



# ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Συγκριτική μελέτη διαφορετικού τύπου  
πυλώνων ανεμογεννήτριας 20kW

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνταξάκης Κωνσταντίνος  
Σπουδαστής: Ξηρουχάκης Σταμάτιος

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2014

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	4
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	4
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	4
2.2. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	5
2.2.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ.....	5
2.2.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ.....	7
2.3 ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	9
2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	11
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΥΡΓΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	11
3.1 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ .....	11
3.2 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ .....	12
3.2.1 ΕΥΚΟΛΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ- ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	13
3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	13
3.3.1 ΘΟΡΥΒΟΣ .....	14
3.3.2 ΒΑΘΜΟΙ ΟΧΛΗΣΗΣ.....	14
3.3.3 ΑΙΣΘΗΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΤΟΠΙΟΥ .....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	17
ΣΥΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΥΡΓΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ (ΔΙΚΤΥΩΤΗ - ΟΛΟΣΩΜΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ).....	17
4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ.....	18
4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 20kW .....	22
4.3 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	24
4.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΛΩΝ.....	27

4.5 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΟΡΕΑ .....	28
4.6 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΦΟΡΕΑ.....	29
4.7 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 20kW .....	32
4.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ.....	33
4.9 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	35
4.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΔΙΛΟΥ – ΑΓΚΥΡΙΩΝ.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	41
ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ.....	41
5.1 ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ – ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ .....	44
5.1.1 ΠΟΛΥΧΡΗΣΤΙΚΟΤΗΤΑ .....	44
5.1.2 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ- ΕΜΠΟΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	44
5.1.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΥΛΩΝΩΝ.....	45
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	46
ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	46
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΛΩΝ ΔΙΚΤΥΩΤΟΥ ΦΟΡΕΑ .....	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΡΟ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΛΟΣΩΜΟΥ ΦΟΡΕΑ .....	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΛΩΝ ΟΛΟΣΩΜΟΥ ΦΟΡΕΑ .....	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΔΙΛΟΥ .....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ .....	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: ΛΙΣΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	81

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την συγκριτική μελέτη και αποτύπωση των δυο επικρατέστερων στην αγορά και την κοινή πρακτική, τύπων αυτοφερόμενων πύργων μικρών ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα και συγκεκριμένα πύργου με κέλυφος και πύργου με χωροδικτύωμα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στις ανεμογεννήτριες, τη πορεία εξέλιξής τους στο χρόνο καθώς και τους συνήθεις τύπους αυτών (οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα) σε συνάρτηση με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους ιδίως δε αναφορικά με τις μικρές ανεμογεννήτριες.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων πύργων στήριξης με αναφορά σε συγκεκριμένους και μετρήσιμους παράγοντες όπως ενδεικτικά οι περιβαλλοντικοί παράγοντες και το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και διακριτή ανάλυση καθενός από αυτούς καθώς και σε συνάρτηση με τους λοιπούς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της γεωμετρίας φορέα δικτυωτού πυλώνα ανεμογεννήτριας 20KW, με υπολογισμό των φορτίσεων και διαστασιολόγηση αυτού (μέγιστες τάσεις κατασκευής), ενώ στην συνέχεια γίνεται η αντίστοιχη παρουσίαση της γεωμετρίας φορέα ολόσωμου πυλώνα ανεμογεννήτριας 20KW, υπολογισμός των φορτίσεων και διαστασιολόγηση αυτού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο εκτίθεται μια αναλυτική κοστολόγηση των δυο τύπων πυλώνων, γίνεται ανάλυση σειράς παραγόντων που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τη συγκριτική μελέτη των δυο διαφορετικών αυτών τύπων πυλώνων, όπως είναι οι ιδιαιτερότητες στη μελέτη τους, οι αδυναμίες και τα προτερήματά τους ως προς την κατασκευή τους, το κόστος κατασκευής και συντήρησης κλπ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

#### 2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Πρώτες αναφορές του ανεμόμυλου, δηλαδή μιας διάταξης που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική δύναμη του ανέμου (αιολική ενέργεια) εμφανίζονται σε περσικά συγκροτήματα του 644 μ.χ και σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9<sup>ου</sup> αιώνα μ.χ. Το περσικό αυτό συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σειστάν στα σύνορα Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν “οριζοντίου τύπου”, δηλαδή αποτελούνταν από ιστία τοποθετημένα ακτινωτά σε έναν “κατακόρυφο άξονα”. Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε μια σταθερή κατασκευή – κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαβητικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του ανέμου. Κάθε μύλος έθετε απευθείας σε κίνηση ένα μονό ζεύγος μυλόπετρες. Τον 13<sup>ο</sup> αιώνα μ.χ. μύλοι αυτού του τύπου ήταν ήδη γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου έως και τον 16<sup>ο</sup> αιώνα μ.χ. χρησιμοποιούνταν για την εξάτμιση του θαλασσινού νερού κατά τη διάρκεια της παραγωγής του αλατιού. Ο πιο αντιπροσωπευτικός από τους κατά το χρόνο εκείνο χρησιμοποιούμενους ανεμόμυλους ήταν ο τύπος με το “στροφέιο σχήματος S”, που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε απομονωμένες και οικονομικά μη αναπτυγμένες περιοχές λόγω του χαμηλού του κόστους και της εύκολης κατασκευής του.

Στην Ευρώπη οι ανεμόμυλοι έφτασαν από τους Άραβες, με επικρατέστερο τον τύπο του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με την ιδιαιτερότητα ότι ο ανεμόμυλος είχε στη θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μυλόπετρες με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Στη Γαλλία εμφανίστηκαν οι πρώτοι ανεμόμυλοι τύπου οριζοντίου άξονα το 1180 και στην Βρετανία το 1191. Στη Γαλλία αναπτύχθηκε πρώτη φορά ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου στις αρχές του 14<sup>ο</sup> αιώνα. Σε αυτόν το τύπο ανεμόμυλου οι μυλόπετρες και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε έναν σταθερό πύργο με κινητή οροφή, στην οποία στηρίζονταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να περιστραφεί σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου.

Ο “περιστρεφόμενος ανεμόμυλος με κοίλο εσωτερικά άξονα” επινοήθηκε στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 15<sup>ου</sup> αιώνα με τη Δανία να πρωτοπορεί κατά τη δεκαετία του 1860 στρέφοντας το ενδιαφέρον της προς την εκπόνηση ειδικού

προγράμματος για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με τη χρήση ανεμοκινητήρων. Η ανεμομηχανή της Δανίας αυτή διέθετε έναν κατακόρυφο άξονα με γρανάζια στα δυο του άκρα, ο οποίος περνούσε μέσα από τον κοίλο άξονα και κινούσε έναν τροχό με περιφερειακά διαταγμένα σκαφίδια που μετέφερε το νερό σε υψηλότερη στάθμη, αποδίδοντας 25 KW.

Οι πρώτες σύγχρονες ανεμομηχανές εμφανίστηκαν στην Γαλλία το 1929, με την κατασκευή της αιολικής μηχανής Bonquet, διαμέτρου 20 μέτρων με δυο πτερύγια, η οποία όμως καταστράφηκε από τους σφοδρούς ανέμους. Η επόμενη προσπάθεια έγινε από τους Ρώσους, οι οποίοι το 1931 δημιούργησαν μια παρόμοια μηχανή διαμέτρου 30 μέτρων με στόχο την παραγωγή 100 KW, το πρόγραμμα όμως δεν προχώρησε λόγω της έλλειψης αντοχής της κατασκευής που διήρκησε μόνο 2 χρόνια, ενώ και η ετήσια παραγωγή δεν ξεπέρασε τα 32 KW. Οι ουσιαστικότερες μελέτες στον κλάδο της αιολικής ενέργειας ξεκίνησαν μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, που οδήγησαν στην κατασκευή μεγάλων πειραματικών αιολικών μηχανών. Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα είναι η ανεμογεννήτρια Best Romani, η οποία διέθετε τρία πτερύγια, είχε διάμετρο 30 μέτρων και παρήγαγε 800 KW. Το σημαντικό συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι οι μεγάλες αιολικές μηχανές που έχουν κατασκευαστεί σωστά, βάση υπολογισμών της θέσης του εδάφους και της ροής των τοπικών ανέμων, παράγουν λιγότερο θόρυβο.

Στην Ελλάδα, πρώτη ανάλογη προσπάθεια έγινε το 1982 και συγκεκριμένα στο νησί της Κύθου και σήμερα οι προσπάθειες αυτές έχουν ενταθεί με την ανάπτυξη νέων αιολικών πάρκων, πέραν των ήδη λειτουργούντων καθώς και τη θέσπιση ενός πιο ευέλικτου νομοθετικού πλαισίου. Ενδεικτικά σε περιοχές της Στερεάς Ελλάδας και στο Αιγαίο έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν αιολικά πάρκα, αποτελούμενα από συστοιχίες ανεμογεννητριών σε βέλτιστη διάταξη για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού.

## **2.2. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

### **2.2.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ**

Αποτελούνται στην συντριπτική τους πλειοψηφία από δύο ή τρία πτερύγια που θυμίζουν ιδιαίτερα έλικα αεροπλάνου με τα πτερύγια να είναι στραμμένα προς τη φορά του ανέμου. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες διαθέτουν μοντέρνα

αεροδυναμική σχεδίαση, που οφείλεται στην πρόοδο του σχεδιασμού των αεροπορικών πτερυγίων και ελίκων. Οι μηχανές που έχουν την μεγαλύτερη εμπορική επιτυχία είναι τρίπτερες ή δίπτερες μεγέθους περίπου 1 – 3 MW.

Τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα είναι:

Σε μηχανές με λίγα πτερύγια:

- Πολύ καλή απόδοση
- Μικρότερη αδράνεια, άρα γρήγορα περιστρεφόμενες
- Υψηλή συχνότητα, άρα καλές για παραγωγή ισχύος

Σε μηχανές με πολλά πτερύγια:

- Μεγάλη αδράνεια, άρα αργά περιστρεφόμενες
- Χαμηλή συχνότητα, άρα καλές για φόρτιση μπαταριών και άντληση νερού

Το μειονέκτημα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα είναι ότι χρειάζονται σύστημα ευθυγράμμισης με τον αέρα (yaw).



Τρίπτερη Α/Γ



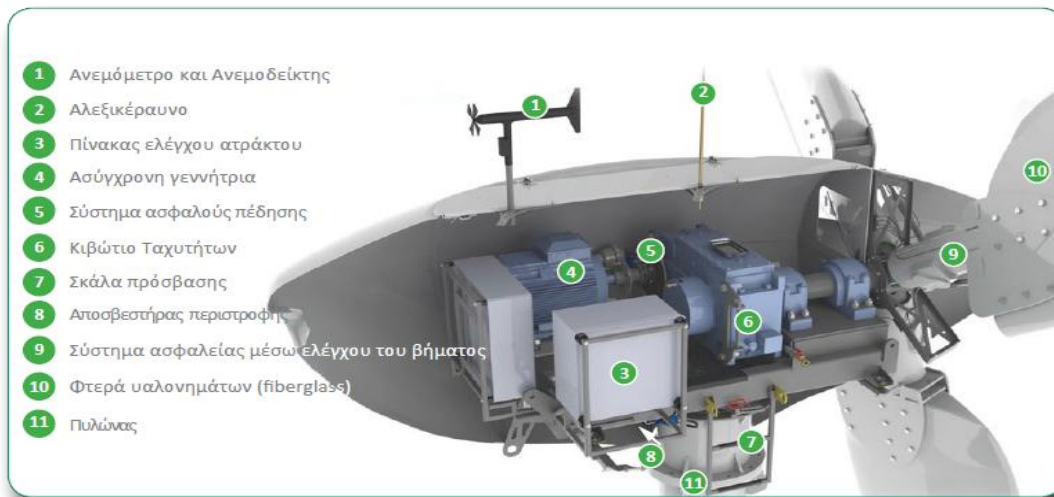
Δίπτερη Α/Γ



A/G με πολλά πτερύγια



Μονόπτερη A/G



Κύρια μέρη ατράκτου ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

### 2.2.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ

Η συμμετρία των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα τους παρέχει τη δυνατότητα να είναι ανεξάρτητες από την κατεύθυνση του ανέμου, γεγονός που συντελεί στην χρήση τους σε οικιστικές περιοχές όπου οι αλλαγές στην διεύθυνση του ανέμου είναι συχνές καθώς και ότι παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα θορύβου.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών αυτού του τύπου είναι:



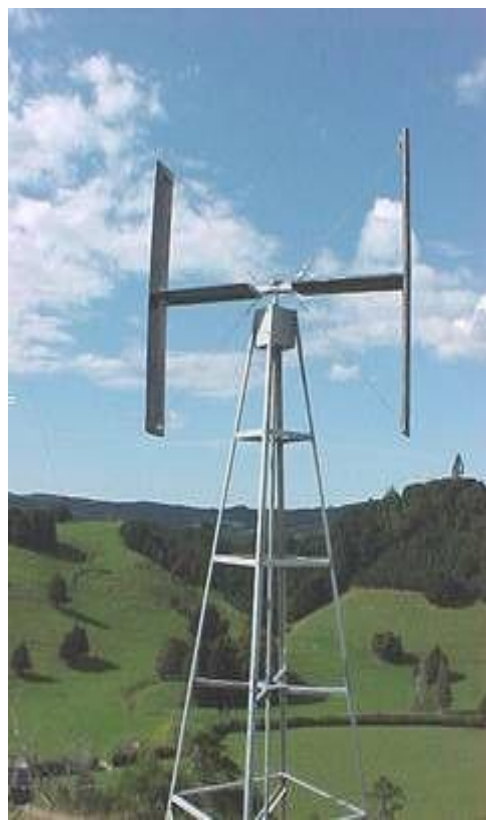
- Το μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου είναι τοποθετημένο το σύστημα μετατροπής σε άλλη μορφή ενέργειας.
- Η απλή κατασκευή του πύργου στήριξης και γενικότερα η απλούστερη κατασκευή.
- Άμεση σύνδεση με την γεννήτρια.

Τα βασικά μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών αυτού του τύπου είναι:

- Μικρότερη απόδοση σχετικά με τις μηχανές κατακόρυφου άξονα
- Δύσκολη εκκίνηση
- Αρκετές ταλαντώσεις και καταπόνηση της μηχανής
- Μη σταθερή ισχύς εξόδου λόγω της μεταβλητής ροπής
- Λιγότερο αποδοτικές σε σχέση με το κόστος τους



Α/Γ Κατακόρυφου Άξονα



Α/Γ Κατακόρυφου Άξονα τύπου Η

### **2.3 ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

Σήμερα στην παγκόσμια αγορά έχουν καταγραφεί περίπου 200 κατασκευαστές μικρών ανεμογεννητριών με διαθέσιμα πάνω από 600 μοντέλα που κυμαίνονται σε μέγεθος από 0,1 kW έως αρκετά kW. Εξ αυτών το 80% αφορούν ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα. Οι μικρές ανεμογεννήτριες, κάτω των 100 kW, έχουν εφαρμογή, στον οικιακό τομέα, σε μικρές βιομηχανίες, σε αγροκτήματα, σε σκάφη αναψυχής, σε εκπαιδευτικούς σκοπούς, για άντληση και αφαλάτωση νερού, για παροχή ενέργειας σε περιόδους έκτατων συνθηκών πχ. Σεισμούς, θεομηνίες, πολεμικές συρράξεις κτλ. Οι μικρές ανεμογεννήτριες μερικές φορές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με γεννήτριες, μπαταρίες και φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται υβριδικά αιολικά συστήματα και συνήθως χρησιμοποιούνται σε μακρινές περιοχές, εκτός δικτύου ηλεκτροδότησης. Η ποσότητα ισχύος που μπορεί να παράξει μία ανεμογεννήτρια εξαρτάται από την διαθεσιμότητα της μηχανής και την ταχύτητα του ανέμου. Το ποσοστό της ενέργειας που παράγει μια ανεμογεννήτρια σε σχέση με την ενέργεια που θα μπορούσε να παράγει αν λειτουργούσε σε συνθήκες ονομαστικής ισχύος ονομάζεται συντελεστής απασχόλησης (capacity factor). Η αποδοτικότητα των μοντέρνων μικρών ανεμογεννητριών κυμαίνεται από 30% μέχρι 45% ενώ το θεωρητικό όριο είναι 59% (Betz limit).

Η κατηγοριοποίηση των μικρών ανεμογεννητριών προκύπτει από το πρότυπο IEC 61400-2 βάσει της επιφάνειας σάρωσης. Πιο συγκεκριμένα ισχύει ο ακόλουθος πίνακας :

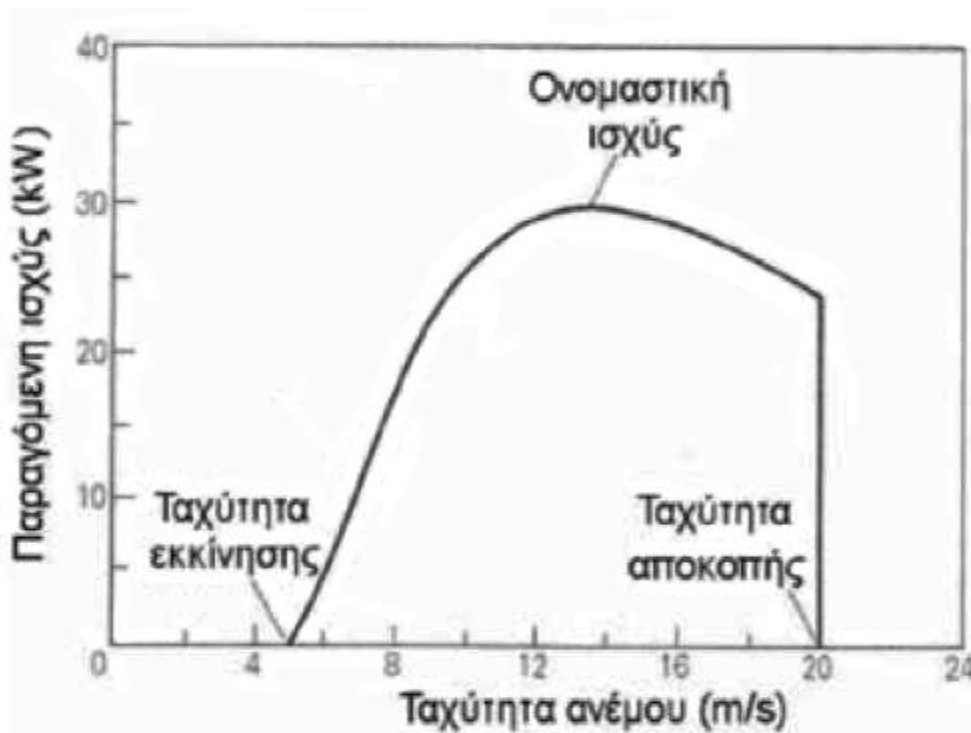
	Micro	Πολύ μικρές	Μικρές
Επιφάνεια σάρωσης	$A \leq 3,5 \text{ m}^2$	$3,5 \text{ m}^2 < A \leq 40 \text{ m}^2$	$40 \text{ m}^2 < A \leq 200 \text{ m}^2$
Διάμετρος Στροφείου	$D \leq 2,1 \text{ m}$	$2,1 \text{ m} < D \leq 7 \text{ m}$	$7 \text{ m} < D \leq 16 \text{ m}$
Ονομαστική Ισχύς	$P \leq 1 \text{ KW}$	$1 \text{ KW} < P \leq 10 \text{ KW}$	$10 \text{ KW} < P \leq 95 \text{ KW}$

### **2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Εδώ θα αναφερθούν τέσσερις βασικές παράμετροι μιας ανεμογεννήτριας:

- Ταχύτητα εκκίνησης: Είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει ισχύ. Αυτή η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για να αρχίσουν να στρέφονται τα πτερύγια.
- Ταχύτητα αποκοπής: Μόλις η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την ταχύτητα αποκοπής διακόπτεται η λειτουργία της ανεμογεννήτριας για αποφυγή υπερφόρτισης της.
- Ονομαστική Ισχύς: Είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παραχθεί συνεχώς κατά την κανονική λειτουργία.
- Ονομαστική ταχύτητα: Είναι η ταχύτητα του ανέμου υπό την οποία παράγεται η ονομαστική ισχύς.

Στο παρακάτω σχήμα βρίσκεται η καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας όπου διακρίνονται όλες οι παραπάνω παράμετροι και απεικονίζεται η καθαρή παραγόμενη ισχύς ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος του άξονα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΥΡΓΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η συγκριτική ανάλυση μεταξύ ενός πυλώνα με κέλυφος (tubular steel tower) και ενός πυλώνα με χωροδικτύωμα (lattice tower), προκειμένου να αποδώσει συμπεράσματα θα πρέπει να αφορά σε συγκεκριμένους και μετρήσιμους παράγοντες και να γίνει ανάλυση καθενός από αυτούς διακριτά καθώς και σε συνάρτηση με τους υπολοίπους παράγοντες.

Η εξέλιξη μάλιστα με την πάροδο των ετών του κατασκευαστικού κλάδου και η εμπειρική πορεία της λειτουργίας και χρήσης των ανεμογεννητριών σε διαφορετικές περιοχές, όπου εκδηλώνονται διαφορετικές καιρικές συνθήκες, ενίοτε και ακραίες ανάγκασε τους μελετητές και τους επενδυτές να λάβουν υπόψη νέους παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την αδειοδότηση, την κατασκευή, τη θέση της τοποθέτησης των ανεμογεννητριών και την ίδια την επένδυση.

#### 3.1 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι ανεμογεννήτριες είναι κατασκευές που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους και αντιμετωπίζουν την άμεση επίδραση των καιρικών συνθηκών και των χημικών επιδράσεων του περιβάλλοντος. Κατά την κατασκευή της οι μελετητές λαμβάνουν υπ' όψιν της μετεωρολογικές συνθήκες της την θερμοκρασία και τον άνεμο.

Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν ταχύτητα σχεδιασμού τα 42,5 m/s (Wind Speed για κλάση II), βεβαίως η ταχύτητα αποκοπής είναι αρκετά μικρότερη  $\cong 25$  m/s καθώς και εύρος θερμοκρασιών από  $-25^{\circ}\text{C}$  έως  $+50^{\circ}\text{C}$ , ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει βεβαίως να δίνεται για της συνθήκες παγετού όπου η επικάθηση πάγου της κατασκευής αυξάνει τα στατικά και δυναμικά φορτία των ανεμογεννητριών. Κατά την κατασκευή της οι μελετητές λαμβάνουν υπ' όψιν της την επίδραση της ατμόσφαιρας της διαβρωτικούς παράγοντες σαν το οξυγόνο του αέρα, το νερό της βροχής, την υγρασία και τον συνδυασμό της. Το φαινόμενο της διάβρωσης δεν μπορεί να εξαλειφτεί πλήρως, της υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που μπορούν να το επιβραδύνουν και να το ελαχιστοποιήσουν αποτελεσματικά είναι κυρίως οι εξής:

- Ανοδική προστασία: Τέτοιου είδους προστασία είναι ο γαλβανισμός (επένδυση με στρώση ψευδαργύρου με θερμική διαδικασία), η επιμετάλλωση (επένδυση με στρώση ψευδαργύρου με πιστόλι βαφής) , η καδμίωση (ηλεκτρολυτική) και επιχρωμίωση. Οι διαδικασίες αυτές είναι πολύπλοκες και για τον λόγο αυτό εκτελούνται στο εργοστάσιο κατά την κατασκευή των μεταλλικών στοιχείων.
- Καθοδική προστασία: Γίνεται με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο ασκεί δράση αντίθετη με αυτή της διάβρωσης.
- Αντιδιαβρωτικές βαφές: Οι βαφές αυτές παίζουν προστατευτικό και διακοσμητικό ρόλο και μπορούν να εφαρμοστούν στο εργοτάξιο. Ο προστατευτικός τους ρόλος επιτυγχάνεται ενεργητικά λόγω του ότι περιέχουν συστατικά που εμποδίζουν την διάβρωση και παθητικά λόγω του ότι περιέχουν συστατικά αδρανή ή λιγότερο ευαίσθητα στη διάβρωση σε σχέση με τα μέταλλα.

### **3.2 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Το κόστος της κατασκευής και της συντήρησης ενός πυλώνα και των υποστηρικτικών τμημάτων αυτού, πέραν και επιπλέον του κόστους κατασκευής και λειτουργίας του μηχανισμού μιας ανεμογεννήτριας, αποτελεί βασικό παράγοντα κατά τη διάρκεια μιας οικονομικοτεχνικής ανάλυσης, βασισμένη σε μια μελέτη οφέλους – κόστους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής καθορίζουν το ποσοστό κέρδους μια επένδυσης και εν τέλει και το βαθμό βιωσιμότητας αυτής καταρχήν και της δυνατότητας προσέλκυσης νέων επενδυτών.

Αναφορικά καταρχήν με το κόστος, όπως προκύπτει από τα πραγματικά οικονομικά στοιχεία των κατασκευών, η κατασκευή του πυλώνα με κέλυφος, δηλαδή τα υλικά και οι εργατοώρες που απαιτούνται για την κατασκευή του, υπερβαίνουν σε κόστος τις αντίστοιχες δαπάνες που απαιτούνται για την κατασκευή και εγκατάσταση του πυλώνα με χωροδικτύωμα. Χαρακτηριστικό του επιπρόσθετου κόστους σε σχέση με τον πυλώνα με χωροδικτύωμα είναι η ανάγκη για κατασκευή μεγαλύτερης βάσης έδρασης του πυλώνα με κέλυφος.

Ωστόσο, όσον αφορά το κόστος συντήρησης, ο πυλώνας με κέλυφος αναδεικνύεται οικονομικά συμφερότερος σε σχέση με τον πυλώνα με χωροδικτύωμα ιδίως σε μεσο-μακροπρόθεσμη κλίμακα και προκρίνεται μάλιστα η συντήρηση του πυλώνα με κέλυφος και ως λιγότερο απαιτητική.

### **3.2.1 ΕΥΚΟΛΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

Ο πυλώνας με κέλυφος εμφανίζει μεγαλύτερη ευκολία συναρμολόγησης των μερών του έναντι του πυλώνα με χωροδικτύωμα, αποτελούμενος ο πρώτος από κομμάτια, τα οποία μπορούν να μεταφερθούν στον χώρο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και να συναρμολογηθούν επί τόπου του έργου.

