



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βελτιστοποίηση της συντήρησης ανεμογεννητριών  
με χρήση δεδομένων SCADA



ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΜ : 80697818

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Δρόσος

Αθήνα , Μάιος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

Department of  
Industrial Design & Production Engineering

M.Sc. IN INDUSTRIAL AUTOMATION

**Master Diploma thesis**

Optimization of wind turbine maintenance using SCADA data



Koutroumpis Christos

AM : 80697818

Supervising Professor: Christos Drosos

Athens, May 2024



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βελτιστοποίηση της συντήρησης ανεμογεννητριών  
με χρήση δεδομένων SCADA

Optimization of wind turbine maintenance using SCADA data

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/Α	Όνοματεπώνυμο	Βαθμίδα/Ιδιότητα	Υπογραφή
1	Δρόσος Χρήστος	ΕΔΙΠ Α	
2	Γκανέτσος Θεόδωρος	Καθηγητής	
3	Κάντζος Δημήτριος	Καθηγητής	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κουτρομπής Χρήστος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 80697818 μεταπτυχιακός φοιτητής του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Μεταπτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Μεταπτυχιακή Εργασία (Μ.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή.

Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών



Ημερομηνία :01/05/2024

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα εργασία έγινε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος του Πανεπιστήμιου Δυτικής Αττικής με όνομα Αυτοματισμός Παραγωγής & Υπηρεσιών. Σε αυτό το σημείο της εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, κ. Χρήστο Δρόσο για την πολύτιμη βοήθεια, την υποστήριξη και την ορθή καθοδήγησή του, προκειμένου να ολοκληρωθεί με επιτυχία η παρακάτω διπλωματική εργασία. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος << Αυτοματισμός παραγωγής και υπηρεσιών>> για τις εξειδικευμένες γνώσεις που μας προσέφεραν και την υποστήριξή τους. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους συνεργάτες μου και τους συμφοιτητές μου για την στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος.

## Περίληψη

Με την αυξανόμενη ζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες έχουν γίνει ένα πανταχού παρόν σε πολλές περιοχές. Ωστόσο, η συντήρηση αυτών των πολύπλοκων μηχανών μπορεί να είναι δύσκολη και δαπανηρή, ιδίως λόγω των απομακρυσμένων τοποθεσιών τους. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, πολλοί φορείς εκμετάλλευσης αιολικών πάρκων έχουν στραφεί σε συστήματα SCADA (Εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων), χρησιμοποιώντας δεδομένα πραγματικού κόσμου από ένα αιολικό πάρκο, δείχνοντας ότι μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος συντήρησης και να βελτιώσει τη διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας.

Η εργασία αναδεικνύει τις δυνατότητες των συστημάτων SCADA ως ένα ισχυρό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της συντήρησης των ανεμογεννητριών και τη βελτίωση της αξιοπιστίας της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Ένα σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων για την παρακολούθηση της απόδοσης των ανεμογεννητριών τους και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων πριν αυτά μετατραπούν σε δαπανηρές βλάβες.

Σε αυτό το έγγραφο, διερευνάτε ο τρόπος με τον οποίο τα δεδομένα SCADA μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των προγραμμάτων συντήρησης των ανεμογεννητριών και τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας.

Πραγματοποιείτε μια προσέγγιση με βάση τα δεδομένα που αξιοποιεί αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη των αναγκών συντήρησης με βάση τα δεδομένα SCADA. Επιδεικνύετε η αποτελεσματικότητα της προσέγγισής αυτής.

**Λέξεις Κλειδιά:** SCADA (Εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων), Ευφυείς ανεμογεννήτριες, Ανάλυση δεδομένων, Βελτιστοποίηση απόδοσης ανεμογεννητριών, Ανίχνευση και διάγνωση σφαλμάτων, Έλεγχος ανεμογεννητριών, Προηγμένα συστήματα SCADA.

## **Abstract**

With the growing demand for renewable energy, wind turbines have become a ubiquitous feature in many regions. However, maintaining these complex machines can be difficult and costly, especially due to their remote locations. To address this issue, many wind farm operators have turned to SCADA systems using real-world data from a wind farm, showing that it can significantly reduce maintenance costs and improve turbine availability.

The paper highlights the potential of SCADA systems as a powerful tool to optimize wind turbine maintenance and improve the reliability of renewable energy production. (Supervisory control and data collection) to monitor the performance of their wind turbines and identify potential problems before they turn into costly failures.

In this paper, we explore how SCADA data can be used to optimize wind turbine maintenance schedules and reduce downtime.

You implement a data-driven approach that leverages machine learning algorithms to predict maintenance needs based on SCADA data. Demonstrate the effectiveness of this approach.

**Keywords:** SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), Intelligent wind turbines, Data analysis, Wind turbine performance optimization, Fault detection and diagnosis, Wind turbine control, Advanced SCADA systems.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	9
2. Κλιματική αλλαγή.....	11
2.1 Υπερθέρμανση του πλανήτη.....	12
2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	14
2.3 Αιολική ενέργεια στη Ελλάδα.....	20
3. Τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών.....	22
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας.....	24
4. Scada (Supervisory Control and Data Acquisition) .....	29
4.1 Scada και IoT.....	32
4.2 Έλεγχος των ανεμογεννητριών με SCADA.....	35
4.3 Αρχιτεκτονική ενός συστήματος Scada.....	36
4.4 Εποπτικοί υπολογιστές.....	37
4.5 Απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU).....	38
4.6 Διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI) Human Machine Interface.....	43
5. Δεδομένα λειτουργίας και απόδοσης των Α/Γ.....	45
5.1 Συλλογή δεδομένων SCADA αισθητήριων μιας ανεμογεννήτριας.....	48
6. Μελέτη περίπτωσης Ανεμογεννήτριας στη Αργολίδα E-82 E2.....	50
6.1 Enercon Scada Remote 3.....	53
6.2 Πλεονεκτήματα του SCADA για τη διαχείριση και τη λειτουργία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	66
7. Συμπεράσματα.....	68
Βιβλιογραφία.....	70



## 1. Εισαγωγή

Ο επιστημονικός κόσμος αναζητά νέες πηγές ενέργειας ως αποτέλεσμα των προβλημάτων με την υπερθέρμανση του πλανήτη και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αναδειχθεί ως πιθανό υποκατάστατο της παραδοσιακής ενέργειας που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Ως η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον κόσμο" με μέση ετήσια αύξηση 30% κατά τις δύο προηγούμενες δεκαετίες, η αιολική ενέργεια ξεχωρίζει μεταξύ των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τις ανώτερες ιδιότητες της. Η βελτιστοποίηση SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των ανεμογεννητριών. Καθώς η ζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται, καθίσταται επιτακτική η μεγιστοποίηση της παραγωγής των αιολικών πάρκων με παράλληλη ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους και του χρόνου διακοπής λειτουργίας. Σε αυτό το σημείο μπαίνει στο παιχνίδι η βελτιστοποίηση του SCADA.

Τα συστήματα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) είναι συνήθεις εγκαταστάσεις στις ανεμογεννήτριες που προσφέρουν μια ποικιλία μετρήσεων χαμηλής συχνότητας για την παρακολούθηση της απόδοσης και της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (συνήθως μέσες τιμές 10 λεπτών). Το SCADA είναι μια χρήσιμη, προσιτή τεχνολογία παρακολούθησης που μπορεί να μειώσει δραστικά το κόστος λειτουργίας και διαχείρισης. Τα λεγόμενα συστήματα παρακολούθησης κατάστασης (CMS) έχουν αναπτυχθεί από διάφορους κατασκευαστές. Αυτά παρακολουθούν διάφορα, βασικές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένων των δονήσεων του συστήματος μετάδοσης κίνησης, της ποιότητας του λαδιού και των θερμοκρασιών σε ορισμένα από τα κύρια υποσυστήματα.

Για την ανίχνευση ελαττωμάτων από δεδομένα SCADA έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές, όπως η τάση, η ομαδοποίηση, η μοντέλοποίηση κανονικής συμπεριφοράς, η μοντέλοποίηση βλαβών, η αξιολόγηση συναγεργμών και τα συστήματα εμπειρογνομώνων. Οι ανωμαλίες των δεδομένων μπορούν να εξηγηθούν με τη μοντέλοποίηση βλαβών, η οποία βασίζεται στα φυσικά αίτια των βλαβών. Ωστόσο, είναι εξαιρετικά δύσκολο να δημιουργηθούν διάφορα μοντέλα για κάθε τρόπο αστοχίας. Για τους σκοπούς της διάγνωσης βλαβών σε Ανεμογεννήτριες, ενθαρρύνονται η ανάλυση τάσεων και η ομαδοποίηση που χρησιμοποιούν μεθόδους μηχανικής μάθησης και εξόρυξης δεδομένων.

Τα συστήματα SCADA επιτρέπουν την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την απόκτηση δεδομένων των ανεμογεννητριών σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους φορείς εκμετάλλευσης να διαχειρίζονται και να βελτιστοποιούν την απόδοσή τους από απόσταση. Αξιοποιώντας την προηγμένη τεχνητή νοημοσύνη και τα δίκτυα, η βελτιστοποίηση SCADA μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες και προγνωστικές αναλύσεις για τη βελτίωση της απόδοσης των ανεμογεννητριών, τη μείωση του κόστους συντήρησης και τη βελτίωση της συνολικής λειτουργικής αξιοπιστίας.

## **Σκοπός :**

Η εργασία εξετάζει την πρόσφατη πρόοδο που έχει σημειωθεί στις τεχνολογίες που βασίζονται σε δεδομένα με βάση τα δεδομένα SCADA για τη βελτίωση των δραστηριοτήτων λειτουργίας και συντήρησης των ανεμογεννητριών (π.χ. παρακολούθηση της κατάστασης, υποστήριξη αποφάσεων, εντοπισμός βλαβών κρίσιμων εξαρτημάτων) και τις προκλήσεις που συνδέονται με αυτές. Εξετάζονται οι τεχνικές μηχανικής μάθησης που εφαρμόζονται στη λειτουργία και συντήρηση (O&M) των ανεμογεννητριών.

## **Έρευνα - Αναζήτηση:**

Ερευνήθηκαν έργα συγγραφέων και μελετητών που σχετίζονται με τεχνολογίες που βασίζονται σε δεδομένα με βάση τα δεδομένα SCADA για τη βελτίωση των δραστηριοτήτων λειτουργίας και συντήρησης των ανεμογεννητριών. Θέματα που σχετίζονται με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Τα αιολικά πάρκα και η αρχιτεκτονική σχεδίασης λήψη δεδομένων ενός συστήματος SCADA. Καθώς και η δομή της ανεμογεννήτριας με τα αισθητήρια όργανα που εμπεριέχονται σε αυτήν για τη συλλογή δεδομένων.

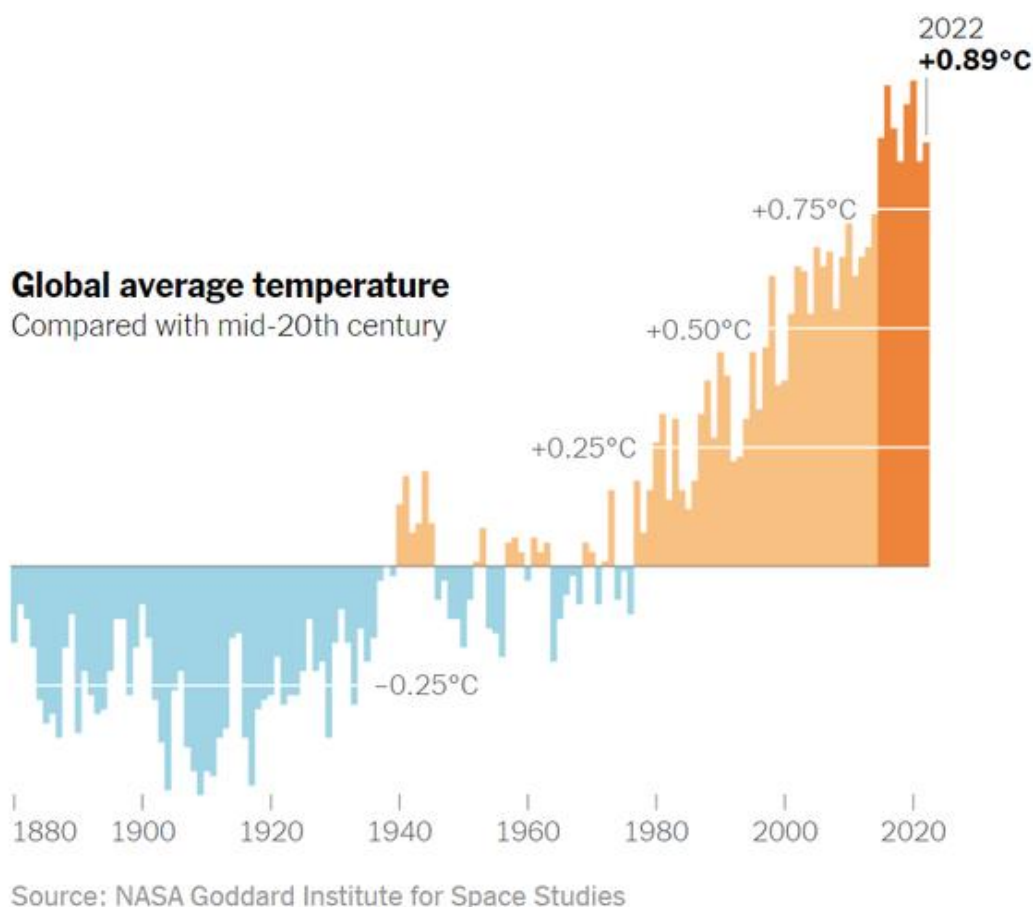
## **Μεθοδολογία έρευνας:**

Η μεθοδολογία της μελέτης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Διεξαγωγή έρευνας σχετικών δημοσιεύσεων σε περιοδικά, πρακτικών συνεδρίων, βιβλίων και εκθέσεων σχετικά με την βελτιστοποίηση των συστημάτων SCADA σε αιολικά πάρκα. Διαχείριση και λειτουργία ευφών ανεμογεννητριών.
- Καθορισμός ερευνητικών ερωτημάτων ή υποθέσεων για την καθοδήγηση της έρευνας και τον εντοπισμό σχετικών θεμάτων, τάσεων και προβλημάτων στη βιβλιογραφία.
- Επιλογή μελετών περίπτωσης που αφορούν στοιχεία δεδομένων και συλλογή πληροφοριών από πολλαπλές πηγές, συμπεριλαμβανομένων ερευνών και πληροφοριακών συστημάτων.

## 2. Κλιματική αλλαγή

Ένα από τα ζητήματα που καθορίζουν την εποχή μας είναι η κλιματική αλλαγή. Με βάση πολυάριθμα στοιχεία, είναι πλέον πιο σαφές από ποτέ ότι ο άνθρωπος μεταβάλλει το κλίμα της Γης. Μαζί με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την απότομη απώλεια των θαλάσσιων πάγων της Αρκτικής και άλλες αλλαγές που σχετίζονται με το κλίμα, η ατμόσφαιρα και οι ωκεανοί έχουν θερμανθεί. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους ανθρώπους και το περιβάλλον γίνονται όλο και πιο εμφανείς. Πρωτοφανή κύματα καύσωνα, πυρκαγιές και πλημμύρες έχουν προκαλέσει απώλειες δισεκατομμυρίων. Ως αντίδραση στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες και τα πρότυπα βροχόπτωσης, οι οικοτόποι μεταβάλλονται γρήγορα. Η κλιματική αλλαγή, όπως χρησιμοποιείται στον καθημερινό λόγο, αναφέρεται στις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στο κλιματικό σύστημα του πλανήτη, καθώς και στη συνεχή αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Ένας ευρύτερος ορισμός της κλιματικής αλλαγής καλύπτει παλαιότερες, μακροχρόνιες αλλαγές στο κλίμα του πλανήτη. Η χρήση ορυκτών καυσίμων από τον άνθρωπο ευθύνεται κυρίως για τη σημερινή, ταχύτερη άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η χρήση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών και διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες οδηγούν σε αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου. Περισσότερα από αυτά τα αέρια παγιδεύουν περισσότερη θερμότητα στην κατώτερη ατμόσφαιρα της Γης, συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη.



**Εικόνα 1.** Εξέλιξη μέσης θερμοκρασίας παγκοσμίως ανά χρονολογία (Πηγή Nasa)

## 2.1 Υπερθέρμανση του πλανήτη

Η δεκαετία από το 2011 έως το 2020 ήταν η θερμότερη που έχει καταγραφεί ποτέ, με τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία του 2019 να υπερβαίνει κατά 1,1°C τα προβιομηχανικά επίπεδα. Ο ρυθμός της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης του πλανήτη αυξάνεται σήμερα κατά 0,2 °C ανά δεκαετία.

Το φυσικό περιβάλλον, η ανθρώπινη υγεία και η ευημερία επηρεάζονται αρνητικά από μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 °C σε σύγκριση με τις προβιομηχανικές περιόδους. Υπάρχει επίσης σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητα επικίνδυνων και δυνητικά καταστροφικών αλλαγών στο παγκόσμιο περιβάλλον.

Το διοξείδιο του άνθρακα και το οξείδιο του αζώτου είναι τα υποπροϊόντα της καύσης άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου.

**Αποψίλωση των δασών:** Τα δέντρα απορροφούν CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα, γεγονός που συμβάλλει στον έλεγχο της θερμοκρασίας. Ο άνθρακας που θα είχε αποθηκευτεί σε αυτά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα όταν κόβονται, αναιρώντας αυτό το ευεργετικό αποτέλεσμα και επιδεινώνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

**Αύξηση της κτηνοτροφίας:** Όταν οι αγελάδες και τα πρόβατα χωνεύουν τη διατροφή τους, απελευθερώνουν πολύ μεθάνιο.

Οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου προκαλούνται από τα αζωτούχα λιπάσματα.

Ο εξοπλισμός και τα αγαθά που κάνουν χρήση αυτών των αερίων παράγουν φθοριούχα αέρια. Μέχρι και 23.000 φορές μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από αυτούς τους ρύπους απ' ό,τι από το CO<sub>2</sub>.

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μακροπρόθεσμες αλλαγές στα καιρικά μοτίβα και στις μέσες θερμοκρασίες στη Γη. Προκαλείται κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες, και συγκεκριμένα την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). Εδώ είναι μερικά βασικά σημεία που πρέπει να λάβετε υπόψη:

**Αιτίες:** Η καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας, η αποψίλωση των δασών, οι βιομηχανικές διεργασίες και οι γεωργικές πρακτικές είναι οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Αυτές οι δραστηριότητες παγιδεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα της Γης, οδηγώντας σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

**Επιπτώσεις στο περιβάλλον:** Η κλιματική αλλαγή έχει σοβαρές συνέπειες για τα φυσικά συστήματα. Επιταχύνει το λιώσιμο των πολικών πάγων, προκαλώντας άνοδο της στάθμης της θάλασσας και διάβρωση των ακτών. Διαταράσσει επίσης τα οικοσυστήματα, οδηγώντας σε απώλεια οικοτόπων, εξαφάνιση ειδών και αλλοιωμένα πρότυπα μετανάστευσης. Αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων, αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων (όπως τυφώνες, ξηρασίες και καύσωνες) και αλλαγές στη γεωργική παραγωγικότητα είναι μερικές από τις άλλες επιπτώσεις.

**Υγεία του ανθρώπου:** Η κλιματική αλλαγή εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Τα ακραία κύματα καύσωνα μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες και θανάτους που σχετίζονται με τη ζέστη. Οι αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων μπορεί να οδηγήσουν σε λειψυδρία και να επηρεάσουν την υγιεινή, αυξάνοντας τον κίνδυνο υδατογενών ασθενειών.

Ένας τρόπος αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής είναι η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Μία από τις πιο αποτελεσματικές προσεγγίσεις είναι η αντικατάσταση της χρήσης ορυκτών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια και η αιολική ενέργεια.

Γνωστοί οικονομολόγοι έχουν δηλώσει ρητά ότι τα φτωχότερα κοινωνικά στρώματα θα πληγούν περισσότερο από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς είναι πιο ευάλωτα και δυσκολεύονται να προσαρμοστούν στις αλλαγές. Γεγονός παραμένει ότι οι πλουσιότερες χώρες, οι οποίες φέρουν το κύριο βάρος της αλλαγής που προκαλείται από την ανθρώπινη παρέμβαση, δεν θα αντιμετωπίσουν ποτέ τα ζητήματα που προκύπτουν στις φτωχότερες περιοχές και δεν θα αποζημιώσουν, όπως οι πλουσιότερες περιοχές, τους φτωχούς για οποιαδήποτε παρέμβαση σε δραστηριότητες που επιδεινώνουν την κλιματική αλλαγή.

Στις μέρες μας, η κλιματική αλλαγή φαίνεται να βρίσκεται σε μια ασταμάτητη τροχιά που τελικά θα έχει ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων, είτε αυτές είναι κοινωνικές, οικονομικές ή περιβαλλοντικές. Οι επιστήμονες ανησυχούν αρκετά για το θέμα αυτό και τονίζουν ότι η κλιματική αλλαγή έχει υποβαθμίσει σημαντικά την ποιότητα του περιβάλλοντος. Συνδέουν επίσης τα προβλήματα που σχετίζονται με τις εξαιρετικά υψηλές παγκόσμιες θερμοκρασίες με τις εμφύλιες συγκρούσεις μεταξύ των εθνών.

Υπάρχει σαφής συσχέτιση μεταξύ της ανθρώπινης υγείας και της ποιότητας ζωής.

οικοσυστημάτων και του φυσικού κόσμου. Το περιβάλλον στο οποίο ζει και αναπτύσσεται ένας άνθρωπος έχει άμεσο αντίκτυπο στη σωματική, πνευματική, κοινωνική και ψυχική του ευημερία. Το περιβάλλον παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξή του, περιλαμβάνοντας όχι μόνο το άμεσο περιβάλλον αλλά και το ευρύτερο παγκόσμιο πλαίσιο.

Πολλές ασθένειες μπορούν να προκληθούν από τις αλλαγές της θερμοκρασίας. Αυτές οι ασθένειες, οι οποίες μπορεί να είναι αρκετά επικίνδυνες, περιλαμβάνουν τον δάγκειο πυρετό και την ελονοσία. Εκτός από σωματικές, οι παθήσεις αυτές μπορεί να είναι και ψυχικές, αναπνευστικές, διατροφικές και καρδιαγγειακές. Ένα άτομο μπορεί επίσης να κινδυνεύει από άλλες ασθένειες, όπως η νεφρική ανεπάρκεια, η οποία συνδέεται στενά με την αφυδάτωση, η θερμοπληξία ή ακόμη και η καρδιακή ανεπάρκεια. Οι ερευνητές επικεντρώνονται στους πιο μακροχρόνιους και πιο συχνούς καύσωνες, καθώς και στις ασθένειες που μπορούν να μεταφέρουν τα κουνούπια. ειδικότερα και πώς επηρεάζει αρνητικά την υγεία και την παραγωγικότητα των εργαζομένων.

Η κοινωνία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή επιδιώκονται από την υπογραφή της συμφωνίας του Παρισιού για το κλίμα τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, καθώς τα ακραία καιρικά φαινόμενα γίνονται όλο και πιο συχνά, πρέπει να υπερβούμε τους σημερινούς πολιτικούς, τεχνολογικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Καθώς η υγεία τους κινδυνεύει περισσότερο, η εστίαση πρέπει να γίνει σε έθνη με μεσαίο και υψηλό βαθμό κλιματικής αλλαγής. Μια πρόσφατη επιστημονική έρευνα από 27 εθνικές ακαδημίες στην Ευρώπη προειδοποιεί ότι, αν και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία των ανθρώπων είναι ήδη εμφανείς, πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή σε αυτές, διότι τα πράγματα θα χειροτερέψουν.

Ένας αυξανόμενος αριθμός ανθρώπων βιώνει περιβαλλοντικές βλάβες, ατυχήματα, απώλειες επιχειρήσεων και κατοικιών, ακόμη και θανάτους. Είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι τα ίδια άτομα υφίστανται επανειλημμένα τα ίδια γεγονότα. Ο αριθμός των ανθρώπων που εκτίθενται σε σοβαρά περιστατικά και γεγονότα θα αυξηθεί ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, γεγονός που θα αυξήσει τον κίνδυνο εμφάνισης σημαντικών ψυχολογικών προβλημάτων όπως κατάθλιψη, άγχος, ανησυχία, αγωνία, αγωνία, άγχος, στρες, τραύμα, θλίψη και, το χειρότερο όλων, αυτοκτονία.

## 2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει φάρος ελπίδας στον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής. Καθώς η προσοχή του κόσμου στρέφεται όλο και περισσότερο προς βιώσιμες λύσεις, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν πλήθος πλεονεκτημάτων. Από την ικανότητά τους να μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και την προώθηση της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μεταμορφώνουν το ενεργειακό μας τοπίο και μας οδηγούν προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον.

**Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:** Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ο ρόλος τους στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγουν ελάχιστες έως καθόλου εκπομπές κατά τη λειτουργία τους. Αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, την αιολική ενέργεια, την υδροηλεκτρική ενέργεια και τη γεωθερμία, μπορούμε να περιορίσουμε σημαντικά την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτή η απομάκρυνση από τα ορυκτά καύσιμα είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τη διαφύλαξη του πλανήτη μας για τις μελλοντικές γενιές.

**Προώθηση της ενεργειακής απόδοσης:** Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παρέχουν μόνο καθαρή ενέργεια, αλλά προωθούν επίσης την καινοτομία στην ενεργειακή απόδοση. Η ανάπτυξη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συχνά συμβαδίζει με εξελίξεις στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αγκαλιάζοντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούμε να ενθαρρύνουμε την υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών πρακτικών και τεχνολογιών, μειώνοντας τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και μεγιστοποιώντας παράλληλα την παραγωγή.

Οι ανανεώσιμες πηγές αναφέρονται στις διάφορες μορφές ενέργειας που μπορούν να αναπληρώνονται φυσικά και επ' αόριστον. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν την ηλιακή ενέργεια, την αιολική ενέργεια, την υδροηλεκτρική ενέργεια, τη γεωθερμική ενέργεια και τη βιοενέργεια. Το 2023, οι ανανεώσιμες πηγές έχουν γίνει ολοένα και πιο δημοφιλείς και υιοθετούνται ευρέως λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους. Προσφέρουν μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μετριάζοντας την κλιματική αλλαγή.

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδήγησαν σε αυξημένη αποδοτικότητα και προσιτή τιμή, καθιστώντας τις πιο προσιτές σε άτομα, επιχειρήσεις και κοινότητες σε όλο τον κόσμο. Καθώς αγκαλιάζουμε τις ανανεώσιμες πηγές το 2023, προχωράμε προς ένα πιο πράσινο και πιο βιώσιμο μέλλον, όπου η καθαρή ενέργεια εξουσιοδοτεί τον κόσμο μας.

Πρόσφατα, η ενεργειακή ασφάλεια απέκτησε μεγαλύτερη σημασία στις χώρες της ΕΕ (Ευρωπαϊκή Ένωση), ιδίως μετά την έναρξη της σύγκρουσης στην Ουκρανία . Ένα σημαντικό στοιχείο που επηρεάζει την ανάπτυξη εναλλακτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ολοένα και πιο εμφανής παγκόσμια και ευρωπαϊκή κλιματική αλλαγή, σε συνδυασμό με την ανεξαρτησία της ΕΕ από το ρωσικό φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών και η χρήση ποικίλων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με αυτήν είναι ένα από τα σημαντικότερα πράγματα που πρέπει να επιτύχουν οι χώρες της ΕΕ . Αυτές οι πηγές ενέργειας θα πρέπει να τοποθετούνται οπουδήποτε η παραγωγή καθαρής ενέργειας δεν μεταβάλλει δραματικά το περιβάλλον ή την κοινωνία. Επειδή είναι άφθονες, βιώσιμες και εκπέμπουν ελάχιστα έως καθόλου αέρια του θερμοκηπίου κατά τη χρήση τους, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των ορυκτών καυσίμων . Τα έθνη της ΕΕ μπορούν να μειώσουν σημαντικά την εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιώντας αυτές τις καθарές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός που θα μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα, θα υποστηρίξει τις διεθνείς προσπάθειες για την επιβράδυνση της υπερθέρμανσης του πλανήτη και θα μειώσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής .

Η στρατηγική τοποθέτηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα σωστά σημεία είναι απαραίτητη για τη μετάβαση σε μια οικονομία με λιγότερες εκπομπές. Αυτές οι πηγές ενέργειας τοποθετούνται καλύτερα εκεί όπου δεν θα αλλάξουν δραστικά τη γύρω περιοχή ή δεν θα ξεριζώσουν τις κοινότητες, γεγονός που αυξάνει την κοινωνική αποδοχή των έργων και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα . Η δημιουργία νέων λύσεων καθαρής τεχνολογίας έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον από τις κοινωνίες των διαφόρων εθνών που παρατηρούν αύξηση των δυσμενών καιρικών φαινομένων που σχετίζονται με την εξόρυξη ενέργειας από ορυκτά καύσιμα .

Οι καύσωνες, οι ξηρασίες, οι πλημμύρες, οι τυφώνες και οι πυρκαγιές είναι παραδείγματα δυσμενών καιρικών φαινομένων που έχουν αυξηθεί σε συχνότητα και σοβαρότητα ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την καύση ορυκτών καυσίμων . Οι επιπτώσεις αυτών των ακραίων φαινομένων είναι καταστροφικές για τις οικονομίες, τα οικοσυστήματα και τις κοινωνίες. Ως αποτέλεσμα, οι κοινωνίες σε ολόκληρη την ΕΕ αρχίζουν να συνειδητοποιούν ότι η μεγάλη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι βιώσιμη και παρουσιάζει σοβαρούς κινδύνους για την ευημερία και την ευημερία τους .

