ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Κωνσταντίνα Κουλάτσου

Υποψήφια Διδάκτορας ΕΜΠ Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ Αθήνα, Ελλάδα e-mail: konkoulatsou@gmail.com

Ξενοφών Λιγνός Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ Αθήνα – Ελλάδα e-mail: <u>lignosx@central.ntua.gr</u> Ελένη Κοσμίδου Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ Αθήνα – Ελλάδα e-mail: <u>elenakosmidou@hotmail.com</u>

Χάρης Ι. Γαντές

Καθηγητής ΕΜΠ Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ Αθήνα – Ελλάδα e-mail: <u>chgantes@central.ntua.gr</u>

1. ПЕРІЛНΨН

Η συνηθέστερη μορφή πυλώνων ανεμογεννητριών αποτελείται από τμήματα χαλύβδινων κυλινδρικών ή κωλουροκωνικών κελυφών στα οποία συγκολλούνται δακτυλιοειδή πέλματα που στη συνέχεια κοχλιώνονται μεταξύ τους με προεντεταμένους κοχλίες. Στο παρόν άρθρο εξετάζεται η συμπεριφορά τέτοιων συνδέσεων υπό στατική φόρτιση μέσω πειραματικών δοκιμών. Παρουσιάζονται ο σχεδιασμός και τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται αποτελούνται από ένα τμήμα του κελύφους του πυλώνα και από το αντίστοιχο τμήμα της δακτυλιοειδούς φλάντζας που αντιστοιχεί σε έναν κοχλία. Δύο τμήματα φλάντζας και κελύφους πυλώνα κοχλιώνονται μεταξύ τους με τον αντίστοιχο κοχλία και διαμορφώνουν ένα δοκίμιο, το οποίο υποβάλλεται σε στατική εφελκυστική φόρτιση. Η συγκόλληση μεταξύ φλάντζας και κελύφους πυλώνα διαμορφώνεται με διάφορους τύπους εσωραφών και εξωραφών, ενώ πραγματοποιούνται επίσης παραμετρικές δοκιμές για το πάχος του πυλώνα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λαμβάνοντας υπόψη τη ραγδαία αύξηση της ζήτησης ενέργειας και κατ' επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο σχεδιασμός των ανεμογεννητριών και η βελτιστοποίησή τους γίνονται με την πάροδο του χρόνου συνεχώς πιο αναγκαίοι και απαιτητικοί.

Η συνηθέστερη μορφή πυλώνων ανεμογεννητριών αποτελείται από χαλύβδινα κυλινδρικά ή κολουροκωνικά κελύφη, των οποίων η κατασκευή επιτυγχάνεται (i) καμπυλώνοντας επίπεδα ελάσματα με ψυχρή έλαση ώστε να αποκτήσουν το επιθυμητό κυλινδρικό σχήμα, (ii) συγκολλώντας την κοινή ακμή ώστε να δημιουργηθεί ένα κλειστό κέλυφος, (iii) συγκολλώντας διαδοχικά κελυφωτά τμήματα μεταξύ τους ώστε να δημιουργηθούν κελύφη επιθυμητού μήκους, με κριτήριο τη δυνατότητα μεταφοράς και ανέγερσής τους και (iv) κοχλιώνοντας αυτά τα τμήματα μεταξύ τους μέσω δακτυλιοειδών πελμάτων (Σχ. 1) με προεντεταμένους κοχλίες. Η κύρια καταπόνηση των πυλώνων αυτών είναι καμπτική, λόγω των δράσεων του ανέμου. Σε μια προσπάθεια ανταπόκρισης στην αυξημένη ζήτηση ενέργειας, το ύψος των πυλώνων και τα μήκη των πτερυγίων των ανεμογεννητριών συνεχώς αυξάνονται προκειμένου να αξιοποιηθεί καλύτερα το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, με αποτέλεσμα την αύξηση του φορτίου του ανέμου και των αναπτυσσόμενων ροπών. Λαμβάνοντας υπόψη και την ανακυκλιζόμενη φύση των ανεμοπιέσεων, ένας κύριος μηχανισμός αστοχίας τέτοιων πυλώνων είναι η κόπωση των συνδέσεων.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η συμπεριφορά μιας τέτοιας σύνδεσης μέσω δοκιμίων υπό κλίμακα που υποβάλλονται σε πειράματα στατικής φόρτισης προκειμένου να καθοριστεί η αντοχή τους. Τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτό το άρθρο αντιπροσωπεύουν το πρώτο μέρος από μια σειρά πειραμάτων που έχουν σκοπό τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των συνδέσεων των πυλώνων των ανεμογεννητριών υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και κατ'επέκταση τη συμπεριφορά τους έναντι κόπωσης.



