

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΑΠΕ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Κ. Γκαράκης^{1*}, Δ. Ανδρωνάς²

^{1*} Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Αγ. Σπυρίδωνος 17, 12210 Αιγάλεω, e-mail: are@uniwa.gr

² Αφοί Ανδρωνά – ConWx ApS

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για τον χώρο των ΑΠΕ, η έναρξη λειτουργίας του Target Model σηματοδοτεί την περίοδο μετάβασης από την «παθητική» συμμετοχή στην αγορά, στην «ενεργητική» συμμετοχή, από την “ανωριμότητα” της σταθερής τιμής πώλησης στην “ωριμότητα” της μεταβλητής τιμολόγησης και της συνεχούς πρόβλεψης της ενεργειακής παραγωγής. Οι ΑΠΕ με το Target Model, αποκτούν «υποχρεώσεις εξισορρόπησης», δηλαδή υποχρεούνται να δηλώνουν το ωριαίο πρόγραμμα παραγωγής τους στην Αγορά Επόμενης Ημέρας (Day Ahead Market - DAM), να υπολογίζουν τις αποκλίσεις από την πραγματική τους παραγωγή και να βελτιώνουν τις δηλώσεις τους στην Ενδοημερήσια αγορά (Intraday Market - IDM). Οι εναπομείνουσες αποκλίσεις εντέλει συμμετέχουν στη τελική αγορά εξισορρόπησης.

Η συμμετοχή έργων ΑΠΕ στην αγορά ενέργειας μπορεί να γίνει είτε απευθείας, είτε μέσω των Φορέων Σωρευτικής Εκπροσώπησης ΑΠΕ (ΦοΣΕ) που έχουν ιδρυθεί για το σκοπό αυτό, εκμεταλλευόμενοι τη δυνατότητα συνολικής δήλωσης παραγωγής ενός χαρτοφυλακίου έργων ΑΠΕ διαφορετικής τεχνολογίας και ευρύτερης γεωγραφικής διασποράς προσφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια στη συνολική ωριαία πρόβλεψη παραγωγής των έργων εντός του χαρτοφυλακίου τους και μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο αποκλίσεων (κατά συνέπεια και των αντίστοιχων χρεώσεων).

Η πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας βασίζεται σε αριθμητική είσοδο πολλαπλών καιρικών μοντέλων. Η εκτεταμένη εμπειρία ανάπτυξης και λειτουργίας αριθμητικών καιρικών μοντέλων σε συνδυασμό με την πρόσβαση σε υψηλής ανάλυσης δεδομένων καιρού αποτελούν το βασικό κλειδί για την παραγωγή προγνώσεων ακριβείας. Για την ελαχιστοποίηση του συνολικού σφάλματος πρόγνωσης, την διασφάλιση της διαθεσιμότητας των προγνώσεων και την ακριβή περιγραφή πιθανών εναλλακτικών καιρικών εξελίξεων, συνίσταται η χρήση τουλάχιστον τριών (3) μετεωρολογικών μοντέλων.

Η εργασία αφορά συγκριτική αξιολόγηση προβλέψεων και πραγματικών παραγωγών για πληθώρα φωτοβολταϊκών και αιολικών έργων σε όλη την επικράτεια στα πλαίσια παροχής προγνώσεων σε ιδιώτες παραγωγούς ΑΠΕ καθώς και Φορέων Σωρευτικής Εκπροσώπησης (ΦοΣΕ) για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός πλήρους έτους.

Εξάγονται οι συντελεστές αξιολόγησης NMAE, MAPE, NRMSE, NBIAS για έξι (6) αιολικά πάρκα και τέσσερα (4) φωτοβολταϊκά πάρκα ανά την Ελλάδα για διάρκεια ενός έτους.

Η μελετητική ομάδα αξιολογεί τα αποτελέσματα, ερευνά περιορισμούς και αιτίες διαφοροποίησης και παρέχει χρήσιμα συμπεράσματα για τη βελτίωση των παρεχομένων προγνώσεων ενεργειακής παραγωγής.

Λέξεις Κλειδιά: καιρικές συνθήκες, target model, μοντελοποίηση, πρόγνωση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν διεισδύσει σε μεγάλο βαθμό στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεταβλητότητα και η τυχαιότητα, όμως, που τις χαρακτηρίζουν αποτελούν τροχοπέδη για την εξέλιξη και την πλήρη ενσωμάτωσή τους στο σύστημα ενέργειας. Για την αντιστάθμιση αυτής της μεταβλητότητας απαιτούνται εργαλεία πρόβλεψης της ισχύος τους (κυριότερα αιολικά και φωτοβολταϊκά συστήματα) για τις επόμενες ώρες, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η διαχείριση και το εμπόριο της ενέργειας. Αυτά τα λειτουργικά εργαλεία πρόβλεψης, θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τελικών χρηστών, όπως είναι οι ανεξάρτητοι παραγωγοί ενέργειας, οι αγοραστές της και οι διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς (TSO).

Ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς (TSO) είναι υπεύθυνος για την ασφαλή λειτουργία του δικτύου: κάθε στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ισούται με την ενέργεια που καταναλώνεται. Ο διαχειριστής παρέχει υπηρεσίες, όπως ο εν λειτουργία (online) σχεδιασμός και η ρύθμιση του συστήματος. Παρέχει πρόβλεψη της ζήτησης του φορτίου για μια περιοχή του συστήματος σε σχέση με το σύνολο της ενέργειας που αναμένεται να παραχθεί, ενώ επίσης υπολογίζει και τις αναμενόμενες απώλειες. Λαμβάνει αποφάσεις που αφορούν την ποσότητα και την σειρά με την οποία θα εισέλθει η ανανεώσιμη ενέργεια στο Σύστημα την επόμενη μέρα. Για αυτό το λόγο, τα μέσα παραγωγής της ενέργειας ορίζονται εκ των προτέρων, ώστε να ανταποκρίνονται στο προφίλ της προβλεπόμενης καταναλισκόμενης ενέργειας [1].

Οι προβλέψεις της ζήτησης φορτίου είναι συνήθως σχετικά αρκετά ακριβείς, παρ' όλα αυτά, η έρευνα γύρω από τις μεθόδους πρόβλεψης της ζήτησης συνεχίζεται, καθώς η περαιτέρω μείωση του σφάλματος θα παρέχει σημαντική εξοικονόμηση στις μονάδες που διευθύνουν μεγάλα διασυνδεδεμένα συστήματα ενέργειας. Για να πραγματοποιηθεί ο προγραμματισμός της επόμενης ημέρας, ο διαχειριστής μπορεί να λάβει υπόψη δικά του μέσα παραγωγής ενέργειας, εάν υπάρχουν, ή/και να αγοράσει ενέργεια από ανεξάρτητους παραγωγούς ενέργειας. Πρέπει, επομένως, ανάμεσα στους υποψήφιους παραγωγούς, να εντοπίσει εκείνους που θα του παρέχουν την ενέργεια που απαιτεί η ζήτηση και φυσικά σε χαμηλό κόστος. Είναι εμφανές ότι οι παραγωγοί αιολικών και φ/β σταθμών δεν είναι σε θέση να καταθέσουν τις προτάσεις τους χωρίς να γνωρίζουν εκ των προτέρων την εκτιμώμενη ενέργεια που θα παράγουν. Για αυτό το λόγο, γίνεται επιτακτική η ανάγκη για χρήση προηγμένων εργαλείων πρόβλεψης της παραγωγής [1][2].

Οι καιρικές συνθήκες διαδραμάτιζαν ανέκαθεν καθοριστικό ρόλο στον ενεργειακό τομέα διαμορφώνοντας το επίπεδο της ζήτησης αλλά και τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. Η μετεωρολογική πρόβλεψη, που παραδοσιακά είχε έντονη σημασία, αποτελεί πλέον απαραίτητη προϋπόθεση για τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην σύγχρονη ενεργειακή αγορά.

Εξειδικευμένες εταιρείες δραστηριοποιούνται στο χώρο των μετεωρολογικών προβλέψεων, έχοντας εξελίξει την ακρίβεια των προβλέψεων που παρέχουν και εμπλουτίσει τις υπηρεσίες τους παρέχοντας τη δυνατότητα πρόβλεψης παραγωγής για σταθμούς Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Παραγωγοί ΑΠΕ, Διαχειριστές Δικτύων και Φορείς Σωρευτικής Εκπροσώπησης σταθμών ΑΠΕ (ΦοΣΕ) έχουν πλέον τη δυνατότητα επιλογής μετεωρολογικής πρόβλεψης και πρόγνωσης παραγωγής ο κάθε ένας ανάλογα με τις ανάγκες του. Η παροχή προβλέψεων αποτελεί επίσης απαραίτητο εργαλείο για τις εταιρείες διαχείρισης χαρτοφυλακίων έργων αλλά και παροχής συντήρησης και λειτουργίας σταθμών ΑΠΕ, οι οποίες λαμβάνοντας εξειδικευμένες ανά έργο μετεωρολογικές προβλέψεις έχουν το πλεονέκτημα του ορθότερου προγραμματισμού των εργασιών συντήρησης συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση της παραγωγής.

Για ιδιοκτήτες αιολικών και φ/β σταθμών, διαχειριστές χαρτοφυλακίου, διαχειριστές δικτύου και Συστήματος, εταιρείες εμπορίου (trading), οι ακριβείς προβλέψεις παραγωγής προσφέρουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και τις πληροφορίες που διευκολύνουν τις εργασίες τους. Είναι σημαντικό οι προβλέψεις να πραγματοποιούνται με την ευκρίνεια και την κλίμακα που ικανοποιεί συγκεκριμένες επιχειρησιακές ανάγκες.

Τα παγκόσμια καιρικά μοντέλα βελτιώνονται με υψηλής ανάλυσης, εσωτερικά μοντέλα, εξασφαλίζοντας ακριβείς προβλέψεις για οποιοδήποτε έργο ΑΠΕ, σε οποιαδήποτε τοποθεσία στον κόσμο.