Οδηγία της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω οδηγιών όπως η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED). Η οδηγία αυτή θέτει δεσμευτικούς στόχους για κάθε κράτος μέλος όσον αφορά την ανανεώσιμη ενέργεια, με στόχο ένα συγκεκριμένο ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μέχρι μια συγκεκριμένη προθεσμία.

Εθνικά σχέδια δράσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΕΣΔΑΕ): Κάθε κράτος μέλος της ΕΕ υποχρεούται να καταρτίσει το δικό του ΕΣΔΑΕΠ, στο οποίο θα περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο θα επιτύχει τον στόχο που του αναλογεί για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα σχέδια αυτά περιλαμβάνουν συνήθως μέτρα όπως οικονομικά κίνητρα, τιμολόγια τροφοδότησης και κανονιστικά πλαίσια για την ενθάρρυνση της ανάπτυξης και της διάδοσης τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

**Επέκταση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας:** Πολλές ευρωπαϊκές χώρες, ιδίως εκείνες που έχουν πρόσβαση στη Βόρεια Θάλασσα και τον Ατλαντικό Ωκεανό, επενδύουν σημαντικά στην υπεράκτια αιολική ενέργεια. Αναπτύσσονται έργα όπως αιολικά πάρκα και πλωτές ανεμογεννήτριες για την αξιοποίηση του τεράστιου αιολικού δυναμικού αυτών των θαλάσσιων περιοχών.

**Ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας:** Η ηλιακή ενέργεια γνωρίζει σημαντική ανάπτυξη σε όλη την Ευρώπη, υποβοηθούμενη από τη μείωση του κόστους της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και τις υποστηρικτικές κυβερνητικές πολιτικές. Χώρες όπως η Γερμανία, η Ισπανία και η Ιταλία ηγούνται στις εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας, ενώ άλλα έθνη ακολουθούν το παράδειγμά τους.

**Επενδύσεις σε υποδομές δικτύου:** Για να εξυπηρετηθεί το αυξανόμενο μερίδιο των διαλείπουσων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, οι επενδύσεις σε υποδομές δικτύου είναι ζωτικής σημασίας. Η αναβάθμιση και η επέκταση του δικτύου, καθώς και η εφαρμογή τεχνολογιών έξυπνου δικτύου, είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

**Λύσεις αποθήκευσης ενέργειας:** Η ενσωμάτωση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας γίνεται όλο και πιο σημαντική για τον μετριασμό της μεταβλητότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αποθήκευση μπαταριών, η αποθήκευση με αντλησιοταμίευση και άλλες καινοτόμες λύσεις αποθήκευσης αναπτύσσονται για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για χρήση σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής.

**Βιοενέργεια και βιομάζα:** Η βιομάζα και η βιοενέργεια διαδραματίζουν ρόλο στο μείγμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως σε τομείς όπως η θέρμανση και οι μεταφορές. Η βιώσιμη προμήθεια βιομάζας και οι εξελίξεις στις τεχνολογίες βιοενέργειας επιδιώκονται για τη μεγιστοποίηση των περιβαλλοντικών τους οφελών με παράλληλη ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων.

**Υδροηλεκτρική ενέργεια:** Ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες διαθέτουν σημαντικό υδροηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο συμβάλλει σημαντικά στο χαρτοφυλάκιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αναβάθμιση των υφιστάμενων υδροηλεκτρικών υποδομών και η διερεύνηση νέων υδροηλεκτρικών έργων αποτελούν μέρος των σχεδίων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις περιοχές αυτές.



**Οι πιο δημοφιλείς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σήμερα είναι:**

Ηλιακή ενέργεια.

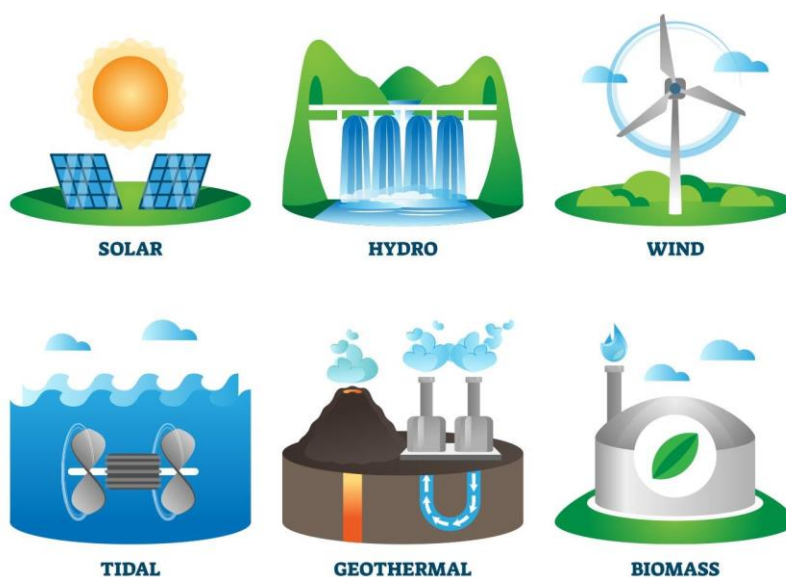
Αιολική ενέργεια.

Υδροηλεκτρική ενέργεια.

Ενέργεια παλίρροιας.

Γεωθερμική ενέργεια.

Ενέργεια βιομάζας.



**Εικόνα 2.** Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### **Ηλιακή ενέργεια**

Η πιο άφθονη πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε συνθήκες συννεφιάς. Ο ρυθμός με τον οποίο η Γη απορροφά την ηλιακή ενέργεια είναι περίπου 10.000 φορές υψηλότερος από τον ρυθμό με τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν ενέργεια. Για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, τα ηλιακά συστήματα μπορούν να παρέχουν θερμότητα, ψύξη, φυσικό φωτισμό, ενέργεια και καύσιμα. Οι ηλιακές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν φωτοβολταϊκά πάνελ ή κάτοπτρα συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας για να μετατρέψουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι πλέον όχι μόνο προσιτοί, αλλά συχνά η φθηνότερη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της απότομης μείωσης του κόστους παραγωγής ηλιακών συλλεκτών τα τελευταία δέκα χρόνια. Οι ηλιακοί συλλέκτες διατίθενται σε διάφορα χρώματα ανάλογα με τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους και έχουν μέση διάρκεια ζωής 30 ετών. Αν και δεν έχουν όλα τα έθνη την ίδια πρόσβαση στην ηλιακή ενέργεια, η άμεση ηλιακή ενέργεια μπορεί ωστόσο να συμβάλει σημαντικά στο ενεργειακό μείγμα κάθε έθνους.

## **Η γεωθερμική ενέργεια**

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιεί τη θερμική ενέργεια που είναι διαθέσιμη από το εσωτερικό της Γης. Οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες μπορούν να θερμανθούν με τη χρήση φρεατίων ή άλλων μεθόδων. Οι υδροθερμικοί ταμιευτήρες είναι εκείνοι που είναι φυσικά επαρκώς θερμοί και διαπερατοί, ενώ τα ενισχυμένα γεωθερμικά συστήματα είναι εκείνα που είναι φυσικά επαρκώς θερμά αλλά βελτιώνονται με υδραυλική διέγερση. Τα ρευστά διαφορετικής θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μόλις φθάσουν στην επιφάνεια. Δεδομένου ότι χρησιμοποιείται για περισσότερο από έναν αιώνα, η τεχνολογία για την παραγωγή ενέργειας από υδροθερμικούς ταμιευτήρες είναι καθιερωμένη, αξιόπιστη και ώριμη.

## **Υδροηλεκτρικής ενέργειας**

Η ενέργεια του νερού που ρέει από τα υψηλότερα υψόμετρα προς τα χαμηλότερα υψόμετρα αξιοποιείται από την υδροηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί να παραχθεί από ποτάμια και ταμιευτήρες. Οι εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ποτάμια βασίζονται στη διαθέσιμη ροή του ποταμού, ενώ οι εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ταμιευτήρα χρησιμοποιούν νερό που έχει αποθηκευτεί σε ταμιευτήρα. Εκτός από την παροχή ενέργειας, οι υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες χρησιμεύουν συχνά ως πηγές πόσιμου νερού, αρδευτικού νερού, ελέγχου πλημμυρών και ξηρασίας, υπηρεσιών ναυσιπλοΐας και ενέργειας. Η μεγαλύτερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας αυτή τη στιγμή είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια. Εξαρτάται από σχετικά σταθερά πρότυπα βροχοπτώσεων, τα οποία μπορεί να επηρεαστούν αρνητικά από ξηρασίες που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή ή από αλλαγές στα οικοσυστήματα που επηρεάζουν τα πρότυπα βροχοπτώσεων. Οι υποδομές υδροηλεκτρικής ενέργειας έχουν επίσης τη δυνατότητα να επηρεάσουν αρνητικά τα οικοσυστήματα.

## **Ενέργεια από τα κύματα των ωκεανών**

Η ωκεάνια ενέργεια προέρχεται από διεργασίες που χρησιμοποιούν την κινητική και θερμική ενέργεια των κυμάτων και των ρευμάτων του ωκεανού για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Η ανάπτυξη των συστημάτων ωκεάνιας ενέργειας βρίσκεται ακόμη στα σπάργανα, και διάφορα πρωτότυπα κυμάτων και παλιρροϊκών ρευμάτων βρίσκονται υπό διερεύνηση. Θεωρητικά, η ωκεάνια ενέργεια θα μπορούσε εύκολα να καλύψει όλες τις ενεργειακές ανάγκες του κόσμου.

## **Βιοενέργεια**

Η βιοενέργεια παράγεται από διάφορους οργανικούς πόρους, γνωστούς ως βιομάζα, όπως το ξύλο, το κάρβουνο, η κοπριά και άλλες κοπριές για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από γεωργικές καλλιέργειες για τη δημιουργία υγρών βιοκαυσίμων. Η πλειονότητα της βιομάζας χρησιμοποιείται από φτωχούς πληθυσμούς σε αναπτυσσόμενες χώρες σε αγροτικές περιοχές για μαγείρεμα, φωτισμό και θέρμανση χώρων. Στα σύγχρονα συστήματα βιομάζας χρησιμοποιούνται αποκλειστικά φυτά ή δέντρα, γεωργικά και δασικά απόβλητα και ποικίλες ροές οργανικών αποβλήτων.

## Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια συνεχίζει να είναι εξέχων παίκτης στο τοπίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία και οι αυξανόμενες επενδύσεις έχουν ωθήσει την ανάπτυξη της παραγωγής αιολικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Ακολουθούν μερικά βασικά σημεία σχετικά με την αιολική ενέργεια το 2023:

- **Αύξηση της δυναμικότητας:** Η χωρητικότητα των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας έχει σημειώσει σημαντική αύξηση το 2023. Με την ανάπτυξη μεγαλύτερων και πιο αποδοτικών ανεμογεννητριών, τα αιολικά πάρκα έχουν τη δυνατότητα να παράγουν υψηλότερες ποσότητες καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Υπεράκτια αιολικά πάρκα:** Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν αποκτήσει δυναμική το 2023. Αυτά τα έργα αξιοποιούν τους ισχυρούς και σταθερούς ανέμους πάνω από υδάτινα σώματα, επιτρέποντας ακόμη μεγαλύτερη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας. Διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη των στόχων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών άνθρακα.
- **Τεχνολογικές εξελίξεις:** Η συνεχής έρευνα και η καινοτομία έχουν οδηγήσει σε προόδους στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση προηγμένων υλικών, βελτιωμένα σχέδια ρότορα και ενσωμάτωση έξυπνου δικτύου. Αυτές οι καινοτομίες στοχεύουν να βελτιώσουν την απόδοση, την ανθεκτικότητα και τη συνολική απόδοση, καθιστώντας την αιολική ενέργεια ακόμα πιο αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική.
- **Παγκόσμια υιοθέτηση:** Οι χώρες σε όλο τον κόσμο υιοθετούν ολοένα και περισσότερο την αιολική ενέργεια ως σημαντικό παράγοντα που συμβάλλει στο ενεργειακό τους μείγμα.



Εικόνα 3. Αιολικό Πάρκο

## 2.3 Αιολική ενέργεια στη Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα έχει κάνει σημαντικά βήματα στην ανάπτυξη και αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας ως μέρος της μετάβασης στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η Ελλάδα αυξάνει σταθερά την αιολική της δυναμικότητα τα τελευταία χρόνια. Η χώρα διαθέτει ευνοϊκές συνθήκες ανέμου, ιδίως στα νησιά και τις παράκτιες περιοχές της, γεγονός που την καθιστά ευνοϊκή για την παραγωγή αιολικής ενέργειας. Η ελληνική κυβέρνηση έχει επιδείξει ισχυρή υποστήριξη για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αιολικής ενέργειας. Έχουν θεσπιστεί πολιτικές και κίνητρα για την ενθάρρυνση των επενδύσεων σε αιολικά πάρκα και άλλα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η στήριξη αυτή έχει συμβάλει στην ανάπτυξη του τομέα. Επενδύσεις και υποδομές: Έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές αιολικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης νέων αιολικών πάρκων και της αναβάθμισης των υφιστάμενων. Στα έργα αυτά έχουν συμμετάσχει ιδιώτες επενδυτές, καθώς και διεθνείς εταιρείες. Η αιολική ενέργεια διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στις προσπάθειες της Ελλάδας να μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και να επιτύχει ενεργειακή ανεξαρτησία. Αξιοποιώντας τους άφθονους αιολικούς πόρους της, η Ελλάδα στοχεύει να ενισχύσει την ενεργειακή της ασφάλεια και να μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών έχουν επίσης συμβάλει στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα. Έχουν αναπτυχθεί πιο αποδοτικές και αξιόπιστες ανεμογεννήτριες, αυξάνοντας τη συνολική απόδοση και παραγωγή των αιολικών πάρκων.

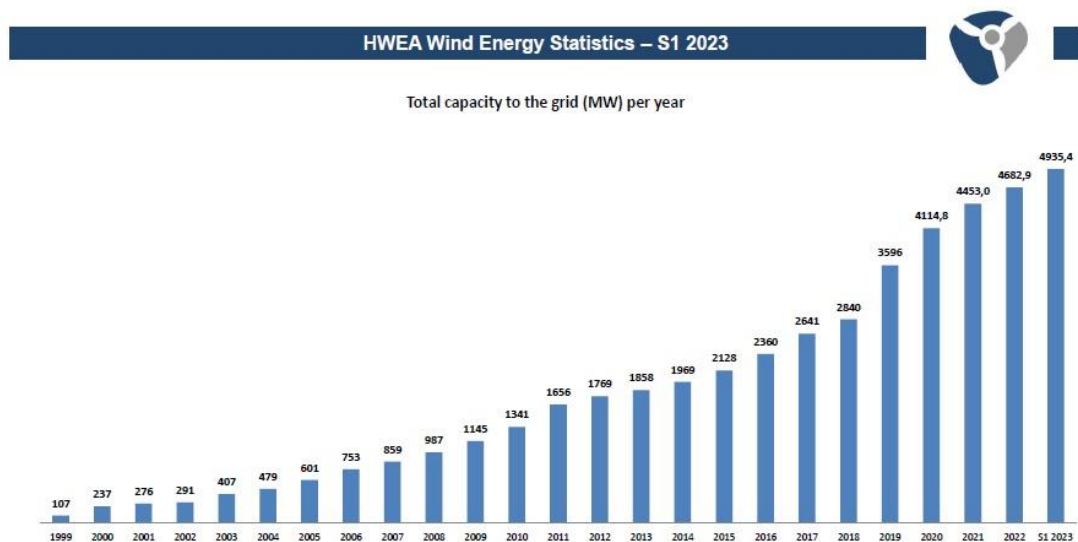


Εικόνα 4. Εγκατεστημένη ισχύ σε αιολική ενέργεια 2023 (πηγή ΕΛΕΤΑΕΝ)

Το πρώτο εξάμηνο του 2023 συνδέθηκαν στο δίκτυο περισσότερες νέες ανεμογεννήτριες από ό,τι ολόκληρο το 2022. Χάρη στις προσπάθειες των επιχειρήσεων, της επιστημονικής κοινότητας και των Ελλήνων εμπειρογνομόνων της αιολικής ενέργειας, σημαντικές επενδύσεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας ολοκληρώθηκαν σταδιακά, γεγονός που οδήγησε σε επιτάχυνση της ανάπτυξης.

Η αιολική ενέργεια που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο είναι σχεδόν 5 GW. Η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα στο τέλος του πρώτου εξαμήνου του 2023 ήταν 4.935,4 MW. Σύμφωνα με την εξαμηνιαία έκθεση Στατιστικά στοιχεία για την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ). Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, 77 νέες ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 252,5 MW συνδέθηκαν στο δίκτυο κατά το πρώτο εξάμηνο του 2023, αντιπροσωπεύοντας επενδύσεις συνολικού ύψους άνω των 260 εκατομμυρίων ευρώ. Σε σύγκριση με το τέλος του 2022, αυτό υποδηλώνει αύξηση κατά 5,4%.

Πάνω από 600 MW ολοκαίνουργιων αιολικών πάρκων είτε κατασκευάζονταν είτε είχαν συμβόλαια στο τέλος του πρώτου εξαμήνου του 2023, με τη συντριπτική πλειοψηφία αυτών να έχει προγραμματιστεί να προστεθεί στο δίκτυο εντός των επόμενων 12 μηνών. Άλλα 450 MW είτε πρόκειται να αρχίσουν να κατασκευάζονται είτε βρίσκονται στη διαδικασία σύναψης συμβάσεων. Αυτά πρέπει να συμπληρωθούν με επιπλέον 400 MW για τα οποία έχουν συναφθεί συμβάσεις, έχουν δοθεί εγγυήσεις απόδοσης, αλλά δεν εμπίπτουν σε καμία από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Ως αποτέλεσμα, εντός των επόμενων τριών ετών, η συνολική αιολική ισχύς θα προσεγγίσει τα 6,5 GW.

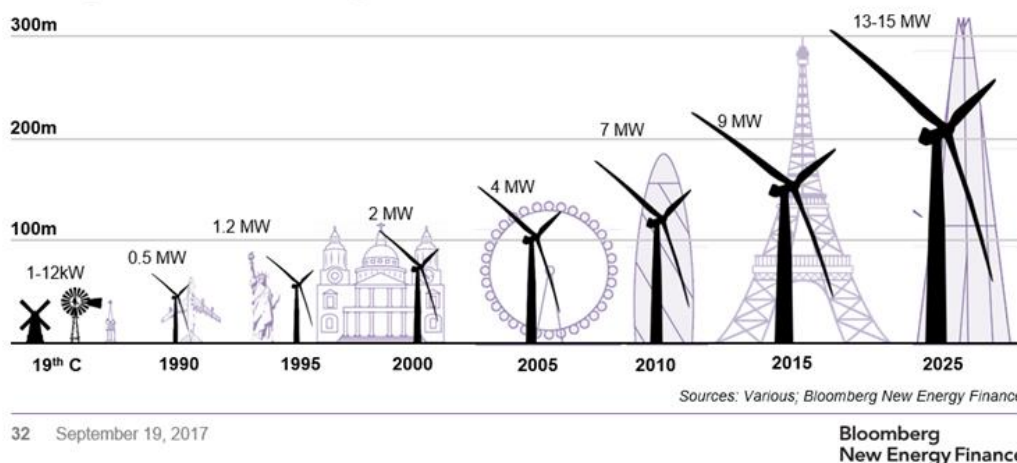


**Εικόνα 5.** Συνολική δυναμικότητα στο δίκτυο (MW) ανά έτος (Πηγή ΕΛΕΤΑΕΝ)

### 3. Τα χαρακτηριστικά και η δομή των ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες έχουν αναδειχθεί σε έναν από τους βασικούς συντελεστές της παγκόσμιας μετάβασης προς καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ενώ η πανύψηλη παρουσία τους σε τοπία μπορεί να μαγνητίσει την προσοχή μας, η διαθεσιμότητά τους είναι αυτή που πραγματικά οδηγεί στον αντίκτυπό τους. Σε αυτή τη εργασία, θα διερευνήσουμε τη σημασία της διαθεσιμότητας στις ανεμογεννήτριες και τον ρόλο της στη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, τη διασφάλιση της αποδοτικότητας του κόστους, την προώθηση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της μακροζωίας και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

#### Evolution of wind turbine heights and output

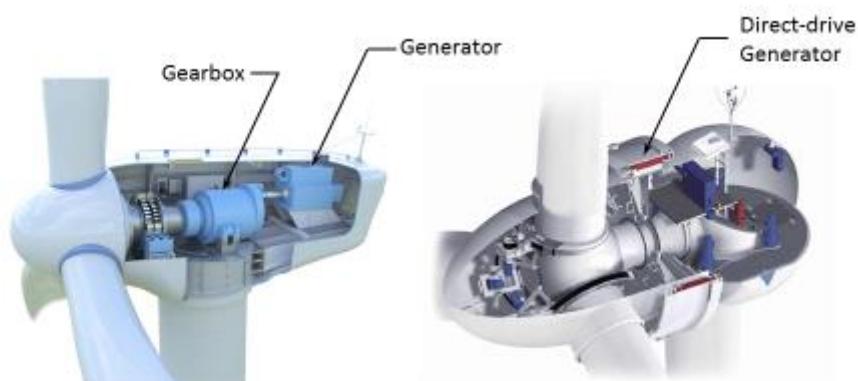


Εικόνα 6. Εξέλιξη των ανεμογεννητριών σε ύψος και παραγόμενη ισχύ

**Μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας:** Στο επίκεντρο των ανεμογεννητριών βρίσκεται η ικανότητά τους να αξιοποιούν τη δύναμη του ανέμου και να τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, όταν μια ανεμογεννήτρια δεν είναι διαθέσιμη ή δεν λειτουργεί, αυτό επηρεάζει άμεσα την παραγωγή ενέργειας. Δίνοντας προτεραιότητα στην υψηλή διαθεσιμότητα, οι ιδιοκτήτες ανεμογεννητριών μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή ενέργειας και να συμβάλουν στην κάλυψη της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης για καθαρή και βιώσιμη ενέργεια.

**Αποδοτικότητα κόστους:** Η διαθεσιμότητα δεν είναι κρίσιμη μόνο για την παραγωγή ενέργειας αλλά και για την οικονομική απόδοση. Ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα μιας ανεμογεννήτριας, προκύπτουν έξοδα λειτουργίας και συντήρησης. Με τη μεγιστοποίηση του χρόνου διαθεσιμότητας, οι ιδιοκτήτες ανεμογεννητριών μπορούν να μεγιστοποιήσουν την απόδοση της επένδυσής τους, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τα έξοδα που σχετίζονται με τις διακοπές λειτουργίας και τις επισκευές. Στόχος της ανάπτυξης συστημάτων ανεμογεννητριών είναι η συνεχής βελτίωση της ισχύος εξόδου. Μέχρι το 1999, η μέση ισχύς εξόδου των νέων εγκαταστάσεων είχε αυξηθεί στα 600 kW από την ονομαστική ισχύ εξόδου των μονάδων παραγωγής, η οποία είχε προηγουμένως κορυφωθεί στα 200 kW σε διάφορες δεκαετίες.

Οι σημερινές ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται για να παράγουν ισχύ εξόδου 2-3 MW για χερσαίες εφαρμογές. κοντά σε αυτό το σημείο, ο γερμανικός κατασκευαστής ανεμογεννητριών Enercon (11 μονάδες E-126) παρήγαγε το πρώτο αιολικό πάρκο στον κόσμο με ανεμογεννήτριες αιχμής "πολλαπλής κατηγορίας ισχύος" 7 MW, το οποίο λειτούργησε μερικώς κοντά στο Estinnes του Βελγίου το 2010 (και θα είναι πλήρως λειτουργικό μέχρι τον Ιούλιο του 2012). Ο κύριος στόχος αυτού του πιλοτικού έργου 77 MW είναι η ανάπτυξη μιας νέας κατηγορίας ισχύος μετατροπέων αιολικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας (WEC 7 MW). Ωστόσο, τα θαλάσσια αιολικά πάρκα είναι πιθανό να έχουν μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες από αυτές που βρίσκονται στην ξηρά, με ορισμένα μοντέλα να παράγουν έως και τριπλάσια ισχύ από τα συμβατικά χερσαία μοντέλα. Η μεγαλύτερη χερσαία ανεμογεννήτρια που αναπτύσσεται επί του παρόντος είναι μια μονάδα 10 MW, ενώ η σειριακή παραγωγή υπεράκτιων ανεμογεννητριών φτάνει ήδη τα 5 MW ή και περισσότερο. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης, το οποίο στεγάζει τη γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων που μετατρέπουν τη ροπή -ή την περιστροφή των πτερυγίων- σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι η "ατμομηχανή" μιας ανεμογεννήτριας. Επί του παρόντος, η πλειονότητα των συστημάτων μετάδοσης κίνησης των ανεμογεννητριών χρησιμοποιούν κιβώτια ταχυτήτων και γεννήτριες για να επιταχύνουν την περιστροφή των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας από τη σχετικά αργή τους ταχύτητα (συνήθως 5-15 περιστροφές ανά λεπτό για μια σύγχρονη μηχανή) στις υψηλές ταχύτητες (1.000-1.800 περιστροφές ανά λεπτό) που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση μιας επαγωγικής γεννήτριας υψηλής ταχύτητας. Το κιβώτιο ταχυτήτων μιας ανεμογεννήτριας απαιτεί τη μεγαλύτερη συντήρηση επειδή έχει τόσα πολλά κινούμενα μέρη. Η χρήση μιας γεννήτριας "άμεσης κίνησης", η οποία παράγει ισχύ σε σημαντικά χαμηλότερες ταχύτητες, είναι μια εναλλακτική λύση. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ανάγκη για κιβώτιο ταχυτήτων, οι μέθοδοι άμεσης κίνησης διαθέτουν λιγότερα κινούμενα μέρη. Ωστόσο, για μια δεδομένη δυναμικότητα τουρμπίνας, χρησιμοποιούν συχνά μόνιμους μαγνήτες, οι οποίοι ζητούν ακριβά, βαριά, ορυκτά σπάνιων γαιών όπως το νεοδύμιο και το δυσπρόσιο, και ως εκ τούτου απαιτούν συνήθως βαρύτερες γεννήτριες από τις μηχανές με γρανάζια.



**Εικόνα 7.** Γεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων αριστερά- γεννήτρια άμεσης κίνησης δεξιά

Δεν έχει σημασία αν είναι άμεσης κίνησης ή με γρανάζια - τα εξαρτήματα αυτά είναι τεράστια (200-320 τόνοι για ένα σύστημα γεννήτριας ανεμογεννήτριας 10 μεγαβάτ (MW)), και επειδή τοποθετούνται στην κορυφή του πύργου της ανεμογεννήτριας, αυτό αυξάνει το βάρος και την τιμή του πύργου και των θεμελίων.

Έχουν επίσης προβλήματα μεταφοράς λόγω του βάρους τους και χρειάζονται τεράστιους, ακριβούς γερανούς για την εγκατάστασή τους. Οι δυσκολίες αυτές επιδεινώνονται από το γεγονός ότι το ύψος των πύργων των ανεμογεννητριών έχει αυξηθεί από 60 σε πάνω από 80 μέτρα και προβλέπεται να ξεπεράσει τα 100 μέτρα (330 πόδια) τα επόμενα χρόνια. Η μέση ισχύς των ανεμογεννητριών έχει αυξηθεί από 1 MW σε 2-3 MW στην ξηρά και 5-6 MW στη θάλασσα, με σχέδια για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες 10-12 MW μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 2020. Εκτός από πιο ισχυρές μηχανές που μπορούν να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, αυτή η αύξηση της δυναμικότητας συνεπάγεται επίσης μεγαλύτερα και βαρύτερα εξαρτήματα. Η ελαφριά κατασκευή με ταυτόχρονη διατήρηση της υψηλής απόδοσης γίνεται ακόμη πιο κρίσιμη, καθώς κοιτάμε προς το μέλλον με τις πλωτές υπεράκτιες αιολικές πλατφόρμες για την πρόσβαση σε αιολικούς πόρους όπου το νερό είναι πολύ βαθύ για τα παραδοσιακά θεμέλια. Για να στηριχθούν βαρύτερα εξαρτήματα στην κορυφή του πύργου της ανεμογεννήτριας, τα πλωτά θεμέλια θα πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερα (και κατά συνέπεια ακριβότερα).

### 3.1 Βασικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας:

**Πτερύγια ρότορα (Blades):** Οι ανεμογεννήτριες έχουν μεγάλα πτερύγια ρότορα, συνήθως κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά από υαλοβάμβακα ή ανθρακονήματα. Αυτά τα πτερύγια συλλαμβάνουν την ενέργεια από τον άνεμο και τη μετατρέπουν σε περιστροφική κίνηση. Τα πτερύγια του δρομέα μιας ανεμογεννήτριας είναι ένα βασικό και θεμελιώδες στοιχείο. Ο συνολικός σχεδιασμός του ρότορα επηρεάζεται και από τον σχεδιασμό των επιμέρους πτερυγίων. Υποβάλλονται σε διάφορες καταπονήσεις και πρέπει να αντέξουν τεράστια φορτία. Τα πτερύγια του ρότορα "αιχμαλωτίζουν" τον άνεμο και χρησιμοποιούν την κινητική του ενέργεια για να κινούν την περιστροφή της πλήμνης. Με τον τρόπο αυτό εξάγεται η ενέργεια από τον άνεμο. Το σχήμα τους θυμίζει πτέρυγα αεροπλάνου. Η ίδια θεωρία της "ανύψωσης" ισχύει και για τα πτερύγια ρότορα: κάτω από το πτερύγιο, ένα ρεύμα αέρα παρέχει υπερπίεση- πάνω από το πτερύγιο, ένα ρεύμα αέρα παράγει κενό. Ο ρότορας περιστρέφεται λόγω αυτών των δυνάμεων. Η πλειονότητα των στροφείων που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά διαθέτουν τρία πτερύγια, οριζόντιο άξονα και διάμετρο 40 έως 90 μέτρων.