Σχ. 1: Κελύφη πυλώνα και πέλματα αποκατάστασης συνέχειας πυλώνα ανεμογεννητριών

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Τα δοκιμία που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα υπό στατική φόρτιση αλλά και αυτά που θα χρησιμοποιηθούν στα πειράματα ανακυκλιζόμενης φόρτισης αποτελούν ένα τμήμα της κοχλιωτής σύνδεσης που περιλαμβάνει έναν κοχλία και το τμήμα που του αντιστοιχεί από τα διακτυλιοειδή πέλματα και το έλασμα του πυλώνα (Σχ. 2).



Σχ. 2: Τμήμα κοχλιωτής σύνδεσης προς δοκιμή

Οι διαστάσεις των δοκιμίων προέκυψαν υπό κλίμακα από μια πραγματική κοχλιωτή σύνδεση πυλώνα ανεμογεννήτριας, έτσι ώστε στις δοκιμές ανακυκλιζόμενης φόρτισης, η συγκόλληση ή ο κοχλίας να αστοχήσει από κόπωση προκειμένου να διερευνηθεί τελικά η

συμπεριφορά της σύνδεσης έναντι κόπωσης. Το τμήμα της κοχλιωτής σύνδεσης προς δοκιμή (Σχ. 3) αποτελείται από πέλματα πάχους 45mm, πλάτους 100mm και μήκους 80mm. Το έλασμα του πυλώνα έχει πάχος 6mm και χρησιμοποιήθηκε προεντεταμένος κοχλίας M20 ποιότητας 10.9. Ο χάλυβας είναι ποιότητας S235 και ο κοχλίας προεντάθηκε στα 600Nm.



Σχ. 3: Διαστάσεις τμήματος κοχλιωτής σύνδεσης προς δοκιμή



Σχ. 4: Πειραματική διάταξη

Για τη στήριξη των δοκιμίων διαμορφώθηκε μια διάταξη (Σχ. 4) στην οποία το άνω τμήμα των δοκιμίων είναι συνδεδεμένο σε μια παχιά πλάκα μέσω διπλών ελασμάτων και 4 προεντεταμένων κοχλιών M20 8.8 (ροπή προέντασης 300Nm) ώστε να θεωρείται ακλόνητο, ενώ το κάτω τμήμα είναι συνδεδεμένο με τα αντίστοιχα ελάσματα στο έμβολο. Το άνω και το κάτω μέρος της διάταξης συνδέονται μεταξύ τους με ντίζες διαμέτρου Ø33, οι οποίες είναι πυκνά εξασφαλισμένες για την αποφυγή λυγισμού κατά τη διάρκεια επιβολής της δύναμης. Για τη διαμόρφωση της σύνδεσης του δοκιμίου με το έμβολο και με την άνω πλάκα, το έλασμα του πυλώνα διευρύνθηκε ομαλά προκειμένου να διαμορφωθεί χώρος για τη σύνδεση αλλά και για να ομαλοποιηθεί η μεταφορά των τάσεων (Σχ. 5). Το συνολικό ύψος της πειραματικής διάταξης πάνω από το έμβολο είναι περίπου 1m, το συνολικό ύψος κάθε τμήματος του δοκιμίου μαζί με τη διεύρυνση είναι 435mm ενώ η διεύρυνση ξεκινά 120mm πάνω από τη φλάνζτα. Το πλάτος των τμημάτων αυτών από 80mm διευρύνεται στα 160mm.

