

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΔΕΑ-41916

ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΝ:

«Εκπόνηση μελέτης βιομηχανικής έρευνας για την αξιοποίηση τεχνικών Μηχανικής Μάθησης-Τεχνητής Νοημοσύνης από την ΑΔΜΗΕ Α.Ε.».

ΤΕΥΧΟΣ 4

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΔΕΑ-41916

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

«Μελέτη βιομηχανικής έρευνας για την αξιοποίηση τεχνικών Μηχανικής Μάθησης – Τεχνητής Νοημοσύνης από την ΑΔΜΗΕ Α.Ε.»

Η εκπόνηση της μελέτης έχει ως στόχο την αξιοποίηση αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης / Τεχνητής Νοημοσύνης τελευταίας γενιάς με στόχο την ανάπτυξη εργαλείων λογισμικού στα πεδία της πρόβλεψης των απωλειών στο Σύστημα μεταφοράς και της πρόβλεψης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

Σύντομη περιγραφή φυσικού αντικείμενου

Η ΑΔΜΗΕ Α.Ε. είναι ο κύριος και διαχειριστής του ελληνικού συστήματος μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (εφεξής καλούμενο «Σύστημα»), επιφορισμένος με τη λειτουργία, την εκμετάλλευση, τη συντήρηση και την ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Το Σύστημα αποτελείται από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας και των διασυνδεδεμένων με αυτό νησιών στα επίπεδα υψηλής (150 kV και 66 kV) και υπερευψηλής τάσης (400 kV). Το υφιστάμενο σύστημα περιλαμβάνει 11,508 χιλιόμετρα γραμμών μεταφοράς και 343 υποσταθμούς και 25 Κέντρα Υπερευψηλής Τάσεως (ΚΥΤ). Το Σύστημα αποτελείται από τρεις γραμμές 400kV διπλού κυκλώματος που διατρέχουν την επικράτεια από το βορρά προς το νότο και πρόσθετες γραμμές 400 kV μονής κατεύθυνσης που διατρέχουν την επικράτεια από ανατολή προς δύση.

Στους ζυγούς του συστήματος συνδέονται οι παραγωγοί και οι καταναλωτές Υψηλής Τάσης καθώς και το Δίκτυο Διανομής. Κατά τη λειτουργία του Συστήματος πρέπει να εξασφαλίζεται διαρκώς ισορροπία μεταξύ της συνολικά απορροφούμενης και της συνολικά παραγόμενης ισχύος σε πραγματικό χρόνο, υπό ασφαλές συνθήκες (διαδικασία η οποία χαρακτηρίζεται ως εξισορρόπηση) και αποτελεί αρμοδιότητα του Διαχειριστή. Οι γραμμές μεταφοράς κατά τη λειτουργία του Συστήματος παρουσιάζουν απώλειες θερμότητας που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των αγωγών μεταφοράς. Σε βασική προσέγγιση, οι συνολικές απώλειες είναι συνάρτηση της εγχεόμενης ισχύος (περίπου ανάλογη του τετραγώνου της συνολικής ισχύος σε κάθε επίπεδο τάσης και συνολικού φορτίου). Ωστόσο, η τοπολογία της εκάστοτε συνδεσμολογίας του συστήματος μεταφοράς (π.χ. μήκη και τύπος γραμμών, υποσταθμοί, μετασχηματιστές), οι μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, εντονα τοπικά φαινόμενα) και άλλοι παράγοντες (π.χ. μη-γραμμικά φορτία) προκαλούν αποκλίσεις από αυτή την απλή προσέγγιση.

Επιπρόσθετα, όταν το ζητούμενο είναι η *πρόβλεψη* των απωλειών και όχι μόνο ο στιγμιαίος υπολογισμός τους, η αβεβαιότητα και οι αποκλίσεις αυξάνονται. Πρώτον, οι συμβατικές μονάδες που θα είναι συνδεδεμένες στο σύστημα τις επόμενες 1-2 μέρες και οι χρόνοι συνδεσής τους, όπως επίσης και η ακριβής παραγόμενη ισχύς της καθεμιάς, δεν είναι εκ των προτέρων γνωστά καθώς αποτελούν αποτέλεσμα αφενός της οικονομικής βελτιστοποίησης της χονδρεμπορικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των αφετέρου των πραγματικών αναγκών του Συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Δεύτερον, οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι

άγνωστες, διαθέσιμες μόνο ως μετεωρολογική πρόγνωση. Αυτό επηρεάζει άμεσα και τον τρόπο με τον οποίο η συνολική ισχύς εγχέεται στο σύστημα, αφού η παραγωγή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (εφεξής αποκαλούμενες «ΑΠΕ») είναι άμεσα συναρτημένη με ατμοσφαιρικούς παράγοντες (κυρίως κατανομή ηλιοφάνειας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου).

Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο, αυξάνει την πολυπλοκότητα της εκτίμησης και της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης των απωλειών και η φυσική μοντελοποίηση του συστήματος γίνεται εξαιρετικά περίπλοκη. Ο ΑΔΜΗΕ έχει την υποχρέωση να διαθέτει όσο το δυνατόν ακριβέστερες, υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης στιγμιαίες εκτιμήσεις και προβλέψεις των απωλειών του Συστήματος. Αυτές χρησιμεύουν τόσο στον καλύτερο προγραμματισμό της λειτουργίας του Συστήματος και αύξηση της ασφάλειάς του όσο και στην εύρυθμη λειτουργία της αγοράς εξισορρόπησης. Επίσης θα διευκολύνουν τη συμμετοχή του ΑΔΜΗΕ στις Αγορές που διαχειρίζεται το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας κατά το σκέλος της συμμετοχής του στην αγορά. Όπως προβλέπεται από τους αντίστοιχους Κώδικες μετά την εφαρμογή του “target model”, ο Διαχειριστής θα “αγοράζει” τις απώλειες του Συστήματος και την χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν η λειτουργία ενός συστήματος, λόγω εγγενούς πολυπλοκότητας και μη-γραμμικών ή αβέβαιων εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων γίνεται πολύ σύνθετη (complex system) η συνάρτηση “εισόδου-εξόδου” του συστήματος (στην περίπτωση μας είσοδος: συνδεσμολογία συστήματος, περιβαλλοντικές συνθήκες / έξοδος: απώλειες ισχύος ανά περιοχή ή απώλειες ενέργειας σε χρονικό ορίζοντα ώρας και δεκαπενταλέπτου) μπορεί να προσεγγίζεται καλύτερα από αλγόριθμους μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούν τα “μοτίβα” της λειτουργίας του συστήματος για να μάθουν να προσομοιώνουν τη συνολική συμπεριφορά του, χωρίς να προσομοιώνουν άμεσα τα στοιχεία που το συναποτελούν με βάση τη φυσική τους λειτουργία (physical modeling).

Τα τελευταία χρόνια μια νέα γενιά αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (βαθιά μηχανική μάθηση - deep learning, επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα -recurrent neural networks, δίκτυα προσοχής - attention networks, δίκτυα αποθέματος - reservoir networks) έχει επιδείξει εξαιρετικές επιδόσεις στην πρόβλεψη χρονοσειρών μεγεθών που επηρεάζονται από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες, και στη μοντελοποίηση σύνθετων συστημάτων εν γένει -, ξεπερνώντας κατά πολύ σε αρκετές περιπτώσεις την ακρίβεια άλλων πιο κλασικών αλγορίθμων ευρείας χρήσης (π.χ. ARIMA, Support Vector Machines). Οι αλγόριθμοι αυτοί βασίζονται στην ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων του συστήματος, και ουσιαστικά “χαρτογραφούν” τη λειτουργία του χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο αριθμό εσωτερικών παραμέτρων. Χρησιμεύουν ως “καθολικοί προσομοιωτές” (universal approximators) που μπορούν να προσομοιώσουν οποιαδήποτε συνάρτηση εισόδου-εξόδου ενός πολύπλοκου συστήματος, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά δεδομένα, που να παρέχουν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του φάσματος των δυνατών καταστάσεων του συστήματος.