**Πύργος (Tower):** Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε ψηλούς πύργους για να εκμεταλλεύονται τις υψηλότερες ταχύτητες του ανέμου σε μεγαλύτερα ύψη. Ο πύργος παρέχει σταθερότητα και ανυψώνει τα πτερύγια του ρότορα ώστε να συλλαμβάνουν αποτελεσματικά τον άνεμο. Φυσικά, υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το πόσο ψηλός πύργος είναι κατάλληλος για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι η δομή στήριξης που απαιτείται για την εξεταζόμενη ανεμογεννήτρια, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο το βάρος της όσο και τις διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές (όπως οι ισχυροί άνεμοι, οι χιονοπτώσεις και η βροχή) που θα πρέπει να αντέξει με την πάροδο του χρόνου. Το μέγιστο ύψος πάνω από το έδαφος που μπορεί να ανεγερθεί το συγκρότημα της ανεμογεννήτριας μπορεί επίσης να καθορίζεται από τους κανόνες χωροταξίας. Ο μονοπωλιακός πύργος είναι το άλλο κοινό στυλ πύργου. Σε αυτό το είδος πύργου η τουρμπίνα στηρίζεται σε έναν μόνο πόλο. Οι πύργοι πλέγματος είναι σημαντικά πιο ανθεκτικοί από τους μονοπολικούς πύργους, γεγονός που τους επιτρέπει να ανεβάζουν τις ανεμογεννήτριες σε πολύ μεγαλύτερα υψόμετρα.



Ωστόσο, λόγω του μεγαλύτερου αποτυπώματός τους σε σχέση με αυτό που απαιτείται για έναν μονοπολικό πύργο, οι πύργοι πλέγματος χρειάζονται επίσης μεγαλύτερη έκταση εδάφους. Ως αποτέλεσμα, φαίνεται ότι υπάρχει ένας συμβιβασμός μεταξύ της αντοχής και του χώρου που καταλαμβάνει η βάση του πύργου. Αυτό ήταν ακριβές πριν από την εφεύρεση του κλασικού πλέον πύργου σωλήνα. Ο πύργος σωλήνα απαιτεί λιγότερο χώρο από έναν μονοπωλιακό πύργο, ενώ είναι εξίσου ισχυρός με, αν όχι ισχυρότερος από, έναν πύργο πλέγματος. Ο σχεδιασμός της θεμελίωσης της ανεμογεννήτριας ώστε να διασφαλίζεται η ευστάθειά της υπό όλες τις συνθήκες λειτουργίας εξαρτάται όχι μόνο από τη συνοχή του υποκείμενου εδάφους αλλά και από τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες (για παράδειγμα, την έκταση και το βάθος του μόνιμου πάγου στις πολικές περιοχές και στις περιοχές όπου επικρατεί πάγος). Το γεγονός αυτό καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη στήριξη του βάρους, πέραν των τεράστιων στατικών φορτίων και των μεταβλητών δυνάμεων που ασκούνται από την περιστρεφόμενη ανεμογεννήτρια. Οι βάσεις των πύργων δεν πρέπει να κρεμούν, να γέρνουν ή να ανεβαίνουν. Το βάθος μιας πασσαλοθεμελίωσης μπορεί να είναι το 1/3 έως τα 2/3 του ύψους του πύργου. Για την αξιολόγηση των εδαφικών συνθηκών στην τοποθεσία και τον καθορισμό των απαιτήσεων σχεδιασμού της θεμελίωσης, απαιτούνται διεξοδική γεωτεχνική έρευνα και δοκιμές.

**Ατράκτος (Nacelle):** Ο ατράκτος είναι σαν τον εγκέφαλο της ανεμογεννήτριας και βρίσκεται στην κορυφή του πύργου. Η άτρακτος έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι στραμμένη προς τον άνεμο για τη μεγιστοποίηση της συλλογής ενέργειας. Η άτρακτος στεγάζει όλα τα μηχανικά εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής γεννήτριας, του συστήματος μετάδοσης κίνησης, το οποίο περιλαμβάνει τη μηχανική μετάδοση (άξονας ρότορα, ρουλεμάν και κιβώτιο ταχυτήτων), καθώς και άλλες συσκευές όπως η ηλεκτρονική διεπαφή ισχύος, η κίνηση περιστροφής, το μηχανικό φρένο και το σύστημα ελέγχου, μεταξύ άλλων. Συνδέεται στον πύργο με έδρανα, καθώς πρέπει να περιστρέφεται για να ακολουθεί την κατεύθυνση του ανέμου. Ο τρόπος με τον οποίο είναι κατασκευασμένο η άτρακτος καταδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα μετάδοσης κίνησης και άλλα μέρη τοποθετήθηκαν πάνω από αυτό το έδρανο της μηχανής από τον κατασκευαστή.

**Γεννήτρια (Generator):** Στο εσωτερικό της άτρακτου, θα βρείτε μια γεννήτρια. Καθώς τα περύγια του ρότορα περιστρέφονται, περιστρέφουν έναν άξονα που συνδέεται με τη γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν συχνά σύγχρονες γεννήτριες ή γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη. Το τμήμα της ανεμογεννήτριας που ονομάζεται γεννήτρια είναι αυτό που μετατρέπει τη μηχανική κίνηση του ρότορα σε ηλεκτρική ενέργεια. Η γεννήτρια είναι το επόμενο στάδιο της παροχής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια στο ηλεκτρικό δίκτυο, αφού τα περύγια μετατρέψουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε περιστροφική ενέργεια στο σύστημα μεταφοράς. Οι ηλεκτρικές γεννήτριες διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών και τύπων για διάφορες χρήσεις. Μια γεννήτρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή τάσης εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος σε όλο το φάσμα των επιδόσεων ισχύος, ανάλογα με το μέγεθος του ρότορα και την ποσότητα της μηχανικής ενέργειας που λαμβάνεται από τον άνεμο. Για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας, υπάρχουν κυρίως δύο τύποι ηλεκτρικών γεννητριών. Η σύγχρονη γεννήτρια έρχεται πρώτη.

Η σύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί με βάση τη θεωρία ότι ενώ ένας μαγνήτης περιστρέφεται ενώ περιβάλλεται από ένα πηνίο σύρματος, το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο στο χώρο προκαλεί την επαγωγή ρεύματος και, κατά συνέπεια, τάσης στο πηνίο σύρματος. Σε αυτή την περίπτωση, ο μαγνήτης περιβάλλεται από πολυάριθμα πηνία σύρματος, καθένα από τα οποία αναφέρεται ως πόλος, και είναι συνδεδεμένο με τον άξονα εισόδου της γεννήτριας. Ο μόνιμος μαγνήτης περιστρέφεται μαζί με τον άξονα, τροποποιώντας το μαγνητικό πεδίο που παράγει όταν υπάρχουν οι πόλοι που τον περιβάλλουν. Αυτό προκαλεί τη ροή ρεύματος μεταξύ καθενός από αυτούς τους πόλους, δημιουργώντας ηλεκτρική ενέργεια.

**Ο ρότορας (Rotor)**, ο οποίος αποτελείται από πολλά πτερύγια ρότορα συνδεδεμένα με μια πλήμνη, είναι ο εγκέφαλος μιας ανεμογεννήτριας. Είναι το τμήμα της ανεμογεννήτριας που συλλέγει την ενέργεια του ανέμου και τη μετατρέπει σε μηχανική κίνηση. Η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να συλλάβει ο ρότορας από τον άνεμο αυξάνεται μαζί με τη συνολική διάμετρο του σχεδιασμού του ρότορα. Ως εκ τούτου, η διάμετρος του ρότορα και η αναμενόμενη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από τον άνεμο λαμβάνονται συχνά υπόψη κατά το σχεδιασμό των ανεμογεννητριών. Ο σχεδιασμός της οπισθέλκουσας και της άντωσης είναι οι δύο κύριες αεροδυναμικές αρχές στις οποίες βασίζονται οι σχεδιασμοί του δρομέα. Οι ρότορες σχεδίασης οπισθέλκουσας λειτουργούν με την έννοια ότι ο άνεμος "σπρώχνει" τα πτερύγια από τη μέση, θέτοντας έτσι τον ρότορα σε κίνηση. Οι ρότορες σχεδιασμού αντίστασης έχουν χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής αλλά δυνατότητες υψηλής ροπής, γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς για εφαρμογές άντλησης.

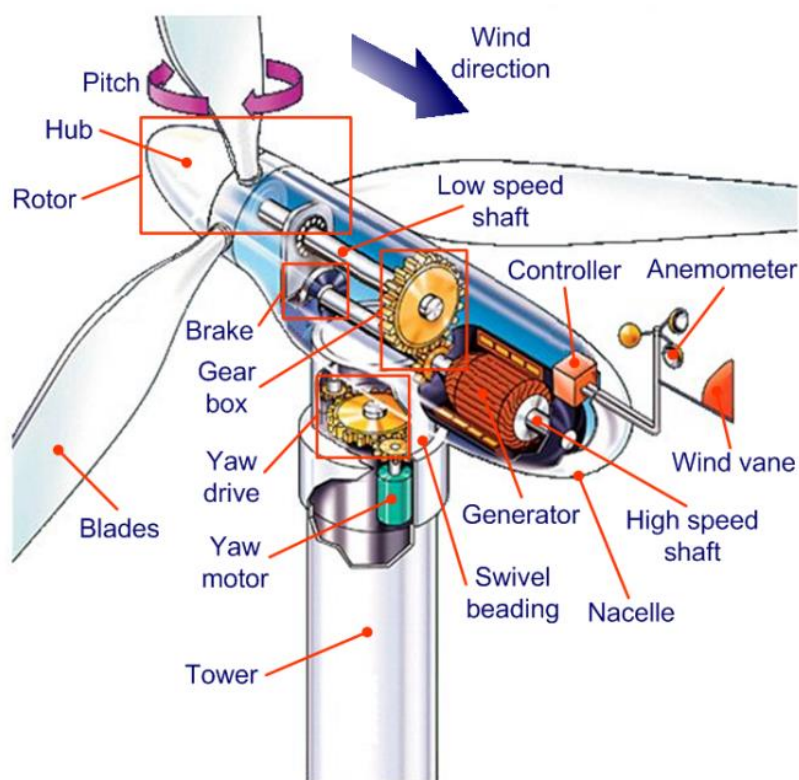
**Η πλήμνη (Hub)**, στην οποία συνδέονται τα πτερύγια του δρομέα, είναι το κέντρο του δρομέα. Τα πιο δημοφιλή υλικά είναι ο χυτοσίδηρος ή ο χάλυβας. Η πλήμνη κατευθύνει τη γεννήτρια με την ενέργεια των πτερυγίων του ρότορα. Εάν οι ανεμογεννήτριες είναι εξοπλισμένες με κιβώτιο ταχυτήτων, η πλήμνη συνδέεται με τον άξονα του κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο περιστρέφεται αργά και μετατρέπει την ενέργεια του ανέμου σε περιστροφική ενέργεια. Σε μια ανεμογεννήτρια άμεσης κίνησης, η πλήμνη μεταφέρει την ενέργεια απευθείας στη γεννήτρια. Το πτερύγιο του ρότορα μπορεί να στερεωθεί στην πλήμνη, να αρθρωθεί ή να αναρτηθεί από αυτήν όπως ένα εκκρεμές, μεταξύ άλλων επιλογών. Η τελευταία είναι ένας μοναδικός σχεδιασμός του ρότορα με δύο πτερύγια που κρέμεται από την πλήμνη σαν εκκρεμές.

**Pitch Control:** Τα πτερύγια του δρομέα στρέφονται προς ή από τον άνεμο σύμφωνα με τους νόμους ελέγχου αυτού του προτύπου ελέγχου, το οποίο δημιουργήθηκε μεταξύ 1990 και 2000. Προκειμένου να συλλεχθεί όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά η αιολική ενέργεια, ένα ανεμόμετρο που βρίσκεται στην κορυφή της ατράκτου μετρά συνεχώς την ταχύτητα του ανέμου και παρέχει σήματα στον ενεργοποιητή κλίσης, ο οποίος ρυθμίζει τη γωνία των πτερυγίων.

Προκειμένου να μην αυξηθεί η ταχύτητα περιστροφής σε ένα ανεπίτρεπτα επικίνδυνο επίπεδο, οι συνήθεις σύγχρονες ανεμογεννήτριες τυπικά ανεβοκατεβάζουν τα πτερύγια κατά τη διάρκεια ισχυρών ανέμων. Ένας κινητήρας περιστροφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση της γωνίας κλίσης, επειδή η κλίση απαιτεί δράση ενάντια στη ροπή του πτερυγίου.

Αυτός ο κινητήρας μπορεί να αντέξει υψηλές απαιτήσεις ροπής, ενώ παράλληλα γέρνει με ακρίβεια το πτερύγιο. Επιπλέον, πολλές τουρμπίνες χρησιμοποιούν υδραυλικά συστήματα. Οι διατάξεις αυτές είναι συχνά ελατηριωτές, ώστε τα πτερύγια να αναδιπλώνονται αμέσως σε περίπτωση διακοπής της υδραυλικής ισχύος. Σε άλλες τουρμπίνες, κάθε πτερύγιο ρότορα κινείται από έναν ηλεκτρικό σερβοκινητήρα. Σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού δικτύου, διαθέτουν ένα μικρό απόθεμα μπαταρίας.

**Μηχανολογικό φρένο** :Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι φρένων σε μια ανεμογεννήτρια. Το μηχανικό (ή ραβδωτό) φρένο είναι ο ένας τύπος και το φρένο άκρου πτερυγίου είναι ο άλλος. Μεταξύ του κιβωτίου ταχυτήτων και της γεννήτριας, ένας μικρός, γρήγορος άξονας είναι το σημείο όπου τοποθετείται το μηχανικό φρένο. Εάν το φρένο άκρου πτερυγίου αποτύχει, αυτό το μηχανικό φρένο τυμπάνου ή το δισκόφρενο χρησιμοποιείται μόνο ως φρένο έκτακτης ανάγκης. Προκειμένου να μειωθεί η πιθανότητα η ανεμογεννήτρια να εκκινήσει απροσδόκητα ενώ είναι στερεωμένη, χρησιμοποιείται επίσης ως φρένο. Καθώς τα μηχανικά φρένα θα φθείρονταν γρήγορα αν χρησιμοποιούνταν για να σταματήσουν την ανεμογεννήτρια από την πλήρη ταχύτητα, τα φρένα αυτά χρησιμοποιούνται συχνά μόνο αφού η κλίση των πτερυγίων και η ηλεκτρομαγνητική πέδηση έχουν μειώσει την ταχύτητα της ανεμογεννήτριας.

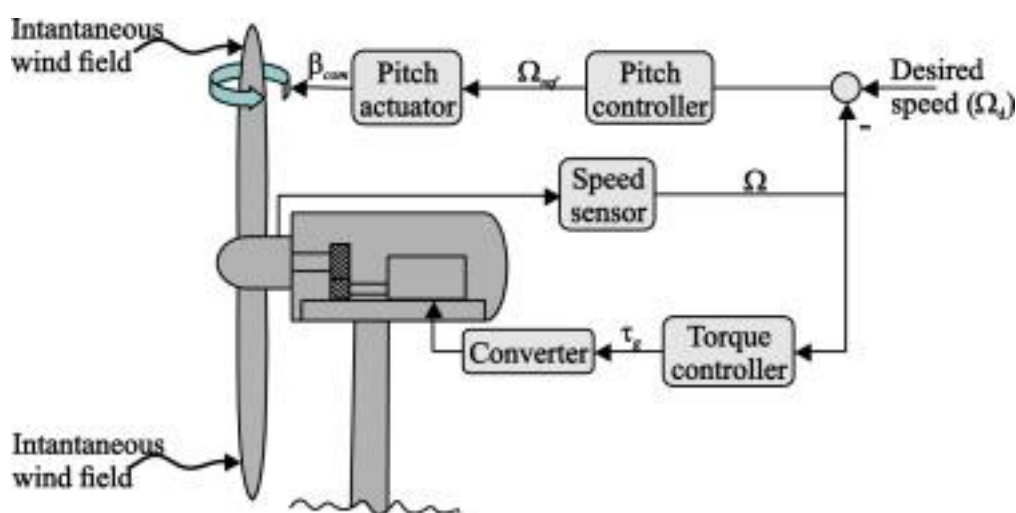


**Εικόνα 8.** Κύρια στοιχεία ενός τυπικού οριζόντιου άξονα, τριών πτερυγίων, ανεμογεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων.

**Σύστημα ελέγχου (Control system):** Οι ανεμογεννήτριες διαθέτουν εξελιγμένα συστήματα ελέγχου που παρακολουθούν την ταχύτητα, την κατεύθυνση και άλλες παραμέτρους του ανέμου. Τα συστήματα αυτά βελτιστοποιούν την απόδοση της ανεμογεννήτριας ρυθμίζοντας το βήμα των πτερυγίων και την ταχύτητα του ρότορα ώστε να συλλαμβάνεται η μέγιστη ενέργεια από τον άνεμο.

Για την πλειονότητα των εμπορικών μονάδων, οι ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται συνήθως για να παράγουν τη μέγιστη ισχύ τους (ή ονομαστική ισχύ) σε ονομαστική (ή ονομαστική) ταχύτητα ανέμου της τάξης των 11-15 m/s (περίπου 40-54 km/h, ή σχεδόν 25-34 mph). Επειδή τόσο ισχυροί άνεμοι είναι σπάνιοι, δεν δικαιολογείται ο σχεδιασμός ανεμογεννητριών που μεγιστοποιούν την απόδοσή τους σε ισχυρότερες ριπές. Για να διασφαλιστεί ότι ένα μέγιστο σταθερό επίπεδο ηλεκτρικής ενέργειας αποστέλλεται στο δίκτυο κατά τη διάρκεια μεγαλύτερων ριπών και να αποφευχθεί η βλάβη της ανεμογεννήτριας, ένα μέρος της επιπλέον αιολικής ενέργειας πρέπει να σπαταληθεί.

Σχεδόν όλες οι αποφάσεις σχετικά με την ασφάλεια της ανεμογεννήτριας λαμβάνονται με δεδομένα από το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Η συνήθης λειτουργία της ανεμογεννήτριας πρέπει να εποπτεύεται ταυτόχρονα με τη λήψη μετρήσεων για την παρακολούθηση, τον έλεγχο, τη στατιστική ανάλυση κ.λπ. Το σύστημα ελέγχου βασίζεται συχνά σε έναν αριθμό εξειδικευμένων υπολογιστών που έχουν δημιουργηθεί ειδικά για βιομηχανική χρήση, οι οποίοι παρακολουθούν συνεχώς την κατάσταση της ανεμογεννήτριας και συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την απόδοσή της. Ο ελεγκτής της ανεμογεννήτριας, όπως υποδηλώνει το όνομά του, διαχειρίζεται επίσης έναν σημαντικό αριθμό διακοπών, υδραυλικών αντλιών, βαλβίδων και κινητήρων. Είναι ζωτικής σημασίας οι ανεμογεννήτριες να έχουν υψηλό ποσοστό διαθεσιμότητας, ή να λειτουργούν αξιόπιστα συνεχώς, καθώς τα μεγέθη των ανεμογεννητριών αυξάνονται σε συσκευές μεγέθους μεγαβάτ.



**Εικόνα 9.** Έλεγχος ανεμογεννήτριας τυπικό διάγραμμα.

## 4. Scada (Supervisory Control And Data Acquisition)

Το SCADA, που σημαίνει Supervisory Control and Data Acquisition (Εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων), είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών. Επιτρέπει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από πολλαπλές συσκευές, όπως αισθητήρες, βαλβίδες και αντλίες, επιτρέποντας στους χειριστές να διαχειρίζονται και να βελτιστοποιούν αποτελεσματικά τις λειτουργίες. Τα συστήματα SCADA παρέχουν ένα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας που εμφανίζει ακριβείς και ενημερωμένες πληροφορίες, επιτρέποντας στους χειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να προβαίνουν στις κατάλληλες ενέργειες για να διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία των βιομηχανικών διεργασιών. Με την ικανότητά του να παρακολουθεί και να ελέγχει τις λειτουργίες από απόσταση, το SCADA διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην ενίσχυση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, από τη μεταποίηση και την ενέργεια έως τις μεταφορές και την επεξεργασία νερού.

### Ιστορική διαδρομή

**Πρώιμες εξελίξεις (δεκαετία 1960-1970):** Η έννοια του SCADA εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1960 με την εμφάνιση των συστημάτων τηλεμετρίας που επέτρεπαν την απομακρυσμένη παρακολούθηση των δεδομένων. Στη δεκαετία του 1970, η ανάπτυξη των μικροεπεξεργαστών και των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) διευκόλυνε την αυτοματοποίηση των βιομηχανικών διαδικασιών.

**Άνοδος των συστημάτων SCADA (δεκαετία 1980-1990):** Τη δεκαετία του 1980 παρατηρήθηκε η ευρεία υιοθέτηση των συστημάτων SCADA σε διάφορες βιομηχανίες. Η πρόοδος της τεχνολογίας των υπολογιστών επέτρεψε τη δημιουργία πιο ισχυρών και εξελιγμένων συστημάτων SCADA. Το SCADA άρχισε να ενσωματώνεται με άλλες τεχνολογίες, όπως τα κατακεντημένα συστήματα ελέγχου (DCS), για να επιτρέψει πιο ολοκληρωμένες δυνατότητες ελέγχου και παρακολούθησης.

**Διαδίκτυο και συνδεσιμότητα (δεκαετία του 2000):** Με τη διάδοση του διαδικτύου, τα συστήματα SCADA αξιοποίησαν αυτή τη συνδεσιμότητα για να επιτρέψουν την απομακρυσμένη πρόσβαση και τον έλεγχο των βιομηχανικών διεργασιών. Αυτό άνοιξε νέες δυνατότητες για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, ανάλυση δεδομένων και έλεγχο από οπουδήποτε στον κόσμο.

**Ενσωμάτωση με το IoT και το Cloud Computing (δεκαετία του 2010):** Τα συστήματα SCADA άρχισαν να ενσωματώνονται με το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Το SCADA, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο βιομηχανικών διεργασιών. Συλλέγει δεδομένα από αισθητήρες, συσκευές και εξοπλισμό και παρέχει στους χειριστές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

Το SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε διάφορες βιομηχανίες, παρέχοντας προηγμένες δυνατότητες παρακολούθησης, ελέγχου και απόκτησης δεδομένων. Ακολουθεί ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται το SCADA σε διάφορους τομείς:

**Μεταποίηση:** Τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούνται ευρέως στις μεταποιητικές βιομηχανίες για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής. Συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες και μηχανήματα, επιτρέποντας στους χειριστές να παρακολουθούν μετρήσεις όπως ρυθμούς παραγωγής, κατάσταση εξοπλισμού και έλεγχο ποιότητας. Τα συστήματα SCADA συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση των λειτουργιών, στην ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και στη βελτίωση της αποδοτικότητας στις μονάδες παραγωγής.

**Ενέργεια και υπηρεσίες κοινής ωφέλειας:** Το SCADA χρησιμοποιείται εκτενώς στον τομέα της ενέργειας και των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας για τη διαχείριση της παραγωγής, της διανομής και της μεταφοράς ενέργειας. Επιτρέπει στους χειριστές να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τους υποσταθμούς και τις υποδομές του δικτύου. Τα συστήματα SCADA βοηθούν στην εξισορρόπηση του φορτίου, στην ανίχνευση βλαβών και στον τηλεχειρισμό του εξοπλισμού, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματική και αξιόπιστη παροχή ενέργειας.

**Πετρέλαιο και φυσικό αέριο:** Το SCADA είναι αναπόσπαστο μέρος της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου για την παρακολούθηση και τον έλεγχο απομακρυσμένων πηγών, αγωγών και διυλιστηρίων. Παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα επίπεδα παραγωγής, την πίεση, τη θερμοκρασία και την κατάσταση του εξοπλισμού. Τα συστήματα SCADA συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της εξόρυξης πόρων, στην ανίχνευση διαρροών ή ανωμαλιών και στη διασφάλιση της ασφάλειας σε κρίσιμες λειτουργίες.

**Τα συστήματα SCADA αποτελούνται από τέσσερα κύρια στοιχεία:**

**Εποπτικοί υπολογιστές:** Αυτοί οι υπολογιστές χρησιμεύουν ως το κεντρικό κέντρο ελέγχου για το σύστημα SCADA. Είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων, καθώς και για την έκδοση εντολών σε συσκευές ελέγχου στο πεδίο.

**Απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU):** Οι RTUs είναι συσκευές υλικού που βρίσκονται στο πεδίο και διασυνδέονται με αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλες συσκευές. Συλλέγουν δεδομένα από αυτές τις συσκευές και τα στέλνουν πίσω στους υπολογιστές εποπτείας για ανάλυση.

**Διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI):** Η HMI είναι η διεπαφή χρήστη που επιτρέπει στους χειριστές να αλληλοεπιδρούν με το σύστημα SCADA. Συνήθως αποτελείται από γραφικές οθόνες, συναγερμούς και κουμπιά ελέγχου, παρέχοντας μια οπτική αναπαράσταση της βιομηχανικής διαδικασίας.

**Υποδομή επικοινωνίας:** Τα συστήματα SCADA βασίζονται σε ένα ισχυρό δίκτυο επικοινωνίας για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των εποπτικών υπολογιστών, των RTU και των HMI. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ενσύρματες συνδέσεις, όπως το Ethernet, ή ασύρματες τεχνολογίες, όπως ραδιοφωνικές, κυψελοειδείς ή δορυφορικές επικοινωνίες.

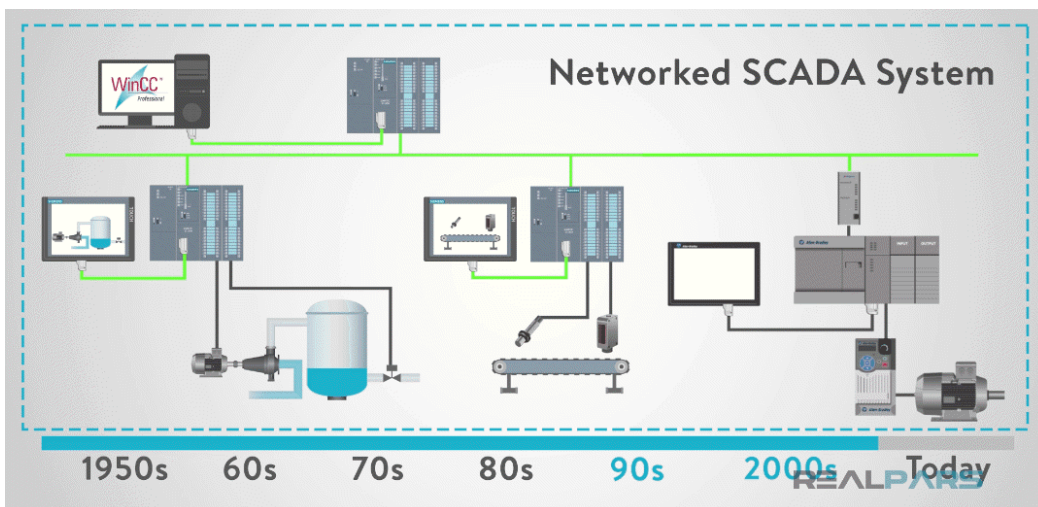
### Λεπτομέρειες σχετικά με τα συστήματα SCADA:

**Συλλογή δεδομένων:** SCADA: Τα συστήματα SCADA συλλέγουν δεδομένα από διάφορες συσκευές, όπως αισθητήρες, μετρητές και PLC (προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές). Αυτές οι συσκευές συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η πίεση, ο ρυθμός ροής και άλλα. Το σύστημα SCADA συγκεντρώνει αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους χειριστές να έχουν ακριβή και ενημερωμένη εικόνα της βιομηχανικής διαδικασίας.

**Έλεγχος και αυτοματισμός:** Τα συστήματα SCADA όχι μόνο παρακολουθούν τα δεδομένα, αλλά επιτρέπουν επίσης στους χειριστές να ελέγχουν και να αυτοματοποιούν τις διαδικασίες εξ αποστάσεως. Μπορούν να στέλνουν εντολές σε ενεργοποιητές, κινητήρες, βαλβίδες και άλλες συσκευές για την προσαρμογή των ρυθμίσεων και τη διατήρηση της βέλτιστης απόδοσης. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στους χειριστές να ανταποκρίνονται γρήγορα στις αλλαγές στη διαδικασία ή να εφαρμόζουν αποτελεσματικές στρατηγικές ελέγχου.

**Συναγερμοί και ειδοποιήσεις:** Τα συστήματα SCADA παρέχουν συναγερμούς και ειδοποιήσεις στους χειριστές όταν συμβαίνουν ορισμένες συνθήκες ή συμβάντα. Για παράδειγμα, εάν μια κρίσιμη παράμετρος υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, θα ενεργοποιηθεί ένας συναγερμός για να ειδοποιήσει τους χειριστές σχετικά με το ζήτημα. Αυτό βοηθά τους χειριστές να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα άμεσα, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και αποτρέποντας πιθανές καταστροφές.

**Καταγραφή και ανάλυση δεδομένων:** Τα συστήματα SCADA αποθηκεύουν και καταγράφουν ιστορικά δεδομένα με την πάροδο του χρόνου. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αναλυθούν για τον εντοπισμό μοτίβων, τάσεων και δεικτών απόδοσης. Οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας. Τα συστήματα SCADA προσφέρουν πολυάριθμα οφέλη, όπως βελτιωμένη λειτουργική αποδοτικότητα, μειωμένο χρόνο διακοπής λειτουργίας και αυξημένη ασφάλεια. Επιτρέπουν στους χειριστές να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις διαδικασίες από απόσταση, να εντοπίζουν ανωμαλίες ή σφάλματα και να ανταποκρίνονται άμεσα για τον μετριασμό τυχόν προβλημάτων.



