη της Ελλάδας, οι Ευρωκώδικες που χρησιμοποιήθηκαν, τα σχέδια του συγκεκριμένου ιστού σε μορφή που υποστηρίζεται από το AutoCAD καθώς και τα αρχεία σε μορφή που υποστηρίζεται από το NIDA_pro_7.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα θέλαμε ή καλύτερα νιώθουμε υποχρεωμένοι να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μας εργασίας κ. Δημήτριο Σοφιανόπουλο, τον S. L. Chan, καθηγητή του Πολυτεχνείου του Hong Kong, για τις οδηγίες του στη χρησιμοποίηση του προγράμματος NIDA_Pro_7 και την προσομοίωση του μεταλλικού δικτύματος καθώς και τον καθηγητή του ΑΠΘ κ. Χαρ. Μπανιωτόπουλο για τη παροχή απαραίτητων στοιχείων προς ολοκλήρωση της όλης Διπλωματικής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Μεταλλικές κατασκευές στα τηλεπικοινωνιακά έργα.....	4
1.2	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ιστού.....	6
1.3	Προεπιλογή διατομών του δικτυωτού ιστού.....	7

2.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

2.1	Μόνιμα φορτία (G)	8
	2.1.1 Υπολογισμός Ιδίου Βάρους.....	8
	2.1.2 Υπολογισμός φορτίου πατώματος εργασίας.....	9
	2.1.3 Υπολογισμός φορτίου μηχανολογικού εξοπλισμού.....	9
2.2	Κινητά Φορτία (Q)	10
	2.2.1 Υπολογισμός φορτίων εργατών.....	10
2.3	Κλιματικά Φορτία (W)	11
	2.3.1 Φορτίο Ανέμου.....	11
	2.3.1.1 Πίεση ανέμου σε επιφάνειες.....	11
	2.3.1.2 Πίεση ταχύτητας αιχμής.....	12
	2.3.1.3 Συντελεστής δύναμης C_f	13
	2.3.1.4 Υπολογισμός χαρακτηριστικής πίεσης ταχύτητας αιχμής.....	14
	2.3.1.5 Υπολογισμός συντελεστή πληρότητας.....	21
	2.3.1.6 Υπολογισμός συντελεστή δύναμης C_f	25
	2.3.1.7 Υπολογισμός Δυνάμεων ανέμου (F_w).....	26
	2.3.2 Φορτία χιονίου.....	31
	2.3.2.1 Υπολογισμός συντελεστή σχήματος μ_i	31
	2.3.2.2 Υπολογισμός εξαιρετικού φορτίου επί εδάφους.....	31
	2.3.2.3 Υπολογισμός φορτίου επί εδάφους για δεδομένη τοποθεσία.....	32

3. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

3.1	Εύρεση συντελεστών φορτίσεων.....	33
-----	-----------------------------------	----

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΝΙΔΑ

4.1	Διαδικασία Ανάλυσης, Second Order Analysis, Plastic Analysis.....	35
4.2	Σχεδιασμός του φορέα στο ΝΙΔΑ.....	37
4.3	Καθορισμός Υλικού.....	37
4.4	Καθορισμός των Διατομών.....	38
4.5	Καθορισμός Φορτίων.....	39
4.6	Εισαγωγή Στηρίξεων.....	41
4.7	Εισαγωγή Συνδυασμών Αστοχίας.....	42
4.8	Καθορισμός Παραμέτρων της Ανάλυσης.....	43

5. ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1	Επισυναπτόμενα σχέδια του φορέα σε διάφορα βήματα.....	46
5.2	Συμπεριφορά μελών και κόμβων κατά την διάρκεια της επαναληπτικής διαδικασίας.....	75
5.2.1	Πρώτος συνδυασμός(1.2G+1.6Q+0.96W).....	75
5.2.2	Δεύτερος συνδυασμός(1.2G+1.12Q+1.6W).....	83
5.2.3	Τρίτος συνδυασμός(1.2[G+Q+W]).....	91
5.3	Συμπεριφορά της Κεραίας.....	99
5.4	Συγκεντρωτικά Στοιχεία.....	100

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εισαγωγή

1.1. Μεταλλικές κατασκευές στα τηλεπικοινωνιακά έργα

Οι σιδηρές κατασκευές παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση των σύγχρονων ασύρματων τηλεπικοινωνιών , διότι αποτελούν την υποδομή επί της οποίας στηρίζονται οι διάφορες κεραιές τηλεπικοινωνιών. Οι κυριότερες από τις κατασκευές αυτές είναι ιστοί , πυλώνες και παθητικά κάτοπτρα. Τα τελευταία χρόνια η αλματώδης ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και ιδιαίτερα των ασύρματων επικοινωνιών , οδηγούν σε αύξηση των σχετικών έργων υποδομής , δηλαδή των σιδηρών κατασκευών για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς.

Στην Ελλάδα ο φορέας ανάπτυξης και διαχείρισης των τηλεπικοινωνιών είναι από το 1984 ο Ο.Τ.Ε. , ο οποίος θα διατηρήσει το μονοπωλιακό προνόμιο μέχρι το έτος 2000. Στο χώρο των κινητών επικοινωνιών δραστηριοποιείται υπό καθεστώς ανταγωνισμού και η COSMOTE , θυγατρική εταιρεία του Ο.Τ.Ε. Οι παραπάνω εταιρείες τηλεφωνίας σε μια προσπάθεια να παραμείνουν ανταγωνιστικές στην παγκόσμια αγορά βελτιώνουν συνεχώς την ποιότητα του δικτύου τους και εκσυγχρονίζουν τις υπηρεσίες τους. Σε αυτή τη στρατηγική σημαντική παράμετρος αποτελεί ο εκσυγχρονισμός των σιδηρών κατασκευών με ελέγχους στις υπάρχουσες κατασκευές και ο σχεδιασμός νέων , πιο σύγχρονων , με σκοπό την καλύτερη αντιμετώπιση θεμάτων ασφάλειας , λειτουργικότητας και οικονομίας. Επίσης η COSMOTE προχώρησε στη μελέτη και εκτέλεση νέων τύπων ιστών για τις ανάγκες της κινητής τηλεφωνίας , βασιζόμενοι σε νέες αντιλήψεις και κανονισμούς.

Οι μεταλλικές κατασκευές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα συστήματα τηλεπικοινωνιών μπορούν χονδρικά να ταξινομηθούν σε τρεις τύπους , τους οκταγωνικούς ιστούς , τους ιστούς-πυλώνες και τα παθητικά κάτοπτρα.

Οι οκταγωνικοί ιστοί είναι αυτοστήρικτοι κουλουροκωνικοί ιστοί οκταγωνικής διατομής. Οι ιστοί αυτοί απαντώνται σε πέντε τύπους με ύψος 8m , 11m , 15m , 21m και 35m. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί και εγκατασταθεί περίπου 400 ιστοί αυτού του τύπου σε ολόκληρη τη χώρα. Η χρήση τους εξυπηρετεί κυρίως αγροτικά ραδιοσυστήματα (Σ.Α.Ρ.) , οπότε η εγκατάστασή τους γίνεται σε εξαιρετικά δυσπρόσιτα σημεία.

Όσον αφορά τους ιστούς-πυλώνες , πρόκειται για αυτοστήρικτους ιστούς , οι οποίοι αποτελούν δίκτυώματα στο χώρο με διατομές κυρίως ισοσκελή γωνιακά ελάσματα.

Τα κύρια στοιχεία των ιστών αυτών είναι τα υποστυλώματα – πέλματα του δικτυώματος , οι οριζόντιες – ορθοστάτες του δικτυώματος και οι ράβδοι πλήρωσης. Οι ιστοί αυτοί χρησιμεύουν για τη στερέωση των κατόπτρων διαφόρων διαμέτρων σε διάφορα ύψη. Σε διάφορες στάθμες των ιστών προβλέπονται δάπεδα εργασίας , ενώ στο εσωτερικό τους υπάρχει σκάλα ανάβασης καθώς και κατασκευή στερέωσης των καλωδίων που συνδέουν τα κάτοπτρα με το δίκτυο.

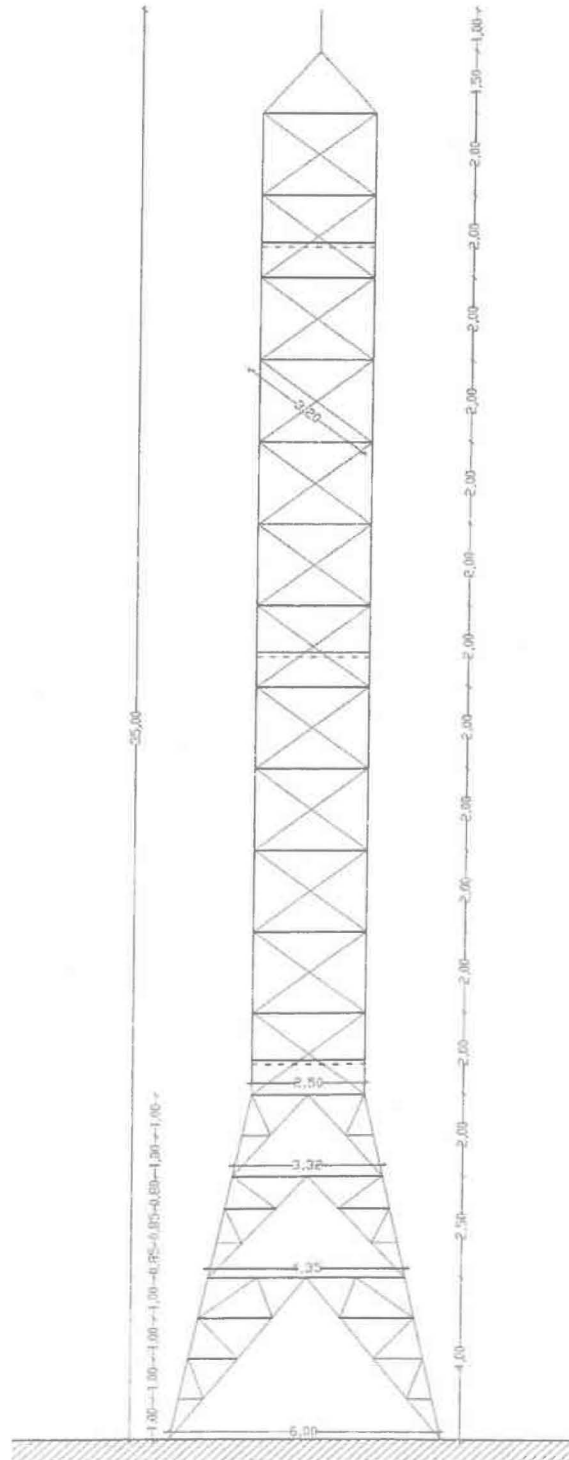
Τα παθητικά κάτοπτρα είναι σύνθετες και ιδιαίτερα πολύπλοκες σιδηρές κατασκευές , οι οποίες χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ δύο προς σύνδεση σημείων. Στις περιπτώσεις αυτές τοποθετούνται τα παθητικά κάτοπτρα σε κατάλληλο ενδιάμεσο σημείο , από το οποίο φαίνονται υπό γωνία οι δύο προς σύνδεση τόποι. Τα παθητικά κάτοπτρα έχουν τη δυνατότητα περιστροφής ως προς το οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα και παίζουν αποκλειστικά το ρόλο του ανακλαστήρα.

Τα φορτία που τοποθετούνται στους διάφορους τύπους ιστών είναι οι «κεραίες» , δηλαδή τα παραβολικά κάτοπτρα διαφόρων τύπων και μεγεθών. Οι κεραίες αυτές τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις καθ' ύψος και προσανατολισμό. Βασική τηλεπικοινωνιακή απαίτηση είναι η εγκατάσταση όσο το δυνατόν περισσότερων κεραιών , με πολύ μικρά βέλη (οριζόντιες μετατοπίσεις) , καθώς είναι προϋπόθεση η οπτική επαφή.

Τέλος , στις σιδηρές κατασκευές για τηλεπικοινωνιακές ανάγκες τα μεγαλύτερα κατασκευαστικά προβλήματα προκύπτουν από τη δύσκολη πρόσβαση στα σημεία τοποθέτησης τους και από τις δυσκολίες εκσκαφής και θεμελίωσης λόγω έλλειψης μηχανικών μέσων. Όλοι οι ιστοί αποτελούνται από μέλη μικρού μήκους και οι περισσότερες συνδέσεις είναι κοχλιωτές καθώς πολλές φορές απαιτείται η μετακίνηση και η τοποθέτηση της κατασκευής σε άλλο σημείο. Όλες οι μεταλλικές κατασκευές που εξυπηρετούν τηλεπικοινωνιακές ανάγκες είναι επιψευδαργυρωμένες (γαλβανισμένες) εν θερμώ βάσει προδιαγραφών (DIN50976) , από ύψος δε 11m και πλέον βάφονται και φωτοσημαίνονται βάσει των προδιαγραφών της Πολιτικής Αεροπορίας.

1.2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ιστού

Ο μεταλλικός ιστός κινητής τηλεφωνίας που πρόκειται να μελετήσουμε φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 1. Μια όψη του δικτυωτού ιστού

1.3. Προεπιλογή διατομών του δικτυωτού ιστού

Σε πρώτη φάση η προεπιλογή των διατομών του ιστού μπορεί να γίνει κυρίως εμπειρικά , με βάση τις διατομές που έχουν χρησιμοποιηθεί στους υφιστάμενους ιστούς. Η ιδιαιτερότητα της στατικής και δυναμικής απόκρισης του φορέα σε συνδυασμό και με τις υψηλές απαιτήσεις λειτουργικότητας και τα χαμηλά όρια επιτρεπόμενης λυγηρότητας των μελών του έχει σαν αποτέλεσμα να γίνεται μια επαρκώς αυστηρή προεπιλογή διατομών. Σε αυτή τη λογική εξάλλου συμβάλλει και η έλλειψη τυποποίησης που υπάρχει ακόμη και σε αυτό το είδος των μεταλλικών κατασκευών , λόγω της οποίας υπάρχουν αβεβαιότητες για τη συμπεριφορά του ιστού , κυρίως σε ακραίους συνδυασμούς δράσεων.

Συγκεκριμένα για το **κατακόρυφο σκέλος** του πυλώνα προεπιλέγονται οι ακόλουθες διατομές :

- Τα υποστυλώματα των 6 ανώτερων φατνωμάτων είναι ισοσκελή γωνιακά διατομής L80x8.
- Τα υποστυλώματα των 6 κατώτερων φατνωμάτων είναι ισοσκελή γωνιακά διατομής L100x10.
- Οι οριζόντιοι ορθοστάτες αποτελούνται από UPN80.
- Οι διαγώνιοι είναι ισοσκελή γωνιακά διατομής L70x7.
- Οι διαγώνιοι των πατωμάτων εργασίας αποτελούνται από UPN80.

Για το **κεκλιμένο σκέλος** του πυλώνα επιλέγονται οι ακόλουθες διατομές :

- Οι ράβδοι πλήρωσης είναι ισοσκελή γωνιακά διατομής L45x5.
- Οι εσωτερικοί διαγώνιοι είναι ισοσκελή γωνιακά διατομής L70x7.
- Οι εξωτερικοί διαγώνιοι είναι ισοσκελή γωνιακά διατομής L100x10.
- Οι άνω , μεσαίοι και κάτω οριζόντιοι ορθοστάτες αποτελούνται από UPN80.
- Οι ράβδοι των δικτυωμάτων σταθεροποίησης των διαγωνίων του κάτω φατνώματος (μείωση του μήκους λυγισμού του εκτός επιπέδου) είναι ισοσκελή γωνιακά διατομής L45x5.

2. Υπολογισμός φορτίων

2.1. Μόνιμα φορτία (G)

Ως μόνιμα φορτία χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον «Ευρωκώδικα 0, Βάσεις Σχεδιασμού» σελ. 16 και παράγραφος 1.5.3.3 ορίζονται:

“ οι δράσεις οι οποίες είναι πιθανό να δρουν καθ’ όλη την δεδομένη περίοδο αναφοράς και για τις οποίες η μεταβολή του μεγέθους τους σε συνάρτηση με τον χρόνο είναι αμελητέα ή για τις οποίες η μεταβολή τους είναι πάντα στην ίδια διεύθυνση (μονοτονική) μέχρι η δράση να φτάσει στην οριακή της τιμή ”

Στον ιστό τα μόνιμα φορτία που έχουμε είναι το ίδιο βάρος όλων των μελών, ο μηχανολογικός εξοπλισμός και το ίδιο βάρος των πατωμάτων εργασίας.

Επειδή στον φορέα μας στο NIDA_Pro_7 δεν προσθέσαμε πλάκες για τα πατώματα εργασίας, πραγματοποιήσαμε απλές στατικές επίλυση με σκοπό να μεταφέρουμε τα μόνιμα φορτία στα πλευρικά μέλη.

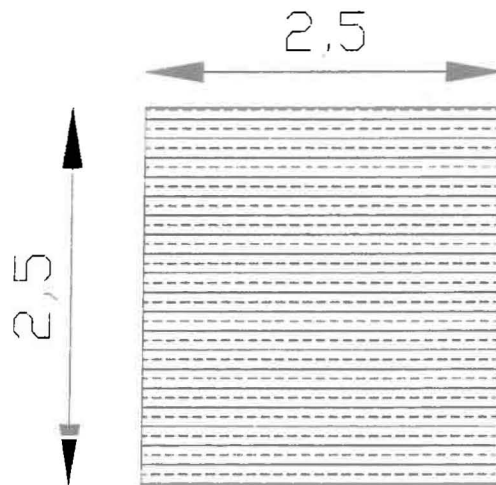
2.1.1. Υπολογισμός Ίδιου Βάρους

Το ίδιο βάρος του κάθε μέλους εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καθώς και από το ειδικό βάρος του χάλυβα. Στο NIDA_Pro_7 υπάρχει εντολή ώστε να αντιλαμβάνεται το ίδιο βάρος όλων των μελών.

Πίνακας Ίδιων Βαρών

Name	No. of Members	Weight
L80x8	28	4.476E+0 kN
L100x10	68	1.214E+1 kN
UPN80	143	1.830E+1 kN
L70x7	171	2.822E+1 kN
UPN100	24	2.979E+0 kN
UPN160	3	1.329E+0 kN
L45x5	56	2.185E+0 kN
O48.3x3.2~	1	3.954E-2 kN

2.1.2. Υπολογισμός μόνιμου φορτίου πατωμάτων εργασίας



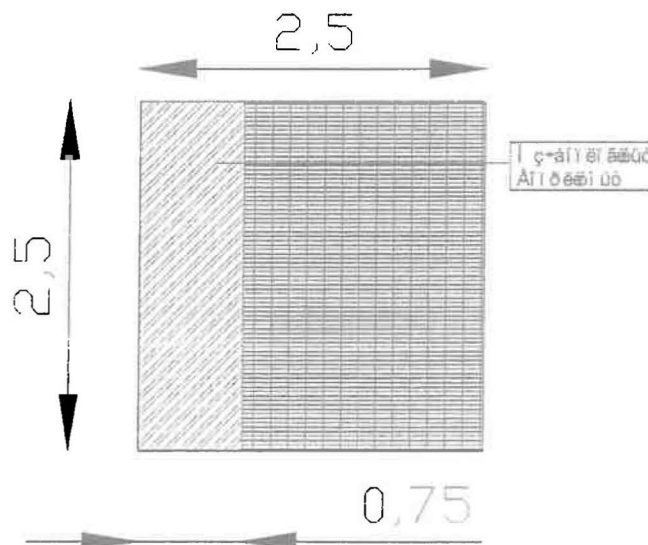
Σχήμα 2. Σκαρίφημα των πατωμάτων εργασίας

$$g_{\text{πατ.εργ.}} = 0,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ και } a_{\text{πατ.εργ.}} = 2,5 \text{ m.}$$

$$q_{\text{πατ.εργ.}} = g_{\text{πατ.εργ.}} \cdot a_{\text{πατ.εργ.}} = 0,7 \cdot 2,5 = 1,75 \text{ kN/m}$$

Οπότε σε κάθε πλευρικό μέλος θα δρα κατακόρυφο κατανεμημένο φορτίο με τιμή 1,75 kN/m².

2.1.3. Υπολογισμός μόνιμου φορτίου μηχανολογικού εξοπλισμού



Σχήμα 3. Σκαρίφημα των πατωμάτων εργασίας με τους μηχανολογικούς εξοπλισμούς

Κατανεμημένο φορτίο από τον μηχανολογικό εξοπλισμό:

$$g_{\text{εξοπλ.}} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{εξοπλ.} = b_{εξοπλ.} \cdot l_{εξοπλ.} \cdot g_{εξοπλ.} = 0,75 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 1 \rightarrow P_{εξοπλ.} = 1,875 \text{ kN}$$

Αυτή η δύναμη πρέπει να μεταφερθεί σε κάθε μέλος του πατώματος εργασίας και για να είναι απόλυτα σωστό θα προσθέσω και μία ροπή. Σύμφωνα με το σκαρίφημα:

Αριστερό μέλος:

$$q_1 = \frac{P_{εξοπλ.}}{l_{εξοπλ.}} = \frac{1,875}{2,5} \rightarrow q_1 = 0,75 \text{ kN/m}$$

$$M_1 = P_{εξοπλ.} \cdot z_1 = 1,875 \cdot \frac{0,75}{2} \rightarrow M_1 = 0.703 \text{ kNm}$$

Δεξί μέλος:

$$q_2 = \frac{P_{εξοπλ.}}{l_{εξοπλ.}} = \frac{1,875}{2,5} \rightarrow q_2 = 0,75 \text{ kN/m}$$

$$M_2 = P_{εξοπλ.} \cdot z_2 = 1,875 \cdot \left(2,5 - \frac{0,75}{2}\right) \rightarrow M_2 = 3,984 \text{ kNm}$$

Πάνω και κάτω μέλος:

$$q_3 = \frac{P_{εξοπλ.}}{b_{εξοπλ.}} = \frac{1,875}{0,75} \rightarrow q_3 = 2.5 \text{ kN/m}$$

$$M_3 = P_{εξοπλ.} \cdot z_3 = 1,875 \cdot \frac{2,5}{2} \rightarrow M_3 = 2.343 \text{ kNm}$$

2.2. Κινητά φορτία (Q)

Ως κινητά φορτία χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον «**Ευρωκώδικα 0, Βάσεις Σχεδιασμού**» σελ. 16 και παράγραφος 1.5.3.4 ορίζονται:

“ οι δράσεις στις οποίες η μεταβολή του μεγέθους τους δεν είναι ούτε αμελητέες ούτε μονοτονικές ”

2.2.1. Υπολογισμός φορτίου των ερνατών

Σύμφωνα με τον «**Ευρωκώδικα 3, Μέρος 3-1 Πύργοι και Κεραίες**» σελ. 14 και παράγραφος 2.3.6 αναφέρεται για αυτού του είδους επιβαλλόμενα φορτία το εξής:

“ Τα μέλη τα οποία βρίσκονται μέσα σε 30° με την οριζόντια διεύθυνση πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να αντέχει το βάρος ενός εργάτη που θεωρούμε ότι είναι μια κατακόρυφη συγκεντρωμένη δύναμη 1 kN ”

$$Q_{εργ.} = 1 \text{ kN}$$

Το οποίο θεωρούμε ότι ασκείται στο κέντρο της πλατφόρμας.

2.3. Κλιματικά φορτία (W)

2.3.1. Φορτίο ανέμου (W)

Ως δράσεις ανέμου χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον «**Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου**» σελ.28 και παράγραφος 5.3 ορίζονται:

“οι δυνάμεις του ανέμου για τη συνολική κατασκευή ή για ένα τμήμα της κατασκευής”

Η κατανεμημένη δύναμη F_w , που υπολογίζεται από την παρακάτω συνάρτηση, αναπαριστά την επίδραση που θα προκύψει στην κατασκευή από τον άνεμο.

$$F_w = c_s c_d \times c_f \times q_p(z) \times A_{ref}$$

$c_s c_d$: συνδυασμένος δυναμικός συντελεστής

c_f : συντελεστής πίεσης

$q_p(z)$: χαρακτηριστική πίεση ταχύτητας αιχμής

A_{ref} : είναι η αθροιστική προβαλλόμενη επιφάνεια των μελών και κομβοελασμάτων κάθετα στον άνεμο.

2.3.1.1. Πίεση ανέμου σε επιφάνειες

Ως πίεση ανέμου χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον «**Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου**» σελ.27 και παράγραφος 5.2 ορίζονται:

“Η πίεση του ανέμου που δρα στις επιφάνειες”

Δεδομένου ότι μελετούμε ένα μεταλλικό δικτύωμα, συνεπώς στην κατασκευή μας δεν θα αναπτυχθούν εσωτερικές πιέσεις. Επομένως, περνούμε σαν παραδοχή μηδενικής εσωτερικής πίεσης καθώς και μη ύπαρξης στροβιλισμού. Συνεπώς η πίεση που ασκείται στις επιφάνειες των μελών της κατασκευής θα προκύψουν από τον παρακάτω τύπο:

$$w_e = q_p(z) \times c_f$$

2.3.1.2. Πίεση ταχύτητας αιχμής

Για την εύρεση της χαρακτηριστική πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$, βάση του «Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου» σελ.25 και παράγραφο 4.5 παίρνουμε τον ακόλουθο τύπο:

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z)$$

Όπου:

$c_{e(z)} = [1 + 7 \times I_v(z)]$: συντελεστής έκθεσης

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω τον στροβιλισμό $I_v(z)$ τον θεωρούμε ίσο με μηδέν, επομένως $c_{e(z)} = 1$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z)$$

ρ : είναι η πυκνότητα του αέρα, που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθυελλών και βάση το «εθνικό προσάρτημα στον Ευρωκώδικα, σημείωση 2 της παραγράφου 4.5» το παίρνουμε ίσο με 1.25

Για την εύρεση της μέσης ταχύτητα του ανέμου $V_m(z)$, σε ύψος z πάνω από το έδαφος, βάση του «Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου» σελ.20 και παράγραφο 4.3 παίρνουμε τον ακόλουθο τύπο:

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b$$

$V_b = 33 \text{ m/s}$: η θεμελιώδη τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου σύμφωνα με το «εθνικό προσάρτημα στον Ευρωκώδικα 1,1-4, σημείωση 2 της παραγράφου 4.5»

$c_o(z) = 1$: Η μεταβολή ανάγλυφου με βάση το «εθνικό προσάρτημα στον Ευρωκώδικα, σημείωση 1 της παραγράφου 4.3.1»

Για την εύρεση του συντελεστή ταχύτητας $c_r(z)$ με βάση του «Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου» σελ.21 και παράγραφο 4.3.2 παίρνουμε τον ακόλουθο τύπο:

$$c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{για } z_{min} < z < z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \text{ για } z \leq z_{min}$$

Για την εύρεση του συντελεστή εδάφους εξαρτώμενος από το μήκος τραχύτητας Z_0 με βάση του «**Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου**» σελ.21 και σχέση 4.5 παίρνουμε τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Όπου} \quad K_r = 0.19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0,19$$

Για τον καθορισμό των διάφορων μηκών θα ανατρέξουμε στον πίνακα 4.1 στον Ευρωκώδικα 1 σελ.22. Επομένως για κατηγορία II έχουμε:

$$z_{min}=2$$

$$z_0=0.05$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m (κατηγορία εδάφους II)}$$

2.3.1.3. Συντελεστή δύναμης C_f

Ο συντελεστή δύναμης C_f μπορεί να προκύψει από δύο Ευρωκώδικες. Με βάση τον «**Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου**» σελ.82 και παράγραφο 7.11 ο οποίος αναφέρεται σε δικτυωτές κατασκευές και ικριώματα και υπολογίζει το C_f με τον παρακάτω τύπο:

$$c_f = c_{f,0} \times \psi_\lambda$$

$c_{f,0}$: συντελεστής δύναμης δικτυωτών κατασκευών και προκύπτει από το σχήμα 7.34 σαν συνάρτηση του συντελεστή ϕ

$\Phi = \frac{A}{A_c}$: συντελεστής πληρότητας

$A = A_{ref} = \sum b_i * l_i$: είναι η αθροιστική προβαλλόμενη επιφάνεια των μελών κάθετα στον άνεμο

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

L: μήκος του δικτυώματος

D : το πλάτος του δικτυώματος

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

z_e : ίσο με το μέγιστο ύψος του στοιχείου πάνω από το έδαφος.

ψ_λ : συντελεστής επίδρασης άκρων. Η τιμή της θα υπολογιστεί σαν συνάρτηση της λυγηρότητας λ από τον πίνακα 7.16 με γραμμική παρεμβολή.

Ο συντελεστής c_f προκύπτει και από τον «**Ευρωκώδικα 3, Μέρος 3-1 Πύργοι και Κεραίες**». Συγκεκριμένα στο Annex B σελ.30 μας δίνεται ο παρακάτω τύπος για τον υπολογισμό του c_f .

$$c_f = k_\theta \times c_{f,s0}$$

k_θ : συντελεστής εμφάνισης ανέμου από το (B.3.α) $= 1 + K_1 \times K_2 \times \sin^2 2\theta = 1$

θ : η γωνία πρόσκρουσης του ανέμου όπου την θεωρούμε ίση με μηδέν.

$$c_{f,s0} = c_{f,of} \times \frac{A_f}{A_s}$$

$$A_s = A_f + A_c + A_{c,sup} = A_f$$

A_f : είναι η συνολική προβαλλόμενη περιοχή για διατομές με γωνίες κάθετα στα μέλη.