Υπάρχουν πολλοί κίνδυνοι στο εμπόριο ενέργειας σε μια πλήρως ανοιχτή αγορά: i. Διακυμάνσεις παραγωγής μεγάλης κλίμακας, ii. Μεταβολές από έτος σε έτος στην αιολική και ηλιακή ακτινοβολία iii. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, iv. Μεγάλη διακύμανση της προβλεψιμότητας (εποχή και

τοποθεσία), ν. Θερμικές επιδράσεις (ακτογραμμή ή ορεινή περιοχή), νι. Διακοπή λειτουργίας εγκαταστάσεων (μη προγραμματισμένη), νιι. Πλεόνασμα παραγωγής, νιιι. Υψηλότερα κόστη εξισορρόπησης, ιx. Χαμηλές ή αρνητικές τιμές ενέργειας, x. Κυρώσεις ιxι. Εκδηλώσεις καιρικών αιχμών - προβληματικών τόσο για αυτούς που εξισορροπούν το Σύστημα όσο και για εκείνους που ασχολούνται με την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας και ιxii. Συνέπειες που σχετίζονται με τον καιρό (καταιγίδες, παγετός, χιόνι και μεταφορά σκόνης).

2. ΣΚΟΠΟΣ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται συγκριτική αξιολόγηση προβλέψεων και πραγματικών παραγωγών για πληθώρα φωτοβολταϊκών και αιολικών έργων σε όλη την επικράτεια στα πλαίσια παροχής προγνώσεων σε ιδιώτες παραγωγούς ΑΠΕ καθώς και ΦοΣΕ για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός πλήρους έτους.

Εξάγονται οι συντελεστές αξιολόγησης NMAE, MAPE, NRMSE, NBIAS για έξι (6) αιολικά πάρκα και τέσσερα (4) φωτοβολταϊκά πάρκα ανά την Ελλάδα για διάρκεια ενός έτους.

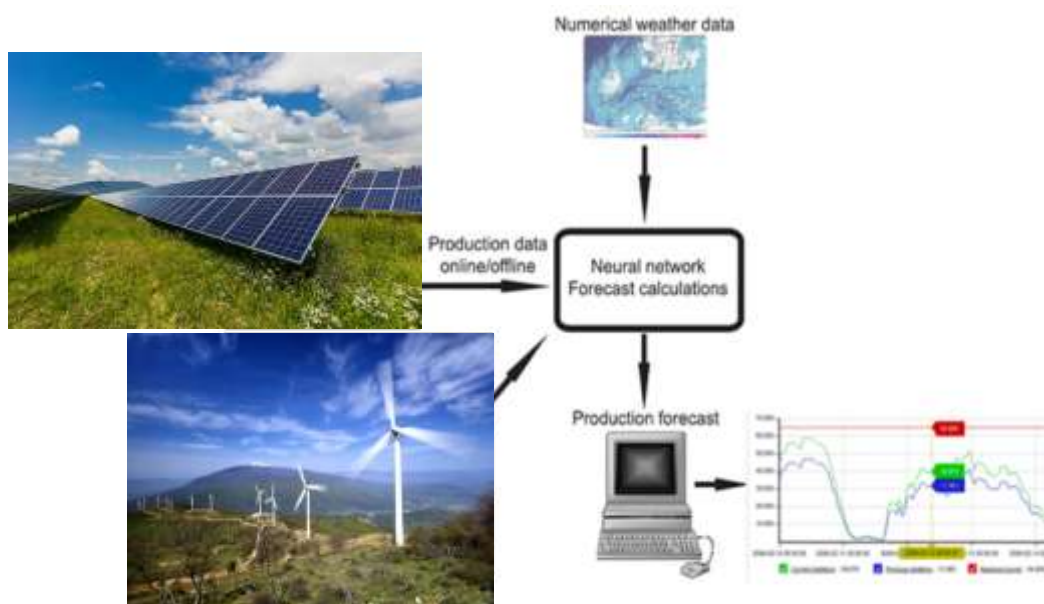
Η μελετητική ομάδα αξιολογεί τα αποτελέσματα, ερευνά περιορισμούς και αιτίες διαφοροποίησης και παρέχει χρήσιμα συμπεράσματα για τη βελτίωση των παρεχομένων προγνώσεων ενεργειακής παραγωγής.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. Μετεωρολογικά μοντέλα

Η υπηρεσία πρόβλεψης παραγωγής ενέργειας βασίζεται σε αριθμητική είσοδο καιρού πολλαπλών μοντέλων. Η ConWx έχει εκτεταμένη εμπειρία με την εκτέλεση αριθμητικών μοντέλων καιρού in-house και πρόσβαση σε ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα καιρού είναι το κύριο κλειδί για την παραγωγή ακριβών προβλέψεων. Η ConWx χρησιμοποιεί πάντα τουλάχιστον τρεις (3) μετεωρολογικά μοντέλα για να μειώσει το συνολικό σφάλμα πρόβλεψης, να διασφαλίσει τη διαθεσιμότητα των προβλέψεων και να περιγράψει πιθανές εναλλακτικές καιρικές εξελίξεις. Τα λειτουργικά μοντέλα της ConWx προβλέπουν τα καιρικά φαινόμενα σε ανάλυση 1-10 χλμ [3].