Όμως πρόβλημα δημιουργείται κατά τη διάρκεια της ανέγερσης του πυλώνα, ιδίως σε περιπτώσεις υψηλών πυλώνων με κέλυφος, διότι λόγω του μεγάλου μεγέθους των επιμέρους τμημάτων ενός υψηλού πύργου θα πρέπει αυτά να γαλβανιστούν, τα οποία τμήματα όταν θα συγκολληθούν επί τόπου στον χώρο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, όπως προαναφέραμε, θα έχουμε ως αποτέλεσμα την τοπική φθορά και σε περιπτώσεις καταστροφή του γαλβανίσματος. Για την ανέγερση δε αυτού του πυλώνα με τα κομμάτια μεγάλου βάρους το καθένα απαιτείται και μεγαλύτερος γερανός, γεγονός που αυξάνει και το συνολικό κόστος. Αντίθετα ο πυλώνας με χωροδικτύωμα, αποτελούμενος από πολλά μικρότερα κομμάτια, μπορεί να υποστεί ψυχρό γαλβάνισμα σε μικρά γαλβανιστήρια. Έτσι καθίσταται ευκολότερη η ανάρτηση του πυλώνα με χωροδικτύωμα στον χώρο μόνιμη θέσης του.

Το ύψος του πυλώνα έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς όσο απομακρύνεται ο πυλώνας από τη βάση του, υπάρχει η δυνατότητα αιχμαλώτισης περισσότερου αέρα, διότι η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος, και άρα οι ανεμογεννήτριες θα μπορούν να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, αυξάνοντας το τελικό όφελος. Το ύψος του πυλώνα και η μεγαλύτερη ποσότητα ανέμου που δέχεται σχετίζονται βεβαίως και με την αντοχή του πυλώνα, όπως αναφέρουμε και κατωτέρω.

### **3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια θεαματική άνοδος της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος από ανεμογεννήτριες στη χώρα μας (Κρήτη, Εύβοια, νησιωτική χώρα). Ο μεγάλος ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας συνοδεύτηκε, όπως

ήταν επόμενο, από την ανησυχία των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον. Εξετάζοντας τις πιο διαδεδομένες ανησυχίες για τις αρνητικές επιπτώσεις έχουμε τα εξής:

### **3.3.1 ΘΟΡΥΒΟΣ**

Σημαντικό ζήτημα που έχει απασχολήσει του μελετητές και τις αρχές, είναι ο θόρυβος που ενδεχομένως προκαλούν οι πυλώνες. Το πρόβλημα αναδεικνύεται εντονότερο και στην περίπτωση που τοποθετούνται ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα κοντά σε κατοικημένες περιοχές, σε βοσκοτόπια ή σε προστατευόμενους βιότοπους, δρυμούς κλπ.

Ο θόρυβος καταρχήν, αποτελεί επιβάρυνση του περιβάλλοντος ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολλών μηχανών και μεγάλων διαστάσεων. Ο θόρυβος είναι είτε αεροδυναμικός, που έγκειται στο θόρυβο περιστροφής και το θόρυβο τύρβης, που αφορά και επηρεάζεται από την σχεδίαση και κατασκευή της μηχανής της ανεμογεννήτριας, είτε μηχανικός θόρυβος. Ο μηχανικός θόρυβος προξενεί τη μεγαλύτερη όχληση σε ανεμογεννήτριες μικρού ή μεσαίου μεγέθους ( $\leq 200$  KW), ενώ στις μεγαλύτερες μηχανές ο μηχανικός θόρυβος είναι σημαντικά μικρότερος από το συνολικά μετρούμενο θόρυβο (έως και 10 dB).

Κύριες πηγές μηχανικού θορύβου είναι το κιβώτιο μετάδοσης, η ηλεκτρογεννήτρια και τα έδρανα στήριξης.

### **3.3.2 ΒΑΘΜΟΙ ΟΧΛΗΣΗΣ**

Με βάση την υπουργική απόφαση 13727/724/24-7-2003 (ΦΕΚ Β' 1087/2003), όπως τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε με την Δ6/Φ1/οικ.19500/4-11-2004 (ΦΕΚ Β' 1671/2004) σχετικά με την αντιστοίχιση δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία, οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες βαθμών όχλησης:

<b>Ονομαστική ισχύς</b>	<b><math>P \leq 20</math> KW</b>	<b><math>20</math> KW <math>&lt; P \leq 700</math> KW</b>	<b><math>P &gt; 700</math> KW</b>
<b>Βαθμός όχλησης</b>	Μη οχλούσα	Χαμηλής όχλησης	Μέσης όχλησης

Ως προς τη σύγκριση μεταξύ πυλώνα με κέλυφος και πυλώνα με χωροδικτύωμα, έχει διαπιστωθεί με μελέτες σε ελεγχόμενο περιβάλλον καθώς και σε εγκατεστημένους σε υπαίθριο χώρο πυλώνες, ότι οι πυλώνες με χωροδικτύωμα

παράγουν περισσότερο θόρυβο από ότι οι πυλώνες με κέλυφος. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το φαινόμενο του στροβιλισμού του αέρα.

### **3.3.3 ΑΙΣΘΗΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΤΟΠΙΟΥ**

Παράγοντας που έχει τεθεί επίσης αναφορικά με τους πυλώνες των ανεμογεννητριών είναι η αισθητική, το αισθητικό δηλαδή αποτέλεσμα της κατασκευής.

Στα πλαίσια της αρχής της μικρότερης δυνατής επέμβασης του ανθρώπου και των προϊόντων αυτού στο φυσικό περιβάλλον γίνεται προσπάθεια για τη μέγιστη δυνατή ενσωμάτωση του πυλώνα στο φυσικό (ή αστικό αντιστοίχως ) τοπίο. Το έργο, υποστηρίζεται, ότι δεν πρέπει να προκαλεί παρεμπόδιση οποιασδήποτε θέας του ορίζοντα ή οποιασδήποτε κοινής θέας και να μην καταλήγει σε μη αποδεκτό αισθητικό τοπίο, προσιτό στην κοινή θέα.

Κατά κοινή ομολογία και σε μεγαλύτερο βαθμό εμπειρικές και στατιστικές μελέτες και έρευνες γνώμης, οι πυλώνες με κέλυφος εμφανίζουν αισθητικό πλεονέκτημα καθώς όπως χαρακτηριστικά έχει λεχθεί, δεν θυμίζουν πυλώνες της ΔΕΗ. Για τον ίδιο λόγο της εξασφάλισης του καλύτερου δυνατού αισθητικού αποτελέσματος, οι πυλώνες με κέλυφος βάφονται άσπροι ή γκρι, για να βρίσκονται και σε αρμονία με τον ουρανό.

Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, η οπτική όχληση είναι και υποκειμενική σε κάποιο βαθμό και δύσκολα μπορούν να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Από έρευνες σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι κάποιος που είναι ευνοϊκά διατεθειμένος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αποδέχεται τις ανεμογεννήτριες και οπτικά πολύ πιο εύκολα από κάποιον που είναι αρνητικός εξ αρχής. Με μια απλή σύγκριση μεταξύ ενός θερμικού σταθμού παραγωγής (π.χ. λιγνιτικού), και ενός αιολικού πάρκου είναι φανερό ότι η οπτική όχληση που προκύπτει από το πρώτο είναι εμφανώς και αντικειμενικά πολύ μεγαλύτερη. Δεδομένου βεβαίως ότι οι ανεμογεννήτριες είναι κατ' ανάγκη ορατές από απόσταση, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες κάθε τύπου εγκατάστασης και να γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσης τους στο τοπίο.



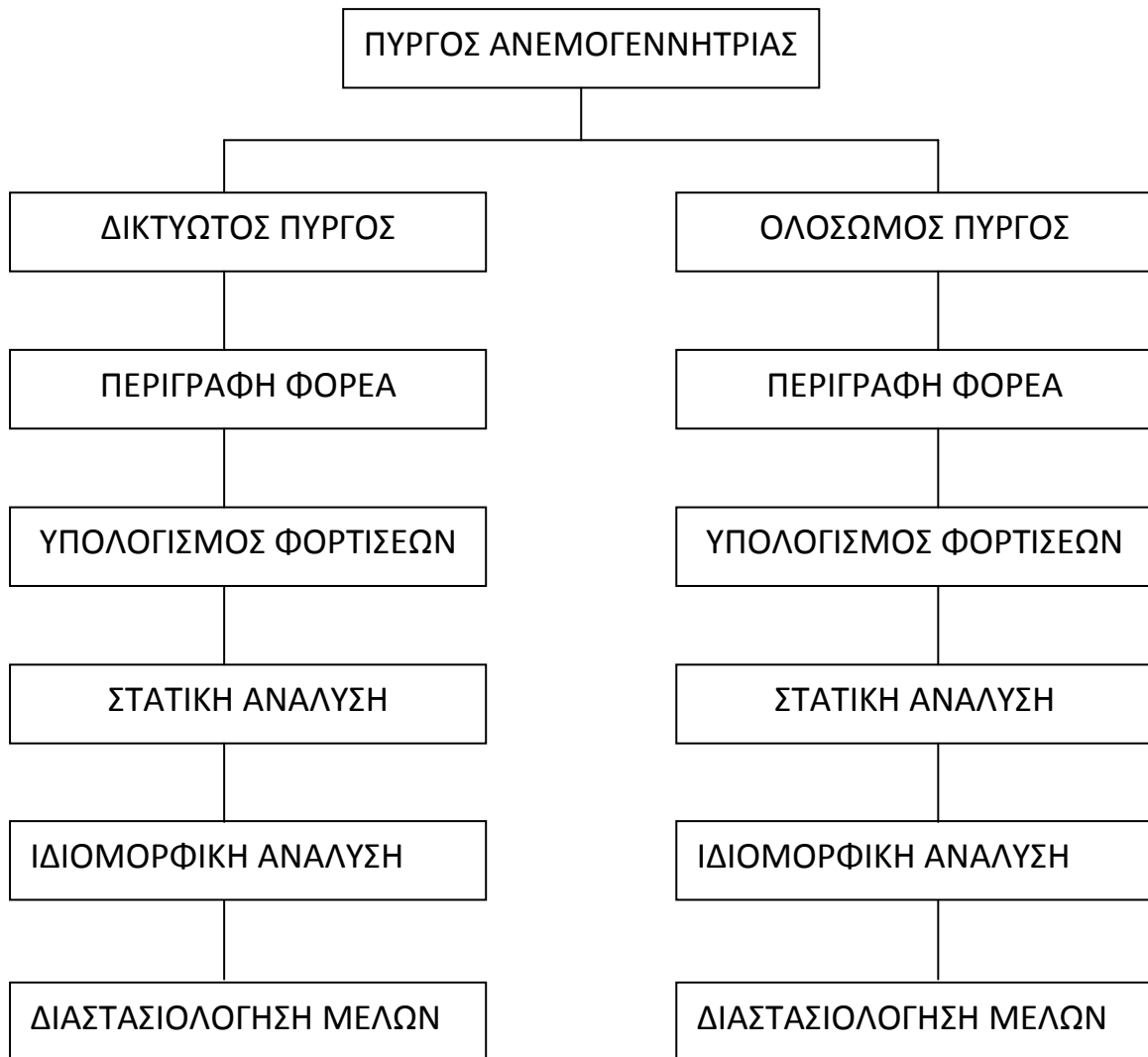
Σταμάτης Ξηρουχάκης  
Α.Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου Κρήτης, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, Τμήμα Μηχανολογίας

Συνοψίζοντας, πρέπει να αναφερθεί ότι οι οποιοσδήποτε επιπτώσεις από τις ανεμογεννήτριες, αφενός είναι άμεσα «ορατές» και αφετέρου είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθούν με σωστή αντιμετώπιση και προσχεδιασμό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ4

### ΣΥΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΥΡΓΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ (ΔΙΚΤΥΩΤΗ - ΟΛΟΣΩΜΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ)

Οργανόγραμμα μελέτης πύργου ανεμογεννήτριας:



## 4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

1. Ίδιο βάρος ράβδων (αυτόματος υπολογισμός από το σχεδιαστικό πρόγραμμα Tekla Structures)

2. Φορτίο ανέμου δικτυωτού πύργου:

Βάση *EN 1991-1,4*, ο πύργος φορτίζεται καθ' όλο το ύψος του από κατανεμημένα οριζόντια φορτία, τα οποία μεταβάλλονται γραμμικά ανάλογα με το ύψος. Στη βάση τα πέλματα φορτίζονται με 35 kg/m, ενώ στην κορυφή με 97 kg/m. Η δικτύωση φορτίζεται με 6kg/m, λόγω του μικρού εμβαδού της.

Στην κορυφή του φορέα, εισάγεται φορτίο 268 kN, το οποίο αντιστοιχεί στην περίπτωση μέγιστης ώσης, βάσει της νόρμας IEC 61400-2 για την περίπτωση φόρτισης H (Extreme wind loading). Εξετάστηκαν όλες οι πιθανές περιπτώσεις φόρτισης και η H αποδείχτηκε η δυσμενέστερη περίπτωση. Στην περίπτωση H, η μέγιστη δύναμη F υπολογίζεται όπως παρακάτω σύμφωνα με τους απλοποιημένους υπολογισμούς του προτύπου IEC 61400-2:

$$F=C_f \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot (V_{e50})^2 \cdot A_{proj} \text{ όπου}$$

$C_f$  ομ συντελεστής αντίστασης που δίνεται από τον Πίνακα 3 του προτύπου,

$\rho$ , η πυκνότητα του αέρα  $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$ ,

$V_{e50}$ , η μέγιστη (μέση δεκάλεπτη) ακραία ταχύτητα ανέμου με συχνότητα εμφάνισης 1 φορά στα 50 έτη. Για κλάση ανεμογεννητριών II η  $V_{e50}(z) = 1,4V_{ref}(z / z_{hub})^{0,11}$  και για ύψος αναφοράς το ύψος της πλύμνης

$V_{e50}=59,5 \text{ m/sec}$  και

$A_{proj}=\pi \cdot R^2$ , όπου η ακτίνα R είναι το μήκος της πτέρυγας. Για ρότορα 20kW,  $R=5\text{m}$ .

Αντίστοιχα υπολογίζεται και η μέγιστη ροπή στρέψης του ρότορα που μεταφέρεται ως ροπή κάμψης στο θεμέλιο.

$$Q_{design} = 30 \cdot P_{design} / (\eta \cdot \pi \cdot N_{design})$$

Όπου

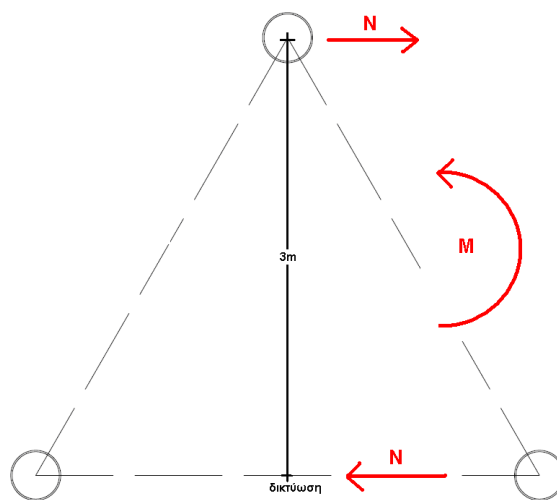
$P_{design} = 20000\text{W}$ , η ισχύς στην ταχύτητα  $V_{design}$ , με  $V_{design} = 1.4 \cdot$

$V_{ave} = 11.9\text{m/s}$  (για class II)



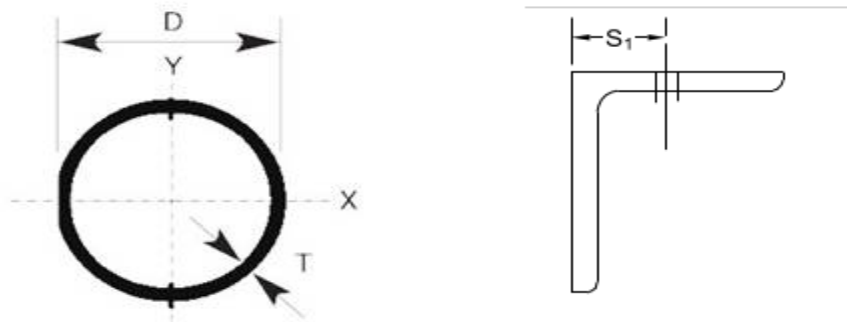
## Διατομές

Για να προσδιορίσουμε τις αρχικές διατομές, κάνουμε μια χονδροειδή ανάλυση βάση της ροπής που δημιουργείται στη βάση του φορέα. Αν υποθέσουμε ότι  $M$  είναι η ροπή, τότε η μέγιστη θλίψη που θα παραλαμβάνει το δυσμενέστερο πέλμα του δικτυώματος θα είναι ίση με  $N \times h/2 + N \times h/2 = M \rightarrow N = M / h$  όπου  $h = 3$  η απόσταση του μοχλοβραχίονα. Η μέγιστη ροπή στη βάση λόγω των συνδυασμένων φορτίσεων ισούται με 4800 kNm (στατική ανάλυση από το λογισμικό), άρα, η μέγιστη θλιπτική δύναμη στο πέλμα ισούται με  $4800/3 = 1600$  kN.



Η επιτρεπόμενη τάση θραύσης μιας χαλύβδινης διατομής χάλυβα S355 ισούται με 355 MPa. Καθώς όμως στις θλιβόμενες χαλύβδινες διατομές ο λυγισμός είναι κυρίαρχο φαινόμενο, λαμβάνουμε μια απομείωση της αντοχής κατά 50% ώστε να είμαστε υπέρ της ασφάλειας. Αυτό σημαίνει ότι το ελάχιστο επιτρεπόμενο εμβαδόν που θα έπρεπε να έχει μια διατομή για να ικανοποιεί αυτό το κριτήριο, με δοθείσα δύναμη 1600 kN, ισούται με  $1600 \times 1000 / (355 \times 0.5) = 9014.1 \text{ mm}^2$ . Από εμπορικό πίνακα διατομών, διαλέγουμε την κυκλική κοίλη διατομή CHS 323.9x10.0 η οποία με εμβαδόν  $A = 9860 \text{ mm}^2$  καλύπτει τα κριτήρια που τέθηκαν. Επίσης, καθώς η δρώσα ροπή υπολογίστηκε στην βάση, επιλέγεται ανά 12 μέτρα να γίνεται απομείωση των διατομών, ώστε η κατασκευή να είναι πιο οικονομική. Από αντίστοιχη με την παραπάνω ανάλυση, προκύπτουν οι διατομές που δίδονται στον πίνακα που βρίσκεται παρακάτω.

Οι διατομές των πελμάτων είναι κυκλικές κοίλες, ενώ οι διατομές της δικτύωσης είναι γωνιακά. Αυτό γίνεται για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας.



Τυπικές διατομές CHS (αριστερά) και L (δεξιά)

Οι διατομές που χρησιμοποιούνται (από τη βάση προς την κορυφή) είναι οι ακόλουθες:

C323.9x10.0
C244.5x10.0
C219.1x10.0

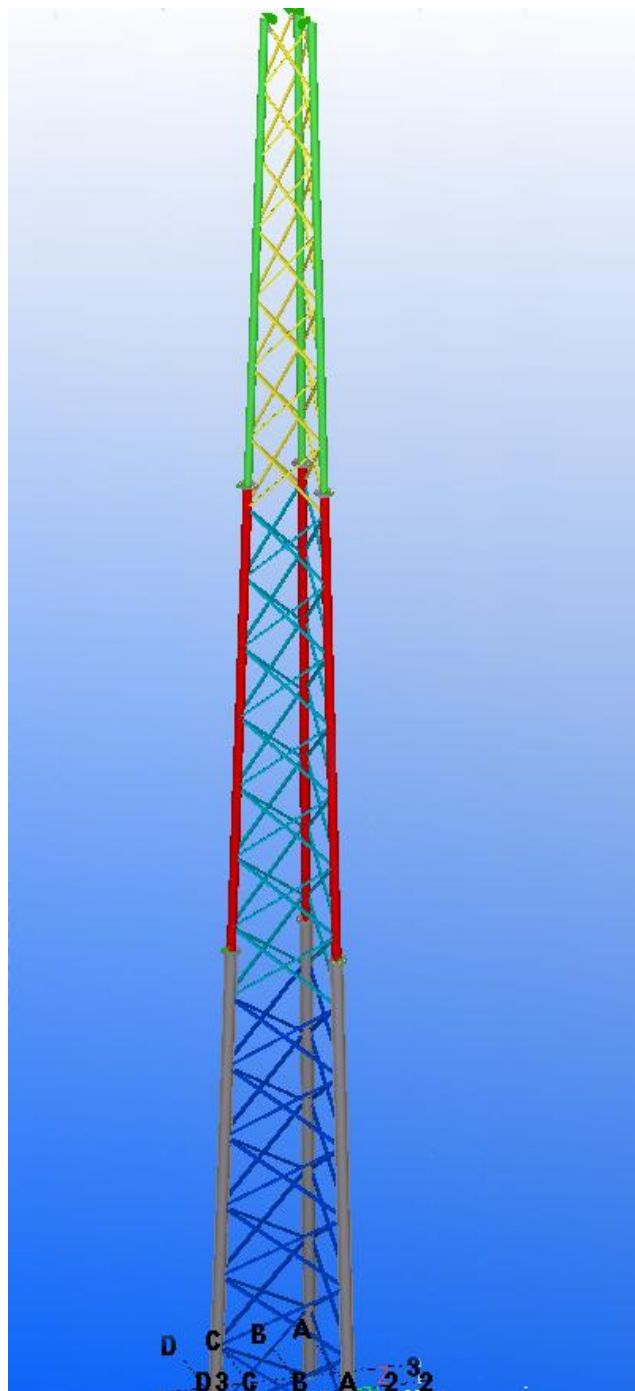
Το γράμμα C φανερώνει ότι είναι κυκλική διατομή, η διάσταση που έπεται είναι η εξωτερική ακτίνα του κύκλου, ενώ η τελευταία διάσταση φανερώνει το πάχος του ελάσματος.

Αντίστοιχα με την ίδια φιλοσοφία αλλάζουν διατομή τα γωνιακά που αποτελούν την δικτύωση:

L80x80x10
L70x70x9
L60x60x8

Το γράμμα L φανερώνει ότι πρόκειται για διατομή γωνιακού, οι επόμενες 2 διαστάσεις αφορούν στο μήκος των σκελών του, και η τρίτη διάσταση αφορά στο πάχος του γωνιακού.

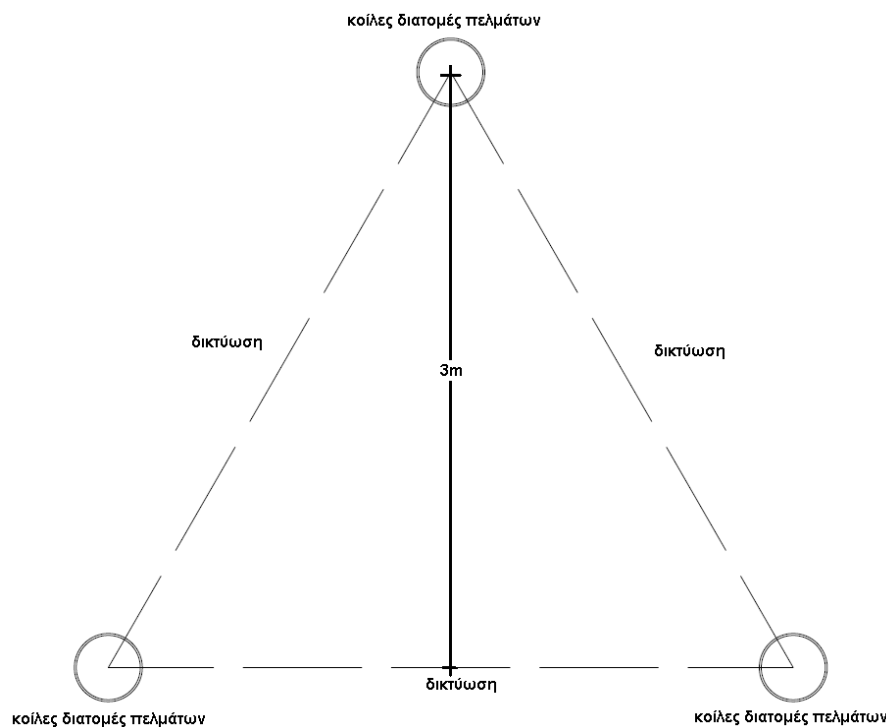
## 4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 20kW



Αποψη δικτυωτού πύργου

Βάσει μελέτης της βιβλιογραφίας, επιλέχθηκε ο πύργος που θα φέρει τον ρότορα, να έχει ύψος 36 μέτρα. Αυτή η διάσταση εξυπηρετεί και την κατασκευαστική ανάγκη ύπαρξης ακέραιων κομματιών 12 μέτρων (κατασκευαστική ευκολία – μειωμένο κόστος).

