

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η θαλάσσια αιολική ενέργεια αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη μορφή Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (ΑΠΕ), λόγω του υψηλού αιολικού δυναμικού στις θαλάσσιες περιοχές μεγάλου βάθους νερού. Η εγκατάσταση ΥΑ εδραζόμενης σε χωροδικτύωμα συμβάλλει στην αντιμετώπιση των περιορισμών και των προβλημάτων που σχετίζονται με την χρήση διάταξης έδρασης τύπου βαρύτητας ή τύπου μεμονωμένου πασσάλου. Ωστόσο, ο σχεδιασμός και η λειτουργία ΥΑ με διάταξη έδρασης τύπου χωροδικτυώματος χαρακτηρίζονται από έντονη πολυπλοκότητα. Επομένως, η ανάπτυξη και η υιοθέτηση κατάλληλων, νέων τεχνικών αριθμητικής μοντελοποίησης για τις εν λόγω θαλάσσιες κατασκευές θεωρείται απαραίτητη.

Η αριθμητική μοντελοποίηση των ΥΑ ανεξαρτήτως τύπου διάταξης έδρασης πραγματοποιείται μέσω ανάπτυξης ή και υιοθέτησης «σύνθετων» ολοκληρωμένων αριθμητικών μοντέλων. Τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα αριθμητικά μοντέλα εμφανίζουν κάποιους σημαντικούς περιορισμούς σχετικά με την μοντελοποίηση διάταξης έδρασης τύπου χωροδικτυώματος. Πιο συγκεκριμένα, στις περισσότερες από τις μέχρι σήμερα έρευνες που σχετίζονται με την δυναμική ανάλυση και την απόκριση ΥΑ με διάταξη έδρασης τύπου χωροδικτυώματος, έχουν χρησιμοποιηθεί απλοποιημένες τεχνικές μοντελοποίησης, όσον αφορά στη διάταξη έδρασης. Μία από αυτές είναι η χρήση στοιχείων δοκού (beam elements). Η χρήση στοιχείων δοκού, έχει ως αποτέλεσμα τη μη αποτελεσματική προσομοίωση της τοπικής συμπεριφοράς και ελαστικότητας των κόμβων του χωροδικτυώματος. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη μη συμπερίληψη τοπικών (στους κόμβους) φαινομένων δονήσεων (local vibration phenomena) στη δυναμική συμπεριφορά της ΥΑ και στον υπολογισμό της απόκρισης της. Κατ' επέκταση είναι πιθανή η υποεκτίμηση των παραμορφώσεων στους κόμβους, καθώς και η υπερεκτίμηση των ροπών κάμψης κοντά στους κόμβους. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ελαστικότητα των κόμβων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα λεγόμενα υπερ-στοιχεία (superelements) για την μοντελοποίηση των κόμβων της διάταξης έδρασης. Η χρήση των υπερ-στοιχείων οδηγεί σε πιο λεπτομερή και ακριβή μοντελοποίηση των κόμβων, γεγονός που επιτρέπει τον καλύτερο υπολογισμό των φορτίων κοπώσεων κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές τεχνικές μοντελοποίησης της διάταξης έδρασης τύπου χωροδικτυώματος μίας ΥΑ. Η πρώτη τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση μόνο στοιχείων δοκών. Στη δεύτερη τεχνική, οι κόμβοι της διάταξης έδρασης της ΥΑ μοντελοποιούνται με την χρήση υπερ-στοιχείων, ενώ για τα άλλα τμήματα της κατασκευής χρησιμοποιούνται στοιχεία δοκών. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση και για τις δύο περιπτώσεις των εφαρμοζόμενων τεχνικών μοντελοποίησης. Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης εξήχθησαν μέσω εφαρμογής των αριθμητικών μοντέλων ANSYS και ADCoS-Offshore. Το αριθμητικό μοντέλο ADCoS-Offshore, είναι ένα

