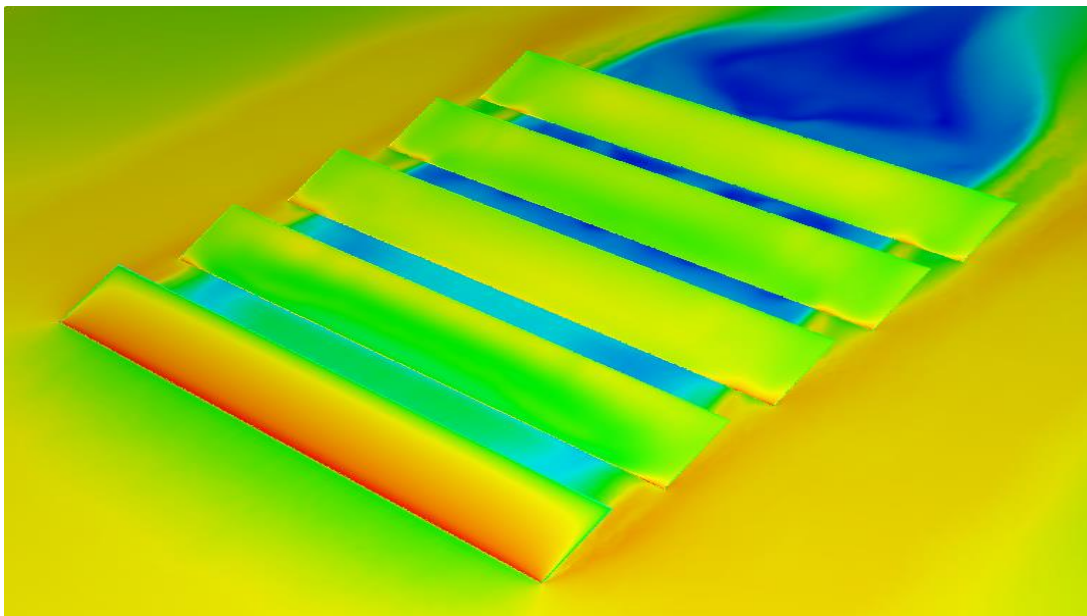




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛΩΝ



Διπλωματική Εργασία
ΣΙΡΑΠΟΓΛΟΥ ΜΑΡΙΟΣ
EMK ΔΕ 21

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής

Αθήνα, Νοέμβριος 2023

Copyright © Μάριος Σιράπογλου, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Marios Sirapoglou, 2023
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Μάριος Σιράπογλου (2023)
Αριθμητικός Υπολογισμός Ανεμοπιέσεων και Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού Πλαισίων Στήριξης
Φωτοβολταϊκών Πανέλων
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2023 21
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Marios Sirapoglou
Diploma Thesis EMK DE 2023 21
Numerical Calculation of Wind Pressures and Design Optimization for Solar Panels Mounting
Frames
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου και επιβλέποντα της εργασίας κ. Χάρη Γαντέ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για την καθοδήγηση του σε όλη την πορεία υλοποίησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμη, οφείλω ευχαριστίες στην υποψήφια διδάκτορα κα. Κατερίνα Νταϊφώτη και τον κ. Ιωάννη Ψαρά για την πολύτιμη βοήθεια τους στα προσομοιώματα της εργασίας, καθώς και στον επιστημονικό συνεργάτη του Ε.Μ.Π. κ. Βασίλειο Μελισσιανό για την καθοδήγηση του στη διαστασιολόγηση των λεπτότοιχων διατομών.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους μου τους φίλους, για την αδιάκοπη υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τους γονείς μου, Αρτίν και Όλγα, και τον αδερφό μου Χριστόφορο για την αγάπη και την υποστήριξη τους.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 21

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛΩΝ**

ΣΙΡΑΠΟΓΛΟΥ ΜΑΡΙΟΣ

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εποχή μας, η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται διαρκώς, με αποτέλεσμα όλο και περισσότερες χώρες, ανάμεσα τους και η Ελλάδα, να στρέφουν το ενδιαφέρον τους προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συνεπώς, η ανάγκη βελτιστοποίησης των συστημάτων παραγωγής της ηλιακής ενέργειας είναι επιτακτική, με σκοπό την καλύτερη εκμετάλλευση του ηλιακού δυναμικού της χώρας. Ζητήματα όπως η γεωμετρία των πλαισίων στήριξης των φωτοβολταϊκών πανέλων, η επιλογή των κατάλληλων διατομών, η ρεαλιστική εκτίμηση των φορτίων, καθώς και η χρήση των ικανότερων λογισμικών σχεδιασμού, απασχολούν τους πολιτικούς μηχανικούς, με σκοπό την βιωσιμότητα και την μείωση του κόστους παραγωγής αυτών των συστημάτων.