Εικόνα 10. Χρονική εξέλιξη δικτύου SCADA

## 4.1 Scada και IoT

Το IoT, από την άλλη πλευρά, αναφέρεται σε ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών και αντικειμένων που μπορούν να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Αυτές οι συσκευές, ενσωματωμένες με αισθητήρες και ενεργοποιητές, μπορεί να είναι οτιδήποτε, από αισθητήρες σε μηχανήματα έως συσκευές παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Μια ανατρεπτική τεχνολογία που ονομάζεται Διαδίκτυο των πραγμάτων χρησιμοποιεί αισθητήρες, πύλες και διαδραστικούς πίνακες ελέγχου για τη βελτίωση της εταιρικής παραγωγικότητας σε όλους τους τομείς. Τα δεδομένα που ανακτώνται από τον εξοπλισμό του εργοστασίου μπορούν να εξεταστούν μόνο εντός του εργοστασίου με το σημερινό βιομηχανικό σύστημα SCADA, το οποίο περιορίζεται στους ορόφους του εργοστασίου. Βελτιώνοντας την προσβασιμότητα των δεδομένων και τη λειτουργικότητα πολυάριθμων δραστηριοτήτων σε όλους τους τομείς, το IoT μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε αυτό. Δεδομένου ότι η τεχνολογία IoT έχει εκπληκτικές ιδιότητες όπως η επεκτασιμότητα, η διαλειτουργικότητα και η βελτιωμένη ασφάλεια ολόκληρων των βιομηχανικών λειτουργιών, η ενσωμάτωσή της με τα συστήματα SCADA που υπάρχουν ήδη, μπορεί αναμφίβολα να ενδυναμώσει τις βιομηχανίες. Επιπλέον, το IoT και το σύστημα SCADA μπορούν να συνυπάρξουν επειδή το IoT έρχεται να φέρει επανάσταση στη βιομηχανία SCADA στο σύνολό της.

**Συνολική αποτελεσματικότητα εξοπλισμού (OEE) :** Η μέτρηση OEE είναι ο πιο αξιολογούμενος δείκτης διαθεσιμότητας, ποιότητας και απόδοσης σε κάθε βιομηχανία. Ανάλογα με την κατάσταση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση ενός μεμονωμένου εξοπλισμού ή ολόκληρης της επιχειρηματικής διαδικασίας. Δεδομένου ότι χρησιμοποιείται κυρίως για να παρακολουθεί τις βιομηχανικές διαδικασίες και τα δίκτυα κοινής ωφέλειας, το SCADA έχει επεκταθεί σε διάφορες βιομηχανίες τα τελευταία 40 χρόνια. Προσφέρει ολοκληρωμένα δεδομένα σχετικά με την απόδοση των περιουσιακών στοιχείων, τα οποία βοηθούν πρωτίστως τους διαχειριστές να κάνουν σοφότερες επιλογές. Έτσι, με την εφαρμογή ελέγχων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και μεθόδων αιχμής για ελέγχους συντήρησης, όπως η αυτόματη εξαγωγή δεδομένων, η ασφαλής μεταφορά δεδομένων, η συλλογή του χρόνου αδράνειας του μηχανήματος κ.λπ., η χρήση του IoT στο SCADA αυξάνει τη συνολική αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού.

**Επικοινωνία μεταξύ μηχανών:** Η επικοινωνία μεταξύ μηχανών, όπου ο βιομηχανικός εξοπλισμός συνδέεται μέσω συσκευών αισθητήρων, πυλών και άλλων εξελίξεων, δίνεται μεγάλη έμφαση στο Διαδίκτυο των πραγμάτων. Είναι απλούστερο για τους διαχειριστές να έχουν μια καταγραφή των βιομηχανικών λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο με την ενσωμάτωση του IoT στα υπάρχοντα συστήματα SCADA. Η τεχνολογία IoT επιτρέπει επίσης την άμεση πρόσβαση μέσω της συνδεσιμότητας έξυπνων συσκευών, εμφανίζοντας τις πληροφορίες στην επιθυμητή συσκευή του συγκεκριμένου χρήστη. Αυτό καθιστά δυνατή την αποτελεσματική διαχείριση της εγκατάστασης και την άμεση λήψη αποφάσεων. Το σύστημα SCADA και το IoT αλλάζουν τις λειτουργίες της βιομηχανίας και τη συνδεσιμότητα μεταξύ μηχανών. Όταν το SCADA συνδυάζεται με το IoT, επιτρέπει την ενισχυμένη συνδεσιμότητα, την ανταλλαγή δεδομένων και τις δυνατότητες ελέγχου, οδηγώντας σε ένα πιο προηγμένο και ευφυές βιομηχανικό οικοσύστημα.



**Λήψη δεδομένων:** Εάν η βιομηχανία σας χρησιμοποιεί ένα σύστημα SCADA, η σύνδεση μιας λύσης IoT με αυτό θα βελτιώσει σημαντικά τη διαδικασία συλλογής δεδομένων. Η τεχνολογία IoT επιδιώκει τη συνδεσιμότητα μεταξύ μηχανών, παρόλο που ένα σύστημα SCADA χρησιμοποιείται για να επιτρέψει την απομακρυσμένη ανθρώπινη επαφή με μια βιομηχανική διαδικασία. Τα δεδομένα που συλλέγονται παράγουν με επιτυχία αναφορές για την παραγωγή και τις περιοχές κοινής ωφέλειας στο εσωτερικό μιας βιομηχανίας, αξιοποιώντας τις δυνατότητες του Διαδικτύου των πραγμάτων. Επιπλέον, πιστεύεται ότι τα συστήματα SCADA θα μετατραπούν τελικά σε συστήματα IoT, προσφέροντας μια πλατφόρμα που είναι πιο έξυπνη και καλά ενσωματωμένη. Έτσι, ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης του IoT με το SCADA είναι η καταγραφή δεδομένων, η οποία επιτρέπει τη βελτιωμένη κατανόηση και εξαγωγή δεδομένων.

**Ασφάλεια:** Τα παραδοσιακά συστήματα SCADA στερούνται επί του παρόντος συστηματικών μέτρων ασφαλείας, αλλά η απομακρυσμένη παρακολούθηση με βάση το IoT, η ανίχνευση ανωμαλιών, η κρυπτογραφημένη μεταφορά δεδομένων κ.λπ. βελτιώνουν αποτελεσματικά αυτές τις ελλείψεις. Αυτό καθιστά δυνατή την προστασία ολόκληρης της λειτουργίας του κέντρου δεδομένων από τους διακομιστές και τις εφαρμογές. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση μιας κατάλληλης λύσης βασισμένης στο IoT μειώνει τον κίνδυνο παραβίασης δεδομένων και επιτρέπει στους διαχειριστές να παρακολουθούν ζωντανά τη λειτουργία της εγκατάστασης μαζί με τις σχετικές πληροφορίες. Όταν πρόκειται για τη μεταποίηση με βάση τα δεδομένα, η ασφάλεια είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες και η διατήρηση ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί μια υποδομή με γνώση. Μια ισχυρή περιοχή όπου τα περιουσιακά στοιχεία παρακολουθούνται καλά, τα δίκτυα είναι ασφαλισμένα και οι κίνδυνοι μπορούν να εκτιμηθούν για καλύτερες κρίσεις μπορεί να δημιουργηθεί με ένα σύστημα IoT SCADA.

**Απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση:** Η πλειονότητα των OEM μπορεί κανονικά να χρησιμοποιήσει τις ανοικτές πλατφόρμες SCADA. Έτσι, συνδέεται αποτελεσματικά με PLC από όλους τους ΚΑΕ, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα προβλημάτων ενσωμάτωσης. Επιπλέον, οι πελάτες ή οι ιδιοκτήτες επιχειρήσεων μπορούν εύκολα να εξατομικεύσουν ολόκληρο το σύστημα, καθιστώντας ένα IoT SCADA ένα πλήρως μοναδικό σύστημα SCADA. Ωστόσο, δεδομένου ότι συλλέγονται περισσότερα δεδομένα, οι ιδιοκτήτες περιουσιακών στοιχείων ζητούν όλο και περισσότερο έναν συνδυασμό αλγορίθμων πρόβλεψης, βελτιωμένων συνθηκών υγείας των περιουσιακών στοιχείων και μειώσεων του κόστους

**Cloud:** Μια ιδέα που κάνει χρήση ενός σημαντικού αριθμού απομακρυσμένων διακομιστών στο διαδίκτυο για τη βελτίωση της επεξεργασίας πληροφοριών είναι το σύννεφο. Πριν από αυτό, η διαχείριση των συστημάτων SCADA γινόταν μέσω τοπικών υπολογιστών, γεγονός που δυσκόλευε τους διαχειριστές να παρακολουθούν πολυάριθμες δραστηριότητες. Τώρα είναι δυνατή η μεταφορά ολόκληρου του βιομηχανικού συστήματος στο σύννεφο και η ασφαλής αποθήκευση όλων των δεδομένων χάρη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας IoT. Ως αποτέλεσμα, η χρήση τεχνολογιών IoT από το βιομηχανικό σύστημα SCADA είναι αποτελεσματική όσον αφορά τη διαχείριση των εγκαταστάσεων και την προσεκτική παρατήρηση.

**Ανάλυση πρόβλεψης:** Τα συστήματα SCADA λειτουργούν αποτελεσματικά σύμφωνα με τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης φάσης. Ωστόσο, προκειμένου να παρέχουν τόσο ποιότητα όσο και ποσότητα, οι βιομήχανοι πρέπει τώρα να ενσωματώσουν την τεχνολογία IoT στα συστήματά τους λόγω της αυξανόμενης ζήτησης των πελατών και της ροής δεδομένων. Η τεχνολογία IoT φαίνεται να είναι η κατάλληλη απάντηση σε αυτή την κατάσταση, όπου είναι απλούστερη η εκτίμηση του απαιτούμενου επιπέδου παραγωγής, δεδομένου ότι η ποιότητα παίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της επιχείρησης, ικανοποιώντας τα σχετικά κριτήρια. Επιπλέον, οι δεξιότητες χειρισμού μηχανών και η μεθοδολογία που βασίζεται στα δεδομένα, η οποία αποσκοπεί στη βελτίωση των επιχειρηματικών κρίσεων όπου είναι απαραίτητο, μεταμορφώνουν τους τομείς. Ακολουθούν ορισμένες βασικές πτυχές της ολοκλήρωσης SCADA-IoT:

**Ενισχυμένη συλλογή δεδομένων:** Οι συσκευές IoT μπορούν να παρέχουν ένα εκτεταμένο δίκτυο αισθητήρων, επεκτείνοντας σημαντικά τις δυνατότητες συλλογής δεδομένων των συστημάτων SCADA. Αυτό επιτρέπει την πληρέστερη παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων και δίνει τη δυνατότητα στους χειριστές να αποκτήσουν βαθύτερη κατανόηση των βιομηχανικών διαδικασιών.

**Ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο:** Με το IoT, τα συστήματα SCADA μπορούν να αναλύουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας αξιοποιήσιμες πληροφορίες για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Οι προηγμένες τεχνικές ανάλυσης μπορούν να ανιχνεύσουν μοτίβα, ανωμαλίες και συσχετίσεις στα δεδομένα.

**Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:** Η ενσωμάτωση του SCADA με το IoT επιτρέπει την παρακολούθηση των βιομηχανικών διεργασιών σε πραγματικό χρόνο. Οι συσκευές IoT, εξοπλισμένες με αισθητήρες, μπορούν να συλλέγουν συνεχώς δεδομένα και να τα μεταδίδουν στο σύστημα SCADA. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να έχουν επικαιροποιημένες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση και την απόδοση των διεργασιών τους.

**Αυξημένη συνδεσιμότητα:** Με την αξιοποίηση των τεχνολογιών IoT, τα συστήματα SCADA μπορούν να συνδεθούν με μεγαλύτερο αριθμό συσκευών και πόρων. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο τον παραδοσιακό βιομηχανικό εξοπλισμό αλλά και ένα ευρύ φάσμα συσκευών IoT, όπως έξυπνους αισθητήρες, wearables και συσκευές παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Αυτή η αυξημένη συνδεσιμότητα επιτρέπει μια πιο ολιστική εικόνα του βιομηχανικού οικοσυστήματος.

**Απομακρυσμένη πρόσβαση και έλεγχος:** Με την ενσωμάτωση του IoT, τα συστήματα SCADA μπορούν να προσφέρουν δυνατότητες απομακρυσμένης πρόσβασης και ελέγχου. Οι χειριστές μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις διαδικασίες τους από οπουδήποτε μέσω ασφαλών συνδέσεων. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία, αποδοτικότητα και ανταπόκριση, καθώς οι χειριστές μπορούν να αντιμετωπίζουν προβλήματα και να κάνουν προσαρμογές εξ αποστάσεως χωρίς να είναι φυσικά παρόντες στο χώρο.

**Επεκτασιμότητα και ευελιξία:** Τα συστήματα SCADA με δυνατότητα IoT παρέχουν επεκτασιμότητα και ευελιξία. Καθώς προστίθενται νέες συσκευές στο δίκτυο IoT, το σύστημα SCADA μπορεί εύκολα να τις ενσωματώσει στις δυνατότητες παρακολούθησης και ελέγχου του.

## 4.2 Έλεγχος των ανεμογεννητριών με SCADA

Επιτρέπει την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και διαχείριση των αιολικών πάρκων και των ανεμογεννητριών. Το σύστημα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) επιτρέπει τον πλήρη απομακρυσμένο έλεγχο και την εποπτεία ολόκληρου του αιολικού πάρκου καθώς και των μεμονωμένων ανεμογεννητριών. οποιοσδήποτε υπολογιστής συνδεδεμένος στο διαδίκτυο που έχει πρόσβαση στο αιολικό πάρκο μέσω TCP/IP ή ένας υπολογιστής στο δωμάτιο ελέγχου του αιολικού πάρκου μπορεί να τρέξει το σύστημα SCADA.

**Εξισορρόπηση φορτίου:** Τα συστήματα SCADA μπορούν να παρακολουθούν την απόδοση των μεμονωμένων ανεμογεννητριών σε ένα αιολικό πάρκο και να προσαρμόζουν τις λειτουργικές τους ρυθμίσεις για την εξισορρόπηση του φορτίου σε ολόκληρο το πάρκο. Αυτό διασφαλίζει ότι κάθε ανεμογεννήτρια λειτουργεί αποτελεσματικά και συμβάλλει βέλτιστα στη συνολική παραγωγή ισχύος.

**Προληπτική συντήρηση:** Τα συστήματα SCADA συγκεντρώνουν δεδομένα για διάφορες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένων των δονήσεων, της θερμοκρασίας και της παραγωγής ισχύος. Αναλύοντας αυτά τα δεδομένα, οι χειριστές μπορούν να εντοπίζουν έγκαιρα σημάδια πιθανών βλαβών του εξοπλισμού ή ανάγκες συντήρησης. Αυτό επιτρέπει τον προληπτικό προγραμματισμό συντήρησης, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και μεγιστοποιώντας τη διαθεσιμότητα της τουρμπίνας.

**Ανάλυση επιδόσεων στροβίλου:** Τα συστήματα SCADA παρέχουν λεπτομερή δεδομένα απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων καμπυλών ισχύος και προφίλ ταχύτητας ανέμου, για κάθε τουρμπίνα. Οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να αναλύσουν αυτά τα δεδομένα για να εντοπίσουν ανεμογεννήτριες με χαμηλή απόδοση ή συγκεκριμένες συνθήκες που επηρεάζουν την απόδοση του αιολικού πάρκου. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των ανεμογεννητριών, των λειτουργικών ρυθμίσεων και της συνολικής απόδοσης του πάρκου.

**Ενσωμάτωση στο δίκτυο:** Τα συστήματα SCADA διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην ενσωμάτωση των αιολικών πάρκων με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακολουθούν τις συνθήκες του δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της τάσης και της συχνότητας, και ρυθμίζουν ανάλογα την παραγωγή ισχύος των ανεμογεννητριών. Αυτό εξασφαλίζει σταθερή παροχή ισχύος και αποτελεσματική ενσωμάτωση στο δίκτυο, μεγιστοποιώντας τη συμβολή του αιολικού πάρκου στο ενεργειακό σύστημα.



Εικόνα 11. Scada System Wind farm

### 4.3 Αρχιτεκτονική ενός συστήματος Scada

Η αρχιτεκτονική συστήματος SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) αναφέρεται στο σχεδιασμό και τη διάταξη των στοιχείων που συνθέτουν ένα σύστημα SCADA. Αυτός ο τύπος συστήματος χρησιμοποιείται συνήθως για την παρακολούθηση και τον έλεγχο διαφόρων βιομηχανικών διεργασιών.

**Στρώμα συλλογής δεδομένων:** όπως αισθητήρες ταχύτητας ανέμου, ανεμόμετρα, αισθητήρες θερμοκρασίας και μετρητές ισχύος. Οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU) ή οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη διαβίβασή τους στο σύστημα SCADA.

**Εποπτικό επίπεδο:** Το εποπτικό στρώμα λειτουργεί ως ο κεντρικός κόμβος του συστήματος SCADA. Λαμβάνει και επεξεργάζεται τα δεδομένα που συλλέγονται από το στρώμα συλλογής δεδομένων. Περιλαμβάνει διακομιστές και εφαρμογές λογισμικού που χειρίζονται εργασίες όπως η αποθήκευση, η επεξεργασία και η οπτικοποίηση δεδομένων. Το εποπτικό στρώμα παρέχει στους χειριστές μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του αιολικού πάρκου.

**Στρώμα επικοινωνίας:** Αυτό το στρώμα διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος SCADA. Περιλαμβάνει υποδομές δικτύου, όπως Ethernet, καλώδια οπτικών ινών και τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, όπως Wi-Fi ή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Αυτά τα κανάλια επικοινωνίας επιτρέπουν την απρόσκοπτη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών πεδίου, των RTU και του εποπτικού στρώματος.

**Το HMI :** Στη σφαίρα της σύγχρονης τεχνολογίας, η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI) αποτελεί μια καίρια γέφυρα μεταξύ της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης και του περίπλοκου κόσμου των μηχανών. Είναι το σημείο σύγκλισης όπου τα πολύπλοκα συστήματα, που τροφοδοτούνται από τεχνολογία αιχμής, συναντούν τη διαισθητική κατανόηση των ανθρώπινων χρηστών.

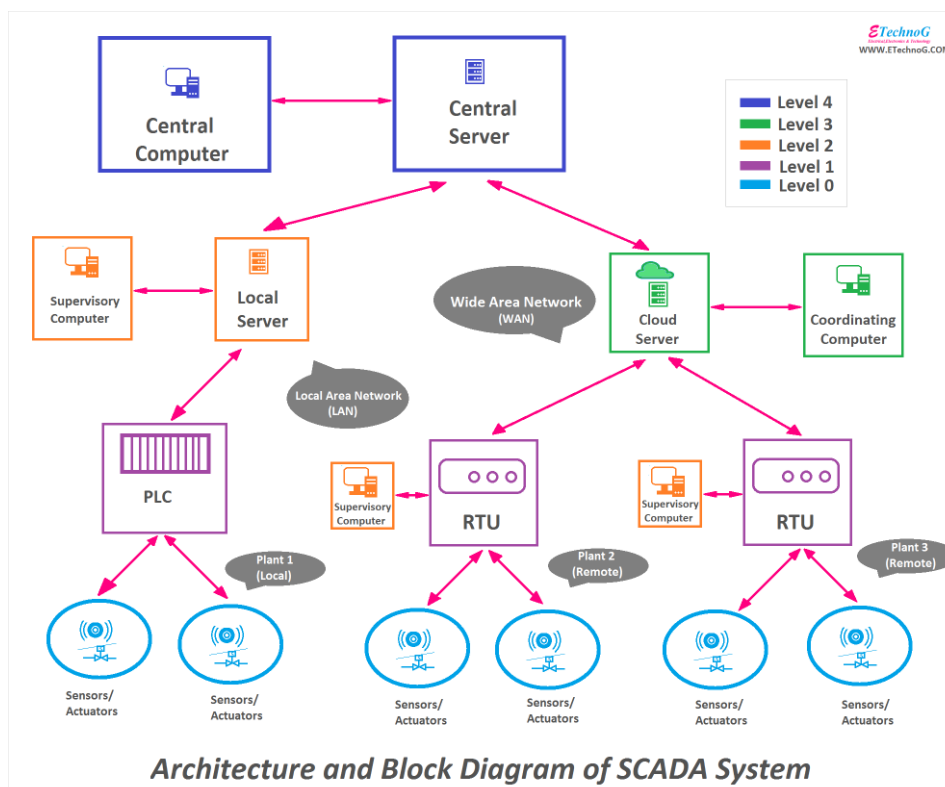
Στην ουσία, ένα HMI χρησιμεύει ως η διεπαφή μέσω της οποίας οι χρήστες αλληλοεπιδρούν με μηχανές, συστήματα ή συσκευές. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα στοιχείων, από φυσικές διεπαφές όπως οθόνες αφής και κουμπιά έως διεπαφές λογισμικού όπως γραφικές διεπαφές χρήστη (GUI) και συστήματα αναγνώρισης φωνής. Ανεξάρτητα από τη μορφή της, ο πρωταρχικός στόχος ενός HMI παραμένει σταθερός: να διευκολύνει την απρόσκοπτη και αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών.

Αναφέρεται στη γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) που επιτρέπει στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με ένα σύστημα SCADA. Παρέχει μια οπτική αναπαράσταση της βιομηχανικής διαδικασίας μέσω ταμπλό, οθονών και πινάκων ελέγχου. Τα HMI επιτρέπουν στους χειριστές να παρακολουθούν την κατάσταση του συστήματος, να λαμβάνουν συναγερμούς, να ελέγχουν τον εξοπλισμό και να έχουν πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα. Συχνά περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως γραφήματα τάσεων, διαχείριση συναγερμών.

#### 4.4. Εποπτικοί υπολογιστές

Αυτοί οι υπολογιστές είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση του λογισμικού SCADA και λειτουργούν ως κεντρικός σταθμός ελέγχου. Συλλέγουν δεδομένα από απομακρυσμένες συσκευές, τα απεικονίζουν και επιτρέπουν στους χειριστές να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται το σύστημα. Οι εποπτικοί υπολογιστές είναι κεντρικής σημασίας για τη λειτουργία ενός συστήματος SCADA, παρέχοντας προηγμένες δυνατότητες ελέγχου και απόκτησης δεδομένων. Αυτοί οι υπολογιστές χρησιμεύουν ως σταθμός ελέγχου για τους χειριστές για την παρακολούθηση και τη διαχείριση των βιομηχανικών διεργασιών. Ακολουθούν ορισμένες περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους εποπτικούς υπολογιστές. Οι Εποπτικοί Υπολογιστές εκτελούν εξειδικευμένο λογισμικό SCADA που επιτρέπει στους χειριστές να απεικονίζουν και να αναλύουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται από απομακρυσμένες συσκευές.

Παρέχουν διαισθητικές διεπαφές που επιτρέπουν στους χειριστές να παρακολουθούν αποτελεσματικά τις βιομηχανικές διεργασίες. Αυτοί οι υπολογιστές εμφανίζουν τα δεδομένα με τη μορφή γραφημάτων, διαγραμμάτων και άλλων οπτικών αναπαραστάσεων, διευκολύνοντας τη γρήγορη και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων. Εκτός από την οπτικοποίηση δεδομένων, οι εποπτικοί υπολογιστές διευκολύνουν επίσης την εκτέλεση του ελέγχου. Οι χειριστές μπορούν να στέλνουν εντολές ελέγχου σε συσκευές πεδίου μέσω του λογισμικού SCADA, επιτρέποντας την απομακρυσμένη λειτουργία ενεργοποιητών, βαλβίδων και άλλου εξοπλισμού. Αυτό επιτρέπει τον αποτελεσματικό έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας.



Εικόνα 12. Εποπτικοί υπολογιστές ενός Scada System

Οι εποπτικοί υπολογιστές διαθέτουν συχνά προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως αποθήκευση και ανάλυση ιστορικών δεδομένων. Μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων που συλλέγονται με την πάροδο του χρόνου, επιτρέποντας στους χειριστές να διεξάγουν ανάλυση τάσεων, να εντοπίζουν μοτίβα και να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων. Αυτά τα ιστορικά δεδομένα υποστηρίζουν επίσης τις δραστηριότητες συντήρησης και αντιμετώπισης προβλημάτων, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του εξοπλισμού και των διεργασιών.

Στην τεράστια έκταση ενός αιολικού πάρκου, το SCADA λειτουργεί ως το κεντρικό νευρικό σύστημα, συνδέοντας και ελέγχοντας απρόσκοπτα τις ανεμογεννήτριες. Είναι σαν να έχετε έναν έξυπνο και αποτελεσματικό επόπτη που επιβλέπει ολόκληρη τη λειτουργία. Τα συστήματα SCADA στα αιολικά πάρκα συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από κάθε ανεμογεννήτρια, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας του ανέμου, της παραγωγής ισχύος, της θερμοκρασίας και άλλων κρίσιμων παραμέτρων. Τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται συνεχώς σε έναν κεντρικό υπολογιστή εποπτείας, όπου επεξεργάζονται και αναλύονται. Οι χειριστές μπορούν στη συνέχεια να παρακολουθούν την απόδοση των μεμονωμένων ανεμογεννητριών, να παρακολουθούν τη συνολική παραγωγή του πάρκου και να εντοπίζουν τυχόν προβλήματα ή ανωμαλίες.

Αλλά το SCADA στα αιολικά πάρκα δεν σταματά στην παρακολούθηση. Δίνει τη δυνατότητα στους χειριστές να αναλάβουν προληπτικό έλεγχο. Μπορούν να προσαρμόζουν εξ αποστάσεως τις ρυθμίσεις των στροβίλων, να βελτιστοποιούν την παραγωγή ισχύος και να εφαρμόζουν στρατηγικές για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης. Όταν οι συνθήκες ανέμου αλλάζουν ή απαιτείται συντήρηση, το SCADA επιτρέπει στους χειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Τα συστήματα SCADA παρέχουν επίσης προηγμένες αναφορές και εργαλεία οπτικοποίησης δεδομένων. Οι χειριστές μπορούν να έχουν πρόσβαση στις τάσεις των ιστορικών δεδομένων, να δημιουργούν αναφορές επιδόσεων και να αναλύουν τη συνολική κατάσταση του αιολικού πάρκου. Αυτές οι πολύτιμες πληροφορίες βοηθούν στη βελτιστοποίηση της συντήρησης.

#### **4.5 Απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU)**

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC): Οι RTU ή οι PLC αναπτύσσονται σε διάφορα σημεία του πεδίου για τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες, μετρητές και άλλες συσκευές. Επικοινωνούν με τους εποπτικούς υπολογιστές για τη μετάδοση δεδομένων και τη λήψη εντολών ελέγχου. Οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU) είναι ζωτικής σημασίας στοιχεία ενός συστήματος SCADA. Αναπτύσσονται στο πεδίο για να συλλέγουν δεδομένα από αισθητήρες, μετρητές και άλλες συσκευές και να τα μεταδίδουν στους κεντρικούς υπολογιστές εποπτείας. Μια RTU θα συνδεθεί στον εξοπλισμό που παρακολουθεί και θα κωδικοποιήσει τις εισόδους αισθητήρων σε μορφή πρωτοκόλλου και θα τις προωθήσει στη διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI) SCADA - που ονομάζεται επίσης κεντρικός σταθμός. Μια διεπαφή ανθρώπου-μηχανής ένα λογισμικό που παρέχει μια διεπαφή για τη σύνδεση ενός ατόμου με ένα μηχάνημα, ένα σύστημα ή μια συσκευή. Ακολουθούν ορισμένες περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις RTUs:

**Συλλογή δεδομένων:** Οι RTUs είναι υπεύθυνες για την απόκτηση δεδομένων από διάφορες συσκευές πεδίου. Διαθέτουν κανάλια εισόδου που μπορούν να λαμβάνουν αναλογικά ή ψηφιακά σήματα από αισθητήρες, πομπούς και μετρητές.

Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία, την πίεση, τους ρυθμούς ροής, τα επίπεδα τάσης και άλλα. Οι RTU μετατρέπουν αυτά τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακή μορφή για επεξεργασία.

**Εκτέλεση ελέγχου:** Οι RTU παίζουν επίσης ρόλο στην εκτέλεση εντολών ελέγχου. Διαθέτουν κανάλια εξόδου που μπορούν να στείλουν σήματα ελέγχου σε ενεργοποιητές, βαλβίδες ή άλλες συσκευές στο πεδίο. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν εξ αποστάσεως τις βιομηχανικές διεργασίες από τον κεντρικό σταθμό ελέγχου.

**Επικοινωνία:** Οι RTU εγκαθιδρύουν συνδέσεις επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών πεδίου και των εποπτικών υπολογιστών. Μεταδίδουν δεδομένα και εντολές ελέγχου μέσω ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων επικοινωνίας. Οι RTU λειτουργούν ως ενδιάμεσοι, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη και ασφαλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ του πεδίου και του σταθμού ελέγχου.

**Τοπική επεξεργασία:** Οι RTU διαθέτουν συχνά ενσωματωμένες δυνατότητες επεξεργασίας για την εκτέλεση τοπικών λειτουργιών ανάλυσης δεδομένων και ελέγχου.

**Ανάπτυξη στο πεδίο:** Οι RTUs συνήθως αναπτύσσονται σε απομακρυσμένες τοποθεσίες εντός μιας βιομηχανικής διεργασίας. Έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε σκληρά περιβάλλοντα και να αντέχουν σε ακραίες θερμοκρασίες, υγρασία και άλλες δύσκολες συνθήκες. Αυτό τους επιτρέπει να συλλέγουν αξιόπιστα δεδομένα και να ελέγχουν συσκευές στο πεδίο.