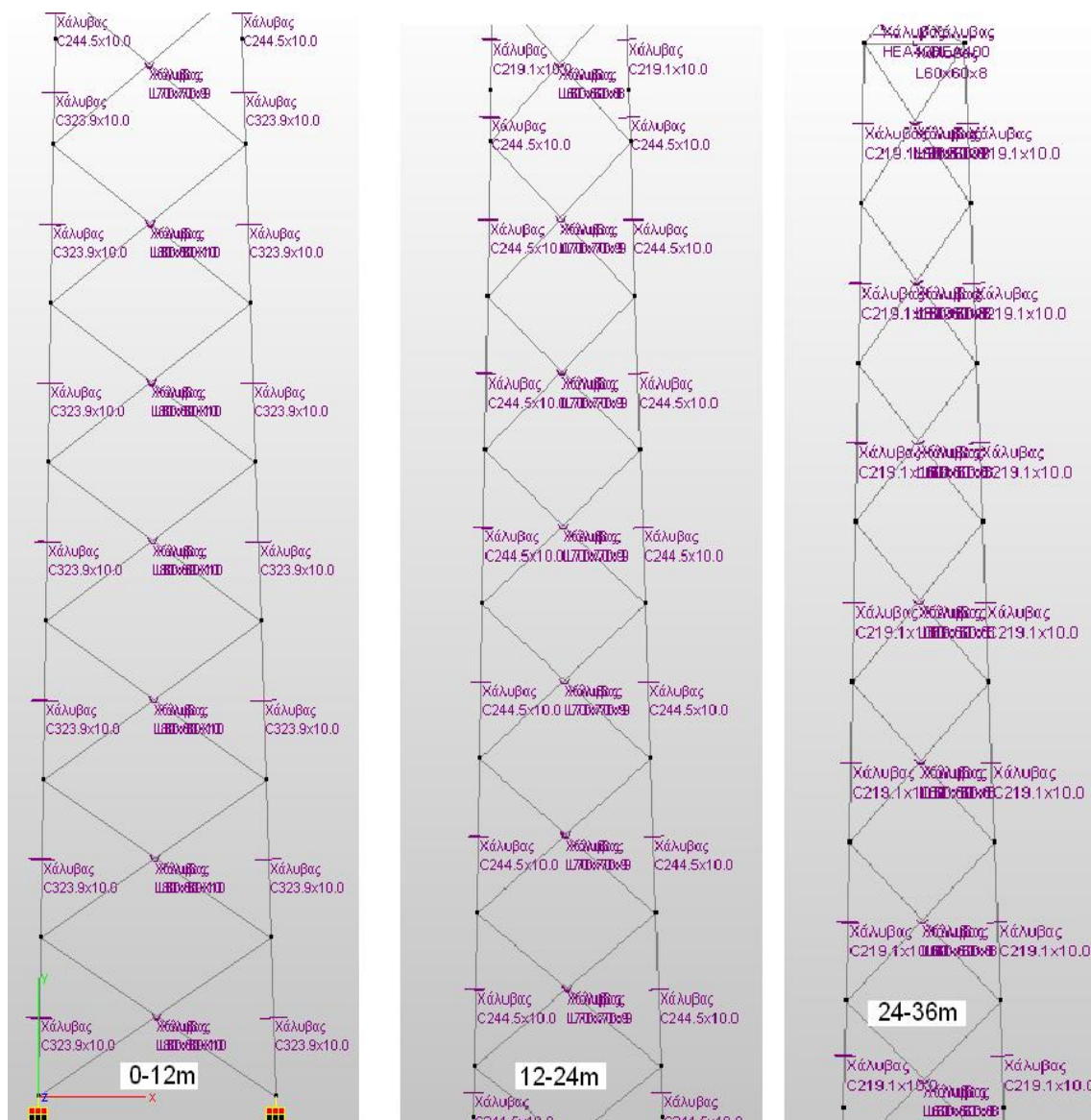
Ο πύργος 36 μέτρων μορφώνεται από ένα δικτυωτό φορέα τριγωνικής κάτοψης. Τα πέλματα του δικτυώματος είναι κυκλικές κοίλες διατομές, ενώ η δικτύωση αποτελείται από γωνιακά. Στην κορυφή του πύργου, για να προσομοιωθεί η εκκεντρότητα του ρότορα, χρησιμοποιούνται άκαμπτα στοιχεία, τα οποία δεν συμμετέχουν στην λειτουργία του φορέα, απλά βοηθούν στην κατανομή των φορτίων του ρότορα. Ο πύργος έχει διάσταση πλευράς ισόπλευρου τριγώνου στην βάση 3.46m (εγγεγραμμένο τρίγωνο σε κύκλο ακτίνας 2m), και στην κορυφή 1.21m (εγγεγραμμένο τρίγωνο σε κύκλο ακτίνας 0.7m).



### Κάτοψη βάσης δικτυώματος

Τα φορτία υπολογισμού ελήφθησαν βάση EN και περιγράφονται στην παράγραφο §4.2.





Διατομές δικτυωτού φορέα

#### 4.3 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

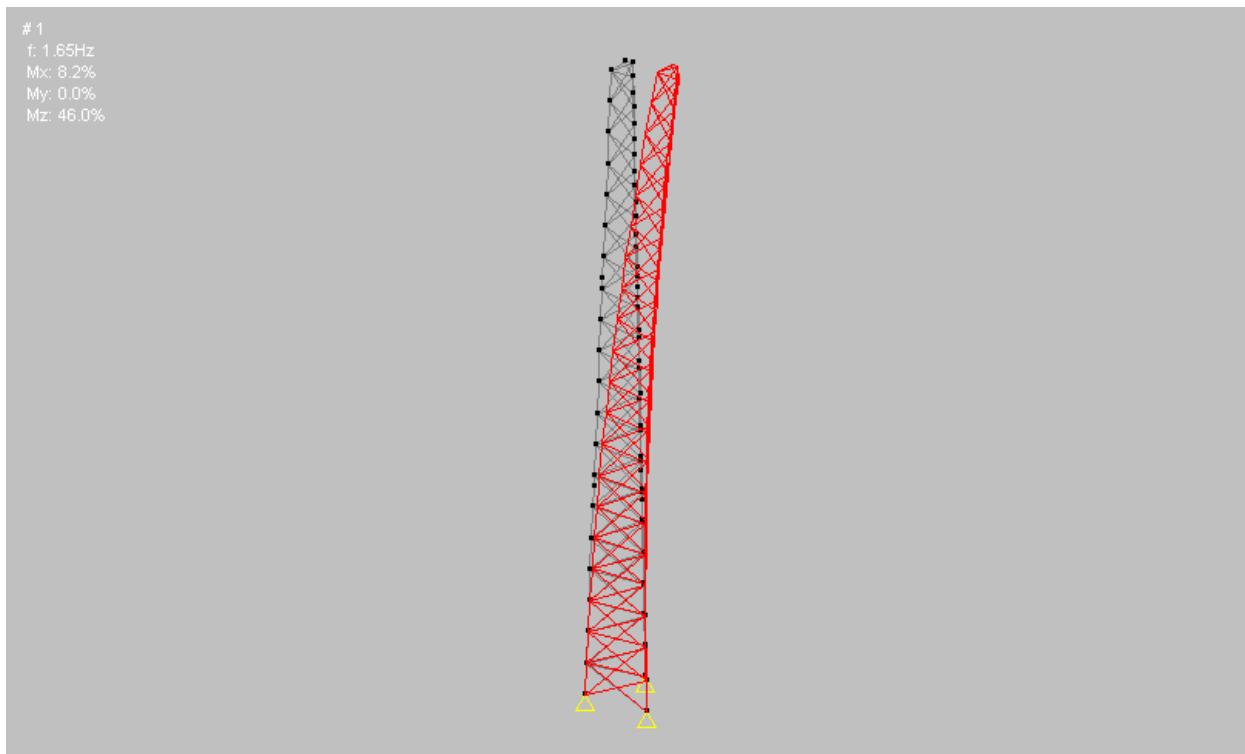
Καθώς η περιστροφή του ρότορα μπορεί να προκαλέσει συντονισμό της κατασκευής, αλλά και για την μελέτη του φορέα υπό σεισμικά φορτία, εκπονείται μια ιδιομορφική ανάλυση της κατασκευής.

Με τον όρο ιδιομορφική ανάλυση σε κατάσταση λειτουργίας της κατασκευής εννοούμε την ανάλυση και την αναγνώριση των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής δηλαδή τις ιδιοσυχνότητες, τις ιδιοπεριόδους, και τις ιδιομορφές της κατασκευής τα οποία καθορίζονται μονοσήμαντα από τη δομή του συστήματος

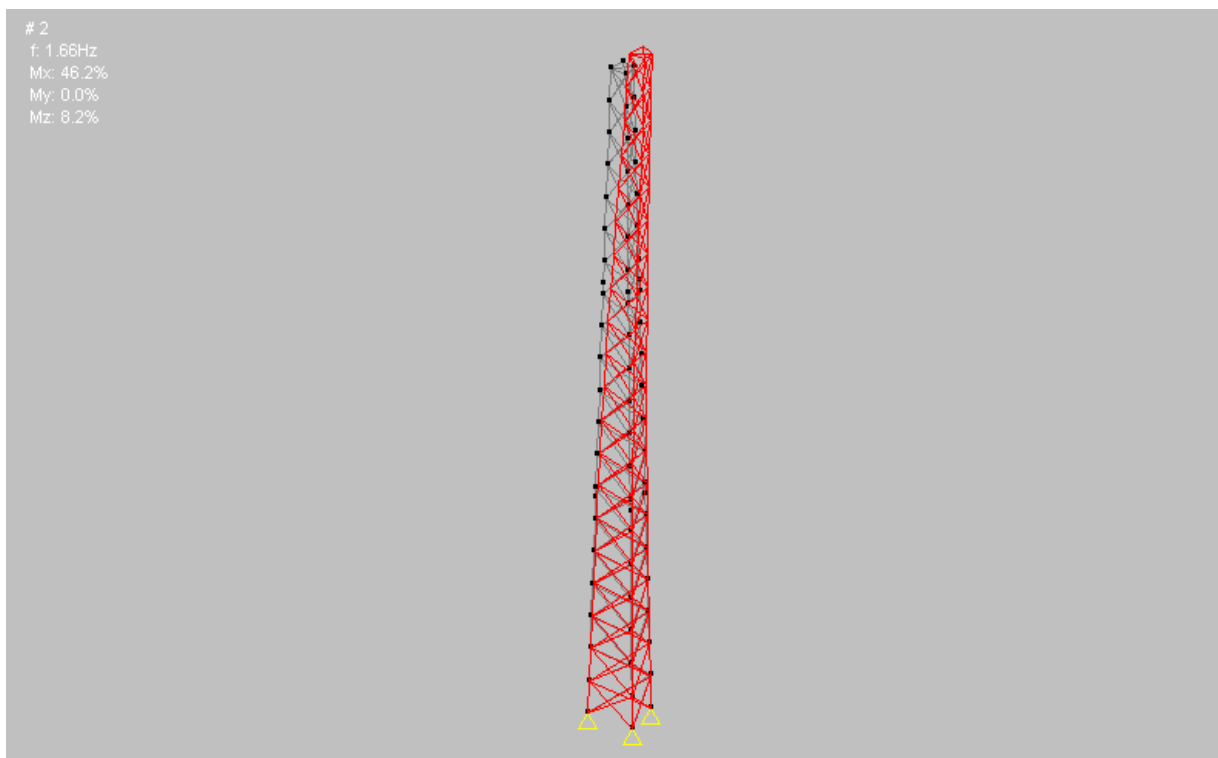
(γεωμετρία, μάζα, ακαμψία). Οι ιδιοσυχνότητες του ρότορα, των πτερύγων και του πύργου θα πρέπει να χαράσσονται κάθε φορά σ' ένα διάγραμμα Campbell, σύμφωνα με το Παράρτημα Ι του IEC 61400-2 ed.3., προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει πρόβλημα συντονισμού κατά τη λειτουργία του συστήματος.

Από τα στοιχεία του κατασκευαστή της ανεμογεννήτριας (Polaris P10-20) προκύπτει μάζα ρότορα 1.8t, συνεπώς λαμβάνουμε υπόψη συγκεντρωμένη μάζα στην κορυφή της κατασκευής 2000 kg (συντηρητική προσαύξηση), καθώς και κατανεμημένες μάζες καθ' ύψος της κατασκευής λόγω του ίδιου βάρους της.

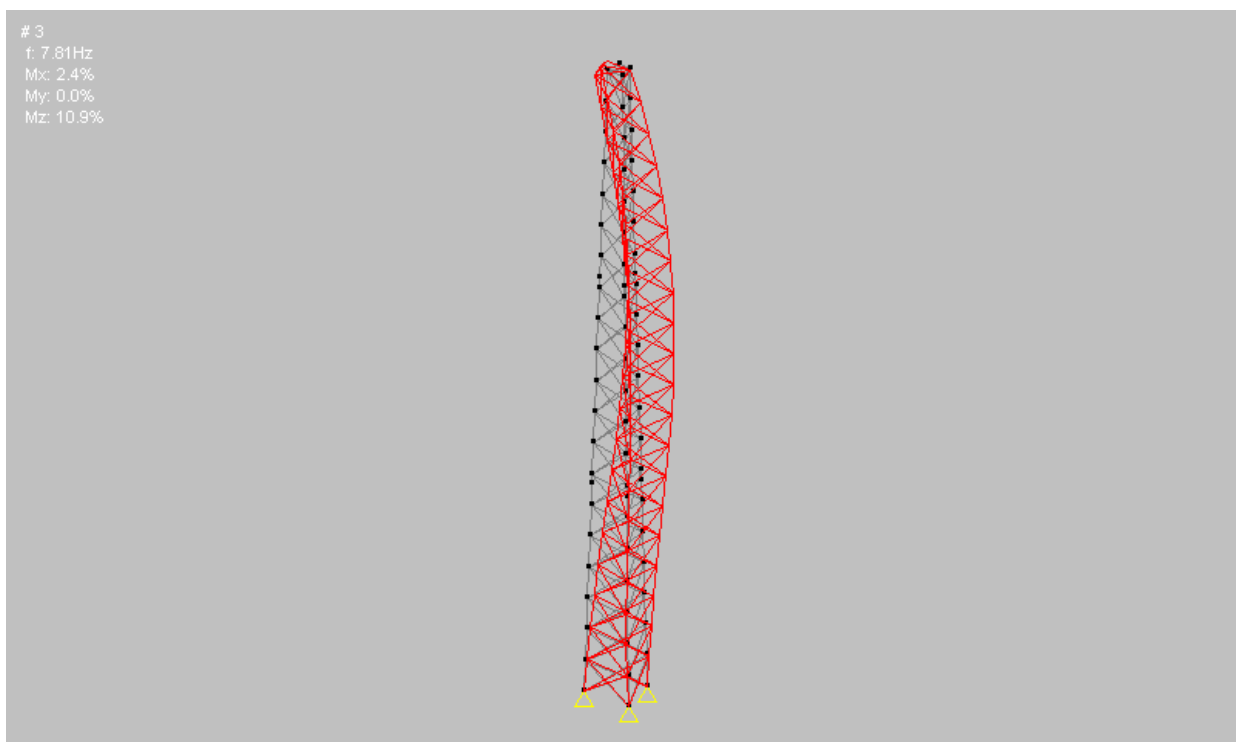
Οι πρώτες τέσσερις ιδιομορφές σύμφωνα με το λογισμικό ανάλυσης «instant» εμφανίζονται στα 1.65Hz, 1.66Hz, 7.81Hz και 7.85Hz αντίστοιχα και φαίνονται στις παρακάτω εικόνες:



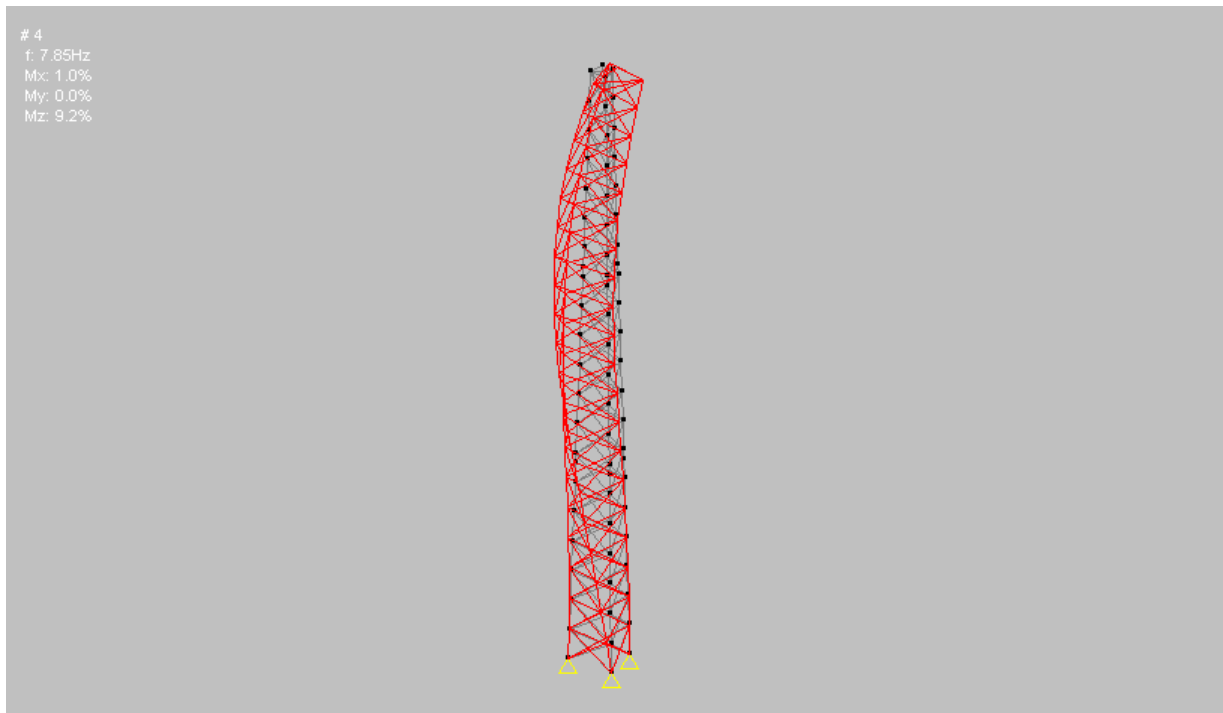
1<sup>η</sup> ιδιομορφή ( $f=1,65$  Hz)



2<sup>η</sup> ιδιομορφή ( $f=1,66$  Hz)



3<sup>η</sup> ιδιομορφή ( $f=7,81$  Hz)



4<sup>η</sup> ιδιομορφή ( $f=7,85$  Hz)

#### Φορτία σεισμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000/2003

$q = 1.5$  (ελαστική συμπεριφορά)

$\theta = 1.00$

$\gamma = 1.30$  (συντελεστής σπουδαιότητας IV)

$a = 0.24$  (ζώνη II)

#### **4.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΛΩΝ**

Αναπτύσσεται αναλυτικά στο παράρτημα Α. Οι επιλεγθείσες διατομές κρίνονται **ικανοποιητικές**.

#### 4.5 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΟΡΕΑ

Από την ανάλυση της κατασκευής, προκύπτουν οι ακόλουθες αντιδράσεις (kN) στήριξης (με έντονο χρώμα φαίνονται οι ακρότατες τιμές / προς χρήση για την διαστασιολόγηση της στήριξης).

	<b>F<sub>x</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>F<sub>y</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>F<sub>z</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>M<sub>x</sub></b> <b>(kNm)</b>	<b>M<sub>y</sub></b> <b>(kNm)</b>	<b>M<sub>z</sub></b> <b>(kNm)</b>
<b>Max F<sub>x</sub></b>	Κόμβος: 2	LC: <i>ULA49 CMB</i>				
	<b>24.7</b>	417	1.87	0	0	0
<b>Min F<sub>x</sub></b>	Κόμβος: 2	LC: <i>ULS01 CMB</i>				
	<b>-111</b>	1.6e+03	-0.698	0	0	0
<b>Max F<sub>y</sub></b>	Κόμβος: 2	LC: <i>ULS01 CMB</i>				
	-111	<b>1.6e+03</b>	-0.698	0	0	0
<b>Min F<sub>y</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULS01 CMB</i>				
	-27.2	<b>-732</b>	45.6	0	0	0
<b>Max F<sub>z</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULS01 CMB</i>				
	-27.2	-732	<b>45.6</b>	0	0	0
<b>Min F<sub>z</sub></b>	Κόμβος: 1	LC: <i>ULS01 CMB</i>				
	-26	-731	<b>-44.9</b>	0	0	0
<b>Max M<sub>x</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-12.6	-351	-24.7	<b>0</b>	0	0
<b>Min M<sub>x</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-12.6	-351	-24.7	<b>0</b>	0	0
<b>Max M<sub>y</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULA64 CMB</i>				

	<b>F<sub>x</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>F<sub>y</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>F<sub>z</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>M<sub>x</sub></b> <b>(kNm)</b>	<b>M<sub>y</sub></b> <b>(kNm)</b>	<b>M<sub>z</sub></b> <b>(kNm)</b>
	-12.6	-351	-24.7	0	<b>0</b>	0
<b>Min M<sub>y</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-12.6	-351	-24.7	0	<b>0</b>	0
<b>Max M<sub>z</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-12.6	-351	-24.7	0	0	<b>0</b>
<b>Min M<sub>z</sub></b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-12.6	-351	-24.7	0	0	<b>0</b>

- Μέγιστη θλιπτική δύναμη στη βάση : 1600 kN
- Μέγιστη εφελκυστική δύναμη στη βάση : 732 kN

#### 4.6 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΦΟΡΕΑ

Από την ανάλυση της κατασκευής, προκύπτουν οι ακόλουθες μετατοπίσεις. Με έντονο χρώμα φαίνονται οι ακρότατες τιμές (mm) :

	<b>dX</b> <b>(mm)</b>	<b>dY</b> <b>(mm)</b>	<b>dZ</b> <b>(mm)</b>	<b>R<sub>x</sub></b> <b>(rad)</b>	<b>R<sub>y</sub></b> <b>(rad)</b>	<b>R<sub>z</sub></b> <b>(rad)</b>
<b>Max dX</b>	Κόμβος: 70	LC: <i>SLS01 CMB</i>				
	<b>181</b>	-0.246	0.953	7.86e-05	0.000314	-0.00877
<b>Min dX</b>	Κόμβος: 70	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	<b>-66.9</b>	-0.311	-67.3	-0.00324	-0.000118	0.0032

	<b>dX</b> <b>(mm)</b>	<b>dY</b> <b>(mm)</b>	<b>dZ</b> <b>(mm)</b>	<b>Rx</b> <b>(rad)</b>	<b>Ry</b> <b>(rad)</b>	<b>Rz</b> <b>(rad)</b>
<b>Max dY</b>	Κόμβος: 21	LC: <i>SLS01 CMB</i>				
	100	<b>3.56</b>	0.509	4.01e-05	0.000237	-0.00757
<b>Min dY</b>	Κόμβος: 49	LC: <i>SLS01 CMB</i>				
	100	<b>-7.93</b>	0.138	2.72e-05	0.000303	-0.00756
<b>Max dZ</b>	Κόμβος: 70	LC: <i>ULA56 CMB</i>				
	-66.9	-0.311	<b>67.3</b>	-0.00324	-0.000118	-0.00321
<b>Min dZ</b>	Κόμβος: 70	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-66.9	-0.311	<b>-67.3</b>	-0.00324	-0.000118	0.0032
<b>Max Rx</b>	Κόμβος: 5	LC: <i>ULA60 CMB</i>				
	-65.3	-2.63	-65.7	<b>0.00335</b>	-0.000125	-0.00321
<b>Min Rx</b>	Κόμβος: 5	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-65.3	-2.63	-65.7	<b>-0.00335</b>	-0.000125	0.00321
<b>Max Ry</b>	Κόμβος: 3	LC: <i>SLS01 CMB</i>				
	0	0	0	-6.28e-05	<b>0.000539</b>	- 0.000246
<b>Min Ry</b>	Κόμβος: 3	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	0	0	0	- 0.000116	<b>-0.000236</b>	0.000102
<b>Max Rz</b>	Κόμβος: 45	LC: <i>ULA64 CMB</i>				
	-59.4	-2.81	-59.7	-0.00332	-0.000124	<b>0.00329</b>

	<b>dX</b> <b>(mm)</b>	<b>dY</b> <b>(mm)</b>	<b>dZ</b> <b>(mm)</b>	<b>Rx</b> <b>(rad)</b>	<b>Ry</b> <b>(rad)</b>	<b>Rz</b> <b>(rad)</b>
<b>Min Rz</b>	Κόμβος: 45	LC: <i>SLS01 CMB</i>				
	161	-7.14	0.539	5.97e-05	0.000314	<b>-0.00902</b>



#### **4.7 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 20kW**



*Αποψη πύργου με κέλυφος*

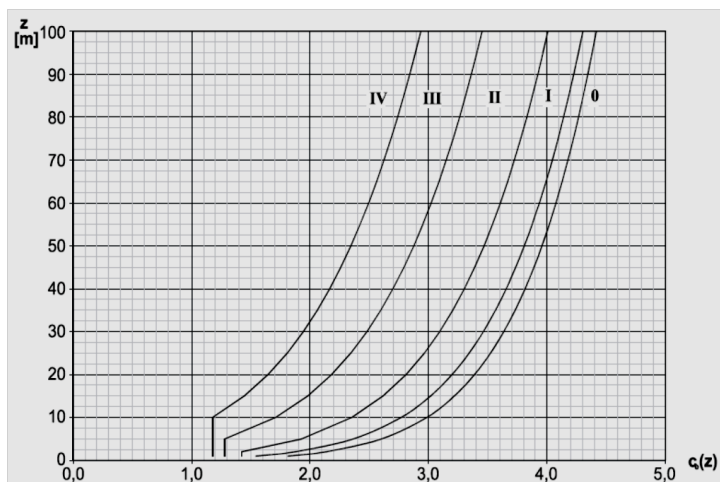
### Περιγραφή Φορέα

Ο πύργος 36 μέτρων μορφώνεται από ένα ολόσωμο κωνικό φορέα. Η διάμετρος βάσης μετράται στα 2.4m ενώ η διάμετρος κορυφής στο 1.0m. Ο πύργος χωρίζεται σε 3 τμήματα των 12 μέτρων, πάχους 16,14,12mm ξεκινώντας από τη βάση (βλέπε σχετικό παράρτημα). Μια πρώτη διαστασιολόγηση του πύργου με κέλυφος γίνεται στα Παραρτήματα Β και Γ της παρούσας εργασίας. Οι διαστάσεις και τα πάχη αποφασίστηκαν μετά από διαδικασία δοκιμών, με σκοπό να προκύψει ένας φορέας **με συγκρίσιμη συμπεριφορά (κυρίως όσον αφορά στην ιδιομορφική ανάλυση) με αυτόν του δικτύματος**. Η σύνδεση του στο θεμέλιο γίνεται με κυκλική πλάκα. Η ανάλυση του φορέα γίνεται με την χρήση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων, και συγκεκριμένα με το λογισμικό ANSYS.

### **4.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ**

1. Ίδιο βάρος φορέα (αυτόματος υπολογισμός με βάση προδιαγραφές προγράμματος ANSYS)
2. Φορτίο ανέμου πύργου:

Βάση *EN 1991-1,4*, ο πύργος φορτίζεται καθ' όλο το ύψος του από κατανεμημένα οριζόντια φορτία, τα οποία μεταβάλλονται γραμμικά ανάλογα με το ύψος. Η κατανομή είναι μη γραμμική (σχήμα 2), και υπολογίζεται από τον ακόλουθο πίνακα με βάση τον ευρωκώδικα το οποίο δίνει την εξάρτηση του συντελεστή πίεσης  $c_e(z)$  από το συνολικό ύψος της κατασκευής (τεταγμένη) αλλά και από τα μορφολογικά στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου (αριθμός καμπύλης) :  
(σχήμα 2).



Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την αναλυτική κατανομή, αναλόγως του ύψους φόρτισης. Η συνολική πίεση  $q_p(z)$  υπολογίζεται συναρτήσει συντελεστή  $c_e$  και της χαρακτηριστικής πίεσης του ανέμου  $q_b$  (δες παρακάτω Πίνακα).

