

## Πιστοποίηση του Υπολογιστικού Εργαλείου CRES–flowNS που Χρησιμοποιεί το ΚΑΠΕ για την Χωροθέτηση Αιολικών Πάρκων με Μετρήσεις από το Πείραμα Bolund (Δανία)

Γ. Προσπαθόπουλος, Ε. Σ. Πολίτης & Π. Κ. Χαβιαρόπουλος  
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας  
19<sup>ο</sup> χλμ Λεωφόρου Μαραθώνος, 19009 Πικέρμι

Στις 3–4 Δεκεμβρίου 2009 το Ερευνητικό Κέντρο RISØ της Δανίας διοργάνωσε τη συνάντηση εργασίας “The Bolund Experiment: Workshop”, στην οποία παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της «τυφλής σύγκρισης» διαφορετικών μεθοδολογιών προσομοίωσης του πεδίου ροής γύρω από τη σύνθετη τοπογραφία του λόφου Bolund. Μολονότι μικρός σε ύψος (μόλις 12 m, βλέπε εικόνα 1), ο λόφος χαρακτηρίζεται από τις μεγάλες κλίσεις του εδάφους στο σύνολο της περιμέτρου του, εντάσσοντας τον στην κατηγορία της σύνθετης τοπογραφίας.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συγκρίθηκαν με μετρήσεις τις οποίες διενήργησαν ερευνητές του RISØ στο Bolund, στο πλαίσιο εθνικού τους προγράμματος. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν την περίοδο 2007–2008 και περιλαμβάνουν την ταχύτητα και την ένταση της τύρβης του ανέμου, όπως καταγράφηκε από 35 συγχρονισμένα ανεμόμετρα, κατανεμημένα σε 10 μετεωρολογικούς ιστούς. Το νέο αυτό πείραμα παρέχει μια σημαντική βάση δεδομένων ατμοσφαιρικής ροής, προσφέρει τη δυνατότητα πιστοποίησης της νέας γενιάς υπολογιστικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται στις χωροθετήσεις αιολικών πάρκων και επιτρέπει την εκτίμηση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων τους.

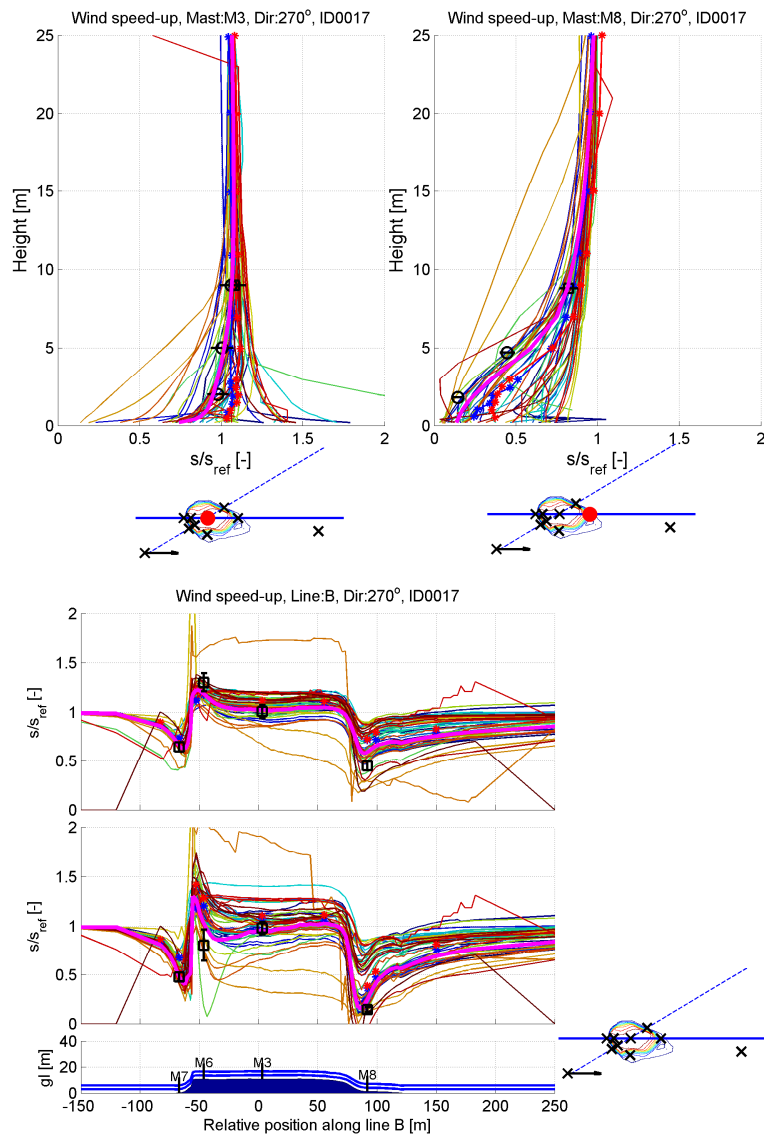
Στη συνάντηση παραβρέθηκαν επιστήμονες από ερευνητικά κέντρα, πανεπιστήμια και τη βιομηχανία, από όλο τον κόσμο. Συνολικά συμμετείχαν περισσότεροι από 40 φορείς παρουσιάζοντας προσομοιώσεις από 52 διαφορετικά υπολογιστικά μοντέλα όλων των κατηγοριών, από τα πιο απλά έως τα πιο εξελιγμένα: απλά γραμμικοποιημένα, μη γραμμικά RANS (Reynolds Averaged Navier–Stokes) με μοντέλα τύρβης μίας και δύο εξισώσεων, καθώς και LES (Large Eddy Simulation). Το ΚΑΠΕ συμμετείχε στη σύγκριση με στόχο την πιστοποίηση του υπολογιστικού εργαλείου του CRES–flowNS που ανήκει στην κατηγορία RANS και χρησιμοποιεί μοντέλο τύρβης δύο εξισώσεων ( $k-\omega$ ). Το CRES–flowNS χρησιμοποιείται από το ΚΑΠΕ σε καθημερινή βάση για την πρόλεξη του αιολικού δυναμικού και τη χωροθέτηση ανεμογεννητριών σε σύνθετη τοπογραφία και την τελευταία πενταετία έχει πραγματοποιήσει εκτίμηση παραγωγής σε αιολικά πάρκα ονομαστικής ισχύος πάνω από 1400 MW στην Ελλάδα, Κύπρο, Ιταλία και Ιορδανία. Επίσης, κατά την τελευταία τριετία το CRES–flowNS έχει χρησιμοποιηθεί σε διερευνητική βάση και για την προσομοίωση του πεδίου ροής στον ομόρροο των ανεμογεννητριών κατά την εκτίμηση της ισχύος αιολικών πάρκων.