Τα μεσοκλιματικά μετεωρολογικά μοντέλα καιρού που χρησιμοποιεί η ConWx είναι : α) IRIE και β) WRF. Η ConWx χρησιμοποιεί οριακές συνθήκες στα μοντέλα της τόσο από το GFS όσο και από το ECMWF. Οι προβλέψεις παραγωγής ενέργειας παράγονται για κάθε μεμονωμένο μοντέλο καιρού και η κύρια πρόβλεψη είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των τριών.



Σχήμα 1 : Σχηματική απεικόνιση πρόβλεψης ενεργειακής παραγωγής.

3.2. Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα τρία μοντέλα καιρού που επιλέγονται συνήθως για ένα έργο αιολικής ενέργειας είναι: α. GFS-IRIE, β. EC-IRIE, γ. ECMWF. Η χρήση των μεσοκλιματικών δεδομένων IRIE εξασφαλίζει μια καλή περιγραφή των τοπικών καιρικών φαινομένων, ενώ η χρήση δύο διαφορετικών παγκόσμιων μοντέλων επιτρέπει την παρατήρηση διαφορών στις καιρικές εξελίξεις μεγάλης κλίμακας, οι οποίες καθίστανται ολοένα και πιο σημαντικές όσο περισσότερο αυξάνει ο ορίζοντας των προβλέψεων [3].

Για κάθε σημείο πρόβλεψης (σταθμό παραγωγής ενέργειας) πραγματοποιείται μια συγκεκριμένη επιλογή μοντέλου καιρού, καθώς κάθε μοντέλο καιρού έχει πλεονεκτήματα σε συγκεκριμένα εδάφη.

3.3. Περιγραφή συστήματος πρόβλεψης

3.3.1. Εκτέλεση μοντέλου καιρού

Το σύστημα κατεβάζει δεδομένα GFS 4 φορές την ημέρα και δεδομένα ECMWF 2 φορές την ημέρα. Καθένα από τα παγκόσμια μοντέλα θα οδηγήσει ένα περιφερειακό μοντέλο IRIE, το οποίο παρέχει 6 ενημερώσεις μεσοκλιματικού μοντέλου ανά ημέρα. Επιπλέον, τα δεδομένα πρόβλεψης ECMWF χρησιμοποιούνται απευθείας δίνοντας συνολικά 8 διαθέσιμες εκτελέσεις (τρεξίματα) ανά ημέρα.

3.3.2. Παρεμβολή στο σημείο του σταθμού παραγωγής ηλ. ενέργειας

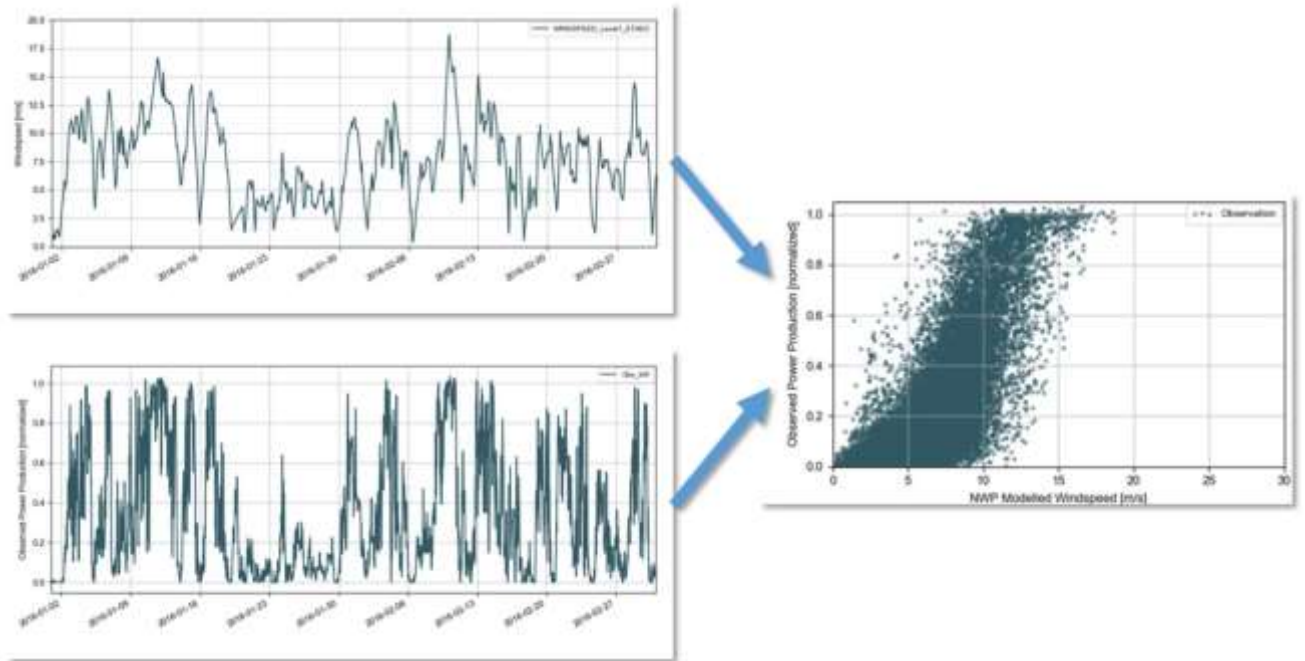
Το σύστημα θα λάβει μια λίστα με όλες τις ενεργές τοποθεσίες στη βάση δεδομένων και θα εκτελέσει παρεμβολή από τα σημεία πλέγματος στις συντεταγμένες των τοποθεσιών των έργων. Η παρεμβολή πραγματοποιείται με τον σταθμισμένο μέσο όρο των τιμών πρόβλεψης από τα 4 πλησιέστερα σημεία του πλέγματος. Η στάθμιση βασίζεται στις αποστάσεις από το σημείο της τοποθεσίας έως τα πλησιέστερα σημεία πλέγματος, δηλαδή διμερή παρεμβολή.