A_c : η συνολική προβαλλόμενη περιοχή για κυκλικές διατομές κάθετα στα μέλη.

$$c_{f,of} = 1.76 \times C_1 [1 - C_2 \times \varphi + \varphi^2]$$

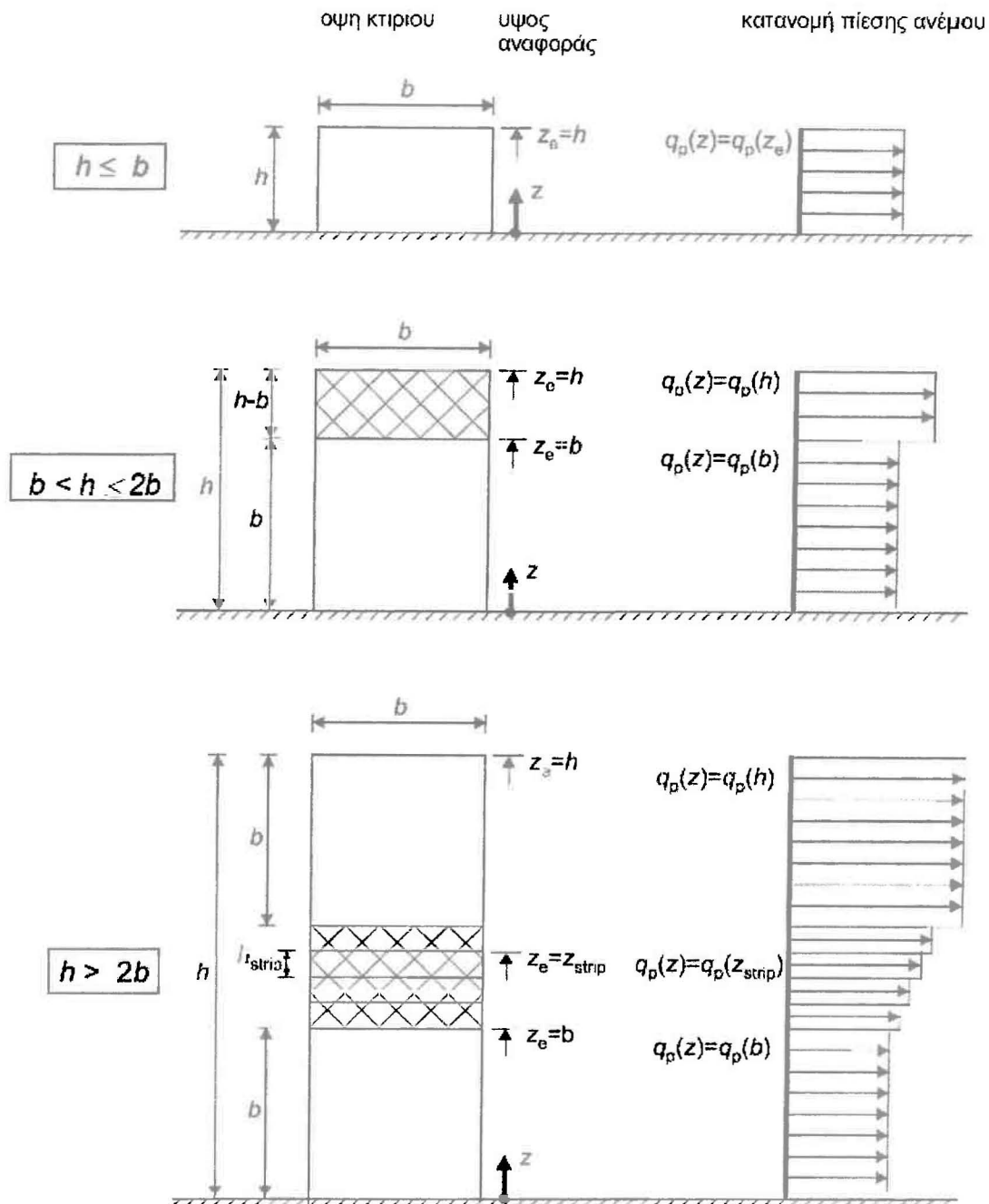
$C_1 = 2,25$: από B.2.2.2 σελ.32

$C_2 = 1,5$: από B.2.2.2 σελ.32

Για την εύρεση του F_w στον τύπο θα τοποθετήσουμε το μεγαλύτερο C_f από τα δύο που θα υπολογίσουμε. Συγκεκριμένα, επιλέγουμε την μεγαλύτερη τιμή για να βρισκόμαστε υπέρ της ασφαλείας καθώς οι τελικές μας φορτίσεις προκύπτουν μεγαλύτερες.

2.3.1.4. Υπολογισμός χαρακτηριστικής πίεσης ταχύτητας αιχμής.

Σύμφωνα με τον «**Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου**» οι πιέσεις του ανέμου πρέπει να ακολουθούν την κατανομή σελ.38 σχήμα 7.4. Στην μεταλλική κατασκευή την οποία μελετάμε ισχύει ότι $h > 2 * b$, επομένως η κατανομή την οποία θα ακολουθήσουμε είναι η τελευταία στο σχήμα. Συγκεκριμένα, χωρίζουμε την κατασκευή μας σε 12 μέρη, εκ των οποίων το πρώτο και το τελευταίο θα έχουν τιμή ίση με $b=6$ m. και τα ενδιάμεσα ύψη ίσα με 2,3 m. Η μεταβλητή z την οποία θα χρειαστούμε στον υπολογισμό του $q_p(z)$ θα την πάρουμε προσθετικά σύμφωνα με τα παραπάνω z .

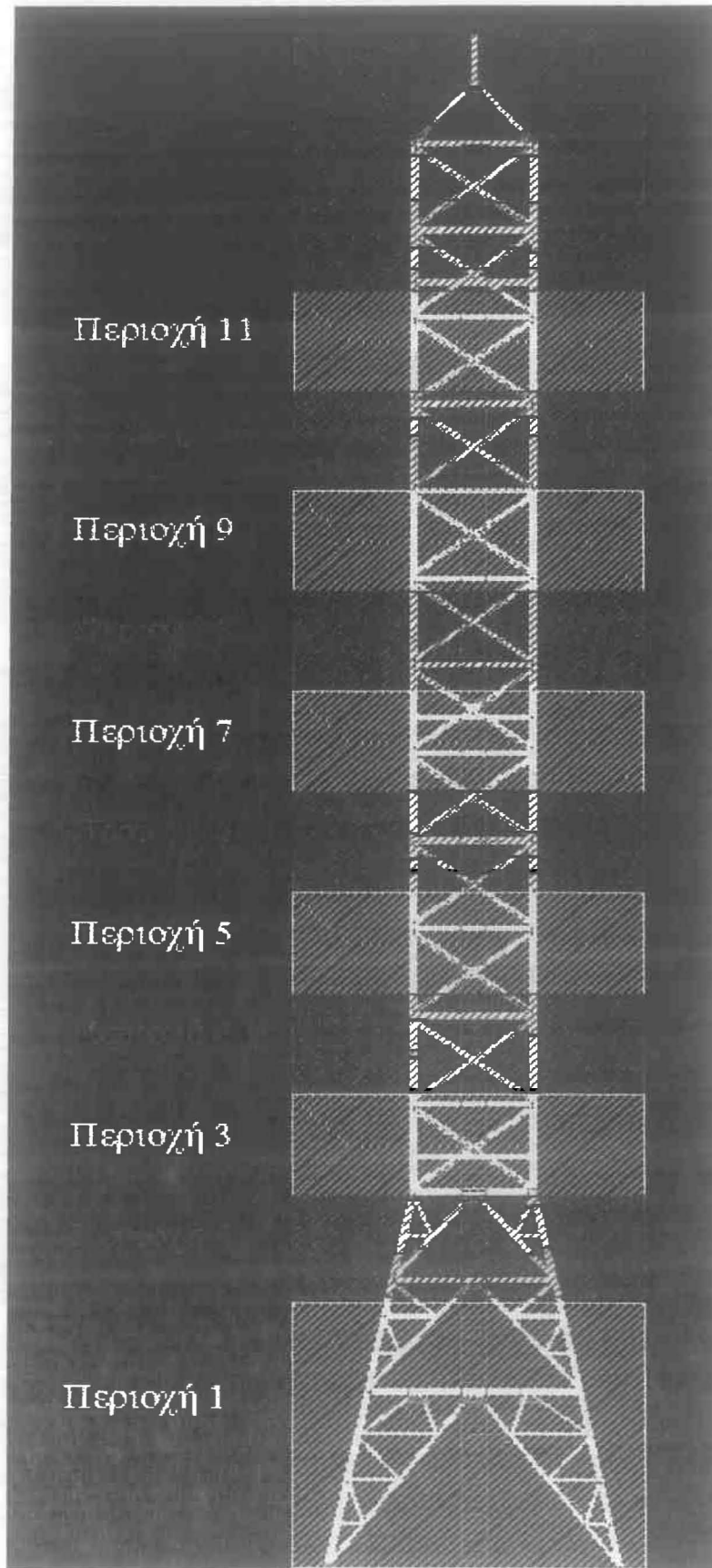


ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η πίεση ανέμου θα θεωρείται ομοιόμορφη σε κάθε οριζόντια λωρίδα.

Σχήμα 4. Κατανομή πιέσεων ανάλογα με το ύψος αναφοράς

Ο συντελεστής εδάφους k_f ο οποίος είναι εξαρτώμενος από το μήκος τραχύτητας z_0 με βάση τον «Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου» σελ.21 και παράγραφο 4.3.2 υπολογίζεται ως εξής:

$$K_r = 0.19 \times \left(\frac{z_0}{z_{o,lt}}\right)^{0.07} = 0,19$$



Σχήμα 5. Προσδιορισμός περιοχών

Περιοχή 1

$Z=6$ m: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{6}{0,05}\right) = 0,91$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 0,91 \times 1 \times 33 = 30,02 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 30,02^2 = 0,5632 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 2

$Z=8,3$ m: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{8,3}{0,05}\right) = 0,98$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 0,98 \times 1 \times 33 = 32,05 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 32,05^2 = 0,6421 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 3

$Z=10,6$ m: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{10,6}{0,05}\right) = 1,02$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1,02 \times 1 \times 33 = 33,59 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 33,59^2 = 0,705 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 4

$Z=12,9$ m: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{12,9}{0,05}\right) = 1,055$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1,055 \times 1 \times 33 = 34,82 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 34,82^2 = 0,7576 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 5

$Z=15.2 \text{ m}$: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{15,2}{0,05}\right) = 1,09$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1,09 \times 1 \times 33 = 35,85 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 35,85^2 = 0,8031 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 6

$Z=17.5 \text{ m}$: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{17,5}{0,05}\right) = 1,11$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1,11 \times 1 \times 33 = 36,73 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 36,73^2 = 0,8432 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 7

$Z=19.8 \text{ m}$: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{19,8}{0,05}\right) = 1,14$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1,14 \times 1 \times 33 = 37,50 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 37,50^2 = 0,8791 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 8

$Z=22.1 \text{ m}$: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{22,1}{0,05}\right) = 1,157$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1,157 \times 1 \times 33 = 38,19 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1,25 \times 38,19^2 = 0,9117 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 9

$Z=24.4 \text{ m}$: ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{24,4}{0,05}\right) = 1.176$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1.176 \times 1 \times 33 = 38.81 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1.25 \times 32.05^2 = 0.9415 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 10

Z=26.7 m : ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{26,7}{0,05}\right) = 1.193$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1.193 \times 1 \times 33 = 39.38 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1.25 \times 39.38^2 = 0.9691 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 11

Z=29 m : ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{29}{0,05}\right) = 1.21$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1.21 \times 1 \times 33 = 39.896 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1.25 \times 39.896^2 = 0.9948 \text{ KN/m}^2$$

Περιοχή 12

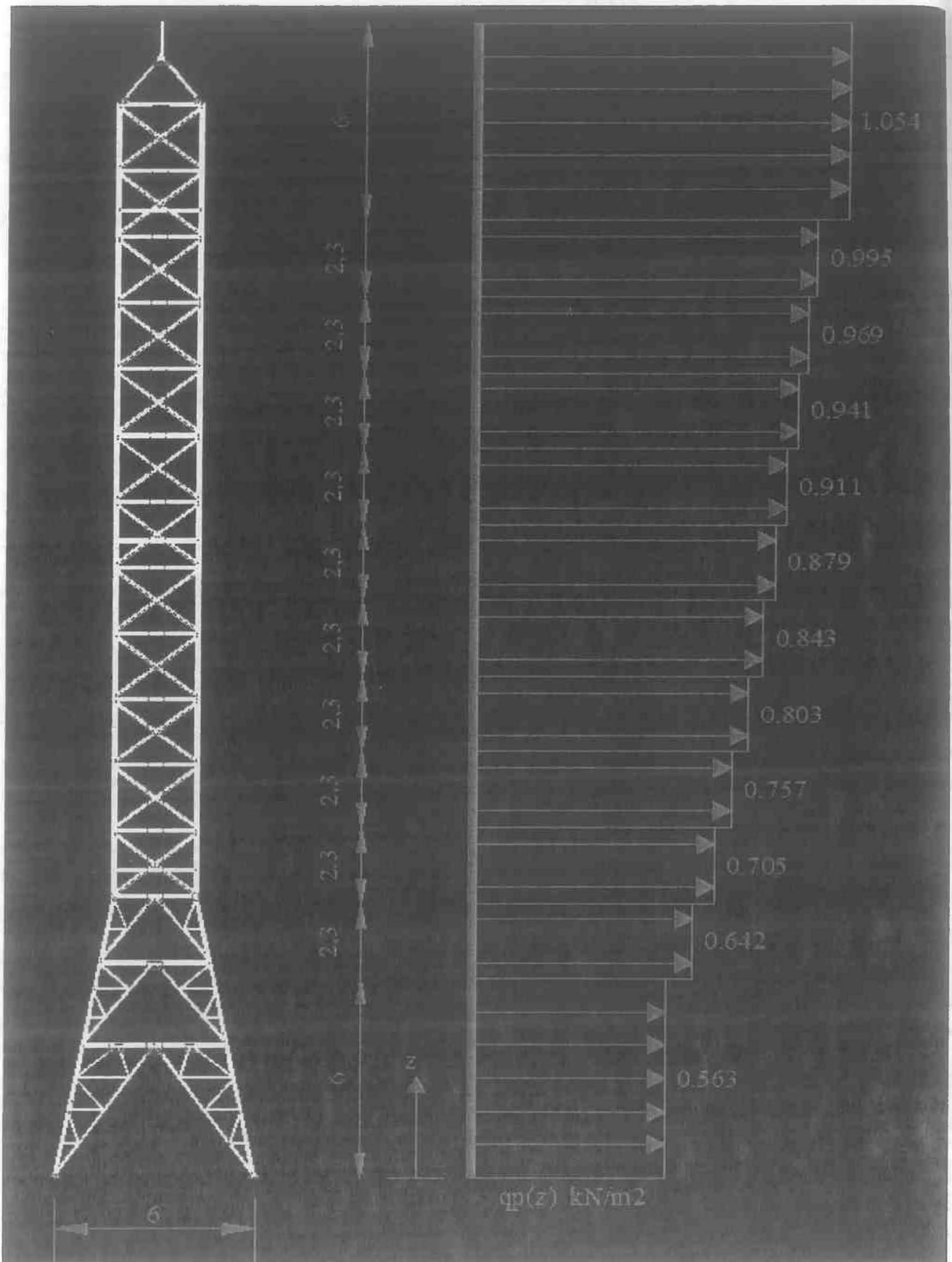
Z=35 m : ύψος λωρίδας

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{35}{0,05}\right) = 1.24$$

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b = 1.24 \times 1 \times 33 = 41.075 \text{ m/s}$$

$$q_p(z) = q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) = 0,5 \times 1.25 \times 41.075^2 = 1.0545 \text{ KN/m}^2$$

Οπότε προκύπτει:



Σχήμα 6. Κατανομή πιέσεων

2.3.1.5 Υπολογισμός συντελεστή πληρότητας (ϕ)

Ως συντελεστής πληρότητας χαρακτηρίζετε σύμφωνα με τον «**Ευρωκώδικα 1-Μέρος 1-4, Δράσεις Ανέμου**» σελ. 85 και παράγραφος 7.11 από τον ακόλουθο τύπο:

$$\phi = \frac{A}{A_r}$$


$A = A_{ref} = \sum b_i * l_i$: είναι η αθροιστική προβαλλόμενη επιφάνεια των μελών κάθετα στον άνεμο

A_c : είναι η επιφάνεια της προβολής του περιγράμματος σε επίπεδο κάθετο προς τον άνεμο = d. L

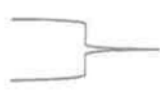
Οπότε όπως φαίνεται από τον παραπάνω τύπο η τελική τιμή του ϕ θα προκύψει από πρόσθεση των επιμέρους εμβαδών των στοιχείων της κατασκευής. Αναλυτικότερα, η μεταλλική κατασκευή την οποία μελετάμε έχει συνολικά 107 μέλη εκ των οποίων έχουμε 7 διαφορετικές διατομές. Παρακάτω ακολουθεί η αναλυτική διαδικασία υπολογισμού των εμβαδών της κάθε διατομής καθώς υπάρχουν μέλη με διαφορετικά μήκη.

Διατομή L45x5

t = 0.045m : πάχος
 μήκος = 1.08μ
 αριθμός μελών: 6




$A_w = 0.048m^2$




$\Sigma A_w = 0,29 m^2$ (1)

t = 0.045m : πάχος
 μήκος = 1.33μ
 αριθμός μελών: 2




$A_w = 0.05985m^2$




$\Sigma A_w = 0,1197 m^2$ (2)

t = 0.045m : πάχος
 μήκος = 1.61μ
 αριθμός μελών: 2

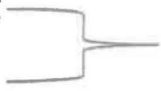


$A_w = 0.07245m^2$

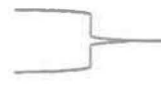


$\Sigma A_w = 0,1449 m^2$ (3)

$t = 0.045\text{m}$: πάχος
 μήκος = 0,92μ
 αριθμός μελών: 2




$A_w = 0.0414\text{m}^2$

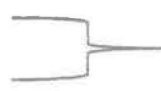


$\Sigma A_w = 0,0828\text{ m}^2$ (4)

$t = 0.045\text{m}$: πάχος
 μήκος = 1.22μ
 αριθμός μελών: 2



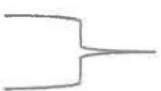
$A_w = 0.0549\text{m}^2$



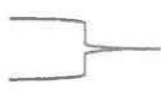
$\Sigma A_w = 0,1098\text{ m}^2$ (5)

Διατομή L70x7

$t = 0.07\text{m}$: πάχος
 μήκος = 3,2μ
 αριθμός μελών: 26

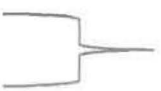


$A_w = 0.224\text{m}^2$

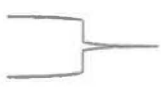


$\Sigma A_w = 5,824\text{ m}^2$ (6)

$t = 0.07\text{m}$: πάχος
 μήκος = 2,6μ
 αριθμός μελών: 2

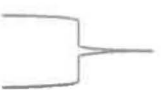


$A_w = 0.182\text{m}^2$

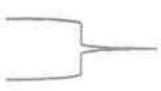


$\Sigma A_w = 0,364\text{ m}^2$ (7)

$t = 0.07\text{m}$: πάχος
 μήκος = 3,3μ
 αριθμός μελών: 2




$A_w = 0.231\text{m}^2$

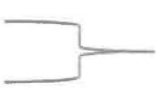


$\Sigma A_w = 0,462\text{ m}^2$ (8)

$t = 0.07\text{m}$: πάχος
 μήκος = 5μ
 αριθμός μελών: 2



$A_w = 0.35\text{m}^2$



$\Sigma A_w = 0,7\text{ m}^2$ (9)

Διατομή L80x8

t = 0.08m : πάχος

μήκος = 2μ

αριθμός μελών: 12



$$A_w = 0.16m^2$$



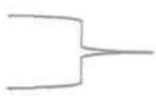
$$\Sigma A_w = 1.92 m^2 \quad (10)$$

Διατομή L100x10

t = 0.1m : πάχος

μήκος = 2μ

αριθμός μελών: 12



$$A_w = 0.2m^2$$

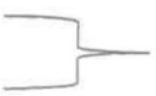


$$\Sigma A_w = 2.4 m^2 \quad (11)$$

t = 0.08m : πάχος

μήκος = 4.15μ

αριθμός μελών: 2



$$A_w = 0.415m^2$$



$$\Sigma A_w = 0.83 m^2 \quad (12)$$

t = 0.08m : πάχος

μήκος = 2.61μ

αριθμός μελών: 2



$$A_w = 0.261m^2$$



$$\Sigma A_w = 0.522 m^2 \quad (13)$$

t = 0.08m : πάχος

μήκος = 2.08μ

αριθμός μελών: 2



$$A_w = 0.208m^2$$



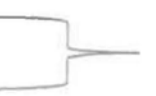
$$\Sigma A_w = 0.416 m^2 \quad (14)$$

Διατομή Υρη80

t = 0.08m : πάχος

μήκος = 2.5μ

αριθμός μελών: 13




$$A_w = 0.2m^2$$

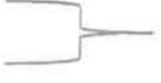


$$\Sigma A_w = 2.6 m^2 \quad (15)$$

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
 μήκος = 3.32μ
 αριθμός μελών: 1

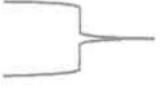


$A_w = 0.2656\text{m}^2$




$\Sigma A_w = 0.2656\text{ m}^2$ (16)

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
 μήκος = 4.35μ
 αριθμός μελών: 1

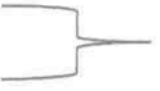


$A_w = 0.348\text{m}^2$

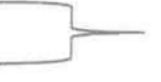


$\Sigma A_w = 0.348\text{ m}^2$ (17)

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
 μήκος = 0.54μ
 αριθμός μελών: 2

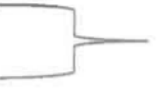


$A_w = 0.0432\text{m}^2$




$\Sigma A_w = 0.0864\text{ m}^2$ (18)

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
 μήκος = 1.08μ
 αριθμός μελών: 2

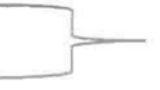


$A_w = 0.0864\text{m}^2$




$\Sigma A_w = 0.1728\text{ m}^2$ (19)

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
 μήκος = 1.62μ
 αριθμός μελών: 2

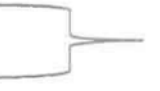


$A_w = 0.1296\text{m}^2$

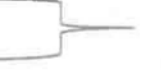


$\Sigma A_w = 0.2592\text{ m}^2$ (20)

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
 μήκος = 0.53μ
 αριθμός μελών: 2

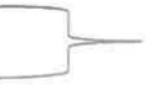


$A_w = 0.0424\text{m}^2$




$\Sigma A_w = 0.0848\text{ m}^2$ (21)

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
 μήκος = 1.05μ
 αριθμός μελών: 1




$A_w = 0.084\text{m}^2$

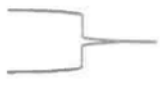


$\Sigma A_w = 0.168\text{ m}^2$ (22)

$t = 0.08\text{m}$: πάχος
μήκος = 0.62m
αριθμός μελών: 2



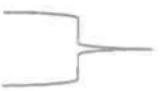
$A_w = 0.0496\text{m}^2$



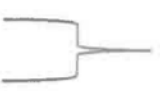
$\Sigma A_w = 0.0992\text{m}^2$ (23)

Διατομή Υψη100

$t = 0.1\text{m}$: πάχος
μήκος = 2.5m
αριθμός μελών: 3



$A_w = 0.25\text{m}^2$



$\Sigma A_w = 0.75\text{m}^2$ (24)

Τελικώς το συνολικό A_{ref} θα προκύψει από την πρόσθεσή των συνολικά εικοσιτεσσέρων ΣA_w . Η τιμή αυτού $A_{ref} = 19.0208\text{m}^2$.

Η τιμή της επιφάνεια της προβολής του περιγράμματος σε επίπεδο κάθετο προς τον άνεμου, A_c είναι ουσιαστικά το εμβαδό που περικλείεται μέσα στην μεταλλική μας κατασκευή και είναι ίσο με $A_c = 98\text{m}^2$.

Επομένως η τελική τιμή του συντελεστή πληρότητας της κατασκευής μας θα είναι

$$\Phi = \frac{A}{A_c} = 0,19409$$

2.3.1.6 Υπολογισμός του συντελεστή δύναμης C_f

Όπως αναφέραμε και αναλυτικότερα πιο πάνω θα πάρουμε σαν τελικό συντελεστή δύναμης της κατασκευής τον μεγαλύτερο αριθμητικά από τους δύο συντελεστές που υπολογίζονται αναλυτικά παρακάτω.

1^{ος} Τρόπος Υπολογισμός του συντελεστή δύναμης C_f

Βάση τον «Ευρωκώδικα 1 - Μερους 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου» και το σχήμα 7.34 με το $\Phi = 0,19409$ βρίσκουμε $C_{f,o} = 2,75$.

Για τον προσδιορισμό του ψ_λ θα χρειαστούμε να υπολογίσουμε την ενεργό λυγηρότητα της κατασκευής μας βάση τον «Ευρωκώδικα 1 - Μερους 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου» από τον πίνακα 7.16. Όπως βλέπουμε το ύψος της κατασκευής μας δεν συμπίπτει μέσα σε κάποια από τα όρια που δίνονται, επομένως θα χρειαστεί γραμμική παρεμβολή. Για $b = 2.5\text{m}$ και $L = 35\text{m}$ το $\lambda = 12.2$.

Η εύρεση της τελικής τιμής του ψ_λ θα γίνει από το σχήμα 7.36 σελ.88 του Ευρωκωδικα 1. συνάρτησης του $\lambda = 12.2$ καθώς και $\Phi = 0,19409$.

$$\psi_\lambda = 0,96$$

Τελικώς

$$c_f = c_{f,o} \times \psi_\lambda = 2,75 \times 0,96 = 2,64$$

2^{ος} Τρόπος Υπολογισμός του συντελεστή δύναμης C_f

Βάση του "Ευρωκώδικα 3-Μέρος 3.1: Πύργοι και ιστοί" Παράρτημά Β.2.2.2 σελ.32.

$$c_{f,o,f} = 1,76 \times C_1 [1 - C_2 \times \varphi + \varphi^2] = 2,9563$$

Ο λόγος $\frac{A_f}{A_s}$ τον θεωρούμε ίσο με την μονάδα καθώς στην μεταλλική κατασκευή την οποία μελετάμε δεν υπάρχουν κυκλικές διατομές. Οπότε σύμφωνα με τον τύπο που δίνεται στον "Ευρωκώδικα 3-Μέρος 3.1: Πύργοι και ιστοί" σελ.30

$$A_s = A_f + A_c + A_{c.sup} = A_f$$

$$c_{f,s,o} = c_{f,o,f} \times \frac{A_f}{A_s} = c_{f,o,f} = 2,9563$$

$$c_f = k_\theta \times c_{f,s,o} = 2,9563$$

Τελικώς επιλέγεται ο συντελεστής δύναμης C_f από τον "Ευρωκώδικα 3-Μέρος 3.1: Πύργοι και ιστοί".

$$c_f = 2,9563$$

2.3.1.7 Υπολογισμός Δυνάμεων ανέμου F_w :

Βάση «Ευρωκώδικα 1 - Μερους 1-4, Γενικές Δράσεις-Δράσεις Ανέμου» σελ.28

$$F_w = c_s c_d \times c_f \times q_p(z) \times A_{ref}$$

Μέχρι στιγμής έχουμε υπολογίσει τον συντελεστή δύναμης $C_f=2.9563$, ο οποίος παραμένει σταθερός σε όλο το ύψος της κατασκευής, καθώς και την κατανομή της πίεσης ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$, η οποία μεταβάλλεται με το ύψος. Επομένως για τον προσδιορισμό των τελικών δυνάμεων ανέμου F_w θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε με το πάχος των διατομών σαν A_{ref} . Τελικώς, το αποτέλεσμα που θα είναι μια κατανομημένη δύναμη κατά μήκος του μέλους μας, προφανώς οι μονάδες μετρήσεις θα είναι KN/m .

Η διαδικασία που ακολουθεί είναι επαναληπτική για τα 12 τμήματα της κατασκευής μας, που καθορίστηκαν κατά την εύρεση της πίεσης ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$.

Τμήμα 1

$$q_p = 0,5632 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L100x10} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.1665 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.1165 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L45x5} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.045\text{m} \implies F_w = 0.07492 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.1332 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 2

$$q_p = 0,6421 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L100x10} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.1898 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.1329 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L45x5} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.045\text{m} \implies F_w = 0.0854 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.1518 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 3

$$q_p = 0,705 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L100x10} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.2084 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.1459 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upr100} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.2084 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upr80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.1667 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 4

$$q_p = 0,7576 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L100x10} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.224 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.1568 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upr80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.1792 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 5

$$q_p = 0,8031 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L100x10} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.2374 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.1662 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upr80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.19 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 6

$$q_p = 0,6421 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L100x10} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.2492 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.1745 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upr80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies \bar{F}_w = 0.1994 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 7

$$q_p = 0,8791 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L100x10} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.2599 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.1819 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn100} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.2599 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.2079 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 8

$$q_p = 0,9117 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.1568 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L80x8} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.1899 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.1792 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 9

$$q_p = 0,9415 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.1662 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L80x8} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.1899 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.1899 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 10

$$q_p = 0,9691 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.1745 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L80x8} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.1994 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.1994 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 11

$$q_p = 0,9948 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.2059 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L80x8} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.2353 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.2353 \text{ KN/m}$$

Τμήμα 12

$$q_p = 1.0545 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Διατομή L70x7} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.07\text{m} \implies F_w = 0.2182 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn100} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.1\text{m} \implies F_w = 0.3117 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή Upn80} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.2494 \text{ KN/m}$$

$$\text{Διατομή L80x8} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.08\text{m} \implies F_w = 0.2494 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κεραία} \implies \text{πάχος διατομής : } t=0.032\text{m} \implies F_w = 0.09975 \text{ KN/m}$$

2.3.2. Υπολογισμός φορτίου χιονιού (Qx)

Ως δράσεις χιονιού χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον «**Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-3, Φορτία χιονιού**» σελ.10 και παράγραφος 1.6.3 και 1.6.4 ορίζονται:

“Η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί της στέγης είναι το γινόμενο της χαρακτηριστικής τιμής φορτίου χιονιού επί του εδάφους(το φορτίο του στρώματος χιονιού επί του εδάφους, που είναι αποτέλεσμα μιας χιονοπτώσεως με εξαιρετικά σπάνια πιθανότητα εμφάνισης.)με τους κατάλληλους συντελεστές”

Οι δράσεις αυτές θεωρούμε ότι ασκούνται κάθετα στα μέλη μας.

Τα φορτία χιονιού σε στέγες που χαρακτηρίζονται σαν τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού θα προσδιορίζονται με τον ακόλουθο τύπο:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_{Ad}$$

Όπου:

μ_i : ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού (βλ. 5.3 και παράρτημα Β)

s_{Ad} : η τιμή σχεδιασμού του εξαιρετικού φορτίου χιονιού επί του εδάφους για μια δεδομένη τοποθεσία

$C_e=0.8$: ο συντελεστής εκθέσεως. Σύμφωνα με τον πίνακα στην σελ.20 πιν.5.1.

$C_t=1$: ο θερμικός συντελεστής. Σύμφωνα με την παρ.5.2 και την σημείωση (8).

2.3.2.1 Υπολογισμός συντελεστή σχήματος μ_i

Προφανώς στην προκειμένη μεταλλική κατασκευή την οποία μελετάμε, όλα τα μέλη της είναι χωρίς κλίση, δηλαδή μπορούμε να την θεωρήσουμε σαν μονοκλινές στέγες. Επομένως, η τιμή του συντελεστή σχήματος μ_i θα προκύψει από την σελ.21 και το σχήμα 5.1.

$$\mu_i = 0.8$$

2.3.2.2 Υπολογισμός εξαιρετικού φορτίου χιονιού επί του εδάφους

Σύμφωνα με την παράγραφο 4.3 σελ.17 το φορτίο εξαιρετικού χιονιού θα προκύψει από τον παρακάτω τύπο:

$$s_{Ad} = C_{esl} \times s_k$$

$C_{esl}=2$: ο συντελεστής εξαιρετικών φορτίων χιονιού. Σύμφωνα με το ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ του «Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-3, Φορτία χιονιού» σελ.5 .

S_k : η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί του εδάφους για τη δεδομένη τοποθεσία.

2.3.2.3 Υπολογισμός φορτίου χιονιού επί του εδάφους για τη δεδομένη τοποθεσία S_k .

Σύμφωνα με το ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ του «Ευρωκώδικα 1 - Μέρος 1-3, Φορτία χιονιού» σελ.4 το φορτίο χιονιού επί του εδάφους δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$s_k = s_{k,o} \times \left[1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right] = 1.7809 \text{ KN/m}^2$$

$s_{k,o}=1.7 \text{ KN/m}^2$. είναι το χαρακτηριστικό φορτίου χιονιού σε έδαφος που βρίσκεται στην στάθμη της θάλασσας. Σύμφωνα με τον πίνακα 1 σελ.4.