Στόχος λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός των πλαισίων στήριξης των φωτοβολταϊκών πανέλων, μέσω σύγκρισης αποτελεσμάτων γραμμικών και CFD αναλύσεων. Συγκεκριμένα, με την χρήση των λογισμικών SAP2000 και RFEM6, προσομοιώθηκαν δύο διαφορετικές γεωμετρίες των πλαισίων, ενώ ο κάθε φορέας εξετάστηκε με και χωρίς πανέλα. Οι φορείς αποτελούνται από διαδοχικά ανοίγματα κεκλιμένων πλαισίων, που συνδέονται μεταξύ τους μέσω τεγίδων και κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας, ενώ τα υποστυλώματα θεωρούνται πακτωμένα στο έδαφος. Με βάση τα παραπάνω διενεργήθηκαν γραμμικές στατικές αναλύσεις στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας και Λειτουργικότητας, με σκοπό τη διερεύνηση της επιρροής των διαφορετικών γεωμετριών και τρόπων προσομοίωσης και κατόπιν, ακολούθησε σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο 5 διαδοχικών σειρών φωτοβολταϊκών πανέλων στο λογισμικό CFD Ultimate της Autodesk. Σκοπός ήταν ο ακριβέστερος υπολογισμός των φορτίων ανέμου μέσω αναλύσεων CFD, καθώς και η ανάδειξη της μείωσης των φορτίων του ανέμου από σειρά σε σειρά. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση πόρων για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάρκων, καθώς προς το παρόν δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό των φορτίων ανέμου με βάση τον Ευρωκώδικα. Στο τέλος, πραγματοποιήθηκαν γραμμικές αναλύσεις με τα φορτία που προέκυψαν από τις αναλύσεις CFD προς διερεύνηση του παραπάνω φαινομένου.



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



DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 21

NUMERICAL CALCULATION OF WIND PRESSURES AND DESIGN OPTIMIZATION FOR SOLAR PANELS MOUNTING FRAMES

MARIOS SIRAPOGLOU

Supervisor: Charis Gantes, Professor

ABSTRACT

In our days, the demand for energy is constantly increasing, as a result of which more and more countries, including Greece, are turning their interest towards renewable energy sources. Therefore, the need to optimize solar energy production systems is imperative, in order to better exploit the country's solar potential. Issues such as the geometry of the mounting frames of photovoltaic panels, the selection of the appropriate cross-sections, the realistic assessment of the loads, as well as the use of the most capable design software, concern the civil engineers, with the aim of the sustainability and the reduction of their construction costs of these systems.

On that account, the target of this diploma thesis is the optimal design of the mounting frames of the photovoltaic panels by comparing results from linear and CFD analyses. Specifically, with the use of RFEM6 and SAP2000 software, two different geometries were simulated, while each of the models was examined with and without panels. The models consist of successive spans of inclined frames, which are connected to each other by purlins and vertical stiffening links, while the columns are assumed to be fixed in the ground. Based on the above, linear static analyses were performed in the Ultimate Limit State and Serviceability Limit State, in order to investigate the influence of different geometries and simulation methods, and then a comparison of the results followed.

In the second part of the thesis, a model of five consecutive rows of photovoltaic panels was created in Autodesk's CFD Ultimate software. The aim was to calculate the wind loads more accurately through CFD analyses, as well as highlight the reduction of wind loads from row to row. This fact may lead to significant savings for the constructions of solar parks, as it is currently not taken into account in the calculation of wind loads based on the Eurocode. Finally, linear analyses were performed with the loads resulting from CFD analyses to investigate the above phenomenon.