3.3.3. Ποιότητα πρόβλεψης

Τα πρωτογενή μετεωρολογικά δεδομένα δημιουργούνται σε ωριαία ανάλυση, αλλά μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις της αγοράς. Τα δεδομένα ECMWF είναι διαθέσιμα σε ανάλυση 3 ωρών, αλλά μπορούν να παρεμβληθούν σε οποιαδήποτε απαιτούμενη χρονική ανάλυση.

3.3.4. Μεθοδολογία πρόβλεψης

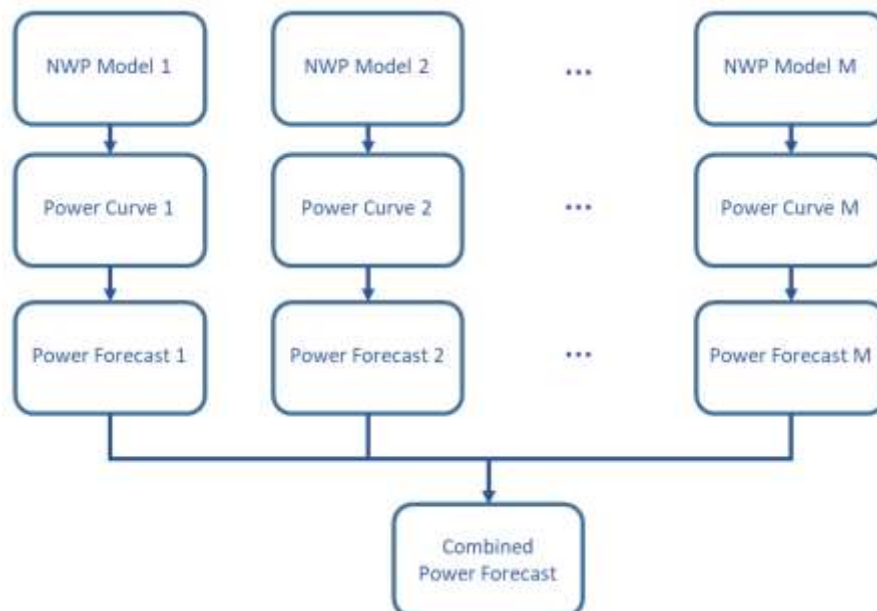
Η προσέγγιση της παραγωγής καμπυλών ισχύος για μια συγκεκριμένη μονάδα παραγωγής ενέργειας βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα παραγωγής ενέργειας και σε δεδομένα ιστορικών προβλέψεων καιρού. Σχετίζοντας τα ιστορικά πραγματικά στοιχεία παραγωγής με τις σχετικές παραμέτρους ιστορικών προβλέψεων, δημιουργούνται εμπειρικές καμπύλες ισχύος. Οι εμπειρικές καμπύλες ισχύος μπορούν να δημιουργηθούν για συγκεκριμένους τύπους καιρού ή εποχές. Για την παραγωγή έργων αιολικής ενέργειας, η διεύθυνση του ανέμου είναι ο κύριος παράγοντας που πρέπει να εξαχθεί. Για τις προβλέψεις παραγωγής αιολικής ενέργειας, κάθε ιστορικό χρονικό βήμα, συμπεριλαμβανομένου της μοντελοποιημένης ταχύτητας ανέμου και της μετρούμενης ισχύος, αντιστοιχίζεται και ενεργοποιείται στον αντίστοιχο τομέα διεύθυνσης, οπότε για κάθε συνδυασμό ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, υπάρχει διαθέσιμη αντίστοιχη τιμή παραγωγής. Όσο περισσότερα ιστορικά δεδομένα παραγωγής είναι διαθέσιμα, τόσο περισσότερες καιρικές παράμετροι μπορούν να ληφθούν υπόψη και ως εκ τούτου μπορούν να παραχθούν πιο συγκεκριμένες καμπύλες ισχύος. Για την ηλιακή ενέργεια, η συνολική διαδικασία είναι η ίδια, αν και η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται ως κύρια παράμετρος καιρού που σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας. Η περιγραφόμενη προσέγγιση περιορίζει τα εγγενή συστηματικά σφάλματα στα μετεωρολογικά δεδομένα του μοντέλου.