ύψος (m)	Συντελεστής $c_e$ (z)	$q_p(z) = q_b$ $\times c_e(z)$ (kg/m <sup>2</sup> )	Μήκος προβαλλόμενης επιφάνειας (m)	Γραμμικό φορτίο (kg/m)
0	1.4	157.92	2.4	379.01
5	1.9	214.32	2.19	469.36
10	2.3	259.44	1.98	513.69
15	2.6	293.28	1.77	519.11
20	2.85	321.48	1.57	504.72
25	3	338.40	1.36	460.22
30	3.1	349.68	1.15	402.13
35	3.2	360.96	1	360.96

Τα φορτία αυτά, συνυπολογίζοντας τα φορτία του ρότορα, και πολλαπλασιάζοντας τα με το συντελεστή ασφαλείας ( $\gamma=1.5$ ) προκαλούν μια μέγιστη ροπή στη βάση του φορέα ίση με 7325 kNm. Το ίδιο βάρος, δεν προκαλεί οριζόντια παραμόρφωση στο φορέα, και άρα λαμβάνεται υπόψη μόνο στην ιδιομορφική ανάλυση. Επίσης, λόγω της μεγάλης ανεμοπίεσης που δέχεται ο φορέας λόγω μη ύπαρξης κενών αντίθετα με την περίπτωση του δικτυωτού πύργου, ο άνεμος θεωρείται κρίσιμο φαινόμενο και όχι ο σεισμός.



*Αποψη φορέα, διακρίνονται οι στηρίξεις στη βάση, το ίδιο βάρος καθώς και η οριζόντια ισοδύναμη δράση που προσωμοιώνει την ανεμοπίεση*

#### **4.9 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

Από τα στοιχεία του κατασκευαστή προκύπτει μάζα ρότορα 1.8t, συνεπώς λαμβάνουμε υπόψη συγκεντρωμένη μάζα στην κορυφή της κατασκευής 2000 kg (συντηρητική προσαύξηση), καθώς και κατανεμημένες μάζες καθ' ύψος της κατασκευής λόγω του ίδιου βάρους της.

Παρακάτω φαίνονται οι πρώτες 4 ιδιομορφές. Η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα εμφανίζεται στα 1.71 Hz, τιμή πολύ κοντινή με την αντίστοιχη του δικτυωτού πύργου.



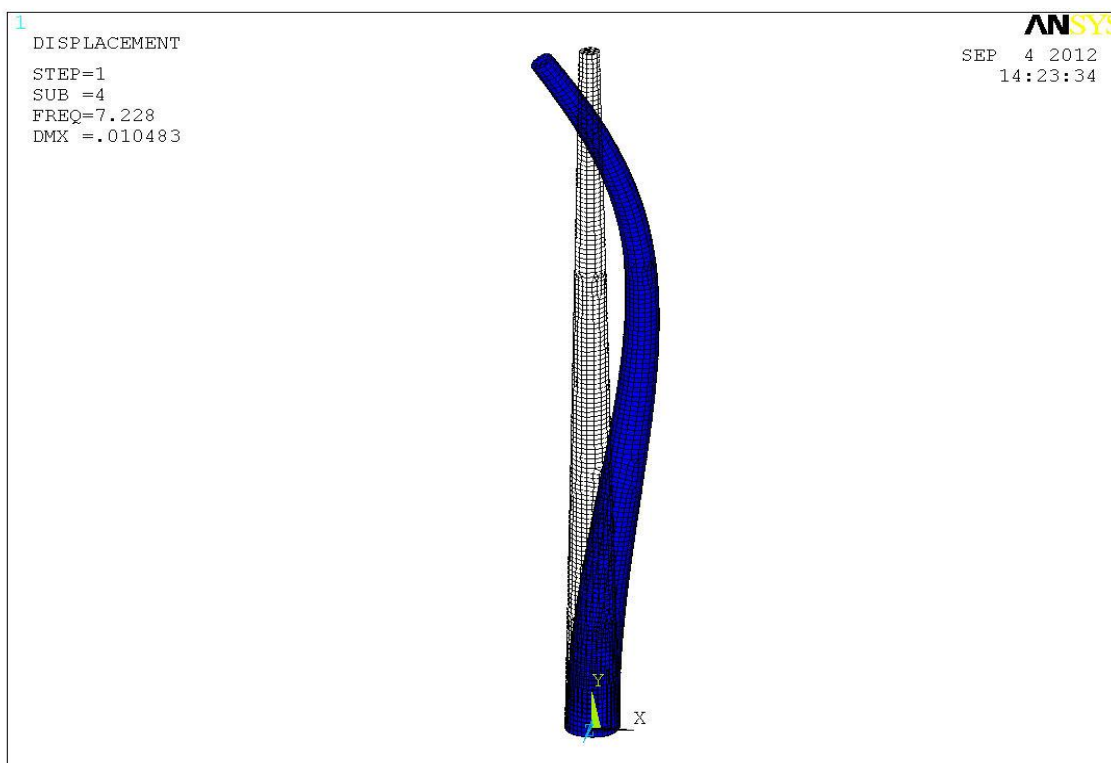
Ιδιομορφή 1 ( $f=1,70\text{Hz}$ )



Ιδιομορφή 2 ( $f=1,71\text{ Hz}$ )

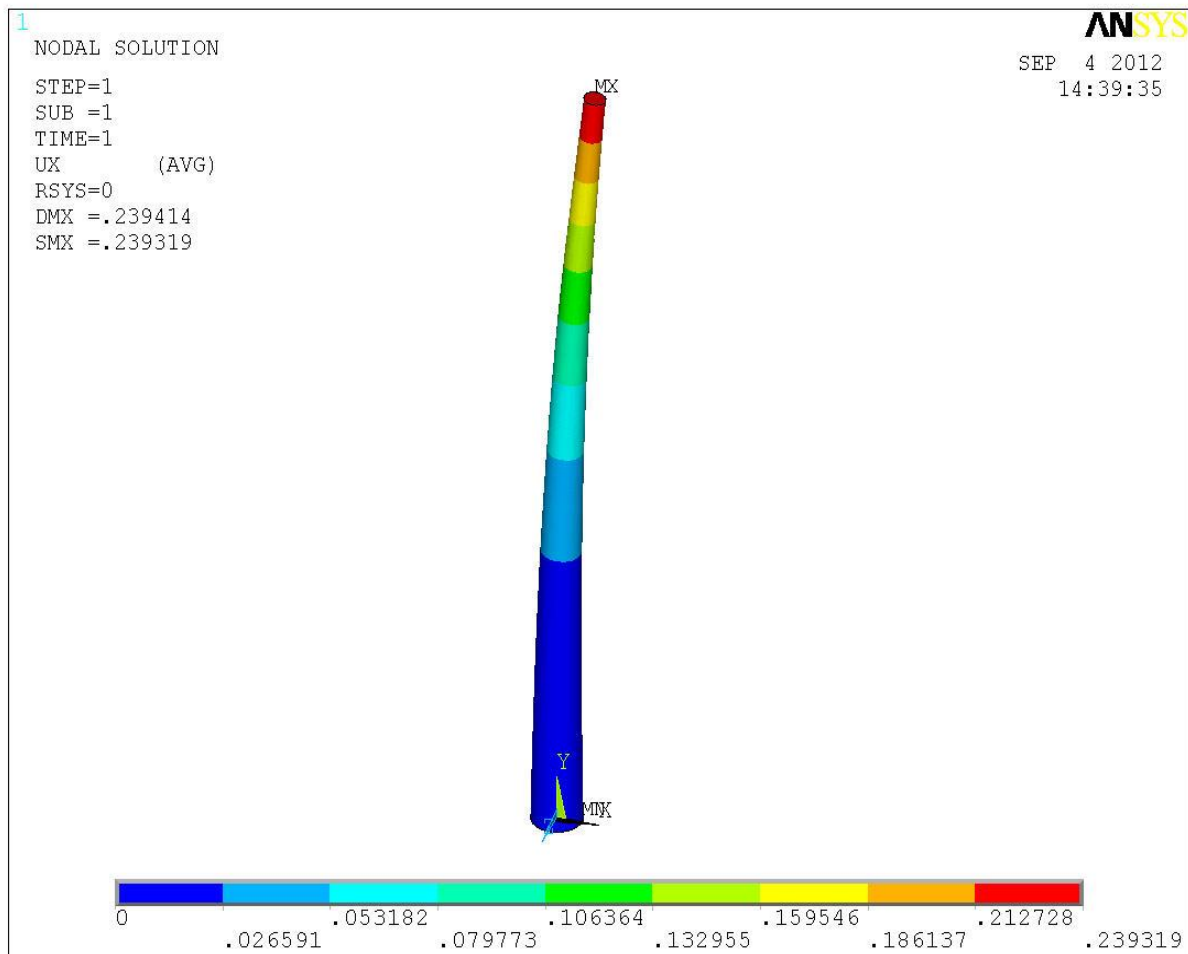


Ιδιομορφή 3 ( $f=1,70\text{Hz}$ )



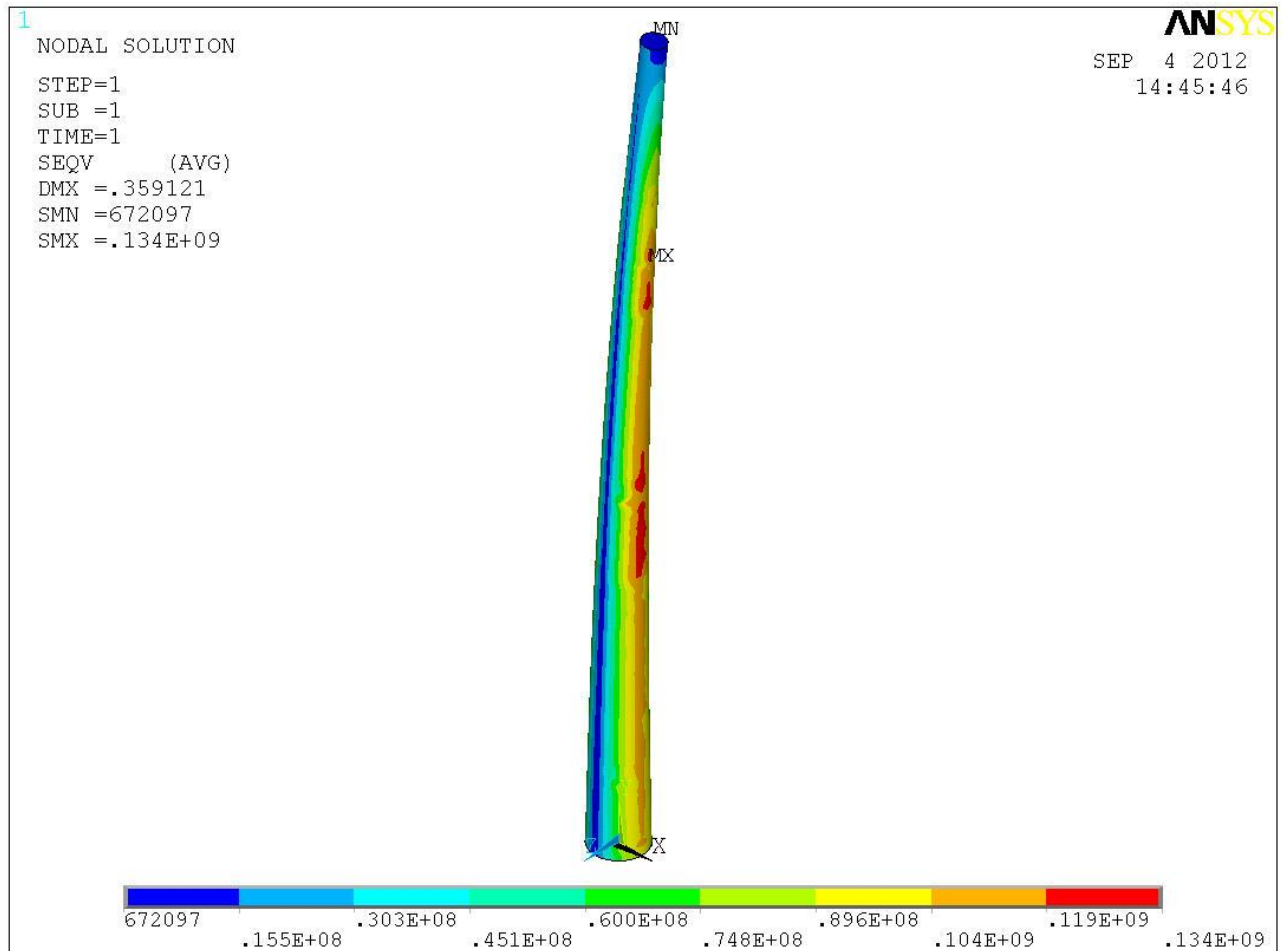
Ιδιομορφή 4 ( $f=7,22\text{ Hz}$ )

## Μέγιστες μετατοπίσεις



Η μέγιστη μετατόπιση ισούται με 0.24m. Αν κάνουμε αναγωγή ως προς το ύψος του φορέα πρόκειται για μετατόπιση της τάξης του  $L/150$  αλλά λαμβανομένου ότι στους πρόβλους το  $L$  ισούται με 2 x πραγματικό μήκος  $\rightarrow L = 2 \times 36m$  τότε η τάξη της μετατόπισης αλλάζει στο  $L/300$ , τιμή ικανοποιητική. Παρ όλα αυτά, η τιμή αυτή είναι σαφώς μεγαλύτερη αυτής του δικτυωτού φορέα (0.18m).

## Μέγιστες τάσεις



Οι μέγιστες τάσεις στο φορέα εμφανίζονται στις περιοχές αλλαγής πάχους. Ωστόσο, οι τιμές τους κυμαίνονται σε μια τάξη μεγέθους των 140 MPa, τιμή αρκετά μικρότερη από το όριο διαρροής του υλικού (355 MPa). Συνεπώς η διαστασιολόγηση κρίνεται ικανοποιητική.

## Προμέτρηση υλικών

Το βάρος του φορέα υπολογίζεται στους 21 τόνους, τιμή ουσιαστικά διπλάσια από αυτήν του δικτυώματος. Σε περίπτωση μείωσης των διατομών όμως (είτε πάχους είτε διαμέτρου), η μείωση της δυσκαμψίας θα είναι σημαντική, και αυτό



θα οδηγήσει σε ακόμα μεγαλύτερες μετακινήσεις, πράγμα δυσμενές για την ομαλή λειτουργία του φορέα.

#### **4.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΔΙΛΟΥ – ΑΓΚΥΡΙΩΝ**

Επιλέγονται να τοποθετηθούν 16 αγκύρια M42 ποιότητας χάλυβα 10.9. Η κατανομή δυνάμεων στα αγκύρια και στο πέδιλο γίνεται με το λογισμικό INCA-2 και η διαστασιολόγηση τους γίνεται με υπολογιστικά φύλλα. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί βρίσκονται στο **Παράρτημα Γ** του παρόντος τεύχους. Ακολούθως διαστασιολογείται το πέδιλο διαστάσεων 10x10x1 μέτρων, με το λογισμικό BETON EXPRESS. Η αναλυτικοί υπολογισμοί βρίσκονται στο παράρτημα Δ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ

Για τον προσδιορισμό του κόστους ανέγερσης των πυλώνων λαμβάνονται υπ' όψιν οι τρέχουσες τιμές της αγοράς για αυτού του είδους τις εργασίες καθώς και το κόστος των απαραίτητων υλικών γι' αυτές.

Συγκεκριμένα για την κοστολόγηση ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- i. Εκπονήθηκαν τα δισδιάστατα σχέδια των δυο τύπων πυλώνων (γενικής διάταξης και των επιμέρους συνδέσεων τους που επισυνάπτονται),
- ii. έγινε η τρισδιάστατη μοντελοποίησή τους με την χρήση του προγράμματος Tekla Structures (Παράρτημα Ε),
- iii. με το εν λόγω πρόγραμμα υπολογίστηκαν αυτόματα οι λίστες υλικών των πυλώνων (Παράρτημα ΣΤ)

Βάσει των ανωτέρω συλλεχθέντων στοιχείων και κατόπιν έρευνας αγοράς παραθέτονται ακολούθως οι συγκεντρωτικοί πίνακες προϋπολογισμού του έργου σε τιμές χωρίς Φ.Π.Α.

ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΠΥΛΩΝΑ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ				ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ & ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ									
Α/Α	ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΜΟΝ.	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ / ΕΩ					ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ Χ ΠΟΣΟΤΗΤΑ				ΔΑΠ. ΚΟΣΤ. ΜΟΝΑΔΑΣ
				ΥΛΙΚΟ	Μ/Υ	ΕΡΓΑΣΙΑ	ΆΛΛΟ	Σ.Τ.Μ.Κ.	ΥΛΙΚΟ	Μ/Υ	ΕΡΓΑΣΙΑ	ΆΛΛΟ	
1	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΚΟΛΩΝΕΣ 216,1Χ 10)	ΚΙΛΑ	1.858,10	1,46		0,50		1,96	2.712,83	0,00	929,05	0,00	3.641,88
2	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΚΟΛΩΝΕΣ 244,4Χ 10)	ΚΙΛΑ	2.075,90	1,48		0,50		1,98	3.072,33	0,00	1.037,95	0,00	4.110,28
3	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΚΟΛΩΝΕΣ 323,9Χ 10)	ΚΙΛΑ	2.782,90	1,58		0,50		2,08	4.396,98	0,00	1.391,45	0,00	5.788,43
4	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΑ)	ΚΙΛΑ	3.422,40	0,66		0,50		1,16	2.258,78	0,00	1.711,20	0,00	3.969,98
5	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΠΛΑΚΕΣ, ΚΤΛ)	ΚΙΛΑ	624,40	0,68		0,50		1,18	424,59	0,00	312,20	0,00	736,79
6	ΑΜΜΟΒΟΛΗ ΠΥΛΩΝΑ	ΚΙΛΑ	10.831,70	0,015		0,03		0,04	162,48	0,00	270,79	0,00	433,27
7	PRIMER ΠΥΛΩΝΑ	ΚΙΛΑ	10.831,70	0,01		0,25		0,26	129,98	0,00	2.707,93	0,00	2.837,91
8	ΤΕΛΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ ΒΑΦΗΣ ΠΥΛΩΝΑ	ΚΙΛΑ	10.831,70	0,008		0,25		0,26	86,65	0,00	2.707,93	0,00	2.794,58
9	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΥΛΩΝΑ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ	ΤΟΝΟΙ	10,83					85,00	85,00	0,00	0,00	920,55	920,55
10	ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΑΝΘΡΩΠΩΡΕΣ)	ΕΩ	60,00			20,00		20,00	0,00	0,00	1.200,00	0,00	1.200,00
<b>ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>												<b>26.433,67</b>	
<b>ΕΠΙΠΛΕΩΝ ΚΟΣΤΗ (ΕΠ.ΚΟΣΤ.)</b>													
1	ΜΑΠ (ΣΥΝΟΛΟ)	ΤΕΜ	1,00	100,00				100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ (ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΕΣ, ΥΠΕΡΧΟΙ, ΚΤΛ)	ΤΕΜ	1,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΟΥ ΓΕΡΑΝΟΥ	ΗΜ	2,00				800,00	800,00	0,00	0,00	0,00	1.600,00	1.600,00
4	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΔΕΣΩΝ	ΤΕΜ	1,00	1.228,00				1.228,00	1.228,00	0,00	0,00	0,00	1.228,00
5	ΕΞΟΔΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΥ	ΤΕΜ	1,00			300,00		300,00	0,00	0,00	300,00	0,00	300,00
6	ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ	ΤΕΜ	1,00			2.300,00		2.300,00	0,00	0,00	2.300,00	0,00	2.300,00
7	ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ ΑΔΕΙΑ, ΕΞΟΔΑ ΦΑΚΕΛΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ	ΤΕΜ	1,00					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ (ΑΚΤΟΓΛΟΙΚΑ, ΒΕΝΖΙΝΕΣ ΚΤΛ)	ΤΕΜ	1,00				530,00	530,00	0,00	0,00	0,00	530,00	530,00
9	ΔΙΑΜΟΝΗ, ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	ΗΜ	2,00				55,00	55,00	0,00	0,00	0,00	110,00	110,00
10	ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ (ΗΛΕΚΤΡΩΔΙΑ, ΔΙΣΚΟΙ ΚΟΠΗΣ, ΚΤΛ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΣΤΟ ΕΡΓΟ)	ΤΕΜ	1,00	100,00				100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
11	ΕΚΣΚΑΦΕΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΕΙΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΓΑΙΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ	Μ3	200,00			8,00		8,00	0,00	0,00	1.600,00	0,00	1.600,00
12	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟ ΒΑΘΡΟ C30/37	Μ3	110,00	65,50		80,00	6,50	152,00	7.205,00	0,00	8.800,00	715,00	16.720,00
13	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟΥ ΒΑΘΡΟΥ	ΚG	3.539,00	0,66				0,66	2.335,74	0,00	0,00	0,00	2.335,74
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΙΠΛΕΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>												<b>26.923,74</b>	
<b>Β. ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ (ΣΠΕ) - ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΤΙΜΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ</b>													
Α/Α	ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΚΟΣΤΟΥΣ											ΠΟΣΟ	
1	ΕΠΙΜΕΣΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΡΓΟΥ (ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΑ 5% )*											3.000,00	
2	ΕΠΙΒΛΕΨΗ											500,00	
3	ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ											0,00	
4	ΑΣΦΑΛΙΣΤΗΡΙΟ ΣΥΜΒΟΛΑΙΟ											800,00	
5	ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΡΓΟΥ											0,00	
6	ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ											0,00	
7	ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΕΙΣ -ΕΓΓΥΗΣΕΙΣ (ΕΞΟΔΑ ΕΓΓΥΗΤΙΚΗΣ)											0,00	
8	ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΡΓΟΥ											0,00	
9	ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΡΓΟΥ											0,00	
10	ΓΕΝΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ (2%)											1.200,00	
11	ΦΟΡΟΙ ΑΝΑΛΟΓΟΥΝΤΕΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟ											3.600,00	
12	<b>ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ (ΣΠΕ) + ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΙΠΛΕΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ (ΕΠ.ΚΟΣΤ.)</b>											<b>36.023,74</b>	
13	<b>ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ + ΣΠΕ + ΕΠ. ΚΟΣΤ.)</b>											<b>62.457,41</b>	
14	<b>ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ (ΠΚ)*</b>											<b>8.000,00</b>	
15	<b>ΔΑΠΑΝΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ</b>											<b>70.457,41</b>	

ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΠΥΛΩΝΑ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ				ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ & ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ									
Α/Α	ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΜΟΝ.	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ / ΕΩ					ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ Χ ΠΟΣΟΤΗΤΑ				ΔΑΠ. ΚΟΣΤ. ΜΟΝΑΔΑΣ
				ΥΛΙΚΟ	Μ/Υ	ΕΡΓΑΣΙΑ	ΆΛΛΟ	Σ.Τ.Μ.Κ.	ΥΛΙΚΟ	Μ/Υ	ΕΡΓΑΣΙΑ	ΆΛΛΟ	
1	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΚΟΛΩΝΑ)	ΚΙΛΑ	21.343,00	0,70		0,50		1,200	14.940,10	0,00	10.671,50	0,00	25.611,60
5	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΠΛΑΚΕΣ, ΚΤΛ)	ΚΙΛΑ	6.637,00	0,68		0,50		1,180	4.513,16	0,00	3.318,50	0,00	7.831,66
6	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΠΥΛΩΝΑ	ΜΕΤΡΑ	35,80			20,21		20,210	0,00	0,00	723,52	0,00	723,52
7	ΑΜΜΟΒΟΛΗ ΠΥΛΩΝΑ	ΚΙΛΑ	27.980,00	0,015		0,04		0,055	419,70	0,00	1.119,20	0,00	1.538,90
8	PRIMER ΠΥΛΩΝΑ	ΚΙΛΑ	27.980,00	0,01		0,04		0,052	335,76	0,00	1.119,20	0,00	1.454,96
9	ΤΕΛΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ ΒΑΦΗΣ ΠΥΛΩΝΑ	ΚΙΛΑ	27.980,00	0,008		0,25		0,258	223,84	0,00	6.995,00	0,00	7.218,84
10	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΥΛΩΝΑ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ	ΤΟΝΟΙ	28,24				85,00	85,000	0,00	0,00	0,00	2.400,40	2.400,40
11	ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΛΩΝΑ (ΑΝΘΡΩΠΩΡΕΣ)	ΕΩ	60,00			20,00		20,000	0,00	0,00	1.200,00	0,00	1.200,00
<b>ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>												<b>47.979,88</b>	
<b>ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΟΣΤΗ (ΕΠ.ΚΟΣΤ.)</b>													
1	ΜΑΠ (ΣΥΝΟΛΟ)	ΤΕΜ	1,00	100,00				100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ (DYE CHECK)	ΜΕΤΡΑ	46,00			60,00		60,00	0,00	0,00	2.760,00	0,00	2.760,00
3	ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΟΥ ΓΕΡΑΝΟΥ + ΚΟΣΤΟΣ ΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΗΜ	1,00				1.200,00	1.200,00	0,00	0,00	0,00	1.200,00	1.200,00
4	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΔΕΣΩΝ	ΚΙΛΑ	240,00	0,65		1,20		1,85	156,00	0,00	288,00	0,00	444,00
5	ΕΞΟΔΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΥ	ΤΕΜ	1,00			300,00		300,00	0,00	0,00	300,00	0,00	300,00
6	ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ	ΤΕΜ	1,00			2.300,00		2.300,00	0,00	0,00	2.300,00	0,00	2.300,00
7	ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ ΑΔΕΙΑ, ΕΞΟΔΑ ΦΑΚΕΛΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ	ΤΕΜ	1,00					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ (ΑΚΤΟΠΛΟΙΚΑ, ΒΕΝΖΙΝΕΣ ΚΤΛ)	ΤΕΜ	1,00				530,00	530,00	0,00	0,00	0,00	530,00	530,00
9	ΔΙΑΜΟΝΗ, ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	ΗΜ	2,00				55,00	55,00	0,00	0,00	0,00	110,00	110,00
10	ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ (ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ, ΔΙΣΚΟΙ ΚΟΠΗΣ, ΚΤΛ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΣΤΟ ΕΡΓΟ)	ΤΕΜ	1,00	100,00				100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
11	ΕΚΣΚΑΦΕΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΕΙΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΓΑΙΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ	Μ3	115,00			8,00		8,00	0,00	0,00	920,00	0,00	920,00
12	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟ ΒΑΘΡΟ C30/37	Μ3	115,00	65,50		80,00	6,50	152,00	7.532,50	0,00	9.200,00	747,50	17.480,00
13	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟΥ ΒΑΘΡΟΥ	ΚG	2.832,00	0,66				0,66	1.869,12	0,00	0,00	0,00	1.869,12
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>												<b>28.113,12</b>	
<b>Β. ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ (ΣΠΕ) - ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΤΙΜΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ</b>													
Α/Α	ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΚΟΣΤΟΥΣ										ΠΟΣΟ		
1	ΕΜΜΕΣΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΡΓΟΥ (ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΑ 5%) *										3.000,00		
2	ΕΠΙΒΛΕΨΗ										500,00		
3	ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ										0,00		
4	ΑΣΦΑΛΙΣΤΗΡΙΟ ΣΥΜΒΟΛΑΙΟ										800,00		
5	ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΡΓΟΥ										0,00		
6	ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ										0,00		
7	ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΕΙΣ -ΕΓΓΥΗΣΕΙΣ (ΕΞΟΔΑ ΕΓΓΥΗΤΙΚΗΣ)										0,00		
8	ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΡΓΟΥ										0,00		
9	ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΡΓΟΥ										0,00		
10	ΓΕΝΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ (2%)										1.200,00		
11	ΦΟΡΟΙ ΑΝΑΛΟΓΟΥΝΤΕΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟ										3.600,00		
12	<b>ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ (ΣΠΕ) + ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΟΣΤΟΥΣ (ΕΠ.ΚΟΣΤ.)</b>										<b>37.213,12</b>		
13	<b>ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ + ΣΠΕ + ΕΠ. ΚΟΣΤ.)</b>										<b>85.193,00</b>		
14	<b>ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ (ΠΚ)*</b>										<b>8.000,00</b>		
15	<b>ΔΑΠΑΝΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ</b>										<b>93.193,00</b>		

## **5.1 ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ – ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ**

### **5.1.1 ΠΟΛΥΧΡΗΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**

Επιπρόσθετη χρησιμότητα του πυλώνα με κέλυφος έναντι του πυλώνα με χωροδικτύωμα είναι η δυνατότητα που έχει ο πυλώνας με κέλυφος να στεγάσει εντός του πύργου θάλαμο (θάλαμος στέγασης) όπου μπορούν να τοποθετηθούν όλα τα όργανα της ανεμογεννήτριας. Η δυνατότητα αυτή περιορίζει το συνολικό κόστος της επένδυσης, διότι έτσι δεν απαιτείται η δημιουργία χώρου δίπλα σε κάθε ανεμογεννήτρια για την τοποθέτηση των οργάνων αυτής.

