

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Προμελέτη μεταλλικού θόλου με χρήση χωροδικτύωματος πολλαπλών επιπέδων"

Φοιτητές

Ευαγγελόπουλος Ευστάθιος
Χρύσαλλος Νικόλαος

Τριμελής επιτροπή

Σοφιανόπουλος Δημήτριος Δρ. Πολιτικός Μηχανικός (επιβλέπων καθηγητής)
Περδικάρης Φίλιππος Καθηγητής
Ηλιού Νικόλαος Επίκουρος Καθηγητής

ΒΟΛΟΣ 2000



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 1946/1
Ημερ. Εισ.: 17-07-2000
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΜ
2000
ΕΥΑ

Περιεχόμενα Διπλωματικής Εργασίας

1. Τεύχος Υπολογισμών

2. Σχέδια

Αριθμός Σχεδίου	Θέμα Σχεδίου	Κλίμακα
1	Τρισδιάστατη Απεικόνιση Θολωτής Κατασκευής	
2	Κάτοψη Θολωτής Κατασκευής	
3	Κάτοψη Εξωτερικού Θόλου	1:100
4	Κάτοψη Εσωτερικού Θόλου	1:100
5	Όψη Θολωτής Κατασκευής	1:100
6	Όψη Εξωτερικού Θόλου	1:100
7	Όψη Εσωτερικού Θόλου	1:100
8	Λεπτομέρεια σύνδεσης Εσωτερικού Εξωτερικού Θόλου	
9	Λεπτομέρεια κορυφής Θολωτής Κατασκευής (κάτοψη)	1:50
10	Λεπτομέρεια κορυφής Θολωτής Κατασκευής (τρειςδιάστατο)	1:25

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Δρ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΠΕΡΔΙΚΑΡΗΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΗΛΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2000



αρ. εισ. 203 / 2000

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000062101



Αποφοιτώντας από το τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε όλους τους διδάσκοντες του τμήματος για τις πολύτιμες γνώσεις που μας μετέδωσαν όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστούμε ακόμα την γραμματεία του τμήματος για τις υπηρεσίες που μας προσέφερε.

Ειδικότερα θεωρούμε χρέος μας να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δημήτριο Σοφιανόπουλο για την βοήθεια του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλη την πορεία της. Τέλος ευχαριστούμε τις οικογένειες μας για την ηθική και υλική τους συμπαράσταση κατά την διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων.

*Η εργασία αυτή αφιερώνεται
στους γονείς μας*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 :	Σκοπός, αντικείμενο και διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....σελ. 1
2 :	Εισαγωγή – ιστορική αναδρομή.....σελ. 3
3 :	Θολωτές κατασκευές.....σελ. 8
3.1	Γενικά χαρακτηριστικά – χρήσεις – πλεονεκτήματα.....σελ. 8
3.2	Μέθοδοι συναρμολόγησης και ανέγερσης.....σελ. 2
3.3	Κόμβοι μεταλλικών χωροδικτυωμάτων και θόλων.....σελ 20
4 :	Ανάλυση χωρικών κατασκευών.....σελ. 27
4.1	Από την προχωρημένη ανάλυση στον σχεδιασμό.....σελ 27
4.2	Προχωρημένη ανάλυση και σχεδιασμός χωρικών κατασκευών.....σελ. 29
4.3	Προσεγγιστική δυναμική ανάλυση χωροδικτυωμάτων.....σελ 31
5 :	Σύγχρονες τάσεις – κατασκευαστικές λεπτομέρειες.....σελ. 32
6 :	Συνδεσμολογία θολωτής κατασκευής.....σελ. 35
7 :	Υπολογισμός σε βαθμό προμελέτης μεταλλικού θόλου.....σελ. 38
7.1	Μόνιμα φορτία.....σελ. 38
7.2	Κινητά φορτία.....σελ. 38
7.3	Υπολογισμός ανέμου.....σελ. 40
7.4	Επιλογή στοιχείων κατασκευής.....σελ. 55
7.5	Επιλύσεις - αποτελέσματα.....σελ. 55
8 :	Προμέτρηση υλικών – βάρος της κατασκευής.....σελ 58
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :.....σελ. 61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΚΟΠΟΣ, ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ

ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική παρουσίαση, εμβάθυνση και εφαρμογή των πρόσφατων επιστημονικών δεδομένων και τάσεων, που αφορούν τις τρισδιάστατες (χωρικές) μεταλλικές κατασκευές, με ιδιαίτερη έμφαση στα μεταλλικά χωροδικτύωματα (Χ/Δ) εσχαρών πολλαπλών επιπέδων. Προς τούτο η όλη εργασία διαρθρώνεται ως ακολούθως:

Μετά από μια σύντομη εισαγωγή – ιστορική αναδρομή, που περιέχεται στο Κεφάλαιο 2, το οποίο αναφέρεται συνοπτικά στις χωρικές, όπως ονομάζονται, κατασκευές, το αντικείμενο της εργασίας επικεντρώνεται στις θολωτές κατασκευές, σύμφωνα με το περιεχόμενο του Κεφαλαίου 3. Εκεί παρουσιάζονται λεπτομερώς τα γενικά χαρακτηριστικά, οι χρήσεις και τα πλεονεκτήματα των εν λόγω κατασκευών, οι μέθοδοι συναρμολόγησης και ανέγερσης τους, οι παράμετροι επιλογής της γεωμετρικής τους μορφής και τα είδη των επικαλύψεων που χρησιμοποιούνται διεθνώς, ενώ παρατίθεται και εκτενής αναφορά στα χαρακτηριστικά και τις λεπτομέρειες των κόμβων μεταλλικών Χ/Δ και θόλων της διεθνούς πρακτικής.

Ακολουθεί το Κεφάλαιο 4, που αναφέρεται στην ανάλυση των χωρικών κατασκευών, όπου παρουσιάζονται οι πλέον μοντέρνες μέθοδοι και τεχνικές τόσο στατικής όσο και δυναμικής ανάλυσης χωροδικτυωμάτων και στη συνέχεια το Κεφάλαιο 5, στο οποίο αναλύονται οι σύγχρονες κατασκευαστικές τάσεις και παρατίθενται χαρακτηριστικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες, κατά κόρον σε χρήση διεθνώς.

Με βάση όλα τα ανωτέρω έπεται το κατ' εξοχήν αντικείμενο της διπλωματικής, που πραγματεύεται την προμελέτη μεταλλικού θόλου, ο οποίος μορφώνεται με χωροδικτύωμα δύο επαλλήλων ημισφαιρικών εσχαρών. Η εφαρμογή αυτή λαμβάνει υπ' όψη της την ελληνική πραγματικότητα, όσον αφορά την αγορά στον συγκεκριμένο χώρο, ενώ παράλληλα υιοθετεί τόσο τους ισχύοντες κανονισμούς όσο και τις βασικές κατευθύνσεις της διεθνούς πρακτικής, σύμφωνα με τα όσα διεξοδικά αναφέρονται στα Κεφάλαια 6 και 7. Η σχεδίαση, η διαστασιολόγηση και οι σχετικοί έλεγχοι γίνονται με συνδυασμό ευρέως διαδεδομένου εμπορικού τεχνικού λογισμικού, τα δε αποτελέσματα παρατίθενται στο

τέλος του Κεφαλαίου 7. Και τα δύο αυτά Κεφάλαια συνοδεύονται από τα απαραίτητα δισδιάστατα και τρισδιάστατα σχέδια, προϊόντα του ως άνω λογισμικού.

Τέλος, η παρούσα διπλωματική εργασία εμπεριέχει και τις πλέον βασικές βιβλιογραφικές αναφορές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της.

Βόλος, Ιούνιος 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ^[15]

Ως κατασκευή στο χώρο ορίζεται ένα σύστημα μελών τριών διαστάσεων, το οποίο δύναται να φέρει φορτία, που επιβάλλονται σε οποιοδήποτε σημείο και με οποιαδήποτε διεύθυνση ή κλίση ως προς την επιφάνεια της κατασκευής. Οι *χωρικές κατασκευές* διακρίνονται κύρια στους ακόλουθους τρεις τύπους:

- Χωροδικτώματα (Χ/Δ) ή πλαίσια (με γραμμικά μέλη)
- Κελυφωτές κατασκευές (κελύφη - με γραμμικά και επιφανειακά μέλη)
- Ανηρτημένες κατασκευές (με καλώδια)

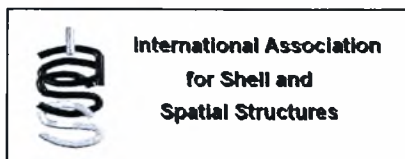
Η αναζήτηση μορφών χωρικών φορέων από τους μηχανικούς, (αρχιτέκτονες, πολιτικούς κλπ), ερευνητές αλλά και κατασκευαστές, ανάγεται σε πολλές δεκαετίες ή και εκατονταετίες πριν. Η ανάγκη ιδιαίτερα για κάλυψη ή ζεύξη μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς ενδιάμεσα υποστηρίγματα, οδήγησε στη χρήση χωρικών φορέων, οι οποίοι όπως είναι πλέον γνωστό, με κατάλληλο σχεδιασμό, παραλαμβάνουν και μεταφέρουν τα διάφορα φορτία, κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Διαισθητικά στην αρχή, εμπειρικά αργότερα και τέλος πλήρως τεκμηριωμένα επιστημονικά σήμερα, εφαρμόστηκε το λεγόμενο *“βιολογικό ισοδύναμο”*, σύμφωνα με το οποίο αναζητούνται στους σκελετούς διαφόρων οργανισμών λειτουργικές μορφές αξιοποιήσιμες σαν φέροντες οργανισμοί σε κατασκευές. Έτσι, χρησιμοποιώντας διάφορα πρότυπα από τη φύση, δημιουργήθηκε μια μεγάλη ποικιλία φορέων στο χώρο, που πέρα από την αναμφισβήτητη αισθητική υπεροχή τους, παρέχουν μεγάλη ακαμψία σε συνδυασμό με μικρό βάρος και οικονομικότερη γενικά κατασκευή. Χρειάστηκε βέβαια αρκετή τόλμη από μέρους των πρωτοπόρων μηχανικών, μέχρι να επιβληθεί αυτή η *“οργανική αρχιτεκτονική”*, σε αυτό όμως βοήθησε πάρα πολύ η διαπίστωση, ότι όλες οι κατασκευές της φύσης γίνονται κατ’ οικονομία, αφού είναι γεγονός ότι οι εσωτερικές δυνάμεις των κατασκευών αυτών κατανέμονται κατά την διεύθυνση της ελάχιστης προσπάθειας. Αυτό οφείλεται στη σωστή διεύθυνση των μελών των τρισδιάστατων κατασκευών στη φύση και στη συγκέντρωση περισσότερης μάζας εκεί όπου απαιτείται λόγω ιδιαίτερης καταπόνησης^[2,9].

Τα χωροδικτώματα (Χ/Δ), τα οποία ανήκουν στον πρώτο τύπο χωρικών κατασκευών, συντίθενται από ευθύγραμμες μη συνεπίπεδες ράβδους, συνδεδεμένες μεταξύ τους στα άκρα τους αρθρωτά, μέσω κόμβων. Ανάλογα με την διάταξη των ράβδων και των κόμβων, δημιουργείται μια μεγάλη ποικιλία μορφών Χ/Δ, η δε επιλογή μιας συγκεκριμένης μορφής για κάποια χρήση, εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, που

θα αναφερθούν στη συνέχεια. Συνήθως κατασκευάζονται από ένα, δύο ή και περισσότερα στρώματα (επίπεδα ή καμπύλα) εσχάρων ράβδων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ενδιάμεσες ράβδους διαφόρων διευθύνσεων, η *κύρια* δε *καταπόνησή* τους είναι *αξονική*. Οι ράβδοι των είναι συνήθως σωληνωτής διατομής (κυκλικές ή ορθογωνικές) και σπανιότερα άλλης μορφής πρότυπη διατομή (π.χ γωνιακά).

Τα χωρικά πλαίσια ανήκουν και αυτά στον πρώτο τύπο χωρικών κατασκευών, συντίθενται δε από μη συνεπίπεδες ράβδους (συνήθως ευθύγραμμες και σπανιότερα καμπύλες) ,συνδεόμενες μεταξύ τους σε **στερεούς κόμβους**. Η καταπόνηση των ράβδων αυτών μπορεί να είναι καμπτική , στρεπτική , αξονική και διατμητική.

Κατ' εξοχήν ειδικός αλλά και θεμελιωτής των χωρικών κατασκευών και ιδιαίτερα των χωροδικτυωμάτων σαν φορέων που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα ευρύ φάσμα κατασκευών υπήρξε ο Πολωνός καθηγητής Z. S. Makowski, που διετέλεσε διευθυντής του Κέντρου Ερευνών Χωρικών Κατασκευών στο Πανεπιστήμιο του Surrey της Μ.Βρετανίας. Στο κέντρο αυτό αλλά και σε πολλά άλλα ΑΕΙ της αλλοδαπής διεξάγονται σήμερα εκτεταμένες έρευνες, θεωρητικές και πειραματικές, πάνω σε αντικείμενα άμεσα σχετιζόμενα με τις χωρικές κατασκευές. Η ανάπτυξη μεθόδων σχεδιασμού και ανάλυσης χωρικών κατασκευών με την βοήθεια Η/Υ , ο υπολογισμός της οριακής αντοχής, η μη γραμμική ανάλυση, η κατάρρευση, τα χωροδικτυώματα πολλών επαλλήλων εσχάρων, η κατανομή τάσεων σε κόμβους σωληνωτών διατομών, η μελέτη βελτιστοποίησης καθώς και πολλά άλλα άκρως ενδιαφέροντα θέματα , είναι τα αντικείμενα ερευνών των κέντρων αυτών.



Η συνεχιζόμενη ανάπτυξη στον σχεδιασμό, ανάλυση και στις τεχνικές κατασκευής κελυφωτών και εν γένει χωρικών κατασκευών έχει σαν αποτέλεσμα τον ολοένα αυξανόμενο όγκο πληροφοριών

πρακτικού ενδιαφέροντος για τους αρχιτέκτονες, μηχανικούς και κατασκευαστές. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τέτοιες κατασκευές έναντι άλλων συμβατικών αλλά και την ανάγκη εξειδίκευσης και συνεχούς ενημέρωσης των μηχανικών διεθνώς επί θεμάτων που τις αφορούν οδήγησε στην ίδρυση της Διεθνούς Ένωσης για τις κελυφωτές και χωρικές κατασκευές (International Association for Shell and Spatial Structures – IASS)* από τον Eduardo

* www.cedex.es/iass

Το 1959. Από το χρονικό αυτό σημείο η IASS αποτελεί την κορυφαία επιστημονική οργάνωση σχετικά με το αντικείμενο των χωρικών κατασκευών, με τις παρακάτω δραστηριότητες:

- i) Οργανώνει ετήσια Διεθνή Συμπόσια με θέματα γενικότερου ενδιαφέροντος
- ii) Έχει υπό την αιγίδα της και υποστηρίζει τις δραστηριότητες αρκετών Ομάδων Εργασίας (OE) και εκδίδει τις πρωτότυπες αναφορές και συστάσεις των για τον σχεδιασμό και την κατασκευή (design and construction).
- iii) Συμμετέχει ενεργά και υποστηρίζει την οργάνωση ενός ή περισσότερων Επιστημονικών Συναντήσεων κάθε χρόνο από μεμονωμένες Ομάδες Εργασίας.
- iv) Εκδίδει ένα έγκριτο επιστημονικό περιοδικό μεγάλου κύρους, το Journal of the IASS τρεις φορές το χρόνο.

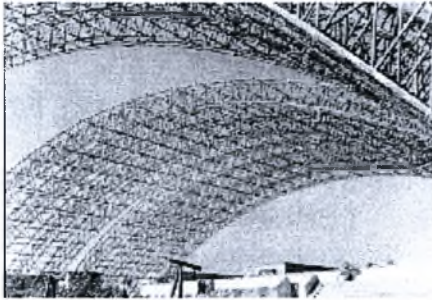
Οι προαναφερθείσες ομάδες εργασίας της IASS στελεχώνονται από κορυφαίους επιστήμονες – ειδικούς, αυτή δε την στιγμή δρουν οι ακόλουθες:

OE1	: Σωλήνες και σιλό	(Pipes and Silos)
OE2	: Πύργοι ψύξης	(Cooling Towers)
OE4	: Ιστοί και πύργοι	(Masts and Towers)
OE5	: Κελύφη οπλισμένου σκυροδέματος	(Reinforced Concrete Shells)
OE6	: Μεμβράνες και εφελκόμενες κατασκευές	(Tension and Membrane Structures)
OE8	: Μεταλλικές χωρικές κατασκευές	(Metal Space Structures)
OE12	: Εύλινες χωροκατασκευές	(Spatial Wood Structures)
OE13	: Αριθμητικές μέθοδοι για κελύφη και χωρικές κατασκευές	(Numerical Methods for Shell and Spatial Structures)
OE15	: Μορφολογία των κατασκευών	(Structural Morphology)
OE16	: Ανακλινόμενες οροφές	(Retractable Roofs)
OE17	: Ιστορικές κατασκευές	(Historical Structures)
OE18	: Περιβαλλοντικό ισοδύναμο κέλυφος χωρικών κατασκευών	(Environmental Compatible Shell of Space Structures)

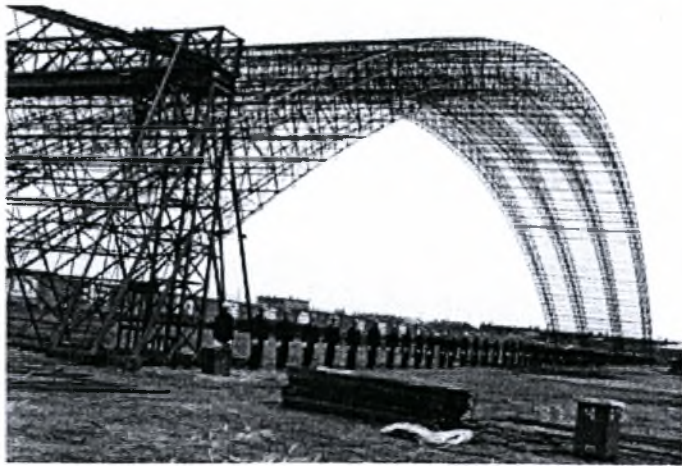
Από την στιγμή που ιδρύθηκε, η IASS εδρεύει στο Κεντρικό Εργαστήριο Κατασκευών και Υλικών του CEDEX στην Μαδρίτη.

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει μια πληθώρα άρθρων, βιβλίων και δημοσιεύσεων σχετικά με το ευρύτατο θέμα των κατασκευών στο χώρο, ενώ πολλά από τα

έργα που κατά καιρούς έχουν ανεγερθεί αποτελούν παραδείγματα αρχιτεκτονικής και κατασκευαστικής τελειότητας*. Δειγματοληπτικά παρατίθενται κατωτέρω μερικές χαρακτηριστικές απεικονίσεις παρόμοιων κατασκευών σε διάφορες φάσεις.



* www.greatbuildings.com



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΟΛΩΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά – χρήσεις - πλεονεκτήματα

Αποτελούν το παλαιότερο ίσως τυπικό παράδειγμα χωρικής κατασκευής. Περικλείουν έναν μέγιστο δυνατό χώρο, με ελάχιστη επιφάνεια κατασκευής, μπορούν δε να καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες οικονομικά και με εύκολη σχετικά ανέγερση. Αρχικό υλικό ήταν η πέτρα και κατόπιν το τούβλο. Τον μεσαίωνα έγινε χρήση ξύλου (υπάρχουν και σήμερα ακόμη τέτοιες κατασκευές από αυτή την περίοδο), με εξωτερική προστατευτική κάλυψη λίθινη κατασκευή. Ο χάλυβας με τα γνωστά του πλεονεκτήματα (μεγάλη αντοχή-μικρό βάρος) άνοιξε στη συνέχεια νέα εποχή για τους μηχανικούς και τις κατασκευές αυτές. Η πρώτη θολωτή κατασκευή από χάλυβα έγινε στο κεντρικό τμήμα της Corn Market στο Παρίσι το 1811, με διάμετρο περίπου 42 m. Οι περισσότεροι από τους πρώτους θόλους ήταν ημισφαιρικοί και είχαν έναν άνω (θλιβόμενο) και έναν κάτω (εφελκυσμένο) δακτύλιο καθώς και έναν αριθμό μεσημβρινών (ολόσωμων ή δικτυωτών), με ευθύγραμμο το κάτω άκρο και καμπύλο το επάνω.

Αργότερα, ο λόγος ύψος / άνοιγμα μειώθηκε (για ευκολία κατασκευής και μείωση υλικών) με αποτέλεσμα όμως να εμφανισθούν οριζόντιες δυνάμεις που συχνά ξεπερνούσαν τη φέρουσα ικανότητα των δακτυλίων και να προκαλείται έτσι κατάρρευση ακόμη και κατά τη φάση της ανέγερσης. Αυτό συντέλεσε στο να ασχοληθούν λεπτομερέστερα οι μηχανικοί της εποχής εκείνης με την ανάλυση των θόλων, και να τεθούν τα επιστημονικά θεμέλια για τη συστηματική μελέτη της κατανομής των τάσεων, αρχικά με γραφικές και κατόπιν με γραφικοαναλυτικές μεθόδους ανάλυσης του προβλήματος. Στη συνέχεια (μετά το 1900) αναπτύχθηκαν αναλυτικές μέθοδοι, σε μια προσπάθεια να αποφευχθούν οι χρονοβόρες γραφικές λύσεις, ιδιαίτερα σε κατασκευές με μεγάλο αριθμό κόμβων και ράβδων. Η ακριβής ανάλυση με τις κλασικές μεθόδους, για κατασκευές που έχουν μεγάλο αριθμό ράβδων, είναι ιδιαίτερα περίπλοκη και ειδικά σε περιπτώσεις θόλων με ανοίγματα ή με ιδιάζουσες συνθήκες στηρίξεων. Το πρόβλημα όμως αυτό έχει σήμερα ξεπεραστεί με την ύπαρξη ειδικών προγραμμάτων για H/Y, με τα οποία, σε πολύ σύντομο χρόνο και με μεγάλη ακρίβεια, επιτυγχάνεται η ανάλυση θόλων περίπλοκης μορφής. Προσεγγιστική ανάλυση για πρακτικούς υπολογισμούς ή για αρχική διαστασιολόγηση, μπορεί να γίνει την χρήση ισοδύναμων κελυφών, καθώς και με τη χρήση προσομοιωμάτων^[12].

Σημαντικός παράγοντας που δεν πρέπει να αμελείται στους θόλους και ιδιαίτερα σε αυτούς με μεγάλο άνοιγμα και ενός επιπέδου, είναι η ευστάθεια. Η πείρα απέδειξε ότι στην περίπτωση αυτή και ειδικά όταν η κατασκευή υπόκειται σε μη συμμετρικές φορτίσεις (π.χ χιόνι ή άνεμος), ο θόλος μπορεί να καταρρεύσει όχι εξαιτίας υπέρβασης τάσεων, αλλά λόγω ελαστικής αστάθειας των θλιβόμενων στοιχείων. Αυτού του είδους καταρρεύσεις είχαν παρατηρηθεί από παλιά, αλλά το φαινόμενο αυτό μελετήθηκε ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, με την επίτευξη κατασκευών μεγάλων ανοιγμάτων, αλλά και με τη χρήση και άλλων πλην του χάλυβα υλικών (αλουμίνιο, πλαστικά). Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι η κατασκευή θόλων με δύο στρώματα (δύο επάλληλες εσχάρες με ενδιάμεσες ράβδους), οπότε η κατασκευή αποκτά μεγάλη ακαμψία, ενώ εξακολουθεί να παραμένει ελαφρά.

Ιδιαίτερη μνεία στην προσφορά του, όσον αφορά την διάδοση των μεταλλικών θόλων, πρέπει να γίνει στον διακεκριμένο μελετητή και κατασκευαστή Buckminster Fuller, ο οποίος υλοποίησε πολλούς φημισμένους γεωδαιτικούς θόλους (δηλαδή βασισμένους στην στερεομετρία των πολυέδρων) κατά τις δεκαετίες 1950 και 1960, χωρίς φυσικά να διαθέτει τα εργαλεία για την ακριβή ανάλυση τους.

Ο πρώτος ερευνητής που έδωσε ιδιαίτερη ώθηση στις θεωρίες για τον σχεδιασμό μεταλλικών θόλων ήταν ο καθηγητής του Πανεπιστημίου του Waterloo (Καναδά) Dr. Douglas Wright. Με βάση τα ευρήματα του δόθηκε η δυνατότητα για τον ασφαλή σχεδιασμό πολλών μεγάλου μεγέθους κατασκευών πριν να καταστούν διαδεδομένοι οι Η/Υ. Οι θεωρίες του Dr. Wright ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται ευρύτατα, καθόσον προσφέρουν ένα γρήγορο και προαισθηματικό τρόπο αντίληψης της δομικής συμπεριφοράς των μεταλλικών θόλων*.

Οι εν λόγω χωρικές κατασκευές διαθέτουν τα πλεονεκτήματα τόσο των χωροδικτυωμάτων όσον και των κελυφών. Σε ένα χωροδικτύωμα τα επί μέρους μέλη προσαρμόζονται από πλευράς μήκους εύκολα και συνήθως καταπονούνται θλιπτικά ή εφελκυστικά και όχι από ροπές, ενώ στις πλείστες των περιπτώσεων δεν απαιτείται ιδιαίτερη πύκνωση και το αποτέλεσμα είναι χαμηλού βάρους. Παράλληλα, ένα κέλυφος διπλής καμπυλότητας, η μορφή είναι τέτοια που σχεδόν κάθε είδους φόρτιση μπορεί να παραληφθεί από μεμβρανικές τάσεις χωρίς να παραστεί ανάγκη αλλαγής του σχήματος της κατασκευής. Οι μεμβρανικές τάσεις, εξ ορισμού δεν περιλαμβάνουν δράσεις λόγω κάμψης, σε αντίθεση με την συμπεριφορά των καλωδίων, των

* βλέπε Κεφάλαιο 4, παρ. 4.3

οποίων το σχήμα πρέπει να αλλάζει, έτσι ώστε να δύνανται να αναλάβουν εναλλασσόμενα φορτία ή με την συμπεριφορά των τόξων που η κύρια καταπόνηση τους είναι καμπτική. Ο συνδυασμός συνεπώς των παραπάνω καθιστούν τους μεταλλικούς θόλους ελαφρύτερους και συγχρόνους ανθεκτικότερους από άλλες κατασκευές.

Θόλοι κυκλικής κάτοψης κατασκευάζονται όπως προαναφέρθηκε από αρχαιοτάτων χρόνων. Ένας τέτοιος θόλος, το Πάνθεον, υπήρξε για περισσότερα από 1300 χρόνια η μεγαλύτερη «ανοιχτής οροφής» (spanning roof) κατασκευή στον κόσμο. Η εφαρμογή νέων μεθόδων και υλικών, όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα και ο μεταλλικός σκελετός κατέστησαν τους θόλους με κάτοψη κάποια κωνική τομή (κύκλο, έλλειψη κλπ.) ιδιαίτερα αποτελεσματικούς και δημοφιλείς. Συγκριτικά ενώ το Πάνθεον με άνοιγμα 44m είχε ίδιο βάρος μεγαλύτερο από 4000kg/m^2 , ένας μοντέρνος θόλος από οπλισμένο σκυρόδεμα παρόμοιων διαστάσεων θα είχε ίδιο βάρος περίπου 200kg/m^2 , ενώ μια αντίστοιχη μεταλλική κατασκευή, π.χ. από γαλβανισμένο χάλυβα, όχι περισσότερο από 10kg/m^2 .

Οι θολωτές μεταλλικές κατασκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών. Επιγραμματικά αναφέρονται παρακάτω μερικές περιοχές χρήσεις τους.

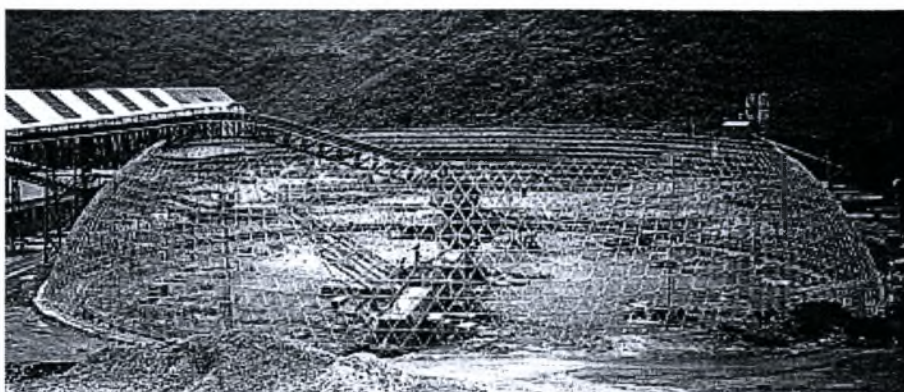
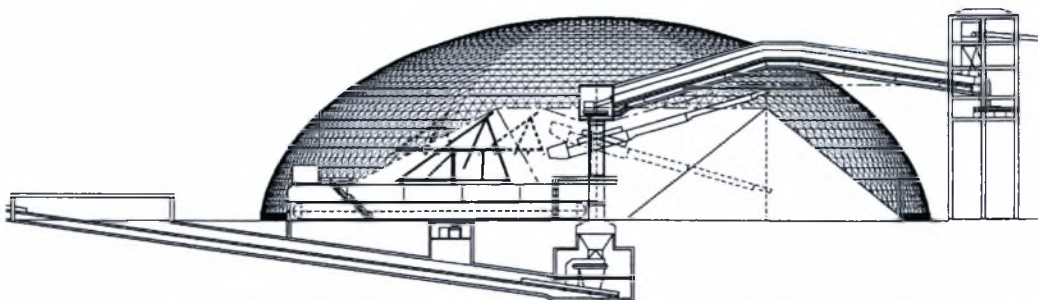
- Εμπορικά και εκθεσιακά κέντρα
- Τράπεζες
- Κτίρια μουσικής
- Στάδια
- Κολυμβητήρια
- Κτιριακά συγκροτήματα
- Εστιατόρια
- Αγορές
- Θερμοκήπια
- Αίθουσες συνεδριάσεων

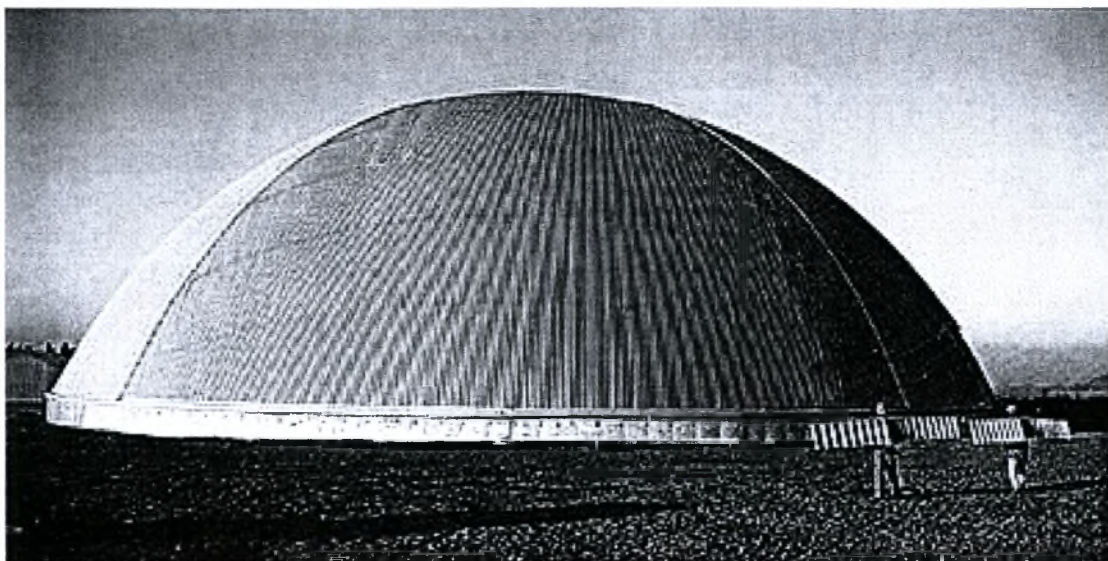
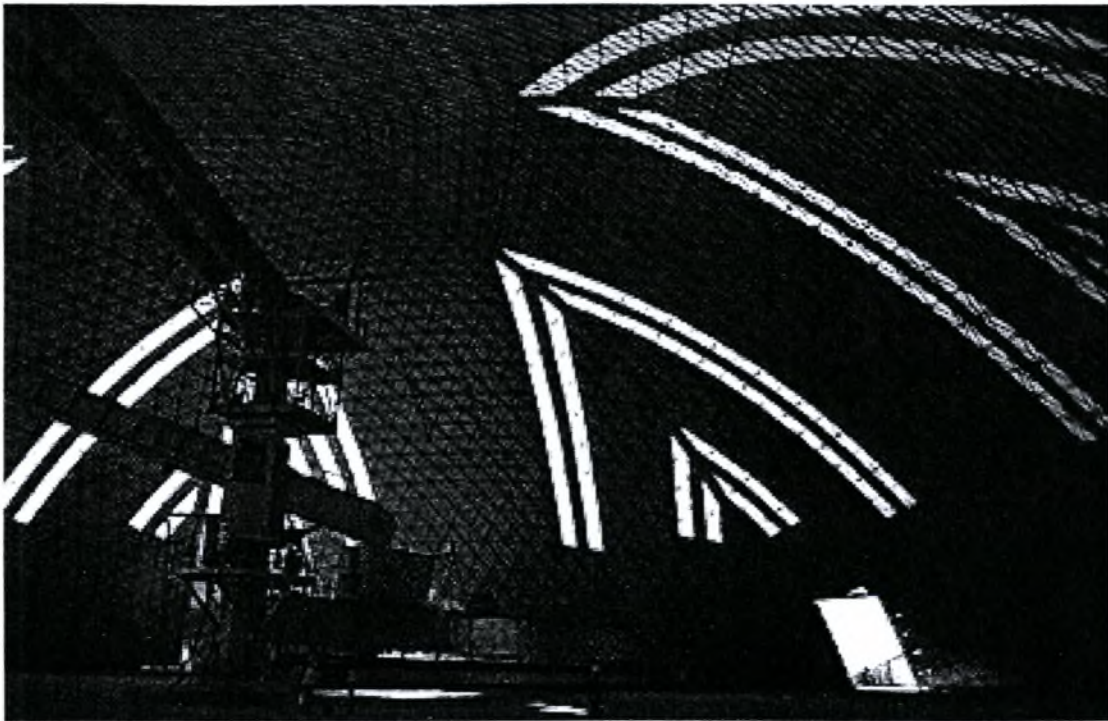
Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των μεταλλικών θόλων, πέραν των ήδη αναφερθέντων, είναι συνοπτικά τα εξής:

- Σαν τυπικές κατασκευές τριών διαστάσεων, παραλαμβάνουν τα εξωτερικά επιβαλλόμενα φορτία και τα ανακατανέμουν στο εσωτερικό τους προς όλες τις κατευθύνσεις.

- Λόγω του υψηλού βαθμού υπερστατικότητας, ο λυγισμός ενός θλιβόμενου μέλους λόγω μεγάλου συγκεντρωμένου φορτίου δεν προκαλεί και κατάρρευση όλης της κατασκευής, αλλά απλή ανακατανομή τάσεων.
- Έχουν μεγάλη ακαμψία και κατά συνέπεια μικρή παραμορφωσιμότητα.
- Τα πειράματα και οι μελέτες έχουν δείξει ότι έχουν πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε πυρκαγιά από τις συμβατικές κατασκευές.
- Μπορούν να συντίθενται από προκατασκευασμένα τεμάχια, πράγμα που εξασφαλίζει ακρίβεια, αλλά και ταχύτητα ανέγερσης. Επί πλέον, το μικρό μέγεθος των τεμαχίων αυτών απλοποιεί την κατασκευή, μεταφορά και ανέγερση.
- Το διάστημα μεταξύ της άνω και της κάτω εσχάρας, εφόσον υφίστανται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (θέρμανση, εξαερισμός κλπ).
- Ανθίστανται ικανοποιητικά σε οριζόντιες σεισμικές δράσεις καθώς και σε εναέριες ή τρομοκρατικές επιθέσεις και εκρήξεις, καλύτερα από κάθε άλλο τύπο κατασκευής.
- Παρέχουν τα γνωστά εκπληκτικά αισθητικά αποτελέσματα, λόγω των πολλών μορφολογικών δυνατοτήτων και αυτός είναι ο λόγος που συνήθως δεν χρησιμοποιείται ψευδοροφή σε αυτές τις κατασκευές.

Κατωτέρω παρατίθενται τέσσερις χαρακτηριστικές απεικονίσεις ενός ελλειπτικού θόλου κατά τις διάφορες φάσεις ανέγερσης του μέχρι την τελική του εικόνα.





3.2. Μέθοδοι συναρμολόγησης και ανέγερσης^[16]

Στην διεθνή τεχνική, ιδιαίτερα τα τελευταία 20 χρόνια, εφαρμόζεται ένας αριθμός προσεγγίσεων και μεθόδων για την συναρμολόγηση και ανέγερση μεταλλικών χωροδικτυωμάτων και θολωτών κατασκευών. Στις επόμενες παραγράφους παρατίθεται συνοπτική περιγραφή των κυριότερων μεθόδων συναρμολόγησης, που δύνανται να χρησιμοποιηθούν, καθώς και αναφορά στους παράγοντες, με βάση τους οποίους κάθε μια από αυτές επιλέγεται. Σημειωτέον ότι οι τεχνικές που περιγράφο-

νται κατωτέρω άλλες φορές εφαρμόζονται αυτοτελώς για την υλοποίηση μιας θολωτής κατασκευή και άλλες σε συνδυασμό μεταξύ τους.

A. Μέθοδος γερανού (Crane Method)

Πρόκειται για την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο, που είναι ταυτόχρονα και η πλέον προσαρμόσιμη. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι οι γερανοί είναι διαθέσιμοι σε πολλά εργοτάξια καθώς και ότι υφίσταται η δυνατότητα προ-συναρμολόγησης της χωρικής ή θολωτής κατασκευής σε μια τοποθεσία και η μεταφορά της σε άλλη. Επιπρόσθετα η ανύψωση-περιστροφή με γερανό επιτρέπει την ταυτόχρονη προετοιμασία και διευθέτηση του χώρου του εργοταξίου με την συναρμολόγηση της όλης μεταλλικής κατασκευής.

Περιορισμό στην εν λόγω μέθοδο αποτελεί η ανυψωτική ικανότητα των γερανών – όσο μεγαλύτερο το προς ανύψωση βάρος τόσο δυσκολότερη και δαπανηρότερη η εύρεση-εξασφάλιση κατάλληλου γερανού. Σε πολλά έργα δε η ανύψωση επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη κατάλληλα συνδυασμένη χρήση πολλαπλών γερανών. Επιπρόσθετα, αν η επικάλυψη (είτε panels είτε μεμβράνες) τοποθετείται και στερεώνεται ενώ το χωροδικτύωμα συναρμολογείται, είναι απαραίτητο να ληφθεί μέριμνα, ούτως ώστε το αιωρούμενο (ή μερικά στηριζόμενο) μέρος της κατασκευής να δυνηθεί να αναλάβει αυξημένο φορτίο ανέμου. Άλλη μια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά την εφαρμογή της μεθόδου του γερανού είναι ο προσεκτικός σχεδιασμός των λεπτομερειών και η ορθολογική επιλογή ενός ικανού αριθμού σημείων στήριξης των καλωδίων κατά τις διάφορες φάσεις ανέγερσης.