$A=200$: είναι το υψόμετρο της τοποθεσίας πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (σε m).

$$\rightarrow s_{Ad} = c_{esl} \times s_k = 2 * 1.7809 = 3,5617 \text{ KN/m}^2$$

$$\rightarrow s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_{Ad} = 0.8 * 0.8 * 1 * 3,5617 = 2.2795 \text{ KN/m}^2$$

Το φορτίου του χιονιού το οποίο έχουμε υπολογίσει παραπάνω το θεωρούμε σαν κατανεμημένο στο εμβαδό του κάθε στοιχείου. Επομένως για να το προσομοιάσουμε στο πρόγραμμα NIDA_Pro_7 το οποίο χρησιμοποιούμε, θα πολλαπλασιάσουμε το φορτίο με μια από τις δύο διαστάσεις μας.

3. Συνδυασμοί των φορτίσεων

Για την μελέτη της συγκεκριμένης μεταλλικής κατασκευής από το πρόγραμμα NIDA_Pro_7, οι συνδυασμοί των διαφόρων μεταβλητών φορτίσεων μας θα γίνουν σύμφωνα με την οριακή κατάσταση αστοχίας. Επομένως, οι συνδυασμοί μας θα είναι βάση του «Ευρωκώδικα 0 – Βάσεις Σχεδιασμού Κατασκευής» σελ.46, 6.4.3.2 και της σχέσης (6.9α).

$$E_d = \gamma_g \times G_k + \gamma_Q \times Q_k + \gamma_w \times \psi_w \times W_k$$

Και

$$E_d = \gamma_g \times G_k + \gamma_w \times W_k + \gamma_Q \times \psi_Q \times Q_k$$

Προφανώς οι φορτίσεις που θα ασκηθούν στην μεταλλική κατασκευή χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες και σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους. Συγκεκριμένα, θα έχουμε τα σταθερά φορτία G_k (σύμφωνα με την παράγραφο 2.1 αυτής της εργασίας), τα κινητά φορτία Q_k που θα προκύπτουν από πρόσθεσή των κινητών (σύμφωνα με την παράγραφο 2.2 αυτής της εργασίας) και του χιονιού (σύμφωνα με την παράγραφο 2.3.2 αυτής της εργασίας), και τέλος τα κλιματικά φορτία W_k (σύμφωνα με την παράγραφο 2.3.1 αυτής της εργασίας).

Όπως βλέπουμε οι παραπάνω τύποι συνδυασμού λαμβάνουν μεν όλες τις φορτίσεις υπόψη, όμως λόγω των διαφόρων συντελεστών που θα πολλαπλασιάζονται κάθε φορά με τις φορτίσεις μας, θα έχουν διαφορετική βαρύτητα. Γενικά, θέλουμε να θεωρούμε διαφορετικές δυσμενέστερες φορτίσεις για κάθε ένα από τους δύο συνδυασμούς. Συγκεκριμένα, στον α) θα έχουμε σαν δυσμενέστερη φόρτιση τα κινητά φορτία και στον β) τον άνεμο. Το κατά πόσο η μία η ή άλλη θα είναι η δυσμενής μας φόρτιση καθορίζεται από τους συντελεστές φόρτισης.

3.1 Εύρεση συντελεστών φόρτισης.

Στους παραπάνω τύπους έχουμε τους μερικούς συντελεστές γ_g, γ_Q και γ_w καθώς και τους μειωτικούς συντελεστές ψ_Q και ψ_w .

Οι μερικοί συντελεστές γ_g, γ_Q και γ_w θα προσδιορισθούν βάση του "Ευρωκωδικά 3-Μέρος 3.1 : Πύργοι και Κεραίες" σελ.26, παράρτημα Α και πίνακας Α.2. Σύμφωνα με τον πίνακα Α.1 η μεταλλική κατασκευή η οποία μελετάμε ανήκει στην τάξη 3, καθώς μελετάμε Πύργο Τηλεπικοινωνιών. Επομένως, οι συντελεστές οι οποίοι προκύπτουν θα είναι:

$$\gamma_Q = 1.6 \qquad \gamma_g = 1.2 \qquad \gamma_w = 1.6$$

Οι μειωτικοί συντελεστές ψ_Q και ψ_w θα προκύψουν από το Εθνικό Προσάρτημα του "Ευρωκώδικα 0-Βάσεις Σχεδιασμού" και τον πίνακα Α1.1.

$$\psi_w = 0.6 \qquad \psi_Q = 0.7$$

$$E_d = 1,2 \times G_k + 1,6 \times Q_k + 0,96 \times W_k$$

Και

$$E_d = 1,2 \times G_k + 1,6 \times W_k \times + 1,12 \times Q_k$$

Τέλος, σαν τρίτο και τελευταίο συνδυασμό θα πάρουμε μια τροποποίηση των παραπάνω τύπων σύμφωνα με τον "Ευρωκώδικα 0-Βάσεις Σχεδιασμού" Παράρτημα Α .
Συνεπώς, πολλαπλασιάζουμε όλες τις φορτίσεις μας με τον συντελεστή των μόνιμων φορτίων.

$$E_d = 1,2(G_k + W_k \times + Q_k)$$

4. Εισαγωγή στο NIDA

Το πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το NIDA_Pro_7. Η μέθοδος της ανάλυσης που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα βασίζεται στις μετακινήσεις που εξαρτώνται από την μέθοδο της ακαμψίας.

Το πρόγραμμα αυτό διαθέτει 3 διαφορετικά περιβάλλοντα τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- **NAF-NIDA.EXE:** Το περιβάλλον όπου πραγματοποιείται ο σχεδιασμός του φορέα (κόμβοι, μέλη, διατομές, υλικά, φορτία και συνδυασμοί φορτίσεων)
- **NSD.EXE:** Το πρόγραμμα που κάνει την ανάλυση
- **PostViewer.EXE:** Το περιβάλλον όπου εξάγει τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους γίνεται μέσα σε αυτό το πρόγραμμα.

Η διαδικασία που επιλέχθηκε με σκοπό να επιλυθεί ο φορέας μας είναι η “second-order analysis”. Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία όταν ένα μέλος φτάνει στην οριακή αντοχή του τότε σε αυτό το μέλος εισέρχεται μια πλαστική άρθρωση και η ανάλυση συνεχίζεται κανονικά με ανακατανομή των δυνάμεων.

4.1. Η διαδικασία της ανάλυσης, second order analysis plastic analysis

Γενικότερα, στην πλαστική ανάλυση όταν ένα μέλος φτάσει την αντοχή του σχεδιασμού η ανάλυση συνεχίζεται και εισάγεται μία πλαστική άρθρωση στο μέλος, μέχρις ότου ο φορέας να καταρρεύσει. Ο φορέας καταρρέει με το φορτίο αστοχίας το οποίο πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο του φορτίου σχεδιασμού για όλες τους συνδυασμούς φόρτισης. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία.

A) Υπολογίζει τις μετακινήσεις και τις στροφές όλων των κόμβων καθώς και των ενώσεων όλων των μελών, επιτρέποντας τις αλλαγές στην γεωμετρία του φορέα με τις επιρροές των P-δ και P-Δ.

B) Υπολογίζει τα διαγράμματα των ροπών κάμψης σε όλες τις διευθύνσεις του μέλους, την ροπή στρέψης καθώς και την αξονική δύναμη, επιτρέποντας τα φαινόμενα 2^{ης} τάξης λόγω αξονικής δύναμης.

Γ) Ο σχεδιασμός του φορέα σύμφωνα με τον έλεγχο του συντελεστή αντοχής για το οποίο δεν χρειάζεται να υπολογιστεί το μήκος λυγισμού.

Δ) Κάνει έλεγχο των μελών καθώς και τον αντίστοιχο έλεγχο ευστάθειας όλης της κατασκευής.

Ε) Ο σχεδιασμός του φορέα γίνεται με βάση όλο το σύστημα σε αντίθεση με την μέθοδο που ήταν βασισμένη στο κάθε μέλος.

Έλεγχος του συντελεστή αντοχής

Ο συντελεστής αντοχής είναι αυτός που ουσιαστικά καθορίζει στο πρόγραμμα, ποιά και πότε είναι τα μέλη του φορέα μας τα οποία θα υπερβούν την αντοχή τους. Η παρακάτω ανίσωση απαιτείται για τον έλεγχο της αντοχής του μέλους

$$\frac{P}{A_g P_\psi} = \frac{M_\psi + P(\delta_\psi + \Delta_\psi)}{M_{r\psi}} + \frac{M_z + P(\delta_z + \Delta_z)}{M_{rz}} = \varphi \leq 1$$

P_ψ : αντοχή διαρροής.

P : αξονική δύναμη μέλους.

A_g : εμβαδό διατομής.

M_ψ, M_z : εξωτερικές ροπές στους αντίστοιχους άξονες.

$M_{r\psi}, M_{rz}$: ροπές αντοχής στους αντίστοιχους άξονες.

$P(\delta_\psi + \Delta_\psi), P(\delta_z + \Delta_z)$: ροπές λόγω αλλαγής της ακαμψίας του φορέα του μέλους υπό τα φορτία και λόγω των επιπτώσεων παραμόρφωσης.

Όταν η ανίσωση αυτή δεν ικανοποιείται τότε η δράση είναι μεγαλύτερη από την αντοχή μας και στο πρόγραμμα θα εμφανίζεται κόκκινο ραβδάκι στα τελικά μας αποτελέσματα.

Ο υπολογισμός από το πρόγραμμα των τάσεων, δυνάμεων μελών και ροπών γίνεται σε κάθε διατομή σε όλο το μήκος του σκελετού της κατασκευής (όχι μόνο στα δύο άκρα γιατί μπορεί να χάσει τις κρίσιμες τιμές) επιτρέποντας τα φαινόμενα λυγισμού στα μέλη.

Ειδικά χαρακτηριστικά της ανάλυσης 2^{ης} τάξης

Τα παρακάτω μη γραμμικά φαινόμενα τα οποία απαιτούνται από κάποιους κώδικες, έχουν συμπεριληφθεί για τον υπολογισμό των δυνάμεων όλων των μελών:

A) Την επιρροή της λυγηρότητας των μελών (L_e/r) για την αντοχή της αξονικής δύναμης στις κολώνες και στα υποστυλώματα.

B) Η μείωση της δυσκαμψίας λόγω παρουσίας της αξονικής δύναμης.

Γ) Ο λόγος του μήκους λυγισμού (L_e/r) ή ο K-factor υπολογίζεται και χρησιμοποιείται αυτόματα, και δεν χρειάζεται να υπολογίζεται σε κάθε στάδιο.

Δ) Φαινόμενα όπως λυγισμός και επιρροές P-Δ συμπεριλαμβάνονται στην επαναληπτική-αυξητική διαδικασία.

Ε) Η αντοχή σχεδιασμού και η αντοχή έναντι λυγισμού της κατασκευής υπολογίζεται μέσω της αύξησης της φόρτισης μέχρις ότου το μέλος να αστοχήσει η διατομή.

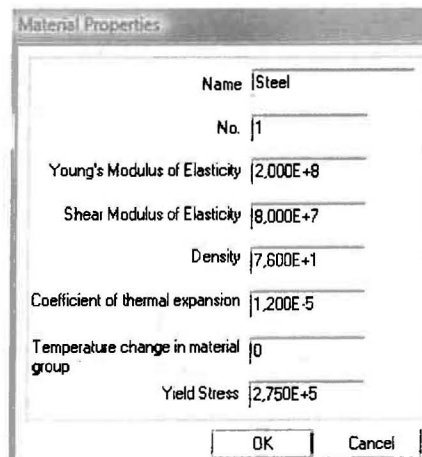
4.2. Σχεδιασμός του φορέα στο NIDA

Στο περιβάλλον του NIDA μπορείς να σχεδιάσεις τον φορέα με την παρακάτω λογική. Σχεδιάζω όλους τους κόμβους από την υπαρκτή κατασκευή και στην συνέχεια ενώνω τους κόμβους με βάση το σχέδιο του φορέα. Επίσης μπορείς να σχεδιάσεις τον φορέα στο AutoCAD και μετά να τον εισάγεις στο NIDA. Η διαδικασία που επιλέξαμε είναι απ' ευθείας σχεδιασμός στο NIDA.

4.3. Καθορισμός Υλικού

Η εντολή για τον καθορισμό του υλικού είναι η ακόλουθη:

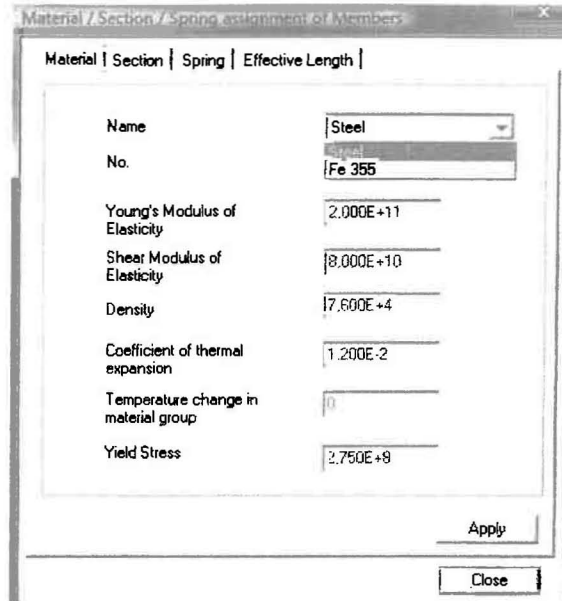
Construct → New Material



- Name : Το όνομα του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί
- No. : Ο ονοματικός αριθμός για κάθε υλικό στην περίπτωση που υπάρχουν παραπάνω από ένα υλικό.
- Young Modulus of Elasticity : Το μέτρο Ελαστικότητας του υλικού μας
- Shear Modulus of Elasticity : Το μέτρο Διάτμησης
- Density: πυκνότητα του υλικού
- Coefficient of thermal expansion: Ο συντελεστής θερμικής διαστολής
- Yield Stress: Τάση Διαρροής

Στην συνέχεια επιλέγω τα ομαδοποιημένα μέλη που θα έχουν ίδια διατομή, στην δική μας περίπτωση έχουμε ένα υλικό για όλο τον φορέα. Έπειτα, διαλέγω από το μενού:

Gr-Assign → Material



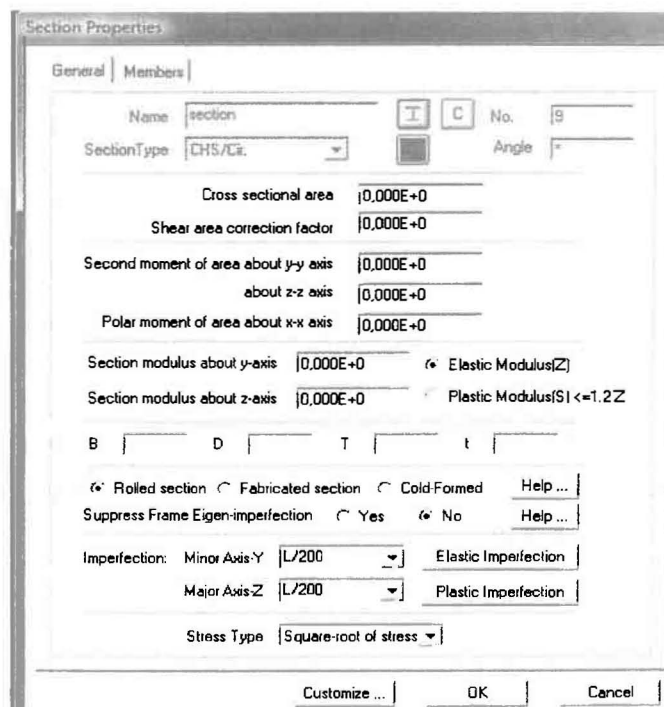
Διαλέγω το υλικό και το εφαρμόζω στα επιλεγμένα μέλη πατώντας το [Apply] και στην συνέχεια κλείνω [Close].

Εμείς επιλέξαμε το υλικό όπως προβάλλεται στην πρώτη εικόνα.

4.4. Καθορισμός των διατομών

Η εισαγωγή των διατομών που θα χρησιμοποιηθούν γίνεται με την παρακάτω διαδικασία. Στο μενού επιλέγω:

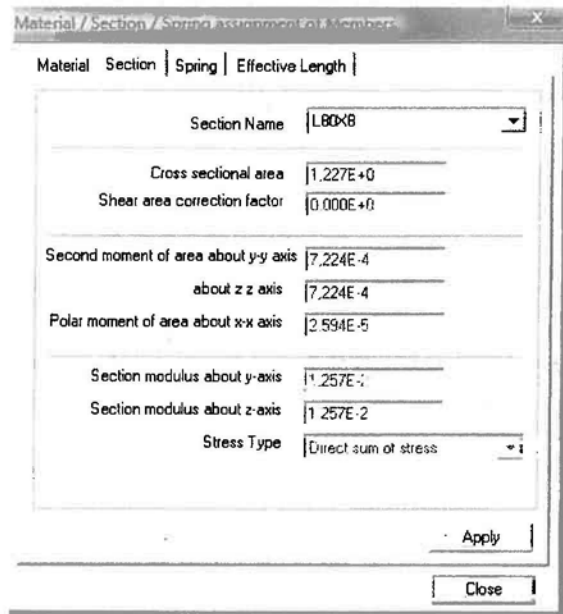
Construct → New Section



Οι πλειονότητα των διατομών που χρησιμοποιούνται ευρέως βρίσκονται στο κουμπί **I** και από εκεί μπορώ να επιλέξω τις διατομές που θα χρησιμοποιήσω. Μετά αλλάζω το χρώμα για να μπορούν να παρατηρηθούν καλύτερα και πατάω [OK]. Επαναλαμβάνω την διαδικασία μέχρι να εισάγω όλες τις διατομές που θα χρησιμοποιήσω.

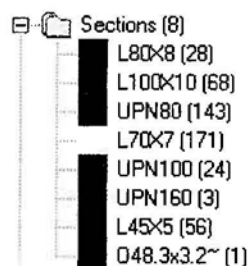
Στην συνέχεια ομαδοποιώ όλες τα μέλη που θα έχουν τις ίδιες διατομές και :

Gr-Assign → Section



Επιλέγω την διατομή από το [Section Name] και εφαρμόζω με το [Apply] και κλείνω με το [Close]. Επαναλαμβάνω την διαδικασία μέχρι να ορίσω όλα τα μέλη με διατομές.

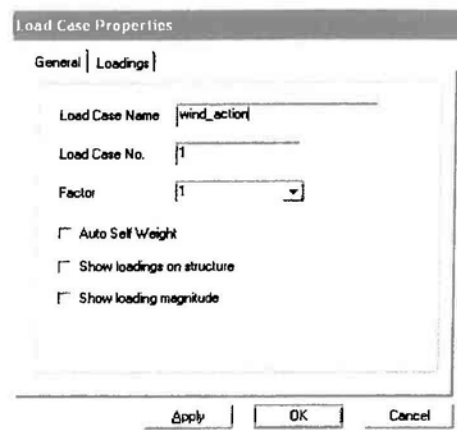
Ενδεικτικά για τον φορέα επιλέχθηκαν:



4.5. Καθορισμός φορτίων

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχουμε ορίσει τα αντίστοιχα φορτία και τώρα θα ξεκινήσουμε την διαδικασία εισαγωγής τους στο NIDA. Αρχικά πρέπει να προσδιορίσουμε τα είδη των φορτίων με την παρακάτω διαδικασία:

Construct → New Load Case



- Load Case Name : το όνομα του φορτίου που ορίζουμε
- Load Case No. : Η αρίθμηση του φορτίου
- Factor: Συντελεστής του φορτίου

Προσδιορίσαμε 6 διαφορετικά είδη φορτίων:

- 1) Φορτίο των εργατών
- 2) Φορτίο των πατωμάτων εργασίας
- 3) Φορτίο μηχανολογικού εξοπλισμού
- 4) Φορτίο ανέμου
- 5) Φορτίο χιονιού
- 6) Ίδιο βάρος της κατασκευής (αρκεί να επιλέξω το Auto Self Weight, και να προσδιορίσω την φορά του ίδιου βάρους)

Στο παρακάτω στάδιο ακολουθεί η εφαρμογή των φορτίων όπως αυτά έχουν υπολογιστεί. Όλα τα φορτία μας είναι κατανεμημένα φορτία. Αναλυτικότερα, τα φορτία του ανέμου εφαρμόζονται σε μία όψη του δικτυωτού ιστού, τα φορτία του χιονιού σε μεγάλες επιφάνειες όπως είναι τα πατώματα εργασίας και για τα πατώματα εργασίας αλλά και τον μηχανολογικό εξοπλισμό κάναμε μεταφορά του ίδιου βάρους στα εξωτερικά μέλη των πατωμάτων εργασίας, χάριν απλότητας. Η εισαγωγή των φορτίων παρουσιάζεται παρακάτω:

Construct → Group-Add Loadings

- Load Case Name: Επιλογή του φορτίου που βάζουμε π.χ. φορτίο ανέμου
- Load Type : Τι είδους φόρτιση έχουμε (επικόμβια, θερμική, συγκεντρωμένη κτλ.) στην δική μας περίπτωση τα φορτία είναι Trapezoidal Load
- Load No. :Ο χαρακτηριστικός αριθμός της φόρτισης που εισάγω

Για τα Trapezoidal Load:

- Member No. : ο αριθμός του μέλους που θα εφαρμοστεί το φορτίο
- Magnitude of Load at near end : Η τιμή στον κόμβο i του μέλους
- Magnitude of Load at far end : Η τιμή στον κόμβο j του μέλους
- Distance from Left: Για να ορίσεις σε πόσο μήκος θέλεις την ύπαρξη του κατανεμημένου φορτίου. Τα δικά μας φορτία εισάχθηκαν σε όλο το μήκος των μελών με την επιλογή του [Whole Length]
- Τέλος επιλέγω το σύστημα συντεταγμένων (τοπικό ή γενικό) που θα εισαχθούν τα φορτία καθώς και την διεύθυνση και φορά των φορτίων.

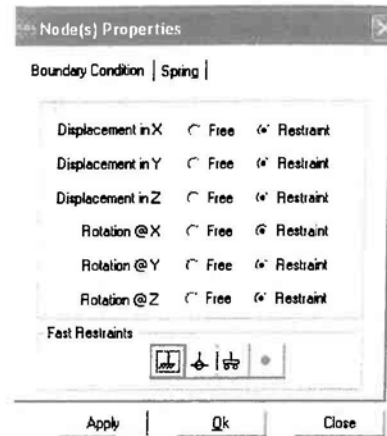
Η εισαγωγή του κάθε φορτίου έγινε με βάση το κεφάλαιο 2.

4.6. Εισαγωγή στηρίξεων

Ο χαλύβδινος ιστός θεωρούμε ότι σαν στηρίξεις κάτω έχει πακτώσεις. Εισαγωγή των πακτώσεων:

Επιλογή των κόμβων στους οποίους θεωρούμε ότι βρίσκονται οι στηρίξεις. Στον φορέα μας είναι οι 4 κάτω κόμβοι (1, 27, 150, 479). Από το μενού:

Gr-Assign → Boundary conditions

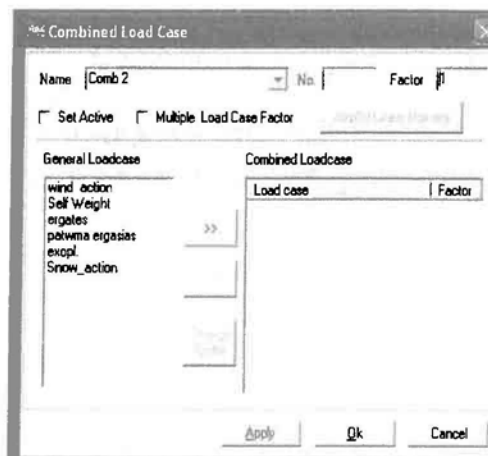


Για να εισάγω την πάκτωση στους επιλεγμένους κόμβους, δεσμεύω τις 3 στροφές και τις 3 μετακινήσεις των κόμβων.

4.7. Εισαγωγή συνδυασμών αστοχίας

Εισάγω τους 3 συνδυασμούς αστοχίας όπως αυτοί υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 3, σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.

Construct → Add combined Load Case



- Name : Το όνομα του συνδυασμού (π.χ. 1,2G+1.6W+1.12Q)
- Περνάμε τα φορτία που θέλουμε από τα General LoadCase στο Combined LoadCase.
- Τέλος, για κάθε ένα LoadCase εισάγω τον συντελεστή που έχει ο συνδυασμός. (π.χ. ο άνεμος με Factor:1.6)

4.8. Καθορισμός παραμέτρων της ανάλυσης

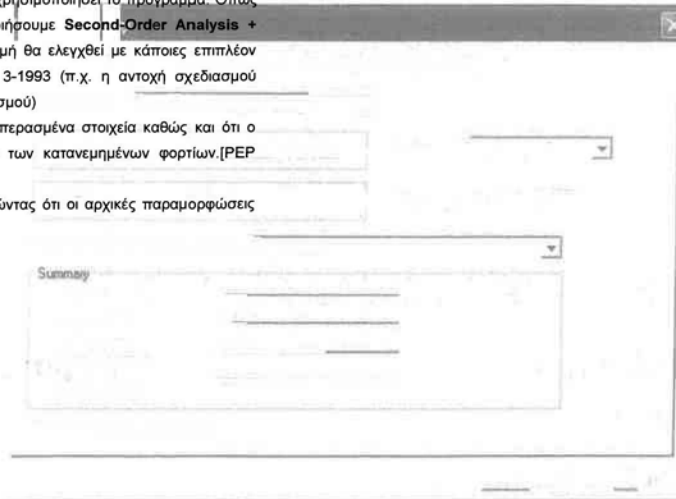
Το επόμενο βήμα είναι να εισάγουμε όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για την ανάλυση δεύτερης τάξης. Από το μενού:

Analyse → Analyse and Design Parameters Setting

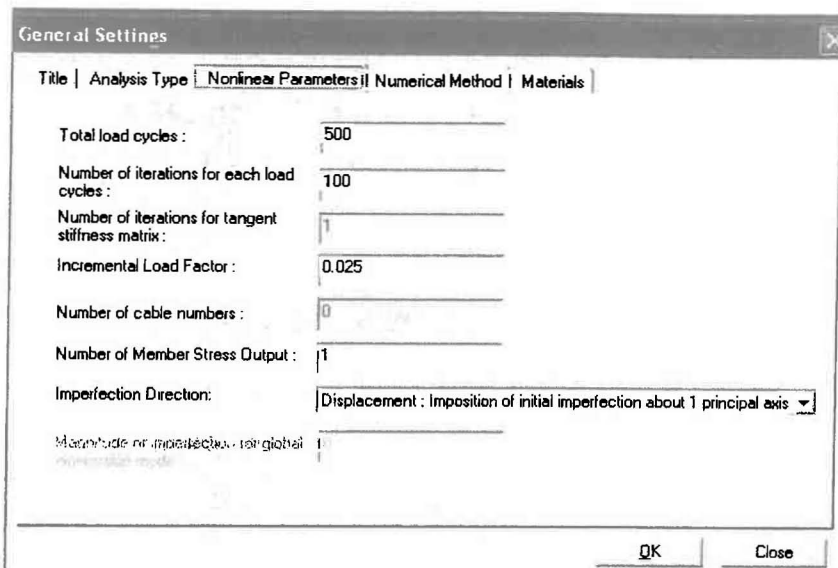
Analysis Type:



- Analysis type: Ο τρόπος ανάλυσης που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω θα χρησιμοποιήσουμε **Second-Order Analysis + Design**. Το Design σημαίνει ότι κάθε διατομή θα ελεγχθεί με κάποιες επιπλέον απαιτήσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3-1993 (π.χ. η αντοχή σχεδιασμού μειώνεται για κάποια μέλη με φαινόμενα λυγισμού)
- Ορίσαμε το πρόγραμμα να δουλέψει με πεπερασμένα στοιχεία καθώς και ότι ο φορέας μας λειτουργεί σαν πλαίσιο λόγω των κατανεμημένων φορτίων.[PEP Elements & Frame]
- Το Default $\delta*L/1000$ το εισάγαμε ένα θεωρώντας ότι οι αρχικές παραμορφώσεις είναι οι ελάχιστες δυνατές.



Nonlinear Parameters

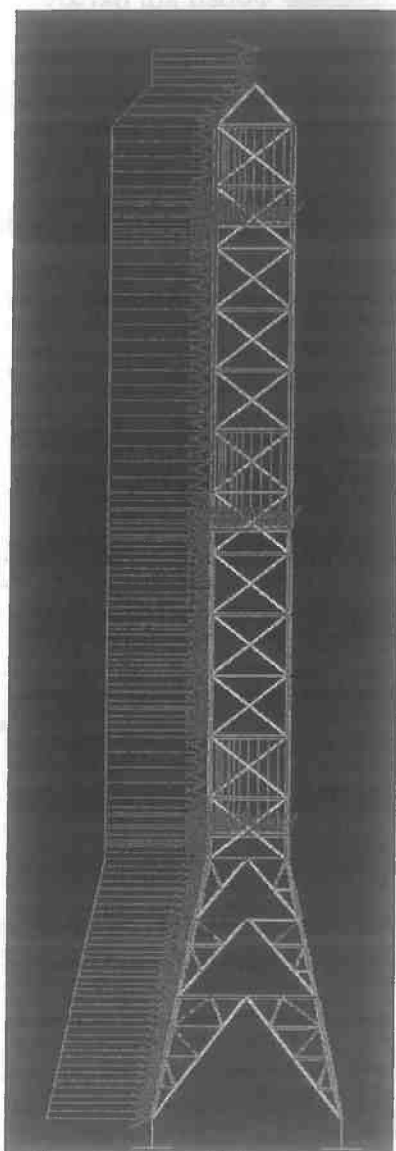


- Total load cycles: ο αριθμός των κύκλων φόρτισης
- Number of iterations for each load cycles: Ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων του κάθε κύκλου φόρτισης
- Number of iterations for tangent stiffness matrix: Ο αριθμός των επαναλήψεων του μητρώου δυσκαμψίας μέχρι να αναδιαταχθεί. Λόγω της χρήσης της μεθόδου Newton-Raphson (Constant Load) πρέπει να το εισάγουμε μονάδα.
- Incremental Load Factor: Η αύξηση του φορτίου σε κάθε κύκλο φόρτισης. Εμείς χρησιμοποιήσαμε το 0,025 δηλαδή σε κάθε κύκλο αυτό θεωρούσε φορτίο :
 $P_i = i \cdot 0,025 \cdot P$ όπου i =αριθμός βήματος, P =το ασκούμενο φορτίο
- Number of cable numbers: ο αριθμός καλωδίων
- Number of Member Stress Output: Εμφάνιση στοιχείων μετά την ανάλυση των στοιχείων με την μέγιστη καταπόνηση
- Imperfection Direction: Η επιλογή αυτή σου δίνει την δυνατότητα να επιλέξεις πως θα εισάγονται οι ατέλειες από τον ένα κύκλο φόρτισης στον άλλον.

Numerical Method

Η ανάλυση έγινε με χρήση της μεθόδου Newton-Raphson (constant load), ύστερα από προτροπή του κ. S.L. Chan, δημιουργό του προγράμματος, για καλύτερα αποτελέσματα.