**Επεξεργασία δεδομένων:** Οι RTU μπορούν να εκτελούν βασικές εργασίες επεξεργασίας και προ επεξεργασίας δεδομένων. Μπορούν να εκτελούν υπολογισμούς, φιλτράρισμα και κλιμάκωση των ακατέργαστων δεδομένων πριν από τη διαβίβασή τους στους υπολογιστές εποπτείας. Αυτό συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της μετάδοσης δεδομένων μειώνοντας τον όγκο των δεδομένων που αποστέλλονται μέσω του δικτύου επικοινωνίας.

**Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:** Οι RTU παρακολουθούν συνεχώς τις συσκευές πεδίου και τους αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι σε αυτές. Συλλέγουν δεδομένα σε τακτά χρονικά διαστήματα για να παρέχουν ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο στους εποπτικούς υπολογιστές. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις με βάση ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με τη βιομηχανική διαδικασία.

**Καταγραφή συμβάντων:** Οι RTU έχουν συχνά τη δυνατότητα καταγραφής συμβάντων και συναγεμίων που συμβαίνουν στο πεδίο. Καταγράφουν κρίσιμα συμβάντα, όπως αποτυχίες συστήματος, δυσλειτουργίες εξοπλισμού ή μη φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας. Αυτές οι πληροφορίες διαβιβάζονται στη συνέχεια στους υπολογιστές εποπτείας, επιτρέποντας στους χειριστές να εντοπίζουν γρήγορα και να ανταποκρίνονται σε τυχόν προβλήματα.

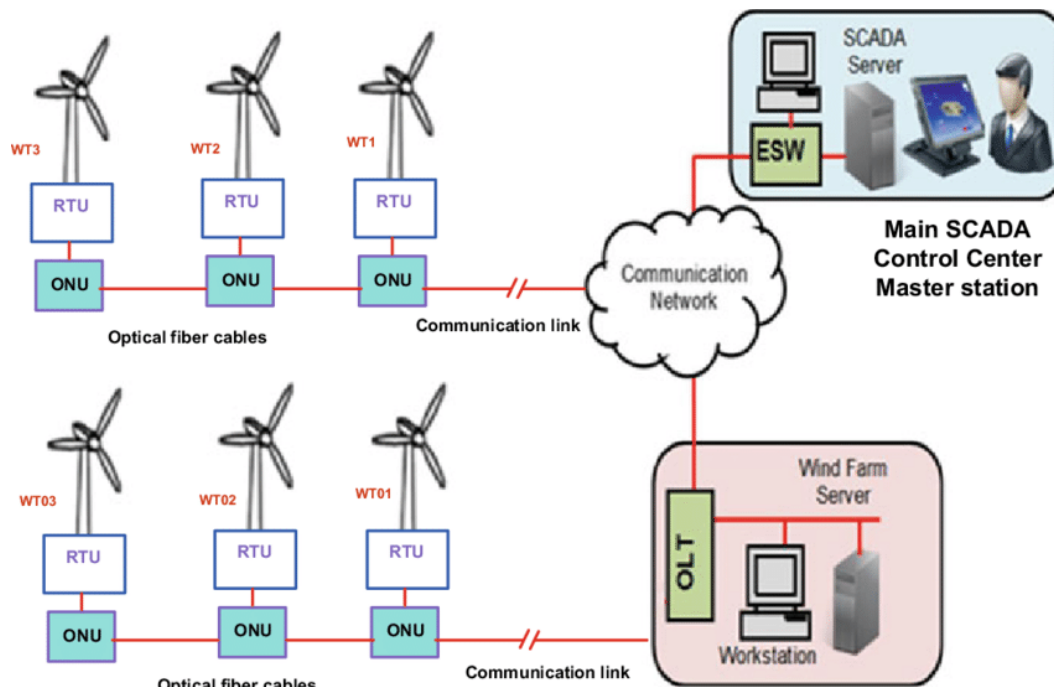
Σε ένα αιολικό πάρκο, οι RTU χρησιμεύουν ως μάτια και αυτιά στο έδαφος, συλλέγοντας κρίσιμα δεδομένα από διάφορες συσκευές και στέλνοντάς τα στο κεντρικό σύστημα SCADA. Λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ των φυσικών στοιχείων των ανεμογεννητριών και του ψηφιακού κόσμου του ελέγχου και της παρακολούθησης.

Οι RTU τοποθετούνται στρατηγικά σε όλο το αιολικό πάρκο, συνήθως στη βάση κάθε ανεμογεννήτριας ή σε υποσταθμούς. Συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από διάφορους αισθητήρες και συσκευές, όπως αισθητήρες ταχύτητας ανέμου, ανεμόμετρα, αισθητήρες θερμοκρασίας και μετρητές ισχύος. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση της ανεμογεννήτριας, την παραγωγή ενέργειας και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Μόλις οι RTU συλλέξουν τα δεδομένα, τα μεταδίδουν πίσω στο κεντρικό σύστημα SCADA, όπου επεξεργάζονται, αναλύονται και παρουσιάζονται στους χειριστές.

Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να παρακολουθούν την υγεία και την απόδοση κάθε ανεμογεννήτριας, να εντοπίζουν τυχόν ανωμαλίες ή σφάλματα και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του αιολικού πάρκου.

Οι RTU διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο στον έλεγχο και τον αυτοματισμό. Λαμβάνουν εντολές από το κεντρικό σύστημα SCADA και τις εκτελούν στις ανεμογεννήτριες. Για παράδειγμα, μπορούν να ρυθμίζουν το βήμα των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας ή να ελέγχουν την παραγωγή ισχύος με βάση την επιθυμητή ζήτησης τάσης δικτύου.



**Εικόνα 13.** Επικοινωνία RTU ενός Scada System σε Αιολικό Πάρκο



**3. Υποδομή επικοινωνίας:** Αξιόπιστα και ασφαλή δίκτυα επικοινωνίας συνδέουν τους εποπτικούς υπολογιστές με τις RTU ή τα PLC. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ενσύρματες συνδέσεις, όπως Ethernet ή σειριακά καλώδια, καθώς και ασύρματες τεχνολογίες, όπως ασύρματη, κυψελοειδής ή δορυφορική επικοινωνία.

Η υποδομή επικοινωνίας σε ένα σύστημα SCADA είναι ζωτικής σημασίας για τη διευκόλυνση της αξιόπιστης και ασφαλούς μεταφοράς δεδομένων μεταξύ των κεντρικών εποπτικών υπολογιστών και των συσκευών πεδίου. Επιτρέπει την απρόσκοπτη ροή πληροφοριών, επιτρέποντας στους χειριστές να παρακολουθούν και να ελέγχουν αποτελεσματικά τις βιομηχανικές διεργασίες. Η ενσύρματη επικοινωνία είναι μια κοινή μέθοδος στα συστήματα SCADA, χρησιμοποιώντας καλώδια Ethernet ή σειριακά καλώδια όπως RS-485 ή RS-232. Οι ενσύρματες συνδέσεις προσφέρουν υψηλή ταχύτητα και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, καθιστώντας τες κατάλληλες για μικρότερες αποστάσεις εντός του συστήματος.

Η ασύρματη επικοινωνία χρησιμοποιείται επίσης ευρέως στα συστήματα SCADA, ιδίως για απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες τοποθεσίες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τεχνολογίες όπως η επικοινωνία ραδιοσυχνότητας (RF), τα κυψελοειδή δίκτυα, η δορυφορική επικοινωνία ή οι συνδέσεις μικροκυμάτων. Η ασύρματη επικοινωνία παρέχει ευελιξία στην επέκταση της εμβέλειας του συστήματος SCADA και στη συλλογή δεδομένων από περιοχές όπου οι ενσύρματες συνδέσεις δεν είναι εφικτές. Η υποδομή επικοινωνίας σε ένα σύστημα SCADA συχνά ενσωματώνει διαφορετικές τοπολογίες δικτύου με βάση συγκεκριμένες απαιτήσεις. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν δίκτυα αστέρα, δακτυλίου ή πλέγματος. Η επιλογή της τοπολογίας εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος του συστήματος, οι απαιτήσεις πλεονασμού και η ανάγκη για αξιόπιστη και στιβαρή επικοινωνία.

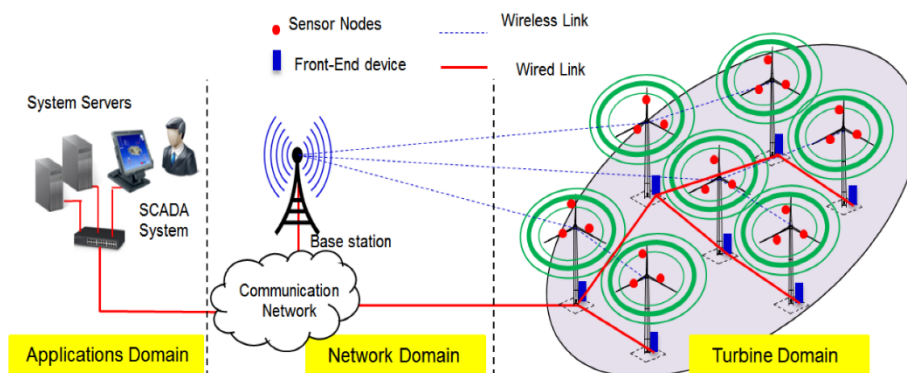
**Πλεονασμός:** Συχνά τα συστήματα SCADA ενσωματώνουν πλεονασμό στην υποδομή επικοινωνίας τους για να εξασφαλίσουν αυξημένη αξιοπιστία. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει διπλές διαδρομές επικοινωνίας ή εφεδρικές συσκευές επικοινωνίας. Ο πλεονασμός συμβάλλει στον μετριασμό των επιπτώσεων των αποτυχιών επικοινωνίας και εξασφαλίζει συνεχή μεταφορά δεδομένων και δυνατότητες ελέγχου.

**Πρωτόκολλα:** Τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τη διευκόλυνση της ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των εποπτικών υπολογιστών και των συσκευών πεδίου. Τα κοινά πρωτόκολλα περιλαμβάνουν τα Modbus, DNP3 (Distributed Network Protocol) και OPC (OLE for Process Control).

Αυτά τα πρωτόκολλα παρέχουν τυποποιημένους τρόπους επικοινωνίας των συσκευών μεταξύ τους, εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα και τη δια λειτουργικότητα εντός του συστήματος SCADA.

**Εξετάσεις εύρους ζώνης:** Η υποδομή επικοινωνίας σε ένα σύστημα SCADA πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να υποστηρίζει το απαιτούμενο εύρος ζώνης για τη μετάδοση δεδομένων. Παράγοντες όπως η συχνότητα συλλογής δεδομένων, ο αριθμός των συσκευών πεδίου και ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για να διασφαλιστεί η ομαλή και αποτελεσματική επικοινωνία.

**Μέτρα ασφαλείας:** Η διασφάλιση της υποδομής επικοινωνίας είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, παραβιάσεις δεδομένων και επιθέσεις στον κυβερνοχώρο. Εφαρμόζονται πρωτόκολλα κρυπτογράφησης, τείχη προστασίας, εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (VPN) και μηχανισμοί ελέγχου ταυτότητας για να διασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα και η διαθεσιμότητα των δεδομένων που μεταδίδονται. Επιπλέον, ένα σύστημα SCADA μπορεί να ενσωματώνει και άλλα στοιχεία, όπως διεπαφές ανθρώπου-μηχανής (HMI) για τοπική αλληλεπίδραση του χειριστή, ιστορικές βάσεις δεδομένων για μακροπρόθεσμη αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων και συστήματα διαχείρισης συναγερμών για την ειδοποίηση των χειριστών για κρίσιμα συμβάντα.



**Εικόνα 14.** Υποδομή επικοινωνίας ενός Scada System Αιολικού Πάρκου

**Καλώδια οπτικών ινών:** Καλώδια οπτικών ινών χρησιμοποιούνται συχνά ως η ραχοκοκαλιά του δικτύου επικοινωνίας στα αιολικά πάρκα. Τα καλώδια αυτά παρέχουν δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων υψηλής ταχύτητας σε μεγάλες αποστάσεις, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του αιολικού πάρκου.

**Δίκτυα Ethernet :** Τα δίκτυα Ethernet χρησιμοποιούνται συνήθως για τη σύνδεση διαφόρων συσκευών και συστημάτων εντός του αιολικού πάρκου. Επιτρέπουν την απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των ανεμογεννητριών, των RTU, των συστημάτων SCADA και άλλου εξοπλισμού ελέγχου και παρακολούθησης. Τα δίκτυα Ethernet προσφέρουν γρήγορη και ασφαλή επικοινωνία, διευκολύνοντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο.

**Ασύρματη επικοινωνία:** Τα αιολικά πάρκα μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, όπως Wi-Fi ή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, για απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ή να πραγματοποιούν αλλαγές στις ρυθμίσεις του αιολικού πάρκου από ένα κεντρικό δωμάτιο ελέγχου ή ακόμη και από απόσταση.

**Πρωτόκολλο επικοινωνίας SCADA:** Τα συστήματα SCADA στα αιολικά πάρκα συχνά χρησιμοποιούν πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι τυποποιημένα για τη βιομηχανία, όπως το Modbus, το DNP3 ή το IEC 61850. Αυτά τα πρωτόκολλα καθορίζουν τους κανόνες και τους μορφότυπους για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των συσκευών, διασφαλίζοντας τη συμβατότητα και την απρόσκοπτη ενσωμάτωση στο σύστημα.

## 4.6 Διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI) Human Machine Interface

Η διεπαφή χρήστη που χρησιμοποιείται από τους χειριστές για την επικοινωνία με ένα σύστημα SCADA ή οποιοδήποτε άλλο βιομηχανικό σύστημα ελέγχου είναι γνωστή ως HMI ή Human Machine Interface (δ επαφή ανθρώπου-μηχανής). Οι χρήστες μπορούν να παρατηρούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, να διαχειρίζονται συναγερμούς και να παρακολουθούν και να χειρίζονται τον εξοπλισμό λόγω της οπτικής απεικόνισης της διαδικασίας που προσφέρει. Τα HMI είναι φτιαγμένα ώστε να είναι διαισθητικά και φιλικά προς τον χρήστη, ώστε οι χειριστές να μπορούν απλά να πλοηγηθούν μεταξύ των οθονών και να ανακτήσουν τις πληροφορίες που χρειάζονται. Απεικονίζουν διάφορες πτυχές της διαδικασίας χρησιμοποιώντας γραφικά στοιχεία όπως κουμπιά, ρυθμιστικά και δείκτες. Τα γραφήματα τάσεων, τα οποία παρουσιάζουν τις τάσεις των ιστορικών δεδομένων για καλύτερη ανάλυση και λήψη αποφάσεων, περιλαμβάνονται συχνά στα HMI. Μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν εργαλεία διαχείρισης συναγερμών που ειδοποιούν τους χειριστές για επικίνδυνες καταστάσεις ή αδυναμίες του συστήματος.

Οι χειρονομίες πολλαπλής αφής μπορεί να υποστηρίζονται από προηγμένα HMI, επιτρέποντας δια δραστικό ζουμ, σάρωση και άλλες λειτουργίες. Τα HMI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόσβαση και τον έλεγχο του συστήματος μέσω μιας ποικιλίας συσκευών, όπως εξειδικευμένοι πίνακες χειριστών, βιομηχανικοί υπολογιστές, ταμπλέτες, ακόμη και smartphones.

Οι χρήστες έχουν την ευελιξία να προσαρμόζουν τη λειτουργικότητα και τη διάταξη του HMI ώστε να ανταποκρίνονται στις μοναδικές ανάγκες και προτιμήσεις τους.

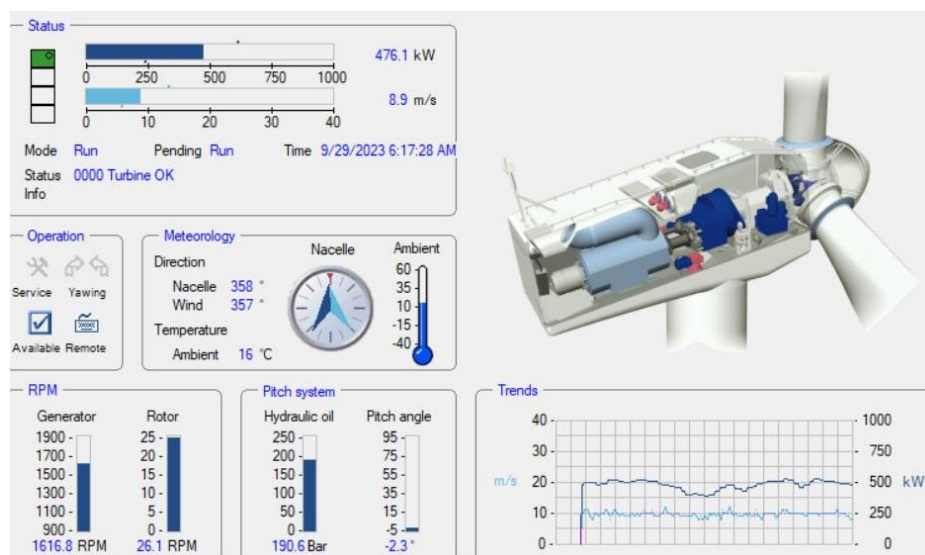
Για να λειτουργούν και να παρακολουθούνται οι ανεμογεννήτριες με τη μέγιστη δυνατή απόδοση και αποτελεσματικότητα, η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής είναι απαραίτητη. Μοιάζει με τον φιλικό προς τον χρήστη πίνακα ελέγχου μιας ανεμογεννήτριας.

Οι χειριστές των ανεμογεννητριών έχουν στη διάθεσή τους πολλές πληροφορίες χάρη στο HMI. Μπορούν να παρακολουθούν πληροφορίες όπως η ταχύτητα του ανέμου, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η θερμοκρασία και η κατάσταση της ανεμογεννήτριας σε πραγματικό χρόνο.

Οι χειριστές ενημερώνονται για την κατάσταση και την απόδοση της ανεμογεννήτριας χάρη στην ελκυστική παρουσίαση των πληροφοριών και την απλή για κατανόηση μορφή τους.

Το HMI όχι μόνο παρέχει στους χειριστές πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, αλλά τους δίνει και εντολές. Από την ευκολία της δ επαφής HMI, μπορούν να αλλάξουν τις λειτουργίες λειτουργίας, να τροποποιήσουν τις ρυθμίσεις του στροβίλου και ακόμη και να επιλύσουν προβλήματα εξ αποστάσεως.

Ακριβώς μπροστά σας βρίσκεται ένα εικονικό κέντρο διοίκησης. Τα τυπικά χαρακτηριστικά HMI στις ανεμογεννήτριες περιλαμβάνουν εκτεταμένη διαχείριση συναγερμών, η οποία ειδοποιεί τους χειριστές για επείγοντα περιστατικά ή παρατυπίες που χρήζουν προσοχής. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει προηγμένες δυνατότητες ανάλυσης και αναφοράς, επιτρέποντας στους χειριστές να εξετάζουν ιστορικά δεδομένα και να εντοπίζουν τάσεις για καλύτερη κρίση και προληπτική συντήρηση.



**Εικόνα 15.** HMI ενός Scada Vestas Business system

**Διεπαφή ελέγχου:** Το HMI παρέχει μια διεπαφή ελέγχου που επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν και να ρυθμίζουν τη λειτουργία των ανεμογεννητριών από απόσταση. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εκκίνηση ή τη διακοπή λειτουργίας των ανεμογεννητριών, τη ρύθμιση των γωνιών κλίσης των πτερυγίων και την αλλαγή των λειτουργικών τρόπων λειτουργίας για τη βελτιστοποίηση της ισχύος και της απόδοσης.

**Εμφάνιση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο:** Το HMI παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας του ανέμου, της ταχύτητας του ρότορα, της ισχύος εξόδου, της γωνίας κλίσης, της γωνίας ζυγοστάθμισης, της θερμοκρασίας και των επιπέδων κραδασμών. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν στους χειριστές να παρακολουθούν την απόδοση των μεμονωμένων ανεμογεννητριών και ολόκληρου του αιολικού πάρκου.

**Συστήματα συναγερμού και ειδοποίησης:** Το HMI περιλαμβάνει συστήματα συναγερμού και ειδοποίησης που ειδοποιούν τους χειριστές για τυχόν ανωμαλίες ή δυσλειτουργίες στη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει θέματα όπως υψηλές ταχύτητες ανέμου, βλάβες εξοπλισμού ή απαιτήσεις συντήρησης.

**Απομακρυσμένη παρακολούθηση και διάγνωση:** Το HMI επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και διάγνωση της απόδοσης της ανεμογεννήτριας, επιτρέποντας στους χειριστές να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα και να επιλύουν προβλήματα από οπουδήποτε με σύνδεση στο διαδίκτυο. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και του κόστους συντήρησης με τον γρήγορο εντοπισμό και την αντιμετώπιση των προβλημάτων.

## 5. Δεδομένα λειτουργίας και απόδοσης των Α/Γ

Λόγω της μεγαλύτερης αξιοπιστίας της Α/Γ, ο κατασκευαστής του προσφέρει εγγυήσεις χαμηλότερου κόστους και τυπικές συμβάσεις που περιλαμβάνουν ένα σημαντικό μερίδιο ασφάλισης και συντήρησης. Η συνήθης συντήρηση, η μη προγραμματισμένη συντήρηση και ο χρόνος διακοπής λειτουργίας της Α/Γ αποτελούν το βασικό κόστος Ο&Μ. Επιπλέον, τα ανταλλακτικά είναι δύσκολο να προβλεφθούν, και το κόστος αυτό αυξάνεται όσο μεγαλώνει η Α/Γ. Η μέση διάρκεια ζωής ενός Α/Γ θα παραταθεί, η τιμή των προγραμματισμένων και μη προγραμματισμένων εργασιών Ο&Μ θα μειωθεί, και το κόστος της παραγωγής αιολικής ενέργειας συνολικά θα μειωθεί με τον επαναπροσανατολισμό της προσοχής από την υποδομή των πάρκων Α/Γ προς τη συντήρηση και την ελαχιστοποίηση του κόστους Ο&Μ.

Η παραγωγή ενέργειας από ανεμογεννήτριες, η οποία θεωρείται καθαρή ενεργειακή τεχνολογία και βιώσιμο υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα, αποτελεί κοινή πρακτική σε πολλά κράτη. Παρόλο που η αιολική ενέργεια είναι χαμηλού άνθρακα, εντούτοις παράγει άνθρακα κατά τη διάρκεια των εργασιών παραγωγής, μεταφοράς & εγκατάστασης, συντήρησης και παροπλισμού. Ως αποτέλεσμα, ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών αιχμής που βασίζονται σε δεδομένα αρχίζουν να βρίσκουν χρήση στον κύκλο λειτουργίας και συντήρησης των αιολικών πάρκων λόγω του υψηλού κόστους και της πολυπλοκότητάς τους. Με την παρακολούθηση του κρίσιμου εξαρτήματος μέσω της μέτρησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η παρακολούθηση της κατάστασης μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους συντήρησης.

Η ανίχνευση και διάγνωση σφαλμάτων είναι μια από τις κρίσιμες φάσεις στα συστήματα για την εύρεση και απομόνωση του τύπου των προβλημάτων. Μπορούν να προσδιοριστούν τρεις τύποι τεχνικών: Οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε μοντέλα, οι μέθοδοι που βασίζονται σε δεδομένα και οι μέθοδοι που βασίζονται στη γνώση παρατίθενται με αυτή τη σειρά. Είναι απαραίτητο να αυξηθεί η αξιοπιστία των Α/Γ αν θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο. Οι αστοχίες των εξαρτημάτων αναγκάζουν τις ανεμογεννήτριες να υποβάλλονται σε μη προγραμματισμένη ή αντιδραστική συντήρηση, γεγονός που αυξάνει το κόστος παραγωγής και προκαλεί σημαντικό χρόνο διακοπής λειτουργίας, μειώνοντας τελικά την ανταγωνιστικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συνεπώς, η έγκαιρη διάγνωση των βλαβών με τη βοήθεια της παρακολούθησης αποτελεί κρίσιμο καθήκον. Σε σύγκριση με την τακτική συντήρηση των Α/Γ, αυτό μπορεί να ελαχιστοποιήσει τα έξοδα συντήρησης κατά 20% έως 25%. Στην πραγματικότητα, η σύγκριση της αποδοτικότητας παραγωγής ενέργειας του συστήματος με την αποδοτικότητα άλλων τύπων σταθμών παραγωγής ενέργειας μπορεί να γίνει άμεσα με τη χρήση των δαπανών Ο&Μ. Προκειμένου να καταστούν οι Α/Γ πιο αξιόπιστες, οι φορείς εκμετάλλευσης και οι ερευνητές εργάζονται πάντα για τη βελτίωση των αλγορίθμων ανίχνευσης σφαλμάτων.

## Προγνωστική συντήρηση

Συμβαίνει σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Καλύπτει διάφορες μορφές συντήρησης που πραγματοποιούνται πριν από μια βλάβη. Επιδιώκει να μειώσει την πιθανότητα βλάβης ή υποβάθμισης ενός στοιχείου εξοπλισμού, μειώνει τη συχνότητα των προβλημάτων βλαβών λειτουργίας και εξαλείφει τον απρογραμματιστό χρόνο διακοπής λειτουργίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το κόστος του χρόνου διακοπής λειτουργίας και των επισκευών σε περίπτωση βλαβών είναι μεγαλύτερο από την επένδυση που απαιτείται για ένα πρόγραμμα συντήρησης.

## Διορθωτική συντήρηση

Η διορθωτική συντήρηση εντοπίζει τα προβλήματα "εγκαίρως". Ολοκληρώνεται μόλις διαπιστωθεί μια ανωμαλία. Αποσκοπεί στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των προβλημάτων πριν αυτά προκύψουν. Δίνει τη δυνατότητα στους τεχνικούς να πραγματοποιήσουν άμεσα τις παρεμβάσεις τους. Καθώς τα προβλήματα εντοπίζονται κατά την εμφάνισή τους, μειώνονται οι επείγουσες επισκευές και αυξάνεται η ασφάλεια των μελών της ομάδας. Ενδεχομένως οικονομικά μέχρι και μοιραία ελαττώματα. Η διορθωτική συντήρηση που εκτελείται χωρίς προηγούμενο προγραμματισμό μπορεί να είναι δαπανηρή, επειδή μπορεί να προκύψουν απρόβλεπτα έξοδα.

## Διαφορετικοί τύποι δεδομένων και επιλογή χαρακτηριστικών.

Τα δεδομένα δονήσεων, τα δεδομένα σημάτων ρεύματος και τα δεδομένα SCADA είναι οι τρεις κατηγορίες στις οποίες μπορούν να χωριστούν τα δεδομένα που συλλέγονται από τις Α/Γ για CM. Οι προκλήσεις των "μεγάλων δεδομένων" παρουσιάζονται από τα τυπικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα σε μια ανεμογεννήτρια: (60-100 σήματα SCADA θα παράγονταν από ένα αιολικό πάρκο με περίπου 20-30 αισθητήρες για κάθε Α/Γ. Έτσι, καθένας από αυτούς θα παρήγαγε περίπου 0,2 GB ακατέργαστων δεδομένων όταν η δειγματοληψία γίνεται κάθε δευτερόλεπτο), ταχύτητα (η συχνότητα με την οποία οι σύγχρονοι ασύρματοι και ακουστικοί αισθητήρες παράγουν και στέλνουν δεδομένα), ελικρίνεια (ιδανικά, τα δεδομένα θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από ελλειπείς ή αδύνατες τιμές και αποκλίσεις- εάν όχι, αυτόματες ή ημιαυτόματες μέθοδοι καθαρισμού (scrubbing) δεδομένων) και ποικιλία (τα συστήματα παρακολούθησης κατάστασης πρέπει να ενσωματώνουν τα δεδομένα των αισθητήρων με φωτογραφίες, βίντεο (π.χ., που λαμβάνονται από drones), και αναφορές δράσης ελεύθερου κειμένου κ.λπ.)

**Δεδομένα κραδασμών:** Το περιβάλλον έχει αντίκτυπο στις ογκώδεις δομές των Α/Γ. Τα εύκαμπτα μέρη, όπως τα πτερύγια, είναι ευάλωτα σε ποικίλες δυνάμεις δόνησης που θα μπορούσαν να βλάψουν τα πτερύγια και να θέσουν σε κίνδυνο την αποτελεσματικότητα του συστήματος λόγω του μεταβαλλόμενου φορτίου και της ταχύτητας του ανέμου. Η καταπόνηση και η φθορά των εξαρτημάτων επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τα επίπεδα κραδασμών των Α/Γ, γεγονός που έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας και στον χρόνο διακοπής λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Όταν τα πτερύγια διαγιγνώσκονται τακτικά χρησιμοποιώντας την παρακολούθηση της δομικής κατάστασης της υγείας, ο χρόνος διακοπής λειτουργίας μπορεί να μειωθεί.

Αυτή η υπεροχή μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ο μηχανολογικός εξοπλισμός προκαλεί δονήσεις που μεταδίδονται στα συνδεδεμένα εξαρτήματα- η ένταση της δόνησης μπορεί να υποδεικνύει την υγεία του εξαρτήματος ή, στην περίπτωση της ανίχνευσης και διάγνωσης βλαβών, να προσφέρει αποδείξεις για την προηγούμενη αστοχία του εξαρτήματος. Τα μειονεκτήματα των δεδομένων δονήσεων περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος τους, την παρεμβατική εγκατάσταση, τον υψηλό ρυθμό δειγματοληψίας δεδομένων, την πιθανότητα μόλυνσης από περιβαλλοντικό θόρυβο, την πιθανότητα ψευδών συναγεργμών και την αδυναμία ανίχνευσης βλαβών σε γεννήτριες.

**Δεδομένα από συστήματα παρακολούθησης κατάστασης:** Ειδικά για ηλεκτρικά μηχανήματα όπως κινητήρες και γεννήτριες, τα δεδομένα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά. Αυτό συνεπάγεται την ανάλυση της κυματομορφής στο πεδίο του χρόνου με τη χρήση μετρικών όπως το επίπεδο κορυφής και ο παράγοντας κύρτωσης, μεταξύ άλλων. Η σειρά Fourier χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της στο πεδίο της συχνότητας, η οποία βοηθά στην ανίχνευση άγνωστων ελαττωμάτων και στο μέγεθος της βλάβης, όπως υποδεικνύεται από το φάσμα ισχύος. Το πρωταρχικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου συνόλου δεδομένων για τη διάγνωση προβλημάτων είναι η εξαιρετικά υψηλή ανάλυση, η οποία επιτρέπει στα δεδομένα να φθάνουν σε συχνότητες kHz.