B. Μερική συναρμολόγηση (Partial Assembly)

Σε πολλές κατασκευές μεγάλου ανοίγματος (μήκους), όπως οι τοξωτοί φορείς, τα χωροδικτύωματα συναρμολογούνται σε μέρη (με μια από τις μεθόδους που πραγματευόμεθα εδώ) και συνδέονται κατόπιν επί τόπου.

Γ. Επί τόπου συναρμολόγηση (Assembly in Place)

Εφαρμόζεται συνήθως σε μικρού βάρους χωροδικτύωματα, τόξα και θόλους (τις περισσότερες φορές από αλουμίνιο), καθόσον κάθε δομικό μέλος (strut) ανυψώνεται από έναν, το πολύ δύο άνδρες. Το συνεργείο ανέγερσης συχνά εργάζεται πάνω σε κινούμενες πλατφόρμες ή ανυψωτές, σε ορισμένα δε έργα, καθώς μορφώνεται το χωροδικτύωμα, καθίσταται το ίδιο προσωρινό δάπεδο εργασίας με χρήση βοηθητικών σανιδωμάτων (που στηρίζονται στα ήδη συναρμολογημένα μέλη της κατασκευής).

Δ. Μέθοδος κατακόρυφωσης

Σε έναν αριθμό έργων, που το χωροδικτύωμα υποστηρίζει κατακόρυφους τοίχους πλήρωσης ή παραπετάσματα (curtain walls), τούτο συναρμολογείται ολόκληρο οριζόντιο επί του εδάφους. Μετά το πέρας της συναρμολόγησης το χωροδικτύωμα ανυψώνεται και λαμβάνει την κατακόρυφη θέση με χρήση ηλεκτρικών βαρούλκων.

Ε. Μέθοδος A-Frame

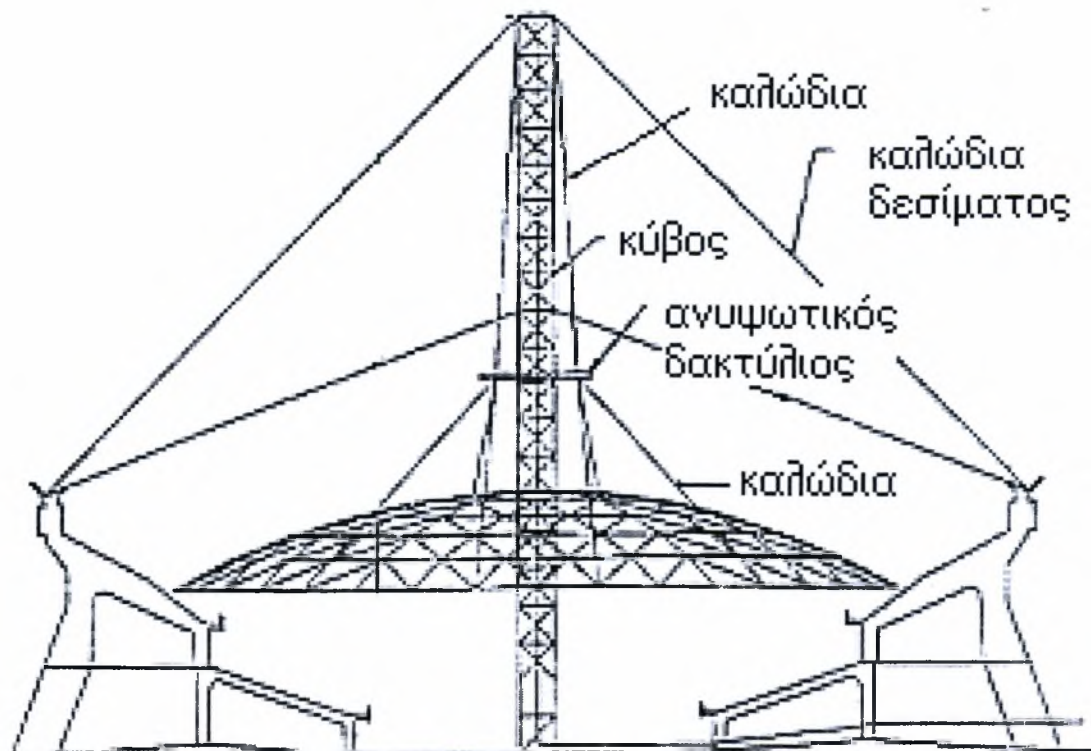
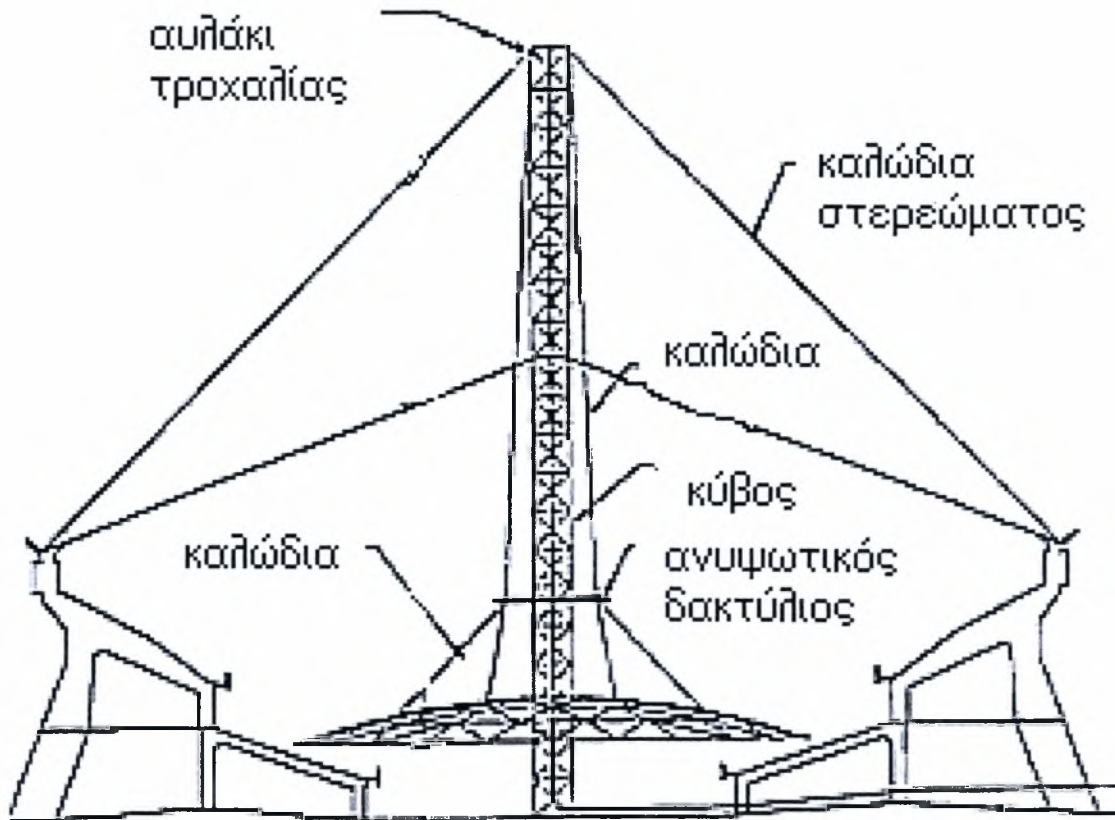
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για σχετικά μικρού μεγέθους ή βάρους κατασκευές, που τυπικά αποτελούνται από πλαισιώματα, στα οποία η όποια επικάλυψη τοποθετείται μετά την πλήρη ανέγερση και στερέωση-αγκύρωση της κατασκευής. Το μέγεθος του χωροδικτύωματος ή θόλου που μπορεί να ανεγερθεί με χρήση της εν λόγω μεθόδου καθορίζεται από το βάρος που μια μονάδα A-Frames μπορεί να ανυψώσει. Η ανέγερση γίνεται συνολικά ή ανά πλευρά, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο έργο.

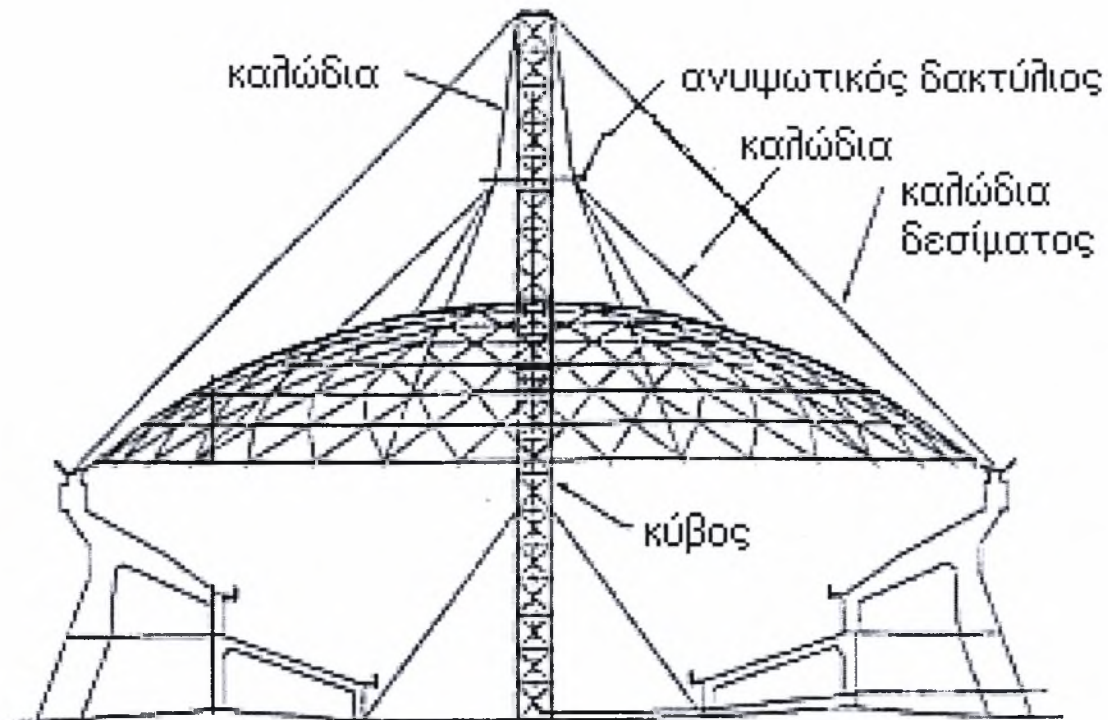
ΣΤ. Μέθοδος ανυψωτικών πύργων (Tower Jack Method)

Το σύστημα της μεθόδου αυτής χρησιμοποιεί αυτοστηριζόμενους ή ενισχυμένους με καλώδια ανυψωτικούς πύργους, που διαθέτουν έναν ή περισσότερους δακτύλιους ανύψωσης. Οι πύργοι αυτοί είναι κατά το δυνατόν ελαφρότεροι, ώστε να δύναται εύκολα να συναρμολογηθούν με το χέρι. Ένα ηλεκτρικό βαρούλκο είναι εγκατεστημένο στη βάση του πύργου, εναλλακτικά δε το καλώδιο ανύψωσης είναι συνδεδεμένο με κάποιο γερανό, ο οποίος μερικές φορές βρίσκεται σε απόσταση αρκετών δεκάδων (ή και εκατοντάδων) μέτρων μακριά από τον τόπο του έργου.

Μια παραλλαγή της μεθόδου είναι η λεγόμενη «κεντρικού πύργου» (center tower assembly method), που έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική και οικονομική για ανέγερση κατασκευών όπου η μέθοδος των γερανών δεν είναι εφαρμόσιμη. Συνήθως ο κεντρικός πύργος παρέχεται έτοιμος, εξοπλισμένος με δικό του σύστημα καλωδίων ακαμψίας, έτσι ώστε ο θόλος να κατασκευάζεται γύρω από τον πύργο (συνολικά ή τμηματικά) και να ανυψώνεται, είτε με ηλεκτρικό Βίντσι είτε με απομακρυσμένο γερανό. Κατά την συναρμολόγηση ενός θόλου, ο πρώτος του δακτύλιος κατασκευάζεται γύρω από τον πύργο και παρόμοια προστίθενται και περισσότεροι δακτύλιοι. Καθώς αυξάνει το ύψος του θόλου, η κατασκευή σταδιακά ανυψώνεται, ώστε η συναρμολόγηση να γίνεται στο έδαφος. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές αυτής της ιδιαίτερα δημοφιλούς τεχνικής, ανάλογα με το είδος της επικάλυψης, τον τύπο

του θόλου και την τελική υψομετρική διαμόρφωση της κατασκευής. Στα σκαριφήματα που ακολουθούν μπορεί κανείς να παρακολουθήσει τις φάσεις ανέγερσης ενός θόλου σταδίου στο Estadio de Boxeo στο Santo Domingo, Δομινικανή Δημοκρατία.





Z. Μέθοδος ανυψωτικής περόνης (Forklift Method)

Είναι παρόμοια με αυτή του A-Frame, με τη διαφορά ότι μέσω της τρέχουσας μεθόδου υφίσταται η δυνατότητα ανέγερσης τόξων και θόλων μεγαλύτερου βάρους, αφού οι ανυψωτικές περόνες έχουν παρόλο το μικρό τους μέγεθος αυξημένες δυνατότητες. Η όλη τεχνική συνίσταται στην ύπαρξη ικανού αριθμού περονοφόρων ανυψωτών από την μια πλευρά της κατασκευής, σε κατάλληλο ύψος, ώστε η κατασκευή να εδράζεται εκεί, ενώ η απέναντι πλευρά ανυψώνεται με χρήση άλλων παρόμοιων μηχανημάτων σε επόμενο επίπεδο κ.ο.κ.

H. Μέθοδος αερόσακων (Air Jack Method)

Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους αερόσακους, οι οποίοι τοποθετούνται κάτω από την κατασκευή, με πεπιεσμένο δε αέρα διογκώνονται με αποτέλεσμα το χωροδικτύωμα να ανυψώνεται σταδιακά, στις διάφορες φάσεις ανέγερσης. Η μέθοδος είναι ιδεώδης για δυσπρόσιτα ή ανώμαλα εδάφη, οι δε αερόσακοι έχουν συνήθως σχήμα τόρου.

Θ. Μέθοδος αυτοδιόγκωσης (Self Inflation Method)

Εφαρμόζονται σε θόλους που ξεπερνούν τις ανυψωτικές δυνατότητες των γερανών ή των πύργων, επιτρέπει δε και την παράλληλη τοποθέτηση και εγκατάσταση της επικάλυψης, καθώς το χωροδικτύωμα συναρμολογείται. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μια πλευρικά ενισχυμένη μεμβράνη σχήματος κόλουρου κώνου, της οποίας η πάνω και κάτω περίμετρος διαθέτει καλώδια, που λειτουργούν ως εφελκυστικοί δακτύλιοι. Κάθε φορά που μια σειρά (οριζόντια) του χωροδικτύωματος συναρμολογείται στον αέρα, ο θόλος καταβιβάζεται προσωρινά και κατόπιν οι μονάδες έμφυσης λειτουργούν πιο δυνατά, με αποτέλεσμα ο θόλος να ανυψώνεται πιο πάνω, προκειμένου κατασκευαστεί η επόμενη σειρά κ.ο.κ. Απαιτείται πάντως ο θόλος να είναι συνδεδεμένος με καλώδια σταθεροποίησης, για να μην υφαρπαγεί από τον άνεμο, που θα είναι αγκυρωμένα σε ήδη έτοιμες βάσεις από σκυρόδεμα. Καθόσον δε, κατά την εξέλιξη της όλης διαδικασίας, η μεμβράνη αυξάνει σε διάμετρο, απαιτούνται επίσης ειδικές στηρίξεις-αναρτήσεις μέσω καλωδίων, που θα εξασφαλίζουν επαρκή ευστάθεια, σε περίπτωση που τα συστήματα έμφυσης (κύρια και δευτερεύοντα) αστοχήσουν συγχρόνως.

I. Μέθοδος ελικοπτέρου (Helicopter Method)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε ακραίες περιπτώσεις και αφού άλλες μέθοδοι έχουν ήδη εφαρμοστεί για την τμηματική ή συνολική συναρμολόγηση της κατασκευής μακριά από τον τόπο του έργου. Αποτελεί ιδεώδη λύση για μικρές σε μέγεθος και βάρος κατασκευές, όταν για οποιονδήποτε λόγο η μέθοδος του γερανού δεν δύναται να εφαρμοστεί. Περιορισμοί στην εφαρμογή της είναι το μεγάλο κόστος ενοικίασης ελικοπτέρου, τα όρια ανυψωτικής ικανότητας και κάποιες αρκετά επίπονες νομικές διαδικασίες (ειδική άδεια πτήσης πάνω από αυτοκινητόδρομους και κατοικημένες περιοχές).

3.3. Γεωμετρία θόλων και είδη επικαλύψεων

Η επιλογή της γεωμετρίας ενός θόλου, με άλλα λόγια η γεωμετρική μορφή και η όλη αρχιτεκτονική σύνθεση, επηρεάζουν τα μέγιστα τόσο το κόστος όσο και το υλικό κατασκευής. Για παράδειγμα, μεγάλα επίπεδα τριγωνικά panels που διαθέτουν σύστημα απορροής μπορούν να συνδεθούν απ' ευθείας με το δομικό σύστημα του θόλου (structural framework) οπότε η λύση αυτή είναι λιγότερο δαπανηρή από mini-δικτύωματα συνδεδεμένα με το δομικό σύστημα, πάνω στα οποία εν συνεχεία συνδέ-

ονται panels τραπεζοειδούς σχήματος, με σκοπό την δημιουργία μιας πιο στρογγυλοποιημένης – παραδοσιακής μορφής θόλου. Επίσης, τα μεγέθη των panels επηρεάζουν πολύ το κόστος, δηλ. όσο μεγαλύτερα panels χρησιμοποιηθούν, τόσο μειώνεται το συνολικό κόστος.

Κατά την επιλογή της γεωμετρίας του χωροδικτύωματος, η διαίρεση της σφαιρικής επιφάνειας σε τριγωνικά μέρη είναι μια παράμετρος, η οποία καλείται διεθνώς «συχνότητα» (frequency). Η συνιστώμενη συχνότητα για ένα συγκεκριμένο έργο συνδέεται άμεσα με τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Άνοιγμα του θόλου
- Ύψος του θόλου
- Αριθμός και είδος σημείων στήριξης
- Τύπος επικάλυψης
- Μέγεθος και είδος δράσεων σχεδιασμού
- Αρχιτεκτονικές απαιτήσεις
- Τοποθεσία
- Υφιστάμενες δυνατότητες ανέγερσης και εγκατάστασης

Τυπικά το δικτύωμα ενός θόλου είναι κατασκευή μιας στρώσης (single-layered), εφόσον το καθαρό άνοιγμα του δεν υπερβαίνει τα 150 περίπου μέτρα και για συνήθη ύψη. Για μεγαλύτερα ανοίγματα και ύψη (πχ. για πλήρεις ημισφαιρικούς θόλους διαμέτρου άνω των 40 μέτρων) χρησιμοποιείται εσχάρα διπλής στρώσης (double-layered), προς αποφυγή του καταστροφικού φαινομένου του ακαριαίου λυγισμού (snap-through buckling).

Οι θόλοι είναι αναμφίβολα από κάθε πλευρά (αισθητική και δομική) εξαιρετικά συναρπαστικοί αλλά και αποτελεσματικοί, όμως απαιτούν την ύπαρξη (ή και σχεδιασμό) μοναδικών (unique) και πολλακίς εξεζητημένων μορφών επικάλυψης, έτσι ώστε το συνολικό αποτέλεσμα να είναι επιτυχές. Για την ορθή επιλογή της επικάλυψης μιας θολωτής μεταλλικής κατασκευής πρέπει κανείς να λάβει υπ' όψη του μια σειρά από οδηγούς σχεδιασμού (design drivers) καθώς και την ύπαρξη διαφόρων υλικών εναλλακτικά.

Η πρώτη παράμετρος που πρέπει να θεωρηθεί για την επικάλυψη είναι το μέγεθος της. Ένας τυπικός θόλος αποτελείται συνήθως από τριγωνικά στοιχεία, όμως η επικάλυψη (panels μεταλλικά, υάλου ή ακρυλικά) μπορεί να

- A. Έχουν το ίδιο σχήμα με το τριγωνικό στοιχείο

- B. Αποτελούν υποσύνολο του τριγωνικού στοιχείου
- Γ. Έχουν τραπεζοειδές σχήμα

Επιπρόσθετα, τα μεταλλικά panels δεν είναι κατ' ανάγκη επίπεδα, αλλά

- A. Σχήματος πυραμίδας (τριέδρου – τρία υπερυψωμένα τριγωνικά μέρη)
- B. Καμπύλα τραπεζοειδή
- Γ. Σφαιρικής καμπυλότητας με σχήμα κάτοψης τριγωνικό, εξαγωνικό ή και τραπεζοειδές.

Όσον αφορά το υλικό κατασκευής της επικάλυψης, τα σπουδαιότερα και πλέον διαδεδομένα είδη επικάλυψης είναι τα ακόλουθα:

1. **Μεταλλικά panels**, που είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα και περιλαμβάνουν τέσσερις (4) τύπους.

α. *Τριγωνικά panels αλουμινίου* τυπικού πάχους 1.27mm (0.05in) και διαστάσεων πλευράς περίπου 25cm.

β. *Καμπυλωμένα (curved) panels* τυπικής τραπεζοειδούς μορφής που συνδέονται με την εξωτερική πλευρά του θόλου μέσω mini-πλαισίων ως άνω. Συνήθεις διαστάσεις τους είναι πλάτος 12.5cm και μέγιστο μήκος 36cm και ηλώνονται πάνω σε διαφόρων μορφών προεξοχές του κυρίως χωροδικτύωματος, όπου συνήθως είναι συνδεδεμένο και το ολοκληρωμένο σύστημα απορροής. Οι σύνδεσμοι τους σφραγίζονται με σιλικόνη και καλύπτονται με πλαστικό αρμοκάλυπτρο.

γ. *Panels αλουμινίου διπλής καμπυλότητας (stretch-formed)*, που κατασκευάζονται με την μέθοδο εκτάσεως επί μήτρας, μέγιστων διαστάσεων 12.5x30cm. Στηρίζονται και αυτά σε mini-πλαίσια ακτινωτής μορφής. Οι σύνδεσμοι τους μορφώνονται ως άνω.

δ. *Panels αλουμινίου με νευρώσεις (ribbed)* επίπεδα και μεγάλου σχετικά μήκους. Συνδέονται μέσω μικρών ράβδων πάνω στο θόλο και καμπυλώνονται κατά την στήριξη. Επικαλύπτονται μεταξύ τους και συνήθως εφαρμόζονται σε θόλους μεγάλης σχετικά ακτίνας.

2. **Υαλώδη** απλής ή διπλής στρώσης με διάφορους τρόπους εσωτερικής ή εξωτερικής επεξεργασίας και φινιρίσματος (λεπίδωση – lamination, κρυσταλλοειδής ιρίδωση κλπ.). Συνήθη σχήματα είναι τα τριγωνικά ή τα τραπεζοειδή και διαθέτουν ενσωματωμένες φωτεινές πηγές ανάλογα με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις.

3. **Ακρυλικά** ελεύθερης μορφής σχήματος φυσαλίδας ή διαμορφωμένα πάνω σε ξύλινους σφαιρικούς τύπους. Έχουν μήκος έως 25cm και έχουν διαφορετικά χρώματα στις δύο όψεις τους καθώς και διαφορετική υφή.

4 **Μεμβράνες** συνήθως κρεμαστές (ανηρτημένες) από διηλεκτρικά σφραγισμένο βινύλιο πάνω σε πολυεστέρα και έρχονται είτε σαν μια πλήρη μονάδα είτε σαν μικρότερα κομμάτια, που συνδέονται επί τόπου. Για μεγαλύτερη θερμομόνωση η κύρια μεμβράνη μπορεί να διαθέτει εσωτερικά και μια στρώση υπέρ-ελαφριάς δευτερεύουσας μεμβράνης ή μόνωση από ίνες υάλου (fiberglass), ραμμένη πάνω της.

5. **Panels κόντρα-πλακέ (plywood)** που συνδέονται με ειδικά ξύλινα τεμάχια πάνω στην εξωτερική πλευρά του θόλου και μετά την σφράγιση των διαμορφούμενων αρμών η όλη επιφάνεια καλύπτεται με υλικό δύο συστατικών Hypalon/Neoprene, και η τελική επιφάνεια προσομοιάζει αισθητικά την συνεχή μεμβράνη.

Όλα τα προαναφερθέντα σχετίζονται φυσικά με την κατ' εξοχήν επικάλυψη, δηλαδή την **εξωτερική**. Όσον αφορά όμως την **εσωτερική επικάλυψη** (αν αυτή είναι αναγκαία) **ισχύουν εντελώς διαφορετικές παράμετροι**. Ειδικότερα σε ορισμένα έργα είναι ισχυρά επιθυμητή μια πλήρως σφαιρική εσωτερική επιφάνεια. Τέτοιου είδους εφαρμογές είναι τα πλανητάρια, οι θόλοι προσομοίωσης (simulation domes), και γενικά επιφάνειες που θα προσδίδουν ένα παραδοσιακό σφαιρικό αίσθημα εσωτερικά- παρόμοιο με χειροποίητη πλαστελίνη (hand plastering). Διάτρητα panels συχνά επιλέγονται για την μόνωση μιας ακουστικά ελεγχόμενης επιφάνειας, που ελαχιστοποιεί την ενόχληση λόγω αντήχησης και συγκέντρωσης ήχου σε κεντρικό σημείο. Περισσότερες φορές γίνεται χρήση panels διάτρητων κατά 20%, τα οποία φέρουν εσωτερικά ηχομόνωση που να απορροφά κατάλληλα τα ηχητικά κύματα. Σε διαφορετικής φιλοσοφίας ή απαιτήσεων θόλους η εσωτερική επικάλυψη μπορεί να είναι μόνωση ινών υάλου με στρώση βινυλίου που αναρτάται, με σκοπό η τελική εικόνα να είναι μιας «μαλακής» εσωτερικής επιφάνειας.

3.3. Κόμβοι μεταλλικών χωροδικτυωμάτων και θόλων^[18]

Οι κόμβοι των χωροδικτυωμάτων μέσω των οποίων υλοποιούνται οι θεωρητικές αρθρώσεις-συνδέσεις των ράβδων είναι μεταλλικά στοιχεία ενός ή περισσοτέρων τεμαχίων. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις (τρισδιάστατα κομβοελάσματα, ειδικοί τρισδιάστατοι σύνδεσμοι, σφαιρικοί κόμβοι) οι συνδέσεις γίνονται δια κοχλιώσεως. Για περιορισμένο αριθμό ράβδων προσφέρονται τα απλά τρισδιάστατα κομβοελάσματα. Από την πληθώρα των ειδών κόμβων που έχουν επινοηθεί από διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες και αντίστοιχους κρατικούς φορείς στο εξωτερικό, ένας περιορισμένος αριθμός κατόρθωσε να «επιβιώσει» και να αξιοποιηθεί εμπορικά, σε

μεγάλη βιομηχανική κλίμακα. Οι πιο χαρακτηριστικοί από αυτούς τους κόμβους περιγράφονται παρακάτω.

1. Κόμβος Triodetic

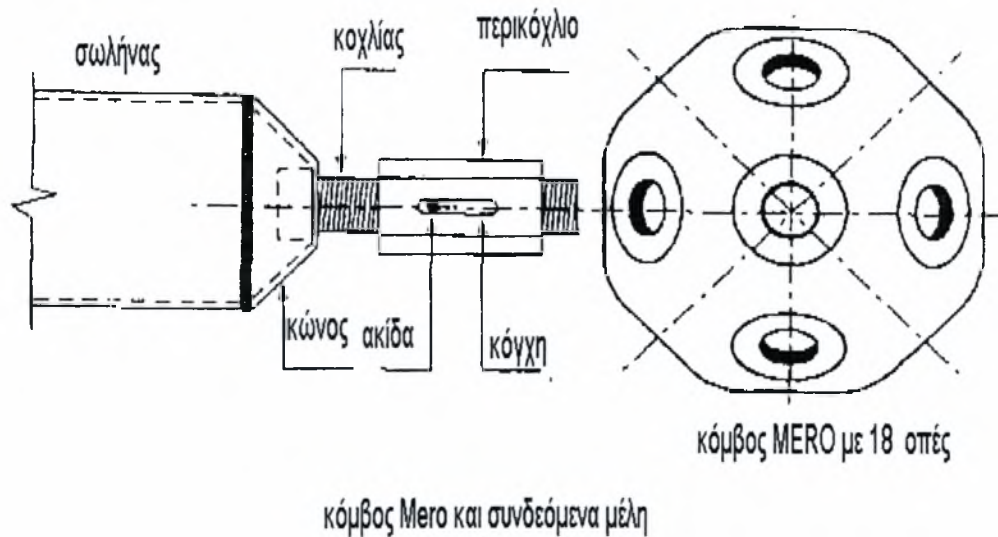
Ο κόμβος του συστήματος αυτού αναπτύχθηκε το 1953 στον Καναδά και σήμερα εφαρμόζεται ευρέως στον κόσμο. Αποτελείται από έναν κυλινδρικό δακτύλιο μεγάλου πάχους, που φέρει περιμετρικά διαμήκεις εγκοπές και η μέθοδος σύνδεσης είναι ειδική, χωρίς μεσολάβηση ήλωσης, κοχλίωσης ή συγκόλλησης. Στις εγκοπές που αναφέρθηκαν εισέρχονται τα άκρα των ράβδων του χωροδικτύωματος, που είναι κατάλληλα διαμορφωμένα, ώστε να υπάρχει πλήρης εφαρμογή με τις εγκοπές του δακτυλίου, το υλικό κατασκευής του οποίου είναι το αλουμίνιο. Ο κόμβος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε είδους χωροδικτύωμα, η παραγωγή του είναι εύκολη και φθηνή, το δε κόστος είναι χαμηλό, καθώς δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό, αλλά και λόγω χαμηλού βάρους συνήθως δεν απαιτούνται γερανοί.

2. Κόμβος Mero

Πρόκειται για έναν σφαιρικό κόμβο, που εφευρέθηκε το 1940 στην Γερμανία από τον μηχανικό Max Mengerlinghausen. Ο κόμβος του συστήματος αυτού είναι μια χαλύβδινη σφαίρα με σπειροειδείς οπές σε διάφορα σημεία της. Στα άκρα των σωληνωτών ράβδων του χωροδικτύωματος συγκολλούνται μεταλλικοί κώνοι, μέσω των οποίων διέρχονται κοχλίες υψηλής αντοχής, που συνδέουν τις ράβδους με τους κόμβους χωρίς να δημιουργείται εκκεντρότητα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κόμβων, με 18 και με 10 οπές, ενώ κατασκευάζεται και ένας τρίτος τύπος κατά παραγγελία, με οπές σε καθορισμένες θέσεις, για να ικανοποιήσει ορισμένες ειδικές απαιτήσεις. Η διάμετρος των κόμβων κυμαίνεται από 50mm έως 250mm, ο δε κόμβος Mero δύναται να εφαρμοσθεί σε ένα εξαιρετικά μεγάλο αριθμό κατασκευών, διαφορετικής εμφάνισης και χρήσης, έχει όμως άριστα αποτελέσματα ιδιαίτερα στα Χ/Δ δύο επάλληλων εσχάρων.

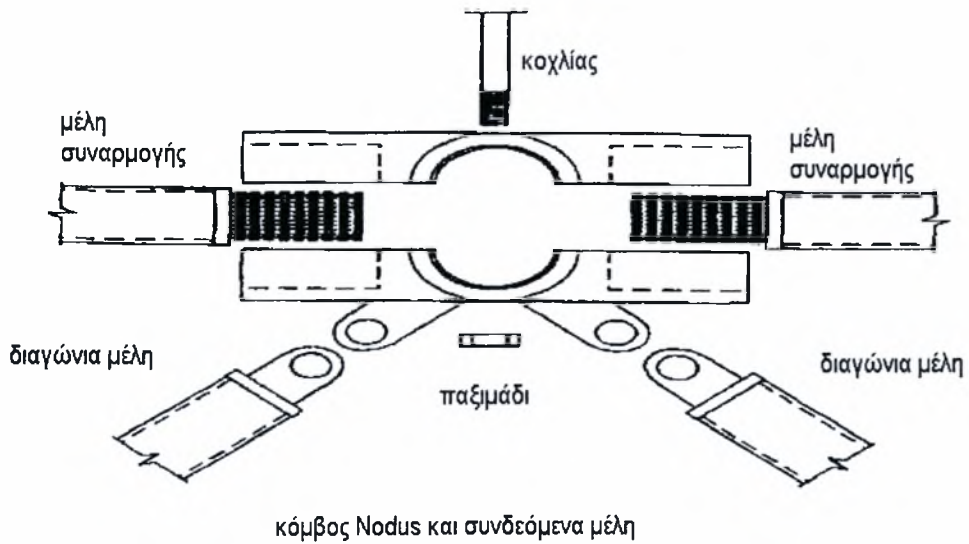
Η ανέγερση γίνεται είτε με την βοήθεια ικριωμάτων με κανονική συναρμολόγηση, είτε με την τεχνική της ανύψωσης ολόκληρου του χωροδικτύωματος με γεραμούς ή άλλα ανυψωτικά μηχανήματα, αφού πρώτα κατασκευασθεί στο έδαφος, ή τέλος με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων, δηλαδή τμηματική κατασκευή στο έδαφος και στη συνέχεια ανύψωση με ελαφρότερα ανυψωτικά, και συναρμολόγηση στον αέρα. Η τελευταία αυτή “μικτή” μέθοδος, φαίνεται να είναι μάλλον η οικονομικότερη και πλέον ενδεδειγμένη.



3. Κόμβος Nodus

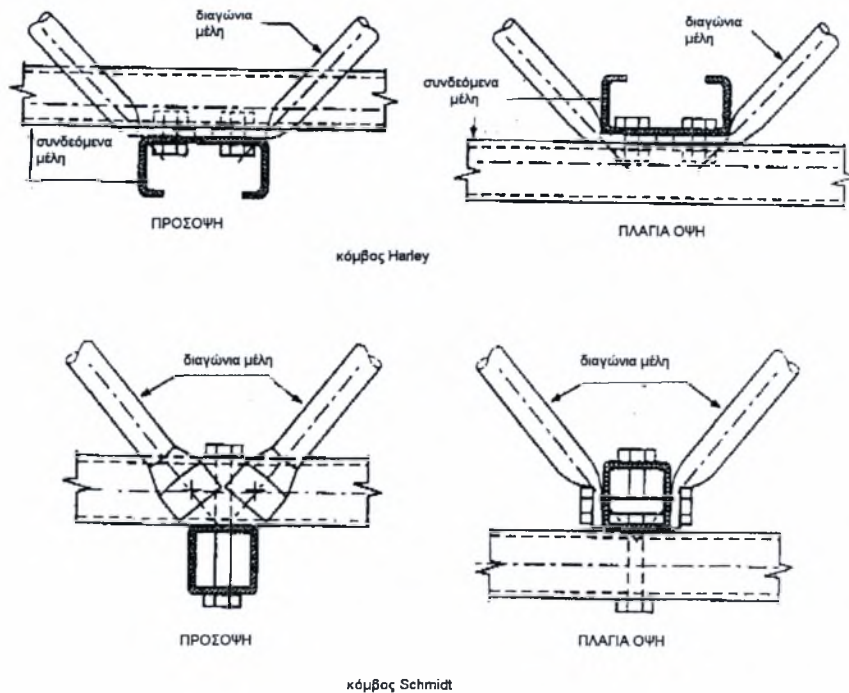
Ο κόμβος αυτός πρωτοεμφανίστηκε το 1972 , είναι δε αποτέλεσμα εκτεταμένων μελετών και πειραμάτων της Tubes Division of the British Steel Corporation. Από τότε έχει χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό κτιρίων στην Μεγ. Βρετανία αλλά και σε όλο τον κόσμο. Έχει την δυνατότητα να παραλαμβάνει εκτός από αξονικές και καμπτικές καταπονήσεις. Δεν χρειάζονται συγκολλήσεις για την σύνδεση των τεμαχίων του κόμβου, τα δε τεμάχια κατασκευάζονται και μεταφέρονται εύκολα . Το κυρίως σώμα του κόμβου διαιρείται σε δύο τμήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ένα κοχλία υψηλής αντοχής. Η κεφαλή του κοχλία εισχωρεί σε ειδική εξαγωγική εσοχή του ενός τμήματος του κόμβου κι έτσι η ελεύθερη επιφάνεια του τμήματος αυτού βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με την ελεύθερη εξωτερική επιφάνεια των ράβδων της πάνω εσχάρας του χωροδικτυώματος πράγμα που επιτρέπει την απ' ευθείας έδραση της επικάλυψης πάνω στις ράβδους αυτές.

Ο κόμβος Nodus παράγεται σε τέσσερα μεγέθη , σε κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί μία τετραγωνική ή κυκλική κοίλη διατομή (από 60 x 60 mm έως 120 x 120 mm RHS και από 60.3 έως 114.3 mm CHS). Τα ακραία σπειροειδή τεμάχια, που συνδέουν τις ράβδους με τον κόμβο, συγκολλούνται με ειδικά μηχανήματα, οπότε η απόκλιση στο μήκος των ράβδων είναι της τάξης μόνο του 0.1%.



4. Συστήματα Schmidt και Harley

Με σκοπό να ξεπεραστεί το υψηλό κόστος κατασκευής των χωροδικτυωμάτων έχουν αναπτυχθεί συστήματα σύνδεσης των μελών τα οποία δεν βασίζονται σε ειδικούς κόμβους σύνδεσης. Στα συστήματα αυτά τα μέλη σύνδεσης συνδέονται απ'ευθείας μεταξύ τους είτε με κοχλίωση είτε με συγκόλληση. Το πιο γνωστό σύστημα αυτής της κατηγορίας είναι το σύστημα Harley το οποίο εφαρμόστηκε αρχικά από τον Codd. Υπό ανάπτυξη είναι και το σύστημα Schmidt το οποίο αρχικά επινοήθηκε περί το 1970^[4].



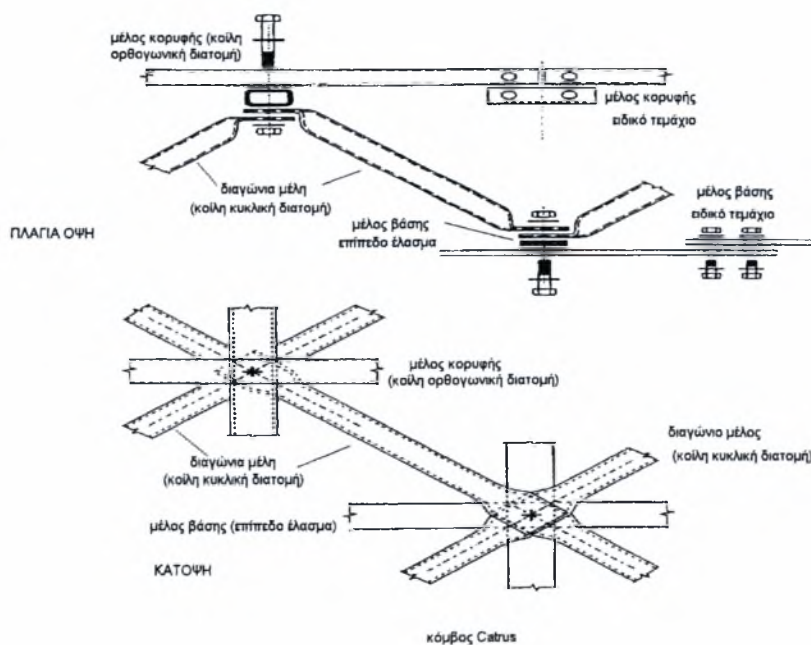
5. Σύστημα σύνδεσης *Catrus*^[4,8]

Το σύστημα σύνδεσης *Catrus* είναι ένα νέο σύστημα το οποίο έχει αναπτυχθεί πρόσφατα στο Πανεπιστήμιο του Dundee. Ο στόχος ήταν να σχεδιαστεί ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει το χαμηλό κόστος με την αξιόπιστη στατική συμπεριφορά και το οποίο παρέχει λύσεις σε πολλές πρακτικές εφαρμογές .