Στα πειράματα στατικής φόρτισης, προκειμένου να προσδιοριστεί η αντοχή των δοκιμίων, τα δοκίμια υποβάλλονται σε εφελκυσμό μέχρι να αστοχήσει η συγκόλληση, ο κοχλίας ή το έλασμα.



Σχ. 5: Διαστάσεις πειραματικού δοκιμίου

Για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς της σύνδεσης, κατασκευάστηκαν πολλαπλά δοκίμια με τους διάφορους τύπους συγκόλλησης μεταξύ πέλματος και ελάσματος πυλώνα, όπως φαίνεται στο Σχ. 6. Οι διαφορετικοί τρόποι συγκόλλησης περιλαμβάνουν απλή εσωραφή (Σχ. 6-α), απλή εσωραφή με ορισμένες επιφάνειες επαφής (Σχ. 6-β), εσωραφή με προέκταση του ελάσματος του πέλματος (Σχ. 6-δ), διπλή εξωραφή (Σχ. 6-δ) και εξωραφή με προεξοχή του πέλματος (Σχ. 6-ε).



Σχ. 6: Διαφορετικοί τύποι δοκιμίων με βάση τον τρόπο συγκόλλησης (α) απλή εσωραφή (β) απλή εσωραφή με ορισμένες επιφάνειες επαφής (γ) εσωραφή με προέκταση πέλματος (δ) διπλή εξωραφή (ε) εξωραφή με προεξοχή πέλματος

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές δοκιμές που αφορούν

- το πάχος του πέλματος (45mm, 40mm, 35mm, 30mm και 25mm)
- τη διάμετρο του κοχλία (M20/10.9 και M16/10.9) και
- τη θέση του κοχλία σε σχέση με το έλασμα του πυλώνα (στο κέντρο του πέλματος και πιο κοντά στο έλασμα του πυλώνα).

Τα συνολικά δοκίμα που υποβλήκαν σε εφελκυσμό για την εύρευση της αντοχής τους σε εφελκυσμό παρουσιάζονται στον Πίν. 1. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συνηθέστερη μορφή συγκόλλησης στις ανεμογεννήτριες είναι η εσωραφή με την προέκταση του πέλματος (Σχ. 6-γ) και για το λόγο αυτό, τα περισσότερα παραμετρικά δοκίμια αφορούν αυτόν τον τρόπο συγκόλλησης.

Δοκίμιο	Τύπος συγκόλλησης	Κοχλίας	Πάχος πέλματος
A1	εσωραφή με προέκταση πέλματος	M20	45mm
B1	εξωραφή με πρεξοχή πέλματος	M20	45mm
C1	διπλή εξωραφή	M20	45mm
D1	εσωραφή με προέκταση πέλματος	M20	25mm
E1	απλή εσωραφή	M20	45mm
F1	απλή εσωραφή με ορισμένες επιφάνειες επαφής	M20	45mm
G1	εσωραφή με προέκταση πέλματος, αλλαγή θέσης κοχλία	M20	45mm
H1	εσωραφή με προέκταση πέλματος	M20	30mm
J1	εσωραφή με προέκταση πέλματος	M16	45mm
K1	εσωραφή με προέκταση πέλματος	M20	40mm
L1	εσωραφή με προέκταση πέλματος	M20	35mm

Πίν. 1: Πειραματικά δοκίμια στατικής φόρτισης

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για την καταγραφή των μετρήσεων των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο μετρητές τάσεων (strain gauges), οι οποίοι τοποθετήθηκαν στο εμπρός (SG08) και πίσω μέρος (SG09) του ελάσματος του πυλώνα του άνω τμήματος του δοκιμίου, 80mm πάνω από το πέλμα (Σχ. 7). Η τοποθέτηση των δύο μετρητών τάσεων στο ίδιο ύψος αλλά στις διαφορετικές παρειές του ελάσματος κρίθηκε σκόπιμο να γίνει έτσι ώστε να αποτυπωθεί κατά πόσο στο δοκίμιο επιβάλλεται και στροφή λόγω κάμψης. Για την καταγραφή των μετακινήσεων, τοποθετήθηκαν δύο επιμηκυνσιόμετρα, ένα στο πίσω μέρος του πέλματος (DT01), το οποίο αποτυπώνει το άνοιγμα μεταξύ των δύο πελμάτων, και ένα στο άνω τμήμα τμήμα του δοκιμίου, 100mm πάνω από το πέλμα, το οποίο αποτυπώνει τη μετακίνηση του ενός τμήματος του δοκιμίου σε σχέση με το άλλο.