Τελικά φορέας στο ΝΙΔΑ μετά την εφαρμογή όλων των παραπάνω παραγραφών έχει την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 7. Η τελική μορφή του φορέα στο περιβάλλον ΝΙΔΑ

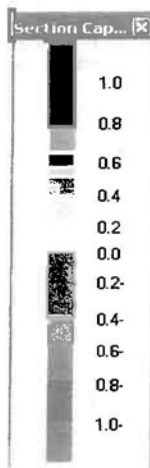
5. Τελικά Αποτελέσματα

Έχει προηγηθεί η επίλυση του φορέα και ακολουθεί η παρουσίαση της παραμορφωμένης κατασκευής σε χαρακτηριστικά βήματα για κάθε ένα συνδυασμό. Αναλυτικότερα, τα βήματα είναι για κάθε συνδυασμό:

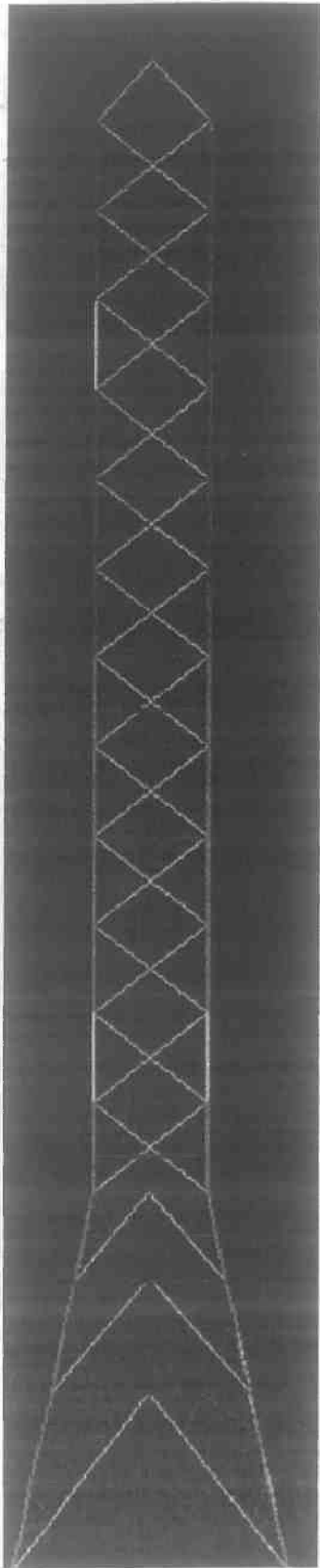
- Ο αρχικός - απαραμόρφωτος φορέας
- Ένα βήμα πριν την πρώτη πλαστική άρθρωση
- Το βήμα της πρώτης πλαστικής άρθρωσης
- Χαρακτηριστικά στάδια ανά 20 βήματα
- Τα τελευταία βήματα με τις έντονες παραμορφώσεις
- Το στάδιο κατάρρευσης

5.1. Επισυναπτόμενα σχέδια του φορέα σε διάφορα βήματα

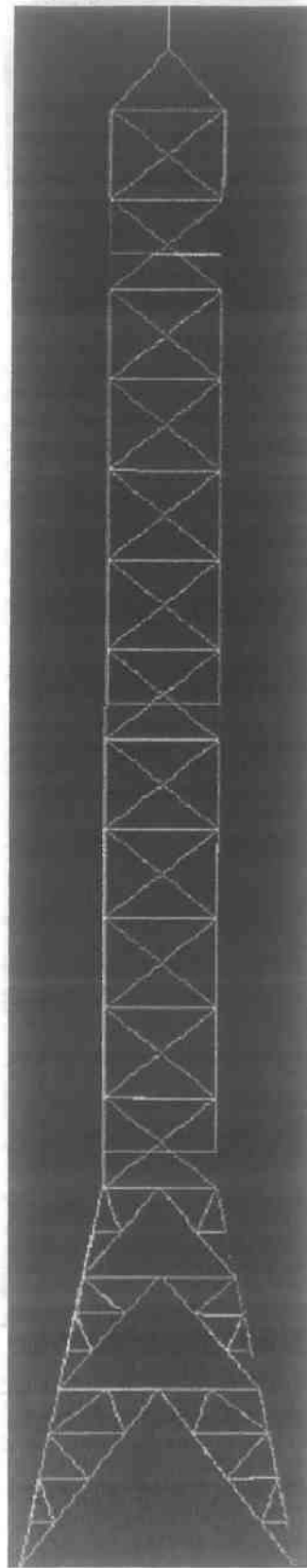
Διευκρινήσεις, στα παρακάτω σχέδια υπάρχει χρωματική διαφοροποίηση των μελών ανάλογα με τον συντελεστή αντοχής τους.



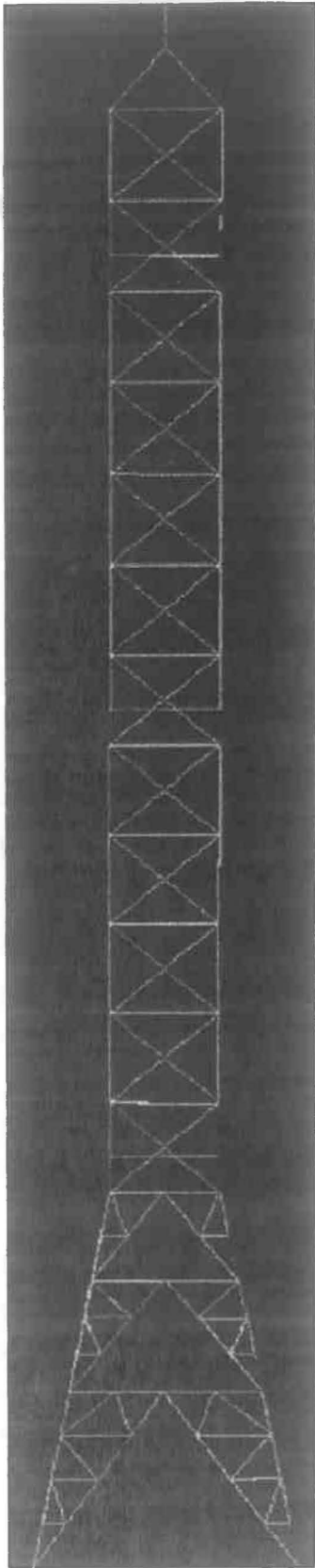
Δηλαδή όταν τα μέλη πλησιάζουν το κόκκινο χρώμα τείνουν στην οριακή τους αντοχή. Επίσης στις αρχικές καταστάσεις των συνδυασμών χρησιμοποιήθηκαν τα σχέδια με τα χρώματα του φορέα.



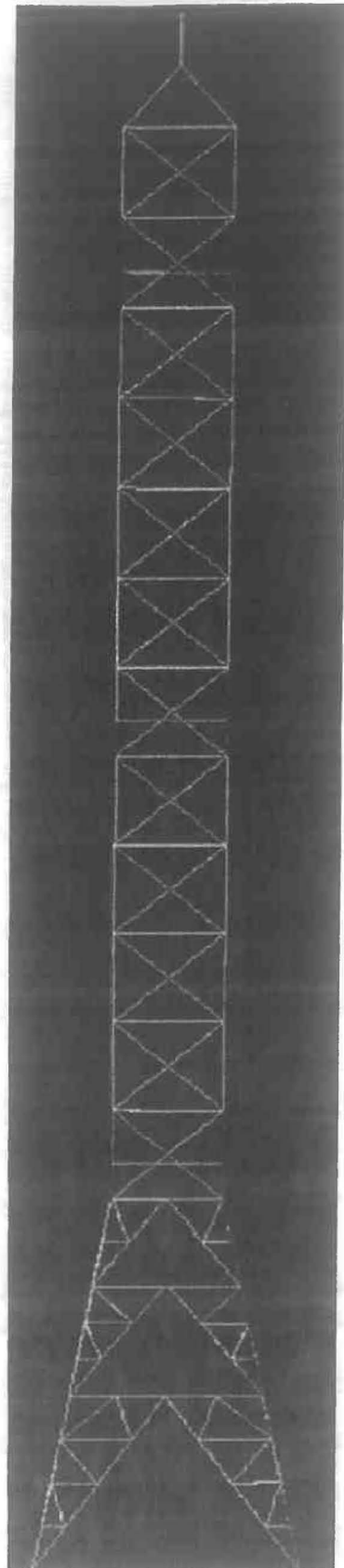
Χαλυβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	0 (αρχική κατάσταση)
No.	1



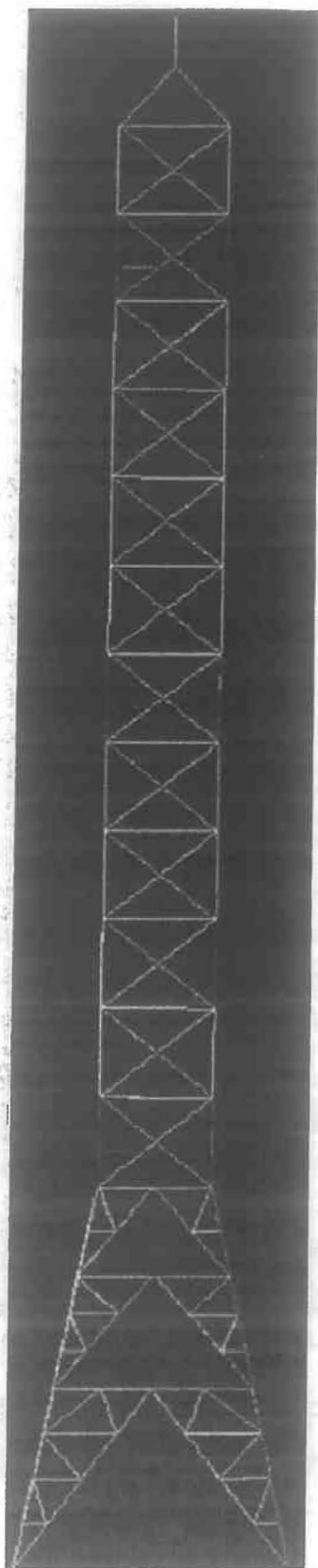
Χαλυβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	28
No.	2



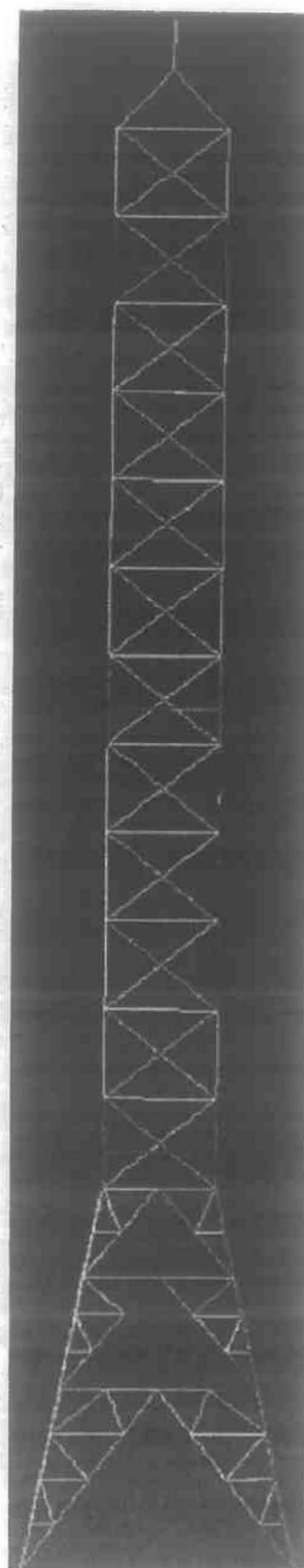
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	29
Νο.	3



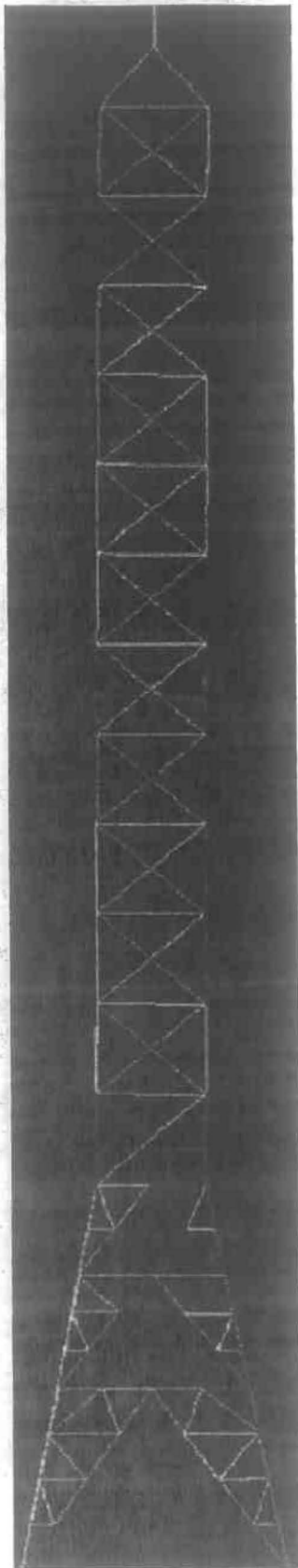
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	40
Νο.	4



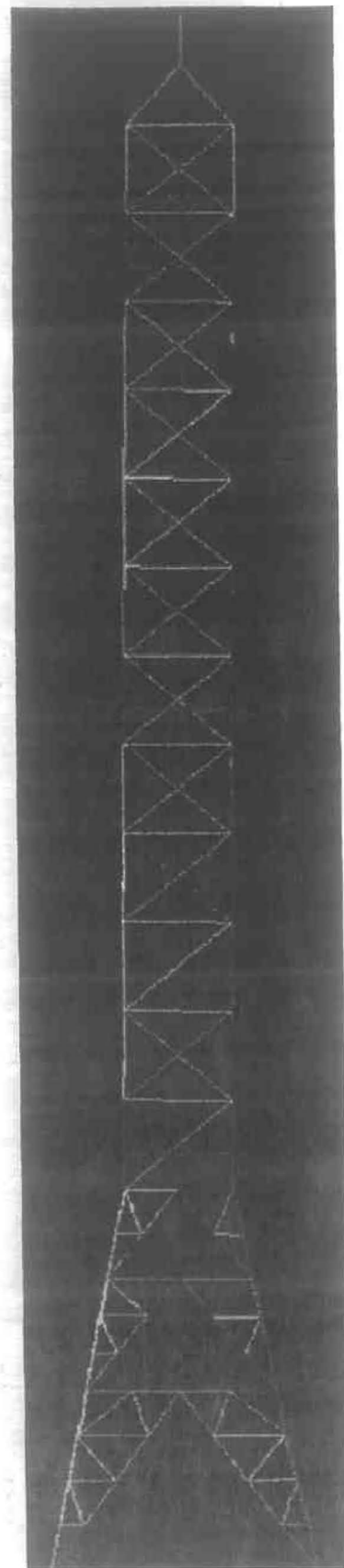
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	60
No.	5



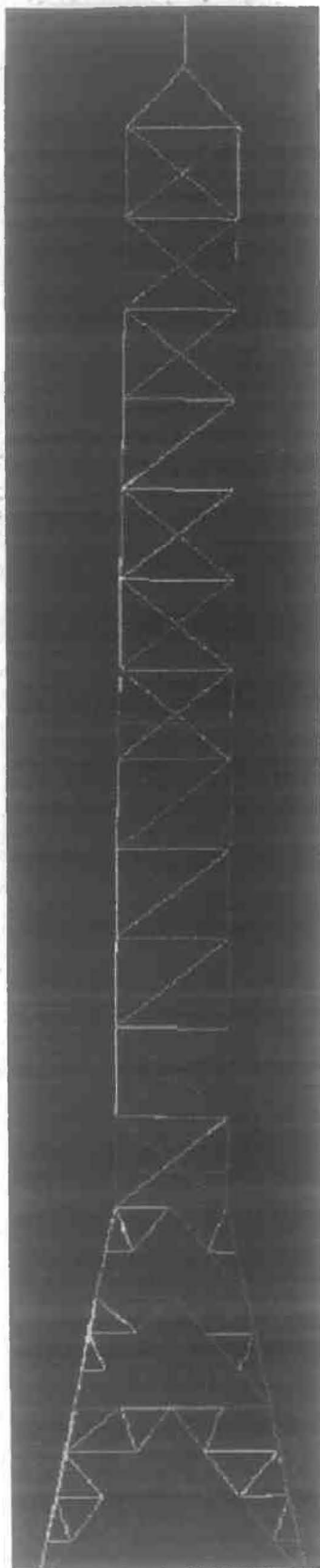
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	80
No.	6



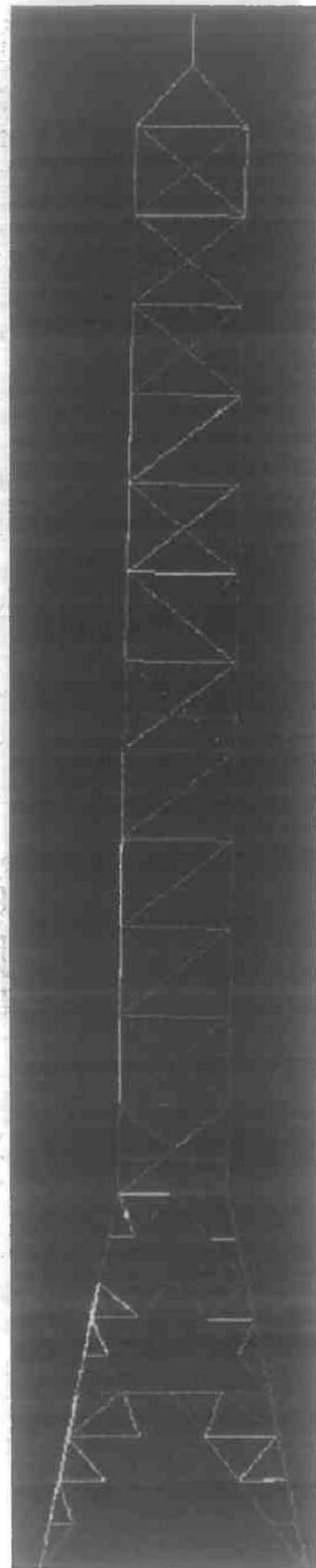
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	100
No.	7



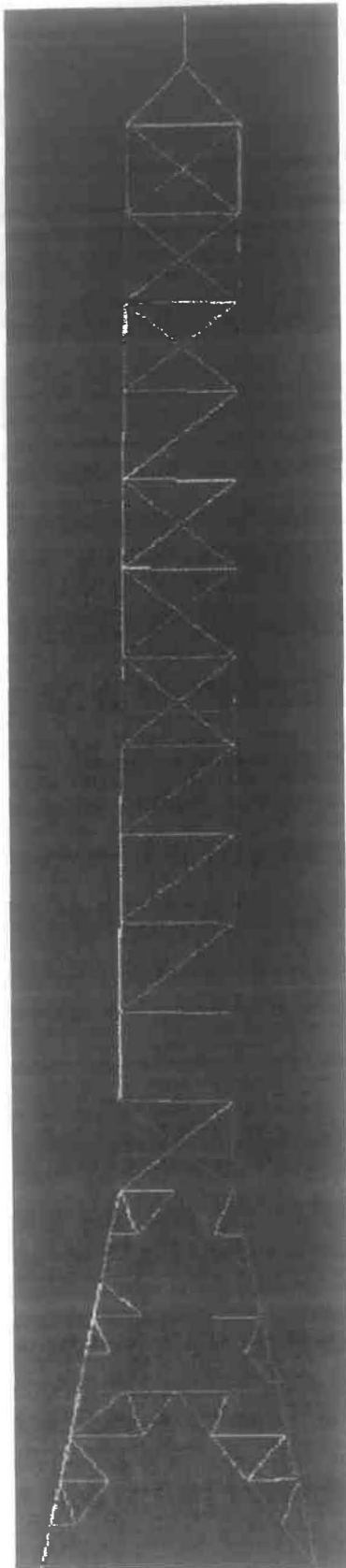
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	120
No.	8



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	140
No.	9



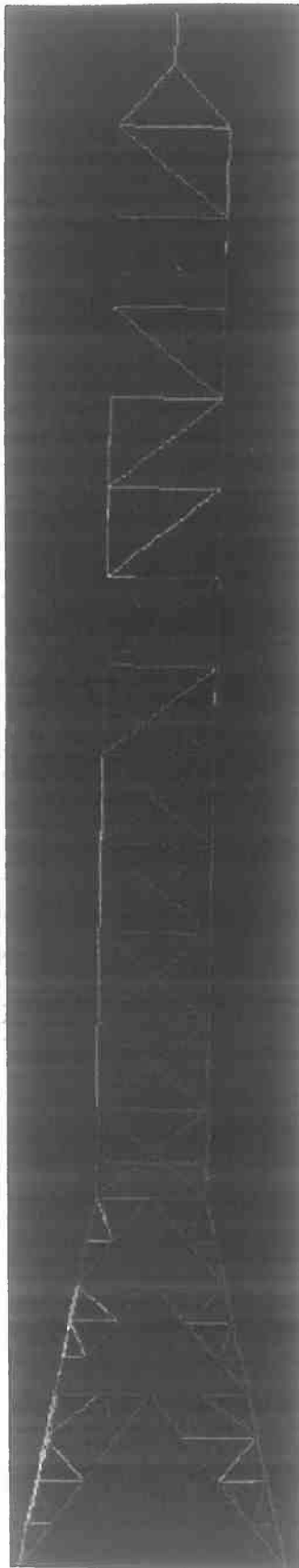
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	160
No.	10



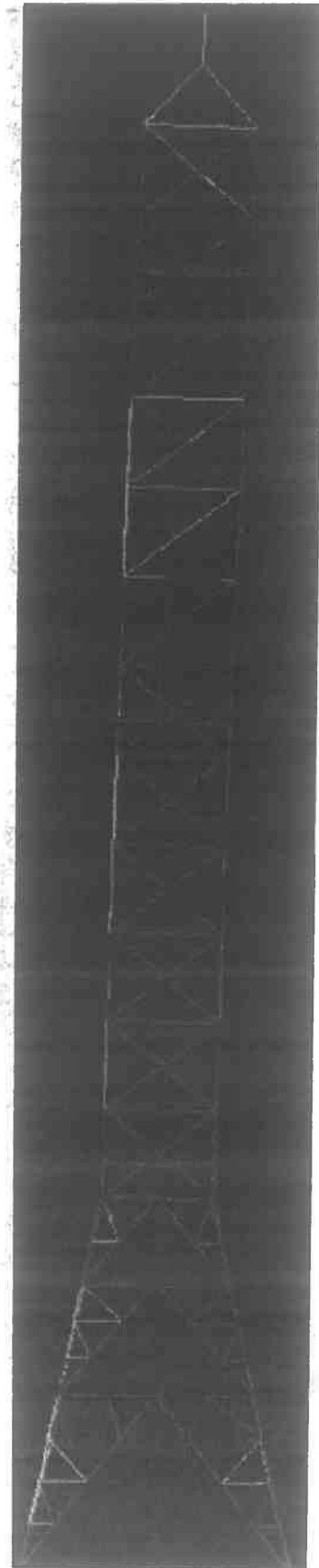
Χαλυβδίνος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	180
No.	11



Χαλυβδίνος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	200
No.	12



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	220
No.	13



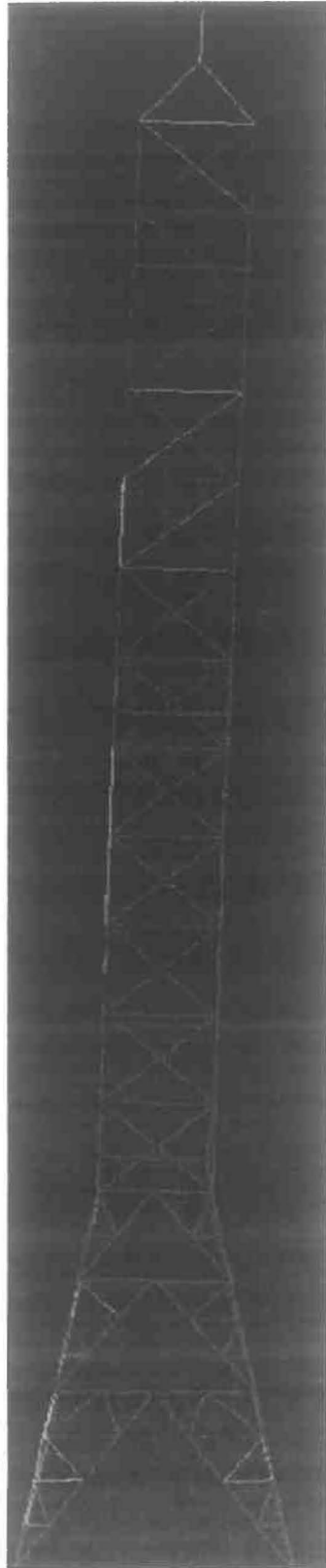
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	240
No.	14



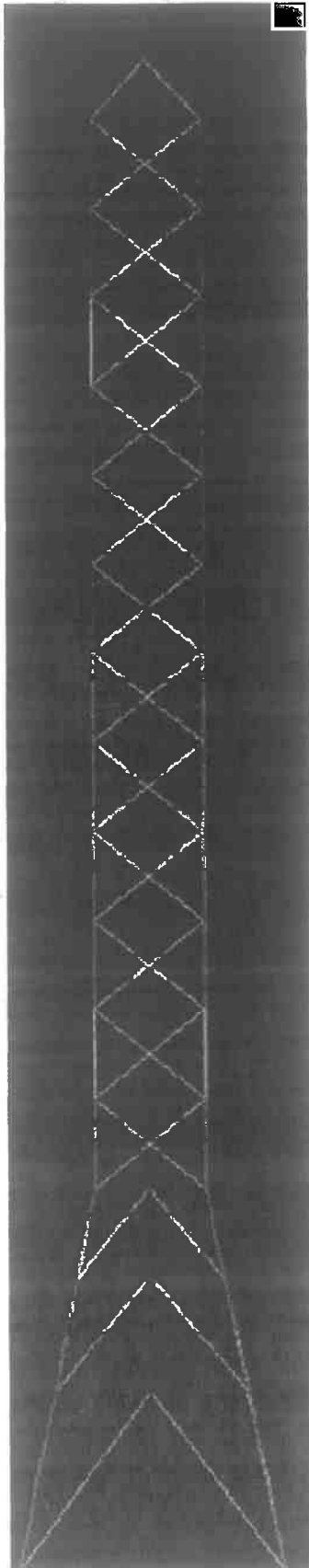
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	260
No.	15



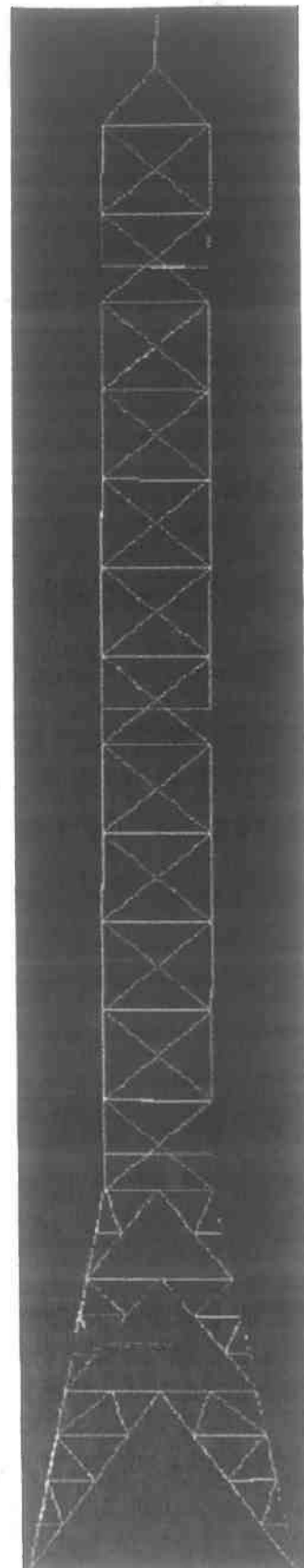
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	261
No.	16



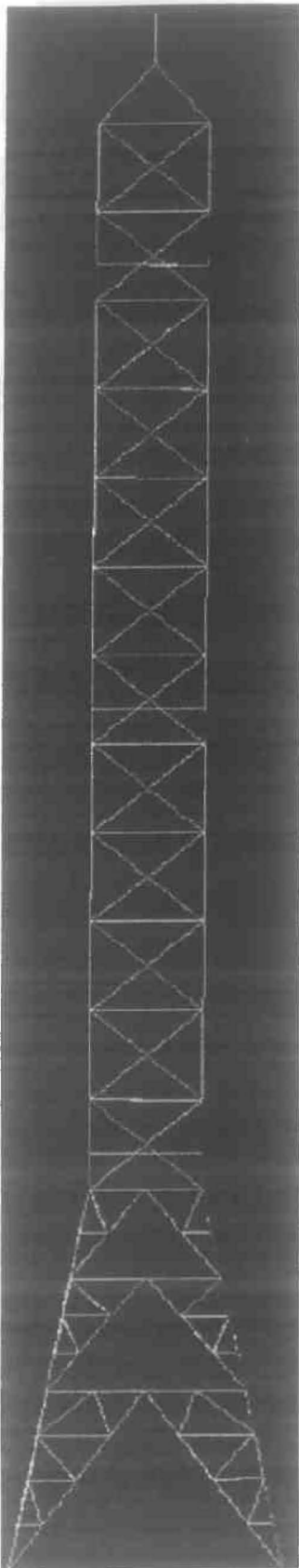
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6Q + 0.96W$
Βήμα	262
No.	17



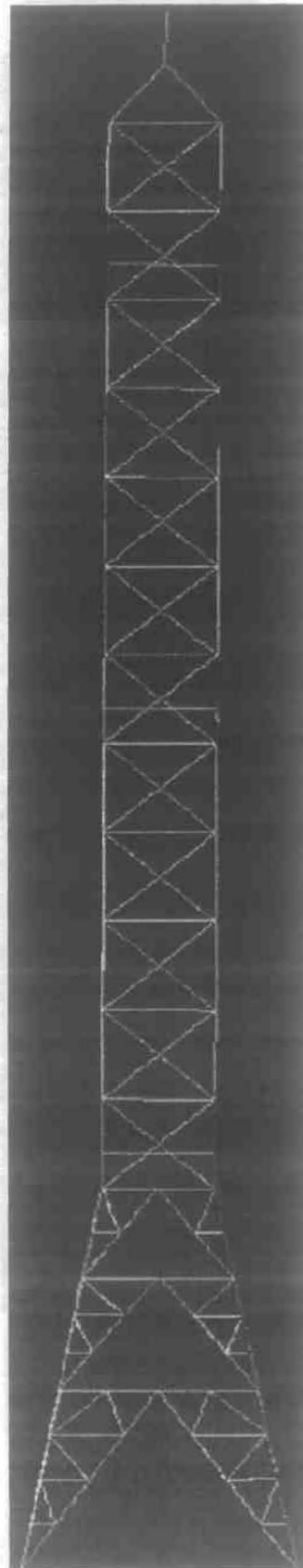
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6W + 1.12Q$
Βήμα	0 (αρχική κατάσταση)
No.	18