Προσομοιώθηκαν συνολικά τέσσερις περιπτώσεις από τις οποίες οι τρεις αφορούσαν σε δυτικούς ανέμους, με κατεύθυνση 270°, 255° και 239° και μία σε ανατολικό άνεμο κατεύθυνσης 90°. Τα βασικά συμπεράσματα της συνάντησης περιλαμβάνουν α) την επιβεβαίωση ότι τα γραμμικοποιημένα μοντέλα (που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως από τον κλάδο και σήμερα) αποτυγχάνουν σε περιπτώσεις ιδιαίτερα σύνθετης τοπογραφίας. β) τη διαπίστωση ότι οι κώδικες RANS με μοντέλο τύρβης 2 εξισώσεων δίνουν τις καλύτερες προλέξεις σε σύγκριση με τις μετρήσεις και γ) την εκτίμηση ότι τα μοντέλα LES δεν είναι ακόμα αρκετά ώριμα για να χρησιμοποιηθούν συστηματικά για προσομοιώσεις αιολικού δυναμικού.

Οι προλέξεις του κώδικα CRES–flowNS έδωσαν μέσο σφάλμα ταχύτητας 12,6% σε σχέση με τις αντίστοιχες μετρήσεις. Το σφάλμα αυτό ήταν το χαμηλότερο ανάμεσα στα 52 υπολογιστικά μοντέλα. Οι κατανομές της ταχύτητας και της κινητικής ενέργειας της τύρβης προσομοιώνονται ικανοποιητικά σε όλες τις περιπτώσεις (βλέπε εικόνα 2, οι έντονες ροζ κατανομές αντιστοιχούν στα αποτελέσματα του CRES–flowNS όπως αυτά συγκρίνονται με τις μετρήσεις-κύκλοι και τα υπόλοιπα μοντέλα).



Εικόνα 1: Όψεις του λόφου Bolund στη Δανία



Εικόνα 2: Ενδεικτικά αποτελέσματα για την ταχύτητα του ανέμου. Καθ' ύψος (στο σημείο που σημειώνεται με την κόκκινη βούλα) και εγκάρσια κατανομές. Σύγκριση μοντέλων (συνεχείς πολύχρωμες γραμμές με μετρήσεις (οι μαύροι κύκλοι). Με έντονο ροζ χρώμα σημειώνονται τα αποτελέσματα του CRES-flowNS.