Αρχικά παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα πειραματικά αποτελέσματα για το δοκίμιο A1 (εσωραφή με προέκταση του πέλματος), έτσι ώστε να περιγραφούν οι μετρήσεις των πειραμάτων και στη συνέχεια, παρουσιάζονται σε συγκεντρωτικά διαγράμματα τα αποτελέσματα όλων των δοκιμίων έτσι ώστε να εφικτή και η σύγκρισή τους.

4.1 Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμίου Α1

Στο Σχ. 8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα φορτίου – μετακινήσεων για τις μετακινήσεις που καταγράφηκαν από τα επιμηκυνσιόμετρα DT01 και DT02. Κατά τη δοκιμή A1, περί το φορτίο των 90kN, η εσωραφή στην προέκταση του πέλματος αστόχησε και το άνω τμήμα του δοκιμίου κόπηκε στα δύο (Σχ.10). Η αστοχία αποτυπώνεται κυρίως από το διάγραμμα φορτίου – μετακίνησης DT01, το οποίο παρουσιάζει το «άνοιγμα» των δύο πελμάτων. Περί το φορτίο των 90kN, το διάγραμμα επιστρέφει προς μικρότερες μετακινήσεις καθώς η συγκόλληση αστοχεί και τα πέλματα αρχίζουν να κλείνουν. Το διάγραμμα φορτίου – μετακίνησης DT02 δεν επηρεάζεται τόσο από την αστοχία της συγκόλλησης, καθώς αποτυπώνει τη μετακίνηση του ενός τμήματος του δοκιμίου σε σχέση με το άλλο, τα οποία συγκρατούνται πάνω και κάτω.







Στο Σχ. 9 παρουσιάζονται τα διαγράμματα φορτίου – παραμορφώσεων για τις παραμορφώσεις που καταγράφηκαν από τους μετρητές SG08 και SG09. Οι ανοδικοί κλάδοι των δύο διαγραμμάτων αποκλίνουν μεταξύ τους, το οποίο υποδεικνύει ότι το δοκίμιο στρίβει παρόλο που αποτελείται από τα παχύτερα πέλματα και θα περιμέναμε να μην έχει μεγάλη στροφή. Η στροφή αυτή θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως η στροφή του ελάσματος του πυλώνα καθώς η συγκόλληση άνοιγε σταδιακά μέχρι την αστοχία.



Σχ. 10: Αστοχία συγκόλλησης εσωραφής στην προέκταση του πέλματος στο δοκίμιο Α1

4.2 Συγκεντρωτικά πειραματικά αποτελέσματα

Αρχικά παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα για τα δοκίμια με εσωραφή με προέκταση του πέλματος για διαφορετικά πάχη πελμάτων (Σχ. 11 και Σχ. 12). Για λόγους συντομίας παρουσιάζονται μόνο οι μετακινήσεις DT01 – άνοιγμα μεταξύ των πελμάτων – και οι παραμορφώσεις SG08 – παραμορφώσεις στο μπροστά μέρος του δοκιμίου. Όπως ήταν ανεναμενόμενο, τα δοκίμια με τα μεγαλύτερα πάχη πέλματος άντεξαν μεγαλύτερο φορτίο, με εξαίρεση το δοκίμιο A1, το οποίο, όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.1, αστόχησε στη συγκόλληση.

Επίσης από τις δοκιμές με τα διάφορα πάχη πελμάτων προέκυψε ότι τα δοκίμια με το μικρότερο πάχος έχουν μεγαλύτερη στροφή, δηλαδή μικρότερη δυσκαμψία, όπως φαίνεται στο Σχ. 13.