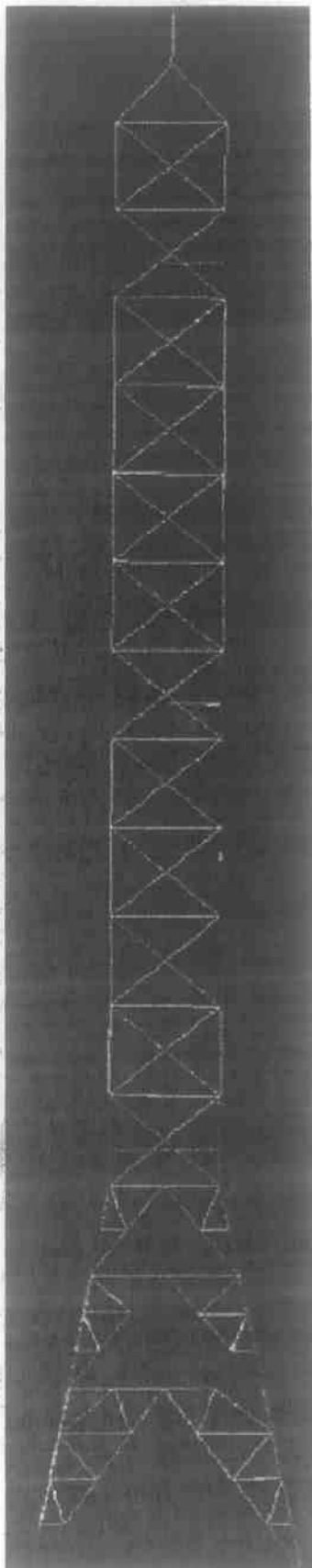
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6W + 1.12Q$
Βήμα	30
No.	19



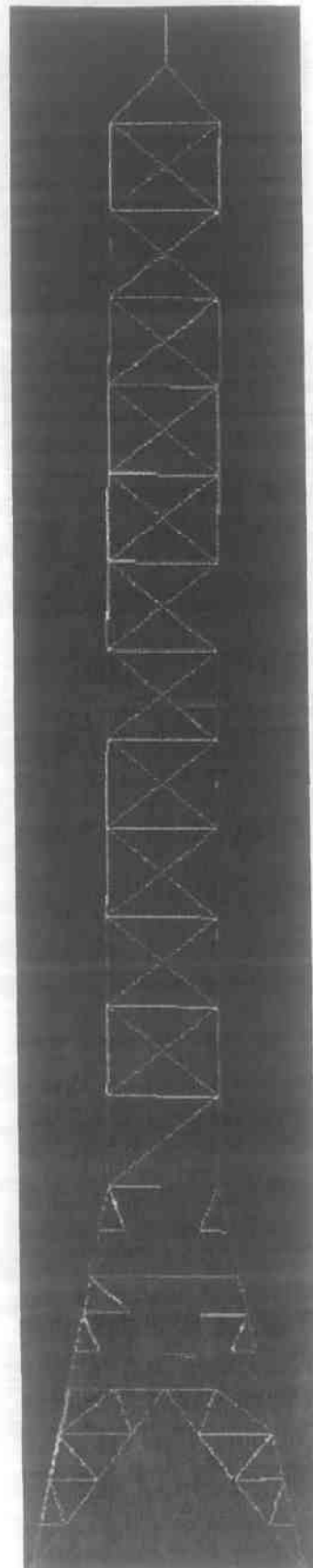
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6W + 1,12Q$
Βήμα	31
No.	20



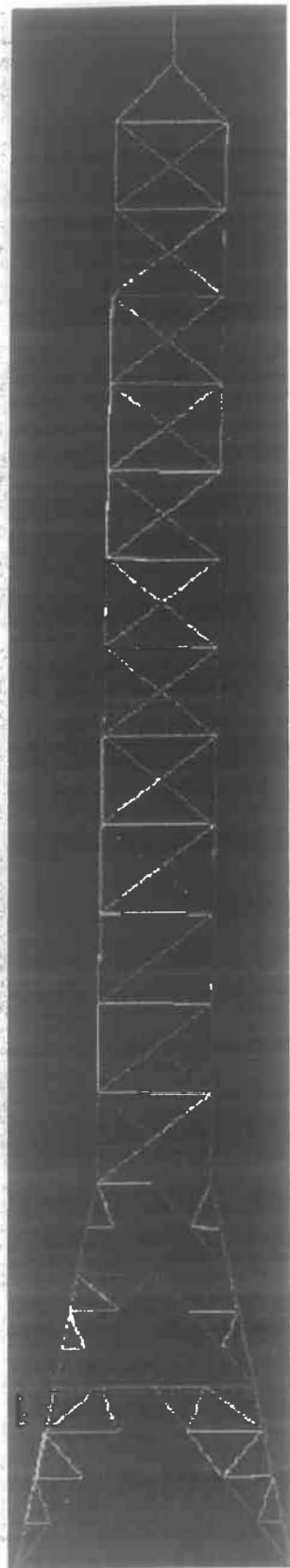
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6W + 1.12Q$
Βήμα	40
No.	21



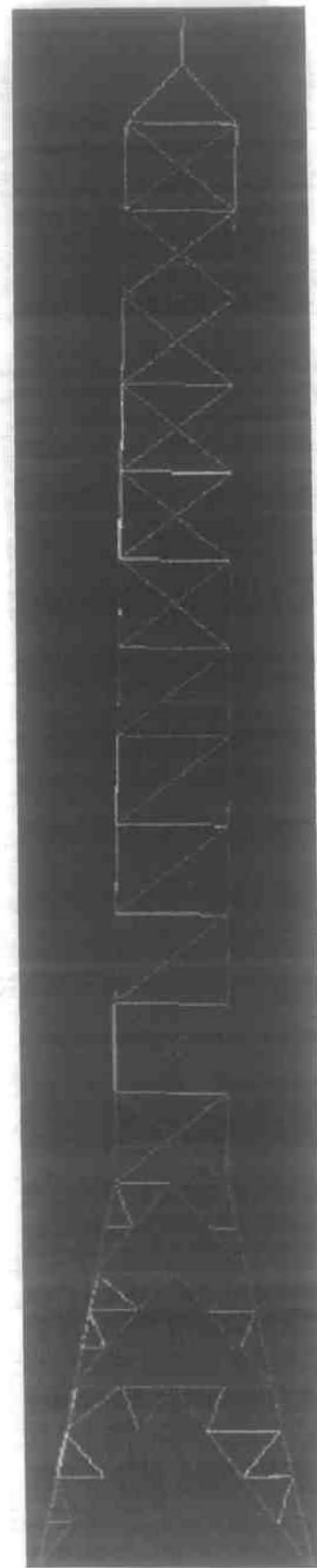
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6W + 1.12Q$
Βήμα	60
No.	22



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2G + 1.6W + 1.12Q$
Βήμα	80
No.	23



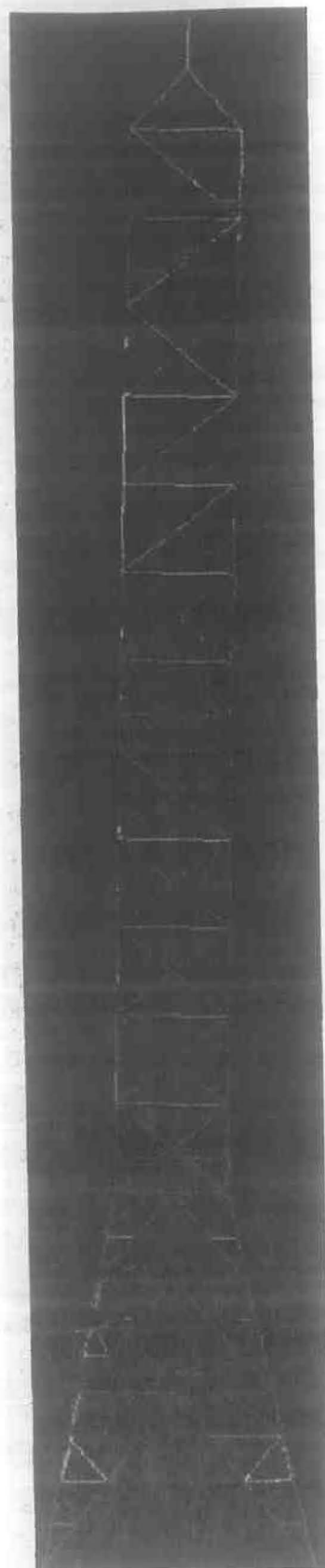
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	100
No.	24



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	120
No.	25



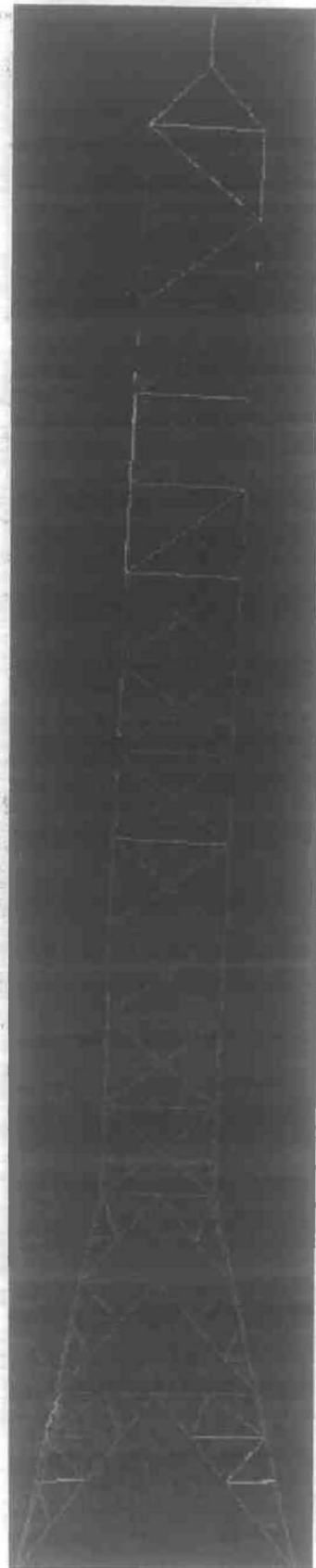
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	140
No.	26



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	160
No.	27



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	180
No.	28



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	200
No.	29



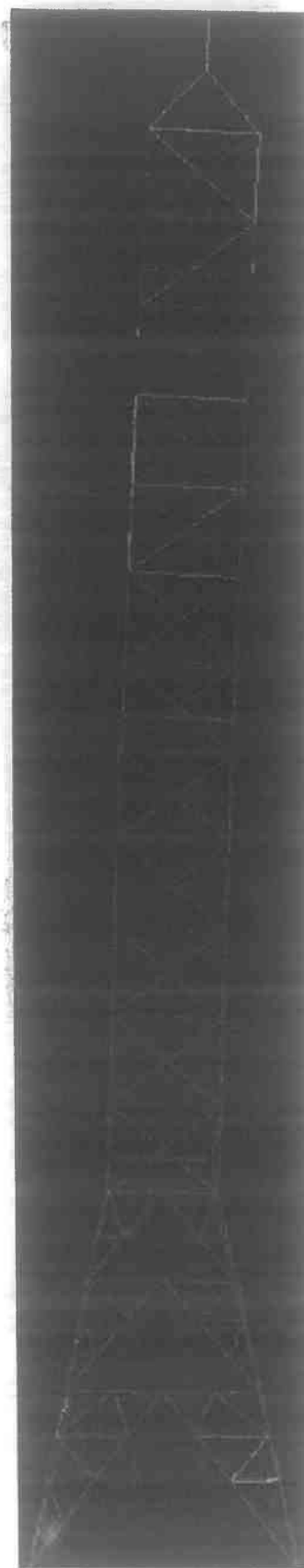
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	201
No.	30



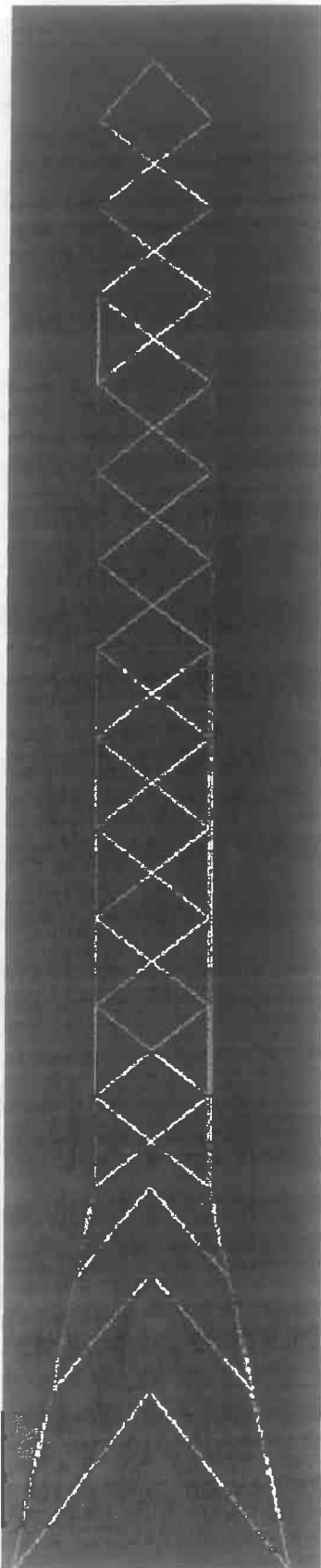
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	202
No.	31



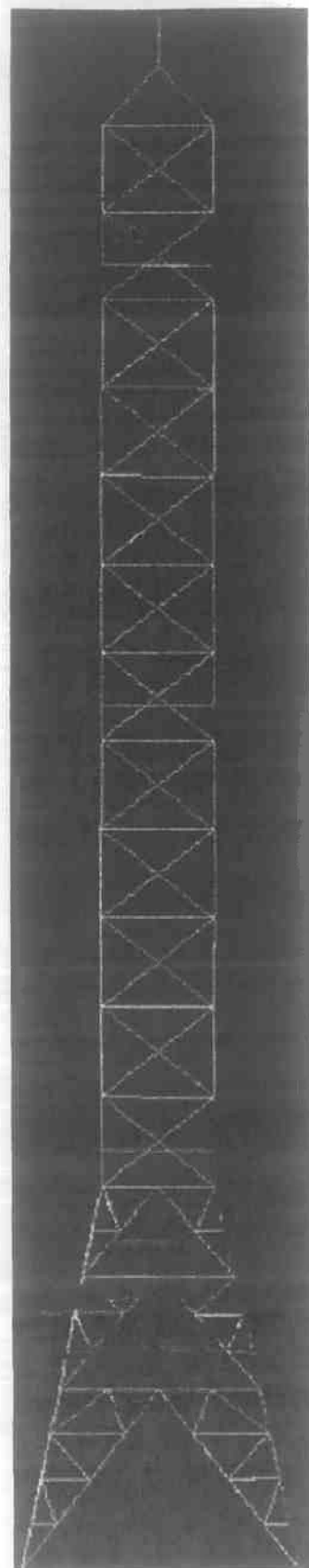
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	203
No.	32



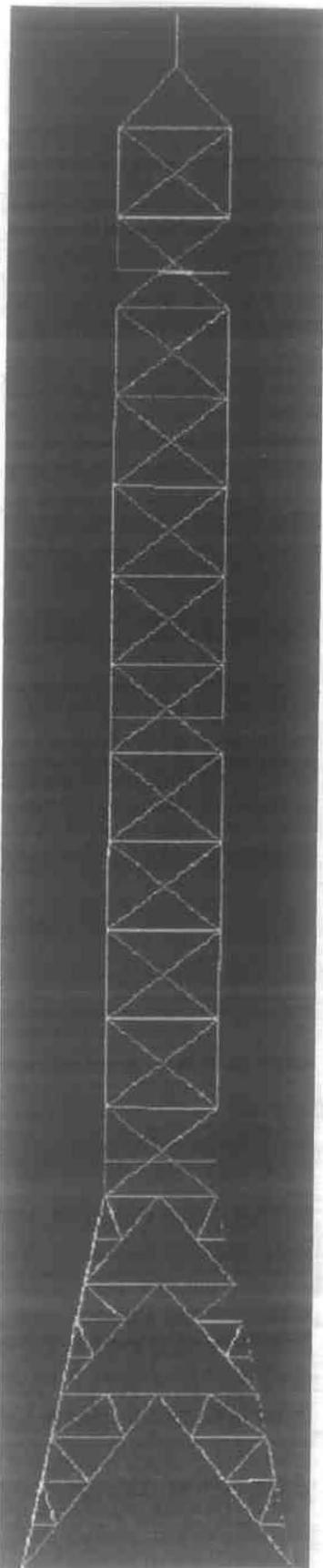
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2G + 1.6W + 1.12Q
Βήμα	204
No.	33



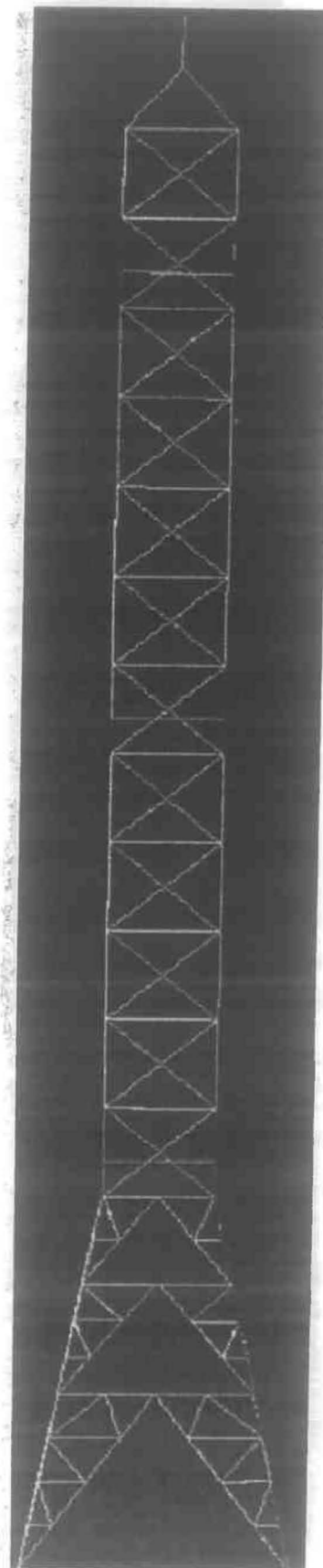
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	0 (αρχική κατάσταση)
No.	34



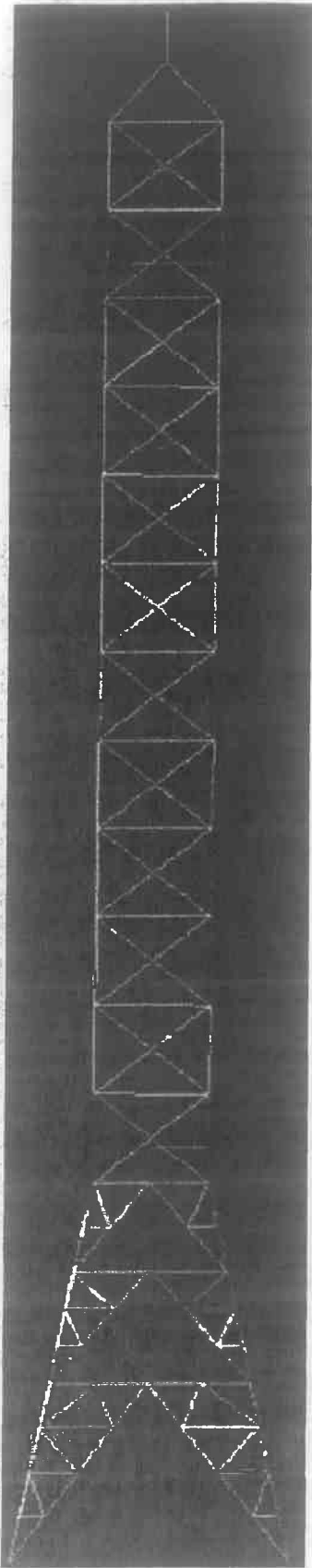
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	33
No.	35



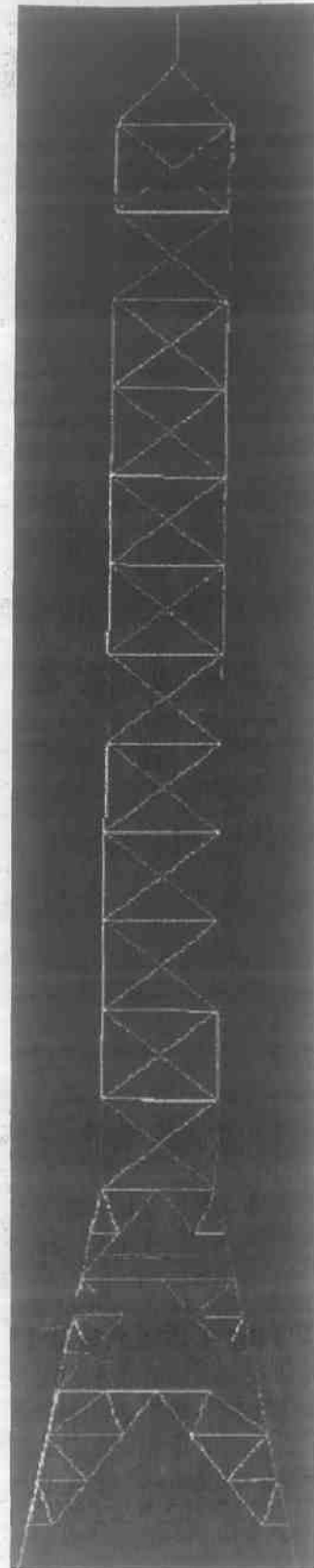
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	34
No.	36



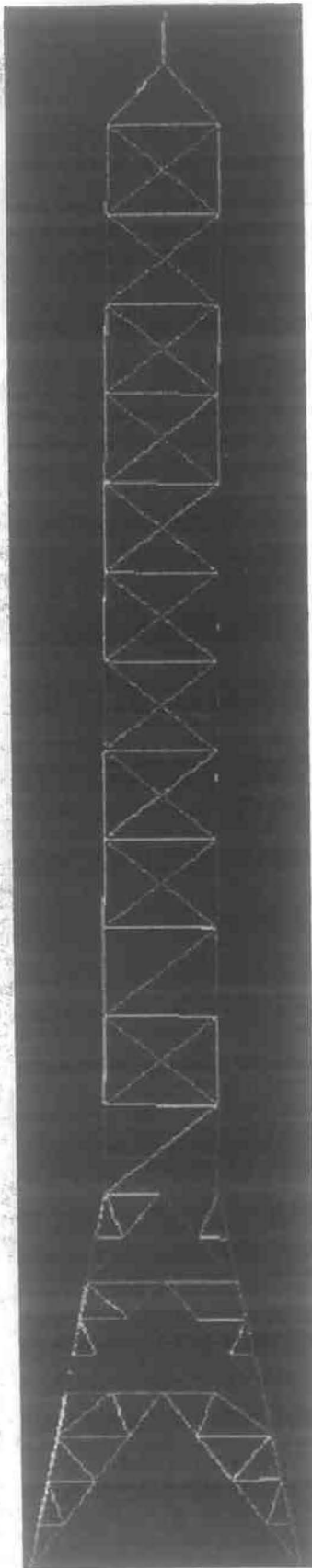
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	40
No.	37



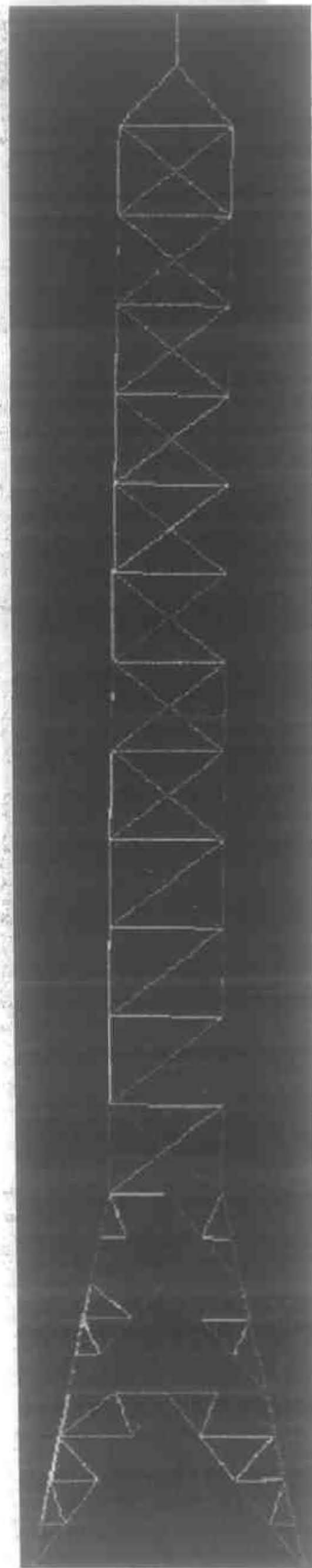
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	60
No.	38



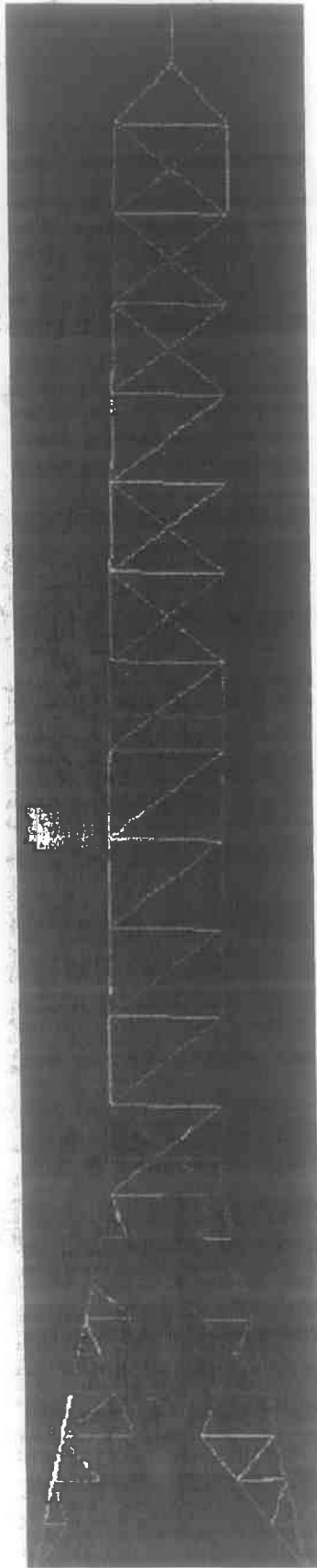
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	80
No.	39



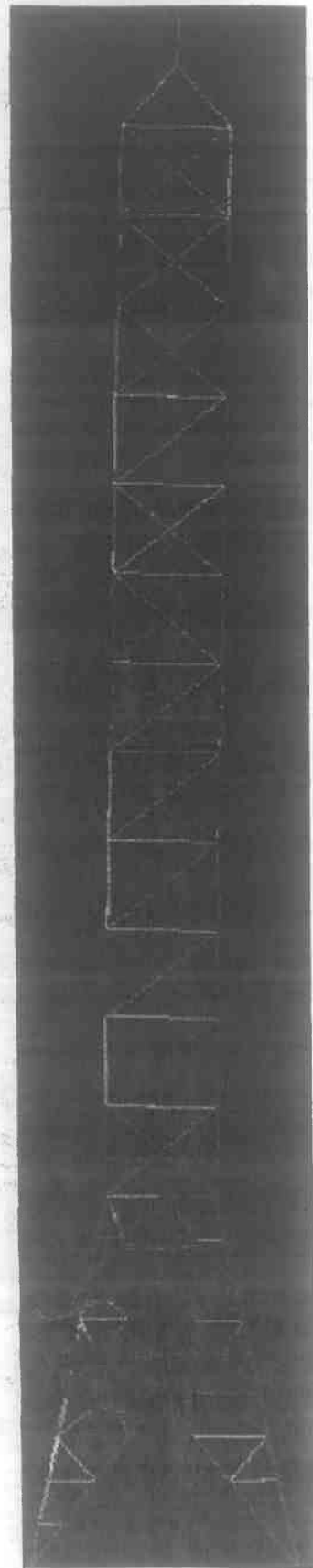
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2(G + Q + W)$
Βήμα	100
No.	40



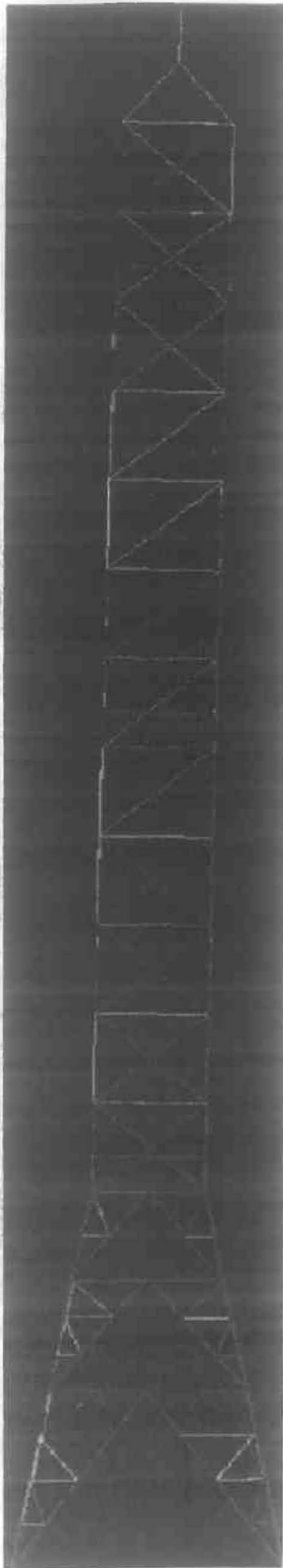
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2(G + Q + W)$
Βήμα	120
No.	41



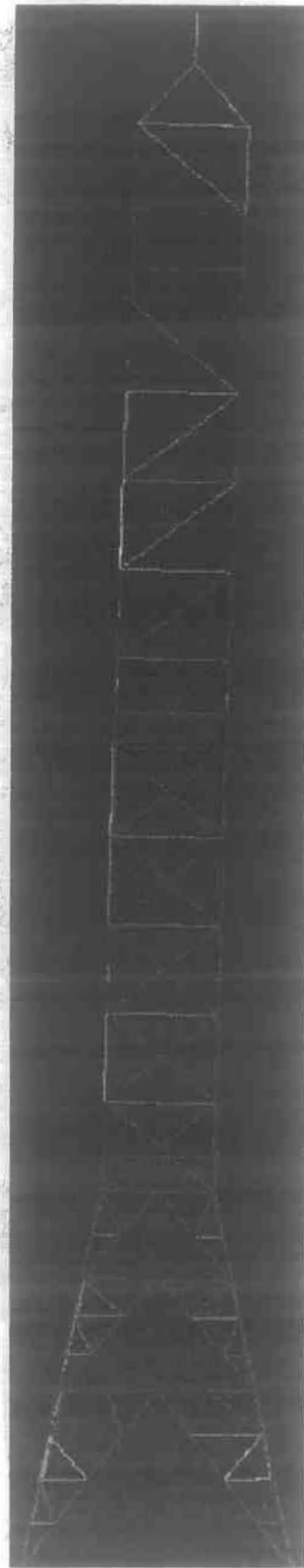
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	140
No.	42



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	160
No.	43



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2(G + Q + W)$
Βήμα	180
No.	44



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	$1.2(G + Q + W)$
Βήμα	200
No.	45



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	220
No.	46



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	240
No.	47



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	241
No.	48



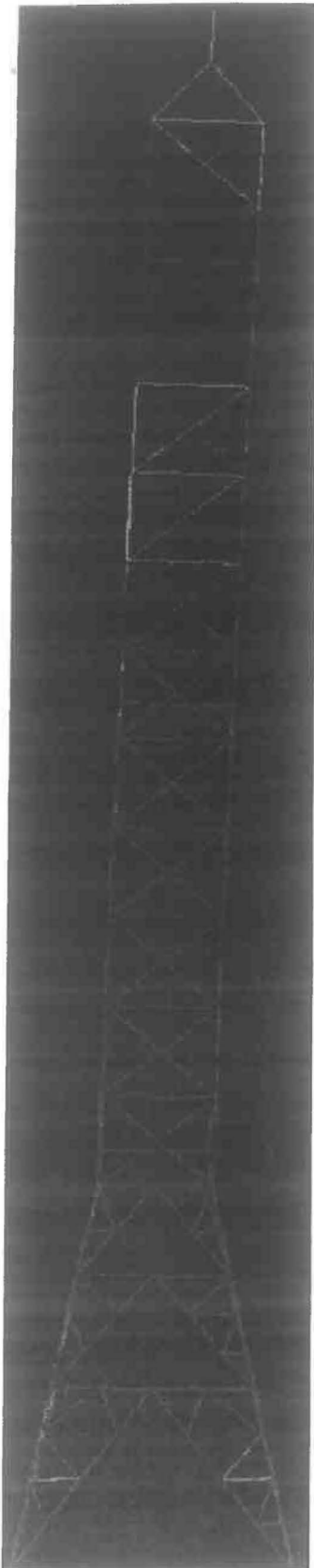
Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	242
No.	49



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	243
No.	50



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	244
No.	51



Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	245
No.	52

Χαλύβδινος Ιστός	
Συνδυασμός	1.2(G + Q + W)
Βήμα	246
No.	53

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ενώ η διαδικασία προχωράει και φτάνει σε σημείο ώστε να αντέχει 5 ή 6 φορές το φορτίο αστοχίας, «κοκκινίζουν» πολλά μέλη δηλαδή έχουν φτάσει την οριακή τους αντοχή χάρη στο NIDA συνεχίζεται η επαναληπτική διαδικασία φόρτισης χάρη στην μεταλυγισμική αντοχή των μελών.

Ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει τον συνδυασμό και τα βήματα της κάθε σελίδας.

Συνδυασμοί	
1.2G + 1.6Q + 0,96W	1
1.2G + 1.6W + 1.12Q	2
1.2(G + Q + W)	3

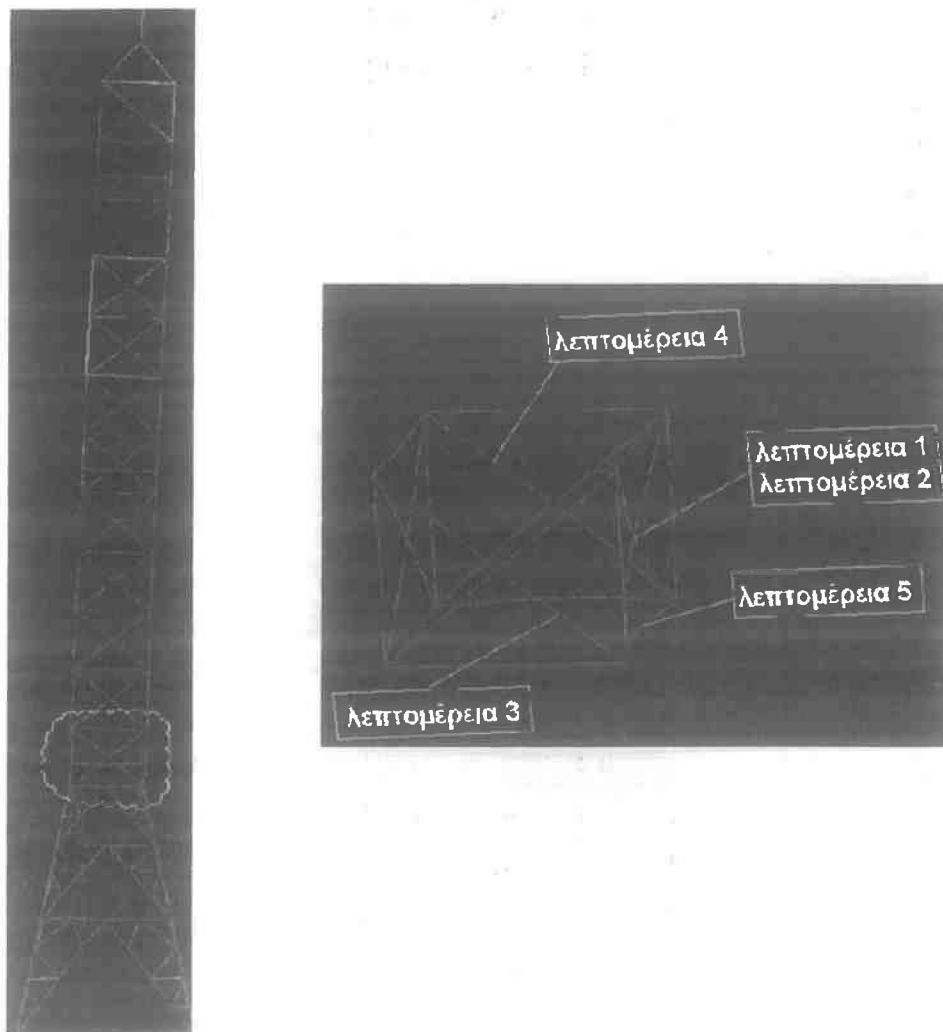
Σελίδες	Συνδυασμός	Βήματα	
48	1	0	28
49	1	29	40
50	1	60	80
51	1	100	120
52	1	140	160
53	1	180	200
54	1	220	240
55	1	260	261
56	1	262	
57	2	0	30
58	2	31	40
59	2	60	80
60	2	100	120
61	2	140	160
62	2	180	200
63	2	201	202
64	2	203	204
65	3	0	33
66	3	34	40
67	3	60	80
68	3	100	120
69	3	140	160
70	3	180	200
71	3	220	240
72	3	241	242
73	3	243	244
74	3	245	246

5.2. Συμπεριφορά μελών και κόμβων κατά την διάρκεια της επαναληπτικής διαδικασίας

Επιλέχθηκαν από τον κάθε συνδυασμό τα μέλη με την εντονότερη παραμόρφωση. Προσεγγιστικά και χάριν απλότητας επιλέχθηκαν πέντε στοιχεία που παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα λυγισμού. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε μία από τις πέντε λεπτομέρειες του κάθε συνδυασμού συγκεντρώσαμε τα παρακάτω στοιχεία:

- Το γενικό σχέδιο που μας δείχνει που είναι αυτά τα μέλη.
- Το σχέδιο αρχικού και τελικού σταδίου παραμόρφωσης
- Ο συντελεστής της αντοχής του κάθε μέλους
- Η αξονική δύναμη του κάθε μέλους
- Τα διαγράμματα συντελεστής φόρτισης – παραμορφώσεως, των κόμβων αυτών των μελών.

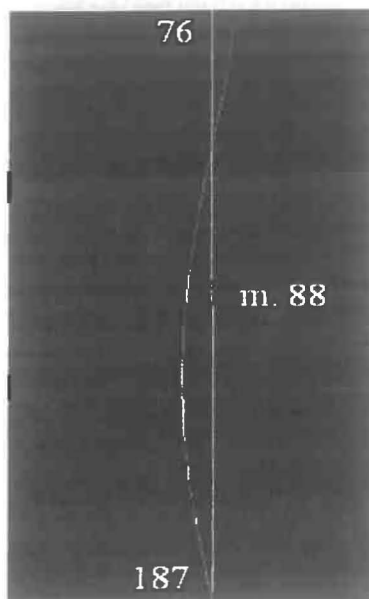
5.2.1. 1^{ος} Συνδυασμός: 1.2G + 1.6Q + 0.96W



Σχήμα 8. Ο φορέας στο στάδιο κατάρρευσης και σε μενέθμιση το τμήμα με τις έντονες παραμορφώσεις

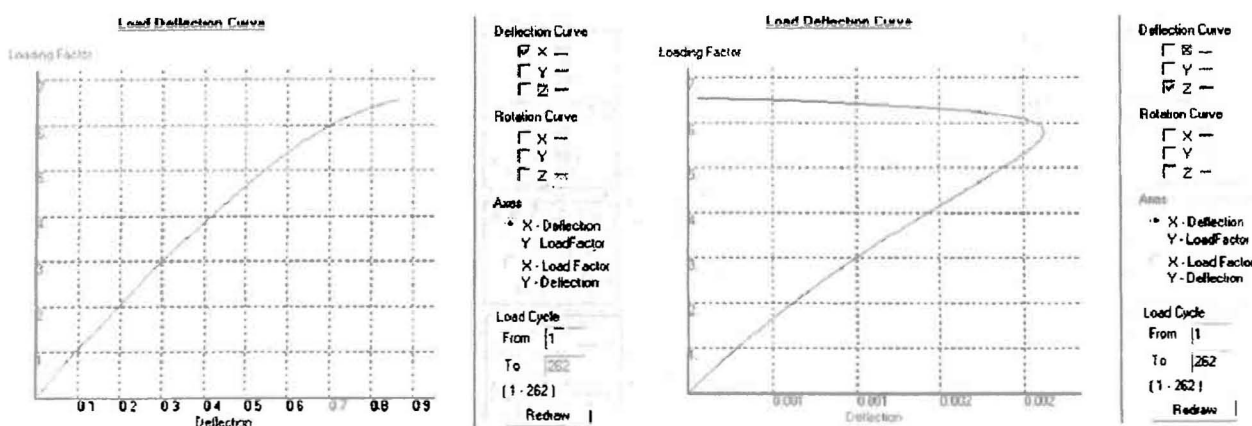
Λεπτομέρεια 1

Η λεπτομέρεια 1 αναφέρεται στο χιαστί μέλος και βρίσκεται απέναντι από την επιφάνεια που προσκρούει ο άνεμος.



Σχήμα 9. Το μέλος 88 στην πλάνια οψη του

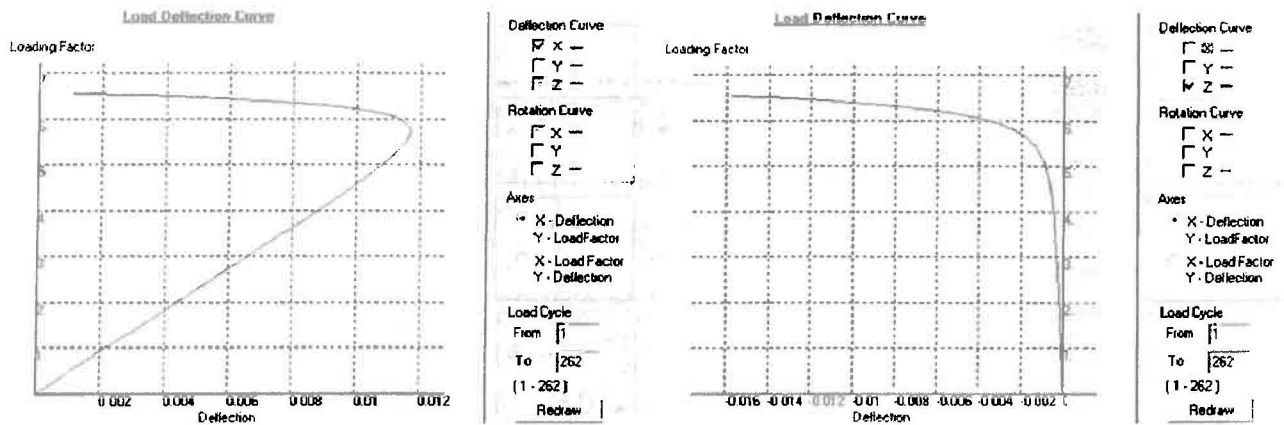
- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 76 και 187.
- Section Capacity Factor: 7.436
- Axial Force : -168.5 kN



Σχήμα 10. Η συμπεριφορά 76 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά δηλαδή για τις τιμές μέχρι το 5 του συντελεστή φόρτισης και για τις τιμές 5 και 6 μετακινείται περισσότερο. Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή τα το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις μικρές τιμές του συντελεστή φόρτισης (περίπου μέχρι το 5,8) μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση αρχίζει να επιστρέφει στην αρχική του

θέση πολύ πιο έντονα για τις μεγάλες τιμές αυτού του συντελεστή (από το 5,8 μέχρι την κατάρρευση).

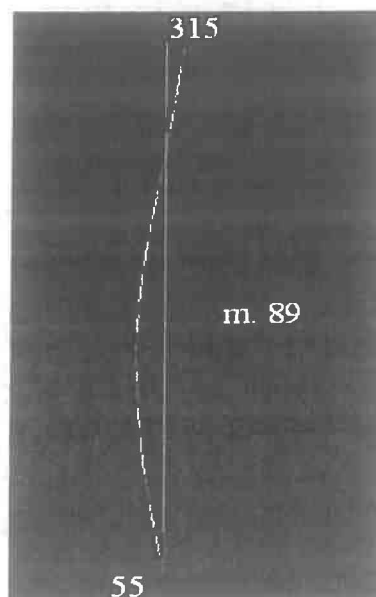


Σχήμα 11. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Εδώ παρατηρούμε ότι συμβαίνει περίπου το ανάποδο. Δηλαδή κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά για τις τιμές από 0 έως 5,8, και μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση αρχίζει να επιστρέφει στην αρχική του θέση πολύ πιο έντονα για τις μεγάλες τιμές αυτού του συντελεστή (από το 5,8 μέχρι την κατάρρευση). Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή τα το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις μικρές τιμές του συντελεστή φόρτισης (περίπου μέχρι το 5,8) μετά συνεχίζει περίπου γραμμικά αλλά με μικρότερη κλίση μέχρι την κατάρρευση του φορέα.

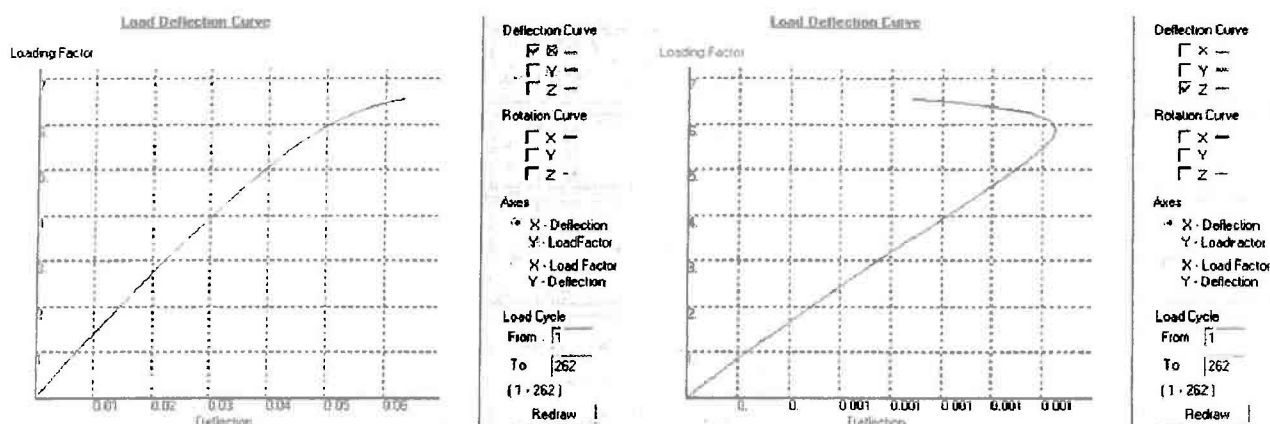
Λεπτομέρεια 2

Η λεπτομέρεια 2 είναι το άλλο μέλος του χιαστί συνδέσμου.



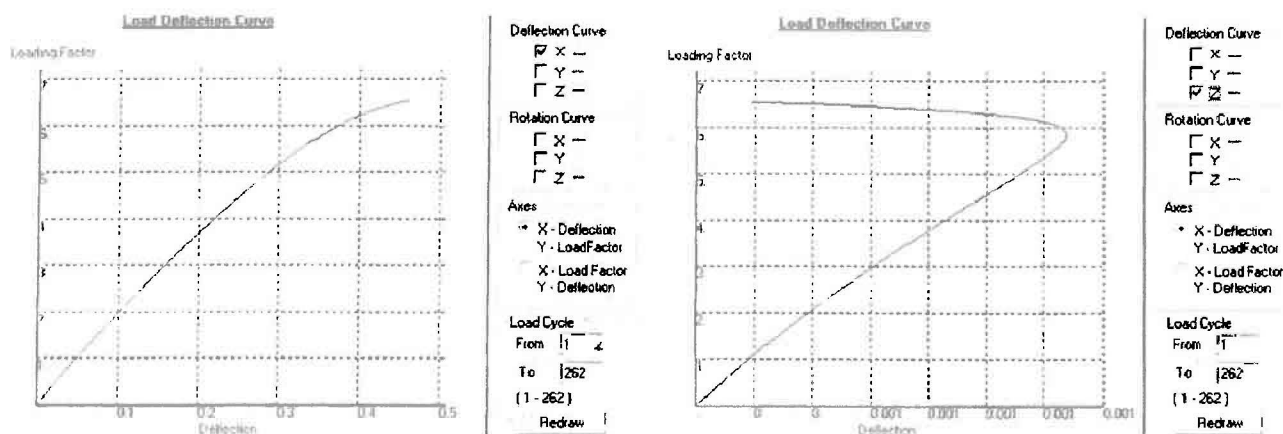
Σχήμα 12. Το μέλος 89 στην πλάνια οψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 55 και 315.
- Section Capacity Factor: 7.598
- Axial Force : -169,2 kN



Σχήμα 13. Η συμπεριφορά 315 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

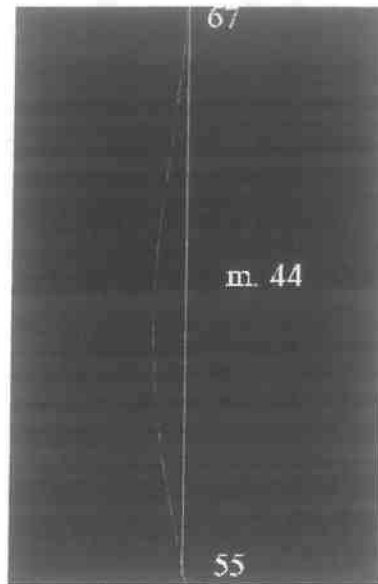
Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά δηλαδή μέχρι τον συντελεστή φόρτισης 6 είναι γραμμική η συμπεριφορά του από το συντελεστή 6 και μέχρι την κατάρρευση του φορέα παρουσιάζει μια πολύ έντονη κλίση. Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις μικρές τιμές του συντελεστή φόρτισης (περίπου μέχρι το 5,8) μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση αλλά προηγείται η κατάρρευση του φορέα (από το 5,8 μέχρι την κατάρρευση).



Σχήμα 14. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

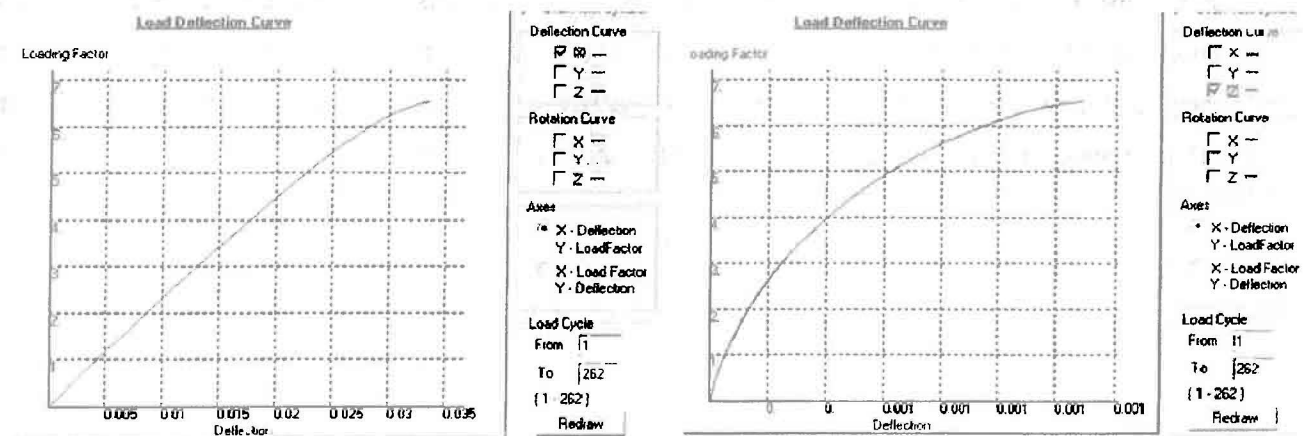
Εδώ η συμπεριφορά του κόμβου 55 είναι παρόμοια με αυτή του κόμβου 315. Η μόνη διαφορά του κόμβου 55 είναι ότι κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα φτάνει πιο κοντά στην αρχική του θέση.

Λεπτομέρεια 3



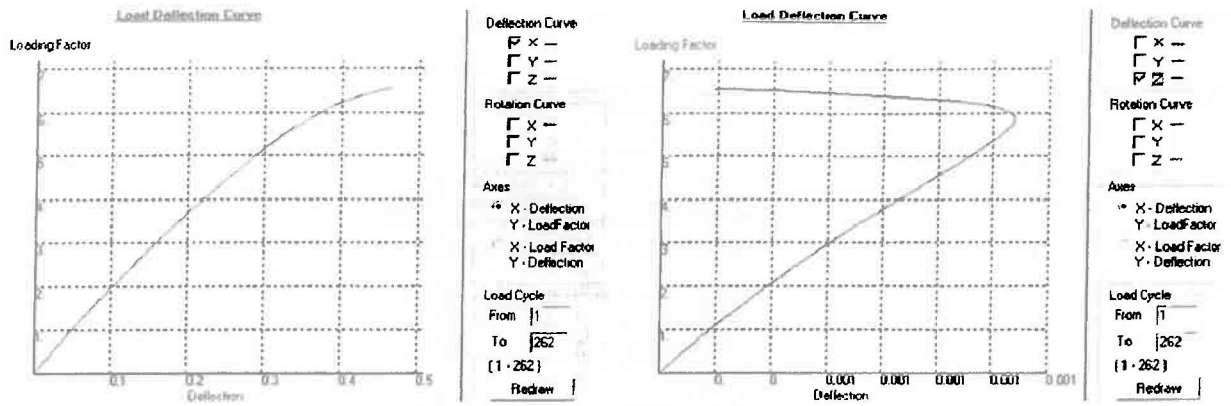
Σχήμα 14. Το μέλος 44 στην πλάνια οψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 55 και 67.
- Section Capacity Factor: 7.872
- Axial Force : -145,6 kN



Σχήμα 15. Η συμπεριφορά 67 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Για τον συγκεκριμένο κόμβο δεν υπάρχει κάτι να παρατηρηθεί εκτός του ότι ο κόμβος 67 κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα, παρουσιάζει μια συμπεριφορά που όσο αυξάνεται ο συντελεστής φόρτισης αλλάζει συνεχώς και η κλίση.

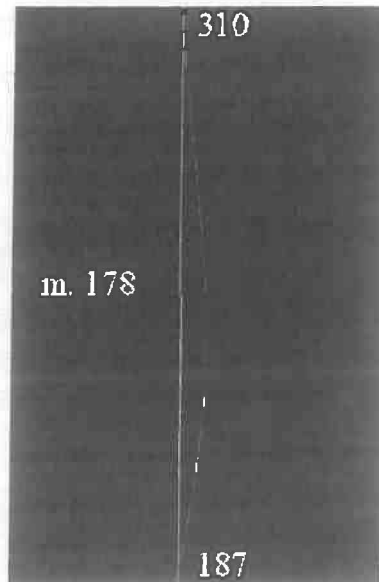


Σχήμα 16. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου κόμβου έχει παρουσιαστεί παραπάνω.

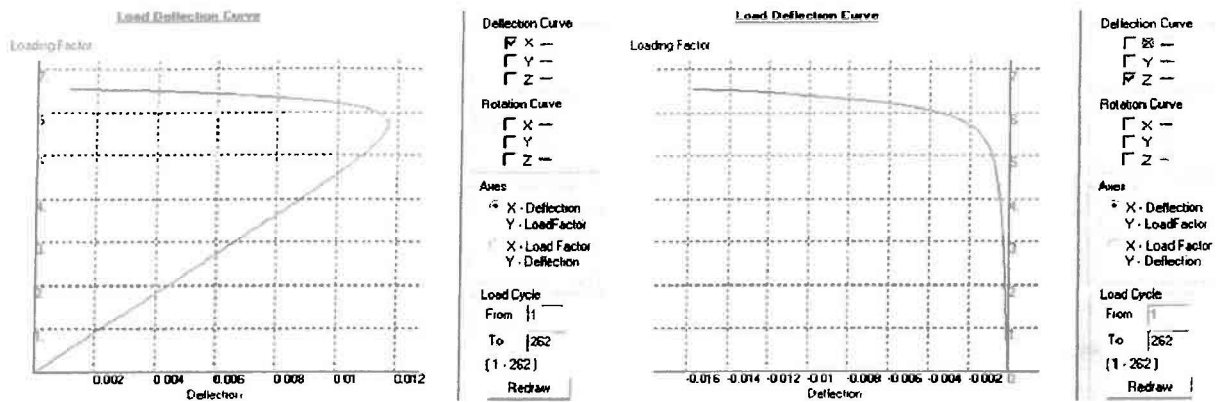
Λεπτομέρεια 4

Το συγκεκριμένο στοιχείο βρίσκεται απέναντι από το μέλος 44.



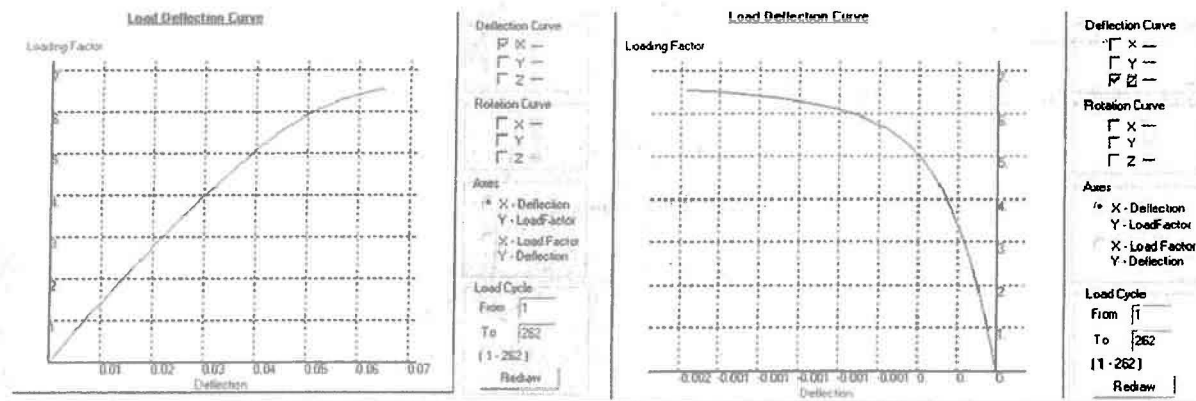
Σχήμα 17. Το μέλος 178 στην πλάνια οψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 187 και 310.
- Section Capacity Factor: 7.872
- Axial Force : -145,6 kN



Σχήμα 18. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

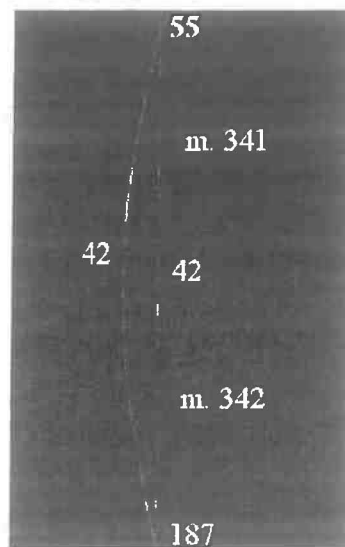
Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου κόμβου έχει παρουσιαστεί παραπάνω.



Σχήμα 19. Η συμπεριφορά 310 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Για τον συγκεκριμένο κόμβο δεν υπάρχει κάτι να παρατηρηθεί εκτός του ότι ο κόμβος 310 κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα, παρουσιάζει μια συμπεριφορά που για μεγάλο συντελεστή φόρτισης η μετακίνηση αυξάνεται εντονότερα.

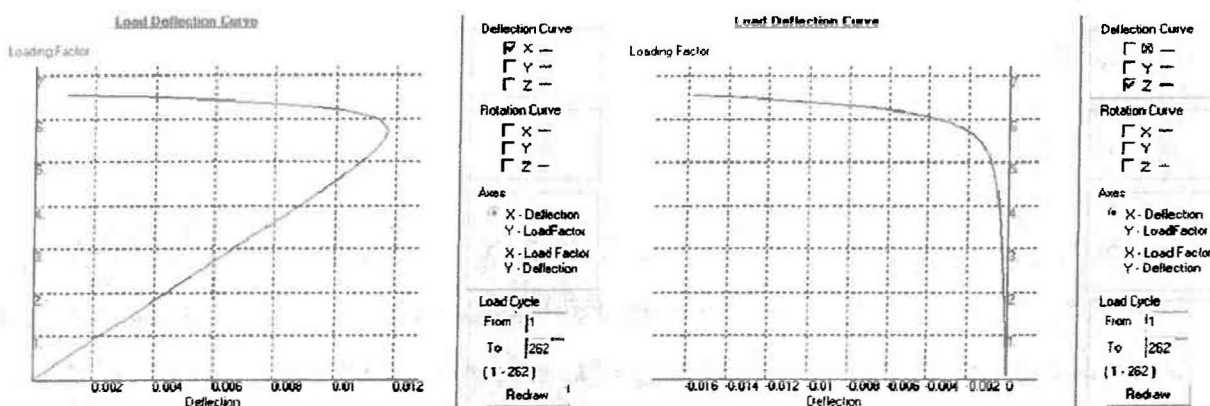
Λεπτομέρεια 5



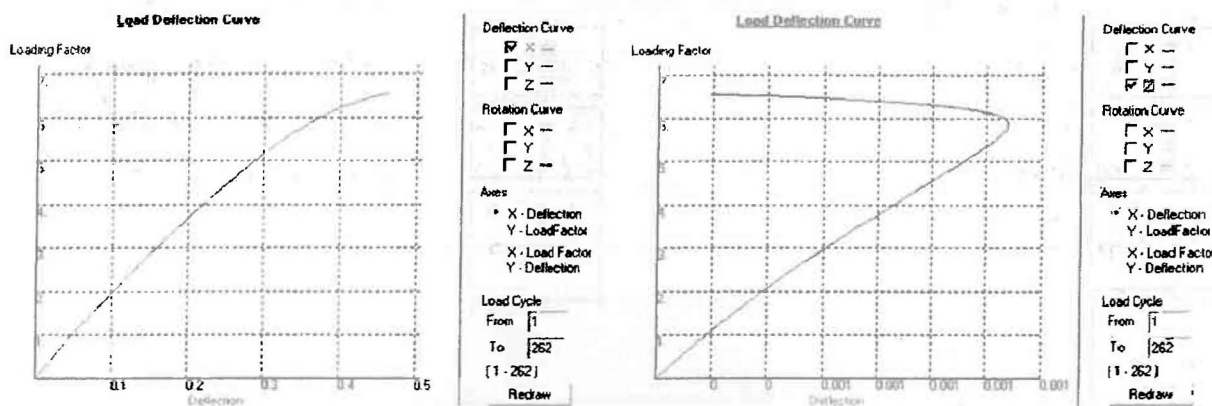
Σχήμα 20. Τα μέλη 340 και 341 στην κάτωση του

- Το μέλος 341 ορίζεται από τους κόμβους 55 και 42 ενώ το μέλος 342 από τους κόμβους 42 και 187.
- Section Capacity Factor (341): 7.238
- Section Capacity Factor (342): 7.376
- Axial Force (341): -136 kN
- Axial Force (342): -136,1 kN

Οι κόμβοι 55 και 187 έχουν μελετηθεί παραπάνω. Απλά παραθέτονται τα διαγράμματα τους.