**Δεδομένα SCADA:** Τα συστήματα SCADA που είναι εγκατεστημένα σε Α/Γ καταγράφουν μεγάλο αριθμό μετρήσεων που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν ότι ένα Α/Γ αντιμετωπίζει λειτουργικά προβλήματα. Σε περιπτώσεις ελαφρών ταλαντώσεων, μπορεί επίσης να ξεκινήσει, να σταματήσει και να επαναρυθμιστεί αυτόματα. Όταν μια ανεμογεννήτρια σταματά λόγω συνθηκών χαμηλού ή υψηλού ανέμου, παραθύρων συντήρησης ή άλλων λόγων, υπάρχουν ανενεργά δεδομένα SCADA. Όταν δεν δημιουργείται ηλεκτρική ενέργεια, απαιτείται η διαγραφή αυτών των δεδομένων πριν από την ταυτοποίηση του μοντέλου.

Προτείνετε τη χρήση διαφόρων πηγών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης της θερμοκρασίας και των δονήσεων SCADA για τον εντοπισμό προβλημάτων και την ανάλυση αξιοπιστίας, για την καλύτερη δυνατή παρακολούθηση. Ο εντοπισμός ανωμαλιών ήταν συνεπής όταν χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα SCADA, αλλά η προσθήκη δεδομένων δόνησης επιτρέπει στην πολυμεταβλητή να αντιπροσωπεύει με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατανομή των σφαλμάτων σε όλη την επιλεγμένη περίοδο και να δημιουργεί σύνθετα όρια αποφάσεων. Ωστόσο, λάβετε υπόψη ότι το μοντέλο μπορεί να υπερπροσαρμοστεί λόγω της ανισορροπίας, καθώς τα δεδομένα δόνησης περιλαμβάνουν λιγότερα δείγματα από τα δεδομένα SCADA.

Μια τεχνική παρακολούθησης της κατάστασης που βασίζεται σε δεδομένα SCADA συχνά επικεντρώνεται στις παρενέργειες της βλάβης. Είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστούν ανώμαλες δονήσεις από ένα κατεστραμμένο μηχανικό εξάρτημα ή μη φυσιολογική ηλεκτρική συμπεριφορά από ένα ηλεκτρικό εξάρτημα που παρουσιάζει δυσλειτουργία, χρησιμοποιώντας δεδομένα με μέσο όρο 10 λεπτών. Εξαιτίας αυτού, οι τεχνικές παρακολούθησης της κατάστασης που βασίζονται στο SCADA συχνά εντοπίζουν ένα εισερχόμενο πρόβλημα ως ανώμαλη θέρμανση εξαρτημάτων ή ανεμογεννήτριες που υπολειτουργούν.

Εφαρμόζουν διάφορα μοντέλα παλινδρόμησης για την προσομοίωση της ενεργού ισχύος, της ταχύτητας του ρότορα, της ταχύτητας της γεννήτριας και του ρεύματος κλίσης των πτερυγίων μιας ανεμογεννήτριας χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τη θερμοκρασία των εξαρτημάτων.

Τα δεδομένα με χρονική ανάλυση διατίθενται συχνά στους τελικούς χρήστες από τα συστήματα SCADA μετά τη μέση τιμή τους για μια περίοδο 10 λεπτών, ωστόσο οι μετρήσεις λαμβάνονται στην πραγματικότητα με συχνότητα δειγματοληψίας που φτάνει τα Hz. Παρόλο που η χρήση χρονικά διαλυμένων δεδομένων υψηλής συχνότητας για την παρακολούθηση της κατάστασης είναι μια ουσιαστική άποψη, υπάρχουν δυστυχώς λίγα παραδείγματα στη βιβλιογραφία, δεδομένου ότι είναι δύσκολο να ληφθούν σύνολα δεδομένων πραγματικού κόσμου από βιομηχανικά αιολικά πάρκα.

## 5.1 Συλλογή δεδομένων SCADA αισθητήριων μιας ανεμογεννήτριας

Στο επίπεδο συλλογής δεδομένων μιας ανεμογεννήτριας, διάφοροι αισθητήρες και συσκευές είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή κρίσιμων δεδομένων που σχετίζονται με την απόδοσή της. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα στοιχείων απόκτησης δεδομένων σε μια ανεμογεννήτρια:

**Αισθητήρες ταχύτητας ανέμου:** Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της ανεμογεννήτριας. Βοηθούν στον προσδιορισμό των κατάλληλων ρυθμίσεων κλίσης και εκτροπής των πτερυγίων για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας. Τα ανεμόμετρα είναι ειδικοί αισθητήρες ταχύτητας ανέμου που μετρούν την ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας. Παρέχουν ακριβή και σε πραγματικό χρόνο δεδομένα σχετικά με τις συνθήκες ανέμου που επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας.

**Αισθητήρες θερμοκρασίας:** Οι αισθητήρες θερμοκρασίας παρακολουθούν διάφορα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας, όπως η γεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων και η άτρακτος. Μετρώντας τη θερμοκρασία, οι αισθητήρες αυτοί βοηθούν στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων υπερθέρμανσης ή μη φυσιολογικών διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και την πρόληψη πιθανών βλαβών.

**Μετρητές ισχύος:** Οι μετρητές ισχύος μετρούν την ηλεκτρική ισχύ που παράγει η ανεμογεννήτρια. Παρέχουν δεδομένα σχετικά με την παραγωγή ισχύος, επιτρέποντας στους χειριστές να παρακολουθούν την απόδοση της ανεμογεννήτριας και να παρακολουθούν την απόδοσή της με την πάροδο του χρόνου.

**Αισθητήρες κραδασμών:** Οι αισθητήρες δονήσεων ανιχνεύουν και μετρούν τις δονήσεις στα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας. Βοηθούν στον εντοπισμό μηχανικής καταπόνησης, ανισορροπίας ή προβλημάτων κακής ευθυγράμμισης που μπορεί να υποδηλώνουν πιθανές βλάβες του εξοπλισμού.

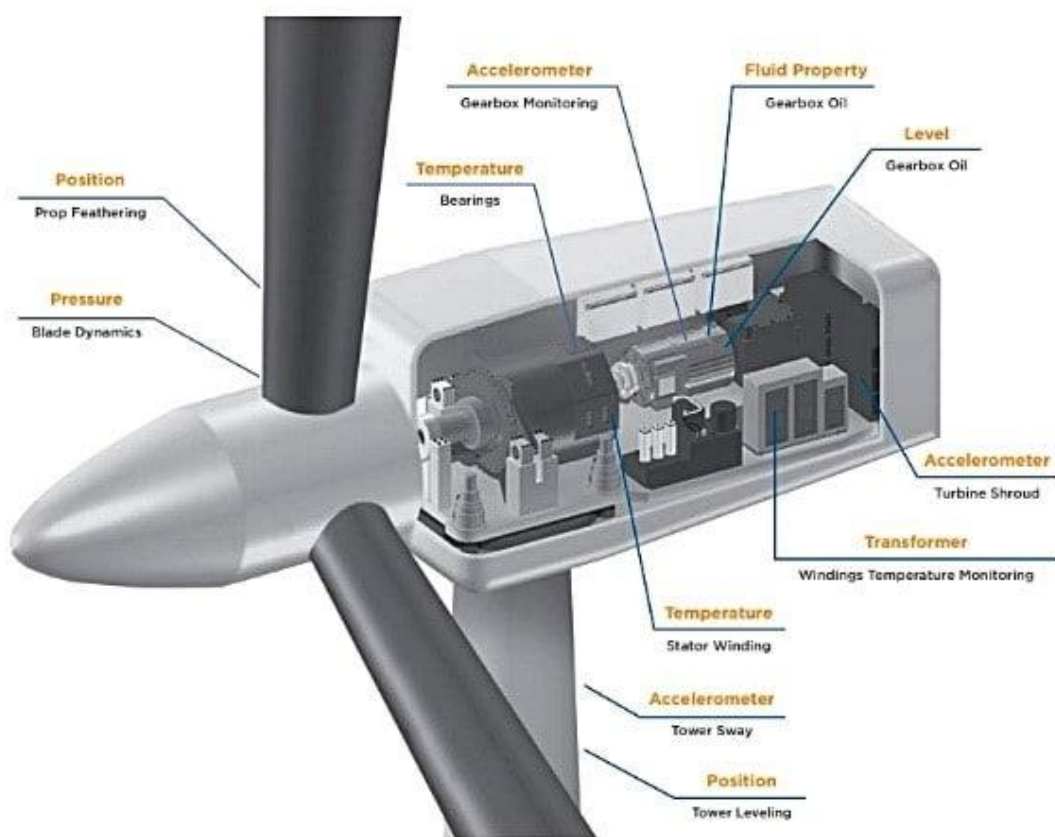


**Αισθητήρες γωνίας βήματος:** Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν τη γωνία των πτερυγίων της τουρμπίνας. Παρέχουν ανατροφοδότηση σχετικά με τη θέση κάθε πτερυγίου, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της γωνίας κλίσης των πτερυγίων για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας με βάση τις συνθήκες του ανέμου.

**Αισθητήρες γωνίας εκτροπής:** Οι αισθητήρες γωνίας εκτροπής παρακολουθούν τη θέση εκτροπής της ατράκτου, η οποία καθορίζει την κατεύθυνση της ανεμογεννήτριας σε σχέση με τον άνεμο. Ανιχνεύοντας αλλαγές στη γωνία ζυγοστάθμισης, οι χειριστές μπορούν να διασφαλίσουν ότι η ανεμογεννήτρια είναι πάντα στραμμένη προς τον άνεμο για μέγιστη απόδοση.

**Επιταχυνσιόμετρα:** Τα επιταχυνσιόμετρα μετρούν τις δυνάμεις επιτάχυνσης που ασκούνται σε συγκεκριμένα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας. Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση υπερβολικών δονήσεων, κραδασμών ή προβλημάτων δομικής ακεραιότητας, βοηθώντας στον εντοπισμό πιθανών αναγκών συντήρησης ή βλαβών εξαρτημάτων.

**Ηλεκτρικοί αισθητήρες:** Οι ηλεκτρικοί αισθητήρες, όπως οι μετασχηματιστές ρεύματος και οι αισθητήρες τάσης, παρακολουθούν τις ηλεκτρικές παραμέτρους εντός της ανεμογεννήτριας. Παρακολουθούν μεταβλητές όπως το ρεύμα, η τάση και ο συντελεστής ισχύος, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την ηλεκτρική απόδοση της ανεμογεννήτριας.



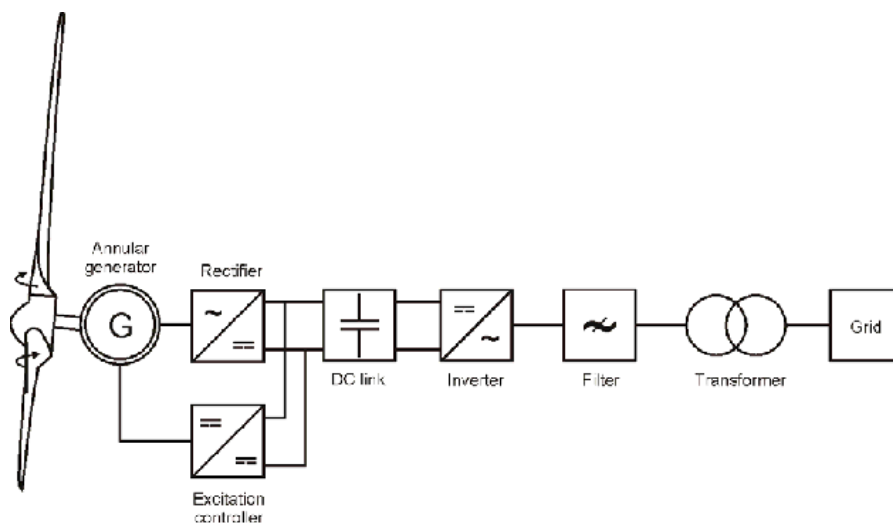
Εικόνα 16. Αισθητήρια όργανα μιας ανεμογεννήτριας

## **6. Μελέτη περίπτωσης Ανεμογεννήτριας στη Αργολίδα E-82 E2 της εταιρείας Enercon.**

Η Enercon είναι ένας εξέχων παίκτης στην παγκόσμια βιομηχανία αιολικής ενέργειας, γνωστός για την καινοτόμο τεχνολογία ανεμογεννητριών και τις ολοκληρωμένες λύσεις για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, με έδρα τη Γερμανία, είναι ένας από τους κορυφαίους κατασκευαστές ανεμογεννητριών παγκοσμίως. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1984 από τον Aloys Wobben και εξελίχθηκε σε σημαντικό παράγοντα στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ισχυρή παρουσία σε διάφορες διεθνείς αγορές. Φημίζεται για την καινοτόμο τεχνολογία των ανεμογεννητριών της, ιδίως για τα συστήματα άμεσης κίνησης. Οι ανεμογεννήτριες αυτές εξαλείφουν την ανάγκη για κιβώτιο ταχυτήτων, με αποτέλεσμα χαμηλότερες απαιτήσεις συντήρησης και αυξημένη αξιοπιστία. Η εστίαση της εταιρείας στις τεχνολογικές εξελίξεις έχει συμβάλει στο ανταγωνιστικό της πλεονέκτημα στον κλάδο. Προσφέρει ένα ευρύ φάσμα μοντέλων ανεμογεννητριών σχεδιασμένων για διαφορετικές συνθήκες ανέμου και εφαρμογές. Το χαρτοφυλάκιο των προϊόντων της περιλαμβάνει χερσαίες και υπερβατικές ανεμογεννήτριες με διαφορετική χωρητικότητα, από εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας για κατανομημένη παραγωγή ενέργειας έως μεγάλα έργα κοινής ωφέλειας. Δραστηριοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο, με παρουσία σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο. Η εταιρεία έχει δημιουργήσει εγκαταστάσεις παραγωγής, γραφεία πωλήσεων και κέντρα εξυπηρέτησης για την υποστήριξη των πελατών και των έργων της σε διάφορες αγορές.

Κάθε Α/Γ ENERCON έχει την ίδια θεμελιώδη ηλεκτρική αρχιτεκτονική. Η πολυπολική, ηλεκτρικά διεγερόμενη δακτυλιοειδής γεννήτρια είναι απευθείας συνδεδεμένη με τον δρομέα, δηλαδή δεν υπάρχει ενδιάμεσο κιβώτιο ταχυτήτων. Ένας μετατροπέας ισχύος πλήρους κλίμακας χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της ηλεκτρικής εξόδου της γεννήτριας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το ίδιο το σύστημα του μετατροπέα αποτελείται από πολλούς μετατροπείς, έναν ανορθωτή και μια ζεύξη συνεχούς ρεύματος. Αυτό είναι το κύριο πλεονέκτημα της δακτυλιοειδούς γεννήτριας. Είναι ηλεκτρικά εντελώς αποσυνδεδεμένη από το δίκτυο. Λόγω του μεγάλου βαθμού διακύμανσης της ταχύτητας του δρομέα που καθίσταται εφικτός με τον τρόπο αυτό, καθίσταται επίσης δυνατή μια μηχανικά πιο αξιόπιστη κατασκευή με λιγότερα κινούμενα εξαρτήματα. Επιπλέον, οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται και οι παράμετροι του μετατροπέα καθορίζουν από μόνες τους τις ηλεκτρικές ιδιότητες των ENERCON WEC. Στις Α/Γ Enercon η γεννήτρια αποσυνδέεται από το δίκτυο με τη χρήση ενός μετατροπέα συχνότητας πλήρους κλίμακας, ο οποίος παρέχει βασικά χαρακτηριστικά ενσωμάτωσης στο δίκτυο, όπως μεγάλα εύρη λειτουργίας όσον αφορά την τάση και τη συχνότητα και ευέλικτη ικανότητα άεργου ισχύος. Ο σχεδιασμός τύπου IV, όπως υλοποιήθηκε από την ENERCON, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα .

Η γεννήτρια παράγει έξοδο μεταβλητής συχνότητας, η οποία ανορθώνεται σε συνεχές ρεύμα και τροφοδοτείται στη ζεύξη συνεχούς ρεύματος. Το σύστημα ελέγχου μετατροπέα κλειστού βρόχου ελέγχει τους αρθρωτούς μετατροπείς για την έγχυση ρεύματος εξόδου σύμφωνα με την τάση και τη συχνότητα του δικτύου.



**Εικόνα 17.** Παραγωγή ενέργειας τύπου γεννήτριας Enercon

Στα παραδοσιακά σχέδια ανεμογεννητριών, ένα κιβώτιο ταχυτήτων χρησιμοποιείται για την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του αργά κινούμενου ρότορα της ανεμογεννήτριας στην υψηλότερη ταχύτητα που απαιτείται από τη γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, στο σύστημα άμεσης κίνησης της Enercon, η ανάγκη για κιβώτιο ταχυτήτων εξαλείφεται. Αντ' αυτού, ο ρότορας της γεννήτριας συνδέεται απευθείας με την πλήμνη του ρότορα της τουρμπίνας, με αποτέλεσμα ένα απλούστερο και πιο αξιόπιστο σύστημα μετάδοσης κίνησης: Ο πόλος είναι ένα εξάρτημα εντός της γεννήτριας που διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας από τα περιστρεφόμενα πτερύγια του στροβίλου σε ηλεκτρική ενέργεια. Είναι συνήθως κατασκευασμένο από μαγνητικό υλικό και αποτελεί μέρος του συγκροτήματος στάτη της γεννήτριας: Ο πόλος έχει σχεδιαστεί για να δημιουργεί ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο εντός της γεννήτριας, όταν του παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό το μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με το δρομέα, ο οποίος είναι τοποθετημένος στον ίδιο άξονα με τα πτερύγια της τουρμπίνας, προκαλώντας ηλεκτρικό ρεύμα στα πηνία της γεννήτριας: Με την απευθείας σύνδεση του ρότορα της γεννήτριας με την πλήμνη του ρότορα της τουρμπίνας, το σύστημα άμεσης κίνησης της Enercon εξαλείφει τη μηχανική πολυπλοκότητα και τα πιθανά σημεία αστοχίας που σχετίζονται με τις παραδοσιακές κατασκευές που βασίζονται σε κιβώτια ταχυτήτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα βελτιωμένη απόδοση, μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης και αυξημένη αξιοπιστία της ανεμογεννήτριας. Η χρήση ενός πόλου στις ανεμογεννήτριες άμεσης κίνησης της Enercon συμβάλλει στη συνολική απόδοση και αντοχή τους. Απλοποιώντας το σύστημα μετάδοσης κίνησης και ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των κινούμενων μερών, οι ανεμογεννήτριες της Enercon μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση μετατροπής ενέργειας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

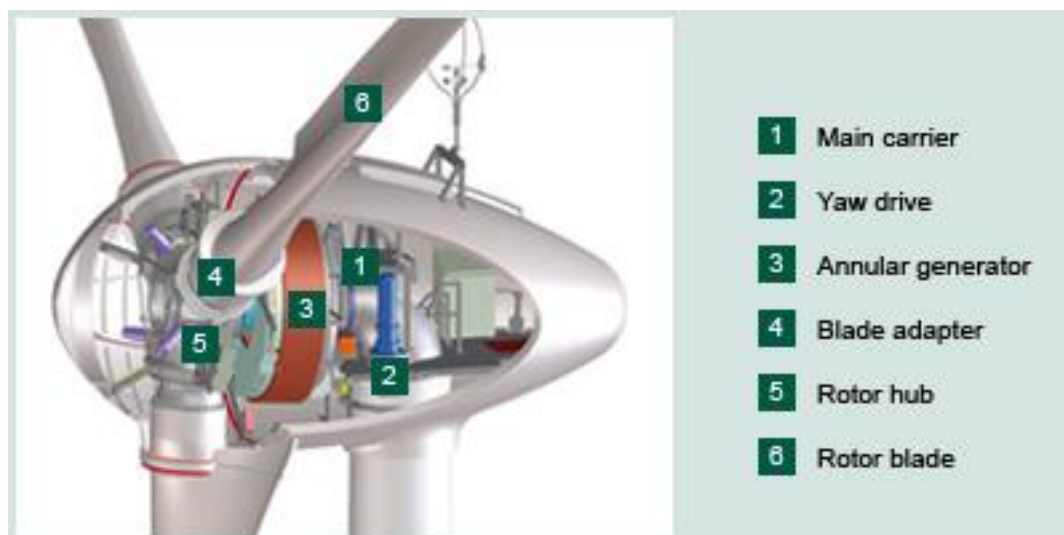
Ισχύς εξόδου: Το E-82 έχει εντυπωσιακή ισχύ έως 2,3 μεγαβάτ (MW). Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να παράγει σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας το κατάλληλο για διάφορες εφαρμογές, από την τροφοδοσία κατοικιών έως την παροχή ενέργειας σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Διάμετρος ρότορα: Ο E-82 διαθέτει διάμετρο ρότορα 82 μέτρων, επιτρέποντάς του να συλλαμβάνει μεγαλύτερη περιοχή ανέμου και να βελτιστοποιεί την παραγωγή ενέργειας. Ο αεροδυναμικός σχεδιασμός των πτερυγίων εξασφαλίζει βέλτιστη απόδοση σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.

Ύψος πλήμνης: Με ύψος πλήμνης έως και 108 μέτρα, ο E-82 μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερα υψόμετρα, όπου οι άνεμοι τείνουν να είναι ισχυρότεροι και πιο σταθεροί. Αυτό αυξάνει την απόδοση και τη συνολική παραγωγή ενέργειας της ανεμογεννήτριας.

Έξυπνο σύστημα ελέγχου: Η E-82 είναι εξοπλισμένη με ένα έξυπνο σύστημα ελέγχου που παρακολουθεί συνεχώς τις συνθήκες ανέμου και προσαρμόζει ανάλογα τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Αυτό εξασφαλίζει τη βέλτιστη παραγωγή ενέργειας και μεγιστοποιεί την απόδοση της τουρμπίνας σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.

Ανθεκτικότητα και συντήρηση: Η E-82 είναι κατασκευασμένη με υλικά υψηλής ποιότητας και στιβαρή κατασκευή, εξασφαλίζοντας ανθεκτικότητα και μακροζωία. Οι απαιτήσεις τακτικής συντήρησης είναι ελάχιστες, καθιστώντας την αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική επιλογή.

Εκπομπές θορύβου: Οι ανεμογεννήτριες της Enercon είναι γνωστές για τις χαμηλές εκπομπές θορύβου τους. Η E-82 έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιεί τα επίπεδα θορύβου, καθιστώντας την κατάλληλη για εγκατάσταση σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των κατοικημένων περιοχών.

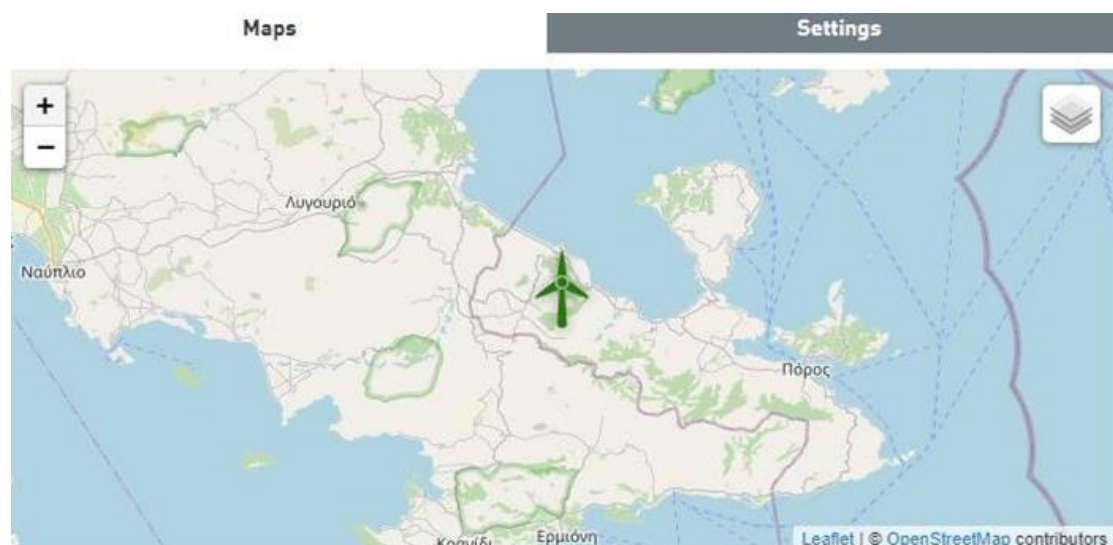


Εικόνα 18. E-82 E2 Enercon Wind turbine

## 6.1 Λογισμικό της Enercon Scada Remote 3

### Σύστημα SCADA ENERCON

Η συλλογή δεδομένων, η απομακρυσμένη παρακολούθηση και ο έλεγχος ενός αιολικού πάρκου καλύπτονται από το σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) που δημιουργήθηκε από την ENERCON. Η συμβατική αρχιτεκτονική, η οποία αποτελείται από το σύστημα ENERCON WEC και το σύστημα ENERCON SCADA, είναι αρκετά προσαρμόσιμη ώστε να ανταποκρίνεται στις πιο αυστηρές απαιτήσεις του κώδικα δικτύου, ενώ παράλληλα προσφέρει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών του συστήματος. Η παροχή τέτοιων υπηρεσιών συστήματος επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης αιολικών πάρκων σε πολλές αγορές να αυξήσουν τα έσοδα και να εγγυηθούν τη βέλτιστη απόδοση.



Εικόνα 19. Enercon scada remote 3 τοποθεσία πάρκου Αργολίδα

### Διακομιστής ENERCON SCADA

Ο διακομιστής ENERCON SCADA, ο οποίος χρησιμεύει ως κόμβος του συστήματος, συνδέεται με τον οπτικό δίαυλο δεδομένων οπτικών ινών του αιολικού πάρκου μέσω των WEC. Όσον αφορά την επικοινωνία, την καταγραφή δεδομένων και τον έλεγχο στο αιολικό πάρκο, εξυπηρετεί μια σειρά από σκοπούς.

### Απομακρυσμένη Διαχείριση ENERCON SCADA

Οι πελάτες μπορούν να συνδεθούν απευθείας στον διακομιστή SCADA της ENERCON ενός αιολικού πάρκου από οποιαδήποτε θέση στον κόσμο χρησιμοποιώντας το λογισμικό ENERCON SCADA REMOTE. Εξαιτίας αυτού, είναι προσβάσιμα τόσο τα τρέχοντα όσο και τα προηγούμενα δεδομένα. Το σύστημα SCADA της Enercon υποστηρίζεται από ολοκληρωμένες υπηρεσίες υποστήριξης πελατών. Τεχνικοί εμπειρογνώμονες είναι διαθέσιμοι για να βοηθήσουν τους πελάτες με τη ρύθμιση του συστήματος, τη διαμόρφωση και την αντιμετώπιση προβλημάτων, διασφαλίζοντας μια ομαλή και απρόσκοπτη εμπειρία με την πλατφόρμα SCADA.

## Διεπαφές για την επικοινωνία με το σύστημα SCADA

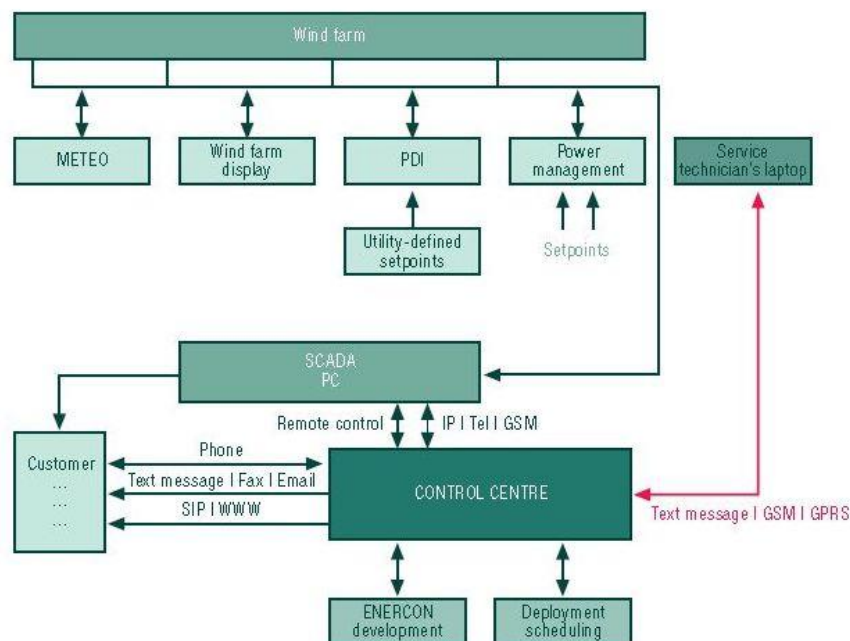
Για τους σκοπούς της ανταλλαγής δεδομένων με το σύστημα SCADA ενός αιολικού πάρκου, η ENERCON παρέχει μια ευρεία επιλογή προαιρετικών διεπαφών επικοινωνίας. Η διεπαφή δεδομένων διεργασίας ENERCON SCADA (PDI), μια διεπαφή βασισμένη σε λογισμικό, μπορεί να διαθέσει δεδομένα είτε μέσω του πρωτοκόλλου OPC XML-DA είτε μέσω του πρωτοκόλλου IEC60870-5-104. Τόσο οι σειριακοί δίαυλοι πεδίου, όπως το Modbus RTU και το DNP3, όσο και οι δίαυλοι πεδίου που βασίζονται στο Ethernet, όπως το Modbus TCP και το IEC60870-5-104, υποστηρίζονται από τη βασισμένη σε υλικό απομακρυσμένη τερματική μονάδα - διεπαφή (RTU-I).