Σχ. 11: Διάγραμμα φορτίου – μετακίνησης δοκιμίων εσωραφής προέκτασης πέλματος





Σχ. 12: Διάγραμμα φορτίου – παραμορφώσεων δοκιμίων εσωραφής προέκτασης πέλματος



Σχ. 13: Παραμόρφωση δοκιμίου (α) Κ1 με πάχος πέλματος 40mm και (β) D1 με πάχος πέλματος 25mm

Στο Σχ. 14 και στο Σχ. 15 παρουσιάζονται τα διαγράμματα φορτίου – μετακίνησης και φορτίου – παραμόρφωσης αντίστοιχα για τα δοκίμια των εξωραφών. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το δοκίμιο με την εξωραφή στην προεξοχή της φλάντζας έχει μεγαλύτερο οριακό φορτίο.

Στο Σχ. 16 και στο Σχ. 17 παρουσιάζονται τα διαγράμματα φορτίου – μετακίνησης και φορτίου – παραμόρφωσης αντίστοιχα για τα δοκίμια εσωραφών με πάχος φλάντζας 45mm αλλά με διαφορετικές παραμέτρους όσον αφορά τη θέση της εσωραφής, τη θέση του κοχλία, τη διάμετρο του κοχλία και τις επιφάνειες επαφής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο δοκίμιο J1 με τον κοχλία M16, η οπή για τον κοχλία ήταν Ø16 αντί για Ø18 και τελικά αστόχησε – έσπασε ο κοχλίας. Επίσης, στο δοκίμιο F1 με τη διπλή εσωραφή και τις ορισμένες επιφάνειες επαφής, αστόχησε η συγκόλληση, όπως ακριβώς και με το δοκίμιο A1.



Σχ. 14: Διάγραμμα φορτίου – μετακίνησης δοκιμίων εξωραφής



Σχ. 16: Διάγραμμα φορτίου – μετακίνησης δοκιμίων εσωραφής διαφορετικών παραμέτρων



Σχ. 15: Διάγραμμα φορτίου – παραμορφώσεων δοκιμίων εξωραφής



Σχ. 17: Διάγραμμα φορτίου – παραμορφώσεων δοκιμίων εσωραφής διαφορετικών παραμέτρων

Τέλος, στο Σχ. 18 και στο Σχ. 19 παρουσιάζονται τα διαγράμματα φορτίου – μετακίνησης και φορτίου – παραμόρφωσης αντίστοιχα για δοκίμια εξωραφής και εσωραφής. Για το δοκιμίο εσωραφής επιλέχθηκε το δοκίμιο με πάχος φλάντζας 40mm, που έχει παρόμοια συμπεριφορά με το δοκίμιο μ πάχος φλάντζας 45mm για το οποίο τα αποτελέσματα δεν είναι ολοκληρωμένα καθώς αστόχησε η συγκόλληση. Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι το δοκίμιο εσωραφής έχει μεγαλύτερη αντοχή και δυσκαμψία από το δοκίμιο εξωραφής.



Σχ. 18: Διάγραμμα φορτίου – μετακίνησης δοκιμίων εσωραφής και εξωραφής



Σχ. 19: Διάγραμμα φορτίου – παραμορφώσεων δοκιμίων εσωραφής και εξωραφής

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς της κοχλιωτής σύνδεσης μεταξύ διαδοχικών τμημάτων πυλώνων ανεμογεννητριών υπό στατική φόρτιση, κατασκευάστηκαν δοκίμια υπό κλίμακα από δομικό χάλυβα, τα οποία αποτελούν ένα τμήμα της κοχλιωτής σύνδεσης που περιλαμβάνει έναν κοχλία και το τμήμα που του αντιστοιχεί από τα διακτυλιοειδή πέλματα και το έλασμα του πυλώνα. Τα δοκίμια αντιπροσωπεύουν τους διάφορους τρόπους συγκόλλησης μεταξύ του πέλματος και του ελάσματος του πυλώνα. Πραγματοποιούνται παραμετρικές δοκιμές όσον αφορά το πάχος της φλάντζας (45mm, 40mm, 35mm, 30mm και 25mm), τη διάμετρο του κοχλία (M20 10.9 και M16 10.9) και τη θέση του κοχλία σε σχέση με το έλασμα του πυλώνα (κέντρο φλάντζας και πιο κοντά στο έλασμα του πυλώνα).

Λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετικότητα των δοκιμίων όσον αφορά το χάλυβα και τις συγκολλήσεις, τα στατικά πειράματα προσέγγισαν ικανοποιητικά την αντοχή των δοκιμίων σε εφελκυσμό και απέδωσαν τη δυσκαμψία των δοκιμίων. Τα δοκίμια με το μεγαλύτερο πάχος πελμάτων αποδείχθηκαν πιο δύσκαμπτα και με μεγαλύτερη αντοχή, ενώ τα δοκίμια με εσωραφές έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τα δοκίμια με εξωραφές. Οι στατικές πειραματικές αντοχές θα αποτελέσουν οδηγό για τον καθορισμό του εύρους ανακυκλιζόμενης φόρτισης των δοκιμών κόπωσης που θα ακολουθήσουν.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] H. Schmidt and A. Jakubowski, Ermüdungssicherheit imperfekter vorgespannter Ringflanschstösse in windbeanspruchten turmartigen Stahlbauten, U. of Essen, 2001.
- [2] C. Petersen, Stahlbau: Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten, Vieweg, 1993.
- [3] V.-L. Hoang, J.-P. Jaspart and J.-F. Demonceau, Behaviour of bolted flange joints in tubular structures under monotonic, repeated and fatigue loadings I: Experimental tests, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 85, 2013, pp. 1-11.
- [4] Y.Q. Wang, L. Zong and Y.J. Shi, Bending behavior and design model of bolted flange-plate connection, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 84, 2013, pp. 1-16.
- [5] EN 1993-1-8: 2005, Eurocode 3: Design of steel structures Part 1-8: Design of joints, European Committee for Standardization, 2005.
- [6] EN 1993-1-9: 2003, Eurocode 3: Design of steel structures Part 1-9: Fatigue, European Committee for Standardization, 2003.
- [7] C. Petersen, Nachweis der Betriebsfestigkeit exzentrisch beanspruchter Ringflanschverbindungen, Stahlbau 67 (1998), Heft 3

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF BOLTED CONNECTION UNDER STATIC LOAD

Konstantina Koulatsou NTUA PhD candidate Institute of Steel Structures NTUA Athens, Greece e-mail: konkoulatsou@gmail.com

Xenofon Lignos Electrical Engineer, PhD Institute of Steel Structures NTUA Athens, Greece e-mail: <u>lignosx@central.ntua.gr</u> Eleni Kosmidou NTUA Civil Engineer Institute of Steel Structures NTUA Athens, Greece e-mail: elenakosmidou@hotmail.com

Charis J. Gantes NTUA Professor Institute of Steel Structures NTUA Athens, Greece e-mail: <u>chgantes@central.ntua.gr</u>

SUMMARY

In the present article the behavior and strength of connections between adjacent parts of tubular wind turbine towers is investigated experimentally under static load. Such connections are realized by means of double ring flanges that are pre-welded on the adjacent shell parts of wind turbine towers and are bolted together with fully preloaded bolts. The experiments' design and the experimental results are presented in terms of displacements and strains. Each specimen consists of two parts, a single bolt with its corresponding part of the flange and the tower shell. The two parts are bolted together and the specimen is subjected to static tension load. The specimens have been fabricated with various kinds of fillet and butt welds between the flange and the pylon plate and parametric investigations are carried out regarding the thickness of the flange (45mm, 40mm, 35mm, 30mm and 25mm), the bolt diameter (M20 10.9 and M16 10.9) and the position of the bolt in relation to the tower shell (bolt at flange center and bolt closer to the pylon plate). The experimental tests provide the capacity of the specimens and their stiffness.