Σχήμα 2 : Ιστορικά δεδομένα πρόβλεψης ταχύτητας ανέμου και αποδιδόμενης ισχύος συνδυαζόμενα να εξάγουν μια εμπειρική καμπύλη ισχύος.

Όταν πραγματοποιείται «εκπαίδευση» των καμπυλών ισχύος, ένα μέρος των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων παραγωγής δεν χρησιμοποιείται, αφού χρησιμεύει ως επαλήθευση για τη τελική πρόβλεψη.

Η «εκπαίδευση» του καιρού ως προς την ισχύ γίνεται για κάθε ένα από τα μεμονωμένα μοντέλα καιρού, οπότε για κάθε μονάδα παραγωγής ενέργειας που έχει εγκατασταθεί στο σύστημα, παράγονται 3 προβλέψεις παραγωγής ενέργειας. Οι 3 προβλέψεις σταθμίζονται βάσει ιστορικών επιδόσεων στο συγκεκριμένο σταθμό παραγωγής ενέργειας για να σχηματίσουν μια βελτιστοποιημένη πρόβλεψη.



Σχήμα 3 : Διάγραμμα ροής παραγωγής πρόβλεψης ισχύος.

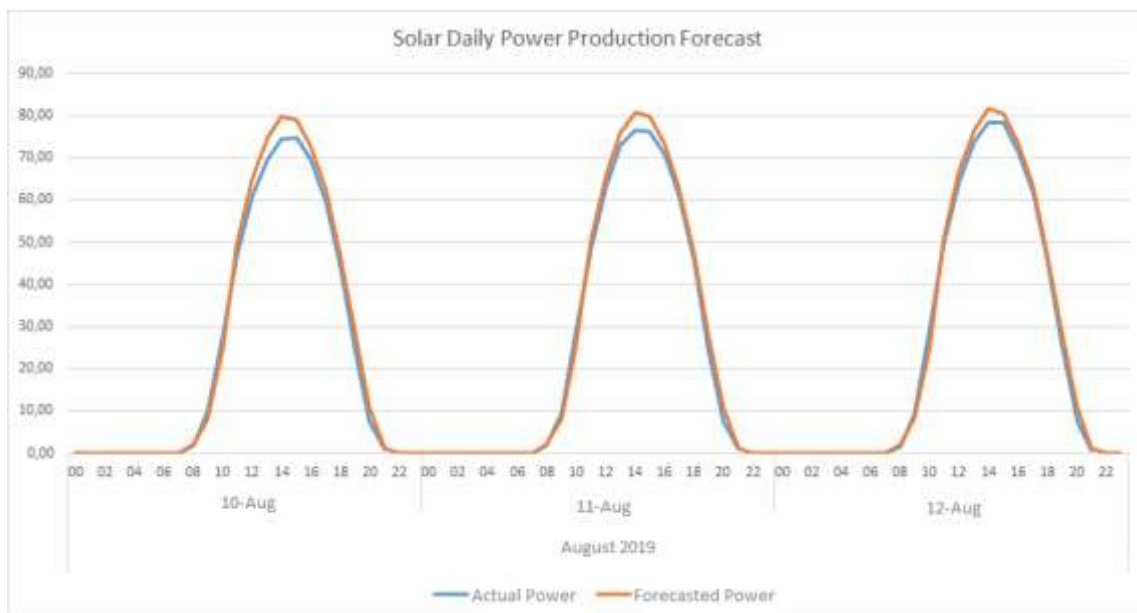
Για υψηλής συγκέντρωσης χαρτοφυλάκια, όπως προβλέψεις ολόκληρης της χώρας ή ζώνης προσφοράς, η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται για να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης από ό,τι είναι δυνατό, απλώς συνοψίζοντας την παραγωγή από κάθε μεμονωμένο σταθμό παραγωγής ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής πρόβλεψης, το σύστημα μπορεί να λάβει υπόψη πραγματικά δεδομένα παραγωγής, είτε σε επίπεδο σταθμού είτε σε συγκεντρωτικό επίπεδο. Τα πραγματικά αυτά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή των πρώτων ωρών της πρόβλεψης. Η βέλτιστη μέθοδος βαθμονόμησης του μοντέλου πρόβλεψης καθορίζεται με προσομοίωση και ανάλυση των ιστορικών δεδομένων παραγωγής.

Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται ενδεικτικές προγνώσεις παραγωγής αιολικού και φωτοβολταϊκού σταθμού.



Σχήμα 4: Ενδεικτική πρόγνωση παραγωγής και σύγκριση με τη πραγματικότητα για αιολικό πάρκο.