Το βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος *Catrus* είναι ένα απλό σύστημα σύνδεσης στο οποίο:

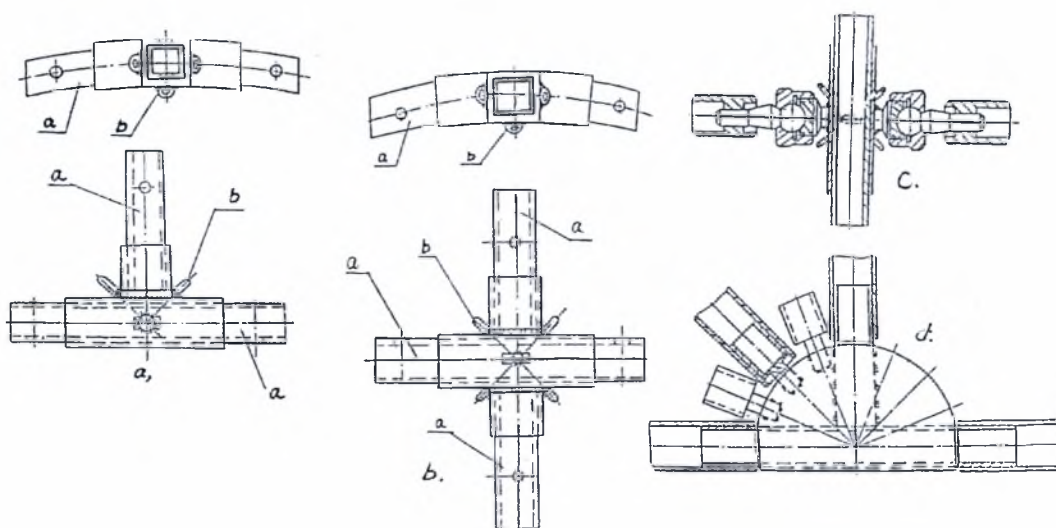
- (1) Τα μέλη σύνδεσης της κορυφής και της βάσης είναι συνεχή δια μέσου των κόμβων.
- (2) Τα μέλη κοχλιώνονται απ' ευθείας μεταξύ τους χωρίς κανένα κόμβο σύνδεσης.
- (3) Οι συνδέσεις και τα διαγώνια μέλη επικαλύπτονται και έτσι δημιουργείται εκκεντρότητα κόμβου και συνέχεια των μελών σύνδεσης.
- (4) Τα μέλη σύνδεσης μπορούν να συγκολληθούν μεταξύ των κόμβων του δικτύματος.

Τα παρακάτω σχέδια δείχνουν ότι οι κόμβοι *Catrus* χρησιμοποιούν ένα κοχλία ο καθένας. Παρότι η χρησιμοποίηση ενός κοχλία δεν αποτελεί σύγχρονη εφαρμογή, έχει υιοθετηθεί για να απλοποιήσει τα συστήματα σύνδεσης και να μειώσει το κόστος. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν απαιτείται υψηλό ζεύγος δυνάμεων για την σύσφιγξη των κοχλιών και η χειρονακτική εργασία θεωρείται επαρκής.



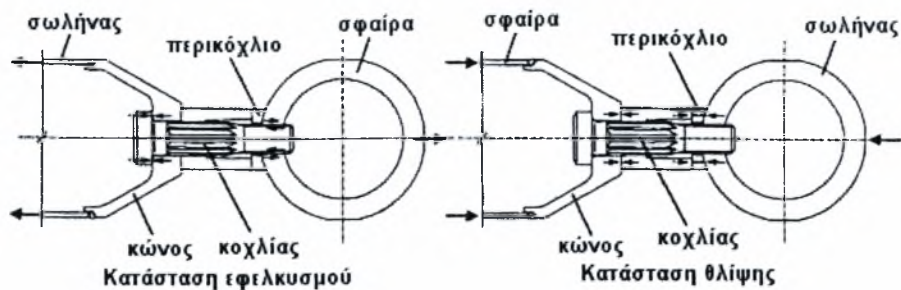
β. Άλλες μορφές και είδη κόμβων γωροδικτυωμάτων

- Space Deck System (Μ.Βρετανία, που βασίζεται σε απλό στοιχείο μορφής ανεστραμμένης τετραγωνικής πυραμίδας)
- Modu spom (Geodome Space Frames Pty Ltd , Αυστραλία)
- Unibat Spherobat (Stephome de Chateau , Γαλλία)
- Tridi 2000
- Power Strut
- Oktaplatte , Sdc , Catena , Multicube , Tetragrid , Pyramitec
- Bullet^[4], σχηματική αναπαράσταση του οποίου, για διάφορες μορφές του, φαίνεται κατωτέρω:

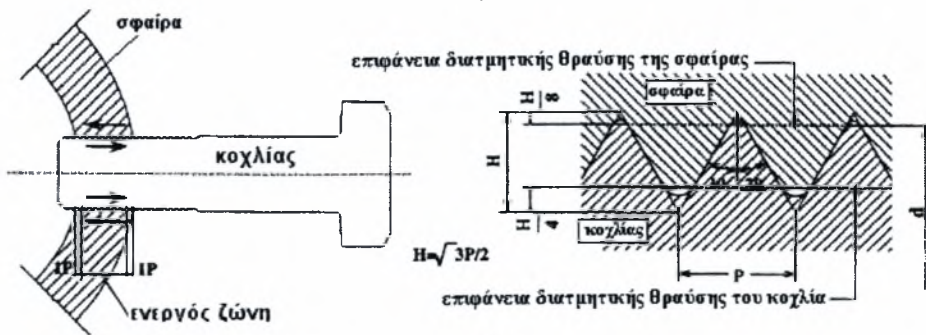


a) T-τύπος b) τύπος σταυρού c) τύπος universal d) ημικυκλικός τύπος

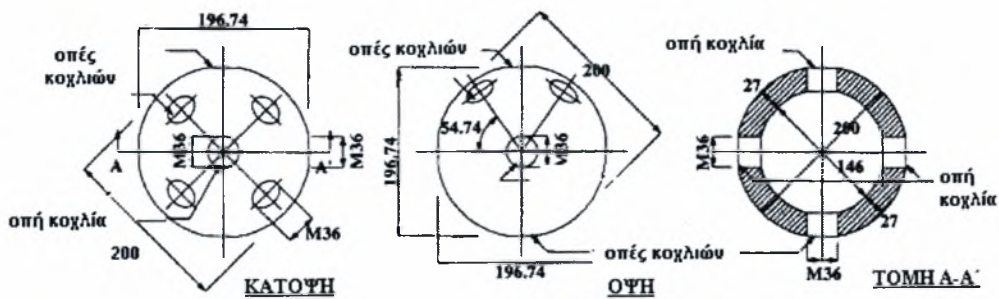
Τελευταία γίνονται εκτεταμένες θεωρητικές και πειραματικές μελέτες με σκοπό την δημιουργία κόμβων X/Δ από κοίλες σφαίρες από ειδικά μεταλλικά κράματα, και πραγματεύονται μέσω μοντέρνων μεθόδων και τεχνικών την κατανομή των τάσεων στην σφαίρα, τον τρόπο μεταβίβασης των εντατικών μεγεθών αλλά και την ακριβή γεωμετρία του κόμβου^[10]. Χαρακτηριστικό της προσπάθειας αυτής απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



(α)



(β)



(γ)

Κόμβος χωροδικτύωματος με κοίλη σφαίρα :

(α) Τρόπος μεταβίβασης δυνάμεων, (β) Σχεδιασμός πάχους σφαίρας και (γ) Σχήμα και διαστάσεις της σφαίρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

4.1. Από την προχωρημένη ανάλυση στον σχεδιασμό^[1]

Στην τρέχουσα πρακτική της επιστήμης του Μηχανικού η αλληλεπίδραση μεταξύ του «δομικού» συστήματος (structural system) και των μελών του αναπαρίσταται μέσω του παράγοντα του «ισοδύναμου μήκους» (effective length factor)^[5,6]. Η εν λόγω κλασική πλέον προσέγγιση (χρονολογούμενη από το 1981) αποτέλεσε την βάση για την ανάπτυξη των μοντέρνων μεθόδων σχεδιασμού σιδηρών κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων και των πλέον δημοφιλών σχετικών Κωδίκων (LRFD, ASD, EC3). Μέσω αυτής της προσέγγισης επιτυγχάνεται γενικά μια αρκετά καλή και αξιόπιστη ανάλυση κύρια ΠΛΑΙΣΙΩΤΩΝ κατασκευών. Παρ' όλα ταύτα και ειδικότερα παρ' όλη την ευρύτατη χρήση της, η όλη θεώρηση δεν παύει να έχει αρκετούς περιορισμούς.

Ο πρώτος από αυτούς είναι το γεγονός ότι δεν παρέχει ακριβή στοιχεία περί του βαθμού επικινδυνότητας έναντι αστοχίας (failure), καθόσον *δεν λαμβάνει άμεσα* υπ' όψη την *αλληλεπίδραση της αντοχής και των παραμέτρων ευστάθειας μεταξύ μελών και συνολικής κατασκευής*. Πολλές ο πραγματικός τρόπος αστοχίας ενός συστήματος συνολικά απέχει σημαντικά από τα σχετικά ευρήματα, που βασίζονται σε *Παραδοχές ελαστικού λυγισμού* της όλης κατασκευής.

Ο δεύτερος και μάλλον σοβαρότερος περιορισμός είναι η ανεπαρκής αιτιολόγηση της σκοπιμότητας της τρέχουσας διαδικασίας ανάλυσης μεταλλικών κατασκευών, η οποία κατά τεκμήριο αποτελείται από τα ακόλουθα δύο στάδια: ΕΛΑΣΤΙΚΗ ανάλυση για τον υπολογισμό που αναπτύσσονται ή δρουν στο κάθε μέλος και ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ανάλυση για τον υπολογισμό της αντοχής κάθε μέλους, θεωρούμενου ως μεμονωμένου. Στην πραγματικότητα όμως δεν υπάρχει καμία επιβεβαίωση περί της συμβατότητας μεταξύ ενός μεμονωμένου μέλους και του μέλους ως κομμάτι ενός συστήματος. Οι εξισώσεις, με βάση τις οποίες οι διεθνείς Κανονισμοί υπολογίζουν την αντοχή μεμονωμένων μελών δεν λαμβάνουν καθόλου υπ' όψη την συμβατότητα αυτή, με αποτέλεσμα να μην υφίσταται καμία σαφής εγγύηση ότι όλα τα μέλη θα διατηρήσουν τα φορτία σχεδιασμού τους υπό την συνολική γεωμετρική θεώρηση τους ως μερών μιας κατασκευής. Λόγω των ανωτέρω περιορισμών έχει καταστεί τα τελευταία χρόνια σαφές ότι μια πιο ρεαλιστική και συγχρόνως ελκυστική (με την έννοια της φιλικότητας προς τον χρήστη) μέθοδος υπολογισμού και ανάλυσης μεταλλικών εν γένει κατασκευών ΔΕΝ πρέπει να βασίζεται στο «ισοδύναμο μήκος». Μια εκτεταμένη προσπάθεια προς την

κατεύθυνση αυτή βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη σε πολλά ερευνητικά κέντρα του εξωτερικού, περικλείεται Δε από τον τίτλο «Προχωρημένη ανάλυση στο σχεδιασμό» (Advanced analysis to design). Έχουν συναφώς αναπτυχθεί διάφορες εναλλακτικές μέθοδοι, που περιληπτικά έχουν ως ακολούθως:

A. Μέθοδος πλαστικής ζώνης (plastic zone), που χαρακτηρίζεται από:

- Διακεκριμενοποίηση (πεπερασμένα στοιχεία) τόσο κατά μήκος του μέλους όσο και στην επιφάνεια της διατομής του.
- Θεώρηση γεωμετρικής αλλοίωσης (distortion) 2^{ης} τάξης, η οποία «συλλαμβάνει» την σταδιακή απόκριση φορτίου-παραμόρφωσης.
- Σταθερό μηχανισμό (pattern) παραμενουσών τάσεων.
- Παρακολούθηση της διάδοσης της πλαστικότητας.

B. Μέθοδος ελαστικής-πλαστικής άρθρωσης (elastic-plastic hinge) με τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

- Πλαστικές αρθρώσεις μηδενικού μήκους
- Ουδεμία διάδοση της διαρροής (ούτε στην διατομή ούτε κατά μήκος του μέλους).
- Δεν λαμβάνει υπ' όψη παραμένουσες τάσεις
- Λαμβάνει υπ' όψη γεωμετρικές επιρροές 2^{ης} τάξης

Γ. Μέθοδος ψευδο-πλαστικής ζώνης (quasi-plastic zone, Cornell Univ.), η οποία εκτός άλλων:

- Αποτελεί τρόπον τινά «συμβιβασμό» μεταξύ των δύο προηγούμενων μεθόδων.
- Λαμβάνει υπ' όψη την διάδοση της πλαστικότητας μέσω συντελεστών ευκαμψίας (flexibility coefficients).
- Θεωρεί απλουστευμένο μοντέλο παραμενουσών τάσεων.
- Μετρά την πλήρως πλαστικοποιημένη διατομή μέσω της λύσης της πλαστικής ζώνης.
- Δεν διαθέτει δυνατότητα αναβάθμισης πέραν του δυσδιάστατου μοντέλου (two-dimensional restriction).

Δ. Εξευγενισμένη μέθοδος πλαστικής άρθρωσης (refined plastic hinge method), η οποία:

- Αποτελεί σημαντική αναβάθμιση του ελαστικού-πλαστικού μοντέλου των δύο διαστάσεων.

- Λαμβάνει υπ' όψη κατανεμημένη πλαστικότητα και ομαλή μείωση (degradation) της ακαμψίας της άρθρωσης.
- Λαμβάνει έμμεσα υπ' όψη την ανελαστικότητα μέσω δυνάμεων παρά μέσω τάσεων ή παραμορφώσεων, ενώ χρησιμοποιεί το επαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας για την περιγραφή της επιρροής παραμενουσών τάσεων.
- Περιγράφει την σταδιακή διαρροή μέσω συνάρτησης μείωσης της ακαμψίας.
- Προσομοιώνει την ευκαμψία μιας σύνδεσης με στροφικά ελατήρια.

E. Πρακτική εξευγενισμένη μέθοδος πλαστικής άρθρωσης (practical refined plastic hinge method) η οποία:

- Εισάγει τα δεδομένα της προηγούμενης μεθόδου στον LRFD.
- Τροποποιεί ξεχωριστά το επαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας για να ληφθούν υπ' όψη τόσο γεωμετρικές ατέλειες όσο και παραμένουσες τάσεις.

Περαιτέρω εμβάθυνση επί των μεθόδων αυτών εκφεύγει των σκοπών του παρόντος πονήματος, μια ενδιαφέρουσα πάντως συγκριτική παρουσίαση τους με εκτενή σχετική βιβλιογραφία μπορεί να βρεθεί στην πρόσφατη δημοσίευση του διακεκριμένου ερευνητή W.F. Chen (Purdue Univ.)^[1].

4.2. Προχωρημένη ανάλυση και σχεδιασμός χωρικών κατασκευών

Οι χωρικές κατασκευές με κόμβους συνδεδεμένους άκαμπτα αναλύονται δυσκολότερα, καθόσον κάθε κόμβος διαθέτει τουλάχιστον έξι (6) βαθμούς ελευθερίας, τα δε μέλη υπόκεινται σε συνδυασμένη δράση αξονικών δυνάμεων, κάμψης, στρέψης και διάτμησης. Παρά ταύτα, οι άκαμπτα συνδεδόμενες κατασκευές έχουν το πλεονέκτημα λιγότερο πυκνής διάταξης μελών και μικρότερων διατομών. Πειραματικές έρευνες έδειξαν ότι οι πραγματικές χωρικές κατασκευές συμπεριφέρονται ενδιάμεσα του πλήρως άκαμπτου και του πλήρως αρθρωτού αναλυτικού μοντέλου. Πέραν αυτού, η πραγματική στροφική ακαμψία των κόμβων δύσκολα υπολογίζεται ποσοτικά κατά την διαδικασία του σχεδιασμού, αφού εξαρτάται από έναν σημαντικό αριθμό παραγόντων όπως η αλληλουχία ανέγερσης, η ελλιπής ακρίβεια και ελαττωματική υλοποίηση της σύνδεσης, η μορφή και η γεωμετρία του υιοθετούμενου τύπου πρότυπου κόμβου από το εμπόριο, ατέλειες προερχόμενες από διάφορες αιτίες κλπ. Αν η ακαμψία των κόμβων Δεν είναι

δυνατόν να υπολογιστεί, η παραδοχή αρθρώσεων δέον όπως χρησιμοποιηθεί, καθώς οδηγεί σε συντηρητικό εν γένει σχεδιασμό και ασφαλή προσεγγιστικό υπολογισμό των παραμορφώσεων.

Για κατασκευές μεγάλης ακαμψίας έναντι αστάθειας, όπως εσχάρες πολλαπλών επιπέδων ή βαθιοί θόλοι (*deep domes*) είναι κοινή η θεώρηση της κατασκευής ως γραμμικά ελαστικής. Η ελαστική ανάλυση 1^{ης} τάξης τέτοιων κατασκευών γίνεται απ' ευθείας, υπάρχει πληθώρα σχετικών εμπορικών προγραμμάτων H/Y και υφίστανται και προσεγγιστικές μέθοδοι για προκαταρκτικούς υπολογισμούς με το χέρι. Για την εξασφάλιση πάντως της ευστάθειας των μελών, τα εντατικά μεγέθη που υπολογίζονται ως άνω ελέγχονται με βάση τις εξισώσεις ευστάθειας κάθε μέλους, σύμφωνα με τους Κανονισμούς, οι οποίες περιλαμβάνουν επιρροές αρχικών καμπυλοτήτων και ατελειών μόνο τοπικά (δηλ. ξεχωριστά για κάθε μέλος). Όμως δεν υπάρχει κανένας θεωρητικός λόγος που να υπαγορεύει ότι η φέρουσα ικανότητα του πιο κρίσιμου μέλους είναι και η πραγματική φέρουσα ικανότητα της όλης κατασκευής^[12].

Η ανάγκη συνεπώς προχωρημένης ανάλυσης είναι επιβεβλημένη, ιδιαίτερα όταν πρόκειται περί λυγηρών χωρικών κατασκευών, που κινδυνεύουν περισσότερο έναντι αστάθειας λόγω γεωμετρικών μη γραμμικοτήτων και λυγισμού των μελών. Αυτό ισχύει περισσότερο σε δικτυωτούς χαμηλούς θόλους ενός επιπέδου (*reticulated single-layer shallow domes*) ή θόλους με λόγο ύψους προς άνοιγμα μικρό. Τέτοιες κατασκευές μπορούν να χάσουν την ευστάθεια τους από διάφορες αιτίες (μεμονωμένα ή συνδυασμένα) όπως από λυγισμό μελών, τοπικό ή λυγισμό παρειάς του κόμβου (*joint dimple buckling*) και από αλληλεπίδραση μορφών λυγισμού. Έχουν δε παρατηρηθεί ουσιώδεις διαφορές μεταξύ της πραγματικής συμπεριφοράς συναφών κατασκευών και αυτής που προβλέφθηκε-υπολογίστηκε μέσω γραμμικά ελαστικής ανάλυσης. Έπ' αυτού και κατά την τελευταία δεκαετία αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι βασισμένες σε αναλυτικά μοντέλα θλιβόμενων δοκίδων (*strut models*). Τελευταία Δε παρουσιάστηκε μια άκρως ενδιαφέρουσα και ταυτόχρονα αποτελεσματική μέθοδος προχωρημένης ανελαστικής ανάλυσης μεγάλων παραμορφώσεων, ικανή να αντιμετωπίσει το πλείστο των προβλημάτων καθολικής αστάθειας που προαναφέρθηκαν^[12].

4.3. Προσεγγιστική δυναμική ανάλυση χωροδικτυωμάτων*

Σύμφωνα με τις τελευταίες εξελίξεις, η δυναμική απόκριση χωροδικτυωμάτων υπολογίζεται αριθμητικά μέσω ενός ικανού αριθμού εμπορικών προγραμμάτων H/Y, που βασίζεται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Με την συνεχιζόμενη ανάπτυξη και διάδοση των υπολογιστών αλλά και του λεγόμενου τεχνικού λογισμικού είναι πλέον εφικτή – χωρίς να είναι και δαπανηρή – η δυνατότητα πλήρους δυναμικής ανάλυσης X/Δ. Όμως δεν παύει, σε στάδιο αρχικού σχεδιασμού και προμελέτης, να υφίσταται η ανάγκη ύπαρξης προσεγγιστικών μεθόδων ανάλυσης, οι οποίες αφ' ενός μεν θα είναι γρήγορες και εύχρηστες, αφ' ετέρου δε θα παρέχουν σχετικά ακριβείς προβλέψεις της δυναμικής απόκρισης των χωροδικτυωμάτων. Τέτοιες μέθοδοι είναι όντως πολύ χρήσιμες, αν κατορθώνουν να ικανοποιούν τους ακόλουθους δύο αντικειμενικούς σκοπούς:

- Να προβλέπουν με ικανοποιητική ακρίβεια την δυναμική συμπεριφορά των X/Δ σε αρχικό στάδιο σχεδιασμού, κατά το οποίο μεγέθη και διαστάσεις αλλάζουν εύκολα.
- Να λειτουργούν ως μέτρο ελέγχου των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των πεπερασμένων στοιχείων, καθόσον τείνει να επικρατήσει η εσφαλμένη άποψη ότι τα αποτελέσματα αυτά δεν επιδέχονται αμφισβήτηση.

Όμως, μέθοδοι αυτής της μορφής για να είναι εφαρμόσιμες με το χέρι, πρέπει να υιοθετούν κάποια αναλογία με πολύ πιο απλές κατασκευές, οι οποίες αναλύονται άμεσα και χωρίς ιδιαίτερο κόπο ή δυσκολία. Στην τρέχουσα βιβλιογραφία έχουν επικρατήσει δύο βασικές προσεγγιστικές μέθοδοι προσεγγιστικής δυναμικής ανάλυσης χωροδικτυωμάτων^[7]: Η πρώτη, καλούμενη «μέθοδος αναλογίας δοκού» (beam analogy) εφαρμόζεται σε X/Δ με μία κύρια διεύθυνση, ενώ η δεύτερη, καλούμενη «μέθοδος αναλογίας πλάκας» (plate analogy) εφαρμόζεται σε X/Δ με δύο κύριες διευθύνσεις, προσομοιάζοντας αυτά ως πλάκες στηριζόμενες αμφίπλευρα, συνήθως ισότροπες κατά Midlin. Και οι δύο μέθοδοι λαμβάνουν υπ' όψη τους την επιρροή επί των ιδιοσυχνοτήτων τόσο της διατμητικής παραμόρφωσης (shear deformation) όσο και της περιστροφικής αδράνειας (rotatory inertia).

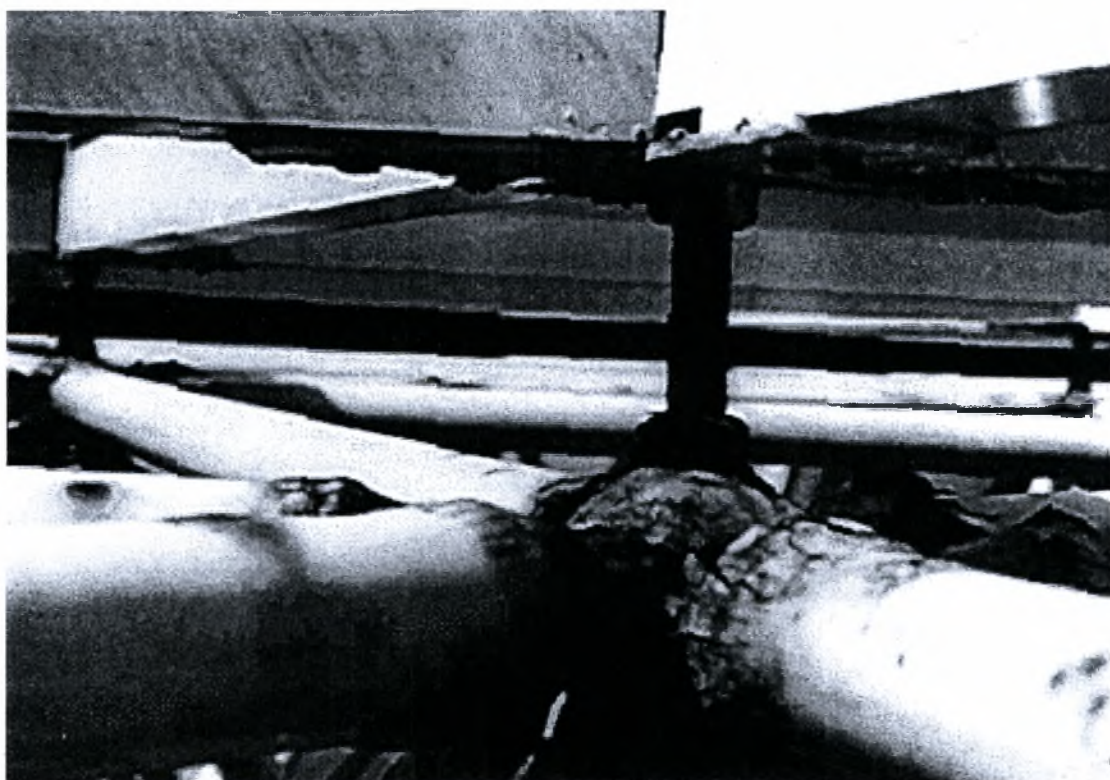
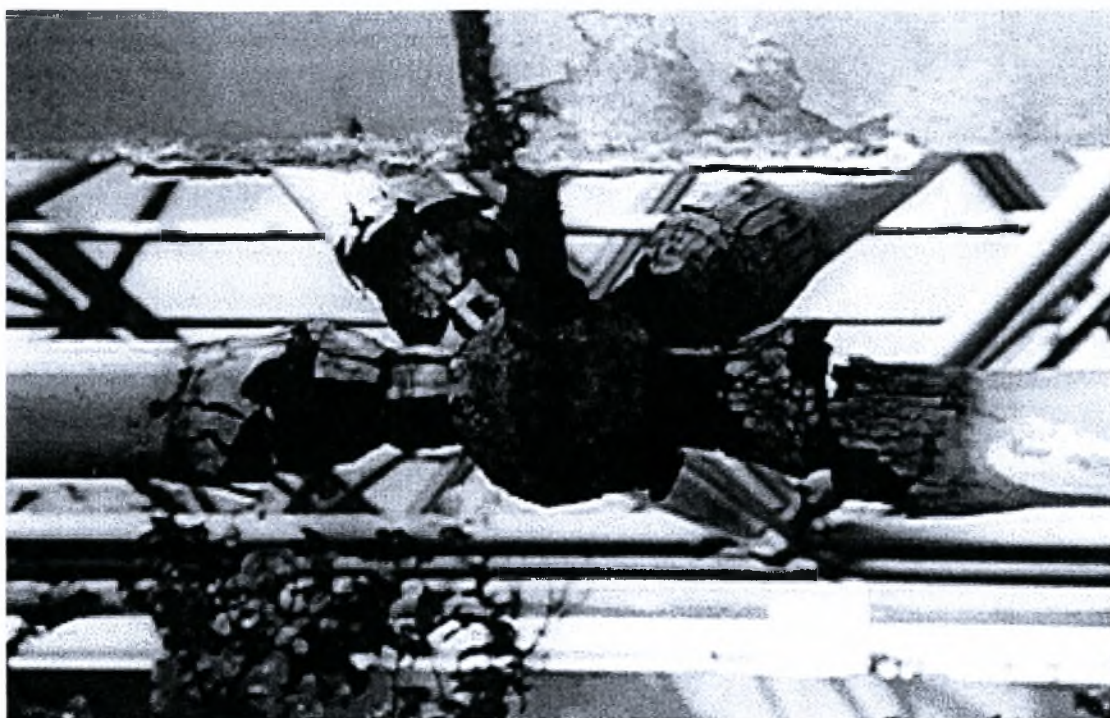
* βλέπε και Κεφάλαιο 3, σελίδα 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Παρ' όλο που ο χάλυβας εξακολουθεί να παραμένει ως το κατ' εξοχήν υλικό κατασκευής χωροδικτυωμάτων και θολωτών μεταλλικών κατασκευών, τελευταία παρουσιάζεται άνθιση στην χρήση εναλλακτικών υλικών, με προεξάρχουσα τη χρήση *αλουμινίου*. Και αυτό καθόσον η χρήση κραμάτων αλουμινίου υψηλής αντοχής αντί εναθρακωμένου χάλυβα ή ανοξειδώτου χάλυβα προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε όλες τις φάσεις κατασκευής και ανέγερσης τρισδιάστατων ιδία μεταλλικών κατασκευών (χωροδικτυωμάτων). Κατ' αρχήν είναι δεδομένο το μικρότερο αρχικό κόστος των κραμάτων αλουμινίου σε σχέση με αυτά του χάλυβα της ίδιας αντοχής, ενώ το κατά πολύ μικρότερο βάρος τους μειώνει αισθητά τα μόνιμα φορτία της κατασκευής και ελαχιστοποιεί το κόστος ανέγερσης και μεταφοράς. Πέραν των ανωτέρω αποφεύγονται και ανεπιθύμητα φαινόμενα, που σχετίζονται με συγκολλούμενα μέταλλα με βάση τον σίδηρο, όπως ρηγμάτωση λόγω σκωριάσεως, προβλήματα θερμαινόμενων ζωνών, απαιτήσεις ανακούφισης τάσεων, ανθρακική καθίζηση ανοξειδώτου χάλυβα κλπ.

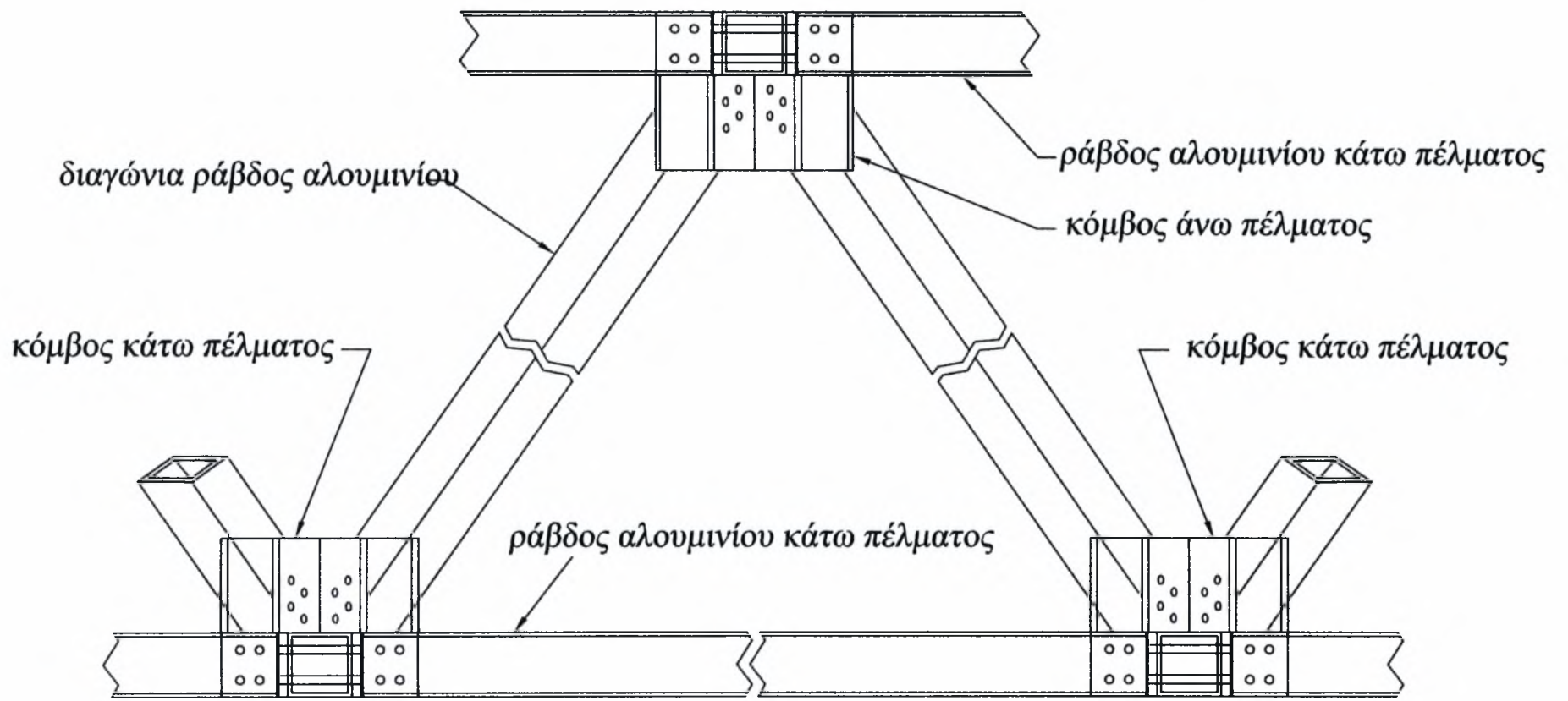
Το αλουμίνιο μπορεί να βαφεί αν χρειάζεται, ή να υποστεί ειδική χημική επεξεργασία για να ανθίσταται σε πολύ διαβρωτικό περιβάλλον, ενώ διαθέτει σύμφυτη (inherent) αντίσταση στις πλέον φυσιολογικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Δεν αναπτύσσει σημεία σκωρίας, αν χαραχθεί αυτοθεραπεύεται και γενικότερα δεν σχετίζεται με προβλήματα διάβρωσης όπως ο χάλυβας. Οι κατασκευές από αλουμίνιο προσφέρουν χαμηλό κόστος συντήρησης, καθόσον δεν απαιτείται μη διακοπώμενο στρώμα βαφής, το οποίο όταν διακοπεί να δημιουργεί εστίες ανάπτυξης διάβρωσης και σκωρίας λόγω ανοδιώσεως, όπως στο χάλυβα, με προφανή αποτελέσματα και ανάγκη άμεσης δαπανηρής αποκατάστασης (η οποία αν αμεληθεί ή εφαρμοστεί ελλιπώς μπορεί να οδηγήσει σε οδυνηρή και βασικά μη αναστρέψιμη απώλεια αντοχής της όλης κατασκευής).

Οι φωτογραφίες που ακολουθούν καταδεικνύουν την ταχεία χειροτέρευση οποιασδήποτε χωρικής κατασκευής από χάλυβα λόγω διάβρωσης, που μπορεί να οδηγήσει μέχρι και την αναπόφευκτη κατάρρευση.



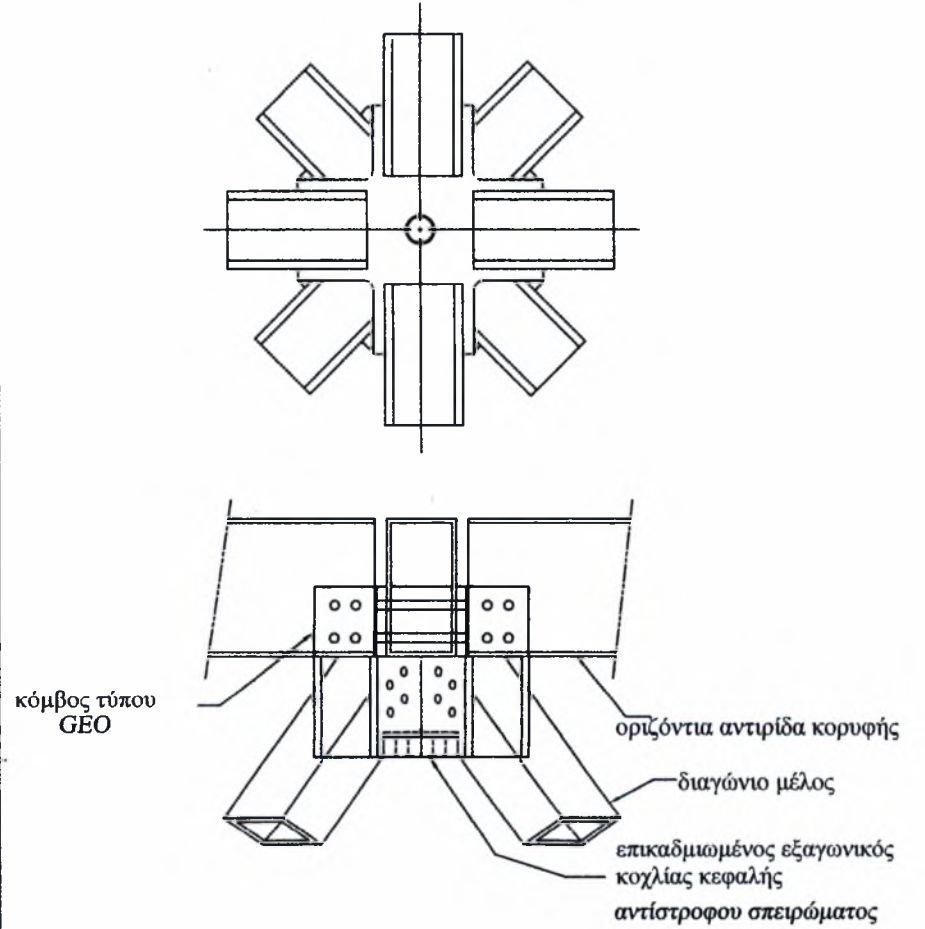
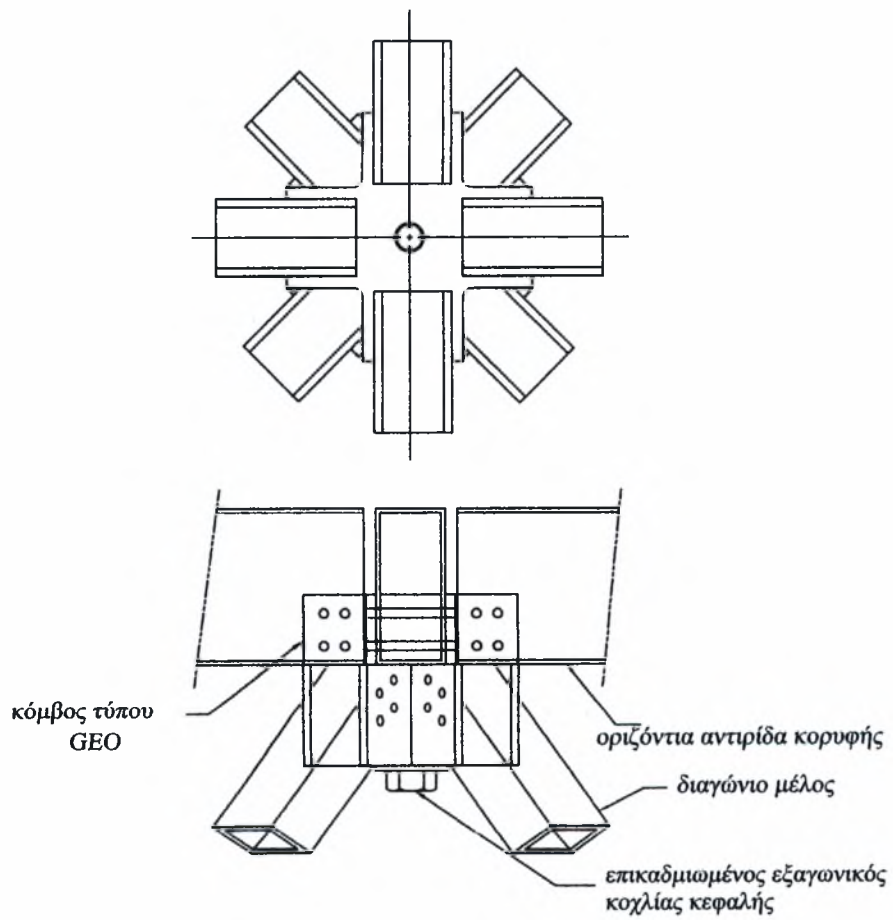
Ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, αλλά και σε άλλες προηγμένες τεχνολογικά χώρες, υπάρχουν αρκετές ιδιωτικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον σχεδιασμό, μελέτη, επιτόνηση ειδικών μορφών κόμβων – συστημάτων και κατασκευή χωροδικτυωμάτων και θόλων από ειδικά επεξεργασμένο αλουμίνιο. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες που ακολουθούν αναφέρονται σε τρία (3) χαρακτηριστικά συστήματα Χ/Δ (Geo, Omni και Star), όμως κάλλιστα δύνανται να θεωρηθούν (με μικρές διαφοροποιήσεις) ως **πρότυπα**, όσον αφορά την μόρφωση κόμβων μεταλλικών εν γένει χωροδικτυωμάτων και την διάταξη-σύνδεση επικαλύψεων, στηρίξεων διαφόρων τύπων κλπ.

ΤΥΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ-ΜΕΛΩΝ GEO



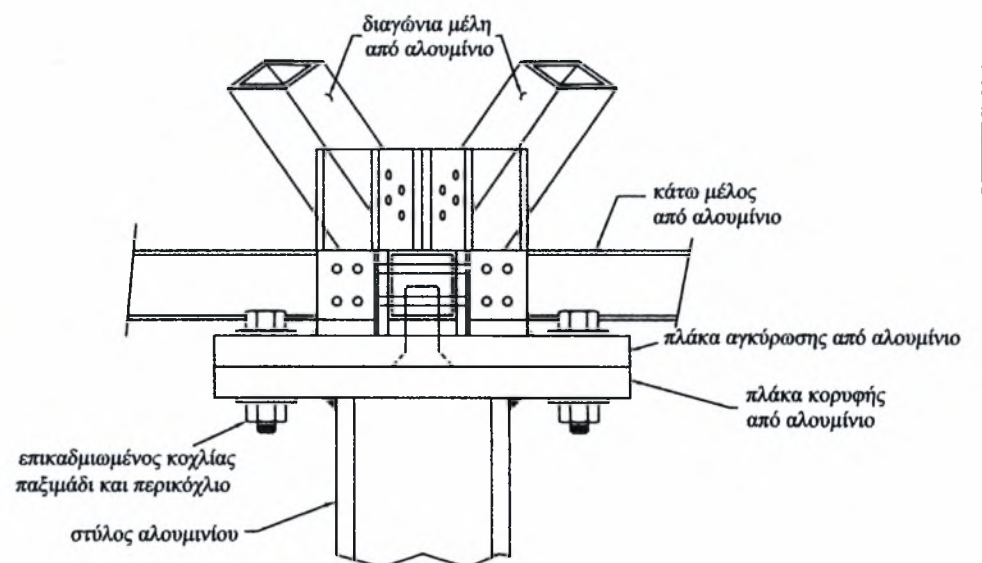
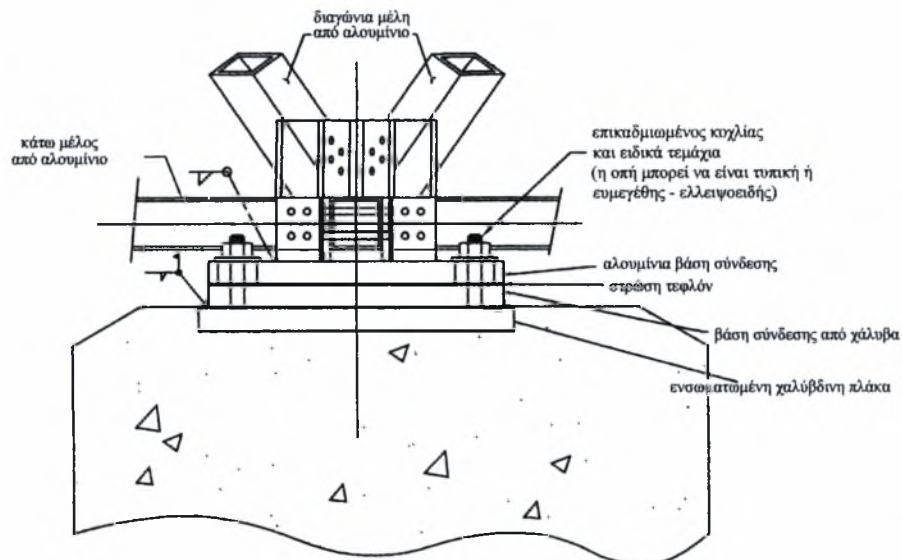
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ-ΜΕΛΩΝ GEO III

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ-ΜΕΛΩΝ GEO II

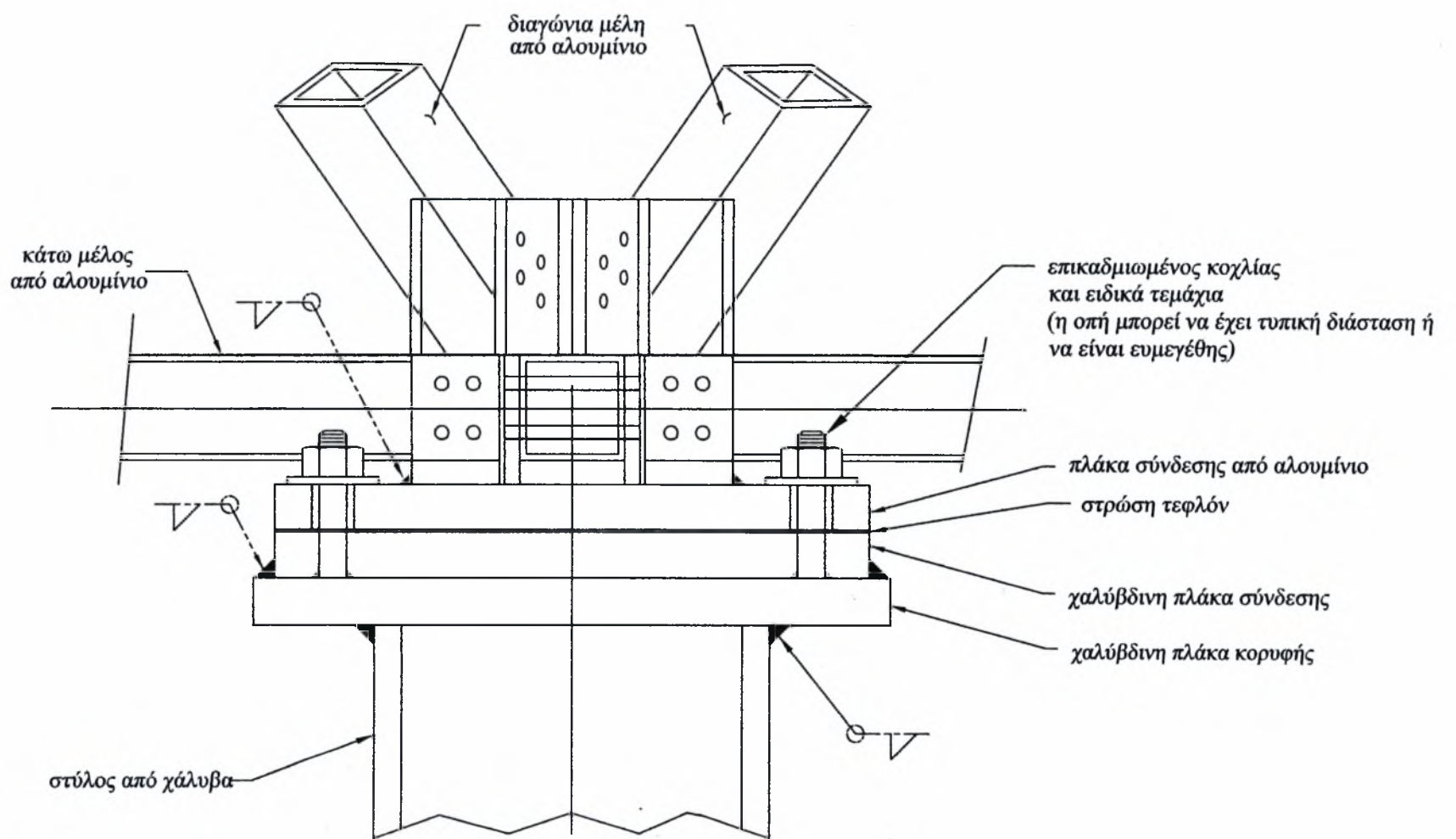


ΤΥΠΙΚΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΠΙ ΒΑΣΕΩΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

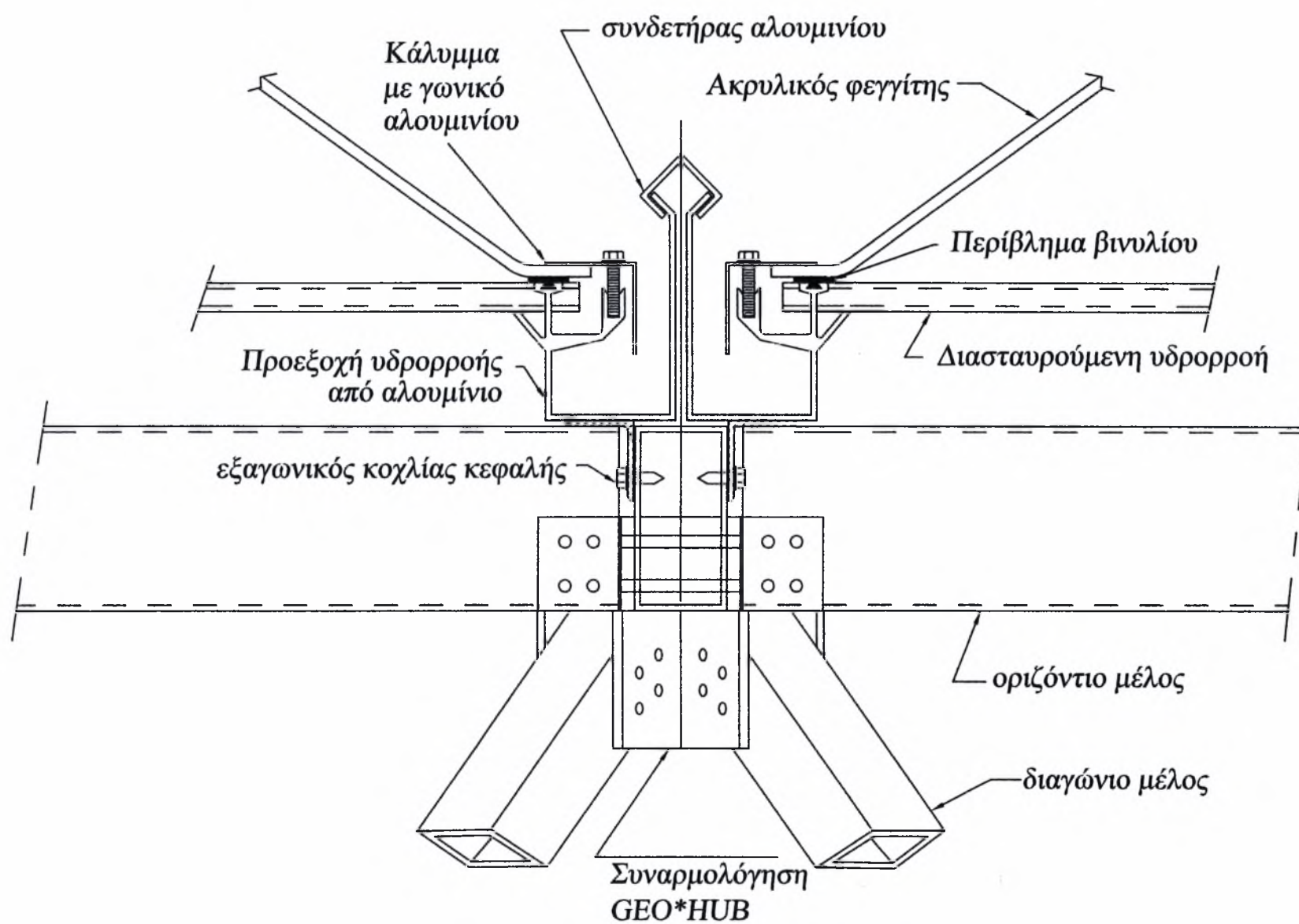
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΓΕΩ ΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΤΥΛΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ



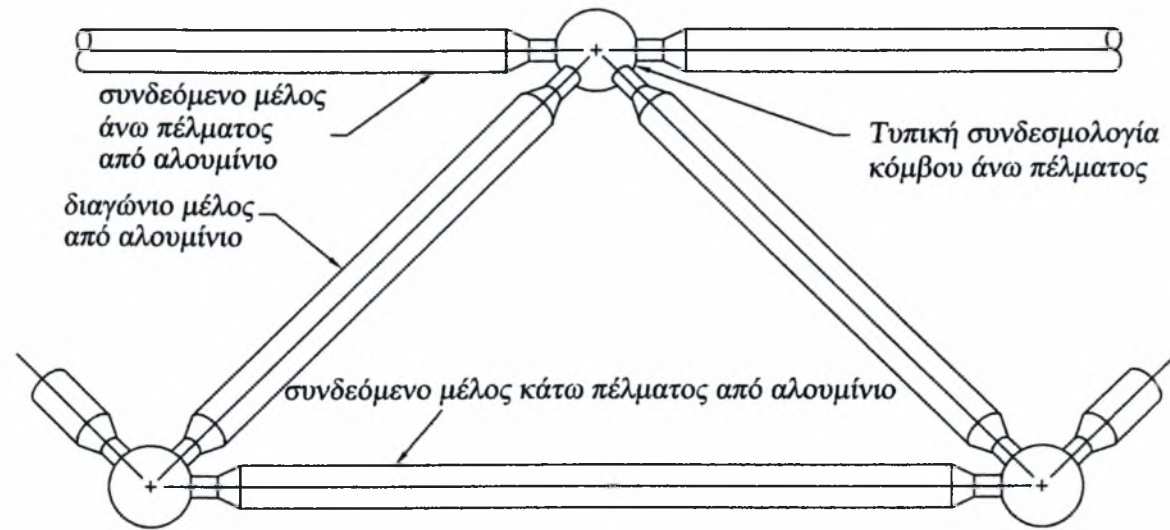
ΤΥΠΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΓΕΩ ΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΗ ΣΕ ΣΤΥΛΟ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ



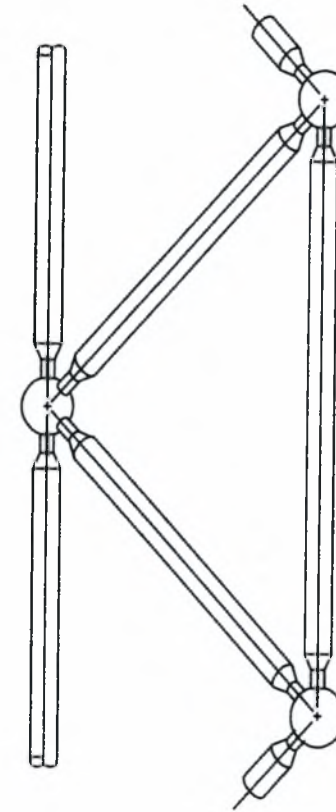
Λεπτομέρεια κόμβου GEO με επικάλυψη ακρυλικού φεγγίτη



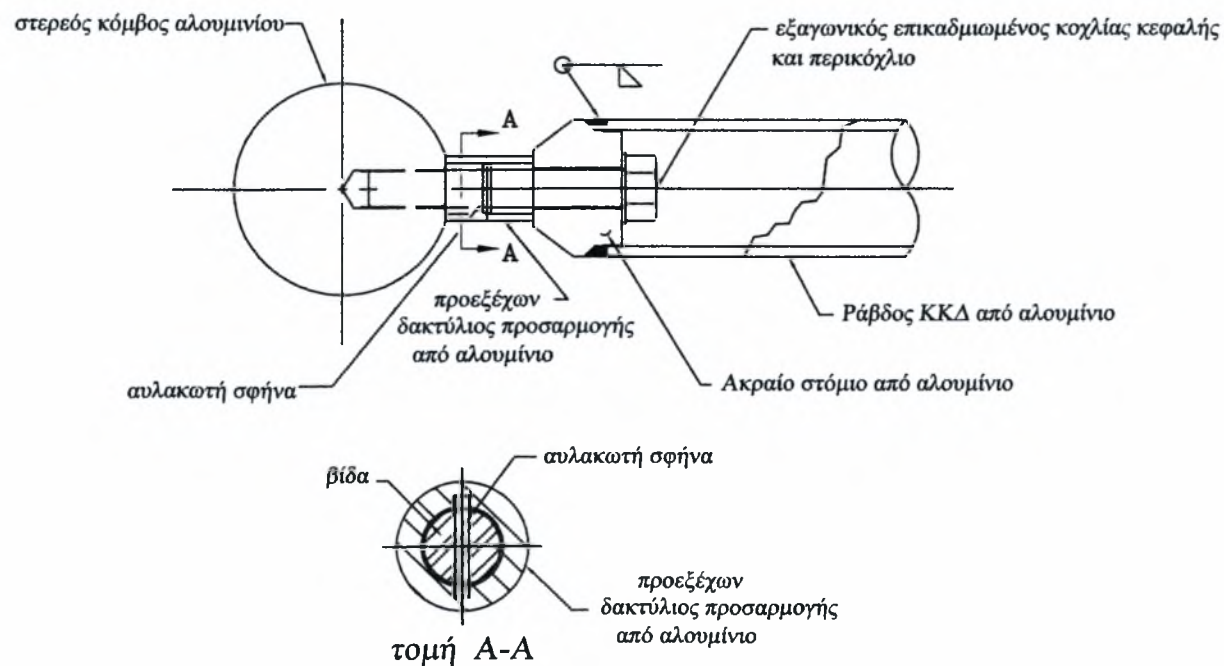
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ-ΜΕΛΩΝ ΟΜΝΙ



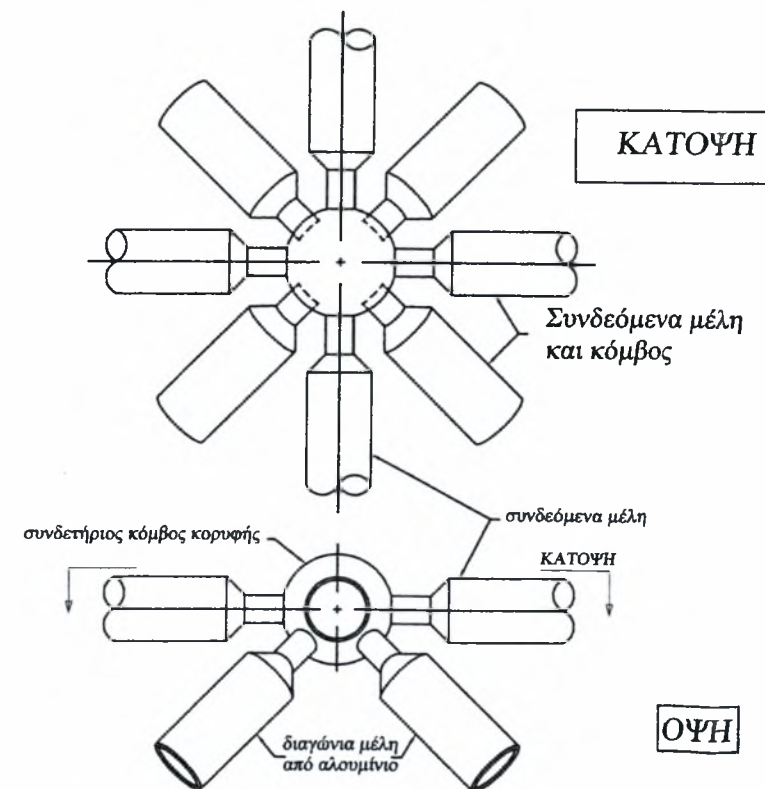
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ-ΜΕΛΩΝ ΟΜΝΙ



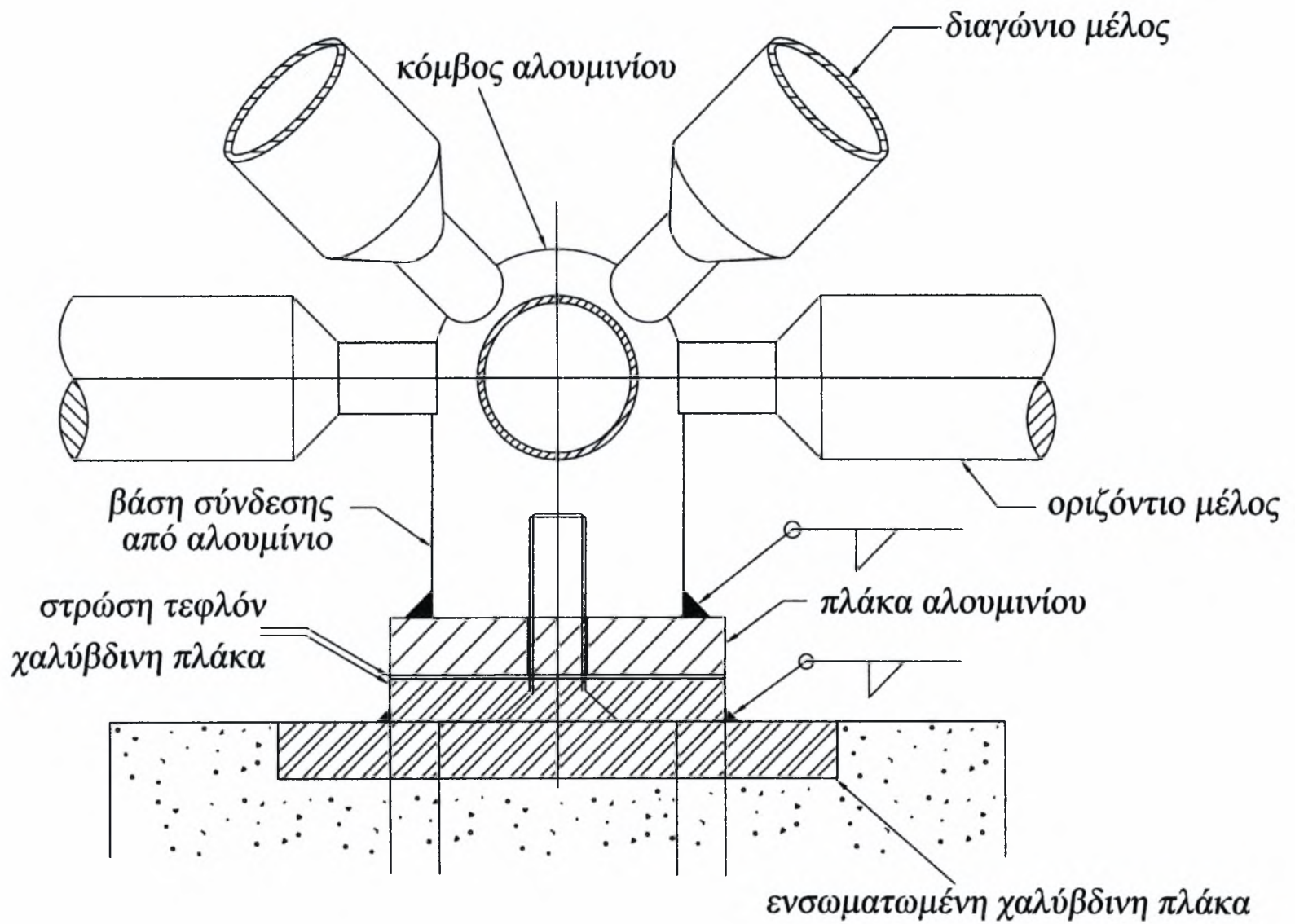
ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΟΜΒΟΥ, ΜΕΛΩΝ ΚΑΙ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΟΜΝΙ



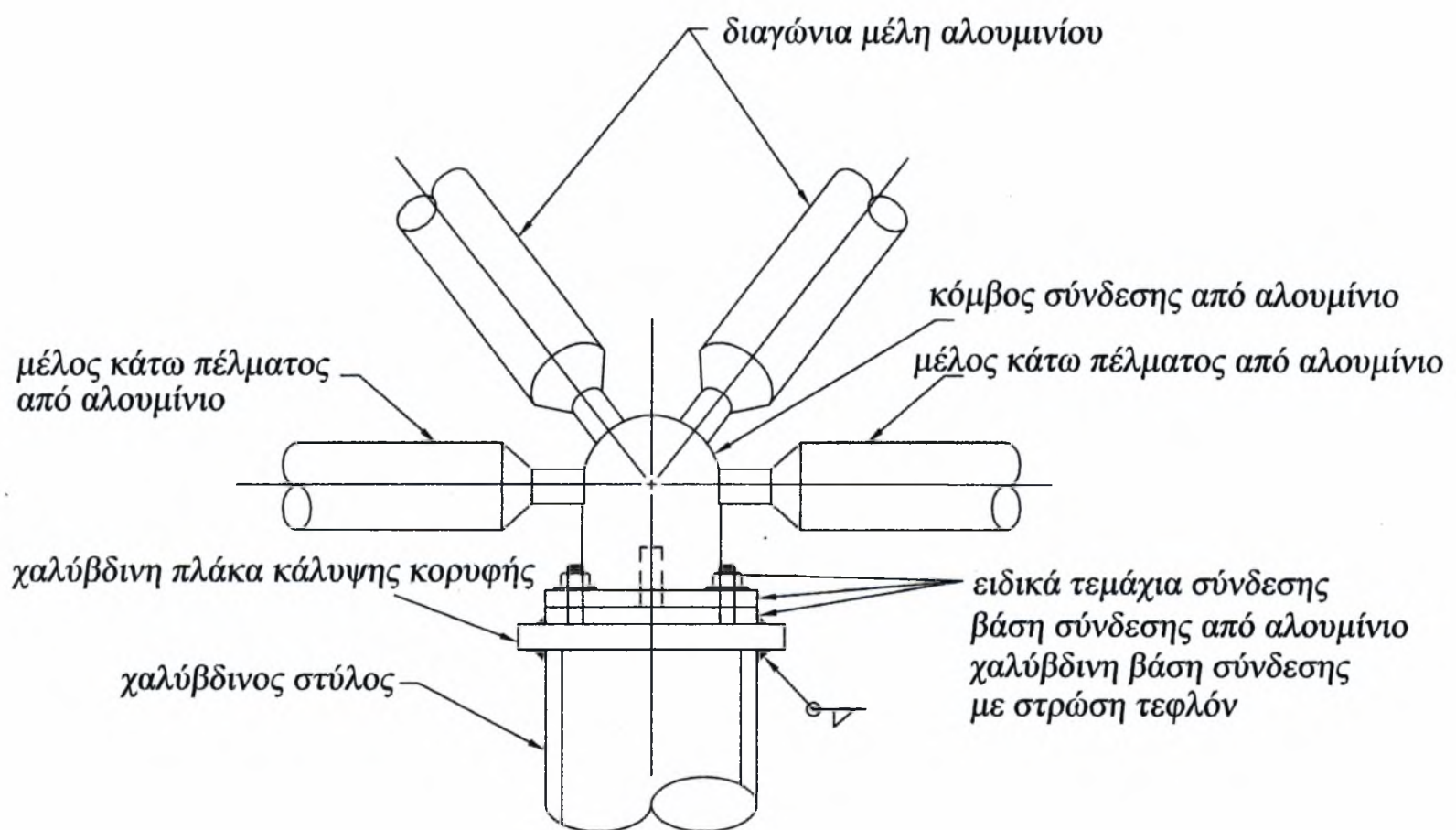
Μόρφωση Κόμβου ΟΜΝΙ



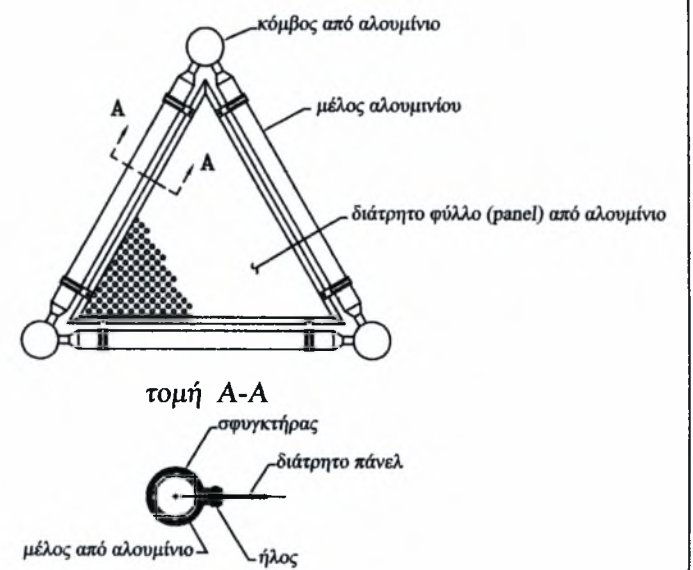
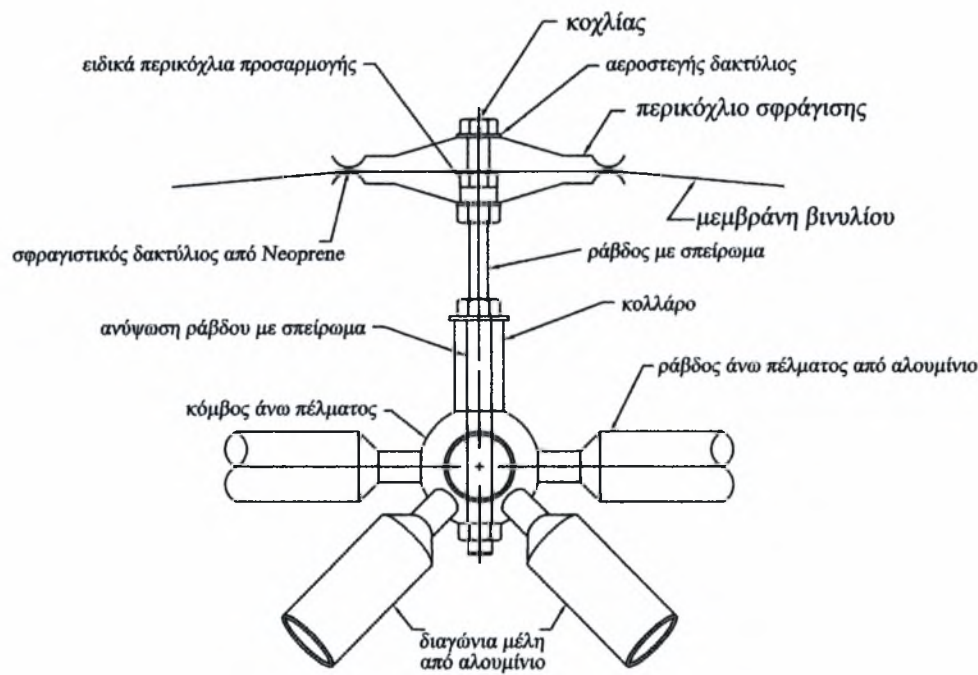
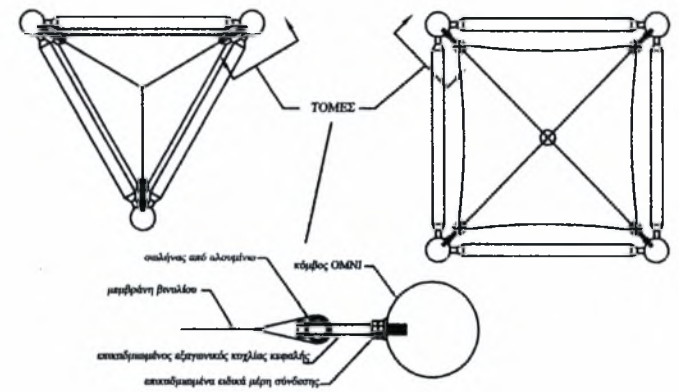
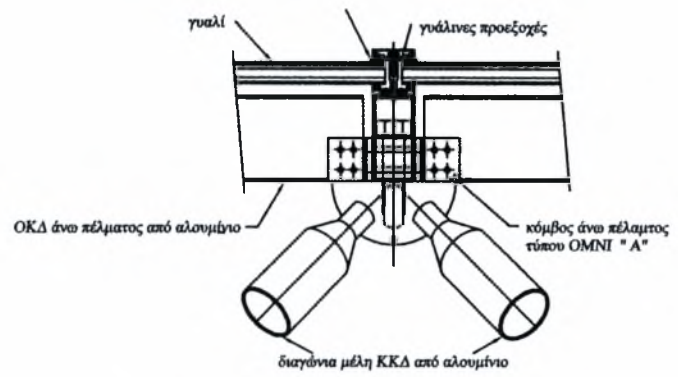
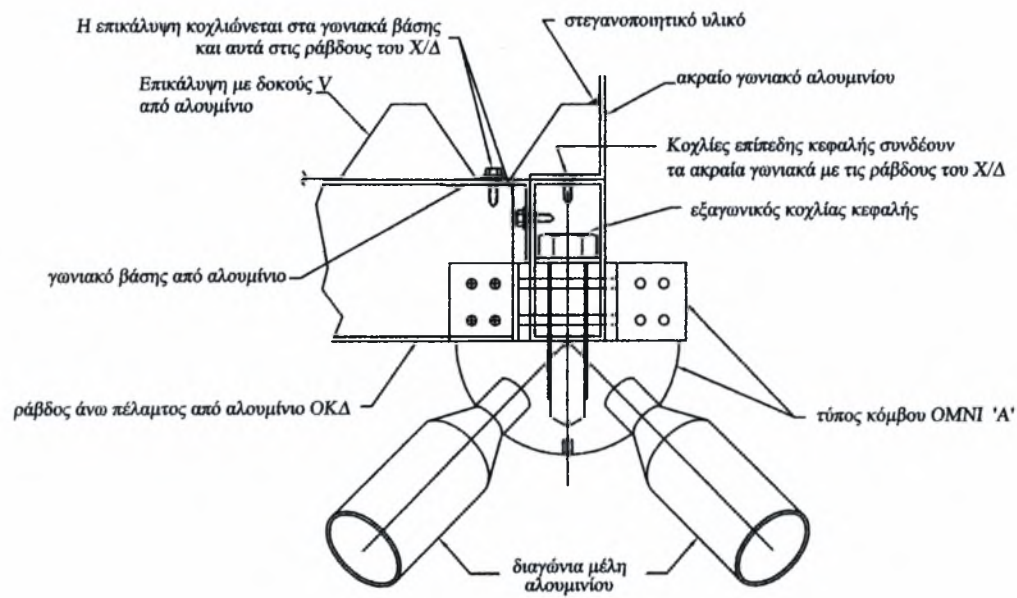
ΤΥΠΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΟΜΝΙ

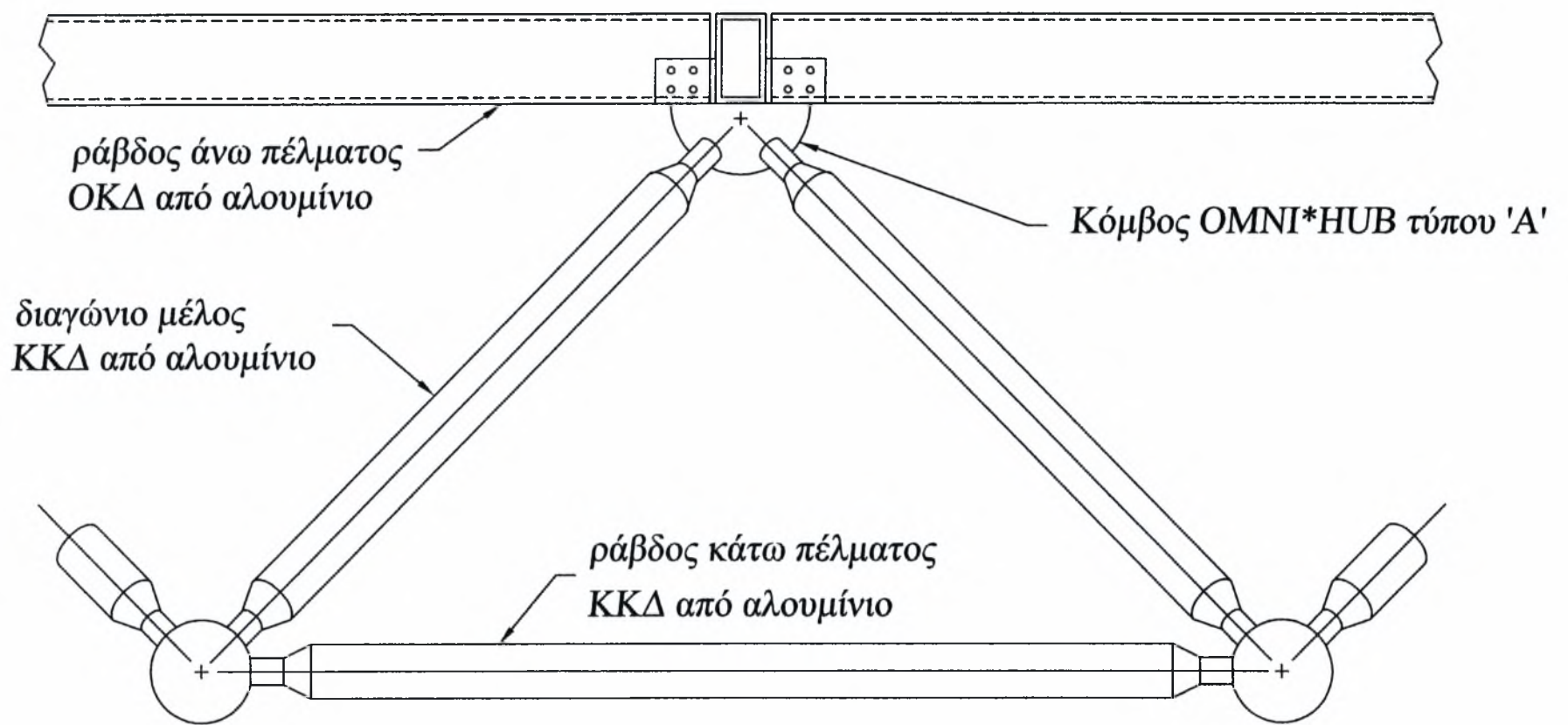


ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΟΜΝΙ ΣΤΕΡΕΩΜΕΝΗ ΣΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟ ΣΤΥΛΟ