## Έλεγχος κλειστού βρόχου αιολικού πάρκου στο σημείο σύνδεσης

Στο σημείο σύνδεσης (PoC), η ενεργός και η άεργος ισχύς ενός αιολικού πάρκου μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια χρησιμοποιώντας έναν ελεγκτή αιολικού πάρκου. Ένας ελεγκτής αιολικού πάρκου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το ευρύ φάσμα άεργου ισχύος των ENERCON WEC για τη γρήγορη ρύθμιση της τάσης στο σημείο σύνδεσης του δικτύου. Η ENERCON παρέχει δύο προϊόντα ρύθμισης αιολικού πάρκου, το ENERCON SCADA RTU-C και το ENERCON SCADA FCU, τα οποία διαφέρουν ως προς την ταχύτητα και τον τρόπο ελέγχου. Με αυτά, τα σημεία ρύθμισης για τον έλεγχο μπορούν να λαμβάνονται δυναμικά από τον διαχειριστή του δικτύου μέσω μιας σύνδεσης επικοινωνίας εκτός από τον ειδικό προγραμματισμό στην κατάλληλη συσκευή.

## ENERCON SCADA Meteo

Η επιλογή ENERCON SCADA Meteo είναι διαθέσιμη για την ενσωμάτωση μετεωρολογικών δεδομένων από ιστό ανέμου στο σύστημα ENERCON SCADA.



Εικόνα 20. Enercon scada remote 3 επικοινωνίες.

## **Το σύστημα SR3**

**Παρακολούθηση και έλεγχος:** Το σύστημα SR3 επιτρέπει την παρακολούθηση και τον έλεγχο των ανεμογεννητριών Enercon σε πραγματικό χρόνο. Παρέχει στους χειριστές ολοκληρωμένα δεδομένα και αναλύσεις σχετικά με την απόδοση της ανεμογεννήτριας, την παραγωγή ισχύος, την κατάσταση και άλλες σχετικές παραμέτρους. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική λειτουργία και βελτιστοποίηση του αιολικού πάρκου.

**Απομακρυσμένη πρόσβαση:** Με το σύστημα SR3, οι χειριστές μπορούν να έχουν απομακρυσμένη πρόσβαση και να διαχειρίζονται πολλαπλές ανεμογεννήτριες από ένα κεντρικό κέντρο ελέγχου. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη φυσικής παρουσίας σε κάθε θέση ανεμογεννήτριας, εξοικονομώντας χρόνο και πόρους.

**Διαχείριση συναγερμών και συμβάντων:** Το σύστημα SR3 περιλαμβάνει μια ισχυρή λειτουργία διαχείρισης συναγερμών και συμβάντων. Παρέχει άμεσες ειδοποιήσεις και προειδοποιεί τους χειριστές σε περίπτωση που εντοπιστούν μη φυσιολογικές συνθήκες ή βλάβες στις ανεμογεννήτριες. Αυτό διασφαλίζει τη γρήγορη ανταπόκριση και ελαχιστοποιεί τον χρόνο διακοπής λειτουργίας.

**Ανάλυση δεδομένων και υποβολή εκθέσεων:** Το σύστημα SR3 συλλέγει και αποθηκεύει ιστορικά δεδομένα από κάθε ανεμογεννήτρια, επιτρέποντας τη σε βάθος ανάλυση και αξιολόγηση των επιδόσεων. Παράγει λεπτομερείς αναφορές και στατιστικά στοιχεία, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ανεμογεννητριών και τον προγραμματισμό της συντήρησης.

**Δυνατότητες ενσωμάτωσης:** Το σύστημα SR3 έχει σχεδιαστεί για να ενσωματώνεται απρόσκοπτα με άλλα υπάρχοντα συστήματα και πλατφόρμες λογισμικού, επιτρέποντας την ομαλή ανταλλαγή και ενσωμάτωση δεδομένων. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και ενοποιημένου συστήματος ελέγχου για τη λειτουργία αιολικών πάρκων.

**Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:** Enercon SCADA συλλέγει συνεχώς δεδομένα από διάφορους αισθητήρες και συσκευές που είναι εγκατεστημένες στην ανεμογεννήτρια. Αυτό περιλαμβάνει παραμέτρους όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ταχύτητα της τουρμπίνας, η ισχύς εξόδου, η θερμοκρασία και άλλα. Με την παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο, το SCADA μπορεί να εντοπίσει τυχόν ανωμαλίες ή αποκλίσεις από τις αναμενόμενες τιμές.

**Ανάλυση επιδόσεων:** Τα συστήματα SCADA της Enercon αναλύουν τα δεδομένα που συλλέγονται για την αξιολόγηση της απόδοσης της ανεμογεννήτριας. Συγκρίνοντας την πραγματική απόδοση με την αναμενόμενη απόδοση, το SCADA μπορεί να εντοπίσει τυχόν ανεπάρκειες ή πιθανά προβλήματα που ενδέχεται να επηρεάζουν την απόδοση της ανεμογεννήτριας.

**Ανίχνευση και διάγνωση σφαλμάτων:** Τα συστήματα SCADA είναι εξοπλισμένα με αλγόριθμους που μπορούν να εντοπίσουν πιθανά σφάλματα ή δυσλειτουργίες στην ανεμογεννήτρια. Με τον έγκαιρο εντοπισμό αυτών των ζητημάτων, το προσωπικό συντήρησης μπορεί να ειδοποιηθεί και να αντιμετωπίσει άμεσα το πρόβλημα, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και μεγιστοποιώντας τη διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας.

**Προβλεπτική συντήρηση:** Το Enercon SCADA χρησιμοποιεί προηγμένες αναλύσεις και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη πιθανών βλαβών ή αναγκών συντήρησης. Αναλύοντας ιστορικά δεδομένα και μοτίβα, τα συστήματα SCADA μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το πότε συγκεκριμένα εξαρτήματα ή συστήματα ενδέχεται να χρειάζονται συντήρηση ή αντικατάσταση. Αυτό βοηθά στον προληπτικό προγραμματισμό της συντήρησης, μειώνοντας τον κίνδυνο απρογραμμάτιστων διακοπών λειτουργίας.

9/11/2023						
15:10:14	0 : 0	Turbine in operation	1	17:56:24		
15:10:10	0 : 8	Turbine in operation during maintenance	1	00:00:04		
14:49:15	8 : 0	Maintenance	6	00:20:55		
14:49:06	0 : 8	Turbine in operation during maintenance	1	00:00:09		
14:42:25	0 : 0	Turbine in operation	1	00:06:41		
14:41:08	0 : 8	Turbine in operation during maintenance	1	00:01:17		
14:36:56						
14:26:06	8 : 0	Maintenance	6	00:15:02		
14:25:50	90 : 112	Prot. circuit-breaker tripped : Generator filter system 2	6	00:00:16		
14:25:50	1 : 1	Turbine stopped : Control cabinet	1	00:00:00		
14:25:50	222 : 1	Turbine reset : Power failure	6	00:00:00		
14:25:19	90 : 112	Prot. circuit-breaker tripped : Generator filter system 2	6	00:00:31		
14:25:19	222 : 2	Turbine reset : Quit button	6	00:00:00		
14:24:12	90 : 112	Prot. circuit-breaker tripped : Generator filter system 2	6	00:01:07		
14:24:07	0 : 0	Turbine in operation	1	00:00:05		
14:23:42	0 : 8	Turbine in operation during maintenance	1	00:00:25		
14:16:04						
14:14:59	8 : 0	Maintenance	6	00:08:43		
14:14:55	0 : 8	Turbine in operation during maintenance	1	00:00:04		

**Εικόνα 21.** Enercon Scada remote 3 ιστορικό λειτουργίας ανά ώρα και ημερομηνία.

Αυτή η καρτέλα παρουσιάζει τη διάρκεια και τη συχνότητα των μηνυμάτων κατάστασης και πληροφοριών της επιλεγμένης εγκατάστασης (WEC, RTU, FCU κ.λπ.) για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο ως διάγραμμα και σε πίνακα μορφή.

**Απομακρυσμένος έλεγχος και βελτιστοποίηση:** Το SCADA της Enercon επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο των ανεμογεννητριών, επιτρέποντας στους χειριστές να κάνουν προσαρμογές σε παραμέτρους όπως η κλίση των πτερυγίων, η ευθυγράμμιση του ζυγού ή η παραγωγή ισχύος. Αυτή η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της απόδοσης της ανεμογεννήτριας με βάση τις μεταβαλλόμενες συνθήκες ανέμου, μεγιστοποιώντας την παραγωγή ενέργειας.

Τα συστήματα SCADA της Enercon έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ολοκληρωμένες λειτουργίες παρακολούθησης, ανάλυσης και ελέγχου για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των ανεμογεννητριών. Αξιοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και προηγμένους αλγόριθμους, το Enercon SCADA συμβάλλει στη διασφάλιση ότι οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν στο μέγιστο δυναμικό τους.

Status	Status text	Information	Information text	Power [kW]	Wind [m/s]	Rotation speed [1/min]	Reactive power [kvar]	Phi [°]	Energy prod. [kWh]	Operating hours
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		268	5.8	11.58	40	8.5	57,656,934	88,232,06:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		351	7.2	12.65	50	8.1	58,926,870	88,022,26:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		222	5.8	10.91	40	10.2	57,987,991	86,701,33:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		416	6.6	12.97	60	8.2	55,423,413	87,664,35:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		384	6.8	12.82	60	8.9	57,405,801	87,134,53:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		268	6.0	11.39	50	10.6	57,204,400	87,180,15:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		451	7.1	13.63	60	7.6	53,017,285	84,291,44:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		224	4.0	10.82	60	15.0	55,794,827	86,786,21:00
0 : 0	Turbine in operation	0 : 0		186	6.4	10.78	60	17.9	53,899,738	86,555,40:00

**Εικόνα 22.** Enercon scada remote 3 παραγόμενη ισχύς και απόδοση ανεμογεννήτριας



Η καμπύλη ισχύος στο Enercon SCADA αναφέρεται σε μια γραφική αναπαράσταση της σχέσης μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της ισχύος εξόδου μιας ανεμογεννήτριας. Απεικονίζει οπτικά πώς μεταβάλλεται η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμου. Η καμπύλη ισχύος προέρχεται συνήθως από δεδομένα που συλλέγονται από το σύστημα SCADA, το οποίο παρακολουθεί συνεχώς την ταχύτητα του ανέμου και την ισχύ εξόδου της ανεμογεννήτριας. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αναλύονται και απεικονίζονται σε ένα γράφημα, με την ταχύτητα του ανέμου στον οριζόντιο άξονα και την ισχύ εξόδου στον κατακόρυφο άξονα. Το σχήμα της καμπύλης ισχύος παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση της ανεμογεννήτριας. Βοηθά στον προσδιορισμό της ταχύτητας του ανέμου στην οποία η τουρμπίνα αρχίζει να παράγει ισχύ (ταχύτητα αποκοπής) και της ταχύτητας του ανέμου στην οποία φτάνει στη μέγιστη ισχύ εξόδου (ονομαστική ταχύτητα). Επιπλέον, δείχνει πώς μεταβάλλεται η ισχύς εξόδου καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται ή μειώνεται πέρα από την ονομαστική ταχύτητα.

## WEC performance & wind

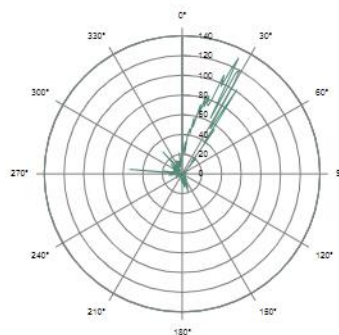
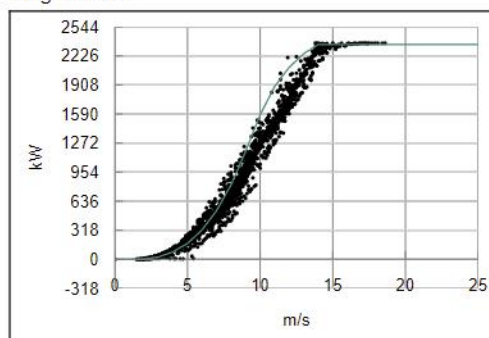
### Power curve:

Actual data compared to calculated power curve on standard air density

### Wind distribution:

Analysis of nacelle position based on 10-minute values

August 2023

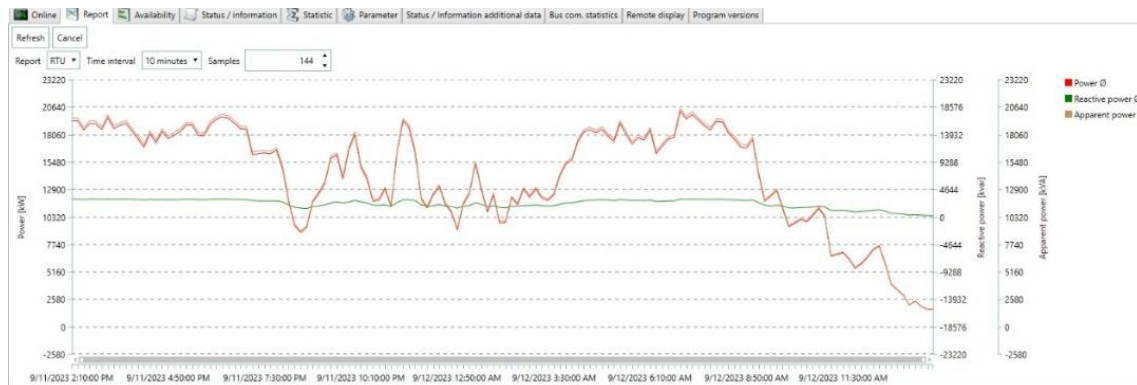


**Εικόνα 23.** Enercon scada remote 3 καμπύλης ισχύος.

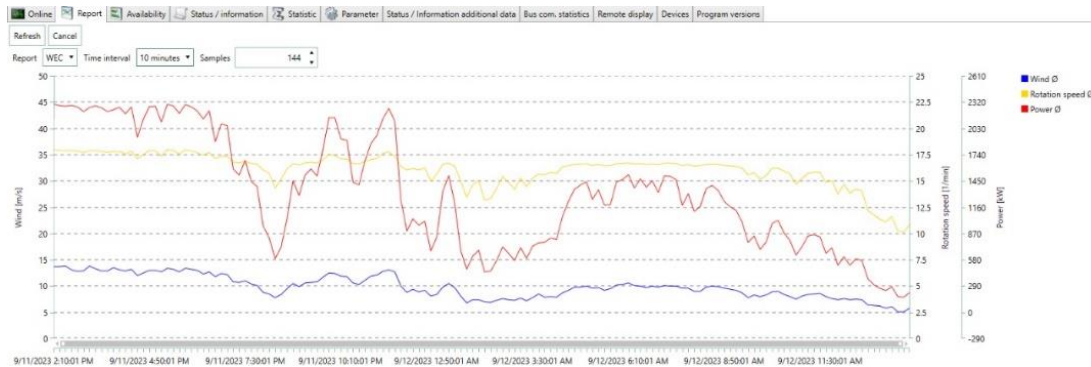
Η ανάλυση της καμπύλης ισχύος επιτρέπει στους χειριστές και το προσωπικό συντήρησης να αξιολογούν την απόδοση της ανεμογεννήτριας, να εντοπίζουν ανωμαλίες απόδοσης και να βελτιστοποιούν τη λειτουργία της. Επιτρέπει επίσης τη σύγκριση με την καθορισμένη από τον κατασκευαστή καμπύλη ισχύος, βοηθώντας να διασφαλιστεί ότι η τουρμπίνα λειτουργεί εντός των αναμενόμενων παραμέτρων.

Το Enercon SCADA παρέχει πρόσβαση στην καμπύλη ισχύος ως μέρος των δυνατοτήτων παρακολούθησης και ανάλυσης, βοηθώντας στη βελτιστοποίηση και την αξιολόγηση της απόδοσης των ανεμογεννητριών.

Η ταχύτητα του ανέμου παίζει καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας και την περιστροφή σε μια ανεμογεννήτρια. Όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα του ανέμου, τόσο περισσότερη ενέργεια μπορεί να παραχθεί από την ανεμογεννήτρια.



**Εικόνα 24.** Enercon scada remote 3 διάγραμμα ισχύος συνολικά στο πάρκο



**Εικόνα 25.** Διάγραμμα ανέμου, στροφές ανεμογεννήτριας και την παράγουςα ισχύ

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι υψηλότερες ταχύτητες ανέμου αναγκάζουν τα πτερύγια του ρότορα να περιστρέφονται με ταχύτερο ρυθμό, γεγονός που με τη σειρά του παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, οι εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες ανέμου μπορεί επίσης να είναι επιζήμιες για την ανεμογεννήτρια και μπορεί να την αναγκάσουν να κλείσει για λόγους ασφαλείας. Το θέμα είναι να βρεθεί η σωστή ισορροπία για τη βέλτιστη παραγωγή ενέργειας και την περιστροφή της ανεμογεννήτριας.

Status / information	
Status	0 : 0 Energy monitor in operation : Griddata-Aquisition in Operation
Information	0 : 0 Energy monitor in operation

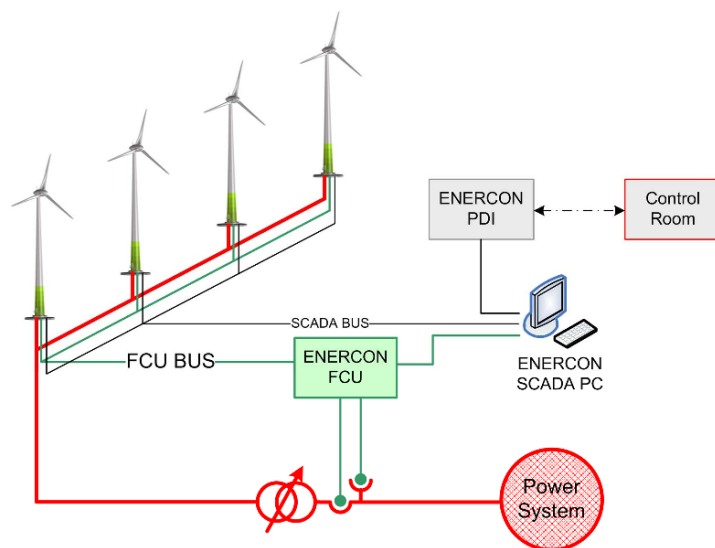
Supply		Phase conductors				Total	
Power	2,070 kW	Voltage U12	20,796 V	Power L1	689 kW	Energy prod.	496,327,240 kWh
Reactive power	519 kvar	Voltage U23	20,748 V	Power L2	695 kW	Energy cons.	335,400 kWh
App. power	2,134 kVA	Voltage U31	20,698 V	Power L3	686 kW	Reactive energy prod. ind.	52,436,780 kvarh
Cos Phi	0.9680	Current L1	59.3 A	Reactive power L1	172 kvar	Reactive energy prod. cap.	2,276,580 kvarh
Frequency	50.0 Hz	Current L2	59.7 A	Reactive power L2	172 kvar	Reactive energy cons. ind.	106,700 kvarh
		Current L3	59.3 A	Reactive power L3	174 kvar	Reactive energy cons. cap.	1,059,840 kvarh

**Εικόνα 26.** Δεδομένα δικτύου τάσεων ανά φάση και συνολική ενέργεια παραγωγής

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να σχεδιαστούν είτε με σύγχρονες είτε με ασύγχρονες γεννήτριες και με διάφορες μορφές άμεσης ή έμμεσης σύνδεσης της γεννήτριας με το δίκτυο. Άμεση σύνδεση με το δίκτυο σημαίνει ότι η γεννήτρια συνδέεται απευθείας με το (συνήθως τριφασικό) δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος. Στις μεγάλες ανεμογεννήτριες (άνω των 100-150 kW) η τάση (ένταση) που παράγεται από την ανεμογεννήτρια είναι συνήθως 690 V τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Οι ανεμογεννήτριες διασυνδέονται μέσω ενός ηλεκτρικού δικτύου μέσης τάσης (MT), της τάξης των 10 έως 35 kV. Στις περισσότερες περιπτώσεις το δίκτυο αυτό αποτελείται από υπόγεια καλώδια.

Οι τάσεις των γεννητριών των στροβίλων χαρακτηρίζονται συνήθως ως "χαμηλές", δηλαδή μικρότερες από 1.000 V, και συχνά είναι 690 V. Μια μεγαλύτερη τάση γεννήτριας, περίπου 3 kV, χρησιμοποιείται από ορισμένες μεγαλύτερες τουρμπίνες, αλλά δεν είναι αρκετά υψηλή για άμεσες, οικονομικά αποδοτικές συνδέσεις με άλλες τουρμπίνες. Ως αποτέλεσμα, κάθε στρόβιλος χρειάζεται έναν μετασχηματιστή που μπορεί να ανεβάσει την τάση σε μέση τάση (MT), μαζί με κάθε απαραίτητο διακόπτη MT. Είναι δυνατόν να βρεθεί αυτός ο εξοπλισμός έξω από τη βάση κάθε στροβίλου. Σε ορισμένα έθνη αναφέρονται ως "μετασχηματιστές padmount". Ενδέχεται να απαιτείται ο εγκιβωτισμός του εξοπλισμού σε περίβλημα από σκυρόδεμα ή GRP, ανάλογα με την τοπική νομοθεσία περί ηλεκτρικής ενέργειας και τις αδειοδοτούσες αρχές. Αυτά μπορούν να παραδοθούν ως προκατασκευασμένες μονάδες με μετασχηματιστές και διακοπτικό εξοπλισμό ήδη εγκατεστημένους ή μπορούν να τοποθετηθούν πάνω από τους μετασχηματιστές.

Ο ελεγκτής (RTU-C) στέλνει τιμές διαμόρφωσης στην Α/Γ χρησιμοποιώντας το σύστημα διαύλου δεδομένων Α/Π. Η μονάδα ελέγχου αιολικού πάρκου ENERCON (FCU) αναπτύχθηκε για υψηλές απαιτήσεις απόδοσης ελέγχου, όπως ο υψηλός χρόνος ανόδου απόκρισης αέργου ισχύος για τους ΥΗΣ. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται ένα πρόσθετο ειδικό σύστημα διαύλου οπτικών ινών ελεγχόμενο από το πάρκο. Και οι δύο ελεγκτές παρέχουν τρόπους ελέγχου της αέργου ισχύος, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, του ελέγχου πτώσης τάσης, του ελέγχου της αέργου ισχύος και του ελέγχου του πραγματικού λόγου.

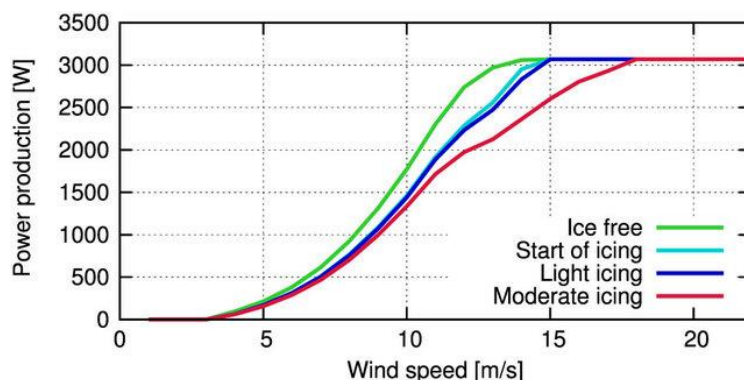


Εικόνα 27. Επικοινωνίες αιολικού πάρκου Enercon Scada system.

Οι χειριστές των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να στέλνουν σημεία ρύθμισης στο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, προκειμένου να προσαρμόζουν τη λειτουργία του στις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου ηλεκτροδότησης. Ανάλογα με τον τύπο ελέγχου, μπορούν να αποστέλλονται διαφορετικά σημεία ρύθμισης στον WPP (για παράδειγμα, στον έλεγχο πτώσης τάσης, μπορεί να αλλάξει η τάση αναφοράς του χαρακτηριστικού ελέγχου). Διατίθενται διάφορες διεπαφές και πρωτόκολλα επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των ψηφιακών και αναλογικών εισόδων/εξόδων, IEC 60870-5-104, Modbus, DNP3 και OPC XML DA.

### Ice detection.

Ο μηχανισμός ανίχνευσης πάγου που περιλαμβάνεται στάνταρ σε κάθε μετατροπέα αιολικής ενέργειας ENERCON βασίζεται σε μια ειδικά σχεδιασμένη τεχνική ανάλυσης καμπύλης ισχύος. Το σύστημα ανίχνευσης πάγου λειτουργεί συγκρίνοντας τις καταγεγραμμένες μακροχρόνιες μέσες τιμές με τα τρέχοντα δεδομένα λειτουργίας, όπως ο άνεμος, η ισχύς και η γωνία πτερυγίου. Τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά της μηχανής μεταβάλλονται από τη συσσώρευση πάγου. Η διαδικασία απο-παγοποίησης ξεκινά όταν η WEC σταματήσει.



Εικόνα 28. Καμπύλη ισχύος με τη παρουσία πάγου

Ανεξάρτητοι οργανισμοί όπως η Meteotest έχουν πιστοποιήσει τον υψηλό βαθμό αξιοπιστίας που έχει κάνει την τεχνολογία ανίχνευσης πάγου της ENERCON δημοφιλή στους πελάτες. Εκτός από την προσέγγιση της καμπύλης ισχύος, η ENERCON προσφέρει αισθητήρες Labkotec στην άτρακτο σε σημεία που είναι πιο επιρρεπή στη συσσώρευση πάγου. Ο χρόνος απόψυξης μειώνεται με την προαιρετική συσκευή αποπάγωσης πτερυγίων ρότορα ENERCON. Χρησιμοποιώντας ανακυκλοφορία αέρα, ένας θερμαντήρας ανεμιστήρα ενσωματωμένος στη ρίζα του πτερυγίου ενεργοποιείται και αρχίζει να θερμαίνει τον αέρα στο εσωτερικό του πτερυγίου του ρότορα. Η συσσώρευση πάγου διαλύεται καθώς η θερμοκρασία της επιφάνειας του πτερυγίου αυξάνεται σε θερμοκρασία άνω των 0°C.

Η διαδικασία αποπάγωσης ξεκινά όταν σταματήσει η WEC. Σε περίπτωση που το σύστημα αποπαγοποίησης των πτερυγίων του δρομέα λειτουργεί σε κατάσταση ακινητοποίησης της WEC, η WEC είτε θα επανεκκινηθεί αυτόματα μετά την απόψυξη είτε θα απαιτηθεί χειροκίνητη ενεργοποίηση μετά από οπτική εξέταση των πτερυγίων του δρομέα. Ακόμη και όταν το WEC λειτουργεί, οι τοποθεσίες με μικρή πιθανότητα παγοποίησης μπορούν προαιρετικά να χρησιμοποιούν την τεχνολογία αποπαγοποίησης πτερυγίων ρότορα.

Η έγκαιρη απόψυξη των λεπτών στρωμάτων πάγου μεγιστοποιεί την ενεργειακή απόδοση και ελαχιστοποιεί τον χρόνο διακοπής λειτουργίας. Για την ανίχνευση του πάγου στις τουρμπίνες ENERCON, οι αποκλίσεις από τις χαρακτηριστικές καμπύλες παρακολουθούνται για θερμοκρασίες κάτω των 2°C. Οι αποκλίσεις από την καμπύλη ισχύος σε σύγκριση με την τρέχουσα ταχύτητα ανέμου ανιχνεύονται και καταγράφονται ως πάγος στα πτερύγια του δρομέα.

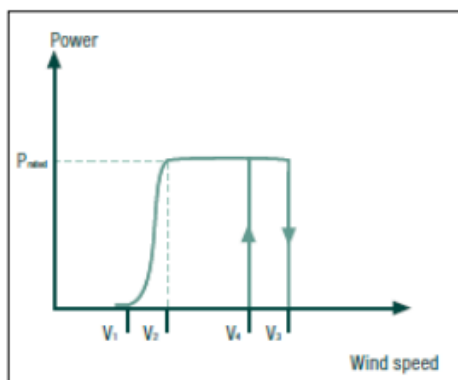
### **Storm Control.**

Σε περίπτωση σοβαρών καταιγίδων ή ισχυρών ανέμων, οι ανεμογεννήτριες Enercon έχουν τη δυνατότητα να εκκινήσουν μια διαδικασία επείγουσας διακοπής λειτουργίας για να σταματήσει η ανεμογεννήτρια με ασφάλεια. Αυτό συμβάλλει στην αποφυγή ζημιών στην τουρμπίνα και διασφαλίζει την ασφάλεια του προσωπικού και των περιουσιών που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Οι τουρμπίνες Enercon χρησιμοποιούν συνήθως συστήματα ελέγχου κλίσης, τα οποία ρυθμίζουν τη γωνία ή την κλίση των πτερυγίων της τουρμπίνας για να ρυθμίζουν την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος. Κατά τη διάρκεια καταιγίδων, το σύστημα ελέγχου κλίσης μπορεί να προσαρμόσει τις γωνίες των πτερυγίων για να μειώσει την παραγωγή ισχύος του στροβίλου και να ελαχιστοποιήσει την καταπόνηση των εξαρτημάτων του στροβίλου. Τα συστήματα ελέγχου εκτροπής στις ανεμογεννήτριες Enercon διασφαλίζουν ότι η ανεμογεννήτρια είναι σωστά προσανατολισμένη προς τον άνεμο για να μεγιστοποιήσει τη δέσμευση ενέργειας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια καταιγίδων, το σύστημα ελέγχου εκτροπής μπορεί να προσαρμόσει τον προσανατολισμό της ανεμογεννήτριας για να μειώσει τα φορτία του ανέμου και να διατηρήσει τη σταθερότητα. Σε περίπτωση σοβαρών καταιγίδων ή ισχυρών ανέμων, οι ανεμογεννήτριες Enercon έχουν τη δυνατότητα να εκκινήσουν μια διαδικασία επείγουσας διακοπής λειτουργίας για την ασφαλή διακοπή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Αυτό συμβάλλει στην αποφυγή ζημιών στην τουρμπίνα και διασφαλίζει την ασφάλεια του προσωπικού και των περιουσιών που βρίσκονται κοντά.