Επίσης εντός του πυλώνα με κέλυφος μπορεί να τοποθετηθεί εσωτερική σκάλα πρόσβασης στο κουβούκλιο στην κορυφή του. Η ύπαρξη της σκάλας αυτής, δίνει τη δυνατότητα στους τεχνικούς και συντηρητές να έχουν πρόσβαση στον μηχανισμό της ανεμογεννήτριας ακόμη και με αντίξοες συνθήκες.

Ακόμη θα πρέπει να ληφθεί υπ όψιν και η δυνατότητα του πύργου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εγκατάσταση κεραίας, ώστε το όφελος από την εκμετάλλευση ενός πυλώνα θα είναι πολλαπλό.

### **5.1.2 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ-ΕΜΠΟΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

Λόγω της πρόκρισης για πολλούς εκ των ανωτέρω παραγόντων των πυλώνων με κέλυφος, οι κατασκευαστές αντιλαμβανόμενοι – και καθορίζοντας και οι ίδιοι ενίοτε- τις τάσεις της αγοράς, έχουν κατασκευάσει και προωθήσει στην αγορά συνδέσεις που προορίζονται να ταιριάζουν με πυλώνες με κέλυφος. Η επιλογή αυτή καθίσταται αναγκαία ιδίως αναφορικά με τις μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες, καθώς ο πυλώνας με κέλυφος κατανέμει τα φορτία του ανέμου με τον ίδιο τρόπο σε όλη τη κατασκευή, ανεξαρτήτως της διεύθυνσης του αέρα, σε αντίθεση με τον πυλώνα με χωροδικτύωμα. Κατ' επέκταση, ο επενδυτής ενός αιολικού πάρκου κατά την αγορά των ανεμογεννητριών θα ακολουθήσει, αναγκαστικά ή μη λόγω και της επιλογής των κατασκευαστών ανεμογεννητριών, το μοντέλο του πυλώνα με κέλυφος, για να εδραστούν οι ανεμογεννήτριες. Εκ των πραγμάτων στον κλάδο των κατασκευαστών ανεμογεννητριών με συνδέσεις για πυλώνες με

κέλυφος θα υπάρχει και ο μεγαλύτερος ανταγωνισμός, εξασφαλίζοντας για τον επενδυτή τη δυνατότητα εύρεσης καλύτερης προσφοράς.

### **5.1.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΥΛΩΝΩΝ**

Μεγαλύτερη δυσκολία κατά το στάδιο της μελέτης τους, αντιμετωπίζουν οι μελετητές αναφορικά με τους πυλώνες με κέλυφος έναντι των πυλώνων με χωροδικτύωμα, λόγω του φαινομένου του λυγισμού, δηλαδή της αστάθειας που παρατηρείται σε κατασκευαστικά στοιχεία όπως δοκοί, κύλινδροι ή επίπεδα ελάσματα (πλάκες), και είναι αποτέλεσμα αξονικών ή συνεπίπεδων αντίστοιχα θλιπτικών φορτίσεων που ασκούνται σε αυτά. Εξ ορισμού, το φαινόμενο του λυγισμού είναι η απότομη εμφάνιση πλάγιων μετατοπίσεων ενός κατασκευαστικού στοιχείου, χωρίς σημαντική αύξηση της αξονικής ή συνεπίπεδης θλιπτικής φόρτισης που εφαρμόζεται σε αυτό. Οι πυλώνες με χωροδικτύωμα εμφανίζουν μεγαλύτερη ακαμψία και άρα μεγαλύτερη αντίσταση στο φαινόμενο αυτό.

Το φαινόμενο αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την μελέτη. Επιπροσθέτως θα πρέπει κατά τη μελέτη να ληφθεί υπόψη και η επιρροή των ιδιοσυχνοτήτων επί της τελικής κατασκευής του πυλώνα. Συγκεκριμένα κατά την έναρξη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της παράγονται δονήσεις, οι οποίες προκαλούν ταλαντώσεις στον πυλώνα. Οι ταλαντώσεις αυτές σε περίπτωση συντονισμού μπορεί να αποδειχθούν επικίνδυνες για την σταθερότητα της όλης κατασκευής.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Ως γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι η συγκριτική ανάλυση μεταξύ ενός πυλώνα με κέλυφος και ενός πυλώνα με χωροδικτύωμα, προκειμένου να αποδώσει συμπεράσματα θα πρέπει να αφορά σε συγκεκριμένους και μετρήσιμους παράγοντες και να γίνει αναλυτική εξειδίκευση καθενός σε σχέση με την προσδιορισμένων συνθηκών περιοχή όπου θα τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια ή θα εγκατασταθεί ένα αιολικό πάρκο ανά περίπτωση.

Από τη συγκριτική σχεδίαση και μελέτη των δυο τύπων πυλώνων ανεμογεννητριών, και συγκεκριμένα του πυλώνα με κέλυφος και του πυλώνα με χωροδικτύωμα προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για την πρόκριση του ενός τύπου φορέα έναντι του άλλου.

Από την μελέτη των δυο τύπων πυλώνων ανεμογεννητριών διαπιστώθηκε ότι κατά τον υπολογισμό του φορέα με κέλυφος θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή σε παράγοντες διαφορετικούς από αυτούς που λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό του φορέα με χωροδικτύωμα, πέραν βεβαίως των κοινών σε κάθε περίπτωση παραγόντων. Ειδικότερα, λόγω της μεγάλης ανεμοπίεσης που δέχεται ο φορέας με κέλυφος λόγω μη ύπαρξης κενών αντίθετα με την περίπτωση του δικτυωτού πύργου, ο άνεμος θεωρείται κρίσιμο φαινόμενο και όχι ο σεισμός. Επιπλέον φαινόμενο που «δυσκολεύει» τους μελετητές κατά την μελέτη πυλώνων με κέλυφος είναι και το φαινόμενο του λυγισμού, στο οποίο φαινόμενο οι πυλώνες με χωροδικτύωμα, εμφανίζουν μεγαλύτερη αντίσταση. Ακόμη θα πρέπει κατά τη μελέτη να ληφθεί υπόψη και η επιρροή των ιδιοσυχνοτήτων επί της τελικής κατασκευής του πυλώνα, οι οποίες σε περίπτωση συντονισμού μπορεί να αποδειχθούν επικίνδυνες για την σταθερότητα της όλης κατασκευής.

Από οικονομική σκοπιάς, αναφορικά καταρχήν με το κόστος, όπως προκύπτει από τα πραγματικά οικονομικά στοιχεία των κατασκευών, η κατασκευή του πυλώνα με κέλυφος, δηλαδή τα υλικά και οι εργατο-ώρες που απαιτούνται για την κατασκευή του, υπερβαίνουν σε κόστος τις αντίστοιχες δαπάνες που απαιτούνται για την κατασκευή και εγκατάσταση του πυλώνα με χωροδικτύωμα.

Χαρακτηριστικό του επιπρόσθετου κόστους σε σχέση με τον πυλώνα με χωροδικτύωμα είναι η ανάγκη για κατασκευή μεγαλύτερης βάσης έδρασης του πυλώνα με κέλυφος. Ωστόσο, όσον αφορά το κόστος συντήρησης, ο πυλώνας με κέλυφος αναδεικνύεται οικονομικά συμφερότερος σε σχέση με τον πυλώνα με χωροδικτύωμα ιδίως σε μεσο-μακροπρόθεσμη κλίμακα και προκρίνεται μάλιστα η συντήρηση του πυλώνα με κέλυφος και ως λιγότερο απαιτητική. Αντίκτυπο στο κόστος έχει και το γεγονός ότι ο πυλώνας με κέλυφος εμφανίζει μεγαλύτερη ευκολία συναρμολόγησης των μερών του έναντι του πυλώνα με χωροδικτύωμα, αποτελούμενος ο πρώτος από μέλη, τα οποία μπορούν να μεταφερθούν στον χώρο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και να συναρμολογηθούν επί τόπου του έργου. Δεν θα πρέπει μάλιστα να παραλειφθεί κατά την οικονομική συγκριτική αξιολόγηση των δυο τύπων πυλώνων, ιδίως σε εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών μεγάλης κλίμακας, η δυνατότητα που έχει ο πυλώνας με κέλυφος να στεγάσει εντός του πύργου θάλαμο (θάλαμος στέγασης) όπου μπορούν να τοποθετηθούν όλα τα όργανα της ανεμογεννήτριας. Η δυνατότητα αυτή περιορίζει το συνολικό κόστος της επένδυσης, διότι έτσι δεν απαιτείται η δημιουργία ξεχωριστού χώρου δίπλα στον φορέα.

Τέλος, κατά την εξέλιξη των ανεμογεννητριών, νέοι παράγοντες προς αξιολόγηση προκύπτουν, όπως είναι ο θόρυβος, ο οποίος παράγεται με μεγαλύτερη ένταση από τους πυλώνες με χωροδικτύωμα σε σχέση με τους πυλώνες με κέλυφος, λόγω του στροβιλισμού του αέρα, με συνέπεια να προτιμώνται λιγότερο οι πυλώνες με χωροδικτύωμα, και όπως είναι και η αισθητική. Οι πυλώνες με κέλυφος εμφανίζουν αισθητικό πλεονέκτημα καθώς, όπως χαρακτηριστικά έχει λεχθεί, δεν θυμίζουν πυλώνες της ΔΕΗ και για τον ίδιο λόγο αυτό της εξασφάλισης του καλύτερου δυνατού αισθητικού αποτελέσματος, οι πυλώνες με κέλυφος βάφονται άσπροι ή γκρι, για να βρίσκονται και σε αρμονία με τα χρώματα του ουρανού.

Προκρίνεται δηλαδή, από τα ανωτέρω, καθώς και από την πρακτική των επαγγελματιών του συναφούς επαγγελματικού κλάδου, η χρήση του πυλώνα με κέλυφος.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ-ΜΕΛΕΤΕΣ

1. ANSYS release 8 Theory Manual
2. EN 1993-1-1:2003 – General rules and rules for buildings
3. EN 1993-1-8:2003 – Design of Joints
4. EN 1991-1-4:2003 – Wind Loads and EN 1991-1-4 Εθνικό Προσάρτημα
5. IEC 61400-2 : Design requirements for small wind turbines
6. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Και Εξοικονόμησης Ενέργειας [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
  - α) Οδηγός μικρών ανεμογεννητριών, 2η έκδοση Μάρτιος 2012
  - β) Ακουστικός Θόρυβος Ανεμογεννητριών
7. Θ. Ζαχαρίας, «*Ήπιες Μορφές Ενέργειας*», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2008,
8. Ι. Λαβασάς, Γ. Νικολαΐδης, Π.Ζέρβας, Χ. Μπανιωτόπουλος «*Σχεδιασμός Πύργων Ανεμογεννητριών Μεγάλου Μεγέθους σε Σεισμικές Περιοχές*», Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2011.
9. Ι. Λαβασάς, Γ. Νικολαΐδης, Π.Ζέρβας, Χ. Μπανιωτόπουλος , Ι.Ν. Δουδούμης, «*Στατική ανάλυση και αντισεισμικός έλεγχος χαλύβδινων πύργων ανεμογεννητριών 1MW στο Καλογεροβούνι Λακωνίας*», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2<sup>ο</sup> Συνέδριο Αντισεισμικών κατασκευών, Θεσσαλονίκη, 2001.
10. «*Μικρές Ανεμογεννήτριες*», Συνέδριο ENERTECK, 30 Σεπτεμβρίου 2011,
11. «*Το αιολικό πάρκο*», Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Ενεργειακές Τεχνολογίες, Αειφορία & Περιβάλλον, Πανεπιστήμιο Πειραιά,
12. «*Το μέλλον των μεγάλων ανεμογεννητριών στην Ελλάδα*», Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση, Τεύχος Φεβρουαρίου 2012,
13. «*Πράσινη επιχειρηματικότητα*», Υπουργείο Εξωτερικών, «*Ανανεώσιμες Πηγές και Διεσπαρμένη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας*», Ιούλιος 2008,
14. Περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ, τεύχη 138 και 187, 2011,

15. Baniotopoulos, C.C., Borri, C. & Stathopoulos, T. (eds), "*Environmental Wind Engineering and Design of Wind Energy Structures*", CISM Lecture Notes 531, Springer 2011,
16. Kutz, Myer, "*Mechanical Engineers' Handbook (2nd Edition)*", John Wiley & Sons Ltd publication, 1998, England,
17. Mukund R. Patel, "*Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation*", second edition, Taylor & Francis publication, 2005.
18. Piggott H. "*How to built a wind turbine*", H. Piggott-Scoraig Wind Electric publication, 2008.
19. Piggott H. "*A wind turbine recipe book*", Scoraig wind publication 2008,
20. Stefan Soter, Member IEEE, Ralfwegener, Student Member IEEE, "*Development of Induction Machines in Wind Power Technology*", Institute of Electrical Drives and Mechatronics of Dortmund, Germany,
21. Syren Krohn (editor) Poul – Erik Morthorst, Shimon Awerbuch "*The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association*", 2009.
22. T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, "*Wind Energy Handbook*", John Wiley & Sons Ltd publication, 2001, England

#### Ιστοσελίδες:

- American Wind Energy Association: [www.awea.org/smallwind.html](http://www.awea.org/smallwind.html)
- [www.applitech.gr](http://www.applitech.gr)
- [www.enercon.de](http://www.enercon.de)
- [www.michanikos.gr](http://www.michanikos.gr)
- [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr)
- [www.vestas.com](http://www.vestas.com)
- [www.windfair.org](http://www.windfair.org)
- Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία: [www.ornithologiki.gr](http://www.ornithologiki.gr)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΛΩΝ ΔΙΚΤΥΩΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

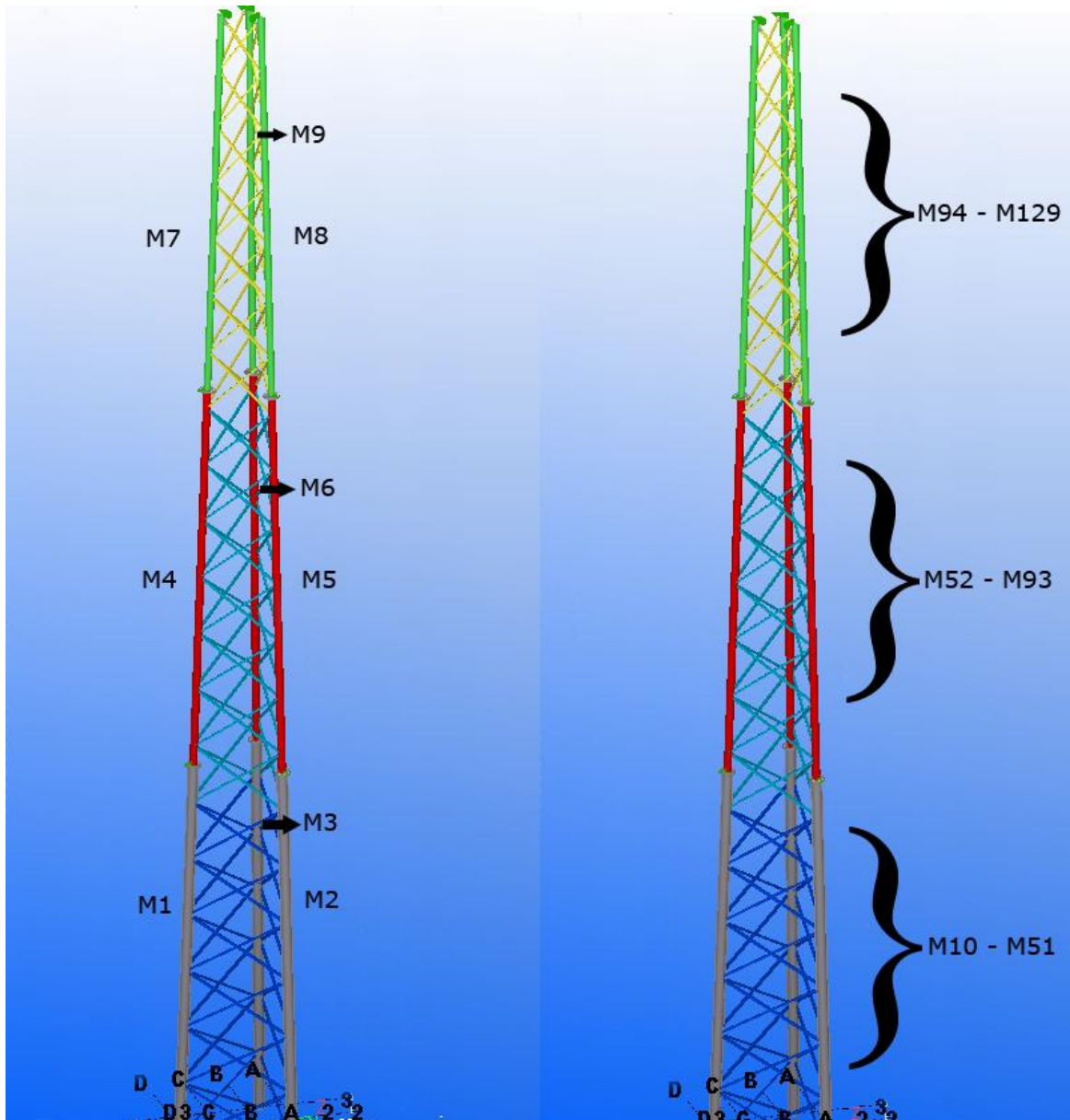
### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στο παρόν βήμα, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση βάσει πίνακα των ελέγχων των διατομών του δικτύωματος, σε κάμψη, αξονική δύναμη και διάτμηση, καθώς και στον συνδυασμό τους. Η δεσπόζουσα δύναμη στα συγκεκριμένα στοιχεία είναι η αξονική κατά τον τοπικό άξονα  $x$  κατά μήκος του στοιχείου (θλίψη ή εφελκυσμός), καθώς τα στοιχεία ζευκτών παραλαμβάνουν μικρές ροπές λόγω σχεδιασμού φορέα. Ακολουθως θα περιγραφεί αναλυτικά η διαστασιολόγηση ενός κρίσιμου στοιχείου. Η διαστασιολόγηση γίνεται βάσει EN 1993-1-1. Στον πίνακα αυτόν αναγράφονται οι λόγοι δρώσας δύναμης/αντοχής για κάθε έλεγχο (αδιάστατα στοιχεία)

<b>ΜΟΝΑΔΕΣ</b>	
Μήκος	mm
Δύναμη	kN
Γωνία	Deg

<b>ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ</b>	
Κανονισμός	<b>EN (1993-1-1):2005</b>
$\gamma_{M0}$ (αντοχή διατομών τάξης 1-2-3)	<b>1.000</b>
$\gamma_{M1}$ (αντοχή διατομών τάξης 4)	<b>1.000</b>
$\gamma_{M1}$ (αντοχή λυγισμού μέλους)	<b>1.000</b>
$\gamma_{M2}$ (αντοχή καθαρής διατομής στην θέση των οπών)	<b>1.250</b>
$\gamma_{Mw}$ (αντοχή συγκολλήσεων)	<b>1.250</b>

### Έλεγχος Διατομής Μέλους



Μέλος	Περίπτωση φόρτισης	Τάξη	Κάμψη+Αξονική+Διάτμηση	Εφελκ.	Διάτμ. Y	Διάτμ. Z	Κα+Θλ
m1	ULA34	1	0.117			0.002	<b>0.296</b>
m2	ULA49	1	0.121				<b>0.502</b>
m3	ULA49	1	0.078				<b>0.401</b>

m4	ULA29	1	0.117		0.001	0.002	<b>0.296</b>
m5	ULA33	1	0.121				<b>0.502</b>
m6	ULA49	1	0.078				<b>0.399</b>
m7	ULS01	1	0.446		0.004		<b>1.000</b>
m8	SLS01	1	0.311		0.003		<b>1.000</b>
m9	ULS01	1	0.305		0.001		<b>1.000</b>
m10	ULA49	3	0.071				<b>0.317</b>
m11	ULA49	3	0.071				<b>0.318</b>
m12	ULA49	3	0.069				<b>0.296</b>
m13	ULS01	3	0.144				<b>1.001</b>
m14	ULA49	3	0.069				<b>0.290</b>
m15	ULS01	3	0.141				<b>0.992</b>
m16	ULA60	3	<b>0.063</b>				
m17	ULS01	3	<b>0.084</b>				
m18	ULA49	3	0.061				<b>0.181</b>
m19	ULA49	3	0.061				<b>0.181</b>
m20	ULA49	3	<b>0.058</b>				
m21	ULS01	3	<b>0.073</b>				
m22	ULA49	3	<b>0.056</b>				
m23	ULS01	3	<b>0.068</b>				
m24	ULA49	3	<b>0.054</b>				
m25	ULS01	3	<b>0.065</b>				

m26	ULA49	3	0.059				<b>0.275</b>
m27	ULA49	3	0.059				<b>0.275</b>
m28	ULA49	3	0.058				<b>0.283</b>
m29	ULA49	3	0.058				<b>0.283</b>
m30	ULA49	3	0.055				<b>0.267</b>
m31	ULA49	3	0.055				<b>0.267</b>
m32	ULA49	3	0.053				<b>0.254</b>
m33	ULA49	3	0.053				<b>0.254</b>
m34	ULA49	3	0.051				<b>0.241</b>
m35	ULA49	3	0.051				<b>0.241</b>
m36	ULA49	3	0.049				<b>0.227</b>
m37	ULA49	3	0.049				<b>0.227</b>
m38	ULA49	3	0.047				<b>0.218</b>
m39	ULA49	3	0.047				<b>0.218</b>
m40	ULA49	3	0.055				<b>0.334</b>
m41	ULA49	3	0.055				<b>0.334</b>
m42	ULA49	3	0.055				<b>0.330</b>
m43	ULA49	3	0.054				<b>0.330</b>
m44	ULA49	3	0.053				<b>0.316</b>
m45	ULA49	3	0.053				<b>0.315</b>
m46	ULA49	3	0.052				<b>0.304</b>
m47	ULA49	3	0.051				<b>0.303</b>

m48	ULA49	3	0.050				<b>0.292</b>
m49	ULA49	3	0.050				<b>0.289</b>
m50	ULA49	3	0.049				<b>0.284</b>
m51	ULA49	3	0.049				<b>0.282</b>
m52	ULA49	3	0.045				<b>0.247</b>
m53	ULA49	3	0.045				<b>0.246</b>
m54	ULA49	3	0.063				<b>0.248</b>
m55	ULS01	3	0.112				<b>0.658</b>
m56	ULA49	3	0.062				<b>0.249</b>
m57	ULS01	3	0.113				<b>0.678</b>
m58	ULA49	3	0.059				<b>0.182</b>
m59	ULS01	3	0.111				<b>0.661</b>
m60	ULS01	3	<b>0.105</b>				
m61	ULS01	3	0.107				<b>0.624</b>
m62	ULS01	3	<b>0.103</b>				
m63	ULS01	3	0.106				<b>0.618</b>
m64	ULA49	3	0.060				<b>0.286</b>
m65	ULS01	3	0.115				<b>0.793</b>
m66	ULA49	3	0.059				<b>0.293</b>
m67	ULS01	3	0.120				<b>0.844</b>
m68	ULA49	3	0.057				<b>0.278</b>
m69	ULS01	3	0.117				<b>0.799</b>

m70	ULA49	3	0.054				<b>0.264</b>
m71	ULS01	3	0.115				<b>0.771</b>
m72	ULA49	3	0.052				<b>0.250</b>
m73	ULS01	3	0.112				<b>0.736</b>
m74	ULA49	3	0.050				<b>0.236</b>
m75	ULS01	3	0.110				<b>0.703</b>
m76	ULA49	3	0.048				<b>0.226</b>
m77	ULS01	3	0.110				<b>0.687</b>
m78	ULA49	3	0.057				<b>0.346</b>
m79	ULS01	3	0.134				<b>0.990</b>
m80	ULA49	3	0.056				<b>0.342</b>
m81	ULS01	3	0.137				<b>1.085</b>
m82	ULA49	3	0.054				<b>0.326</b>
m83	ULS01	3	0.136				<b>1.000</b>
m84	ULA49	3	0.052				<b>0.312</b>
m85	ULS01	3	0.137				<b>1.000</b>
m86	ULA49	3	0.051				<b>0.295</b>
m87	ULS01	3	0.139				<b>1.005</b>
m88	ULA49	3	0.050				<b>0.287</b>
m89	ULS01	3	0.143				<b>1.008</b>
m90	ULA49	3	0.045				<b>0.249</b>
m91	ULS01	3	0.133				<b>0.891</b>



m92	ULS01	3	0.109				<b>0.623</b>
m93	ULS01	3	<b>0.112</b>				
m94	ULA49	3	0.061				<b>0.221</b>
m95	ULS01	3	0.110				<b>0.643</b>
m96	ULS01	3	<b>0.105</b>				
m97	ULS01	3	0.108				<b>0.627</b>
m98	ULS01	3	<b>0.102</b>				
m99	ULS01	3	0.104				<b>0.591</b>
m100	ULS01	3	<b>0.099</b>				
m101	ULS01	3	0.103				<b>0.585</b>
m102	ULA49	3	0.059				<b>0.275</b>
m103	ULS01	3	0.111				<b>0.744</b>
m104	ULA49	3	0.058				<b>0.283</b>
m105	ULS01	3	0.116				<b>0.796</b>
m106	ULA49	3	0.055				<b>0.267</b>
m107	ULS01	3	0.112				<b>0.753</b>
m108	ULA49	3	0.053				<b>0.253</b>
m109	ULS01	3	0.110				<b>0.726</b>
m110	ULA49	3	0.051				<b>0.240</b>
m111	ULS01	3	0.108				<b>0.693</b>
m112	ULA49	3	0.049				<b>0.226</b>
m113	ULS01	3	0.106				<b>0.662</b>

m114	ULA49	3	0.047				<b>0.216</b>
m115	ULS01	3	0.106				<b>0.648</b>
m116	ULA49	3	0.055				<b>0.330</b>
* m117	ULS01	3	0.129				<b>1.028</b>
m118	ULA49	3	0.054				<b>0.327</b>
m119	ULS01	3	0.131				<b>1.026</b>
m120	ULA49	3	0.052				<b>0.311</b>
m121	ULS01	3	0.131				<b>0.996</b>
m122	ULA49	3	0.051				<b>0.298</b>
m123	ULS01	3	0.133				<b>0.976</b>
m124	ULA49	3	0.049				<b>0.283</b>
m125	ULS01	3	0.134				<b>0.960</b>
m126	ULA49	3	0.048				<b>0.275</b>
m127	ULS01	3	0.141				<b>0.975</b>
m128	ULA49	3	0.044				<b>0.240</b>
m129	ULS01	3	0.132				<b>0.869</b>

## ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΜΕΛΩΝ

### Τυπική διατομή πέλματος ζευκτού

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής	
Διατομή	<b>C219.1x10.0</b>
Διάμετρος (h) (mm)	<b>219.100</b>

<b>Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής</b>	
Πάχος πέλματος ( $t_f$ ) (mm)	<b>10.000</b>
Πάχος κορμού ( $t_w$ ) (mm)	<b>10.000</b>
Ακτίνα καμπυλότητας $r$ (mm)	<b>0.000</b>

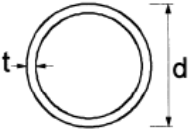
<b>Μηχανικά χαρακτηριστικά διατομής</b>	
Εμβαδόν $A$	<b>6569.000 mm<sup>2</sup></b>
Εμβαδό επιφάνειας διάτμησης περί τον $y$ άξονα $A_{vy}$	<b>4181.959 mm<sup>2</sup></b>
Εμβαδόν επιφάνειας διάτμησης περί τον $z$ άξονα $A_{vz}$	<b>4181.959 mm<sup>2</sup></b>
Ροπή αδράνειας ασθενή άξονα $I_y$	<b>35980000.000 mm<sup>4</sup></b>
Ροπή αδράνειας ισχυρού άξονα $I_z$	<b>35980000.000 mm<sup>4</sup></b>
Ελαστική ροπή αντίστασης ασθενή άξονα $W_{el.y}$	<b>328500.000 mm<sup>3</sup></b>
Ελαστική ροπή αντίστασης ισχυρού άξονα $W_{el.z}$	<b>328500.000 mm<sup>3</sup></b>
Πλαστική ροπή αντίστασης ασθενή άξονα $W_{pl.y}$	<b>437600.000 mm<sup>3</sup></b>
Πλαστική ροπή αντίστασης ισχυρού άξονα $W_{pl.z}$	<b>437600.000 mm<sup>3</sup></b>

<b>Ποιότητα χάλυβα μέλους</b>	
Ποιότητα χάλυβα	<b>S 355</b>
Όριο διαρροής πέλματος $f_y$ (kN/mm <sup>2</sup> )	<b>0.355</b>
Όριο αστοχίας πέλματος $f_u$ (kN/mm <sup>2</sup> )	<b>0.470</b>

<b>Ποιότητα χάλυβα μέλους</b>	
Όριο διαρροής κορμού $f_y$ (kN/mm <sup>2</sup> )	<b>0.355</b>
Όριο αστοχίας κορμού $f_u$ (kN/mm <sup>2</sup> )	<b>0.470</b>

<b>Μήκος μέλους</b>	<b>12007.826</b>
---------------------	------------------

**Κατάταξη διατομής §5.6 (EN 1991-1-1 πίνακας 5.2)**

Sections tubulaires						
						
Classe	Section fléchée et/ou comprimée					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$					
NOTE : Pour $d/t > 90\varepsilon^2$ , voir l'EN 1993-1-6.						
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\varepsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

$$d/t = 219/10 = 21.9 < 50 \cdot 0.66 = 33 \rightarrow \text{Διατομή κατηγορίας 1}$$

Μέγιστες δρώσες δυνάμεις όπως προκύπτουν από την ανάλυση λογισμικού υπό στατικά και δυναμικά φορτία :

$$M_y = 999.259 \text{ kNmm} = 1 \text{ kNm}$$

$$M_z = 1079.98 \text{ kNmm} = 1 \text{ kNm}$$

$$N = 182.79 \text{ kN}$$

Στους δικτυωτούς φορείς είναι λογικό να μην αναπτύσσονται μεγάλες ροπές, έτσι η κυρίαρχη δρώσα δύναμη είναι η θλίψη στο συγκεκριμένο μέλος. Ακολουθεί ο έλεγχος σε θλίψη και σε λυγισμό.

Έλεγχος σε θλίψη

Επιλέγεται κατηγορία χάλυβα S355 (συνήθης ποιότητα σε έργα μεγάλης κλίμακας) → όριο διαρροής  $f_y = 355 \text{ MPa}$ .

$$N_{Rd} = A \times f_y / \gamma_{M0} = 6569 \times 355 / 1.00 = 2332 \text{ kN} > 182.79 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{OK}$$

#### Έλεγχος σε λυγισμό

Μήκος λυγισμού : 12.0 m

Καμπύλη λυγισμού : a

Αδιάστατη λυγηρότητα (EN 1993-1-1 §6.3.1.2(1)) :  $\lambda = 2.12$

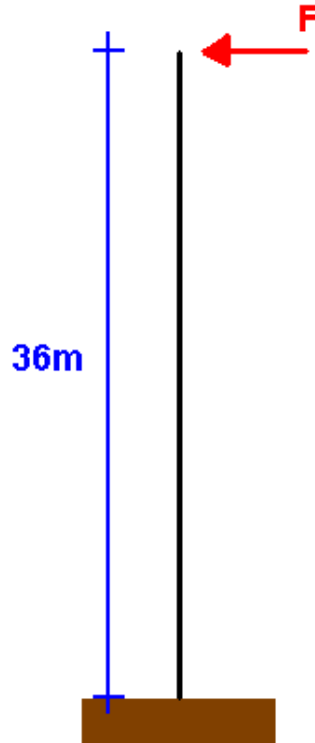
Μειωτικός συντελεστής  $\chi$  (EN 1993-1-1 §6.3.1.2(1)) :  $\chi = 0.20$

$$\text{Μειωμένη αντοχή λόγω λυγισμού: } \chi \times N_{Rd} = 0.2 \times 2332 = 466.4 > 182.79 \quad \rightarrow \text{OK}$$

Λόγω αμελητέων ροπών και τεμνουσών, ο έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση παραλείπεται.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αφορά σε όλες τις διατομές του δικτυωτού φορέα. Το λογισμικό υπολογίζει αυτόματα παρόλα αυτά έστω και τις μικρές επιπτώσεις που υπάρχουν λόγω των ροπών και των τεμνουσών και τις παρουσιάζει στον προηγούμενο πίνακα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΡΟ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΛΟΣΩΜΟΥ ΦΟΡΕΑ



Η δύναμη  $F$  ισούται με 203.5 kN (ισοδύναμο φορτίο ανέμου + φορτία ρότορα), και προκαλεί μια ροπή στη βάση του πύργου ίση με  $203.5 \times 36 = 7325$  kNm. Η ροπή κάμψης στη βάση λόγω της ροπής στρέψης του ρότορα (2.7 kNm) υπολογίζεται από βάσει της νόρμας 61400-2. Σημειώνεται ότι η τιμή της είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ροπή κάμψης λόγω ανεμοπίεσης.

Η ροπή βάσης είναι σαφώς μεγαλύτερη από εκείνη του δικτυωτού πύργου (σελ.23), καθώς λόγω μεγαλύτερης προβαλλόμενης επιφάνειας, η συνισταμένη λόγω της ανεμοπίεσης είναι αυξημένη.

Θεωρώντας χάλυβα με όριο διαρροής  $f_y = 355$  MPa, η ελάχιστη ελαστική ροπή αντίστασης του κυλινδρικού φορέα θα πρέπει να είναι :

$$W = M / f_y \times \gamma_{M0}$$

Όπου

$$\gamma_{M0} = 1.10$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$M = 7325 \text{ kNm}$$

Η δρώσα ροπή στη βάση του προβόλου θα επαυξηθεί με ένα συντελεστή  $1/\chi$  όπου  $\chi$  ο μειωτικός συντελεστής λυγισμού. Λόγω του μεγάλου μήκους και του στατικού συστήματος (πρόβολος), ο  $\chi$  λαμβάνεται υπόψη συντηρητικά ίσος με 0.30.

$$\text{Άρα προκύπτει } W_{\min} = 0.068 \text{ m}^3$$

Η ελαστική ροπή αντίστασης κυλίνδρου ισούται με  $0.25\pi (r_{\text{ext}}^4 - r_{\text{int}}^4) / r_{\text{int}}$

Διαλέγουμε ένα πάχος ελάσματος 16mm, άρα ο μοναδικός άγνωστος στην εξίσωση είναι η εξωτερική ακτίνα του δακτυλίου.

Λύνοντας την εξίσωση ως προς το  $r_{\text{ext}}$  προκύπτει

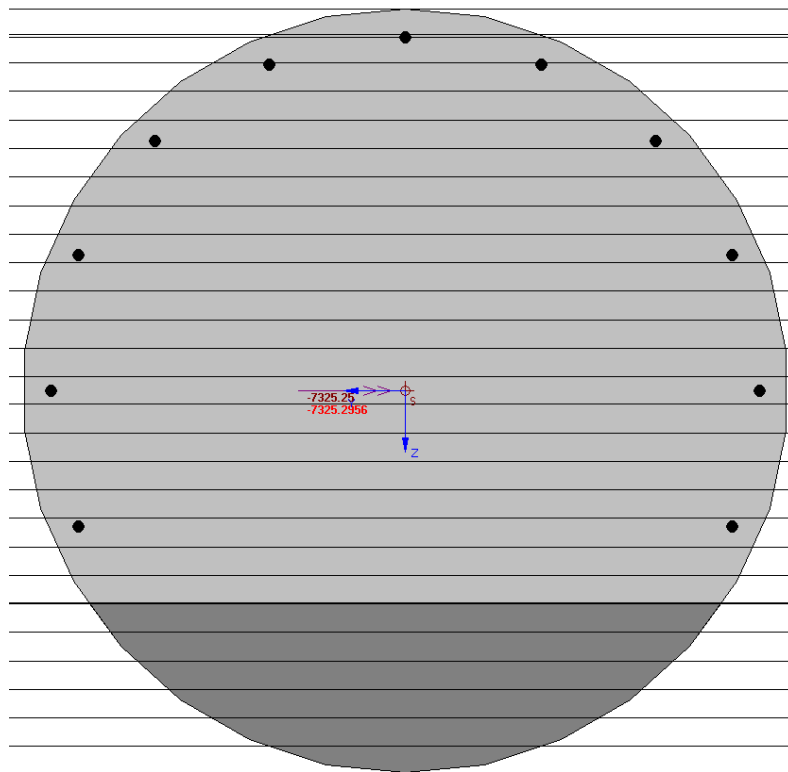
$r_{\text{ext, min}} = 1.17 \rightarrow 1.20$  άρα επιλέγεται διάμετρος βάσης 2.4 μέτρα. Καθώς όμως η δρώσα ροπή μειώνεται δραματικά καθώς ανεβαίνουμε σε ύψος, επιλέγεται η λύση της διατομής μεταβαλλόμενης διαμέτρου, με διάμετρο κορυφής (τελική διάμετρος) το 1.0 μέτρο.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΛΩΝ ΟΛΟΣΩΜΟΥ ΦΟΡΕΑ

### ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

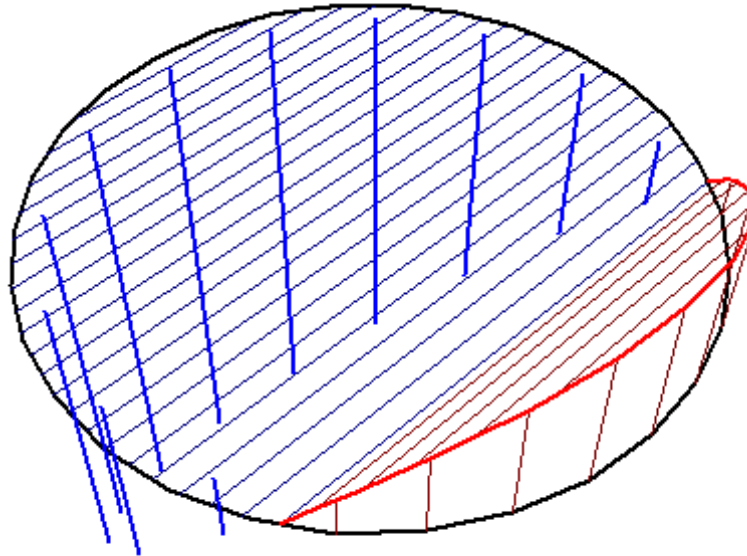
Μέγιστη δρώσα ροπή  $\rightarrow M_{sd} = 7325.25 \text{ kNm}$

Βάση του λογισμικού INCA2, υπολογίζουμε τις εφελκυστικές δυνάμεις που θα παραλάβουν τα αγκύρια. Τοποθετούνται 16 αγκύρια M42 10.9.



Άποψη μοντέλου





Κατανομή τάσεων σε αγκύρια - σκυρόδεμα

Αποτελέσματα λογισμικού :

Equation of Strain:
$\text{eps}(y,z) = 0.75368069 + y * 0 + z * -0.93437766$
Resulting Forces of Stress-Integration:
N = -0.05525078 kN
My = -7325.29162473 kNm
Mz = 0.00000001 kNm

Sectional Properties

-----

Area of the Polygons	A.c = 6.15752157 m <sup>2</sup>
Centroid of Concrete y/z	S.c = ( 0 / 0 )
Conceptual Cross Section	A.i = 6.39614365 m <sup>2</sup>
Conceptual Centroid y/z	S.i = ( 0 / 0 )
(Openings behind the Reinforcement considered)	
Moment of Inertia	I <sub>yy</sub> = 3.2189372 m <sup>4</sup> / I <sub>zz</sub> = 3.2189371 m <sup>4</sup>

Moment of Deviation $I_{yz} = 0 \text{ m}^4$
Moment of Deviation $I_{yz} = 3.2189372 \text{ m}^4 / 1.2 = 3.2189371 \text{ m}^4$
Principle angle $\alpha = 0^\circ$

Polygon No. 1

Material : C 30/37 PR, Bemessungswerte (Concrete)

Without Prestrain

Reduction Factor for Concrete-Tensile-Strength = 0.2040

Points (30 Sets)	Coordinates (Y/Z)	eps [mm/m]	Sigma[N/mm <sup>2</sup> ]
1 (29)	0.0000 / 1.4051	-0.5926	-8.5813
2 (28)	-0.2921 / 1.3744	-0.5632	-8.2269
3 (27)	-0.5715 / 1.2837	-0.4766	-7.1366
4 (26)	-0.8259 / 1.1368	-0.3364	-5.2373
5 (25)	-1.0442 / 0.9402	-0.1487	-2.4339
6 (24)	-1.2169 / 0.7026	0.0782	0.0000
7 (23)	-1.3364 / 0.4343	0.3344	0.0000
8 (22)	-1.3974 / 0.1470	0.6087	0.0000
9 (21)	-1.3974 / -0.1470	0.8892	0.0000
10 (20)	-1.3364 / -0.4343	1.1635	0.0000
11 (19)	-1.2169 / -0.7027	1.4197	0.0000
12 (18)	-1.0442 / -0.9402	1.6466	0.0000
13 (17)	-0.8259 / -1.1368	1.8343	0.0000
14 (16)	-0.5715 / -1.2837	1.9745	0.0000
15 (15)	-0.2921 / -1.3744	2.0612	0.0000
16 (14)	0.0000 / -1.4051	2.0905	0.0000
17 (13)	0.2921 / -1.3744	2.0612	0.0000
18 (12)	0.5715 / -1.2837	1.9745	0.0000
19 (11)	0.8259 / -1.1368	1.8343	0.0000
20 (10)	1.0442 / -0.9402	1.6466	0.0000
21 (9)	1.2169 / -0.7026	1.4197	0.0000
22 (8)	1.3364 / -0.4342	1.1635	0.0000
23 (7)	1.3974 / -0.1469	0.8892	0.0000
24 (6)	1.3974 / 0.1469	0.6087	0.0000
25 (5)	1.3364 / 0.4342	0.3344	0.0000
26 (4)	1.2169 / 0.7026	0.0782	0.0000
27 (3)	1.0442 / 0.9402	-0.1487	-2.4339
28 (2)	0.8259 / 1.1368	-0.3364	-5.2373
29 (1)	0.5715 / 1.2837	-0.4766	-7.1366
30 (0)	0.2921 / 1.3744	-0.5632	-8.2269

For the reinforcement bars marked with a (\*) an opening in the concrete behind the bar is considered

Activation / Deactivation of this option in the menu Extras => Settings => Results

Group of Reinforcement No. 1

Material: Betonstahl BSt 500, Bemessungswerte (Steel)

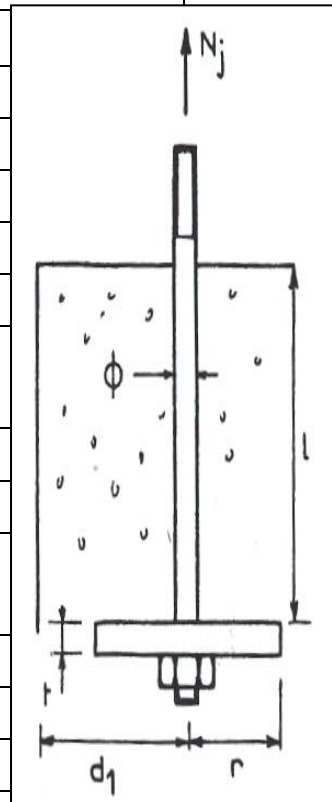
Without Prestress

Points (11 Sets)	Coordinates (Y/Z)	Area [cm <sup>2</sup> ]	eps [mm/m]	Sigma[N/mm <sup>2</sup> ]	Force [kN]
1 (30)	1.3000 / 0.0000	0.7490	149.7910	-8.5813	207.5268*
2 (31)	-1.3000 / 0.0000	0.7490	149.7910	-8.2269	207.5268*
3 (32)	0.0000 / -1.3000	1.9901	398.0201	-7.1366	551.4339*
4 (33)	1.2000 / 0.5000	0.2716	54.3183	-5.2373	75.2548*
5 (34)	-1.2000 / 0.5000	0.2716	54.3183	-2.4339	75.2548*
6 (35)	1.2000 / -0.5000	1.2263	245.2637	0.0000	399.7988*
7 (36)	-1.2000 / -0.5000	1.2263	245.2637	0.0000	399.7988*
8 (37)	0.5000 / -1.2000	1.8946	378.9256	0.0000	524.9795*
9 (38)	-0.5000 / -1.2000	1.8946	378.9256	0.0000	524.9795*
10 (39)	-0.9200 / -0.9200	1.6273	325.4608	0.0000	450.9078*
11 (40)	0.9200 / -0.9200	1.6273	325.4608	-8.2269	450.9072*
A.s.ges = 152.3987 cm <sup>2</sup>					

Η μέγιστη εφελκυστική δύναμη που εμφανίζεται στα αγκύρια ισούται με **551.4 kN**.

**ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΕΔΡΑΣΗΣ (EC3, μέρος 1.8)**

Δρώσα Αξονική Εφελκυσμού (kN)	551.4		
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	C30/37	$f_{c28}$ (N/mm <sup>2</sup> )=	30
$\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )=	1.44	$\tau_s^*$ (N/mm <sup>2</sup> )=	0.91
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΧΑΛΥΒΟΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	10.9	$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )=	1000
Συνάφεια περιοχής II :	λείες ράβδοι		
$\rho_k$ για μη ρηγματωμένο σκυρόδεμα (N/mm <sup>2</sup> )	33	ρηγματωμένο	22.2
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ, $\Phi$ (mm)	42	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )=	11.21
ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ, $l$ (mm)	1200		
Ακτίνα πλάκας αγκύρωσης, $r$ (mm)	140	κυκλικές κεφαλές	
Πάχος πλάκας αγκύρωσης, $t$ (mm)	6	$t \geq$	42
Απόσταση αγκυρίου από θεμέλιο, $d_1$ (mm)	250		
$A_h$ φέρουσα επιφάνεια της κεφαλής (mm <sup>2</sup> )	60190		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ (EC3 Πιν.6.5.3)	$N_j \leq F_{t,Rd} = \frac{0,9f_{ub}A_s}{\gamma_{Mb}} * 0,85$		551.4 < 807.1
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ σε ρηγματωμένο	$N_{Rd,p} = \rho_{kp} A_h / \gamma_{Mp} \geq N_j$		551.4 < 1067.7
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ μη ρηγματωμένο	$N_{Rd,p} = \rho_k A_h / \gamma_{Mp} \geq N_j$		551.4 < 1471.3
ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ	$N_j \leq \pi \cdot d \cdot \tau_s \cdot \ell + 3 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_{c28}}{1,50} \pi \cdot \left( r^2 - \frac{d^2}{4} \right) \cdot \left( 1 - \frac{r}{\min(\ell; d_1)} \right) \& (t \geq 0,3 \cdot r)$		551.4 < 657.9
		με $\tau_s^* \Rightarrow$	551.4 < 574.0



Όπου:

$N_j = N_{Rd,p}$  = δρώσα αξονική στο αγκύριο

$\rho_{kp}$  = συντελεστής συνάφειας χάλυβα-σκυροδέματος

$A_s$  = εμβαδόν κοχλία στην περιοχή του σπειρώματος

$A_h$  = φέρουσα επιφάνεια κεφαλής

$\gamma_{Mb}$ ,  $\gamma_{Mp}$  = συντελεστές ασφαλείας

$d$  = διάμετρος κοχλία

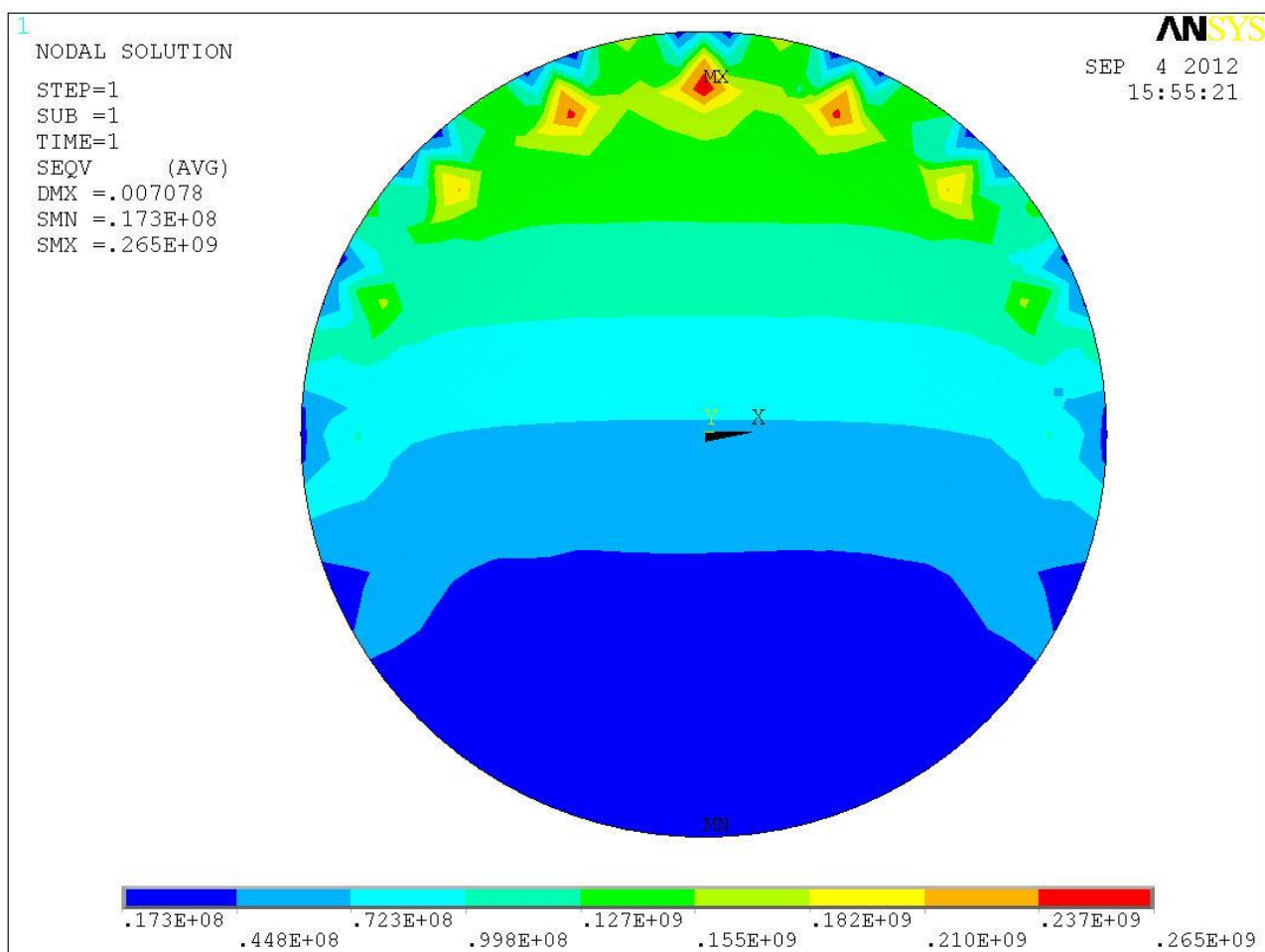
$f_{c28}$  = αντοχή σκυροδέματος στις 28 μέρες (για C30, 30 MPa)

$r$  = ακτίνα κυκλικής πλάκας

$t$  = πάχος κυκλικής πλάκας  
 $\tau_s$  = τάση συνάφειας σκυροδέματος  
 $\lambda$  = σταθερά

Διαστασιολόγηση πλάκας έδρασης:

Επιλέγεται κυκλική πλάκα έδρασης διαστάσεων 2400x50 mm. Παρακάτω φαίνονται οι μέγιστες τάσεις που προκύπτουν από την ανάλυση μέσω της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων.