Σχήμα 5: Ενδεικτική πρόγνωση παραγωγής και σύγκριση με τη πραγματικότητα για φωτοβολταϊκό σταθμό.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Έχουν εξαχθεί οι συντελεστές αξιολόγησης NMAE, MAPE, NRMSE, NBIAS για έξι (6) αιολικά πάρκα και τέσσερα (4) φωτοβολταϊκά πάρκα ανά την Ελλάδα για διάρκεια ενός έτους, στα πλαίσια παροχής προγνώσεων σε ιδιώτες παραγωγούς ΑΠΕ καθώς και Φορέων Σωρευτικής Εκπροσώπησης (ΦοΣΕ). Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι συντελεστές αξιολόγησης.

Πίνακας 1 : Συντελεστές Αξιολόγησης.

Μέσο Απόλυτο Τετραγωνικό Σφάλμα (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (P_t - \bar{P}_t)^2}{N}} \quad (1)$$

Κανονικοποιημένο Μέσο Απόλυτο Τετραγωνικό Σφάλμα (NRMSE)

$$NRMSE = \frac{1}{P_{inst}} \cdot RMSE \quad (2)$$

Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (MAE)

$$MAE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^N |P_t - \bar{P}_t| \quad (3)$$

Κανονικοποιημένο Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (NMAE)

$$NMAE = \frac{1}{P_{inst}} \cdot MAE \quad (4)$$

Μέσο απόλυτο ποσοστό σφάλματος (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^N \left| \frac{P_t - \bar{P}_t}{P_t} \right| \quad (5)$$

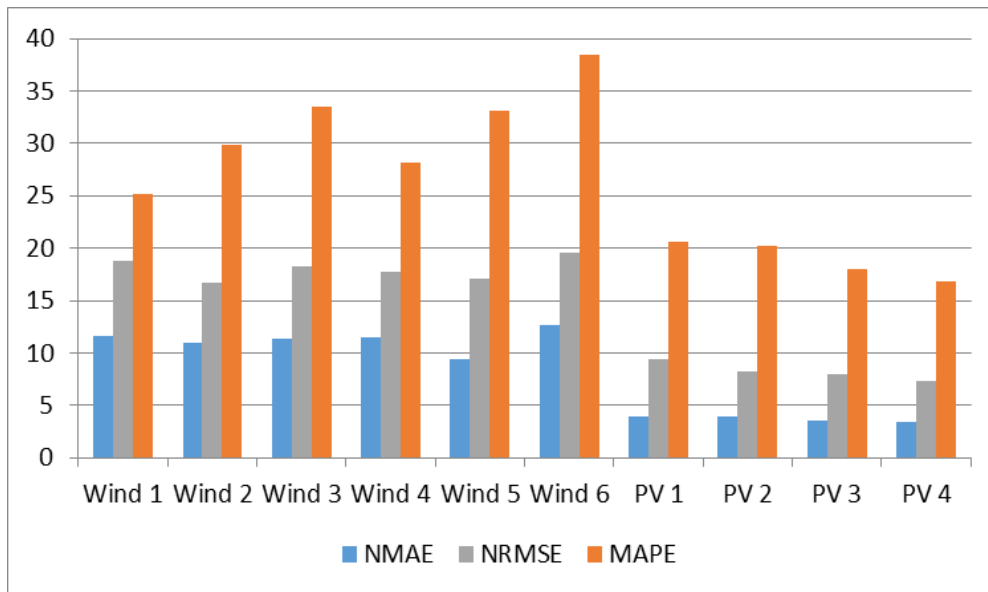
Κανονικοποιημένο συστηματικό σφάλμα (NBIAS)

$$NBIAS = \frac{\sum_{t=1}^N P_t - \bar{P}_t}{P_{inst}} \quad (6)$$

Όπου: P_{inst} η εγκατεστημένη ισχύς, P_t η παρατηρηθείσα παραγωγή, $\bar{P}_t$ η προβλεπόμενη παραγωγή.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον κάτωθι πίνακα.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα Αξιολόγησης					
Έργο	Ισχύς (MW)	NMAE	MAPE	NRMSE	NBIAS
Αιολικό 1	28,8	11,56	25,17	18,73	-0,173
Αιολικό 2	30,6	10,98	29,85	16,71	-0,278
Αιολικό 3	9,2	11,4	33,5	18,29	-0,003
Αιολικό 4	22,2	11,54	28,18	17,72	-0,079
Αιολικό 5	9,6	9,44	33,09	17,03	-0,293
Αιολικό 6	36,0	12,67	38,45	19,56	0,06
Φ/Β 1	10,0	3,98	20,59	9,45	0,525
Φ/Β 2	2,4	3,9	20,17	8,25	0,08
Φ/Β 3	1,9	3,52	18,04	7,93	0,04
Φ/Β 4	0,1	3,42	16,79	7,33	0,09



Σχήμα 6: Παρουσίαση των τριών δεικτών αξιολόγησης για τα έξι αιολικά πάρκα και τα τέσσερα φ/β πάρκα.