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Έχουν εγκαταστήσει εξειδικευμένο λογισμικό ελέγχου καταιγίδων, το οποίο προστατεύει από αχρείαστες, απροσδόκητες διακοπές λειτουργίας. Το σχήμα της καμπύλης ισχύος που απεικονίζει τον τρόπο λειτουργίας της διαχείρισης καταιγίδας καθιστά απολύτως προφανές ότι η ανεμογεννήτρια απλώς μειώνει την παραγωγή ισχύος με την επιβράδυνση της ταχύτητας περιστροφής και όχι με την άμεση διακοπή λειτουργίας όταν ξεπεραστεί μια συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου  $V_{storm}$ .

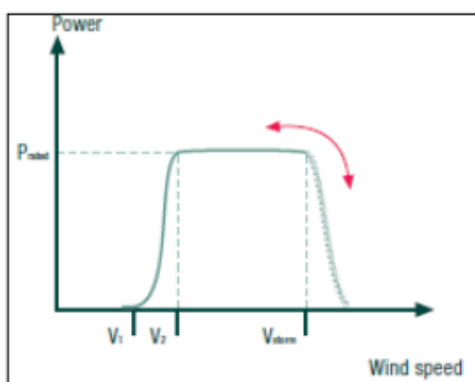
Η απεικόνιση δείχνει ότι η ανεμογεννήτρια συνήθως σταματά σε ένα καθορισμένη ταχύτητα διακοπής  $V3$ . Ο λόγος είναι ότι μια καθορισμένη μέγιστη ταχύτητα ανέμου έχει ξεπεραστεί. Σε ανεμογεννήτριες χωρίς έλεγχο καταιγίδας, αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, στη θέση ταχύτητα ανέμου 25 m / s εντός ενός μέσου όρου 20s. Η ανεμογεννήτρια τίθεται ξανά σε λειτουργία μόνο όταν η μέση τιμή του ανέμου ταχύτητα πέφτει κάτω από την ταχύτητα ανέμου διακοπής ή μια ακόμη χαμηλότερη ταχύτητα επανεκκίνησης, ταχύτητα επανεκκίνησης ( $V4$  στην εικόνα). Σε συνθήκες θυελλώδους ανέμου ενδέχεται να έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν σημαντικές απώλειες απόδοσης.

Η ανεμογεννήτρια τίθεται ξανά σε λειτουργία μόνο όταν η μέση τιμή του ανέμου ταχύτητα πέφτει κάτω από την ταχύτητα ανέμου διακοπής ή μια ακόμη χαμηλότερη ταχύτητα επανεκκίνησης, ταχύτητα επανεκκίνησης ( $V_4$  στην εικόνα). Σε συνθήκες θυελλώδους ανέμου ενδέχεται να έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν σημαντικές απώλειες απόδοσης.



**Εικόνα 29.** Α/Γ χωρίς Storm Control

Σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν με διαφορετική αρχή. Είναι εξοπλισμένες με ειδικό λογισμικό ελέγχου της καταιγίδας το οποίο αποτρέπει τις περιττές απότομες διακοπές λειτουργίας. Το διάγραμμα καμπύλης ισχύος που δείχνει τη λειτουργία με την καταιγίδα ελέγχου αποδεικνύει σαφώς ότι η ανεμογεννήτρια δεν κλείνει αυτόματα όταν υπερβαίνεται μια ορισμένη ταχύτητα ανέμου  $V_{storm}$ , αλλά απλώς μειώνει την παραγωγή ισχύος επιβραδύνοντας την περιστροφική ταχύτητα ταχύτητα περιστροφής. Αυτό επιτυγχάνεται με ελαφρά κλίση των πτερυγίων του δρομέα έξω από τον άνεμο. Μόλις η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί, τα πτερύγια στρέφονται ξανά προς τον άνεμο και η ανεμογεννήτρια επανέρχεται αμέσως σε λειτουργία με πλήρη ισχύ. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι διαδικασίες διακοπής και εκκίνησης που μειώνουν τις αποδόσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό ελέγχου καταιγίδας προσφέρει επίσης στο δίκτυο σημαντική ασφάλεια και οφέλη. Σε εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες ανέμου δεν υπάρχει κίνδυνος σημαντικών διαταραχών που προκαλούνται από μεγαλύτερες διακοπές τροφοδότησης, οι οποίες θα μπορούσαν να είχαν το ίδιο αποτέλεσμα με την ταυτόχρονη διακοπή λειτουργίας πολλών συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.



**Εικόνα 30.** Καμπύλη ισχύος με Storm Control

Το SCADA της ENERCON είναι μια δοκιμασμένη και δοκιμασμένη τεχνολογία για τον απομακρυσμένο έλεγχο και την παρακολούθηση αιολικών πάρκων εδώ και πολλά χρόνια. Είναι επίσης ένα κρίσιμο συστατικό στοιχείο του προγράμματος για τη συντήρηση και τις υπηρεσίες. Προκειμένου να συνδέσει τα αιολικά πάρκα με το δίκτυο και να συμμορφωθεί με τα αυστηρά πρότυπα σύνδεσης με το δίκτυο, παρέχει μια σειρά από προαιρετικές λειτουργίες και διεπαφές επικοινωνίας.

### **Διεπαφή δεδομένων διεργασίας ή PDI**

Χρησιμοποιεί ως διεπαφή για την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συστημάτων. Κατά συνέπεια, ανάλογα με τις ανάγκες, το σύστημα SCADA της ENERCON μπορεί να αλληλεπιδράσει μέσω αναλογικών ή ψηφιακών διεπαφών. Είναι δυνατόν να καθοριστούν συγκεκριμένες τιμές-στόχοι αιολικού πάρκου και να αποσταλούν ενημερώσεις κατάστασης ή δεδομένα μετρήσεων αιολικού πάρκου στον διαχειριστή δικτύου. Οι πύργοι μέτρησης ανέμου των αιολικών πάρκων μπορούν προαιρετικά να συνδεθούν με το σύστημα μεταφοράς δεδομένων.

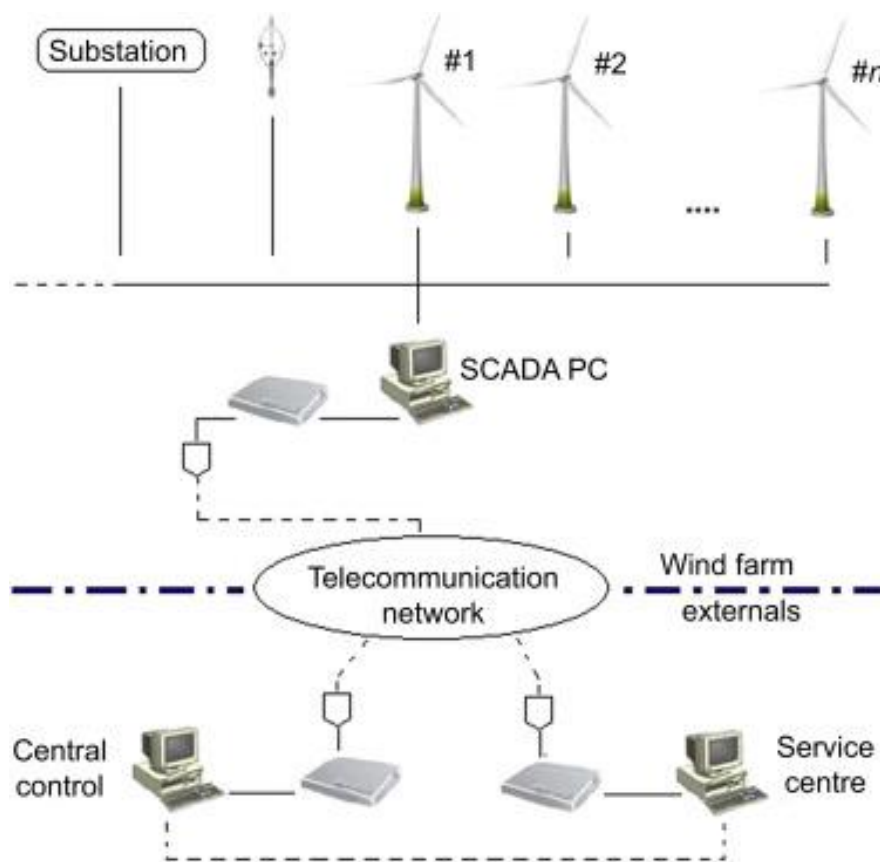
### **Μονάδα ελέγχου αιολικού πάρκου (FCU)**

Τα αιολικά πάρκα είναι σε θέση να εκτελέσουν μια μεγάλη ποσότητα πολύπλοκων και δυναμικές διαδικασίες ελέγχου κλειστού και ανοικτού βρόχου για ηλεκτρικά βασικές τιμές στο σημείο διασύνδεσης με το δίκτυο. Οι έλεγχοι αυτοί καθίστανται απαραίτητοι λόγω του ισχύοντος δικτύου κώδικες δικτύου στο σημείο κοινής ζεύξης και λόγω των οικονομικής βελτιστοποίησης ενός έργου αιολικού πάρκου. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων για τις εν λόγω διαδικασίες ελέγχου, το Farm Control Unit (FCU) είναι ένα προαιρετικό χαρακτηριστικό του ENERCON SCADA συστήματος ENERCON ENERGA. Συνδυάζει τους ελέγχους ενεργού ισχύος και άεργου ισχύος σε ένα αιολικό πάρκο και επιτρέπει τον έλεγχο της τάσης του δικτύου σε κλειστό βρόχο. Με την FCU η συμβολή των αιολικών πάρκων στη σταθερότητα της τάσης σε ένα σημείο αναφοράς μπορεί να διαχειριστεί από μια κεντρική θέση. Οι διαχειριστές του δικτύου μπορούν είτε να ελέγχουν την τάση σύμφωνα με μια καθορισμένη τιμή είτε επίσης μέσω πρόσθετων διεπαφών.

### **Αιολικά πάρκα με υποσταθμούς**

Όλο και περισσότερα αιολικά πάρκα τροφοδοτούν το δίκτυο μέσω υποσταθμών που κατασκευάζονται ειδικά για το σκοπό αυτό. Απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος αυτών των υποσταθμών απαιτείται συχνά προκειμένου να λαμβάνεται συνεχής πληροφορία από τις μονάδες διανομής και, ανάλογα με την περίπτωση, να πραγματοποιούνται λειτουργίες μεταγωγής. Το σύστημα SCADA της ENERCON διαθέτει ειδικές προαιρετικές μονάδες που παρέχουν εξ αποστάσεως παρακολούθηση και έλεγχο των μονάδων διακοπών και υποσταθμών για τον φορέα εκμετάλλευσης αιολικού πάρκου. Μετάδοση δεδομένων και λειτουργίες πραγματοποιούνται με τη χρήση του δοκιμασμένου και δοκιμασμένου συστήματος ENERCON SCADA.

Κύρια μονάδα ελέγχου (MCU) για σταθμούς αιολικής ενέργειας. Είναι όλο και πιο συνηθισμένο να συναντάμε πολλά αιολικά πάρκα συνδεδεμένα σε ένα κοινό κεντρικό σημείο σύνδεσης για να σχηματίσουν μεγαλύτερα αιολικά πάρκα και σταθμούς αιολικής ενέργειας. Δεδομένου ότι η εγκατεστημένη ισχύς είναι υψηλή, οι μονάδες αυτές τροφοδοτούν συνήθως ισχύ σε δίκτυα μεταφοράς υψηλής απόδοσης. Η MCU υποθέτει κεντρική έλεγχο ανοικτού και κλειστού βρόχου ενός σταθμού αιολικής ενέργειας. Λαμβάνει τυπικές εργασίες επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων στον έλεγχο του δικτύου συστήματα και κέντρα κατανομής φορτίου που εκπληρώνουν πολύπλοκα τεχνικά δίκτυα κανονισμούς σύνδεσης για τους σταθμούς αιολικής ενέργειας.



**Εικόνα 31.** Δίκτυο τηλεπικοινωνιών αιολικού πάρκου

### Σύστημα ελέγχου:

MPU (κύρια μονάδα επεξεργασίας), το κεντρικό στοιχείο του ελέγχου καταγράφει συνεχώς πληροφορίες από τα περιφερειακά όργανα ελέγχου στοιχεία, όπως τα συστήματα ελέγχου ζυγοστάθμισης και ενεργού κλίσης.

Η λειτουργία της είναι να ρυθμίζει τις επιμέρους παραμέτρους του συστήματος για να διασφαλίζει ότι όλες οι ανεμογεννήτριες επιτυγχάνουν τη μέγιστη απόδοση υπό οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες.



## Παρέχει στο αιολικό πάρκο: Σύστημα ελέγχου ENERCON

- Διαρκής αξιολόγηση των δεδομένων μέτρησης από τον αισθητήρα ανέμου για να την προσαρμογή του ελέγχου κλίσης της ατράκτου.
- Μεταβλητή ταχύτητα για μέγιστη απόδοση της ανεμογεννήτριας σε όλους τους ανέμους ταχύτητες, και εξάλειψη των ανεπιθύμητων αιχμών παραγωγής και των υψηλών φορτίο λειτουργίας
- Ενεργό σύστημα ελέγχου κλίσης για την επίτευξη ιδανικής γωνίας ροής των πτερυγίων του δρομέα εξασφαλίζει μέγιστη απόδοση και μείωση της καταπόνησης σε ολόκληρη την ανεμογεννήτρια.
- Σύστημα πέδησης για μέγιστη αξιοπιστία της ανεμογεννήτριας μέσω τριών μηχανισμούς βήματος που λειτουργούν ανεξάρτητα με εφεδρική ισχύ (μπαταρίες) σε περίπτωση διακοπής του δικτύου.
- Παρακολούθηση του πύργου και της γεννήτριας μέσω δονήσεων και αισθητήρων επιτάχυνσης για τον έλεγχο της ταλάντωσης του πύργου.
- Αισθητήρες θερμοκρασίας και διάκενου αέρα μεταξύ ρότορα και στάτη εξασφαλίζουν την αξιόπιστη λειτουργία της δακτυλιοειδούς γεννήτριας.



Εικόνα 32. Enercon remote 3

## 6.2 Πλεονεκτήματα του SCADA για τη διαχείριση και τη λειτουργία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα συστήματα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων, ή SCADA, προσφέρουν μια σειρά από πλεονεκτήματα για τη διαχείριση και τη λειτουργία έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα οφέλη αυτά περιλαμβάνουν τα εξής:

Τα συστήματα SCADA επιτρέπουν στους χειριστές των εγκαταστάσεων να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις που βελτιώνουν τη συνολική απόδοση και αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων, παρέχοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την απόδοση των περιουσιακών στοιχείων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν πιθανά προβλήματα πριν αυτά γίνουν σοβαρά χάρη στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.

**Ενισχυμένη αποδοτικότητα:** Τα συστήματα SCADA μπορούν να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή ενέργειας και να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες ενέργειας βελτιστοποιώντας τη λειτουργία των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και η υψηλότερη αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων είναι τα αποτελέσματα αυτού.

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση και ο έλεγχος των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθίσταται δυνατή χάρη στα συστήματα SCADA, τα οποία παρέχουν στους χειριστές παγκόσμια πρόσβαση για την παρατήρηση και τη διαχείριση των δραστηριοτήτων των εγκαταστάσεων. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για απομακρυσμένα ηλιακά έργα και υπεράκτια αιολικά πάρκα, όπου μπορεί να μην είναι δυνατόν να υπάρχει πάντα κάποιος διαθέσιμος. Προκειμένου να αποφευχθούν ζημιές ή διακοπές λειτουργίας, τα συστήματα SCADA επιτρέπουν στους χειριστές να εντοπίζουν σε πραγματικό χρόνο τυχόν προβλήματα ή βλάβες στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα. Οι φορείς εκμετάλλευσης είναι σε θέση να προβλέψουν πότε είναι απαραίτητη η συντήρηση, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που μπορούν να προσφέρουν τα συστήματα SCADA σχετικά με τη λειτουργία των περιουσιακών στοιχείων ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτό μειώνει τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και τα έξοδα συντήρησης.

**Αναφορά και ανάλυση δεδομένων:** Τα συστήματα SCADA είναι σε θέση να συγκεντρώνουν και να εξετάζουν δεδομένα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δίνοντας στους χειριστές μια καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της εγκατάστασης. Με τη χρήση αυτών των δεδομένων μπορούν να δημιουργηθούν αναφορές και να βρεθούν πιθανές περιοχές για βελτίωση. Όταν πρόκειται για τη διαχείριση και τη λειτουργία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα συστήματα SCADA είναι αρκετά ευεργετικά. Επειδή τα συστήματα SCADA προσφέρουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου και έγκαιρη ανίχνευση ελαττωμάτων και βλαβών, βελτιώνουν την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και την ασφάλεια των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, συμβάλλουν στη μείωση του κόστους λειτουργίας και στη συνολική βελτίωση της απόδοσης των εγκαταστάσεων, αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

**Συστήματα SCADA (εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων):** SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) χρησιμοποιούνται στην παραγωγή αιολικής ενέργειας με διάφορους τρόπους. Τα συστήματα SCADA παρέχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου των ανεμογεννητριών, επιτρέποντας στους χειριστές των εγκαταστάσεων να ενισχύσουν την παραγωγή ενέργειας, να ελαχιστοποιήσουν τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και να βελτιώσουν την απόδοση. Μεταξύ των ιδιαίτερων χρήσεων SCADA στην παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι:

Μαζί με τις πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα, την παραγωγή ισχύος και τη μηχανική κατάσταση της τουρμπίνας, τα συστήματα SCADA μπορούν επίσης να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την κατεύθυνση, την ταχύτητα και τη θερμοκρασία του ανέμου. Με τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ανεμογεννητριών, εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή παραγωγή ενέργειας, ενώ ο χρόνος διακοπής λειτουργίας και τα έξοδα συντήρησης περιορίζονται στο ελάχιστο.

Συλλέγοντας πληροφορίες σχετικά με τις δονήσεις, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες λαδιού μέσω της χρήσης αισθητήρων, τα συστήματα SCADA είναι σε θέση να παρακολουθούν την κατάσταση των εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας, συμπεριλαμβανομένων των κιβωτίων ταχυτήτων, των ρουλεμάν και των πτερυγίων. Προβλέποντας πότε απαιτείται συντήρηση, τα δεδομένα αυτά μπορούν να εξοικονομήσουν χρόνο διακοπής λειτουργίας και να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών.

Με τη συνεκτίμηση μεταβλητών όπως η κατεύθυνση, η ταχύτητα και οι αναταράξεις του ανέμου, τα συστήματα SCADA μπορούν να μεγιστοποιήσουν την ποσότητα ισχύος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες. Αυτό μειώνει το λειτουργικό κόστος, ενώ αυξάνει την παραγωγή ενέργειας.

Ενσωμάτωση στο δίκτυο: Τα συστήματα SCADA μπορούν να παρακολουθούν τον τρόπο σύνδεσης των αιολικών πάρκων με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να διασφαλίζουν ότι λειτουργούν εντός των προκαθορισμένων περιοχών τάσης και συχνότητας. Αυτό συμβάλλει στη δημιουργία μιας αξιόπιστης και συνεχούς πηγής ενέργειας.

Οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να χρησιμοποιούν τα συστήματα SCADA για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και τον έλεγχο των ανεμογεννητριών από οπουδήποτε στον κόσμο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα υπεράκτια ή απομακρυσμένα αιολικά πάρκα, όπου μπορεί να μην είναι πάντα εφικτό να υπάρχει κάποιος διαθέσιμος.

Γενικά, τα συστήματα SCADA είναι ζωτικής σημασίας για την αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας. Προσφέροντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, παρακολούθηση της κατάστασης, βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, ενσωμάτωση στο δίκτυο και δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου, τα συστήματα SCADA συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγής ενέργειας, στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και στη βελτίωση της απόδοσης των ανεμογεννητριών.

## 7. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η εφαρμογή συστημάτων εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) επηρεάζει σημαντικά τόσο το κόστος όσο και τη βελτιστοποίηση των ανεμογεννητριών. Ακολουθεί ο τρόπος με τον οποίο:

### **Επίδραση στο κόστος:**

**Αρχική επένδυση:** Η ενσωμάτωση συστημάτων SCADA σε ανεμογεννήτριες συνεπάγεται μια αρχική επένδυση σε υλικό, λογισμικό και εγκατάσταση. Αυτό το αρχικό κόστος μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την πολυπλοκότητα και την κλίμακα του συστήματος SCADA.

**Δαπάνες συντήρησης:** Ενώ τα συστήματα SCADA διευκολύνουν την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και διάγνωση, απαιτούν περιοδική συντήρηση και ενημερώσεις για να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία. Αυτές οι δαπάνες συντήρησης, συμπεριλαμβανομένων των αναβαθμίσεων λογισμικού και της αντιμετώπισης προβλημάτων του συστήματος, συμβάλλουν στο συνολικό κόστος λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

**Εκπαίδευση και υποστήριξη:** Οι χειριστές και το προσωπικό συντήρησης απαιτούν εκπαίδευση για την αποτελεσματική χρήση των συστημάτων SCADA. Τα προγράμματα κατάρτισης και η συνεχής τεχνική υποστήριξη συνεπάγονται πρόσθετες δαπάνες για τους χειριστές ανεμογεννητριών.

**ROI μέσω της βελτιστοποίησης:** Παρά την αρχική επένδυση, τα συστήματα SCADA προσφέρουν απόδοση της επένδυσης (ROI), επιτρέποντας τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου των ανεμογεννητριών μειώνει τον χρόνο διακοπής λειτουργίας, βελτιώνει την παραγωγικότητα και τελικά αυξάνει την παραγωγή ενέργειας και την παραγωγή εσόδων, αντισταθμίζοντας το αρχικό κόστος.

### **Επιπτώσεις βελτιστοποίησης:**

**Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:** SCADA παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την απόδοση των ανεμογεννητριών, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ισχύος, των συνθηκών ανέμου και της υγείας του εξοπλισμού. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν στους χειριστές να παρακολουθούν στενά την απόδοση της ανεμογεννήτριας και να εντοπίζουν άμεσα τις ανεπάρκειες ή τα προβλήματα.

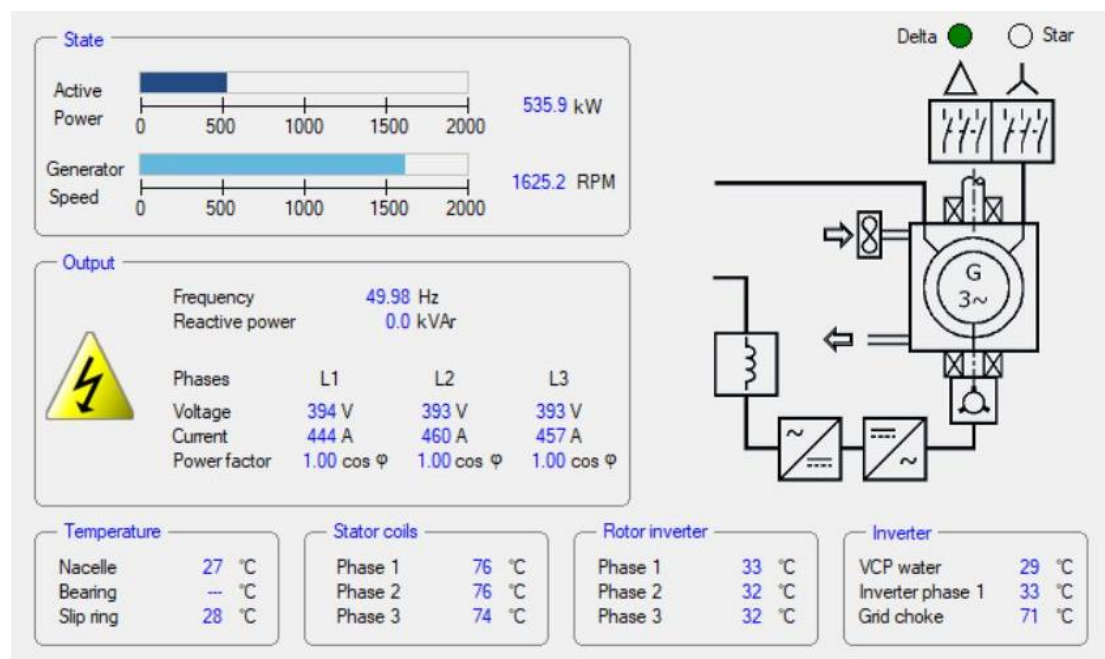
**Απομακρυσμένος έλεγχος και διάγνωση:** Τα συστήματα SCADA επιτρέπουν στους χειριστές να ελέγχουν και να ρυθμίζουν τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας από απόσταση, βελτιστοποιώντας την απόδοση με βάση τις συνθήκες σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα διευκολύνει την προληπτική συντήρηση και την αντιμετώπιση προβλημάτων, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και μεγιστοποιώντας τον χρόνο λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

**Ανάλυση επιδόσεων:** Τα συστήματα SCADA αποθηκεύουν ιστορικά δεδομένα σχετικά με τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας, επιτρέποντας στους χειριστές να αναλύουν τις τάσεις απόδοσης και να εντοπίζουν περιοχές για βελτιστοποίηση. Με την ανάλυση αυτών των δεδομένων, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να εφαρμόσουν στοχευμένες στρατηγικές συντήρησης, να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργικές παραμέτρους και να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση της ανεμογεννήτριας.

**Προβλεπτική συντήρηση:** Παρακολουθώντας τους δείκτες υγείας του εξοπλισμού και εντοπίζοντας πιθανά σημεία αστοχίας πριν αυτά κλιμακωθούν σε δαπανηρά ζητήματα. Αυτή η προληπτική προσέγγιση μειώνει το κόστος συντήρησης, παρατείνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και ενισχύει τη συνολική αξιοπιστία.

**Βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας:** Μέσω της παρακολούθησης και του ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, τα συστήματα SCADA βελτιστοποιούν τη λειτουργία των ανεμογεννητριών για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη φθορά του εξοπλισμού. Ρυθμίζοντας παραμέτρους όπως η κλίση των πτερυγίων, η γωνία ζυγοστάθμισης και η ταχύτητα της ανεμογεννήτριας με βάση τις επικρατούσες συνθήκες ανέμου, τα συστήματα SCADA διασφαλίζουν την αποτελεσματική δέσμευση και μετατροπή ενέργειας.

Συνοπτικά, τα συστήματα SCADA διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στη διαχείριση του κόστους όσο και στη βελτιστοποίηση των ανεμογεννητριών. Αν και συνεπάγονται αρχικές επενδύσεις και τρέχουσες δαπάνες συντήρησης, τα οφέλη της βελτιωμένης λειτουργικής απόδοσης, του μειωμένου χρόνου διακοπής λειτουργίας και της ενισχυμένης παραγωγής ενέργειας δικαιολογούν την υιοθέτηση της τεχνολογίας SCADA στον τομέα της αιολικής ενέργειας, οδηγώντας τελικά σε μεγαλύτερη κερδοφορία και βιωσιμότητα.



**Εικόνα 33.** Vestas online business Scada

## Βιβλιογραφία

"The Uninhabitable Earth: Life After Warming" by David Wallace-Wells (2019) - This book explores the potential consequences of unchecked climate change and the urgency of taking action.

"All We Can Save: Truth, Courage, and Solutions for the Climate Crisis" edited by Ayana Elizabeth Johnson and Katharine K. Wilkinson (2020) - A collection of essays and poetry from women climate leaders offering insights and solutions to address the climate crisis.

"How to Avoid a Climate Disaster: The Solutions We Have and the Breakthroughs We Need" by Bill Gates (2021) - Bill Gates offers his perspective on climate change solutions, including technological innovations and policy changes needed to mitigate its impacts.

"The New Climate War: The Fight to Take Back Our Planet" by Michael E. Mann (2021) - Climate scientist Michael E. Mann discusses the strategies used by climate change deniers and offers strategies for effective climate action.

"Renewable Energy and Climate Change" edited by Volker Quaschnig and Gerd Heilscher (2021) - This edited volume examines the role of renewable energy in mitigating climate change, featuring contributions from leading experts in the field.

"Wind Energy Explained: Theory, Design and Application" by James F. Manwell, Jon G. McGowan, and Anthony L. Rogers (2nd Edition, 2009) - This book offers a comprehensive overview of wind energy technology, covering theoretical principles, turbine design, site assessment, and grid integration.

"Wind Turbine Control and Monitoring" edited by Mingshen Qi and Manwell James (2014) - This edited volume explores the latest advancements in wind turbine control and monitoring systems, including sensor technologies, control algorithms, and condition monitoring techniques.

"Wind Power: Turbine Design, Selection, and Optimization" edited by David J. Wood (2010) - This book provides insights into the design, selection, and optimization of wind turbines, covering topics such as aerodynamics, structural analysis, and performance modeling.

"Wind Turbine Technology and Design" edited by Mark Darling (2012) - This edited volume provides insights into various aspects of wind turbine technology and design, including blade aerodynamics, rotor dynamics, and turbine control systems.

"Wind Energy: An Introduction" by M. Jamil Asghar (2017) - This introductory textbook covers the basics of wind energy technology, including wind resource assessment, turbine types, and grid integration.

"Power Generation, Operation, and Control" by Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg (2013) - These textbook covers power system operation and control, including SCADA systems' role in monitoring and controlling power generation, which includes wind turbines.

"Introduction to Wind Energy Systems: Basics, Technology and Operation" by Hermann-Josef Wagner and Jyotirmay Mathur (2017) - While it may not focus specifically on SCADA systems, this book provides an overview of wind energy systems, which includes discussions on monitoring and control systems used in wind turbines.

"Wind Power: Turbine Design, Selection, and Optimization" edited by David J. Wood (2010) - While not solely focused on SCADA systems, this book covers various aspects of wind power technology, including discussions on control systems used in wind turbines.