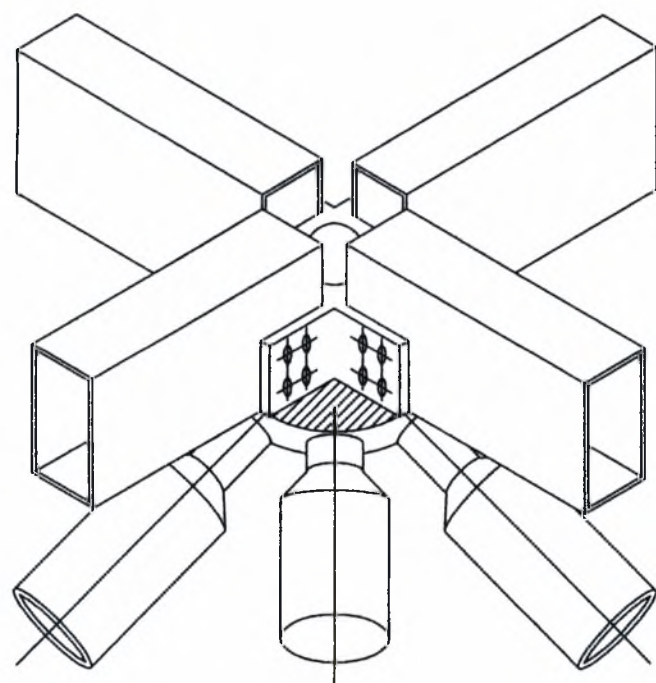


Λεπτομέρειες μόρφωσης και στήριξης επικάλυψης διαφόρων τύπων για κόμβο OMNI-A

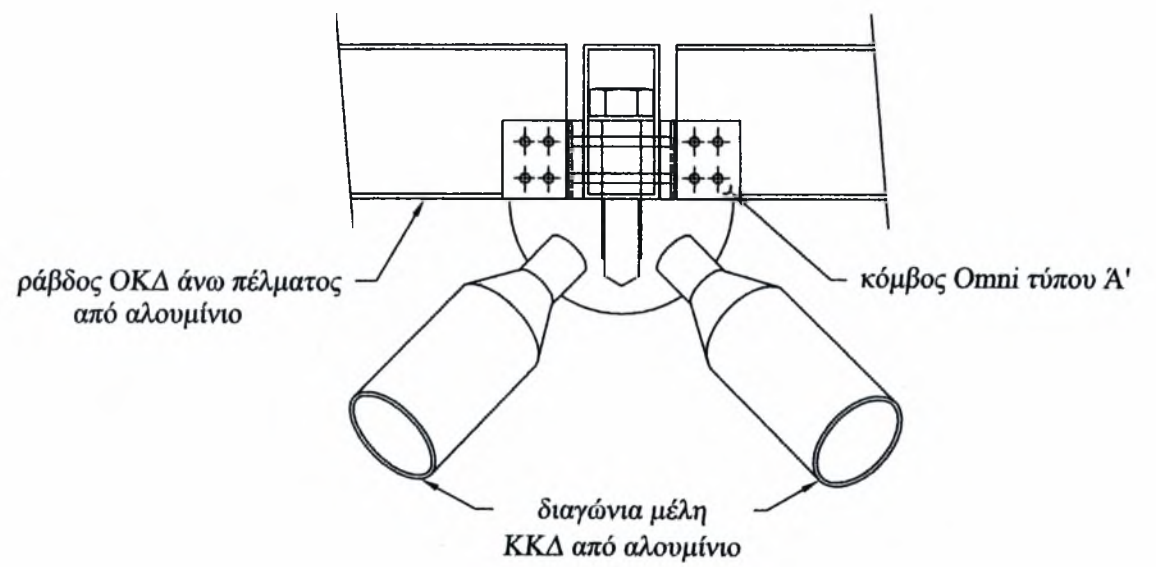




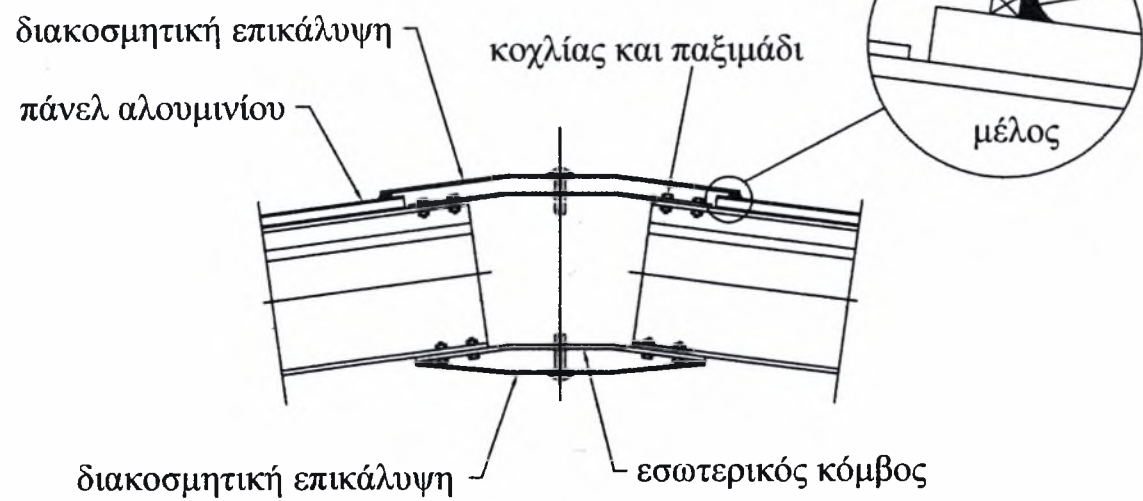
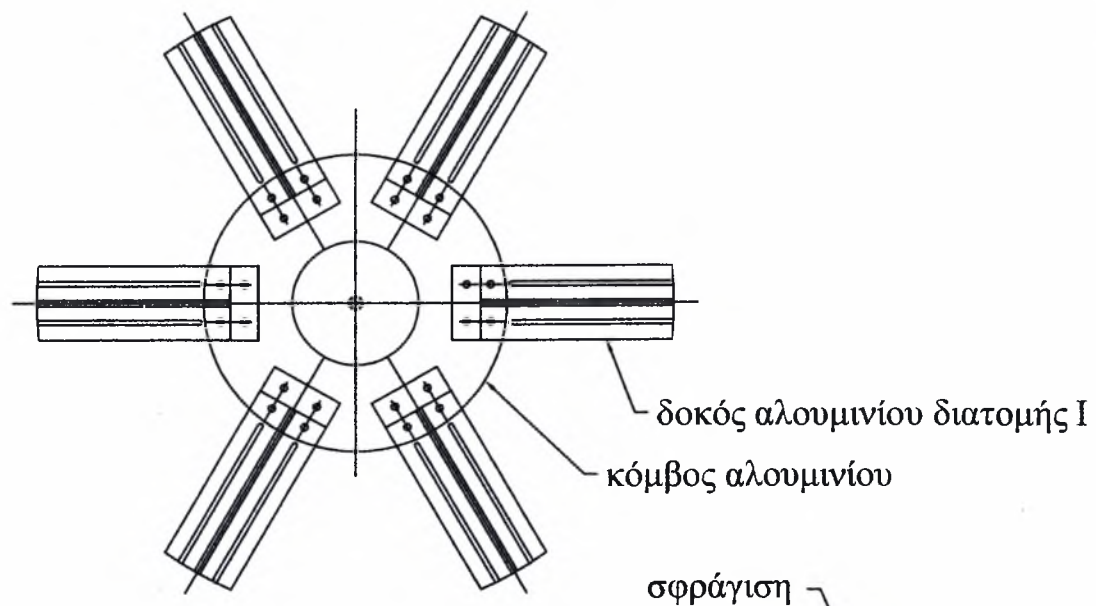
σύστημα OMNI*HUB τύπου 'Α'
 συναρμολόγηση κόμβου-μέλους



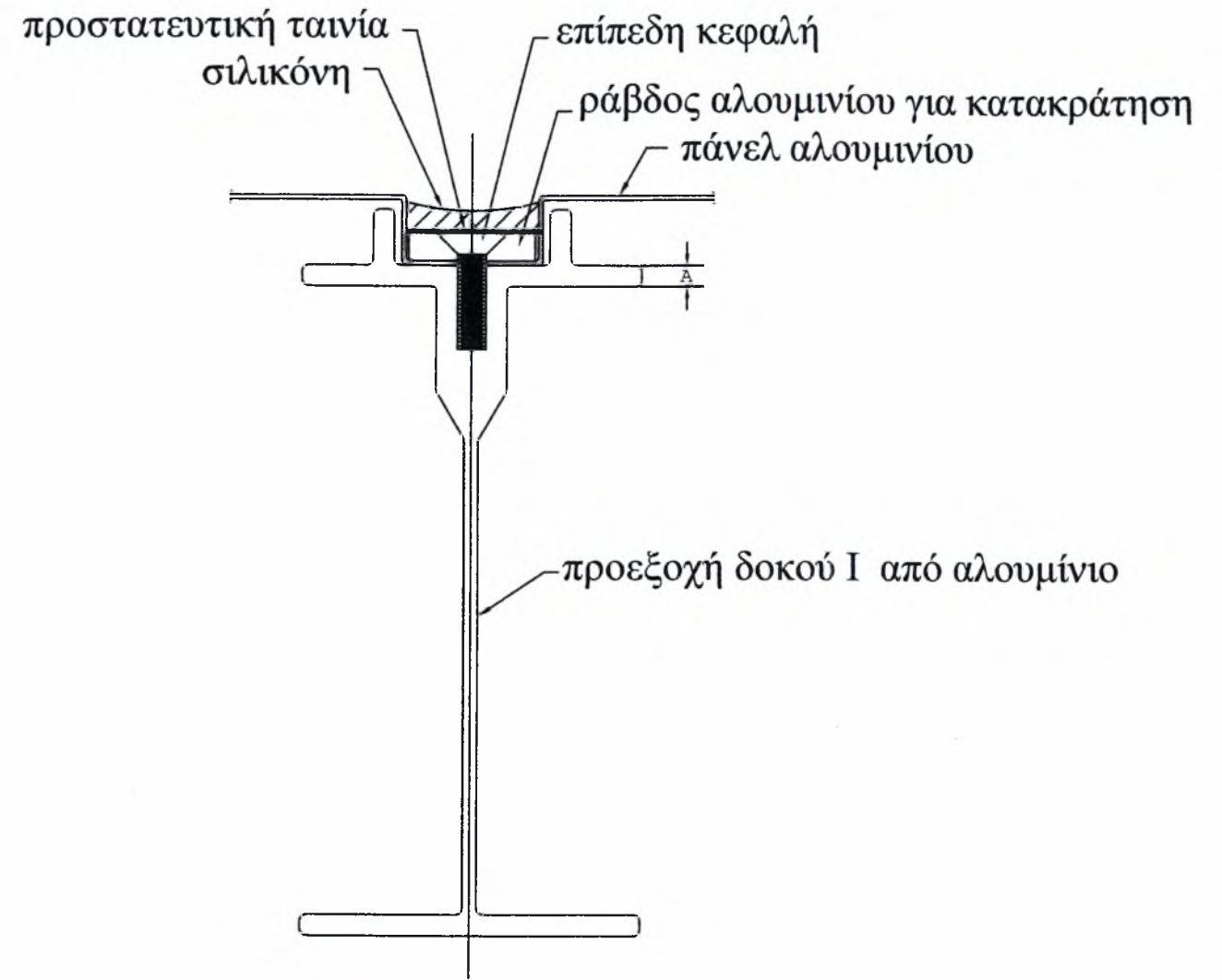
τριδιάστατη απεικόνιση
 κόμβου OMNI τύπου "Α"



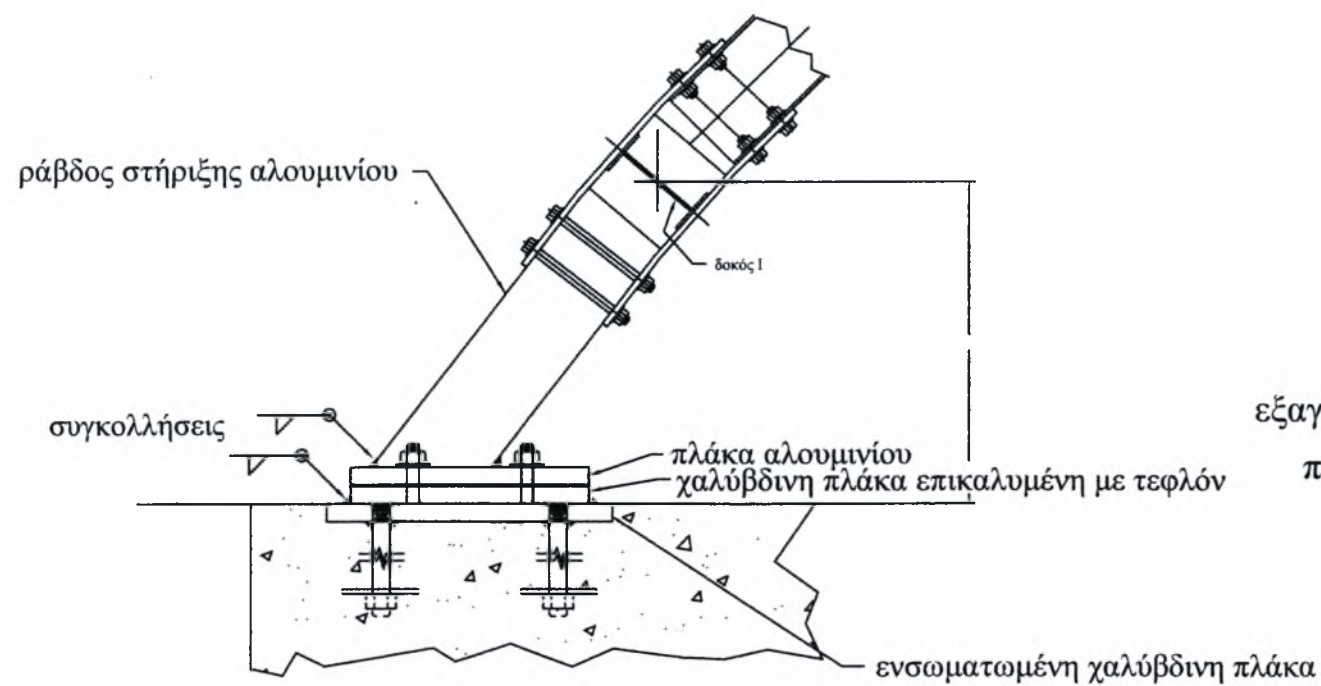
Σύστημα OMNI τύπου Α'
 συναρμολόγηση κόμβου-μελών
 ενός τυπικού κόμβου άνω πέλματος



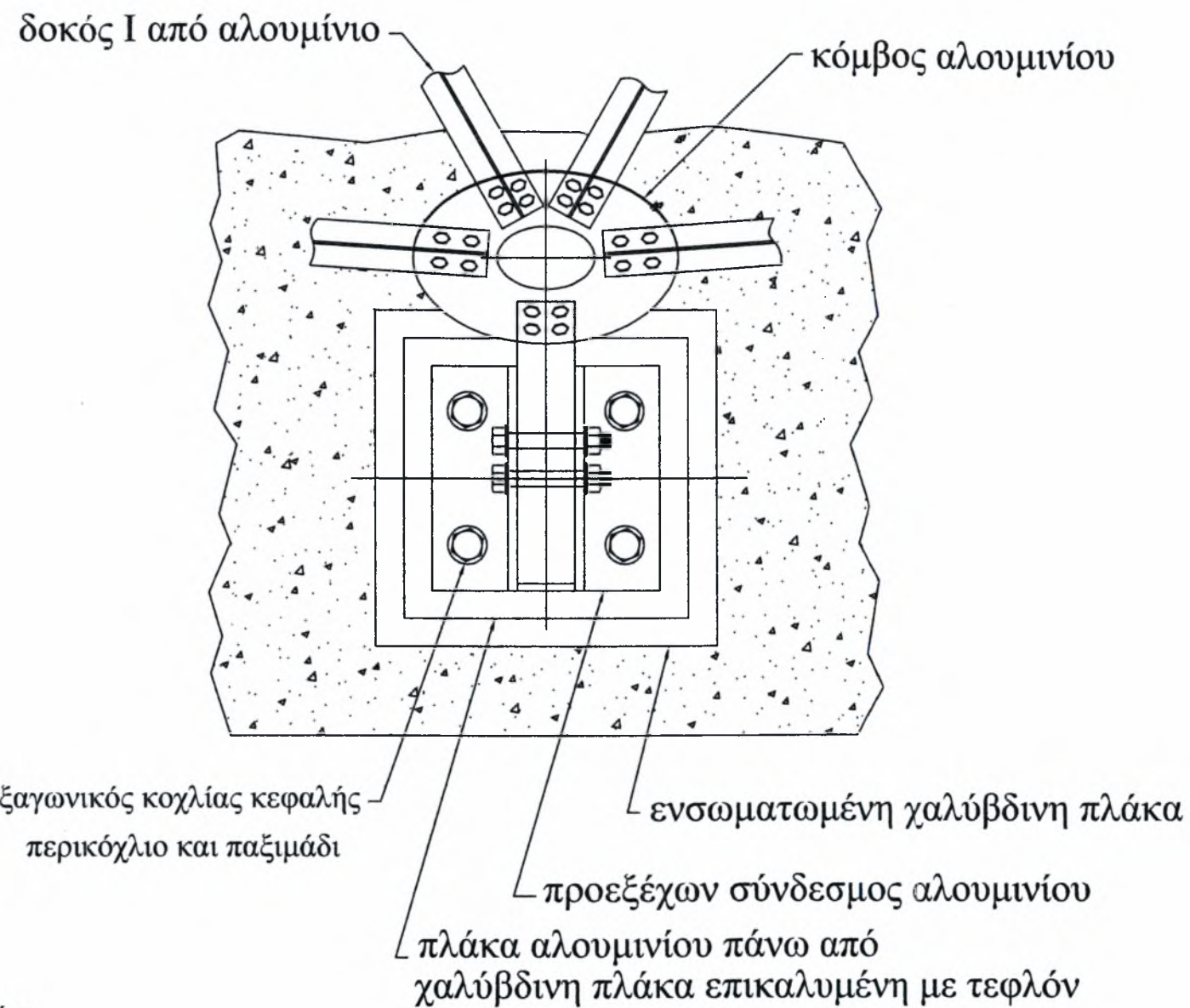
σύστημα STAR*DOME
συναρμολόγηση κόμβου-μέλους



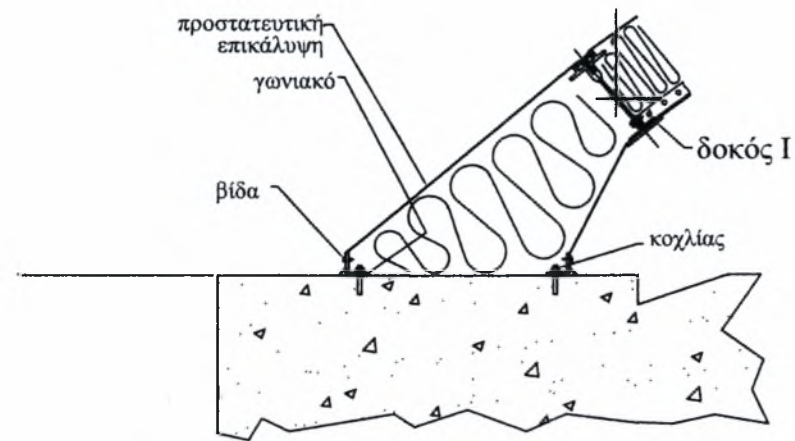
σύστημα STAR*DOME
τυπικής δοκού I
με επικάλυψη από πάνελ αλουμινίου



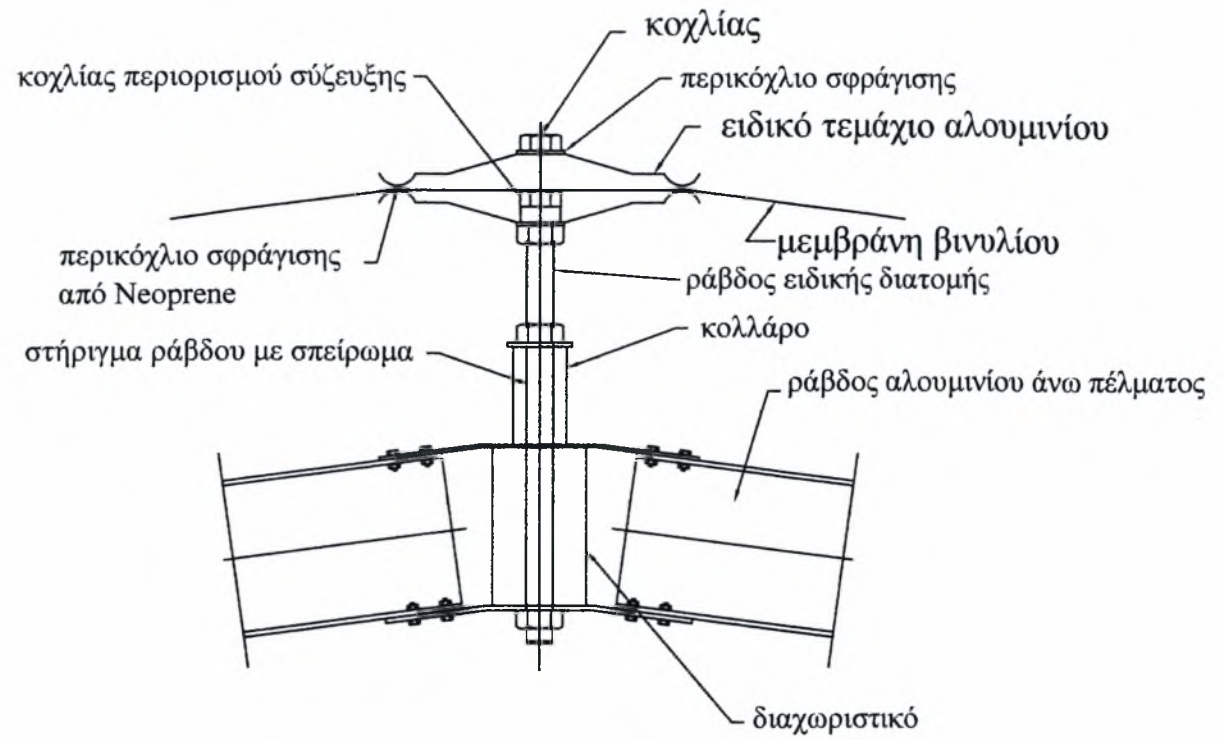
σύστημα στήριξης STAR*DOME
σε βάση σκυροδέματος



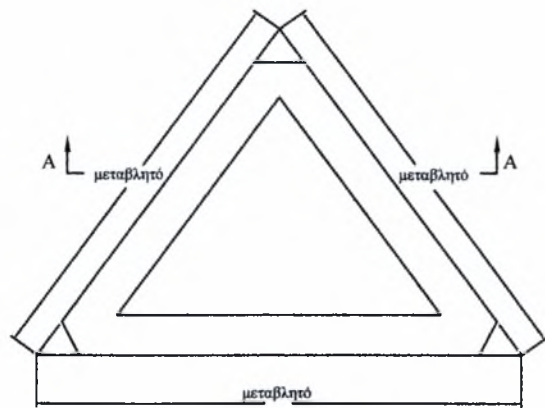
σύστημα STAR*DOME
συναρμολόγηση κόβου-μέλους
κάτοψη



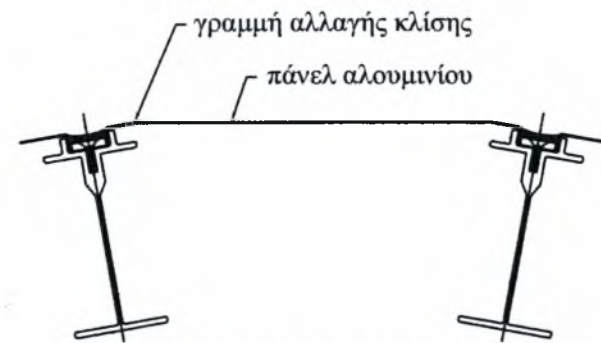
σύστημα STAR*DOME
διαμόρφωση κόμβου
υπό γωνία σε βάση σκυροδέματος



στήριξη μεμβράνης σε
σύστημα STAR*DOME

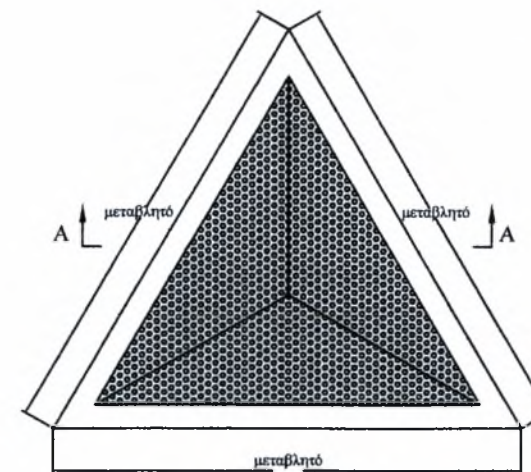


τυπικές διαστάσεις πάνελ αλουμινίου
(διαφέρουν)

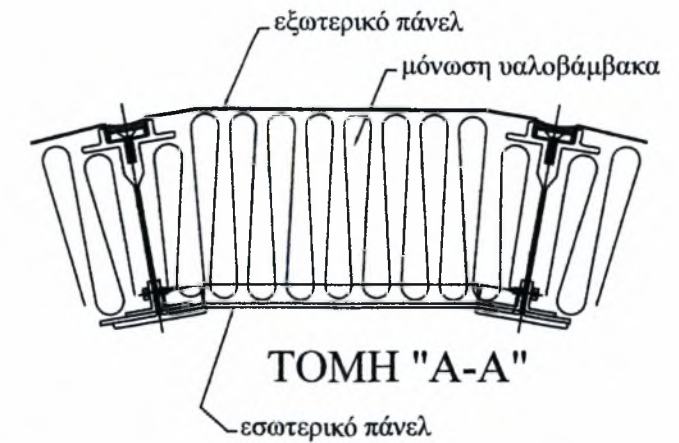


ΤΟΜΗ "Α-Α"

σύστημα STAR*DOME
συναρμολόγηση κόμβου-μέλους
με πάνελ αλουμινίου



τυπικό διάτρητο πάνελ



σύστημα STAR*DOME
συναρμολόγηση κόμβου-μέλους
με διάτρητο πάνελ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΘΟΛΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή μας αποτελείται από δύο ομόκεντρους ημισφαιρικούς θόλους. Ο εξωτερικός έχει διάμετρο 50 μέτρα και ύψος 25 μέτρα και ο εσωτερικός διάμετρο 48 μέτρα και ύψος 24 μέτρα. Κάθε θόλος μορφώνεται μέσω χωροδικτύωματος με κόμβους στην επιφάνεια της αντίστοιχης σφαίρας, ο οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με συγκεκριμένη διάταξη και εναλλαγή, με σκοπό τον συνδυασμό οικονομίας, αντοχής και καθολικής ευστάθειας. Συνολικά η κατασκευή αποτελείται από 8542 ράβδους και 2884 κόμβους. Τόσο ο εξωτερικός όσο και ο εσωτερικός θόλος αποτελούνται από 23 παράλληλους και 64 μεσημβρινούς δακτύλιους. Ο εξωτερικός θόλος δεν έχει παράλληλο δακτύλιο στο έδαφος γιατί θεωρήσαμε ότι λόγω της μεγάλης υπερστατικότητας του θόλου η στήριξη της κατασκευής μπορεί να γίνει μέσω του εσωτερικού θόλου μόνο. Επιπλέον θεωρήθηκε περιττός στην συνδεσμολογία αφού θα συνδεόταν μόνο με τον εξωτερικό θόλο μια και η σύνδεση με τον εσωτερικό δεν έχει κανένα νόημα στην ανάληψη των φορτίων. Επίσης το αισθητικό αποτέλεσμα που δημιουργείται έτσι είναι καλύτερο. Σε βαθμό προμελέτης οι στηρίξεις θεωρούνται αρθρωτές και δεν εξετάζονται περαιτέρω.

Στην βάση και στην κορυφή επιλέχθηκε ειδική συνδεσμολογία. Στον εσωτερικό παράλληλο δακτύλιο του εδάφους οι κόμβοι ενώθηκαν μεταξύ τους όλοι περιμετρικά για καλύτερη στήριξη. Από τον προτελευταίο προς την κορυφή παράλληλο δακτύλιο μέχρι την κορυφή οι μεσημβρινοί μειώθηκαν αρχικά στους 32 και κατόπιν στους 8 ώστε το μήκος των οριζόντιων ράβδων να μην είναι πολύ μικρό. Οι κόμβοι κορυφής των δύο θόλων δεν ενώθηκαν μεταξύ τους.

Το ύψος και το άνοιγμα της κατασκευής είναι τέτοια ώστε το κτίριο να μπορεί να αποτελέσει κάλλιστα να αποτελέσει τον Φ.Ο. ενός εκθεσιακού κέντρου. Ακριβώς λόγω των μεγάλων διαστάσεων του επιλέχθηκαν δύο θόλοι ώστε να έχουμε ευστάθεια του οικοδομήματος και να μην έχουμε αστοχία λόγω ακαριαίου λυγισμού. Η απόσταση του ενός μέτρου μεταξύ των δύο θόλων έγινε για να μην έχουμε μεγάλα μήκη ράβδων, να μην αναπτύσσεται μεγάλο δίρροπο και για να υπάρχει πρόβλεψη ικανοποιητικού χώρου μεταξύ των εσχάρων για οδεύσεις ΗΛΜ εξοπλισμού.

Τα μήκη των ράβδων κυμαίνονται από 40 εκατοστά έως 2.45 μέτρα. Η επιλογή των διαστάσεων τους έγινε έτσι ώστε να μην έχουμε ράβδους με μεγάλα μήκη στις οποίες η πιθανή κατασκευαστική εκκεντρότητα θα είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αθέλητων ροπών και τον κίνδυνο αστοχίας από συνδυασμένη κάμψη και αξονική καταπόνηση.

Οι διάμετροι και τα υψόμετρα από το έδαφος των παράλληλων δακτυλίων των δύο θόλων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Η αρίθμηση τους έγινε ξεκινώντας από τη βάση των θόλων.

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΘΟΛΟΣ		
Παράλληλοι δακτύλιοι	Υψόμετρο (σε μέτρα)	Διάμετρος (σε μέτρα)
(1)	(2)	(3)
1ος	0.818	50.000
2ος	2.450	49.759
3ος	4.072	49.332
4ος	5.677	48.694
5ος	7.257	47.847
6ος	8.806	46.795
7ος	10.318	45.543
8ος	11.785	44.096
9ος	13.202	42.460
10ος	14.562	40.642
11ος	15.860	38.651
12ος	17.090	39.493
13ος	18.246	34.180
14ος	19.325	31.720
15ος	20.321	29.124
16ος	21.230	26.403
17ος	22.048	23.570

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΘΟΛΟΣ		
Παράλληλοι δακτύλιοι	Υψόμετρο (σε μέτρα)	Διάμετρος (σε μέτρα)
(4)	(5)	(6)
1ος	0.000	48.000
2ος	1.570	47.897
3ος	3.133	47.589
4ος	4.682	47.078
5ος	6.212	46.364
6ος	7.715	45.453
7ος	9.184	44.346
8ος	10.615	43.050
9ος	12.000	41.569
10ος	13.334	39.911
11ος	14.610	38.081
12ος	15.824	36.088
13ος	16.971	33.941
14ος	18.044	31.649
15ος	19.041	29.221
16ος	19.955	26.667
17ος	20.785	24.000

(1)	(2)	(3)
18ος	22.772	20.635
19ος	23.398	17.613
20ος	23.924	14.514
21ος	24.347	11.354
22ος	24.666	8.145
23ος	24.880	4.901
κορυφή	25.000	0.000

(4)	(5)	(6)
18ος	21.525	21.230
19ος	22.173	18.369
20ος	22.726	15.429
21ος	23.182	12.423
22ος	23.539	9.364
23ος	23.884	4.705
Κορυφή	24.000	0.000

Η θολωτή κατασκευή σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Autocad Rel.14. Η παρούσα διπλωματική εργασία πλαισιώνεται με ορισμένα σχέδια, στα οποία παρουσιάζεται η κατασκευή σε κατόψεις, όψεις καθώς και λεπτομέρειες κορυφής, βάσης και τυπικής τρισδιάστατης σύνδεσης και τα οποία αποσκοπούν στην κατανόηση της συνδεσμολογίας και μορφολογίας του υπό ανάλυση μεταλλικού θόλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

7.1 Μόνιμα φορτία

Το ίδιο βάρος των ράβδων υπολογίζεται αυτόματα από το χρησιμοποιούμενο τεχνικό λογισμικό (πρόγραμμα Sap2000) και λαμβάνεται άμεσα υπ' όψη στην ανάλυση. Για τους κόμβους επιλέγουμε σφαίρα διαμέτρου 11 εκατοστών για όλους τους κόμβους του χωροδικτυώματος. Θεωρούμε ότι το μέγεθος αυτό είναι αρκετό δεδομένου της πυκνότητας των κόμβων. Σε βαθμό προμελέτης υποθέτουμε ότι ο κόμβος αποτελείται από συμπαγή σφαίρα και πολλαπλασιάζουμε το βάρος του με συντελεστή 1.2 έτσι ώστε να συμπεριληφθούν στον κόμβο φορτία από τον μηχανολογικό εξοπλισμό και κάθε είδους ειδικά τεμάχια.

Ο όγκος της σφαίρας είναι :

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 0.055^3 = 0.0006969m^3$$

Το ειδικό βάρος του χάλυβα είναι $\gamma = 7.85 \text{ t/m}^3 = 78.5 \text{ KN/m}^3$.

Συνεπώς το βάρος της σφαίρας το οποίο λαμβάνουμε στις επιλύσεις είναι:

$$B = 1.2 \cdot V \cdot \gamma = 1.2 \cdot 0.0006969 \cdot 78.5 = 0.06565\text{KN}$$

Στα μόνιμα φορτία ανήκουν και το φορτία λόγω που λαμβάνεται ίσο με 15 Kg/m^2 . Θεωρούμε ότι η επικάλυψη αναλαμβάνεται από τους κόμβους του εξωτερικού θόλου αλλά και από αυτούς του εσωτερικού οι οποίοι βρίσκονται στο ύψος του εδάφους. Υπολογίζουμε τα τρισδιάστατα εμβαδά επιρροής των κόμβων και με βάση αυτά κατανέμουμε τα φορτία της επικάλυψης.

7.2 Κινητά φορτία

Το σχήμα της κατασκευής περιορίζει στο ελάχιστο την πιθανότητα συσσώρευσης χιονιού, με αποτέλεσμα να μειώνεται αισθητά η επιρροή του στα κινητά φορτία. Πλην όμως στην παρούσα εργασία λαμβάνεται εξωτερικό κινητό φορτίο ίσο με 10 kg/m^2 , για λόγους καθαρά συνδυασμών με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς. Το φορτίο αυτό κατανέμεται καθ' όμοιο τρόπο με αυτό της επικάλυψης, ως άνω.

Τα φορτία της επικάλυψης και τα κινητά φορτία όπως αυτά προκύπτουν από τα εμβαδά επιρροής των κόμβων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Παράλληλος Δακτύλιος	Εμβαδόν επιρροής κόμβων (m ²)	Φορτία επικάλυψης (KN)	Κινητά φορτία (KN)
1 ^{ος} εσωτερικός	1.0237	0.1536	0.1024
1 ^{ος} εξωτερικός	2.5177	0.3777	0.2518
2 ^{ος} εξωτερικός	4.0030	0.6005	0.4003
3 ^{ος} εξωτερικός	3.9773	0.5966	0.3977
4 ^{ος} εξωτερικός	3.9345	0.5902	0.3934
5 ^{ος} εξωτερικός	3.8749	0.5812	0.3875
6 ^{ος} εξωτερικός	3.7986	0.5698	0.3799
7 ^{ος} εξωτερικός	3.7062	0.5559	0.3706
8 ^{ος} εξωτερικός	3.5979	0.5397	0.3598
9 ^{ος} εξωτερικός	3.4741	0.5211	0.3474
10 ^{ος} εξωτερικός	3.3355	0.5003	0.3335
11 ^{ος} εξωτερικός	3.1826	0.4774	0.3183
12 ^{ος} εξωτερικός	3.0160	0.4524	0.3016
13 ^{ος} εξωτερικός	2.8366	0.4255	0.2837
14 ^{ος} εξωτερικός	2.6450	0.3968	0.2645
15 ^{ος} εξωτερικός	2.4421	0.3663	0.2442
16 ^{ος} εξωτερικός	2.2287	0.3343	0.2229
17 ^{ος} εξωτερικός	2.0058	0.3009	0.2006
18 ^{ος} εξωτερικός	1.7742	0.2661	0.1774
19 ^{ος} εξωτερικός	1.5351	0.2303	0.1535
20 ^{ος} εξωτερικός	1.2895	0.1934	0.1289
21 ^{ος} εξωτερικός	1.0383	0.1557	0.1038
22 ^{ος} εξωτερικός	0.7826	0.1174	0.0783
23 ^{ος} εξωτερικός	1.0466	0.1570	0.1047
κορυφή	6.2859	0.9429	0.6286

7.3 Υπολογισμός ανέμου

A. Γενικά

Ο υπολογισμός της δύναμης που αναλαμβάνουν οι εξωτερικοί κόμβοι θα γίνει σύμφωνα με το μέρος 2-4 του Ευρωκώδικα 1, το οποίο παρέχει κανόνες και μεθόδους υπολογισμού των φορτίων ανέμου επί κτιριακών κατασκευών .

Ως αρχική παραδοχή δεχόμεθα κατηγορία εδάφους IV, δηλαδή αστική περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται από κτίρια, των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.

Η ταχύτητα αναφοράς για το εσωτερικό της χώρας είναι $v_{ref} = 30 \text{ m / sec}$.

Η πυκνότητα του αέρα είναι ίση με 1.25 Kg/m^3 .

Το ύψος αναφοράς είναι $z_e = h + \frac{f}{2} = 0 + \frac{25}{2} = 12.5 \text{ m}$

Για $h = f = 25 \text{ m}$. και $b = 50 \text{ m}$ από το σχήμα 5.2 του Ευρωκώδικα 1 προκύπτει ότι $C_d = 0.913 < 1.2$

Επίσης για $h = 25 \text{ m}$ και $b = 50 \text{ m}$ από το σχήμα 5.9 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνοντας ότι $C_d = 0.913 < 1.2$ τεκμαίρεται ότι η υπό ανάλυση κατασκευή δεν είναι ευαίσθητη σε στροβιλώδη ροή.

B) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

Για τους λόγους $\frac{h}{d} = \frac{0}{50} = 0$ και $\frac{f}{d} = \frac{25}{50} = 0.5$ από το σχήμα 6.10 του

Ευρωκώδικα 1 λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές εξωτερικής πίεσης στα σημεία A, B και C όπου A η βάση του θόλου στο μέτωπο του ανέμου, B η κορυφή της θολωτής κατασκευής και C η βάση του θόλου στο αντιδιαμετρικό σημείο του μετώπου του ανέμου.

Σημείο A : $C_{pe} = 0.8$

Σημείο B : $C_{pe} = -1.2$

Σημείο C : $C_{pe} = 0$

Στα ενδιάμεσα σημεία γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ αυτών των συντελεστών.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα η τιμή του C_{pe} είναι σταθερή κατά μήκος των τόξων κύκλων, στις τομές του θόλου με τα επίπεδα τα κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου, μπορεί δε να υπολογιστεί προσεγγιστικά με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών στις θέσεις A, B και C κατά μήκος των τόξων κύκλων παράλληλα προς τη διεύθυνση του ανέμου.

Γ) Πίεση αναφοράς

Η πίεση αναφοράς που αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα αναφοράς του ανέμου προσδιορίζεται από τη σχέση : $q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2$

$$\text{Έχουμε δηλαδή : } q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 = \frac{0.00125}{2} 30^2 = 0.5625 \text{ KN} / \text{m}^2$$

Δ) Συντελεστής έκθεσης

Ο συντελεστής έκθεσης δίνεται από την σχέση :

$$c_e(z) = c_r^2(z) c_t^2(z) [1 + 2gI_v(z)]$$

όπου $c_r(z)$ είναι ο συντελεστής τραχύτητας, ο οποίος υπολογίζεται συναρτήσει του ύψους z . Από τον πίνακα 4.1 του Ευρωκώδικα για κατηγορία εδάφους IV εξάγεται ότι $k_T = 0,24$ (συντελεστής εδάφους)

$$z_o = 1 \quad (\text{μήκος τραχύτητας})$$

$$z_{min} = 16 \quad (\text{ελάχιστο ύψος})$$

Επειδή η κατασκευή μας έχει $z_e = 12,5 < 16 = z_{min}$ έχουμε :

$$c_r(z) = k_T \ln\left(\frac{z_{min}}{z_o}\right) = 0.24 \ln\left(\frac{16}{1}\right) = 0.6654$$

$c_t(z)$ είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης μέσω του οποίου εκτιμάται η αύξηση της μέσης ταχύτητας του ανέμου πάνω από μεμονωμένους λόφους σε περιοχές που δεν είναι ορεινές. Θεωρούμε ότι για η κατασκευή μας βρίσκεται σε τελείως πεδινό μέρος και τον λαμβάνουμε ίσο με 1.

g είναι ο συντελεστής αιχμής ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 3.5

$I_v(z)$ είναι ένας συντελεστής ο οποίος εισάγει την ένταση των στροβιλισμών

$$I_v(z) = \frac{k_T}{c_r(z) c_r(z)} = \frac{0.24}{0.6654 \cdot 1} = 0.3607$$

Σύμφωνα με τα ανωτέρω ισχύει ότι :

$$c_e(z) = c_r^2(z) c_t^2(z) [1 + 2gI_v(z)] = 0,6654^2 \cdot 1^2 [1 + 2 \cdot 3,5 \cdot 0,3607] \cong 1,56$$

Ε) Εξωτερικές πιέσεις ανέμου

Η τιμή της εξωτερικής πίεσης ανά σημείο ισούται με $w_e = q_{ref} c_e(z) C_{pe}$.