Η μελέτη αφορά την ερευνητική υλοποίηση ενός αλγοριθμικού συστήματος Μηχανικής Μάθησης ως συμπληρωματική με τη φυσική μοντελοποίηση μέθοδο για τη εκτίμηση και βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη των απωλειών του Συστήματος σε χρονικό ορίζοντα ώρας και δεκαπενταλέπτου. Επίσης, μέρος του

αλγοριθμικού συστήματος Μηχανικής Μάθησης θα αφορά την πρόβλεψη της παραγωγής των αιολικών μονάδων, καθώς δεδομένης της αυξανόμενης σημασίας των μεγάλων αιολικών μονάδων ΑΠΕ για τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς (λόγω μεγάλης δυνητικής ισχύος και κυμαινόμενης παραγωγής), βασική προϋπόθεση της πρόβλεψης των απωλειών είναι η όσο το δυνατόν ακριβής πρόβλεψη της παραγόμενης από τα αιολικά πάρκα ισχύος εντός κάθε μίας από τις γεωγραφικές περιοχές της χώρας. Η πρόβλεψη της παραγωγής των αιολικών μονάδων που θα παράσχουν οι σχετικοί αλγόριθμοι – εκτός από τη συμβολή της στην πρόβλεψη των απωλειών του συστήματος μεταφοράς – αναμένεται να είναι χρήσιμη στον Διαχειριστή για την ανάπτυξη επιπρόσθετων εφαρμογών και την ικανοποίηση απαιτήσεων που αφορούν τη λειτουργία του Συστήματος και την χονδρεμπορική Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Διάρθρωση της έρευνας (πακέτα έρευνας)

- ΠΕ1 - Πρόβλεψη απωλειών στο σύστημα μεταφοράς

Έρευνα για την πρόβλεψη των απωλειών του συστήματος μεταφοράς. Χρήση αλγορίθμων νευρωνικών δικτύων μεγάλου βάθους (deep learning), σε συνδυασμό πιθανώς με υβριδικά στοιχεία βασισμένα σε κανόνες (rule-based components) όπου αυτό ενδείκνυται, για την πρόβλεψη των απωλειών σε βάθος 48 ωρών, συμπεριλαμβανομένης της στιγμιαίας εκτίμησης (απώλειες την παρούσα στιγμή). Η χρονική ανάλυση της πρόβλεψης θα είναι 15 λεπτά, με δυνατότητα ολοκλήρωσης σε επίπεδο ώρας και η χωρική ανάλυση θα είναι στο επίπεδο 5 ή 6 γεωγραφικών περιοχών, που θα προσδιοριστούν επακριβώς με βάση τις εσωτερικές ανάγκες της λειτουργίας και τα bidding zones της αγοράς. Θα διεξαχθούν επίσης συγκριτικές δοκιμές για την επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου. Επίσης θα γίνει βελτιστοποίηση του επιλεγέντος αλγορίθμου (ρύθμιση παραμέτρων) μέσω νέου κύκλου δοκιμών.

Ο σχεδιασμός, οι δοκιμές και η τελική υλοποίηση του λογισμικού θα γίνουν με βάση τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στον Διαχειριστή σε καθημερινή βάση, ώστε ο αλγόριθμος να μπορεί απευθείας να χρησιμοποιηθεί κατά βούληση από τη Διεύθυνση Λειτουργίας Συστήματος για την παραγωγή προβλέψεων. Για το σχεδιασμό και τις δοκιμές (“εκπαίδευση”) του αλγοριθμικού συστήματος θα αξιοποιηθούν ιστορικά αρχεία αυτών των δεδομένων. Το ακριβές είδος, η χωροχρονική ανάλυση και το χρονικό βάθος των δεδομένων θα προσδιοριστούν με ακρίβεια στο πρώτο στάδιο της ερευνητικής διαδικασίας, αλλά ενδεικτικά αυτά θα περιλαμβάνουν:

- Την πραγματική εκάστοτε ακριβή συνδεσμολογία του συστήματος παραγωγής/ μεταφοράς (συνδεδεμένες μοναδες, επίπεδα τάσης, εγχεόμενη ισχύς, φορτία).
- Τις πραγματικές, καταμετρηθείσες απώλειες ανά γεωγραφική περιοχή.
- Αρχείο των προβλεπόμενων συνδέσεων μονάδων στο σύστημα όπου και όταν αυτές ήταν διαθέσιμες (δλδ των βραχυπρόθεσμων προβλέψεων που είχε κάθε μέρα ο διαχειριστής για τη σύνδεση και αποσύνδεση μονάδων τις επόμενες 1-2 μέρες, ακόμα και αν αυτές δεν υλοποιούνται επακριβώς).
- Αρχείο των μετεωρολογικών προβλέψεων που χρησιμοποιεί καθημερινά ο διαχειριστής για την πρόβλεψη της παραγωγής των ΑΠΕ.