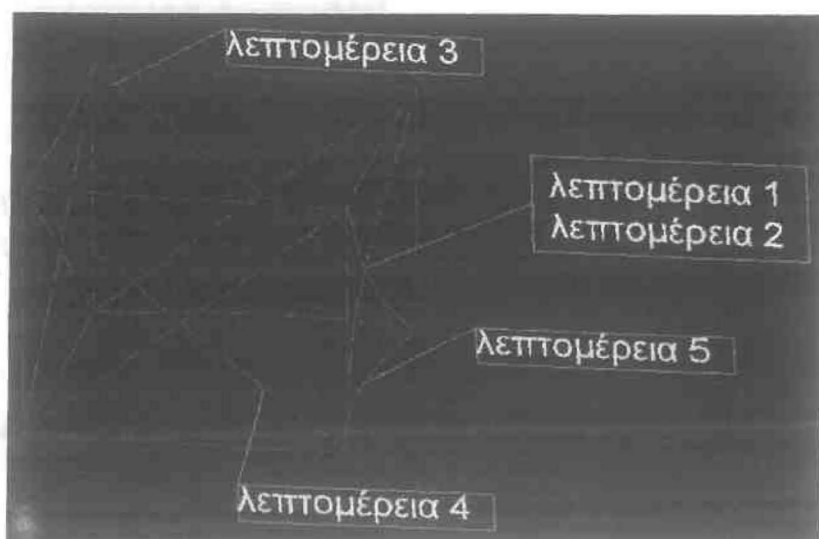


Σχήμα 21. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)



Σχήμα 22. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

5.2.2. 2^{ος} Συνδυασμός: 1.2G + 1.6W + 1.12Q



Σχήμα 23. Ο φορέας στο στάδιο κατάρρευσης και σε μενέθυση το τμήμα με τις έντονες παραμορφώσεις

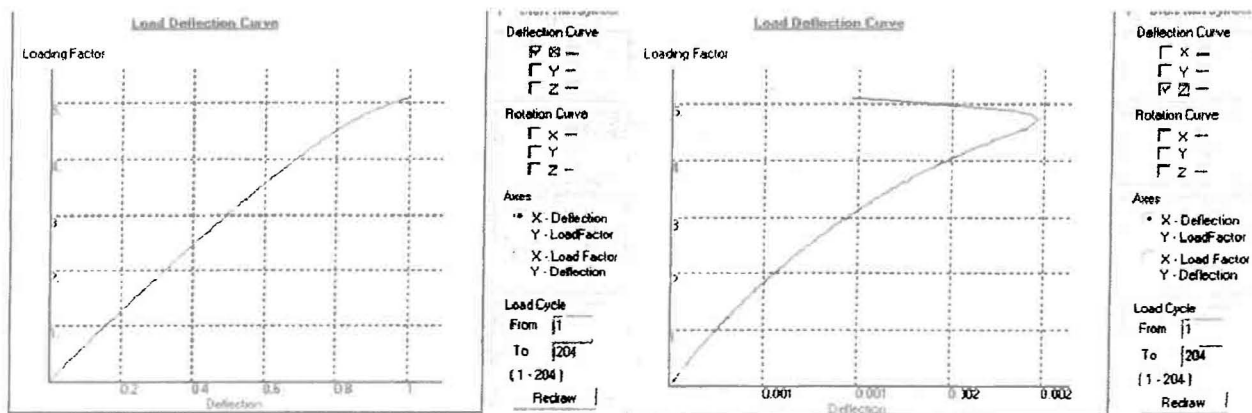
Λεπτομέρεια 1

Η λεπτομέρεια 1 αναφέρεται στο χιαστί μέλος και βρίσκεται απέναντι από την επιφάνεια που προσκρούει ο άνεμος.



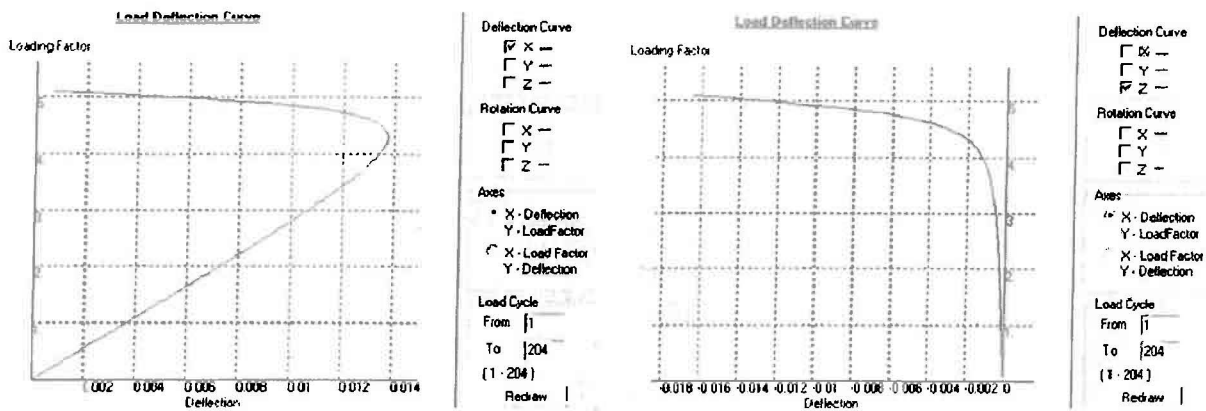
Σχήμα 24. Το μέλος 88 στην πλάνια όψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 76 και 187.
- Section Capacity Factor: 7.917
- Axial Force : -172,9 kN



Σχήμα 10. Η συμπεριφορά 76 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

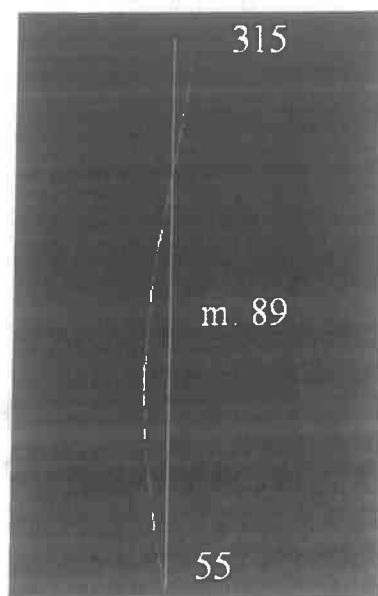
Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά. Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή τα το πλάτος του φορέα, η συμπεριφορά του είναι περίπου γραμμική μέχρι τον συντελεστή φόρτισης 4,75 και μετά κάνει μια πολύ έντονη επιστροφή προς την αρχική του κατάσταση αλλά δεν την φτάνει καθώς ο φορέας καταρρέει.



Σχήμα 11. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

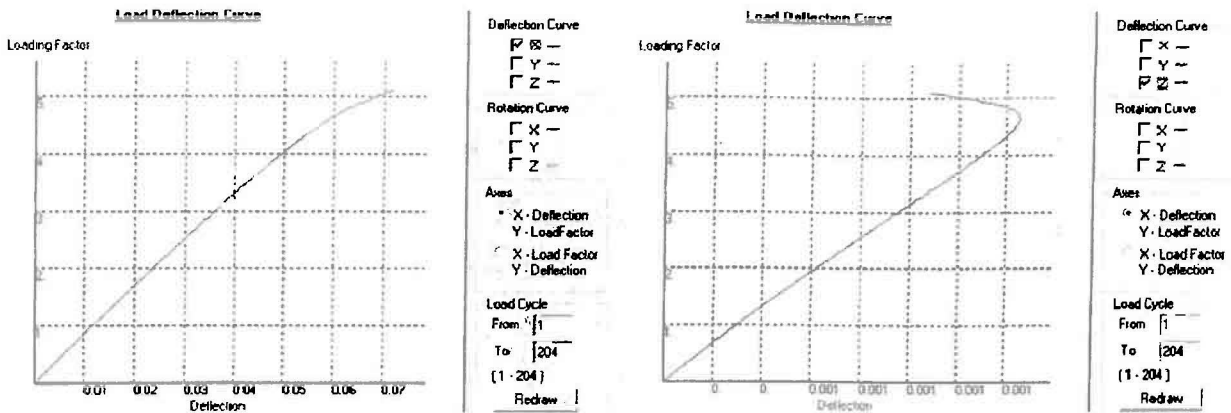
Εδώ παρατηρούμε ότι συμβαίνει περίπου το ανάποδο. Δηλαδή κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά για τις τιμές (από 0 έως 4,1) και μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση αρχίζει να επιστρέφει στην αρχική του θέση πολύ πιο έντονα για τις μεγάλες τιμές αυτού του συντελεστή (από το 4,1 μέχρι την κατάρρευση). Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή τα το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις μικρές τιμές του συντελεστή φόρτισης (περίπου μέχρι το 4,1) μετά συνεχίζει περίπου γραμμικά αλλά με μικρότερη κλίση μέχρι την κατάρρευση του φορέα.

Λεπτομέρεια 2



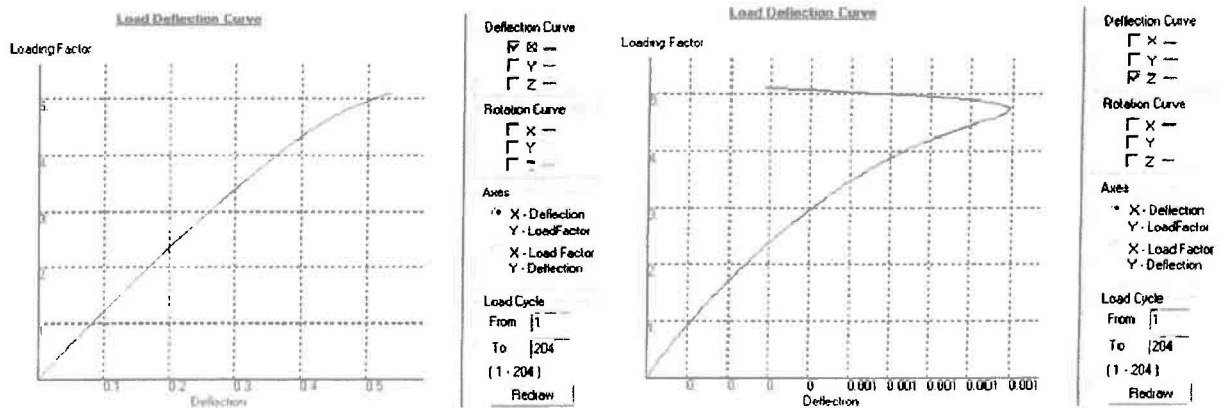
Σχήμα 25. Το μέλος 89 στην πλάνια όψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 55 και 315.
- Section Capacity Factor: 7.816
- Axial Force : -173,9 kN



Σχήμα 26. Η συμπεριφορά 315 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

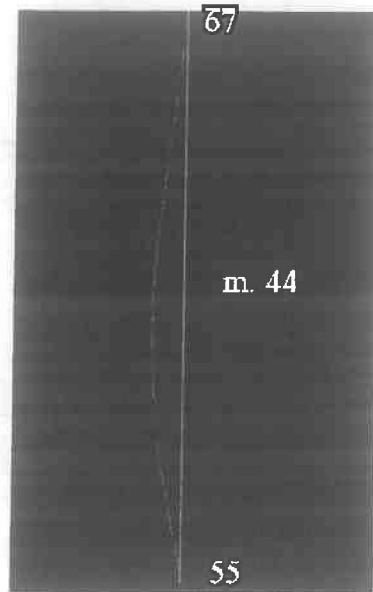
Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά δηλαδή μέχρι τον συντελεστή φόρτισης 4,5 είναι γραμμική η συμπεριφορά του από το συντελεστή 4,5 και μέχρι την κατάρρευση του φορέα παρουσιάζει μια πολύ μικρότερη κλίση. Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις τιμές του συντελεστή φόρτισης (περίπου μέχρι το 4,5) μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση αλλά προηγείται η κατάρρευση του φορέα (από το 4,5 μέχρι την κατάρρευση).



Σχήμα 27. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

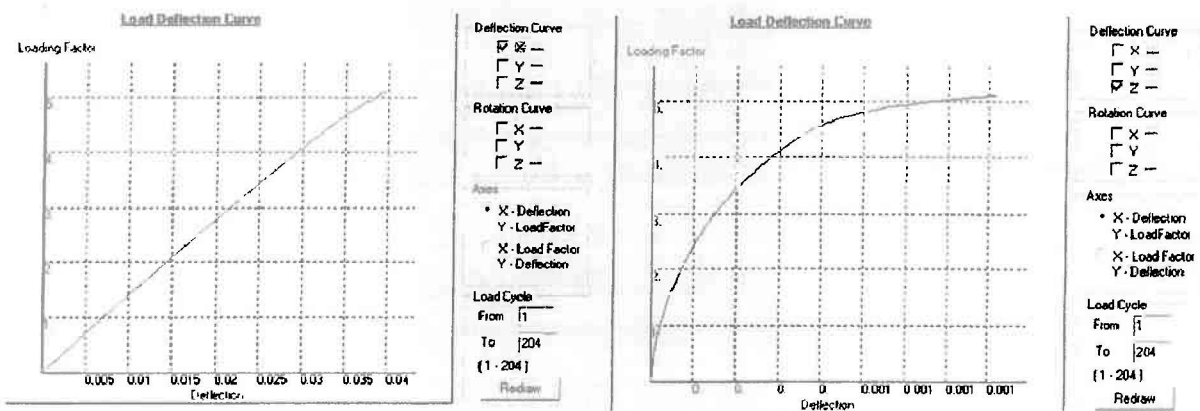
Εδώ η συμπεριφορά του κόμβου 55 είναι παρόμοια με αυτή του κόμβου 315 για την διεύθυνση x, δηλαδή κατά την φορά του ανέμου. Όμως κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα, έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις τιμές του συντελεστή φόρτισης (περίπου μέχρι το 4,5) μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση αλλά προηγείται η κατάρρευση του φορέα (από το 4,5 μέχρι την κατάρρευση).

Λεπτομέρεια 3



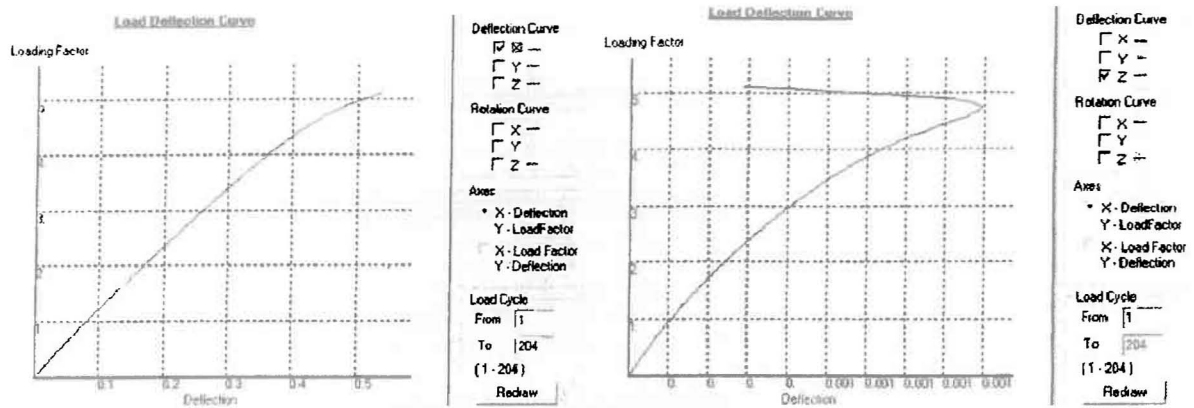
Σχήμα 28. Το μέλος 44 στην πλάνια οψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 55 και 67.
- Section Capacity Factor: 7.661
- Axial Force : -141,2 kN



Σχήμα 29. Η συμπεριφορά 67 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Για τον συγκεκριμένο κόμβο δεν υπάρχει κάτι να παρατηρηθεί εκτός του ότι ο κόμβος 67 κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα, παρουσιάζει μια συμπεριφορά που όσο αυξάνεται ο συντελεστής φόρτισης αλλάζει συνεχώς και η κλίση.

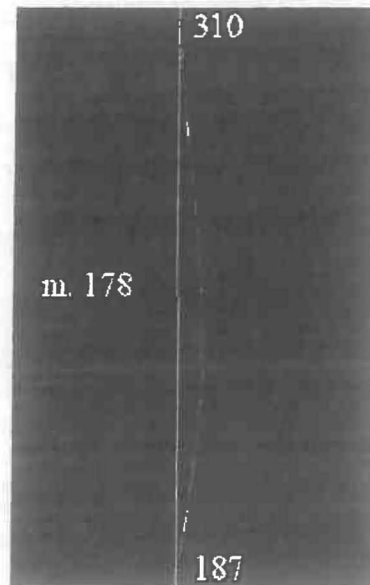


Σχήμα 30. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόοισης(κατά x, κατά z)

Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου κόμβου έχει παρουσιαστεί παραπάνω.

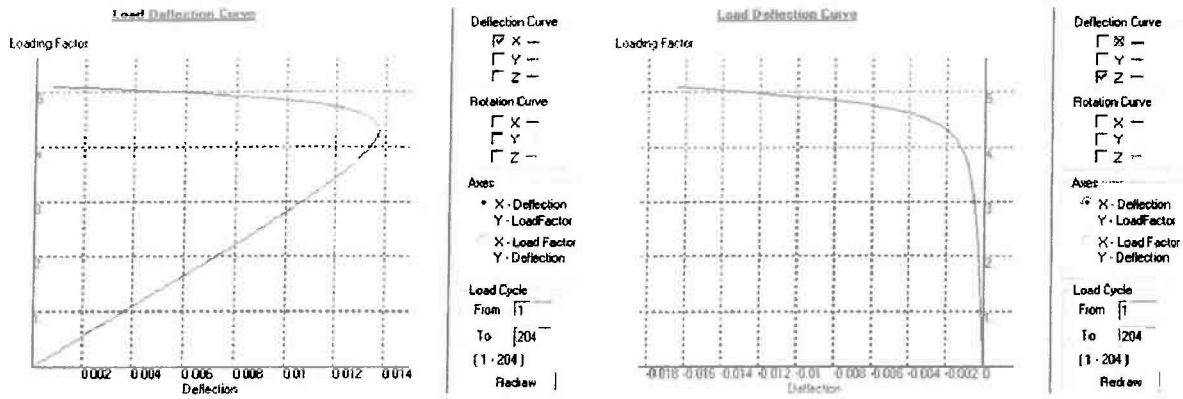
Λεπτομέρεια 4

Το συγκεκριμένο στοιχείο βρίσκεται απέναντι από το μέλος 44.



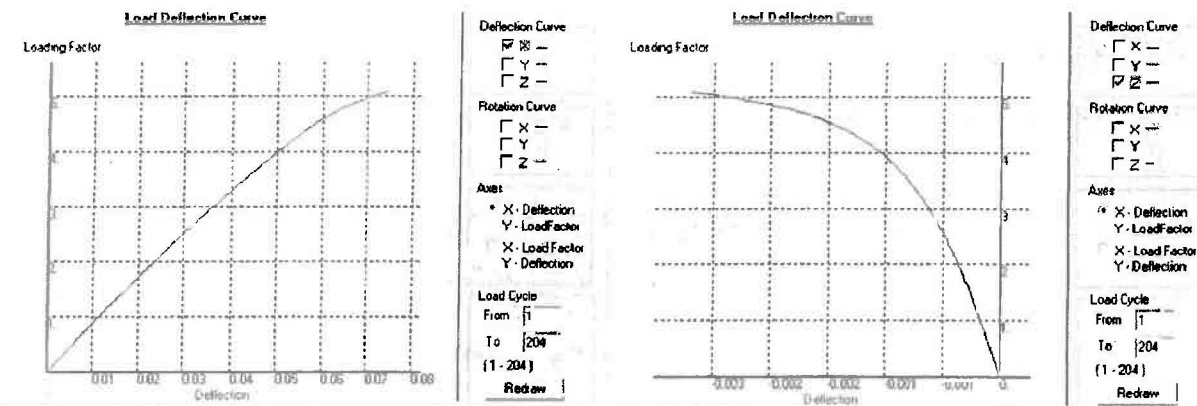
Σχήμα 31. Το μέλος 178 στην πλάνια οψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 187 και 310.
- Section Capacity Factor: 7.902
- Axial Force : -142,3 kN



Σχήμα 32. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

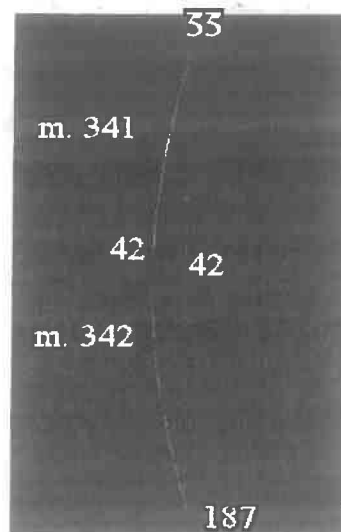
Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου κόμβου έχει παρουσιαστεί παραπάνω.



Σχήμα 33. Η συμπεριφορά 310 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Για τον συγκεκριμένο κόμβο δεν υπάρχει κάτι να παρατηρηθεί εκτός του ότι ο κόμβος 310 κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα, παρουσιάζει μια συμπεριφορά που για μεγάλο συντελεστή φόρτισης η μετακίνηση αυξάνεται εντονότερα.

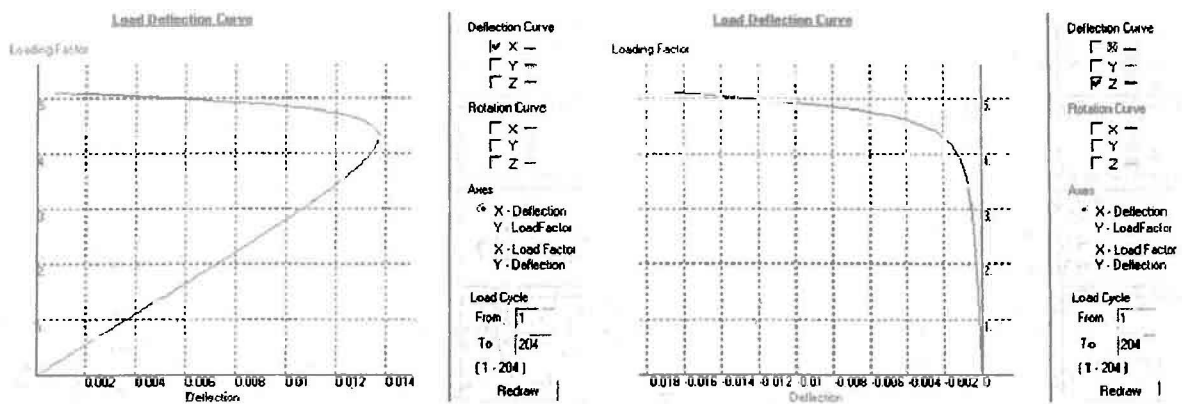
Λεπτομέρεια 5



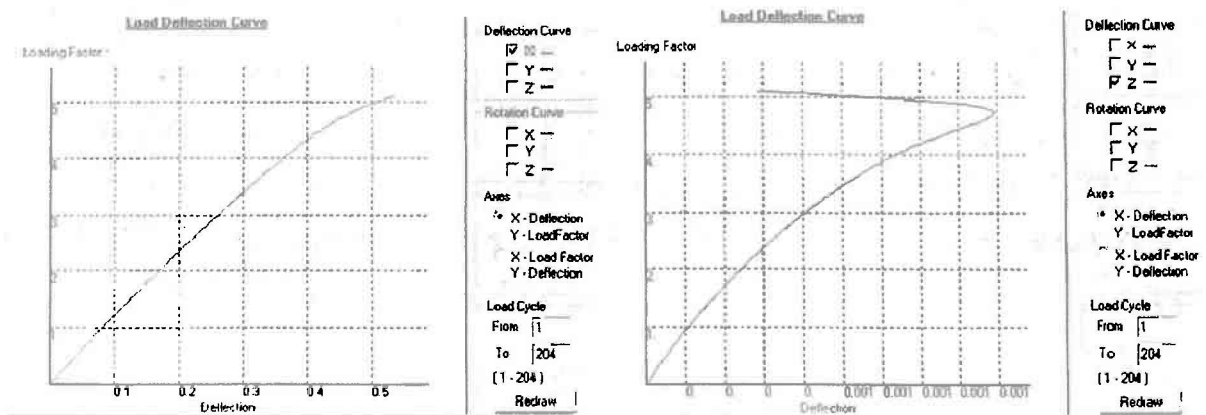
Σχήμα 34. Τα μέλη 340 και 341 στην κάτω του

- Το μέλος 341 ορίζεται από τους κόμβους 55 και 42 ενώ το μέλος 342 από τους κόμβους 42 και 187.
- Section Capacity Factor (341): 9,234
- Section Capacity Factor (342): 9,359
- Axial Force (341): -131 kN
- Axial Force (342): -136 kN

Οι κόμβοι 55 και 187 έχουν μελετηθεί παραπάνω. Απλά παραθέτονται τα διαγράμματα τους.

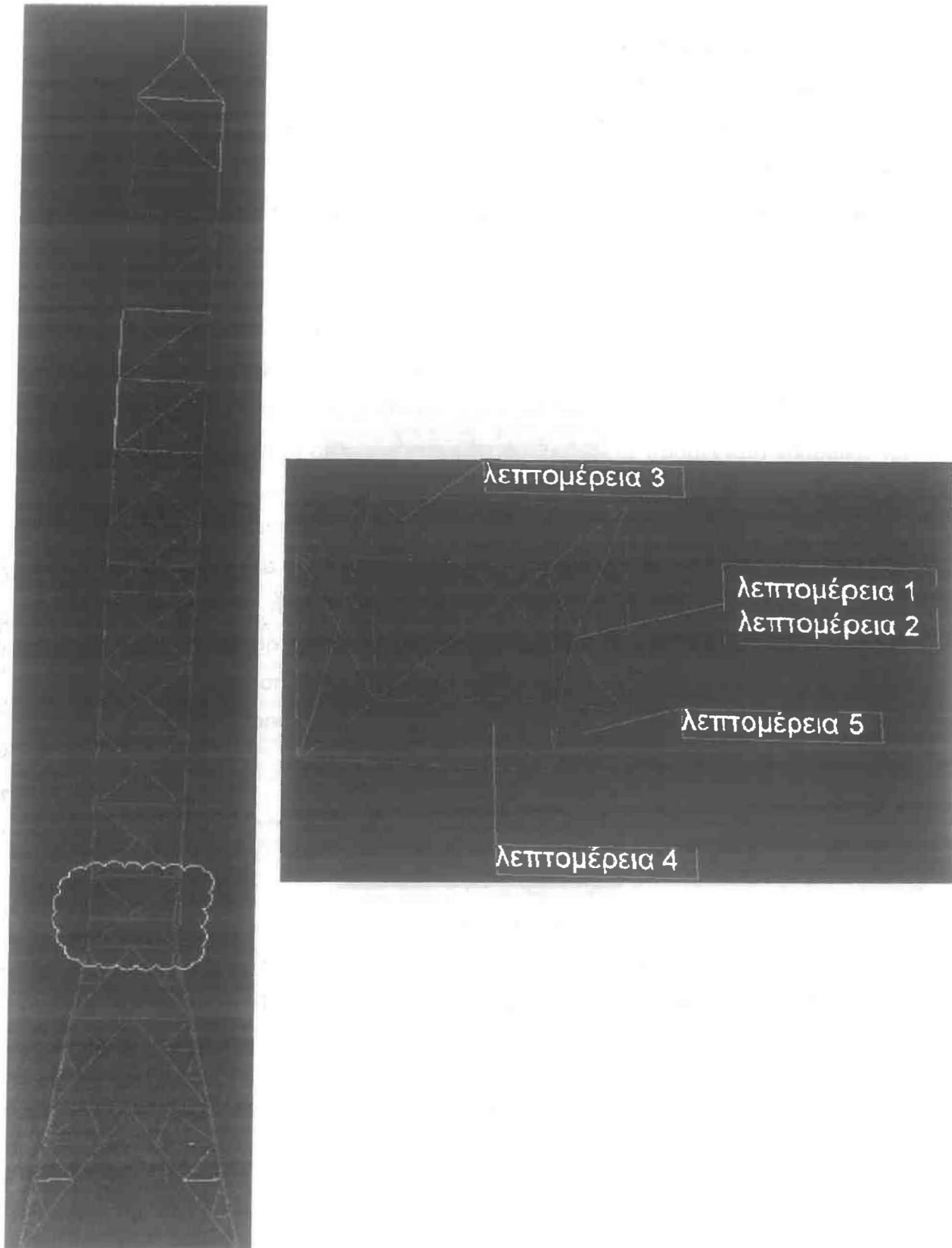


Σχήμα 35. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)



Σχήμα 36. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

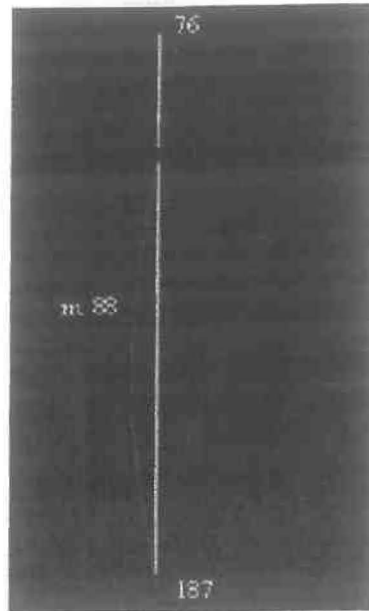
5.2.3. 3^{ος} Συνδυασμός: 1.2 (G + Q + W)



Σχήμα 37. Ο φορέας στο στάδιο κατάρρευσης και σε μενέθυση το τμήμα με τις έντονες παραμορφώσεις

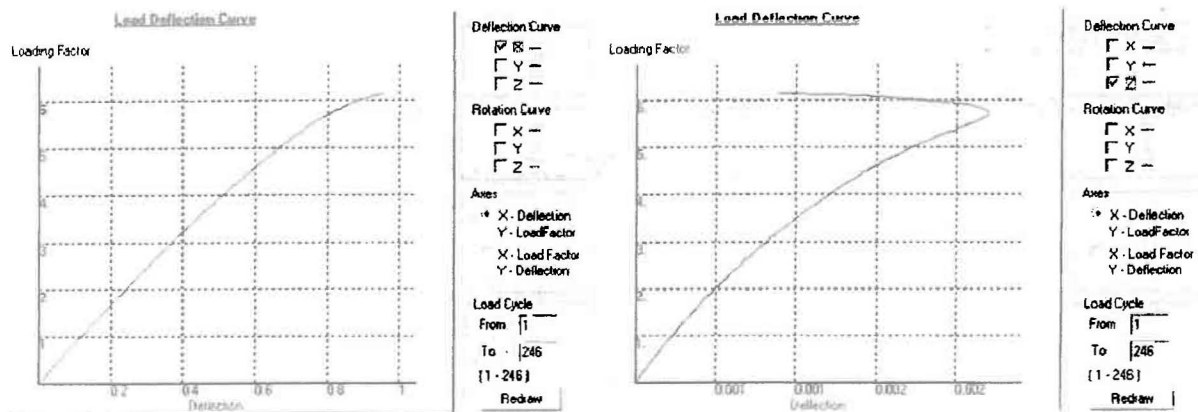
Λεπτομέρεια 1

Η λεπτομέρεια 1 αναφέρεται στο χιαστί μέλος και βρίσκεται απέναντι από την επιφάνεια που προσκρούει ο άνεμος.



