



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

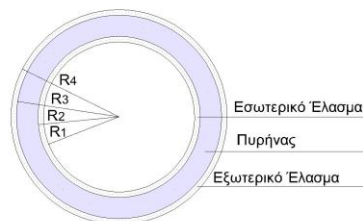
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

**Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών**

**Διπλωματική Εργασία**

**«ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΤΥΠΟΥ SANDWICH  
ΓΙΑ ΠΥΛΩΝΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ»**



**Αικατερίνη Μουστεράκη**

Επιβλέποντες:

Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Στυλιανός Βερνάρδος, υπ. Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2014**

**ΕΜΚ ΔΕ 2014/31**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διπλωματική Εργασία  
ΕΜΚ ΔΕ 2014 31

**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΤΥΠΟΥ SANDWICH ΓΙΑ ΠΥΛΩΝΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**  
**Αικατερίνη Μουστεράκη**

Επιβλέποντες:

Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Στυλιανός Βερνάρδος, Υπ. Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

**Περίληψη**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η αξιοποίηση μιας σύνθετης διατομής sandwich στην κατασκευή ενός πυλώνα ανεμογεννήτριας. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη και στην αξιοποίηση του τομέα παραγωγής αιολικής ενέργειας, ενώ παράλληλα περιγράφονται οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις που προβλέπονται για τις επόμενες δεκαετίες. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, ο κύκλος ζωής της και το κανονιστικό πλαίσιο σχεδιασμού της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο τονίζεται η ανάγκη προς εύρεση νέων εναλλακτικών λύσεων όσον αφορά την κατασκευή του πυλώνα μιας ανεμογεννήτριας, δεδομένων των αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων και των δυσκολιών στην εφαρμογή των υπάρχουσών λύσεων. Μελετάται η χρησιμοποίηση μιας σύνθετης διατομής τύπου sandwich, ενώ περιγράφεται η δομή της, τα υλικά που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της, οι μηχανισμοί αστοχίας της και οι τρόποι υπολογισμού της φέρουσας ικανότητάς της. Ακόμη, παρουσιάζονται βιβλιογραφικά στοιχεία που αφορούν το βέλτιστο σχεδιασμό της διατομής.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αναλυτική προσέγγιση της συμπεριφοράς μιας κυκλικής διατομής sandwich υπό καθεστώς αξονικής καταπόνησης. Στη συνέχεια, καταστρώνονται οι εξισώσεις που αφορούν την καταπόνηση της διατομής από μονοαξονική κάμψη, που οδηγούν στην εύρεση του ουδέτερου άξονα της διατομής, αλλά και των μεγθών της ελαστικής ροπής, της ροπής πλήρους πλαστικοποίησής της και των ροπών που αναπτύσσονται στα ενδιάμεσα στάδια της διαρροής. Έπειτα, γίνεται προσπάθεια για έλεγχο της εγκυρότητας της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε, μέσω της σύγκρισης των αναλυτικών αποτελεσμάτων, όπως αυτά παρουσιάστηκαν με τη μορφή διαγράμματος ροπών-καμπυλοτήτων και των αντίστοιχων που προέκυψαν από το πρόγραμμα ανάλυσης myBiaxial.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθεται μια σειρά διαγραμμάτων που μορφώθηκαν στα πλαίσια παραμετρικών αναλύσεων της διατομής sandwich υπό καμπτική φόρτιση. Καταγράφεται, έτσι, η επίδραση του πάχους των ελασμάτων και της ποιότητας των υλικών κατασκευής μιας διατομής sandwich στα μεγέθη της ελαστικής ροπής, της ισοδύναμης δυσκαμψίας, της πλαστικής ροπής αντοχής, καθώς και της πλαστιμότητας της διατομής. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας και γίνονται προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση της σύνθετης διατομής sandwich και των δυνατοτήτων της.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

Diploma Thesis  
EMK ΔΕ 2014 31

**BASIC PRINCIPLES OF SANDWICH SECTIONS FOR WIND TURBINE TOWERS**  
**Aikaterini Mousteraki**

Supervisors:

Charis Gantes, Professor N.T.U.A.  
Stylios Vernardos, PhD Candidate N.T.U.A.

**Abstract**

In the present thesis, the use of a sandwich-type section on a wind turbine tower is investigated. In the first chapter a literature review of the evolution and development of wind energy converters is presented. Furthermore, the worldwide significantly increased demand in wind energy is highlighted, while the structural characteristics, the mechanical parts, the operation, the life cycle, and the structural design regulations that govern the construction of a wind turbine tower are introduced.

In the second chapter, the need for new, alternative solutions regarding the construction methods of a tower section, due to the high energy consumption levels and the constraints that the existing methods induce, is presented. The use of a composite sandwich section is, thus, investigated. Additionally, the pertinent sections' structure, the range of material combinations that can be used, along with the failure modes and the methods of stability and strength calculation of a wind turbine's sandwich-type section are presented.

In the third chapter, an analytical solution describing the behavior of a cylindrical sandwich section subjected to axial loading is formulated. Particularly, the differences between the bearing capacity of the section due to tension and compression are delineated. In addition, the equations that describe the bending resistance in the elastic and plastic range under pure bending, the bending moments that are developed between those critical values of resistance and the accordingly varying position of the neutral axis of the section are also investigated in this chapter. Moreover, a comparison is carried out between the previously-presented analytical solution governing the composite section and the results taken from the software program myBiaxial, via a moment-curvature diagram.

In the fourth chapter, the results of the analytical solution presented in chapter three are imported into the Mathematica software environment, in order to pursue an extensive parametric analysis, involving a wide range of steel and concrete qualities, as well as thicknesses of the faces and the core. The analysis investigates the effect of these parameters on the elastic bending resistance, the plastic bending resistance, the equivalent stiffness, and the ductility of the cylindrical sandwich section subjected to pure bending. Additionally, data taken from the literature about the optimization of a sandwich shell are presented. In the sixth and last chapter, conclusions of the diploma thesis are presented and proposals for further investigation of the properties and capabilities of composite sandwich sections are suggested.