«σύνθετο» ολοκληρωμένο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς ΥΑ. Με βάση τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης καθορίστηκε και για τις δύο διαφορετικές τεχνικές μοντελοποίησης το εύρος των ιδιοσυχνοτήτων και οι αντίστοιχες ιδιομορφές, που περιέχουν τοπικά φαινόμενα δόνησης. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε δυναμική ανάλυση στο πεδίο του χρόνου για τις δύο τεχνικές μοντελοποίησης χρησιμοποιώντας το αριθμητικό μοντέλο ANSYS. Στο ANSYS η ΔΡΑ προσομοιώθηκε με σημειακές μάζες που συνδέονται άκαμπτα μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα των εκτός επιπέδου μετατοπίσεων και καμπτικών ροπών παρουσιάστηκαν μέσω διαγραμμάτων πυκνότητας φασματικής ισχύος για τις δύο τεχνικές μοντελοποίησης. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση κόπωσης για ένα σύνολο φορτίσεων σχεδιασμού, που αντιπροσωπεύουν τις πιο σημαντικές συνθήκες φορτίσεων που παρουσιάζονται κατά τον κύκλο ζωής μιας ΥΑ. Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόπωσης, υπολογίστηκαν τα ισοδύναμα φορτία κόπωσης για τις δύο τεχνικές μοντελοποίησης και συγκρίθηκαν μεταξύ τους.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, διάταξη έδρασης τύπου χωροδικτυώματος, υπερ-στοιχείο, ελαστικότητα κόμβων, τοπικά φαινόμενα δονήσεων

ABSTRACT

Offshore wind energy represents one of the most promising sources of renewable energy in the future, due to the enormous energy potential available in the vast offshore areas. The installation of OWTs using jacket type support structure in deep water locations addresses effectively the well-known obstacles associated with the ones resulting from the application of other types of support structures (e.g. monopile, gravity based and/or tripod support structure). Thus, the development and adoption of new design concepts and modeling techniques for the jacket support structure is essential towards a successful performance of these kind of OWTs during their life-cycle.

OWTs are designed using aero-hydro-servo-elastic simulation tools, which consider the interaction of the structure with all the environmental factors with the structure, as well as the entire structural assembly of the OWT. Most of these tools have significant limitations in modeling branched support structures. Consequently, in most of the previous research related to the dynamic analysis and the response assessment of a jacket supported OWT, simplified modeling techniques such as a beam model are used. By using beam models, the local behavior of the joints cannot be accurately represented. Thus, deflections at joints are underestimated, whereas bending moments are overestimated. In order to take into account the local joint flexibility, a substructuring or superelement approach can be used. This approach leads to a more accurate representation of the joints, considering the joints' local, and, therefore, to a better estimation of the fatigue life of the structure.

In this thesis, two different numerical models of the jacket support structure are used. The first model (beam model) considers beam elements, while the second one (superelement model) utilizes superelements for the joint's representation along with beam elements for the remaining parts of the structure. Initially, a modal analysis is conducted with the above mentioned models. The modal analysis is performed in the coupled aero-hydro-servo-elastic tool ADCoS-Offshore, as well as in ANSYS software. The frequency range of eigenmodes containing contribution of local vibration phenomena is detected and compared for both models. Slightly lower eigenfrequencies are observed in the case of the superelement model. Next, a time domain analysis is performed for both models using both simulation tools. A simple modelling approach is implemented in ANSYS, as far as the RNA is concerned. Based on the results of the time domain analysis, the dynamic response of various joints in terms of local vibration phenomena is initially identified for both models (beam and superlement). Then, results obtained for the two models are compared through Power Spectra Densities (PSD) diagrams. Finally, a fatigue analysis is performed. The results of the fatigue analysis are presented in terms of Damage Equivalent Loads (DEL) of the out-of-plane bending moments, where the local vibrations were found to dominate. Finally, the effect of local vibration phenomena on fatigue loads is discussed for both applied models.

KEYWORDS

Offshore wind turbines; jacket support structure; superelement; joint flexibility; local jacket dynamics; coupled simulation;