Για παράδειγμα στο σημείο Α θα ισχύει ότι :

$$w_e = 0.5625 \text{ KN/m}^2 \cdot 1.56 \cdot 0.8 = 0.7020 \text{ KN/m}^2$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε την εξωτερική πίεση σε όλα τα υψόμετρα.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης και οι εξωτερικές πιέσεις σε κάθε παράλληλο δακτύλιο οι οποίες υπολογίστηκαν όπως προαναφέραμε.

Παράλληλος δακτύλιος	Υψόμετρο (m)	ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΟΨΗ		ΠΙΣΩ ΟΨΗ	
		Cpe	W (KN/m ²)	Cpe	W (KN/m ²)
έδαφος	0,0000	0,80	0,7020	0,00	0,0000
1ος εξωτερικός	0,8178	0,73	0,6446	-0,03	-0,0272
2ος εξωτερικός	2,4503	0,60	0,5300	-0,03	-0,0223
3ος εξωτερικός	4,0723	0,47	0,4161	-0,02	-0,0175
4ος εξωτερικός	5,6768	0,35	0,3035	-0,01	-0,0128
5ος εξωτερικός	7,2570	0,22	0,1926	-0,01	-0,0081
6ος εξωτερικός	8,8061	0,10	0,0838	0,00	-0,0035
7ος εξωτερικός	10,3175	-0,03	-0,0223	0,00	0,0009
8ος εξωτερικός	11,7847	-0,14	-0,1253	0,01	0,0053
9ος εξωτερικός	13,2015	-0,26	-0,2247	0,01	0,0095
10ος εξωτερικός	14,5617	-0,36	-0,3202	0,02	0,0135
11ος εξωτερικός	15,8596	-0,47	-0,4113	0,02	0,0173
12ος εξωτερικός	17,0896	-0,57	-0,4977	0,02	0,0210
13ος εξωτερικός	18,2464	-0,66	-0,5789	0,03	0,0244
14ος εξωτερικός	19,3251	-0,75	-0,6546	0,03	0,0276
15ος εξωτερικός	20,3210	-0,83	-0,7245	0,03	0,0305
16ος εξωτερικός	21,2299	-0,90	-0,7883	0,04	0,0332
17ος εξωτερικός	22,0479	-0,96	-0,8458	0,04	0,0356
18ος εξωτερικός	22,7715	-1,02	-0,8966	0,04	0,0378
19ος εξωτερικός	23,3976	-1,07	-0,9405	0,05	0,0396
20ος εξωτερικός	23,9235	-1,11	-0,9774	0,05	0,0412
21ος εξωτερικός	24,3469	-1,15	-1,0072	0,05	0,0424
22ος εξωτερικός	24,6661	-1,17	-1,0296	0,05	0,0434
23ος εξωτερικός	24,8796	-1,19	-1,0445	0,05	0,0440
κορυφή	25,0000	-1,20	-1,0530	-1,20	-1,0530

Η δύναμη που δέχεται κάθε κόμβος από τον άνεμο ισούται με το γινόμενο της εξωτερικής πίεσης στο ύψος του κόμβου επί το προβαλλόμενο εμβαδόν επιρροής του κόμβου σε επίπεδο κάθετο προς την διεύθυνση του ανέμου.

Στους πίνακες που ακολουθούν υπολογίζονται οι δυνάμεις που δέχονται όλοι οι κόμβοι της κατασκευής με τον τρόπο που αναλύσαμε προηγουμένως.

Κόμβος	Δακτύλιος 1					Δακτύλιος 2				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0491	0.6446	0.0316	-0.0344	-0.0017	0.0975	0.5300	0.0517	-0.1032	-0.0101
2	0.1953	0.6446	0.1259	-0.0344	-0.0067	0.3890	0.5300	0.2062	-0.1032	-0.0401
3	0.3894	0.6446	0.2510	-0.0344	-0.0134	0.7743	0.5300	0.4104	-0.1032	-0.0799
4	0.5788	0.6446	0.3731	-0.0344	-0.0199	1.1519	0.5300	0.6105	-0.1032	-0.1189
5	0.7636	0.6446	0.4922	-0.0344	-0.0263	1.5186	0.5300	0.8048	-0.1032	-0.1567
6	0.9402	0.6446	0.6060	-0.0344	-0.0323	1.8706	0.5300	0.9914	-0.1032	-0.1930
7	1.1084	0.6446	0.7145	-0.0344	-0.0381	2.2046	0.5300	1.1684	-0.1032	-0.2275
8	1.2654	0.6446	0.8156	-0.0344	-0.0435	2.5174	0.5300	1.3342	-0.1032	-0.2598
9	1.4107	0.6446	0.9094	-0.0344	-0.0485	2.8060	0.5300	1.4872	-0.1032	-0.2896
10	1.5419	0.6446	0.9939	-0.0344	-0.0530	3.0675	0.5300	1.6258	-0.1032	-0.3166
11	1.6587	0.6446	1.0692	-0.0344	-0.0571	3.2995	0.5300	1.7487	-0.1032	-0.3405
12	1.7592	0.6446	1.1340	-0.0344	-0.0605	3.4997	0.5300	1.8549	-0.1032	-0.3612
13	1.8431	0.6446	1.1880	-0.0344	-0.0634	3.6662	0.5300	1.9431	-0.1032	-0.3784
14	1.9088	0.6446	1.2304	-0.0344	-0.0657	3.7974	0.5300	2.0126	-0.1032	-0.3919
15	1.9565	0.6446	1.2612	-0.0344	-0.0673	3.8920	0.5300	2.0627	-0.1032	-0.4017
16	1.9852	0.6446	1.2796	-0.0344	-0.0683	3.9491	0.5300	2.0930	-0.1032	-0.4075
17	1.9948	0.6446	1.2858	-0.0344	-0.0686	3.9682	0.5300	2.1032	-0.1032	-0.4095
18	1.9852	0.6446	1.2796	-0.0344	-0.0683	3.9491	0.5300	2.0930	-0.1032	-0.4075
19	1.9565	0.6446	1.2612	-0.0344	-0.0673	3.8920	0.5300	2.0627	-0.1032	-0.4017
20	1.9088	0.6446	1.2304	-0.0344	-0.0657	3.7974	0.5300	2.0126	-0.1032	-0.3919
21	1.8431	0.6446	1.1880	-0.0344	-0.0634	3.6662	0.5300	1.9431	-0.1032	-0.3784
22	1.7592	0.6446	1.1340	-0.0344	-0.0605	3.4997	0.5300	1.8549	-0.1032	-0.3612
23	1.6587	0.6446	1.0692	-0.0344	-0.0571	3.2995	0.5300	1.7487	-0.1032	-0.3405
24	1.5419	0.6446	0.9939	-0.0344	-0.0530	3.0675	0.5300	1.6258	-0.1032	-0.3166
25	1.4107	0.6446	0.9094	-0.0344	-0.0485	2.8060	0.5300	1.4872	-0.1032	-0.2896
26	1.2654	0.6446	0.8156	-0.0344	-0.0435	2.5174	0.5300	1.3342	-0.1032	-0.2598
27	1.1084	0.6446	0.7145	-0.0344	-0.0381	2.2046	0.5300	1.1684	-0.1032	-0.2275
28	0.9402	0.6446	0.6060	-0.0344	-0.0323	1.8706	0.5300	0.9914	-0.1032	-0.1930
29	0.7636	0.6446	0.4922	-0.0344	-0.0263	1.5186	0.5300	0.8048	-0.1032	-0.1567
30	0.5788	0.6446	0.3731	-0.0344	-0.0199	1.1519	0.5300	0.6105	-0.1032	-0.1189
31	0.3894	0.6446	0.2510	-0.0344	-0.0134	0.7743	0.5300	0.4104	-0.1032	-0.0799
32	0.1953	0.6446	0.1259	-0.0344	-0.0067	0.3890	0.5300	0.2062	-0.1032	-0.0401
33	0.0491	0.6446	0.0316	-0.0344	-0.0017	0.0975	0.5300	0.0517	-0.1032	-0.0101

Κόμβος	Δακτύλιος 3					Δακτύλιος 4				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0958	0.4161	0.0399	-0.1715	-0.0164	0.0933	0.3035	0.0283	-0.2391	-0.0223
2	0.3823	0.4161	0.1591	-0.1715	-0.0656	0.3725	0.3035	0.1130	-0.2391	-0.0891
3	0.7610	0.4161	0.3166	-0.1715	-0.1305	0.7414	0.3035	0.2250	-0.2391	-0.1773
4	1.1323	0.4161	0.4711	-0.1715	-0.1942	1.1031	0.3035	0.3348	-0.2391	-0.2638
5	1.4926	0.4161	0.6211	-0.1715	-0.2560	1.4542	0.3035	0.4414	-0.2391	-0.3477
6	1.8385	0.4161	0.7650	-0.1715	-0.3153	1.7913	0.3035	0.5437	-0.2391	-0.4283
7	2.1669	0.4161	0.9017	-0.1715	-0.3716	2.1111	0.3035	0.6407	-0.2391	-0.5048
8	2.4744	0.4161	1.0296	-0.1715	-0.4244	2.4107	0.3035	0.7317	-0.2391	-0.5764
9	2.7580	0.4161	1.1476	-0.1715	-0.4730	2.6871	0.3035	0.8155	-0.2391	-0.6425
10	3.0151	0.4161	1.2546	-0.1715	-0.5171	2.9375	0.3035	0.8915	-0.2391	-0.7024
11	3.2430	0.4161	1.3494	-0.1715	-0.5562	3.1596	0.3035	0.9589	-0.2391	-0.7555
12	3.4398	0.4161	1.4313	-0.1715	-0.5899	3.3513	0.3035	1.0171	-0.2391	-0.8013
13	3.6034	0.4161	1.4994	-0.1715	-0.6180	3.5107	0.3035	1.0655	-0.2391	-0.8394
14	3.7324	0.4161	1.5531	-0.1715	-0.6401	3.6364	0.3035	1.1036	-0.2391	-0.8695
15	3.8254	0.4161	1.5918	-0.1715	-0.6561	3.7270	0.3035	1.1311	-0.2391	-0.8911
16	3.8816	0.4161	1.6151	-0.1715	-0.6657	3.7817	0.3035	1.1477	-0.2391	-0.9042
17	3.9004	0.4161	1.6229	-0.1715	-0.6689	3.8000	0.3035	1.1533	-0.2391	-0.9086
18	3.8816	0.4161	1.6151	-0.1715	-0.6657	3.7817	0.3035	1.1477	-0.2391	-0.9042
19	3.8254	0.4161	1.5918	-0.1715	-0.6561	3.7270	0.3035	1.1311	-0.2391	-0.8911
20	3.7324	0.4161	1.5531	-0.1715	-0.6401	3.6364	0.3035	1.1036	-0.2391	-0.8695
21	3.6034	0.4161	1.4994	-0.1715	-0.6180	3.5107	0.3035	1.0655	-0.2391	-0.8394
22	3.4398	0.4161	1.4313	-0.1715	-0.5899	3.3513	0.3035	1.0171	-0.2391	-0.8013
23	3.2430	0.4161	1.3494	-0.1715	-0.5562	3.1596	0.3035	0.9589	-0.2391	-0.7555
24	3.0151	0.4161	1.2546	-0.1715	-0.5171	2.9375	0.3035	0.8915	-0.2391	-0.7024
25	2.7580	0.4161	1.1476	-0.1715	-0.4730	2.6871	0.3035	0.8155	-0.2391	-0.6425
26	2.4744	0.4161	1.0296	-0.1715	-0.4244	2.4107	0.3035	0.7317	-0.2391	-0.5764
27	2.1669	0.4161	0.9017	-0.1715	-0.3716	2.1111	0.3035	0.6407	-0.2391	-0.5048
28	1.8385	0.4161	0.7650	-0.1715	-0.3153	1.7913	0.3035	0.5437	-0.2391	-0.4283
29	1.4926	0.4161	0.6211	-0.1715	-0.2560	1.4542	0.3035	0.4414	-0.2391	-0.3477
30	1.1323	0.4161	0.4711	-0.1715	-0.1942	1.1031	0.3035	0.3348	-0.2391	-0.2638
31	0.7610	0.4161	0.3166	-0.1715	-0.1305	0.7414	0.3035	0.2250	-0.2391	-0.1773
32	0.3823	0.4161	0.1591	-0.1715	-0.0656	0.3725	0.3035	0.1130	-0.2391	-0.0891
33	0.0958	0.4161	0.0399	-0.1715	-0.0164	0.0933	0.3035	0.0283	-0.2391	-0.0223

Κόμβος	Δακτύλιος 5					Δακτύλιος 6				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0901	0.1926	0.0174	-0.3057	-0.0275	0.0862	0.0838	0.0072	-0.3709	-0.0320
2	0.3596	0.1926	0.0693	-0.3057	-0.1099	0.3440	0.0838	0.0288	-0.3709	-0.1276
3	0.7158	0.1926	0.1379	-0.3057	-0.2188	0.6846	0.0838	0.0574	-0.3709	-0.2539
4	1.0651	0.1926	0.2051	-0.3057	-0.3256	1.0187	0.0838	0.0854	-0.3709	-0.3778
5	1.4040	0.1926	0.2704	-0.3057	-0.4292	1.3430	0.0838	0.1125	-0.3709	-0.4981
6	1.7296	0.1926	0.3331	-0.3057	-0.5287	1.6544	0.0838	0.1386	-0.3709	-0.6136
7	2.0384	0.1926	0.3926	-0.3057	-0.6231	1.9498	0.0838	0.1634	-0.3709	-0.7232
8	2.3275	0.1926	0.4483	-0.3057	-0.7115	2.2264	0.0838	0.1866	-0.3709	-0.8258
9	2.5944	0.1926	0.4997	-0.3057	-0.7931	2.4815	0.0838	0.2080	-0.3709	-0.9204
10	2.8362	0.1926	0.5462	-0.3057	-0.8670	2.7128	0.0838	0.2273	-0.3709	-1.0062
11	3.0506	0.1926	0.5875	-0.3057	-0.9326	2.9180	0.0838	0.2445	-0.3709	-1.0823
12	3.2357	0.1926	0.6232	-0.3057	-0.9892	3.0951	0.0838	0.2594	-0.3709	-1.1480
13	3.3897	0.1926	0.6528	-0.3057	-1.0362	3.2423	0.0838	0.2717	-0.3709	-1.2026
14	3.5110	0.1926	0.6762	-0.3057	-1.0733	3.3583	0.0838	0.2814	-0.3709	-1.2456
15	3.5985	0.1926	0.6931	-0.3057	-1.1000	3.4420	0.0838	0.2884	-0.3709	-1.2766
16	3.6513	0.1926	0.7032	-0.3057	-1.1162	3.4926	0.0838	0.2927	-0.3709	-1.2954
17	3.6690	0.1926	0.7066	-0.3057	-1.1216	3.5095	0.0838	0.2941	-0.3709	-1.3017
18	3.6513	0.1926	0.7032	-0.3057	-1.1162	3.4926	0.0838	0.2927	-0.3709	-1.2954
19	3.5985	0.1926	0.6931	-0.3057	-1.1000	3.4420	0.0838	0.2884	-0.3709	-1.2766
20	3.5110	0.1926	0.6762	-0.3057	-1.0733	3.3583	0.0838	0.2814	-0.3709	-1.2456
21	3.3897	0.1926	0.6528	-0.3057	-1.0362	3.2423	0.0838	0.2717	-0.3709	-1.2026
22	3.2357	0.1926	0.6232	-0.3057	-0.9892	3.0951	0.0838	0.2594	-0.3709	-1.1480
23	3.0506	0.1926	0.5875	-0.3057	-0.9326	2.9180	0.0838	0.2445	-0.3709	-1.0823
24	2.8362	0.1926	0.5462	-0.3057	-0.8670	2.7128	0.0838	0.2273	-0.3709	-1.0062
25	2.5944	0.1926	0.4997	-0.3057	-0.7931	2.4815	0.0838	0.2080	-0.3709	-0.9204
26	2.3275	0.1926	0.4483	-0.3057	-0.7115	2.2264	0.0838	0.1866	-0.3709	-0.8258
27	2.0384	0.1926	0.3926	-0.3057	-0.6231	1.9498	0.0838	0.1634	-0.3709	-0.7232
28	1.7296	0.1926	0.3331	-0.3057	-0.5287	1.6544	0.0838	0.1386	-0.3709	-0.6136
29	1.4040	0.1926	0.2704	-0.3057	-0.4292	1.3430	0.0838	0.1125	-0.3709	-0.4981
30	1.0651	0.1926	0.2051	-0.3057	-0.3256	1.0187	0.0838	0.0854	-0.3709	-0.3778
31	0.7158	0.1926	0.1379	-0.3057	-0.2188	0.6846	0.0838	0.0574	-0.3709	-0.2539
32	0.3596	0.1926	0.0693	-0.3057	-0.1099	0.3440	0.0838	0.0288	-0.3709	-0.1276
33	0.0901	0.1926	0.0174	-0.3057	-0.0275	0.0862	0.0838	0.0072	-0.3709	-0.0320

Κόμβος	Δακτύλιος 7					Δακτύλιος 8				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0817	-0.0223	-0.0018	-0.4346	-0.0355	0.0766	-0.1253	-0.0096	-0.4964	-0.0380
2	0.3259	-0.0223	-0.0073	-0.4346	-0.1416	0.3055	-0.1253	-0.0383	-0.4964	-0.1516
3	0.6485	-0.0223	-0.0145	-0.4346	-0.2818	0.6080	-0.1253	-0.0762	-0.4964	-0.3018
4	0.9649	-0.0223	-0.0215	-0.4346	-0.4194	0.9046	-0.1253	-0.1133	-0.4964	-0.4490
5	1.2721	-0.0223	-0.0284	-0.4346	-0.5529	1.1925	-0.1253	-0.1494	-0.4964	-0.5920
6	1.5670	-0.0223	-0.0349	-0.4346	-0.6810	1.4690	-0.1253	-0.1841	-0.4964	-0.7292
7	1.8468	-0.0223	-0.0412	-0.4346	-0.8026	1.7313	-0.1253	-0.2169	-0.4964	-0.8594
8	2.1088	-0.0223	-0.0470	-0.4346	-0.9165	1.9769	-0.1253	-0.2477	-0.4964	-0.9813
9	2.3505	-0.0223	-0.0524	-0.4346	-1.0215	2.2035	-0.1253	-0.2761	-0.4964	-1.0938
10	2.5696	-0.0223	-0.0573	-0.4346	-1.1167	2.4089	-0.1253	-0.3018	-0.4964	-1.1958
11	2.7639	-0.0223	-0.0616	-0.4346	-1.2012	2.5911	-0.1253	-0.3247	-0.4964	-1.2862
12	2.9316	-0.0223	-0.0654	-0.4346	-1.2741	2.7484	-0.1253	-0.3444	-0.4964	-1.3643
13	3.0711	-0.0223	-0.0685	-0.4346	-1.3347	2.8791	-0.1253	-0.3608	-0.4964	-1.4292
14	3.1810	-0.0223	-0.0709	-0.4346	-1.3825	2.9821	-0.1253	-0.3737	-0.4964	-1.4803
15	3.2602	-0.0223	-0.0727	-0.4346	-1.4169	3.0564	-0.1253	-0.3830	-0.4964	-1.5172
16	3.3081	-0.0223	-0.0738	-0.4346	-1.4377	3.1013	-0.1253	-0.3886	-0.4964	-1.5395
17	3.3241	-0.0223	-0.0741	-0.4346	-1.4447	3.1163	-0.1253	-0.3905	-0.4964	-1.5469
18	3.3081	-0.0223	-0.0738	-0.4346	-1.4377	3.1013	-0.1253	-0.3886	-0.4964	-1.5395
19	3.2602	-0.0223	-0.0727	-0.4346	-1.4169	3.0564	-0.1253	-0.3830	-0.4964	-1.5172
20	3.1810	-0.0223	-0.0709	-0.4346	-1.3825	2.9821	-0.1253	-0.3737	-0.4964	-1.4803
21	3.0711	-0.0223	-0.0685	-0.4346	-1.3347	2.8791	-0.1253	-0.3608	-0.4964	-1.4292
22	2.9316	-0.0223	-0.0654	-0.4346	-1.2741	2.7484	-0.1253	-0.3444	-0.4964	-1.3643
23	2.7639	-0.0223	-0.0616	-0.4346	-1.2012	2.5911	-0.1253	-0.3247	-0.4964	-1.2862
24	2.5696	-0.0223	-0.0573	-0.4346	-1.1167	2.4089	-0.1253	-0.3018	-0.4964	-1.1958
25	2.3505	-0.0223	-0.0524	-0.4346	-1.0215	2.2035	-0.1253	-0.2761	-0.4964	-1.0938
26	2.1088	-0.0223	-0.0470	-0.4346	-0.9165	1.9769	-0.1253	-0.2477	-0.4964	-0.9813
27	1.8468	-0.0223	-0.0412	-0.4346	-0.8026	1.7313	-0.1253	-0.2169	-0.4964	-0.8594
28	1.5670	-0.0223	-0.0349	-0.4346	-0.6810	1.4690	-0.1253	-0.1841	-0.4964	-0.7292
29	1.2721	-0.0223	-0.0284	-0.4346	-0.5529	1.1925	-0.1253	-0.1494	-0.4964	-0.5920
30	0.9649	-0.0223	-0.0215	-0.4346	-0.4194	0.9046	-0.1253	-0.1133	-0.4964	-0.4490
31	0.6485	-0.0223	-0.0145	-0.4346	-0.2818	0.6080	-0.1253	-0.0762	-0.4964	-0.3018
32	0.3259	-0.0223	-0.0073	-0.4346	-0.1416	0.3055	-0.1253	-0.0383	-0.4964	-0.1516
33	0.0817	-0.0223	-0.0018	-0.4346	-0.0355	0.0766	-0.1253	-0.0096	-0.4964	-0.0380

Κόμβος	Δακτύλιος 9					Δακτύλιος 10				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0710	-0.2247	-0.0159	-0.5560	-0.0394	0.0651	-0.3202	-0.0208	-0.6133	-0.0399
2	0.2832	-0.2247	-0.0636	-0.5560	-0.1574	0.2595	-0.3202	-0.0831	-0.6133	-0.1592
3	0.5637	-0.2247	-0.1267	-0.5560	-0.3134	0.5165	-0.3202	-0.1654	-0.6133	-0.3168
4	0.8387	-0.2247	-0.1885	-0.5560	-0.4663	0.7685	-0.3202	-0.2461	-0.6133	-0.4713
5	1.1057	-0.2247	-0.2485	-0.5560	-0.6148	1.0130	-0.3202	-0.3244	-0.6133	-0.6213
6	1.3621	-0.2247	-0.3061	-0.5560	-0.7573	1.2479	-0.3202	-0.3996	-0.6133	-0.7653
7	1.6052	-0.2247	-0.3607	-0.5560	-0.8925	1.4707	-0.3202	-0.4709	-0.6133	-0.9020
8	1.8330	-0.2247	-0.4119	-0.5560	-1.0191	1.6794	-0.3202	-0.5377	-0.6133	-1.0300
9	2.0430	-0.2247	-0.4591	-0.5560	-1.1359	1.8718	-0.3202	-0.5994	-0.6133	-1.1480
10	2.2335	-0.2247	-0.5019	-0.5560	-1.2418	2.0463	-0.3202	-0.6552	-0.6133	-1.2550
11	2.4024	-0.2247	-0.5398	-0.5560	-1.3357	2.2011	-0.3202	-0.7048	-0.6133	-1.3499
12	2.5482	-0.2247	-0.5726	-0.5560	-1.4168	2.3347	-0.3202	-0.7476	-0.6133	-1.4319
13	2.6694	-0.2247	-0.5998	-0.5560	-1.4842	2.4458	-0.3202	-0.7831	-0.6133	-1.5000
14	2.7649	-0.2247	-0.6213	-0.5560	-1.5373	2.5333	-0.3202	-0.8112	-0.6133	-1.5537
15	2.8339	-0.2247	-0.6368	-0.5560	-1.5756	2.5964	-0.3202	-0.8314	-0.6133	-1.5924
16	2.8754	-0.2247	-0.6461	-0.5560	-1.5987	2.6344	-0.3202	-0.8435	-0.6133	-1.6157
17	2.8893	-0.2247	-0.6492	-0.5560	-1.6065	2.6472	-0.3202	-0.8476	-0.6133	-1.6235
18	2.8754	-0.2247	-0.6461	-0.5560	-1.5987	2.6344	-0.3202	-0.8435	-0.6133	-1.6157
19	2.8339	-0.2247	-0.6368	-0.5560	-1.5756	2.5964	-0.3202	-0.8314	-0.6133	-1.5924
20	2.7649	-0.2247	-0.6213	-0.5560	-1.5373	2.5333	-0.3202	-0.8112	-0.6133	-1.5537
21	2.6694	-0.2247	-0.5998	-0.5560	-1.4842	2.4458	-0.3202	-0.7831	-0.6133	-1.5000
22	2.5482	-0.2247	-0.5726	-0.5560	-1.4168	2.3347	-0.3202	-0.7476	-0.6133	-1.4319
23	2.4024	-0.2247	-0.5398	-0.5560	-1.3357	2.2011	-0.3202	-0.7048	-0.6133	-1.3499
24	2.2335	-0.2247	-0.5019	-0.5560	-1.2418	2.0463	-0.3202	-0.6552	-0.6133	-1.2550
25	2.0430	-0.2247	-0.4591	-0.5560	-1.1359	1.8718	-0.3202	-0.5994	-0.6133	-1.1480
26	1.8330	-0.2247	-0.4119	-0.5560	-1.0191	1.6794	-0.3202	-0.5377	-0.6133	-1.0300
27	1.6052	-0.2247	-0.3607	-0.5560	-0.8925	1.4707	-0.3202	-0.4709	-0.6133	-0.9020
28	1.3621	-0.2247	-0.3061	-0.5560	-0.7573	1.2479	-0.3202	-0.3996	-0.6133	-0.7653
29	1.1057	-0.2247	-0.2485	-0.5560	-0.6148	1.0130	-0.3202	-0.3244	-0.6133	-0.6213
30	0.8387	-0.2247	-0.1885	-0.5560	-0.4663	0.7685	-0.3202	-0.2461	-0.6133	-0.4713
31	0.5637	-0.2247	-0.1267	-0.5560	-0.3134	0.5165	-0.3202	-0.1654	-0.6133	-0.3168
32	0.2832	-0.2247	-0.0636	-0.5560	-0.1574	0.2595	-0.3202	-0.0831	-0.6133	-0.1592
33	0.0710	-0.2247	-0.0159	-0.5560	-0.0394	0.0651	-0.3202	-0.0208	-0.6133	-0.0399

Κόμβος	Δακτύλιος 11					Δακτύλιος 12				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0588	-0.4113	-0.0242	-0.6680	-0.0393	0.0525	-0.4977	-0.0261	-0.7198	-0.0378
2	0.2347	-0.4113	-0.0965	-0.6680	-0.1568	0.2092	-0.4977	-0.1041	-0.7198	-0.1506
3	0.4671	-0.4113	-0.1921	-0.6680	-0.3120	0.4164	-0.4977	-0.2072	-0.7198	-0.2997
4	0.6950	-0.4113	-0.2858	-0.6680	-0.4642	0.6196	-0.4977	-0.3084	-0.7198	-0.4460
5	0.9162	-0.4113	-0.3768	-0.6680	-0.6120	0.8168	-0.4977	-0.4065	-0.7198	-0.5879
6	1.1286	-0.4113	-0.4642	-0.6680	-0.7539	1.0062	-0.4977	-0.5008	-0.7198	-0.7242
7	1.3301	-0.4113	-0.5471	-0.6680	-0.8885	1.1858	-0.4977	-0.5902	-0.7198	-0.8536
8	1.5188	-0.4113	-0.6247	-0.6680	-1.0146	1.3540	-0.4977	-0.6739	-0.7198	-0.9746
9	1.6929	-0.4113	-0.6963	-0.6680	-1.1309	1.5092	-0.4977	-0.7511	-0.7198	-1.0863
10	1.8507	-0.4113	-0.7612	-0.6680	-1.2363	1.6499	-0.4977	-0.8212	-0.7198	-1.1876
11	1.9907	-0.4113	-0.8188	-0.6680	-1.3298	1.7747	-0.4977	-0.8833	-0.7198	-1.2774
12	2.1115	-0.4113	-0.8685	-0.6680	-1.4105	1.8824	-0.4977	-0.9368	-0.7198	-1.3549
13	2.2119	-0.4113	-0.9098	-0.6680	-1.4776	1.9719	-0.4977	-0.9814	-0.7198	-1.4194
14	2.2911	-0.4113	-0.9423	-0.6680	-1.5305	2.0425	-0.4977	-1.0166	-0.7198	-1.4702
15	2.3482	-0.4113	-0.9658	-0.6680	-1.5686	2.0934	-0.4977	-1.0419	-0.7198	-1.5068
16	2.3827	-0.4113	-0.9800	-0.6680	-1.5916	2.1241	-0.4977	-1.0572	-0.7198	-1.5289
17	2.3942	-0.4113	-0.9847	-0.6680	-1.5993	2.1344	-0.4977	-1.0623	-0.7198	-1.5363
18	2.3827	-0.4113	-0.9800	-0.6680	-1.5916	2.1241	-0.4977	-1.0572	-0.7198	-1.5289
19	2.3482	-0.4113	-0.9658	-0.6680	-1.5686	2.0934	-0.4977	-1.0419	-0.7198	-1.5068
20	2.2911	-0.4113	-0.9423	-0.6680	-1.5305	2.0425	-0.4977	-1.0166	-0.7198	-1.4702
21	2.2119	-0.4113	-0.9098	-0.6680	-1.4776	1.9719	-0.4977	-0.9814	-0.7198	-1.4194
22	2.1115	-0.4113	-0.8685	-0.6680	-1.4105	1.8824	-0.4977	-0.9368	-0.7198	-1.3549
23	1.9907	-0.4113	-0.8188	-0.6680	-1.3298	1.7747	-0.4977	-0.8833	-0.7198	-1.2774
24	1.8507	-0.4113	-0.7612	-0.6680	-1.2363	1.6499	-0.4977	-0.8212	-0.7198	-1.1876
25	1.6929	-0.4113	-0.6963	-0.6680	-1.1309	1.5092	-0.4977	-0.7511	-0.7198	-1.0863
26	1.5188	-0.4113	-0.6247	-0.6680	-1.0146	1.3540	-0.4977	-0.6739	-0.7198	-0.9746
27	1.3301	-0.4113	-0.5471	-0.6680	-0.8885	1.1858	-0.4977	-0.5902	-0.7198	-0.8536
28	1.1286	-0.4113	-0.4642	-0.6680	-0.7539	1.0062	-0.4977	-0.5008	-0.7198	-0.7242
29	0.9162	-0.4113	-0.3768	-0.6680	-0.6120	0.8168	-0.4977	-0.4065	-0.7198	-0.5879
30	0.6950	-0.4113	-0.2858	-0.6680	-0.4642	0.6196	-0.4977	-0.3084	-0.7198	-0.4460
31	0.4671	-0.4113	-0.1921	-0.6680	-0.3120	0.4164	-0.4977	-0.2072	-0.7198	-0.2997
32	0.2347	-0.4113	-0.0965	-0.6680	-0.1568	0.2092	-0.4977	-0.1041	-0.7198	-0.1506
33	0.0588	-0.4113	-0.0242	-0.6680	-0.0393	0.0525	-0.4977	-0.0261	-0.7198	-0.0378

Κόμβος	Δακτύλιος 13					Δακτύλιος 14				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0460	-0.5789	-0.0266	-0.7685	-0.0354	0.0396	-0.6546	-0.0259	-0.8140	-0.0323
2	0.1835	-0.5789	-0.1062	-0.7685	-0.1410	0.1581	-0.6546	-0.1035	-0.8140	-0.1287
3	0.3653	-0.5789	-0.2115	-0.7685	-0.2807	0.3146	-0.6546	-0.2059	-0.8140	-0.2561
4	0.5435	-0.5789	-0.3146	-0.7685	-0.4177	0.4681	-0.6546	-0.3064	-0.8140	-0.3810
5	0.7165	-0.5789	-0.4148	-0.7685	-0.5507	0.6171	-0.6546	-0.4039	-0.8140	-0.5023
6	0.8826	-0.5789	-0.5110	-0.7685	-0.6783	0.7602	-0.6546	-0.4976	-0.8140	-0.6188
7	1.0402	-0.5789	-0.6022	-0.7685	-0.7994	0.8959	-0.6546	-0.5865	-0.8140	-0.7293
8	1.1878	-0.5789	-0.6876	-0.7685	-0.9128	1.0230	-0.6546	-0.6696	-0.8140	-0.8327
9	1.3240	-0.5789	-0.7664	-0.7685	-1.0175	1.1402	-0.6546	-0.7464	-0.8140	-0.9281
10	1.4474	-0.5789	-0.8379	-0.7685	-1.1123	1.2465	-0.6546	-0.8159	-0.8140	-1.0146
11	1.5568	-0.5789	-0.9012	-0.7685	-1.1964	1.3408	-0.6546	-0.8777	-0.8140	-1.0914
12	1.6513	-0.5789	-0.9559	-0.7685	-1.2690	1.4221	-0.6546	-0.9309	-0.8140	-1.1576
13	1.7298	-0.5789	-1.0014	-0.7685	-1.3294	1.4898	-0.6546	-0.9752	-0.8140	-1.2127
14	1.7918	-0.5789	-1.0372	-0.7685	-1.3770	1.5431	-0.6546	-1.0101	-0.8140	-1.2561
15	1.8364	-0.5789	-1.0631	-0.7685	-1.4113	1.5816	-0.6546	-1.0353	-0.8140	-1.2874
16	1.8634	-0.5789	-1.0787	-0.7685	-1.4320	1.6048	-0.6546	-1.0505	-0.8140	-1.3063
17	1.8723	-0.5789	-1.0839	-0.7685	-1.4389	1.6125	-0.6546	-1.0555	-0.8140	-1.3126
18	1.8634	-0.5789	-1.0787	-0.7685	-1.4320	1.6048	-0.6546	-1.0505	-0.8140	-1.3063
19	1.8364	-0.5789	-1.0631	-0.7685	-1.4113	1.5816	-0.6546	-1.0353	-0.8140	-1.2874
20	1.7918	-0.5789	-1.0372	-0.7685	-1.3770	1.5431	-0.6546	-1.0101	-0.8140	-1.2561
21	1.7298	-0.5789	-1.0014	-0.7685	-1.3294	1.4898	-0.6546	-0.9752	-0.8140	-1.2127
22	1.6513	-0.5789	-0.9559	-0.7685	-1.2690	1.4221	-0.6546	-0.9309	-0.8140	-1.1576
23	1.5568	-0.5789	-0.9012	-0.7685	-1.1964	1.3408	-0.6546	-0.8777	-0.8140	-1.0914
24	1.4474	-0.5789	-0.8379	-0.7685	-1.1123	1.2465	-0.6546	-0.8159	-0.8140	-1.0146
25	1.3240	-0.5789	-0.7664	-0.7685	-1.0175	1.1402	-0.6546	-0.7464	-0.8140	-0.9281
26	1.1878	-0.5789	-0.6876	-0.7685	-0.9128	1.0230	-0.6546	-0.6696	-0.8140	-0.8327
27	1.0402	-0.5789	-0.6022	-0.7685	-0.7994	0.8959	-0.6546	-0.5865	-0.8140	-0.7293
28	0.8826	-0.5789	-0.5110	-0.7685	-0.6783	0.7602	-0.6546	-0.4976	-0.8140	-0.6188
29	0.7165	-0.5789	-0.4148	-0.7685	-0.5507	0.6171	-0.6546	-0.4039	-0.8140	-0.5023
30	0.5435	-0.5789	-0.3146	-0.7685	-0.4177	0.4681	-0.6546	-0.3064	-0.8140	-0.3810
31	0.3653	-0.5789	-0.2115	-0.7685	-0.2807	0.3146	-0.6546	-0.2059	-0.8140	-0.2561
32	0.1835	-0.5789	-0.1062	-0.7685	-0.1410	0.1581	-0.6546	-0.1035	-0.8140	-0.1287
33	0.0460	-0.5789	-0.0266	-0.7685	-0.0354	0.0396	-0.6546	-0.0259	-0.8140	-0.0323

Κόμβος	Δακτύλιος 15					Δακτύλιος 16				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0334	-0.7245	-0.0242	-0.8559	-0.0286	0.0275	-0.7883	-0.0216	-0.8942	-0.0246
2	0.1332	-0.7245	-0.0965	-0.8559	-0.1140	0.1095	-0.7883	-0.0863	-0.8942	-0.0979
3	0.2652	-0.7245	-0.1921	-0.8559	-0.2270	0.2180	-0.7883	-0.1718	-0.8942	-0.1949
4	0.3946	-0.7245	-0.2859	-0.8559	-0.3377	0.3244	-0.7883	-0.2557	-0.8942	-0.2900
5	0.5202	-0.7245	-0.3769	-0.8559	-0.4452	0.4276	-0.7883	-0.3371	-0.8942	-0.3823
6	0.6408	-0.7245	-0.4643	-0.8559	-0.5485	0.5267	-0.7883	-0.4152	-0.8942	-0.4709
7	0.7553	-0.7245	-0.5472	-0.8559	-0.6464	0.6207	-0.7883	-0.4893	-0.8942	-0.5551
8	0.8624	-0.7245	-0.6248	-0.8559	-0.7381	0.7088	-0.7883	-0.5588	-0.8942	-0.6338
9	0.9613	-0.7245	-0.6964	-0.8559	-0.8227	0.7900	-0.7883	-0.6228	-0.8942	-0.7064
10	1.0508	-0.7245	-0.7613	-0.8559	-0.8994	0.8637	-0.7883	-0.6808	-0.8942	-0.7723
11	1.1303	-0.7245	-0.8189	-0.8559	-0.9674	0.9290	-0.7883	-0.7323	-0.8942	-0.8307
12	1.1988	-0.7245	-0.8686	-0.8559	-1.0261	0.9854	-0.7883	-0.7768	-0.8942	-0.8811
13	1.2559	-0.7245	-0.9099	-0.8559	-1.0749	1.0323	-0.7883	-0.8137	-0.8942	-0.9230
14	1.3008	-0.7245	-0.9425	-0.8559	-1.1134	1.0692	-0.7883	-0.8428	-0.8942	-0.9561
15	1.3333	-0.7245	-0.9659	-0.8559	-1.1411	1.0958	-0.7883	-0.8638	-0.8942	-0.9799
16	1.3528	-0.7245	-0.9801	-0.8559	-1.1579	1.1119	-0.7883	-0.8765	-0.8942	-0.9943
17	1.3594	-0.7245	-0.9849	-0.8559	-1.1635	1.1173	-0.7883	-0.8808	-0.8942	-0.9991
18	1.3528	-0.7245	-0.9801	-0.8559	-1.1579	1.1119	-0.7883	-0.8765	-0.8942	-0.9943
19	1.3333	-0.7245	-0.9659	-0.8559	-1.1411	1.0958	-0.7883	-0.8638	-0.8942	-0.9799
20	1.3008	-0.7245	-0.9425	-0.8559	-1.1134	1.0692	-0.7883	-0.8428	-0.8942	-0.9561
21	1.2559	-0.7245	-0.9099	-0.8559	-1.0749	1.0323	-0.7883	-0.8137	-0.8942	-0.9230
22	1.1988	-0.7245	-0.8686	-0.8559	-1.0261	0.9854	-0.7883	-0.7768	-0.8942	-0.8811
23	1.1303	-0.7245	-0.8189	-0.8559	-0.9674	0.9290	-0.7883	-0.7323	-0.8942	-0.8307
24	1.0508	-0.7245	-0.7613	-0.8559	-0.8994	0.8637	-0.7883	-0.6808	-0.8942	-0.7723
25	0.9613	-0.7245	-0.6964	-0.8559	-0.8227	0.7900	-0.7883	-0.6228	-0.8942	-0.7064
26	0.8624	-0.7245	-0.6248	-0.8559	-0.7381	0.7088	-0.7883	-0.5588	-0.8942	-0.6338
27	0.7553	-0.7245	-0.5472	-0.8559	-0.6464	0.6207	-0.7883	-0.4893	-0.8942	-0.5551
28	0.6408	-0.7245	-0.4643	-0.8559	-0.5485	0.5267	-0.7883	-0.4152	-0.8942	-0.4709
29	0.5202	-0.7245	-0.3769	-0.8559	-0.4452	0.4276	-0.7883	-0.3371	-0.8942	-0.3823
30	0.3946	-0.7245	-0.2859	-0.8559	-0.3377	0.3244	-0.7883	-0.2557	-0.8942	-0.2900
31	0.2652	-0.7245	-0.1921	-0.8559	-0.2270	0.2180	-0.7883	-0.1718	-0.8942	-0.1949
32	0.1332	-0.7245	-0.0965	-0.8559	-0.1140	0.1095	-0.7883	-0.0863	-0.8942	-0.0979
33	0.0334	-0.7245	-0.0242	-0.8559	-0.0286	0.0275	-0.7883	-0.0216	-0.8942	-0.0246