Σχήμα 38. Το μέλος 88 στην πλάνια οψη του

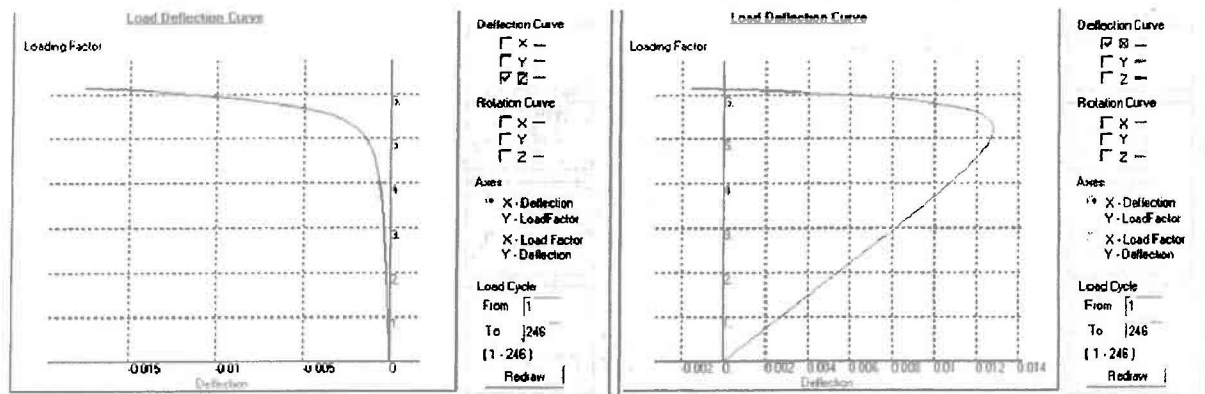
- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 76 και 187.
- Section Capacity Factor: 8.104
- Axial Force : -172 kN



Σχήμα 39. Η συμπεριφορά 76 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά δηλαδή για τις τιμές από 0 έως 5,8 του συντελεστή φόρτισης και για τις τιμές από 5,8 μέχρι την κατάρρευση έχει μικρότερη κλίση. Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή τα το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις τιμές του συντελεστή φόρτισης μέχρι το 5,8 και μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση τείνει να επιστρέψει στην

αρχική του θέση αλλά προηγείται η κατάρρευση του φορέα (από το 4,5 μέχρι την κατάρρευση).

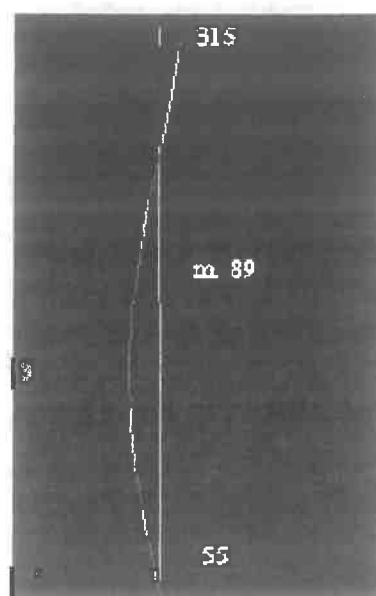


Σχήμα 40. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Εδώ παρατηρούμε ότι συμβαίνει περίπου το ανάποδο. Δηλαδή κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά για τις τιμές από 0 έως 5,8 και μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση αρχίζει να επιστρέφει στην αρχική του θέση πολύ πιο έντονα για τις μεγάλες τιμές αυτού του συντελεστή από το 5,8 μέχρι την κατάρρευση. Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή τα το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις μικρές τιμές του συντελεστή φόρτισης περίπου μέχρι το 5,8 και μετά συνεχίζει περίπου γραμμικά αλλά με μικρότερη κλίση και καταλήγει να γυρίζει προς την αντίθετη διεύθυνση του φορτίου μέχρι την κατάρρευση του φορέα.

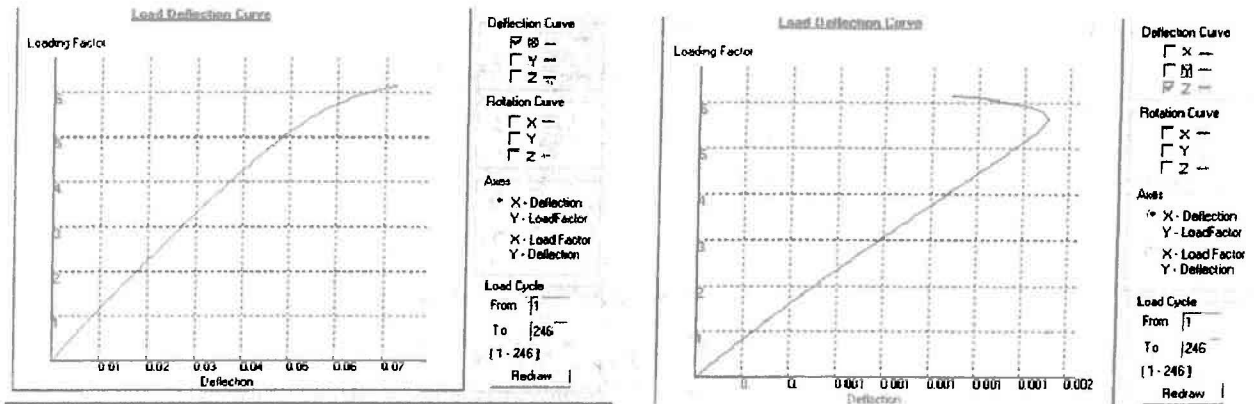
Λεπτομέρεια 2

Η λεπτομέρεια 2 είναι το άλλο μέλος του χιαστί συνδέσμου.



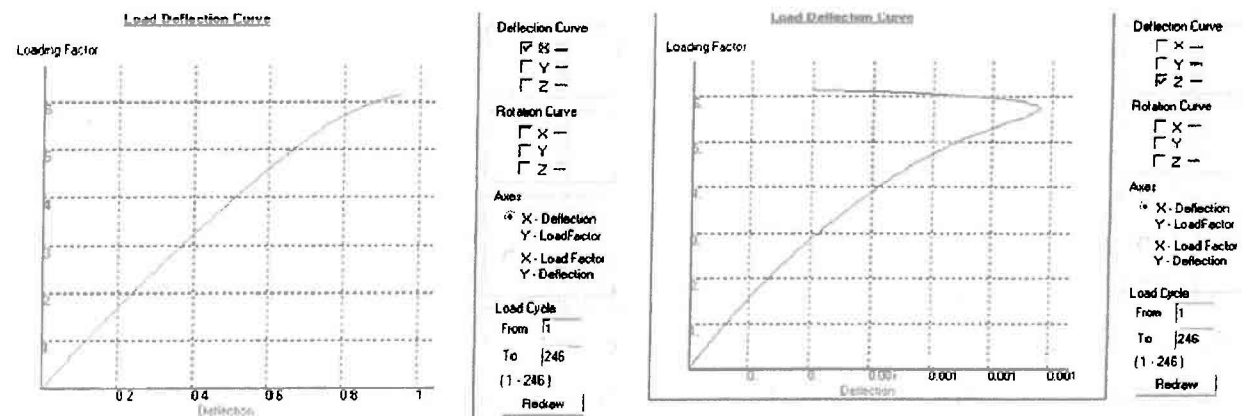
Σχήμα 41. Το μέλος 89 στην πλάνια οψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 55 και 315.
- Section Capacity Factor: 8.034
- Axial Force : -169,7 kN



Σχήμα 42. Η συμπεριφορά 315 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

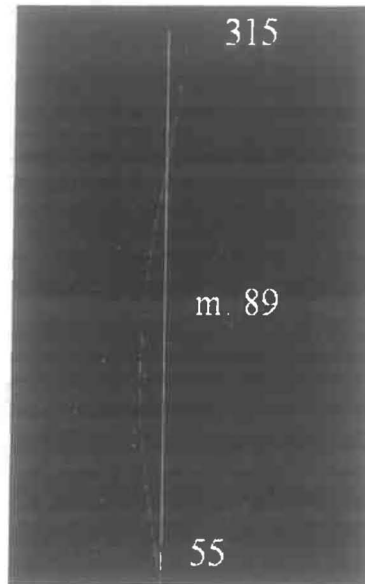
Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ κατά την διεύθυνση x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου ο κόμβος φέρεται κατά προσέγγιση γραμμικά δηλαδή μέχρι τον συντελεστή φόρτισης 5,8 είναι γραμμική η συμπεριφορά του από το συντελεστή 5,8 και μέχρι την κατάρρευση του φορέα παρουσιάζει μια μικρότερη κλίση. Ενώ κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα έχει παρόμοια συμπεριφορά για τις τιμές του συντελεστή φόρτισης περίπου μέχρι το 5,8 και μετά παρουσιάζει μια συμπεριφορά που δείχνει ότι το μέλος κατά αυτήν την διεύθυνση τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση αλλά προηγείται η κατάρρευση του φορέα από το 5,8 μέχρι την κατάρρευση.



Σχήμα 43. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

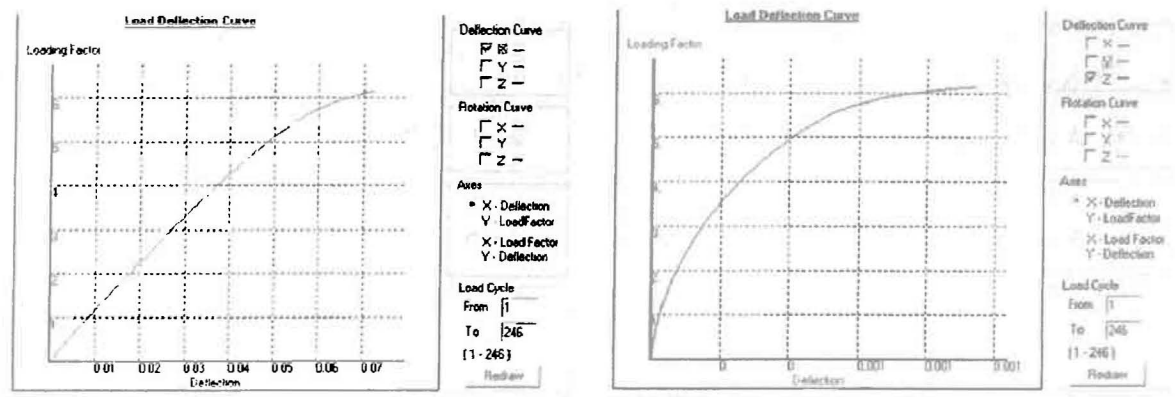
Εδώ η συμπεριφορά του κόμβου 55 είναι παρόμοια με αυτή του κόμβου 315. Η μόνη διαφορά του κόμβου 55 είναι ότι κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα φτάνει πιο κοντά στην αρχική του θέση.

Λεπτομέρεια 3



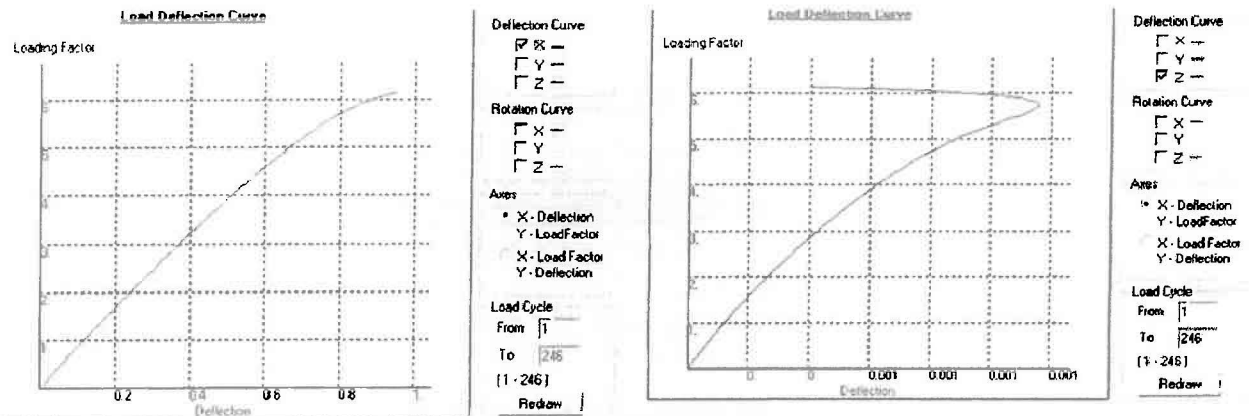
Σχήμα 44. Το μέλος 44 στην πλάνια όψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 55 και 67.
- Section Capacity Factor: 8,211
- Axial Force : -145 kN



Σχήμα 45. Η συμπεριφορά 67 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Για τον συγκεκριμένο κόμβο δεν υπάρχει κάτι να παρατηρηθεί εκτός του ότι ο κόμβος 67 κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα, παρουσιάζει μια συμπεριφορά που όσο αυξάνεται ο συντελεστής φόρτισης αλλάζει συνεχώς και η κλίση.

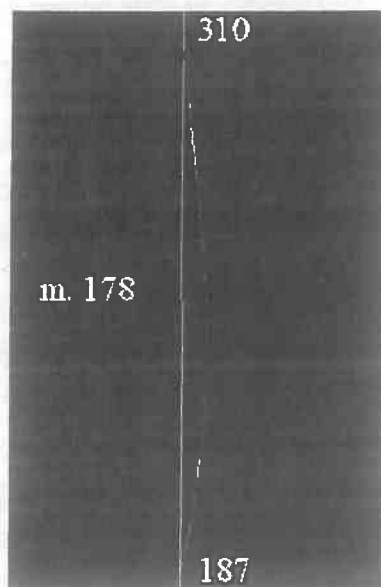


Σχήμα 46. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου κόμβου έχει παρουσιαστεί παραπάνω.

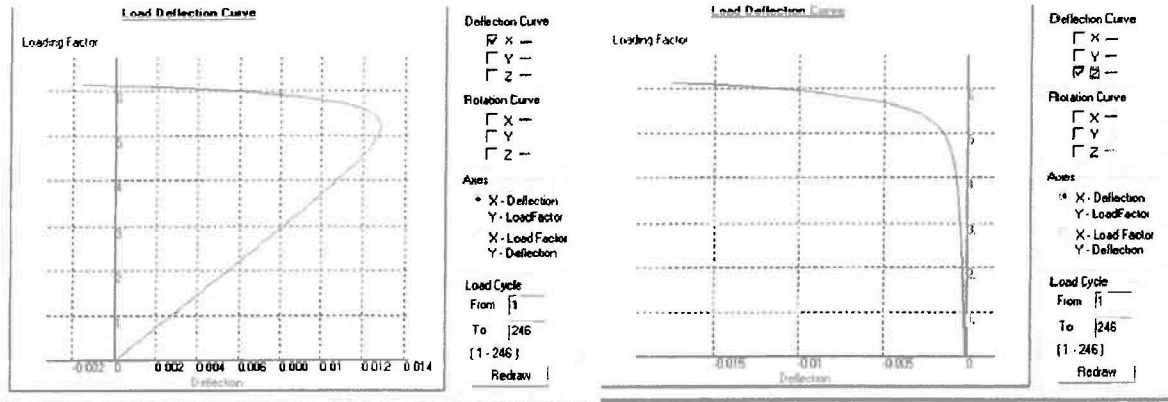
Λεπτομέρεια 4

Το συγκεκριμένο στοιχείο βρίσκεται απέναντι από το μέλος 44.



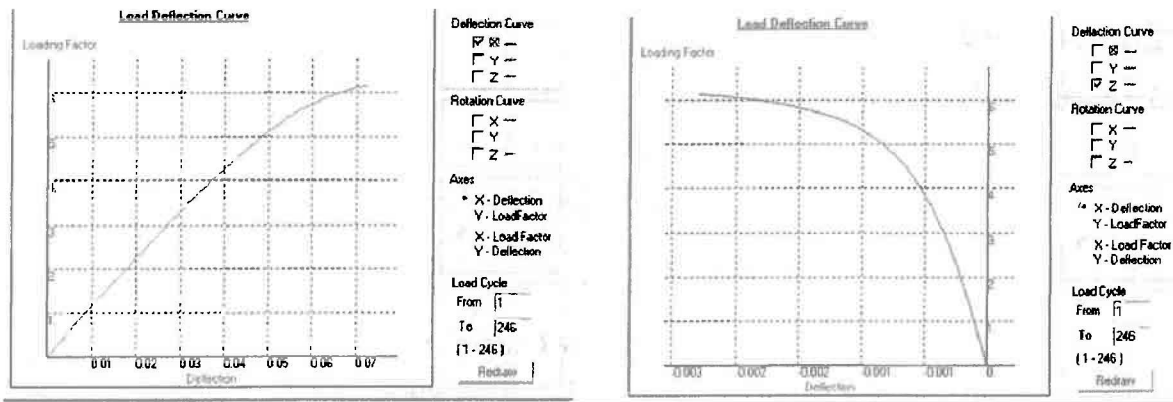
Σχήμα 47. Το μέλος 178 στην πλάνια όψη του

- Το μέλος αυτό ορίζεται από τους κόμβους 187 και 310.
- Section Capacity Factor: 8,49
- Axial Force : -146 kN



Σχήμα 48. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

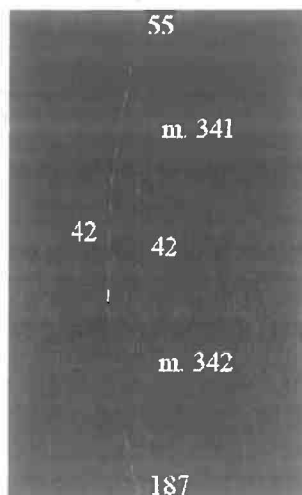
Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου κόμβου έχει παρουσιαστεί παραπάνω.



Σχήμα 49. Η συμπεριφορά 310 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

Για τον συγκεκριμένο κόμβο δεν υπάρχει κάτι να παρατηρηθεί εκτός του ότι ο κόμβος 310 κατά την διεύθυνση z δηλαδή κατά το πλάτος του φορέα, παρουσιάζει μια συμπεριφορά που για μεγάλο συντελεστή φόρτισης η μετακίνηση αυξάνεται εντονότερα.

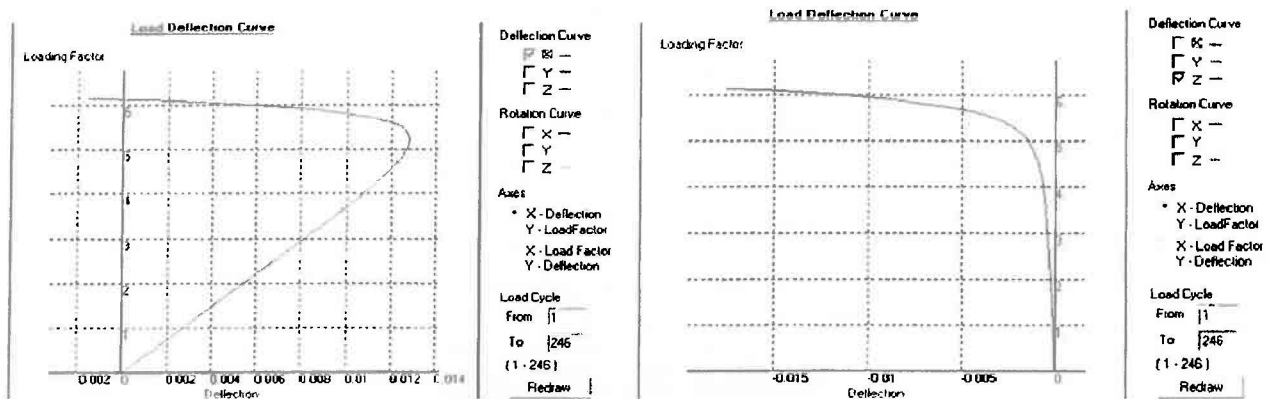
Λεπτομέρεια 5



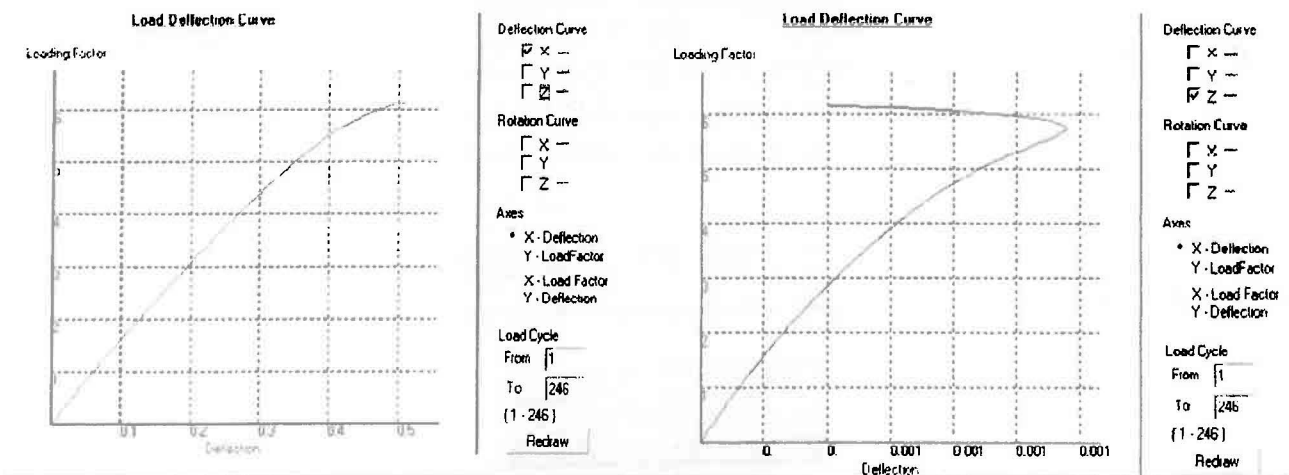
Σχήμα 50. Τα μέλη 340 και 341 στην κάτω του

- Το μέλος 341 ορίζεται από τους κόμβους 55 και 42 ενώ το μέλος 342 από τους κόμβους 42 και 187.
- Section Capacity Factor (341): 7.238
- Section Capacity Factor (342): 7.376
- Axial Force (341): -136 kN
- Axial Force (342): -136,1 kN

Οι κόμβοι 55 και 187 έχουν μελετηθεί παραπάνω. Απλά παραθέτονται τα διαγράμματα τους.



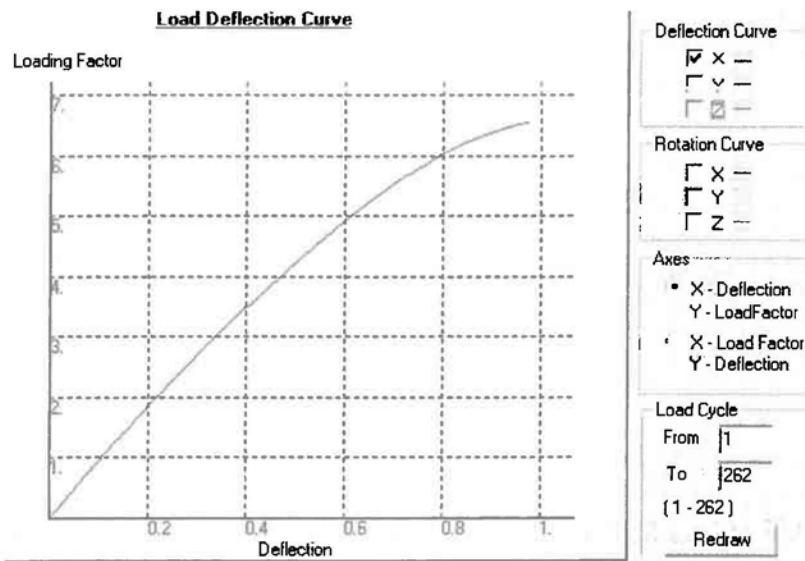
Σχήμα 51. Η συμπεριφορά 187 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)



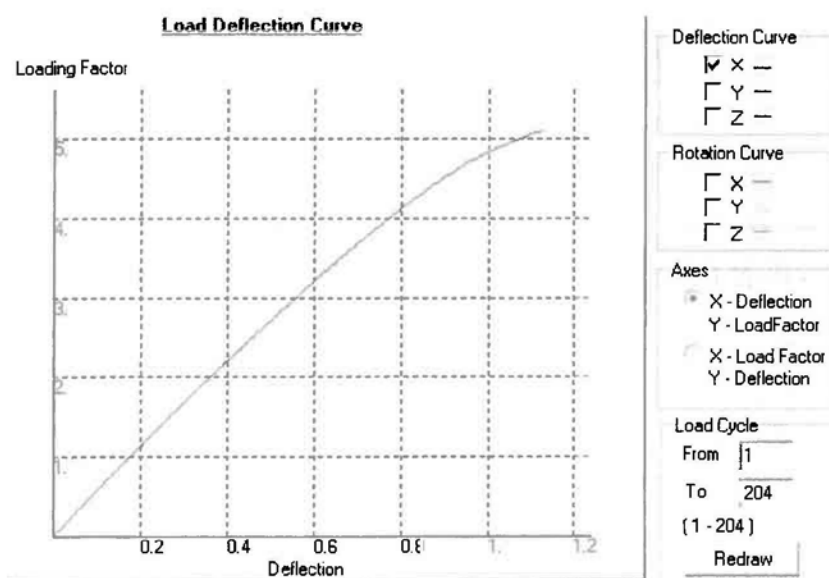
Σχήμα 52. Η συμπεριφορά 55 του κόμβου ανάλογα της φόρτισης(κατά x, κατά z)

5.3. Συμπεριφορά της κεραίας

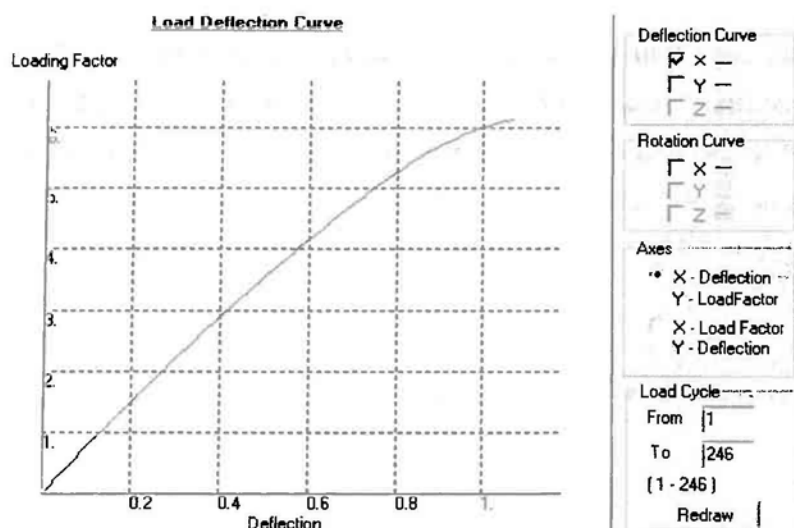
Παρακάτω θα δούμε την συμπεριφορά της κεραίας για κάθε έναν συνδυασμό χωριστά και θα καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι για τον **κρίσιμο συνδυασμό**, έχουμε τις μεγαλύτερες μετακινήσεις για το μικρότερο συντελεστή φορτίου στον άξονα x δηλαδή κατά την φορά του ανέμου.



Σχήμα 53. Η συμπεριφορά της κεραίας ανάλογη της φόρτισης (συνδυασμός: 1.2G+1.6Q+0.96W), κατά x)



Σχήμα 54. Η συμπεριφορά της κεραίας ανάλογη της φόρτισης (συνδυασμός: 1.2G+1.6W+1.12Q), κατά x)



Σχήμα 55. Η συμπεριφορά της κεραίας ανάλογη της φόρτισης (συνδυασμός: 1.2 (G + Q + W), κατά x)

5.4. ΣΥΝΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε όλους τους συνδυασμούς τα μέλη που εμφανίζουν τα φαινόμενα λυγισμού είναι τα ίδια και ανήκουν όλα στο πρώτο τμήμα του ευθύγραμμου τμήματος του χαλύβδινου ιστού.

Συγκεντρωτικός πίνακας μη γραμμικής ανάλυσης του χαλύβδινου ιστού			
Συνδυασμός	1,2G + 1,6Q + 0,96W	1,2G + 1,6W + 1,12Q	1,2 (G + Q + W)
Βήμα Αστοχίας	262	204	246
Φορτίο Αστοχίας	6,55	5,1	6,15
Βήμα αρχής λυγισμού	232	180	232

Συγκεντρωτικός πίνακας ελαστικής ανάλυσης χαλύβδινου ιστού			
Συνδυασμός	1,2G + 1,6Q + 0,96W	1,2G + 1,6W + 1,12Q	1,2 (G + Q + W)
Αριθμός μελών που έχουν διαρρεύσει	21	9	11

Η ελαστική επίλυση του φορέα, δίνει αποτελέσματα αρκετά διαφορετικά από την ανελαστική ανάλυση. Συγκεκριμένα, για τον πρώτο συνδυασμό η ελαστική ανάλυση στο NIDA μας δίνει 21 κρίσιμα μέλη και για τον δεύτερο 9 κρίσιμα μέλη. Αντιθέτως, στη πλαστική ανάλυση ο δεύτερος συνδυασμός είναι ο κρίσιμος καθώς οδηγεί τον φορέα μας σε κατάρρευση στο 204 βήμα, με τον πρώτο συνδυασμό στο 262 βήμα και τον τρίτο συνδυασμό στο 246 βήμα. Επομένως, όπως γίνεται αντιληπτό λύνοντας το φορέα με ελαστική ανάλυση οδηγούμαστε σε λανθασμένα αποτελέσματα, οπότε η επίλυση της κατασκευής πρέπει να γίνεται με μη γραμμική ανάλυση.

6. Βιβλιογραφία

An American National Standard ANSIAISC 360-05., (2005) , “Specification for Structural Steel Buildings”.

R .Shankar Nair., (2005), “Stability Analysis and the 2005 AISC Specification”, Modern Steel Construction.

R .Shankar Nair ., (2009), “A Model Specification for Stability Design by Direct Analysis”, Engineering Journal, First Quarter.

R .Shankar Nair ., (2005) , “Stability and Analysis”, Modern Steel Construction.

John D .Holmes., (2001), “Wind Loading of structures”, Taylor and Francis e-Library.

Z.Y. Shen, G.Q.LI and S.L Chan, (2005), School of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000104172