Το NMAE δείχνει την απόκλιση των προβλέψεων γενικά, ενώ το NRMSE δείχνει την απόκλιση των προβλέψεων εστιάζοντας στις διακυμάνσεις/μεταβολές των δεδομένων εισόδου. Το MAPE εκφράζει την ακρίβεια της πρόγνωσης ως ποσοστό επί της πραγματικής παραγωγής. Το NBIAS δείχνει εάν η πρόγνωση ήταν υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση της πραγματικής.

Οι συντελεστές NMAE στα αιολικά έργα είναι της τάξης 9,4-12,7 ενώ αισθητά χαμηλότεροι είναι στα φωτοβολταϊκά έργα (3,4-4,0), γεγονός που επαληθεύει την πολυπλοκότητα των παραμέτρων λειτουργίας των αιολικών σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά και την αντίστοιχη πρόγνωση της παραγωγής τους.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το γενικό συμπέρασμα είναι η παροχή αξιοσημείωτων αποτελεσμάτων που απορρέουν από την μεθοδολογία για τη δημιουργία ενός συγκεκριμένου καιρικού μοντέλου για κάθε σημείο πρόβλεψης (σταθμός παραγωγής ενέργειας), καθώς κάθε μοντέλο καιρού έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με την μορφολογία της εκάστοτε περιοχής που είναι αισθητά κυρίως στην πρόγνωση παραγωγής αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας.

Παρ' όλα αυτά, αναπτύσσουμε συνεχώς προηγμένα μοντέλα για να επιτύχουμε υψηλότερο επίπεδο πρόγνωσης καιρού και, κατά συνέπεια, προβλεπόμενη ακρίβεια παραγωγής ενέργειας. Αυτό παρέχει μια πλεονεκτική θέση ειδικά στη λειτουργία της ενδοημερήσιας αγοράς.

Ένα τελευταίο σημείο που χρήζει βελτίωσης είναι η αδιάλειπτη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συστημάτων παρακολούθησης των σταθμών παραγωγής ενέργειας και των παρόχων προβλέψεων, καθώς και η έγκαιρη ενημέρωση που παρέχεται από την ομάδα λειτουργίας κάθε σταθμού παραγωγής ενέργειας επί των προγραμματισμένων ή εκτάκτων διακοπών της λειτουργίας τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] P. Pinson, C. Chevallier, G. Kariniotakis, 'Trading wind generation with short-term probabilistic forecasts of wind power', IEEE Trans. on Power Systems 22 (3), pp. 1148-1156, 2007
- [2] Debra Lew and Michael Milligan, National Renewable Energy Laboratory, Gary Jordan and Richard Piwko, GE Energy, "The Value of Wind Power Forecasting"
- [3] ConWx internal documentation, 2019. Copenhagen

FORECAST OF ENERGY PRODUCTION FOR RES PLANTS USING ADVANCED METEOROLOGICAL TOOLS IN GREECE

Konstantinos Gkarakis^{1*}, Dionysios Andronas²

^{1*}Dept. of Mechanical Engineering, University of West Attica
Ag. Spiridonos, GR12210 Egaleo, Greece, e-mail: ape@uniwa.gr

² Andronas Bros – ConWx ApS

ABSTRACT

For the RES area, the start of operation of the Target Model marks the transition period from "passive" market participation to "active" participation, from the "immaturity" of the fixed selling price to the "maturity" of variable pricing and continuous forecasting energy production. RES with the Target Model, acquire "balancing obligations", i.e. they are obliged to declare their hourly production program in the Day Ahead Market (DAM), to calculate the deviations from their actual production and to improve their declarations in Intraday Market (IDM). The remaining discrepancies finally participate in the final balancing market.

The participation of RES projects in the energy market can be done either directly or through the Cumulative RES Representative Bodies (FOSE) that have been established for this purpose, taking advantage of the possibility of a comprehensive declaration of production of a RES project portfolio of different technology and wider geographical distribution offering higher accuracy in the total hourly forecast of production of the projects within their portfolio and thus reducing the risk of deviations (consequently of the respective charges).

Power generation forecasting is based on the numerical input of multiple weather models. Extensive experience developing and operating numerical weather models combined with access to high-resolution weather data are key to producing accurate forecasts. In order to minimize the overall forecast error, to ensure the availability of forecasts and to accurately describe possible alternative weather developments, the use of at least three (3) meteorological models is recommended.

This paper concerns a comparative evaluation of forecasts and actual producers for a variety of photovoltaic and wind projects throughout the country in the context of providing forecasts to private RES producers as well as Cumulative Representation Bodies (FOSE) for a period of more than a full year.

The NMAE, MAPE, NRMSE, NBIAS evaluation coefficients are exported for six (6) wind farms and four (4) photovoltaic plants throughout Greece for a period of one year.

The study team evaluates the results, investigates limitations and causes of differentiation and provides useful conclusions for the improvement of the provided forecasts of energy production.

Keywords: weather conditions, target model, models, prediction.