Κόμβος	Δακτύλιος 17					Δακτύλιος 18				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0219	-0.8458	-0.0185	-0.9287	-0.0203	0.0168	-0.8966	-0.0150	-0.9591	-0.0161
2	0.0873	-0.8458	-0.0738	-0.9287	-0.0810	0.0669	-0.8966	-0.0600	-0.9591	-0.0642
3	0.1737	-0.8458	-0.1469	-0.9287	-0.1613	0.1332	-0.8966	-0.1194	-0.9591	-0.1277
4	0.2585	-0.8458	-0.2186	-0.9287	-0.2400	0.1981	-0.8966	-0.1776	-0.9591	-0.1900
5	0.3407	-0.8458	-0.2882	-0.9287	-0.3164	0.2612	-0.8966	-0.2342	-0.9591	-0.2505
6	0.4197	-0.8458	-0.3550	-0.9287	-0.3898	0.3217	-0.8966	-0.2884	-0.9591	-0.3085
7	0.4947	-0.8458	-0.4184	-0.9287	-0.4594	0.3792	-0.8966	-0.3400	-0.9591	-0.3637
8	0.5648	-0.8458	-0.4777	-0.9287	-0.5246	0.4330	-0.8966	-0.3882	-0.9591	-0.4153
9	0.6296	-0.8458	-0.5325	-0.9287	-0.5847	0.4826	-0.8966	-0.4327	-0.9591	-0.4629
10	0.6883	-0.8458	-0.5821	-0.9287	-0.6392	0.5276	-0.8966	-0.4730	-0.9591	-0.5060
11	0.7403	-0.8458	-0.6262	-0.9287	-0.6875	0.5675	-0.8966	-0.5088	-0.9591	-0.5443
12	0.7853	-0.8458	-0.6642	-0.9287	-0.7293	0.6019	-0.8966	-0.5397	-0.9591	-0.5773
13	0.8226	-0.8458	-0.6958	-0.9287	-0.7639	0.6305	-0.8966	-0.5653	-0.9591	-0.6047
14	0.8520	-0.8458	-0.7207	-0.9287	-0.7913	0.6531	-0.8966	-0.5856	-0.9591	-0.6264
15	0.8733	-0.8458	-0.7386	-0.9287	-0.8110	0.6694	-0.8966	-0.6002	-0.9591	-0.6420
16	0.8861	-0.8458	-0.7494	-0.9287	-0.8229	0.6792	-0.8966	-0.6090	-0.9591	-0.6514
17	0.8904	-0.8458	-0.7531	-0.9287	-0.8269	0.6825	-0.8966	-0.6119	-0.9591	-0.6546
18	0.8861	-0.8458	-0.7494	-0.9287	-0.8229	0.6792	-0.8966	-0.6090	-0.9591	-0.6514
19	0.8733	-0.8458	-0.7386	-0.9287	-0.8110	0.6694	-0.8966	-0.6002	-0.9591	-0.6420
20	0.8520	-0.8458	-0.7207	-0.9287	-0.7913	0.6531	-0.8966	-0.5856	-0.9591	-0.6264
21	0.8226	-0.8458	-0.6958	-0.9287	-0.7639	0.6305	-0.8966	-0.5653	-0.9591	-0.6047
22	0.7853	-0.8458	-0.6642	-0.9287	-0.7293	0.6019	-0.8966	-0.5397	-0.9591	-0.5773
23	0.7403	-0.8458	-0.6262	-0.9287	-0.6875	0.5675	-0.8966	-0.5088	-0.9591	-0.5443
24	0.6883	-0.8458	-0.5821	-0.9287	-0.6392	0.5276	-0.8966	-0.4730	-0.9591	-0.5060
25	0.6296	-0.8458	-0.5325	-0.9287	-0.5847	0.4826	-0.8966	-0.4327	-0.9591	-0.4629
26	0.5648	-0.8458	-0.4777	-0.9287	-0.5246	0.4330	-0.8966	-0.3882	-0.9591	-0.4153
27	0.4947	-0.8458	-0.4184	-0.9287	-0.4594	0.3792	-0.8966	-0.3400	-0.9591	-0.3637
28	0.4197	-0.8458	-0.3550	-0.9287	-0.3898	0.3217	-0.8966	-0.2884	-0.9591	-0.3085
29	0.3407	-0.8458	-0.2882	-0.9287	-0.3164	0.2612	-0.8966	-0.2342	-0.9591	-0.2505
30	0.2585	-0.8458	-0.2186	-0.9287	-0.2400	0.1981	-0.8966	-0.1776	-0.9591	-0.1900
31	0.1737	-0.8458	-0.1469	-0.9287	-0.1613	0.1332	-0.8966	-0.1194	-0.9591	-0.1277
32	0.0873	-0.8458	-0.0738	-0.9287	-0.0810	0.0669	-0.8966	-0.0600	-0.9591	-0.0642
33	0.0219	-0.8458	-0.0185	-0.9287	-0.0203	0.0168	-0.8966	-0.0150	-0.9591	-0.0161

Κόμβος	Δακτύλιος 19					Δακτύλιος 20				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0122	-0.9405	-0.0115	-0.9855	-0.0120	0.0083	-0.9774	-0.0081	-1.0077	-0.0083
2	0.0487	-0.9405	-0.0458	-0.9855	-0.0480	0.0331	-0.9774	-0.0323	-1.0077	-0.0333
3	0.0970	-0.9405	-0.0912	-0.9855	-0.0956	0.0659	-0.9774	-0.0644	-1.0077	-0.0664
4	0.1443	-0.9405	-0.1357	-0.9855	-0.1422	0.0980	-0.9774	-0.0958	-1.0077	-0.0987
5	0.1903	-0.9405	-0.1789	-0.9855	-0.1875	0.1292	-0.9774	-0.1263	-1.0077	-0.1302
6	0.2344	-0.9405	-0.2204	-0.9855	-0.2310	0.1592	-0.9774	-0.1556	-1.0077	-0.1604
7	0.2762	-0.9405	-0.2598	-0.9855	-0.2722	0.1876	-0.9774	-0.1833	-1.0077	-0.1890
8	0.3154	-0.9405	-0.2967	-0.9855	-0.3108	0.2142	-0.9774	-0.2093	-1.0077	-0.2158
9	0.3516	-0.9405	-0.3306	-0.9855	-0.3465	0.2388	-0.9774	-0.2334	-1.0077	-0.2406
10	0.3843	-0.9405	-0.3614	-0.9855	-0.3787	0.2610	-0.9774	-0.2551	-1.0077	-0.2630
11	0.4134	-0.9405	-0.3888	-0.9855	-0.4074	0.2807	-0.9774	-0.2744	-1.0077	-0.2829
12	0.4385	-0.9405	-0.4124	-0.9855	-0.4321	0.2978	-0.9774	-0.2910	-1.0077	-0.3001
13	0.4593	-0.9405	-0.4320	-0.9855	-0.4527	0.3119	-0.9774	-0.3049	-1.0077	-0.3143
14	0.4758	-0.9405	-0.4475	-0.9855	-0.4689	0.3231	-0.9774	-0.3158	-1.0077	-0.3256
15	0.4876	-0.9405	-0.4586	-0.9855	-0.4806	0.3311	-0.9774	-0.3237	-1.0077	-0.3337
16	0.4948	-0.9405	-0.4654	-0.9855	-0.4876	0.3360	-0.9774	-0.3284	-1.0077	-0.3386
17	0.4972	-0.9405	-0.4676	-0.9855	-0.4900	0.3376	-0.9774	-0.3300	-1.0077	-0.3402
18	0.4948	-0.9405	-0.4654	-0.9855	-0.4876	0.3360	-0.9774	-0.3284	-1.0077	-0.3386
19	0.4876	-0.9405	-0.4586	-0.9855	-0.4806	0.3311	-0.9774	-0.3237	-1.0077	-0.3337
20	0.4758	-0.9405	-0.4475	-0.9855	-0.4689	0.3231	-0.9774	-0.3158	-1.0077	-0.3256
21	0.4593	-0.9405	-0.4320	-0.9855	-0.4527	0.3119	-0.9774	-0.3049	-1.0077	-0.3143
22	0.4385	-0.9405	-0.4124	-0.9855	-0.4321	0.2978	-0.9774	-0.2910	-1.0077	-0.3001
23	0.4134	-0.9405	-0.3888	-0.9855	-0.4074	0.2807	-0.9774	-0.2744	-1.0077	-0.2829
24	0.3843	-0.9405	-0.3614	-0.9855	-0.3787	0.2610	-0.9774	-0.2551	-1.0077	-0.2630
25	0.3516	-0.9405	-0.3306	-0.9855	-0.3465	0.2388	-0.9774	-0.2334	-1.0077	-0.2406
26	0.3154	-0.9405	-0.2967	-0.9855	-0.3108	0.2142	-0.9774	-0.2093	-1.0077	-0.2158
27	0.2762	-0.9405	-0.2598	-0.9855	-0.2722	0.1876	-0.9774	-0.1833	-1.0077	-0.1890
28	0.2344	-0.9405	-0.2204	-0.9855	-0.2310	0.1592	-0.9774	-0.1556	-1.0077	-0.1604
29	0.1903	-0.9405	-0.1789	-0.9855	-0.1875	0.1292	-0.9774	-0.1263	-1.0077	-0.1302
30	0.1443	-0.9405	-0.1357	-0.9855	-0.1422	0.0980	-0.9774	-0.0958	-1.0077	-0.0987
31	0.0970	-0.9405	-0.0912	-0.9855	-0.0956	0.0659	-0.9774	-0.0644	-1.0077	-0.0664
32	0.0487	-0.9405	-0.0458	-0.9855	-0.0480	0.0331	-0.9774	-0.0323	-1.0077	-0.0333
33	0.0122	-0.9405	-0.0115	-0.9855	-0.0120	0.0083	-0.9774	-0.0081	-1.0077	-0.0083

Κόμβος	Δακτύλιος 21					Δακτύλιος 22				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0051	-1.0072	-0.0051	-1.0255	-0.0052	0.0026	-1.0296	-0.0027	-1.0389	-0.0027
2	0.0202	-1.0072	-0.0204	-1.0255	-0.0208	0.0104	-1.0296	-0.0107	-1.0389	-0.0108
3	0.0403	-1.0072	-0.0406	-1.0255	-0.0413	0.0207	-1.0296	-0.0214	-1.0389	-0.0215
4	0.0600	-1.0072	-0.0604	-1.0255	-0.0615	0.0309	-1.0296	-0.0318	-1.0389	-0.0321
5	0.0791	-1.0072	-0.0796	-1.0255	-0.0811	0.0407	-1.0296	-0.0419	-1.0389	-0.0423
6	0.0974	-1.0072	-0.0981	-1.0255	-0.0999	0.0501	-1.0296	-0.0516	-1.0389	-0.0521
7	0.1148	-1.0072	-0.1156	-1.0255	-0.1177	0.0591	-1.0296	-0.0608	-1.0389	-0.0614
8	0.1311	-1.0072	-0.1320	-1.0255	-0.1344	0.0675	-1.0296	-0.0694	-1.0389	-0.0701
9	0.1461	-1.0072	-0.1471	-1.0255	-0.1498	0.0752	-1.0296	-0.0774	-1.0389	-0.0781
10	0.1597	-1.0072	-0.1609	-1.0255	-0.1638	0.0822	-1.0296	-0.0846	-1.0389	-0.0854
11	0.1718	-1.0072	-0.1730	-1.0255	-0.1762	0.0884	-1.0296	-0.0910	-1.0389	-0.0918
12	0.1822	-1.0072	-0.1835	-1.0255	-0.1868	0.0938	-1.0296	-0.0965	-1.0389	-0.0974
13	0.1909	-1.0072	-0.1922	-1.0255	-0.1957	0.0982	-1.0296	-0.1011	-1.0389	-0.1021
14	0.1977	-1.0072	-0.1991	-1.0255	-0.2027	0.1018	-1.0296	-0.1048	-1.0389	-0.1057
15	0.2026	-1.0072	-0.2041	-1.0255	-0.2078	0.1043	-1.0296	-0.1074	-1.0389	-0.1083
16	0.2056	-1.0072	-0.2071	-1.0255	-0.2109	0.1058	-1.0296	-0.1089	-1.0389	-0.1099
17	0.2066	-1.0072	-0.2081	-1.0255	-0.2119	0.1063	-1.0296	-0.1095	-1.0389	-0.1105
18	0.2056	-1.0072	-0.2071	-1.0255	-0.2109	0.1058	-1.0296	-0.1089	-1.0389	-0.1099
19	0.2026	-1.0072	-0.2041	-1.0255	-0.2078	0.1043	-1.0296	-0.1074	-1.0389	-0.1083
20	0.1977	-1.0072	-0.1991	-1.0255	-0.2027	0.1018	-1.0296	-0.1048	-1.0389	-0.1057
21	0.1909	-1.0072	-0.1922	-1.0255	-0.1957	0.0982	-1.0296	-0.1011	-1.0389	-0.1021
22	0.1822	-1.0072	-0.1835	-1.0255	-0.1868	0.0938	-1.0296	-0.0965	-1.0389	-0.0974
23	0.1718	-1.0072	-0.1730	-1.0255	-0.1762	0.0884	-1.0296	-0.0910	-1.0389	-0.0918
24	0.1597	-1.0072	-0.1609	-1.0255	-0.1638	0.0822	-1.0296	-0.0846	-1.0389	-0.0854
25	0.1461	-1.0072	-0.1471	-1.0255	-0.1498	0.0752	-1.0296	-0.0774	-1.0389	-0.0781
26	0.1311	-1.0072	-0.1320	-1.0255	-0.1344	0.0675	-1.0296	-0.0694	-1.0389	-0.0701
27	0.1148	-1.0072	-0.1156	-1.0255	-0.1177	0.0591	-1.0296	-0.0608	-1.0389	-0.0614
28	0.0974	-1.0072	-0.0981	-1.0255	-0.0999	0.0501	-1.0296	-0.0516	-1.0389	-0.0521
29	0.0791	-1.0072	-0.0796	-1.0255	-0.0811	0.0407	-1.0296	-0.0419	-1.0389	-0.0423
30	0.0600	-1.0072	-0.0604	-1.0255	-0.0615	0.0309	-1.0296	-0.0318	-1.0389	-0.0321
31	0.0403	-1.0072	-0.0406	-1.0255	-0.0413	0.0207	-1.0296	-0.0214	-1.0389	-0.0215
32	0.0202	-1.0072	-0.0204	-1.0255	-0.0208	0.0104	-1.0296	-0.0107	-1.0389	-0.0108
33	0.0051	-1.0072	-0.0051	-1.0255	-0.0052	0.0026	-1.0296	-0.0027	-1.0389	-0.0027

Κόμβος	1ος Εσωτερικός Δακτύλιος					Δακτύλιος 23				
	E	w1	F1	w2	F2	E	w1	F1	w2	F2
1	0.0944	0.7020	0.0663	0.0000	0.0000	0.0035	-1.0445	-0.0036	-1.0479	-0.0036
2	0.2824	0.7020	0.1982	0.0000	0.0000	0.0137	-1.0445	-0.0143	-1.0479	-0.0143
3	0.4676	0.7020	0.3282	0.0000	0.0000	0.0269	-1.0445	-0.0281	-1.0479	-0.0281
4	0.6483	0.7020	0.4551	0.0000	0.0000	0.0390	-1.0445	-0.0407	-1.0479	-0.0409
5	0.8227	0.7020	0.5776	0.0000	0.0000	0.0497	-1.0445	-0.0519	-1.0479	-0.0520
6	0.9893	0.7020	0.6945	0.0000	0.0000	0.0584	-1.0445	-0.0610	-1.0479	-0.0612
7	1.1463	0.7020	0.8047	0.0000	0.0000	0.0649	-1.0445	-0.0678	-1.0479	-0.0680
8	1.2923	0.7020	0.9072	0.0000	0.0000	0.0689	-1.0445	-0.0719	-1.0479	-0.0722
9	1.4258	0.7020	1.0009	0.0000	0.0000	0.0702	-1.0445	-0.0734	-1.0479	-0.0736
10	1.5458	0.7020	1.0851	0.0000	0.0000	0.0689	-1.0445	-0.0719	-1.0479	-0.0722
11	1.6505	0.7020	1.1586	0.0000	0.0000	0.0649	-1.0445	-0.0678	-1.0479	-0.0680
12	1.7395	0.7020	1.2211	0.0000	0.0000	0.0584	-1.0445	-0.0610	-1.0479	-0.0612
13	1.8118	0.7020	1.2719	0.0000	0.0000	0.0497	-1.0445	-0.0519	-1.0479	-0.0520
14	1.8666	0.7020	1.3103	0.0000	0.0000	0.0390	-1.0445	-0.0407	-1.0479	-0.0409
15	1.9035	0.7020	1.3362	0.0000	0.0000	0.0269	-1.0445	-0.0281	-1.0479	-0.0281
16	1.9219	0.7020	1.3492	0.0000	0.0000	0.0137	-1.0445	-0.0143	-1.0479	-0.0143
17	1.9219	0.7020	1.3492	0.0000	0.0000	0.0035	-1.0445	-0.0036	-1.0479	-0.0036
18	1.9035	0.7020	1.3362	0.0000	0.0000					
19	1.8666	0.7020	1.3103	0.0000	0.0000					
20	1.8118	0.7020	1.2719	0.0000	0.0000					
21	1.7395	0.7020	1.2211	0.0000	0.0000					
22	1.6505	0.7020	1.1586	0.0000	0.0000					
23	1.5458	0.7020	1.0851	0.0000	0.0000					
24	1.4258	0.7020	1.0009	0.0000	0.0000					
25	1.2923	0.7020	0.9072	0.0000	0.0000					
26	1.1463	0.7020	0.8047	0.0000	0.0000					
27	0.9893	0.7020	0.6945	0.0000	0.0000					
28	0.8227	0.7020	0.5776	0.0000	0.0000					
29	0.6483	0.7020	0.4551	0.0000	0.0000					
30	0.4676	0.7020	0.3282	0.0000	0.0000					
31	0.2824	0.7020	0.1982	0.0000	0.0000					
32	0.0944	0.7020	0.0663	0.0000	0.0000					

7.4. Επιλογή στοιχείων κατασκευής

Όσον αφορά το υλικό κατασκευής θα προτιμούσαμε την χρήση αλουμινίου, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει και έχουν ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο Κεφάλαιο. Το υλικό αυτό όμως δεν είναι διαδεδομένο στην χώρα μας για παρόμοιες κατασκευές, οπότε η επιλογή γίνεται με βάση τα δεδομένα της εγχώριας αγοράς, ήτοι χάλυβας υψηλής αντοχής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως επελέγη σφαίρα διαμέτρου 110 χιλιοστών για όλους τους κόμβους. Στη σφαίρα ανοίγονται οπές στα σημεία που επιθυμούμε. Πρέπει να σημειωθεί ότι στα άκρα των ράβδων προσαρμόζονται δύο κεφαλές, οι οποίες φέρουν μία οπή στο κέντρο, έτσι ώστε να περνούν διαμέσου αυτών των οπών οι κοχλίες, με σκοπό τη σύνδεση της ράβδου με την σφαίρα.

Σε βαθμό προμελέτης επιλέγουμε τις ίδιες διατομές για όλες τις ράβδους. Επιλέγουμε αρχικά μία διατομή και μέσω του προγράμματος βλέπουμε αν ισχύουν όλοι οι έλεγχοι. Κάνουμε έλεγχο λειτουργικότητας βελών και επαληθεύουμε ότι ισχύει ο έλεγχος επιτρεπόμενης αξονικής θλιπτικής και εφελκυστικής δύναμης που μας δίνει ο κατασκευαστής για την συγκεκριμένη διατομή. Σε περίπτωση που δεν ισχύει κάποιος από αυτούς τους ελέγχους αλλάζουμε διατομή. Όλες οι ράβδοι-μέλη είναι σωλήνες κοίλης διατομής.

Έπειτα από μερικές επιλύσεις η οικονομικότερη διατομή που επαληθεύει όλους τους ελέγχους για όλους τους συνδυασμούς φόρτισης είναι αυτή διαμέτρου 88.9 χιλιοστών και πάχους 4 χιλιοστών.

7.5 Επιλύσεις - Αποτελέσματα

Οι συνδυασμοί φόρτισης με βάση τους οποίους ελέγχουμε την κατασκευή έχουν ως εξής:

- 1) $1.35G + 1.5Q$
- 2) $1.35G + 1.5W$
- 3) $1.35G + 1.35Q + 1.35W$

όπου G: η φόρτιση λόγω των μόνιμων φορτίων
 Q: η φόρτιση λόγω των κινητών φορτίων
 W: η φόρτιση λόγω του ανέμου

Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 η μέγιστη επιτρεπόμενη οριζόντια μετακίνηση για λόγους λειτουργικότητας είναι:

$$\delta_{x,\max} = \delta_{y,\max} = \frac{H}{200} \quad \text{όπου } H \text{ το συνολικό ύψος της θολωτής κατασκευής.}$$

$$\text{Συνεπώς } \delta_{x,\max} = \delta_{y,\max} = \frac{H}{200} = \frac{25000}{200} = 125\text{mm}$$

Από τις επιλύσεις με τους τρεις συνδυασμούς που κάναμε βρήκαμε :

$$1^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } \delta_x = 35.5 \text{ mm} < 125\text{mm}$$

$$\delta_y = 36.3\text{mm} < 125\text{mm}$$

$$2^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } \delta_x = 37.2\text{mm} < 125\text{mm}$$

$$\delta_y = 23.5\text{mm} < 125\text{mm}$$

$$3^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } \delta_x = 37.6\text{mm} < 125\text{mm}$$

$$\delta_y = 34.7\text{mm} < 125\text{mm}$$

Έλεγχος κατακόρυφων μετακινήσεων

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 η μέγιστη επιτρεπόμενη κατακόρυφη μετακίνηση για λόγους λειτουργικότητας είναι:

$$\delta_{z,\max} = \frac{H}{200} \quad \text{όπου } H \text{ το συνολικό ύψος της θολωτής κατασκευής.}$$

$$\text{Συνεπώς } \delta_{z,\max} = \frac{H}{200} = \frac{25000}{200} = 125 \text{ mm}$$

Από τις επιλύσεις με τους τρεις συνδυασμούς που κάναμε βρήκαμε :

$$1^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } \delta_z = 35.1\text{mm} < 125\text{mm}$$

$$2^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } \delta_z = 28.5\text{mm} < 125\text{mm}$$

$$3^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } \delta_z = 37.6\text{mm} < 125\text{mm}$$

Έλεγχος θλιπτικής δύναμης

Για την διατομή που επιλέξαμε η επιτρεπόμενη αξονική θλιπτική δύναμη που μας δίνει ο κατασκευαστής μετά από σειρά δοκιμών που έχει κάνει είναι : $N = 88 \text{ KN}$.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που πήραμε από την επίλυση στο πρόγραμμα, η μέγιστη θλιπτική δύναμη που εμφανίζουν οι ράβδοι για κάθε συνδυασμούς φόρτισης είναι :

$$1^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } N_{\max} = 52.80 \text{ KN} < 88 \text{ KN}$$

$$2^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } N_{\max} = 66.06 \text{ KN} < 88 \text{ KN}$$

$$3^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } N_{\max} = 77.37 \text{ KN} < 88 \text{ KN}$$

Έλεγχος εφελκυστικής δύναμης

Για την διατομή που επιλέξαμε η επιτρεπόμενη αξονική εφελκυστική δύναμη που μας δίνει ο κατασκευαστής μετά από σειρά δοκιμών που έχει κάνει είναι :
 $N = 171 \text{ KN}$.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που πήραμε από την επίλυση στο πρόγραμμα, η μέγιστη εφελκυστική δύναμη που εμφανίζουν οι ράβδοι για κάθε συνδυασμό φόρτισης είναι :

$$1^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } N_{\text{max}} = 68.51 \text{ KN} < 171 \text{ KN}$$

$$2^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } N_{\text{max}} = 71.89 \text{ KN} < 171 \text{ KN}$$

$$3^{\text{ος}} \text{ συνδυασμός : } N_{\text{max}} = 90.25 \text{ KN} < 171 \text{ KN}$$

Περαιτέρω έλεγχοι

Το πρόγραμμα Sap2000 κάνει ελέγχους για λυγισμό, θλίψη, εφελκυσμό, διάτμηση, έλεγχο σε τέμνουσα καθώς και ελέγχους σε σύνθετες καταπονήσεις όπως στρέβλωσης, διπλής κάμψης και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3. Η υπό μελέτη κατασκευή ανταποκρίθηκε πλήρως σε όλους τους προαναφερθέντες ελέγχους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ – ΒΑΡΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η διατομή 88.9mm x 4.0mm που τελικώς επιλέξαμε έχει εμβαδόν 10.70 cm².
Στους παρακάτω πίνακες υπολογίζουμε το βάρος για όλες τις ράβδους της κατασκευής.

ΡΑΒΔΟΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

μήκος	αριθμός	βάρος (KN)
2,452	32	6,59
2,442	32	6,56
2,421	32	6,51
2,389	32	6,42
2,348	32	6,31
2,296	32	6,17
2,235	32	6,01
2,164	32	5,82
2,083	32	5,60
1,994	32	5,36
1,897	32	5,10
1,791	32	4,81
1,677	32	4,51
1,556	32	4,18
1,429	32	3,84
1,296	32	3,48
1,157	32	3,11
1,013	32	2,72
0,864	32	2,32
0,712	32	1,91
0,557	32	1,50
0,400	32	1,07
0,480	32	1,29
1,636	704	96,74
2,453	8	1,65
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ		199,59

ΡΑΒΔΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

μήκος	αριθμός	βάρος (KN)
2,355	64	12,66
2,350	32	6,32
2,335	32	6,28
2,310	32	6,21
2,275	32	6,11
2,230	32	5,99
2,176	32	5,85
2,112	32	5,68
2,040	32	5,48
1,958	32	5,26
1,869	32	5,02
1,771	32	4,76
1,665	32	4,48
1,553	32	4,17
1,434	32	3,85
1,309	32	3,52
1,178	32	3,17
1,042	32	2,80
0,901	32	2,42
0,757	32	2,03
0,610	32	1,64
0,460	16	0,62
0,461	32	1,24
1,571	704	92,87
2,355	8	1,58
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ		200,02

ΔΙΑΓΩΝΙΕΣ ΡΑΒΔΟΙ

μήκος	αριθμός	βάρος (KN)
1,757	128	18,89
1,756	128	18,88
1,754	128	18,86
1,752	128	18,83
1,748	128	18,80
1,744	128	18,75
1,739	128	18,69
1,733	128	18,63
1,726	128	18,56
1,718	128	18,47
1,710	128	18,38
1,701	128	18,28
1,691	128	18,18
1,680	128	18,07
1,669	128	17,95
1,657	128	17,82
1,645	128	17,68
1,632	128	17,55
1,619	128	17,40
1,605	128	17,25
1,590	128	17,10
1,575	128	16,94
1,561	128	16,78
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ		416,73

μήκος	αριθμός	βάρος (KN)
1,546	128	16,62
1,530	128	16,45
1,515	128	16,28
1,499	128	16,12
1,484	128	15,95
1,468	128	15,78
1,453	128	15,62
1,438	128	15,46
1,423	128	15,30
1,408	128	15,14
1,394	128	14,99
1,381	128	14,84
1,368	128	14,71
1,356	128	14,57
1,344	128	14,45
1,333	128	14,33
1,323	128	14,23
1,314	128	14,13
1,307	128	14,05
1,299	64	6,99
1,895	64	10,19
1,061	64	5,70
1,007	64	5,41
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ		317,30

Από τα παραπάνω το συνολικό βάρος των ράβδων προκύπτει 1133.64 KN.

Το βάρος των κόμβων είναι $0.06565KN \cdot 2882 = 189.20 KN$.

Το εμβαδόν της επικάλυψης που θα χρησιμοποιηθεί είναι $3720.55 m^2$. Το βάρος λόγω επικάλυψης ισούται με $3720.55 m^2 \cdot 0.15KN/m^2 = 558.08 KN$

- Το συνολικό βάρος της κατασκευής είναι λοιπόν : 1880.92 KN
- Αν η κατασκευή ήταν από οπλισμένο σκυρόδεμα για διατομή πάχους ενός μέτρου και δεδομένου της ημισφαιρικότητας των δύο θόλων θα είχε όγκο

σκυροδέματος $V = \frac{4}{6} \pi 25^3 - \frac{4}{6} \pi 24^3 = 3772m^3$. Το βάρος της κατασκευής θα ήταν $B = \gamma V = 25 \text{ KN/m}^3 3772m^3 = 94300 \text{ KN}$ δηλαδή θα ήταν περίπου 50 φορές βαρύτερη.

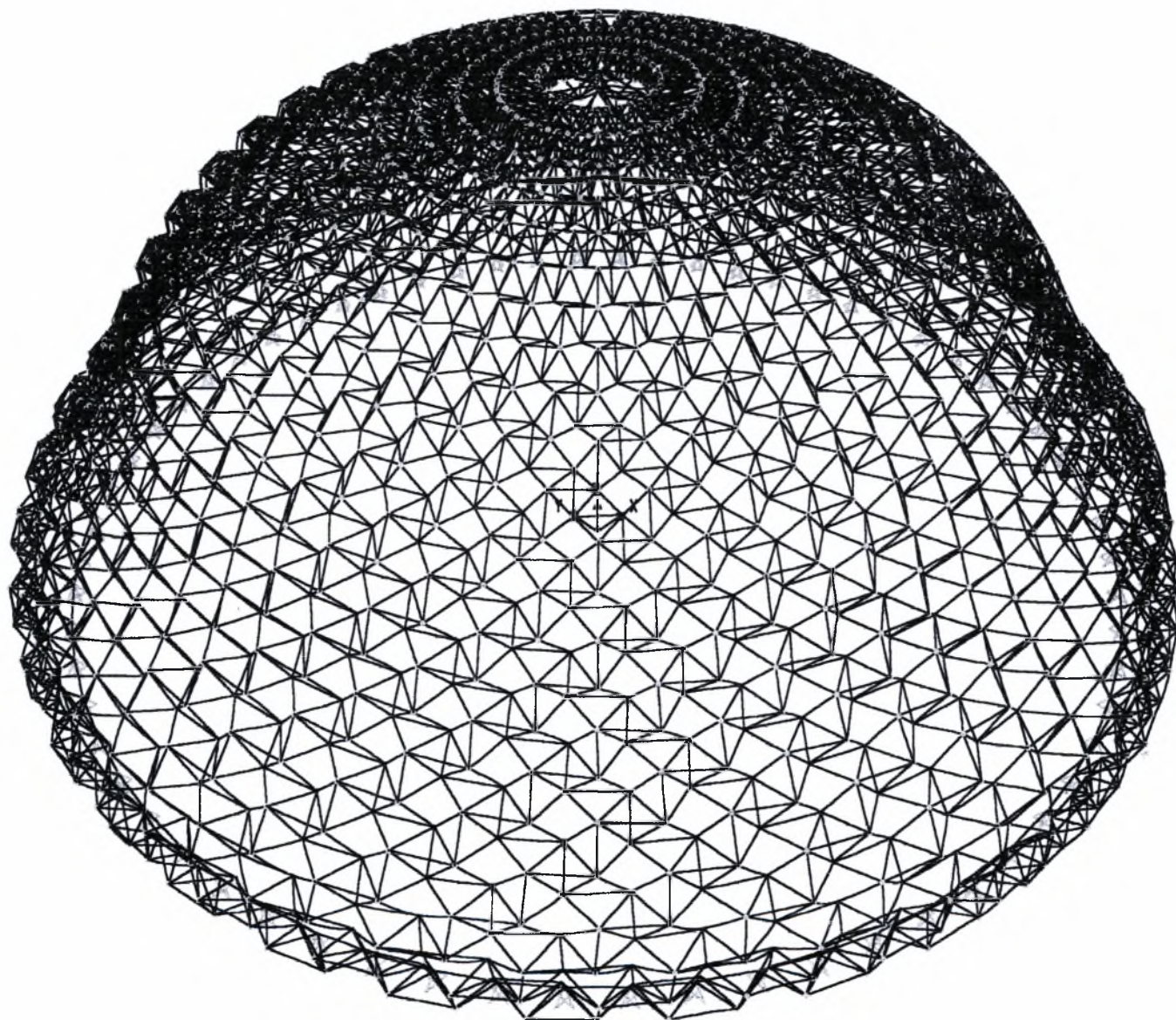
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Chen, W. F.**, (1999), “*Structural stability: from theory to practice*”, Engineering Structures **22**(2), 116-122.
2. **Chilton, J.** (1999), *Space Grid Structures*, Butterworth-Heinemann.
3. **Cherkaev, A., Palais, R.**, (1996), “*Optimal design of three-dimensional axisymmetric elastic structures*”, Structural Optimization **12**(1), 35-35.
4. **El-Sheikh, A.**, (1996), “*Development of a New Space Truss System*”, J. Constr. Steel Res. **37**(3), 205-227.
5. **El-Sheikh, A.** (1997), “*Effect of member length imperfection on triple-layer space trusses*”, Engineering Structures **19**(7), 540-550.
6. **El-Sheikh, A.** (1998), “*Failure mode and strength of space truss compression chord members*”, Engineering Structures **21**(5), 395-405.
7. **El-Sheikh, A.** (1999), “*Approximate dynamic analysis of space trusses*”, Engineering Structures **22**(1), 26-38.
8. **El-Sheikh, A.**, (2000), “*New space truss system – from concept to implementation*”, Engineering Structures **22**(9), 1070-1085.
9. **Gabriel, J. F. and Gabriel, F. J.** (1997), *Beyond the Cube: The Architecture of Space Frames and Polyhedra*, John Wiley & Sons, N.Y.
10. **Horizono, Y., Yoshikawa, Y., Tsuji, M., Makino, Y., Honda, M., Kurobane, Y.**, (1998), “*Development of Hollow Ball Joints for 3-Dimensional Space Trusses – Full Scale Tests and Calibration for Numerical Results*”, J. Constr. Steel Res. **46** (1-3), Paper No. 332.
11. **Kato, S., Mutoh, I., Shomura, M.**, (1998), “*Collapse of semi-rigidly jointed reticulated domes with initial geometric imperfections*”, J. Constr. Steel Res. **48**(2-3), 145-168.
12. **Liew, J. V. R., Punniakotty, N. M., Shanmugan, N. E.** (1997), “*Advanced Analysis and Design of Spatial Structures*”, J. Constr. Steel Res. **42**(1), 21-48.
13. **Nakayama, M., Sasaki, Y., Masuda, K., Ogawa, T.**, (1998), “*An efficient method for selection of vibration modes contributory to wind response of dome-like roofs*”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics **73**, 31-43.
14. **Kawaguchi, M., Tatemichi, I., Chen, P. S.**, (1999), “*Optimal shapes of a cable dome structure*”, Engineering Structures **21**(8), 719-725.
15. **Saka, M. P., Kameshki, E. S.** (1998), “*Optimum design of nonlinear elastic framed domes*”, Advances in Engineering Software **29**(7-9), 519-528.