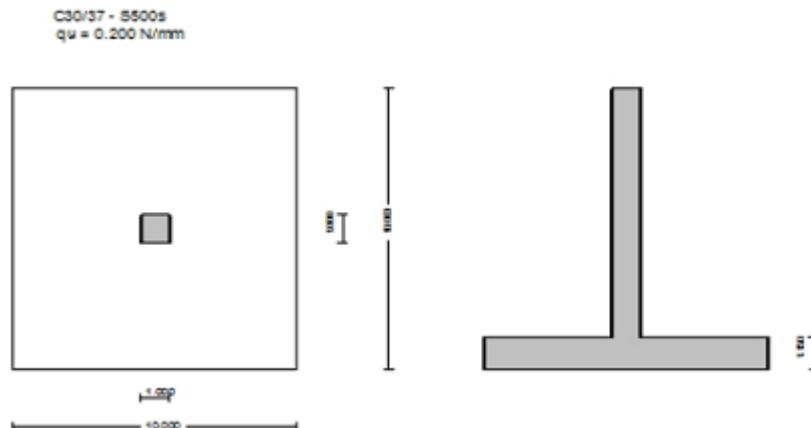


Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στην πλάκα ισούται με 265 MPa. Καθώς είναι μικρότερη από το όριο διαρροής του υλικού, (355 MPa) οι διαστάσεις της πλάκας κρίνονται επαρκείς.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΔΙΛΟΥ

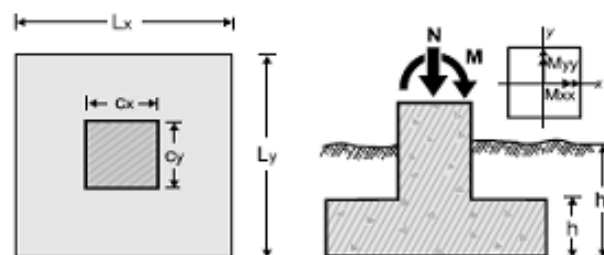
### 1. Υπολογισμοί τμήματος κατασκευής : ΠΕΔΙΛΟ ΠΥΛΩΝΑ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ

Μεμονωμένο, κεντρικό πέδιλο, με ροπή και σεισμό.  
 (ΕΚΩΣ 2000)



Σκυρόδεμα - Χάλυβας	: C30/37-S500s	(ΕΚΩΣ, §2, §3)
Επικάλυψη οπλισμού	: $c_{nom}=75 \text{ mm}$	(ΕΚΩΣ, §5.1)
Βάρος σκυροδέματος	: $25,0 \text{ kN/m}^3$	
$\gamma_c=1.5$ $\gamma_s=1.15$		(ΕΚΩΣ, Πιν. 6.5)
$F_{cd}=f_{ck}/\gamma_c=30/1.5=20 \text{ Μpa}$		(ΕΚΩΣ, §10.4.3.1)
$F_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1.15=435 \text{ Μpa}$		(ΕΚΩΣ, §10.4.4)

#### 1.1. Διαστάσεις – Υλικά – Φορτία



Διαστάσεις

Πέδιλο	$L_x=10.000\text{m}$	$L_y=10.000\text{m}$
Υποστύλωμα	$C_x=1.000\text{m}$	$C_y=1.000\text{m}$
Ύψος πέδilu		$h=1.150\text{m}$
Βάθος πέδilu		$h_f=1.200\text{m}$
Εμβαδόν βάσης πέδilu		$A=100.00\text{m}^2$
Όγκος Πέδilu		$V=115.00\text{ m}^3$

#### Υλικά πέδilu

Σκυρόδεμα - Χάλυβας	:	C30/37-S500s	(ΕΚΩΣ, §2, §3)
Επικάλυψη οπλισμού	:	$C_{nom}=75\text{ mm}$	(ΕΚΩΣ, §5.1)
Ωφέλιμο ύψος διατομής	:	$D=h-d_l$ , $d_l=C_{nom}c+(3/2)$	
		$\Phi=75+3 \times 18/2=102\text{mm}$	
		$D=1150-102=1048\text{mm}$	

#### Έδαφος

Θλιπτική αντοχή εδάφους	:	$Q_u=0.200\text{ N/mm}^2$ (Mpa)
Ειδικό βάρος εδάφους	:	$\gamma=17,000\text{ kN/ m}^3$

#### Φορτία

			Μόνιμα	Κινητά
Ίδιο βάρος	kN	[115.00x25.00]	2875.00	
Βάρος επίχωσης	kN	[(100.00x 1.20x115.00)x17.00]	85.00	
Κατακόρυφο φορτίο	kN		0.00	0.00
Ροπή $M_{xx}$	kNm		7325.00	0.00
Ροπή $M_{yy}$	kNm		7325.00	0.00

## 1.2. Κανονισμοί

Έλεγχοι αντοχής εδάφους με (EC7 ENV1997-1:1997, §6)

Επιμέρους συντελεστές για δράσεις και εδαφικές ιδιότητες (EC7 Πιν. 2.1)

Δράση	Μόνιμη Δυσμενής	$\gamma_{Gdst}$ :	1.35
	Μόνιμη Ευνοϊκή	$\gamma_{Gstb}$ :	1.00
	Μεταβλητή Δυσμενής	$\gamma_{Qdst}$ :	1.50
	Μεταβλητή Ευνοϊκή	$\gamma_{Qstb}$ :	0.00

Εδαφικές ιδιότητες

Γωνία διατμητικής αντοχής	$\gamma_{\phi}$ :	1.00
Συνοχή c	$\gamma_c$ :	1.00
Διατμητική αντοχή $c_u$	$\gamma_{Cu}$ :	1.00
Θλιπτική αντοχή $q_u$	$\gamma_{Qu}$ :	1.00
Βάρος	$\gamma_w$ :	1.00

Συντελεστές ασφαλείας δράσεων :  $\gamma_G=1.35$   $\gamma_Q=1.50$

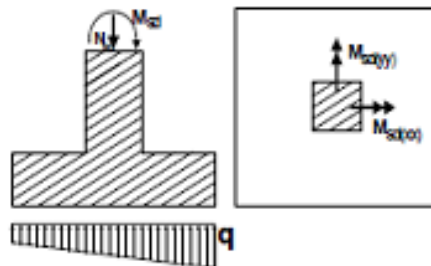
Συνδυασμός τυχαίων δράσεων : (EC7)  $\psi_2=0.30$

Συνδυασμός τυχαίων δράσεων : (EC2)  $\psi_2=0.30$

Έλεγχος οπλισμένου σκυροδέματος με (ΕΚΩΣ 2000)

1.3. Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους (EC7 ENV1997-1:1997, §6)

1.3.1. Φόρτιση 1.35xΜόνιμα + 1.50xΚινητά



Φορτία και ροπές σχεδιασμού

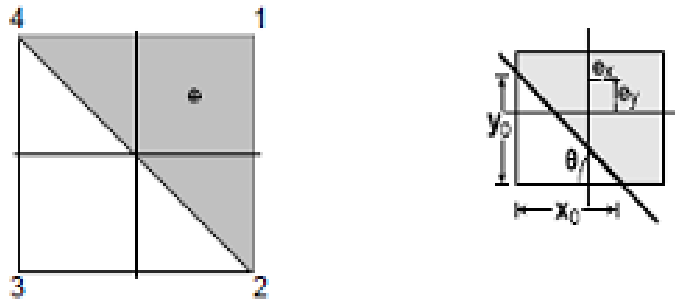
$$N_{sd} = 1.35 \times 2960.00 + 1.50 \times 0.00 = 3996.00 \text{ kN}$$

$$M_{sdxx} = 1.35 \times 7325.00 + 1.50 \times 0.00 = 9888.75 \text{ kNm}$$



$$M_{sdy} = 1.35 \times 7325.00 + 1.50 \times 0.00 = 9888.75 \text{ kNm}$$

Εκκεντρότητες, τάσεις εδάφους, επιφάνεια έδρασης



$$\text{Σχετική εκκεντρότητα } e_x/L_x = M_{yy}/(N \cdot L_x) = 0.247$$

$$\text{Σχετική εκκεντρότητα } e_y/L_y = M_{xx}/(N \cdot L_y) = 0.247$$

$$\text{Τάση εδάφους } \sigma_1 = 0.233 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Τάση εδάφους } \sigma_2 = 0.002 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Τάση εδάφους } \sigma_3 = 0.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Τάση εδάφους } \sigma_4 = 0.002 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ουδέτερη γραμμή } x_0=9.90\text{m}, y_0=9.90\text{m}, \theta=45^\circ$$

Ενεργή επιφάνεια έδρασης πέλδλου 51.49%

Έλεγχος αστοχίας λόγω υπέρβασης φέρουσας ικανότητας

$$\text{Σχετικές εκκεντρότητες φορτίου } e_x/L_x = M_{yy}/(N \cdot L_x) = 0.247, \\ e_y/L_y = M_{xx}/(N \cdot L_y) = 0.247$$

$$\text{Σχετικές εκκεντρότητες φορτίου } \leq 0.333$$

$$\text{Ενεργό μήκος σχεδιασμού πέλδλου } L' = 10.000 \times (1 - 2 \times 0.247) = 5.060\text{m}$$

$$\text{Ενεργό πλάτος σχεδιασμού πέλδλου } B' = 10.000 \times (1 - 2 \times 0.247) = 5.060\text{m}$$

$$\text{Ενεργή επιφάνεια σχεδιασμού πέλδλου } L' B' = 5.060 \times 5.060 = 25.60\text{m}^2$$

Φέρουσα ικανότητα θεμελίωσης:

$$R_d = 1000 \times 25.60 \times 0.200 / 1.00 = 5120.00 \text{ kN} > V_d = 3996.00 \text{ kN}$$

Ενεργή επιφάνεια πέλδλου 51.49% > 50.00%

#### 1.4. Εντατικά μεγέθη για διαστασιολόγηση οπλισμένου σκυροδέματος

Ροπές  $M$  και τέμνουσες  $V$ , στις παρειές υποστυλώματος  
 τέμνουσες  $V^A$  σε απόσταση  $d=1.048m$  από παρειά υποστυλώματος  
 (οι τιμές υπολογίζονται με αριθμητική ολοκλήρωση των εδαφικών τάσεων)

##### 1.4.1. Φόρτιση 1.35xΜόνιμα + 1.50xΚινητά

Φορτία και ροπές σχεδιασμού

$$\begin{aligned} N_{sd} &= 1.35 \times 2960.00 + 1.50 \times 0.00 = 3996.00 \text{ kN} \\ M_{sdxx} &= 1.35 \times 7325.00 + 1.50 \times 0.00 = 9888.75 \text{ kNm} \\ M_{sdy} &= 1.35 \times 7325.00 + 1.50 \times 0.00 = 9888.75 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Εκκεντρότητες, τάσεις εδάφους, επιφάνεια έδρασης

$$\text{Σχετική εκκεντρότητα } e_x/L_x = M_{yy}/(N \cdot L_x) = 0.247$$

$$\text{Σχετική εκκεντρότητα } e_y/L_y = M_{xx}/(N \cdot L_y) = 0.247$$

$$\text{Τάση εδάφους } q_1 = 0.233 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Τάση εδάφους } q_2 = 0.002 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Τάση εδάφους } q_3 = 0.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Τάση εδάφους } q_4 = 0.002 \text{ N/mm}^2$$

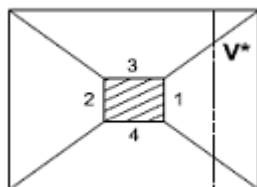
Τάση λόγω ίδιου βάρους+βάρους εδάφους

$$q_g = 0.001 \times 1.35 \times (2875.00 + 85.00) / 100.00 = 0.040 \text{ N/mm}^2$$

Τέμνουσα κρίσιμης περιοχής + (ίδιο βάρος+βάρους εδάφους)

$$q \cdot A_{cr} + q_g \cdot A = 3995.90 \text{ kN}$$

Εντατικά μεγέθη (καμπτικές ροπές, διατμητικές δυνάμεις)



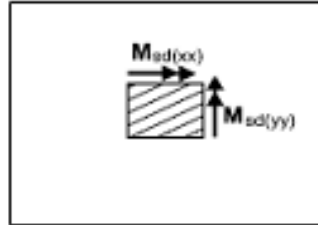
$$M_{yy}(1) = 5633.52 \text{ kNm}, \quad V(1) = 2028.17 \text{ kN}, \quad V^*(1) = 1807.40 \text{ kN}$$

$$M_{yy}(2) = 64.95 \text{ kNm}, \quad V(2) = 90.53 \text{ kN}, \quad V^*(2) = 24.99 \text{ kN}$$

$$M_{xx}(3) = 5633.54 \text{ kNm}, \quad V(3) = 2028.18 \text{ kN}, \quad V^*(3) = 1807.42 \text{ kN}$$

$$M_{xx}(4) = 64.95 \text{ kNm}, \quad V(4) = 90.53 \text{ kN} \quad V^*(4) = 24.99 \text{ kN}$$

### 1.5. Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης



Μέγιστες ροπές σχεδιασμού

$$M_{sd}(yy) = 5633.52 \text{ kNm}, \quad b = 10000\text{mm}, \quad d = 1048\text{mm}$$

$$M_{sd}(xx) = 5633.54 \text{ kNm}, \quad b = 10000\text{mm}, \quad d = 1048\text{mm}$$

$$M_{sd} = 5633.52 \text{ kNm}, \quad b = 10000\text{mm}, \quad d = 1048\text{mm}, \quad K_d=4.42, \quad x/d=0.06$$

$$e_c/e_s = 1.3/20.0, \quad k_s = 2.35, \quad A_s = 126.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } A_s \geq 0.0015bd \quad (A_s=18.08 \text{ cm}^2/\text{m}) \quad (\text{ΕΚΩΣ, §18.1.4.1})$$

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } \Phi 18/14.0 \quad (18.14 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$M_{sd} = 5633.54 \text{ kNm}, \quad b = 10000\text{mm}, \quad d = 1048\text{mm}, \quad K_d=4.42, \quad x/d=0.06$$

$$e_c/e_s = 1.3/20.0, \quad k_s = 2.35, \quad A_s = 126.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } A_s \geq 0.0015bd \quad (A_s=18.08 \text{ cm}^2/\text{m}) \quad (\text{ΕΚΩΣ, §18.1.4.1})$$

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός } \Phi 18/14.0 \quad (18.14 \text{ cm}^2/\text{m})$$

Οπλισμοί πέλδλου

$$\text{Οπλισμός κατά x-x διεύθυνση} : \quad \Phi 18/14.0 \quad (18.08 \text{ cm}^2/\text{m}), \quad 72\Phi 18 \quad (182.9 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Οπλισμός κατά y-y διεύθυνση} : \quad \Phi 18/14.0 \quad (18.08 \text{ cm}^2/\text{m}), \quad 72\Phi 18 \quad (182.9 \text{ cm}^2)$$

### 1.6. Διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης

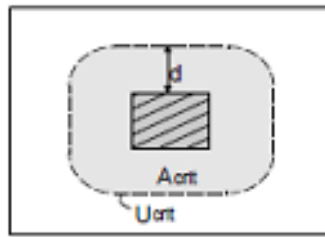
(ΕΚΩΣ 2000, §11)

Ο έλεγχος σε διάτμηση καλύπτεται από τον έλεγχο σε διάτρηση καθώς

Η κρίσιμη διατομή για έλεγχο διάτρησης είναι σε γωνία  $\beta=45^\circ$

1.7. Διαστασιολόγηση έναντι διάτρησης

(ΕΚΩΣ 2000, §13)



Πρόβολοι πέλδλου κατά x-x,  $L1=4.500 > d=1.048m$ ,  $L2=4.500 > d=1.048m$   
 Πρόβολοι πέλδλου κατά y-y,  $L1=4.500 > d=1.048m$ ,  $L2=4.500 > d=1.048m$

Κρίσιμη περίμετρος σε  $1.0d=1.048m < 1.5d$  (ΕΚΩΣ 2000, §13.2.1)

Θεωρούμε κρίσιμη επιφάνεια για κώνο διάτρησης υπό γωνία  $\theta=45^\circ$

$$U_{cr}=(1.000+1.000+1.000+1.000)+3.14 \times (1.048)=10.581m$$

Επιφάνεια πέλδλου περικλειόμενη από κρίσιμη περίμετρο

$$A_{rc}=1.000 \times 1.000+1.000 \times 2.096+1.000 \times 2.096+3.14 \times 1.048 \times 1.048=8.64m^2$$

Ελάχιστο ωφέλιμο ύψος πέλδλου στην κρίσιμη περίμετρο  $d_m=1048mm$

Δρώσα τέμνουσα στην κρίσιμη περίμετρο  $V_{sd}=N_{sd}-\sigma \cdot A_{cr}$ ,  $v_{sd}=V_{sd}x\beta/U_{cr}$

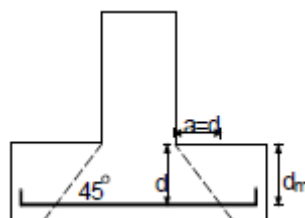
$$V_{sd}=(3996.00-3995.90) \times 1.50/10.58=0.01 \text{ kN/m}, \beta=1.50 \quad (\text{ΕΚΩΣ 2000, §13.3})$$

Εφελκυσμένος οπλισμός κρίσιμης περιοχής  $A_{sxx}=18.14cm^2/m$ ,  $A_{syy}=18.14cm^2/m$

$$A_{sl}^2=(A_{sxx})(A_{syy})=18.14 \times 18.14, A_{sl}=18.14cm^2$$

Τέμνουσα αντοχής χωρίς οπλισμό διάτμησης  $V_{rdl}$

(ΕΚΩΣ, §13.4.1)



$$V_{rdl}=\tau_{rd} \cdot k \cdot (1.2+40\rho_l) \cdot b_w \cdot d, \tau_{rd}=0.34 \text{ N/mm}^2, k=1.0$$

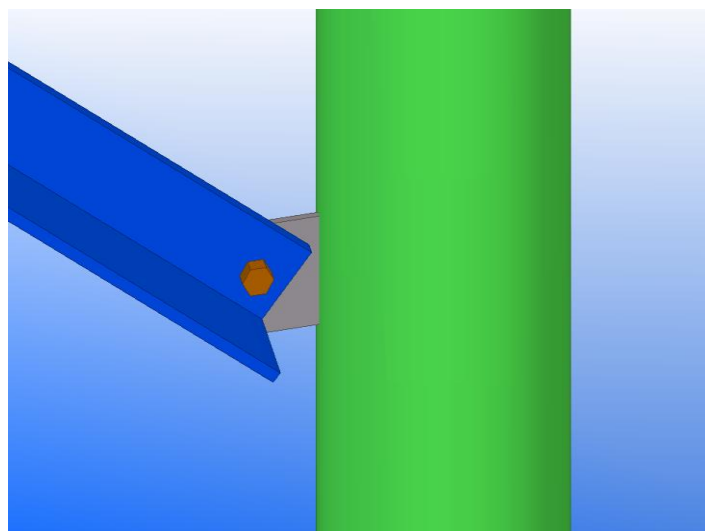
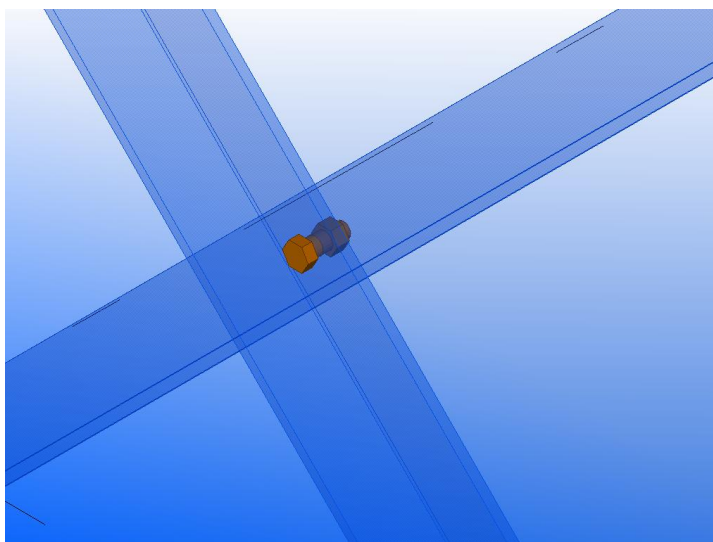
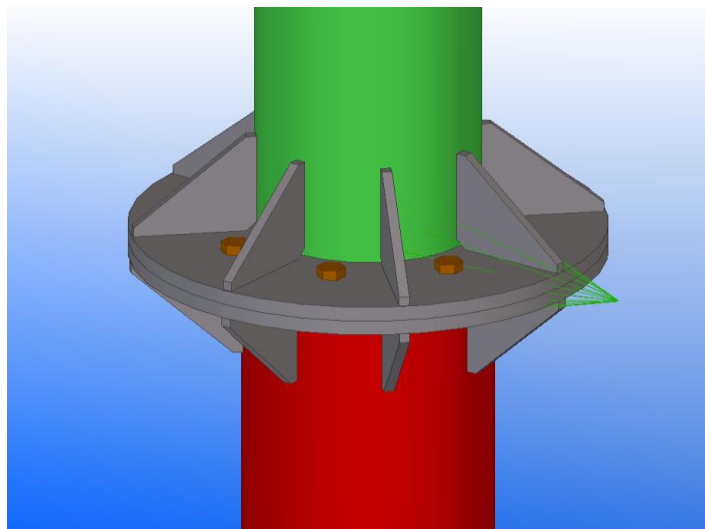
$$\rho_l=A_{sl}/(b_w \cdot d)=1814/(1000 \times 1048)=0.0017,$$

$$v_{rdl}=0.001 \times 0.34 \times 1.0(1.2+40 \times 0.0017) \times 1000 \times 1048=451.81 \text{ kN/m}$$

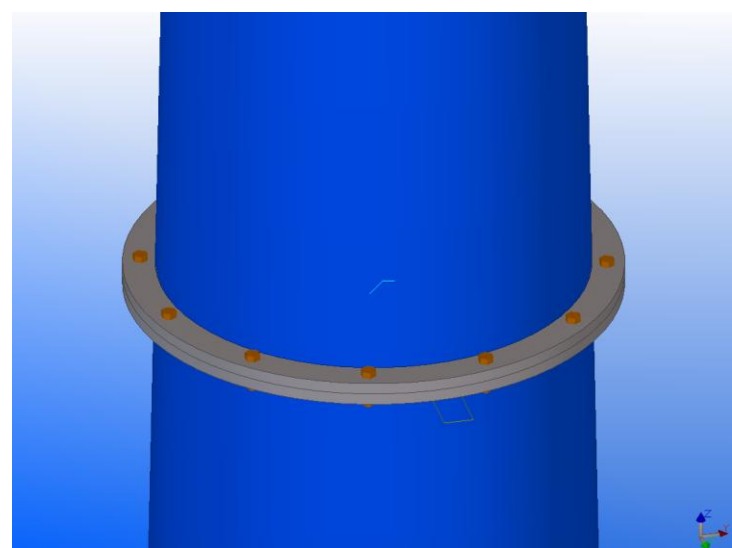
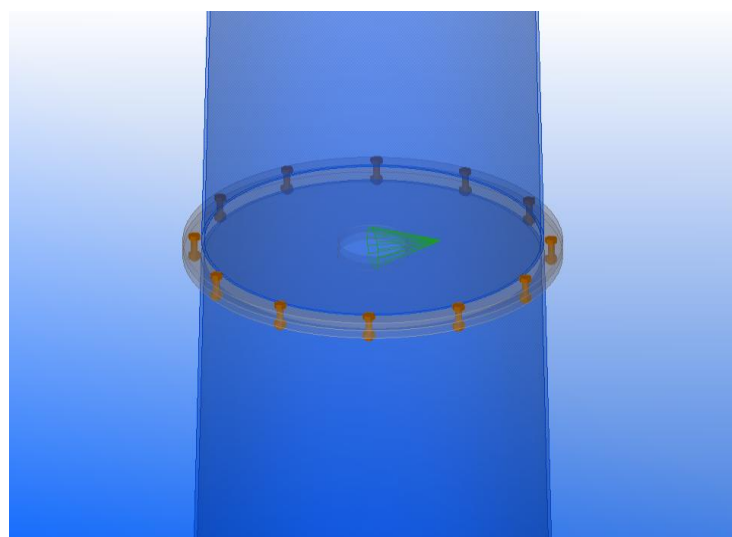
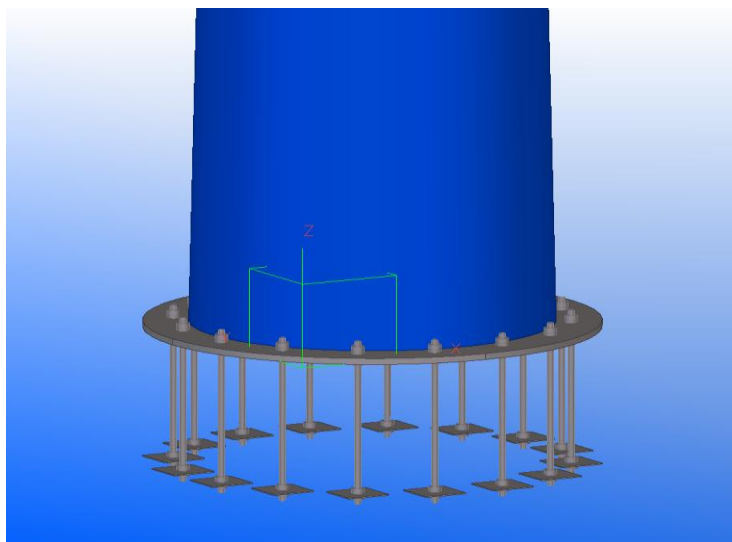
$V_{sd}=0.01 \text{ kN/m} \leq V_{rdl}=451.81 \text{ kN/m}$ , διάτμηση και διάτρηση OK



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΠΥΛΩΝΑΣ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ



### ΠΥΛΩΝΑΣ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: ΛΙΣΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΧΩΡΟΔΙΚΤΩΜΑΤΟΣ								
Διατομή	Ποιότητα	Ποσότητα	Μήκος [mm]	Συνολικό Μήκος	Βάρος [kg]	Συνολικό Βάρος	Επιφάνεια [m <sup>2</sup> ]	Συνολική Επιφάνεια
CHS219.1X10.0	S355	3	12016	36048	619,60	1858,90	8,27	24,80
Υποσύνολο, CHS219.1X10.0				36048		1858,10		24,81
CHS244.5X10.0	S355	3	11960	35881	692,00	2075,90	9,19	27,56
Υποσύνολο, CHS244.5X10.0				35881		2075,10		27,57
CHS323.9X10.0	S355	3	11983	35950	927,60	2782,90	12,20	36,60
Υποσύνολο, CHS323.9X10.0				35950		2782,10		36,61
L60*8	S355	6	1927	11562	13,70	82,20	0,45	2,70
L60*8	S355	6	2267	13602	16,10	96,60	0,53	3,18
L60*8	S355	6	2337	14022	16,60	99,60	0,54	3,24
L60*8	S355	6	2411	14466	17,10	102,60	0,56	3,36
L60*8	S355	6	2487	14922	17,60	105,60	0,58	3,48
L60*8	S355	6	2566	15396	18,20	109,20	0,60	3,60
L60*8	S355	6	2647	15882	18,80	112,80	0,62	3,72
Υποσύνολο, L60*8				99852		708,60		23,28
L70*9	S355	6	2731	16386	25,50	153,00	0,74	4,44
L70*9	S355	6	2816	16896	26,30	157,80	0,77	4,62
L70*9	S355	6	2904	17424	27,10	162,60	0,79	4,74
L70*9	S355	6	2993	17958	28,00	168,00	0,81	4,86
L70*9	S355	6	3084	18504	28,80	172,80	0,84	5,04
L70*9	S355	6	3176	19056	29,70	178,20	0,86	5,16
L70*9	S355	6	3269	19614	30,50	183,00	0,89	5,34
Υποσύνολο, L70*9				125838		1175,40		34,20
L80*10	S355	6	3363	20178	39,90	239,40	1,05	6,30
L80*10	S355	6	3459	20754	41,00	246,00	1,08	6,48
L80*10	S355	6	3556	21336	42,10	252,60	1,11	6,66
L80*10	S355	6	3653	21918	43,30	259,80	1,14	6,84
L80*10	S355	6	3751	22506	44,50	267,00	1,17	7,02
L80*10	S355	6	3850	23100	45,60	273,60	1,20	7,20
Υποσύνολο, L80*10				129792		1538,40		40,50
PD464*142	S355	12	16	192	18,00	215,40	0,23	2,75
Υποσύνολο, PD464*142				192		215,40		2,75
PL10*70	S355	24	110	2628	0,30	8,00	0,01	0,28
Υποσύνολο, PL10*70				2628		8,00		0,28
PL10*100	S355	240	100	24000	0,80	192,00	0,02	4,80
Υποσύνολο, PL10*100				24000		192,00		4,80
PL10*109	S355	72	109	7884	0,50	36,70	0,02	1,20
Υποσύνολο, PL10*109				7884		36,70		1,20
PL25*532	S355	1	532	532	28,00	28,00	0,35	0,35
Υποσύνολο, PL25*532				532		28,00		0,35



PL10*100	S355	24	88	2112	0,30	7,20	0,01	0,24
Υποσύνολο, PL10*100				2112		7,20		0,24
PL30*500	S355	3	500	1500	45,70	137,10	0,44	1,32
Υποσύνολο, PL30*500	S355			1500		137,10		1,32
D20	S355	24	1315	31560	2,90	69,60	0,08	1,92
Υποσύνολο, D20	S355			31560		69,60		1,92
Σύνολο:						10831,70		199,83

ΛΙΣΤΑ ΚΟΧΛΙΩΝ ΧΩΡΟΔΙΚΤΩΜΑΤΟΣ				
Πρότυπο	Site/Shop		Τάξη	Ποσότητα
931-8.8	Site	BOLT M16	10,9	316
931-8.8	Site	ANCHOR RODS M22	10,9	24

ΛΙΣΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ								
Διατομή	Ποιότητα	Ποσότητα	Μήκος [mm]	Συνολικό Μήκος	Βάρος [kg]	Συνολικό Βάρος	Επιφάνεια [m <sup>2</sup> ]	Συνολική Επιφάνεια
TUBE2400*1933,33*16	S355	1	11910	11910	10097,60	10097,60	81,11	81,11
Υποσύνολο, TUBE2400*1933,33*16				11910		10097,60		81,11
TUBE1933,33*1466,66*14	S355	1	11920	11920	6931,20	6931,20	63,66	63,66
Υποσύνολο, TUBE1933,33*1466,66*14				11920		6931,20		63,66
TUBE1466,66*1000*12	S355	1	11960	11960	4313,90	4313,90	46,28	46,28
Υποσύνολο, 1466,66*1000*12				11960		4313,90		46,28
PL50*3000	S355	1	3000	3000	2767,70	2767,70	14,57	14,57
Υποσύνολο, PL50*3000				3000		2767,70		14,57
PL25*532	S355	1	532	532	28,00	28,00	0,35	0,35
Υποσύνολο, PL25*535				532		28,00		0,35
PD2270*985	S355	2	40	80	1247,20	2494,30	7,30	14,60
Υποσύνολο, PD2270*985				80		2494,30		14,60
PD1625*662,5	S355	2	40	80	628,10	1256,30	3,58	7,16
Υποσύνολο, PD1625*662,5				80		1256,30		7,16
PL300*8	S355	16	300	4800	5,70	90,40	0,19	3,03
Υποσύνολο, PL300*8				4800		90,40		3,03
D42	S355	16	1358	21728	14,00	224,30	0,18	2,91
Υποσύνολο, D42				21728		224,30		2,91
Σύνολο:						28203,70		233,67

ΛΙΣΤΑ ΚΟΧΛΙΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ				
Πρότυπο	Site/Shop		Τάξη	Ποσότητα
931-8.8	Site	BOLT M30	10,9	12
931-8.9	Site	BOLT M36	10,9	16
931-8.8	Site	ANCHOR RODS M42	10,9	16

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ



### MODEL: P10-20 WIND TURBINE TECHNICAL SPECIFICATIONS

#### GENERAL

Type	Horizontal Axis, Upwind
Rated power	20kW
Model	P10-20
Design Class	IEC SWT CLASS II
Design Standard	IEC 61400-2
Cut-in Speed	2.5m/s (5.6 mph)
Rated Speed	10.0m/s (22.37 mph)
Cut-out Speed	25m/s (55.9 mph)

#### DESIGN CLASS

IEC CLASS II STANDARD	Air density 1.225kg/m <sup>3</sup> average annual wind below 8.5m/s, 50 yr peak gust below 59.9 m/s
-----------------------	---

#### PITCH SYSTEM

Type	Fixed Pitch
Drive	Not Applicable

#### HUB

Type	High Strength Aluminum Alloy
------	------------------------------

#### MACHINE FRAME

Type	Steel
------	-------

#### GENERATOR

Type	Permanent Magnet
Rated Power	20kW, 3 Phase
Voltage	460VAC
Cooling	Air Cooled

#### POWER INVERTER

Type	Variable Frequency Drive
------	--------------------------

#### POWER CONVERTER

Type	DC/AC
Type	Pulse-width modulated IGBT frequency converter
Voltage	230VAC - (1) or 240/460VAC - (3)
Frequency/Phase	60Hz or 50Hz/ (1) or (3)

#### ENVIROMENTAL LIMITS

Survival Wind Speed	59 m/s (132 mph)
---------------------	------------------

#### LIGHTNING PROTECTION

Standard	Surge Suppression on Generator
----------	--------------------------------

#### ROTOR

Diameter	10m (32.8ft)
Material	Fiberglass/Resin
Operation RPM	100 RPM

#### DRIVE TRAIN

Type	Direct Drive
------	--------------

#### SPEED REGULATION

Generator	Torque Control from Drive
-----------	---------------------------

#### BRAKING SYSTEMS

Emergency Back Up Speed Reg	Regenerative Brake
Loss-Grid Power/DC Buss overvo	Dynamic Resistive Brake
Emergency Shutdown/ Parking	Dual Caliper Disc Brake

#### CONTROLLER

Processor	PLC
User Interface	HMI
Communications	Ethernet
Monitoring System	Web Based

#### TOWER

Type	Tubular
Hub Height	21.3m 30m 36.6m (70ft) (100ft) (120ft)
Number of Sections	2 2 3

#### TEMPERATURE CONDITIONS

Standard Operation	-10°C to 40°C (14°F to 104°F)
Extreme Temperature Range	-25°C to 50°C (-13°F to 122°F)

#### WEIGHT

Nacelle	1,804kg (4,050lbs)
---------	--------------------

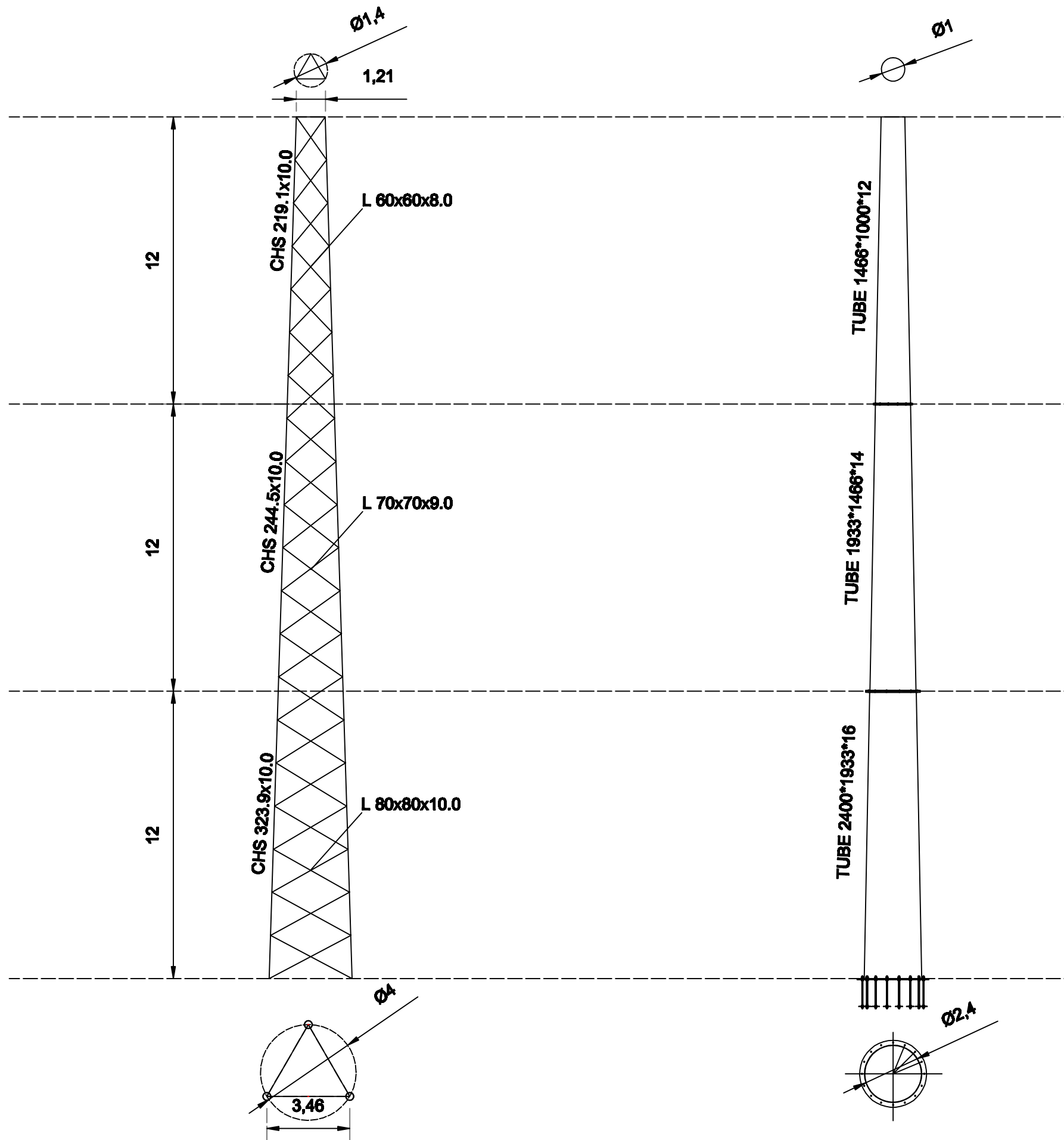
#### NOISE PERFORMANCE

Apparent Noise Level	50-55 db at 30m (100ft)
----------------------	-------------------------

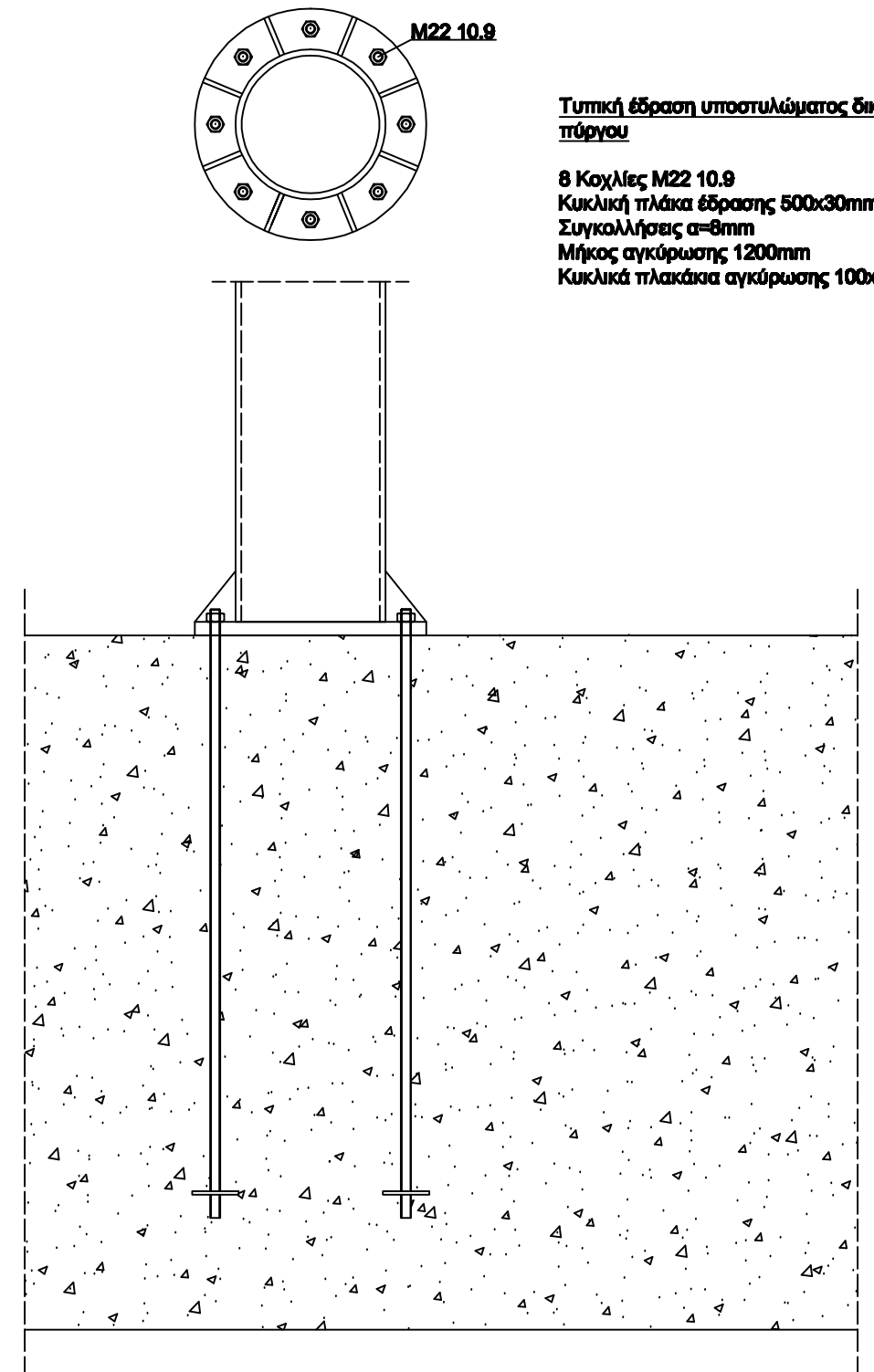
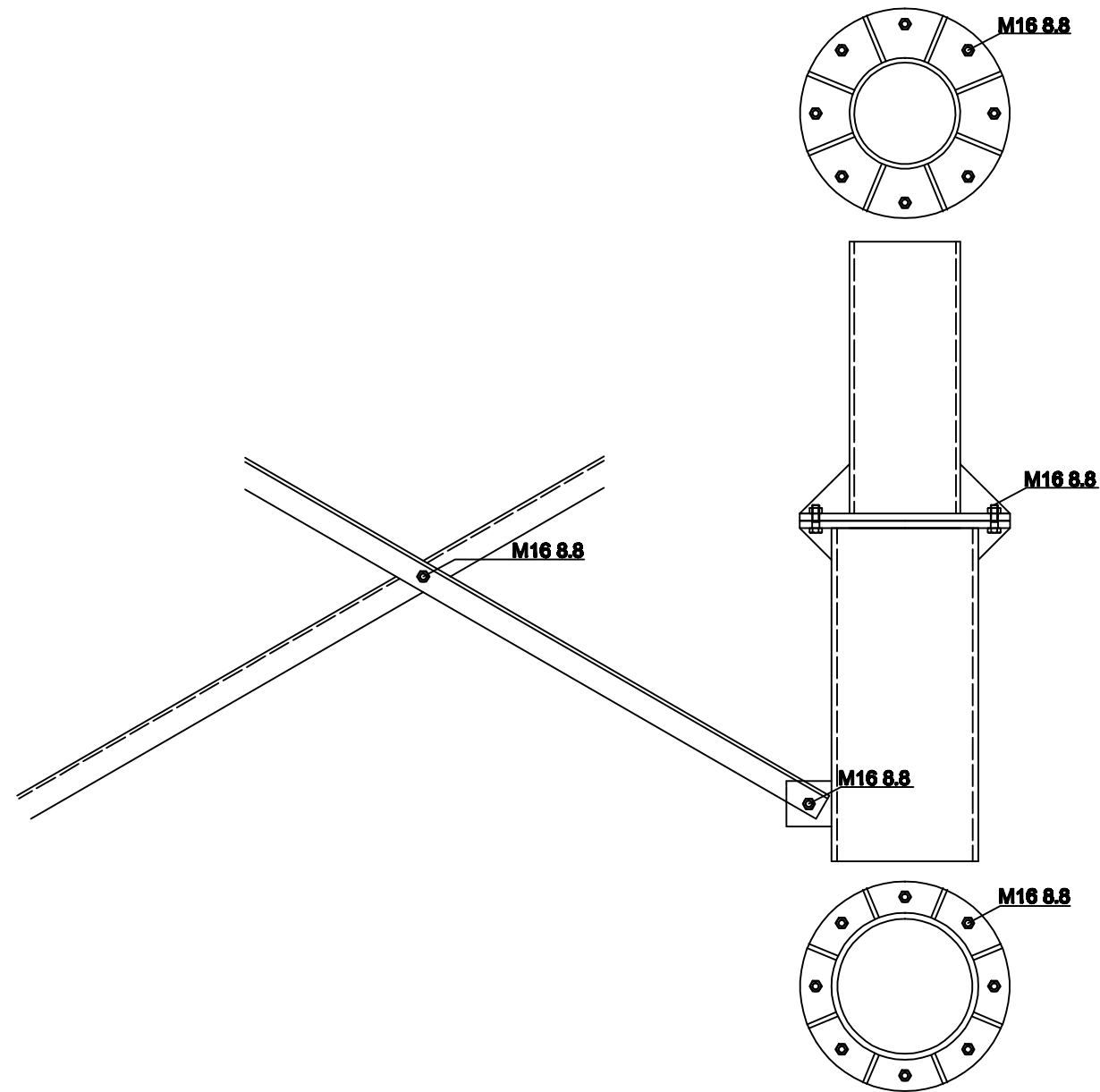
#### YAW SYSTEM

Type	Active
Drive	AC
Brake	Electric
Yaw Bearing	Ball Bearing

8800 Lyra Drive  
 Columbus, OH 43240 USA  
 1.614.540.1710  
[www.polarisamerica.com](http://www.polarisamerica.com)



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ		
Μάθημα Εργαστήριο Στοιχείων	Τμήμα Μηχανολογίας	
Σχόλιο Εργαστήριο Στοιχείων	Πτυχιακή άσκηση: Υπολογισμοί και συγκριτική μελέτη διαφορετικού τύπου πυλώνων ανεμογεννήτριας 20kW	
Επιβλέπων καθηγητής Κωνσταντίνος Κωνσταντίνος		
Γενική διάταξη πυλώνων ανεμογεννήτριας	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ
	13/08/12	1

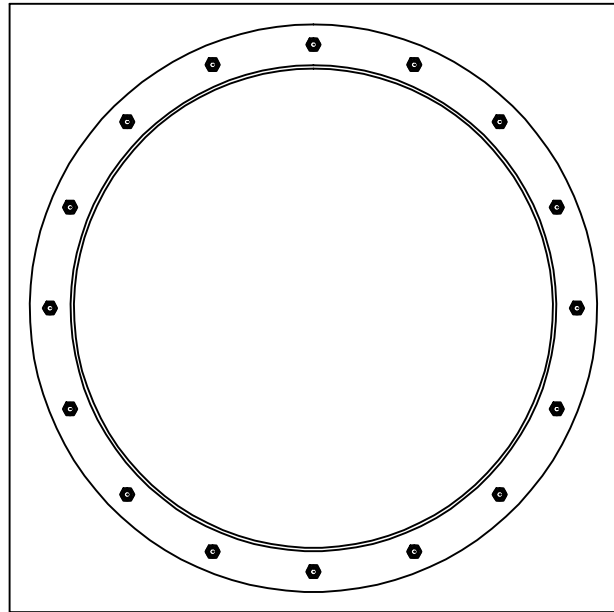


Τυπική έδραση υποστυλώματος δικτυωτού πύργου

8 Κοχλίες M22 10.9  
 Κυκλική πλάκα έδρασης 500x30mm  
 Συγκολλήσεις α=8mm  
 Μήκος αγκύρωσης 1200mm  
 Κυκλικά πλακάκια αγκύρωσης 100x8mm

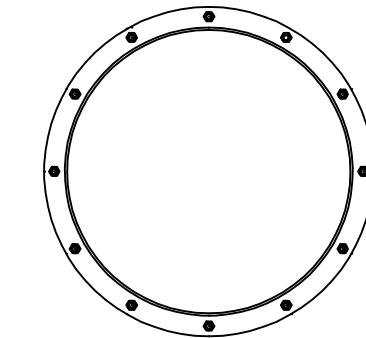
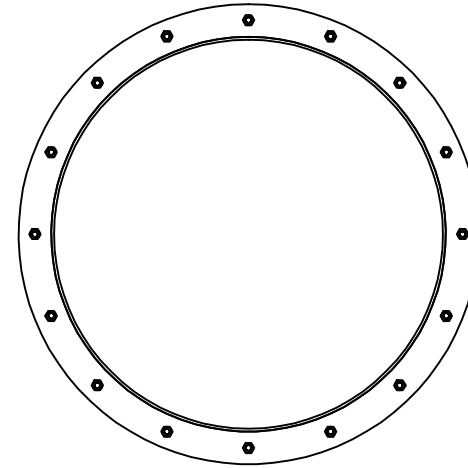
**Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ**

Μάτση Εργασίας Στεμνίας	Τμήμα Μηχανολογίας		
Σχέδιο Εργασίας Στεμνίας	Πτυχιακή άσκηση: Υπολογισμοί και συγκριτική μελέτη διαφορετικού τύπου κυλόνων ανεμογεννήτριας 20kW		
Επιβλέπων καθηγητής Κωνσταντίνος Κωνσταντίνος			
Συνδέσεις πύργου προδικτυώματος ανεμογεννήτριας	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΚΑΙΜΑΚΑ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ
	13/08/12		2



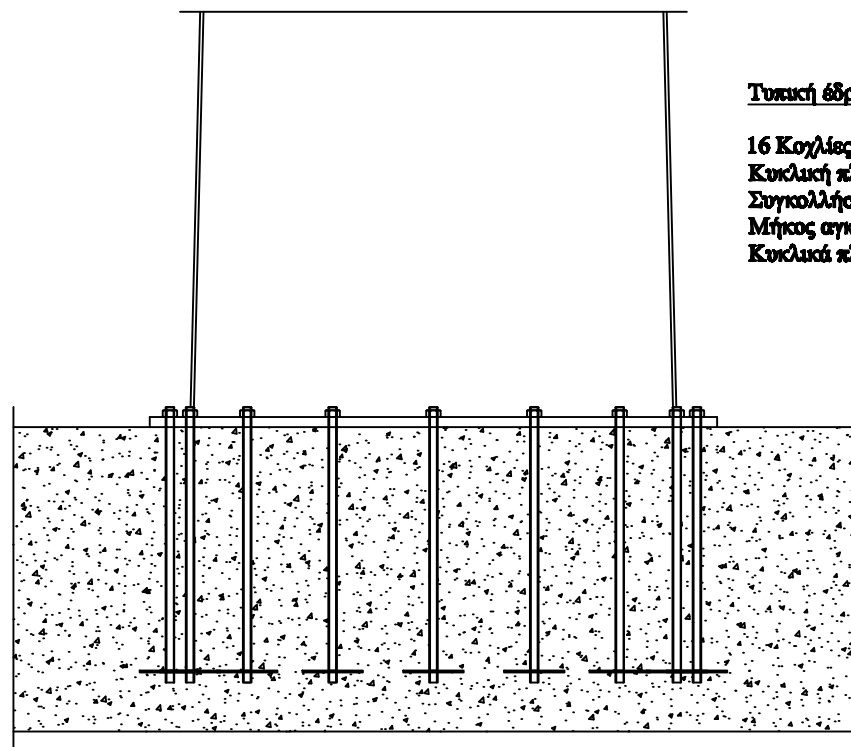
Αποκατάσταση υποστυλώματος ολόσωμου πύργου στάθμη +12.00m

16 Κοχλίες M36 10.9  
Κυκλική πλάκα αποκατάστασης 2270x40mm  
Συγκολλήσεις πλήρους διεύθυνσης



Αποκατάσταση υποστυλώματος ολόσωμου πύργου στάθμη +24.00m

12 Κοχλίες M30 10.9  
Κυκλική πλάκα αποκατάστασης 1625x40mm  
Συγκολλήσεις πλήρους διεύθυνσης



Τυπική έδραση υποστυλώματος ολόσωμου πύργου

16 Κοχλίες M42 10.9  
Κυκλική πλάκα έδρασης 2400x50mm  
Συγκολλήσεις πλήρους διεύθυνσης  
Μήκος αγκύρωσης 1200mm  
Κυκλικά πλακάκια αγκύρωσης 300x8mm

## Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ

Μελέτη Επιχειρησιακής Σταμίας	Τμήμα Μηχανολογίας	
Σχέδιο Επιχειρησιακής Σταμίας	Πτυχιακή άσκηση: Υπολογισμοί και συγκριτική μελέτη διαφορετικού τύπου πυλώνων ανεμογεννήτριας 20kW	
Επιβλέπων καθηγητής Κωνταξάκης Κωνσταντίνος		
Συνδέσεις ολόσωμου πύργου ανεμογεννήτριας	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΚΛΙΜΑΚΑ
	25/09/12	
	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ	3