- Αρχείο των προβλέψεων της παραγωγής των ΑΠΕ που είχε κάθε μέρα ο διαχειριστής.
- Άλλα επιμέρους δεδομένα της Λειτουργίας που αφορούν την κατάσταση του συστήματος (π.χ. αρχεία GIS).

Ιστορικά αρχεία αυτών των δεδομένων, με κοινό βάθος ενός έτους τουλάχιστον, είναι ικανά να αξιοποιηθούν για την βελτιστοποίηση του αλγοριθμικού συστήματος, αφού πρώτα αναλυθούν στατιστικά και μέσα από δοκιμές γίνει η επιλογή εκείνων των παραμέτρων που θα έχουν την καλύτερη (μη-γραμμική) συσχέτιση και προβλεπτική δύναμη.

Παραδοτέα:

Έκθεση αποτελεσμάτων, εκτίμηση οφέλους της μελλοντικής αξιοποίησης των αποτελεσμάτων των δοκιμών – Αποθετήριο κώδικα το οποίο θα περιλαμβάνει το σύνολο του πρωτότυπου κώδικα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές για μελλοντική αξιοποίηση.

ΠΕ2 - Πρόβλεψη παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από ΑΠΕ (αιολικές μονάδες)

Ερευνα (proof-of-concept) για τη βελτίωση της χωρο-χρονικής ανάλυσης της πρόβλεψης των αιολικών μονάδων. Πρόβλεψη της παραγόμενης από τα αιολικά πάρκα ισχύος εντός κάθε μίας από τις γεωγραφικές περιοχές όπου επιδιώκουμε την πρόβλεψη των απωλειών. Διεξαγωγή συγκριτικών δοκιμών για την επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου. Βελτιστοποίηση του επιλεχθέντος αλγορίθμου (ρύθμιση παραμέτρων) μέσω νέου κύκλου δοκιμών.

Ο Διαχειριστής διαθέτει καθημερινή ροή προβλέψεων με βάση την μετεωρολογική πρόγνωση, με χωρική ανάλυση βορρά-νότου. Για την αύξηση της χωρικής ανάλυσης της πρόβλεψης, ένα μέρος του αλγορίθμου θα λειτουργεί αποκλειστικά για την παραγωγή προβλέψεων της παραγωγής των αιολικών, και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι'αυτό το σκοπό κατά βούληση και ανεξάρτητα από το υπόλοιπο, καθώς η ακριβέστερη πρόγνωση της παραγωγής των αιολικών μπορεί να είναι χρήσιμη για άλλες εφαρμογές που αφορούν τη Λειτουργία και την αγορά. Η πρόβλεψη θα γίνεται και εδώ με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης τελευταίας γενιάς. Τα δεδομένα που θα αξιοποιηθούν εδώ για το σχεδιασμό και την εκπαίδευση του αλγορίθμου ενδεικτικά είναι:

- Οι μετεωρολογικές προβλέψεις που χρησιμοποιεί καθημερινά ο διαχειριστής για την πρόβλεψη της παραγωγής των αιολικών ΑΠΕ.
- Οι προβλέψεις της παραγωγής των αιολικών ΑΠΕ που είχε κάθε μέρα ο διαχειριστής.
- Οι πραγματικές μετρηθείσες παραγωγές από τα κατά τόπους αιολικά πάρκα.

Παραδοτέα:

1. Έκθεση αποτελεσμάτων, εκτίμηση οφέλους της μελλοντικής αξιοποίησης των αποτελεσμάτων των δοκιμών.
2. Αποθετήριο κώδικα το οποίο θα περιλαμβάνει το σύνολο του πρωτότυπου κώδικα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές για μελλοντική αξιοποίηση.
3. Εκπαίδευση Προσωπικού ΑΔΜΗΕ.

Διάρκεια έργου

Η συνολική διάρκεια εκτέλεσης του έργου θα είναι 16 μήνες από την ημερομηνία υπογραφής της σύμβασης.