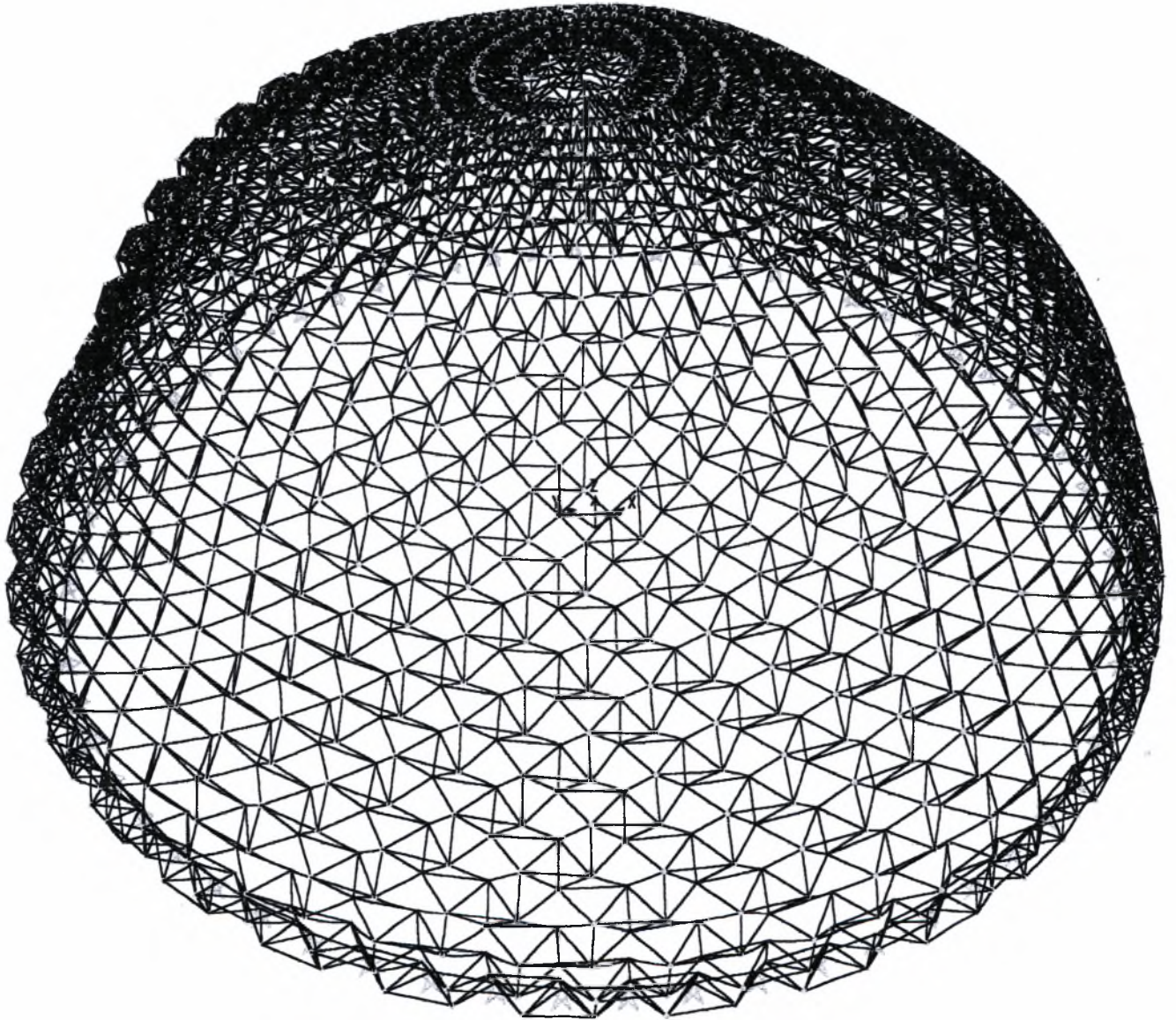
16. **Wendel, W. R.**, *Spaceframe Basics*, Starnet Internationsl Corp., Longwood, FL, USA
17. **Wilkinson, C.**, (1996), *Supersheds: The Architecture of Long-Span, Large Volume Buildings*, Butterworth Architecture.
18. **Σοφιανόπουλος, Δ. Σ.**, (1998), *Ειδικά Θέματα Μεταλλικών Κατασκευών*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παραμορφωμένος φορέας
για τον 1^ο συνδυασμό φόρτισης: 1.35G + 1.5Q



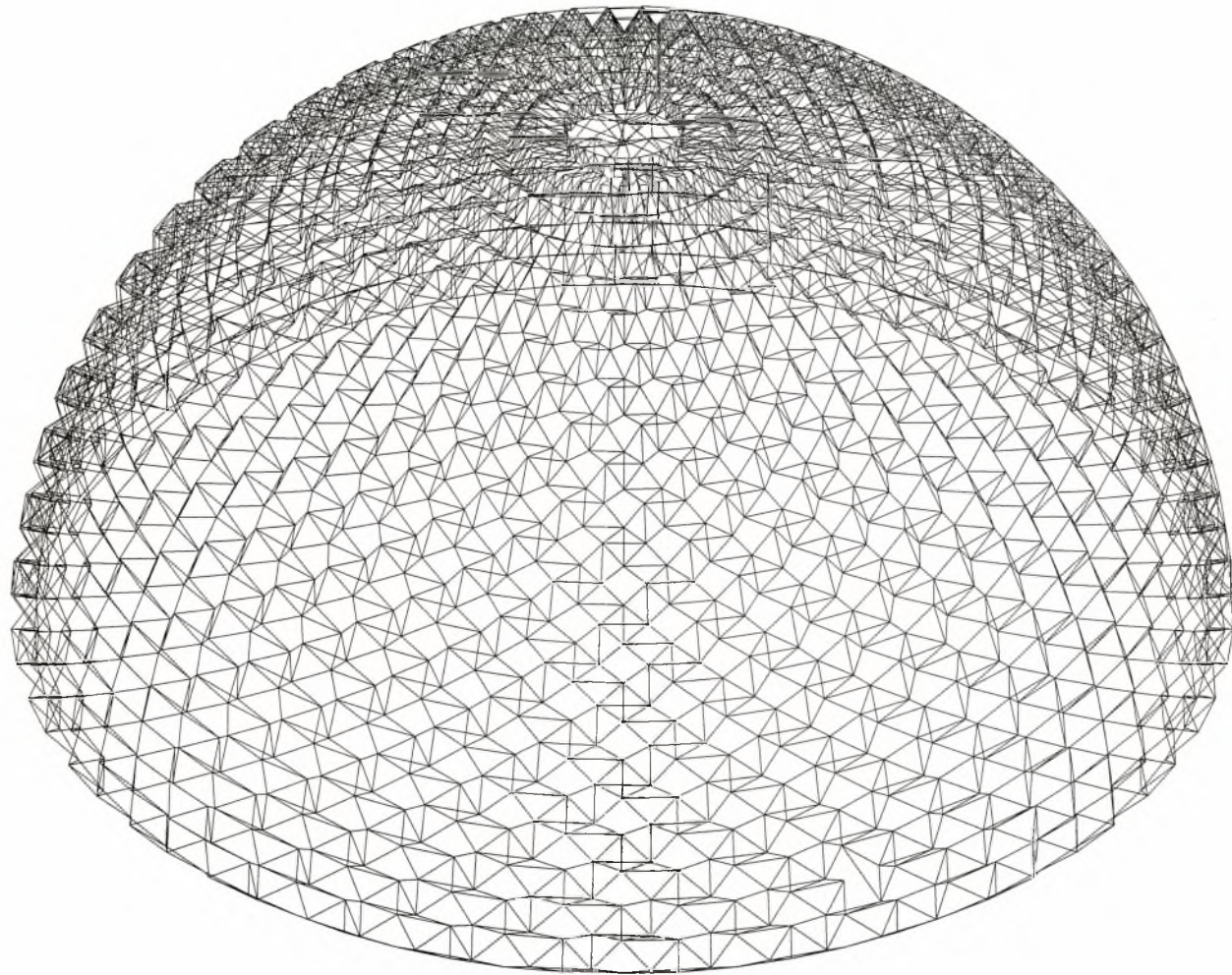
Παραμορφωμένος φορέας
για τον 2^ο συνδυασμό φόρτισης: 1.35G + 1.5W



Παραμορφωμένος φορέας

για τον 3^ο συνδυασμό φόρτισης: $1.35(G + Q + W)$





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΗΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :
ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ
ΘΟΛΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

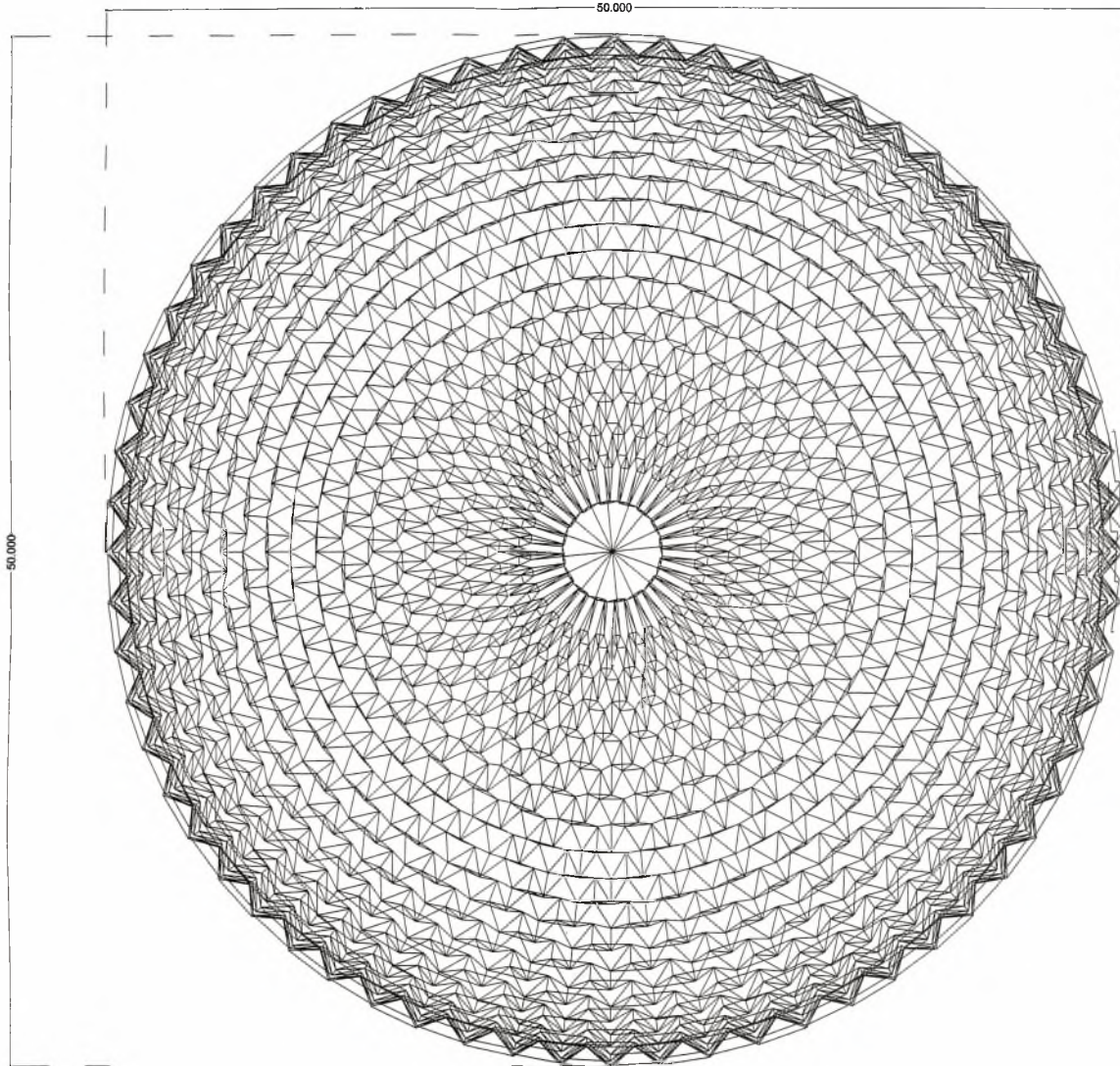
1

ΚΛΙΜΑΚΑ

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :
ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΚΑΤΟΨΗ ΘΟΛΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

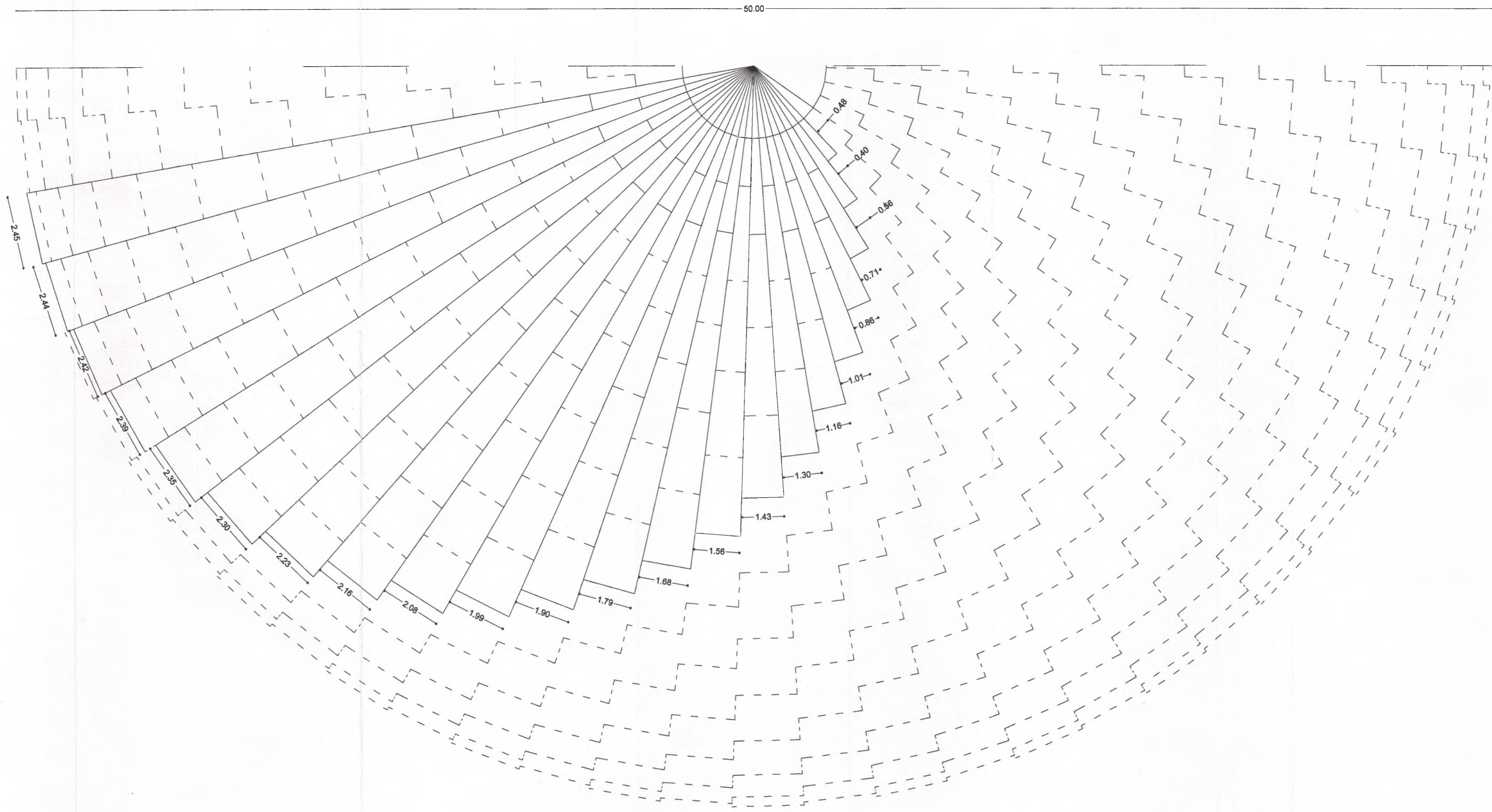
2

ΚΛΙΜΑΚΑ

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ ΦΟΙΤΗΤΕΣ :

ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΚΑΤΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

3

ΚΛΙΜΑΚΑ

1:100

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΗΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :

ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΚΑΤΟΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

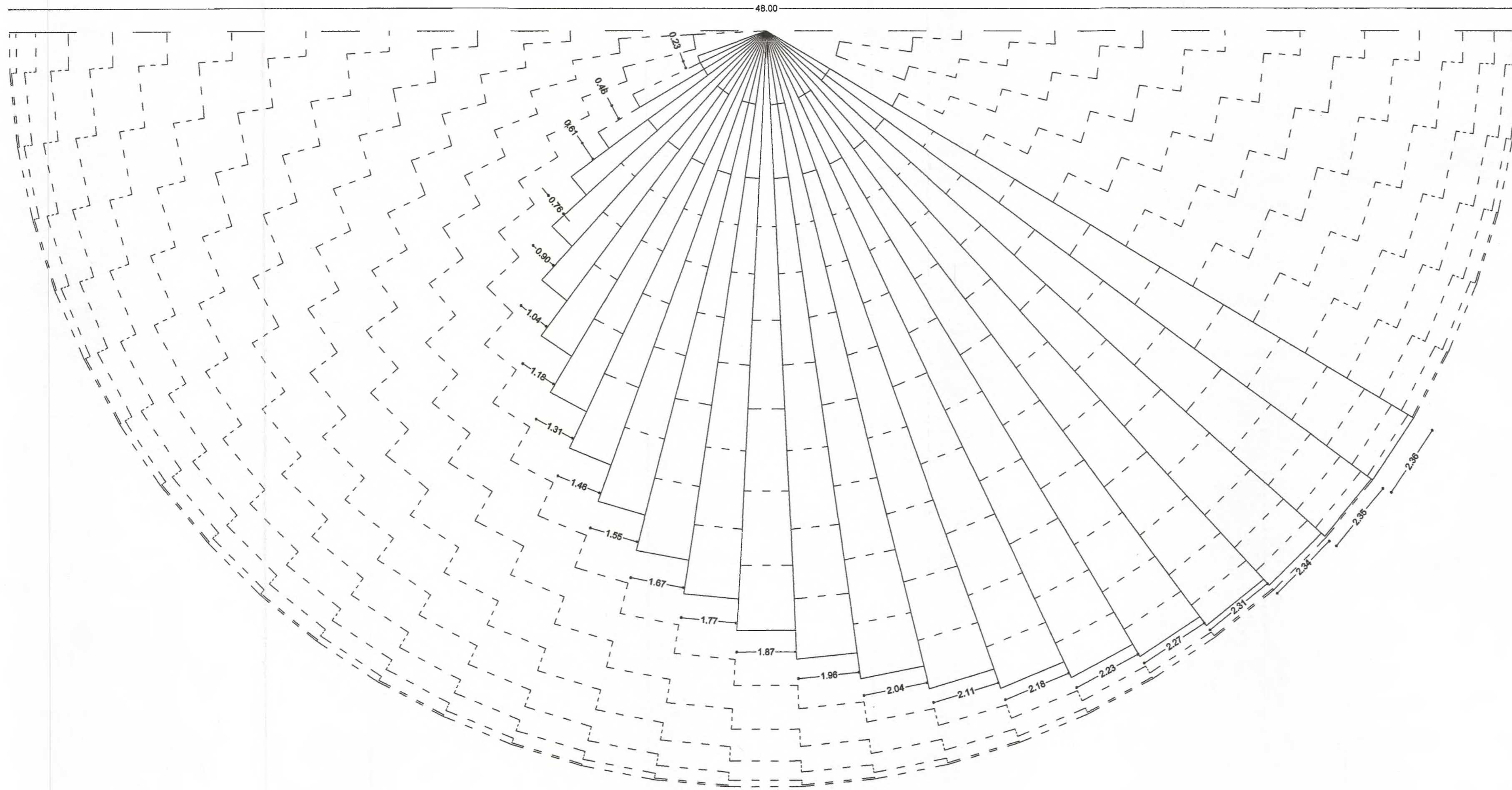
4

ΚΛΙΜΑΚΑ

1:100

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :
ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΟΨΗ ΘΟΛΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

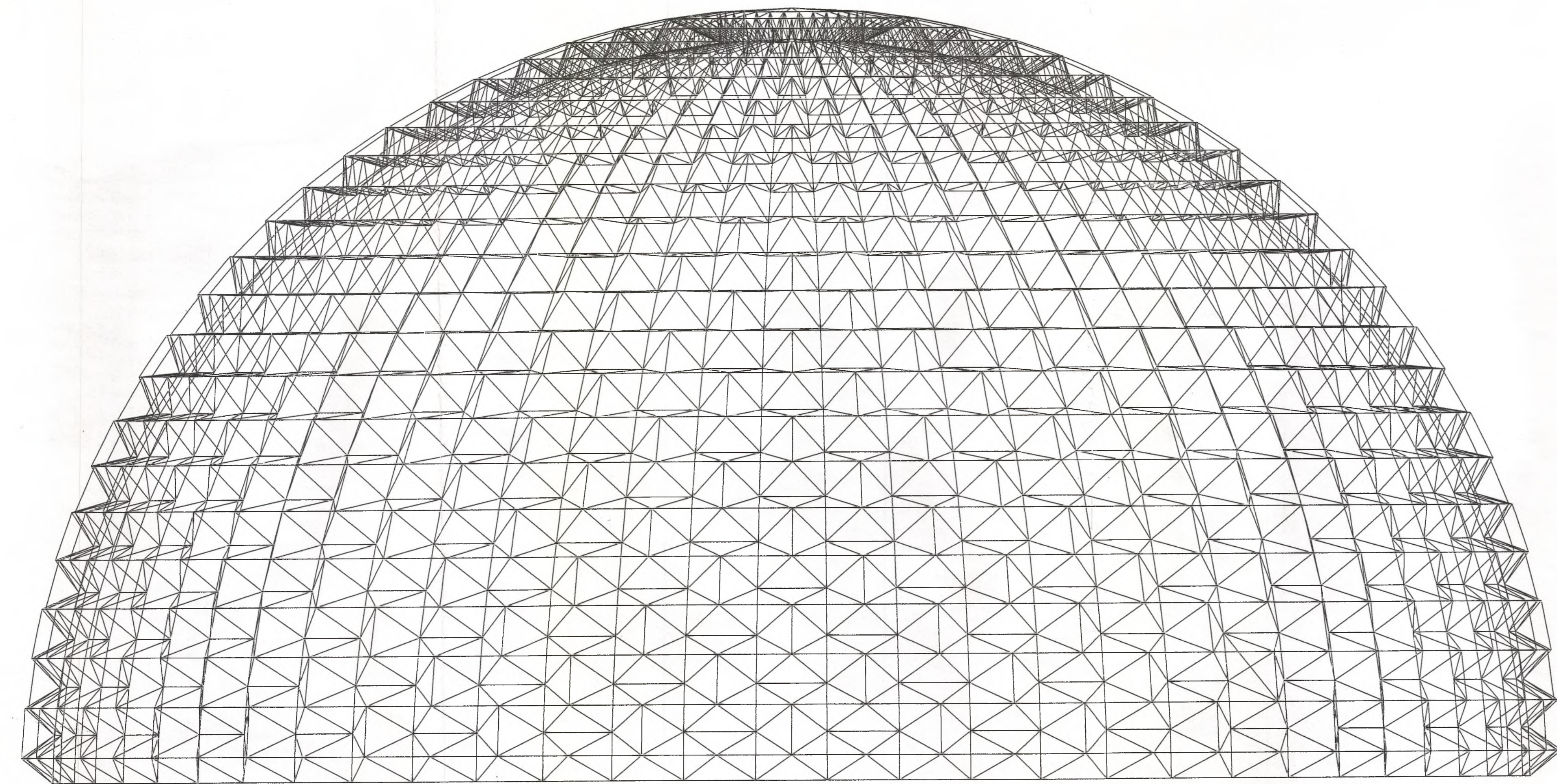
5

ΚΛΙΜΑΚΑ

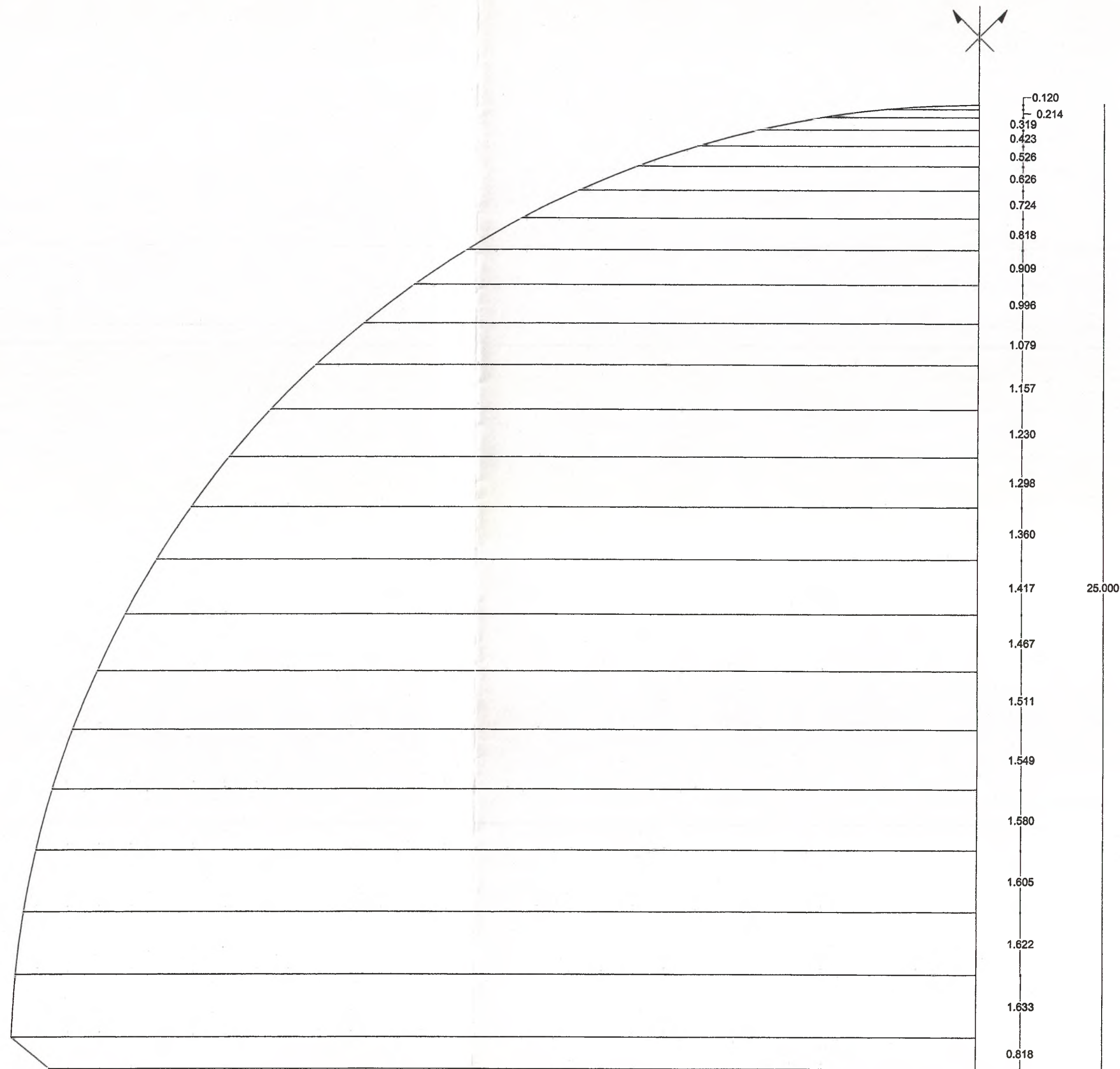
1:100

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000



50.000



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :
ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

6

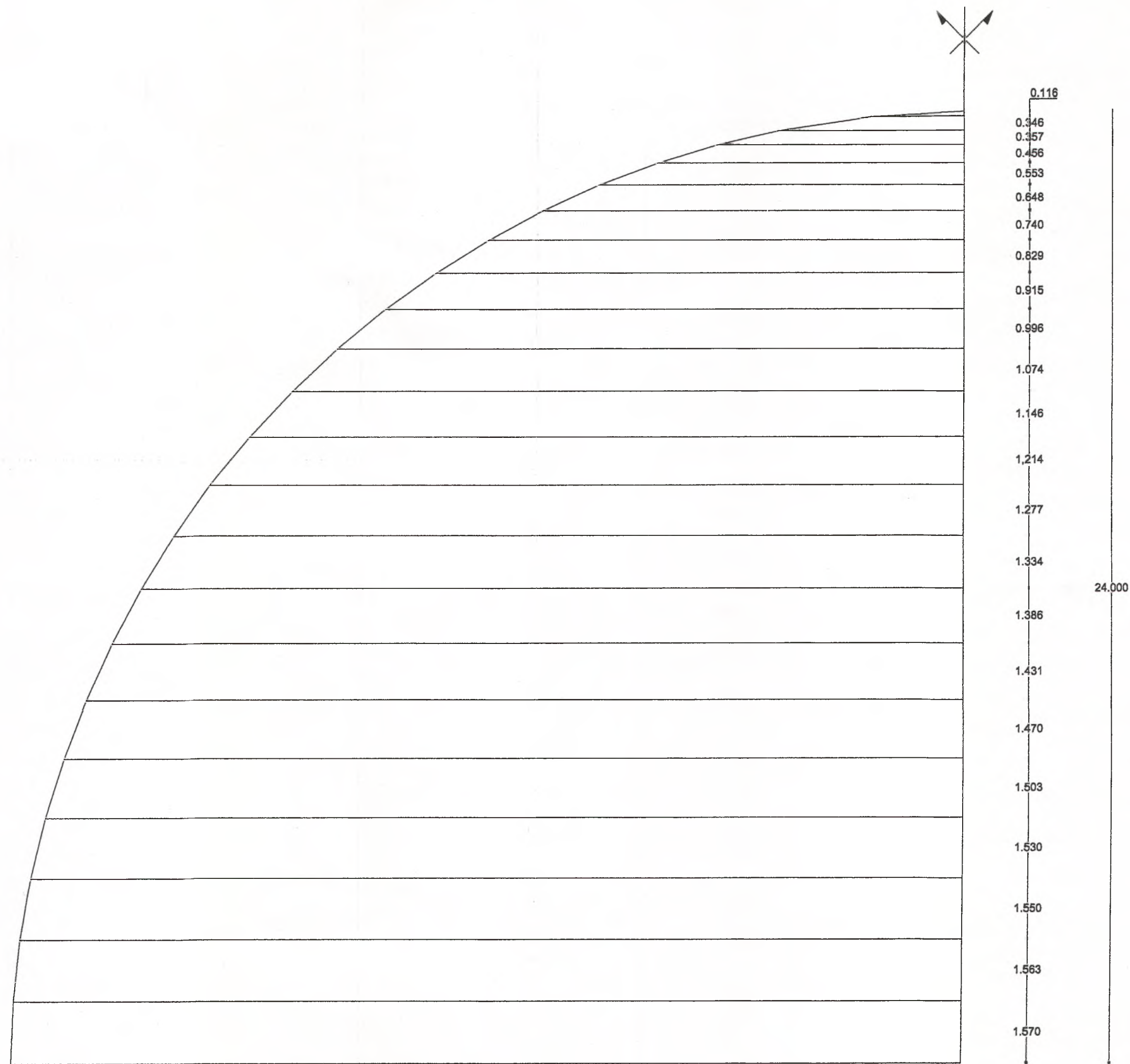
ΚΛΙΜΑΚΑ

1:100

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :

ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΟΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

7

ΚΛΙΜΑΚΑ

1:100

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :

ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ

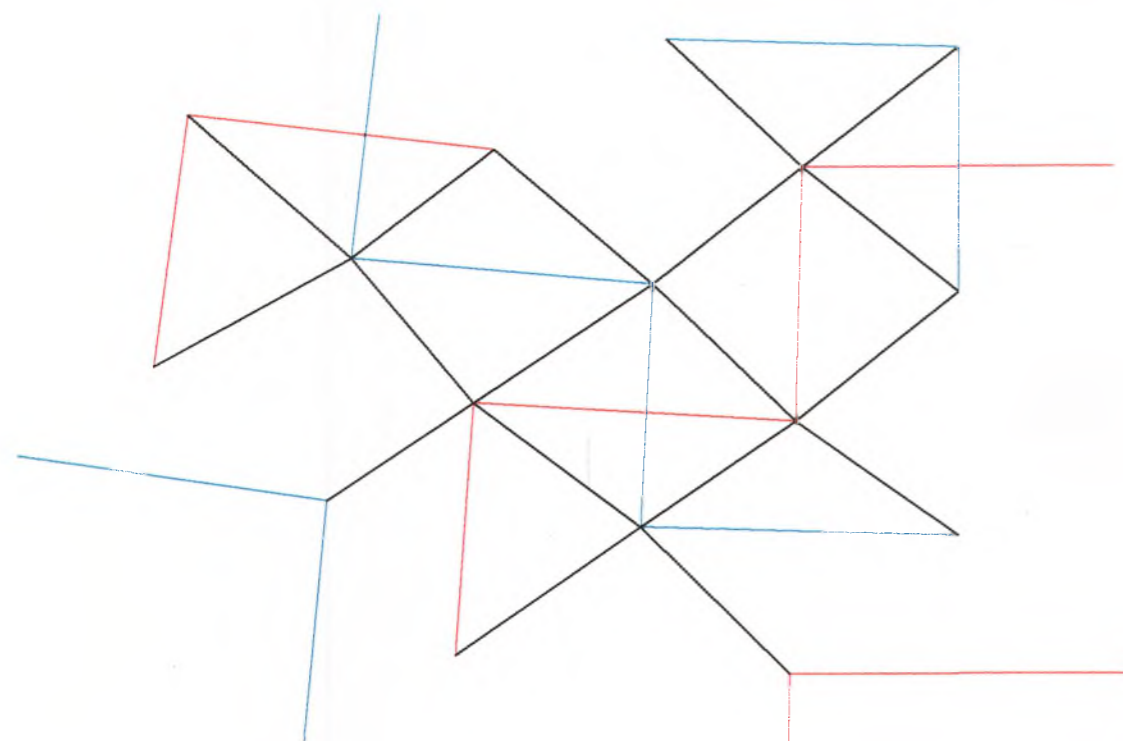
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

8

ΚΛΙΜΑΚΑ

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000



εξωτερικός θόλος

εσωτερικός θόλος

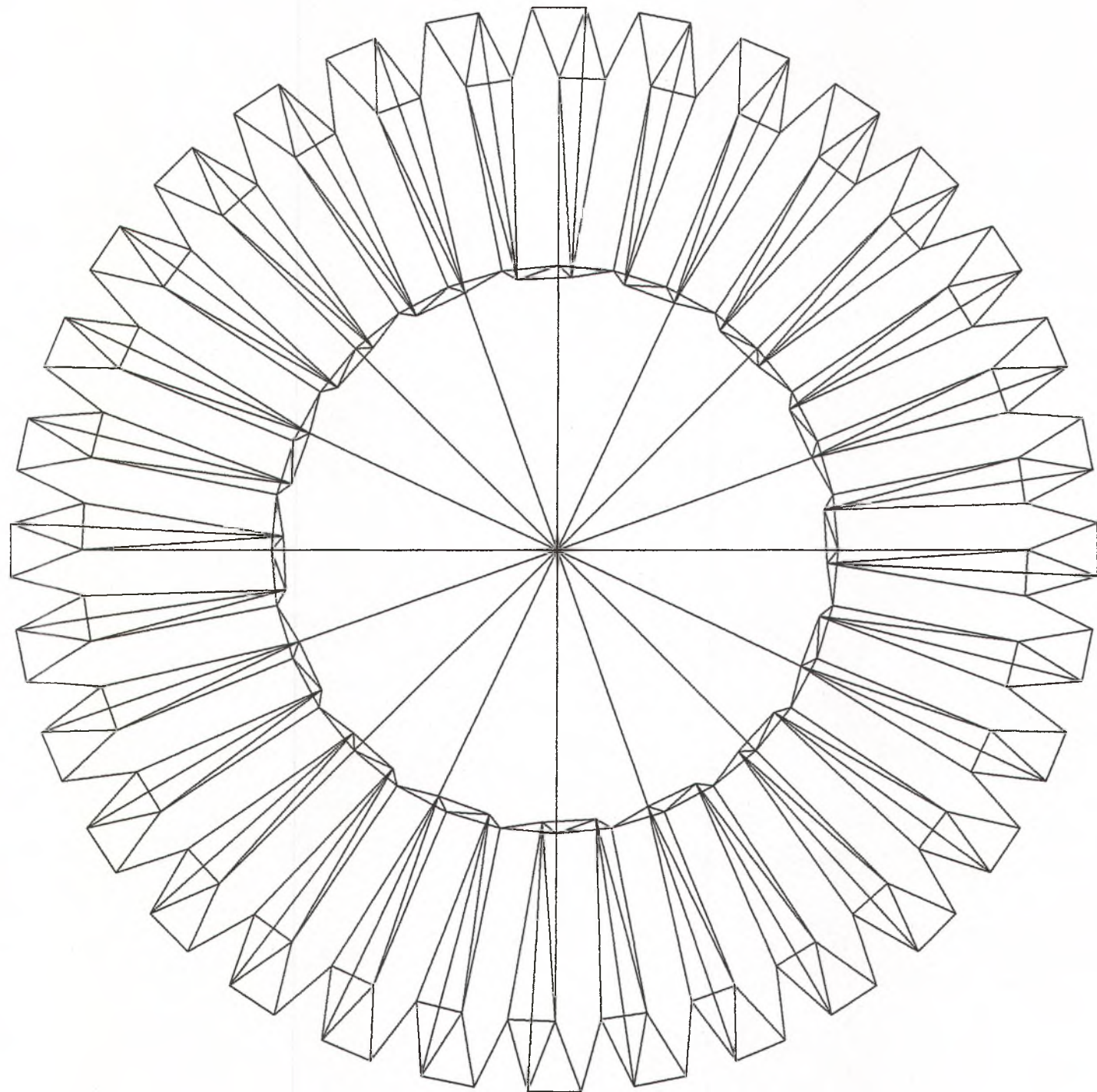
ράβδοι σύνδεσης



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ



ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΗΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΗΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :

ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΚΟΡΥΦΗΣ
ΘΟΛΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
(ΚΑΤΟΨΗ)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

9

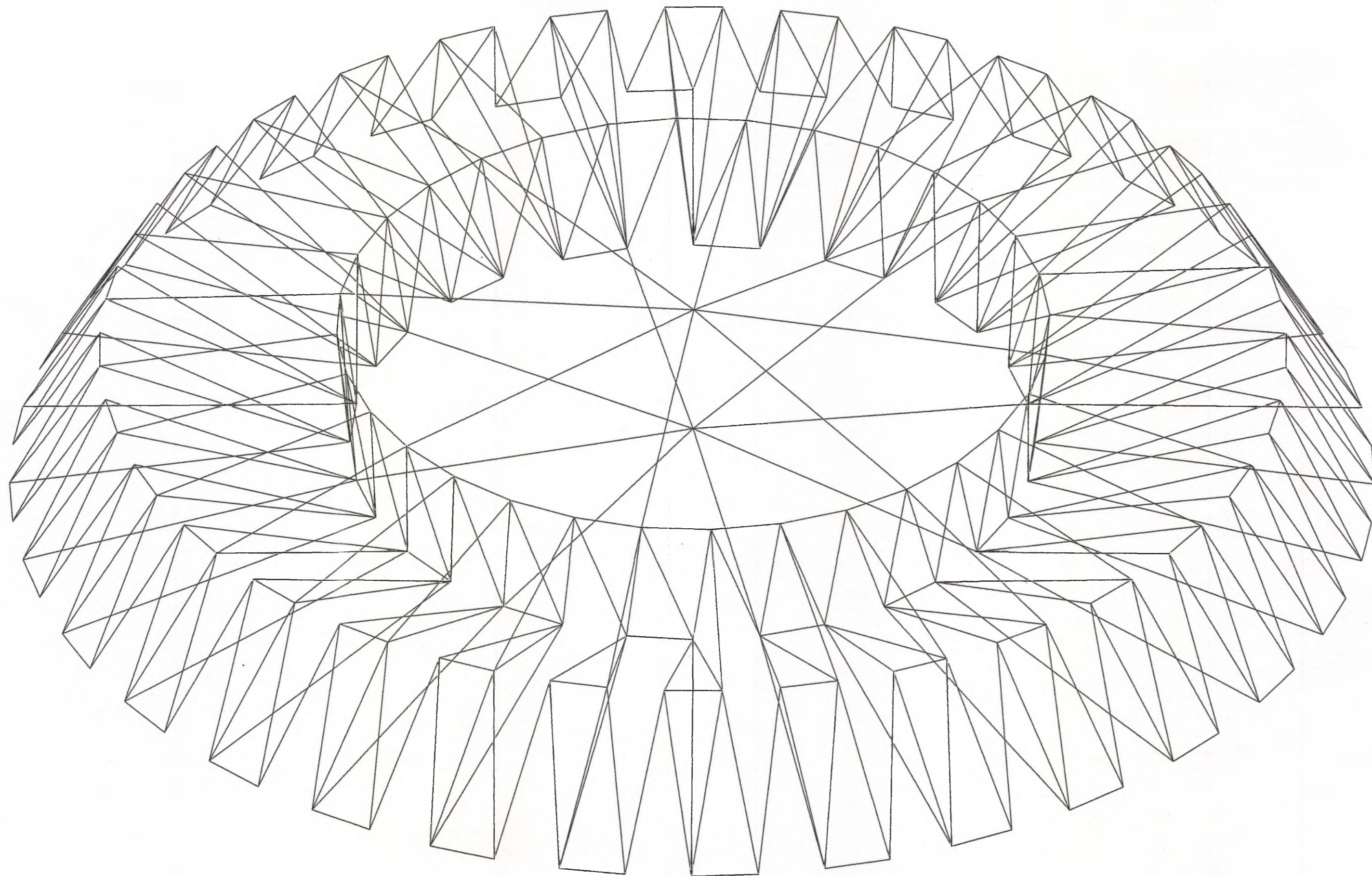
ΚΛΙΜΑΚΑ

1:50

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΘΟΛΟΥ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :

ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ
ΧΡΥΣΑΛΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΚΟΡΥΦΗΣ
ΘΟΛΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
(ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ

10

ΚΛΙΜΑΚΑ

1:25

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2000



